

ภาคผนวก ก

ลักษณะและขั้นตอนการสื่อสารแบบไอทูลี

ระหว่างบอร์ด ETT-BaseAVR Easy32U4

กับบอร์ด EVAL-ADE7878 และบอร์ด MiniPCF8583

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

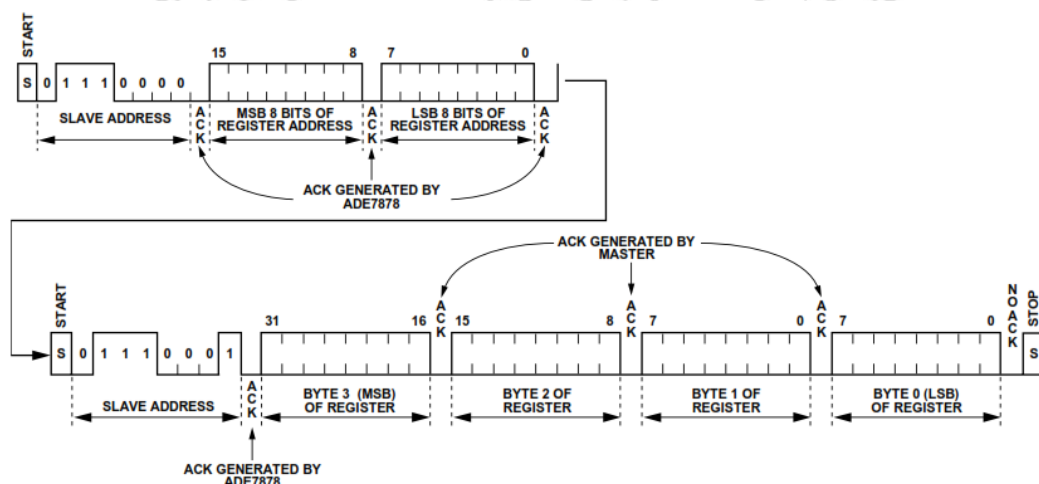
Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

โปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับอ่านข้อมูลไอซีวัดค่าทางไฟฟ้า จากเรื่องการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบ ส่วนวัดค่าทางไฟฟ้าจะใช้บอร์ด EVAL-ADE7878 รับข้อมูลแรงดันและกระแสเพื่อประมวลผลเป็นข้อมูลดิจิทัล เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ตามตำแหน่งต่างๆ และในหัวข้อการเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้กล่าวถึงการรับส่งข้อมูลระหว่าง ADE7878 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ไปแล้วส่วนหนึ่ง จากเนื้อหาจะพบว่าบอร์ด EVAL-ADE7878 มีช่องทางการสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ช่องทางคือ การสื่อสารแบบไอทิวซี และการสื่อสารแบบเอสพีไอ แต่ช่องทางการกำหนดเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้บอร์ดทำงานคือไอทิวซี [19] ดังนั้นจึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับไอซีผ่านการสื่อสารแบบไอทิวซีเพื่อเรียกข้อมูลทางไฟฟ้าจากรีจิสเตอร์ของ ADE7878 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่เรียกข้อมูลคือ

1. ตำแหน่ง 0x43C0 ถึง 0x43C6 เป็นข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเฟส L1 L2 L3 และ N ใช้สำหรับประมวลผลค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏตามสมการที่ 2.6 กับสมการที่ 2.9 เพื่อเตรียมนำไปคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าตามสมการที่ 2.10

2. ที่ตำแหน่ง 0xE513 ถึง 0xE51B เป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้าของแต่ละตัวเพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าตามเนื้อหาในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2



รูปที่ ก.1 การสื่อสารเพื่ออ่านข้อมูลระหว่างบอร์ด ET-BaseAVR Easy32U4 และADE7878

จากรูปที่ ก.1 เมื่อต้องการอ่านข้อมูลระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์AVR Easy32U4 และ ADE7878 ด้วยการสื่อสารแบบไอทิวซีโดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ Master และ ADE7878 เป็นอุปกรณ์ Slave ซึ่งมีรหัสคือ 0111000x จะมีการสื่อสารดังนี้

