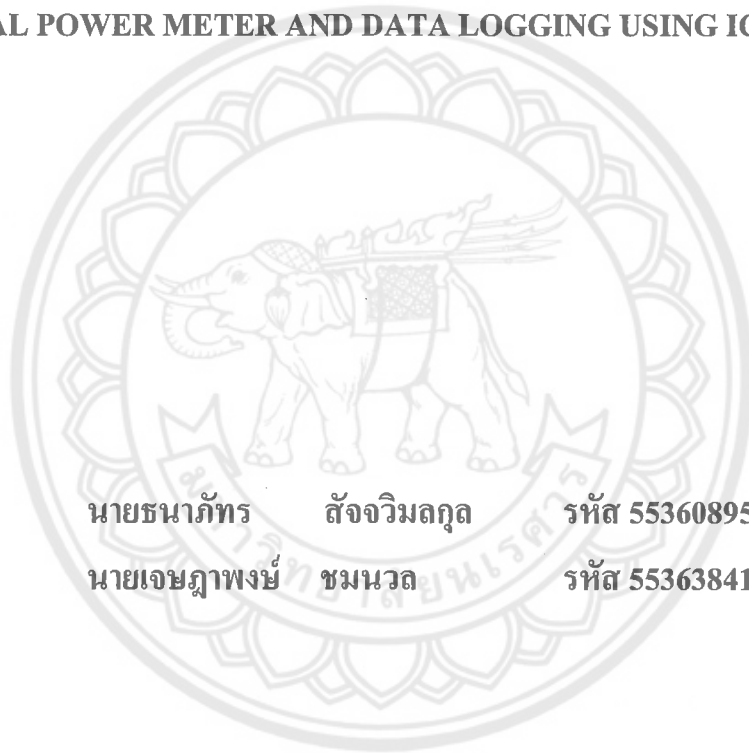




เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้ไอซี ADE7755 AN

DIGITAL POWER METER AND DATA LOGGING USING IC ADE7755 AN



นายชนาภัทร สัจจวิมลกุล รหัส 55360895

นายเจษฎาพงษ์ ชมนวล รหัส 55363841

ป  
ศ ๒๕๖๑  
๒๕๖๒

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร


ปีการศึกษา 2558

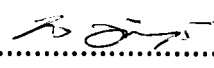


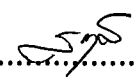
## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้ไอซี ADE7755 AN  
ผู้ดำเนินโครงการ นายธนภัทร สัจจวิมลกุล รหัส 55360895  
นายเจษฎาพงษ์ ชมนวล รหัส 55363841  
ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ปิยนัย ภาชนะพรรณ  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2558

.....  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.ปิยนัย ภาชนะพรรณ)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนัส นัตถฤทธิ)

  
.....กรรมการ  
(ดร.สรารุณี วัฒนวงศ์พิทักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้ไอซี ADE7755 AN
ผู้ดำเนินโครงการ	นายชนาภัทร สัจจวิมลกุล รหัส 55360895
	นายเจษฎาพงษ์ ชมนวล รหัส 55363841
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ปิยนัย ภาชนะพรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสำหรับกระแสไฟฟ้าสลับ 1 เฟส ที่พิกัดแรงดัน 230 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ และกระแสไม่เกิน 1.65 แอมแปร์ ระบบประกอบไปด้วยวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าโดยใช้ไอซี ADE7755 AN ซึ่งจะส่งพัลส์ที่มีความถี่เป็นสัดส่วนกับค่ากำลังไฟฟ้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือบอร์ด Arduino ชนิด AVR-Atmega 328 ที่ทำงานร่วมกับบอร์ด Data Logger Shield เมื่อไอซีรับค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าเข้ามาแล้วจะทำการประมวลผลคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าจากนั้นจะส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลออกทางจอแสดงผล LCD รวมถึงจัดเก็บในการ์ดหน่วยความจำ (SD Card)

**Project title** Digital Power Meter and Data Logging using IC ADE7755 AN  
**Name** Mr.Thanaphat Satchawimonkun ID.55360895  
Mr.Jaedsadapong Chomnuan ID.55363841  
**Project advisor** Dr.Piyadanai Pachanapan  
**Major** Electrical Engineering  
**Department** Electrical and Computer Engineering  
**Academic year** 2015

---

### Abstract

This project aims to implement the digital meter for measuring AC power and electric energy. The meter can be used in 1 phase 230 V and the current limit is 1.65 A. The IC ADE7755 AN is employed to convert the measured voltage and current into the pulse signal. Then, the frequency of pulse signal is translated into the values of active power and energy by using Arduino board type AVR-Atmega 328. The measured data will be updated in every 20 seconds and displayed on the LCD screen and then, logging in the SD Card. The data of active power and energy are logged in every 20 seconds in the form of the spreadsheet in TXT file.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจาก ดร.ปิยคนัย ภาชนะพรรณณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเป็นผู้ที่เอาใจใส่ในทุกรายละเอียดของการดำเนินโครงการ โดยให้ทั้งความรู้และคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆอย่างต่อเนื่อง รวมถึงแนะนำการเขียนปริญาานิพนธ์ การใช้ภาษา และการตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปริญาานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์ ผู้ดำเนินโครงการจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์และผศ.ดร.พนัส นัถฤทธิ์ เป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำชี้แนะ แนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงการตรวจรูปเล่มปริญาานิพนธ์ที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ให้โครงการนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมเครื่องวัดในการทดสอบชิ้นงานที่สร้างขึ้น รวมถึงอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการจนกระทั่งการทดสอบต่างๆ สิ้นสุดลง

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

นายธนภัทร สัจจวิมลกุล

นายเจษฎาพงษ์ ชมนวล

# สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ไอซี ADE7755 AN.....	7
2.2 พลังงานไฟฟ้า.....	9
2.3 กำลังไฟฟ้าจริง.....	10
2.4 หม้อแปลงกระแส.....	10
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 328.....	11
2.6 Data Logger Shield.....	14
2.7 จอแสดงผล LCD.....	16

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	17
3.1 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....	17
3.2 วงจรวัดกำลังไฟฟ้า.....	19
3.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
3.4 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงและพลังงาน.....	21
3.5 กระบวนการทดลอง.....	29
3.6 สมการที่เกี่ยวข้อง.....	32
3.7 การทำงานของโปรแกรม.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	36
4.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนตัวคูณ.....	36
4.2 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้า.....	37
4.3 ผลการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้า.....	43
4.4 ผลการทดลองการเก็บข้อมูล.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข.....	52
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	52
เอกสารอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก ก โปรแกรมในการวัดค่า.....	54
ภาคผนวก ข เอกสารข้อมูล ADE7755 AN.....	67
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	85

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางค่า $F_{1-4}$ (Hz) และค่า XTAL/CLKIN* .....	22
3.2 ตารางค่า $F_{1-4}$ (Hz) และค่าสูงสุดของ CF .....	22
4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับอัตราส่วนตัวคูณ.....	37
4.2 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ ภาวะความต้านทานต่างๆ.....	38
4.3 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ ภาวะความต้านทานต่างๆและตัวเหนี่ยวนำ 5 สเติป์ .....	39
4.4 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ ภาวะความต้านทานต่างๆและตัวเหนี่ยวนำ 8 สเติป์ .....	40
4.5 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ ภาวะตัวเหนี่ยวนำ 8 สเติป์.....	42
4.6 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัด อ้างอิงที่ภาวะความต้านทานที่เป็นโหลดไฟขนาด 300 วัตต์.....	43
4.7 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัด อ้างอิงที่ภาวะความต้านทานที่เป็นโหลดไฟขนาด 300 วัตต์ และตัวเหนี่ยวนำ 8 สเติป์ .....	45



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรมกระบวนการการทำงาน .....	6
2.2 บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลสัญญาณใน ไอซี ADE7755 AN.....	7
2.3 รูปสัญญาณของกำลังไฟฟ้า เมื่อ $\theta = 0^\circ$ .....	8
2.4 รูปสัญญาณเอาต์พุตของ ไอซี ADE7755 AN .....	9
2.5 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า.....	10
2.6 แสดงรูปแบบการพันของ CT ที่ฝั่งปฐมภูมิ .....	11
2.7 แผงวงจรบอร์ด Arduino .....	12
2.8 หน่วยประมวลผลกลาง ATmega328 ขนาด 28 ขา .....	14
2.9 บอร์ด Data Logger Shield .....	16
2.10 จอแสดงผล LCD .....	16
3.1 การแบ่งกระบวนการการทำงานของอุปกรณ์.....	17
3.2 ตัวตรวจจับกระแส (Current Transformer) .....	18
3.3 โหลดความต้านทานที่เป็นโหลดไฟ .....	19
3.4 โหลดที่เป็นตัวเก็บประจุ (Capacitor).....	19
3.5 การต่อวงจรของ ไอซี ADE7755 AN.....	20
3.6 การต่อ LCD ให้ทำงานร่วมกับบอร์ด Arduino แบบ 4 บิต.....	21
3.7 จำนวนพัลส์ที่ได้จากโปรแกรม.....	24
3.8 รูปสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตต่างๆตามเอกสารข้อมูล .....	24
3.9 รูปสัญญาณเอาต์พุต CF ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟขนาด 100 วัตต์ .....	25
3.10 รูปสัญญาณเอาต์พุต CF ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟขนาด 360 วัตต์ .....	25
3.11 แสดงจำนวนพัลส์ที่นับโดยโปรแกรมที่ภาระความต้านทานโหลดไฟขนาด 100 วัตต์.....	26
3.12 แสดงการกดดูSerialMonitor.....	27
3.13 แสดงหน้าต่าง Serial Monitor.....	27
3.14 การวัดค่ากระแสและแรงดัน โดยใช้เครื่อง True RMS & Power Clamp Meter .....	29
3.15 การแสดงค่ากระแสบนหน้าจอเครื่อง True RMS & Power Clamp Meter .....	30
3.16 การแสดงค่าแรงดันบนหน้าจอเครื่อง True RMS & Power Clamp Meter .....	30

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 รูปแสดงการการวัดค่าพลังงาน และแสดงผลบนหน้าจอบนเครื่อง Single-Phase Electronic Meter .....	31
3.18 การวัดค่ากระแสโดยใช้เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น .....	31
3.19 การวัดค่าแรงดันโดยใช้เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น .....	32
3.20 การแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้า และพลังงานบนหน้าจอ LCD .....	32
3.21 โพล์วชาร์ทแสดงภาพรวมการทำงานของโปรแกรม.....	34
3.22 โพล์วชาร์ทแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่าพลังงานไฟฟ้า รวมถึงการแสดงผลและการจัดเก็บข้อมูล.....	35
4.1 แสดงหน้าต่างSerialMonitor ขณะต่อภาวะความต้านทานหลอดไฟ 100 วัตต์.....	36
4.2 แสดงหน้าจอ LCD ที่ภาวะความต้านทานหลอดไฟ 160 วัตต์ .....	39
4.3 แสดงหน้าจอTrue RMS & Power Clamp Meter ที่ภาวะความต้านทานหลอดไฟ 160 วัตต์.....	39
4.4 แสดงหน้าจอ LCD ที่ภาวะความต้านทานหลอดไฟ 300 วัตต์ตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป .....	40
4.5 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริง (P) บนหน้าจอTrue RMS & Power Clamp Meterที่ภาวะความต้านทานหลอดไฟ 300 วัตต์ ตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป .....	41
4.6 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) บนหน้าจอTrue RMS & Power Clamp Meter ที่ภาวะความต้านทานหลอดไฟ 300 วัตต์ ตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป .....	42
4.7 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาวะความต้านทานในวันที่ 2 มิถุนายน 2559 .....	43
4.8 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาวะความต้านทานในวันที่ 3 มิถุนายน 2559 .....	43
4.9 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นที่ภาวะความต้านทานในวันที่ 3 มิถุนายน 2559 .....	45
4.10 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาวะความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป ในวันที่ 3 มิถุนายน 2559.....	46
4.11 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาวะความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป ในวันที่ 4 มิถุนายน 2559.....	46
4.12 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นที่ภาวะความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป ในวันที่ 4 มิถุนายน 2559 .....	47
4.13 แสดงไฟล์ในหน่วยความจำ.....	47
4.14 แสดงข้อมูลที่บันทึกในไฟล์วันที่ 2 มิถุนายน 2559.....	48
4.15 แสดงข้อมูลที่บันทึกในไฟล์วันที่ 3 มิถุนายน 2559 .....	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.16 แสดงการสร้างไฟล์เมื่อเริ่มวันใหม่..... 50



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในการดำรงชีวิตในแต่ละวัน ทุกคนจำเป็นต้องใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทางไฟฟ้า เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อื่นๆอีกมากมาย เพื่อความสะดวกในการดำรงชีวิต และเพื่อเป็นการทดสอบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้า เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์เหล่านี้ ในแต่ละชนิดหรือแต่ละประเภทประหยัดไฟฟ้ากว่ากัน โดยทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า แล้วนำมาเปรียบเทียบในแต่ละชนิดว่าใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่าไรซึ่งในการวัดค่านั้น จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้า

เครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้านั้น โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภทคือ อนาล็อกและดิจิตอล ในเครื่องมือวัดแบบอนาล็อกที่พบเห็นกันเป็นส่วนใหญ่ จะเป็นลักษณะหน้าปัด โดยมีเข็มชี้สเกลบอกตัวเลขที่แสดงถึงความสัมพันธ์กับปริมาณที่วัด ส่วนเครื่องมือวัดแบบดิจิตอลจะเป็นลักษณะการแสดงผลที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งแสดงบนจอ LCD (Liquid Crystal Display) โดยในเครื่องมือวัดแบบดิจิตอลนั้นสะดวกและง่ายสำหรับการอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้ากว่าเครื่องมือวัดแบบอนาล็อก

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิตอลนั้นมีหลายรูปแบบ และฟังก์ชันการทำงานนั้นยุ่งยากเพราะฉะนั้น โครงการนี้จึงเป็นการประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้ในลักษณะที่ง่ายต่อการใช้งาน โดยใช้ไอซี ชนิด ADE7755 AN ซึ่งมีการทำงานที่หลากหลาย ในโครงการนี้จึงได้นำไอซีดังกล่าวมาทำงานร่วมกับส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์มีราคาที่ถูกกลงและใช้งานง่าย รวมถึงมีประสิทธิภาพสูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านไฟฟ้าได้สะดวก ในการสร้างจึงได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นอุปกรณ์ช่วยในการสร้างเพื่อลดความยุ่งยากในการต่อเครื่องมือวัด นั่นคือ บอร์ด Arduino ที่เป็นแบบดิจิตอลมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการประดิษฐ์เครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้า โดยสามารถแสดงผลค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้ทางจอแสดงผล LCD บนบอร์ด Arduino เพื่อเป็นการลดเวลาในการวัดและอ่านค่า นอกจากนี้ยังสามารถทำการบันทึกค่าที่ได้ลงในการ์ดหน่วยความจำ โดยใช้บอร์ด Arduino ซึ่งค่าที่แสดงผลและบันทึกนั้นเป็นค่าปริมาณทางไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานและกำลังไฟฟ้าจริงในการบันทึกค่าลงการ์ดหน่วยความจำสามารถนำมาดูผลข้อมูลย้อนหลังได้ เพื่อนำผลข้อมูลนั้นมาทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน โดยข้อมูลที่ได้สามารถนำไปวางแผนในการช่วยอนุรักษ์หรือประหยัดพลังงานในแต่ละวัน

ดังนั้นอุปกรณ์ที่ได้ คือ เครื่องที่สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้า โดยแสดงค่าทางจอ LCD และทำการจัดเก็บบันทึกลงในการ์ดหน่วยความจำได้ด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาอุปกรณ์เครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้า 1 เฟสและแสดงผลค่าปริมาณทางไฟฟ้า เช่น พลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง ออกผ่านทางจอแสดงผล LCD พร้อมทั้งจัดเก็บลงในการ์ดหน่วยความจำได้

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถนำอุปกรณ์เครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลที่แสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าไปทำการวัดและบันทึกค่าที่ได้จากไอซีชนิด ADE7755 AN ได้

1.3.2 สามารถนำบอร์ด Arduino มาประยุกต์ใช้ รวมถึงพัฒนางานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้า เพื่อลดต้นทุนในการจัดซื้อจัดหาอุปกรณ์เครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้

1.3.3 สามารถเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ด Arduino เพื่อหาค่าปริมาณทางไฟฟ้า และจัดเก็บค่าที่วัดได้

1.3.4 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลไปช่วยในการวางแผนการอนุรักษ์หรือประหยัดพลังงาน

## 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

สร้างเครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้า 1 เฟส เป็นกระแสสลับ ที่ใช้แรงดันไม่เกิน 230 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ และกระแสไม่เกิน 1.65 แอมแปร์ โดยใช้ไอซีชนิด ADE7755 AN และแสดงผลค่าพลังงานและกำลังไฟฟ้าจริง ที่จอ LCD รวมถึงทำการจัดเก็บค่าที่ได้ ลงในการ์ดหน่วยความจำโดยใช้บอร์ด Arduino

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 รวบรวมข้อมูล และออกแบบหาวิธีการ รวมถึงออกแบบโค้ดโปรแกรมในการใช้ร่วมกับบอร์ด Arduino

1.5.2 ทดสอบวงจรที่ได้ออกแบบและทำการจัดเก็บผลข้อมูลที่ได้

1.5.3 เสนอโครงการให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ



4. ทำการต่อวงจรเพิ่มในส่วนที่เกี่ยวข้องกับบอร์ด Arduino และทดสอบการทำงานของวงจรทั้งหมด										
5. ทดสอบการทำงานของวงจรทั้งหมด โดยใช้ชุดทดสอบ(โหนด) และทำการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า รวมถึงจัดเก็บบันทึกผลข้อมูลที่ได้										
6. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการจัดเก็บข้อมูล และเสนอโครงการให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ										
7. เขียนโครงร่างปฏิญานิพนธ์										
8. จัดทำรูปเล่มปฏิญานิพนธ์										
9. เรียบเรียงปฏิญานิพนธ์และจัดทำเป็นรูปเล่มแดง รวมถึงนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา										

### 1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1. ค่าวัสดุอุปกรณ์	500	บาท
2. ค่าถ่ายเอกสาร และจัดทำรูปเล่มปริญญาบัตร	1,000	บาท
3. อื่นๆ	500	บาท
รวมเป็นเงิน	(สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000</u> บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยจ่ายทุกรายการ

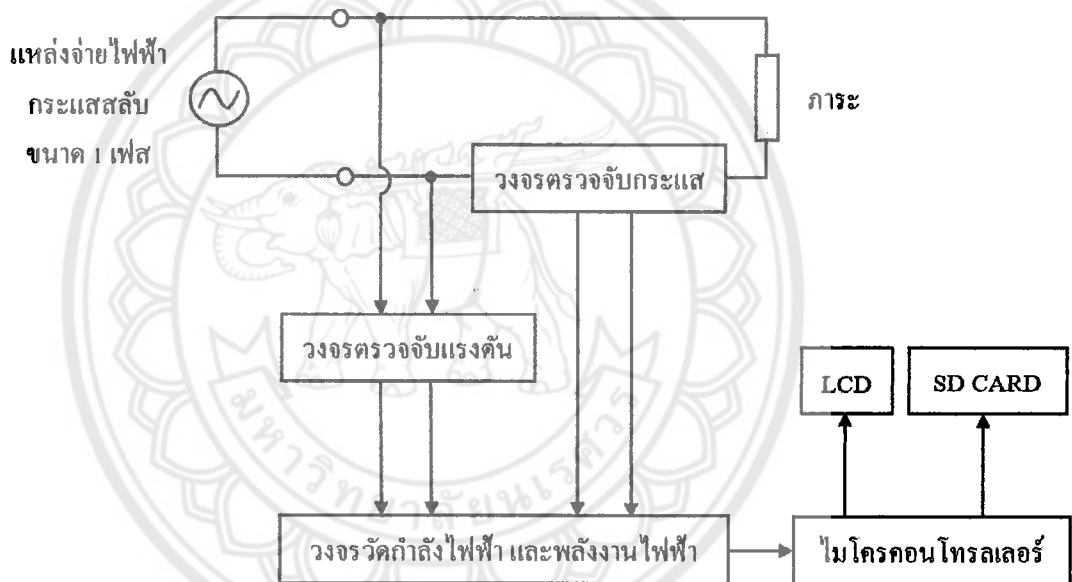




## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างเครื่องวัดและบันทึกค่าปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้ไอซี ADE7755 จำเป็นต้องมีอุปกรณ์และวงจรอื่นต่อรวม เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์(Arduino) Data logging Module ฯลฯ เพื่อให้มีการทำงานในการอ่านค่าและบันทึกค่ามีความถูกต้องเที่ยงตรง รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดและบันทึก ได้แก่ พลังงาน และกำลังไฟฟ้าจริง โดยในการสร้างสามารถแบ่งการดำเนินการและการออกแบบได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะถูกริบายรายละเอียดในบทนี้

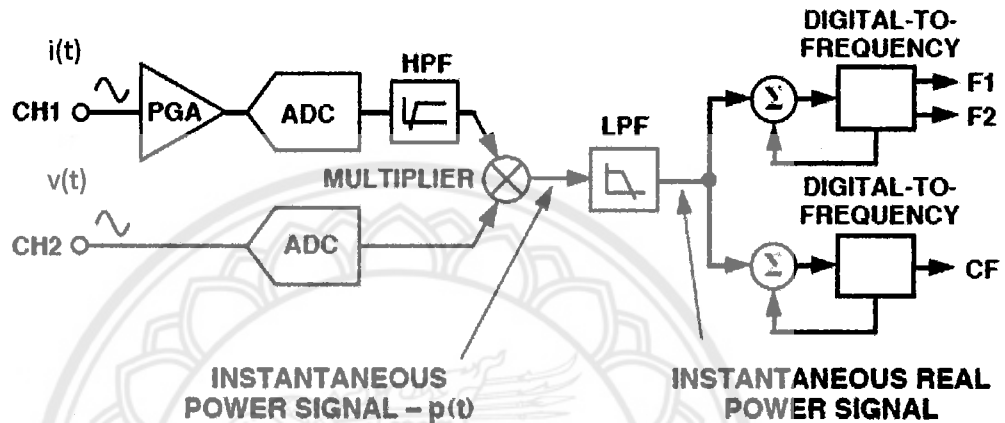


รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมกระบวนการการทำงาน

จากรูปที่ 2.1 สามารถที่จะอธิบายหลักการการทำงานของเครื่องวัดและบันทึกค่าปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้ไอซี ADE7755 ได้ คือ เมื่อนำภาระมาต่อในวงจรจะมีกระแสผ่านโหลดจะทำให้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าทำงานพร้อมๆกัน โดยสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันที่ตรวจจับได้นั้นจะเข้ามาที่ตัวระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริง และพลังงาน เมื่อทำการคำนวณผลเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำค่าสัญญาณที่ได้มาส่งออกแสดงผลทางจอ LCD รวมถึงจัดเก็บในการ์ดหน่วยความจำ (SD Card)

## 2.1 ไอซี ADE7755

ไอซี ADE7755 จะมีวงจรภายในดังรูปที่ 2.2 ในการวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้ไอซี ADE7755 นั้น ค่าแรงดันไฟฟ้าจากวงจรวัดแรงดัน (Voltage Sensor) และค่ากระแสไฟฟ้าจากวงจรวัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) จะถูกป้อนเข้าที่ CH2 และ CH1 ของไอซี ADE7755 ตามลำดับดังรูปที่ 2.2 เพื่อแปลงจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย ADC (Analog to Digital Converter) ขนาด 16 บิต



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลสัญญาณในไอซี ADE7755

หลังจากผ่าน ADC  $v(t)$  และ  $i(t)$  ในรูปที่ 2.2 จะกลายเป็นสัญญาณดิจิทัล  $v[n]$  และ  $i[n]$  ตามลำดับ ซึ่ง

$$v[n] = V_p \cos(\delta_0 n) \quad (2.1)$$

และ

$$i[n] = I_p \cos(\delta_0 n - \theta) \quad (2.2)$$

โดยที่  $\delta_0$  คือ ความถี่เชิงมุม

และกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power) จะมีค่าเท่ากับ

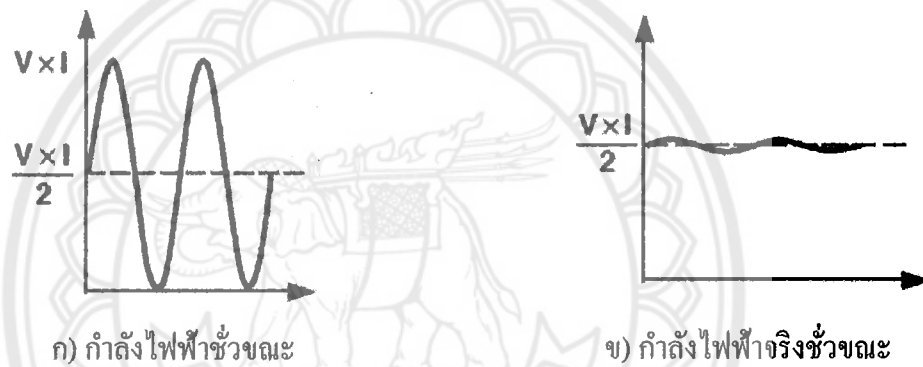
$$p[n] = v[n] \times i[n] = V_p I_p \cos(\delta_0 n) \cos(\delta_0 n - \theta) \quad (2.3)$$

$$p[n] = \frac{V_p I_p}{2} \cos(\theta) \cos(2\delta_0 n - \theta) \quad (2.4)$$

ถ้า  $\theta = 0^\circ$  จะได้

$$p[n] = \frac{V_p I_p}{2} + \frac{V_p I_p}{2} \cos(2\delta_0 n) \quad (2.5)$$

โดยรูปสัญญาณของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะเมื่อ  $\theta = 0^\circ$  จะได้ดังรูปที่ 2.3 (ก) หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) เพื่อกรองเอาเฉพาะองค์ประกอบที่เป็นไฟกระแสตรงแล้วจะได้สัญญาณกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ (Instantaneous Active Power Signal) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ายังคงมีองค์ประกอบที่เป็นไฟกระแสสลับอยู่เนื่องจากความไม่เป็นอุดมคติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่ 2.3 รูปสัญญาณของกำลังไฟฟ้า เมื่อ  $\theta = 0^\circ$

