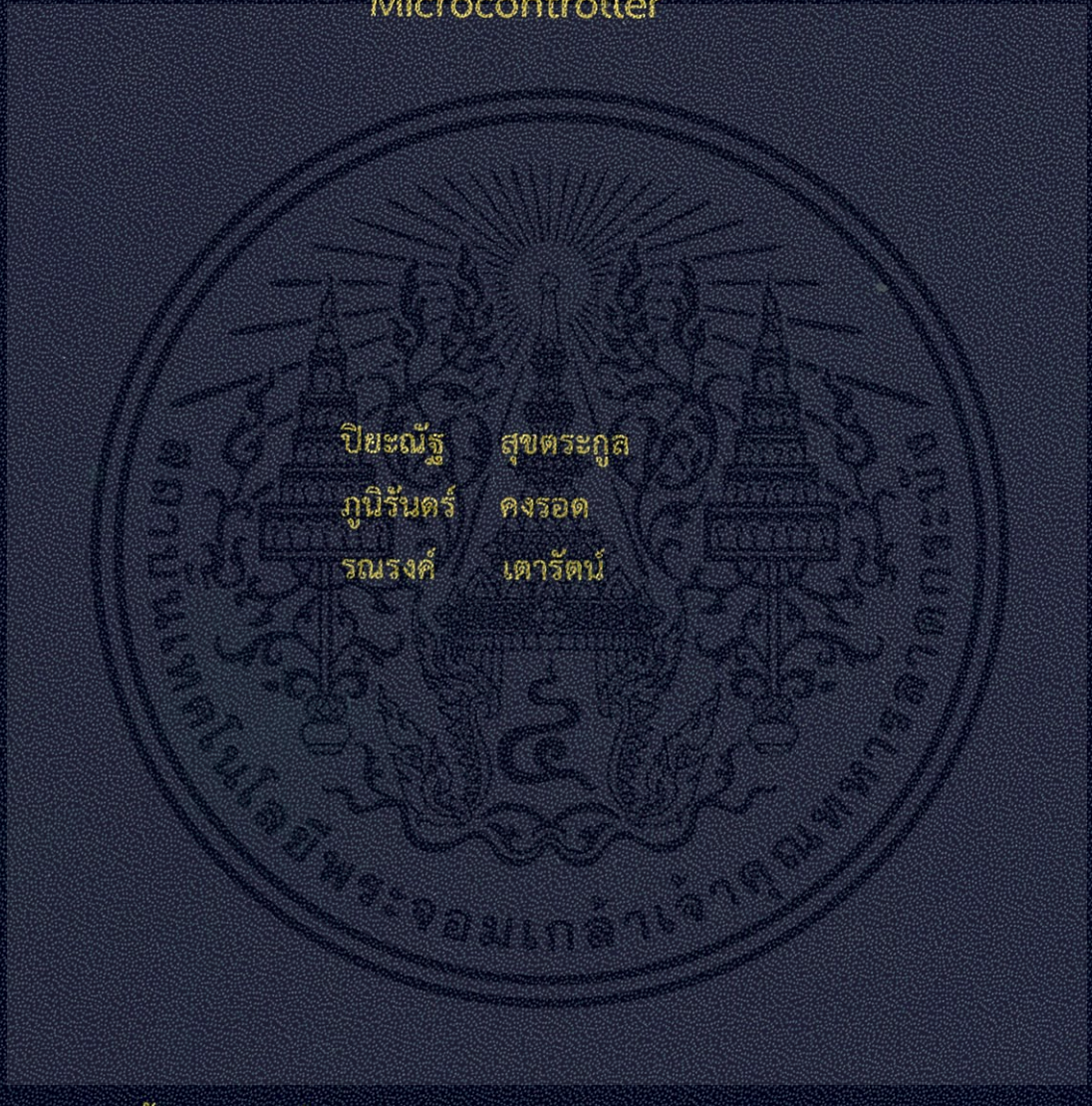
การศึกษาอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F0 Discovery

A Study of 3 phase Power Meter by STM32F0 Discovery Microcontroller



ปิยะณัฐ สุขตระกูล

ภูนิรันดร์ คงรอด

รณรงค์ เตารัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F0 Discovery

A Study of 3 phase Power Meter by STM32F0 Discovery Microcontroller

ปิยะณัฐ สุขตระกูล
ภูนิรันดร์ คงรอด
รณรงค์ เตารัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of 3 phase Power Meter by STM32F0 Discovery Microcontroller

Piyanat Suktrakul
Phunirun Kongrod
Ronnarong Taowrat

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERRING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F0 Discovery

A Study of 3 phase Power Meter by STM32F0 Discovery Microcontroller

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายปิยะณัฐ	สุขตระกูล	**รหัสนักศึกษา**	53010995
นายภูนิรันดร์	คงรอด	**รหัสนักศึกษา**	53011269
นายรณรงค์	เตารัตน์	**รหัสนักศึกษา**	53011331

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F0 Discovery A Study of 3 phase Power Meter by STM32F0 Discovery Microcontroller
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปิยะณัฐ สุขตระกูล นายภูนิรันดร์ คงรอด นายรณรงค์ เตารัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ กองรัตน์
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้นำเสนออุปกรณ์การวัดค่าพลังงานทางไฟฟ้า ADE7754 เกี่ยวกับฟังก์ชันการทำงานซึ่งเป็นแบบ Multifunction รวมถึงตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ใช้คือ STM32F0discovery ซึ่งทั้งสองตัวนี้มีฟังก์ชันในการทำงานในหลายรูปแบบ ค่าต่างๆ ที่วัดได้จาก Power Line สามารถแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD และค่าที่แสดงนั้นจะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าขณะนั้นใน Power Line ซึ่งเป็นค่า RMS (Root Mean Square) รวมถึงค่าตัวประกอบกำลัง ค่าทั้งหมดเหล้านี้นำไปสู่การคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า พบว่าอุปกรณ์และวงจรที่ออกแบบมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of 3 phase Power Meter by STM32F0 Discovery Microcontroller
Authors	Mr. Piyanat Suktrakul Mr. Phunirun Kongrod Mr. Ronnarong Taowrat
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Viriya Kongrut
Year	2013

Abstract

This project present the electrical measuring device ADE7754 about work function, it's a multifunction and the microcontroller this project use STM32F0discovery. Which all have manifold work function. The measured values of the power line can be displayed via LCD display. Values that shown on LCD display are the values of the voltage and current at the time in power line. It's the RMS (Root Mean Square) value involve power factor value. All these values are used to determine the energy of 3 phases electric. The device and circuit design is high efficient and reliable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของคณาจารย์หลายๆท่าน ซึ่งคณะผู้จัดทำไม่อาจจะนำมากล่าวได้หมด ด้วยความช่วยเหลือของ รศ.วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงงานปริญญานิพนธ์ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย คณะผู้จัดทำรู้สึกทราบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ สาขาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านความรู้ อุปกรณ์สำหรับทำการวิจัย และกำลังใจในการทำโครงงานปริญญานิพนธ์จนสำเร็จบรรลุผลได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจคณะผู้จัดทำเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 3
2.1 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน 4
2.1.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage) 4
2.1.2 กระแสไฟฟ้า (Current) 4
2.1.3 กำลังไฟฟ้า (Electric Power) 4
2.2 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส 6
2.2.1 กำลังไฟฟ้าสามเฟส 6
2.2.1.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) 6
2.2.1.2 กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) 6
2.2.1.3 กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) 6
2.2.2 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) 6
2.2.3 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส 8

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน 11
3.1 การศึกษาอุปกรณ์และการรับส่งข้อมูล 12
3.1.1 STM32 F0 DISCOVERY 12
3.1.2 ADE 7754..... 12
3.1.3 Serial Peripheral Interface 17
3.1.4 LCD 4x20 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์ 24
3.2.1 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) 25
3.2.2 ADE7754 25
3.2.3 ออกกแบบวงจร (ปฏิบัติ) 26
3.2.3.1 เตรียมแผงวงจร 27
3.2.3.2 ลงโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F0 28
3.2.3.3 เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ 42
3.2.3.4 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์จากชุดอุปกรณ์กับเครื่องมือมาตรฐาน 42
3.2.3.5 สอบเทียบอุปกรณ์ 54

บทที่ 4 ผลการทดลอง 55
4.1 ตรวจสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ 56
4.2 เตรียมทดสอบอุปกรณ์ 57
4.2.1 เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ 57
4.2.2 เชื่อมไฟสามเฟส,โหลด เข้ากับแผงวงจร 58
4.3 ทำการวัดค่า 59
4.3.1 วัดค่ากระแสไฟฟ้า 59
4.3.2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า 63
4.3.3 วัดค่ากำลังไฟฟ้า 63
4.4 ผลการเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์กับเครื่องวัดทางไฟฟ้า 65

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 66
5.1 สรุปผล 66
5.2 ข้อเสนอแนะ 66

บรรณานุกรม 67

ภาคผนวก 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ตารางแสดงหน้าที่ของขาต่างๆ ใน ADE7754 14

3.2 แสดงการทำงานของ SPI 18

3.3 รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักขระ 22

3.4 แสดงการหน้าที่การทำงานของแต่ละขา 22

4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW9205L 60
เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกระแสไฟฟ้าในเฟสที่ A

4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW9205L 61
เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกระแสไฟฟ้าในเฟสที่ B

4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW9250L 62
เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกระแสไฟฟ้าในเฟสที่ C

4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW9250L 63
เปรียบเทียบ กับ ADE 7754 แรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส

4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก Watt Meter 64
เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกำลังไฟฟ้าเฟส A

4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก Watt Meter 65
เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกำลังไฟฟ้าเฟส B

4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก Watt Meter 65
เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกำลังไฟฟ้าเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการทางไฟฟ้า 3

2.2 แสดงส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสของ Current 8

2.3 แสดงเฟเซอร์แรงดันของระบบสมดุล 10

2.4 แสดงเฟเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล 10

3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์ 11

3.2 แสดงรูปสถาปัตยกรรมภายใน IC เบอร์ ADE7754 13

3.3 แสดงตำแหน่งขาต่างๆของ ADE7754 13

3.4 แสดงการสื่อสารด้วย SPI 17

3.5 แสดงรูปวงจรการต่อมาสเตอร์ 1 ตัวกับ Slave 3 ตัว 19

3.6 ไดอะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักขระ 20

3.7 วงจรสำหรับทดลองการแสดงข้อความบนโมดูล LCD 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด 21

3.8 แสดง LCD 4x20 22

3.9 แสดงแผนผังขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์ 24

3.10 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) 25

3.11 แสดง IC เบอร์ ADE7754 25

3.12 แสดงวิธีดำเนินการออกแบบวงจร 26

3.13 แสดงวงจรในแผงวงจร 27

3.14 แสดงบอร์ดวงจรของจริง 27

3.15 Keil MDK-ARM 28

3.16 หน้าต่างหลักของ uVision IDE 29

3.17 กลับสู่หน้าต่างหลัก แล้วทำขั้นตอน “Build Target” 29
ถ้าไม่มี error จะได้ไฟล์ .hex ที่สามารถนำไปโปรแกรมลงชิปได้

3.18 เลือกชิปเป้าหมาย (เลือก NXP LPC2148) 30

3.19 เมื่อถึงขั้นตอนที่ถามว่า จะสร้างไฟล์ Startup.s ลงในโปรเจคหรือไม่ ให้เลือกไม่ใส่ (No) 30

3.20 กลับมาสู่หน้าต่างหลักเมื่อได้สร้างโปรเจคใหม่แล้ว 30

3.21 เลือกเมนู Project – Manage – Components, Environment, Books 31
เพื่อเลือกคอมไพล์เลอร์ที่ต้องการใช้งาน

3.22 เลือกใช้ “Use GCC” ซึ่งเป็นคอมไพล์เลอร์ของ Sourcery Code bench 31
โดยจะต้องระบุ Folder / Directory (GNU-Tools Folder)
ที่ได้ติดตั้งโปรแกรมดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.23	การใส่ไฟล์ Source Code ลงโปรเจค	32
3.24	เลือกไฟล์ main.c	32
3.25	เลือกไฟล์ crt.s	33
3.26	กลับสู่หน้าต่างหลักเมื่อได้เพิ่มไฟล์จาก Source Code	33
3.27	เลือกจากเมนู “Option for Target ...” และไปที่หน้า Tab “Output” แล้วเลือก “Create .HEX file”	34
3.28	ไปที่หน้า Tab “Linker” เพื่อเลือกไฟล์ Linker Script	34
3.29	เลือกไฟล์ Linker Script “lpc2148-rom.ld” จาก Source Code ตัวอย่าง	35
3.30	ไปที่หน้า Tab “CC” สามารถกำหนดตัวเลือกสำหรับ Compiler	35
3.31	กลับสู่หน้าต่างหลัก แล้วทำขั้นตอน “Build Target”	36
3.32	แสดงรูปโปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรม	40
3.33	แสดงการนำเอา Line Current และ Line Voltage เข้ากับ Main Board	42
3.34	แสดงการเปรียบเทียบค่า Voltage ทั้งสามเฟส	43
3.35	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 100 Watt	43
3.36	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 200 Watt	44
3.37	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 300 Watt	44
3.38	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 400 Watt	44
3.39	แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสจาก Meter กับ กระแสที่วัดได้ของเฟส A ที่โหลดต่างๆ	45
3.40	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 100 Watt	45
3.41	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 200 Watt	46
3.42	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 300 Watt	46
3.43	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 400 Watt	47
3.44	แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสจาก Meter กับ กระแสที่วัดได้ของเฟส B ที่โหลดต่างๆ	47
3.45	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 100 Watt	47
3.46	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 200 Watt	48
3.47	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 300 Watt	48
3.48	แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 400 Watt	48
3.49	แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสจาก Meter กับ กระแสที่วัดได้ของเฟส C ที่โหลดต่างๆ	49
3.50	แสดงค่ากำลังไฟฟ้า เฟส A ที่โหลด 100,200,300,400 Watt	50
3.51	แสดงค่ากำลังไฟฟ้า เฟส B ที่โหลด 100,200,300,400 Watt	51
3.52	แสดงค่ากำลังไฟฟ้า เฟส C ที่โหลด 100,200,300,400 Watt	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.53	แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากโหลดที่ใช้กำกำลังที่วัดได้ทั้ง 3 เฟส	53
3.54	แสดงโหลดที่ใช้ในการทดลอง	53
3.55	แสดงการสอบเทียบอุปกรณ์ โดยโปรแกรมลงใน Microcontroller	54
4.1	แสดงแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน	55
4.2	แสดงการตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์	56
4.3	แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์	57
4.4	แสดงภาพเชื่อมต่อไฟฟ้าสามเฟส โหลด เข้ากับแผงวงจร	58
4.5	แสดงมิเตอร์วัดกระแสและโวลต์ รุ่น (ATTEN ATW9205L)	59
4.6	Watt meter รุ่น PORTABLE SINGLE PHASE WATT METER MODEL 2041	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟส โดยมีตัวควบคุมคือไมโครคอนโทรลเลอร์ ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดคือ IC เบอร์ ADE7754 และทำการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) เพื่อมาหาค่ากำลังไฟฟ้า สิ่งที่ต่างออกไปจากโปรเจครุ่นพี่ก็คือตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทางเราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ชื่อว่า STM32F0 Discovery ในการคำนวณและสอบเทียบค่าต่างๆผ่านโปรแกรมที่เขียนเข้าไป ซึ่งโปรเจคนี้เป็นการแสดงประสิทธิภาพของ IC เบอร์ ADE7754 และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ชื่อ STM32F0 Discovery และ การส่งข้อมูลผ่านทั้งสามตัวนี้ มีทั้งการส่งที่เรียกว่า Serial Peripheral Interface

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการทำงานของ IC เบอร์ ADE7754
2. ศึกษาการทำงานของตัวแปลงกระแส (Current Transformer)
3. คำนวณกำลังงานไฟฟ้าสามเฟสโดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้า (Current) และค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage)
2. ศึกษาการเชื่อต่ออุปกรณ์ Current Transformer กับโหลด
3. ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัด คือ IC เบอร์ ADE7754
4. ศึกษาอุปกรณ์ควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F0 Discovery
5. ศึกษาลักษณะของสัญญาณที่ได้รับมาจากตัวตรวจจับนั้นก็คือ IC เบอร์ ADE7754
6. แสดงค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

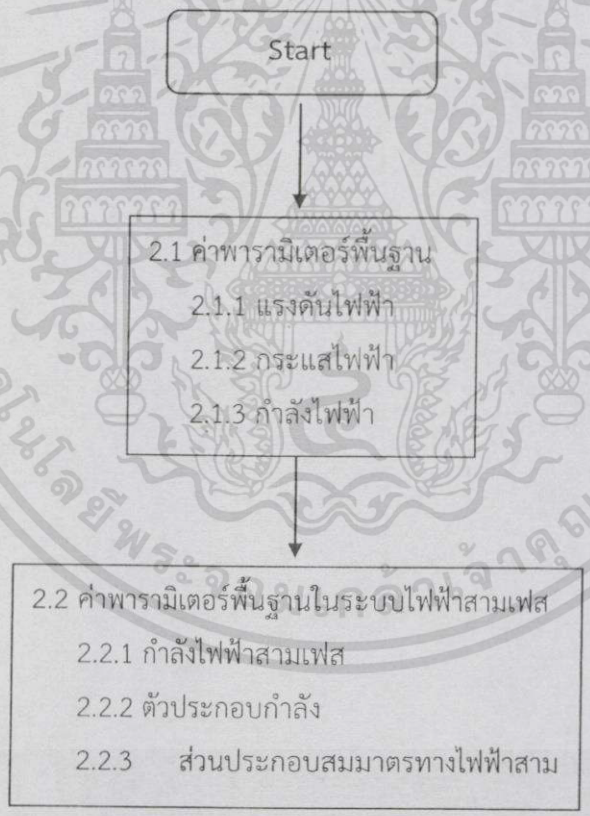
1. ได้รับความรู้เรื่องของ Current Transformer
2. ได้รับความรู้เรื่องการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า
3. รู้จัก Function การทำงานของ IC ที่ใช้
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า ของโหลดต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในการศึกษาอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสร่วมกับไมโครคอนโทลเลอร์ การวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟส มีค่าพารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส แบ่งออกเป็นสามส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ กำลังไฟฟ้าสามเฟส สามารถแบ่งออกเป็นอีกสามส่วน กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power), กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power), กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) ส่วนที่สองคือ ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) โดยจะทำการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current) ก่อน จึงสามารถหาค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ได้ และส่วนที่สามคือ ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 พารามิเตอร์พื้นฐาน

2.1.1 แรงดันไฟฟ้า(Voltage)

เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าอิเล็กตรอนไหลในสายไฟ ซึ่งการที่อิเล็กตรอนไหลหรือเคลื่อนที่ได้นั้นจะต้องมีแรงมากระทำต่ออิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไหล แรงดันดังกล่าวเรียกว่า แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ศักย์ไฟฟ้าเป็นคำอีกหนึ่งที่คล้ายกับแรงดันไฟฟ้า จะหมายถึงระดับไฟฟ้าหรือ ระดับพลังงานไฟฟ้า ณ จุดใดๆ เช่น ลูกกลมที่ 1 มีประจุไฟฟ้าบวกจะมีศักย์ไฟฟ้าสูง ส่วนลูกกลมที่ 2 มีประจุไฟฟ้าลบจะมีศักย์ไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นลูกกลมที่ 1 และ 2 จึงมีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเรียกว่า ความต่างศักย์ (กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ หรือ ไหลจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปศักย์ไฟฟ้าต่ำ) ศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt)**แรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า** หมายถึงแรงที่สร้างให้เกิดแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระตลอดเวลา กระแสไฟฟ้าจึงไหลตลอดเวลา แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้อาจเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , แบตเตอรี่, ถ่านไฟฉาย และเซลล์เชื้อเพลิง ฯลฯ หน่วยของแรงดันไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือแรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้ามีหน่วยเดียวกัน คือ โวลต์ ซึ่งแทนด้วย V แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ คือแรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ไหลผ่านเข้าไปในตัวต้านทาน 1 โอห์ม

2.1.2 กระแสไฟฟ้า (Current)

กระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เลื่อนไหลในวงจรไฟฟ้าต่อหน่วยวินาที เรียกว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้าไหล แอมแปร์ คือประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวดในเวลา 1 วินาที และหน่วยของกระแสไฟฟ้าเป็นแอมแปร์ เพื่อให้เป็นเกียรติแก่ อองเดรเอ็ม. แอมแปร์ (Andre Marie Ampere) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส หน่วยของกระแสไฟฟ้าในระบบ SIคือ แอมแปร์ (ampere, A)

2.1.3 กำลังไฟฟ้า (Electric Power)

บนเครื่องไฟฟ้าทุกชนิดจะมีตัวเลขกำกับไว้เสมอเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องไฟฟ้าชนิดนั้นๆเช่น หม้อหุงข้าวขนาด “220 V 800 W” 220 V หมายถึง หม้อหุงข้าวใบนี้ใช้กับไฟที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ ส่วน 800 W นี้หมายถึง ค่าพลังงานที่หม้อหุงข้าวใบนี้ใช้ใน 1 วินาที หรือเรียกว่า กำลังไฟฟ้า ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไปในหนึ่งวินาที เช่น เตารีด 1000 วัตต์ คือเมื่อใช้เตารีดนี้จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1000จูลต่อวินาที หรือวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยมีกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับ กระแสไฟฟ้า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P = VI$$

เมื่อกำหนด P แทนกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์

V แทนความต่างศักย์ มีหน่วยเป็นโวลต์

I แทนกระไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส

2.2.1 กำลังไฟฟ้าสามเฟส แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

2.2.1.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power : S) คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือโหลดมีหน่วยเป็นโวลต์-แอมป์ (VA)

2.2.1.2 กำลังไฟฟ้าจริง (Real-Power : P) คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เช่น การขับเคลื่อนลิฟท์ขนของ การขับเคลื่อนสายพาน เป็นต้น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์หรือสามารถวัดได้จากวัตต์วิเมอร์ (Wattmeter)

2.2.1.3 กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power : Q) คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) หรือผ่านแอร์แก๊ป (Air Gap) ของอินดักชั่นมอเตอร์ (Induction Motor) เป็นต้น มีหน่วยเป็น วาร์ (Var) หรือกิโลวาร์ (K Var) สามารถวัดได้จากมิเตอร์ (Var meter) โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณหากำลังสามเฟสเป็นดังสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

$$S_{3\phi} = 3V_{rms}\, I_{rms}\, (\delta - \beta) \qquad (2.1)$$

$$P_{3\phi} = 3V_{rms}\, I_{rms}\, cos(\delta - \beta) \qquad (2.2)$$

$$Q_{3\phi} = 3V_{rms}\, I_{rms}\, sin(\delta - \beta) \qquad (2.3)$$

ซึ่งในสมการที่ 2 ในส่วนของ cos [(δ-β)] เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) โดยทั้ง S,P และ Q มันจะมีความสัมพันธ์กัน กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าเป็นผลที่มาจากค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า เมื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจร จะทำให้เกิดกระแสโดยขนาดของกระแสขึ้นอยู่กับลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ในวงจร ซึ่งสามารถที่จะพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า S, P และ Q ได้ในรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก หรือที่เรียกว่า สามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)[1]

2.2.2 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังจริงทั้งหมดในหน่วยวัตต์ กับค่ากำลังปรากฏทั้งหมดในหน่วยโวลต์-แอมแปร์ (อาร์เอ็มเอส) ตัวประกอบกำลัง (cosθ) มีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยมีค่าเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่วงจรมีความจุหรือความเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว และมีค่าเป็น 1 ในกรณีที่วงจรมีความต้านทานเพียงอย่างเดียว แต่ในวงจรทั่วไปที่ใช้งานจริงจะมีทั้งความต้านทาน และความจุหรือความเหนี่ยวนำ จึงทำให้ค่าของตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 1