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นอุปกรณ์ Master จะส่งสัญญาณเริ่มต้นและรหัสของอุปกรณ์ Slave ซึ่งมีขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ ออกไป จากคู่มือของ ADE7878 หากต้องการจะเขียนข้อมูล

ให้กับ ADE7878 จะต้องส่งรหัสอุปกรณ์คือ 01110000 แต่ถ้าต้องการอ่านข้อมูลจาก ADE7878 ต้องส่งรหัสอุปกรณ์คือ 01110001ตามขั้นตอนนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเขียนตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการอ่านค่าให้กับไอซี ดังนั้นจึงส่งรหัส 01110000 ออกไปก่อน

- เมื่อ ADE7878 ได้รับรหัสของตัวเองจะส่งสัญญาณตอบรับ (Acknowledge ; ACK) เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เขียนตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการอ่านค่ามาให้

- ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเขียนตำแหน่งของหน่วยความจำไปที่ไอซี เช่น หากต้องการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสของเฟสที่ 1 (IA_{rms}) ซึ่งมีตำแหน่งหน่วยความจำอยู่ที่ 0x43C0 ที่มีขนาด 2 ไบต์ ก็เริ่มส่งรหัสไบต์แรกคือ 0x43 ในรูปแบบตัวเลขฐาน 16 หรือ 01000011 ในรูปแบบตัวเลขฐาน 2 ออกไป

- เมื่อ ADE7878 ได้รับรหัสตำแหน่งหน่วยความจำไบต์แรก ก็จะส่งสัญญาณตอบรับกลับมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

- จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงส่งรหัสตำแหน่งหน่วยไบต์ถัดไปคือ 0xC0 ในรูปแบบตัวเลขฐาน 16 หรือ 11000000 ในรูปแบบตัวเลขฐาน 2 ตามไป

- เมื่อ ADE7878 ได้รับรหัสตำแหน่งหน่วยความจำไบต์สุดท้าย ก็จะส่งสัญญาณตอบรับกลับมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกครั้งหนึ่ง

- จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณเริ่มต้นซ้ำอีกครั้ง และตามด้วยรหัสอุปกรณ์ในโหมดอ่านข้อมูลคือ 01110001 ออกไปให้ไอซี

- เมื่อ ADE7878 ได้รับรหัสก็จะส่งสัญญาณตอบรับกลับไป พร้อมกับเริ่มส่งข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสของเฟสที่ 1 ในหน่วยความจำให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากคู่มือของ ADE7878 พบว่าขนาดข้อมูลในหน่วยความจำที่ 0x43C0 จะมีขนาด 32 บิต หรือ 4 ไบต์ ขณะส่งไอซี ADE7878 จะเริ่มส่งข้อมูลจากไบต์ที่ 4 ออกมาเป็นไบต์แรก

- เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูลไบต์ที่ 4 เรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณตอบรับไปที่ไอซี ADE7878

- ไอซี ADE7878 จะส่งข้อมูลไบต์ที่ 3 ตามไป

- เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูลไบต์ที่ 3 เรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณตอบรับไปที่ไอซี ADE7878

- ไอซี ADE7878 จะส่งข้อมูลไบต์ที่ 2

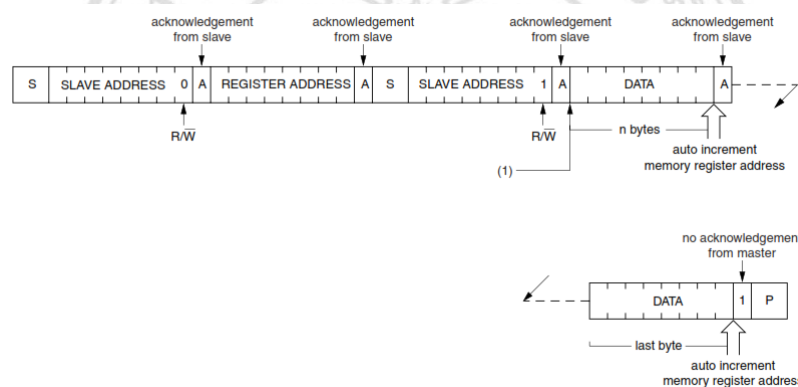
- เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูลไบต์ที่ 2 เรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณตอบรับไปที่ไอซี ADE7878อีกครั้ง