จากนั้นสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะจะผ่านวงจรแปลงดิจิทัลเป็นความถี่ (Digital-to-Frequency Converter) เพื่อผลิตความถี่เอาต์พุตโดยการสะสม (Accumulation) โดยการสะสมนี้จะทำการเฉลี่ยค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ ดังนั้นความถี่เอาต์พุตของไอซี ADE7755 จึงแปรผันตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย ซึ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งกำลังจริงและพลังงานคำนวณได้จาก

$$\text{Average Frequency} = \text{Average Real Power} = \frac{\text{Counter}}{\text{Timer}} \quad (2.6)$$

และ

$$Energy = Average Real Power \times Timer = \frac{Counter}{Time} \times Time = Counter \quad (2.7)$$

เมื่อ	<i>Average Frequency</i>	คือ ความถี่เฉลี่ย ในหน่วย Hz
	<i>Average Real Power</i>	คือ กำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย ในหน่วย W
	<i>Counter</i>	คือ จำนวนพัลส์จากตัวนับ
	<i>Timer</i>	คือ เวลาจากตัวจับเวลา
	<i>Energy</i>	คือ พลังงานไฟฟ้า ในหน่วย Wh



รูปที่ 2.4 รูปสัญญาณเอาต์พุตของ ไอซี ADE7755

## 2.2 พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) คือ พลังงานที่ใช้ไปหรือสร้างขึ้นมาจากกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาหรือส่งออกไป โดยมีความสัมพันธ์กับเวลา มีหน่วยใช้แสดงพลังงานเป็นจูล (J) พลังงานไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ตัว  $W$  สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$W = Pt \quad (2.8)$$

เมื่อ	$W$	คือ พลังงานไฟฟ้า หน่วยจูล (J),
	$P$	คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (W),
	$t$	คือ เวลา หน่วยวินาที (s)

ไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกนำมาใช้งานในชีวิตประจำวัน เราต้องซื้อมาจากหน่วยงานที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกจำหน่าย เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง เป็นต้น พลังงานไฟฟ้าเหล่านี้ไม่ได้ถูกคิดออกมาเป็นจูล (J) แต่จะคิดออกมาเป็น กิโลวัตต์ - ชั่วโมง (Kilowatt-hours, kWh) ไม่ได้จัดเป็นหน่วย SI แต่มีความสัมพันธ์กับหน่วยระบบ SI โดยคิดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นกิโลวัตต์ (kW) คิดในเวลายเป็นชั่วโมง (h)

### 2.3 กำลังไฟฟ้าจริง

Apparent power หรือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ คือ ผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์แอมป์ หรือ VA มักใช้เรียกขนาดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยในโครงการนี้ ทำการหา กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$$P = VI \cos(\theta) \quad (2.9)$$

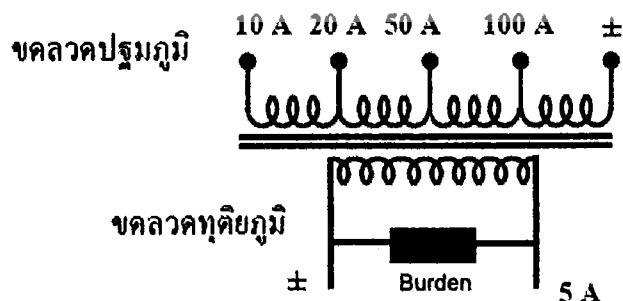
เมื่อ	$P$	คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (W),
	$V$	คือ แรงดันไฟฟ้า หน่วยโวลต์ (V),
	$I$	คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยแอมแปร์ (A),
	$\theta$	คือ มุมเฟสระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า

### 2.4 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

หม้อแปลงกระแสมีหน้าที่คือ แปลงขนาดกระแสของระบบไฟฟ้า ค่าสูงให้เป็นค่าต่ำเพื่อประโยชน์ในการวัดและการป้องกัน แยกวงจร ทดสอบภูมิ ออกจากวงจร ปฐมภูมิ เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้สามารถใช้กระแสมาตรฐานทางด้าน ทดสอบภูมิ ได้กรณีใช้งานกับไฟแรงสูง จำเป็นต้องมีฉนวนที่สามารถทนต่อแรงดันใช้งานและแรงดันผิดปกติ ที่อาจเกิดขึ้นในระบบ

#### 2.4.1 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส

โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งพันลวดเส้นใหญ่จำนวนรอบน้อย และขดลวดทุติยภูมิพันด้วยลวดเส้นเล็กจำนวนรอบมาก



รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

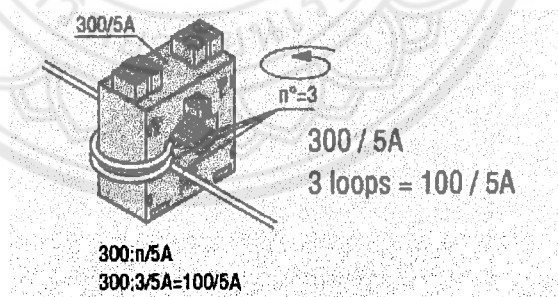
#### 2.4.2 หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแส

หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแสคือ ขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับโหลดของวงจรทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นทางด้านขดลวดปฐมภูมิไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นทางด้านขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เข็มชี้ของแอมมิเตอร์เกิดการบ่ายเบนค่าที่อ่านได้ทางด้านขดลวดทุติยภูมิสามารถนำไปคำนวณหาค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสอง การใช้งานหม้อแปลงกระแสมีเหตุผล 2 ประการ คือ

1. เพื่อป้องกันอันตรายจากการต่อแอมมิเตอร์หรือขดลวดกระแสของเครื่องวัดไฟฟ้าโดยตรงกับสายไฟฟ้าแรงสูง
2. แปลงกระแสไฟฟ้าในระบบให้ต่ำลงเพื่อให้เหมาะสมกับย่านการวัดของแอมมิเตอร์และวัตต์มิเตอร์

#### 2.4.3 หลักการพันทรอบของหม้อแปลงกระแส

การจะลดกระแสของ CT นั้นทำได้โดยการพัน CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ ซึ่งการลดกระแสจะขึ้นอยู่กับจำนวนการพันของ CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ เช่น เรามี CT 100/5A แต่เราต้องการใช้กับกระแสเพียง 20 แอมแปร์ ก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องซื้อ CT ใหม่เพียงแค่พัน CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ  $100/20 = 5$  รอบ เพียงเท่านั้น ก็สามารถใช้ CT ตัวเดิมได้และหากใช้กระแสค่าอื่นก็สามารถทำได้โดยค่ากระแสที่ต้องการวัด จำนวนรอบการพันดังรูปที่ 2.6

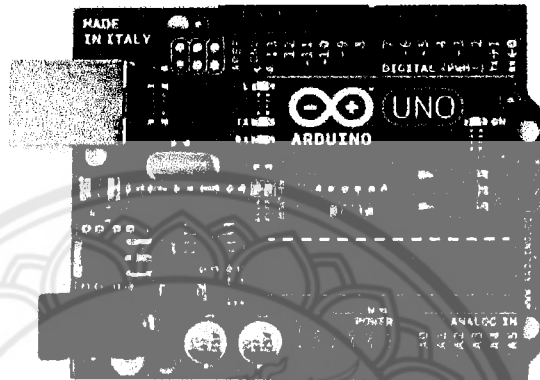


รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการพันของ CT ที่ฝั่งปฐมภูมิ

#### 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 328

ในโครงการนี้เลือกใช้บอร์ด Arduino Uno 3 ซึ่งเป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล (AVR) ขนาด 28 ขา หมายเลข ATmega 328 แสดงดังรูปที่ 2.10 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) ของอินพุตและเอาต์พุต (I/O) ขั้นพื้นฐานที่พอเพียงกับการใช้งานและการเรียนรู้โดยตัวแผงวงจรมีชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตไม่ว่าจะเป็นพอร์ตดิจิทัลพอร์ต

แอนะล็อกพีดีบีเบิลยูเอ็ม และพอร์ตอนุกรม ซึ่งบอร์ด Arduino ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ตัวแผงวงจรมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้บอร์ด Arduino สามารถรับสัญญาณจากสวิทช์หรือตัวรับรู้และควบคุมหลอดไฟมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆบอร์ด Arduino สามารถทำงานอิสระหรือทำงานติดต่อกับโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.7 แผงวงจรบอร์ด Arduino

ที่มา : [www.arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal](http://www.arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal)

บอร์ด Arduino ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่างๆเพื่อสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนคือเน้นโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก บอร์ด Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ (AVR) ขนาดเล็กซึ่งเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตต่างๆได้มากมายทั้งในแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือเชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆเช่น คอมพิวเตอร์ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าบอร์ด Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตต่างๆได้มากมาย ทั้งแบบดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) เช่น การรับค่าจากสวิทช์หรือตัวรับรู้แบบต่างๆรวมถึงการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ ส่วนภาษาในการเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ด Arduino นั้นใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่ง ทีมโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) แต่ได้มีการปรับปรุงการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่ผิดเพี้ยนไปจาก ANSI-C เล็กน้อยเพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมและยังสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานของ ANSI-C โดยตรง

ตัวบอร์ด Arduino ที่ใช้ในโครงการนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของเอวีอาร์ (AVR) ขนาด 8 บิต โดยเป็นซีพียูแบบ RISC (Reduced InstructionSet Computer) มีสถาปัตยกรรมการต่อหน่วยความจำ

แบบฮาร์วาร์ด (Harvard) ซึ่งแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกันโดยเด็ดขาด โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash) สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรม และใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับหน่วยความจำข้อมูลและนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้โดยไม่ต้องมีไฟเลี้ยงอีกด้วย ATmega 328 ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีคุณสมบัติเด่น ดังนี้

### 2.5.1 คุณสมบัติและข้อกำหนดใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์

1) ระบบภายในถูกออกแบบให้ใช้แบบ RISE (Reduce Instruction Set Computer) คือ ทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่งต่อ 1 Clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS / MHz

2) มีคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 118 คำสั่ง

3) หน่วยความจำแบบ FLASH สำหรับบันทึก Program Memory ขนาด 32

กิโลไบต์

4) หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบันทึก Data Memory ขนาด

1024 ไบต์

5) หน่วยความจำแบบ RAM ขนาด 2 กิโลไบต์

6) ระบบการเปลี่ยนสัญญาณ Analog to Digital ขนาด 10 บิต จำนวน 8 CHANNEL

7) ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0 - 16 MHz

8) ระบบการตรวจจับระดับสัญญาณอนาล็อก (Analog Comparator)

9) TIMER/COUNTER ขนาด 16 บิต 1 CHANNEL

10) TIMER/COUNTER ขนาด 8 บิต 2 CHANNEL

11)  $V_{cc}$  : 4.5 - 5.5 โวลต์

### 2.5.2 คุณสมบัติการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

1) 10 – bit Resolution

2) 0.5 LSB Integral Non – linearity

3) 65 – 260 us Conversion Time

4) Up to 15 KBPS at Maximum Resolution

5) 8 Multiplexed Single Ended input Channels

6) 0 –  $V_{cc}$  ADC input voltage rang

7) Free running or Single Conversion Mode

8) Interrupt on ADC Conversion complete



ใน Atmega 328 จัดให้มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต จำนวน 8 Channel ซึ่งแต่ละ Channel จะรับสัญญาณเข้ามาทางแต่ละขาของพอร์ท A โดยในระบบจะมีวงจร SAMPLE HOLD เพื่อช่วยให้สัญญาณอนาลอกที่รับเข้ามาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลมีระดับสัญญาณคงที่

โดยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะมีแหล่งจ่ายไฟและกราวด์แยกกันต่างหากจากแหล่งจ่ายไฟของระบบซึ่งในการใช้งานจริงไม่ควรให้ความแตกต่างของแรงดันไฟของวงจรอนาลอกและแรงดันไฟของระบบแตกต่างกันเกิน  $\pm 0.3$  โวลต์ ซึ่งในการใช้งานจะต้องจ่ายแรงดันไฟอ้างอิงและกราวด์ที่ขา AREF ในช่วงของระดับแรงดัน  $V_{cc} - GND$

Arduino function		Arduino function
reset	(PCINT14/RESET) PC6 1	26 PC5 (ADC5/SCL/PCINT13) analog input 5
digital pin 0 (RX)	(PCINT16/RXD) PD0 2	27 PC4 (ADC4/SDA/PCINT12) analog input 4
digital pin 1 (TX)	(PCINT17/TXD) PD1 3	28 PC3 (ADC3/PCINT11) analog input 3
digital pin 2	(PCINT18/INT0) PD2 4	25 PC2 (ADC2/PCINT10) analog input 2
digital pin 3 (PWM)	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3 5	24 PC1 (ADC1/PCINT9) analog input 1
digital pin 4	(PCINT20/XCK/T0) PD4 6	23 PC0 (ADC0/PCINT8) analog input 0
VCC	VCC 7	22 GND GND
GND	GND 8	21 AREF analog reference
crystal	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6 9	20 AVCC VCC
crystal	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7 10	19 PB5 (SCK/PCINT5) digital pin 13
digital pin 5 (PWM)	(PCINT21/OC0B/T1) PD5 11	18 PB4 (MISO/PCINT4) digital pin 12
digital pin 6 (PWM)	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6 12	17 PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3) digital pin 11(PWM)
digital pin 7	(PCINT23/AIN1) PD7 13	16 PB2 (SS/OC1B/PCINT2) digital pin 10 (PWM)
digital pin 8	(PCINT0/CLKO/CP1) PB0 14	15 PB1 (OC1A/PCINT1) digital pin 9 (PWM)

รูปที่ 2.8 หน่วยประมวลผลกลาง ATmega 328 ขนาด 28 ขา

ที่มา : <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168>

## 2.6 Data Logger Shield

ในการที่จะสามารถทำให้บันทึกค่าลงในการ์ดหน่วยความจำได้นั้น จะใช้บอร์ด Data Logger Shield ดังรูปที่ 2.9 ที่เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลลงในการ์ดหน่วยความจำ (SD Card) พร้อมกับมีนาฬิกาเวลาจริง (Real Time Clock : RTC) ซึ่งในโครงการนี้จะนำบอร์ด Data Logger Shield มาทำงานร่วมกับบอร์ด Arduino

### 2.6.1 การใช้ขาติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับบอร์ด Arduino

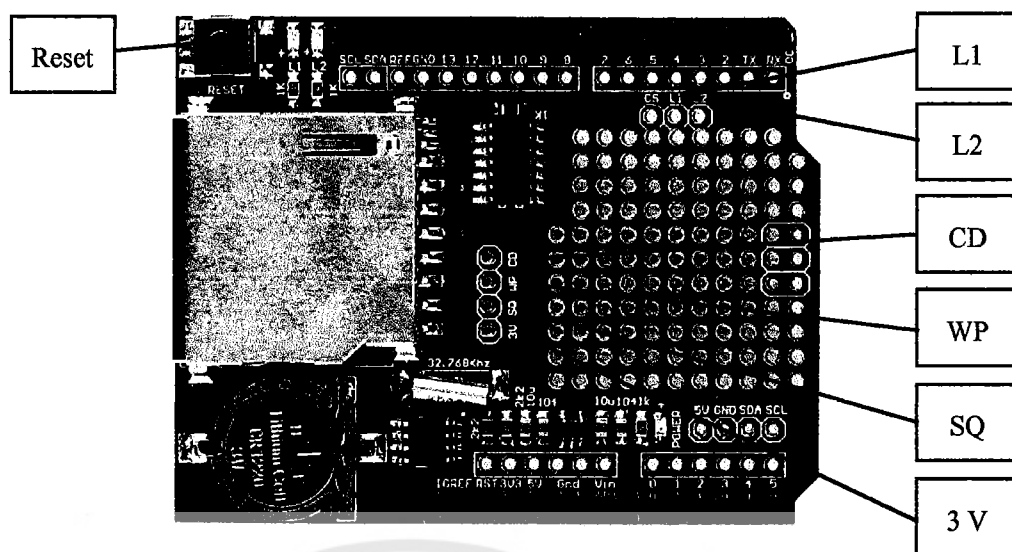
- 1) MOSI (Master In Slave Out) สถาฟส่งข้อมูลถึงมาสเตอร์ ขา Digital Pin 11
- 2) MISO (Master Out Slave In) มาสเตอร์ส่งข้อมูลถึงสถาฟ ขา Digital Pin 12
- 3) CLK การเชื่อมต่อสัญญาณพัลส์นาฬิกา ขา Digital Pin 13
- 4) CS การเลือกชิพสำหรับการ์ดหน่วยความจำ ขา Digital Pin 10

### 2.6.2 ประโยชน์ของบอร์ด Data Logger Shield

- 1) ช่วยลดเวลาการทำงาน ที่ต้องคอยจดบันทึกค่าตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้
- 2) สามารถวัดค่าได้ต่อเนื่อง ตลอด 24 ชั่วโมง และช่วยจัดเก็บข้อมูลให้เป็นหมวดหมู่ รวมถึงแสดงผลได้อย่างเป็นระเบียบ อีกทั้งยังช่วยลดความผิดพลาดในการจดบันทึก
- 3) สามารถติดตามการวัดค่าในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง เช่น สถานที่ที่เย็นจัด หรือ สถานที่ที่ร้อนจัด
- 4) สามารถดูแนวโน้มการเพิ่มขึ้นลดลงของค่าที่สนใจได้ เช่น อุณหภูมิ หรือความชื้นสัมพัทธ์

### 2.6.3 การใช้งานของบอร์ด Data Logger Shield

- 1) มี RTC โดยมีชิพ คริสตัล และแบตเตอรี่สำรองสำหรับการทำงาน
- 2) สามารถใช้การ์ดหน่วยความจำ SD/MMC ได้สูงสุดที่ 32 G
- 3) มีปุ่มรีเซ็ต ซึ่งในการกดรีเซ็ตในแต่ละครั้งจะเป็นการเริ่มการทำงานใหม่
- 4) มี Shifter ที่ช่วยป้องกันการ์ดหน่วยความจำเกิดความเสียหายจากกรณีที่ไฟเกิน ซึ่งในการทำงานจะใช้แรงดันไฟฟ้าเพียงแค่ 3 โวลต์
- 5) ที่ขา 3 โวลต์ (3V) เป็นแรงดันไฟฟ้าจากตัวควบคุมบอร์ด
- 6) ขา SQ เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจาก RTC
- 7) ขา WP เป็นขาตรวจเช็คการ์ดหน่วยความจำ
- 8) ขา CD เป็นขาที่ใช้ตรวจสอบหาการ์ดหน่วยความจำ
- 9) ขา CS เป็นขา Pin เลือกชิพสำหรับการ์ดหน่วยความจำ
- 10) L1 และ L2 เป็นตัวเลือกใช้ไฟ LED



รูปที่ 2.9 บอร์ด Data Logger Shield

ที่มา : <http://www.arduinoall.com/product/166/data-logger-shield-พร้อมถ่าน>

## 2.7 จอแสดงผล LCD

LCD ที่ใช้เป็นแบบ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด มีลักษณะดังรูปที่ 2.10 โดยในการติดต่อกับ LCD Module มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ 4 บิต และ 8 บิต



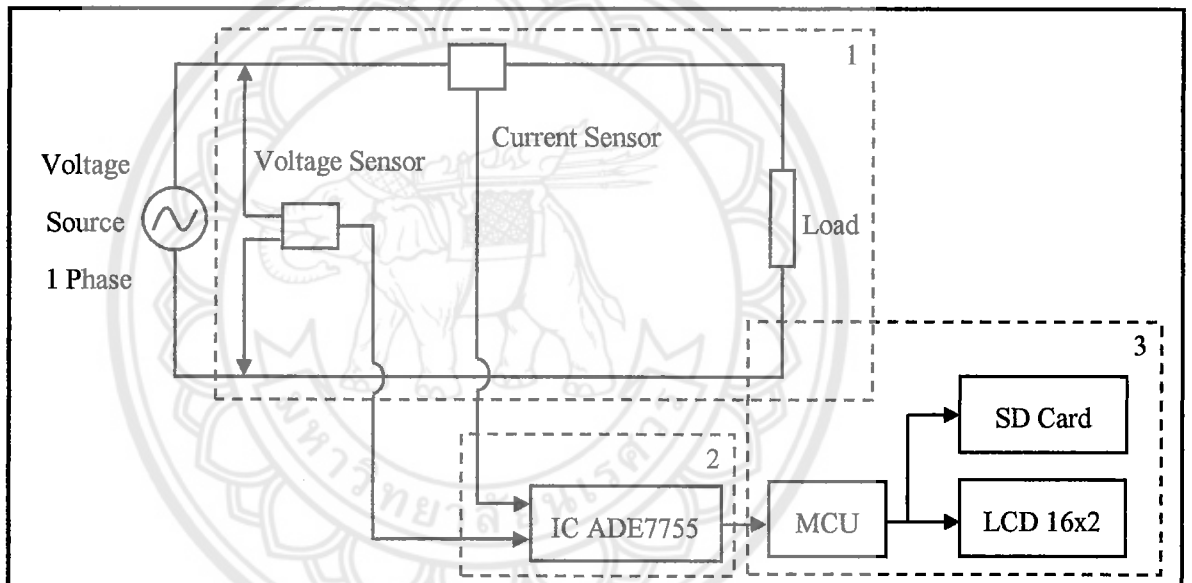
รูปที่ 2.10 จอแสดงผล LCD

ที่มา : [www.arduinoall.com/product/142/1602-lcd-blue-screen-16x2-lcd-with-backlight-of-the-lcd-screen](http://www.arduinoall.com/product/142/1602-lcd-blue-screen-16x2-lcd-with-backlight-of-the-lcd-screen)

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบและการสร้างเครื่องวัดและบันทึกค่าปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้ไอซี ADE7755 สำหรับแสดงผลค่าปริมาณทางไฟฟ้า เช่น พลังงาน และกำลังไฟฟ้าจริง ออกผ่านทางจอแสดงผล LCD พร้อมทั้งจัดเก็บลงในการ์ดหน่วยความจำนั้น มีวิธีการดำเนินงานทั้งสิ้น 3 ส่วนหลัก คือ วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า วงจรวัดกำลังไฟฟ้าโดยไอซี ADE7755 และระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะถูกรายละเอียดในบทนี้



รูปที่ 3.1 การแบ่งกระบวนการการทำงานของอุปกรณ์

โครงสร้างของระบบหรือหลักการทำงานของเครื่องวัดและบันทึกค่าปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้ไอซี ADE7755 แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งหลักการทำงานจากที่ได้กล่าวไปข้างต้นนั้นมีด้วยกันทั้งหมด 3 ส่วนหลัก โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

#### 3.1 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1 นั้น วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะอยู่ในภาคส่วนของหมายเลข 1 ซึ่งจะมีส่วนย่อย 3 ส่วน ดังนี้

### 3.1.1 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor)

การตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ในการออกแบบนั้นจะใช้วงจรแบ่งแรงดันเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดไม่เกิน 465 มิลลิโวลต์ เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าเสียหาย

### 3.1.2 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor : CT)

การตรวจจับสัญญาณของกระแสไฟฟ้าในการสร้างอุปกรณ์นั้น จะใช้ตัวตรวจจับกระแส (Current Transformer) สำเร็จรูปดังรูปที่ 3.2 โดยใช้ขนาด 10A/1V พัน CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ 2 รอบทำให้ได้ขนาด 5A/1V ซึ่งตัวตรวจจับกระแสนี้จะแปลงกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า วัดกระแสไม่เกิน 1.65 แอมแปร์ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เกิน 330 มิลลิโวลต์ เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าเสียหายเหมือนกับวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าเช่นกัน ถ้าหากต้องการนำไปใช้วัดวงจรที่ใช้กระแสสูงขึ้นสามารถเปลี่ยนขนาด CT เช่น ขนาด 30A/1V จะทำให้วัดกระแสได้ไม่เกิน 9.9 แอมแปร์ หรือใช้วงจรแบ่งแรงดันช่วยได้ เช่น ใช้ CT ขนาด 10A/1V และวงจรแบ่งกระแสมี R1 1 กิโลโอห์ม และ R2 3 กิโลโอห์ม จะทำให้วัดกระแส 10 แอมแปร์ ได้ โดยมีแรงดันที่เข้าวงจรวัดกำลังไฟฟ้า 250 มิลลิโวลต์

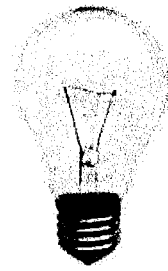


รูปที่ 3.2 ตัวตรวจจับกระแส (Current Transformer)

### 3.1.3 ภาระ (LOAD)

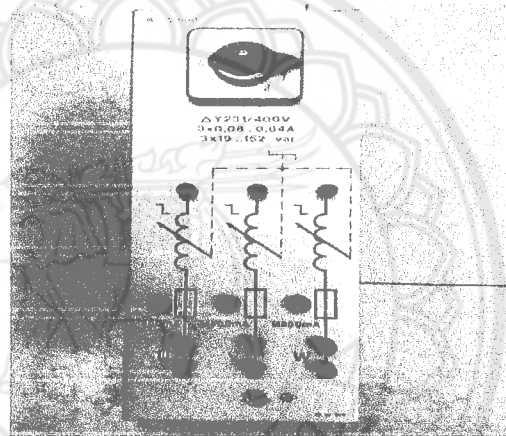
ในการทำการทดลองนั้น จะใช้อุปกรณ์โหลดความต้านทานที่เป็นหลอดไฟ และโหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

- 1) โหลดความต้านทานหลอดไฟ ดังรูปที่ 3.3 ที่มีขนาดวัตต์ต่างๆ ได้แก่ ขนาด 60 วัตต์, และ 100 วัตต์ โดยนำมาทำการทดลองต่อเป็นภาระของวงจรขนาด 60 วัตต์, 160 วัตต์, 260 วัตต์ 300 วัตต์, และ 360 วัตต์