Power Factor (Leading) เฟเซอร์ของกระแสไฟฟ้านำเฟเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า

Power Factor (Lagging) เฟเซอร์ของกระแสไฟฟ้าตามเฟเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า

Power Factor (Unity) เฟเซอร์ของกระแสไฟฟ้าอินเฟสกับเฟเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า

Passive elements มีอยู่ 3 ตัว R L C เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในทางวงจรไฟฟ้า เมื่อเราป้อนแหล่งจ่ายไฟที่เป็นรูปคลื่น sine (ไฟฟ้ากระแสสลับ) จะทำให้เกิดปรากฏต่ออุปกรณ์ทั้ง 3 ตัว ที่ไม่เหมือนกัน สามารถสรุปได้คร่าวๆ ดังนี้

R คือตัวต้านทาน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้า AC หรือ DC จะทำให้เกิดงานในรูปความร้อนสูญเสียออกไป และค่าความต้านทานนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่าย ถ้ากล่าวในกรณีทั่วๆไป ยกเว้น กรณีที่มีกระแสไฟฟ้าความถี่สูงๆ ไหลผ่าน จะเกิดผลที่เรียกว่า Skin Effect คือ กระแสจะไปไหลที่บริเวณผิวของตัวนำแทนที่แกนกลางทำให้ความต้านทานที่ค่าสูงขึ้น ได้ที่ค่าความถี่สูงๆ กำลังงานที่ตัวต้านทานนี้ คือ กำลังงานที่เราสามารถเอานำใช้ได้จริง เช่น ขดลวดความร้อนของกาต้มน้ำไฟฟ้าเป็นต้น ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน กำลังงานนี้ จะเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power), Active Power ที่มีหน่วยเป็นเป็น W

L คือขดลวดเหนี่ยวนำ เมื่อมีกระแสที่แปรตามเวลา (ตัวอย่างเช่นไฟฟ้ากระแสสลับที่คลื่นรูปไซน์) ไหลผ่าน จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวด พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานสนามเหล็กพองตัวอยู่รอบๆ ขดลวดไม่ได้เกิดการสูญเสียพลังงานแต่อย่างใด เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับจะมีสองลูกคลื่น ที่เป็นบวกและลบ ทำให้เกิดการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อมีการอัดกระแสให้กับตัวเหนี่ยวนำ ในครึ่งคาบที่เหลือ เมื่อเกิดการกลับทิศทางของแหล่งจ่าย พลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กจะถูกปลดปล่อยออกมา กำลังไฟฟ้าแบบนี้ ไม่สามารถเอาไปใช้งานได้ เป็นกำลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ที่ต้องจ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ กำลังงานนี้ก็คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็น Var (Volt-ampere reactive)

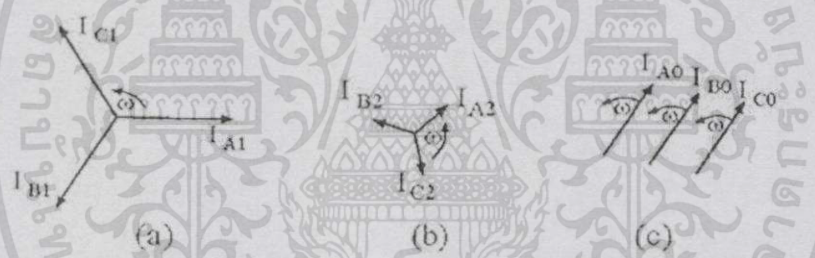
C คือตัวเก็บประจุ ประกอบไปด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางขนานกัน โดยมีสารไดอิเล็กตริกเป็นตัวคั่น ปกติจะมีคุณสมบัติในการบล็อกกระแสไฟฟ้าตรง ไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แต่เมื่อมีการป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่แปรตามเวลา เช่นไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ จะทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในเนื้อสารไดอิเล็กตริกพลังงานในส่วนนี้ก็คล้ายๆ กับตัวขดลวดเหนี่ยวนำ คือ เป็นพลังงานที่จ่ายเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสะสมในตัวเก็บประจุ พลังงานนี้ จะถูกถ่ายเทกลับมาในระบบในช่วงครึ่งคาบที่เหมาะสม เรียกว่า Reactive power เช่นกัน มีหน่วยเป็น VAR เช่นกัน

2.2.3 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

ส่วนประกอบสมมาตรนำมาใช้ในการวิเคราะห์แรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสในขณะที่เกิดระบบไม่สมดุล โดยกรณีที่ระบบสามเฟสสมดุล (Balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนในกรณีระบบไม่สมดุล (Unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ โดยใช้การอ้างอิงของส่วนประกอบ 3 ส่วน ซึ่งระบบไฟฟ้าสามเฟสสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.2



(a) Positive, (b) Negative, and (c) Zero Sequence Components

รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสของ Current

ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก (Positive-sequence component) ประกอบด้วย 3 เฟเซอร์ (phasors) ที่มีขนาดเท่ากัน มุมเฟสต่างกัน 120 องศาส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบ (Negative-sequence component) ประกอบด้วย 3 เฟเซอร์ (phasors) ที่มีขนาดเท่ากัน มุมต่างกัน 120 องศา แต่มีลำดับเฟสตรงข้ามกับส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวกส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสศูนย์ (Zero-sequence component) ประกอบด้วย 3 เฟเซอร์ ที่มีขนาดเท่ากันและมีมุมเฟสเท่ากัน (in phase) ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของแรงดันแต่ละเฟสได้ดังนี้

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \quad (2.5)$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \quad (2.6)$$

และสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ด้านกระแสได้เช่นเดียวกัน

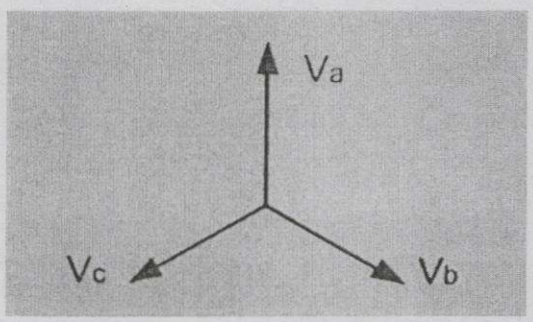
$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.7)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.8)$$

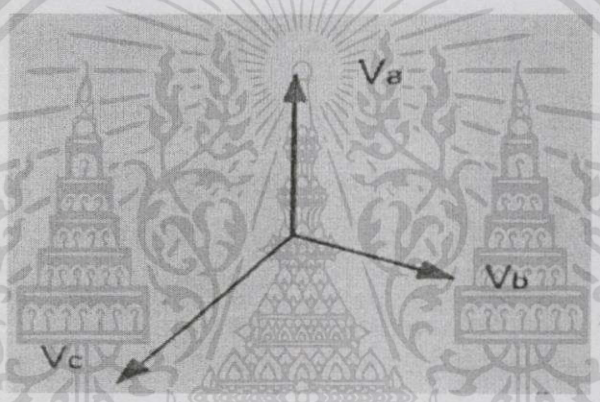
$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.9)$$

ในกรณีระบบสมดุล (balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมทางเฟเซอร์ แสดงดังภาพประกอบ 2.4 ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ดังนั้น ผลรวมทางเฟเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงเฟเซอร์แรงดันของระบบสมดุล



รูปที่ 2.4 แสดงเฟเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล

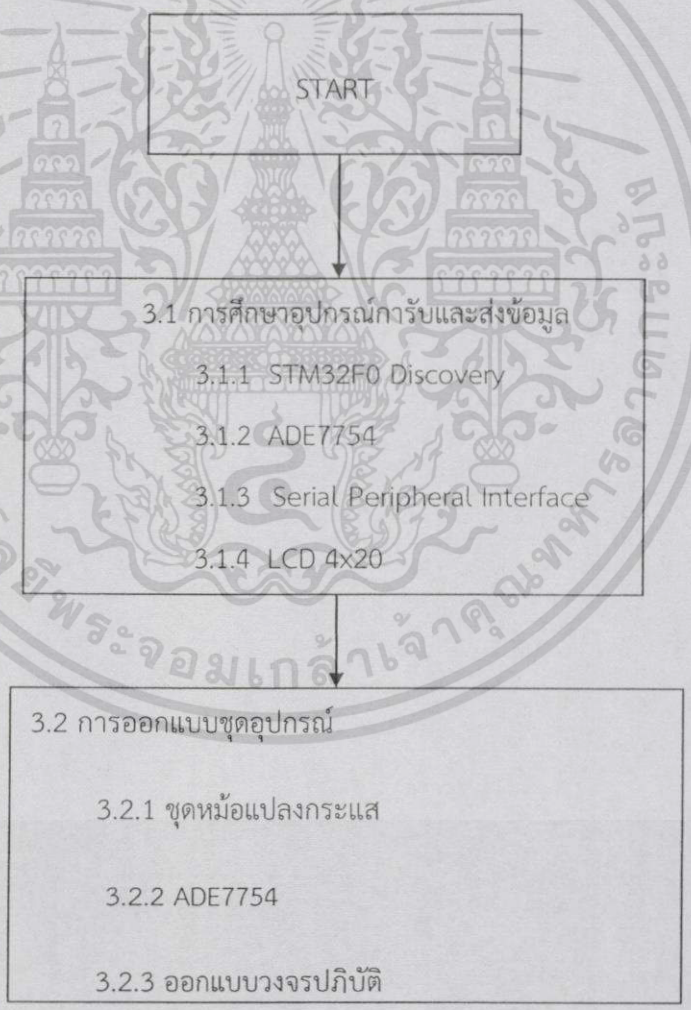
เราสามารถนำทฤษฎีของส่วนประกอบสมการ มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า เช่น การวิเคราะห์การลัดวงจร การวิเคราะห์แรงดันไม่สมดุล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

โครงงานนี้ได้สร้างขึ้นเพื่อออกแบบชุดอุปกรณ์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ วัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage), วัดกระแสไฟฟ้า (Current), วัดกำลังไฟฟ้า (Power), บันทึกผลและนำค่าที่วัดได้มาทำการสอบเทียบ (Calibration) กับมิเตอร์มาตราฐานเพื่อความถูกต้อง สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนและสามารถพกพาชุดอุปกรณ์ไปวัดค่าตามสถานที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวก ขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การศึกษาตัวอุปกรณ์และการรับส่งข้อมูล

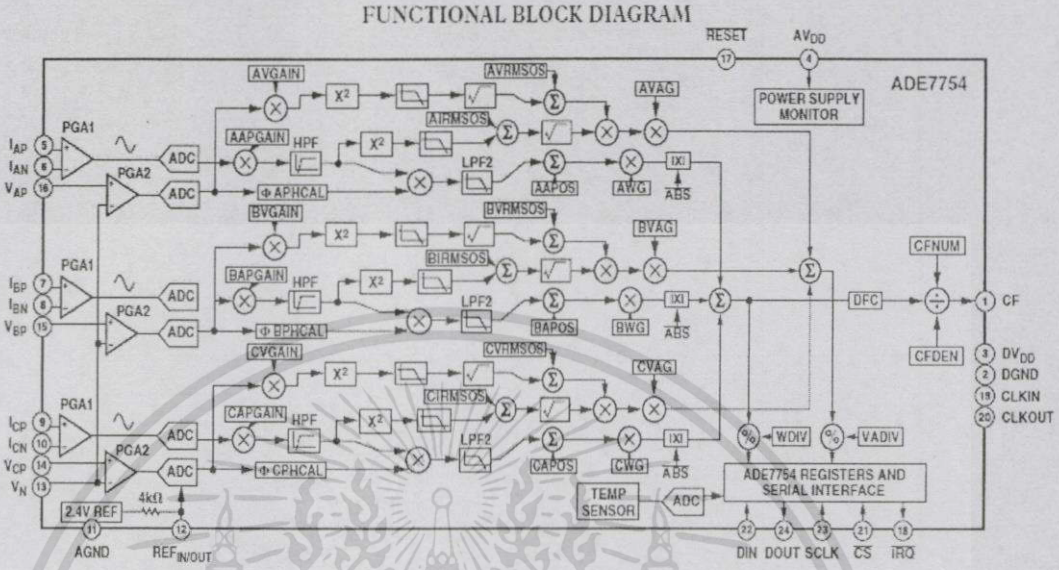
3.1.1 STM32 F0 DISCOVERY

STM32F0 DISCOVERY มีคุณสมบัติหลากหลาย มีอุปกรณ์เพิ่มเติมมากมายที่สามารถเชื่อมต่อกับขั้วต่อขยายส่วน สำหรับการเชื่อมต่อเพิ่มเติมและการตรวจสอบที่ง่ายยิ่งขึ้น ส่วนต่อขยาย อินพุตและเอาท์พุตสำหรับการเชื่อมต่อที่รวดเร็วกับบอร์ดและง่ายต่อการตรวจสอบ มีหลอดไฟ LED 4 ดวง -LD1 (สีแดง) ใช้ไฟ 3.3 Vสำหรับเปิดใช้งาน, - LD2 (สีแดง / สีเขียว) USB สำหรับการสื่อสาร, - LD3 (สีเขียว) สำหรับ PC9 เอาท์พุท, - LD4 (สีฟ้า) สำหรับ PC8 เอาท์พุท มีสองปุ่มกด (สำหรับเปิดใช้เงินและสำหรับรีเซ็ตค่าใหม่) แหล่งจ่ายไฟภายนอก 3 V และ 5 V แหล่งจ่ายไฟภายในบอร์ด: ผ่านบัส USB หรือจากภายนอกแรงดัน 5 V และหน่วยความจำ64 กิโลไบต์แฟลช, 8 กิโลไบต์แรม

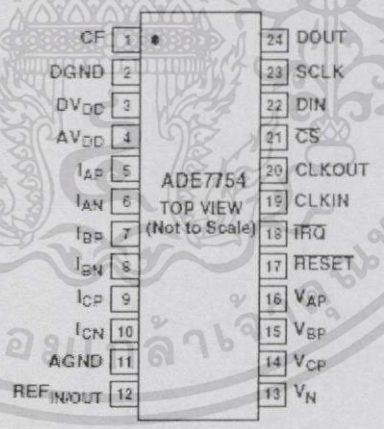
3.1.2 ADE7754

ADE7754 ถูกเตรียมไว้สำหรับจัดการกับปัญหาการวัดค่า Active Power และ Apparent Power ด้วย Analog Input 6 ตัวดังนั้นเราจึงสามารถใช้ ADE7754 ได้หลากหลายเหมือนมี Power Meter เคลื่อนที่เช่น การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 4 สาย (Star), 3 เฟส 3 สาย (Delta) และ แบบ Delta 4 สาย ในส่วนของการคำนวณหาค่า RMS, Active Power และ Apparent Power จุดเด่น ของ ADE7754 คือระบบของมันถูกเตรียมไว้สำหรับวัดแบบแยกเฟส (นั่นคือ การตรวจสอบ Channel, การคำนวณเฟส) CF Output ถูกตั้งไว้ให้มีการตอบสนองเมื่อต้องการค่า Active PowerADE7754 มีการแสดงตัวอย่างเบื้องต้นของคลื่นของทั้งกระแสและแรงดัน โดยชุดอุปกรณ์ที่ต้องทำการออกแบบมีดังนี้ 1) ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer), 2) ADE 7754 การตรวจวัดแรงดันของไฟฟ้าสามเฟส จะทำการต่อตรงกับ ไฟฟ้าสามเฟสโดยตรงและใช้ADE7754 เป็นตัวตรวจวัดแรงดัน ส่วนการวัดสัญญาณกระแสของไฟฟ้าสามเฟสจะใช้หม้อแปลงกระแส แปลงสัญญาณไฟฟ้าก่อน จึงจะส่งสัญญาณไปยัง ADE 7754 จากนั้น ADE 7754 จะคำนวณค่ากระแสและแรงดันที่ส่งมาให้เป็นค่า RMS ส่งไปยัง Microcontroller จากนั้น Microcontroller ที่ถูกโปรแกรมไว้แล้วจะส่งค่าไปแสดงผลในจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงรูปสถาปัตยกรรมภายใน IC เบอร์ ADE7754



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งขาต่างๆของ ADE7754

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆใน ADE7754

ขาที่	ชื่อขา	คำจำกัดความ
1	CF	ขาสอบเทียบความถี่ Output ขานี้จะทำหน้าที่ในด้านข้อมูลของ Active Power วัตถุประสงค์ของขานี้คือไว้สั่งให้ทำงานและสอบเทียบ Output Full-scale ของความถี่สามารถ Scale ได้จากการเขียนคำสั่งบนขา CFNUM และ CFDEN
2	DGND	ขานี้เป็นขากราวด์อ้างอิงของวงจรดิจิตอล (เช่น Multiplier, Filter, Digital Converter) เพราะว่าอาจมีความถี่ย้อนกลับใน ADE7754 ซึ่งอาจจะเพียงเล็กน้อยแต่มันสามารถเชื่อมต่อไปยังอนาลอคกราวด์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบทั้งหมดได้
3	DV_{DD}	Digital Power Supply ตัวจ่ายแรงดันควรตั้งให้อยู่ในระดับประมาณ 5 V ±5% ในการทำงาน ขานี้ไม่ควรต่อร่วมกับขากราวด์ DGND ด้วยตัวเก็บประจุขนาด 10 µF แบบขนานและตัวเก็บประจุแบบเซรามิคขนาด 10 nF แบบอนุกรม
4	AV_{DD}	Analog Power Supply ตัวจ่ายนี้ควรรักษาให้อยู่ในระดับ 5V ±5% ในการทำงาน ควรทำทุกอย่างเพื่อลดระลอกของแรงดันและ Noise ที่ขานี้จากการใช้งานเนื่องจากการไม่ได้ต่อวงจรอย่างเหมาะสม ขานี้ไม่ควรต่อร่วมกับขากราวด์ AGND ด้วยตัวเก็บประจุขนาด 10 µF แบบขนานและตัวเก็บประจุแบบเซรามิคขนาด 10 nF แบบอนุกรม
5,6;7,8;9,10	I_{AP},I_{AN} ; I_{BP},I_{BN} ; I_{CP},I_{CN}	Analog Input Current Channel เป็นช่องทางที่ใช้กับ Current Transducer ซึ่งในเอกสารนี้มีการอ้างอิงถึง Current Channel และ Input นี้สามารถเปลี่ยนแรงดันได้เต็มที่จากระดับสัญญาณ Input แตกต่างสูงสุด 3 ระดับคือ ±0.5V, ±0.25V และ ±0.125V ขึ้นอยู่กับการเลือก Gain จาก PGA
11	AGND	Analog Ground Reference ใช้สำหรับ ADC, Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		Sensor และอื่นๆ ขานี้ควรจะผูกติดอยู่กับ Analog Ground Plane
ขาที่	ชื่อขา	คำจำกัดความ
		และ Quietest Ground Reference ในระบบ Quietest Ground Reference ถูกใช้เพื่อเป็นตัวอ้างอิงสำหรับวงจรอนาลอกทั้งหมด เช่น Anti-Aliasing, Current และ Voltage Transducer เพื่อให้เกิด Noise รอบ ๆ ADE7754 น้อยที่สุด Quietest Ground Plane ควรจะต่อกับ Digital Ground Plane แค่จุดเดียวจึงทำให้ Quietest Ground Plane เป็นที่ยอมรับสำหรับการวางอุปกรณ์ต่างๆลงบน Analog Ground Plane
12	$REF_{IN/OUT}$	ขานี้เป็นขาทางเข้าสำหรับ Voltage Reference ของชิฟโดยค่าปกติอยู่ที่ 2.4V±8% และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิอยู่ที่ 30ppm/°C นอกจากนี้แหล่งอ้างอิงจากภายนอกอาจจะมีการเชื่อมต่อกับขานี้ ในบางเคส ขานี้ไม่ควรต่อกับขา AGND ด้วยตัวเก็บประจุแบบเซรามิคขนาด 1 µF
13,14;15,16	V_N , V_{CP} ; V_{BP} , V_{AB}	Analog Input สำหรับ Voltage Channel ซึ่ง Channel นี้ถูกกำหนดเพื่อใช้กับ Voltage Transducer และมีส่วนที่อ้างอิงถึง Voltage Channel ในเอกสารนี้ อินพุทเหล่านี้เป็นแบบ Single-Ended Voltage ด้วย Maximum Signal Level ±0.5V ซึ่งเกี่ยวข้องกับ V_N เพื่อการดำเนินงานตามที่ได้ระบุไว้ Input นี้เป็น Voltage Input ซึ่งมีระดับสัญญาณ Input แตกต่างมากที่สุด 3 ระดับคือ ±0.5V, ±0.25V และ ±0.125V ขึ้นอยู่กับการเลือก Gain จาก PGA ภายใน
17	RESET	ขา Reset ป้อน Logic Low บนขานี้เพื่อให้ตัว ADC และวงจรดิจิตอลอยู่ในสภาพ Reset
18	IRQ	Interrupt Request Output เป็นแบบ Active Low, Open Drain Logic Output อินเตอร์รัพเป็นแบบที่คอมพิวเตอร์สามารถปฏิเสธได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		(Maskable Interrupt) ประกอบไปด้วย Active Energy ครึ่งหนึ่ง และ Apparent Energy ติดตั้งเอาไว้และมีการ Sampling ของ Waveform ที่ด้วยความเร็ว 26 kSPS
19	CLKIN	เป็น Master Clock สำหรับ ADC และประมวลผลสัญญาณดิจิตอล Internal Clock นี้สามารถสั่งการที่ Logic Input ได้โดยตรง Parallel Resonant AT Crystal สามารถเชื่อมต่อผ่าน CLKIN และ CLKOUT เพื่อให้เป็น Clock Source สำหรับ ADE7754. Clock Frequency สำหรับการทำงานคือ 10 MHz โหลดตัวเก็บประจุแบบเซรามิคขนาด 22pF และ 33 pF ควรจะใช้กับวงจรประเภท Gate Oscillator
20	CLKOUT	Crystal สามารถเชื่อมต่อผ่านขานี้และขา CLKIN ได้ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นคือใช้เป็น Clock Source สำหรับ ADE7754. CLKOUT สามารถขับเคลื่อน CMOS ได้ตัวหนึ่งเมื่อมี External Clock เข้ามาที่ขา CLKIN หรือเมื่อมีการใช้ Crystal
ขาที่	ชื่อขา	คำจำกัดความ
21	CS	Chip Select เป็นส่วนของ 4-Wire Serial Interface สำหรับ ADE7754 เป็นแบบ Active Low Logic Input เพื่อแบ่งปัน Serial Bus กับอุปกรณ์ต่างๆ
22	DIN	Data Input สำหรับ Serial Interface ข้อมูลจะถูกส่งแบบเลื่อนตามจังหวะของ SCLK
23	SCLK	Serial Clock Input สำหรับ Synchronous Serial Interface
24	DOUT	Data Output สำหรับ Serial Interface โดยข้อมูลจะถูกเลื่อน(ส่ง)ออกจากขานี้ด้วยสัญญาณขอบขาขึ้นจาก SCLK โดยปกติแล้ว Output จะมี Impedance สูงเว้นเสียแต่ว่ามีการส่งข้อมูลผ่าน Serial Data Bus