- ไอซี ADE7878 จะส่งข้อมูลไบต์ที่ 1 เป็นไบต์สุดท้ายออกไป

- เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูลจาก ADE7878 ครบทั้ง 4 ไบต์ก็จะไม่ส่งสัญญาณตอบรับ หรืออยู่ในสถานะว่าง(No Acknowledge ; NOACK) แล้วจึงส่งสัญญาณหยุดการสื่อสาร จึงจบกระบวนการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับไอซี ADE7878 และหากต้องการอ่านค่าจากหน่วยความจำตำแหน่งอื่น สามารถทำได้โดยเริ่มกระบวนการทั้งหมดใหม่อีกครั้ง แต่รหัสของหน่วยความจำภายในจะแตกต่างกันออกไปตามข้อมูลที่ต้องการอ่านค่า

สาเหตุที่ต้องส่งทีละไบต์เพราะการสื่อสารแบบไอทิวชี กำหนดให้ต้องมีการตอบรับระหว่างอุปกรณ์ทุกๆ ข้อมูล 1 ไบต์ เท่านั้น

ลักษณะการสื่อสารของข้อมูลระหว่างบอร์ด ET-BaseAVR Easy32U4 กับบอร์ด MiniPCF8583 จะเป็นไปตามรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 การสื่อสารเพื่ออ่านข้อมูลระหว่างบอร์ดET-BaseAVR Easy32U4และ MiniPCF8583

จากรูป ก.2 เป็นการสื่อสารระหว่างบอร์ดAVR Easy32U4กับMiniPCF8583 ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไอทิวชี แต่มีขั้นตอนแตกต่างกับADE7878 บางส่วน มีรายละเอียดดังนี้

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ Master จะส่งสถานะเริ่มต้น ตามด้วยรหัสของอุปกรณ์ Slave ออกไป จากคู่มือของ MiniPCF8583 มีรหัสอุปกรณ์คือ 1010000x หากต้องการจะเขียนข้อมูลให้กับ PCF8583 จะต้องส่งรหัสอุปกรณ์คือ 10100000 แต่ถ้าต้องการอ่านข้อมูลจาก PCF8583 ต้องส่งรหัสอุปกรณ์คือ 10100001ตามขั้นตอนนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเขียนตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการอ่านค่าให้กับไอซี จึงส่งรหัส 10100000 ออกไป

- เมื่อ MiniPCF8583 ได้รับรหัสของตัวเองก็จะส่งสัญญาณตอบรับ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการอ่านค่ามา

- ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งตำแหน่งของหน่วยความจำที่จะเริ่มอ่านตำแหน่งแรกไปที่ไอซีซึ่งตำแหน่งหน่วยความจำของ MiniPCF8583 จะมีขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์

- เมื่อ MiniPCF8583 ได้รับรหัสตำแหน่งหน่วยของความจำ จะส่งสัญญาณตอบรับกลับมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

- ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณเริ่มต้นอีกครั้ง และตามด้วยรหัสอุปกรณ์ในโหมดอ่านข้อมูลคือ 10100001 ออกไปให้MiniPCF8583

- เมื่อ MiniPCF8583 ได้รับรหัสจะส่งสัญญาณตอบรับกลับไป พร้อมกับเริ่มส่งข้อมูลในหน่วยความจำตามตำแหน่งที่ได้รับการร้องขอกลับไปให้ทีละ 1 ไบต์ หากไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านค่าจากหน่วยความจำในตำแหน่งถัดไป สามารถส่งสถานะตอบรับกลับมา เพื่อที่ MiniPCF8583 จะส่งข้อมูลภายในหน่วยความจำตำแหน่งถัดไปให้ทันที เช่น หากต้องการอ่านข้อมูลวันที่ เดือน ปี ซึ่งมีตำแหน่งหน่วยความจำภายในที่ 0x05 0x06 และ 0x07 ตามลำดับ สามารถเขียนคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่ออ่านค่าเพียงครั้งเดียวได้