รูปที่ 3.3 โหลดความต้านทานที่เป็นหลอดไฟ

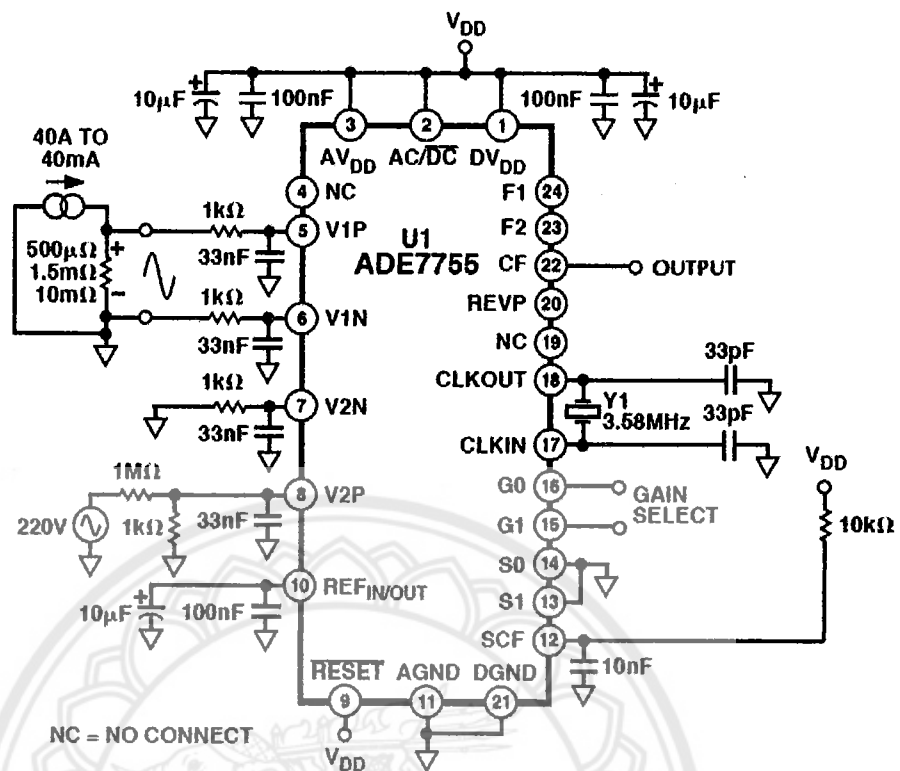
2) โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

### 3.2 วงจรวัดกำลังไฟฟ้า

เพื่อที่จะรู้ค่าของกำลังไฟฟ้า จากรูปที่ 3.1 ในภาคส่วนหมายเลข 2 จะเห็นว่าการประดิษฐ์อุปกรณ์หรือเครื่องมือ นั้น จะใช้ไอซี ADE7755 เป็นตัวหลักของวงจรในการวัดค่ากำลังไฟฟ้า โดยไอซี ADE7755 จะรับค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้างัดที่กล่าวไปข้างต้น มาทำกระบวนการในตัวเอง แล้วจากนั้นจะส่งเอาท์พุทที่ได้เป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งจะทำให้การวัดค่าสัญญาณที่ได้โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคป และทำการต่อวงจรของไอซี ADE7755 ดังรูปที่ 3.5 โดยสัญญาณพัลส์ที่ได้ นั้นจะมีความถี่แปรผันตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย



รูปที่ 3.5 การต่อวงจรของไอซี ADE7755

### 3.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

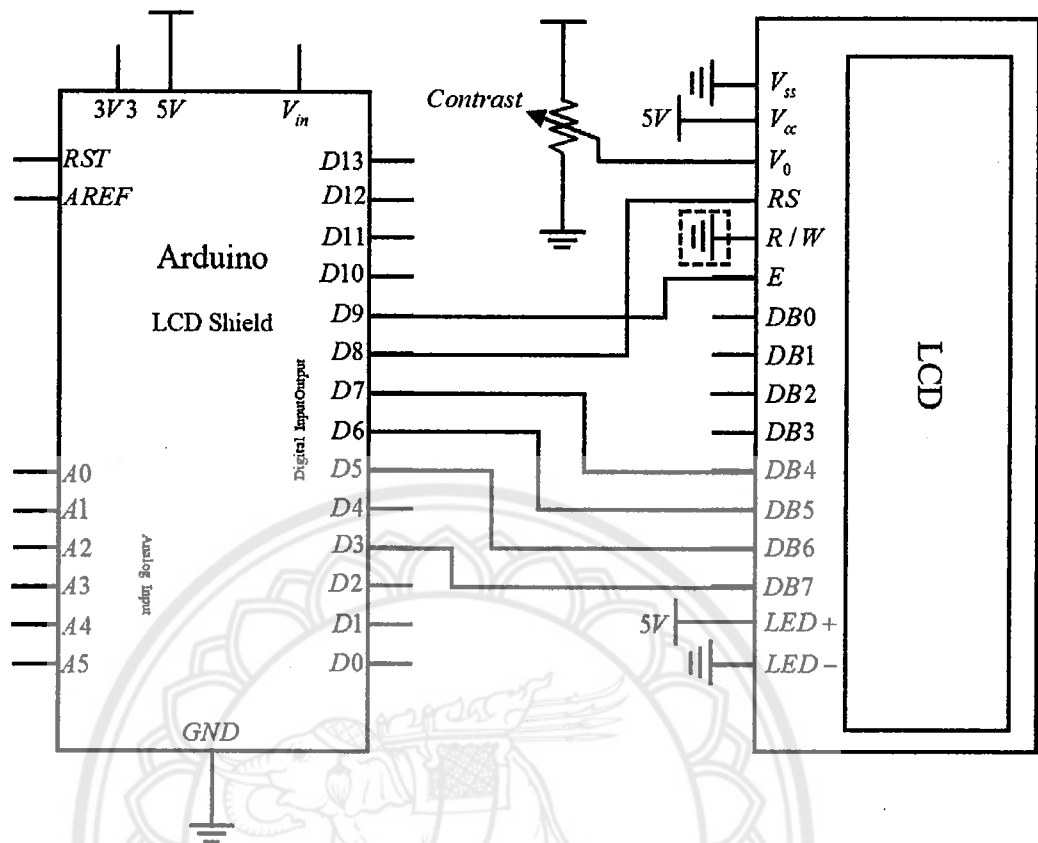
เพื่อที่จะนำค่าพลังงานและค่ากำลังไฟฟ้าจริงไปแสดงผลที่จอ LCD และทำการจัดเก็บลงในการ์ดหน่วยความจำ ในส่วนนี้ของการออกแบบจะใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอยู่ในภาคส่วนหมายเลข 3 ดังรูปที่ 3.1 มาทำการประมวลผล โดยสามารถแบ่งเป็นส่วนย่อยได้ 3 ส่วน ดังนี้

#### 3.3.1 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)

ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้บอร์ด Arduino ทำกระบวนการ โดยทำหน้าที่รับสัญญาณที่ออกจากส่วนวงจรวัดกำลังไฟฟ้ามาประมวลผลแล้วนำค่าที่ได้ไปแสดงผล และจัดเก็บในส่วนย่อยที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

#### 3.2.3 จอ LCD

การติดต่อกับ LCD Module มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบ 8 บิต และแบบ 4 บิต โดยในโครงการนี้จะใช้การต่อ LCD Module แบบ 4 บิต ดังในรูปที่ 3.6 ซึ่งค่าที่จะแสดงบนจอ LCD คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่าพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 การต่อ LCD ให้ทำงานร่วมกับบอร์ด Arduino แบบ 4 บิต

### 3.3.3 ส่วนจัดเก็บบันทึกข้อมูล

ส่วนจัดเก็บบันทึกข้อมูลนี้จะใช้ Data Logger Shield เสียบเข้ากับบอร์ด Arduino และทำการบันทึกข้อมูลลงในการ์ดหน่วยความจำ โดยบันทึกข้อมูลเวลา ค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่าพลังงานไฟฟ้า

## 3.4 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริงและพลังงาน

### 3.4.1 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริง

1) ความถี่เอาต์พุตที่ได้กับทฤษฎี จากทฤษฎีในเอกสารข้อมูล ADE7755 สามารถคำนวณความถี่ที่ออกจากเอาต์พุต F1 และ F2 ได้ตามสมการดังนี้

$$F = \frac{8.06 \times V_1 \times V_2 \times \text{Gain} \times F_{1-4}}{V_{REF}^2} \quad (3.1)$$



โดย

$F$  คือ ความถี่เอาต์พุตที่ขา F1 และ F2

$V_1$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองแรงดัน (RMS Voltage) ของเซนแนล 1 ในหน่วย โวลต์

$V_2$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองแรงดันของเซนแนล 2 ในหน่วย โวลต์

$Gain$  คือ อัตราขยายที่เลือกโดยอินพุต G0 และ G1 มีค่าเท่ากับ 1,2,8, หรือ 16

$V_{REF}$  คือ ความต่างศักย์อ้างอิงมีค่าเท่ากับ 2.5 โวลต์

$F_{1-4}$  คือ ความถี่ 1 ใน 4 ที่เป็นไปได้ เลือกโดยอินพุต S0 และ S1 ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางค่า  $F_{1-4}$  (Hz) และค่า XTAL/CLKIN\*

S1	S0	$F_{1-4}$ (Hz)	XTAL/CLKIN*
0	0	1.7	3.579 MHz/2 <sup>21</sup>
0	1	3.4	3.579 MHz/2 <sup>20</sup>
1	0	6.8	3.579 MHz/2 <sup>19</sup>
1	1	13.6	3.579 MHz/2 <sup>18</sup>

เมื่อได้ความถี่ที่เอาต์พุต F1 และ F2 แล้วสามารถนำมาหาความถี่เอาต์พุต CF ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางค่า  $F_{1-4}$  (Hz) และค่าสูงสุดของ CF

SCF	S1	S0	$F_{1-4}$ (Hz)	CF Max for AC Signals (Hz)
1	0	0	1.7	128 × F1, F2 = 43.52
0	0	0	1.7	64 × F1, F2 = 21.76
1	0	1	3.4	64 × F1, F2 = 43.52
0	0	1	3.4	32 × F1, F2 = 21.76
1	1	0	6.8	32 × F1, F2 = 43.52
0	1	0	6.8	16 × F1, F2 = 21.76
1	1	1	13.6	16 × F1, F2 = 43.52
0	1	1	13.6	2048 × F1, F2 = 5.57 kHz

2) ตัวอย่างการคำนวณกับค่าที่ได้จริง

วัดค่าแรงดันที่เซนแนล 1 และ 2 ด้วยแคลมป์มิเตอร์ (Clamp Multimeters) จากโหลด ภาระความต้านทานโหลดไฟขนาด 100 W ได้ค่าดังนี้

$$V_1 = 0.085 \text{ V,}$$

$$V_2 = 0.224 \text{ V}$$

และจากการต่อวงจรให้อินพุท SCF, S1, และ S2 เป็น 1, 0, และ 0 ตามลำดับจะได้ว่า

$$\text{Gain} = 1,$$

$$F_{1-4} = 1.7$$

เมื่อนำค่าจากข้างต้น แทนค่าในสมการที่ (3.1) จะได้ดังนี้

$$F = \frac{8.06 \times 0.085 \times 0.224 \times 1 \times 1.7}{2.5^2} \quad (3.2)$$

$$F = 0.0417 \text{ Hz} \quad (3.3)$$

ในการหาความถี่เอาท์พุทตามตารางที่ 3.2 สามารถหาได้ดังนี้

$$128 \times 0.0417 = 5.342 \text{ Hz} \quad (3.4)$$

เพื่อที่จะทำให้เป็นจำนวนพัลส์ต่อ 20 วินาที จึงต้องนำมาคูณกับ 20 วินาที เนื่องจากโปรแกรมจะทำการ นับพัลส์ทุกๆ 20 วินาที จึงได้ว่า

$$5.342 \times 20 = 106.8589 \text{ พัลส์} \quad (3.5)$$

เมื่อนำมาเทียบกับจำนวนพัลส์ที่ได้จาก โปรแกรมจะได้ประมาณเท่ากับ 106 พัลส์ต่อ 20 วินาที ดังแสดง ในรูปที่ 3.7

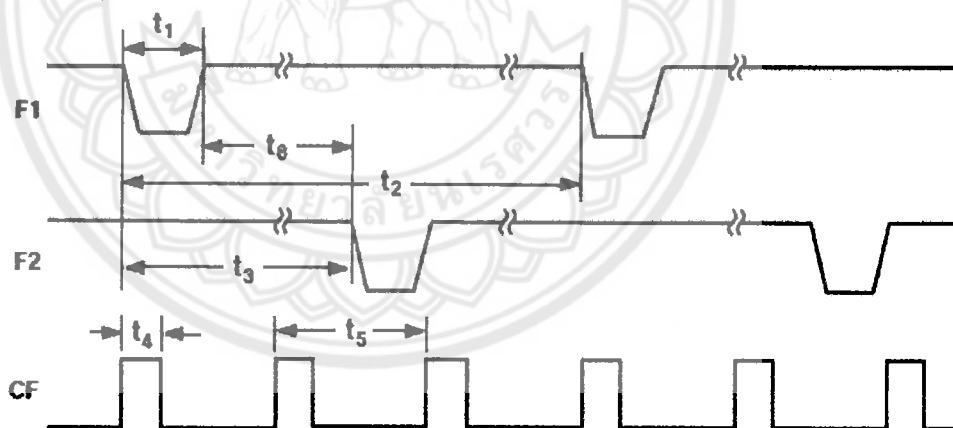
```

COM4 (Arduino/Gemini)
20160531.txt
number of pulse per 20s : 105.00
31/05/2016 16:00:42, valueP :92.45 W, valueE :1.37 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 105.00
31/05/2016 16:01:02, valueP :92.45 W, valueE :1.89 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 106.00
31/05/2016 16:01:22, valueP :93.33 W, valueE :2.41 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 106.00
31/05/2016 16:01:42, valueP :93.33 W, valueE :2.93 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 106.00
31/05/2016 16:02:02, valueP :93.33 W, valueE :3.44 Wh
20160531.txt

```

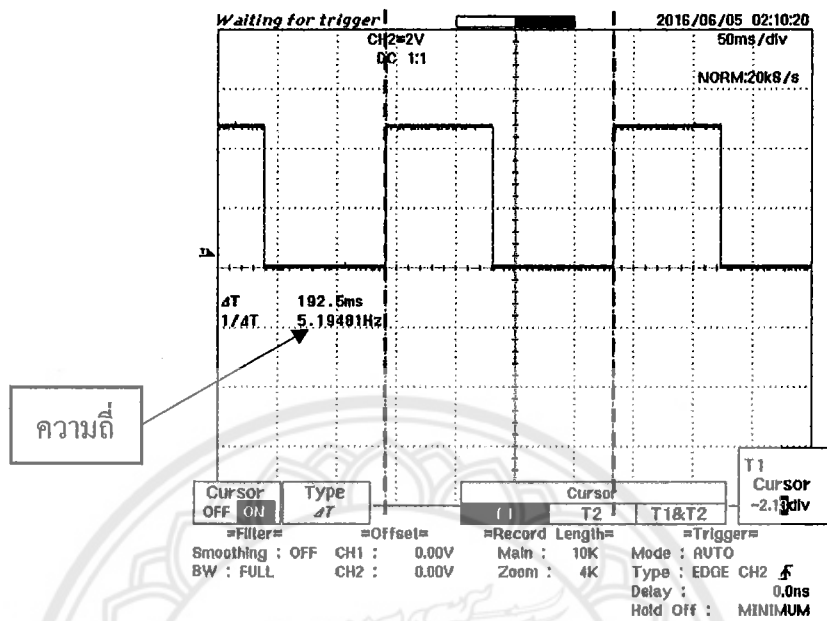
รูปที่ 3.7 จำนวนพัลส์ที่ได้จากโปรแกรม

ส่วนรูปสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตต่างๆตามเอกสารข้อมูล แสดงดังรูปรูปที่ 3.8

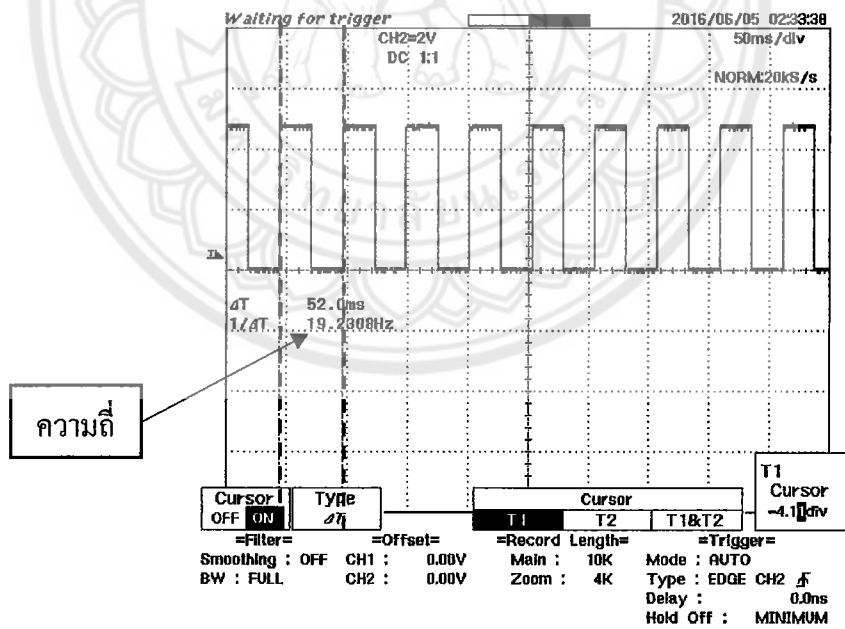


รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตต่างๆตามเอกสารข้อมูล

รูปสัญญาณที่ออกจากเอาต์พุต CF ของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 รูปสัญญาณเอาต์พุต CF ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟขนาด 100 วัตต์



รูปที่ 3.10 รูปสัญญาณเอาต์พุต CF ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟขนาด 360 วัตต์

```

COM4 (Arduino)
20160531.txt
number of pulse per 20s : 391.00
31/05/2016 16:14:22, valueP : 344.28 W, valueE : 58.61 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 391.00
31/05/2016 16:14:42, valueP : 344.28 W, valueE : 60.52 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 392.00
31/05/2016 16:15:02, valueP : 345.16 W, valueE : 62.44 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 391.00
31/05/2016 16:15:22, valueP : 344.28 W, valueE : 64.35 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 391.00
31/05/2016 16:15:42, valueP : 344.28 W, valueE : 66.27 Wh
20160531.txt
 Autoscroll
No line ending
9600 baud

```

รูปที่ 3.11 แสดงจำนวนพัลส์ที่นับ โดยโปรแกรมที่ภาวะความต้านทานโหลด ไฟขนาด 360 วัตต์

จากรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของภาระมากขึ้นจะทำให้เอาต์พุต CF มีความถี่เพิ่มมากขึ้นด้วย และจากรูปที่ 3.11 สามารถคำนวณความถี่ของสัญญาณได้โดยการหาร 20 วินาที แสดงการคำนวณดังนี้

$$\text{ความถี่} = 391 / 20 \quad (3.6)$$

$$\text{ความถี่} = 19.55 \text{ Hz} \quad (3.7)$$

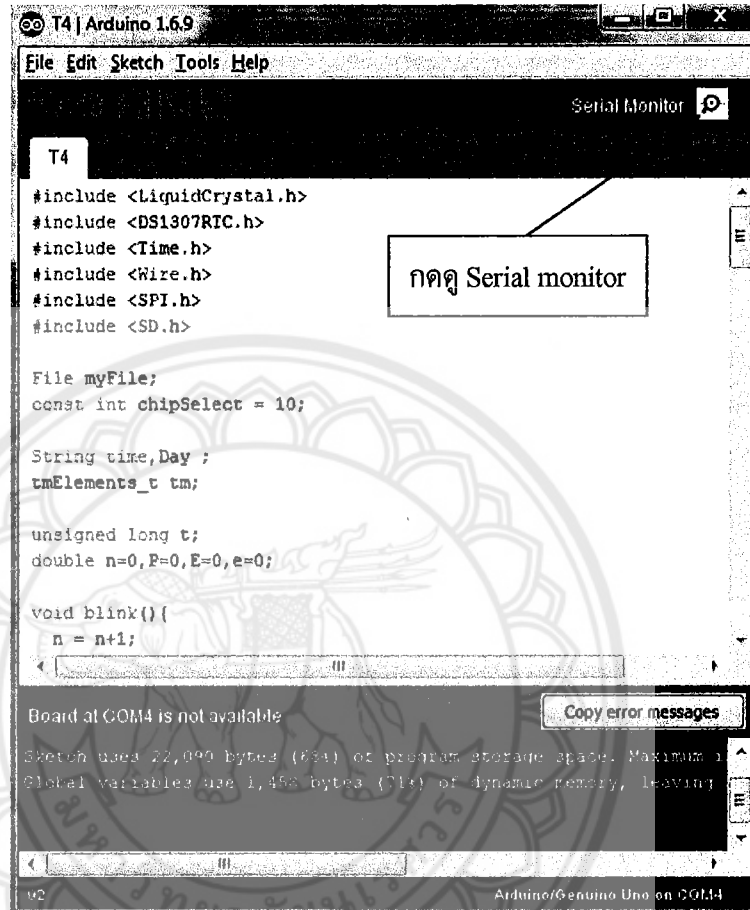
ซึ่งความถี่ที่ได้มีความใกล้เคียงกับความถี่จากออสซิลอสโคปที่มีค่า 19.23 Hz

3) อัตราส่วนตัวคูณ จากเอกสารข้อมูล ADE7755 จะมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของจำนวนพัลส์กับกำลังไฟฟ้าจริง ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ 2.7

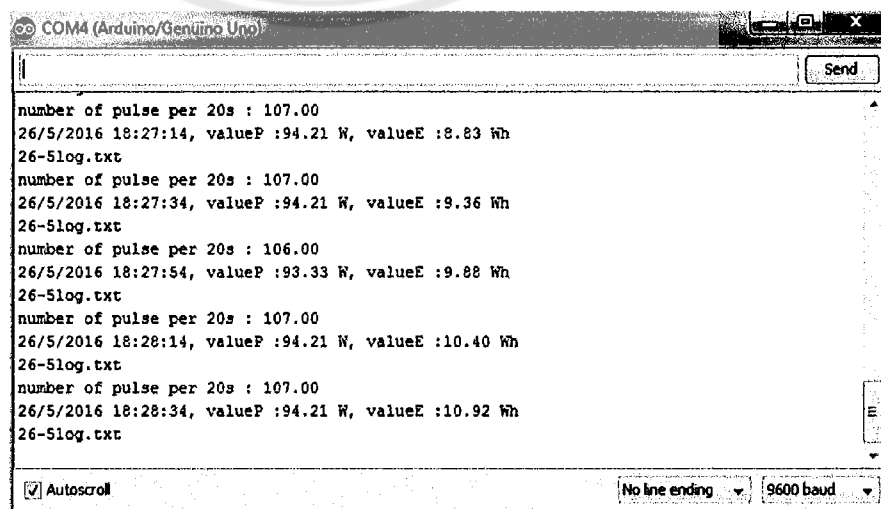
จากตัวอย่างการคำนวณความถี่เอาต์พุต CF จะเห็นว่า ความถี่ที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นยังไม่ใช่ค่ากำลังไฟฟ้าจริง จึงต้องมีการคำนวณอัตราส่วนตัวคูณที่ใส่คูณเข้าไปเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ ซึ่งอัตราส่วนตัวคูณนี้อาจเกิดจากการใช้ CT ที่มีขนาดไม่เท่ากับวงจรทดสอบในเอกสารข้อมูล ADE7755

การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนสำหรับใช้ในเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น จะนำโหลดไฟขนาดต่างๆ มาต่อเป็นวงจร โดยนำสายไฟต่อกับขั้วของโหลดที่ต้องการวัดค่า จากนั้นต่อสายซีเรียล (Serial) เข้ากับคอมพิวเตอร์ และเปิดโปรแกรม Arduino (IDE) 1.6.9 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับเขียนโค้ดให้บอร์ด Arduino และกดดู Serial monitor ซึ่งจากโปรแกรมที่เขียนไว้จะแสดงจำนวนพัลส์ทุก 20 วินาที ดังรูปที่

3.12 และรูปที่ 3.13 ตามลำดับ นำจำนวนพัลส์ที่ได้นี้ไปคำนวณกับขนาดวัตต์ของภาระความต้านทาน หลอดไฟที่คำนวณค่าจากเครื่องมือวัดอ้างอิง เพื่อหาค่าอัตราส่วนตัวคูณต่อไป



รูปที่ 3.12 แสดงการกดดู Serial Monitor



รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่าง Serial Monitor

4) ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนตัวคูณ  
สมมติว่าจำนวนพัลส์ในเวลา 20 วินาทีที่อ่านได้จากโปรแกรมมีค่าเท่ากับ 106 พัลส์ และในการหาความถี่ทำได้โดยหาร 20 วินาที จะได้ว่า

$$\text{ความถี่} = 106 / 20 \quad (3.8)$$

$$\text{ความถี่} = 5.3 \text{ Hz} \quad (3.9)$$

และค่าจากเครื่องมือวัดอ้างอิงได้ค่าแรงดัน 229.5 โวลต์ และกระแส 0.40 แอมแปร์ นำมาคำนวณตามสูตรการหาค่ากำลังไฟฟ้าจะได้

$$P = VI \quad (3.10)$$

$$P = 229.5 * 0.40 \quad (3.11)$$

$$P = 91.800 \text{ W} \quad (3.12)$$

ในการหาอัตราส่วนตัวคูณ โดยการนำกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้มาหารกับความถี่ จะได้ว่า

$$\text{อัตราส่วนตัวคูณ} = 91.800 / 5.3 \quad (3.13)$$

$$\text{อัตราส่วนตัวคูณ} = 17.32 \quad (3.14)$$

โดยในการทดลองจะทดลองกับภาระตัวต้านทานโหลดไฟขนาดต่างๆแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเป็นอัตราส่วนตัวคูณในการเขียนโปรแกรมคำนวณต่อไป