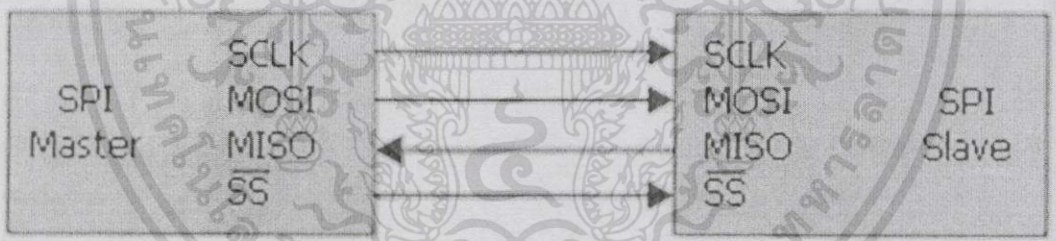
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 Serial Peripheral Interface

SPI หรือ Serial Peripheral Interface เป็นวิธีการสื่อสารรูปแบบหนึ่ง ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น พริ้นเตอร์ กล้องถ่ายรูป เครื่องสแกนเนอร์ และอื่นๆ อีกมามาย ถึงแม้ว่าการสื่อสารของ USB ที่มีฟังก์ชั่นการทำงานที่กว้างกว่า แต่การสื่อสารในรูปแบบ SPI ก็ยังถูกใช้งานกันอยู่ในบางApplication

SPI ทำงานในรูปแบบที่ให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น MASTER ในขณะที่อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น SLAVE และส่งข้อมูลในโหมด Full-duplex นั่นหมายความว่า สัญญาณสามารถส่งหากันได้ระหว่าง MASTER และ SLAVE ได้อย่างต่อเนื่อง ในการสื่อสารแบบ SPI นี้ ไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดตายตัว ว่าข้อมูลที่ส่งหากันต้องอยู่ในรูปแบบหรือ format แบบไหน เป็นการคิด protocol การสื่อสารกันเอาเอง

การสื่อสารด้วย Serial Peripheral Interface



รูปที่ 3.4 แสดงการสื่อสารด้วย SPI

อุปกรณ์ที่ยังคงมีการใช้การสื่อสารแบบ SPI อยู่

- การแปลงข้อมูลจาก Analog to Digital หรือจาก Digital to Analog
- การติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM และ FLASH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไอซีประเภท Real Time Clock : RTC
- เซ็นเซอร์ จำพวก Temperature sensor , Pressure sensor
- อื่น ๆ เช่น signal mixer , Potentiometer , LCD controller , USART , CAN controller , USB controller , Amplifier

พื้นฐานการทำงาน

SPI ต้องการสายสัญญาณ สี่เส้น บางครั้งเราเรียกว่าบัสอนุกรม "four wire" เส้นสัญญาณทั้งสี่เส้น ได้แก่

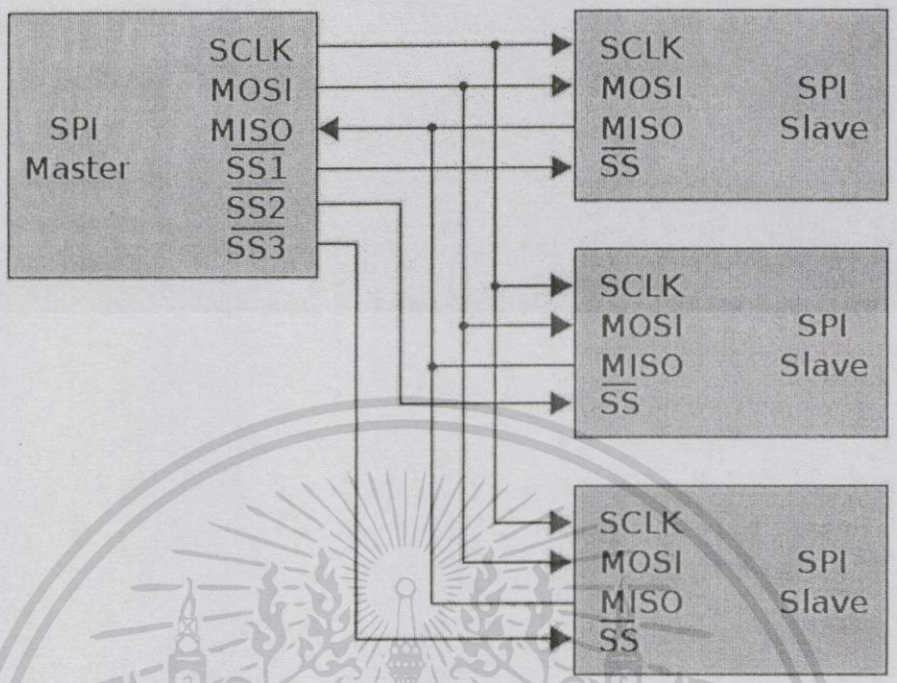
ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานของ SPI

Line	Name	Description
SCLK	Serial Clock	Output from master
MOSI/SIMO	Master Output, Slave Input	Output from master
MISO/SOMI	Master Input, Slave Output	Output from slave
SS	Slave Select	Output from master (active low)

เหตุผลที่เรียกว่า master ก็เพราะว่า ตัวที่เป็นมาสเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการสื่อสารทั้งหมด โดยควบคุมการสื่อสารตามสัญญาณนาฬิกา ตัวมาสเตอร์จะเป็นตัวที่ตัดสินใจ รับ หรือ ส่งข้อมูล ภายในการสื่อสาร จะเป็นการสื่อสารแบบ full duplex ในการนำส่งข้อมูล

เราใช้ สัญญาณเส้น SS หรือ Slave select ในกรณี ที่เรามีตัว slave มากกว่า 1 ตัว โดยการทำให้เส้น SS มีระดับสัญญาณเป็น Low เมื่อต้องการติดต่อกับ Slave ตัวใด จากรูปด้านล่างหากเราต้องการติดต่อสื่อสารกับ Slave ตัวใด ก็เพียงทำให้สัญญาณ SS ของ Slave ตัวนั้น มีระดับสัญญาณเป็น Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงรูปวงจรการต่อมาสเตอร์ 1 ตัวกับ Slave 3 ตัว

3.1.4 LCD 4x20

LCD รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCDในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนดังนี้

- **ตัวแสดงผล(display)**ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD
- **ตัวควบคุม(controller)**เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ ชิปที่นิยมใช้คือเบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 ใช้ควบคุม LCD แบบอักขระ ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD กราฟฟิก
- **ตัวขับ(driver)**เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผล แสดงข้อมูลตามที่กำหนดชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H , MSM5259 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

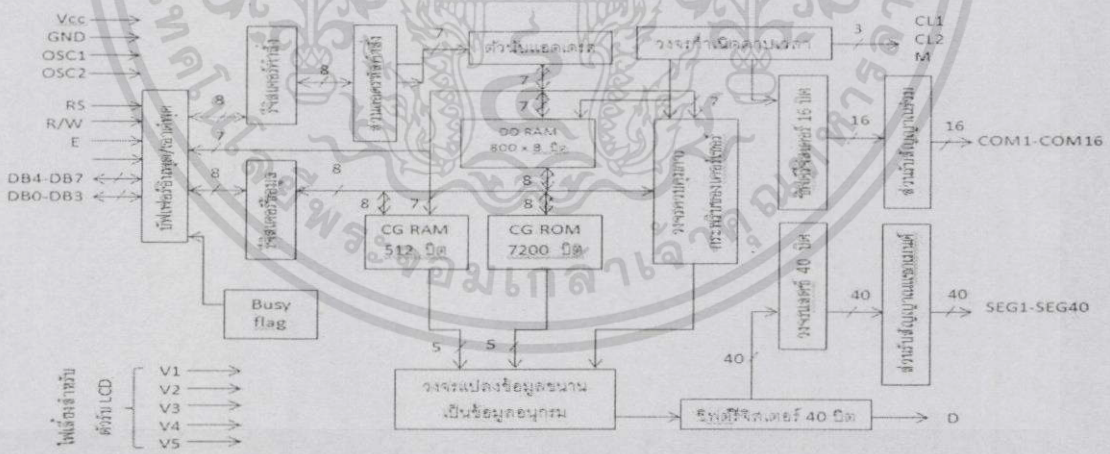
ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้าง และคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน ในนี้จะขอยกตัวอย่าง LCD แบบอักขระ เพราะสามารถเข้าใจได้ง่าย ให้รูปที่ P15-1 เป็นบล็อกไดอะแกรมภายในของชิปควบคุม LCD เบอร์ HD44780 ซึ่งใช้ในโมดูล LCD แบบอักขระ ประกอบด้วย

- **บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต** เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อรับส่งข้อมูลกับตัวอุปกรณ์ภายนอกเพื่อ

ถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

- **รีจิสเตอร์คำสั่ง(Instruction Registor:IR)** เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล
- **รีจิสเตอร์ข้อมูล(Data Registor : DR)** เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อส่งต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผลหรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร
- **แรมเก็บข้อมูลแสดงผล(display Data RAM : DDRAM)** เป็นหน่วยความจำ

แรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look up-lable) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรอมและแรมเก็บตัวอักษรเพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล



รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **รอมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM : CDROM)**

เป็นหน่วยความจำรอมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7200 บิต โดยจะถูกอ่านได้ด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

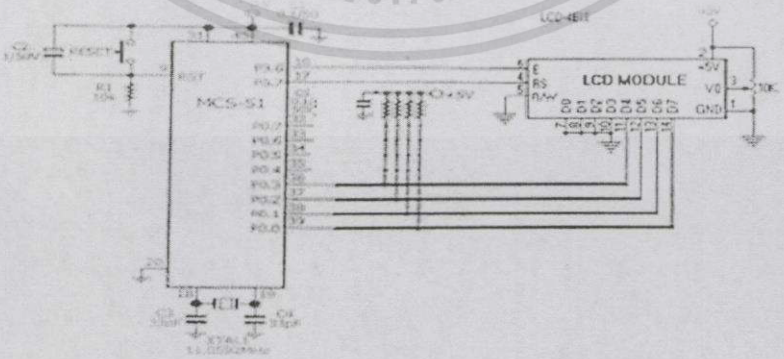
- **แรมเก็บตัวอักขระ (Character Generator RAM : CGRAM)**

เป็นหน่วยความจำแรมความจุ 512 บิตใช้เก็บอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวข้อมูลจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟลก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของ แฟลก BUSY นี้เสียก่อน

3.1.4.2 โมดูล LCD ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด (LCD 20x4)

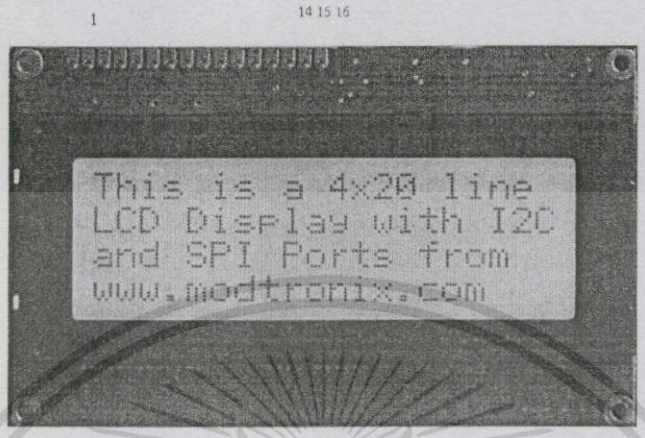
สำหรับโมดูล LCD ที่ยกมาใช้ในการศึกษา เป็นขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด เนื่องจากราคาถูก หาง่าย และเป็นโมดูล LCD ที่มีโครงสร้างเป็นมาตราฐาน มีผู้ผลิตหลายราย และมีการระบุเบอร์แตกต่างกันออกไปตามผู้ผลิต อาทิ LM020L ของฮิตาชิ,DMC-16117A ของคอปเทร็ก (Optrex) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือเบอร์เดียวกันนั่นคือเบอร์ HD44750 ของฮิตาชิ



รูปที่ 3.7 วงจรสำหรับทดลองการแสดงข้อความบนโมดูล LCD 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูล LCD ขนาด20 x4 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขา มีการจัดขาดังในรูปที่ P15-2 สำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้



รูปที่ 3.8 LCD 4x20

ตารางที่ 3.3 รูปร่างและการจัดขาโมดูล LCD แบบอักขระ

RS	R/W	E	การทำงาน
0	0		เขียนคำสั่ง
0	1		อ่านสถานะของโมดูล LCD
1	0		เขียนข้อมูล
1	1		อ่านข้อมูล

ตารางที่ 3.4 แสดงการหน้าที่การทำงานของแต่ละขา

ขา	สัญลักษณ์	คำอธิบาย	ระดับ	หน้าที่	
1	VSS	Ground	-	0V	Ground
2	VDD	Power Supply	-	+5V	ต่อกับแรงดันไฟเลี้ยง +5V
3	V0	LCD Control	-	-	ต่อกับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล
4	RS	Register Select	H/L	RS=0 หมายถึงต้องการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register)	
5	R/W	Read/Write	H/L	RS=1 หมายถึงต้องการติดต่อกับรีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	E	Enable	H,H->L	Enable Signal
7-14	DB0-DB7	Data Bus	H/L	Data Bus Line
15	A	Back Light A	-	Back Light +5V (สำหรับรุ่นที่มี Back Light)
16	K	Back Light K	-	Back Light 0V (สำหรับรุ่นที่มี Back Light)

Vss (ขา1) : ต่อกราวด์

Vdd **(ขา2)**:ต่อไฟเลี้ยง +5V

Vo **(ขา3)** : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อนปรับความเข้มของการแสดงผล

RS**(ขา4)**:เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้น ว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “00” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลที่จะแสดงผล

R/W**(ขา5)**:เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

E **(ขา6)** : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 **(ขา 7-14)**: เป็นขาที่ใช้ปันทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต อนึ่งขา RS,R/W และ E จะใช้ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์

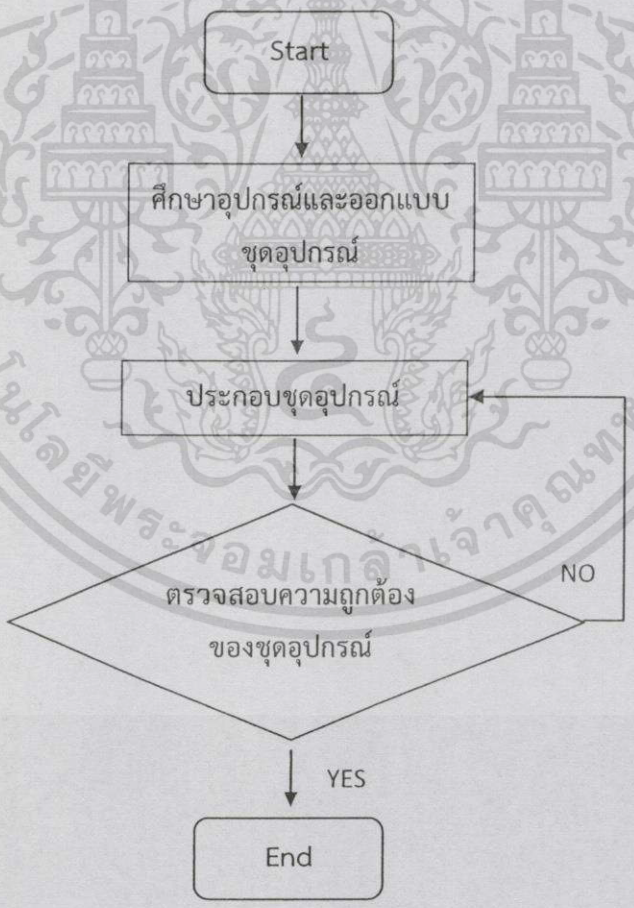
สำหรับการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้จับสัญญาณแรงดันและกระแส โดยมีชุดอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

3.2.1 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ คือ IC เบอร์ ADE7754

3.2.3 ออกแบบวงจร

การตรวจวัดแรงดันของไฟฟ้าสามเฟส จะทำการต่อตรงกับไฟฟ้าสามเฟสโดยตรง และใช้ ADE7754 เป็นตัวตรวจวัดแรงดัน ส่วนการวัดสัญญาณกระแสของไฟฟ้าสามเฟส จะใช้หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) แปลงสัญญาณไฟฟ้าก่อน จึงจะส่งสัญญาณไปยัง ADE7754 จากนั้น ADE7754 จะคำนวณค่ากระแสและแรงดันที่ส่งมาให้เป็นค่า RMS ส่งไปยัง Microcontroller จากนั้น Microcontroller ก็จะส่งค่าไปแสดงผลที่จอ LCD ซึ่งมีการออกแบบชุดอุปกรณ์ดังนี้

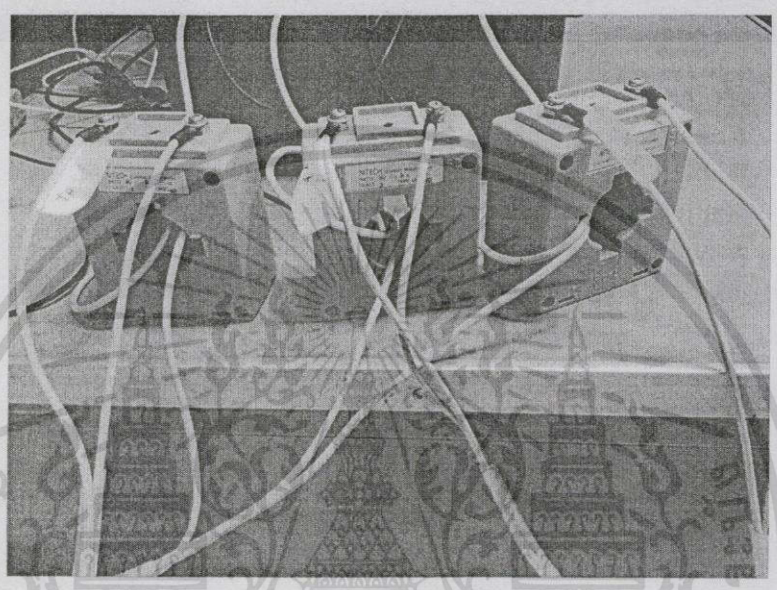


รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

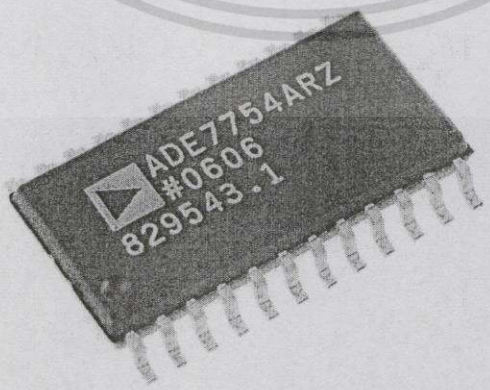
หม้อแปลงกระแสที่ใช้เป็นหม้อแปลงของ NITECH รุ่น MSQ-40 มี Current Ratio เท่ากับ 30 : 5 A จากนั้นทำการต่อตัวต้านทาน 0.1 โอห์ม ขนานกับขั้ว Secondary ของหม้อแปลงกระแสทั้ง 3 ตัว ทำให้สามารถวัดแรงดันที่มีค่าเท่ากับกระแสที่ถูกแปลงออกมาได้ ดังรูป



รูปที่ 3.10 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

3.2.2 ADE 7754

ADE7754 เป็น IC ที่สามารถวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้าด้วยความแม่นยำที่สูงด้วย Serial Interface และ Pulse Output สมารถคำนวณหาค่า RMS, Active Power และ Apparent Power

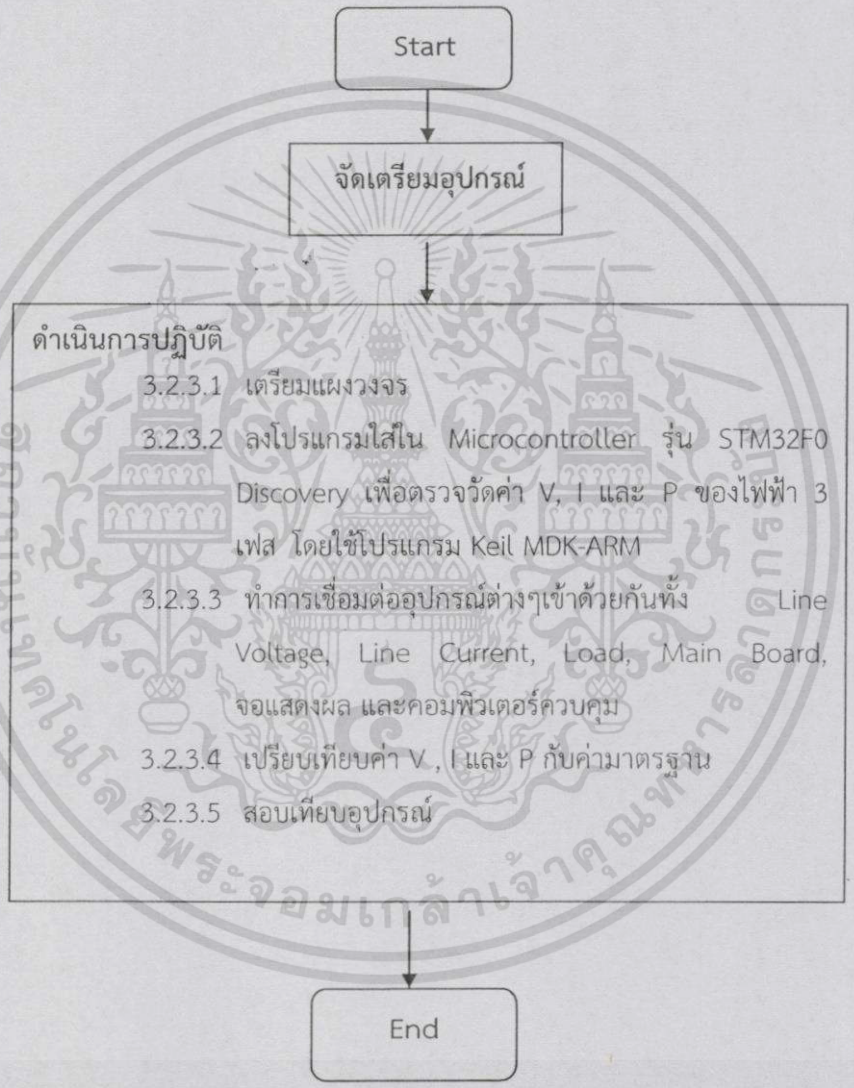


รูปที่ 3.11 แสดง IC เบอร์ ADE7754

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ออกแบบวงจร (ปฏิบัติ)