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบค่ากระแสและแรงดันของระบบ
กับเครื่องมือวัดตัวอื่น ด้วยเทคนิคซีโรแอสปน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปรียบเทียบส่วนกระแสไฟฟ้า เป็นส่วนที่สำคัญเนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ตรวจวัด ในการเปรียบเทียบใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 2.35 กิโลวัตต์ เป็นโหลดอ้างอิง และใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ มีวิธีการดังนี้

1) อ่านค่ารีจิสเตอร์แต่ละตัวขณะปิดมอเตอร์ โดยอ่านค่าจากรีจิสเตอร์ AIRMS, BIRMS และ CIRMS ตามลำดับ เพื่อกำหนดเป็นตัวแปรสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดขณะไม่มีโหลด (U_{noload}) เมื่ออ่านค่าพบว่า ข้อมูลที่ได้จากรีจิสเตอร์ AIRMS, BIRMS และ CIRMS เท่ากับ 16

2) เปิดสวิตช์มอเตอร์ตัวที่ 2 ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ พร้อมกับมอเตอร์ตัวที่ 1 ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ จะได้ โหลดมอเตอร์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าขนาด 2.35 กิโลวัตต์ เพื่อใช้เป็นโหลดอ้างอิง (W_{ref}) เมื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสจาก Data Logger ทุก 15 วินาที จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของกระแสเป็นเวลา 5 นาที ได้ผลดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน ทุก 15 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว

ค่าเฉลี่ยทุก 15 วินาที	ค่ากระแสเฟสที่ 1 (A)	ค่ากระแสเฟสที่ 2 (A)	ค่ากระแสเฟสที่ 3 (A)
นาฬิกาที่ 1	2.84	2.97	3.17
นาฬิกาที่ 2	2.83	2.91	3.2
นาฬิกาที่ 3	2.84	2.95	3.15
นาฬิกาที่ 4	2.18	2.93	3.23
นาฬิกาที่ 5	2.84	3.05	3.14
เฉลี่ย 5 นาที	2.706	2.962	3.178

3) อ่านค่าจากรีจิสเตอร์กระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสของไอซี ADE7878 ทุก 7 วินาที และเฉลี่ยข้อมูลเป็นเวลา 5 นาที ได้ผลดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 ค่าเฉลี่ยข้อมูลในรีจิสเตอร์กระแสไฟฟ้าของ ADE7878 ทุก 7 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว

ค่าเฉลี่ยทุก 7 วินาที	ค่ารีจิสเตอร์ AIRMS	ค่ารีจิสเตอร์ BIRMS	ค่ารีจิสเตอร์ CIRMS
นาฬิกาที่ 1	77280	72194	72143
นาฬิกาที่ 2	72140	72155	72087
นาฬิกาที่ 3	72952	72948	72990
นาฬิกาที่ 4	69003	68970	68985
นาฬิกาที่ 5	70952	70947	70987
เฉลี่ย 5 นาที	71465.4	71442.8	71438.4

4) ปิดสวิตช์มอเตอร์ตัวที่ 2 ให้เหลือเพียงมอเตอร์ตัวที่ 1 เพื่อจำลองเป็นขนาดโหลดไม่ทราบค่า (W_{null}) จากนั้นอ่านค่าจากรีจิสเตอร์กระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสของไอซี ADE7878 ทุก 7 วินาที และเฉลี่ยข้อมูลเป็นเวลา 5 นาที ได้ผลดังตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ค่าเฉลี่ยข้อมูลในรีจิสเตอร์กระแสไฟฟ้าของ ADE7878 ทุก 7 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว

