สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ผ่านระบบข้อความสั้น

# POWER METER VIA SMS

T104314

โดย

นายรัฐวิษณ์ พุทธสันติธรรม รหัส 48010733

นายรีรวัติ เทพรักษ์ รหัส 48010741

นายวนากร ไกยสิทธิ์ รหัส 48010762

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ หลผดุง ผดุงกุล

สพ.
ว357ค
2551
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....104314
วัน,เดือน,ปี.....- 2 พ.ย. 2552

.b.....12109174
.i.....

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ผ่านระบบข้อความสั้น


ผู้จัดทำ

นายรัฐวิษณ์ พุทธสันติธรรม รหัส 48010733

นายรีรวัติ เทพรักษ์ รหัส 48010741

นายวนากร ไกยสิทธิ์ รหัส 48010762

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ อาจารย์ พลผดุง ผดุงกุล)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ผ่านระบบข้อความสั้น**

**POWER METER VIA SMS**


**นายรัฐวิษณ์ พุทธสันติธรรม รหัส 48010733**

**นายรีรวัติ เทพรักษ์ รหัส 48010741**

**นายวนากร ไกยสิทธิ์ รหัส 48010762**


**โครงงานได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้**

.....

**( อาจารย์ พลผดุง ผดุงกุล )**

**อาจารย์ที่ปรึกษา**


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าผ่านระบบข้อความสั้น

นายรัฐวิษณ์ พุทธสันติธรรม รหัส 48010733
นาย รีรวัติ เทพรักษ์ รหัส 48010741
นาย วนากร ไกยสิทธิ์ รหัส 48010762
ผศ. พลผดุง ผดุงกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

**บทคัดย่อ**

รายงานฉบับนี้อธิบายวิธีการสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งทำการวัด กระแส แรงดัน และตัวประกอบกำลัง รวมทั้งวงจรสำหรับการส่งข้อมูลผ่านบริการข้อความสั้น ซึ่งข้อมูลที่ทำการส่งผ่านมานั้น ก็คือค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าได้ทำการวัดมานั่นเอง หลังจากนั้นจึงทำการจัดการข้อมูลและแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ในที่สุด

จุดประสงค์หลักในการทำโครงงานชิ้นนี้ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากความผิดพลาดในระบบ และเป็นการจัดการพลังงานในอนาคตให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Power Meter via SMS

Mr. Rattawit Phutthasantitham ID 48010733

Mr. Reerawat Tepparak ID 48010741

Mr. Wanakorn Kaiyasit ID 48010762

Asst.Prof. Ponpadung Padungkul Advisor

Educational Year 2008

**Abstract**

This report describes a design and construction Power Meter to measure Current, Voltage and Power Factor. Include a circuit for send data via short message service to display the data on a computer.

This project is a purpose to decrease error of electric consumption in system and manage the power in the future for effective.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจากหลายบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์พลผดุง ผดุงกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์เกี่ยวกับโครงงานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าผ่านระบบข้อความสั้น อีกทั้งเพื่อนๆ และรุ่นน้องทุกคนที่คอยช่วยเหลือในการปฏิบัติงานเป็นอย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ได้

จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

นายรัฐวิษณ์ พุทธสันติธรรม รหัส 48010733

นาย รีรวัติ เทพรักษ์ รหัส 48010741

นาย วนากร ไกยสิทธิ์ รหัส 48010762



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | | |
|---|---|---|
| **บทคัดย่อ** | | I |
| **Abstract** | | II |
| **กิตติกรรมประกาศ** | | III |
| **สารบัญ** | | |
| **บทที่ 1** | | |
| **บทนำ** | | 1 |
| | 1.1 วัตถุประสงค์ | 1 |
| | 1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน | 1 |
| | 1.3 ขอบเขตของโครงงาน | 1 |
| | 1.4 หลักการทำงาน | 2 |
| **บทที่ 2** | **ทฤษฎี หลักการ** | 3 |
| | 2.1 GSM AT Command กับมือถือ | 3 |
| | 2.2 PIC 16F877 | 8 |
| | 2.3 ET-GSM SIM300CZ | 9 |
| | 2.4 การตรวจจับกระแสไฟฟ้า | 17 |
| | 2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า | 20 |
| | 2.6 หม้อแปลงกระแส | 29 |
| **บทที่ 3** | **การคำนวณและการสร้าง** | 39 |
| | 3.1 ภาพรวมของโครงงาน | 39 |
| | 3.2 แผนผังแสดงการทำงานของโครงงาน | 39 |
| | 3.3 วงจรวัดแรงดัน | 40 |
| | 3.4 วงจรวัดกระแส | 41 |
| | 3.5 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ | 42 |
| | 3.6 การคำนวณพาวเวอร์แฟคเตอร์ | 43 |
| | 3.7 วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ | 43 |
| | 3.8 โปรแกรมภาครับ | 45 |
| **บทที่ 4** | **ผลการทดลอง** | 47 |
| | **4.1 วงจรวัดแรงดัน** | 47 |
| | **4.2 วงจรวัดกระแส** | 54 |
| | **4.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ** | 58 |
| | **4.4 ข้อความสั้นที่ได้รับ** | 62 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การอ่านค่าโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้น 63
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 64
5.1 ประโยชน์ที่ได้รับสำหรับเครื่องมือชิ้นนี้ 64
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง 64
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป 65
5.4 สรุปผลการทดลอง 65
ภาคผนวก 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ


| | |
|---|---|
| รูปที่ 1.1 Block diagram ส่วนแรก (ที่เครื่องใช้ไฟฟ้า) | 2 |
| รูปที่ 1.2 Block diagram ส่วนที่สอง (ภาครับ) | 2 |
| รูปที่ 2.1 CPU PIC16F877 และ การจัดวางตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ | 9 |
| รูปที่ 2.2 ไอซีตรวจจับกระแส | 17 |
| รูปที่ 2.3 การวัดกระแสโดยใช้แคลมป์มิเตอร์ | 18 |
| รูปที่ 2.4 การวัดกระแสโดยใช้ฮอลล์เซนเซอร์ | 18 |
| รูปที่ 2.5 การวัดกระแสโดยใช้หม้อแปลงกระแส | 19 |
| รูปที่ 2.6 หม้อแปลงกระแสชนิดทำเองแบบง่าย | 19 |
| รูปที่ 2.7 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก | 20 |
| รูปที่ 2.8 สายทองแดงเคลือบน้ำยา | 21 |
| รูปที่ 2.9 แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส | 22 |
| รูปที่ 2.10 แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส | 22 |
| รูปที่ 2.11 เฟอร์ไรท์ | 23 |
| รูปที่ 2.12 ขดลวดแกนอากาศ | 23 |
| รูปที่ 2.13 หม้อแปลงไฟฟ้าแกนทอลอยด์ | 23 |
| รูปที่ 2.14 แสดงคำอธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า | 24 |
| รูปที่ 2.15 การเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก | 28 |
| รูปที่ 2.16 แสดงการต่อหม้อแปลงกระแส | 29 |
| รูปที่ 2.17 แสดงการวัดกระแสโดยใช้หม้อแปลงกระแส | 30 |
| รูปที่ 2.18 กราฟย่านต่างๆของสนามแม่เหล็ก | 34 |
| รูปที่ 2.19 แสดงรูปร่างของ Flux ที่มี flat-topped shape | 37 |
| รูปที่ 2.20 การเกิด High Voltage และการถอด CT ออกจากวงจร | 38 |
| รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของวงจร | 39 |
| รูปที่ 3.2 วงจรวัดแรงดัน | 40 |
| รูปที่ 3.3 วงจรวัดกระแส | 41 |
| รูปที่ 3.4 วงจรคอมพาราเตอร์ | 42 |
| รูปที่ 3.5 PIC16F877 และ MAX232 | 44 |
| รูปที่ 3.6 การแสดงผลในส่วนโปรแกรมภาครับ | 45 |
| รูปที่ 4.1 วงจรวัดแรงดันโดยทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ 4 จุด | 47 |
| รูปที่ 4.2 ขนาดสัญญาณที่จุด V1 | 48 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ลักษณะสัญญาณที่จุด V2 49
รูปที่ 4.4 ขนาดสัญญาณที่จุด V2 ในหน่วย Vrms 49
รูปที่ 4.5 ลักษณะสัญญาณที่จุด V3 50
รูปที่ 4.6 ขนาดสัญญาณที่จุด V3 51
รูปที่ 4.7 ลักษณะสัญญาณที่จุด V4 52
รูปที่ 4.8 ขนาดสัญญาณที่จุด V4 52
รูปที่ 4.9 วงจรวัดกระแสโดยทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ 3 จุด 54
รูปที่ 4.10 แรงดันที่จุด Vi1 55
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่จุด Vi2 เทียบกับสัญญาณที่จุด Vi1 56
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่จุด Vi3 เทียบกับสัญญาณที่จุด Vi1 56
รูปที่ 4.13 ขนาดสัญญาณที่จุด Vi3 57
รูปที่ 4.14 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ 6 จุด 58
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่จุด Vc1 59
รูปที่ 4.16 สัญญาณที่จุด Vc2 59
รูปที่ 4.17 สัญญาณที่จุด Vc3 60
รูปที่ 4.18 สัญญาณที่จุด Vic1 60
รูปที่ 4.19 สัญญาณที่จุด Vic2 61
รูปที่ 4.20 สัญญาณที่จุด Vic3 61
รูปที่ 4.21 ข้อความสั้นที่ได้รับ 62
รูปที่ 4.22 ผลที่ได้จากการอ่านค่าโดยโปรแกรม 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของสตริงการรับข้อความเอสเอ็มเอส 5

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของข้อมูลที่ส่ง 6

ตารางที่ 2.3 การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM300CZ กับ PC 12

ตารางที่ 2.4 การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM300CZ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 12

ตารางที่ 2.5 รูปแบบการใช้งาน AT Command (เมื่อ <x> คือ รหัสคำสั่ง) 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นการใช้ความรู้จากการศึกษาเล่าเรียนสร้างเครื่องมือวัดค่ากำลังไฟฟ้า โดยทำการส่งข้อมูลของค่าที่วัดได้ผ่านรูปแบบข้อความสั้น ช่วยแก้ไขในการวัดเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ที่ต้องการวัดอยู่ในพื้นที่ที่ห่างไกล ทำให้ไม่ต้องออกเดินทางเพื่อไปวัดค่าต่างๆเหล่านี้ แต่ทำการวัดโดยติดตั้งชุดอุปกรณ์การวัดไว้ที่เครื่องใช้ไฟฟ้าแทน ทำการออกแบบ วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาทางปฏิบัติโดยใช้พื้นฐานทางทฤษฎีที่ได้เรียนรู้มา โดยมีอาจารย์ที่ปรึกษาคอยให้คำแนะนำ

## 1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาและออกแบบการสร้าง เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาการแปลงสัญญาณอนาล็อก(Analog Signal) เป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal) หรือ A/D Converter
3. เพื่อศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC
4. เพื่อศึกษาและออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้สามารถทำงานร่วมกันได้
5. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานร่วมกับโทรศัพท์มือถือ โดยผ่านระบบ GSM

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ในส่วนของภาคการศึกษาที่หนึ่ง จะศึกษาและทดลองในส่วนของการส่งข้อความสั้นและส่วนของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ว่ามีหลักการทำงานอย่างไร การรับและอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือและแสดงค่าผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

ในส่วนของภาคการศึกษาที่สอง จะทำการสร้างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และปรับปรุงส่วนของภาคส่งและภาครับให้สมบูรณ์ เชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่างเครื่องวัดเข้ากับส่วนที่ใช้ส่งข้อมูล เป็นชุดอุปกรณ์ที่พร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 หลักการทำงาน

การทำงานของวงจรจะมีด้วยกัน 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ส่วนที่อยู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะทำการวัดแรงดัน กระแส และค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นี้ส่งผ่านระบบข้อความสั้นของโทรศัพท์มือถือ ไปยังส่วนของภาครับ ดังรูปที่ 1.1

**รูปที่ 1.1** Block diagram ส่วนแรก (ที่เครื่องใช้ไฟฟ้า)

ส่วนที่ 2 คือส่วนของภาครับ ซึ่งประกอบด้วย ตัวโทรศัพท์มือถือเพื่อรับค่าพารามิเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำการเก็บข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปตรวจสอบต่อไป ดังรูปที่ 1.2

**รูปที่ 1.2** Block diagram ส่วนที่สอง (ภาครับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีหลักการ

## 2.1 GSM AT Command กับมือถือ

การสื่อสารกับอุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ เช่น โมเด็มหรืออุปกรณ์ DTE (Data Terminal Equipment) นั้นสามารถใช้ชุดคำสั่งที่เป็นมาตรฐานที่เรียกว่า AT command ในการติดต่อเพื่อโต้ตอบตั้งค่าหรือสั่งงานอุปกรณ์เหล่านั้น ให้ทำงานตามที่ต้องการโดยชุดคำสั่งพื้นฐานจะถูกกำหนดไว้ใน Hayes AT command ซึ่งบริษัท Hayes เป็นผู้คิดค้นชุดคำสั่งนี้เพื่อใช้กับโมเด็มของตนและต่อมาได้กลายเป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตโมเด็มรายอื่น ๆ โดยอาจจะมีชุดคำสั่งขยาย (Extended AT command) เพื่อใช้เป็นการเฉพาะสำหรับผู้ผลิตรายนั้น ๆ ก็ได้

การติดต่อกับมือถือก็เช่นกันเราสารถใช้ชุดคำสั่งที่กำหนดไว้ใน GSM AT command ซึ่งมีคำสั่งเพิ่มเติมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานและควบคุมมือถือ และเนื่องจากมีรายละเอียดค่อนข้างมาก โดยในโครงงานนี้จะพูดถึงเฉพาะคำสั่งที่จำเป็นสำหรับบทความนี้เท่านั้น

การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับมือถือนั้นจะทำผ่านสายดาต้าลิงค์ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบอนุกรม โดยใช้โปรแกรมเทอร์มินอลต่าง ๆ เช่นไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) ของวินโดวส์ (Windows) ส่วนความเร็วในการสื่อสารมักจะใช้ 9600 บิตต่อวินาที

### 2.1.1 ตัวอย่างคำสั่ง GSM AT Command

คำสั่งพื้นฐาน

| | |
|---|---|
| at | เช็คความพร้อมของมือถือ |
| OK | พร้อม |
| atd0812345678; | สั่งให้ต่อโทรศัพท์ไปยังหมายเลขนี้ (081-234-5678) |
| BUSY | สายไม่ว่าง (ถ้าอีกฝั่งรับสายจะตอบ CONNECT) |
| Ath | สั่งวางสาย |
| OK | ตกลง |

คำสั่งเกี่ยวกับเอสเอ็มเอส ( SMS : Short Message Service )

| | |
|---|---|
| at+csms = 0 | เช็คว่าสนับสนุนคำสั่งเกี่ยวกับเอสเอ็มเอส หรือไม่ |
| +CSMS : 1, 1, 1 | |
| OK | สนับสนุน |
| at+cmgf = 1 | ตั้งโหมดเอสเอ็มเอสแบบเท็กซ์โหมด (Text Mode) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+CMS ERROR : 303 ไม่สนับสนุน

at+cmgf = 0 ตั้งโหมดเอสเอ็มเอสแบบพีดียูโหมด (PDU : Protocol Description Unit Mode)

OK ได้

at+cmgr = 1 อ่านข้อความที่ 1 ใน inbox

+CMGR : 1.,27 06916681118088040A916629502680000040401211719382OAE8301C9E4787

OK ข้อความเรียบร้อย (ข้อความยังไม่ถอดรหัส)

องค์การ ETSI (European Telecommunications Standards Institute) เป็นองค์กรอิสระที่ไม่แสวงหาผลกำไรทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานทางด้านโทรคมนาคม ได้กำหนดมาตรฐานการส่งเอสเอ็มเอสไว้ในคู่มือ GSM 03.40 และ GSM 03.38 สามารถส่งได้สูงถึง 160 ตัวอักษร โดยแต่ละตัวอักษรใช้รหัสขนาด 7 บิต ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3 นอกจากนั้นยังมีการใช้ตัวอักษรชนิดอื่น ๆ เช่น ขนาด 8 บิต หรือ 16 บิต ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในโครงงานนี้จะพูดถึงเฉพาะแบบ 7 บิต เท่านั้น

**2.1.2 โหมดของการรับส่งข้อมูล**

การรับส่งข้อมูลเอสเอ็มเอส มีอยู่ด้วยกัน 2 โหมด คือ เท็กซ์โหมด และ พีดียูโหมด การส่งข้อความในเท็กซ์โหมดนั้นจะเป็นการนำข้อความที่ต้องการส่งมาเข้ารหัสก่อน แล้วค่อยส่งข้อมูลในพีดียูโหมดอีกที อย่างไรก็ตามในมือถือบางรุ่นอาจไม่สนับสนุนการใช้งานในเท็กซ์โหมด ซึ่งการเข้ารหัส (ส่ง) และถอดรหัส (รับ) สำหรับในเท็กซ์โหมดนี้มีหลายแบบด้วยกันเช่น "PCCP437" ,"PCDN" ,"8859-1" ,"TRA" และ "GSM" เมื่อเราเชื่อมต่อกับมือถือเพื่อจะอ่านข้อความ เราสามารถตั้งค่าการเข้ารหัส/ถอดรหัสได้โดยใช้คำสั่ง AT+CSCS แต่ถ้าเราอ่านข้อความจากจอของมือถือซึ่งตัวมือถือจะเลือกการถอดรหัสที่เหมาะสมให้เองโดยอัตโนมัติ

การเชื่อมต่อกับมือถือเพื่อรับส่งข้อความสามารถเลือกใช้ได้ทั้ง 2 โหมด แต่จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้เท็กซ์โหมดจะมีข้อจำกัดทั้งจากการที่มือถือบางรุ่นอาจไม่สนับสนุน และยังถูกจำกัดด้วยวิธีการเข้าและถอด รหัสซึ่งมีเพียงไม่กี่แบบตามที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งในบางกรณีอาจไม่สะดวกนักแต่ถ้าเลือกพีดียูโหมดจะสามารถเลือกหรือสร้างการเข้ารหัสและถอดรหัสได้ทุกรูปแบบ

**2.1.3 การรับข้อความเอสเอ็มเอสในพีดียูโหมด**

ถ้าหากเราเชื่อมต่อกับมือถือแล้วทำการสั่งอ่านข้อความเอสเอ็มเอสที่อยู่ในอินบ็อก (Inbox) โดยใช้คำสั่ง AT+CMGR ข้อมูลที่ได้รับจะอยู่ในรูปของสตริงที่ประกอบไปด้วยข้อมูลของผู้ส่ง. ข้อมูลเอสเอ็มเอสเซอวิสเซนเตอร์ (SMSC), ไทม์สแตมป์ (Time Stamp) และอื่น ๆ ที่จำเป็นและตามด้วยส่วนของข้อความซึ่งจะอยู่ท้ายสุดของสตริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสตริงต่อไปนี้รับได้จาก Siemens รุ่น C35 ซึ่งข้อความที่ส่งมาคือ "hellohello" จากมือถืออีกเครื่องหนึ่งข้อมูลสตริงนี้จะอยู่ในรูปของตัวเลขฐาน 16 และฐาน 10 (ในบางส่วน) โดยจะเรียกตัวเลขแต่ละคู่ว่า ออกเต็ต (Octet) ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.10

0691668111808804 0A916629502680000040302121943482 0AE8329BFD4697D9EC37

**ตารางที่ 2.1** ส่วนประกอบของสตริงการรับข้อความเอสเอ็มเอส

| กลุ่มตัวเลข 8 บิต (ออกเต็ต) | รายละเอียด |
|---|---|
| 06 | ความยาวของ เอสเอ็มเอสซี Information 6 Octets (ไบต์) |
| 91 | รูปแบบของเลขหมายเอสเอ็มเอสซี 91 หมายถึง เลขหมายแบบสากล (international format) |
| 66 81 11 80 88 | เลขหมายเอสเอ็มเอสซี(แบบเดซิมอลเซมิออกเต็ต) ซึ่งจะเป็นเลขฐาน 10 สลับนิบเบิล ในกรณีนี้เลขหมายจริงของเซอวิสเซนเตอร์คือ "+6618110888" |
| 04 | First octet of this SMS-DELIVER message |
| 0A | ความยาวของเลขหมายผู้ส่ง (0A hex = 10 ตัว) |
| 91 | รูปแบบของเลขหมายผู้ส่ง 91 หมายถึง เลขหมายแบบสากล |
| 66 29 50 26 80 | เลขหมายผู้ส่ง (แบบเดซิมอลเซมิออกเต็ต ) เป็นเลขฐาน 10 สลับนิบเบิล (nibble) หมายเลขผู้ส่งที่แท้จริงคือ "+6692056208" |
| 00 | TP-PID. (Protocol identifier) ในกรณีนี้คือ 00 |
| 00 | TP-DCS (Data coding scheme) 00 คือเข้ารหัสข้อความแบบ 7 บิต |
| 40 30 21 21 94 34 82 | ข้อมูลไทม์สแตมป์(แบบ decimal semi-octets) สลับนิบเบิล |
| 0A | จำนวนตัวอักษรของข้อความที่ส่งในที่นี้คือ 10 ตัว |
| E8329BFD4697D9EC37 | ข้อความ "hellohello" ที่เข้ารหัสแล้วจากตัวอักษรแบบ 7 บิต เป็นข้อมูล ไบต์ ขนาด 8 บิต |

ข้อมูลทั้งหมดในตารางเป็นเลขฐาน 16 ขนาด 8 บิต ยกเว้นหมายเลขซอวิสเซนเตอร์, เลขหมายผู้ส่ง, ไทม์สแตมป์จะเป็นเลขฐาน 10 ขนาด 8 บิต สลับหลักเป็นคู่ ๆ (สลับนิบเบิล) ในส่วนของข้อมูลที่เป็นข้อความนั้นเป็นเลขฐาน 16 ขนาด 8 บิต เช่นกัน โดยข้อมูลนี้จะใช้แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อความที่ประกอบไปด้วยตัวอักษรขนาด 7 บิต ซึ่งผ่านการเข้ารหัส ข้อมูลจากตัวอักษรขนาด 7 บิต ให้เป็นเลขฐาน 16 ขนาด 8 บิต มาแล้ว ส่วนวิธีการแปลงจะกล่าวในภายหลัง

ในส่วนของข้อมูลที่เป็นเลขฐาน 10 เช่น เลขหมายผู้ส่งตัวเลขในแต่ละคู่ (1 ไบต์) จะถูกสลับหลักกันเช่น เลขหมายจริง "+66 092056208" จะถูกสลับในแต่ละคู่เป็น "66 29 50 26 80" (66 คือ รหัสประเทศส่วนเลขหมวดของหมายเลขมือถือจะถูกตัดเลข 0 ออก เช่น 09 จะเหลือแค่ 9 เป็นต้น แล้วแต่จึงนำตัวเลขทั้งหมดมาต่อกันแล้วสลับคู่) เช่นเดียวกันกับ Time Stamp ข้อมูล "40 30 21 21 94 34 82" ซึ่งมีรูปแบบเป็น "YY/MM/DD HH:MM:SS:SS" หมายถึง ข้อความนี้ส่งเมื่อ "04/03/12 12:49:43:28

**2.1.4 การส่งข้อความเอสเอ็มเอสในพีดียูโหมด**

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการส่งข้อความเอสเอ็มเอส "hellohello" โดยใช้ มือถือ Siemens C35 โดยใช้โหมดพีดียูไปให้ผู้รับหมายเลข "+66 092056208"

AT+CMGF = 0 เลือกโหมดพีดียู

AT+CSMS = 0 เช็คว่ามือถือสนับสนุนการส่งเอสเอ็มเอสหรือไม่

AT+CMGS = 22 ต้องการส่งทั้งหมด 22 ไบต์ (ไม่รวมตัวเลข 00 ที่อยู่ข้างหน้าสุด)

