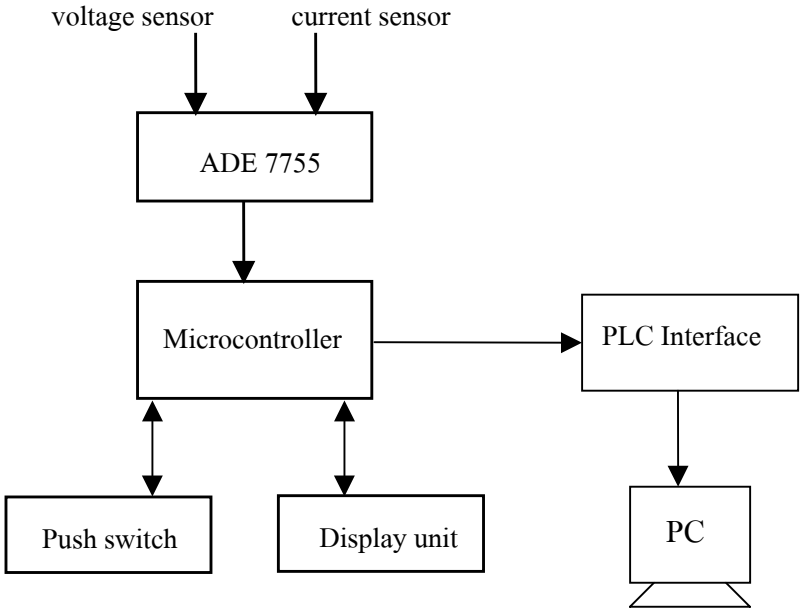
# บทที่ 3

## การออกแบบส่วนตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

จากความรู้พื้นฐานของการทำงานของมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงทั่วไป มีโครงสร้างเป็นแบบขดลวดจานหมุน นำไปสู่แนวทางในการออกแบบมาตรวัดแบบโซลิตสเตต ซึ่งมาตรวัดประเภทนี้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำในการทำงาน เนื่องจากการทำงานไม่มีความล้าของวัสดุในทางกล และเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วน โดยมีการแสดงค่าพลังงานไฟฟ้ามายังเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เป็นตัวเก็บข้อมูลของมาตรวัดแต่ละตัว โดยส่งผ่านข้อมูลทางสายส่งกำลังไฟฟ้า (Power line carrier-PLC) ซึ่งในบทนี้ จะอธิบายขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบและการพัฒนามาตรวัดพลังงานไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ โดยผ่านทางเครือข่ายไฟฟ้ากำลังหลัก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน คือการออกแบบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นตัวเก็บข้อมูลของมาตรวัดแต่ละตัว ในส่วนของมาตรวัด ได้พิจารณาใช้วงจรรวมสำเร็จรูปของบริษัท ANALOG DEVICES เบอร์ ADE 7755 และส่วนประมวลผลพลังงานไฟฟ้าแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาตรวัดแต่ละตัว โดยส่งผลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้ภาษา Visual basic ในการเขียนโปรแกรมประยุกต์บนคอมพิวเตอร์ซึ่งจะแสดงข้อมูลต่าง ๆ อาทิ บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า,อัตราการรับ ส่ง ข้อมูล (Baud rate) ,การตรวจสอบข้อมูล (Cheak parity) ท้ายบท สรุปถึงโครงสร้างของระบบการทำงานของมาตรวัด เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจระบบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าแบบรวมศูนย์มากยิ่งขึ้น

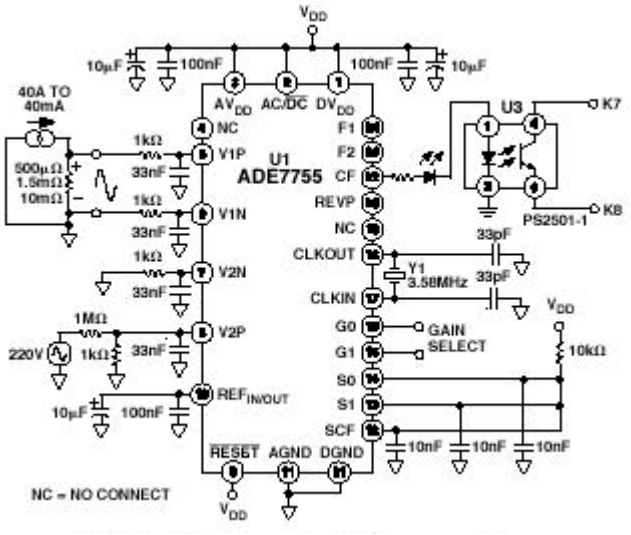
### 3.1 การทำงานของมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากการศึกษาหลักการทำงานและองค์ประกอบต่างๆ ของมาตรวัด ทำให้สามารถนำหลักการมาใช้ในการออกแบบตัวตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 3-1




ภาพประกอบ 3-1 แผนผังเครื่องตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ลักษณะจุดเด่นของวงจรสำเร็จรูป ADE 7755 ซึ่งเป็นวงรวมสำหรับแปลงค่าผลคูณของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสให้เป็นความถี่ (Product-to-frequency converter) สำหรับการคำนวณค่าพลังงาน โดยใช้อัตราการชักตัวอย่าง 900,000 ตัวอย่างต่อวินาที แปลงค่าเป็นสัญญาณดิจิตอล 16 บิต ด้วยกระบวนการซิกมา-เดลต้า ซึ่งภายในบรรจุวงจรกรองสัญญาณไว้แล้ว โดยโครงสร้างภายในของ ADE 7755 จะมีค่าการตรวจวัดที่มีความแม่นยำสูง ตามมาตรฐานของ IEC 687/1036 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดน้อยกว่า 0.1 % โดยการออกแบบสำหรับการวัดแรงดัน 220 โวลท์ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ พิกัดกระแส 45 แอมแปร์ (3.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง)ให้ผลการวัด 100 ให้ผลการวัด 100 พัลส์ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง (PPKWHR) ในการดำเนินงานจะทำการชักตัวอย่างสัญญาณแรงดันผ่านช่องสัญญาณ 2 และชักตัวอย่างกระแสผ่านทางช่องสัญญาณ 1 ซึ่งภาพประกอบ 3-2 แสดงถึงส่วนตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วงจรเบอร์ADE 7755 และภาพประกอบที่ 3-3 แสดงถึงการวางขาและขนาดของวงจรเบอร์ ADE 7755