ค่าเฉลี่ยทุก 7 วินาที	ค่ารีจิสเตอร์ AIRMS	ค่ารีจิสเตอร์ BIRMS	ค่ารีจิสเตอร์ CIRMS
นาทิตี่ 1	39354	39384	39368
นาทิตี่ 2	41219	41173	41118
นาทิตี่ 3	40858	40904	40914
นาทิตี่ 4	41455	41430	41443
นาทิตี่ 5	42033	41978	41940
เฉลี่ย 5 นาที	40983.8	40973.8	40956.6

5) แทนค่าแต่ละตัวลงในสมการที่ 2.14 เพื่อหาสูตรเทียบค่ากระแสจากเครื่องมือวัดตามเทคนิคซีโรและสเปน ดังนี้

$$W_{null} = (U_{null} - U_{noload}) \times \left(\frac{W_{ref}}{U_{ref} - U_{noload}} \right) \quad (2.14)$$

เมื่อ W_{null} คือ ขนาดของโหลดที่ไม่ทราบค่า

U_{null} คือ สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดขณะวัดโหลดที่ไม่ทราบค่า

U_{noload} คือ สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดขณะไม่มีโหลด

W_{ref} คือ ขนาดของโหลดอ้างอิง

U_{ref} คือ สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมือวัดขณะวัดโหลดอ้างอิง

พิจารณากระแสเฟสที่ 1 (I1)

W_{null} = ค่ากระแสจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว (ไม่ทราบค่า)

U_{null} = ค่าจากรีจิสเตอร์ AIRMS เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว เท่ากับ 40983.8

U_{noload} = ค่าจากรีจิสเตอร์ AIRMS เมื่อปิดมอเตอร์ เท่ากับ 16

U_{ref} = ค่าจากรีจิสเตอร์ AIRMS เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว เท่ากับ 71465.4

W_{ref} = ค่ากระแสจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว เท่ากับ 2.706

แทนค่าสมการที่ 2.14 จะได้

$$W_{null} = (40983.8 - 16) \times \left(\frac{2.706}{71465.4 - 16} \right)$$

$$W_{null} = 1.551 \text{ A}$$

ดังนั้น ค่ากระแสเฟสที่ 1 เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัวจากเครื่องวัดมาตรฐาน ด้วยการเทียบค่าแบบซีโร และสเปน เท่ากับ 1.551 แอมป์

พิจารณากระแสเฟสที่ 2 (I2)

W_{null} = ค่ากระแสจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว (ไม่ทราบค่า)

U_{null} = ค่าจากรีจิสเตอร์ BIRMS เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว เท่ากับ 40973.8

U_{noload} = ค่าจากรีจิสเตอร์ BIRMS เมื่อปิดมอเตอร์ เท่ากับ 16

U_{ref} = ค่าจากรีจิสเตอร์ BIRMS เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว เท่ากับ 71442.8

W_{ref} = ค่ากระแสจากเครื่องวัดมาตรฐาน เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว เท่ากับ 2.962

แทนค่าสมการที่ 2.14 จะได้

$$W_{null} = (40973.8 - 16) \times \left(\frac{2.962}{71442.8 - 16} \right)$$

$$W_{null} = 1.698 \text{ A}$$

ดังนั้น ค่ากระแสเฟสที่ 2 เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัวจากเครื่องวัดมาตรฐาน ด้วยการเทียบค่าแบบซีโร และสเปน เท่ากับ 1.698 แอมป์

พิจารณากระแสเฟสที่ 3 (I3)

W_{null} = ค่ากระแสจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว (ไม่ทราบค่า)

U_{null} = ค่าจากรีจิสเตอร์ CIRMS เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว เท่ากับ 40956.6

U_{noload} = ค่าจากรีจิสเตอร์ CIRMS เมื่อปิดมอเตอร์ เท่ากับ 16

U_{ref} = ค่าจากรีจิสเตอร์ CIRMS เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว เท่ากับ 71438.4