>0011000A916629502680000AA0AE8329BFD4697D9EC37

เมื่อพิมพ์ข้อความครบแล้วกด Ctrl+z ส่วนประกอบของข้อมูลที่ส่งอธิบายในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.2** ส่วนประกอบของข้อมูลที่ส่ง

| กลุ่มตัวเลข 8 บิต (Octet) | รายละเอียด |
|---|---|
| 00 | ความยาวของ SMSC information "00" หมายถึงให้ใช้ SMSC Information ที่เก็บอยู่ภายในเครื่อง (ปกติเครื่องที่สามารถส่งเอสเอ็มเอส ได้มีข้อมูลเอสเอ็มเอสซี ภายในเครื่องอยู่แล้ว) |
| 11 | First octet of the SMS-SUBMIT message. |
| 00 | TP-Message-Reference."00" คือ ให้เครื่องตั้งหมายเลขอ้างอิงข้อความขึ้นเอง |
| 0A | ความยาวของเลขหมายผู้รับ (10 ตัว) |
| 91 | รูปแบบของเลขหมายผู้ส่ง 91 หมายถึง เลขหมายแบบสากล |
| 66 29 50 26 80 | หมายเลขโทรศัพท์ของผู้รับ (แบบเซมิออกเต็ต) หมายเลขที่แท้จริงคือ "+66 092056208" |
| 00 | TP-PID.(Protocol identifier) เป็น 00 |
| 00 | TP-DCS.(Data coding scheme) เป็น 00 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| AA | "AA" หมายถึง ช่วงเวลาหมดอายุของข้อความ 4 วัน ถ้าภายในช่วงเวลานี้ ยังส่งไม่ถึงปลายทางข้อความจะถูกยกเลิกโดยอัตโนมัติ |
| 0A | จำนวนตัวอักษรของข้อความที่ส่ง (10 ตัว) |
| E8329BFD4697D9EC37 | เป็นข้อมูลในส่วนของข้อความตัวอักษรแบบ 7 บิต "hellohello" ที่ผ่านการแปลง (เข้ารหัส) เป็นข้อมูลแบบ 8 บิต แล้ว โดยมีวิธีการตามหัวข้อการแปลงตัวอักษรชนิด 7 บิต เป็น ข้อมูล 8 บิต |

รหัสตัวอักษรชนิด 7 บิต (7 bit default alphabet)

ตัวอักษรชนิด 7 บิต ถูกกำหนดโดยคู่มือ GSM 03.38 เป็นดังตารางที่ 3 ซึ่งเปรียบเทียบกับรหัสฐาน 10 ของ ISO-8859-1 (Ascii) ซึ่งอยู่ทางด้านขวามือของตาราง

**2.1.5 การแปลงตัวอักษรชนิด 7 บิต เป็น ข้อมูล 8 บิต**

จากตารางที่ 2.11 ในส่วนของข้อความตัวอักษร จะเป็นส่วนที่เราสามารถใส่รหัสข้อความที่ต้องการส่ง แต่เนื่องจากเราไม่สามารถนำรหัสของตัวอักษรแบบ 7 บิต ใส่ไปได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านการแปลงให้เป็นรหัสข้อมูลแบบ 8 บิต ก่อนโดยตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการแปลงข้อความ "hellohello" ยาว 10 ตัวอักษร ซึ่งแต่ละตัวเป็นอักษรชนิด 7 บิต ให้เป็นข้อมูล 8 บิต สำหรับใช้ในการส่งเอสเอ็มเอส

การแปลงเริ่มจากนำรหัส 7 บิต ของอักษรตัวแรก (h) มาเติมข้างหน้าด้วย 1 บิต ท้ายสุดของรหัส 7 บิต ของอักษรตัวที่ 2 (e) จะได้ผลลัพธ์ 8 บิต (1 ไบต์) เป็น "E8"

ขั้นตอนต่อมาให้เอา 6 บิต ที่เหลือของอักษรตัวที่ 2 มาเติมข้างหน้าด้วย 2 บิต ท้ายของรหัส 7 บิต ของอักษรตัวที่ 3 (l) จะได้ผลลัพธ์ 8 บิต เป็น "32" และทำเช่นนี้เรื่อยไปโดยจำนวนบิตที่นำมากระทำจะเพิ่มขึ้นเป็น 3 บิต เป็น 4 บิต จนกระทั่งถึง 7 บิต แล้วเริ่มกระบวนการใหม่จนกระทั่งหมดชุดตัวอักษรดังตัวอย่างการแปลงตัวอักษร

หลังจากแปลงข้อความ "hellohello" จะได้ข้อมูลเป็นเลขฐาน 16 จำนวน 9 ไบต์ เป็น E8 32 9B FD 46 97 D9 EC 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2 PIC 16F877**

โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของ PIC 16F877

คุณสมบัติของ PIC 16F877

1. ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz (PIC16F877-04,PIC16F877-20,PIC16F877A)
2. หน่วยความจำโปรแกรม FLASH Program Memory มีขนาด 8k (14-Bit Words)
3. หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
4. หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 256 Bytes
5. สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพได้ถึง 14 แหล่ง
6. เพาเวอร์ออนรีเซต(POR),เพาเวอร์อัปไทเมอร์(PWRT) และ Oscillator Start-Up Timer
7. Watchdog Timer
8. สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)
9. เลือกโหมดของ สัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด
10. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0V ถึง 5.5V
11. กระแสทั้งซิงก์และซอร์สของพอร์ตคือ 25mA
12. Timer/Counter จำนวน 3 ตัว คือ Timer0,Timer1 และ Timer2
13. โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
14. Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 8 แชนเนล ภายในตัว
15. มีโมดูลการสื่อสาร USART
16. มีพอร์ต I/O 5 พอร์ตประกอบด้วย A,B,C,D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน ซึ่งรวมแล้ว จะมี I/O จำนวน 33 บิต

PORTA = RA5 –RA0 จำนวน 6 บิต

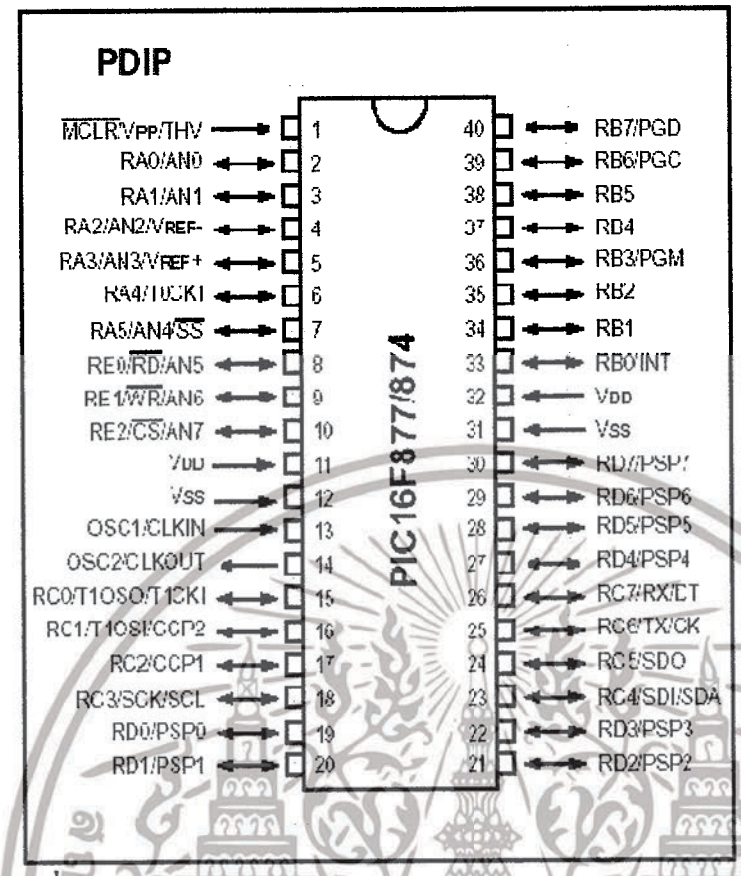
PORTB = RB7 – RB0 จำนวน 8 บิต

PORTC = RC7 – RC0 จำนวน 8 บิต

PORTD = RD7 – RD0 จำนวน 8 บิต

PORTE = RE2 – RE0 จำนวน 3 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.1** CPU PIC16F877 และ การจัดวางตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ

**2.3 ET-GSM SIM300CZ**

เป็นชุดเรียนรู้และพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายโดยใช้โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ของ "SIMCom Ltd." เป็นอุปกรณ์หลัก ซึ่ง SIM300CZ เป็นโมดูลสื่อสารระบบ GSM/GPRSขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสาร GSM ความถี่ 900/1800/1900MHz โดยสั่งงานผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรมRS232 ด้วยชุดคำสั่ง AT Command สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งสัญญาณแบบ Voice, SMS, Data, FAX และยังรวมถึงการสื่อสารด้วย Protocol TCP/IP ด้วย ซึ่งตามปรกติแล้ว ถึงแม้ว่าโมดูล SIM300CZ จะมีวงจร และ Firmware บรรจุไว้ภายในตัวเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงทันที เนื่องจากในการใช้งานจริงๆนั้นผู้ใช้งานเองจำเป็นต้องออกแบบวงจรรอบนอกที่จำเป็นมาเชื่อมต่อกับขาสัญญาณของตัวโมดูลอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางส่วน ไม่ว่าจะเป็นวงจรภาค Power Supply,วงจรเชื่อมต่อกับ SIM Card รวมไปถึงวงจร Line Driver ของ RS232 เป็นต้น ดังนั้นทางทีมงาน อีทีที จึงได้จัดสร้างบอร์ดสำหรับเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างโมดูล SIM300CZ กับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำโมดูล GSM ของ SIM300CZ ไปทำการทดลองและศึกษาเรียนรู้การสั่งงานต่างๆได้โดยสะดวก ก่อนที่จะนำเอาโมดูลตัวนี้ไปออกแบบดัดแปลงและประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆได้ต่อไปในอนาคต ซึ่งถึงแม้ว่าวงจรการเชื่อมต่อทั้งหมดที่ทาง อีทีที ได้จัดทำขึ้นมานี้จะยังไม่สามารถรองรับการใช้งานทรัพยากรต่างๆที่มีอยู่ภายในโมดูลได้ครบถ้วนทั้งหมดก็ตามที แต่ในส่วนของการใช้งานโมดูลในส่วนที่เป็นความสามารถหลักๆที่จำเป็นนั้นมีไว้รองรับอย่างครบถ้วนเพียงพอแล้ว

### 2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ด ET-GSM SIM300CZ V1.0

• มีสวิตช์แบบ Push-Button สำหรับใช้สั่ง เปิด-ปิด การทำงานของโมดูลภายในบอร์ด

• มี Socket SIM รองรับ SIM Card พร้อมวงจร ESD ป้องกัน SIM เสียหาย

• มีวงจร Regulate แยกอิสระ จำนวน 2 ชุด สามารถใช้กับแหล่งจ่ายภาย Adapter ขนาดตั้งแต่ +5V ขึ้นไป สามารถจ่ายกระแสให้กับ โมดูล SIM300CZ และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ได้อย่างเพียงพอ

o มีวงจร Regulate ขนาด 4.2V / 3A สำหรับจ่ายให้กับ โมดูล SIM300CZ ได้อย่างเพียงพอ สามารถใช้กับ SIM ของระบบ GSM900MHz แบบ 2-Watt ได้อย่างไม่เกิดปัญหา

o มีวงจร Regulate ขนาด 3.3V / 1A สำหรับจ่ายให้กับวงจรเชื่อมต่อภายนอกโดยไม่ต้องไปดึงไฟจากตัวโมดูลมาใช้ ป้องกันปัญหาโมดูลเสียหายจากวงจรภายนอกดึงกระแสเกินพิกัด และสะดวกต่อการออกแบบวงจรเชื่อมต่อเพิ่มเติม โดยไม่ต้องกังวลว่ากระแสจะไม่พอจ่ายให้กับอุปกรณ์

• มีวงจร Line Driver สำหรับแปลงระดับสัญญาณโลจิกจากโมดูล SIM300CZ ให้เป็น RS232 ระดับมาตรฐานครบทุกเส้นสัญญาณ ทั้งพอร์ตที่ใช้ในการสื่อสารสำหรับสั่งงานโมดูล และ พอร์ตสำหรับใช้ในการพัฒนาโปรแกรม (Debug) สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ต RS232 มาตรฐานได้ทันที

• มี LED แสดงสถานะพร้อมในบอร์ด สำหรับแสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ สถานะพร้อมทำงานของ
โมดูล สถานะในการเชื่อมต่อกับ Network และ สถานะ Power-On/Power-OFF ของโมดูล

• มีขั้วสำหรับเชื่อมต่อกับ Handset (ชุดปากพูด และหูฟัง ของโทรศัพท์บ้าน) โดยใช้ขั้วต่อแบบ RJ11 มาตรฐาน พร้อมวงจร Voice Filter สามารถนำชุด Handset ของโทรศัพท์บ้าน ต่อเข้ากับบอร์ดทางขั้วต่อแบบ RJ11 สำหรับใช้พูดคุย โทรออก และ รับสายได้โดยสะดวก

• มี Buzzer พร้อมวงจรขับเพื่อสร้างสัญญาณเสียง ในกรณีมีการโทรเรียกเข้ามายังโมดูล

• มีจุดยึดเสาอากาศ สำหรับใช้เป็นจุดพักสำหรับเชื่อมต่อกับเสาอากาศแบบต่างๆได้โดยสะดวก

• มีขั้วต่อสำหรับติดตั้งโมดูล SIM300CZ พร้อมเสารองและสกรูยึดโมดูลกับตัวบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• มีจุดต่อสัญญาณอื่นๆที่เหลือจากโมดูล เช่น Keyboard, Display ,GPIO ,Battery Charger ฯลฯ สำหรับให้ผู้ใช้ต่อขยายไปยังวงจรที่ออกแบบเพิ่มเติมได้โดยง่ายและสะดวก

### 2.3.2 คุณสมบัติของโมดูล SIM300CZ

• รองรับความถี่ GSM/GPRS 900/1800/1900MHz

• รองรับ GPRS Multi-Slot Class10 และ GPRS Mobile Station Class B

• รองรับมาตรฐานคำสั่ง AT Command (GSM 07.07 / 07.05 และคำสั่งเพิ่มเติมจาก SIMCOM)

• รองรับ SIM Applications Toolkit

• ทำงานที่ย่านแรงดัน 3.4V ถึง 4.5V

• รองรับการเชื่อมต่อภายนอก

- o ใช้ได้กับ SIM 3V และ 1.8V
- o มีวงจร Analog Audio (MIC & Speaker) จำนวน 2 ชุด
- o รองรับ 5x5 Keypad Interface & SPI LCD Interface
- o มีระบบ RTC พร้อมวงจร Backup
- o มีขั้วต่อเสาอากาศภายนอกแบบ Connector และจุดเชื่อมต่อแบบ PAD
- o มีระบบ Battery Charge ในตัว

หลังจากทำการสั่ง Power-ON ในครั้งแรกนั้น ก่อนที่จะเริ่มต้นส่งคำสั่งใดๆให้กับโมดูล ควรรอให้ตัวโมดูลพร้อมเสียก่อน โดยจะมีข้อความ “Call Ready” ปรากฏให้เห็น ในกรณีที่กำหนด Baudrate เป็นแบบAuto Baudrate ไว้ (AT+IPR=0”) เมื่อทำการ Power-ON จะได้ผลดังคือ

*Call Ready*

ในกรณีที่กำหนด Baudrate เป็นแบบ Fix Baudrate ไว้(AT+IPR=ค่า Baudrate) เมื่อทำการ สั่งให้โมดูล Power-ON แต่ละครั้งจะได้ผลดังตัวอย่าง

*RDY*

*+CFUN: 1*

*+CPIN: READY*

*Call Ready*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.3 การติดต่อสื่อสารกับโมดูล SIM300CZ**

การติดต่อสื่อสารกับโมดูล SIM300CZ ของบอร์ด ET-GSM SIM300CZ นั้นจะเชื่อมต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 โดยใช้ขั้วต่อแบบ DB9 ตัวเมีย จัดเรียงสัญญาณตามมาตรฐาน RS232-DCEสามารถนำไปเชื่อมต่อกับสัญญาณ RS232-DTE มาตรฐาน โดยใช้สาย DB9 แบบต่อตรง ได้ทันที โดยสัญญาณทั้งหมดที่ DB9 นี้ได้ผ่านวงจร Line Driver เพื่อแปลงสัญญาณระดับโลจิก จากโมดูล ให้เป็นสัญญาณระดับมาตรฐาน RS232 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ซึ่งถ้าต้องการนำไปเชื่อมต่อกับ RS232(Com Port)ของคอมพิวเตอร์ PC ก็สามารถทำการเชื่อมต่อกันโดยตรงได้ทันที โดยไม่ต้องทำการสลับสายสัญญาณใดๆทั้งสิ้น โดยสัญญาณเชื่อมต่อทางด้านโมดูล SIM300CZ นั้นจะมีทั้งหมด 8 เส้นสัญญาณ ซึ่งในการเชื่อมต่อใช้งานนั้น จะต่อให้ครบทั้ง 8 เส้น หรือ จะเลือกต่อเพียง 3 เส้น (RXD,TXD และ GND) ก็ได้เช่นเดียวกัน โดยสามารถกำหนดได้จากการ Setup ค่า Configuration และคำสั่งใช้งาน โดยสัญญาณการเชื่อมต่อ RS232 ด้านโมดูล SIM300CZ จะมีดังนี้

| DB9 Female(SIM300CZ) | | Signal Direction | DB9 Male(Computer PC) | |
|---|---|---|---|---|
| Pin | Signal | | Signal | Pin |
| 1 | DCD | → | DCD | 1 |
| 2 | TXD | → | RXD | 2 |
| 3 | RXD | ← | TXD | 3 |
| 4 | DTR | ← | DTR | 4 |
| 5 | GND | — | GND | 5 |
| 6 | (DSR) | → | DSR | 6 |
| 7 | RTS | ← | RTS | 7 |
| 8 | CTS | → | CTS | 8 |
| 9 | RI | → | RI | 9 |

**ตารางที่ 2.3** การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM300CZ กับ PC

| DB9 Female(SIM300CZ) | | Signal Direction | ไมโครคอนโทรลเลอร์ |
|---|---|---|---|
| Pin | Signal | | Signal |
| 2 | TXD | → | RXD |
| 3 | RXD | ← | TXD |
| 5 | GND | — | GND |

**ตารางที่ 2.4** การต่อสายสัญญาณระหว่าง ET-GSM SIM300CZ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 ตัวอย่างการใช้งาน AT Command เพื่อสั่งงานโมดูล SIM300CZ

โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่เหมือน Modem โดยจะใช้การติดต่อสั่งงานและสื่อสารกับโมดูล ผ่านทางพอร์ตสื่อสาร RS232 รองรับ Baudrate ตั้งแต่ 1200-115200 BPS โดยใช้ชุดคำสั่งแบบ AT Command ซึ่งจะมีรูปแบบการใช้งานเหมือนกับ Modem มาตรฐานทั่วๆไปเพียงแต่จะมีการเพิ่มเติม Option และคำสั่งพิเศษอื่นๆเพิ่มเติมขึ้นมาอีก เพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับความสามารถในการทำงานของโมดูลได้อย่างครบถ้วน

สำหรับรายละเอียดการใช้คำสั่ง AT Command ที่จะใช้ สำหรับติดต่อสั่งงานโมดูล SIM300CZ ไม่ว่าจะเป็น รูปแบบคำสั่ง และ หน้าที่การทำงานของแต่ละคำสั่ง ผู้ใช้สามารถศึกษารายละเอียดต่างๆได้จากคู่มือคำสั่ง AT Command (ไฟล์เอกสารชื่อ SIM300C_ATC_V1.06.PDF) ในแผ่น CD-ROM ซึ่งในที่นี้จะขอแนะนำถึงวิธีการและรูปแบบการใช้งานคำสั่งแบบย่อๆ แบบพอสังเขป เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เริ่มต้นได้ใช้เป็นแนวทางและประกอบความเข้าใจในการศึกษาการทำงานของคำสั่งต่างๆต่อไป โดยรูปแบบของคำสั่งต่างๆที่เป็น AT Command นั้น จะเริ่มต้นคำสั่งด้วยรหัส ASCII ของตัวอักษร 2 ตัว คือ "A" และ "T" ซึ่งจะใช้ตัวอักษรแบบพิมพ์เล็ก หรือ พิมพ์ใหญ่ก็ได้ มีความหมายเหมือนกัน จากนั้นก็จะตามด้วยรหัสคำสั่ง และOption ต่างๆของคำสั่ง(ถ้ามี) โดยทุกๆคำสั่งจะต้องจบด้วยรหัส Enter หรือ 0DH (13) เสมอ เช่นคำสั่ง รีเซ็ตจะใช้รูปแบบคำสั่งเป็น "ATZ" หรือ "atz" ก็สามารถใช้งานได้ถูกต้องเหมือนกัน

| การใช้งาน | รูปแบบคำสั่ง | รายละเอียด |
|---|---|---|
| ทดสอบคำสั่ง | AT+<x>=? | รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งอ่านค่ารูปแบบและพารามิเตอร์ต่างๆของคำสั่ง โดยถ้าคำสั่งนั้นมีอยู่จริง โมดูลจะตอบรับด้วยการพิมพ์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆของคำสั่งที่มีอยู่ทั้งหมดให้ทราบ |
| อ่านค่าพารามิเตอร์ | AT+<x>? | รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งอ่านค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้แล้วของคำสั่งนั้นๆ โดยโมดูลจะตอบรับด้วยการพิมพ์ค่าพารามิเตอร์ปัจจุบันที่กำหนดไว้แล้วให้ทราบ |
| กำหนดค่าการทำงาน | AT+<x>=<...> | รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งเขียนหรือกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับคำสั่ง เช่น การกำหนดค่า Baudrate |
| สั่งให้ทำงาน | AT+<x> | รูปแบบการใช้คำสั่งแบบนี้ จะใช้สำหรับสั่งงานให้โมดูลปฏิบัติตามคำสั่งที่ต้องการ เช่น การสั่งรีเซ็ต (ATZ) |

**ตารางที่ 2.5** รูปแบบการใช้งาน AT Command (เมื่อ <x> คือ รหัสคำสั่ง)

### 2.3.5 การโทรออก การรับสาย และ การยกเลิกการโทร

- ใช้คำสั่ง **"ATD"** เพื่อสั่งโทรออก โดยรูปแบบการใช้คำสั่งให้ตามด้วยเบอร์ปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ใช้คำสั่ง **"ATDL"** เพื่อสั่งโทรออกด้วยหมายเลขโทรออกครั้งสุดท้าย

• ใช้คำสั่ง **"ATA"** เพื่อรับสายเรียกเข้า โดยเมื่อมีสายเรียกเข้าจะมีเสียงเรียกเข้าที่ Buzzer ให้เราทราบ ถ้าต้อการรับสายให้ ใช้คำสั่ง "ATA" เพื่อรับสายได้ทันที ซึ่งหลังจากสั่งรับสายแล้วผู้ใช้จะสามารถพูดคุยกับปลายสายได้ทันที โดยใช้ Handset หรือชุด ปากพูดหูฟังของโทรศัพท์บ้าน

• ใช้คำสั่ง **"ATH"** เพื่อสั่งวางสาย หรือยกเลิกการโทรออก ตัวอย่างการโทรออก ซึ่งเป็นการสื่อสารด้วย Voice จะต้องปิดท้ายคำสั่งด้วยเครื่องหมายเซมิโค

ลอน (;) และจบคำสั่งด้วย Enter เช่นถ้าต้องการโทรออกไปยังเบอร์ 0811234567 จะเป็นดังนี้