ภาพประกอบ 3-2 ส่วนตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วงจรรวมเบอร์ ADE 7755

(ที่มา:www.analog.com/ADE7755)

คำนวณความถี่ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

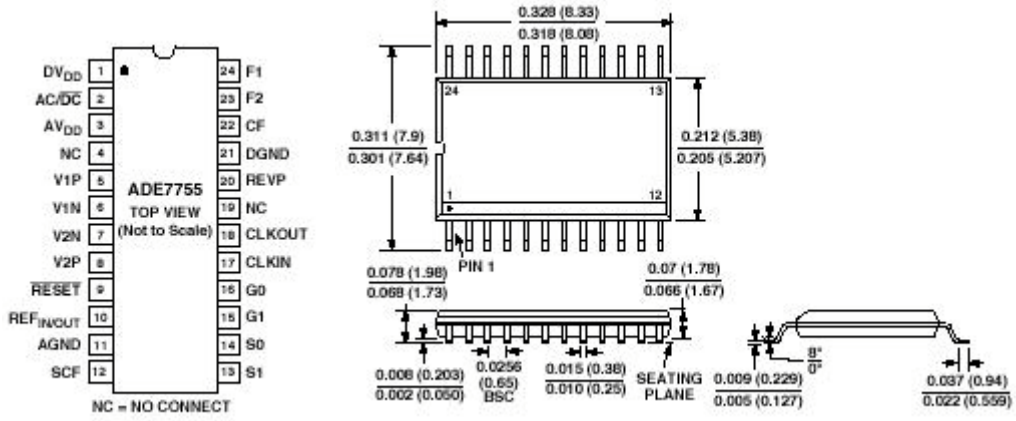
$$100\ PPKHWR = \frac{100\ Pulses}{(3,600\,\text{sec})(1kW-h)}$$

$$= \quad 0.02777 \quad \text{Hz/kW}$$

ดังนั้นที่พิกัด 3.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จะให้สัญญาณที่ขาออกในเวลา 1 ชั่วโมงเป็น

f = (0.0277 Hz/kW)(3.3kW)

f = 0.0196 Hz

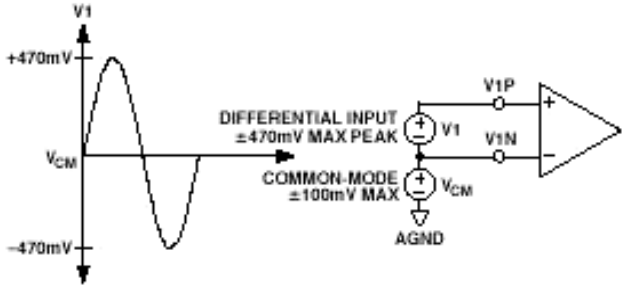



ภาพประกอบ 3-3 การวางขาและ ขนาด

(ที่มา:www.analog.com/ADE7755) (ที่มา:www.analog.com/ADE7755)

**3.1.1 สัญญาณกระแส (Current signal)**

เป็นสัญญาณแรงดันในรูปของสัญญาณกระแสซึ่งต่อเข้าทางด้านช่อง V1(Channel 1) ของวงจรสำเร็จรูป ADE 7755 โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าสูงสุดไม่เกิน ± 470 มิลลิโวลท์ โดยเปรียบเทียบแรงดันอินพุท ที่เข้าระหว่างขา V1P และ V1N ดังภาพประกอบ 3-4




ภาพประกอบ 3-4 สัญญาณกระแส ช่องสัญญาณ V1

(ที่มา: www.analog.com/ADE7755)

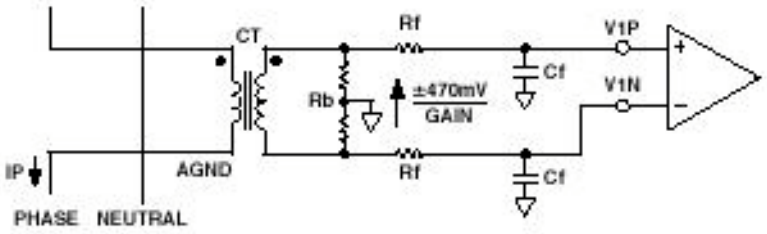
โดยที่ค่าแรงดันสูงสุดของช่องสัญญาณ V1 นี้ต้องไม่เกิน ± 470 มิลลิโวลท์ หรือประมาณ 330 มิลลิโวลท์ ของแรงดันประสิทธิผลและที่ช่องสัญญาณ V1 นี้สามารถเลือกใช้อัตราขยาย (Programmable gain amplifier) ได้ 4 ค่า ซึ่งในการออกแบบสัญญาณกระแสได้ใช้ค่า Gain = 1 ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 อัตราขยายในการออกแบบสัญญาณกระแส