W_{ref} = ค่ากระแสจากเครื่องวัดมาตรฐาน เมื่อเปิดมอเตอร์ 2 ตัว เท่ากับ 3.178

แทนค่าสมการที่ 2.14 จะได้

$$W_{null} = (40956.6 - 16) \times \left(\frac{3.178}{71438.4 - 16} \right)$$

$$W_{null} = 1.821 \text{ A}$$

ดังนั้น ค่ากระแสเฟสที่ 3 เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัวจากเครื่องวัดมาตรฐาน ด้วยการเทียบค่าแบบซีโร และสเปน เท่ากับ 1.821 แอมป์

6) อ่านค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสจาก Data Logger ทุก 15 วินาที ขณะที่เปิดมอเตอร์ 0.85 กิโลวัตต์ เพียงตัวเดียว และหาค่าเฉลี่ยเป็นเวลา 5 นาที ได้ผลดังตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดมาตรฐานทุก 15 วินาที เมื่อเปิดมอเตอร์ 1 ตัว

ค่าเฉลี่ยทุก 15 วินาที	ค่ากระแสเฟสที่ 1 (A)	ค่ากระแสเฟสที่ 2 (A)	ค่ากระแสเฟสที่ 3 (A)
นาฬิกาที่ 1	1.556	1.752	1.794
นาฬิกาที่ 2	1.559	1.723	1.822
นาฬิกาที่ 3	1.540	1.681	1.880
นาฬิกาที่ 4	1.585	1.638	1.870
นาฬิกาที่ 5	1.576	1.616	1.887
เฉลี่ย 5 นาที	1.5632	1.6820	1.8506

7) เทียบค่ากระแสจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน กับค่าที่อ่านได้จาก Data Logger ได้ผลดังตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.5 ค่ากระแสจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน เทียบกับค่าจาก Data Logger เมื่อกำหนดโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์

Phase	Zero Span	Data Logger	Error	%Error	%Accuracy
เฟสที่ 1	1.551 A	1.5632 A	0.0122 A	0.78 %	99.22%
เฟสที่ 2	1.698 A	1.6820 A	-0.016 A	0.95%	99.05%
เฟสที่ 3	1.821 A	1.8506 A	0.0296 A	1.96%	98.04%

8) ทดลองแทนค่ากลับ โดยสมมติให้โหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ เป็นอุปกรณ์ทดสอบ และให้โหลดมอเตอร์ขนาด 2.35 กิโลวัตต์ เป็นขนาดของโหลดไม่ทราบค่า แทนค่าทั้งหมดลงสมการจะได้

$$W_{\text{null@phase1}} = (71465.4 - 16) \times \left(\frac{1.5632}{40983.8 - 16} \right)$$

$$W_{\text{null@phase1}} = 2.726 \text{ A}$$

$$W_{\text{null@phase2}} = (71442.8 - 16) \times \left(\frac{1.6820}{40973.8 - 16} \right)$$

$$W_{\text{null@phase2}} = 2.933 \text{ A}$$

$$W_{\text{null@phase3}} = (71438.4 - 16) \times \left(\frac{1.8506}{40956.6 - 16} \right)$$

$$W_{\text{null@phase3}} = 3.228 \text{ A}$$

9) เทียบค่ากระแสจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปน กับค่าที่อ่านได้จาก Data Logger ได้ผลดังตารางที่ ข.6

ตารางที่ ข.6 ค่ากระแสจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปน เทียบกับค่าจาก Data Logger เมื่อกำหนดโหลดอ้างอิงขนาด 0.85 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 2.35 กิโลวัตต์

Phase	Zero Span	Data Logger	Error	%Error	Accuracy	%Accuracy
เฟสที่ 1	2.726	2.706	-0.02	0.73 %	0.9927	99.27%
เฟสที่ 2	2.933	2.962	0.029	0.97%	0.9903	99.03%
เฟสที่ 3	3.228	3.178	-0.05	1.57%	0.9995	99.95%

จากตารางที่ ข.6 พบว่า ค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสแปน มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จาก Data Logger โดยมีค่าร้อยละของความแม่นยำสูง เช่นเดียวกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดวิธีเทียบค่าด้วยเทคนิคซีโรและสแปนนี้ ลงในโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับเทียบค่ากระแสจากกริดเตอร์