*ATD0811234567;<Ent>*

*OK*

ในกรณีที่สั่งโทรออกแล้วไม่มีการรับสาย หรือ สายไม่ว่างโมดูลจะรายงานผลด้วยข้อความ

*"BUSY"*

ดังตัวอย่าง

*ATD0812505187;<Ent>*

*OK*

*BUSY*

ตัวอย่างการสั่งตรวจสอบยอดเงินของระบบ 1-2-CALL ซึ่งถ้าเป็นโทรศัพท์มือถือปรกติจะใช้วิธีการพิมพ์เครื่องหมาย "*121#" แล้วสั่งโทรออก แต่สำหรับโมดูล SIM300CZ จะต้องใช้คำสั่ง "ATD" สำหรับสั่ง

โทรออกแล้วตามด้วยเครื่องหมายแทน ดังตัวอย่าง

*ATD*121#<Ent>*

*+CUSD: 0,"You have 67.00 baht, valid until 29/04/08",15*

*OK*

ตัวอย่างการรับสายเรียกเข้า เมื่อมีสายเรียกเข้าโมดูล SIM300CZ จะมีข้อความ "RING" และสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงเรียกเข้าเป็นจังหวะที่ Buzzer ให้ทราบ ถ้าผู้ใช้ต้องการรับสาย ให้ใช้คำสั่ง “ATA” เพื่อสั่งรับสาย หรือ
ใช้คำสั่ง “ATH” เพื่อวางหูหรือยกเลิกไม่รับสาย ดังตัวอย่าง

*RING*

*ATA<Ent>*

*OK*

**2.3.6 ตัวอย่างการรับข้อความ SMS**

ตามปรกติแล้วโมดูล SIM300CZ จะสามารถกำหนดโหมดการทำงานของข้อความหรือ SMS ได้ 2 โหมด คือ PDU Mode และ Text Mode โดย PDU Mode การรับและแสดงผลการทำงานของคำสั่งจะเป็นรูปแบบของรหัสตัวเลขแบบ Binary Code ส่วน Text Mode การรับและแสดงผลการทำงานของคำสั่งจะเป็น ข้อความ ซึ่งจะง่ายต่อการแปลความหมายและทำความเข้าใจมากกว่า PDU Mode ซึ่งในการทดสอบจะขอแสดงให้เห็นด้วย Text Mode

• ใช้คำสั่ง “AT+CMGF=1” เพื่อกำหนดรูปแบบของข้อความเป็น Text Mode ซึ่งเมื่อมีการส่งข้อความ SMS มายังโมดูล จะมีข้อความแจ้งให้ทราบ เช่น +CMTI: “SM”,3 ซึ่งหมายความว่า มีข้อความส่งเข้าและเก็บไว้ในหน่วยความจำลำดับที่ 3

• ใช้คำสั่ง “AT+CMGR” เพื่อสั่งอ่านข้อความ เช่นถ้าต้องการอ่านข้อความลำดับที่3 ก็ให้ใช้คำสั่งเป็น “AT+CMGR=3”

• ใช้คำสั่ง “AT+CMGL” เพื่อสั่งแสดงข้อความทั้งหมดที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ โดยสามารถเลือกประเภทของข้อความได้ เช่น ข้อความใหม่ ข้อความทั้งหมด

• ใช้คำสั่ง “AT+CMGD” เพื่อสั่งลบข้อความออกจากหน่วยความจำ เช่น ถ้าต้องการสั่งลบข้อความลำดับที่3 ก็ให้ใช้คำสั่งเป็น “AT+CMGD=3”

ตัวอย่างการรับข้อความ SMS ในตัวอย่างจะทดสอบด้วยการส่งข้อความ “Hello 12345” ไปให้กับโมดูลSIM300CZ ซึ่งเมื่อรับข้อความได้จะมีข้อความ +CMTI: “SM”,n โดย n หมายถึงลำดับที่ของข้อความ

*+CMTI: "SM",3*

***AT+CMGR=3<Ent>***

*+CMGR: **"REC UNREAD"**,"+66812505187",,"07/11/19,13:29:25+28"*

*Hello 12345*

*OK*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีการสั่งอ่านข้อความเดิมซ้ำใหม่สถานะของข้อความจะเปลี่ยนเป็น “REC READ” แทน เพื่อแสดงให้ทราบว่าข้อความนี้ถูกอ่านไปแล้วดังตัวอย่าง

*AT+CMGR=3<Ent>*

*+CMGR: **"REC READ"**,"+66812505187",,"07/11/19,13:29:25+28"*

*Hello 12345*

*OK*

**2.3.7 ตัวอย่างการส่งข้อความ SMS**

ในการส่งข้อความ SMS นั้นจะใช้คำสั่ง “AT+CMGS” ในการสั่งงาน โดยในกรณีที่ใช้ Text Mode นั้นให้ใช้รูปแบบคำสั่งเป็น “AT+CMGS=”+เบอร์ผู้รับ” โดยเบอร์ของผู้รับต้องใส่รหัสประเทศนำหน้าแทนศูนย์ด้วยเสมอ ซึ่งในกรณีที่เป็นประเทศไทยจะใช้รหัสประเทศเป็น “66” ดังนั้นถ้าต้องการส่งข้อความ SMS ให้กับเบอร์ที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทย เช่น 081-1234567 ก็จะต้องกำหนดหมายเลขของเบอร์ผู้รับปลายทางเป็น 6681-1234567 แทน ซึ่งในกรณีนี้จะได้รหัสเบอร์ผู้รับข้อความเป็น “+66811234567” ซึ่งเมื่อโมดูล SIM300CZ ได้รับคำสั่ง “AT+CMGS” เรียบร้อยแล้วมันจะตอบรับด้วยการส่งเครื่องหมาย “>” กลับมาบอก ซึ่งหลังจากนี้เป็นต้นไปผู้ใช้ก็สามารถจะทำการพิมพ์ข้อความต่างๆที่ต้องการจะส่งให้กับโมดูลได้ทันที โดยให้ปิดท้ายข้อความด้วยรหัส “Ctrl+Z” ตามด้วย “Enter” เช่นถ้าต้องการส่งข้อความ SMS ให้กับหมายเลข 0811234567 ด้วยข้อความ “Hello Test SMS” จะเป็นดังนี้

*AT+CMGS="+66811234567"<Ent>*

*> Hello Test SMS<Ctrl+Z><Ent>*

*+CMGS: 6*

*OK*

**2.4 การตรวจจับกระแสไฟฟ้า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

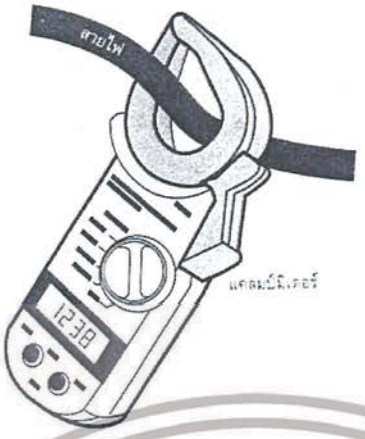
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง


การตรวจจับกระแสไฟฟ้ามีไว้เพื่อต้องการหาค่ากระแสไฟฟ้าที่มีอยู่ในวงจร โดยทั่วไปวงจรเล็กๆเราจะใช้แอมป์มิเตอร์ แต่ในบางครั้งที่วงจรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมีกระแสไฟฟ้าที่สูงมากจะก่อให้เกิดพลังงานที่มากเกินกว่าแอมป์มิเตอร์จะสามารถรับได้ ดังนั้นเราจึงต้องหาวิธีที่ย่อขนาดสัญญาณกระแสไฟฟ้าลงเพื่อให้มิเตอร์สามารถตรวจวัดได้ โดยจะลดลงเป็นสัดส่วนเพื่อง่ายต่อการนำไปประมวลผล ปัจจุบันมีเทคนิคการตรวจจับกระแสอยู่มากมาย ซึ่งมีทั้งอาศัยวิธีการอย่างง่ายที่สุด คือการต่อตัวต้านทานขนานเข้าไป การใช้ IC ตรวจจับกระแสก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าใช้งานเพราะมีความแม่นยำสูงกว่า หรือการใช้เครื่องมือที่มีตามท้องตลาดอย่าง Clamp Meter ซึ่งได้ผลที่แม่นยำกว่าและสามารถเคลื่อนย้ายมิเตอร์ไปได้ทุกที่ หรือจะใช้หลักการทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาสร้างหม้อแปลงออกมาเองก็ได้ ซึ่งโครงงานได้จัดใช้หม้อแปลงกระแสชนิดทำเองเป็นการตรวจจับกระแสเพื่อนำไปสู่การประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

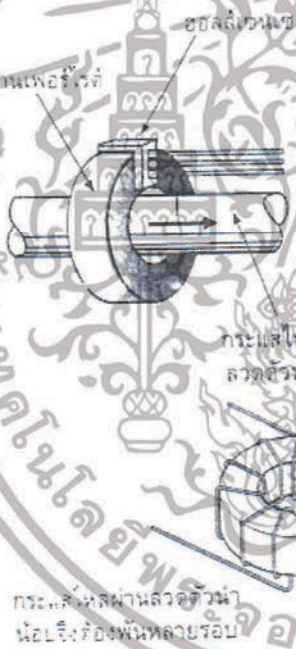
**รูปที่ 2.2** ไอซีตรวจจับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104314

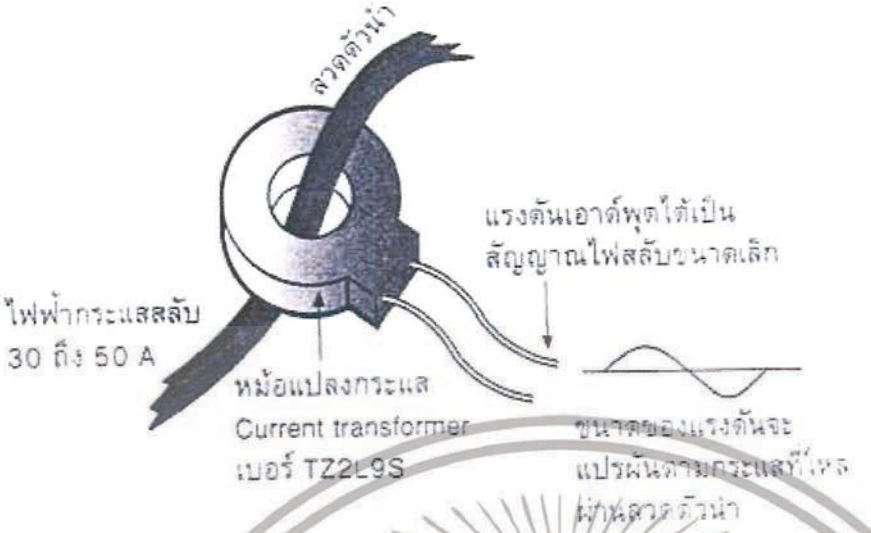



**รูปที่ 2.3 การวัดกระแสโดยใช้แคลมป์มิเตอร์**




**รูปที่ 2.4 การวัดกระแสโดยใช้ฮอลล์เซนเซอร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.5 การวัดกระแสโดยใช้หม้อแปลงกระแส**

**รูปที่ 2.6 หม้อแปลงกระแสชนิดทำเองแบบง่าย**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยวิธีทางวงจรแม่เหล็กซึ่งไม่มีจุดต่อไฟฟ้าถึงกันและไม่มีชิ้นส่วนทางกลเคลื่อนที่ โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาดลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าคงเดิม

(ก) ชนิด 1 เฟส (ข) ชนิด 3 เฟส

**รูปที่ 2.7 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก**

**2.5.1 โครงสร้าง**

หม้อแปลงแบ่งออกตามการใช้งานของระบบไฟฟ้ากำลังได้ 2 แบบคือ หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟสแต่ละชนิดมีโครงสร้างสำคัญประกอบด้วย

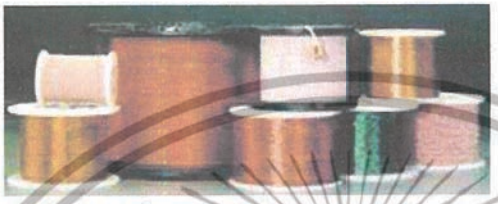
1. ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า
2. ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า
3. แผ่นแกนเหล็ก (Core) ทำหน้าที่เป็นทางเดินสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและให้ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก
4. ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด
5. แผ่นป้าย (Name Plate) ทำหน้าที่บอกรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง
6. อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับขดลวด เช่น อากาศ, พัดลม, น้ำมัน หรือใช้ทั้งพัดลมและน้ำมันช่วยระบายความร้อน เป็นต้น
7. โครง (Frame) หรือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) ทำหน้าที่บรรจุขดลวด แกนเหล็กรวมทั้งการติดตั้งระบบระบายความร้อนให้กับหม้อแปลงขนาดใหญ่
8. สวิตช์และอุปกรณ์ควบคุม (Switch Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า และมีอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ รวมอยู่ด้วย

โครงสร้างของหม้อแปลงชนิด 1 เฟส ดูรูปที่ 2 (ก) จะมีส่วนประกอบของขดลวด 1 ชุด และหม้อแปลงชนิด 3 เฟส ดูรูปที่ 2 (ข) จะมีส่วนประกอบของขดลวด 2 ถึง 3 ชุด เนื่องจากหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าจึงมีขนาดเป็นโวลต์แอมป์ (VA) หม้อแปลงขนาดใหญ่จะมีขนาดเป็นกิโลโวลต์แอมป์ (kVA) และเมกกะโวลต์แอมป์ (MVA) ตามลำดับ สำหรับส่วนประกอบข้างต้นในข้อ 6 ถึง 8 เป็นระบบที่มีอยู่ในหม้อแปลงขนาดใหญ่จะไม่ขอกล่าวไว้ในที่นี้

**2.5.2 ขดลวด(Coil)**



**รูปที่ 2.8** สายทองแดงเคลือบน้ำยา

วัสดุที่ใช้ทำขดลวดหม้อแปลงโดยทั่วไปทำมาจากสายทองแดงเคลือบน้ำยาฉนวน มีขนาดและลักษณะลวดเป็นทรงกลมหรือแบนขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง ลวดเส้นที่ใหญ่กว่าจะมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่าลวดเส้นเล็ก

หม้อแปลงขนาดใหญ่มักใช้ลวดถักแบบตีเกลียวเพื่อเพิ่มพื้นที่สายตัวนำให้มีทางเดินของกระแสไฟมากขึ้น สายตัวนำที่ใช้พันขดลวดบนแกนเหล็กทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอาจมีแทปแยก (Tap) เพื่อแบ่งขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ในหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้การเปลี่ยนแทปด้วยสวิตช์อัตโนมัติ)

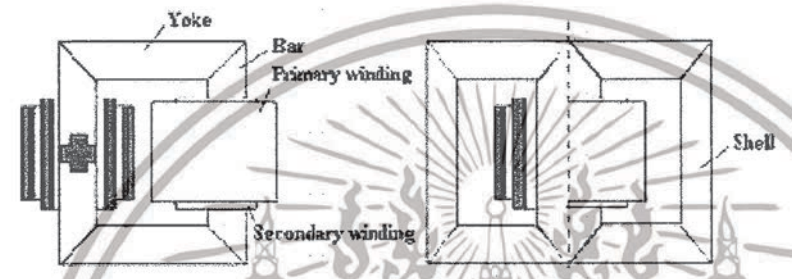
**2.5.3 ฉนวน (Insulator)**

สายทองแดงจะต้องผ่านการเคลือบน้ำยาฉนวน เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดลัดวงจรถึงกันได้ การพันขดลวดบนแกนเหล็กจึงควรมีกระดาษอาบน้ำยาฉนวนคั่นระหว่างชั้นของขดลวดและคั่นแยกระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิด้วย ในหม้อแปลงขนาดใหญ่มักใช้กระดาษอาบน้ำยาฉนวนพันรอบสายตัวนำก่อนพันเป็นขดลวดลงบนแกนเหล็ก นอกจากนี้ยังใช้น้ำมันชนิดที่เป็นฉนวนและระบายความร้อนให้กับขดลวดอีกด้วย

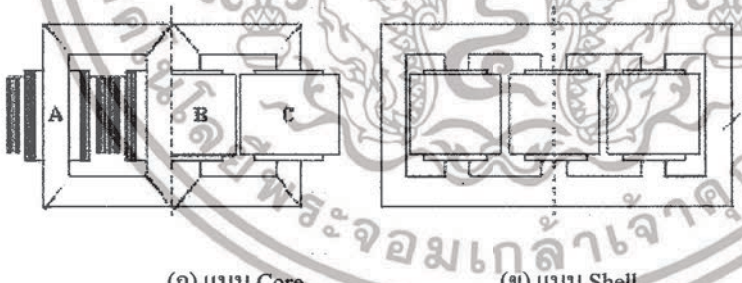
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.4 แกนเหล็ก (Core)**

แผ่นเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลงจะมีส่วนผสมของสารกึ่งตัวนำ-ซิลิกอนเพื่อรักษาความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบขดลวดไว้ แผ่นเหล็กแต่ละชั้นเป็นแผ่นเหล็กบางเรียงต่อกันหลายชิ้นทำให้มีความต้านทานสูงและช่วยลดการสูญเสียบนแกนเหล็กที่ส่งผลให้เกิดความร้อนหรือที่เรียกว่ากระแสไหลวนบนแกนเหล็กโดยทำแผ่นเหล็กให้เป็นแผ่นบางหลายแผ่นเรียงซ้อนประกอบขึ้นเป็นแกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบเช่น แผ่นเหล็กแบบ Core และแบบ Shell




**รูปที่ 2.9** แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส




**รูปที่ 2.10** แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

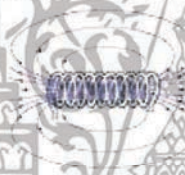
แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core)

(ก) แบบแท่ง (Rod) (ข) แบบวงแหวน (Ring)

**รูปที่ 2.11 เฟอร์ไรท์**

แกนเฟอร์ไรท์เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของแม่เหล็กทำให้มีความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่าเหล็กและมีความต้านทานสูงจึงช่วยลดการสูญเสียบนแกนเหล็กหรือลดความร้อนจากการเกิดกระแสไหลวนที่ความถี่สูง

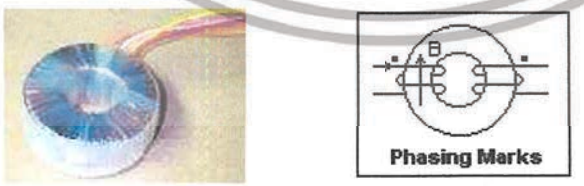
แกนอากาศ (Air Core)



**รูปที่ 2.12 ขดลวดแกนอากาศ**

นอกจากนี้ยังใช้ขดลวดแกนอากาศกับงานในระบบที่ใช้ความถี่สูงโดยไม่ต้องการให้เส้นแรงแม่เหล็กมีการอิ่มตัวหรือมีการสูญเสียเกิดขึ้นที่แกนเหล็ก

แกนทอลอยด์ (Toroidal Core)



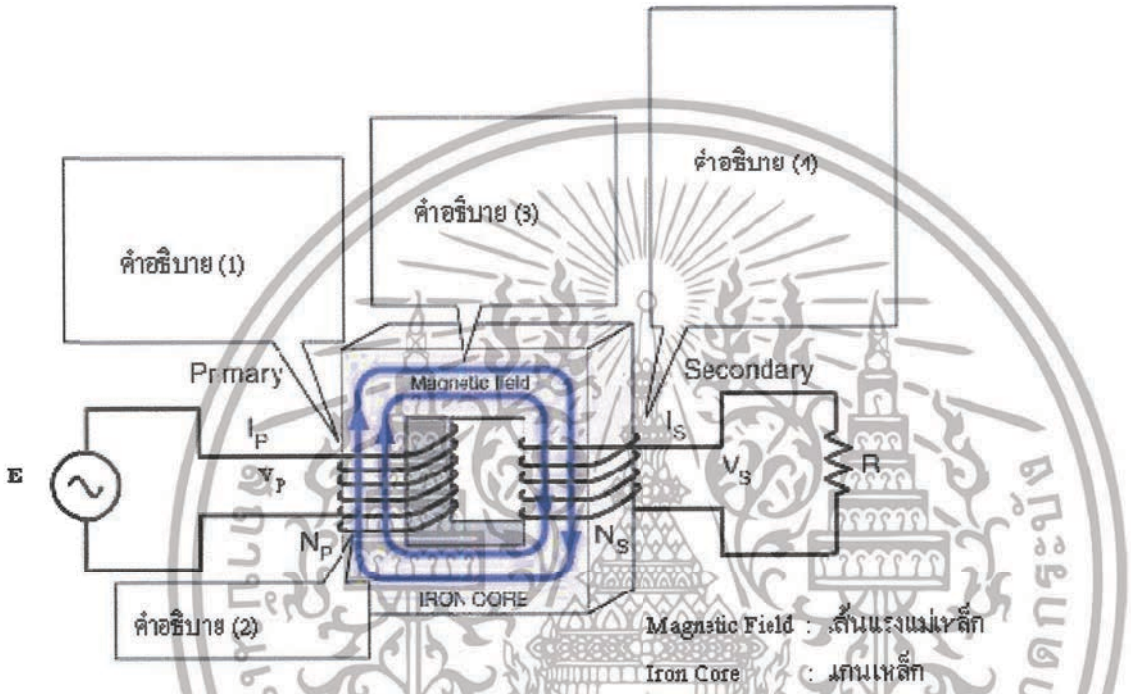

(ก) ภาพของจริง (ข) ภาพสัญลักษณ์

**รูปที่ 2.13 หม้อแปลงไฟฟ้าแกนทอลอยด์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนทอลอยด์มีลักษณะคล้ายวงแหวนทำมาจากโลหะผสมสารกึ่งตัวนำ-ซิลิกอน หม้อแปลงแกนทอลอยด์มีประสิทธิภาพสูง (95%) เพราะแกนทอลอยด์มีสภาพความนำแม่เหล็กสูง อีกทั้งยังไม่มีช่องรอยต่อเหมือนแกนเหล็กแบบ Core และแบบ Shell จึงช่วยลดการเกิดเสียงรบกวนได้ในขณะทำงาน

**2.5.5 หลักการทำงาน**




**รูปที่ 2.14** แสดงคำอธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

สัญลักษณ์ในสมการ (1-4)

E : แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งไฟสลับ (โวลต์)
R : โหลดตัวต้านทาน (โอห์ม)
V : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลต์)
I : กระแสไฟฟ้า (แอมป์)
N : จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
f : ความถี่ (รอบต่อวินาที)
A : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเมตร)
t : เวลา (วินาที)
"P" : ปฐมภูมิ (Primary)
"S" : ทุติยภูมิ (Secondary)
$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ : อัตราการเปลี่ยนแปลงจากความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา
B : ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) กล่าวไว้ว่า เมื่อขดลวดได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้ขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ และทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดนี้

คำอธิบาย 1 : เมื่อขดลวดปฐมภูมิได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเขียนในรูปคณิตศาสตร์ได้ คือ

$$V_p = -N_p A \frac{\Delta B}{\Delta t} \qquad (1)$$

ข้อสังเกต เครื่องหมายลบ แสดงให้เห็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็ก

คำอธิบาย 2 : เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กนี้เปลี่ยนแปลงตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับ

คำอธิบาย 3 : เส้นแรงแม่เหล็กเกือบทั้งหมดจะอยู่รอบแกนเหล็ก

คำอธิบาย 4 : เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กผ่านขดลวด จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมินี้ และเขียนในรูปคณิตศาสตร์ ได้คือ

$$V_s = -N_s A \frac{\Delta B}{\Delta t} \qquad (2)$$

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และจำนวนรอบของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงตามอุดมคติ (Ideal Transformer: ไม่รวมการสูญเสียของขดลวดและแกนเหล็ก) สามารถหาได้จาก