### 3.4.2 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า

ในการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้านั้น สามารถหาได้ตามเอกสารข้อมูล ADE7755 ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลส์กับพลังงานไฟฟ้าตามสมการที่ 2.8 จากตัวอย่างการคำนวณความถี่เอาท์พุท CF จะเห็นว่า จำนวนพัลส์ที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นยังไม่ใช้ค่าพลังงานไฟฟ้า ต้องใช้อัตราส่วนตัวคูณเช่นเดียวกับการคำนวณกำลังไฟฟ้าจึงจะได้ค่าพลังงานที่ถูกต้อง และจากหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการคือหน่วย วัตต์\*ชั่วโมง จึงต้องคูณกับ 1/60 นาที\*60 วินาที = 1/3600 เพื่อเป็นการเปลี่ยนหน่วย

### 3.5 กระบวนการทดลอง

ในกระบวนการทดลองจะใช้ภาระความต้านทานที่เป็นหลอดไฟดั่งที่กล่าวในวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าข้างต้น เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นให้มีความเที่ยงตรง แม่นยำ หรือมีความถูกต้อง จะทำการเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง คือ True RMS & Power Clamp Meter ยี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น F09 และ Single-Phase Electronic Meter ยี่ห้อ Mitsubishi

#### 3.5.1 การทดลองกับเครื่องมือวัดอ้างอิง

การทดลองกับเครื่องมือวัดอ้างอิงจะทำโดยการนำหลอดไฟขนาดต่างๆมาต่อเป็นวงจร โดยนำสายไฟต่อกับขั้วของโหนดที่ต้องการวัดค่า จากนั้นจะนำเครื่องมืออ้างอิง True RMS & Power Clamp Meter ยี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น F09 มาวัดค่า โดยนำไปคล้องสายไฟที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของภาระสำหรับการวัดกระแส และนำสายไฟต่อวัดคร่อมที่ขั้วของภาระสำหรับการวัดแรงดัน ดังรูปที่ 3.14 แล้วนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิงดังรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16 มาคำนวณตามสูตรกำลังไฟฟ้าแล้วบันทึกค่าลงในตาราง



รูปที่ 3.14 การวัดค่ากระแสและแรงดัน โดยใช้เครื่อง True RMS & Power Clamp Meter



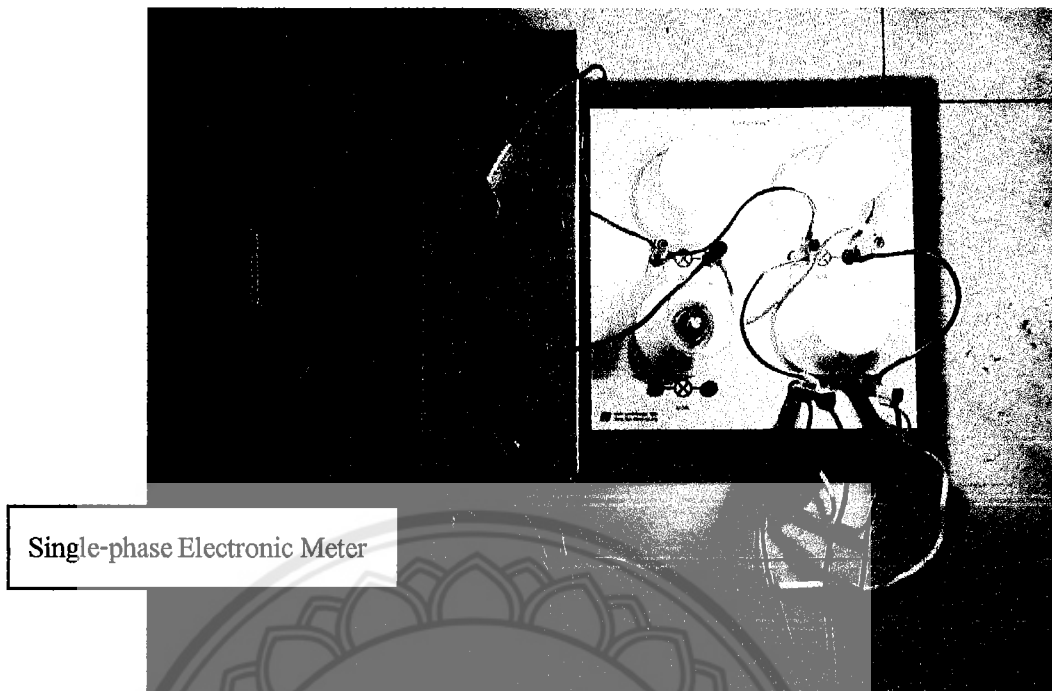


รูปที่ 3.15 การแสดงค่ากระแสบนหน้าจอเครื่อง True RMS & Power Clamp Meter



รูปที่ 3.16 การแสดงค่าแรงดันบนหน้าจอเครื่อง True RMS & Power Clamp Meter

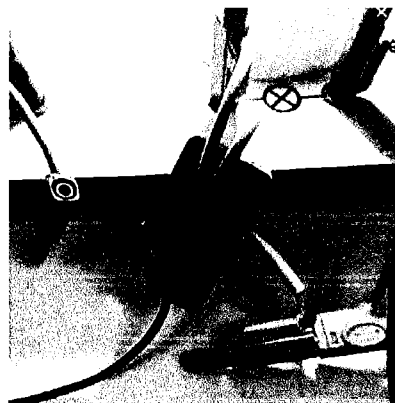
ส่วนเครื่องมืออ้างอิงในการวัดพลังงานคือ Single-Phase Electronic Meter ยี่ห้อ Mitsubishi วัด โดยการต่อสายไฟผ่านเข้าตัวเครื่องมือและออกจากเครื่องมือเข้าวงจรภาระ แล้วนำค่าที่อ่านได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น ดังรูปที่ 3.17



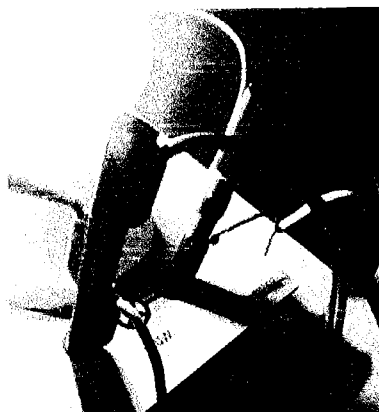
รูปที่ 3.17 รูปแสดงการการวัดค่าพลังงาน และแสดงผลบนหน้าจอบนเครื่อง Single-Phase Electronic Meter

### 3.5.2 การทดลองกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

การทดลองกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นนั้น จะนำหลอดไฟขนาดต่างๆมาต่อเป็นวงจรโดยนำสายไฟต่อกับขั้วของ โหลดที่ต้องการวัดค่า จากนั้นนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นในส่วนของวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้ามาคล้องสายไฟที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของภาระดังรูปที่ 3.18 และในส่วนของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าจะนำสายไฟต่อคร่อมที่ขั้วของวงจรภาระดังรูปที่ 3.19 แล้วนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นที่แสดงผลทางจอ LCD ดังรูปที่ 3.20 บันทึกค่าลงในตารางแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิงต่อไป



รูปที่ 3.18 การวัดค่ากระแสโดยใช้เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.19 การวัดค่าแรงดัน โดยใช้เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.20 การแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้า และพลังงานบนหน้าจอ LCD

### 3.6 สมการที่เกี่ยวข้อง

สมการที่เกี่ยวข้องมีทั้งหมด 3 สมการ คือ สมการหาค่ากำลังไฟฟ้า สมการหาค่าพลังงาน และสมการรวมค่าพลังงาน ในส่วนของสมการหาค่ากำลังไฟฟ้าสามารถหาได้จากจำนวนพัลส์ที่ผ่านในระยะเวลา 20 วินาที (10 – 20 วินาที เป็นระยะเวลาที่ทำให้สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าได้แม่นยำมากพอตามเอกสารข้อมูล ADE7755) ที่หารด้วยเวลา 20 วินาที ซึ่งคือ ความถี่ของสัญญาณพัลส์ แต่ด้วยส่วนที่ใช้ CT และวงจรแบ่งแรงดัน จำเป็นต้องคูณด้วยอัตราส่วนตัวคูณเข้าไป เพื่อให้ได้ค่าออกมาถูกต้อง

การเขียนโปรแกรมจึงทำการนับจำนวนพัลส์นำมหาร 20 และคูณกับอัตราส่วนตัวคูณที่ได้จากการทดลองดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.55 (จากการทดลองในบทที่ 4) จะได้สมการที่เขียนลงในบอร์ด Arduino ดังนี้

$$P = (n / 20) * 17.55 \quad (3.15)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าจริง ในหน่วย วัตต์ (W)  
n คือ จำนวนพัลส์ที่นับได้ใน 20 วินาที

ในส่วนของสมการหาค่าพลังงานสามารถหาได้โดยนำสมการหาค่ากำลังไฟฟ้าไปคูณกับเวลา โดยในที่นี้จะคูณกับเวลา 20 วินาที แต่ในสมการหาค่ากำลังไฟฟ้ามีการหารเวลา 20 วินาทีจึงตัดกันไป และคูณด้วย  $1 / 3600$  เนื่องจากต้องการทำให้อยู่ในหน่วยวัตต์ชั่วโมง (Wh) จะได้สมการที่เขียนลงในบอร์ด Arduino ดังนี้

$$e = (n * 17.55) / 3600 \quad (3.16)$$

เมื่อ  $e$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเวลา 20 วินาที ในหน่วย วัตต์ชั่วโมง (Wh)

$n$  คือ จำนวนพัลส์ที่นับได้ใน 20 วินาที

ซึ่งในโปรแกรมที่เขียนจะมีการปรับค่า  $n$  ให้เท่ากับศูนย์เมื่อคำนวณเสร็จ เพื่อนับค่าพัลส์ในอีก 20 วินาทีถัดไป จึงทำให้ต้องมีการบวกค่าพลังงานเข้ากับค่าพลังงานที่ผ่านมา จึงได้สมการที่เขียนลงในบอร์ด Arduino ดังนี้

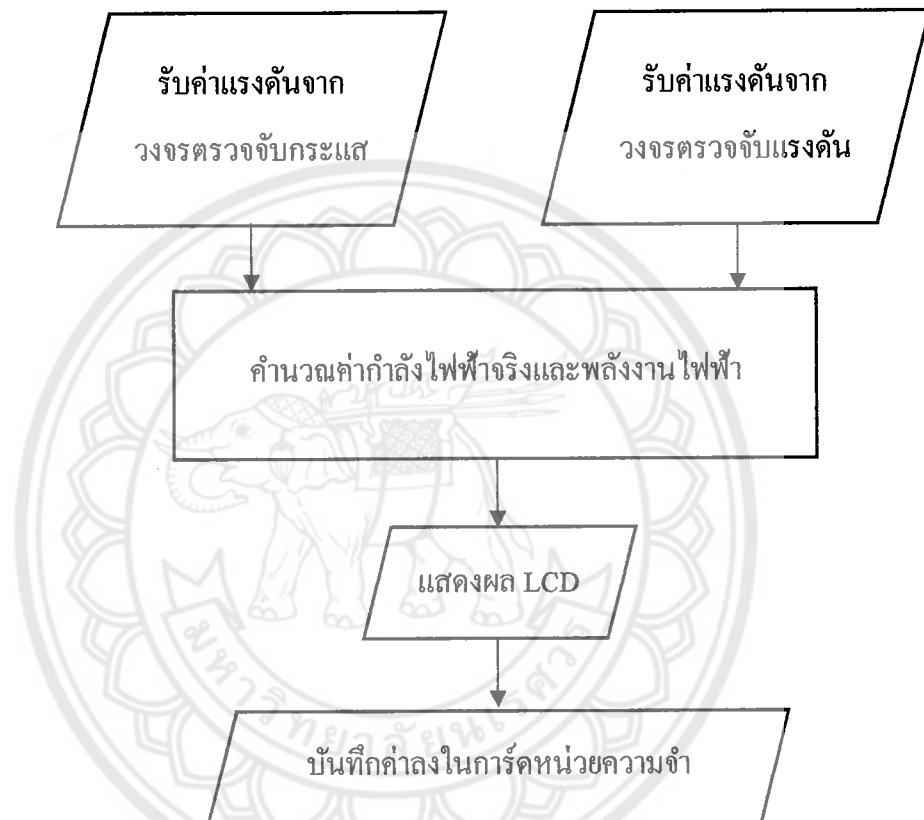
$$E = E + e \quad (3.17)$$

เมื่อ  $E$  คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ในหน่วย วัตต์ชั่วโมง (Wh)

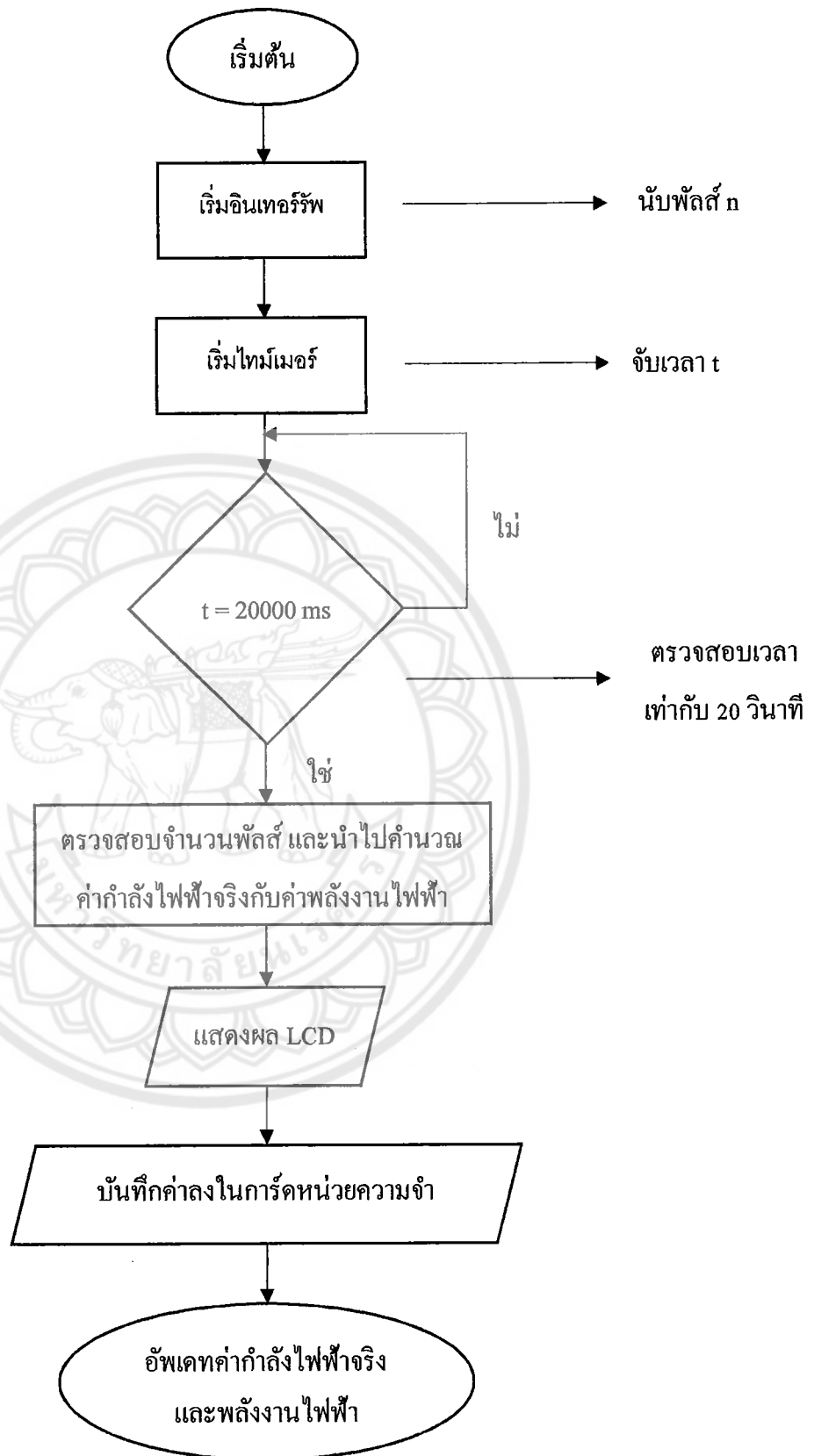
$e$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเวลา 20 วินาที ในหน่วย วัตต์ชั่วโมง (Wh)

### 3.7 การทำงานของโปรแกรม

การทำงานเริ่มจากการรับค่าแรงดันมาจากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เข้าไอซี ADE7755 และนำเอาข้อมูลที่ได้อ่านเข้ามาเข้าส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ คำนวณค่า นำไปแสดงผลบนจอ LCD และบันทึกค่าลงในหน่วยความจำดังรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 โฟลว์ชาร์ตแสดงภาพรวมการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.22 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่าพลังงานไฟฟ้า รวมถึงการแสดงผลและการจัดเก็บข้อมูล

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองจะใช้ภาระความต้านทานที่เป็นหลอดไฟขนาดต่างๆ และตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้ไฟฟ้า 1 เฟส แรงดันไม่เกิน 230 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ กระแสไม่เกิน 1.65 แอมแปร์ ทำการทดลองหาค่า กำลังไฟฟ้า และพลังงาน เปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องมือที่สร้างขึ้น กับเครื่องมือวัดอ้างอิง คือ True RMS & Power Clamp Meter และ Single-phase Electronic Meter ซึ่งมีมาตรฐานในการวัด ที่เที่ยงตรง และเหมาะสมสำหรับนำมาเปรียบเทียบ

#### 4.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนตัวคูณ

ในการทดลองนี้จะนำจำนวนพัลส์ที่ได้จากการต่อภาระความต้านทานใน 20 วินาทีโดยดูจาก หน้าต่าง Serial monitor แสดงในรูปที่ 4.1 มาหาร 20 เพื่อให้ได้จำนวนพัลส์ต่อ 1 วินาทีหรือความถี่ จากนั้นหาขนาดกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง True RMS & Power Clamp Meter โดยคำนวณ ตามสูตรกำลังไฟฟ้า  $P = IV$  แล้วจึงทำการหาอัตราส่วนตัวคูณ โดยการนำกำลังไฟฟ้าที่คำนวณจาก เครื่องมือวัดอ้างอิงหารด้วยความถี่ของพัลส์ที่ออกมา (ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนตัวคูณสามารถดูได้ ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.4.1) การทดลองนี้ใช้ภาระความต้านทานที่เป็นหลอดไฟขนาดต่างๆ ซึ่งต่อเป็นวงจร ขนาด 100 วัตต์, 200 วัตต์, 300 วัตต์, และ 360 วัตต์ และบันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 4.1

```
COM4 (Arduino/Genuino Uno)
20160531.txt
number of pulse per 20s : 105.00
31/05/2016 16:00:42, valueP :92.45 W, valueE :1.37 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 105.00
31/05/2016 16:01:02, valueP :92.45 W, valueE :1.89 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 106.00
31/05/2016 16:01:22, valueP :93.33 W, valueE :2.41 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 106.00
31/05/2016 16:01:42, valueP :93.33 W, valueE :2.93 Wh
20160531.txt
number of pulse per 20s : 106.00
31/05/2016 16:02:02, valueP :93.33 W, valueE :3.44 Wh
20160531.txt
```

รูปที่ 4.1 แสดงหน้าต่าง Serial monitor ขณะต่อภาระความต้านทานหลอดไฟ 100 วัตต์

ตารางที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับอัตราส่วนตัวคูณ

ขนาด ภาระ (W)	จำนวน พัลส์ ในเวลา 20 วินาที	ความถี่ (Hz)	เครื่องมือวัดอ้างอิง			อัตราส่วนตัวคูณ
			แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	
1) 100	106	5.3	229.5	0.40	91.800	17.32
2) 200	216	10.8	228.5	0.84	191.940	17.77
3) 300	329	16.45	228.1	1.27	289.687	17.61
4) 360	398	19.90	227.8	1.53	348.534	17.51

เมื่อได้ค่าอัตราส่วนตัวคูณของภาระต่างๆแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ยตามสมการที่ 4.1

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $X_i$  แทน ค่าสังเกตของข้อมูลลำดับที่  $i$

$N$  แทน จำนวนตัวอย่างข้อมูล

จากสมการที่ 4.1 จะได้ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนตัวคูณ คือ

$$(17.32 + 17.77 + 17.61 + 17.51) / 4 = 17.55 \quad (4.2)$$

และจากค่าเฉลี่ยอัตราส่วนตัวคูณนี้จะนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมในการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงและพลังงานไฟฟ้าต่อไป

## 4.2 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้า

### 4.2.1 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากภาระความต้านทาน

ในการทดลองใช้ภาระความต้านทานที่เป็นหลอดไฟขนาดต่างๆ โดยนำมาต่อเป็นวงจรด้วยขนาดดังนี้ 60 วัตต์, 160 วัตต์, 260 วัตต์, และ 360 วัตต์ ซึ่งจะนำค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น



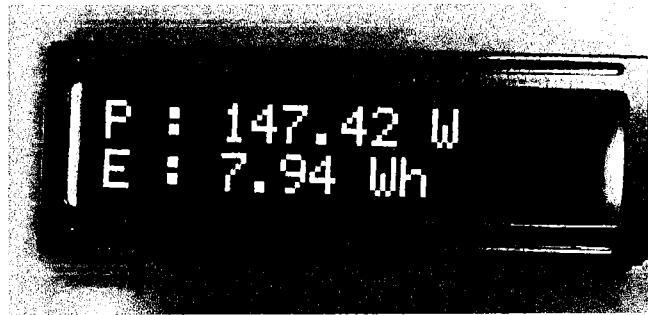
และค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง True RMS & Power Clamp Meter บันทึกลงในตารางที่ 4.2 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากสมการดังนี้

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = \left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น} - \text{ค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง}}{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง}} \right| \times 100 \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาระความต้านทานต่างๆ

ขนาด ภาระ (W)	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือ วัดที่สร้าง ขึ้น	เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (%)
	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	กำลัง ไฟฟ้า ปรากฏ (VA)	กำลัง ไฟฟ้า เสมือน (VAR)	ตัว ประกอบ กำลัง ไฟฟ้า	กำลัง ไฟฟ้า (W)	
1) 60	226.3	0.25	52	101	82	0.52	56.16	8.000
2) 160	225.4	0.80	146	169	82	0.88	147.42	0.973
3) 260	224.8	1.09	242	256	86	0.95	243.94	0.802
4) 360	224.1	1.50	335	345	88	0.97	336.96	0.585

จากการทดลองเห็นว่าเมื่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor : PF) มีค่าน้อยจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนมาก และเมื่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนก็จะลดลง และจะเห็นว่ามีการเกิดกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power : Q) เกิดขึ้น กำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากภาระตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ จากการที่ใช้ภาระความต้านทานแล้วมีกำลังไฟฟ้าเสมือน อาจเกิดจากสายไฟและขั้วต่อของหลอดไฟทำให้เกิดเป็นผลจากการเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าจอ LCD ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟ 160 วัตต์



รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอ True RMS & Power Clamp Meter ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟ 160 วัตต์

#### 4.2.2 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากภาระตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

ในการทดลองใช้ภาระความต้านทานที่เป็นโหลดไฟขนาดต่างๆ ต่อเข้ากับภาระตัวเหนี่ยวนำ 5 Steps และ 8 Steps โดยนำมาต่อเป็นวงจรด้วยขนาดดังนี้ 60 วัตต์, 160 วัตต์, 260 วัตต์, และ 300 วัตต์ ซึ่งจะนำค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นและค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง True RMS & Power Clamp Meter บันทึกกลงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาระความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 5 สเต็ป

ขนาด ภาระ (W)	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือ วัดที่สร้าง ขึ้น	เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (%)
	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	กำลัง ไฟฟ้า ปรากฏ (VA)	กำลัง ไฟฟ้า เสมือน (VAR)	ตัว ประกอบ กำลัง ไฟฟ้า	กำลัง ไฟฟ้า (W)	
1) 60	226.4	0.48	65	143	126	0.45	83.36	28.246
2) 160	225.9	0.83	158	199	123	0.79	176.38	11.633
3) 260	224.8	1.20	255	283	121	0.89	270.27	5.998
4) 300	225.0	1.34	289	313	124	0.92	304.49	5.359

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาระความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป

ขนาด ภาระ (W)	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือ วัดที่สร้าง ขึ้น	เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (%)
	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	กำลัง ไฟฟ้า ปรากฏ (VA)	กำลัง ไฟฟ้า เสมือน (VAR)	ตัว ประกอบ กำลัง ไฟฟ้า	กำลัง ไฟฟ้า (W)	
1) 60	226.3	0.73	71	176	166	0.40	98.28	38.422
2) 160	225.9	0.99	165	235	169	0.70	192.17	16.466
3) 260	225.1	1.33	259	311	169	0.84	286.90	10.772
4) 300	224.4	1.47	294	335	170	0.87	321.16	9.238

จากการทดลองจะเห็นว่า การเพิ่มสเต็ปของตัวเหนี่ยวนำมีผลให้กำลังไฟฟ้าเสมือนเพิ่มขึ้น จากค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าลดลง และเมื่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าลดลงจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น จะเห็นว่า ค่าตัวประกอบที่เหมาะสมสำหรับ เครื่องมือวัดนี้ ต้องมีค่ามากกว่า 0.9



รูปที่ 4.4 แสดงหน้าจอ LCD ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟ 300 วัตต์ ตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป



รูปที่ 4.5 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริง (P) บนหน้าจอ True RMS & Power Clamp Meter ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟ 300 วัตต์ ตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป



รูปที่ 4.6 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) บนหน้าจอ True RMS & Power Clamp Meter ที่ภาระความต้านทานโหลดไฟ 300 วัตต์ ตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป

#### 4.2.3 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากภาระตัวเหนี่ยวนำ

ในการทดลองใช้ภาระที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป นำค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น และค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง True RMS & Power Clamp Meter บันทึกลงในตารางที่ 4.5 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาระตัวเหนี่ยวนำ 8 สเต็ป