(ที่มา: www.analog.com/ADE7755)

| G1 | G0 | Gain | Maximum Differential Signal |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | ±470 mV |
| 0 | 1 | 2 | ±235 mV |
| 1 | 0 | 8 | ± 60 mV |
| 1 | 1 | 16 | ± 30 mV |

ในส่วนของสัญญาณกระแสที่ช่องสัญญาณ 1 (Channel 1)ทำการออกแบบโดยใช้แกนเฟอร์ไรท์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอก 28 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางวงใน 14 มิลลิเมตร มีความหนาของแกน 10 มิลลิเมตร โดยใช้ลวดเบอร์ 42 พันรอบแกนจำนวน 500 รอบ โดยทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน โดยใช้ค่าความต้านทาน 5 โอห์ม ดังภาพประกอบ 3-5 รูปแบบวงจรสัญญาณกระแส

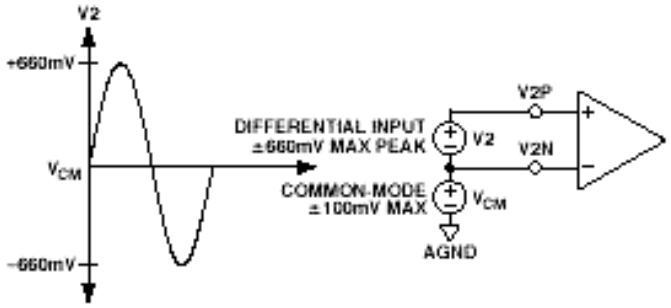



ภาพประกอบ 3-5 รูปแบบวงจรสัญญาณกระแส

(ที่มา: www.analog.com/ADE7755)

**3.1.2 สัญญาณแรงดัน (Voltage Channel)**

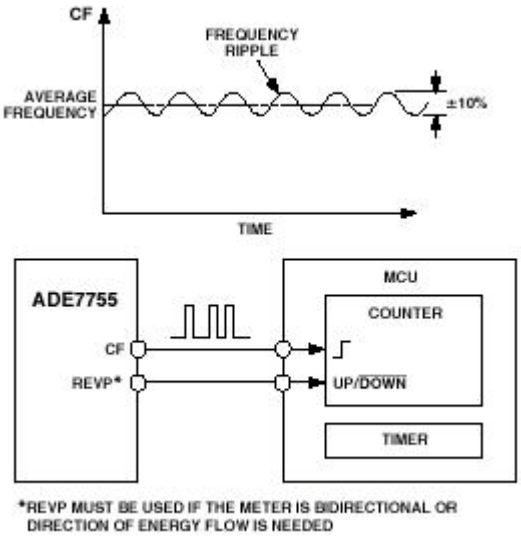
เป็นสัญญาณแรงดันซึ่งต่อเข้าทางด้านช่อง V2(Channel 2) ของ วงจรสำเร็จรูป ADE 7755 โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าสูงสุดไม่เกิน ± 660 มิลลิโวลท์ โดยเปรียบเทียบแรงดันอินพุท ที่เข้าระหว่างขา V2P และ V2N ดังภาพประกอบ 3-6




ภาพประกอบ 3-6 สัญญาณแรงดัน ช่องสัญญาณ V2

(ที่มา: www.analog.com/ADE7755)

การเชื่อมต่อระหว่างวงจรสำเร็จรูป ADE7755 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลพลังงานไฟฟ้าโดยต่อเอาท์พุทเข้าที่ขา CF (Calibration Frequency Logic Output) ดังภาพประกอบ 3-7




ภาพประกอบ 3-7 การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

(ที่มา: www.analog.com/ADE7755)

**3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์**

ในขั้นตอนการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเชื่อมต่อกับ ADE 7755 ได้พิจารณาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 16F877 ของบริษัท Microchip technology ซึ่งติดตั้งอยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป V-10 ของบริษัทอีทีทีจำกัด และเพิ่มเติม DS1307 ของบริษัท Dallas semi conductor โดยสามารถเก็บรักษาข้อมูลเกี่ยวกับเวลา (RTC) ไว้ได้ในขณะไฟดับ โดยใช้แบตเตอรีแบ็คอัพขนาด 3 โวลท์ และสามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก RTC ด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น($I^2C$) ส่วนแสดงผลเป็นจอผลึกเหลว (LCD) ชนิด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด โดยคุณสมบัติที่น่าสนใจของ CP-PIC877 V1 มีดังนี้คือ

คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด CP-PIC877 V1

- ใช้ CPU PIC 16F877 RUN 4 MHZ
- ON CHIP FLASH PROGRAM MEMORY 8K x 14 WORDS
- ON CHIP 368 BYTES RAM / 256 BYTES EEPROM
- 31 BIT I/O PORT ใช้งานของ CPU บนบอร์ด CP-PIC877 V1.0 (34 PIN I/O ET-BUS)
- PORT แบบ SPI , I2C , RS232 ,RS422/485 (OPTIONS)
- กระแสสำหรับทำการซิงค์/ซอร์สสูงสุด (HIGH SINK / SOURCE CURRENT) 25 MA
- TWO CAPTURE , COMPARE , PWM MODULES
- ระบบ RTC ใช้ชิพ DS1307 (OPTIONS)
- Serial EEPROM 24XX (OPTIONS)
- POWER ON RESET/WATCHDOG TIMER
- A-TO-D ขนาด 10 BIT 8 CH (On Chip)
- LCD PORT 14 PIN ET-BUS ... สำหรับ LCD แบบตัวอักษร
- 7805 POWER SUPPLY ON BOARD
- PCB SIZE CP-PIC877V1.0 12 x 8.5 cm