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \qquad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (ไม่รวมการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็กและแกนของหม้อแปลง) หาได้จาก

$$V = 4.44fNAB \qquad (4)$$

ข้อกำหนดทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า คือ

1. ไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ไปจากเดิม
2. กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิเท่ากับด้านทุติยภูมิ เช่น หม้อแปลงขนาด 100 VA, 20 V / 5 V จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ 20 V ส่วนด้านทุติยภูมิจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 5 V

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในสมการที่ (3) เราสามารถคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านรับไฟได้ 5 A และกระแสไฟฟ้าด้านจ่ายไฟได้ 20 A ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้า (VA) ด้านปฐมภูมิ = กำลังไฟฟ้า (VA) ด้านทุติยภูมิ

$$20\ V \times 5\ A = 5\ V \times 20\ A$$

$$100\ VA = 100\ VA$$

**2.5.6 ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้า**

พลังงานที่ใช้ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียที่ขดลวดทองแดง (Copper Loss) เป็นผลให้ขดลวดเกิดความร้อน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core Loss) ทำให้เกิดการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็ก (Hysteresis Loss) ที่ถูกสร้างขึ้นจากขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ รวมทั้งกระแสไหลวน (Eddy Current Loss หรือ Skin Effect) บนพื้นผิวตัวนำไฟฟ้า

ดังนั้น การคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง (Efficiency) เมื่อคิดการสูญเสียจึงสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

ประสิทธิภาพของหม้อแปลง = กำลังไฟฟ้าด้านจ่ายไฟ (Output) / กำลังไฟฟ้าด้านรับไฟ (Input) (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าด้านรับไฟ (Input) = กำลังไฟฟ้าด้านจ่ายไฟ (Output) + กำลังการสูญเสียทั้งหมด (Losses) (6)

ข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า มีดังนี้

1. ถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเพิ่มขึ้นด้วย และถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ ลดลงก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิลดลงด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นทางด้าน ทุติยภูมิ มีความถี่เท่ากับไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านปฐมภูมิ
2. ถึงแม้ขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้าจะแยกออกจากกัน แต่พลังงานจากด้านปฐมภูมิสามารถที่จะส่งผ่านไปยัง ด้านทุติยภูมิได้ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานแม่เหล็ก ส่วนทางด้านทุติยภูมิ จะเปลี่ยนกลับจากพลังงานแม่เหล็กให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั่นเอง

### 2.5.7ค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำ ( k)

แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำข้ามไปยังขดลวดทุติยภูมินั้น ขึ้นอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ซึ่งจะถูกกำหนดโดยจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจาก ขดลวดด้านปฐมภูมิเคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวด ด้านทุติยภูมิ อัตราส่วนระหว่างจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ที่เคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิเปรียบเทียบกับจำนวนเส้นแรง แม่เหล็ก ทั้งหมดที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิเรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำ ( Coefficient of Coupling, k) ซึ่งจะ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

$$k = \frac{\text{จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่านไปยังขดลวดทุติยภูมิ}}{\text{จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิ}} \quad (7)$$

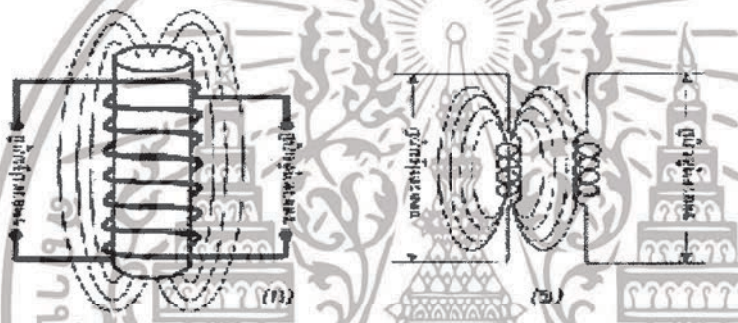
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เกิดจาก ขดลวดปฐมภูมิเคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์ ความเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้ามีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นที่เคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวด ทางด้านทุติยภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำที่ได้ก็จะมีค่าเท่ากับ 0.5

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำ มีดังนี้

1. ระยะห่างระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ
2. ชนิดของแกนที่ใช้พันขดลวด

จากรูป แสดงระยะห่างของขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.15 การเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก

### 2.5.8 การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้งานอยู่ 3 แบบ ได้แก่

1. หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อเพิ่ม หรือลดขนาดแรงดันไฟฟ้า
2. หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อเพิ่ม หรือลดปริมาณกระแสไฟฟ้า
3. หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อแมทช์ค่าอิมพีแดนซ์ ( Impedances)

ซึ่งทั้ง 3 กรณี สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนจำนวนรอบ ( Turns Ratio) ของขดลวดปฐมภูมิเปรียบเทียบ กับจำนวนขดลวดทุติยภูมิ

อัตราส่วนจำนวนรอบ ( Turns Ratio) อัตราส่วนจำนวนรอบ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวด ทุติยภูมิ ( NS) ต่อจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ ( NP)

$$\text{อัตราส่วนจำนวนรอบ (Turns Ratio)} = \frac{N_s}{N_p} \qquad (8)$$

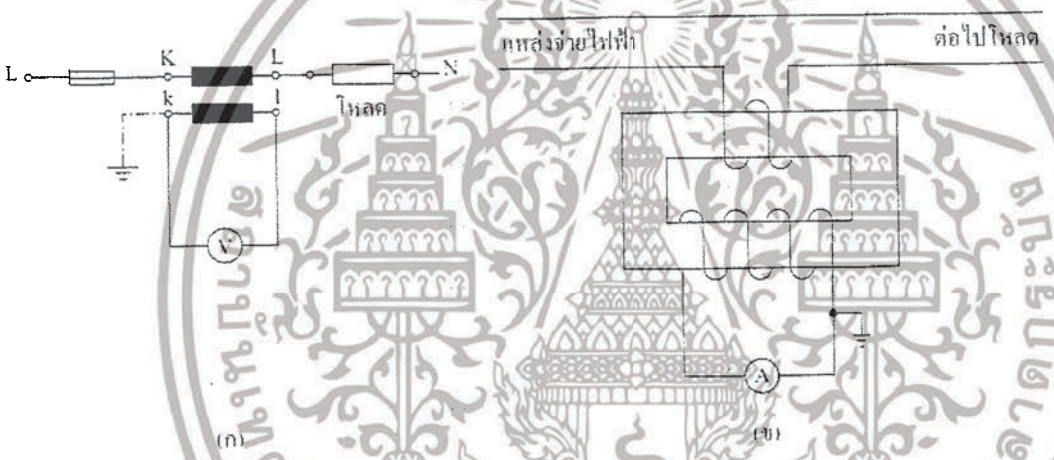
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instrument transformer คืออุปกรณ์ที่ใช้แยกอุปกรณ์เครื่องมือวัดและ/หรืออุปกรณ์ควบคุมที่ต่ออยู่ด้าน secondary ออกจากด้านไฟแรงสูงที่ต่อเข้าทาง primary ของ Instrument transformer สามารถแยกออกเป็น

- อุปกรณ์ที่ใช้แยกอุปกรณ์วัดกระแส เรียกว่า current transformer
- อุปกรณ์ที่ใช้แยกอุปกรณ์วัดแรงดัน เรียกว่า voltage transformer

**2.6 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer, CT)**

หม้อแปลงกระแสเป็นหม้อแปลงเครื่องมือวัดสำหรับใช้ต่อเข้ากับแอมมิเตอร์ หม้อแปลงกระแสจะเป็นหม้อแปลงชนิดลดกระแสลงอย่างเป็นอัตราส่วนซึ่งมีการต่อดังแสดงดังรูป

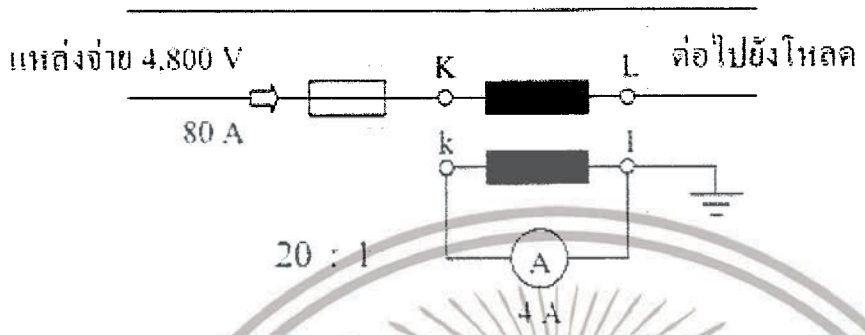



**รูปที่ 2.16** แสดงการต่อหม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแสนี้ขดปฐมภูมิจะต่อเข้ากับสายไฟสายหนึ่ง โดยขดปฐมภูมิจะประกอบด้วยจำนวนรอบเพียงเล็กน้อยและมีขนาดลวดใหญ่พันอยู่บนแกนเหล็ก ขดลวดทุติยภูมิประกอบด้วยจำนวนรอบที่มากกว่าแต่ลวดมีขนาดเล็กกว่าขดลวดปฐมภูมิ โดยพันอยู่บนแกนเหล็กอันเดียวกันกับขดปฐมภูมิ กระแสสูงสุดที่รับได้ของขดลวดปฐมภูมิมีค่าสูงสุดเท่ากับกระแสที่ไหลในสายไฟฟ้านั้น ส่วนกระแสสูงสุดด้านขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าประมาณ 1-5 แอมแปร์ โดยไม่คำนึงถึงกระแสสูงสุดของขดลวดปฐมภูมิ ตัวอย่างเช่น กระแสสูงสุดขดลวดของหม้อแปลงกระแสเป็น 100 แอมแปร์ โดยขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแสมีจำนวนรอบ 3 รอบ และขดทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบ 60 รอบ ขดลวดทุติยภูมิจะมีกระแสมาตราฐานสูงสุด 5 แอมแปร์ ดังนั้นอัตราส่วนของกระแสระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิจะเป็น 100/5 หรือ 20 : 1 โดยกระแสที่ขดปฐมภูมิจะมีค่าเป็น 20 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและกระแสในขดลวดปฐมภูมิและขดทุติยภูมินั้นเป็นปฏิภาคส่วนกลับกัน




**รูปที่ 2.17** แสดงการวัดกระแสโดยใช้หม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแสจะไม่เหมือนหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า ทั้งหมดแต่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกัน ลักษณะการใช้งานต่างกัน ในหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิจะมีความสัมพันธ์กับกระแสด้านทุติยภูมิ ซึ่งเป็นไปตามโหลดภาระ แต่หม้อแปลงกระแส มีขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับ line เพื่อวัดกระแสที่ไหลผ่าน หรือกล่าวได้ว่า กระแสในขดลวดปฐมภูมิ จะไม่ขึ้นกับโหลด ที่ต่ออยู่ อาจแบ่งประเภทของ หม้อแปลงกระแส ได้เป็นสองชนิดตามการใช้งาน

- หม้อแปลงกระแสที่ใช้วัดกระแส โดยนำอุปกรณ์ เช่น metering system ต่างๆ คือ energy meter, current indicating meter มาต่อเข้าที่ด้าน secondary เรียกว่า metering current transformer
- หม้อแปลงกระแส ที่ใช้กับระบบป้องกัน (protective equipment) เช่น trip coil, relay ซึ่งเรียกว่า protective current transformer

### 2.6.1 หน้าที่ของ CT

คือ แปลงกระแสสูงค่าหนึ่ง เป็นกระแสอีกค่าหนึ่งที่ต่ำลง ตามมาตรฐานกำหนด rated current ของขดลวด secondary ไว้ที่ 5A และ 1A เพื่อเป็นมาตรฐานในการผลิตอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่นำมาต่อเข้าที่ secondary terminal กรณีใช้งานกับไฟแรงสูง จำเป็นต้องมีฉนวนที่สามารถทนต่อแรงดันใช้งานและแรงดันผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระบบ แต่หากไม่คำนึงถึงฉนวน (insulation) สิ่งสำคัญของ CT ที่ต้องมี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- primary winding
- magnetic core
- secondary winding
- burden

**primary winding** เป็นขดลวดที่ต่ออนุกรม (series) กับ line หรือ primary circuit แบ่งเป็นชนิด มีรอบเดียว single-turn primary winding ได้แก่ ring-type หรือ through-type ใช้ line conductor/cable, หรือ busbar คล้องหรือสวมให้ผ่านช่อง (window) ของ core ที่มีขดลวด secondary พันอยู่จึงถือเป็นรอบเดียว และ ชนิดที่มีหลายรอบ multi-turn primary winding หรือ wound primary current transformer ขดลวดของ primary มีหนึ่งรอบจะดีกว่าหลายรอบ กล่าวคือ ผลต่อ แรงทางกลที่กระทำกับ conductor ของ primary ในขณะมีกระแสลัดวงจรไหลผ่าน และความร้อน ที่เกิดขึ้นจากกระแสสูง (dynamic and thermal stresses)

**magnetic core** เป็นแกนเหล็กที่ให้ induced flux ไหล คุณสมบัติของ CT ที่สำคัญคงเป็นเรื่องความละเอียดถูกต้องแม่นยำ และ ความเที่ยงตรง (accuracy) ของ CT คุณสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ material ที่ใช้ทำ core และโครงสร้างของ core จึงมักใช้ magnetic alloys secondary winding เป็นขดลวดชุดที่สองที่พันบนแกนเพื่อลดกระแสให้ต่ำลง สามารถนำอุปกรณ์ต่างๆ มาต่อเพื่อวัดค่าได้ คุณสมบัติของ CT ขึ้นอยู่กับ flux density ใน core เป็นสำคัญ flux ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับ impedance ทั้งหมดใน secondary circuit ส่วนหนึ่งคือ impedance ของขดลวด secondary บางกรณีจะมีค่ามากกว่า impedance ของอุปกรณ์ หรือ burden ที่ต่อเข้า burden เป็น impedance ของอุปกรณ์ที่ต่อทาง secondary เช่น relay, เครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์อื่นๆ รวมทั้งสายที่ต่อระหว่างอุปกรณ์กับ secondary terminal รวมทั้งหมด คือ burden ของ CT อาจมีหน่วยเป็น VA หรือ ohm ก็ได้ เช่น

CT ที่มี rated burden เท่ากับ P VA

rated secondary current $I_s$ A

$$Z_b : \text{burden} = P/(I_s)^2 \text{ ohm}$$

ถ้า burden มี power factor เท่ากับ $\cos\varphi$

ค่า resistance จะเท่ากับ $R_b = Z_b . \cos\varphi$

ค่า reactance จะเท่ากับ $X_b = Z_b . \sin\varphi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางคนอาจมีความเข้าใจผิดคิดว่าซื้อ CT ที่มี burden สูงๆ ไว้ก่อน เมื่อเวลาใช้งานจะต่อ burden ที่มีค่าต่ำกว่า rated burden มาก แล้วจะทำให้ได้ accuracy ดีขึ้น error น้อยลง ความเข้าใจนี้ไม่ถูกต้อง ซึ่งจะกล่าวต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของหม้อแปลงกระแส

1. Burden เป็นอิมพิแดนซ์ของฝั่งทุติยภูมิ ซึ่งจะมีบอกไว้ทั้งลักษณะ VA หรือในหน่วยของโอห์มในระบบ ANSI/IEEE ดังนี้ B-0.1, B-0.2, B-0.5, B-1.0 B-2.0 และ B-4.0 โดยยกตัวอย่างเช่น ถ้าหม้อแปลงกระแสมีค่า B-0.2 หมายความว่า ตัวหม้อแปลงกระแสนั้นสามารถทนค่าอิมพิแดนซ์ฝั่งทุติยภูมิได้เพียง 0.2 โอห์ม เมื่ออิมพิแดนซ์มากกว่านี้จะส่งผลให้ไม่มีกระแสจะแปรตามกระแสปฐมภูมิอย่างไม่เป็นอัตราส่วนกัน
2. Burden Class เป็นค่าที่บอกถึงการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส เมื่อมันถึงจุดอิ่มตัวจะไม่ประพฤติตัวเป็นหม้อแปลงอีกต่อไป เช่นในหม้อแปลงระบุว่า C200 หรือ C800 เมื่อมีค่าใกล้ 200 หรือ 800 V จะเกิดการ Saturate ได้
3. Rating Factor คือค่ากระแสสูงสุดที่ฝั่งทุติยภูมิสามารถจะจ่ายได้ โดยการแปลงจากฝั่งปฐมภูมิ ดังเช่น RF มีค่าเท่ากับ 5 หมายความว่า ถ้าฝั่งปฐมภูมิมีค่ากระแสผ่านมา 100 A สามารถแปลงกระแสได้สูงสุดมายังฝั่งทุติยภูมิ เพียง 5 เปอร์เซ็นต์ หรือ 5 แอมแปร์นั่นเอง
4. Load การต่อโหลดนั้นจะทำ
5. External electromagnetic fields สนามแม่เหล็กจากภายนอกสามารถรบกวนให้หม้อแปลงกระแสเกิดความผิดพลาดได้ เพราะหม้อแปลงใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กนั่นเอง
6. Temperature และ Physical Configuration อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในแกนเหล็ก ทำให้มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงเกิดการเหนี่ยวนำที่ไม่คงที่ตามอุณหภูมิ และโครงสร้างของเหล็กและพื้นที่ของแกน Core ก็ทำให้สมการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กเปลี่ยนไป

### 2.6.2 หลักการทำงานของ CT

ถ้ากระแส $I_p$ ไหลผ่านทาง primary winding จะเกิด

- induced flux : $\Phi$ ใน core
- flux ใน core จะเหนียวนำให้เกิดแรงดันที่ secondary winding : $E_s$
- E s เกิดขึ้นทำให้เกิดกระแส Is ไหลใน secondary circuit
- กระแสที่ไหลเป็นไปตาม ampere-turn balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_p I_p = N_s I_s \text{ (เป็น ideal transformer)}$$

ในทางปฏิบัติ secondary winding จะมีทั้ง resistance และ leakage reactance และต้องคำนึงถึง capacitance ที่อาจมีค่าสูงจนมีผลต่อ impedance ของวงจร

$$E_s = I_s Z_s = k.\, \varphi m$$

$\varphi m$ เป็น exciting ampere-turn : $N_p I_l$

ฉะนั้น $N_p I_p$ จึงถูกแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนของ primary exciting ampere-turn : $N_p I_e$ และ ส่วนของ primary transferring ampere-turn : $N_p I_{pl}$ เมื่อกระแสที่แปลงไปที่ด้าน secondary ไม่ใช่กระแสทั้งหมด จึงทำให้เกิด current error หรือ ratio error ขึ้น

**2.6.3 CT Saturate**

คือ การอิ่มตัวของ CT เนื่องจากไม่สามารถ Drive Load ทางด้าน Secondary ของ CT ได้ ส่งผลให้ กระแสด้าน Secondary ไม่เป็นไปตาม Ratio ที่กำหนดไว้ (ค่าน้อยลง) หรืออาจไม่มีกระแสออกมาเลย (Completely Saturate)

**สาเหตุที่ทำให้ CT Saturate คือ**

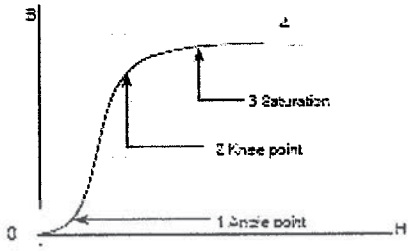
1. ค่า Load (Burden) ที่ต่อทางด้าน Secondary ของ CT มีค่าสูงกว่า Standard Burden ของ CT
2. ค่า Fault Current และ DC Component ขณะเกิด Fault มีค่าสูง
3. ค่า Knee Point Voltage ของ CT มีค่าต่ำกว่าค่า Voltage ที่เกิดขึ้นด้าน Secondary ของ CT ในขณะที่เกิด Maximum Fault Current โดยค่านี้สามารถรู้ได้จาก CT Excitation Curve การหาค่า Standard Burden และค่า Max. Fault Current สามารถรู้ได้จากข้อมูลของ CT ที่เรียกว่า CT Accuracy Class เช่น 15 VA 5P20 หรือ C400 เป็นต้น

**2.6.4 โลหะที่ใช้ทำ Core**

โลหะที่ใช้ทำแกนเหล็ก (core) ต้องเป็น ferromagnetic material เนื่องจาก error เกิดขึ้นจาก magnetizing current ที่ใช้ในการสร้าง flux จึงจำเป็นต้องศึกษาเรื่อง magnetizing curve ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง flux density และ magnetizing ampere-turn หรือ B-H curve จะเห็นได้ว่าเมื่อ flux density สูงขึ้น จะต้องใช้กระแสมากขึ้นในการสร้าง flux และเมื่อเลยจากจุด knee point กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยที่ flux เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือเรียกว่า โลหะมีสภาพอิ่มตัว (saturation) ซึ่งทำให้มี error มากในการ transferring




**รูปที่ 2.18** กราฟย่านต่างๆของสนามแม่เหล็ก

จาก curve แสดงถึง oriented electrical steel ซึ่งความสัมพันธ์แบ่งได้เป็น 4 ช่วง

1. ช่วง 0-1 เป็นช่วงแรก origin ตอนเริ่มต้น ของ curve จนถึงจุดที่ 1 ที่เรียกว่า angle point ความสัมพันธ์ระหว่าง B-H ไม่ linear ช่วงนี้ flux และ exciting current ยังต่ำมาก
2. ช่วง1-2 หลังจากจุดที่ 1 จนถึงจุดที่ 2 ที่เรียกว่า knee point ช่วงนี้ความสัมพันธ์เป็น linear เรียกว่าช่วง linear จุด knee point คือจุดที่ flux density เพิ่มขึ้น 10% ขณะที่กระแสเพิ่มขึ้น 50 %
3. ช่วง 2-3 หลังจากจุดที่ 2 จนถึง จุดที่ 3 เรียกจุดนี้ว่าจุดอิ่มตัว saturation ช่วงนี้ flux density เปลี่ยนเพิ่มขึ้นน้อยมาก แต่ต้องการกระแสมาก

4. ช่วงหลังจากช่วงอิ่มตัว Saturation ไปแล้ว ช่วงนี้ flux density แทบไม่เปลี่ยนแปลง แต่ต้องการกระแสมาก เรียกว่าช่วง saturation

Protective current transformer สามารถใช้ช่วง 0-3 ในขณะที่มีกระแสปกติ แต่ขณะมีกระแสลัดวงจรไหลผ่านอาจอยู่ช่วงต้นๆ ของ 4 แต่ metering current transformer จะใช้ช่วง 0-1 เท่านั้น ในทางปฏิบัติอาจใช้ถึงช่วงก่อน knee point ขณะที่มี full load current ไหลผ่านขดลวด Primary เพราะจะใช้ Core Material น้อยลง

material ส่วนใหญ่ที่ใช้คือ

- hot rolled silicon-iron alloy
- cold rolled oriented silicon-iron alloy (electrical steel)
- nickel-iron alloy
- composite material

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Hot rolled silicon-iron alloy**

ในยุคแรกๆ material ที่ใช้ทำแกนเหล็กมีส่วนผสมของ mild steel กับ carbon ปริมาณเล็กน้อย มีข้อเสียคือ ageing เร็ว หรือมีอายุการใช้งานสั้น คือช่วงใช้งานจะมี hysteresis loss สูงขึ้นเรื่อยๆ ต่อมามีการพัฒนาใช้ silicon ผสมแทน carbon ทำให้ปัญหาเรื่อง ageing หมดไป แต่ถ้าใส่ silicon มากจะเปราะ และหักง่าย ไม่สะดวกเวลาตัดและเจาะรู ปัจจุบันมี hot rolled electrical steel ที่มี silicon ผสมน้อยลงมีคุณสมบัติของ permeability ดีขึ้น จึงนิยมใช้ทำหม้อแปลง ทำให้มีชื่อเรียกว่า transformer grade