ขนาด ภาระ (W)	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือ วัดที่สร้าง ขึ้น	เปอร์เซ็นต์ ความคลาด เคลื่อน (%)
	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	กำลัง ไฟฟ้า ปรากฏ (VA)	กำลัง ไฟฟ้า เสมือน (VAR)	ตัว ประกอบ กำลัง ไฟฟ้า	กำลัง ไฟฟ้า (W)	
8 สเต็ป	226.3	0.73	16	167	166	0.10	42.12	163.25

จากการทดลองเห็นว่าจากการที่ไม่มีภาระตัวด้านทานทำให้ได้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำมาก จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง

### 4.3 ผลการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

#### 4.3.1 ผลการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากภาระความต้านทาน

การทดลองวัดค่าพลังงานใช้ภาระความต้านทานที่เป็นหลอดไฟต่อเป็นวงจรภาระขนาด 300 วัตต์ (ขนาดบนตัวหลอด) ทดลองเปิดเครื่องมือวัดทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน นำค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง Single-phase Electronic Meter เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมา แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดอ้างอิง มีการแสดงผลต่อจากค่าล่าสุดตอนปิดเครื่อง จึงต้องคำนวณ โดยนำค่าที่อ่านได้เมื่อเปิดทิ้งไว้ 1 วัน ลบ ค่าที่อ่านได้เมื่อเปิดเครื่อง จะได้ผลต่างคือค่าพลังงานที่เปลี่ยนไป แสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$140.0 \text{ (kWh)} - 147.0 \text{ (kWh)} = 7.0 \text{ (kWh)} \text{ หรือ } 7000 \text{ (Wh)}$$

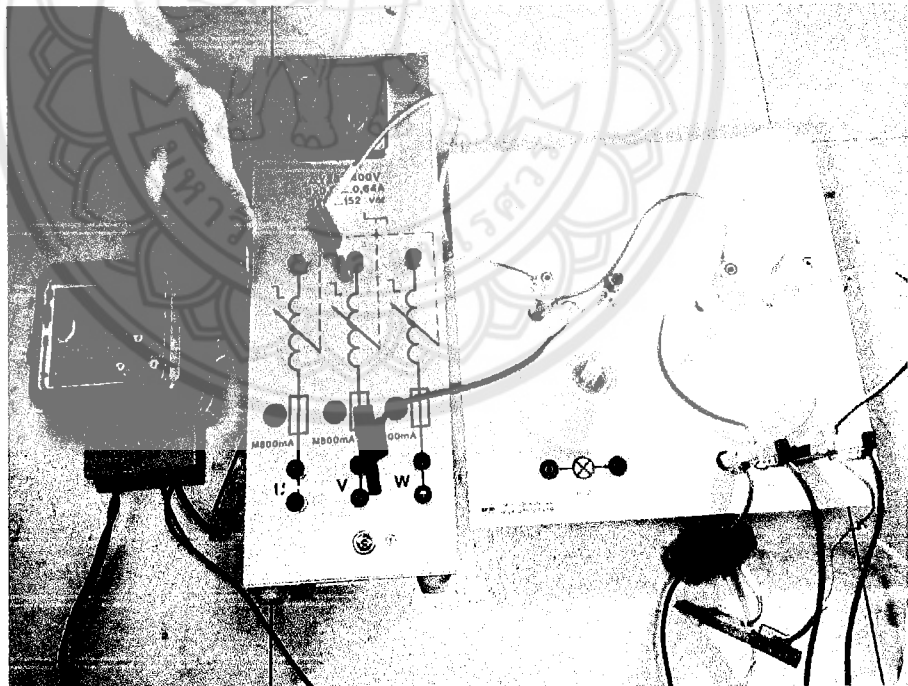
ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นสามารถอ่านได้จากจอ LCD เมื่อเปิดทิ้งไว้ 1 วันได้เลย เนื่องจากได้ทำการรีเซ็ตค่าพลังงานไฟฟ้าให้เป็นศูนย์ก่อนทำการทดลอง จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่าจากเครื่องมืออ้างอิงกับค่าจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น บันทึกค่าได้ตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับ เครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาระความต้านทานที่เป็นหลอดไฟขนาด 300 วัตต์

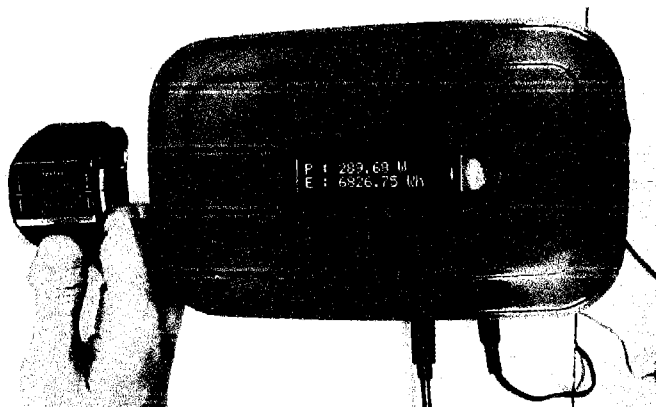
ค่าพลังงานไฟฟ้า (Wh)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
เครื่องมือวัดอ้างอิง	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	
7000.00	6826.75	2.475



รูปที่ 4.7 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาวะความต้านทานในวันที่ 2 มิถุนายน 2559



รูปที่ 4.8 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาวะความต้านทานในวันที่ 3 มิถุนายน 2559



รูปที่ 4.9 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นที่ภาวะความต้านทานในวันที่ 3 มิถุนายน 2559

#### 4.3.2 ผลการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากภาวะความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

การทดลองวัดค่าพลังงานใช้ภาวะความต้านทานที่เป็นโหลดไฟต่อเนื่องขนาด 300 วัตต์ และต่อกับภาวะตัวเหนี่ยวนำ ทดลองเปิดเครื่องมือวัดทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน นำค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง Single-phase Electronic Meter เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมา แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดอ้างอิงมีการแสดงผลต่อจากค่าล่าสุดตอนปิดเครื่อง จึงต้องคำนวณ โดยนำค่าที่อ่านได้เมื่อเปิดทิ้งไว้ 1 วัน ลบค่าที่อ่านได้เมื่อเปิดเครื่อง จะได้ผลต่างคือค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงการคำนวณได้ดังนี้

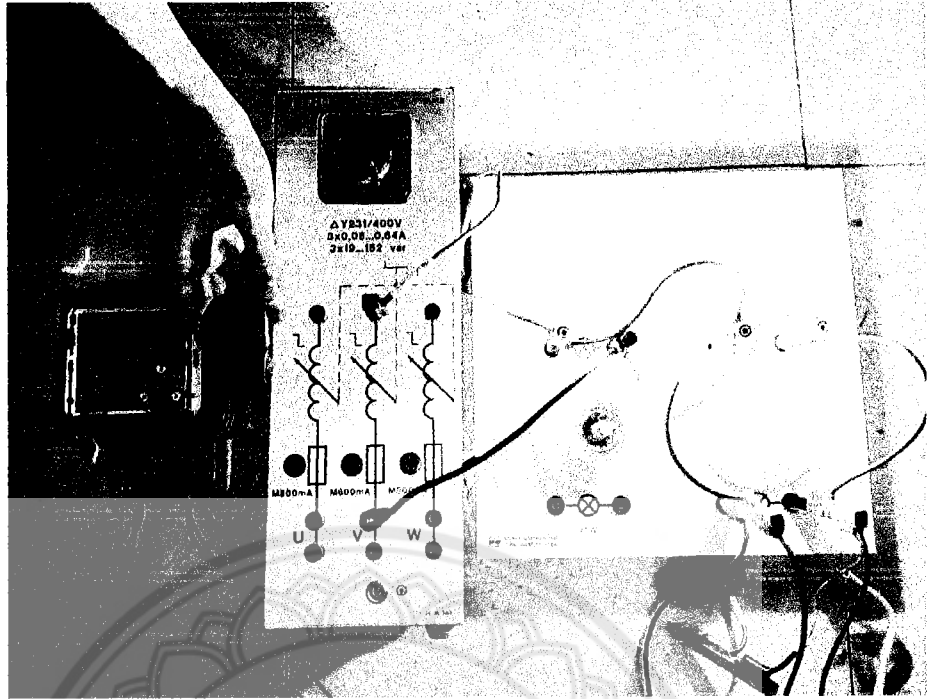
$$154.6 \text{ (kWh)} - 147.1 \text{ (kWh)} = 7.5 \text{ (kWh)} \text{ หรือ } 7500 \text{ (Wh)}$$

ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นสามารถอ่านได้จากจอ LCD เมื่อเปิดทิ้งไว้ 1 วัน ได้เลย เนื่องจากได้ทำการรีเซ็ตค่าพลังงานไฟฟ้าให้เป็นศูนย์ก่อนทำการทดลอง จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่าจากเครื่องมืออ้างอิงกับค่าจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น บันทึกค่าได้ตามตารางที่ 4.7

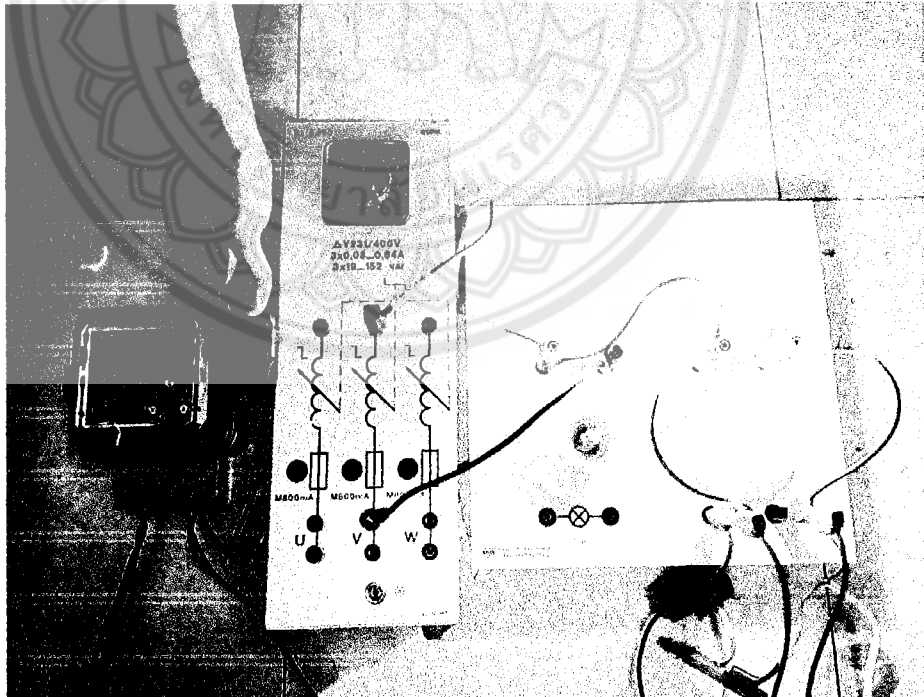
ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาวะความต้านทานที่เป็นโหลดไฟขนาด 300 วัตต์ และตัวเหนี่ยวนำ 8 สแต็ป

ค่าพลังงานไฟฟ้า (Wh)		เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
เครื่องมือวัดอ้างอิง	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	
7500.00	7879.36	5.058





รูปที่ 4.10 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาระความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 8 สตีป  
ในวันที่ 3 มิถุนายน 2559



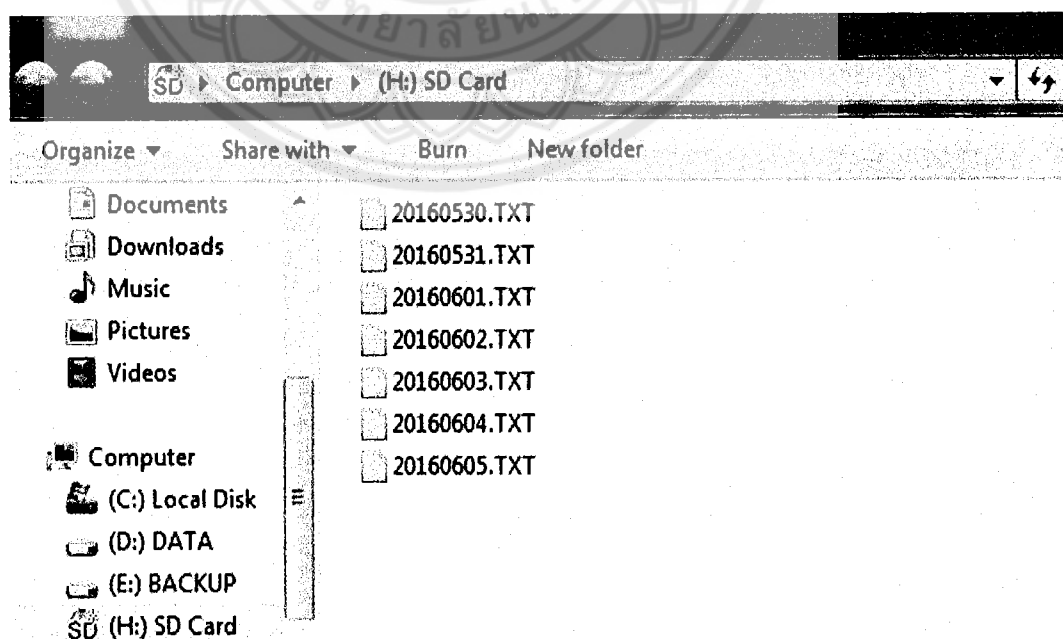
รูปที่ 4.11 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดอ้างอิงที่ภาระความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 8 สตีป  
ในวันที่ 4 มิถุนายน 2559



รูปที่ 4.12 แสดงค่าที่อ่านจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นที่ภาวะความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ 8 สตีป  
ในวันที่ 4 มิถุนายน 2559

#### 4.4 ผลการทดลองการเก็บข้อมูล

จากการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ทำการทดลองโดยใช้โหลดความต้านทานหลอดไฟขนาด 300 วัตต์ ทดลองเปิดเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน โปรแกรมที่เขียนจะสั่งให้บันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำทุกๆ 20 วินาที โดยจะบันทึกเป็นค่าเวลา กำลังไฟฟ้าจริง และพลังงาน เมื่อขึ้นวันใหม่โปรแกรมจะสั่งให้สร้างไฟล์ใหม่ที่มีชื่อไฟล์เป็น ปี เดือน และวันที่ ที่เวลาจริงตอนนั้น และบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ใหม่ แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.13 แสดงไฟล์ในหน่วยความจำ

20160602.TXT - Notepad

File	Edit	Format	View	Help
02/06/2016	16:31:36	, valueP :289.68 W,	valueE :1.60 wh	
02/06/2016	16:31:56	, valueP :287.92 W,	valueE :3.20 wh	
02/06/2016	16:32:16	, valueP :287.92 W,	valueE :4.79 wh	
02/06/2016	16:32:36	, valueP :288.80 W,	valueE :6.39 wh	
02/06/2016	16:32:56	, valueP :288.80 W,	valueE :7.99 wh	
02/06/2016	16:33:16	, valueP :288.80 W,	valueE :9.59 wh	
02/06/2016	16:33:36	, valueP :288.80 W,	valueE :11.19 wh	
02/06/2016	16:33:56	, valueP :288.80 W,	valueE :12.79 wh	
02/06/2016	16:34:16	, valueP :288.80 W,	valueE :14.39 wh	
02/06/2016	16:34:36	, valueP :289.68 W,	valueE :15.99 wh	
02/06/2016	16:34:56	, valueP :288.80 W,	valueE :17.59 wh	
02/06/2016	16:35:16	, valueP :288.80 W,	valueE :19.19 wh	
02/06/2016	16:35:36	, valueP :288.80 W,	valueE :20.79 wh	
02/06/2016	16:35:56	, valueP :288.80 W,	valueE :22.39 wh	
02/06/2016	16:36:16	, valueP :288.80 W,	valueE :23.98 wh	
02/06/2016	16:36:36	, valueP :288.80 W,	valueE :25.58 wh	
02/06/2016	16:36:56	, valueP :289.68 W,	valueE :27.19 wh	
02/06/2016	16:37:16	, valueP :288.80 W,	valueE :28.79 wh	
02/06/2016	16:37:36	, valueP :289.68 W,	valueE :30.39 wh	
02/06/2016	16:37:56	, valueP :288.80 W,	valueE :31.99 wh	
02/06/2016	16:38:16	, valueP :289.68 W,	valueE :33.59 wh	
02/06/2016	16:38:36	, valueP :289.68 W,	valueE :35.20 wh	
02/06/2016	16:38:56	, valueP :288.80 W,	valueE :36.80 wh	
02/06/2016	16:39:16	, valueP :288.80 W,	valueE :38.40 wh	
02/06/2016	16:39:36	, valueP :288.80 W,	valueE :39.99 wh	
02/06/2016	16:39:56	, valueP :289.68 W,	valueE :41.60 wh	
02/06/2016	16:40:16	, valueP :288.80 W,	valueE :43.20 wh	
02/06/2016	16:40:36	, valueP :289.68 W,	valueE :44.80 wh	
02/06/2016	16:40:56	, valueP :288.80 W,	valueE :46.40 wh	
02/06/2016	16:41:16	, valueP :289.68 W,	valueE :48.00 wh	
02/06/2016	16:41:36	, valueP :288.80 W,	valueE :49.60 wh	
02/06/2016	16:41:56	, valueP :289.68 W,	valueE :51.21 wh	
02/06/2016	16:42:16	, valueP :289.68 W,	valueE :52.81 wh	
02/06/2016	16:42:36	, valueP :289.68 W,	valueE :54.41 wh	
02/06/2016	16:42:56	, valueP :289.68 W,	valueE :56.02 wh	
02/06/2016	16:43:16	, valueP :289.68 W,	valueE :57.62 wh	
02/06/2016	16:43:36	, valueP :289.68 W,	valueE :59.23 wh	
02/06/2016	16:43:56	, valueP :289.68 W,	valueE :60.83 wh	
02/06/2016	16:44:16	, valueP :288.80 W,	valueE :62.43 wh	
02/06/2016	16:44:36	, valueP :289.68 W,	valueE :64.03 wh	
02/06/2016	16:44:56	, valueP :289.68 W,	valueE :65.64 wh	

รูปที่ 4.14 แสดงข้อมูลที่บันทึกในไฟล์วันที่ 2 มิถุนายน 2559

0160503.TXT - Notepad

File Edit Format View Help

03/06/2016	16:21:21,	valueP :289.68	w,	valueE :6765.82	wh
03/06/2016	16:21:41,	valueP :288.80	w,	valueE :6767.42	wh
03/06/2016	16:22:01,	valueP :288.80	w,	valueE :6769.02	wh
03/06/2016	16:22:21,	valueP :287.92	w,	valueE :6770.61	wh
03/06/2016	16:22:41,	valueP :288.80	w,	valueE :6772.21	wh
03/06/2016	16:23:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6773.81	wh
03/06/2016	16:23:21,	valueP :288.80	w,	valueE :6775.41	wh
03/06/2016	16:23:41,	valueP :289.68	w,	valueE :6777.02	wh
03/06/2016	16:24:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6778.62	wh
03/06/2016	16:24:21,	valueP :289.68	w,	valueE :6780.22	wh
03/06/2016	16:24:41,	valueP :289.68	w,	valueE :6781.83	wh
03/06/2016	16:25:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6783.43	wh
03/06/2016	16:25:21,	valueP :289.68	w,	valueE :6785.04	wh
03/06/2016	16:25:41,	valueP :289.68	w,	valueE :6786.64	wh
03/06/2016	16:26:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6788.24	wh
03/06/2016	16:26:21,	valueP :288.80	w,	valueE :6789.84	wh
03/06/2016	16:26:41,	valueP :288.80	w,	valueE :6791.44	wh
03/06/2016	16:27:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6793.05	wh
03/06/2016	16:27:21,	valueP :289.68	w,	valueE :6794.65	wh
03/06/2016	16:27:41,	valueP :288.80	w,	valueE :6796.25	wh
03/06/2016	16:28:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6797.85	wh
03/06/2016	16:28:21,	valueP :288.80	w,	valueE :6799.45	wh
03/06/2016	16:28:41,	valueP :289.68	w,	valueE :6801.06	wh
03/06/2016	16:29:01,	valueP :288.80	w,	valueE :6802.66	wh
03/06/2016	16:29:21,	valueP :289.68	w,	valueE :6804.26	wh
03/06/2016	16:29:41,	valueP :289.68	w,	valueE :6805.86	wh
03/06/2016	16:30:01,	valueP :290.57	w,	valueE :6807.47	wh
03/06/2016	16:30:21,	valueP :289.68	w,	valueE :6809.08	wh
03/06/2016	16:30:41,	valueP :290.57	w,	valueE :6810.69	wh
03/06/2016	16:31:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6812.29	wh
03/06/2016	16:31:21,	valueP :290.57	w,	valueE :6813.90	wh
03/06/2016	16:31:41,	valueP :289.68	w,	valueE :6815.50	wh
03/06/2016	16:32:01,	valueP :290.57	w,	valueE :6817.11	wh
03/06/2016	16:32:21,	valueP :289.68	w,	valueE :6818.72	wh
03/06/2016	16:32:41,	valueP :289.68	w,	valueE :6820.32	wh
03/06/2016	16:33:01,	valueP :290.57	w,	valueE :6821.93	wh
03/06/2016	16:33:21,	valueP :290.57	w,	valueE :6823.54	wh
03/06/2016	16:33:41,	valueP :290.57	w,	valueE :6825.15	wh
03/06/2016	16:34:01,	valueP :289.68	w,	valueE :6826.75	wh
03/06/2016	16:34:21,	valueP :290.57	w,	valueE :6828.36	wh
03/06/2016	16:34:41,	valueP :290.57	w,	valueE :6829.97	wh

รูปที่ 4.15 แสดงข้อมูลที่บันทึกในไฟล์วันที่ 3 มิถุนายน 2559

The image shows two screenshots of a Notepad++ window displaying log data. The top screenshot shows data for June 2, 2016, and the bottom screenshot shows data for June 3, 2016. The data is presented in a table format with columns for date, time, power (valueP), work (w), energy (valueE), and units (wh).

Date	Time	valueP	w	valueE	wh
02/06/2016	23:56:43	285.28	w	2117.36	wh
02/06/2016	23:57:03	285.28	w	2118.94	wh
02/06/2016	23:57:23	285.28	w	2120.52	wh
02/06/2016	23:57:43	285.28	w	2122.10	wh
02/06/2016	23:58:03	286.16	w	2123.69	wh
02/06/2016	23:58:23	286.16	w	2125.27	wh
02/06/2016	23:58:43	285.28	w	2126.85	wh
02/06/2016	23:59:03	285.28	w	2128.43	wh
02/06/2016	23:59:23	285.28	w	2130.01	wh
02/06/2016	23:59:43	286.16	w	2131.60	wh
03/06/2016	00:00:03	285.28	w	2133.18	wh
03/06/2016	00:00:23	285.28	w	2134.76	wh
03/06/2016	00:00:43	285.28	w	2136.33	wh
03/06/2016	00:01:03	286.16	w	2137.92	wh
03/06/2016	00:01:23	285.28	w	2139.50	wh
03/06/2016	00:01:43	285.28	w	2141.08	wh
03/06/2016	00:02:04	285.28	w	2142.66	wh
03/06/2016	00:02:24	285.28	w	2144.24	wh
03/06/2016	00:02:44	284.40	w	2145.81	wh
03/06/2016	00:03:04	285.28	w	2147.39	wh

รูปที่ 4.16 แสดงการสร้างไฟล์เมื่อเริ่มวันใหม่

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสร้างเครื่องมือวัดและบันทึกค่าปริมาณทางไฟฟ้า คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่าพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ไอซี ADE7755 ซึ่งนำเอาตัวตรวจจับกระแสและตัวตรวจจับแรงดัน มาเป็นตัวตรวจจับสัญญาณให้กับไอซีดังกล่าว เพื่อนำมาหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่าพลังงานไฟฟ้า ออกมา จากค่าที่วัดได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นและค่าจากเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่ทำการเปลี่ยนโหลดต่างๆ นั้น พบว่า

จากการทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ภาระเป็นตัวต้านทาน มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.585 – 8.000 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า มีผลแปรผกผันกับค่าความคลาดเคลื่อน คือ เมื่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนจะลดลง การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ภาระเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 5.359 – 38.423 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามากขึ้นจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้ภาระตัวต้านทานอย่างเดียว การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ภาระเป็นตัวเหนี่ยวนำพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากอยู่ที่ 163.256 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.10 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก จากมาตรฐานค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ทางการไฟฟ้ากำหนดให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีต้องมากกว่า 0.85 ซึ่งจากการทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่ามากกว่า 0.85 ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองหาค่าพลังงานที่ใช้ภาระเป็นตัวต้านทาน มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.475 เปอร์เซ็นต์ การทดลองหาค่าพลังงานที่ใช้ภาระเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 5.0580 เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนนี้มาจากการหาค่ากำลังไฟฟ้าซึ่งมีความคลาดเคลื่อนอยู่แล้ว เมื่อนำค่ามาคำนวณเป็นพลังงานจึงเกิดความคลาดเคลื่อน และเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นจะมีการเทียบค่ากับเครื่องมือวัดอ้างอิง True RMS & Power Clamp Meter เมื่อนำมาใช้วัดพลังงานเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง Single-Phase Electronic Meter จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ และการแสดงผลบนจอของเครื่องมือวัดอ้างอิง Single-Phase Electronic Meter จะแสดงเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง ในหน่วย กิโลวัตต์ชั่วโมง การอ่านค่าจึงอ่านได้ไม่ละเอียดแล้วทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางการไฟฟ้าส่งมามีระดับแรงดันอยู่ระหว่าง 220 โวลต์ กับ 230 โวลต์ จากการทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าจะเห็นว่าระดับแรงดันจะอยู่ที่ 224.1 – 229.5 โวลต์ ค่าแรงดันที่ไม่สม่ำเสมอนี้ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเช่นกัน