การเปรียบเทียบส่วนแรงดันไฟฟ้า หลักจากปรับเทียบส่วนกระแสเรียบร้อยแล้ว จึงปรับเทียบส่วนแรงดันเป็นขั้นตอนต่อไป มีจุดสังเกตคือ ค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบจะค่อนข้างคงที่ แตกต่างจากส่วนกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามความต้องการพลังงานของโหลด

เมื่ออ่านค่าจาก Data Logger และค่าแรงดันไฟฟ้าจากกริดเตอร์ AVRMS, BVRMS และ CVRMS ของไอซี เมื่อใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 กิโลวัตต์ และ 2.35 กิโลวัตต์ ได้ผลดังตารางที่ ข.7 และตารางที่ ข.8 ตามลำดับ

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 กิโลวัตต์

นาที่	เฟสที่ 1		เฟสที่ 2		เฟสที่ 3	
	ค่าจากเครื่องวัด	ค่าจากกริดเตอร์	ค่าจากเครื่องวัด	ค่าจากกริดเตอร์	ค่าจากเครื่องวัด	ค่าจากกริดเตอร์
1	232.1 V	2452318	235.1 V	2487912	233.3 V	2487577
2	231.8 V	2454234	234.7 V	2489734	234.7 V	2488809
3	231.7 V	2452327	234.7 V	2485402	234.7 V	2484523
4	231.2 V	2450823	234.8 V	2482251	234.8 V	2483125
5	231.0 V	2451847	234.9 V	2484694	234.9 V	2485319
เฉลี่ย	231.56 V	2452309.8	234.84 V	2485998.6	234.48 V	2485870.6

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อใช้โหลดมอเตอร์ขนาด 2.35 กิโลวัตต์

นาที่	เฟสที่ 1		เฟสที่ 2		เฟสที่ 3	
	ค่าจากเครื่องวัด	ค่าจากรีจิสเตอร์	ค่าจากเครื่องวัด	ค่าจากรีจิสเตอร์	ค่าจากเครื่องวัด	ค่าจากรีจิสเตอร์
1	233.5 V	2466050	236.4 V	2499489	235.2 V	2499531
2	233.5 V	2467099	236.4 V	2501185	235.3 V	2502274
3	233.4 V	2468326	236.0 V	2502120	235.4 V	2501240
4	233.0 V	2467749	235.8 V	2503946	235.1 V	2503066
5	233.1 V	2465386	236.4 V	2501566	233.7 V	2500453
เฉลี่ย	233.3 V	2466922.0	236.2 V	2501661.2	234.97 V	2501312.8

จากตารางที่ ข.7 และตารางที่ ข.8 เมื่อปรับเทียบข้อมูลด้วยเทคนิคซีโรและสเปน โดยใช้โหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์ ได้ผลดังนี้

$$W_{\text{null@phase1}} = (2452309 .8) \times \left(\frac{233.3}{2466922 .0} \right)$$

$$W_{\text{null@phase1}} = 231.91 \text{ V}$$

$$W_{\text{null@phase2}} = (2485998 .6) \times \left(\frac{236.2}{2501661 .2} \right)$$

$$W_{\text{null@phase2}} = 234.72 \text{ V}$$

$$W_{\text{null@phase3}} = (71438 .4 - 16) \times \left(\frac{1.8506}{40956 .6 - 16} \right)$$

$$W_{\text{null@phase3}} = 233.48 \text{ V}$$

เทียบค่ากระแสจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน กับค่าที่อ่านได้จาก Data Logger ได้ผลดังตารางที่ ข.9

ตารางที่ ข.9 ค่าแรงดันจากการคำนวณด้วยเทคนิคซีโรและสเปน เทียบกับค่าจาก Data Logger เมื่อกำหนดโหลดอ้างอิงขนาด 2.35 กิโลวัตต์ และโหลดไม่ทราบค่าขนาด 0.85 กิโลวัตต์