**Cold rolled oriented silicon-iron alloy (electrical steel)**

ต่อมามีการพัฒนาการผลิตเหล็กมากขึ้นสามารถใช้วิธี cold rolled ทำให้สามารถปรับปรุง magnetic property ได้ดีขึ้นทำให้เกิดการเรียงตัวกันของ crystal structure ดีขึ้นในทิศทางที่รีด ทำให้ flux ที่ไหลในแนวขนานกับผิวของแผ่นเหล็ก (laminated sheet) ได้ค่า permeability ดีขึ้นมากลด losses ทำให้ CT มีขนาดลดลง แต่ flux ที่ไหลในทิศทางที่หักโค้งจะด้อยกว่าแนวขนาน ฉะนั้น การทำ core sheet เป็นรูปตัว T หรือตัว U จะด้อยกว่าการทำเป็น strip wound core และเป็นรูป ring-type core

**Nickel-iron alloy**

เป็นโลหะที่มี Losses ต่ำ แต่มี permeability สูง มีข้อเสียคือ คุณสมบัติ magnetic performance จะเปลี่ยนแปลงถ้าได้รับ mechanical stress ส่วนใหญ่ เป็น c-core จะ ประกอบและ bonded ก่อนแล้วจึงตัดเป็นแบ่งเป็นรูป C ฉะนั้นจำเป็นต้องป้องกันเวลาขนย้าย และประกอบอย่างดี การผลิต alloy ชนิดนี้มีราคาแพง จึงใช้เฉพาะ CT ที่ต้องการ accuracy สูงเท่านั้น

**Composite material**

ใช้ผสมกันระหว่าง Nickel-iron alloy กับ electrical steel ข้อดี คือ สามารถใส่ nickel-iron alloy ไว้ตรงกลางระหว่าง electrical steel ทำให้มี mechanical reinforce

### 2.6.5 การบอกลักษณะของ CT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ratio คืออัตราส่วนของการแปลงกระแส จากกระแสด้าน primary เป็นกระแสด้าน secondary เช่น ratio ของ current transformer 300 : 5 มีความหมายว่า CT มี rated primary current เท่ากับ 300 A และ rated secondary current มีค่า 5 A หรือ CT ที่เป็น multi-ratio : 100-1200 A สามารถเลือกกระแสใช้ได้ 10 ratio ตั้งแต่ 100 A ถึง1200 A โดยที่กระแสด้าน secondary มีค่าคงที่เท่ากับ 5 A และกรณีที่มี secondary หลายชุดพันบนแต่ละ core ให้เลือกใช้งาน เรียกว่า multi-core เช่น 100-1200/5

- current rating factor : RF คือ ค่าจำนวนเท่าของกระแสด้าน primary ที่ CT สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเช่น 1 , 1.3 , 2 เป็นต้น

- ความแม่นยำ (accuracy) คือความถูกต้องแม่นยำของการแปลงกระแส ซึ่งมีลักษณะต่างกันระหว่างชนิด protection และ metering

- polarity ใช้ในกรณีที่นำ secondary ของ CT สองชุด หรือมากว่าสองชุดมาต่อกัน และทิศทางการไหลของกระแส

**การเลือก Primary rated current**

ต้องคำนึงถึงขณะที่กระแสมีปริมาณต่ำๆ minimum current ที่ไหลผ่านขณะใช้งานด้วย เพราะ primary ampere-turn จะมีผลต่อคุณสมบัติเรื่อง ratio error และ phase error อีกประการหนึ่งเรื่องของ dynamic force และ thermal stress ที่เกิดขึ้นในขณะที่มีกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นไหลผ่านด้าน primary winding ถ้ามี primary winding หนึ่งรอบ หรือเป็น bar-type จะมีราคาถูกกว่าชนิดหลายรอบ wound-type primary winding

บางกรณีอาจมีความจำเป็นต้องใช้ชนิด multi-ratio ซึ่งทำได้โดย

- ให้รอบด้าน secondary คงที่ไว้และต่อรอบด้าน primary ให้ขนาน หรืออนุกรมกัน
- ให้รอบ primary คงที่ไว้แล้วใช้วิธี tap รอบ ออกมาตามต้องการ หรือต่อขนาน หรืออนุกรม ด้าน secondary
- ออกแบบโดยใช้สองวิธีรวมกัน

**การเลือก Secondary rated current**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบัน Secondary current rating มีอยู่ 2 ชนิด คือ 1 A และ 5 A อาจมีข้อคำถามว่าจะเลือกชนิดไหนมาใช้งานดี

ลองพิจารณา CT สองตัวที่มี กระแส 5 A และ 1 A

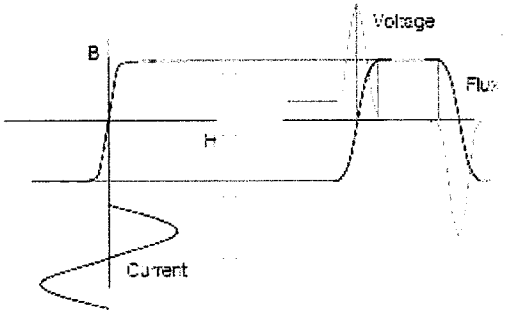
ถ้ามี flux density เท่ากัน มีค่า rated primary current เท่ากัน มีขนาด core ที่กำหนดเท่ากัน และ secondary ampere-turn มี mean length เท่ากัน ขณะที่ทดสอบกับ rated burden ที่ primary rated current จะมีค่า error เท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ สายที่ใช้ต่อระหว่าง terminal กับ burden หรือ relay มีความยาวมาก ทำให้มี lead resistance ไม่เท่ากัน จึงเป็นตัวแปลที่สำคัญ ถ้า lead ที่ใช้ต่อมีขนาดเดียวกันจะพบว่าชนิด 1 A มี burden (VA) น้อยกว่า 5 A ถึง 1/25 อีกประการหนึ่งชนิด 1 A สามารถปรับค่า error ได้ง่ายกว่า โดยปรับรอบด้าน secondary เพื่อชดเชยกับ primary ampere-turn : $N_p I_p = N_s I_s$ เช่นปรับรอบ 1 รอบของ CT 100 : 5 จะส่งผลถึง 5% แต่มีผลกับ CT 100/1 เพียง 1%

ชนิด 1 A มีข้อด้อยเรื่องราคาคือ ราคาจะแพงกว่าชนิด 5 A แต่ผู้ผลิตอาจจะปรับขนาดของ core ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดค่า material เนื่องจาก burden น้อยกว่า 5 A ข้อด้อยอีกอย่างหนึ่งของชนิด 1 A คือ จะเกิดแรงดันสูงกว่า 5 A ขณะเกิด open circuit ที่ secondary เนื่องจากมีจำนวนรอบของขด secondary มากกว่า สรุปไม่มีข้อกำหนดตายตัวว่าชนิดไหนดีกว่า แต่สามารถกล่าวได้ว่าควรเลือกขนาด 5 A ก่อน ยกเว้นว่าจะมีความจำเป็นบางประการ เช่นระบบทั้งหมดถูกออกแบบไว้เป็นชนิด 1 A มีปัญหาเรื่อง spare unit หรือ ระยะทางระหว่าง CT กับ อุปกรณ์ป้องกันอยู่ห่างกันมากเป็นต้น

### 2.6.6 Open circuit voltage ใน CT

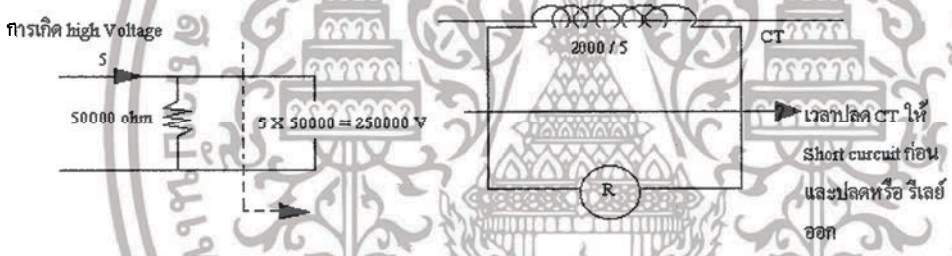
ในขณะที่มี burden ต่ออยู่ที่ secondary circuit ของ CT จะมีแรงดันคร่อม burden เพียงเล็กน้อยเป็นระดับ volts แต่เมื่อ secondary circuit เกิด open หรือ กรณีที่ปลดสายต่อของ burden ออกขณะกำลังใช้งาน เมื่อมีกระแสไหลทาง primary จะทำให้เกิดไฟแรงสูงที่มีรูปร่างเป็น pulse ที่มี peak สูงอาจเป็นระดับ kilovolt ที่ secondary winding CT ที่มี rated secondary current 5 A มี burden ขนาด 15 VA ต่ออยู่ ขณะที่กระแสไหลทาง primary เป็น rated current จะมีแรงดันที่ secondary terminal ประมาณ 3 volts แต่ถ้า secondary circuit เกิด open จะเกิดแรงดันที่มี peak สูงเป็นระดับ kV เพราะ primary ampere-turn ทั้งหมดจะเป็น exciting ampere-turn ไม่มี ampere-turn ในส่วนของ transferring จึงทำให้ core เกิด saturation อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.19** แสดงรูปร่างของ Flux ที่มี flat-topped shape

แรงดันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ flux จึงทำให้ขณะที่ flux เปลี่ยนแปลงเป็นรูป flat โดยเร็วก็จะเกิด เป็นแรงดันสูงเฉพาะตรงนั้น (peaky) แรงดันสูงนี้อาจทำให้ฉนวนด้าน secondary เสียหาย (breakdown) และอาจเกิด overheat จาก eddy current losses ได้ด้วย ในทางปฏิบัติจึงต้องออกแบบให้มีฉนวนที่ทนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ตลอดเวลาถึงแม้ว่า routine test จะกำหนดให้ทดสอบเพียง 1 นาที




**รูปที่ 2.20** การเกิด High Voltage และการถอด CT ออกจากวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การคำนวณและการสร้าง

## 3.1 ภาพรวมของโครงงาน

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบทั้งหมด และขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานอย่างละเอียด โดยการออกแบบนั้นเราจะสร้างวงจรส่วนที่ทำการวัดค่าแรงดัน ส่วนของวงจรวัดกระแส และส่วนของวงจรคอมพาราเตอร์ จากนั้นเราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการวัดค่าต่างๆเอามาเก็บและคำนวณค่าแรงดัน กระแส พาวเวอร์แฟกเตอร์ และค่ากำลังงานปรากฏ หลังจากนั้นทำการส่งข้อมูลต่างๆออกไปที่ จีเอสเอ็มโมดูล เพื่อทำการส่งข้อมูลผ่านรูปแบบข้อความสั้นไปยังหน้าจอแสดงผล และทำการเก็บข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประยุกต์หรือทำการจดวัดสถิติต่างๆได้ตามต้องการ

## 3.2 แผนผังแสดงการทำงานของโครงงาน

**รูปที่ 3.1** แผนผังแสดงการทำงานของวงจร

เมื่อทำการเปิดเครื่องไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าแรงดันที่ได้จากวงจรวัดแรงดันแล้วทำการเก็บค่าเอาไว้ จากนั้นวัดแรงดันที่ได้จากวงจรวัดกระแส หลังจากได้ทั้งสองค่าแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปิดฟังก์ชัน CCP เพื่อทำการจับพัลส์ขอบขาขึ้นของทั้งแรงดันและกระแส จากนั้นนำค่าผลต่างของเวลาที่วัดได้ไปทำการคำนวณค่า พาวเวอร์แฟกเตอร์

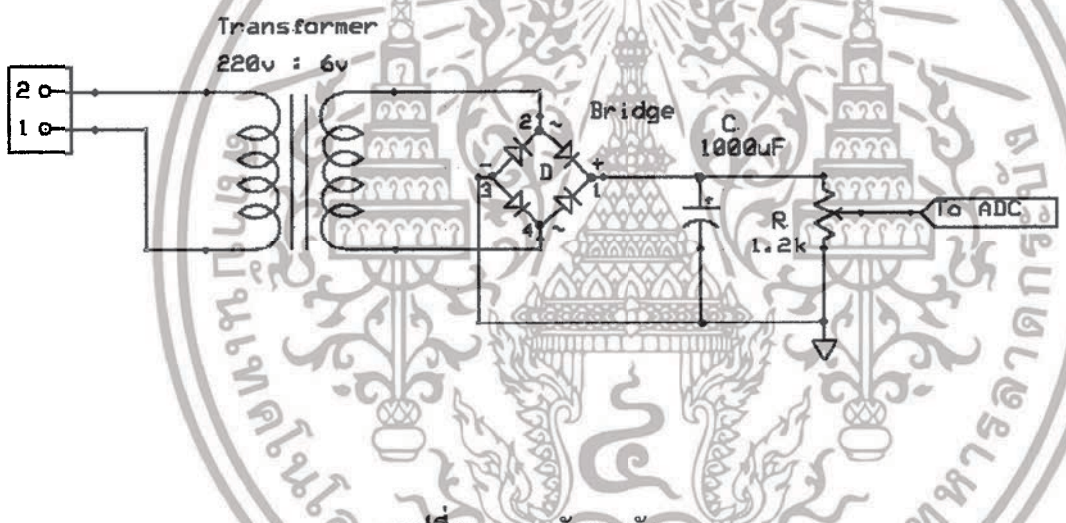
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้ค่าทั้งหมดก็จะส่งค่าต่างๆไปยัง จีเอสเอ็มโมดูล ผ่านไอซี MAX232 แล้วสั่งให้ จีเอสเอ็มโมดูล ทำการส่งข้อความสั้นที่มีข้อมูลต่างๆไปยังเบอร์ที่ต้องการ หรือเบอร์ที่ทำการเซตค่าไว้

ส่วนของภาครับ ผู้ใช้งานจะต้องทำการใส่หมายเลขของข้อความสั้นที่ได้รับลงไปในโปรแกรม จากนั้นโปรแกรมจะทำการอ่านข้อความสั้นที่ได้รับมา แล้วแยกส่วนของข้อมูลออกมาเป็นค่าต่างๆ สุดท้ายผู้ใช้งานจะสามารถเลือกที่จัดเก็บเพื่อทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับมาเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์เครื่องนั้น

โดยในส่วนของวงจรภาควัดและส่งข้อมูลสามารถเซตเวลาให้ทำการวัดซ้ำได้ตามที่เราต้องการโดยการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมเข้าไปเท่านั้น

### 3.3 วงจรวัดแรงดัน




**รูปที่ 3.2** วงจรวัดแรงดัน

วงจรวัดแรงดันใช้หลักการของหม้อแปลงและวงจรเรียงกระแสเพื่อทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขอบเขตการวัดแรงดันกระแสสลับอยู่ที่ 0-250 Vrms หม้อแปลงที่ใช้มีอัตราส่วนการแปลงแรงดันปฐมภูมิต่อทุติยภูมิอยู่ที่ 220:6 หรือลดลง 36.67 เท่า เมื่อแรงดันสูงสุดอยู่ที่ 250 V จะถูกแปลงให้เหลือ 250/36.67 หรือประมาณ 6.82 V

คิดเป็นแรงดันสูงสุดอยู่ที่

$$6.82 \times 1.414 = 9.64 \text{ Vpeak}$$

จากนั้นใช้วงจรเรียงกระแสเพื่อทำให้เป็นแรงดันไฟตรง จะเหลือค่าไฟตรงสูงสุด

$$9.64 - 1.4 = 8.24 \text{ Volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับค่าสูงสุดจาก 8.24 V ให้เหลือ 5.00 V เพื่อนำไปเข้าเอทูดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ ฉะนั้นอัตราส่วนอยู่ที่

$$5.00 \div 8.24 = 0.607$$

ในกรณีที่แรงดันที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้อยู่ที่ 220 Vrms จะถูกแปลงแรงดันจากหม้อแปลงลงเหลือ 6 Vrms หรือมีค่า

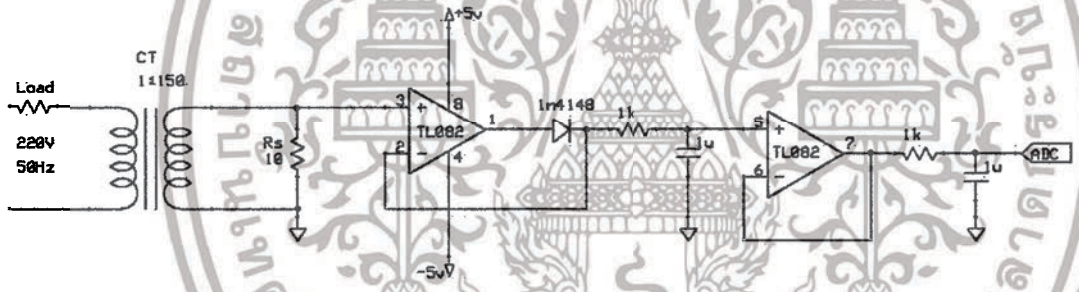
$$6 \times 1.414 = 8.484 \text{ Vpeak}$$

ผ่านวงจรเรียงกระแส เหลือ 7.084 Volt เมื่อถูกแบ่งแรงดันโดนตัวต้านทานปรับค่าได้จะเหลือแรงดันเข้าเอทูดีที่

$$7.084 \times 0.607 = 4.29 \text{ Volt}$$

จากนั้นเขียนค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าไป แล้วนำไปคำนวณค่ายอนกลับมาตามหลักการเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด

### 3.4 วงจรวัดกระแส



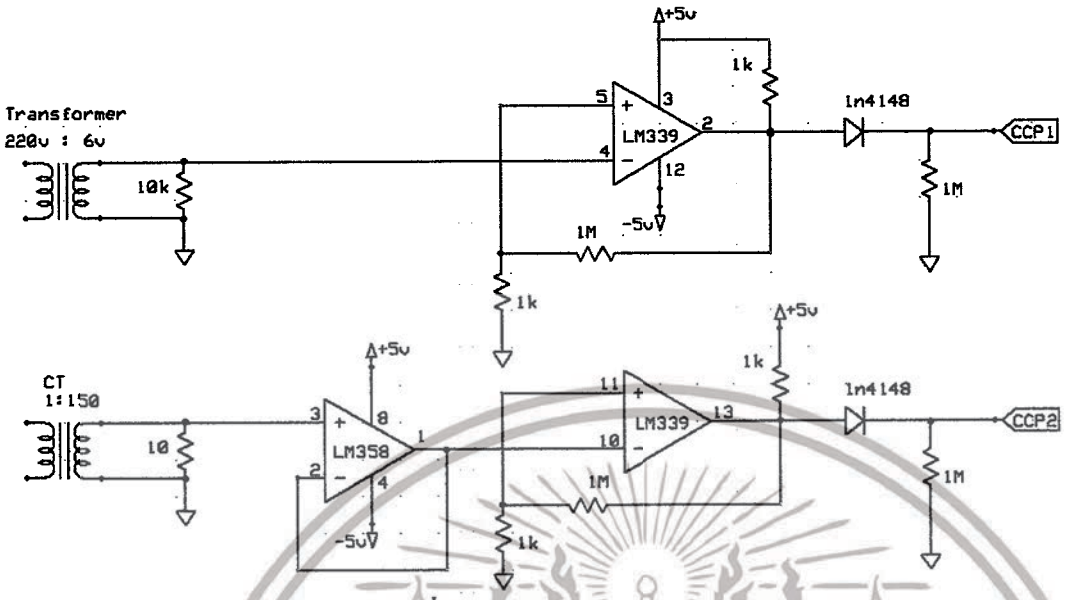

รูปที่ 3.3 วงจรวัดกระแส

วงจรวัดกระแสใช้หลักการของ Current Transformer (CT) ในการแปลงกระแสเริ่มต้นในการทำ CT ด้านขดปฐมภูมิไปต่ออนุกรมกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการวัด CT ที่ใช้มีอัตราส่วน 1:150 ทำให้กระแสที่ได้มีค่าลดลง 150 เท่า จากนั้นนำกระแสที่ได้ไปผ่านตัวต้านทาน 10 โอห์ม เพื่อทำการเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน

วงจรส่วนถัดมาคือวงจร โดยใช้ไอซีเบอร์ TL082 มาใช้งาน วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงจากแรงดันกระแสสลับเป็นค่าแรงดันไฟตรงที่ค่าสูงสุดของแรงดันสลับนั้นๆ จากนั้นผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำเพื่อให้แรงดันมีความเรียบก่อนจะเข้าสู่ขาเอทูดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ




รูปที่ 3.4 วงจรคอมพาราเตอร์

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณนี้จะใช้การทำงานของไอซีเบอร์ LM339 มาเป็นคอมพาราเตอร์ โดยหลักการทำงานจะเหมือนกันทั้งคอมพาราเตอร์ของส่วนการวัดแรงดันและคอมพาราเตอร์ของส่วนการวัดกระแส แต่ส่วนของการวัดแรงดันสามารถทำได้เลยเพราะมีหม้อแปลงจำนวน 2 ขด จึงดึงสัญญาณที่ได้มาเลย แต่ส่วนของกระแสซึ่งมี CT เพียงขดเดียว จึงต้องทำการต่อเข้ากับบัฟเฟอร์ ก่อนจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้เป็นแบบกลับเฟส เนื่องจากอินพุตของสัญญาณเข้าที่ขาลบของตัวคอมพาราเตอร์ ซึ่งแรงดันขาบวกตั้งค่าไว้ที่ 0.05 โวลต์ หรือประมาณศูนย์โวลต์นั่นเอง เมื่อสัญญาณที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์ คอมพาราเตอร์จะตัดสัญญาณให้เป็นแรงดันไฟเลี้ยงลบ หรือประมาณ -5 โวลต์ ในกรณีสัญญาณอินพุตที่ได้มีค่าน้อยกว่าศูนย์ คอมพาราเตอร์จะให้เอาท์พุตเป็นไฟเลี้ยงบวก หรือประมาณ 5 โวลต์นั่นเอง

หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้จะผ่านไดโอด 1n4148 เพื่อทำการตัดสัญญาณซีกลบออกให้เหลือแต่ซีกบวก ก่อนจะนำสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต ไปเข้าขา CCP1 และ CCP2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.6 การคำนวณค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์**

การคำนวณค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์นี้จะใช้การคำนวณเปรียบเทียบจากค่าระยะเวลาที่เหลื่อมกันระหว่างกระแสและแรงดัน

การคำนวณจากการใช้คุณสมบัติ Timer ของไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วยในการจับเวลา ความถี่คริสตอล 4 Mhz และใช้ค่าปรีสเกล 8 (Prescale = 8) ทำการเริ่มจับเวลาตั้งแต่สัญญาณของแรงดันมีการเปลี่ยนจาก low เป็น high จากนั้นนับเวลาไปจนถึงช่วงที่สัญญาณพัลส์ความถี่ 50 Hz ของกระแสมีการเปลี่ยนจาก low เป็น high เช่นกัน ซึ่งในการวัดสัญญาณ 50 Hz นี่จะมีระยะห่างมากที่สุดที่ 20 ms

เมื่อได้ระยะเวลามาแล้ว ทำการเปลี่ยนให้เป็นองศา โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์

20 ms จะมีค่า 360 องศา

ฉะนั้น 10 ms จะมีค่า 180 องศา

ได้ทุกๆ 1 ms จะมีค่าเท่ากับ 18 องศา

จากนั้นนำมุมในหน่วยองศามาทำเป็นมุมในหน่วยเรเดียน โดยใช้สูตร

$$\text{Radians} = \text{degree} \times \P \div 360 \qquad (1)$$

สาเหตุที่ต้องทำการแปลงค่าเป็นมุมเรเดียนเนื่องจาก ฟังก์ชันการคำนวณค่าใน cos ของไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดให้ต้องใช้มุมในหน่วยเรเดียนนั่นเอง