## 5.2 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

1. สายไฟ มีผลกระทบต่อคริสตัลที่ทำหน้าที่สร้างความถี่ให้กับตัวไอซี ADE7755 ส่งผลให้จำนวนพัลส์ที่ออกมาจากเอาต์พุตมีความผิดเพี้ยนไปจากเอกสารข้อมูล ทำให้ไม่สามารถคำนวณความถี่เอาต์พุต หรือไม่สามารถตีความจากเอาต์พุตที่ออกมาได้ ซึ่งผลกระทบนี้อาจเกิดจากอยู่ใกล้สนามแม่เหล็ก แก้ไขได้โดยนำออกห่างจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นอย่างน้อย 10 เซนติเมตร

2. ค่าตัวประกอบกำลังที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นคือ 0.9 ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังตามบ้าน หรืออาคาร โดยทั่วไปอาจมีค่าต่ำกว่านี้ เกิดจากภาระส่วนใหญ่เป็นตัวเหนี่ยวนำ ทำให้มุมเฟสของกระแสล่าหลังแรงดัน (Lagging) ความต่างระหว่างมุมเฟสของกระแสกับแรงดันนี้จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำลง โดยมีแนวทางแก้ไขปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มากขึ้นได้ด้วยการใช้ตัวเก็บประจุ ผลของตัวเก็บประจุจะทำให้มุมเฟสของกระแสหน้าหน้าแรงดัน (Leading) ความต่างระหว่างมุมเฟสของกระแสกับแรงดันจะลดลง จึงทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

## 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาต่อไปได้ โดยอาจจะออกแบบโปรแกรมคำนวณค่ากำลังและพลังงาน ได้อย่างแม่นยำขึ้น เพิ่มขนาดของการวัดค่าให้มากขึ้น การจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในไฟล์รูปแบบอื่นที่ทำให้สามารถนำข้อมูลออกไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย หรืออาจพัฒนาเพิ่มส่วนต่างๆของวงจร เช่น การส่งข้อมูลระยะไกล การฝากข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.analog.com/> โดยบริษัท Analog Device เรื่อง ไอซี ADE7755 EN [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7755.pdf>
- [2] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง SPI Library [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>
- [3] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง LiquidCrystal Library [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>
- [4] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง Language Reference [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>
- [5] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง Data Logger Shield [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/overview>
- [6] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง Arduino Time Library [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/Code/Time>
- [7] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง EEPROM Library [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/EEPROM>
- [8] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง Wire Library [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>
- [9] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง SD Library [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/SD>
- [10] <https://www.arduino.cc/> โดยบริษัท ARDUINO.CC เรื่อง DS1307RTC Library [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [http://www.pjrc.com/teensy/td\\_libs\\_DS1307RTC.html](http://www.pjrc.com/teensy/td_libs_DS1307RTC.html)





```

#include <LiquidCrystal.h> //ไลบรารีคำสั่งจอLCD
#include <DS1307RTC.h> //ไลบรารีที่ต้องติดตั้งเพิ่มแสดงรายละเอียดท้ายโปรแกรม
#include <Time.h> //ไลบรารีที่ต้องติดตั้งเพิ่มแสดงรายละเอียดท้ายโปรแกรม
#include <Wire.h> //ไลบรารีการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์I2C/TWI
#include <SPI.h> //ไลบรารีการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์SPI
#include <SD.h> //ไลบรารีการ์ดหน่วยความจำ
#include <EEPROM.h> //ไลบรารีหน่วยความจำEEPROMในบอร์ดarduino

//กำหนดตัวแปรต่างๆ

File myFile;

const int chipSelect = 10;

String time,Day ;

tmElements_t tm;

int a = 0;

unsigned long t;

double n=0,P=0,E=0,c=0;

//สร้างฟังก์ชันนับจำนวนพัลส์

void blink(){

    n = n+1;}

//สร้างฟังก์ชันเขียนข้อมูลลงการ์ดหน่วยความจำ

void WriteText(String txt) {//เปิดไฟล์ชื่อตามตัวแปรสตริงtxtที่รับค่ามา

    myFile = SD.open(txt, FILE_WRITE);

    if (myFile) {

        //ถ้าเปิดไฟล์ได้ให้เขียนตัวแปรสตริงtimeลงในไฟล์

        myFile.println(time);

        myFile.close();

    }

    else {

        //ถ้าเปิดไฟล์ไม่ได้ให้แสดงผล

```

```

        Serial.println("error opening txt");
    }
}

//สร้างตัวแปรสตริงเวลาNow()
String Now(){
    String time = "";
    if (RTC.read(tm) ) {//ถ้าสามารถอ่านข้อมูลจากRTCได้สร้างตัวแปรสตริงtime
        if(tm.Day<10) {time+="0";}
        time+=tm.Day;
        time+="/";
        if(tm.Month<10) {time+="0";}
        time+=tm.Month;
        time+="/";
        time+=tm.YearToCalendar(tm.Year);
        time+=" ";
        if(tm.Hour<10) {time+="0";}
        time+=tm.Hour;
        time+=":";
        if(tm.Minute<10) {time+="0";}
        time+=tm.Minute;
        time+=":";
        if(tm.Second<10) {time+="0";}
        time+=tm.Second;
        time+=",";
    }
    else {//ถ้าไม่สามารถอ่านข้อมูลจากRTCให้แสดงผล
        time = "NO";
        if (RTC.chipPresent()) {

```

```

        Serial.println("The DS1307 is stopped. Please run the SetTime");
        Serial.println("example to initialize the time and begin running.");
        Serial.println(); }
    else {
        Serial.println("DS1307 read error! Please check the circuitry.");
        Serial.println();
    }
}

return time;
}

//กำหนดค่าสำหรับติดต่อกับจอLCD
LiquidCrystal lcd(8, 9, 7, 6, 5, 3);
void setup() {
    //กำหนดขนาดของจอLCD และการแสดงผลเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor(5, 0);
    lcd.print("Welcom");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Please wait...");
    //กำหนดอินเทอร์รัพท์ที่0 ทำฟังก์ชันblink เมื่อเจอขอบขาลง
    attachInterrupt(0, blink, FALLING);
    //กำหนดความเร็วในการติดต่อสื่อสารและรอนพอร์ตสื่อสารเปิด
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial) ;
    delay(200);
    pinMode(SS, OUTPUT);
    //ตรวจสอบการใส่การ์ดหน่วยความจำ
    if (!SD.begin(chipSelect)) { //ถ้าไม่ได้ใส่การ์ดหน่วยความจำให้แสดงผล

```

```

Serial.println("SD Card initialization failed!");

return;
}

//ใส่การ์ดหน่วยความจำปกติให้แสดงผล
Serial.println("SD Card OK.");
}

//การคำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงาน แสดงผลบนจอLCD และบันทึกค่าลงการ์ดหน่วยความจำ
void loop() {
    //กำหนดตัวแปรไทม์เมอร์
    t = millis();
    //เมื่อเวลาครบ 20 วินาทีให้คำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงาน
    if(t%20000==0){
        //EEPROM.put(a, E); //ใช้คำสั่งนี้เมื่อต้องการรีเซ็ตค่าE
        E = EEPROM.get(a, E); //อ่านค่าE ที่บันทึกไว้ในEEPROM
        P = n/20*17.55;
        e = n*17.55/3600;
        E = E+e;
        EEPROM.put(a, E); //อัปเดตค่าE ที่บันทึกไว้ในEEPROM
        //ใส่ข้อมูลลงในตัวแปรสตริงtime
        time = Now()+" valueP :"+ P+" W,"+" valueE :"+ E+" Wh";
        //แสดงผลบน Serial monitor
        Serial.print("number of pulse per 20s : ");
        Serial.println(n);
        Serial.println(time);
        //แสดงผลบนจอ LCD
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("P : ");

```

```

lcd.print(P);

lcd.print(" W");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("E : ");

lcd.print(E);

lcd.print(" Wh");

//ใส่ข้อมูลลงในตัวแปรสตริงDay
Day+=tmYearToCalendar(tm.Year);

if(tm.Month<10){Day+="0";}

Day+=tm.Month;

if(tm.Day<10){Day+="0";}

Day+=tm.Day;

Day+=".txt";

//แสดงผลตัวแปรสตริงDayบน Serial monitor
Serial.println(Day);

//เขียนข้อมูลโดยใช้ฟังก์ชันWriteText
WriteText(Day);

//ล้างค่าตัวแปรเพื่อใส่ค่าใหม่ต่อไป

Day = "";

n=0;

}

}

/*-----

//โปรแกรมตั้งค่าเวลา
#include <Wire.h>

#include <Time.h>

#include <DS1307RTC.h>

```

```
const char *monthName[12] = {
    "Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
    "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"
};

tmElements_t tm;

void setup() {
    bool parse=false;
    bool config=false;
    // get the date and time the compiler was run
    if (getDate(__DATE__) && getTime(__TIME__)) {
        parse = true;
        // and configure the RTC with this info
        if (RTC.write(tm)) {
            config = true;
        }
    }
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial); // wait for Arduino Serial Monitor
    delay(200);
    if (parse && config) {
        Serial.print("DS1307 configured Time=");
        Serial.print(__TIME__);
        Serial.print(", Date=");
        Serial.println(__DATE__);
    } else if (parse) {
        Serial.println("DS1307 Communication Error :-{");
        Serial.println("Please check your circuitry");
    } else {
```

```

Serial.print("Could not parse info from the compiler, Time=\");
Serial.print(__TIME__);
Serial.print("\", Date=\");
Serial.print(__DATE__);
Serial.println("\");
}
}
void loop() {
}
bool getTime(const char *str)
{
    int Hour, Min, Sec;
    if (sscanf(str, "%d:%d:%d", &Hour, &Min, &Sec) != 3) return false;
    tm.Hour = Hour;
    tm.Minute = Min;
    tm.Second = Sec;
    return true;
}
bool getDate(const char *str)
{
    char Month[12];
    int Day, Year;
    uint8_t monthIndex;
    if (sscanf(str, "%s %d %d", Month, &Day, &Year) != 3) return false;
    for (monthIndex = 0; monthIndex < 12; monthIndex++) {
        if (strcmp(Month, monthName[monthIndex]) == 0) break;
    }
    if (monthIndex >= 12) return false;
}

```



```

tm.Day = Day;

tm.Month = monthIndex + 1;

tm.Year = CalendarYrToTm(Year);

return true;
}
*/

/*-----
//ไลบรารีtime.h
//time.h - low level time and date functions
//July 3 2011 - fixed elapsedSecsThisWeek macro (thanks Vincent Valdy for this)
//      - fixed daysToTime_t macro (thanks maniacbug)
/*
#ifdef _Time_h
#ifdef __cplusplus
#define _Time_h
#include <inttypes.h>
#ifdef __AVR__
#include <sys/types.h> // for __time_t_defined, but avr libc lacks sys/types.h
#endif
#if !defined(__time_t_defined) // avoid conflict with newlib or other posix libc
typedef unsigned long time_t;
#endif
// This ugly hack allows us to define C++ overloaded functions, when included
// from within an extern "C", as newlib's sys/stat.h does.  Actually it is
// intended to include "time.h" from the C library (on ARM, but AVR does not
// have that file at all).  On Mac and Windows, the compiler will find this
// "Time.h" instead of the C library "time.h", so we may cause other weird

```

```

// and unpredictable effects by conflicting with the C library header "time.h",
// but at least this hack lets us define C++ functions as intended. Hopefully
// nothing too terrible will result from overriding the C library header?!

extern "C++" {

typedef enum {timeNotSet, timeNeedsSync, timeSet
} timeStatus_t;

typedef enum {
    dowInvalid, dowSunday, dowMonday, dowTuesday, dowWednesday, dowThursday,
dowFriday, dowSaturday
} timeDayOfWeek_t;

typedef enum {
    tmSecond, tmMinute, tmHour, tmWday, tmDay, tmMonth, tmYear, tmNbrFields
} tmByteFields;

typedef struct {
    uint8_t Second;
    uint8_t Minute;
    uint8_t Hour;
    uint8_t Wday; // day of week, sunday is day 1
    uint8_t Day;
    uint8_t Month;
    uint8_t Year; // offset from 1970;
} tmElements_t, TimeElements, *tmElementsPtr_t;

//convenience macros to convert to and from tm years
#define tmYearToCalendar(Y) ((Y) + 1970) // full four digit year
#define CalendarYrToTm(Y) ((Y) - 1970)
#define tmYearToY2k(Y) ((Y) - 30) // offset is from 2000
#define y2kYearToTm(Y) ((Y) + 30)

typedef time_t(*getExternalTime)();

```

```
//typedef void (*setExternalTime)(const time_t); // not used in this version
```

```
//=====
```

```
// Useful Constants
```

```
#define SECS_PER_MIN (60UL)
```

```
#define SECS_PER_HOUR (3600UL)
```

```
#define SECS_PER_DAY (SECS_PER_HOUR * 24UL)
```

```
#define DAYS_PER_WEEK (7UL)
```

```
#define SECS_PER_WEEK (SECS_PER_DAY * DAYS_PER_WEEK)
```

```
#define SECS_PER_YEAR (SECS_PER_WEEK * 52UL)
```

```
#define SECS_YR_2000 (946684800UL) // the time at the start of y2k
```

```
// Useful Macros for getting elapsed time
```

```
#define numberOfSeconds(_time_) (_time_ % SECS_PER_MIN)
```

```
#define numberOfMinutes(_time_) (( _time_ / SECS_PER_MIN) % SECS_PER_MIN)
```

```
#define numberOfHours(_time_) (( _time_ % SECS_PER_DAY) / SECS_PER_HOUR)
```

```
#define dayOfWeek(_time_) ((( _time_ / SECS_PER_DAY + 4) % DAYS_PER_WEEK)+1) //
```

```
1 = Sunday
```

```
#define elapsedDays(_time_) ( _time_ / SECS_PER_DAY) // this is number of days since Jan 1  
1970
```

```
#define elapsedSecsToday(_time_) ( _time_ % SECS_PER_DAY) // the number of seconds  
since last midnight
```

```
// The following macros are used in calculating alarms and assume the clock is set to a date later  
than Jan 1 1971
```

```
// Always set the correct time before setting alarms
```

```
#define previousMidnight(_time_) (( _time_ / SECS_PER_DAY) * SECS_PER_DAY) // time at  
the start of the given day
```

```
#define nextMidnight(_time_) ( previousMidnight(_time_) + SECS_PER_DAY ) // time at the  
end of the given day
```

```

#define elapsedSecsThisWeek(_time_) (elapsedSecsToday(_time_) + ((dayOfWeek(_time_)-1)
* SECS_PER_DAY) ) // note that week starts on day 1

#define previousSunday(_time_) (_time_ - elapsedSecsThisWeek(_time_)) // time at the start
of the week for the given time

#define nextSunday(_time_) ( previousSunday(_time_)+SECS_PER_WEEK) // time at the
end of the week for the given time

// Useful Macros for converting elapsed time to a time_t

#define minutesToTime_t ((M)) ( (M) * SECS_PER_MIN)

#define hoursToTime_t ((H)) ( (H) * SECS_PER_HOUR)

#define daysToTime_t ((D)) ( (D) * SECS_PER_DAY) // fixed on Jul 22 2011

#define weeksToTime_t ((W)) ( (W) * SECS_PER_WEEK)

//=====
// time and date functions

int hour(); // the hour now

int hour(time_t t); // the hour for the given time

int hourFormat12(); // the hour now in 12 hour format

int hourFormat12(time_t t); // the hour for the given time in 12 hour format

uint8_t isAM(); // returns true if time now is AM

uint8_t isAM(time_t t); // returns true the given time is AM

uint8_t isPM(); // returns true if time now is PM

uint8_t isPM(time_t t); // returns true the given time is PM

int minute(); // the minute now

int minute(time_t t); // the minute for the given time

int second(); // the second now

int second(time_t t); // the second for the given time

int day(); // the day now

int day(time_t t); // the day for the given time

int weekday(); // the weekday now (Sunday is day 1)

```

```

int  weekday(time_t t); // the weekday for the given time

int  month();          // the month now (Jan is month 1)

int  month(time_t t); // the month for the given time

int  year();           // the full four digit year: (2009, 2010 etc)

int  year(time_t t);  // the year for the given time

time_t now();         // return the current time as seconds since Jan 1 1970

void  setTime(time_t t);

void  setTime(int hr,int min,int sec,int day, int month, int yr);

void  adjustTime(long adjustment);

// date strings
#define dt_MAX_STRING_LEN 9 // length of longest date string (excluding terminating null)

char* monthStr(uint8_t month);

char* dayStr(uint8_t day);

char* monthShortStr(uint8_t month);

char* dayShortStr(uint8_t day);

// time sync functions

timeStatus_t timeStatus(); // indicates if time has been set and recently synchronized

void  setSyncProvider( getExternalTime getTimeFunction); // identify the external time provider

void  setSyncInterval(time_t interval); // set the number of seconds between re-sync

// low level functions to convert to and from system time

void breakTime(time_t time, tmElements_t &tm); // break time_t into elements

time_t makeTime(tmElements_t &tm); // convert time elements into time_t

} // extern "C++"

#endif // __cplusplus

#endif // _Time_h

*/

/*-----

```

```

// ไกลบรารี DS1307RTC.h

// DS1307RTC.h - library for DS1307 RTC

// This library is intended to be uses with Arduino Time.h library functions

#ifndef DS1307RTC_h
#define DS1307RTC_h

#include <Time.h>

// library interface description

class DS1307RTC
{
    // user-accessible "public" interface
public:
    DS1307RTC();
    static time_t get();
    static bool set(time_t t);
    static bool read(tmElements_t &tm);
    static bool write(tmElements_t &tm);
    static bool chipPresent() { return exists; }

private:
    static bool exists;

    static uint8_t dec2bcd(uint8_t num);

    static uint8_t bcd2dec(uint8_t num);
};

#ifdef RTC
#undef RTC // workaround for Arduino Due, which defines "RTC"...
#endif

extern DS1307RTC RTC;

#endif

-----*/

```





## Energy Metering IC with Pulse Output

### ADE7755\*

#### FEATURES

**High Accuracy, Surpasses 50 Hz/60 Hz IEC 687/1036**  
Less than 0.1% Error over a Dynamic Range of 500 to 1

**The ADE7755 Supplies Average Real Power on the Frequency Outputs F1 and F2**

**The High-Frequency Output CF Is Intended for Calibration and Supplies Instantaneous Real Power**  
Pin Compatible with AD7755 with Synchronous CF and F1/F2 Outputs

**The Logic Output REVP Can Be Used to Indicate a Potential Miswiring or Negative Power**

**Direct Drive for Electromechanical Counters and Two Phase Stepper Motors (F1 and F2)**

**A PGA in the Current Channel Allows the Use of Small Values of Shunt and Burden Resistance**

**Proprietary ADCs and DSP Provide High Accuracy over Large Variations in Environmental Conditions and Time**

**On-Chip Power Supply Monitoring**

**On-Chip Creep Protection (No Load Threshold)**

**On-Chip Reference 2.5 V  $\pm$  8% (30 ppm/ $^{\circ}$ C Typical) with External Overdrive Capability**

**Single 5 V Supply, Low Power (15 mW Typical)**

**Low Cost CMOS Process**

The ADE7755 is a high accuracy electrical energy measurement IC. The part specifications surpass the accuracy requirements as quoted in the IEC1036 standard. See Analog Devices' Application Note AN-559 for a description of an IEC1036 watt-hour meter reference design based on the AD7755.

The only analog circuitry used in the ADE7755 is in the ADCs and reference circuit. All other signal processing (e.g., multiplication and filtering) is carried out in the digital domain. This approach provides superior stability and accuracy over extremes in environmental conditions and over time.

The ADE7755 supplies average real power information on the low-frequency outputs F1 and F2. These logic outputs may be used to directly drive an electromechanical counter or interface to an MCU. The CF logic output gives instantaneous real power information. This output is intended to be used for calibration purposes or for interfacing to an MCU.

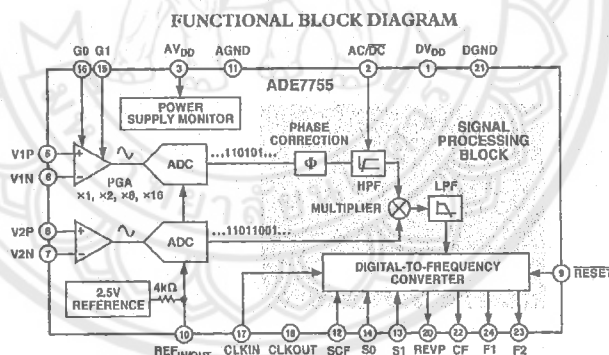
The ADE7755 includes a power supply monitoring circuit on the AV<sub>DD</sub> supply pin. The ADE7755 will remain in a reset condition until the supply voltage on AV<sub>DD</sub> reaches 4 V. If the supply falls below 4 V, the ADE7755 will also be reset and no pulses will be issued on F1, F2, and CF.

Internal phase matching circuitry ensures that the voltage and current channels are phase matched whether the HPF in Channel 1 is on or off. An internal no-load threshold ensures that the ADE7755 does not exhibit any creep when there is no load.

The ADE7755 is available in a 24-lead SSOP package.

#### GENERAL DESCRIPTION

The ADE7755 is pin compatible with the AD7755. The only difference between the ADE7755 and the AD7755 is that the ADE7755 features a synchronous CF and F1/F2 outputs under all load conditions.



\*U.S. Patents 5,745,323, 5,760,617, 5,862,069, and 5,872,469.

#### REV. 0

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781/329-4700  
www.analog.com  
Fax: 781/326-8703

© Analog Devices, Inc., 2002



# ADE7755—SPECIFICATIONS ( $AV_{DD} = DV_{DD} = 5 V \pm 5\%$ , $AGND = DGND = 0 V$ , On-Chip Reference, $CLKIN = 3.58 MHz$ , $T_{MIN}$ to $T_{MAX} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ .)

Parameter	Specifications	Unit	Test Conditions/Comments
<b>ACCURACY<sup>1,2</sup></b>			
Measurement Error <sup>1</sup> on Channel 1			Channel 2 with Full-Scale Signal ( $\pm 660 mV$ ), $25^{\circ}C$
Gain = 1	0.1	% Reading typ	Over a Dynamic Range 500 to 1
Gain = 2	0.1	% Reading typ	Over a Dynamic Range 500 to 1
Gain = 8	0.1	% Reading typ	Over a Dynamic Range 500 to 1
Gain = 16	0.1	% Reading typ	Over a Dynamic Range 500 to 1
Phase Error <sup>1</sup> Between Channels			Line Frequency = 45 Hz to 65 Hz
V1 Phase Lead $37^{\circ}$ (PF = 0.8 Capacitive)	$\pm 0.1$	Degrees( $^{\circ}$ ) max	$AC/DC = 0$ and $AC/DC = 1$
V1 Phase Lag $60^{\circ}$ (PF = 0.5 Inductive)	$\pm 0.1$	Degrees( $^{\circ}$ ) max	$AC/DC = 0$ and $AC/DC = 1$
AC Power Supply Rejection <sup>1</sup>			$AC/DC = 1$ , $S0 = S1 = 1$ , $G0 = G1 = 0$
Output Frequency Variation (CF)	0.2	% Reading typ	$V1 = 100 mV rms$ , $V2 = 100 mV rms$ , @ 50 Hz
DC Power Supply Rejection <sup>1</sup>			Ripple on $AV_{DD}$ of 200 mV rms @ 100 Hz
Output Frequency Variation (CF)	$\pm 0.3$	% Reading typ	$AC/DC = 1$ , $S0 = S1 = 1$ , $G0 = G1 = 0$
			$V1 = 100 mV rms$ , $V2 = 100 mV rms$ , $AV_{DD} = DV_{DD} = 5 V \pm 250 mV$
<b>ANALOG INPUTS</b>			
Maximum Signal Levels	$\pm 1$	V max	See Analog Inputs section
Input Impedance (DC)	390	k $\Omega$ min	V1P, V1N, V2N, and V2P to AGND
Bandwidth (-3 dB)	14	kHz typ	$CLKIN = 3.58 MHz$
ADC Offset Error <sup>1,2</sup>	$\pm 25$	mV max	$CLKIN/256$ , $CLKIN = 3.58 MHz$
Gain Error <sup>1</sup>	$\pm 7$	% Ideal typ	Gain = 1, See Terminology and Performance Graphs
Gain Error Match <sup>1</sup>	$\pm 0.2$	% Ideal typ	External 2.5 V Reference, Gain = 1
			$V1 = 470 mV dc$ , $V2 = 660 mV dc$
			External 2.5 V Reference
<b>REFERENCE INPUT</b>			
$RE_{IN/OUT}$ Input Voltage Range	2.7	V max	2.5 V + 8%
	2.3	V min	2.5 V - 8%
Input Impedance	3.2	k $\Omega$ min	
Input Capacitance	10	pF max	
<b>ON-CHIP REFERENCE</b>			
Reference Error	$\pm 200$	mV max	Nominal 2.5 V
Temperature Coefficient	$\pm 30$	ppm/ $^{\circ}C$ typ	
<b>CLKIN</b>			
Input Clock Frequency	4	MHz max	Note All Specifications for CLKIN of 3.58 MHz
	1	MHz min	
<b>LOGIC INPUTS<sup>3</sup></b>			
$SCE$ , $S0$ , $S1$ , $AC/DC$ , $RESET$ , $G0$ , and $G1$			
Input High Voltage, $V_{INH}$	2.4	V min	$DV_{DD} = 5 V \pm 5\%$
Input Low Voltage, $V_{INL}$	0.8	V max	$DV_{DD} = 5 V \pm 5\%$
Input Current, $I_{IN}$	$\pm 3$	$\mu A$ max	Typically 10 nA, $V_{IN} = 0 V$ to $DV_{DD}$
Input Capacitance, $C_{IN}$	10	pF max	
<b>LOGIC OUTPUTS<sup>3</sup></b>			
F1 and F2			
Output High Voltage, $V_{OH}$	4.5	V min	$I_{SOURCE} = 10 mA$ $DV_{DD} = 5 V$
Output Low Voltage, $V_{OL}$	0.5	V max	$I_{SINK} = 10 mA$ $DV_{DD} = 5 V$
CF and REV $\overline{P}$			
Output High Voltage, $V_{OH}$	4	V min	$I_{SOURCE} = 5 mA$ $DV_{DD} = 5 V$
Output Low Voltage, $V_{OL}$	0.5	V max	$I_{SINK} = 5 mA$ $DV_{DD} = 5 V$

**ADE7755**

Parameter	Specifications	Unit	Test Conditions/Comments
<b>POWER SUPPLY</b>			
AV <sub>DD</sub>	4.75	V min	5 V - 5%
	5.25	V max	5 V + 5%
DV <sub>DD</sub>	4.75	V min	5 V - 5%
	5.25	V max	5 V + 5%
AI <sub>DD</sub>	3	mA max	Typically 2 mA
DI <sub>DD</sub>	2.5	mA max	Typically 1.5 mA

**NOTES**

- <sup>1</sup>See Terminology section for explanation of specifications.
  - <sup>2</sup>See Plots in Typical Performance Graphs.
  - <sup>3</sup>Sample tested during initial release and after any redesign or process change that may affect this parameter.
- Specifications subject to change without notice.