การออกแบบแบบวงจรสำหรับการวัดไฟฟ้าสามเฟส เขียนเป็น Flow chart ได้ดังนี้

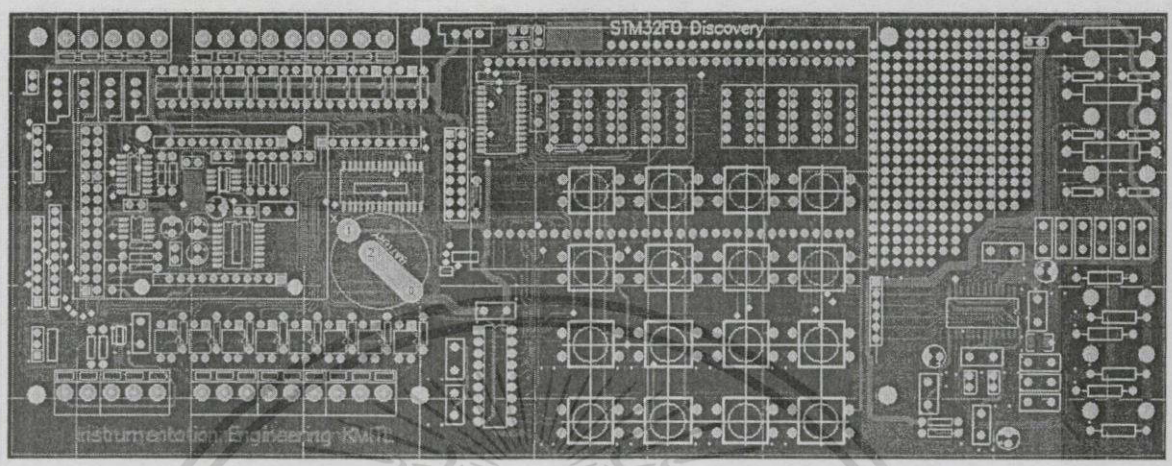


รูปที่ 3.12 แสดงวิธีดำเนินการออกแบบวงจร

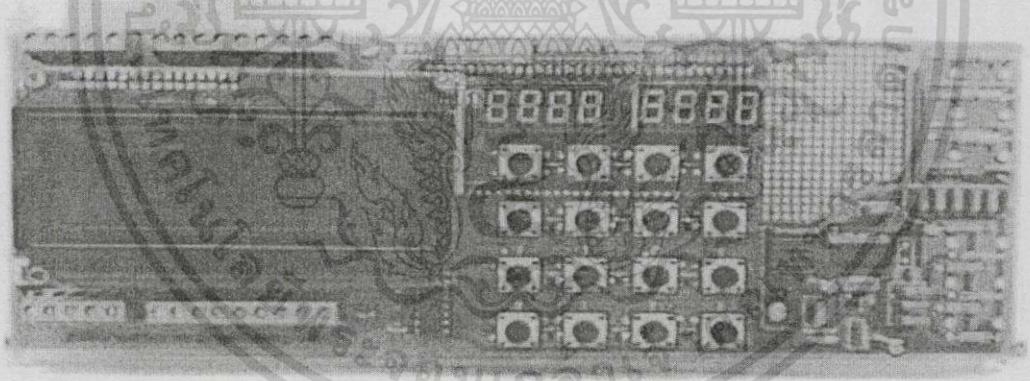
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.1 เตรียมแผงวงจร

ทำการต่อวงจรเชื่อมอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันบนแผงวงจร ซึ่งจะได้รูปแบบของวงจรดังนี้



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรในแผงวงจร



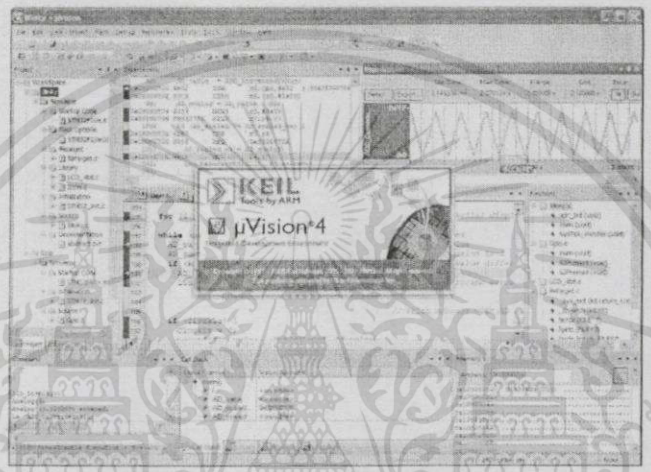
รูปที่ 3.14 แสดงบอร์ดวงจรของจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 ลงโปรแกรมใส่ใน Microcontroller รุ่น STM32F0 Discovery เพื่อตรวจวัดค่า Voltage , Current และ Power ของไฟฟ้า 3 เฟส

ลงโปรแกรมใน Microcontroller รุ่น STM32F0 Discovery ซึ่งจะใช้ Keil uVision4 เป็นตัวโปรแกรมใช้เขียนคำสั่ง ให้ Microcontroller รับค่า Voltage และ Current จาก ADE 7754 ให้แสดงผลออกมาที่จอ LCD

➢ Keil MDK-ARM (Microcontroller Development Kit)

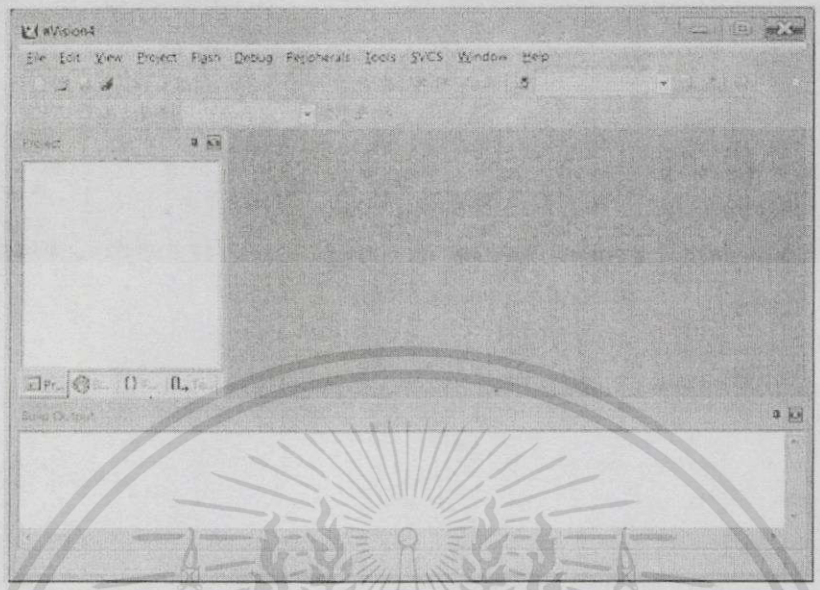


รูปที่ 3.15 Keil MDK-ARM

Keil MDK-ARM (Microcontroller Development Kit) เป็นโปรแกรมที่ประกอบด้วย ARM compilation tools สำหรับคอมไพล์โค้ด C/C++ และ Keil uVision ซึ่งทำหน้าที่เป็น IDE (Integrated Development Environment) นอกจากนั้นยังได้รวมไลบรารี่และระบบปฏิบัติการเวลาจริง (RTX Real-Time Operating System) ไว้เป็นตัวเลือกสำหรับการพัฒนาโปรแกรมระบบสมองกลฝังตัวที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยประมวลผลซอฟต์แวร์นี้ใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตระกูล เช่น ARM7TDMI, Cortex-M series เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

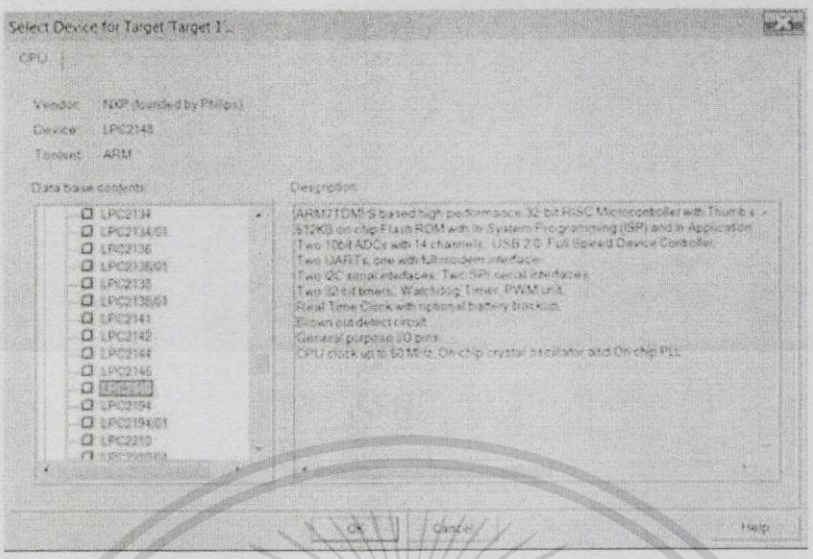
เริ่มต้นด้วยการสร้างโปรเจคใหม่ (Create New Project) ในหน้าต่างหลักของ uVision4



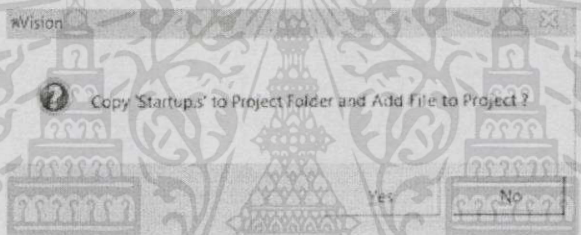
รูปที่ 3.16 หน้าต่างหลักของ uVision IDE

รูปที่ 3.17 กลับสู่หน้าต่างหลัก แล้วทำขั้นตอน "Build Target"
ถ้าไม่มี error จะได้ไฟล์ .hex ที่สามารถนำไปโปรแกรมลงชิปได้

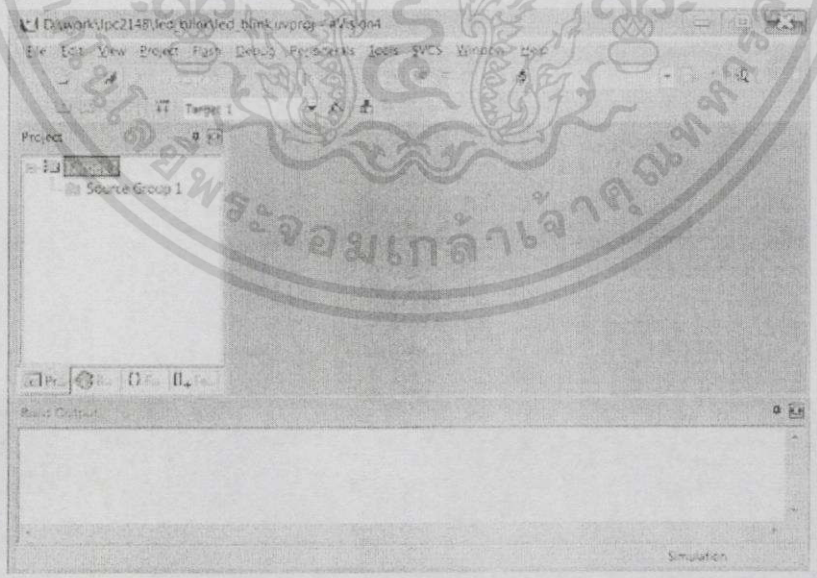
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 เลือกชิปเป้าหมาย (เลือก NXP LPC2148)

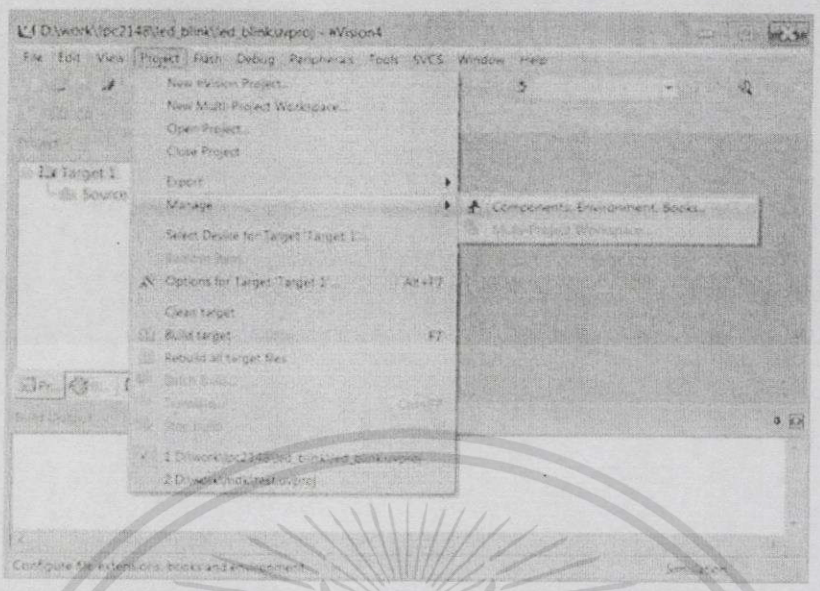


รูปที่ 3.19 เมื่อถึงขั้นตอนที่ถามว่า จะสร้างไฟล์ Startup.s ลงในโปรเจคหรือไม่ ให้เลือกไม่ใส่ (No)

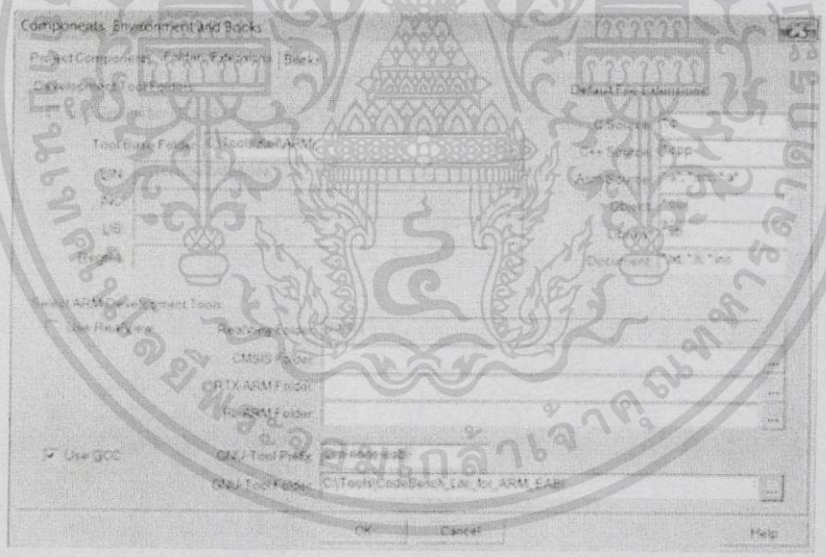


รูปที่ 3.20 กลับมาสู่หน้าต่างหลักเมื่อได้สร้างโปรเจคใหม่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

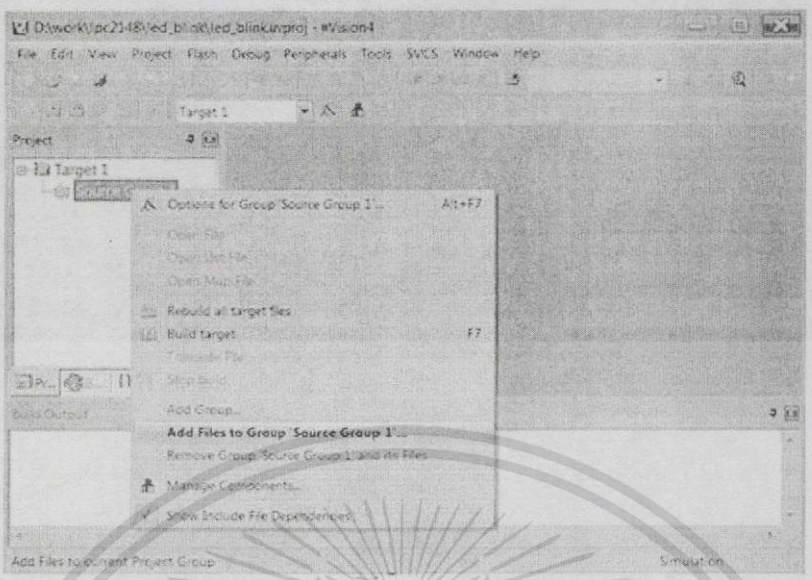


รูปที่ 3.21เลือกเมนู Project – Manage – Components, Environment, Books ...
เพื่อเลือกคอมไพล์เลอร์ที่ต้องการใช้งาน

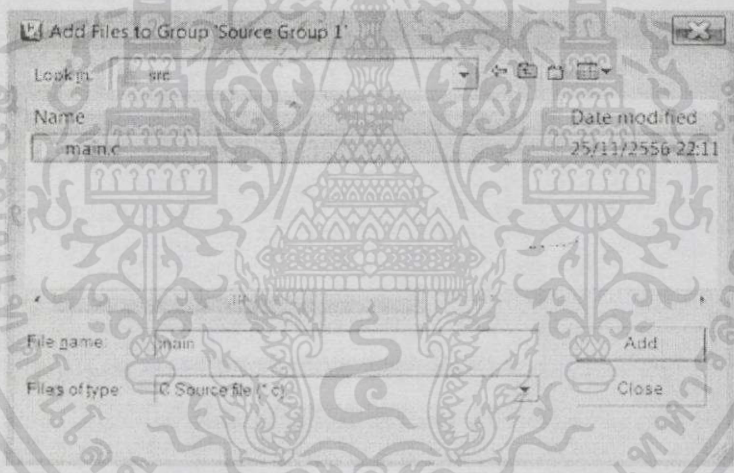


รูปที่ 3.22 เลือกใช้ "Use GCC" ซึ่งเป็นคอมไพล์เลอร์ของ Sourcery Code bench
โดยจะต้องระบุ Folder / Directory (GNU-Tools Folder) ที่ได้ติดตั้งโปรแกรมดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

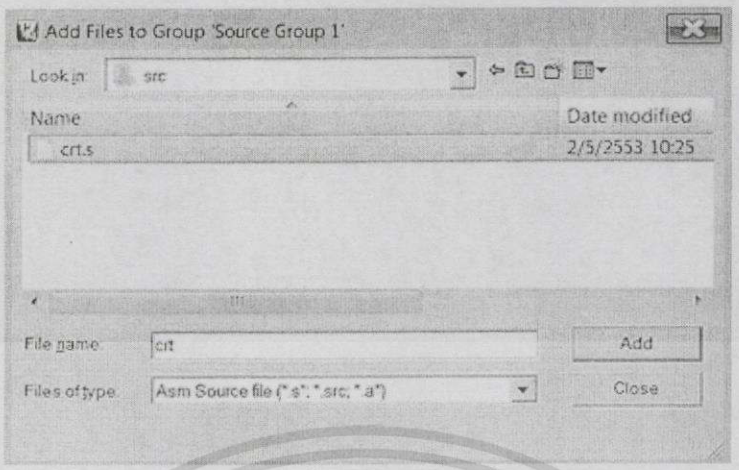


รูปที่ 3.23ขั้นตอนนี้เป็นการใส่ไฟล์ Source Code ลงในโปรเจค



รูปที่ 3.24 เลือกไฟล์ main.c (โค้ดภาษา C) จาก Source Code ตัวอย่าง เพื่อใส่เป็นส่วนหนึ่งของโปรเจค

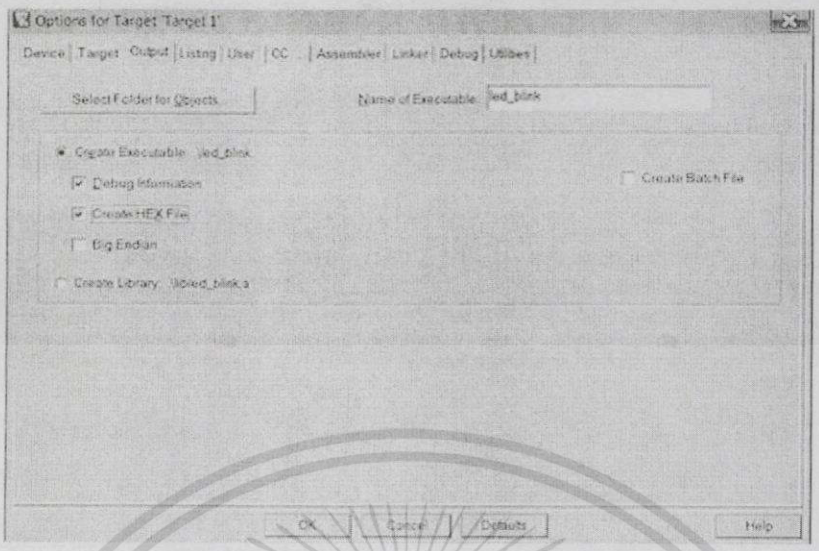
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 เลือกไฟล์ crt.s (โค้ด Startup ภาษา Assembly) จาก Source Code ตัวอย่าง

รูปที่ 3.26 กลับสู่หน้าต่างหลักเมื่อได้เพิ่มไฟล์จาก Source Code ตัวอย่างลงในโปรเจคแล้ว

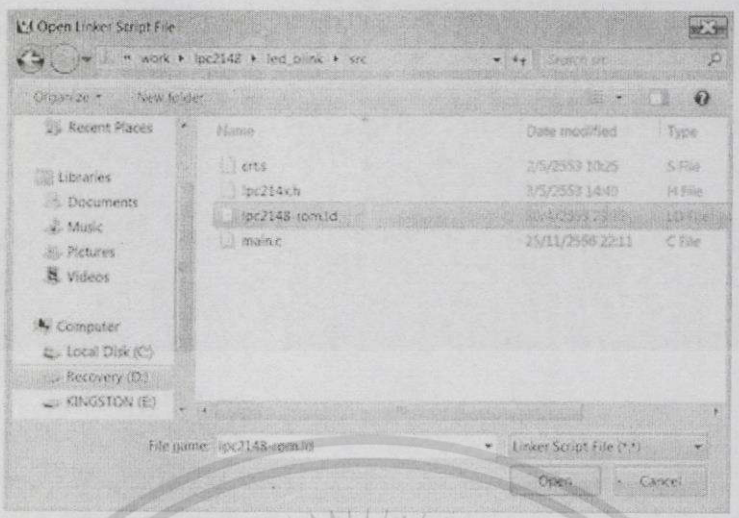
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



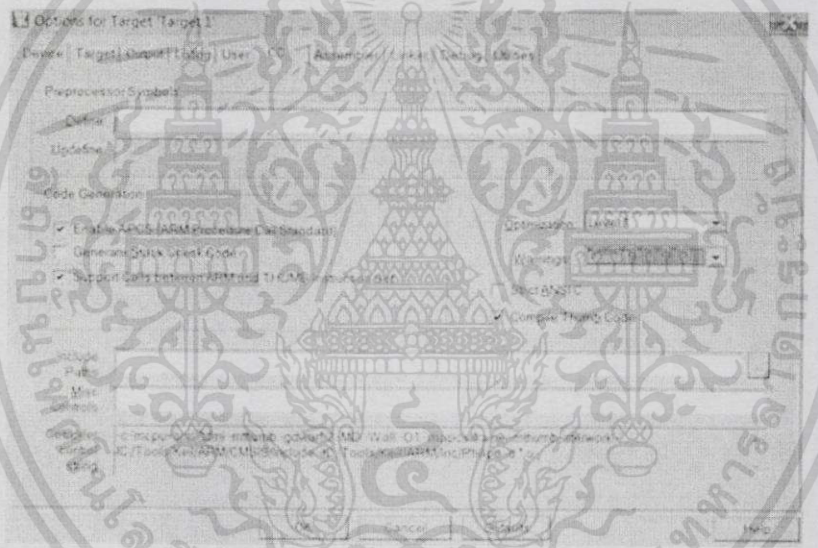
รูปที่ 3.27 เลือกจากเมนู "Option for Target ..." และไปที่หน้า Tab "Output" แล้วเลือก "Create .HEX file"

รูปที่ 3.28 ไปที่หน้า Tab "Linker" เพื่อเลือกไฟล์ Linker Script

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

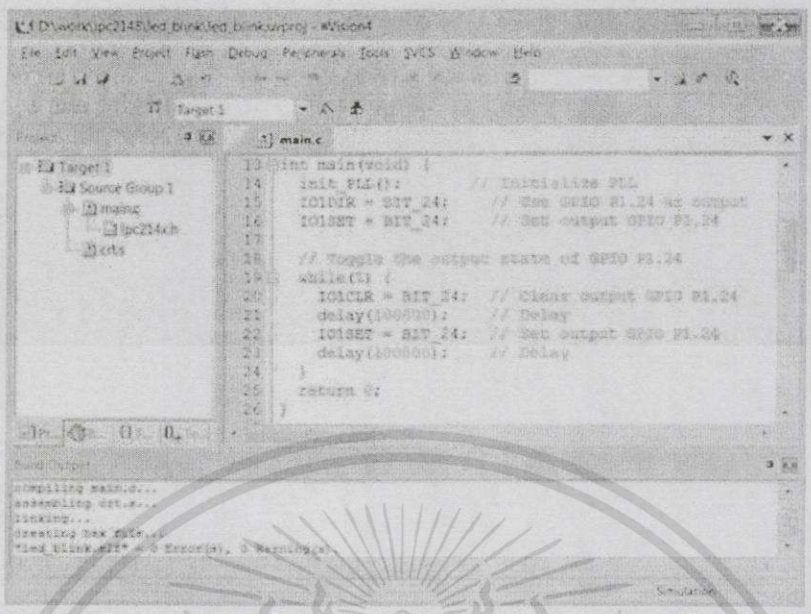


รูปที่ 3.29 เลือกไฟล์ Linker Script “lpc2148-rom.ld” จาก Source Code ตัวอย่าง



รูปที่ 3.30 ไปที่หน้า Tab “CC” สามารถกำหนดตัวเลือกสำหรับ Compiler เช่น Optimization Level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 กลับสู่หน้าต่างหลัก แล้วทำขั้นตอน "Build Target" ถ้าไม่มี error จะได้ไฟล์ .hex ที่สามารถนำไปโปรแกรมลงชิปได้

➢ **แถบเครื่องมือและไอคอนเครื่องมือ**

μVision IDE ประกอบด้วยแถบเครื่องมือที่มีปุ่มสำหรับเรียกใช้คำสั่งต่างๆมากมาย

- แถบเครื่องมือไฟล์จะประกอบด้วยปุ่มคำสั่งที่ใช้เพื่อแก้ไข source files หรือกำหนดค่าโปรแกรมต่างๆของμVision
- แถบเครื่องมือการสร้างจะประกอบด้วยปุ่มสำหรับชุดคำสั่งที่ใช้สำหรับสร้างโปรเจค
- แถบเครื่องมือดีบักมีปุ่มสำหรับชุดคำสั่งที่ใช้สำหรับการดีบัก

แถบเครื่องมือไฟล์

	New File – opens an empty text window
	Open File – dialog to open an existing file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Save File – saves the contents of the current file
	Save All – saves changes in all open files
	Cut – deletes the selected text and copies it to the clipboard
	Copy – copies the currently selected text to the clipboard
	Paste – inserts text from the clipboard to the current cursor position
	Undo changes – removes prior changes in an edit window
	Redo changes – restores the last change that was undone
	Navigate Backwards – moves cursor to its former backward position
	Navigate Forwards – moves cursor to its former forward position
	Bookmark – sets or removes a bookmark at cursor position
	Previous Bookmark – moves the cursor to the bookmark previous to the current cursor position
	Next Bookmark – moves cursor to the bookmark ahead of the current cursor position
	Clear All Bookmarks – removes bookmarks in the current document
	Indent – moves the lines of the highlighted text one tab stop to the right
	Unindent – moves all highlighted text lines one tab stop to the left
	Set Comment – converts the selected code/text to comment lines
	Remove Comment – converts the selected text lines back to code lines
	Find in Files – searches for text in files; results shown in an extra window
	Find – searches for specified text in current document
	Incremental Find – finds expression as you type
	Debug Session – starts/stops debugging
	Breakpoint – sets or removes a breakpoint at cursor position
	Disable Breakpoint – disables the breakpoint at cursor position
	Disable All Breakpoints – disables all breakpoints in all documents

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

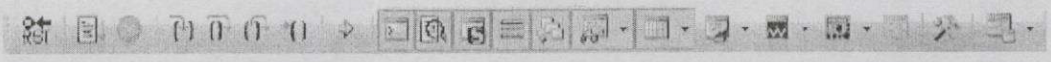
	Kill All Breakpoints – removes all breakpoints from all documents
	Project Window – dropdown to enable/disable project related windows
	Configure – dialog to configure your editor, shortcuts, keywords, ...