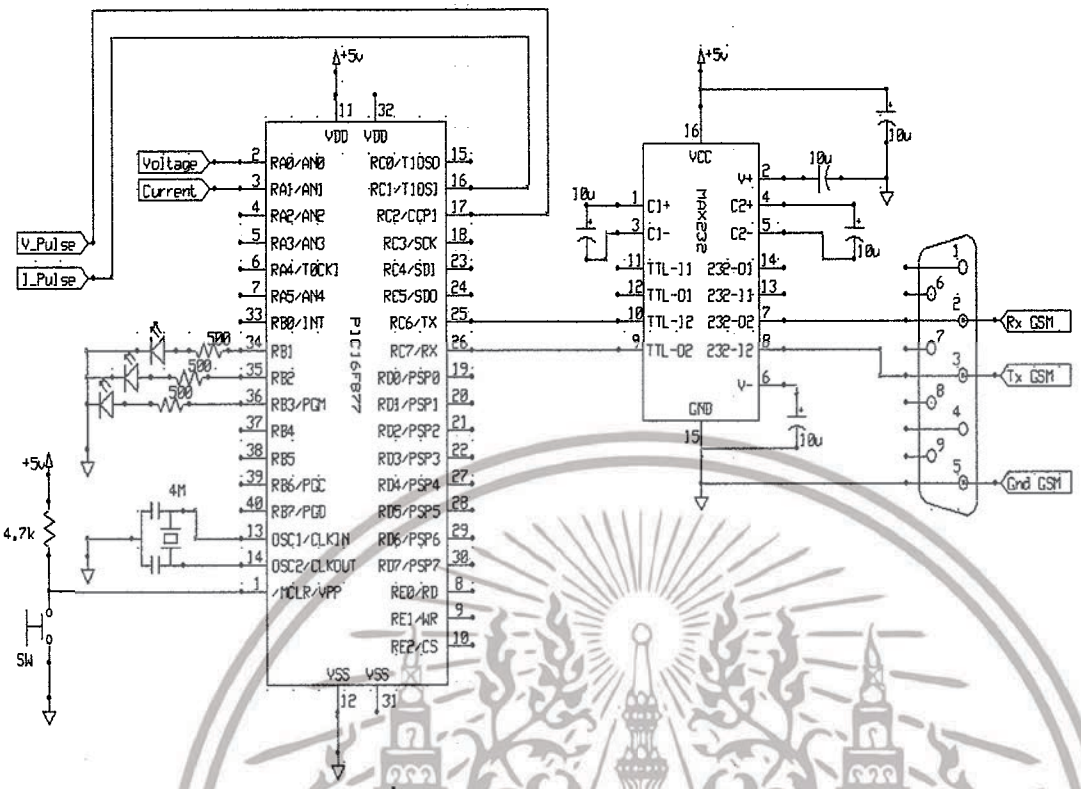
หลังจากนั้นทำการคำนวณค่า Power Factor จากสมการ

$$\text{Power Factor} = \cos(\text{radians}) \qquad (2)$$

**3.7 วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์**

ในโครงงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877 เนื่องจากมีพอร์ตอนาลอกทูดิจิตอล (A/D) ภายในตัว รวมทั้งมีพอร์ต Rx,Tx เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ด้วย โดยการใช้งานเพื่อติดต่อกับ จีเอสเอ็มโมดูล จำเป็นจะต้องใช้ไอซี MAX232 เพื่อเปลี่ยนให้เป็นระดับแรงดันที่อุปกรณ์ทั้งสองจะสามารถติดต่อกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.5** PIC16F877 และ MAX232

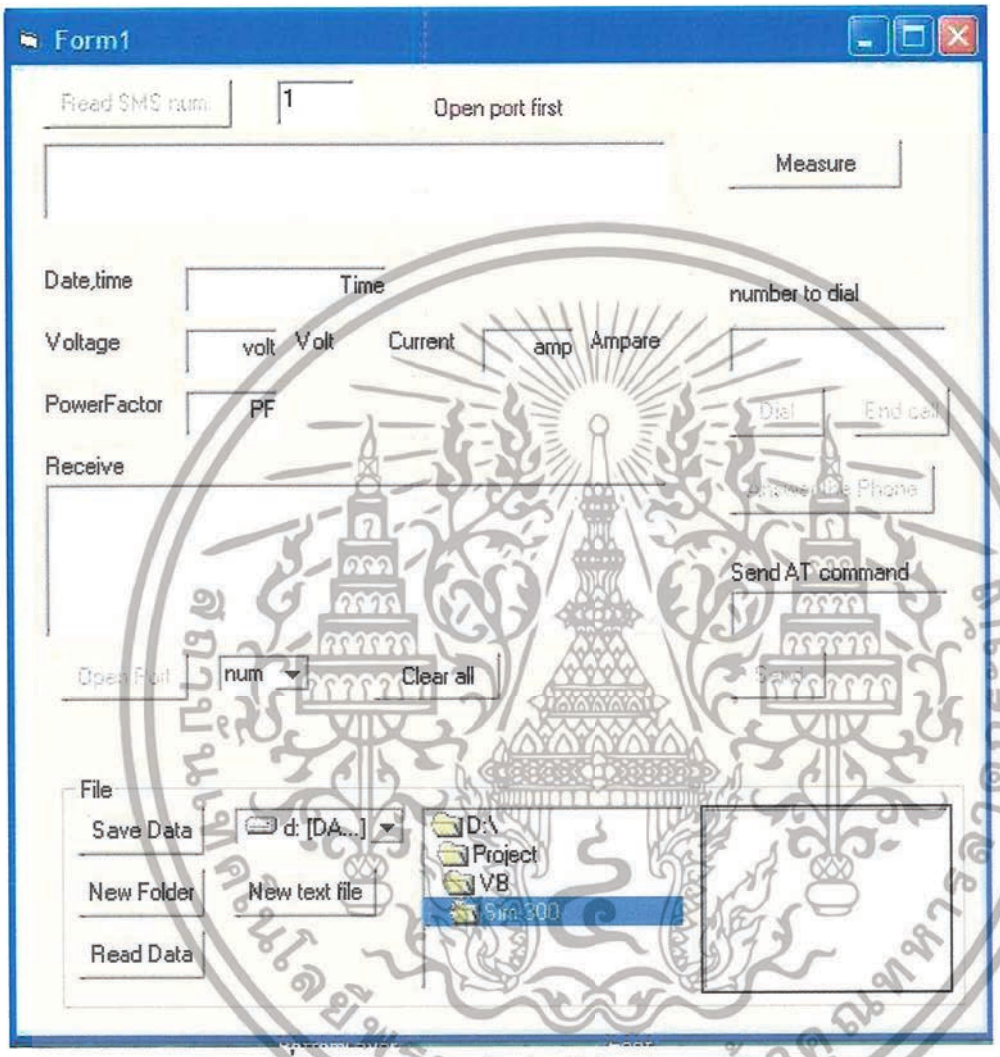
เลือกใช้ความถี่คริสตอล 4 MHz และมีหลอดไฟแสดงผล 3 หลอดที่พอร์ต RB1 RB2 และ RB3

การสื่อสารข้อมูลระหว่าง จีเอสเอ็มโมดูล กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้วงจรเชื่อมต่อสัญญาณมาตรฐานแบบอาร์เอส - 232 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังพอร์ตอนุกรมของ จีเอสเอ็มโมดูล สำหรับโครงงานนี้ได้เลือกใช้ไอซี MAX232 ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณมาตรฐานแบบอาร์เอส - 232 จากที่ได้กล่าวไว้ว่า การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานแบบอาร์เอส - 232 จะกำหนดให้ระดับแรงดัน +3 โวลต์ถึง +25 โวลต์ แทนสัญลักษณ์ลอจิก 0 และแรงดัน –25 โวลท์ถึง –3 โวลท์ แทนสัญลักษณ์ลอจิก 1 แต่แหล่งจ่ายแรงดันในวงจรมีแรงดันสูงสุดเพียง 5 โวลท์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไอซี MAX232 เนื่องจากไอซีนี้ต้องการไฟเลี้ยงเพียง +5 โวลท์ เท่านั้นแต่สามารถให้สัญญาณเอาท์พุตออกมา +10 โวลต์ และ –10 โวลต์ได้ โดยใช้หลักการของวงจรทวีแรงดันขนาด 2 เท่า รูปที่ 3.5 จะเป็นการแสดงการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับไอซี MAX232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 โปรแกรมภาครับ

การทำงานในส่วนของภาครับจะทำการเชื่อมต่อระหว่าง จีเอสเอ็มโมดูล เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์โดยตรง แล้วใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการเขียนโปรแกรมอ่านค่าข้อความสั้นที่ได้รับมา




**รูปที่ 3.6** การแสดงผลในส่วนโปรแกรมภาครับ

โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกจะเป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงผลจากการอ่านหรือทำการติดต่อกับ จีเอสเอ็มโมดูล ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนที่ใช้ในการจัดการข้อมูลที่ได้รับมา โดยทำการเซฟหรือเรียกดูผ่านไฟล์ .txt

ในการใช้งานขั้นแรกจะต้องทำการ Open Port เพื่อทำการติดต่อกับ จีเอสเอ็มโมดูล ก่อนเป็นอันดับแรก จากนั้นฟังก์ชั่นหลักที่ใช้คือการอ่านข้อความสั้น ให้ผู้ใช้งานทำการใส่หมายเลขลงไปในช่อง Read SMS Num. แล้วข้อมูลต่างๆจะถูกแสดงผลออกมา ในการใช้งานครั้งแรกเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับข้อมูลแล้วให้ผู้ใช้งานทำการสร้างเท็กไฟล์ขึ้นมาใหม่ แล้วทำการเซฟข้อมูลลงไป ครั้งต่อไปสามารถเซฟทับลงไปในไฟล์เดิมได้ โดยข้อมูลจะถูกเพิ่มเข้าไปเรื่อยๆ

ในกรณีที่ผู้ใช้งานเซฟทับข้อมูลเดียวกันหลายครั้ง เราสามารถเช็คได้จากค่าวัน เวลา ของข้อมูลนั้นๆว่าซ้ำกันหรือไม่ ส่วนข้อความสั้นที่ถูกส่งมาใหม่นั้นหากเราต้องการจะอ่านข้อมูล ก็ให้ทำการเพิ่มค่าในช่อง Read SMS Num. เข้าไปได้เรื่อยๆทุกครั้งที่ทำการอ่านข้อความสั้นอันใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง

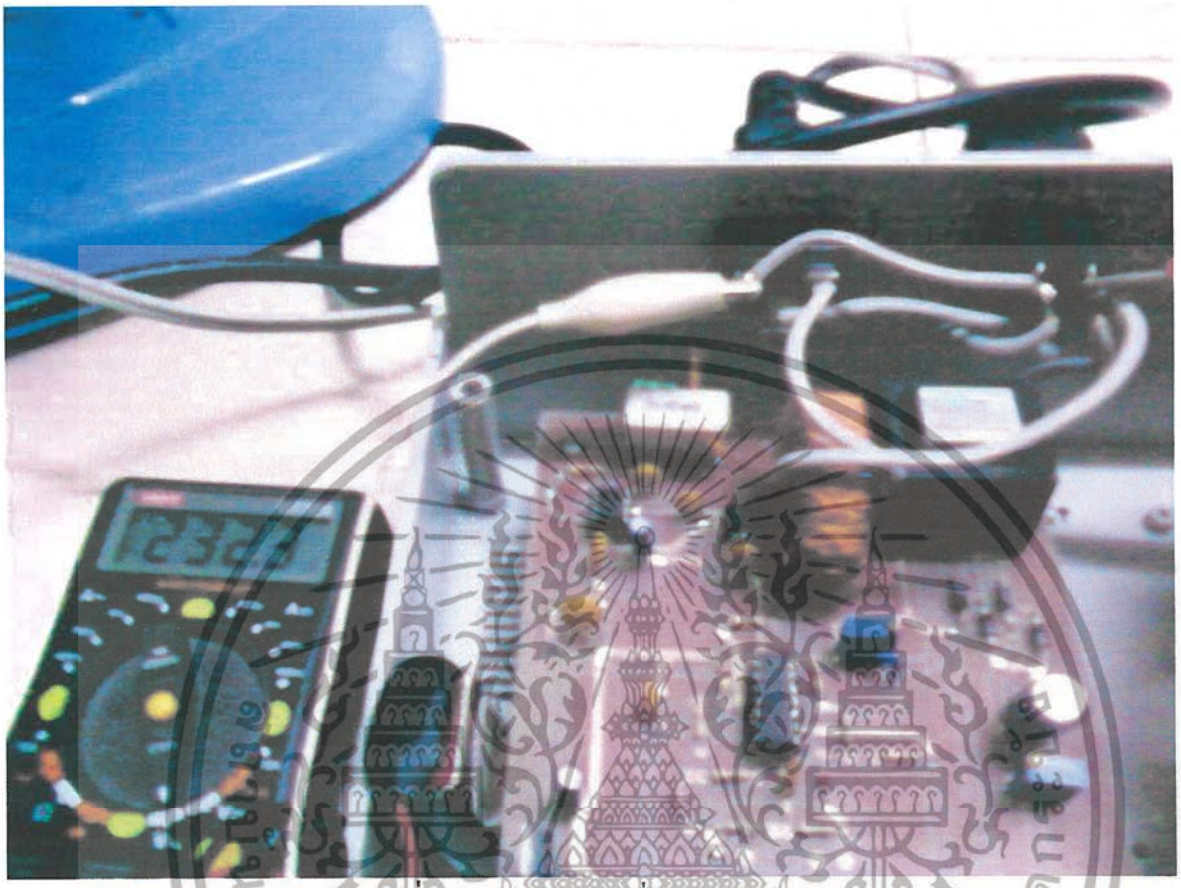
ในการทดลองนี้จะใช้พัดลมตั้งโต๊ะ ขนาด 50 วัตต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า ซึ่งอุปกรณ์ชิ้นนี้ใช้แรงดันไฟ 220 โวลต์ และใช้กระแสสูงสุด 0.25 แอมป์ ซึ่งผลการทดลองจะได้จากการบันทึกลักษณะสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจร แล้วเปรียบเทียบกันกับผลที่วัดได้ผ่านเครื่องมือวัดกำลังงานที่สร้างขึ้น

## 4.1 วงจรวัดแรงดัน

**รูปที่ 4.1 วงจรวัดแรงดันโดยทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ 4 จุด**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ที่จุด V1 ได้ขนาดสัญญาณดังรูปที่ 4.2**

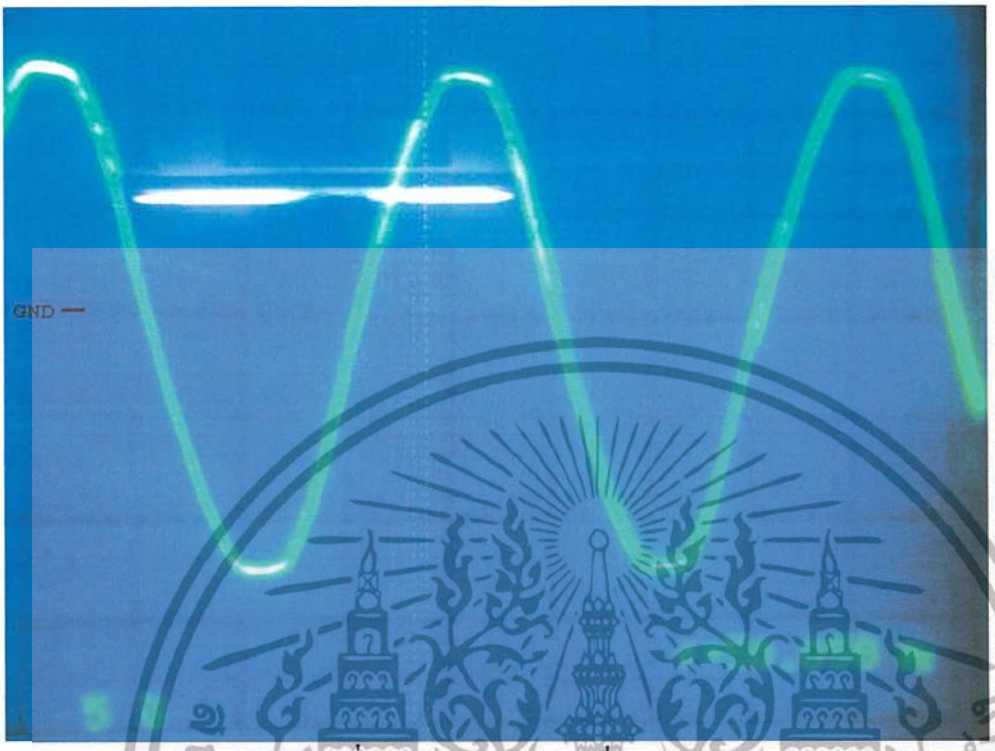


**รูปที่ 4.2 ขนาดสัญญาณที่จุด V1**

**ขนาดสัญญาณที่วัดได้ คือค่าแรงดันกระแสสลับในแบบ rms มีค่า 232.3 โวลต์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ที่จุด V2 ได้ลักษณะและขนาดของสัญญาณดังรูปที่ 4.3 และ 4.4**




**รูปที่ 4.3** ลักษณะสัญญาณที่จุด V2

**รูปที่ 4.4** ขนาดสัญญาณที่จุด V2 ในหน่วย Vrms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปได้ค่าแรงดันที่ 8.82 Vrms ซึ่งจากการคำนวณควรจะได้ค่า

$$232.3 \div 36.67 = 6.33 \text{ Vrms} \qquad (3)$$

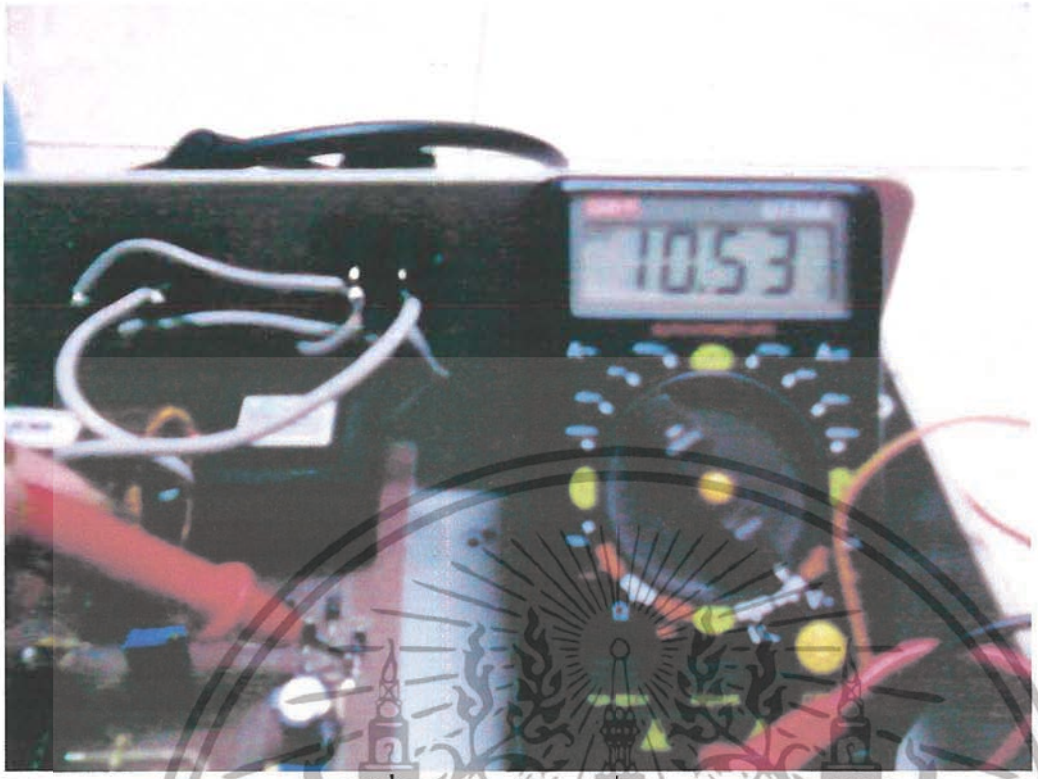
ค่าความผิดผลาดตรงนี้ อาจเป็นผลมาจากค่าความผิดพลาดของแกนของหม้อแปลงกระแสที่ใช้แปลงแรงดันไฟสลับที่มีค่าสูง เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟสลับที่ต่ำลงสามารถทำการวัดผ่านวงจรอนาลอกทูดิจิตอลของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้สามาถแก้ไขได้โดยการใส่ค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ก่อนจะเข้าสู่ขา A/D

**ที่จุด V3** ได้ลักษณะและขนาดสัญญาณดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

**รูปที่ 4.5** ลักษณะสัญญาณที่จุด V3 ที่ 5V/DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.6 ขนาดสัญญาณที่จุด V3

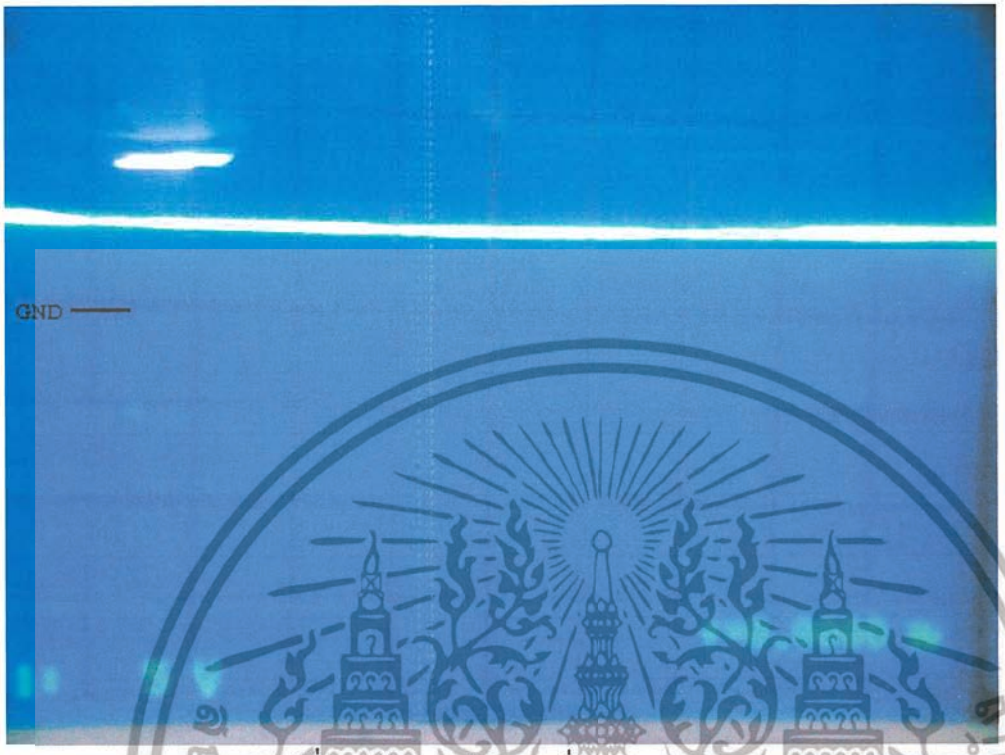
จากรูปได้ค่าแรงดันไฟตรง 10.53 โวลต์ ซึ่งจากการคำนวณ ควรจะได้แรงดันไฟตรงที่จุดนี้

$$( 8.82 \times 1.414 ) - 1.4 = 11.07 \text{ V}$$

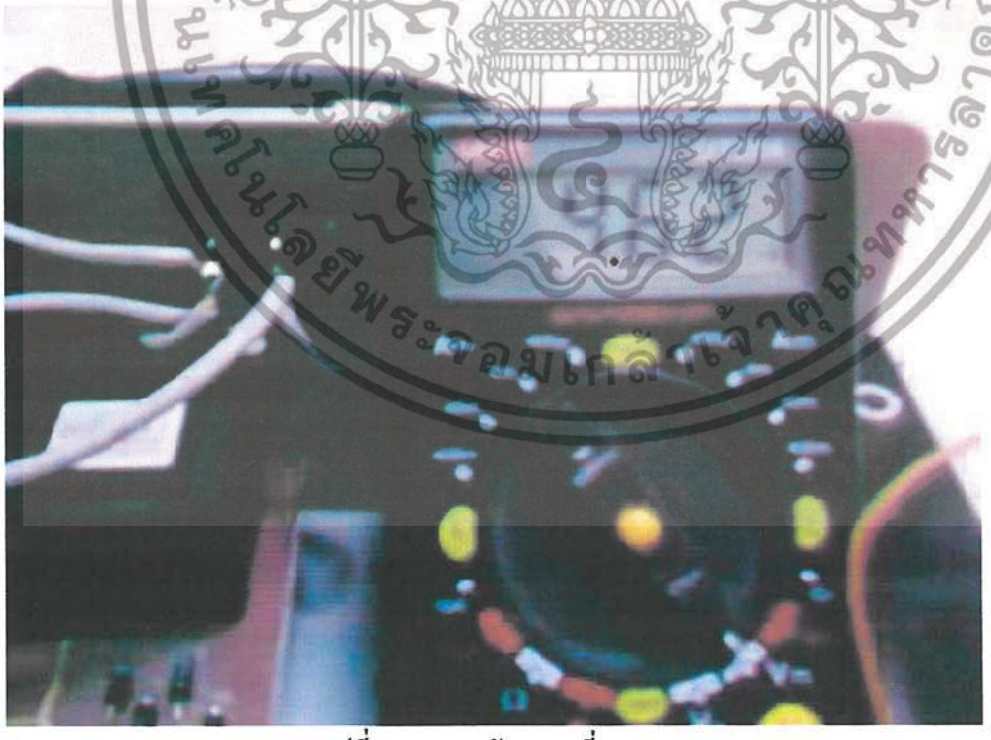
ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณมีผลใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ซึ่งค่าที่ผิดพลาดไปบ้างนี้ อาจเป็นเพราะแรงดันไดโอดเรียงกระแสแต่ละตัวในทางปฏิบัติ ไม่ได้มีค่าเท่ากับ 0.7 โวลต์เหมือนในทางทฤษฎีนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ที่จุด V4 ได้ลักษณะและขนาดสัญญาณดังรูปที่ 4.7 และ 4.8**