**3.3 การเชื่อมต่อ PIC16F877 กับโมดูล LCD แบบอักขระ**

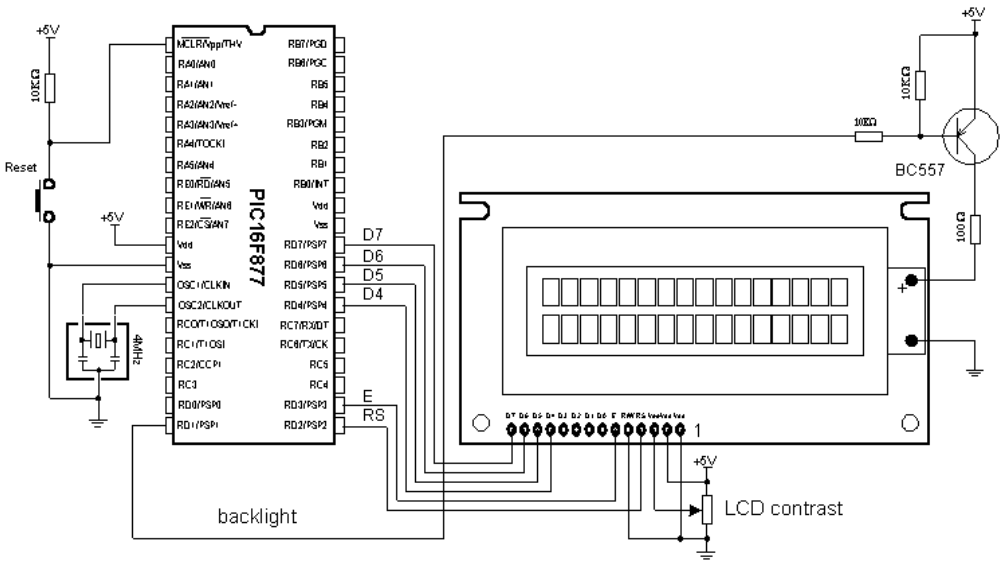
ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนคือ

3.3.1 ตัวแสดงผล(Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

3.3.2 ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ ชิปที่นิยมใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะควบคุม LCD แบบอักขระ ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

3.3.3 ตัวขับ(Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

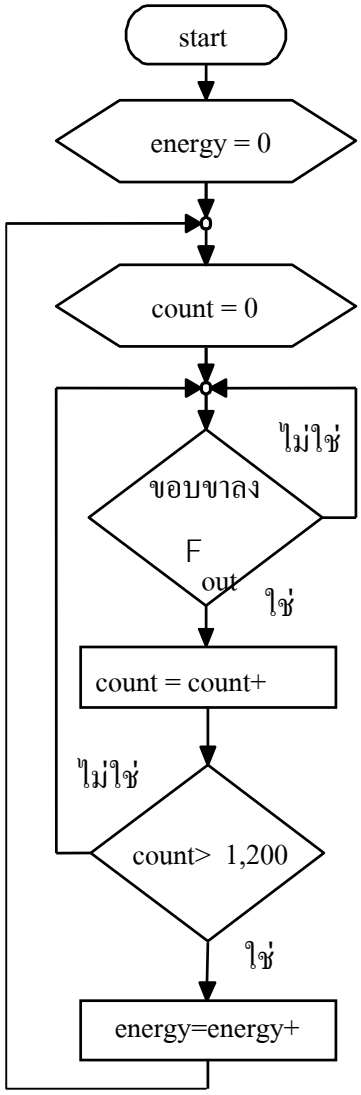
ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้โหมด LCD แสดงผลตามที่ต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อนจากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (data)ที่ต้องการแสดงผล เนื่องจากบัสข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอจิก “0” คือข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่ง ในทางตรงข้ามหากที่ขา RS ได้ลอจิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล ภาพประกอบที่ 3-8 แสดงวงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 กับโมดูล LCD แบบอักขระในโหมด 8 บิท




ภาพประกอบ 3-8 การต่อโมดูล LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ขนาด 8 บิท

**3.4 โปรแกรมนับสัญญาณพัลส์**

ในส่วนของการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานตัวนับหมายเลข 0 (Counter 0) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำการควบคุมให้นับทำงานในโหมด 2 และรับสัญญาณกระตุ้นจากขา Fout ของ ADE7755 ซึ่งทำการนับที่ขอบขาลงของพัลส์ และอาศัยการขัดจังหวะของตัวนับ 1,200 พัลส์ ในการเก็บบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าทุกๆ 0.1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 3-9




ภาพประกอบ 3-9 แผนภูมิการแปลงผล พลังงานจากสัญญาณพัลส์

**3.5 การสร้างฐานเวลาจริง**

อาศัยการสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงด้วยวิธีทางซอฟท์แวร์ โดยอาศัยการวนรอบ (loop) และการใช้วงจรนับหมายเลข 2 (Counter2) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ วิธีนี้มีข้อดีคือประหยัดพอร์ทในการติดต่อทางฮาร์ดแวร์, มีความเร็วในการทำงานสูง (ถ้าทำการนับโดยอาศัยหน่วยความจำสแต็กและการขัดจังหวะ) และทำการติดต่อใช้งานได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือไมโครคอนโทรลเลอร์จะเสียเวลาช่วงหนึ่งในการควบคุมการนับและตรวจสอบเงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งขณะนี้อยู่ในช่วงการทดสอบโปรแกรมในการใช้งานจริง โดยที่ผ่านมายังไม่พบปัญหาแต่อย่างใด

ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยคำสั่งการตรวจสอบเงื่อนไขและการกระโดด สร้างวงรอบ (Loop) เพื่อทำการนับและหน่วงเวลาจนถึงช่วงเวลาที่กำหนดไว้