แถบเครื่องมือการสร้าง

	Translate/Compile – compiles or assembles the file in the current edit window
	Build – builds and links those files of the project that have changed or whose dependencies have changed
	Rebuild – re-compiles, re-assembles, and re-links all files of the project
	Batch Build – re-builds the application based on batch instructions. This feature is active in a Multi-Project environment only.
	Stop Build – halts the build process
Load	Download – downloads your application to the target system flash
	Target – drop-down box to select your target system (in the Toolbar example above: Simulator)
	Target Options – dialog to define tool and target settings. Set device, target, compiler, linker, assembler, and debug options here. You can also configure your flash device from here.
	File Extensions, Environments, and Books – dialog to configure targets, groups, default folders, file extensions, and additional books
	Manage Multi-Project Workspace – dialog to add or remove individual projects or programs to or from your multi-project container

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบเครื่องมือดีบัก



	Reset – Resets the microcontroller CPU or simulator while debugging
	Run – continues target program execution to next breakpoint
	Stop – halts target program execution
	Step One Line – steps to the next instruction or into procedure calls
	Step Over – steps over a single instruction and over procedure calls
	Step Out – steps out of the current procedure
	Run to Line – runs the program until the current cursor line
	Show Current Statement – Shows next statement to be executed
	Command Window – displays/hides the Command Window
	Disassembly Window – displays/hides the Disassembly Window
	Symbol Window – displays/hides Symbols, Variables, Ports, ...
	Register Window – displays/hides Registers
	Call Stack Window – displays/hides the Call Stack tree
	Watch Window – drop-down to display/hide Locals and Watch Windows
	Memory Window – drop-down to display/hide Memory Windows
	Serial Window – drop-down to display/hide UART-peripheral windows and the Debug printf() View
	Logic Analyzer – displays variable values graphically; Also used as a drop-down to display/hide the Performance Analyzer and Code Coverage Window.
	Performance Analyzer – displays, in graphical form, the time consumed by modules and functions as well as the number of function calls
	Code Coverage – dialog to view code execution statistics in a different way than with the Performance Analyzer
	System Viewer – view the values of your Peripheral Registers
	Instruction Trace – displays/hides the Instruction Trace Window
	Toolbox – shows/hides the Toolbox dialog. Depending on your target

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	system, various options are available.
	Debug Restore Views – drop-down to select the preferred window layout while debugging