**รูปที่ 4.7 ลักษณะสัญญาณที่จุด V4 5V/DIP**



**รูปที่ 4.8 ขนาดสัญญาณที่จุด V4**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดที่วัดได้นั้นเป็นแรงดันไฟตรงมีขนาด 4.62 โวลต์ ซึ่งขอบเขตการวัดของชิ้นงานนี้สามารถวัดได้สูงสุดที่ 250 Vrms เมื่อแปลงเป็นแรงดันผ่านวงจรแล้วจะมีค่า 5.00 โวลต์ก่อนจะเข้าวงจร A/D ดังนั้นจึงเสมือนการย่ออัตราส่วน ที่ 50 เท่า

แรงดันไฟสลับที่พัดลมตั้งโต๊ะใช้คือ 232.3 Vrms เมื่อแปลงเป็นแรงดันไฟตรงตามทฤษฎีจะมีค่า

$$232.3 \div 50 = 4.646\ \text{V}$$

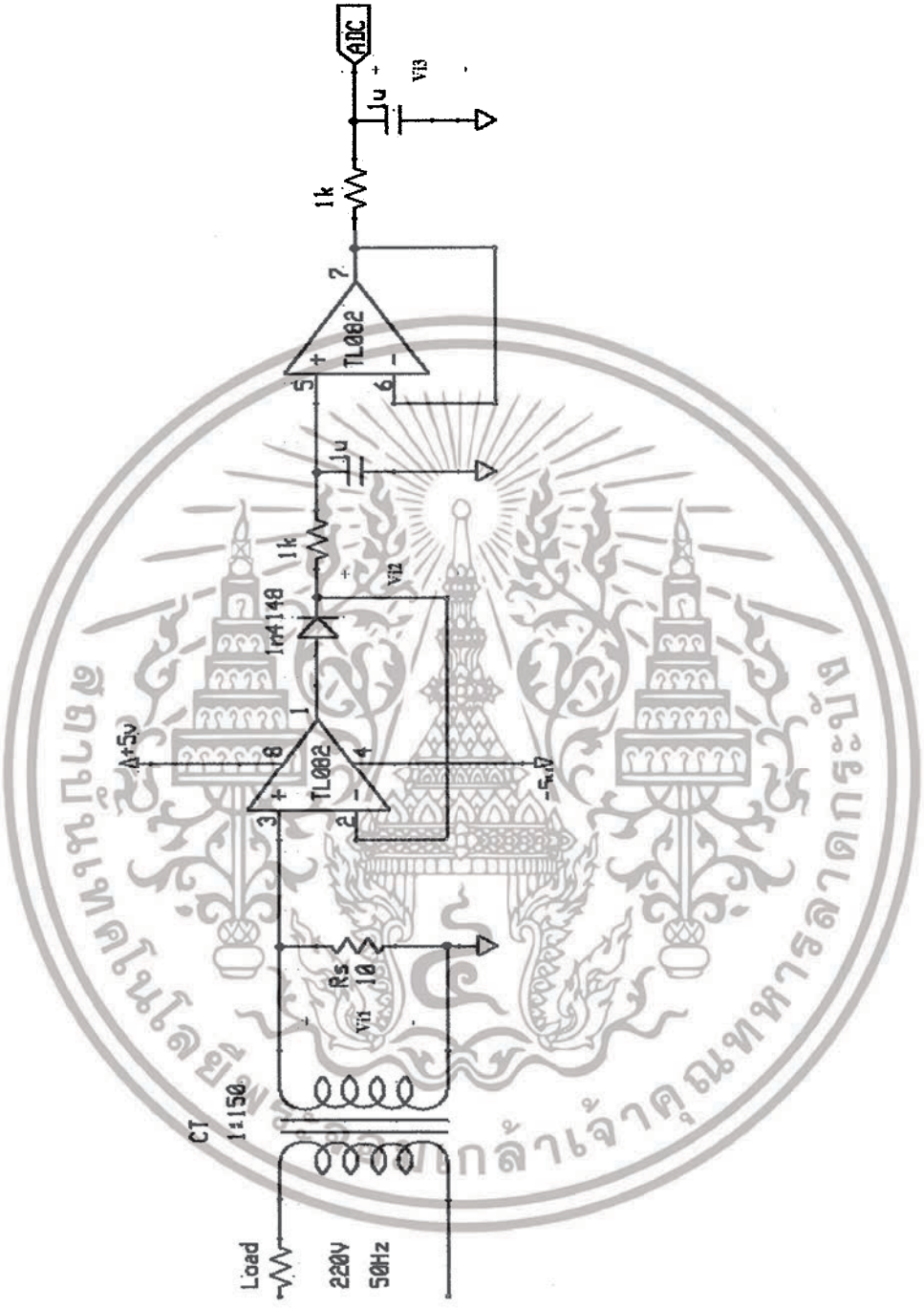
ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับขนาดสัญญาณที่วัดได้ 4.62 โวลต์ ค่อนข้างมากเลยทีเดียว จากนั้นเมื่อใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการอ่านค่าที่ได้ จากพอร์ท A/D แล้วก็ทำการคูณ 50 ก็จะได้กลับมาเป็นแรงดันไฟสลับที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไปนั่นเอง ซึ่งค่าที่ได้ควรจะเป็น

$$4.62 \times 50 = 231\ \text{Vrms}$$

หลังจากนี้จะนำไปทำการเปรียบเทียบกับ ข้อความสั้น ที่ได้ทำการส่งไปยังภาครับ แล้วตรวจสอบดูว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ ซึ่งจะขอกล่าวในหัวข้อผลการทดลองจากวงจรภาครับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

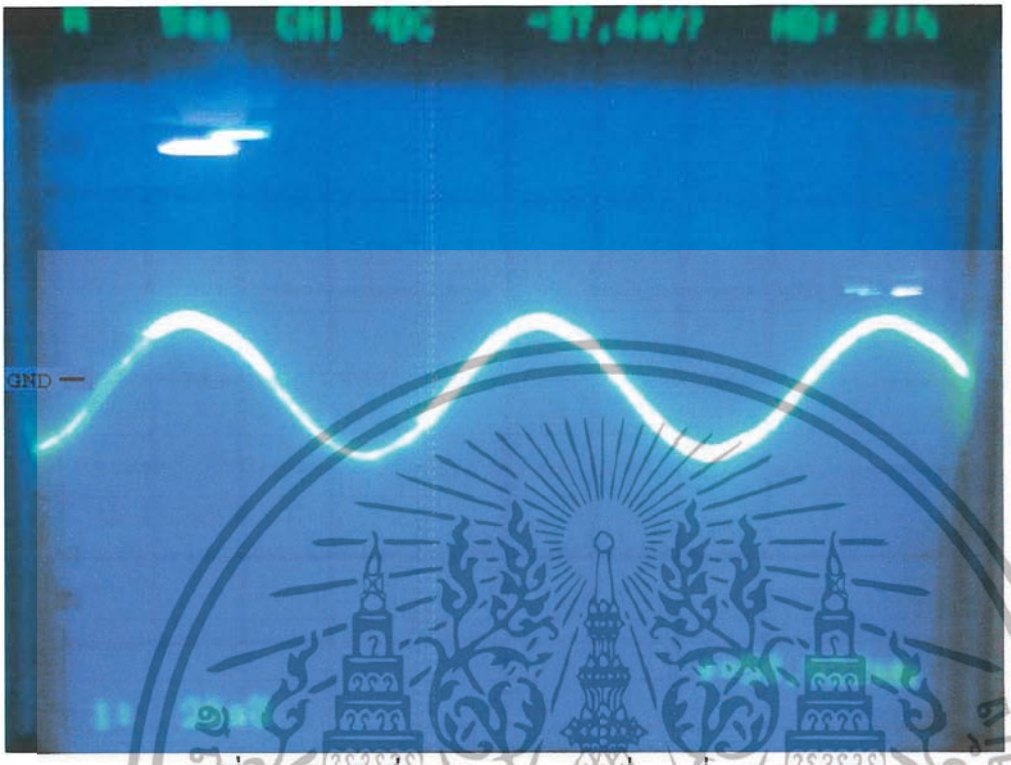
**4.2 วงจรวัดกระแส**




**รูปที่ 4.9** วงจรวัดกระแสโดยทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ที่จุด Vi1 ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.10**




**รูปที่ 4.10** แรงดันที่จุด Vi1 20mV/DIP ที่ความถี่ 58.02 Hz

แรงดันที่ได้มีค่าประมาณ 16 mVpeak ใช้ค่าความต้านทาน 10 โอห์ม ฉะนั้นมีกระแสไหลผ่านประมาณ 1.6 mApeak หรือคือ

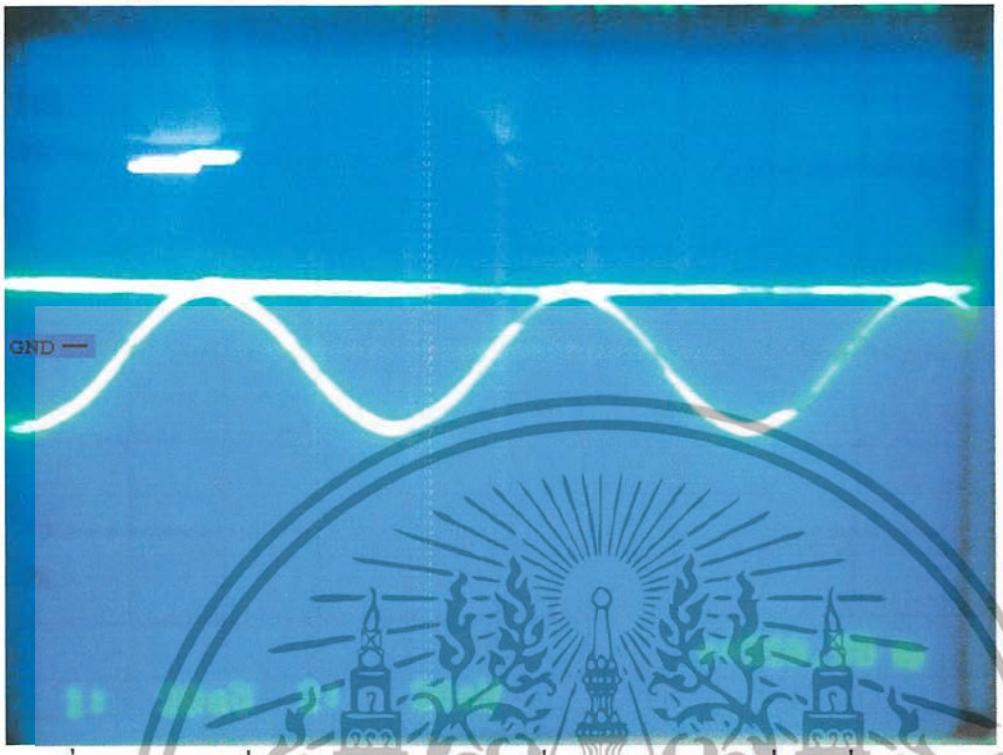
$$1.6 \div 1.414 = 1.132 \text{ mArms}$$

เนื่องจากกระแสถูกแปลงจาก Current Transformer ที่มีค่าอัตราส่วน 1:150 ฉะนั้น จึงประมาณได้ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้า ใช้กระแสจริงประมาณ

$$0.001132 \times 150 = 0.169 \text{ Arms}$$

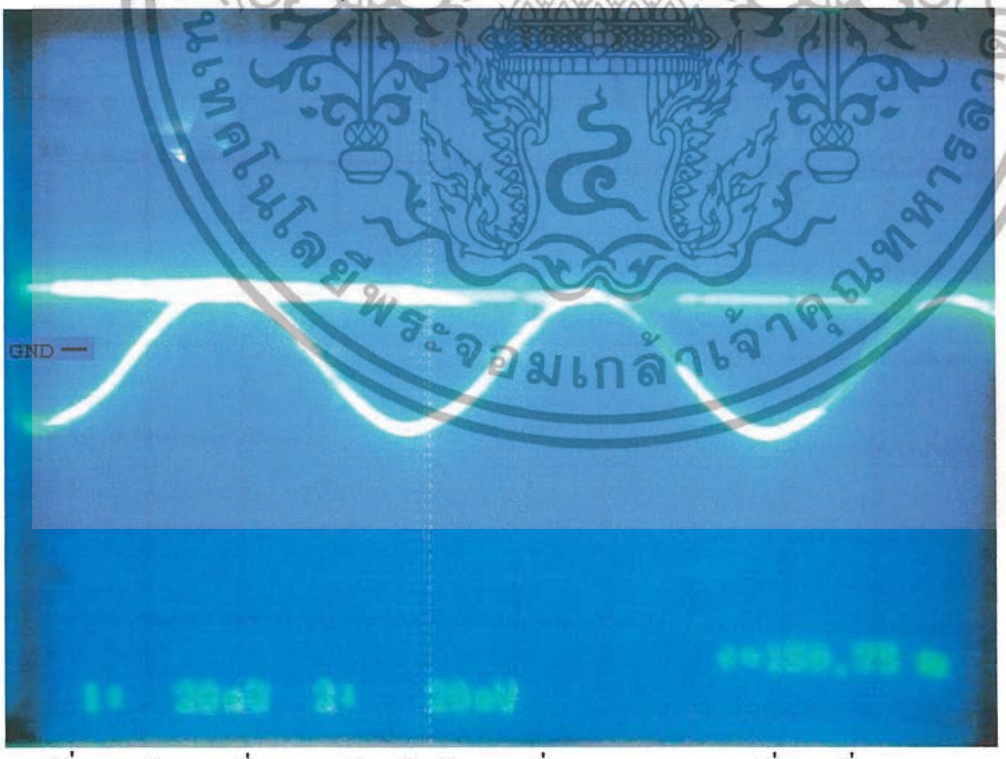
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ที่จุด Vi2 ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.11**



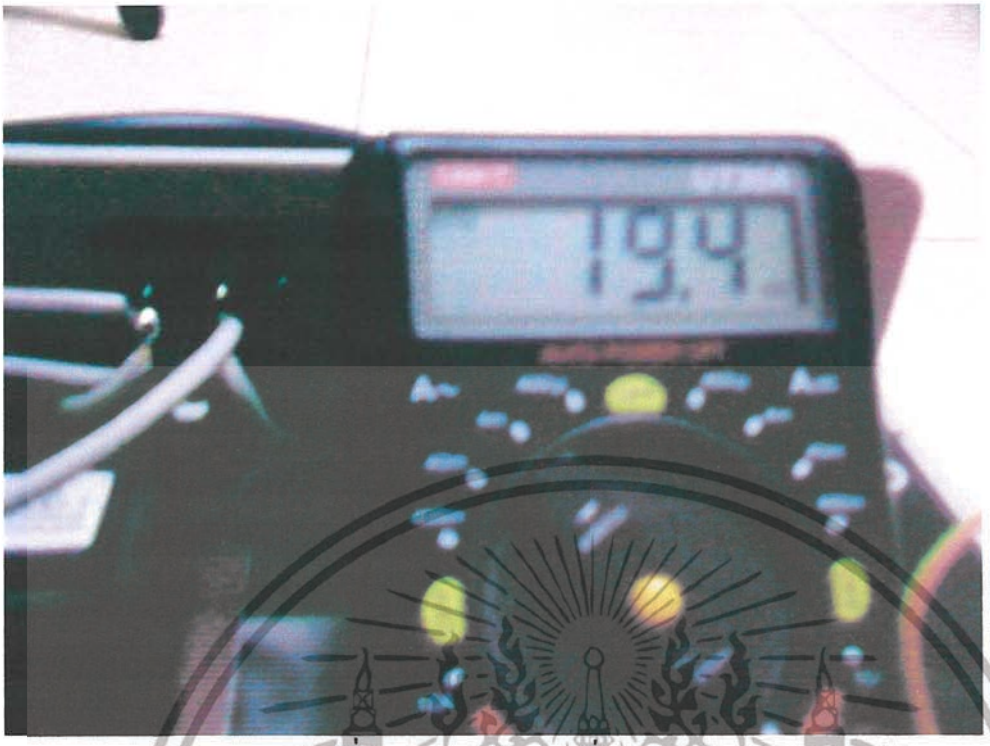

**รูปที่ 4.11** สัญญาณที่จุด Vi2 เทียบกับสัญญาณที่จุด Vi1 20mV/DIP ที่ความถี่ 339.33 Hz

**ที่จุด Vi3 ได้สัญญาณและขนาดดังรูปที่ 4.12 และ 4.13**




**รูปที่ 4.12** สัญญาณที่จุด Vi3 เทียบกับสัญญาณที่จุด Vi1 20mV/DIP ที่ความถี่ 139.75 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.13** ขนาดสัญญาณที่จุด Vi3

วงจรได้ทำการเปลี่ยนจากไฟกระแสสลับ เป็นแรงดันไฟตรงที่มีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของแรงดันไสลับ จากรูป ได้แรงดันไฟตรงอยู่ที่ 19.4 mV แล้วจึงเข้าไปสู่ A/D พอร์ทที่ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากส่วนของโปรแกรม

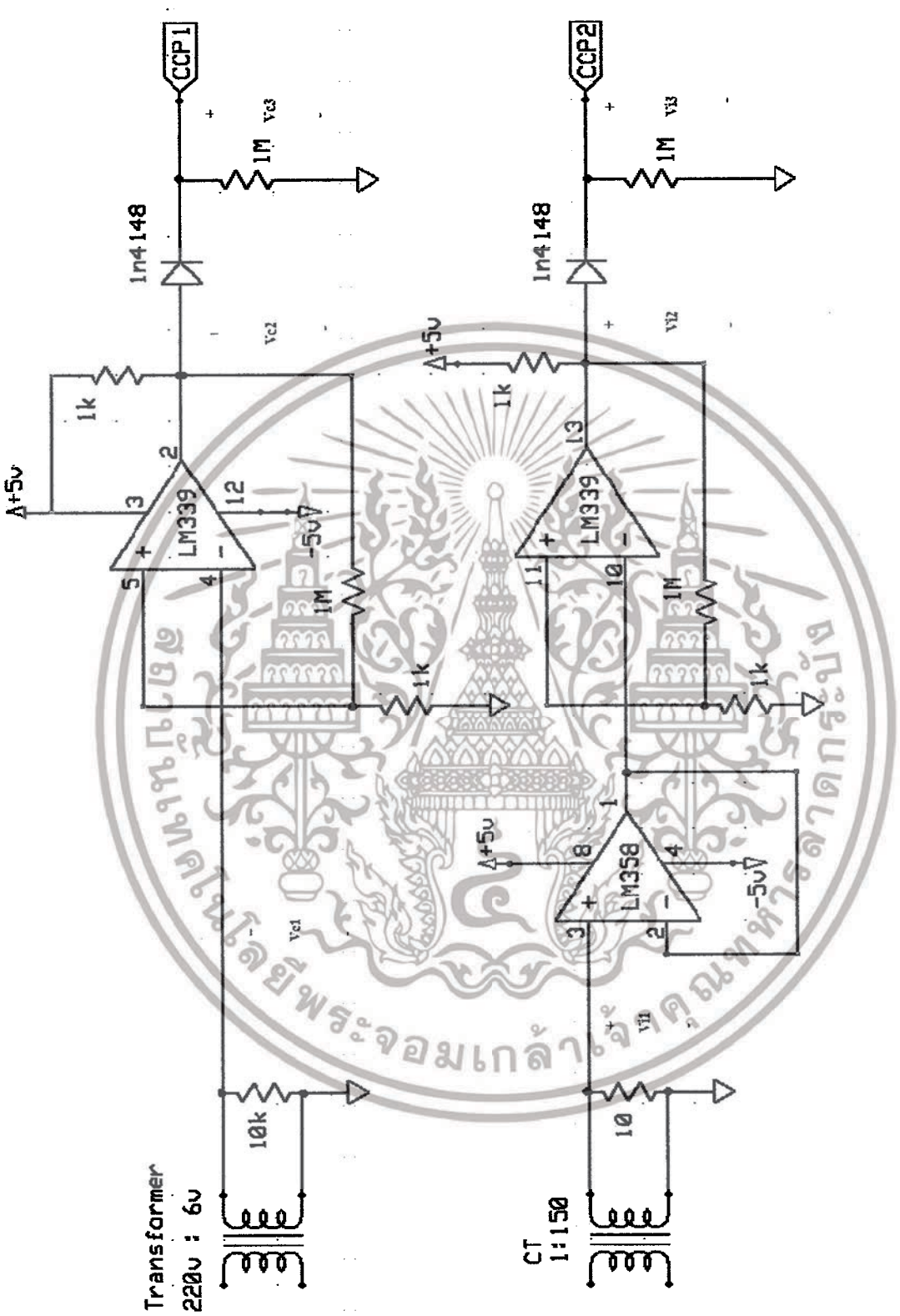
$$Irms = Vi3 \times 15 \div 1.414 \qquad (1)$$

จะได้ค่ากระแสที่พัดลมตั้งโต๊ะใช้ไป 0.206 Arms

หลังจากนี้จะนำไปทำการเปรียบเทียบกับ ข้อความสั้น ที่ได้ทำการส่งไปยังภาครับ แล้วตรวจสอบดูว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ ซึ่งจะขอกล่าวในหัวข้อผลการทดลองจากวงจรภาครับต่อไป