**TIMING CHARACTERISTICS**<sup>1, 2</sup> (AV<sub>DD</sub> = DV<sub>DD</sub> = 5 V ± 5%, AGND = DGND = 0 V, On-Chip Reference, CLKIN = 3.58 MHz, T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub> = -40°C to +85°C.)

Parameter	Specifications	Unit	Test Conditions/Comments
t <sub>1</sub> <sup>3</sup>	275	ms	F1 and F2 Pulsewidth (Logic Low)
t <sub>2</sub>	See Table III	sec	Output Pulse Period. See Transfer Function section.
t <sub>3</sub>	1/2 t <sub>2</sub>	sec	Time between F1 Falling Edge and F2 Falling Edge
t <sub>4</sub> <sup>3, 4</sup>	90	ns	CF Pulsewidth (Logic High)
t <sub>5</sub>	See Table IV	sec	CF Pulse Period. See Transfer Function section.
t <sub>6</sub>	CLKIN/4	sec	Minimum Time between F1 and F2 Pulse

**NOTES**

- <sup>1</sup>Sample tested during initial release and after any redesign or process change that may affect this parameter.
  - <sup>2</sup>See Figure 1.
  - <sup>3</sup>The pulsewidths of F1, F2, and CF are not fixed for higher output frequencies. See Frequency Outputs section.
  - <sup>4</sup>The CF pulse is always 18 μs in the high-frequency mode. See Frequency Outputs section and Table IV.
- Specifications subject to change without notice.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

(T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted.)

AV <sub>DD</sub> to AGND	-0.3 V to +7 V
DV <sub>DD</sub> to DGND	-0.3 V to +7 V
DV <sub>DD</sub> to AV <sub>DD</sub>	-0.3 V to +0.3 V
Analog Input Voltage to AGND	
V <sub>IP</sub> , V <sub>IN</sub> , V <sub>2P</sub> , and V <sub>2N</sub>	-6 V to +6 V
Reference Input Voltage to AGND	-0.3 V to AV <sub>DD</sub> + 0.3 V
Digital Input Voltage to DGND	-0.3 V to DV <sub>DD</sub> + 0.3 V
Digital Output Voltage to DGND	-0.3 V to DV <sub>DD</sub> + 0.3 V
Operating Temperature Range	
Industrial	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Junction Temperature	150°C
24-Lead SSOP, Power Dissipation	450 mW
θ <sub>JA</sub> Thermal Impedance	112°C/W
Lead Temperature, Soldering	
Vapor Phase (60 sec)	215°C
Infrared (15 sec)	220°C

\*Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**ORDERING GUIDE**

Model	Package Description	Package Options
ADE7755ARS	Shrink Small Outline Package	RS-24
ADE7755ARSRL	Shrink Small Outline Package in Reel	RSRL-24
ADE7755AN-REF	ADE7755 Reference Design PCB (See AN-559)	
EVAL-ADE7755EB	ADE7755 Evaluation Board	

**CAUTION**

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the ADE7755 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high-energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



**ADE7755**

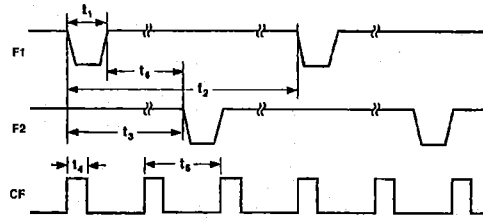
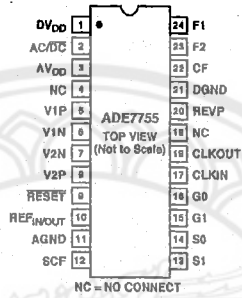


Figure 1. Timing Diagram for Frequency Outputs

**PIN CONFIGURATION**



## ADE7755

## PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Pin No.	Mnemonic	Description
1	DV <sub>DD</sub>	Digital Power Supply. This pin provides the supply voltage for the digital circuitry in the ADE7755. The supply voltage should be maintained at $5\text{ V} \pm 5\%$ for specified operation. This pin should be decoupled with a $10\text{ }\mu\text{F}$ capacitor in parallel with a ceramic $100\text{ nF}$ capacitor.
2	AC/DC	High-Pass Filter Select. This logic input is used to enable the HPF in Channel 1 (Current Channel). A logic one on this pin enables the HPF. The associated phase response of this filter has been internally compensated over a frequency range of $45\text{ Hz}$ to $1\text{ kHz}$ . The HPF filter should be enabled in power metering applications.
3	AV <sub>DD</sub>	Analog Power Supply. This pin provides the supply voltage for the analog circuitry in the ADE7755. The supply should be maintained at $5\text{ V} \pm 5\%$ for specified operation. Every effort should be made to minimize power supply ripple and noise at this pin by the use of proper decoupling. This pin should be decoupled to AGND with a $10\text{ }\mu\text{F}$ capacitor in parallel with a ceramic $100\text{ nF}$ capacitor.
4, 19	NC	No Connect
5, 6	V1P, V1N	Analog Inputs for Channel 1 (Current Channel). These inputs are fully differential voltage inputs with a maximum differential signal level of $\pm 470\text{ mV}$ for specified operation. Channel 1 also has a PGA, and the gain selections are outlined in Table I. The maximum signal level at these pins is $\pm 1\text{ V}$ with respect to AGND. Both inputs have internal ESD protection circuitry. An overvoltage of $\pm 6\text{ V}$ can be sustained on these inputs without risk of permanent damage.
7, 8	V2N, V2P	Negative and Positive Inputs for Channel 2 (Voltage Channel). These inputs provide a fully differential input pair. The maximum differential input voltage is $\pm 660\text{ mV}$ for specified operation. The maximum signal level at these pins is $\pm 1\text{ V}$ with respect to AGND. Both inputs have internal ESD protection circuitry, and an overvoltage of $\pm 6\text{ V}$ can also be sustained on these inputs without risk of permanent damage.
9	RESET	Reset Pin for the ADE7755. A logic low on this pin will hold the ADCs and digital circuitry in a reset condition. Bringing this pin logic low will clear the ADE7755 internal registers.
10	REF <sub>IN/OUT</sub>	This pin provides access to the on-chip voltage reference. The on-chip reference has a nominal value of $2.5\text{ V} \pm 8\%$ and a typical temperature coefficient of $30\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ . An external reference source may also be connected at this pin. In either case, this pin should be decoupled to AGND with a $1\text{ }\mu\text{F}$ ceramic capacitor and $100\text{ nF}$ ceramic capacitor.
11	AGND	This provides the ground reference for the analog circuitry in the ADE7755, i.e., ADCs and reference. This pin should be tied to the analog ground plane of the PCB. The analog ground plane is the ground reference for all analog circuitry, e.g., antialiasing filters and current and voltage transducers. For good noise suppression, the analog ground plane should only connect to the digital ground plane at one point. A star ground configuration will help to keep noisy digital currents away from the analog circuits.
12	SCF	Select Calibration Frequency. This logic input is used to select the frequency on the calibration output CF. Table IV shows how the calibration frequencies are selected.
13, 14	S1, S0	These logic inputs are used to select one of four possible frequencies for the digital-to-frequency conversion. This offers the designer greater flexibility when designing the energy meter. See Selecting a Frequency for an Energy Meter Application section.
15, 16	G1, G0	These logic inputs are used to select one of four possible gains for Channel 1, i.e., V1. The possible gains are 1, 2, 8, and 16. See Analog Input section.
17	CLKIN	An external clock can be provided at this logic input. Alternatively, a parallel resonant AT crystal can be connected across CLKIN and CLKOUT to provide a clock source for the ADE7755. The clock frequency for specified operation is $3.579545\text{ MHz}$ . Crystal load capacitance of between $22\text{ pF}$ and $33\text{ pF}$ (ceramic) should be used with the gate oscillator circuit.
18	CLKOUT	A crystal can be connected across this pin and CLKIN as described above to provide a clock source for the ADE7755. The CLKOUT Pin can drive one CMOS load when an external clock is supplied at CLKIN or by the gate oscillator circuit.
20	REVP	This logic output will go logic high when negative power is detected, i.e., when the phase angle between the voltage and current signals is greater than $90^\circ$ . This output is not latched and will be reset when positive power is once again detected. The output will go high or low at the same time as a pulse is issued on CF.

## ADE7755

Pin No.	Mnemonic	Description
21	DGND	This provides the ground reference for the digital circuitry in the ADE7755, i.e., multiplier, filters, and digital-to-frequency converter. This pin should be tied to the digital ground plane of the PCB. The digital ground plane is the ground reference for all digital circuitry, e.g., counters (mechanical and digital), MCUs, and indicator LEDs. For good noise suppression, the analog ground plane should only be connected to the digital ground plane at one point only, e.g., a star ground.
22	CF	Calibration Frequency Logic Output. The CF logic output gives instantaneous real power information. This output is intended to be used for calibration purposes. Also see SCF Pin description.
23, 24	F2, F1	Low Frequency Logic Outputs. F1 and F2 supply <i>average real power</i> information. The logic outputs can be used to directly drive electromechanical counters and two phase stepper motors. See Transfer Function section.

### TERMINOLOGY

#### MEASUREMENT ERROR

The error associated with the energy measurement made by the ADE7755 is defined by the following formula:

$$\text{Percentage Error} = \frac{\text{Energy Registered by the ADE7755} - \text{True Energy}}{\text{True Energy}} \times 100\%$$

#### PHASE ERROR BETWEEN CHANNELS

The HPF (High-Pass Filter) in Channel 1 has a phase lead response. To offset this phase response and equalize the phase response between channels, a phase correction network is also placed in Channel 1. The phase correction network matches the phase to within  $\pm 0.1^\circ$  over a range of 45 Hz to 65 Hz and  $\pm 0.2^\circ$  over a range 40 Hz to 1 kHz. See Figures 4 and 5.

#### POWER SUPPLY REJECTION

This quantifies the ADE7755 measurement error as a percentage of the reading when the power supplies are varied.

For the ac PSR measurement, a reading at nominal supplies (5 V) is taken. A 200 mV rms/100 Hz signal is then introduced onto the supplies and a second reading obtained under the same input signal levels. Any error introduced is expressed as a percentage of the reading (see Measurement Error definition).

For the dc PSR measurement, a reading at nominal supplies (5 V) is taken. The supplies are then varied  $\pm 5\%$  and a second reading is obtained with the same input signal levels. Any error introduced is again expressed as a percentage of the reading.

#### ADC OFFSET ERROR

This refers to the dc offset associated with the analog inputs to the ADCs. It means that with the analog inputs connected to AGND, the ADCs still see a small dc signal (offset). The offset decreases with increasing gain in Channel V1. This specification is measured at a gain of 1. At a gain of 16, the dc offset is typically less than 1 mV. However, when the HPF is switched on, the offset is removed from the current channel and the power calculation is not affected by this offset.

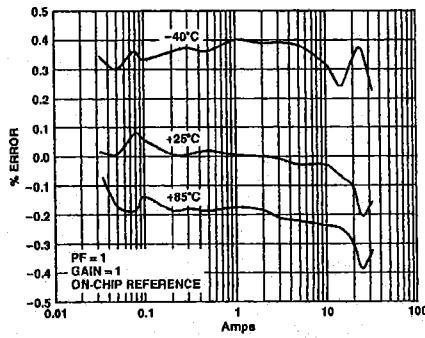
#### GAIN ERROR

The gain error of the ADE7755 is defined as the difference between the measured output frequency (minus the offset) and the ideal output frequency. It is measured with a gain of 1 in Channel V1. The difference is expressed as a percentage of the ideal frequency. The ideal frequency is obtained from the ADE7755 transfer function (see Transfer Function section).

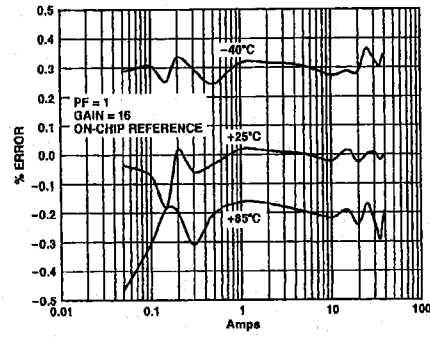
#### GAIN ERROR MATCH

The gain error match is defined as the gain error (minus the offset) obtained when switching between a gain of 1 and a gain of 2, 8, or 16. It is expressed as a percentage of the output frequency obtained under a gain of 1. This gives the gain error observed when the gain selection is changed from 1 to 2, 8, or 16.

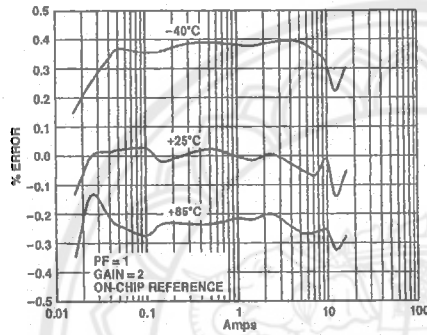
**Typical Performance Characteristics—ADE7755**



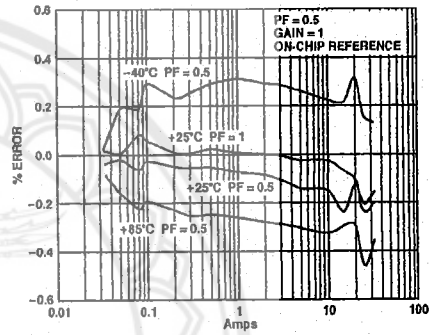
TPC 1. Error as a % of Reading (Gain = 1)



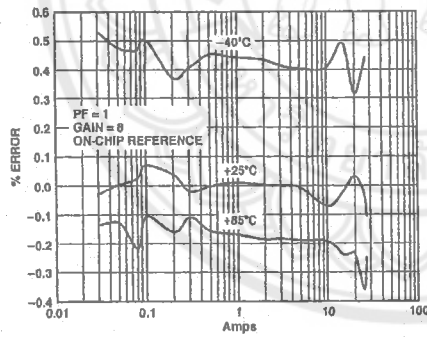
TPC 4. Error as a % of Reading (Gain = 16)



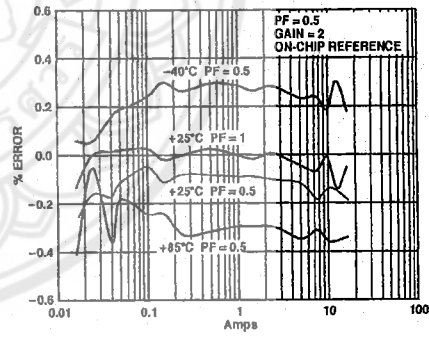
TPC 2. Error as a % of Reading (Gain = 2)



TPC 5. Error as a % of Reading (Gain = 1)

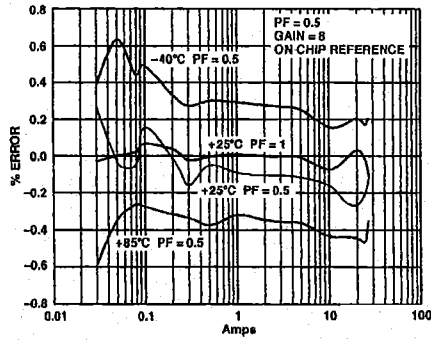


TPC 3. Error as a % of Reading (Gain = 8)

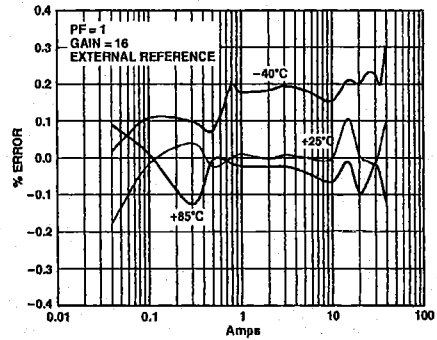


TPC 6. Error as a % of Reading (Gain = 2)

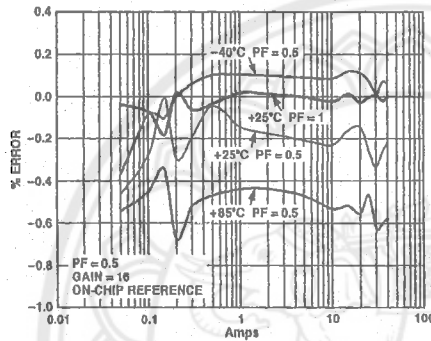
**ADE7755**



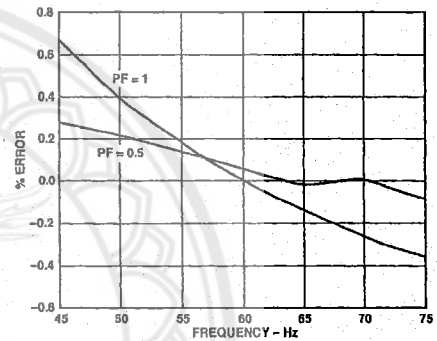
TPC 7. Error as a % of Reading (Gain = 8)



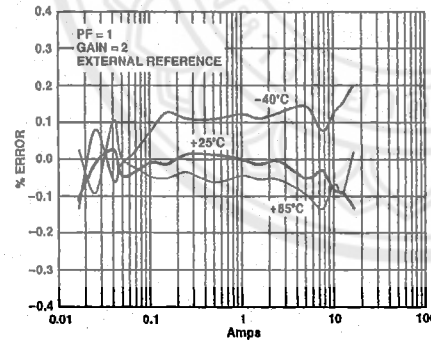
TPC 10. Error as a % of Reading over Temperature with an External Reference (Gain = 16)



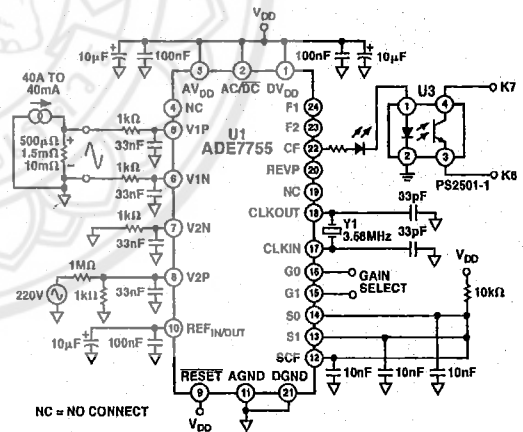
TPC 8. Error as a % of Reading (Gain = 16)



TPC 11. Error as a % of Reading over Frequency

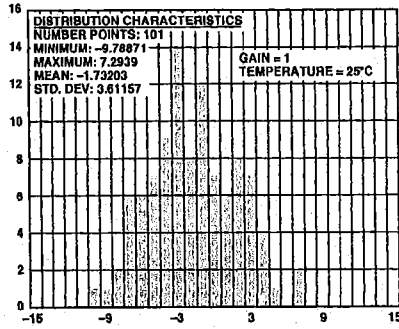


TPC 9. Error as a % of Reading over Temperature with an External Reference (Gain = 2)

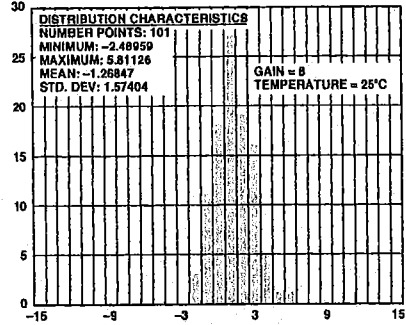


TPC 12. Test Circuit for Performance Curves

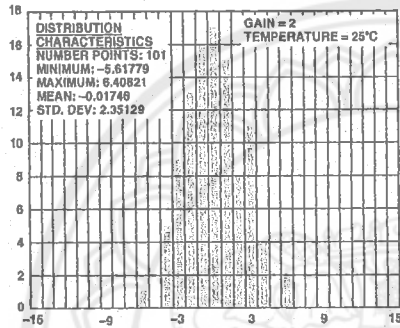
**ADE7755**



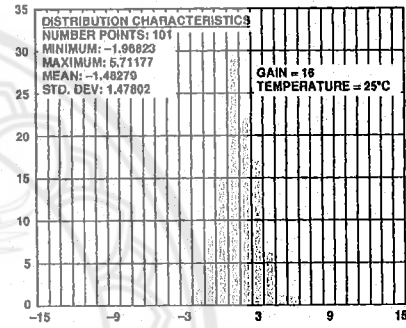
TPC 13. Channel 1 Offset Distribution (Gain = 1)



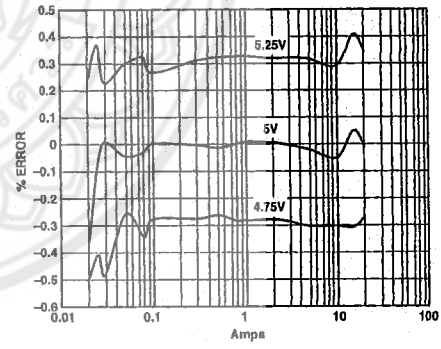
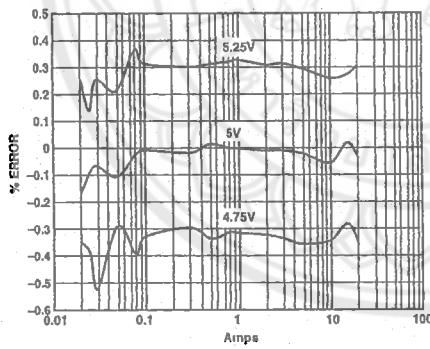
TPC 16. Channel 1 Offset Distribution (Gain = 8)



TPC 14. Channel 1 Offset Distribution (Gain = 2)



TPC 17. Channel 1 Offset Distribution (Gain = 16)





## ADE7755

### THEORY OF OPERATION

The two ADCs digitize the voltage signals from the current and voltage transducers. These ADCs are 16-bit second order sigma-delta with an oversampling rate of 900 kHz. This analog input structure greatly simplifies transducer interfacing by providing a wide dynamic range for direct connection to the transducer and also by simplifying the antialiasing filter design. A programmable gain stage in the current channel further facilitates easy transducer interfacing. A high-pass filter in the current channel removes any dc component from the current signal. This eliminates any inaccuracies in the real power calculation due to offsets in the voltage or current signals (see HPF and Offset Effects section).

The real power calculation is derived from the instantaneous power signal. The instantaneous power signal is generated by a direct multiplication of the current and voltage signals. In order to extract the real power component (i.e., the dc component), the instantaneous power signal is low-pass filtered. Figure 2 illustrates the instantaneous real power signal and shows how the real power information can be extracted by low-pass filtering the instantaneous power signal. This scheme correctly calculates real power for nonsinusoidal current and voltage waveforms at all power factors. All signal processing is carried out in the digital domain for superior stability over temperature and time.

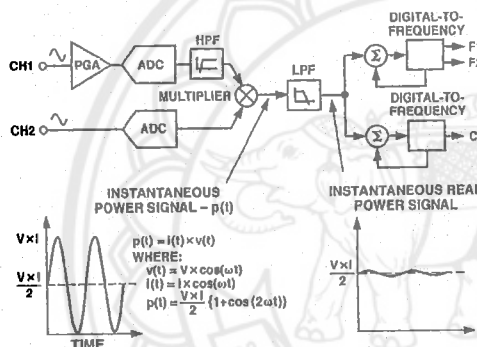


Figure 2. Signal Processing Block Diagram

The low-frequency output of the ADE7755 is generated by accumulating this real power information. This low frequency inherently means a long accumulation time between output pulses. The output frequency is therefore proportional to the average real power. This average real power information can, in turn, be accumulated (e.g., by a counter) to generate real energy information. Because of its high output frequency and shorter integration time, the CF output is proportional to the instantaneous real power. This is useful for system calibration purposes that would take place under steady load conditions.

### Power Factor Considerations

The method used to extract the real power information from the instantaneous power signal (i.e., by low-pass filtering) is still valid even when the voltage and current signals are not in phase. Figure 3 displays the unity power factor condition and a DPF (Displacement Power Factor) = 0.5, i.e., current signal lagging

the voltage by 60°. If we assume the voltage and current waveforms are sinusoidal, the real power component of the instantaneous power signal (i.e., the dc term) is given by:

$$\left(\frac{V \times I}{2}\right) \times \cos(60^\circ)$$

This is the correct real power calculation.

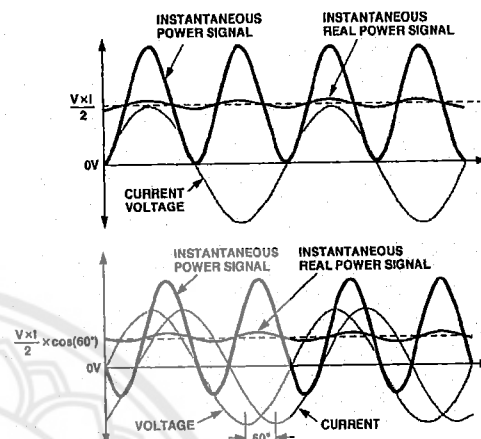


Figure 3. DC Component of Instantaneous Power Signal Conveys Real Power Information PF < 1

### Nonsinusoidal Voltage and Current

The real power calculation method also holds true for nonsinusoidal current and voltage waveforms. All voltage and current waveforms in practical applications will have some harmonic content. Using the Fourier Transform, instantaneous voltage and current waveforms can be expressed in terms of their harmonic content.