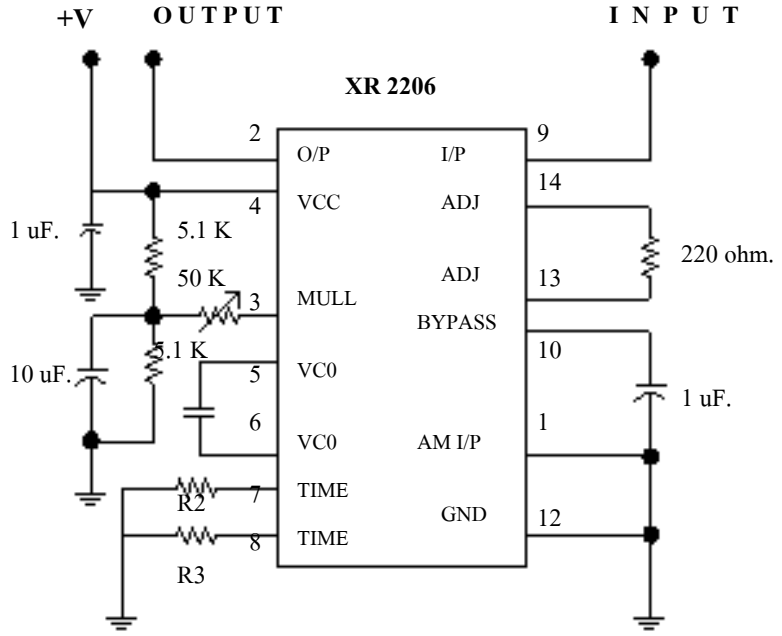
$$\text{ช่วงเวลาของ 1 วงรอบ} = \frac{\text{จำนวนพัลส์ในวงรอบแมชชีนทั้งหมด}}{\text{ความถี่คริสตัลของระบบหรือความเร็วสัญญาณนาฬิกาของระบบ}}$$

ดังนั้นหากกำหนดให้แต่ละ 1 วงรอบย่อยมีเวลาในการทำงานเท่ากับ 1 วินาทีได้ เมื่อทำการนับครบ 60 ครั้ง จะได้เวลาเท่ากับ 1 นาที, เมื่อทำการวนรอบการนับนาทีครบ 60 ครั้ง จะได้เวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง และและเมื่อทำการวนรอบการนับชั่วโมงครบ 24 ครั้ง จะได้เวลาเท่ากับ 1 วัน ดังนั้นถ้าทำการกำหนดการตรวจสอบเงื่อนไขต่าง ๆ เป็นลำดับต่อเนื่องกันไป จะสามารถได้รับค่าเวลาฐานนาฬิกาปัจจุบันในที่สุด สำหรับคุณสมบัติโดยทั่วไปของโปรแกรม RTC ที่สร้างขึ้นมาเป็นดังนี้

- สามารถให้เอาท์พุตเป็น วินาที, นาที, ชั่วโมง, วัน, วันที่, เดือน และปีพุทธศักราชได้
- สามารถปรับเปลี่ยนลำดับวันที่ได้ถูกต้องในปีอธิกสุรทินโดยอัตโนมัติ
- สามารถนำเอาค่าต่าง ๆ ในการนับไปตั้งเป็นเงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ ได้ง่าย

**3.6 การผสมสัญญาณผ่านทางสายไฟฟ้า**

**3.6.1 FSK มอดูเลเตอร์** สัญญาณควบคุมที่ผ่านวงจรตัวเชื่อมโยง จะเป็นสัญญาณดิจิตอล คือมีค่าเป็นลอจิก “0” กับ “1” เท่านั้น แต่สัญญาณที่ต้องการใช้ในการผสมสัญญาณผ่านทางสายไฟฟ้าเอซี นั้นต้องเป็นสัญญาณความถี่ที่มีความแตกต่างกันอยู่ 2 ความถี่ ดังนั้นจะต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้เป็นความถี่ก่อน โดยการใช้วงจร FSK มอดูเลอเตอร์ เพื่อจะแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นรหัส FSK(FREQUENCY SHIFT KEYING) เพื่อความเหมาะสมในการผสมสัญญาณเข้าไปในสายไฟฟ้า ซึ่งมีสัญญาณรบกวนมาก และเป็นสายธรรมดาที่มีแบนด์วิดท์แคบมาก ซึ่งหัวใจการทำงานภาคนี้อยู่ที่ไอซี เบอร์ XR-2206 โดยมีวงจรดังภาพประกอบ 3-10




ภาพประกอบ 3-10 แสดงวงจร FSK มอดูเลเตอร์

สูตรในการคำนวณหาค่า R และ C ของ XR-2206

$$f_1 = 1/(R_1C) \quad (1)$$

และ $$f_2 = 1/(R_2C) \quad (2)$$

เมื่อ $f_1$ คือความถี่เอาท์พุท เมื่ออินพุทเป็น “1” (MARK)

$f_2$ คือความถี่เอาท์พุท เมื่ออินพุทเป็น “0” (SPACE)

$R_1$ คือค่า R ที่ขา 7

$R_2$ คือค่า R ที่ขา 8

C คือค่า C ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 5 และ 6

โดยกำหนดให้ $f_1$ = 1,200 Hz.

$f_2$ = 2,200 Hz.