รูปที่ 3.32 แสดงรูปโปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรม

รูปแสดงตัวอย่างโปรแกรม

โปรแกรมที่เขียนลงไป

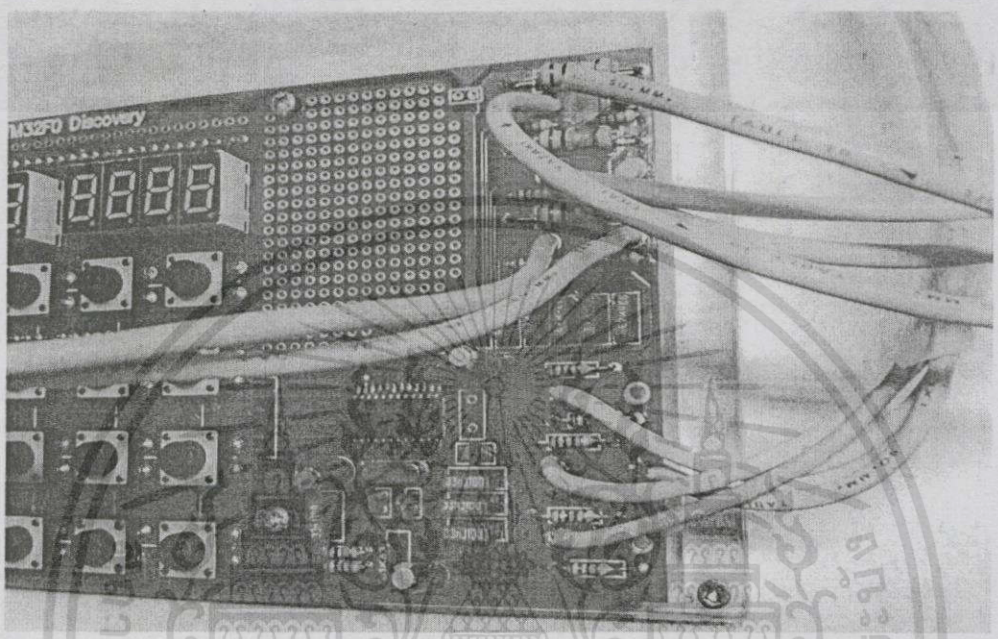
```
int main(void)
{
        delayms(100);
        SystemInitial();
        MAX7219Initial();
        LCDInitial();
        ADE7754_Setup();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
GPIOD->BSRR = KEY_OPE;
MODE = 0;
        while (1)
        {

                READ_VOLTAGE();
                                //read all phase A B & C
                READ_CURRENT();
                                //read all phase A B & C
                READ_ACTENERGY();
                                //ACTIVE Energy
                READ_VAENERGY();
                                //VA Energy

                Check_Key();
                Check_Mode();

        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.3 ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันทั้ง Line Voltage, Line Current, Load, Main Board ,จอแสดงผล และคอมพิวเตอร์ควบคุม

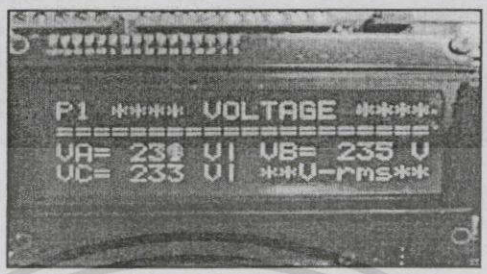


รูปที่ 3.33 แสดงการนำเอา Line Current และ Line Voltage เข้ากับ Main Board

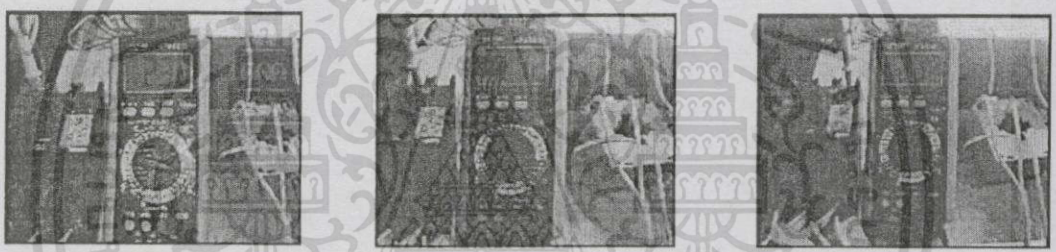
3.2.3.4 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์จากชุดอุปกรณ์กับเครื่องมือมาตรฐาน

โดยทำการวัดทุกเฟสทั้งสามเฟส แล้วทำการเพิ่มโหลดทีละ 100 Watt โดยเพิ่มเป็น 200 Watt แล้ววัดค่า Current, Voltage และ Power หลังจากนั้นเพิ่มเป็น 300 Watt แล้ววัดค่า สุดท้ายเพิ่มเป็น 400 Watt แล้ววัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

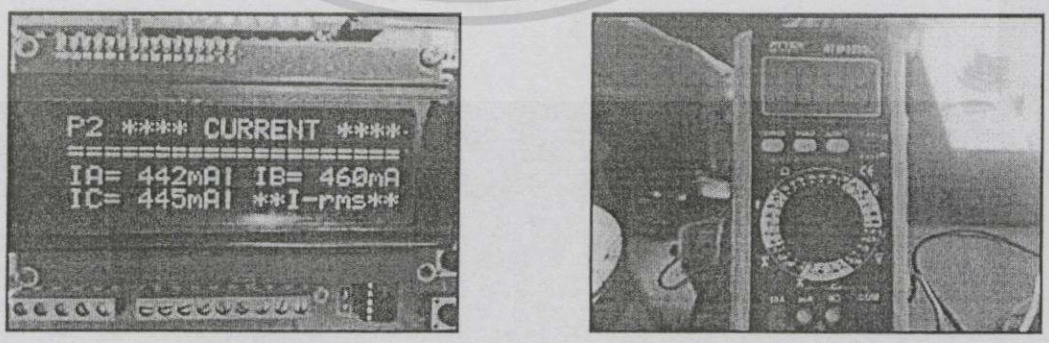


Voltage ที่ทำการวัดได้ทั้งสามเฟส



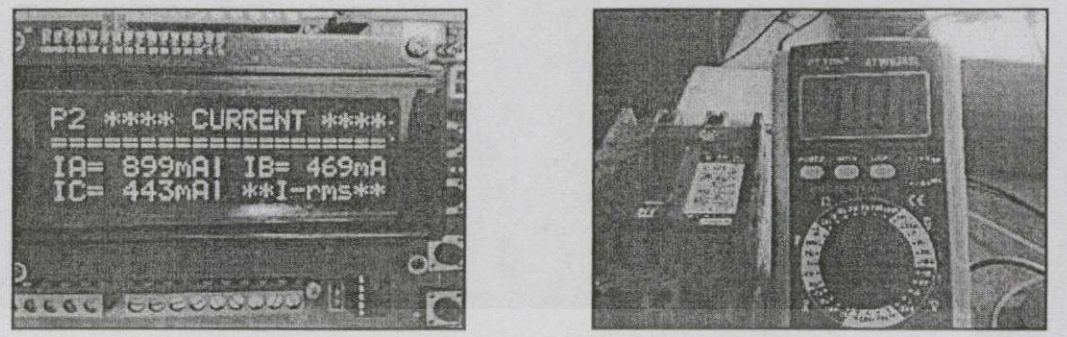
Voltage ที่เฟส A จากมิเตอร์ Voltage ที่เฟส B จากมิเตอร์ Voltage ที่เฟส C จากมิเตอร์

รูปที่ 3.34 แสดงการเปรียบเทียบค่า Voltage ทั้งสามเฟส



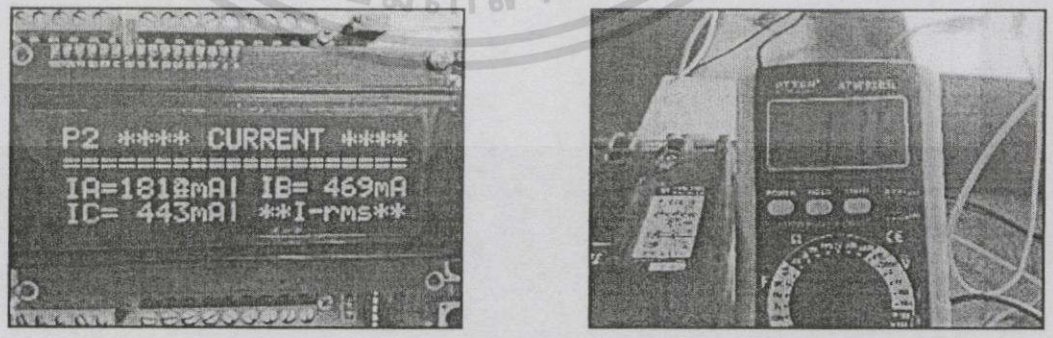
รูปที่ 3.35 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 100 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



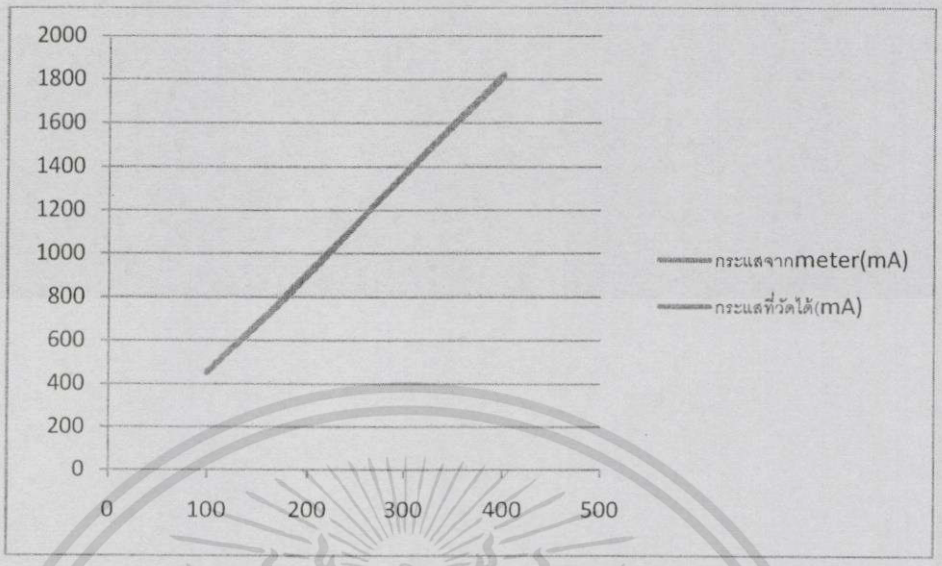
รูปที่ 3.36 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 200 Watt

รูปที่ 3.37 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 300 Watt

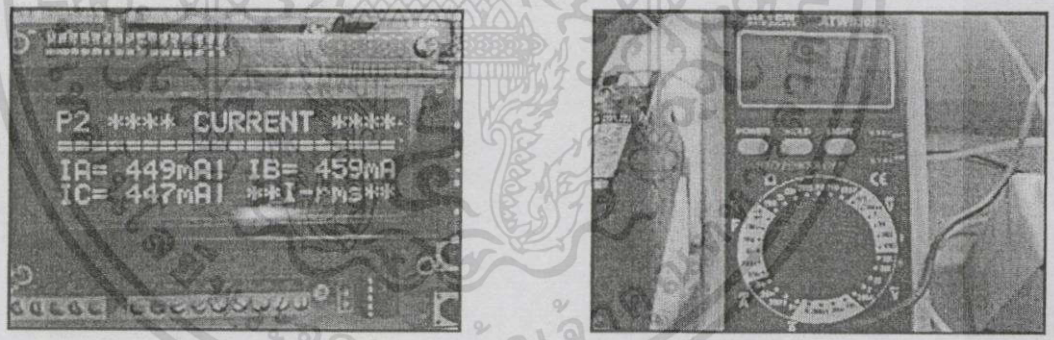


รูปที่ 3.38 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส A ที่โหลด 400 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

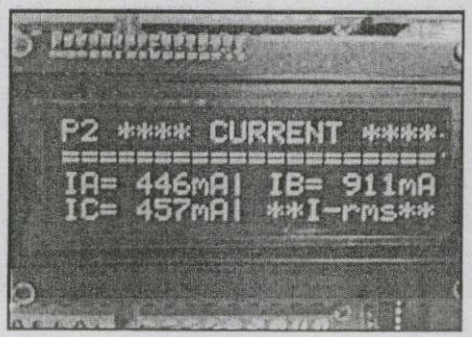


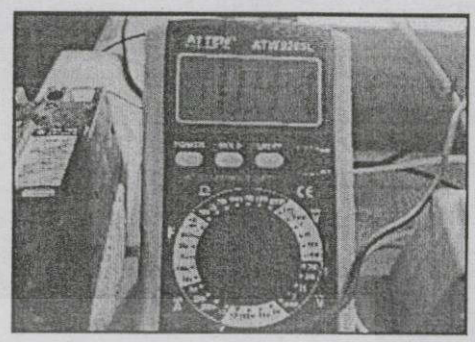
รูปที่ 3.39 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสจาก Meter กับ กระแสที่วัดได้ของเฟส A ที่โหลดต่างๆ



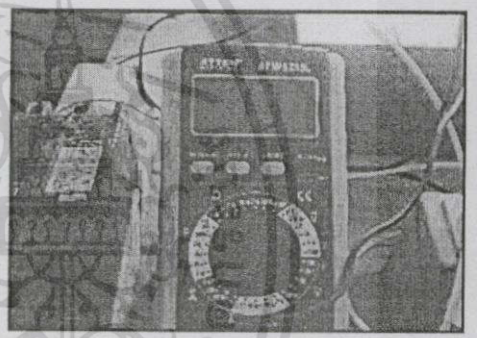
รูปที่ 3.40 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 100 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

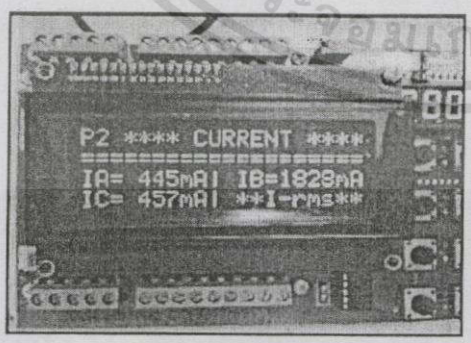


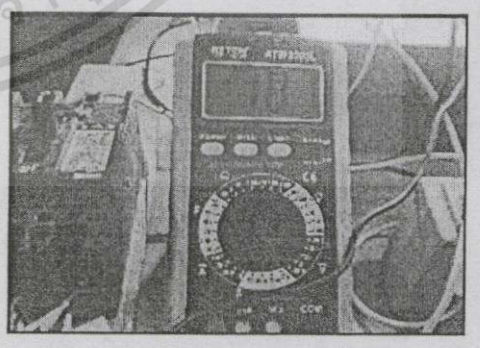


รูปที่ 3.41 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 200 Watt



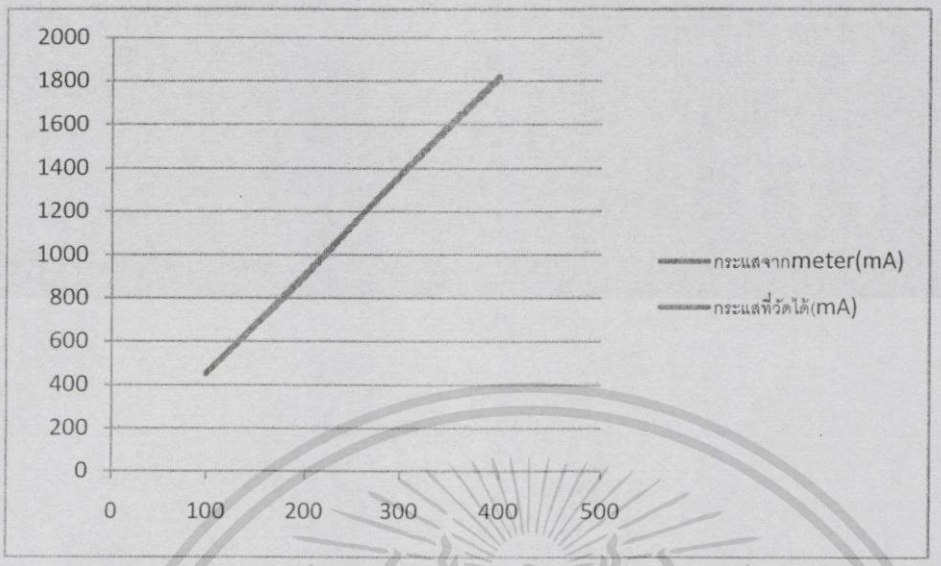
รูปที่ 3.42 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 300 Watt



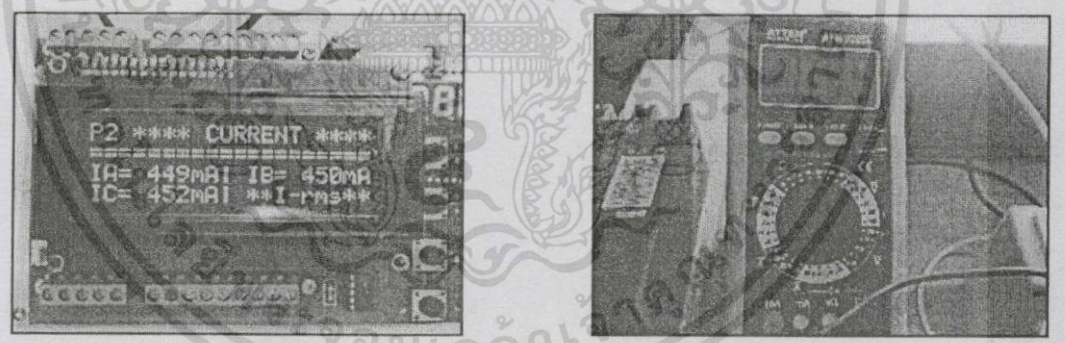


รูปที่ 3.43 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส B ที่โหลด 400 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

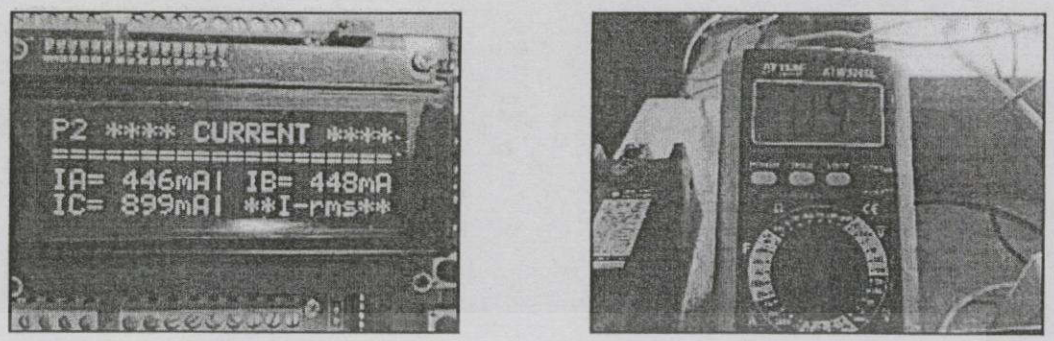


รูปที่ 3.44 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสจาก Meter กับ กระแสที่วัดได้ของเฟส B ที่โหลดต่างๆ



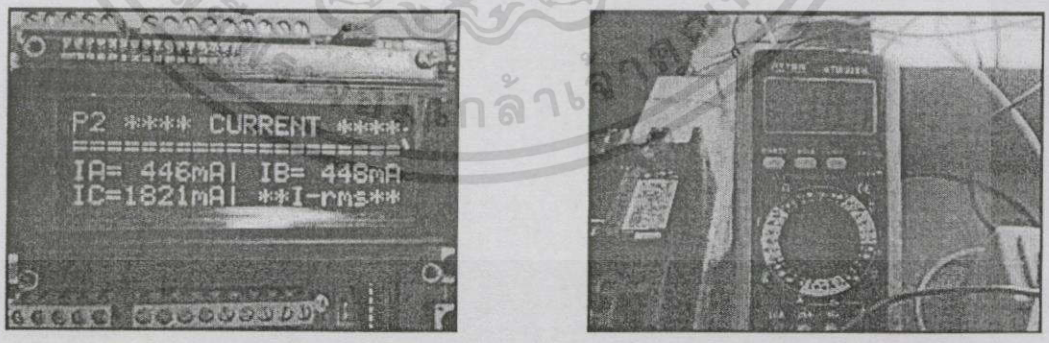
รูปที่ 3.45 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 100 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



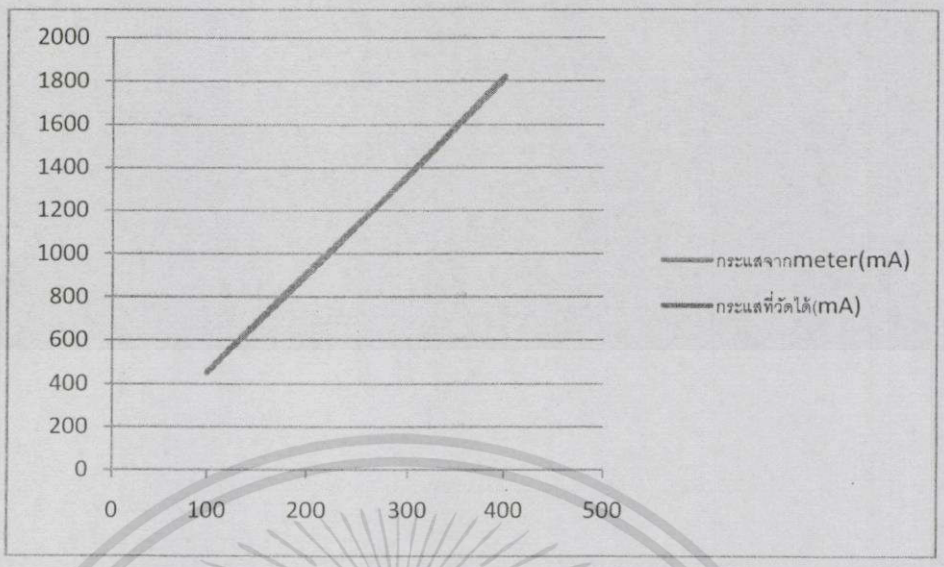
รูปที่ 3.46 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 200 Watt

รูปที่ 3.47 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 300 Watt



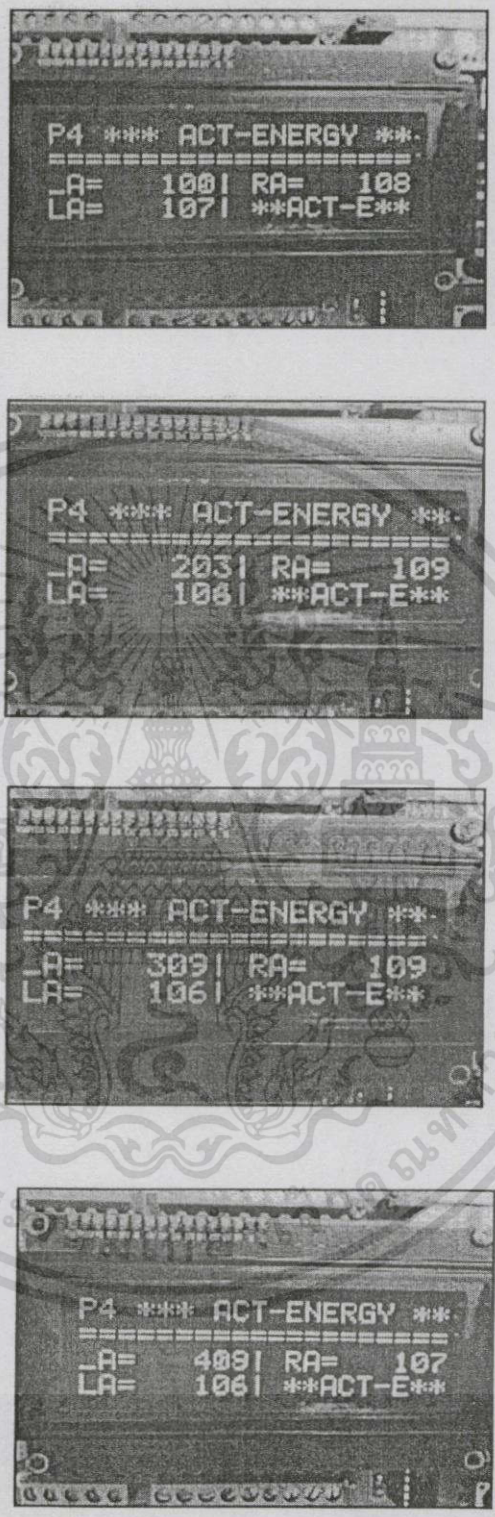
รูปที่ 3.48 แสดงการเปรียบเทียบค่า Current ของเฟส C ที่โหลด 400 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



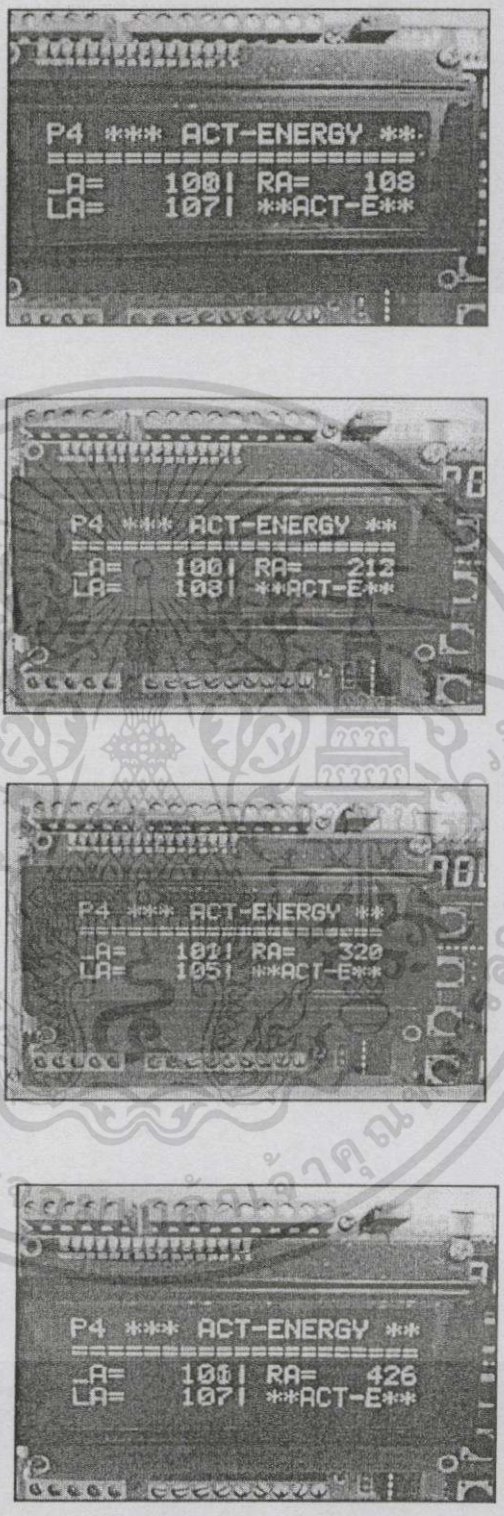
รูปที่ 3.49 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสจาก Meter กับ กระแสที่วัดได้ของเฟส C ที่โหลดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



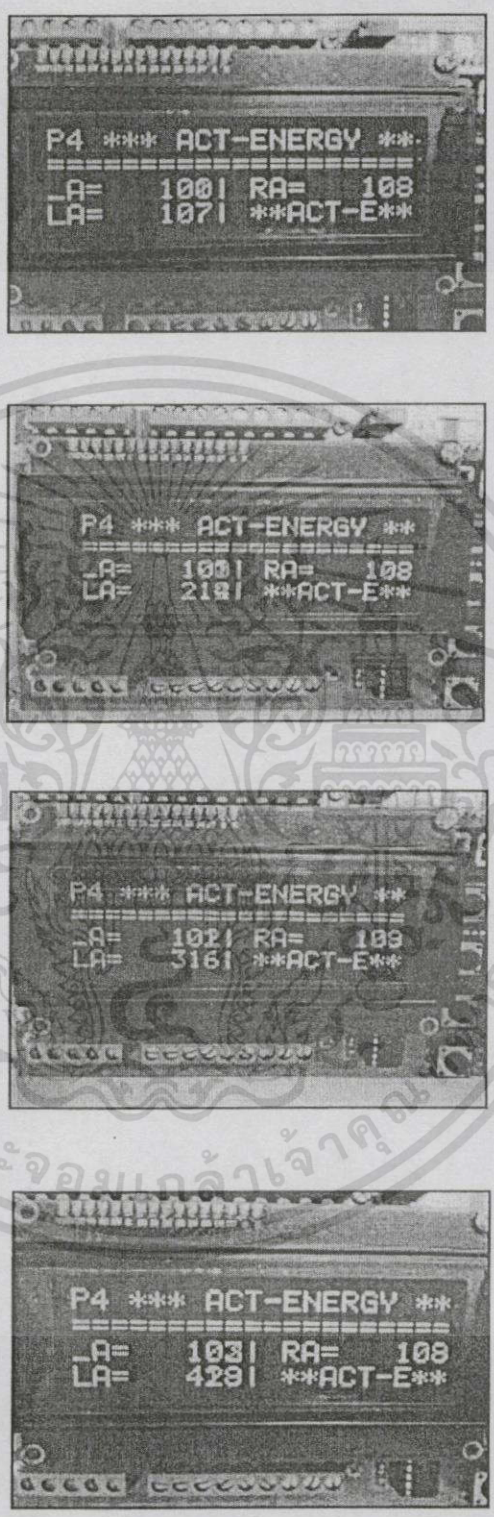
รูปที่ 3.50 แสดงค่ากำลังไฟฟ้า เฟส A ที่โหลด 100,200,300,400 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



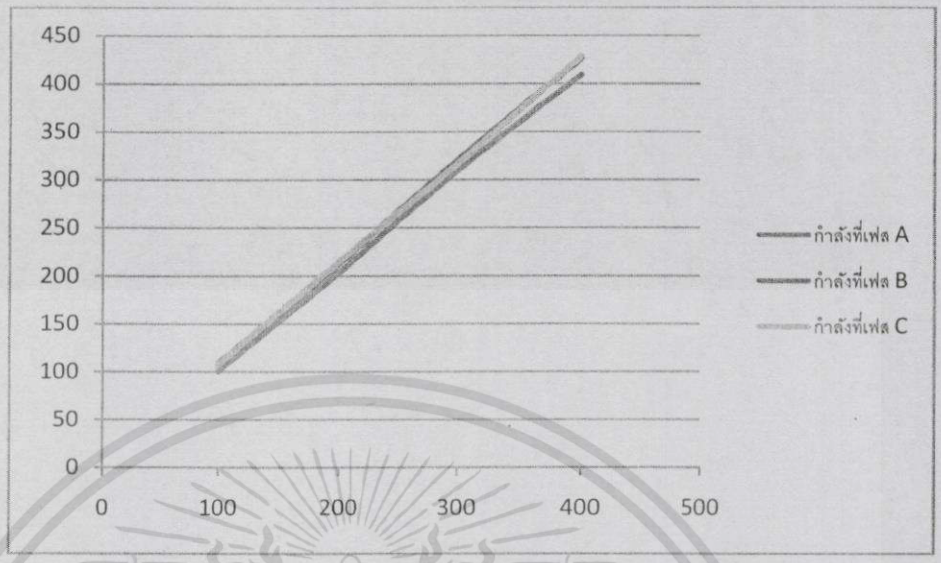
รูปที่ 3.51 แสดงค่ากำลังไฟฟ้า เฟส B ที่โหลด 100,200,300,400 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

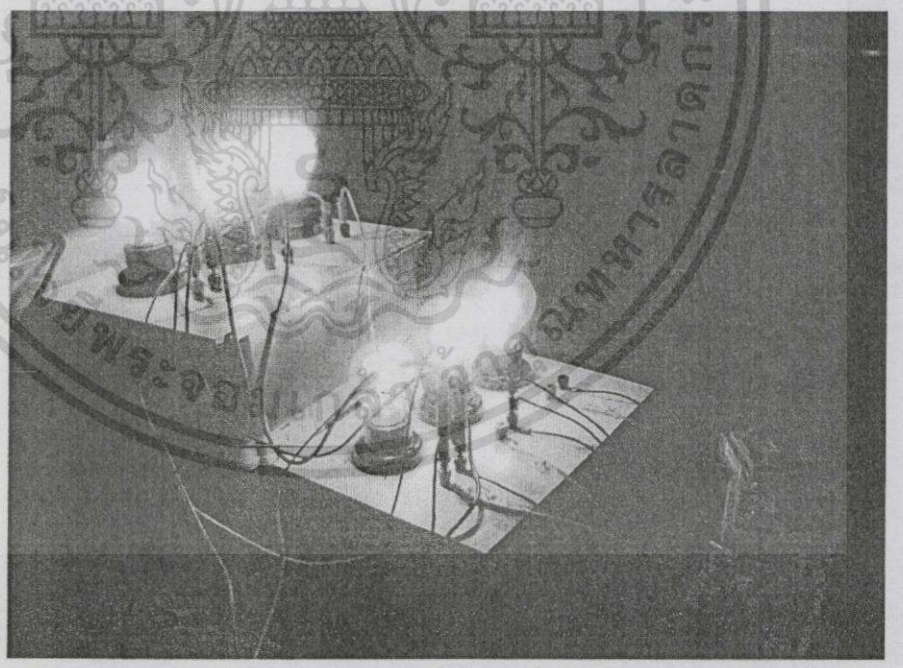


รูปที่ 3.52 แสดงค่ากำลังไฟฟ้า เฟส C ที่โหลด 100,200,300,400 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.53 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากโหลดที่ใช้กำกำลังที่วัดได้ทั้ง 3 เฟส

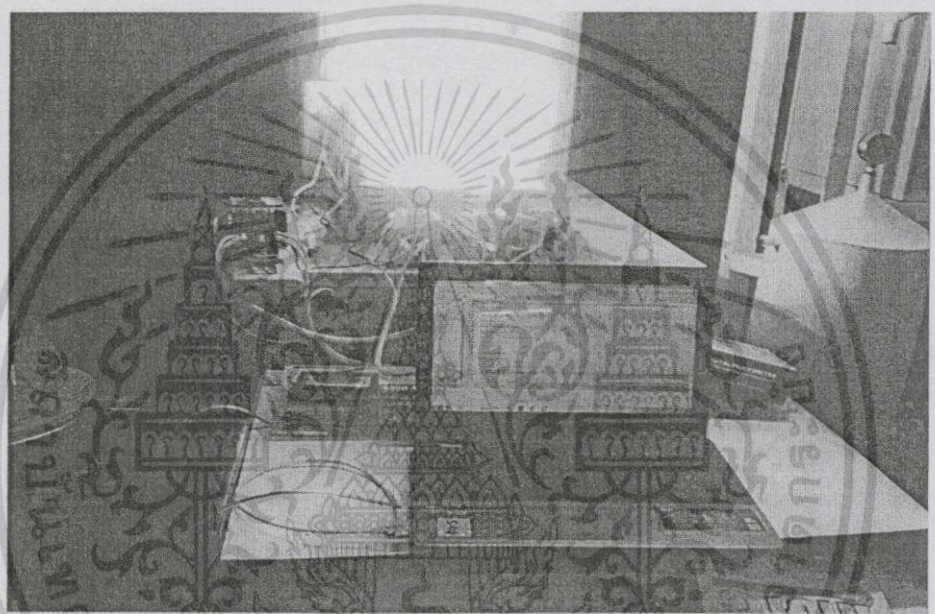


รูปที่ 3.54 แสดงโหลดที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.5 สอบเทียบอุปกรณ์

หลังจากที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงทำการทดลองวัดค่า Voltage Current และ Power นำอุปกรณ์วัดมาตรฐานยี่ห้อ ATTEN รุ่น ATW9205L มาวัดค่า Current ของแต่ละเฟสว่าได้เท่าใด วัด Voltage ได้ค่าเท่าใดจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน ถ้ามีความคลาดเคลื่อนให้ทำการสอบเทียบในโปรแกรม



รูปที่ 3.55 แสดงการสอบเทียบอุปกรณ์ โดยโปรแกรมลงใน Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง (Experimental Results)

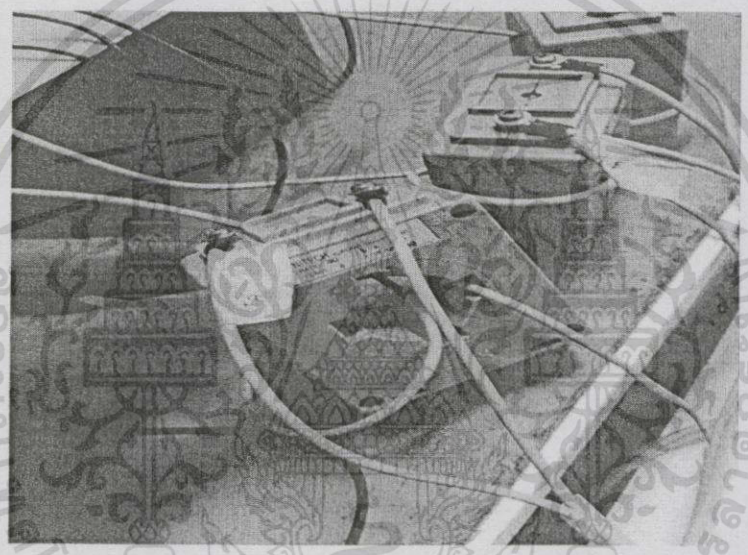
เพื่อให้ชุดอุปกรณ์มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานได้จริง จึงทำการทดลองและมดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์

เนื่องจากในการทำการทดลองนั้นความถูกต้องเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดเนื่องจากได้ทำการศึกษาและทำการทดลองกับไฟฟ้าสามเฟสซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าที่ 220 Volt ซึ่งมีค่าแรงดันที่สูงถ้าไม่มีความระวัดระวังก็อาจจะเกิดอันตรายกับผู้ใช้ได้ จึงต้องตรวจสอบอุปกรณ์ให้ดีว่าอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานหรือไม่ เช่น ดูว่ามีสายไฟไหนรั่วหรือเสียหายหรือไม่ , เซ็คบอร์ดว่าถูกต้องหรือไม่,เซ็คโหลดว่ามีความเสียหายหรือไม่ดังรูปที่ 4.2



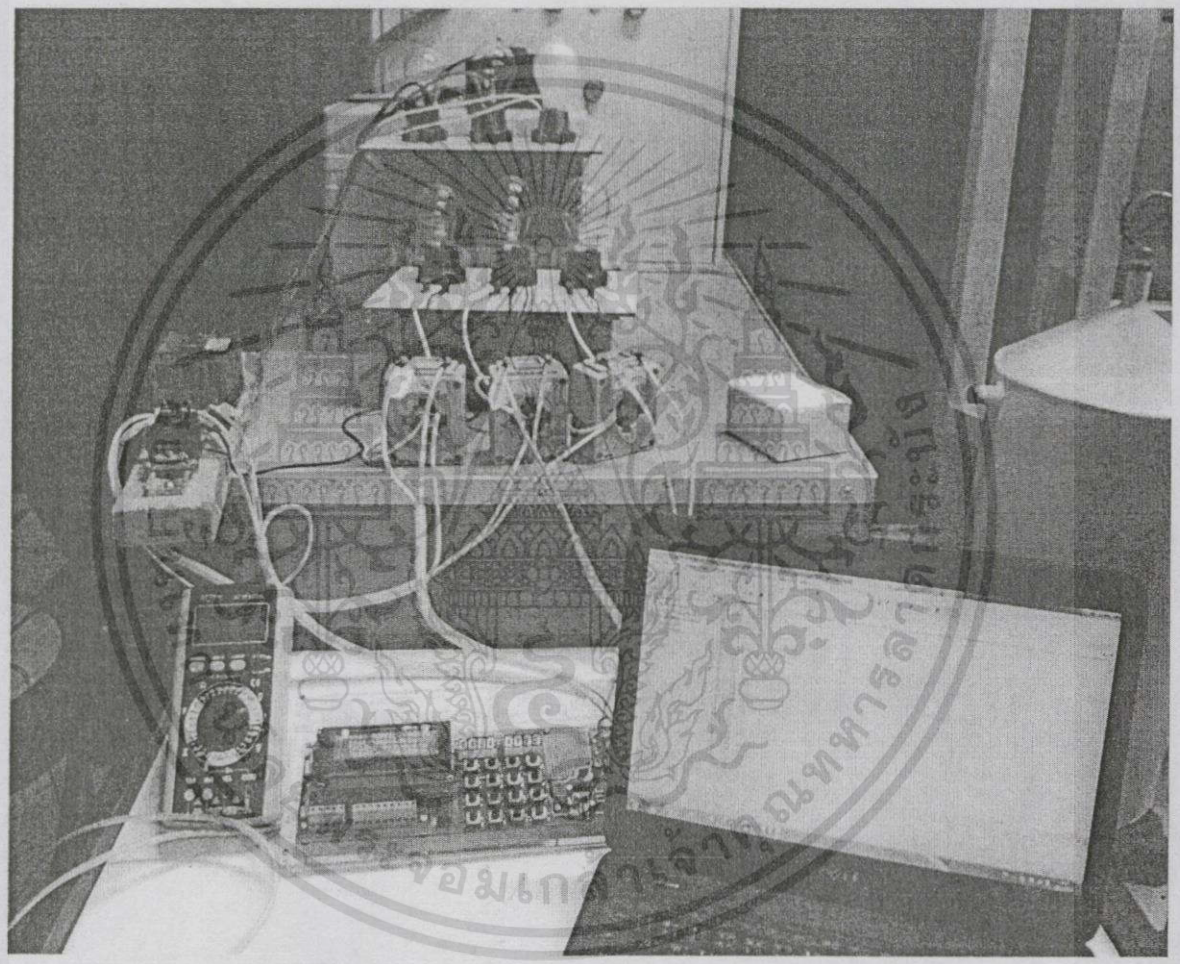
รูปที่ 4.2 แสดงการตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเตรียมทดสอบ

4.2.1 ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรเลอร์

เชื่อมต่อกระแสไฟที่ออกจาก อุปกรณ์Current transform และ ไฟ 3 เฟส 220โวลต์ เข้ากับแผงวงจร และเชื่อมต่อสาย USBต่อเข้ากับตัวควบคุม (คอมพิวเตอร์) และเชื่อมต่อไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อแสดงผลบนหน้าจอ LCD เป็น ดังรูปที่ 4.3

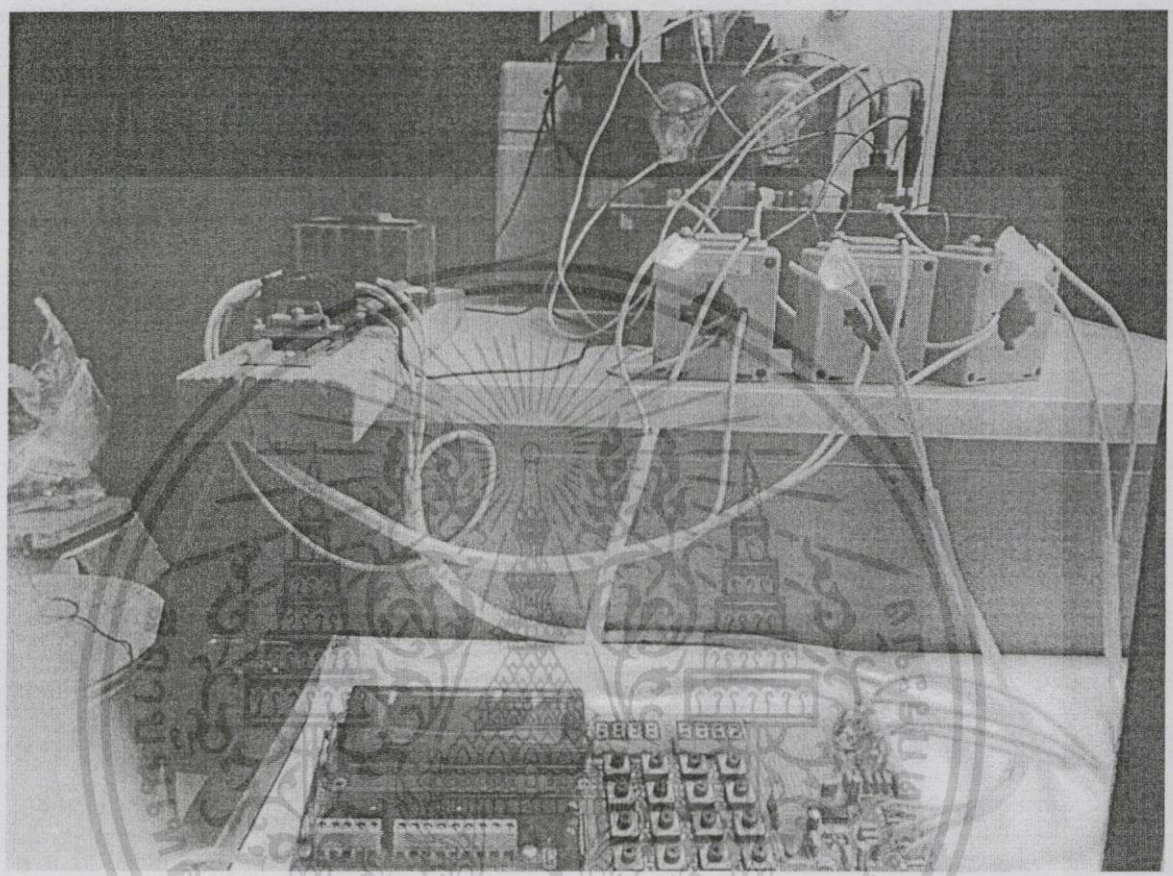


รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ทำการเชื่อมต่อไฟฟ้าสามเฟส,โหลดเข้ากับแผงวงจร

เพื่อเตรียมตัวสอบเทียม (Calibration) และตรวจดูสายทั้งหมดว่าถูกต้องหรือไม่



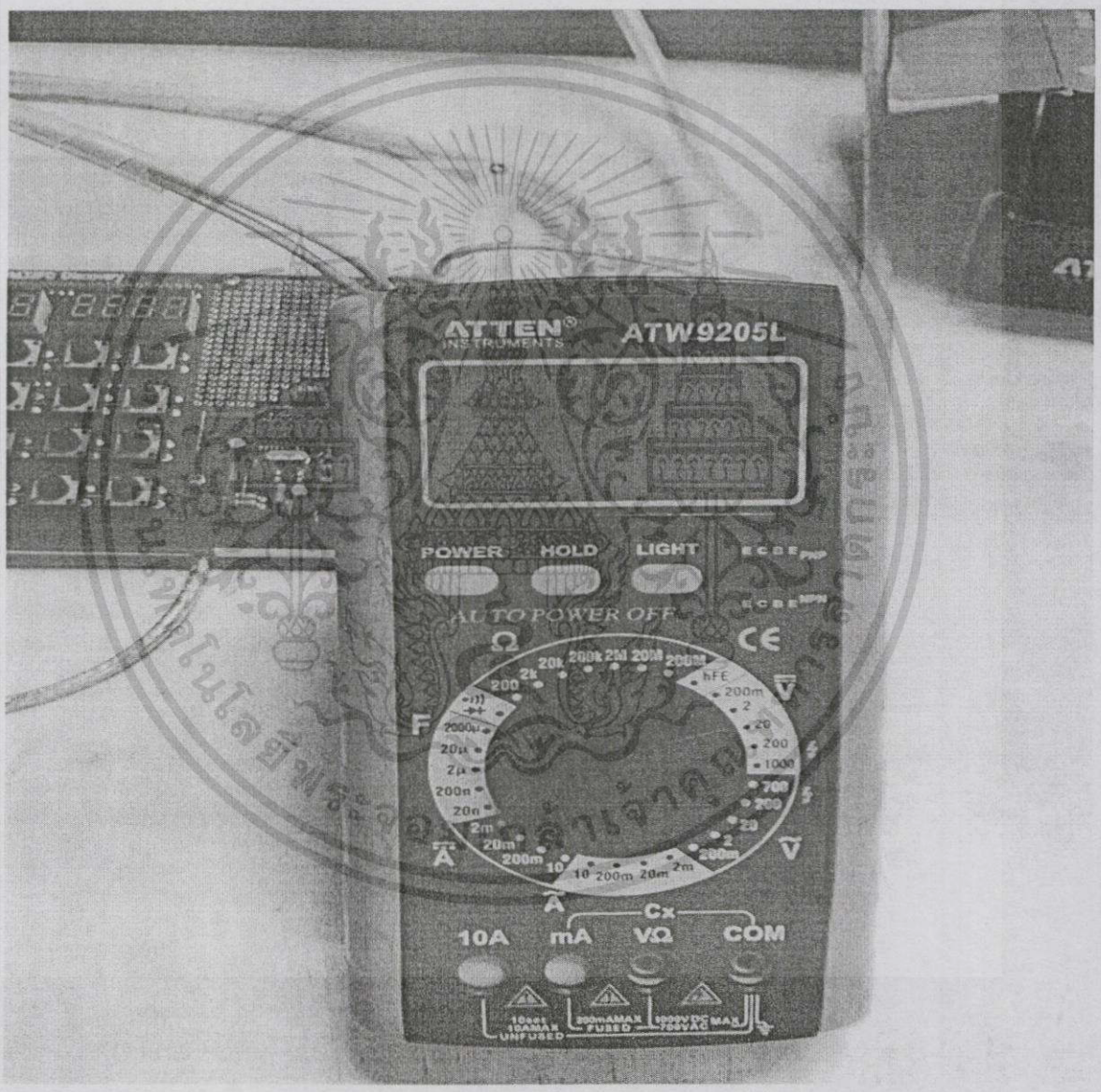
รูปที่ 4.4 แสดงภาพเชื่อมต่อไฟฟ้าสามเฟส โหลด เข้ากับแผงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

4.3.1 วัดค่ากระแสไฟฟ้า

ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Current) เราจะทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าทีละเฟส และจะทำการเพิ่มโหลดเพื่อวัดค่าหลายๆครั้งเพื่อความถูกต้อง โดยมีมิเตอร์วัดกระแส รุ่น (ATTEN ATW9205L) เป็นตัวสอบเทียบ (Calibration) ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 แสดงมิเตอร์วัดกระแสและโวลต์ รุ่น (ATTEN ATW9205L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW9205L เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกระแสไฟฟ้าในเฟสที่ A

โหลด(W)	ตัวสอบเทียบATTEN ATW 9205L (mA)	ค่าที่วัดได้ (mA)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
100	435	436	0.1
200	899	896	0.33
300	1340	1348	0.59
400	1790	1802	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW9205L เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกระแสไฟฟ้าในเฟสที่ B

โหลด(W)	ตัวสอบเทียบATTEN ATW 9205L (mA)	ค่าที่วัดได้ (mA)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
100	450	470	4.44
200	910	932	2.41
300	1370	1398	2.04
400	1820	1847	1.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW 9250L เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกระแสไฟฟ้าในเฟสที่ C

โหลด(W)	ตัวสอบเทียบATTEN ATW 9205L (mA)	ค่าที่วัดได้ (mA)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
100	450	448	0.44
200	910	911	0.10
300	1370	1377	0.51
400	1820	1836	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า

ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) เราจะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทีละเฟส โดยมี ATTEN ATW 9250L วัดแรงดันไฟฟ้า เป็นตัวสอบเทียบ (Calibration)

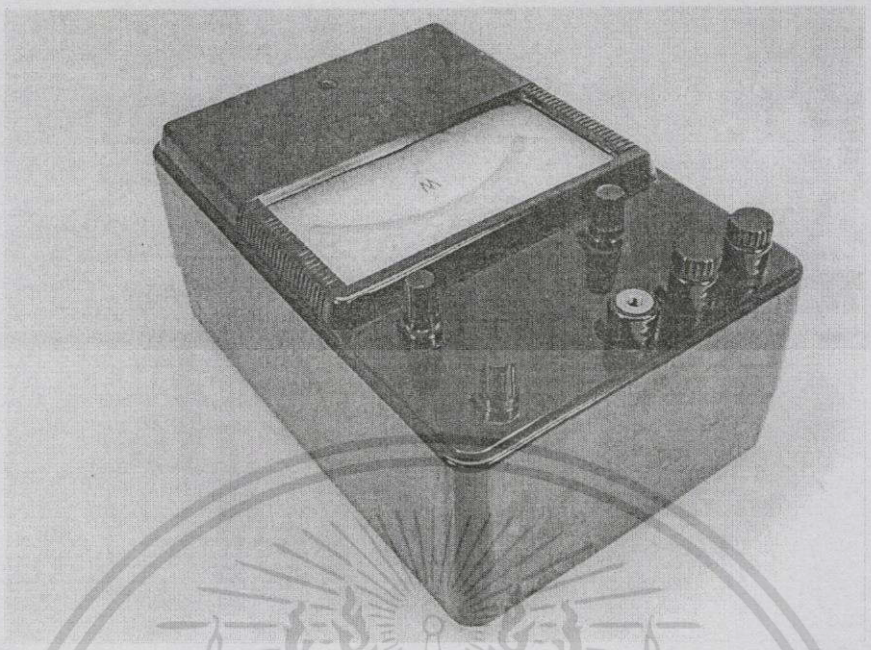
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก ATTEN ATW 9250L เปรียบเทียบ กับ ADE 7754 แรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส

เฟสไฟฟ้า	ATTEN ATW 9205L (ตัวสอบเทียบ) หน่วย โวลต์(V)	ชุดอุปกรณ์ หน่วย โวลต์(V)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
A	231	229	0.86
B	233	234	0.43
C	233	234	0.43

4.3.3 วัดค่ากำลังไฟฟ้า

ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้า โดยจะทำการนำผลคูณของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของทฤษฎี เปรียบเทียบกับ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จาก Watt meter รุ่น PORTABLE SINGLE PHASE WATT METER MODEL 2041

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 Watt meter รุ่น PORTABLE SINGLE PHASE WATT METER MODEL 2041

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก Watt Meter เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกำลังไฟฟ้าในเฟส A

ค่าที่วัดได้จาก Watt Meter(W)	ค่าที่วัดได้(W)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(%)
100	103	3.00
208	203	2.40
310	309	0.32
415	409	1.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก Watt Meter เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกำลังไฟฟ้าในเฟส B

ค่าที่วัดได้จาก Watt Meter(W)	ค่าที่วัดได้(W)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(%)
102	108	4.90
212	212	0.00
320	320	0.00
430	426	0.93

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าบันทึกจาก Watt Meter เปรียบเทียบ กับ ADE7754 วัดกำลังไฟฟ้าในเฟส C

ค่าที่วัดได้จาก Watt Meter(W)	ค่าที่วัดได้(W)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(%)
100	105	2.94
212	212	0.95
320	316	1.25
423	428	0.71

4.4 ผลการเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์กับเครื่องวัดทางไฟฟ้า

จากผลการทดลองทั้งหมดจะพบว่าชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสามเฟสสามารถทำงานได้ดี และค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้ก็ยังมีค่าใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดที่ใช้อยู่ทั่วๆไปซึ่งมีความน่าเชื่อถือ ค่าที่วัดได้อาจจะยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างแต่ถ้านำไปพัฒนาขึ้นชุดอุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปโครงงาน

ในโครงงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าสามเฟส โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัด คือ IC เบอร์ ADE 7754 ร่วมกับไมโครคอนโทรเลอร์ STM 32 discovery รวมถึงอุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่นๆ เช่นกัน ชุดอุปกรณ์เหล่านี้ สามารถทำการตรวจวัดค่าของแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าได้มาเปรียบเทียบกับทฤษฎีและอุปกรณ์การวัดที่เชื่อถือได้มาเป็นตัวมาตรฐาน เพื่อการสอบเทียบ ทำการศึกษาอุปกรณ์ เมื่อได้ทำการทดลองและผู้ศึกษาได้ค่าผลการทดลอง ก็เกิดค่าความผิดพลาด เนื่องจากตัวอุปกรณ์ที่นำมาทดลองนั้น แต่ละตัวจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในตัวอยู่แล้ว เช่น ตัวต้านทานในบอร์ด ก็จะมีความผิดพลาดอยู่ในตัว หรือในตัวโหลดที่ใช้นำมาทดลองก็มีความผิดพลาดในตัวเอง และอุปกรณ์อื่นๆอีกหลายอย่างก็มีความผิดพลาดในตัวเองเช่นกัน ผู้ศึกษาจึงได้ทำการสอบเทียบจากการโปรแกรมโดยค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่เชื่อถือได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ตัวไมโครคอนโทรเลอร์ STM 32 Discovery ที่ใช้นั้น มีการทำงานที่หลากหลาย เราสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ อย่างโปรเจคนี้เป็นการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟส เราอาจเพิ่มฟังก์ชั่นที่มีการทำงานเหนือกว่านี้โดยการ ทำการวัดแบบไร้สาย หรือการทำงานที่เหนือชั้นกว่านี้ได้ ตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1]ธีรวัฒน์ ประกอบผล,"**คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับสมบูรณ์**"บริษัท ซิมพลิฟาย จำกัด 2556

[2]ผศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์,"**วงจรไฟฟ้า1**"ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2550

[3]ผศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์,"**วงจรไฟฟ้า2**"ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2550

[4]มงคล ทองสงคราม, "**เครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า**" ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พริ้นติ้ง2543

[5]นคร ภักดีชาติ ,ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "**ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex-M3 กับ STM32**" STMicroelectronics Asia Pacific

[6]เอกพิศิษฐ์กฤตานนท์สกุล, ยิ่งยศ ยิ้มแย้ม, ฤทธิศักดิ์ บุญสมภพ, "**การศึกษาอุปกรณ์การวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์**"[ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม] กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2555

[7] http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7754.pdf

[8] http://www.engineerfriend.com/2012/articles/หลากหลายคำถามเกี่ยวกับCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการทำงาน