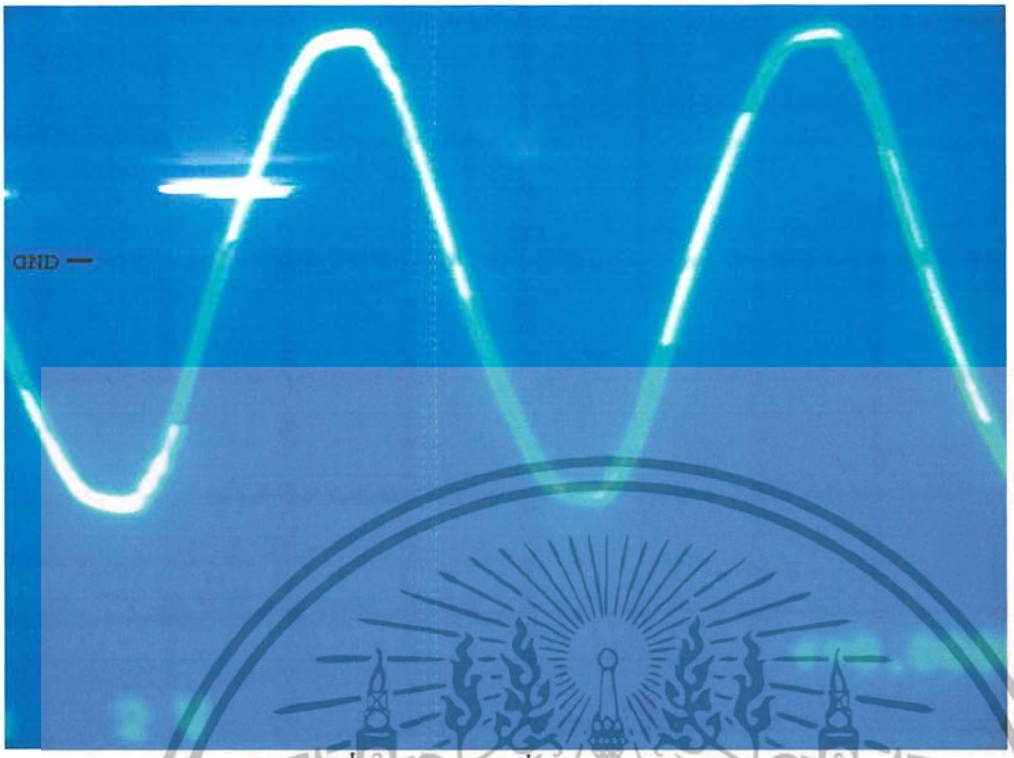
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ**




**รูปที่ 4.14** วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ 6 จุด

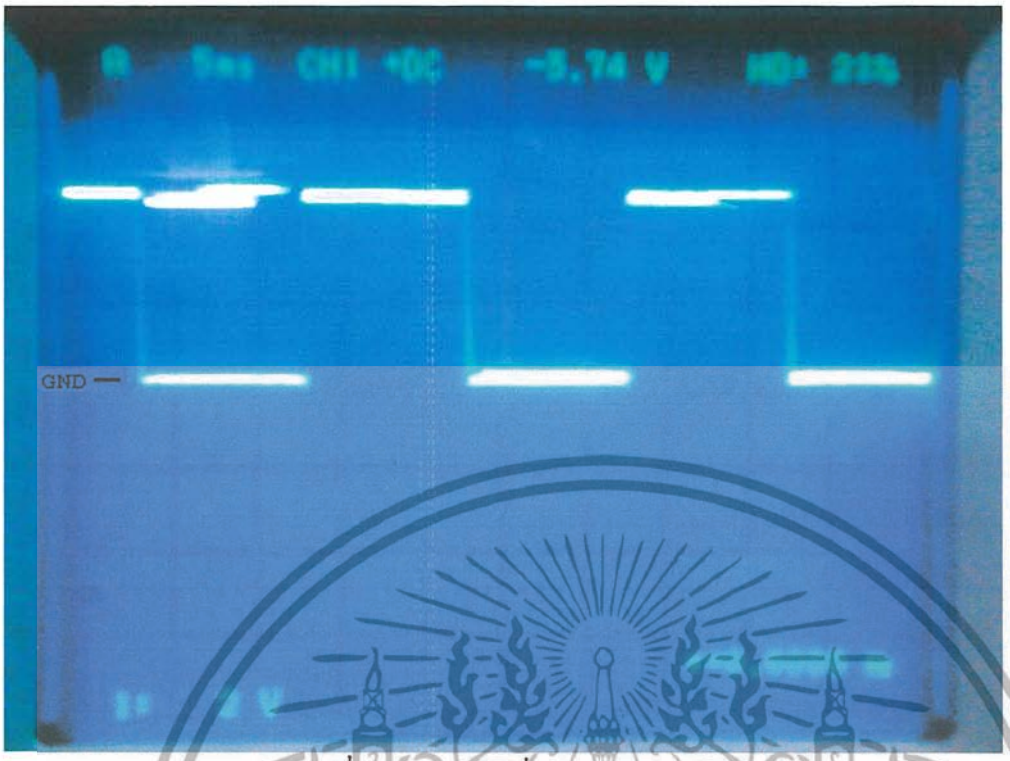
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



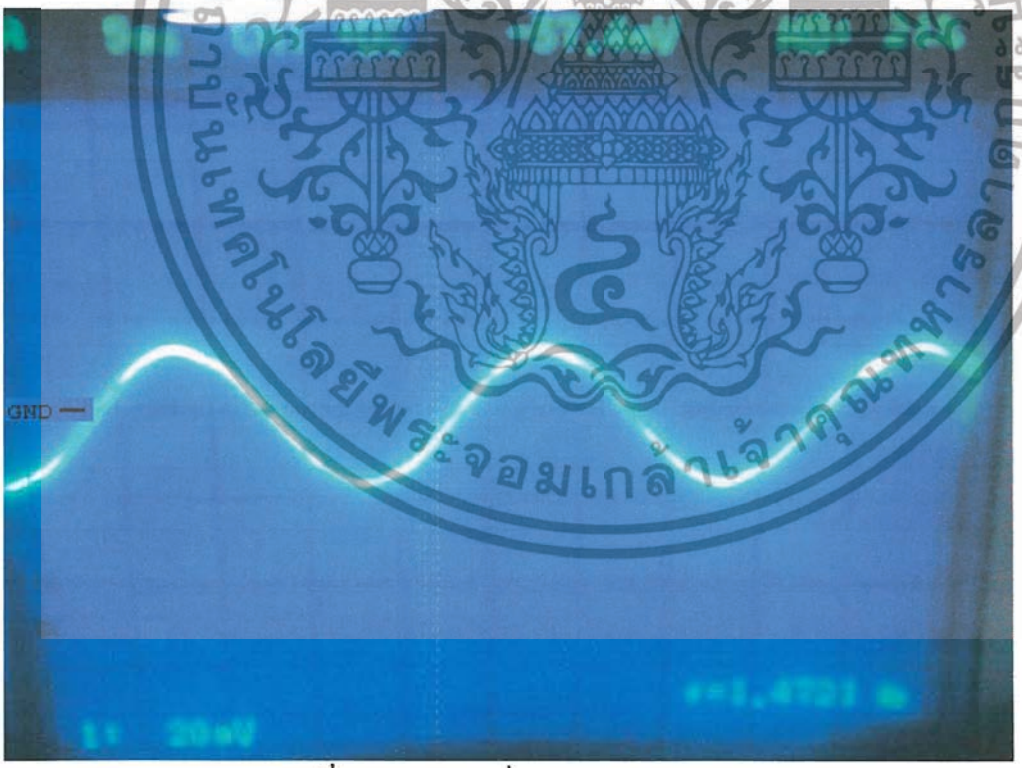

**รูปที่ 4.15** สัญญาณที่จุด Vc1 2V/DIP

**รูปที่ 4.16** สัญญาณที่จุด Vc2 2V/DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

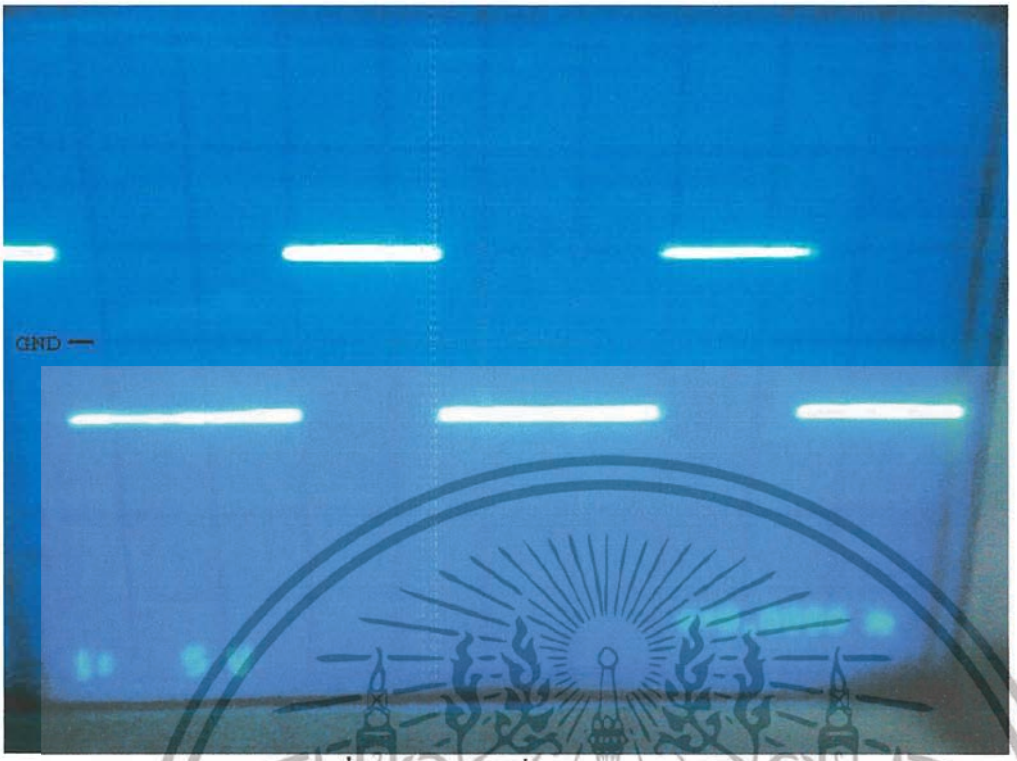



**รูปที่ 4.17** สัญญาณที่จุด Vc3 2V/DIP




**รูปที่ 4.18** สัญญาณที่จุด Vic1 20mV/DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

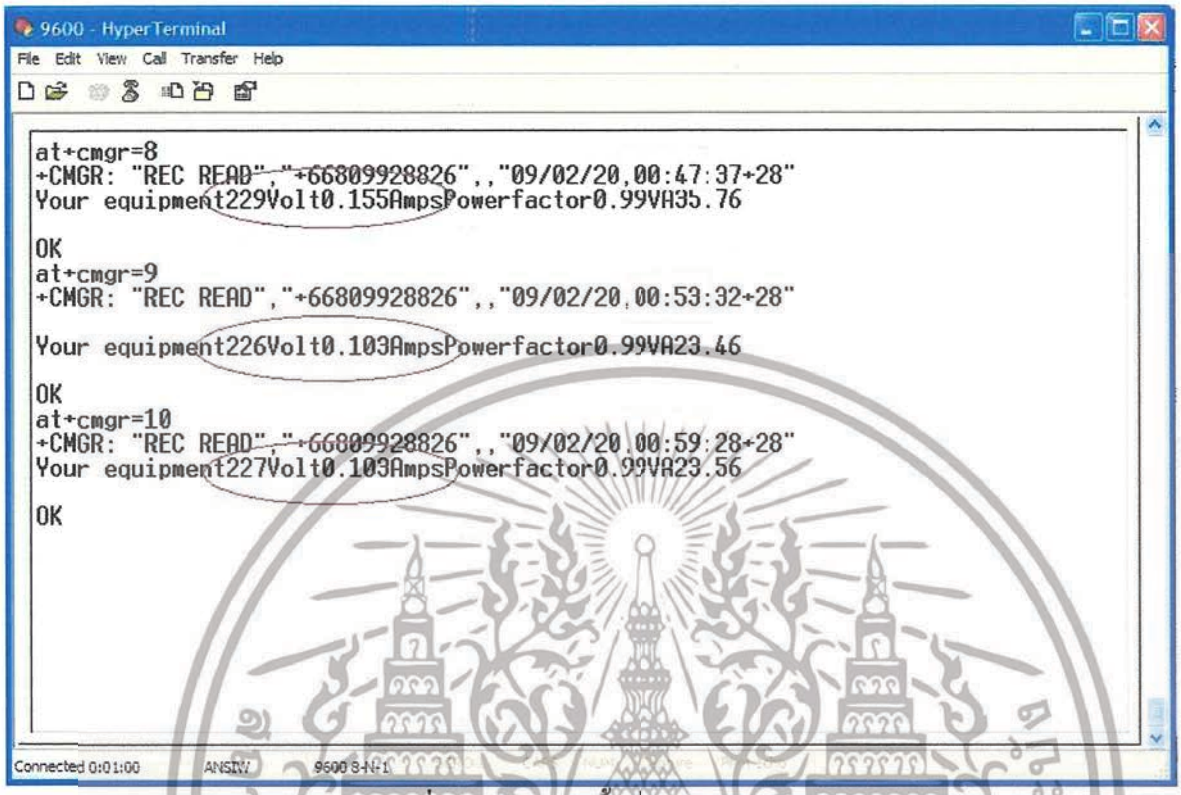



**รูปที่ 4.19** สัญญาณที่จุด Vic2 5V/DIP

**รูปที่ 4.20** สัญญาณที่จุด Vic3 5V/DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 ข้อความสั้นที่ได้รับ




**รูปที่ 4.21** ข้อความสั้นที่ได้รับ

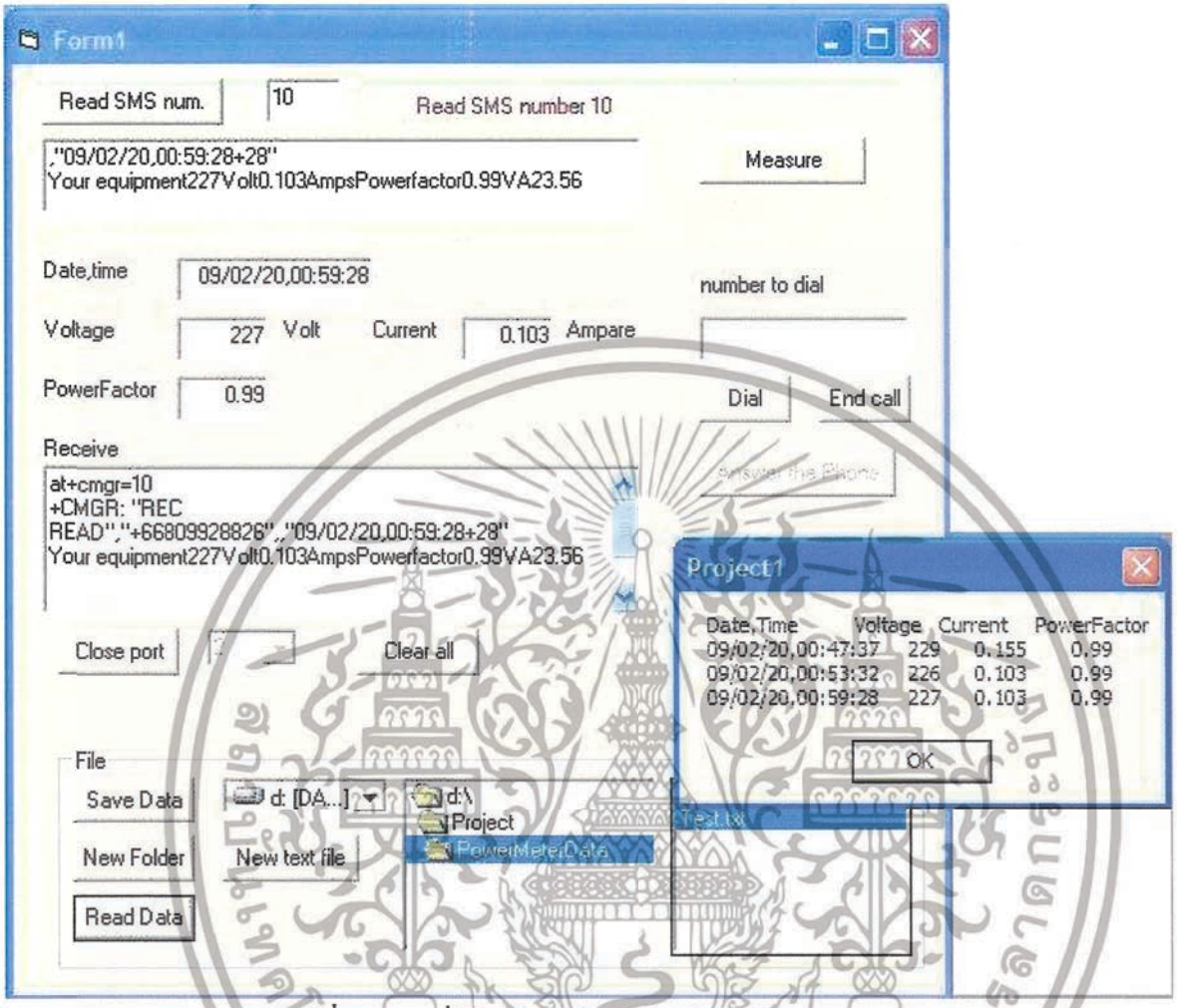
ในการทดลองได้ทำการวัดทุกๆ 5 นาที โดยมีการเปลี่ยนความเร็วใบพัดของพัดลม ตั้งแต่เบอร์ 3 เบอร์ 2 และ เบอร์ 1 แล้วทำการส่งข้อความไปที่ภาครับ เมื่อใช้โปรแกรม HyperTerminal ทำการอ่านค่าได้ดังนี้

| เบอร์พัดลม | แรงดัน | กระแส | พาวเวอร์แฟกเตอร์ | กำลังไฟฟ้าจริง |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 229 | 0.155 | 0.99 | 35.76 |
| 2 | 226 | 0.103 | 0.99 | 23.46 |
| 1 | 227 | 0.103 | 0.99 | 23.56 |

เทียบกับการวัดที่ภาคส่งที่มีแรงดัน 231 Vrms กระแส 0.169 Arms พบว่ามีความใกล้เคียงกันค่อนข้างสูง ส่วนค่าความผิดพลาดที่มีอาจเกิดจากจังหวะที่สั่งให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าจากพอร์ท A/D ซึ่งอาจจะอ่านได้ไม่ตรงกับมิเตอร์ที่วัดซะทีเดียว จึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 การอ่านค่าโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้น




**รูปที่ 4.22** ผลที่ได้จากการอ่านค่าโดยโปรแกรม

ค่าที่อ่านได้ และเก็บบันทึกไว้เป็น text file เป็นไปดังรูปที่ 4.22 ในรูปโปรแกรมยังไม่ได้ถูกออกแบบให้แสดงผลของกำลังไฟฟ้าจริง ซึ่งผู้จัดทำจะใช้เวลาที่เหลือในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

## 5.1 ประโยชน์ที่ได้รับสำหรับเครื่องมือชิ้นนี้

1) ได้ใช้ความรู้ที่ศึกษามาเพื่อที่จะทำการออกแบบส่วนต่างๆในโครงงานอย่างเต็มความสามารถ

2) ประหยัดเวลาในการเดินทางไปวัดเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุด โดยทำการติดตั้งเครื่องไว้แล้วทำการส่งข้อความสั้นกลับมายังภาครับได้เลย

3) สามารถรู้ได้ว่าจุดไหนใช้กำลังไฟฟ้าเท่าไหร่ บางจุดซึ่งอาจใช้แรงดันหรือกระแสมากผิดปกติก็สามารถส่งผู้ดูแลไปทำการแก้ไขซ่อมแซมได้

6) ได้เรียนรู้วิธีการเขียนภาษาซีในคำสั่งของ ไมโครคอนโทรลเลร์ ในการประยุกต์ใช้งานในวงจรจริง

7) รู้จักกระบวนการและวิธีการทำงานของ PIC 16F877

8) ฝึกทักษะการเขียนภาษา Visual Basic 6.0 ซึ่งจำเป็นในการใช้งานในอนาคต

## 5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

1) การหาซื้ออุปกรณ์เป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากโทรศัพท์มือถือที่รองรับการใช้งานกับพอร์ทอนุกรม จะเป็นโทรศัพท์รุ่นเก่าซึ่งหาซื้อได้ยาก

2) การศึกษาคำสั่ง AT Command ซึ่งเป็นเรื่องใหม่ไม่สามารถทำความเข้าใจได้โดยง่าย จำเป็นต้องอาศัยเวลาในการศึกษาและทดลองไปพร้อมกัน

3) ข้อมูลที่ทำการส่งจะอยู่ในรูป PDU mode ซึ่งเป็นการแปลงจากรหัส ASCII เป็นการแปลงที่มีความซับซ้อนค่อนข้างมาก และตัวอย่างที่เป็นการแปลงโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ยังมีตัวอย่างค่อนข้างน้อย

4) ส่วนของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า การทำการวัดกระแสที่มีกระแสน้อยๆนั้น ไม่สามารถใช้ Current Transformer ที่มีอยู่ในท้องตลาดได้ ทำให้ต้องทำการพันขึ้นมาเอง

5) ในส่วนของการทำกล่องบรรจุเครื่องมือ ต้องไปหาที่เจาะตามภาคอื่นๆ ซึ่งแม้ว่าภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์จะมีเครื่องมือพร้อมก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจากถูกทิ้งร้างไว้เฉยๆ ไม่มีผู้รับผิดชอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป**

1) นำไปพัฒนาเพื่อที่จะได้ทนกำลังวัตต์เยอะๆจะได้เข้าสู้การติดตั้งเพื่อใช้งานจริงตามโรงงานหรืออุปกรณ์ high voltage อื่นๆได้

2) ทำการติดต่อจากภาครับไปสู่ภาคส่ง เพื่อสามารถวัดได้ทุกเวลาที่เราต้องการ ซึ่งในขณะนี้ทำได้แต่เพียงตั้งเวลาในส่วนภาคส่งเพื่อให้วัดและส่งค่ากลับมาเท่านั้น ไม่สามารถสั่งทำการวัดจากภาครับได้

3) สร้างอุปกรณ์เพิ่มในวงจรถ้าเกิดเหตุไฟฟ้าขัดข้องจะมีสัญญาณเตือนและระบุตำแหน่ง

4) อาจเพิ่มเติมในส่วนของการอัพโหลดข้อมูล เพื่อที่จะสามารถส่งข้อมูลเข้าไปสู่อินเตอร์เนตซึ่งสามารถออนไลน์ได้ทั่วถึงกัน

**5.4 สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองทุกอย่างอุปกรณ์นี้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ตามที่ระบุไว้ คือ การวัดแรงดัน กระแส และพาวเวอร์แฟคเตอร์ ได้โดยละเอียด แต่ในการทดลองได้ทำการวัดเฉพาะเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเท่านั้น แต่โดยหลักการในการวัดแล้ว สามารถนำหลักการจากโครงงานนี้ไปใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างถูกต้อง แต่อาจปรับเปลี่ยนบางอย่างเพื่อความเหมาะสมในแต่ละงานไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

## หนังสืออ้างอิง

1.PICWorksExamplesandCSourceCode"เรียนรู้การเขียนโปรแกรมควบคุม PIC MCU จากตัวอย่างและโค้ดภาษา C ด้วย CCS C คอมไพเลอร์"

2.ไชยชาญ หินเกิด, "หม้อแปลงไฟฟ้า"

3. ปรมาภรณ์ เนตรวิกรม, "เครื่องส่ง SMS ผ่านมือถือ", หนังสือเซมิอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 267/2547

4. ประภาพร ช่างไม้, "คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับผู้เริ่มต้น"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้