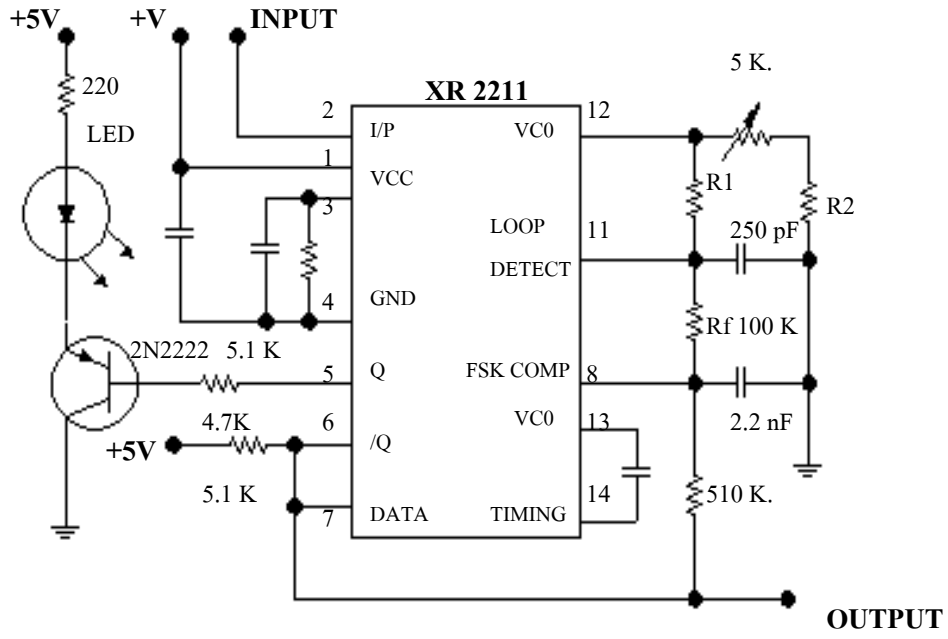
C = 1 nF

ดังนั้นจะได้ R1 = 833.33 Kohms.

R2 = 454.54 Kohms.

**3.6.2 FSK ดีมอดูเลเตอร์**

สัญญาณที่ออกมาจากภาค FSK ดีมอดูเลเตอร์ นี้จะเป็นสัญญาณ FSK ที่มีลักษณะสัญญาณเหมือนกับสัญญาณที่ออกมาจากภาคส่ง ก่อนที่จะนำมาเข้าสู่วงจร FSK DEMODULATOR โดยใช้ไอซี XR-2211 เป็นหัวใจในการทำงาน สัญญาณ FSK ก็จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นสัญญาณดิจิตอลอนุกรม ซึ่งก็คือข้อมูลที่ได้มาจากภาคเข้ารหัสนั่นเอง ดังภาพประกอบ 3-11




ภาพประกอบ 3-11 แสดงวงจร FSK ดีมอดูเลเตอร์

สูตรการคำนวณของ XR-2211

$$f0 = (f1+f2) / 2 \text{ Hz.} \quad (3)$$

$$C0 = 1/(R0f0) \text{ Hz.} \quad (10 \text{ K} < R0 < 100 \text{ K}) \quad (4)$$

เมื่อ

C0 คือ ค่า C ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 13 และ 14

R0 คือ ค่า R ที่ต่อกับขา 12 และกราวด์

Cf คือ ค่า C ที่ต่อกับขา 8 และกราวด์

ดังนั้นสมมารถคำนวณได้ดังนี้

$$f0 = (1,200+2,200)/ 2$$

$$= 1,700 \text{ Hz.} \quad (5)$$

$$Co = 0.027 \text{ uF.}$$

$$R0 = 21,786 \text{ ohms.}$$

$$= 21.786 \text{ Kohms.} \quad (6)$$

$$Cf = 3/1,200$$

$$= 0.0025 \text{ uF.} \quad (7)$$

สำหรับค่า R0 ใช้ค่า 18 kohm ต่ออนุกรมกับ VR 5 kohms

**3.6.3 ตัวส่งสัญญาณเอฟ เอส เค (FSK Transmitter)**

ในสัญญาณแบบไบนารี่ เอฟ เอส เค (Binary FSK) ความถี่พาหะ (Carrier Frequency) จะถูกเลื่อนไปด้วยค่าข้อมูลในรูปเลขฐานสอง (Binary Data Input) ดังนั้นเอาท์พุทของ เอฟ เอส เค

มอดูเลเตอร์ (FSK Modulator) จึงมีลักษณะเป็นสเต็ปฟังก์ชัน (Step Function) ในรูปของความถี่ เมื่อสัญญาณแบบไบนารี่ที่ถูกป้อนเข้ามาเปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” สัญญาณเอาท์พุทของเอฟ เอส เค จะเลื่อนไปมาระหว่างสองความถี่ สถานีรับและสถานีส่งจะใช้ความถี่ต่างกันในการมอดูเลทของสัญญาณลอจิก “0” และสัญญาณลอจิก “1” การดีมอดูเลทต้องให้ตรงข้ามกับความถี่ฝ่ายตรงข้ามที่ส่งมา เช่น โมเด็ม 103 ในกรณีที่ฝ่ายส่ง จะส่งสัญญาณลอจิก “1” ด้วยความถี่ 1,270 Hz. และลอจิก “0” ด้วยความถี่ 1,070 Hz.