```
#include "stdio.h"

#include "string.h"

#include "stdlib.h"

#include "stm32f0xx.h"

#include "math.h"


#define SCLK_MAX7219  0          x0008  //      PB3

#define LOAD_MAX7219  0          x0010  //      PB4

#define SDATA_MAX7219  0         x0020  //      PB5


#define KEY_A                              0x0040  //      PB6

#define KEY_B                              0x0080  //      PB7

#define KEY_C                              0x0100  //      PB8

#define KEY_D                              0x0200  //      PB9


#define       CS_ADE7754   0               x1000  //      PB12

#define SCLK_ADE7754  0            x2000  //      PB13

#define DOUT_ADE7754  0            x4000  //      PB14

#define DIN_ADE7754   0            x8000  //      PB15
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define LCDENA                          0x0040 //       PC6

#define LCDRS                           0x0080 //       PC7

#define USER_BUTTON                 0x0080 //       PC7


#define LCDdata4    0                   x0100 //       PC8

#define         LCDdata5    0           x0200 //       PC9

#define LCDdata6    0                   x0400 //       PC10

#define LCDdata7    0                   x0800 //       PC11


#define KEY_DV                          0x1000 //       PC12 INPUT

#define KEY_OPE                         0x0004 //       PD2  OUTPUT


#define I2CCLK                          0x0040 //       PF6

#define I2CDAT                          0x0080 //       PF7

#define LD_4728     0                   x0010 //       PF4


#define         DISPLAY_TEST        0x0F00

#define SHUT_DOWN                   0x0C01

#define         DECODE_MODE             0x0900
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define     INTENSITY                   0x0A07

#define     SCAN_LIMIT                  0x0B07 //     Limit 8 digits


#define SECOND_ADDR                     0x00

#define     MINUTE_ADDR                 0x01

#define HOUR_ADDR                       0x02

#define DAY_ADDR                        0x03

#define DATE_ADDR                       0x04

#define MONTH_ADDR                      0x05

#define YEAR_ADDR                       0x06


//ADE7754 Register List

#define AENERGY     0x01    //R 24 0

#define RAENERGY    0x02    //R 24 0

#define LAENERGY    0x03    //R 24 0

#define VAENERGY    0x04    //R 24 0

#define RVAENERGY   0x05    //R 24 0

#define LVAENERGY   0x06    //R 24 0

#define PERIOD      0x07    //R 15 0

#define TEMP        0x08    //R 8 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define WFORM        0x09    //R 24 0

#define OPMODE       0x0A    //R/W 8 4

#define MMODE        0x0B    //R/W 8 70H

#define WAVMODE      0x0C    //R/W 8 0

#define WATMODE      0x0D    //R/W 8 3FH

#define VAMODE       0x0E    //R/W 8 3FH

#define IRQEN        0x0F    //R/W 16 0

#define STATUS       0x10    //R 16 0

#define RSTATUS      0x11    //R 16 0

#define ZXTOUT       0x12    //R/W 16 FFFFH

#define LINCYC       0x13    //R/W 16 FFFFH

#define SAGCYC       0x14    //R/W 8 FFH

#define SAGLVL       0x15    //R/W 8 0

#define VPEAK        0x16    //R/W 8 FFH

#define IPEAK        0x17    //R/W 8 FFH

#define GAIN         0x18    //R/W 8 0

#define AWG          0x19    //R/W 12 0

#define BWG          0x1A    //R/W 12 0

#define CWG          0x1B    //R/W 12 0

#define AVAG         0x1C    //R/W 12 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define BVAG        0x1D   //R/W 12 0
#define CVAG        0x1E   //R/W 12 0
#define APHCAL      0x1F   //R/W 5 0
#define BPHCAL      0x20   //R/W 5 0
#define CPHCAL      0x21   //R/W 5 0
#define AAPOS       0x22   //R/W 12 0
#define BAPOS       0x23   //R/W 12 0
#define CAPOS       0x24   //R/W 12 0
#define CFNUM       0x25   //R/W 12 0
#define CFDEN       0x26   //R/W 12 3FH
#define WDIV        0x27   //R/W 8 0
#define VADIV       0x28   //R/W 8 0
#define AIrms       0x29   //R/W 24 0
#define BIrms       0x2A   //R/W 24 0
#define CIrms       0x2B   //R/W 24 0
#define AVrms       0x2C   //R/W 24 0
#define BVrms       0x2D   //R/W 24 0
#define CVrms       0x2E   //R/W 24 0
#define AIrmsOS     0x2F   //R/W 12 0
#define BIrmsOS     0x30   //R/W 12 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define CIrmsOS      0x31   //R/W 12 0

#define AVrmsOS      0x32   //R/W 12 0

#define BVrmsOS      0x33   //R/W 12 0

#define CVrmsOS      0x34   //R/W 12 0

#define AAPGAIN      0x35   //R/W 12 0

#define BAPGAIN      0x36   //R/W 12 0

#define CAPGAIN      0x37   //R/W 12 0

#define AVGAIN       0x38   //R/W 12 0

#define BVGAIN       0x39   //R/W 12 0

#define CVGAIN       0x3A   //R/W 12 0

#define CHKSUM       0x3E   //R 8

#define VERSION      0x3F   //R 8 1


#define BSRR_VAL     0x0300 //       bit 8 9 LED GREEN AND BLUE


/*

                                                DB 7EH   ;0

            DB 30H   ;1

            DB 6DH   ;2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DB 79H    ;3

DB 33H    ;4

DB 5BH    ;5

DB 5FH    ;6

DB 70H    ;7

DB 7FH    ;8

DB 7BH    ;9


DB 77H    ;A

DB 1FH    ;B

DB 4EH    ;C

DB 3DH    ;D

DB 4FH    ;E

DB 47H    ;F

DB 46H    ;R

DB 5BH    ;S

DB 0FH    ;T

DB 67H    ;P

DB 3BH    ;Y

*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned char PATTERN[21] =
{0x7E,0x30,0x6D,0x79,0x33,0x5B,0x5F,0x70,0x7F,0x7B,0x77,0x1F,0x4E,0x3D,0x4F,0x47,0
x46,0x5B,0x0F,0x67,0x3B};

int count, val2;


short int ANALOG_VAL;

short int ANALOG_VAL1;

short int ANALOG_VAL2;

short int ANALOG_VAL3;

short int ANALOG_VAL4;


short int PROP_VAL;

short int INTEGRAL_VAL;

short int DERIVATIVE_VAL;


float SETPOINT_VAL;

float PROCESS_VAL;

float MANIPULATE_VAL;

float ERROR_VAL;

float MP;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
float    MI;

float MD;

float    MV;

float D = 0.83;


long ReadData;

long VOLTAGE_A;

long VOLTAGE_B;

long VOLTAGE_C;

long CURRENT_A;

long CURRENT_B;

long CURRENT_C;


long A_ENERGY;

long RA_ENERGY;

long LA_ENERGY;

long VA_ENERGY;

long RVA_ENERGY;

long LVA_ENERGY;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int ANALOG_OUT1;

int ANALOG_OUT2;

int ANALOG_OUT3;

int ANALOG_OUT4;

int WATT;


unsigned char DIGITAL_IN;

unsigned char DIGITAL_OUT;


unsigned char SECOND;

unsigned char MINUTE;

unsigned char HOUR;

unsigned char DAY;

unsigned char DATE;

unsigned char MONTH;

unsigned char YEAR;

unsigned char MODE;


//int I2C_READ();

//int I2C_READNAK();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//int READ_ADC1216();


void SystemInitial(void)

{

 /*!     < At this stage the microcontroller clock setting is already configured,

    this is done through SystemInit() function which is called from startup

    file (startup_stm32f0xx.s) before to branch to application main.