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \times \sum_{h=0}^{\infty} V_h \times \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (1)$$

where:

$v(t)$  is the instantaneous voltage  
 $V_0$  is the average value  
 $V_h$  is the rms value of voltage harmonic  $h$   
 and  
 $\alpha_h$  is the phase angle of the voltage harmonic

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \times \sum_{h=0}^{\infty} I_h \times \sin(h\omega t + \beta_h) \quad (2)$$

where:

$i(t)$  is the instantaneous current  
 $I_0$  is the dc component  
 $I_h$  is the rms value of current harmonic  $h$   
 and  
 $\beta_h$  is the phase angle of the current harmonic

**ADE7755**

Using Equations 1 and 2, the real power  $P$  can be expressed in terms of its fundamental real power ( $P_1$ ) and harmonic real power ( $P_H$ ).

$$P = P_1 + P_H$$

where:

$$P_1 = V_1 \times I_1 \cos \phi_1 \tag{3}$$

$$\phi_1 = \alpha_1 - \beta_1$$

and:

$$P_H = \sum_{h \neq 1} V_h \times I_h \cos \phi_h \tag{4}$$

$$\phi_h = \alpha_h - \beta_h$$

As can be seen from Equation 4 above, a harmonic real power component is generated for every harmonic, provided that harmonic is present in both the voltage and current waveforms. The power factor calculation has previously been shown to be accurate in the case of a pure sinusoid; therefore the harmonic real power must also correctly account for the power factor since it is made up of a series of pure sinusoids.

Note that the input bandwidth of the analog inputs is 14 kHz with a master clock frequency of 3.5795 MHz.

**ANALOG INPUTS**

**Channel V1 (Current Channel)**

The voltage output from the current transducer is connected to the ADE7755 here. Channel V1 is a fully differential voltage input. VIP is the positive input with respect to VIN.

The maximum peak differential signal on Channel 1 should be less than  $\pm 470$  mV (330 mV rms for a pure sinusoidal signal) for specified operation. Note that Channel 1 has a programmable gain amplifier (PGA) with user selectable gain of 1, 2, 8, or 16 (see Table I). These gains facilitate easy transducer interfacing.

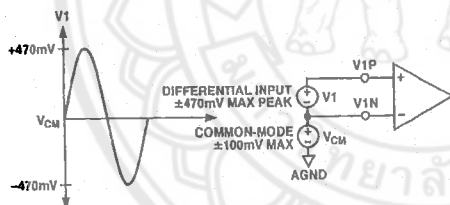


Figure 4. Maximum Signal Levels, Channel 1, Gain = 1

The diagram in Figure 4 illustrates the maximum signal levels on VIP and VIN. The maximum differential voltage is  $\pm 470$  mV divided by the gain selection. The differential voltage signal on the inputs must be referenced to a common mode, e.g., AGND. The maximum common-mode signal is  $\pm 100$  mV as shown in Figure 4.

Table I. Gain Selection for Channel 1

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

**Channel V2 (Voltage Channel)**

The output of the line voltage transducer is connected to the ADE7755 at this analog input. Channel V2 is a fully differential voltage input. The maximum peak differential signal on Channel 2 is  $\pm 660$  mV. Figure 5 illustrates the maximum signal levels that can be connected to the ADE7755 Channel 2.

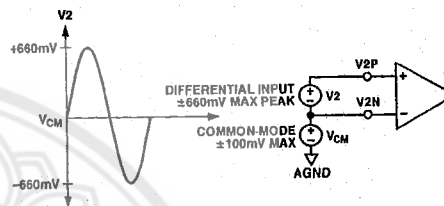


Figure 5. Maximum Signal Levels, Channel 2

Channel 2 must be driven from a common-mode voltage, i.e., the differential voltage signal on the input must be referenced to a common mode (usually AGND). The analog inputs of the ADE7755 can be driven with common-mode voltages of up to 100 mV with respect to AGND. However, best results are achieved using a common mode equal to AGND.

**Typical Connection Diagrams**

Figure 6 shows a typical connection diagram for Channel V1. A CT (current transformer) is the current transducer selected for this example. Notice the common-mode voltage for Channel 1 is AGND and is derived by center tapping the burden resistor to AGND. This provides the complementary analog input signals for VIP and VIN. The CT turns ratio and burden resistor Rb are selected to give a peak differential voltage of  $\pm 470$  mV/Gain at maximum load.

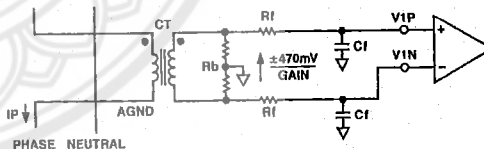


Figure 6. Typical Connection for Channel 1

## ADE7755

Figure 7 shows two typical connections for Channel V2. The first option uses a PT (potential transformer) to provide complete isolation from the power line. In the second option, the ADE7755 is biased around the neutral wire, and a resistor divider provides a voltage signal that is proportional to the line voltage. Adjusting the ratio of Ra, Rb, and VR is also a convenient way of carrying out a gain calibration on the meter.

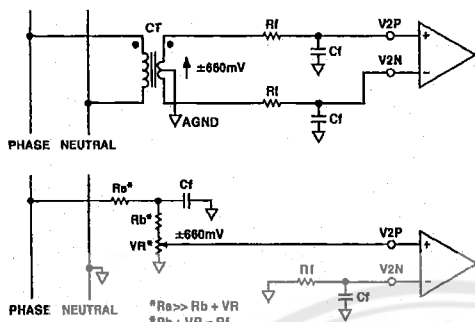


Figure 7. Typical Connections for Channel 2

### POWER SUPPLY MONITOR

The ADE7755 contains an on-chip power supply monitor. The Analog Supply (AV<sub>DD</sub>) is continuously monitored by the ADE7755. If the supply is less than 4 V ± 5%, the ADE7755 will be reset. This is useful to ensure correct device startup at power-up and power-down. The power supply monitor has built in hysteresis and filtering. This gives a high degree of immunity to false triggering due to noisy supplies.

In Figure 8, the trigger level is nominally set at 4 V. The tolerance on this trigger level is about ±5%. The power supply and decoupling for the part should be such that the ripple at AV<sub>DD</sub> does not exceed 5 V ± 5% as specified for normal operation.

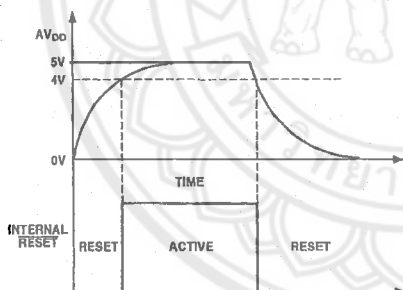


Figure 8. On-Chip Power Supply Monitor

### HPF and Offset Effects

Figure 9 shows the effect of offsets on the real power calculation. An offset on Channel 1 and Channel 2 will contribute a dc component after multiplication. Since the dc component is extracted by the LPF, it will accumulate as real power. If not properly filtered, dc offsets will introduce error to the energy accumulation. This problem is easily avoided by enabling the HPF (i.e., Pin AC/DC is set logic high) in Channel 1. By removing the offset from at least one channel, no error component can be generated at dc by the multiplication. Error terms at cos(ωt) are removed by the LPF and the digital-to-frequency conversion (see Digital-to-Frequency Conversion section).

$$\{V \cos(\omega t) + V_{OS}\} \times \{I \cos(\omega t) + I_{OS}\} = \frac{V \times I}{2} + V_{OS} \times I_{OS} + V_{OS} \times I \cos(\omega t) + I_{OS} \times V \cos(\omega t) + \frac{V \times I}{2} \times \cos(2\omega t)$$

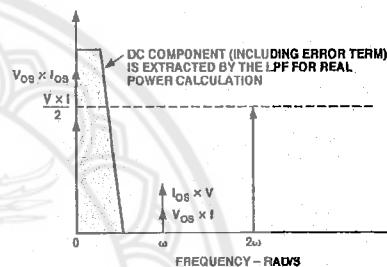


Figure 9. Effect of Channel Offset on the Real Power Calculation

The HPF in Channel 1 has an associated phase response that is compensated for on-chip. The phase compensation is activated when the HPF is enabled and is disabled when the HPF is not activated. Figures 10 and 11 show the phase error between channels with the compensation network activated. The ADE7755 is phase compensated up to 1 kHz as shown. This will ensure correct active harmonic power calculation even at low power factors.

**ADE7755**

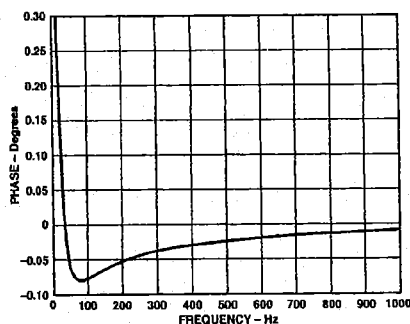


Figure 10. Phase Error between Channels (0 Hz to 1 kHz)

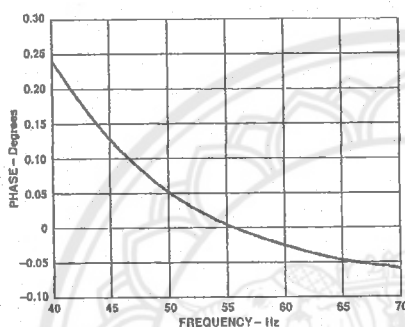


Figure 11. Phase Error between Channels (40 Hz to 70 Hz)

**DIGITAL-TO-FREQUENCY CONVERSION**

As previously described, the digital output of the low-pass filter after multiplication contains the real power information. However, since this LPF is not an ideal "brick wall" filter implementation, the output signal also contains attenuated components at the line frequency and its harmonics, i.e.,  $\cos(h\omega t)$  where  $h = 1, 2, 3,$  and so on.

The magnitude response of the filter is given by:

$$|H(f)| = \frac{1}{1 + (f/8.9 \text{ Hz})^2} \quad (5)$$

For a line frequency of 50 Hz this would give an attenuation of the  $2\omega$  (100 Hz) component of approximately -22 dBs. The dominating harmonic will be at twice the line frequency, i.e.,  $\cos(2\omega t)$ , and this is due to the instantaneous power signal.

Figure 12 shows the instantaneous real power signal at the output of the CPF, which still contains a significant amount of instantaneous power information, i.e.,  $\cos(2\omega t)$ . This signal is then passed to the digital-to-frequency converter where it is integrated (accumulated) over time to produce an output frequency. This accumulation of the signal will suppress or average out any non-dc components in the instantaneous real power signal. The average value of a sinusoidal signal is zero. Hence, the frequency generated by the ADE7755 is proportional to the average real power. Figure 12 shows the digital-to-frequency conversion for steady load conditions, i.e., constant voltage and current.

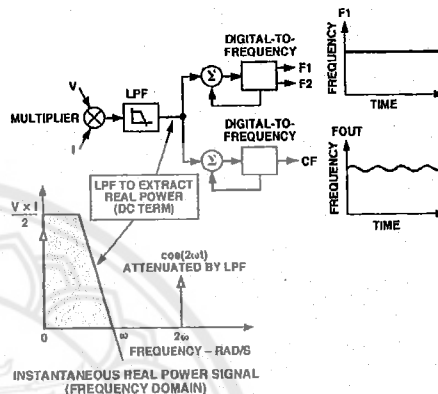


Figure 12. Real Power-to-Frequency Conversion

As can be seen in the diagram, the frequency output CF is seen to vary over time, even under steady load conditions. This frequency variation is primarily due to the  $\cos(2\omega t)$  component in the instantaneous real power signal. The output frequency on CF can be up to 2048 times higher than the frequency on F1 and F2. This higher output frequency is generated by accumulating the instantaneous real power signal over a much shorter time while converting it to a frequency. This shorter accumulation period means less averaging of the  $\cos(2\omega t)$  component. As a consequence, some of this instantaneous power signal passes through the digital-to-frequency conversion. This will not be a problem in the application. When CF is used for calibration purposes, the frequency should be averaged by the frequency counter. This will remove any ripple. If CF is measuring energy, e.g., in a microprocessor-based application, the CF output should also be averaged to calculate power. Because the outputs F1 and F2 operate at a much lower frequency, more averaging of the instantaneous real power signal is carried out. The result is a greatly attenuated sinusoidal content and a virtually ripple-free frequency output.

## ADE7755

### Interfacing the ADE7755 to a Microcontroller for Energy Measurement

The easiest way to interface the ADE7755 to a microcontroller is to use the CF high-frequency output with the output frequency scaling set to  $2048 \times F_1, F_2$ . This is done by setting SCF = 0 and S0 = S1 = 1 (see Table IV). With full-scale ac signals on the analog inputs, the output frequency on CF will be approximately 5.5 kHz. Figure 13 illustrates one scheme that could be used to digitize the output frequency and carry out the necessary averaging mentioned in the previous section.

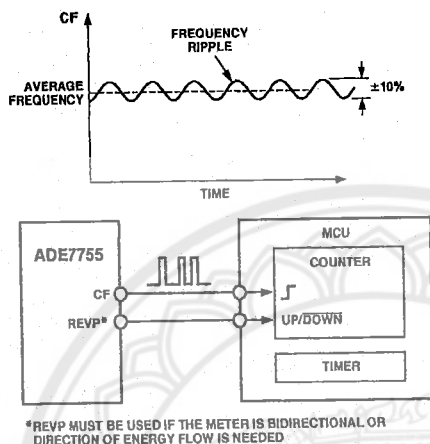


Figure 13. Interfacing the ADE7755 to an MCU

As shown, the frequency output CF is connected to an MCU counter or port. This will count the number of pulses in a given integration time that is determined by an MCU internal timer. The average power proportional to the average frequency is given by:

$$\text{Average Frequency} = \text{Average Real Power} = \frac{\text{Counter}}{\text{Timer}}$$

The energy consumed during an integration period is given by:

$$\text{Energy} = \text{Average Power} \times \text{Time} = \frac{\text{Counter}}{\text{Time}} \times \text{Time} = \text{Counter}$$

For the purpose of calibration, this integration time can be 10 to 20 seconds to accumulate enough pulses to ensure correct averaging of the frequency. In normal operation, the integration time can be reduced to one or two seconds depending, for example, on the required update rate of a display. With shorter integration times on the MCU, the amount of energy in each update may still have some small amount of ripple, even under steady load conditions. However, over a minute or more, the measured energy will have no ripple.

### Power Measurement Considerations

Calculating and displaying power information will always have some associated ripple that will depend on the integration period used in the MCU to determine average power and also the load. For example, at light loads, the output frequency may be 10 Hz. With an integration period of two seconds, only about 20 pulses will be counted. The possibility of missing one pulse always exists, since the ADE7755 output frequency is running asynchronously to the MCU timer. This would result in a one-in-twenty (or 5%) error in the power measurement.

### TRANSFER FUNCTION

#### Frequency Outputs F1 and F2

The ADE7755 calculates the product of two voltage signals (on Channel 1 and Channel 2) and then low-pass filters this product to extract real power information. This real power information is then converted to a frequency. The frequency information is output on F1 and F2 in the form of active low pulses. The pulse rate at these outputs is relatively low, e.g., 0.34 Hz maximum for ac signals with S0 = S1 = 0 (see Table III). This means that the frequency at these outputs is generated from real power information accumulated over a relatively long period of time. The result is an output frequency that is proportional to the average real power. The averaging of the real power signal is implicit to the digital-to-frequency conversion. The output frequency or pulse rate is related to the input voltage signals by the following equation.

$$F_{req} = \frac{8.06 \times V_1 \times V_2 \times \text{Gain} \times F_{1-4}}{V_{REF}^2}$$

where:

$F_{req}$  = Output frequency on F1 and F2 (Hz)

$V_1$  = Differential rms voltage signal on Channel 1 (Volts)

$V_2$  = Differential rms voltage signal on Channel 2 (Volts)

Gain = 1, 2, 8, or 16, depending on the PGA gain selection made using logic inputs G0 and G1

$V_{REF}$  = The reference voltage (2.5 V  $\pm$  8%) (Volts)

$F_{1-4}$  = One of four possible frequencies selected by using the logic inputs S0 and S1—see Table II

Table II.  $F_{1-4}$  Frequency Selection

S1	S0	$F_{1-4}$ (Hz)	XTAL/CLKIN*
0	0	1.7	3.579 MHz/2 <sup>21</sup>
0	1	3.4	3.579 MHz/2 <sup>20</sup>
1	0	6.8	3.579 MHz/2 <sup>19</sup>
1	1	13.6	3.579 MHz/2 <sup>18</sup>

NOTE

\* $F_{1-4}$  is a binary fraction of the master clock and therefore will vary if the specified CLKIN frequency is altered.

## ADE7755

**Example 1**

Thus if full-scale differential dc voltages of +470 mV and -660 mV are applied to V1 and V2 respectively (470 mV is the maximum differential voltage that can be connected to Channel 1, and 660 mV is the maximum differential voltage that can be connected to Channel 2), the expected output frequency is calculated as follows:

$$\text{Gain} = 1, G_0 = G_1 = 0$$

$$F_{1-4} = 1.7 \text{ Hz}, S_0 = S_1 = 0$$

$$V_1 = +470 \text{ mV dc} = 0.47 \text{ V (rms of dc = dc)}$$

$$V_2 = -660 \text{ mV dc} = 0.66 \text{ V (rms of dc = |dc|)}$$

$$V_{\text{REF}} = 2.5 \text{ V (nominal reference value)}$$

NOTE: If the on-chip reference is used, actual output frequencies may vary from device to device due to reference tolerance of  $\pm 8\%$ .

$$\text{Freq} = \frac{8.06 \times 0.47 \times 0.66 \times 1 \times 1.7}{2.5^2} = 0.68$$

**Example 2**

In this example, with ac voltages of  $\pm 470$  mV peak applied to V1 and  $\pm 660$  mV peak applied to V2, the expected output frequency is calculated as follows:

$$\text{Gain} = 1, G_0 = G_1 = 0$$

$$F_{1-4} = 1.7 \text{ Hz}, S_0 = S_1 = 0$$

$$V_1 = \text{rms of } 470 \text{ mV peak ac} = 0.47/\sqrt{2} \text{ volts} \quad 0.3323$$

$$V_2 = \text{rms of } 660 \text{ mV peak ac} = 0.66/\sqrt{2} \text{ volts} \quad 0.4666$$

$$V_{\text{REF}} = 2.5 \text{ V (nominal reference value)}$$

NOTE: If the on-chip reference is used, actual output frequencies may vary from device to device due to reference tolerance of  $\pm 8\%$ .

$$\text{Freq} = \frac{8.06 \times 0.47 \times 0.66 \times 1 \times 1.7}{\sqrt{2} \times \sqrt{2} \times 2.5^2} = 0.34$$

As can be seen from these two example calculations, the maximum output frequency for ac inputs is always half of that for dc input signals. Table III shows a complete listing of all maximum output frequencies.

Table III. Maximum Output Frequency on F1 and F2

S1	S0	Max Frequency for DC Inputs (Hz)	Max Frequency for AC Inputs (Hz)
0	0	0.68	0.34
0	1	1.36	0.68
1	0	2.72	1.36
1	1	5.44	2.72

**Frequency Output CF**

The pulse output CF (Calibration Frequency) is intended for use during calibration. The output pulse rate on CF can be up to 2048 times the pulse rate on F1 and F2. The lower the  $F_{1-4}$  frequency selected, the higher the CF scaling (except for the high-frequency mode SCF = 0, S1 = S0 = 1). Table IV shows how the two frequencies are related, depending on the states of the logic inputs S0, S1, and SCF. Because of its relatively high

pulse rate, the frequency at this logic output is proportional to the instantaneous real power. As is the case with F1 and F2, the frequency is derived from the output of the low-pass filter after multiplication. However, because the output frequency is high, this real power information is accumulated over a much shorter time. Hence, less averaging is carried out in the digital-to-frequency conversion. With much less averaging of the real power signal, the CF output is much more responsive to power fluctuations (see Figure 2, signal processing block diagram).

Table IV. Maximum Output Frequency on CF

SCF	S1	S0	$F_{1-4}$ (Hz)	CF Max for AC Signals (Hz)
1	0	0	1.7	$128 \times F_1, F_2 = 43.52$
0	0	0	1.7	$64 \times F_1, F_2 = 21.76$
1	0	1	3.4	$64 \times F_1, F_2 = 43.52$
0	0	1	3.4	$32 \times F_1, F_2 = 21.76$
1	1	0	6.8	$32 \times F_1, F_2 = 43.52$
0	1	0	6.8	$16 \times F_1, F_2 = 21.76$
1	1	1	13.6	$16 \times F_1, F_2 = 43.52$
0	1	1	13.6	$2048 \times F_1, F_2 = 5.57 \text{ kHz}$

**SELECTING A FREQUENCY FOR AN ENERGY METER APPLICATION**

As shown in Table II, the user can select one of four frequencies. This frequency selection determines the maximum frequency on F1 and F2. These outputs are intended to be used to drive the energy register (electromechanical or other). Since only four different output frequencies can be selected, the available frequency selection has been optimized for a meter constant of 100 imp/kWhr with a maximum current of between 10 A and 120 A. Table V shows the output frequency for several maximum currents ( $I_{\text{MAX}}$ ) with a line voltage of 220 V. In all cases the meter constant is 100 imp/kWhr.

Table V. F1 and F2 Frequency at 100 imp/kWhr

$I_{\text{MAX}}$	F1 and F2 (Hz)
12.5 A	0.076
25 A	0.153
40 A	0.244
60 A	0.367
80 A	0.489
120 A	0.733

The  $F_{1-4}$  frequencies allow complete coverage of this range of output frequencies on F1 and F2. When designing an energy meter, the nominal design voltage on Channel 2 (voltage) should be set to half scale to allow for calibration of the meter constant. The current channel should also be no more than half scale when the meter sees maximum load. This will allow over current signals and signals with high crest factors to be accommodated. Table VI shows the output frequency on F1 and F2 when both analog inputs are half scale. The frequencies listed in Table VI align very well with those listed in Table V for maximum load.

# ADE7755

Table VI. F1 and F2 Frequency with Half-Scale AC Inputs

S1	S0	F <sub>1-4</sub>	Frequency on F1 and F2 CH1 and CH2 Half-Scale AC Inputs
0	0	1.7	0.085 Hz
0	1	3.4	0.17 Hz
1	0	6.8	0.34 Hz
1	1	13.6	0.68 Hz

When selecting a suitable F<sub>1-4</sub> frequency for a meter design, the frequency output at I<sub>MAX</sub> (maximum load) with a meter constant of 100 imp/kWhr should be compared with Column 4 of Table VI. The frequency that is closest in Table VI will determine the best choice of frequency (F<sub>1-4</sub>). For example, if a meter with a maximum current of 25 A is being designed, the output frequency on F1 and F2 with a meter constant of 100 imp/kWhr is 0.153 Hz at 25 A and 220 V (from Table V). Looking at Table VI, the closest frequency to 0.153 Hz in column four is 0.17 Hz. Therefore, F<sub>2</sub> (3.4 Hz—see Table II) is selected for this design.

### Frequency Outputs

Figure 1 shows a timing diagram for the various frequency outputs. The outputs F1 and F2 are the low-frequency outputs that can be used to directly drive a stepper motor or electromechanical impulse counter. The F1 and F2 outputs provide two alternating low going pulses. The pulsewidth (t<sub>1</sub>) is set at 275 ms and the time between the falling edges of F1 and F2 (t<sub>2</sub>) is approximately half the period of F1 (t<sub>2</sub>). If, however, the period of F1 and F2 falls below 550 ms (1.81 Hz), the pulsewidth of F1 and F2 is set to half of their period. The maximum output frequencies for F1 and F2 are shown in Table III.

The high-frequency CF output is intended to be used for communications and calibration purposes. CF produces a 90 ms-wide active high pulse (t<sub>4</sub>) at a frequency proportional to active power. The CF output frequencies are given in Table IV. As in the case of F1 and F2, if the period of CF (t<sub>3</sub>) falls below 180 ms, the CF pulsewidth is set to half the period. For example, if the CF frequency is 20 Hz, the CF pulsewidth is 25 ms.

NOTE: When the high-frequency mode is selected, (i.e., SCF = 0, S1 = S0 = 1), the CF pulsewidth is fixed at 18 μs. Therefore, t<sub>4</sub> will always be 18 μs, regardless of the output frequency on CF.

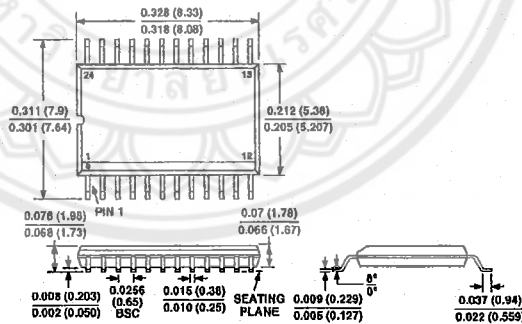
### NO LOAD THRESHOLD

The ADE7755 also includes a "no load threshold" and "start-up current" feature that will eliminate any creep effects in the meter. The ADE7755 is designed to issue a minimum output frequency on all modes except when SCF = 0 and S1 = S0 = 1. The no-load detection threshold is disabled on this output mode to accommodate specialized application of the ADE7755. Any load generating a frequency lower than this minimum frequency will not cause a pulse to be issued on F1, F2, or CF. The minimum output frequency is given as 0.0014% of the full-scale output frequency for each of the F<sub>1-4</sub> frequency selections (see Table II). For example, an energy meter with a meter constant of 100 imp/kWhr on F1 and F2 using F<sub>2</sub> (3.4 Hz), the maximum output frequency at F1 or F2 would be 0.0014% of 3.4 Hz or 4.76 × 10<sup>-5</sup> Hz. This would be 3.05 × 10<sup>-3</sup> Hz at CF (64 × F1 Hz). In this example, the no-load threshold is equivalent to 1.7 W of load or a start-up current of 8 mA at 220 V. IEC1036 states that the meter must start up with a load current equal to or less than 0.4% I<sub>b</sub>. For a 5A (I<sub>b</sub>) meter, 0.4% I<sub>b</sub> is equivalent to 20mA. The start-up current of this design therefore satisfies the IEC requirement. As illustrated from this example, the choice of F1-F4 and the ratio of the stepper motor display will determine the start-up current.

### OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm)

#### 24-Lead Shrink Small Outline Package (RS-24)



C02897-0-5(02/01)

PRINTED IN U.S.A.