**3.6.4 แบนด์วิธ (Bandwidth) ของเอฟ เอส เค**

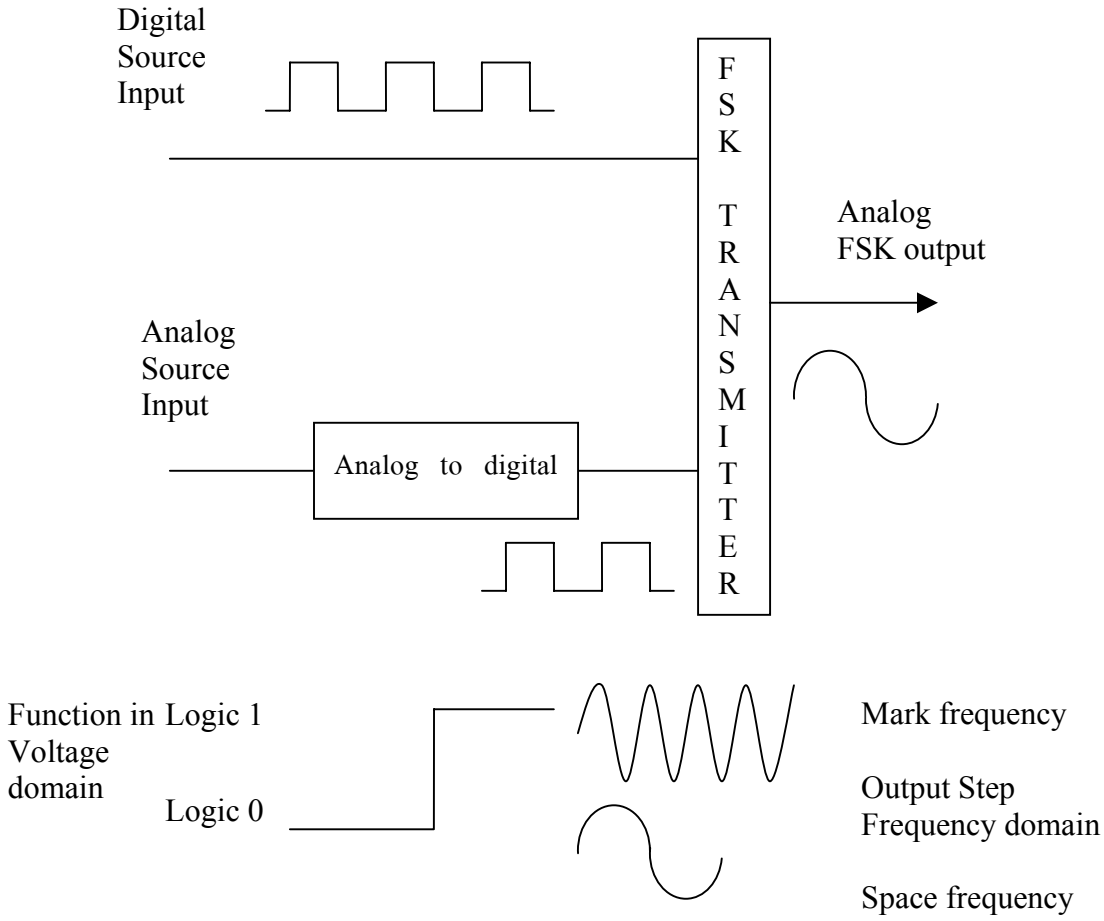
แบนด์วิธเป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเมื่อออกแบบ ตัวส่งเอฟ เอส เค ซึ่งแบนด์วิธของเอฟ เอส เค มีลักษณะเหมือนกับของเอฟเอ็มทั่วไป และสามารถอธิบายได้โดยหลักการคล้ายคลึงกัน ภาพประกอบ 2-10 แสดงถึงเอฟ เอส เค มอดูเลเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องส่งแบบเอฟ เอ็ม แบบหนึ่งโดยใช้ VCO (Voltage Control Oscillator) ความถี่ $f_0$ ของ VCO จะถูกตั้งให้อยู่ตรงกลางระหว่างความถี่ในสภาวะมารค์ (Mark) และสเปซ (Space) ถ้าอินพุทอยู่ในสภาวะลอจิก “1” จะทำให้ความถี่ของ VCO ถูกเปลี่ยนจากความถี่ $f_0$ ไปยังความถี่ของระดับสัญญาณมารค์ (Mark) และที่อินพุทอยู่ในสภาวะลอจิก “0” ความถี่ของ VCO จะถูกเปลี่ยนไปยังความถี่ของระดับสัญญาณสเปซ (SPACE) ดังนั้นถ้าอินพุทเป็นสัญญาณไบนารี่ ซึ่งเปลี่ยนจากระดับลอจิก “1” ไปเป็นลอจิก “0” หรือกลับกันความถี่เอาท์พุทของ VCO จะเปลี่ยนไปมาระหว่างความถี่มารค์และความถี่สเปซ และเนื่องจาก เอฟ เอส เค เป็นรูปแบบของหนึ่งของเอฟเอ็ม สูตรของ ดัชนีการมอดูเลชั่น (Modulation Index) ของ FSK จึงเหมือนกับของ FM ดังภาพประกอบ 3-12

โดยที่

ดัชนีการมอดูเลชั่น (MI) = F/Fa (8)

F = Freq. Deviation (Hz.)

Fa = Modulating Frequency (Hz.)




ภาพประกอบ 3-12 ตัวส่งสัญญาณเอฟ เอส เคแบบไบนารี่
(ที่มา;ระบบเครือข่ายภายในบ้าน 2,2537)