    To reconfigure the default setting of SystemInit() function, refer to

    system_stm32f0xx.c file

  */


 /* GPIOC Periph clock enable */

  RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_GPIOCEN;

              RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_GPIOBEN;

              RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_GPIOFEN;

              RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_GPIODEN;


              GPIOB->MODER            = 0x45500555;  //ALL are OUTPUT (0b
0100 0101 0101 0000 0000 0101 0101 0101)

              GPIOB->OTYPER     = 0x0000;                    //ALL are
PUSH PULL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    GPIOB->OSPEEDR     = 0x00000000;        //ALL Low SPEED
    GPIOB->PUPDR       = 0x55555555;        //ALL
input/output are PULL UP

  GPIOC->MODER         = 0x54555555;        //ALL are OUTPUT (0b 0101 0100
0101 0101 0101 0101 0101 0101)
    GPIOC->OTYPER      = 0x0000;                    //ALL are
PUSH PULL
    GPIOC->OSPEEDR     = 0x00000000;        //ALL Low SPEED
    GPIOC->PUPDR       = 0x55555555;        //ALL
input/output are PULL UP

    GPIOA->MODER       = 0x00000000;        //ALL are INPUT
//  GPIOA->OTYPER      = 0x0000;
    GPIOA->PUPDR       = 0x55555555;        //ALL input/output are
PULL UP

    GPIOF->MODER       = 0x55555555;        //ALL are OUTPUT
(0b 0101 0101 0101 0101 0101 0101 0101 0101)
    GPIOF->OTYPER      = 0x0000;                    //ALL are
PUSH PULL
    GPIOF->OSPEEDR     = 0x00000000;        //ALL Low SPEED
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                GPIOF->PUPDR              = 0x55555555;        //ALL
input/output are PULL UP


                GPIOD->MODER              = 0x00000010;        //ALL are INPUT
(0b 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 0000)

                GPIOD->OTYPER       = 0x0000;                  //ALL are
PUSH PULL

                GPIOD->OSPEEDR      = 0x00000000;        //ALL Low SPEED

                GPIOD->PUPDR              = 0x55555555;        //ALL
input/output are PULL UP

}

//_____________________________________________

void delayus(int a)

{

        int i;

        for (i=0;i<a*7;i++)

   {

   }

}

//_____________________________________________

void delayms(int a)

{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        int i;
    for (i=0;i<a;i++)
    {
                delayus(1000);
    }
}
//_____________________________________________
unsigned char* InttoStr(int Val)
{
        unsigned char* buffer;
        sprintf(buffer,"%4d",Val);
        return buffer;
}
//_____________________________________________
unsigned char* HextoStr(unsigned char Val)
{
        unsigned char* buffer;
        if (Val<10)
                sprintf(buffer,"0%1x",Val);
        else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        sprintf(buffer,"%2x",Val);

        return buffer;

}

//_____________________________________

unsigned char* HextoMONTH(unsigned char Val)

{

        unsigned char* buffer;

        switch (Val)

        {

            case 1:

                buffer = "JAN";

                break;

            case 2:

                buffer = "FEB";

                break;

            case 3:

                buffer = "MAR";

                break;

            case 4:

                buffer = "APR";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            break;
        case 5:
            buffer = "MAY";
            break;
        case 6:
            buffer = "JUN";
            break;
        case 7:
            buffer = "JAL";
            break;
        case 8:
            buffer = "AUG";
            break;
        case 9:
            buffer = "SEP";
            break;
        case 16:
            buffer = "OCT";
            break;
        case 17:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                buffer = "NOV";
                break;
            case 18:
                buffer = "DEC";
                break;
        }
        return buffer;
}
//_____________________________________
unsigned char GetKey()
{
        unsigned char KEY_RSLT;
            KEY_RSLT = 0x00;
            GPIOD->BRR = KEY_OPE;
            delayus(10);
            if (GPIOB->IDR & KEY_A) KEY_RSLT = KEY_RSLT | 0x01;
            if (GPIOB->IDR & KEY_B) KEY_RSLT = KEY_RSLT | 0x02;
            if (GPIOB->IDR & KEY_C) KEY_RSLT = KEY_RSLT | 0x04;
            if (GPIOB->IDR & KEY_D) KEY_RSLT = KEY_RSLT | 0x08;
            delayus(10);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                GPIOD->BSRR = KEY_OPE;
                delayus(100);
                do {
                        }       while(GPIOC->IDR & KEY_DV);
        //check key release
                return KEY_RSLT;
}
//_____________________________________________
// LCD CALL SUBROUTINE
//_____________________________________________
void LCD4BIT(unsigned char NIBBLE)
{
        if(NIBBLE & 0x01)
                GPIOC->BSRR = LCDdata4;
        else
                GPIOC->BRR = LCDdata4;

        if(NIBBLE & 0x02)
                GPIOC->BSRR = LCDdata5;
        else
                GPIOC->BRR = LCDdata5;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(NIBBLE & 0x04)
                GPIOC->BSRR = LCDdata6;
        else
                GPIOC->BRR = LCDdata6;

        if(NIBBLE & 0x08)
                GPIOC->BSRR = LCDdata7;
        else
                GPIOC->BRR = LCDdata7;
}
//_____________________________________________
void LCDSend (unsigned char  Data)
{
unsigned char NBLO;
        NBLO = Data & 0x0F;
        GPIOC->BRR  = LCDRS;
        delayus(5);
        LCD4BIT(NBLO);
        delayus(5);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        GPIOC->BSRR = LCDENA;
        delayus(5);
        GPIOC->BRR  = LCDENA;
        delayus(100);
}
//_____________________________________________
void LCDCnt (unsigned char  Data)
{
unsigned char NBLO, NBHI;
        NBLO = Data & 0x0F;
  NBHI = (Data >> 4) & 0x0F;
        GPIOC->BRR  = LCDRS;
        delayus(5);
        LCD4BIT(NBHI);
        delayus(5);
        GPIOC->BSRR = LCDENA;
        delayus(5);
        GPIOC->BRR  = LCDENA;

        delayus(100);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        GPIOC->BRR  = LCDRS;
        delayus(5);
        LCD4BIT(NBLO);
        delayus(5);
        GPIOC->BSRR = LCDENA;
        delayus(5);
        GPIOC->BRR  = LCDENA;
        delayus(100);
}
//_____________________________________________
void LCDCHAR_WR(unsigned char Data)
{
unsigned char NBHI, NBLO;
        NBLO = Data & 0x0F;
 NBHI = (Data >> 4) & 0x0F;
        GPIOC->BSRR  = LCDRS;
        delayus(5);
        LCD4BIT(NBHI);
                                //nibble high
        delayus(5);
        GPIOC->BSRR = LCDENA;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        delayus(5);
        GPIOC->BRR  = LCDENA;

        delayus(100);
        GPIOC->BSRR  = LCDRS;
        delayus(5);
        LCD4BIT(NBLO);
                                //nibble low*/
        delayus(5);
        GPIOC->BSRR = LCDENA;
        delayus(5);
        GPIOC->BRR  = LCDENA;
        delayus(100);
}
//_____________________________________________
void LCDInitial()
{
        delayms(20);                    //20 mSec
        LCDSend(0x03);
        delayms(10);                    //10 mSec
        LCDSend(0x03);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        delayms(1);                         //1 mSec
        LCDSend(0x03);
        delayms(1);                         //1 mSec
        LCDSend(0x02);
        delayus(40);                        //40uSec
        LCDCnt(0x28);
        delayus(40);                        //40 uSec
        LCDCnt(0x0C);
        delayms(5);                         //5 mSec
        LCDCnt(0x06);
        delayms(5);                         //5 mSec
        LCDCnt(0x80);
        delayus(100);                       //100 uSec
}
//_____________________________________
void LCDMASGE_WR(unsigned char* str)
{
        int i;
        for (i=0;i<strlen(str);i++)
                {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LCDCHAR_WR(str[i]);
            }
}
//_____________________________________________
void LCD_TIME()
{
            LCDMASGE_WR(HextoStr(HOUR));
            LCDCHAR_WR(':');
            LCDMASGE_WR(HextoStr(MINUTE));
            LCDCHAR_WR(':');
            LCDMASGE_WR(HextoStr(SECOND));
}
//_____________________________________________
void LCD_DATE()
{
            LCDCnt(0x8C);              //SETDD1 addr 12
            LCDMASGE_WR(" ");
            LCDMASGE_WR(HextoStr(DATE));
            LCDMASGE_WR(HextoMONTH(MONTH));
            LCDMASGE_WR(HextoStr(YEAR));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
//_____________________________________________
void LCDHextoBIN(unsigned char DigVal)
{
        int i;
        for (i=1;i<=8;i++)
        {
          if (DigVal & 0x80)
                LCDCHAR_WR('1');
          else
                LCDCHAR_WR('0');
          DigVal = DigVal << 1;
        }
}
//_____________________________________________
//
//
// PAGE MONITOR 0-10
//
//
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//_____________________________________________

#define str1  "****** KMITL ****** "

#define str2  "  Instrumentation   "

#define str3  " STM32F0 Discovery  "

#define str4 "    VIRIYA KONGRATANA  "

void MoniPage_0()

{

        LCDCnt(0x80);                   //SETDD1

        LCDMASGE_WR(str1);

        LCDCnt(0xC0);                   //SETDD2

        LCDMASGE_WR(str2);

        LCDCnt(0x94);                   //SETDD3

        LCDMASGE_WR(str3);

        LCDCnt(0xD4);                   //SETDD4

        LCDMASGE_WR(str4);

}



//_____________________________________________

#define str71  "          P1 "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define str74  "====================="

#define str75   "VA="

#define str76   "| VB="

#define str77   "VC="

#define str78  "          | **V-rms**"


void MoniPage_1()

{

        char result[6];

        LCDCnt(0x80);                   //SETDD1

        LCDMASGE_WR(str71);

        LCDMASGE_WR("**** VOLTAGE *****");

//      LCD_TIME();

//       LCD_DATE();

        LCDCnt(0xC0);                   //SETDD2

        LCDMASGE_WR(str74);

        LCDCnt(0x94);

        LCDMASGE_WR(str75);

        sprintf(result,"%4d",VOLTAGE_A);

        LCDMASGE_WR(result);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCDMASGE_WR(" ");
        LCDMASGE_WR("V");
        LCDCnt(0x9D);
        LCDMASGE_WR(str76);
        sprintf(result,"%4d",VOLTAGE_B);
        LCDMASGE_WR(result);
        LCDMASGE_WR(" ");
        LCDMASGE_WR("V");
        LCDCnt(0xD4);
        LCDMASGE_WR(str77);
        sprintf(result,"%4d",VOLTAGE_C);
        LCDMASGE_WR(result);
        LCDMASGE_WR(" ");
        LCDMASGE_WR("V");
        LCDCnt(0xDD);
        LCDMASGE_WR(str78);
}
//_____________________________________________
#define str81  "          P2 "
#define str84  "===================="
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define str85   "IA="

#define str86   "| IB="

#define str87   "IC="

#define str88   "          | **I-rms**"


void MoniPage_2()

{

        char result[6];

        LCDCnt(0x80);                   //SETDD1

        LCDMASGE_WR(str81);

        LCDMASGE_WR("**** CURRENT **");

//        LCD_TIME();

//        LCD_DATE();

        LCDCnt(0xC0);                   //SETDD2

        LCDMASGE_WR(str84);

        LCDCnt(0x94);

        LCDMASGE_WR(str85);


        sprintf(result,"%4d",CURRENT_A);

        LCDMASGE_WR(result);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCDMASGE_WR("mA");
        LCDCnt(0x9D);
        LCDMASGE_WR(str86);
        sprintf(result,"%4d",CURRENT_B);
        LCDMASGE_WR(result);
        LCDMASGE_WR("mA");
        LCDCnt(0xD4);
        LCDMASGE_WR(str87);

        sprintf(result,"%4d",CURRENT_C);
        LCDMASGE_WR(result);
        LCDMASGE_WR("mA");
        LCDCnt(0xDD);
        LCDMASGE_WR(str88);
}
//_____________________________________________
#define str91  "          P3  "
#define str94  "===================="
#define str95   "VA="
#define str96   "| RV="
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define str97   "LV="

#define str98   "| **VA-E***"


void MoniPage_3()

{

        char result[6];

        LCDCnt(0x80);                   //SETDD1

        LCDMASGE_WR(str91);

        LCD_TIME();

        LCD_DATE();

        LCDCnt(0xC0);                   //SETDD2

        LCDMASGE_WR(str94);

        LCDCnt(0x94);

        LCDMASGE_WR(str95);

        sprintf(result,"%6d",A_ENERGY);

        LCDMASGE_WR(result);

        LCDCnt(0x9D);

        LCDMASGE_WR(str96);

        sprintf(result,"%6d",RA_ENERGY);

        LCDMASGE_WR(result);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCDCnt(0xD4);
        LCDMASGE_WR(str97);
        sprintf(result,"%6d",LA_ENERGY);
        LCDMASGE_WR(result);
        LCDCnt(0xDD);
        LCDMASGE_WR(str98);
}
//_____________________________________________
#define str101  "        P4 "
#define str104  "====================="
#define str105  "        _A="
#define str106  "        | RA="
#define str107  "        LA="
#define str108  "| **ACT-E**"

void MoniPage_4()
{
        char result[6];
        LCDCnt(0x80);                   //SETDD1
        LCDMASGE_WR(str101);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCDMASGE_WR("*** ACT-ENERGY ***");
//              LCD_TIME();
//              LCD_DATE();
                LCDCnt(0xC0);                   //SETDD2
                LCDMASGE_WR(str104);
                LCDCnt(0x94);
                LCDMASGE_WR(str105);
                sprintf(result,"%6d",VA_ENERGY);
                LCDMASGE_WR(result);
                LCDCnt(0x9D);
                LCDMASGE_WR(str106);
                sprintf(result,"%6d",RVA_ENERGY);
                LCDMASGE_WR(result);
                LCDCnt(0xD4);
                LCDMASGE_WR(str107);
                sprintf(result,"%6d",LVA_ENERGY);
                LCDMASGE_WR(result);
                LCDCnt(0xDD);
                LCDMASGE_WR(str108);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//_____________________________________________

//                    ADE7754 SUBROUTIN

//_____________________________________________

long ReadComReg(unsigned char Address)

{

            unsigned char CLKCNT;

  GPIOB->BRR= CS_ADE7754;

        //pin_LO(CS);



  Address = Address | 0x00;                              //0 0
ADDRESS for Write

  delayus(10);



  for (CLKCNT = 0; CLKCNT<8; CLKCNT++)

  {

                if (Address & 0x80)

                        GPIOB->BSRR   = DIN_ADE7754;

                //pin_HI(DIN);

    else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    GPIOB->BRR      = DIN_ADE7754;
      //pin_LO(DIN);


    GPIOB->BSRR     = SCLK_ADE7754;
      //pin_HI(SCLK);
    delayus(10);
    GPIOB->BRR      = SCLK_ADE7754;
      //pin_LO(SCLK);
    delayus(10);
    Address = Address << 1;
            }
delayms(10);


for (CLKCNT = 0; CLKCNT<8; CLKCNT++)
            {
    GPIOB->BSRR     = SCLK_ADE7754;
      //pin_HI(SCLK)
    if (GPIOB->IDR & DOUT_ADE7754)
       ReadData = ReadData | 0x0001;
    else
       ReadData = ReadData & 0xFFFF;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ReadData = ReadData << 1;                                   //shift left

    delayus(10);

    GPIOB->BRR      = SCLK_ADE7754;
     //pin_LO(SCLK);

                        delayus(10);

            }
delayus(10);


for (CLKCNT = 0; CLKCNT<8; CLKCNT++)
            {
    GPIOB->BSRR     = SCLK_ADE7754;
     //pin_HI(SCLK)
    if (GPIOB->IDR & DOUT_ADE7754)
       ReadData = ReadData | 0x0001;
    else
       ReadData = ReadData & 0xFFFF;


    ReadData = ReadData << 1;                                   //shift left

    delayus(10);

    GPIOB->BRR      = SCLK_ADE7754;
     //pin_LO(SCLK);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                delayus(10);

            }

delayus(10);


for (CLKCNT = 0; CLKCNT<8; CLKCNT++)

            {

   GPIOB->BSRR     = SCLK_ADE7754;
     //pin_HI(SCLK)

//   if (GPIOB->IDR & DOUT_ADE7754)

//       ReadData = ReadData | 0x0001;

//   else

//       ReadData = ReadData & 0xFFFE;


//   ReadData = ReadData << 1;                    //shift left

   delayus(10);

   GPIOB->BRR      = SCLK_ADE7754;
     //pin_LO(SCLK);

                delayus(10);

            }

delayus(10);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                GPIOB->BSRR  = CS_ADE7754;
                             //pin_HI(CS);

    return ReadData;

}

//_____________________________________________

void WriteComReg(unsigned char Address,int Param)

{               unsigned char CLKCNT;


                GPIOB->BRR   = CS_ADE7754;
                //pin_LO(CS);

    Address = Address | 0x80;                    //1 0  ADDRESS for
Write

    delayus(10);


    for (CLKCNT = 0; CLKCNT<8; CLKCNT++)

    {
                        if (Address & 0x80)

        GPIOB->BSRR  = DIN_ADE7754;                  //pin_LO(DIN);

      else

        GPIOB->BRR   = DIN_ADE7754;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    delayus(10);

    GPIOB->BSRR     = SCLK_ADE7754;
     //pin_HI(SCLK);

    delayus(10);

    GPIOB->BRR      = SCLK_ADE7754;
     //pin_LO(SCLK);

    delayus(10);

    Address = Address << 1;

            }

delayus(10);


for (CLKCNT = 0; CLKCNT<8; CLKCNT++)

{

                    if (Param & 0x8000)

    GPIOB->BSRR   = DIN_ADE7754;                    //pin_HI(DIN);

  else

    GPIOB->BRR    = DIN_ADE7754;


                        delayus(100);

    GPIOB->BSRR     = SCLK_ADE7754;
     //pin_LO(SCLK);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    delayus(100);

    GPIOB->BRR      = SCLK_ADE7754;
     //pin_LO(SCLK);

    delayus(100);


    Param = Param << 1;

              }

delayus(10);


              for (CLKCNT = 0; CLKCNT<8; CLKCNT++)

{

                   if (Param & 0x8000)

    GPIOB->BSRR   = DIN_ADE7754;                    //pin_LO(DIN);

 else

    GPIOB->BRR    = DIN_ADE7754;


                              delayus(10);

    GPIOB->BSRR     = SCLK_ADE7754;
     //pin_HI(SCLK);

    delayus(10);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        GPIOB->BRR      = SCLK_ADE7754;
          //pin_LO(SCLK);

        delayus(10);


        Param = Param << 1;

                }
    delayus(10);


    GPIOB->BSRR         = CS_ADE7754;
          //pin_HI(CS);

                delayus(10);
}

//_____________________________________________

void ADE7754_Setup()

{

    WriteComReg(GAIN,0x0000);                    //Analog gain Register


    WriteComReg(AWG,0x0000);        //PH A Active Power gain

    WriteComReg(BWG,0x0000);        //PH B Active Power gain

    WriteComReg(CWG,0x0000);        //PH C Active Power gain

    WriteComReg(AVAG,0x0000);       //PH A VA gain
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WriteComReg(BVAG,0x0000);       //PH B VA gain

WriteComReg(CVAG,0x0000);       //PH C VA gain

WriteComReg(AAPOS,0x0000);      //PH A Power offset Calibration

WriteComReg(BAPOS,0x0000);      //PH B Power offset Calibration

WriteComReg(CAPOS,0x0000);      //PH C Power offset Calibration

WriteComReg(AIrmsOS,0x0000);    //PH A Current offset Calibration

WriteComReg(BIrmsOS,0x0000);    //PH B Current offset Calibration

WriteComReg(CIrmsOS,0x0000);    //PH C Current offset Calibration

WriteComReg(AVrmsOS,0x0000);    //PH A Voltage offset Calibration

WriteComReg(BVrmsOS,0x0000);    //PH B Voltage offset Calibration

WriteComReg(CVrmsOS,0x0000);    //PH C Voltage offset Calibration

WriteComReg(AAPGAIN,0x0000);    //PH A Active Power gain

WriteComReg(BAPGAIN,0x0000);    //PH B Active Power gain

WriteComReg(CAPGAIN,0x0000);    //PH C Active Power gain

WriteComReg(AVGAIN,0x0000);     //PH A Voltage RMS gain

WriteComReg(BVGAIN,0x0000);     //PH B Voltage RMS gain

WriteComReg(CVGAIN,0x0000);     //PH C Voltage RMS gain
```

}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//_____________________________________________

void READ_VOLTAGE()

{

        ReadComReg(AVrms);

        if(ReadData <= 9200)

        VOLTAGE_A = ReadData/38.3


        ReadComReg(BVrms);

        if(ReadData <= 9200)

        VOLTAGE_B = ReadData/38.3;


        ReadComReg(CVrms);

        if(ReadData <= 9200)

        VOLTAGE_C = ReadData/38.3;

}

//_____________________________________________

void READ_CURRENT()

{

        ReadComReg(AIrms);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if (ReadData <=10000)

        CURRENT_A = pow(ReadData,0.7692307)*3.35;



        ReadComReg(BIrms);

        if (ReadData <=10000)

        CURRENT_B = pow(ReadData,0.762307)*2.91;



        ReadComReg(CIrms);

        if ( ReadData <=10000)

        CURRENT_C = pow(ReadData,0.7692307)*3.22;
}
//_____________________________________________
void READ_VAENERGY()
{
        ReadComReg(AENERGY);

        VA_ENERGY = VOLTAGE_A*CURRENT_A/1006;

        ReadComReg(RAENERGY);

        RVA_ENERGY = VOLTAGE_B*CURRENT_B/1006;

        ReadComReg(LAENERGY);

        LVA_ENERGY = VOLTAGE_C*CURRENT_C/1006;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

//_____________________________________________

void READ_ACTENERGY()

{

        ReadComReg(VAENERGY);

        A_ENERGY  = ReadData;

        ReadComReg(RVAENERGY);

        RA_ENERGY = ReadData;

        ReadComReg(LVAENERGY);

        LA_ENERGY = ReadData;

}

//_____________________________________________

void Check_Key()

{

                unsigned char Key_Val;

                if (GPIOC->IDR & KEY_DV)

                {

                                Key_Val = GetKey();

                                switch (Key_Val)

                                {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        case 3:
//                      key FUN
                                                MODE++;
                                                if (MODE>10) MODE = 0;
                                        break;
                                        case 7:
//                      Key INC
                                                MODE--;
                                                if (MODE<0) MODE = 10;
                                        break;
                                }
                        }
}
//_____________________________________________
void Check_Mode()
{
                if (MODE>4) MODE = 0;
                if (MODE==0) MoniPage_0();
                if (MODE==1) MoniPage_1();
                if (MODE==2) MoniPage_2();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if (MODE==3) MoniPage_3();

        if (MODE==4) MoniPage_4();

}

//_____________________________________________

//              MAIN PROGRAM

//_____________________________________________


int main(void)

{

        delayms(100);

        SystemInitial();

        MAX7219Initial();

        LCDInitial();

        ADE7754_Setup();

        GPIOD->BSRR = KEY_OPE;

        MODE = 0;


            while (1)

            {

                    DISP1_MAX7219(ANALOG_VAL1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            DISP2_MAX7219(count++);

            READ_VOLTAGE();
                                    //read all phase A B & C

            READ_CURRENT();
                                    //read all phase A B & C

            READ_ACTENERGY();
                                //ACTIVE Energy

            READ_VAENERGY();
                                //VA Energy

            Check_Key();

            Check_Mode();

        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้