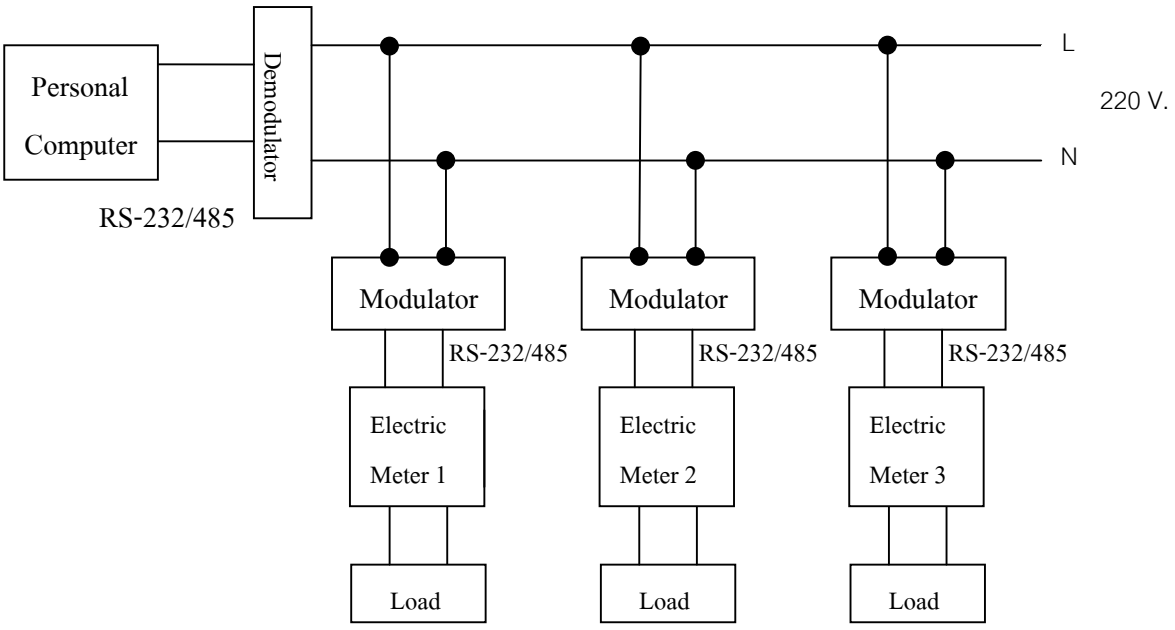
**3.6.5 ตัวรับเอฟ เอส เค (FSK Reciever)**

วงจรที่ใช้ในการดีมอดูเลท สัญญาณเอฟ เอส เค แบบทั่วๆ ไป คือเฟส ล๊อค ลูป (Phase Locked Loop-PLL) เฟสล็อคลูป เอฟ เอส เค ดีมอดูเลเตอร์(PPL FSK Demodulator) กับเฟส ล็อค ลูฟ เอฟ เอ็ม ดีมอดูเลเตอร์(PPL FM Demodulator) จะทำงานในลักษณะเดียวกัน อินพุทที่เข้าเฟส ล็อคลูป จะเลื่อนไปมา อยู่ระหว่างความถี่ของมาร์คและสเปซ ดังนั้น ค่าคลาดเคลื่อนของแรงดันตรง (DC Error Voltage) ที่เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบเฟส) จะมีค่าแปรตามความถี่ที่เลื่อนไปนี้ แต่เนื่อง

จากมีความถี่อินพุทเพียง 2 ความถี่เท่านั้นโดยค่าหนึ่งจะแทนลอจิก “1” และอีกค่าหนึ่งจะแทนลอจิก “0” เท่านั้น เอาท์พุทจึงมีระดับโวลท์เตจเพียง 2 ระดับเป็นลักษณะของไบนารี่ ซึ่งเป็นผลจากอินพุทที่เป็นแบบเอฟ เอส เค โดยทั่วไปความถี่ $f_0$ ของเฟส ล็อค ลูฟ จะถูกทำให้มีค่าเท่ากับ ความถี่ค่ากลาง (Center Frequency) ของเอฟ เอส เค มอดูเลเตอร์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของดีซีเออร์เรอร์โวลท์เตจ จะมีค่าตามการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุทแบบอนาลอก (Analog input) และสมมาตรที่ระดับโวลท์เตจดีซี 0 โวลท์ แต่เมื่อเทียบกับการมอดูเลชั่นแบบ FSK หรือ QAM แล้วในแบบเอฟ เอส เค จะมีการผิดพลาดมากกว่า ดังนั้นจึงไม่ใช้งานในระบบที่ต้องการความเร็วสูงมากนัก ราคาต่ำ เช่น ในการส่งข้อมูลผ่านโมเด็มในแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous data modems) ซึ่งใช้งานในการส่งข้อมูลแบบอนาล็อกผ่านสายโทรศัพท์

### 3.7 ส่วนประมวลผลพลังงานไฟฟ้า (Host Computer)

โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นตัวเก็บข้อมูลและแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมาตรวัดแต่ละตัว โดยเชื่อมโยงกับระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Power line carrier,PLC) สามารถต่อมาตรวัดเข้ากับระบบไฟฟ้าได้ถึง 256 เครื่อง ดังภาพประกอบ 3-13 โดยรูปแบบของโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน เพื่อตรวจสอบสถานะของมาตรวัดแต่ละตัวโดยใช้ภาษา Visual basic ซึ่งจะแสดงข้อมูลต่างๆ อาทิ บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า, อัตราการรับ ส่ง ข้อมูล (Baud rate), การตรวจสอบข้อมูล(Cheak parity), และสถานะการรับส่งข้อมูล (Rx,Tx, Frame Err)




ภาพประกอบ 3-13 เครื่องตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านทางเครือข่ายไฟฟ้า

**3.8 สรุปท้ายบท**

เนื้อหาโดยภาพรวมของบทนี้ จะเป็นการออกแบบส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้ารวมไปถึงส่วนเชื่อมโยงเครือข่าย ส่วนนี้จะแปลงสัญญาณที่ได้จากส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า เพื่อส่งผ่านข้อมูลบนสายส่งไฟฟ้าและส่วนประมวลผลพลังงานไฟฟ้า ซึ่งส่วนนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเชื่อมโยงกับระบบ ส่งผ่านข้อมูล ผ่านพอร์ตอนุกรม ส่วนในบทที่ 4 ได้กล่าวถึงวิธีการทดสอบและผลการทดสอบมาตรวัด