Phase	Zero Span	Data Logger	Error	%Error	%Accuracy
เฟสที่ 1	231.91 V	231.56 V	-0.35 V	0.15 %	99.85%
เฟสที่ 2	234.72 V	234.84 V	0.12 V	0.05%	99.95%
เฟสที่ 3	233.52 V	234.48 V	0.96 V	0.41%	99.59%

ภาคผนวก ค

The seal of Chiang Mai University is a circular emblem. It features a central figure of an elephant standing on a base, with a flame-like symbol above its head. The text "มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" (Mahavithayalai Chiang Mai) is written in Thai script around the top inner edge, and "CHIANG MAI UNIVERSITY 1964" is written in English around the bottom inner edge. There are decorative floral motifs on the sides.

**ตัวอย่างการคำนวณสำหรับ
วิธีประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม
(Combine Standard Uncertainty)
และวิธีประเมินความไม่แน่นอนแบบขยาย
(Expanded Uncertainty)**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการสอบเทียบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเตอร์เน็ตสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบ 3 เฟส จะใช้วิธีสอบเทียบด้วยการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined standard uncertainty) รวมถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบขยาย (Expanded uncertainty) โดยใช้สมการที่ 2.11 ถึง สมการที่ 2.16 ในการคำนวณโหลดมอเตอร์ขนาด 0.85 และ 2.35 กิโลวัตต์ และใช้ Data Logger ยี่ห้อ Kyoritsu รุ่น KEW6305 เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่มีค่าความไม่แน่นอนดังนี้

Current Accuracy $\pm 0.2\% \text{rdg} \pm 0.2\% \text{f.s.} + \text{Accuracy of Clamp sensor}$

Voltage Accuracy $\pm 0.2\% \text{rdg} \pm 0.2\% \text{f.s.}$

Clamp Accuracy $\pm 0.5\% \text{rdg} @ 40/60 \text{ Hz}$

ตัวอย่างการคำนวณเมื่อต่อโหลดขนาด 2.35 กิโลวัตต์ พิจารณาสอบเทียบกระแสไฟฟ้าของเฟสที่ 2

ค่ากระแสจากเครื่องวัดที่สร้างขึ้น 3.212A, 3.020A, 2.998A, 2.727A, 2.731A

- การคำนวณค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{จาก } \bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{3.212 + 3.020 + 2.998 + 2.727 + 2.731}{5}$$

$$\bar{x} = 2.938$$

$$\text{จาก } SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{(3.212 - 2.938)^2 + (3.020 - 2.938)^2 + \dots + (2.731 - 2.938)^2}{5-1}}$$

$$SD = 0.208$$

- การคำนวณค่าความไม่แน่นอนแบบ Type A

$$\text{จาก } v_A = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$v_A = \frac{0.208}{\sqrt{5}}$$

$$v_A = 0.093$$

-การคำนวณค่าความไม่แน่นอนแบบ Type B

$$\begin{aligned}\text{จาก } v_{\text{STD}} &= \frac{v}{k} \\ v &= \frac{(0.2 + 0.5)}{100} \times 10 \\ v &= 0.07\end{aligned}$$

ที่ความเชื่อมั่น 99% ใช้ค่า Coverage factor ; $k = 2.58$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น } v_{\text{STD}} &= \frac{0.07}{2.58} \\ v_{\text{STD}} &= 0.027\end{aligned}$$

-การคำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

$$\begin{aligned}\text{จาก } v_c &= \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2} \\ v_c &= \sqrt{(0.093)^2 + (0.027)^2} \\ v_c &= 0.097\end{aligned}$$

-การคำนวณค่าความไม่แน่นอนแบบขยาย

$$\text{จาก } U = k \times v_c$$

โดยทั่วไปจะรายงานผลสอบเทียบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้ค่า $k=2$

$$\text{ดังนั้น } U = 2 \times 0.097$$

$$U = 0.193$$

$$U \approx \pm 0.2A$$

สรุป ผลการสอบเทียบกระแสไฟฟ้าของเฟสที่ 2 มีค่าความไม่แน่นอนคือ ± 0.2 แอมป์

ผลการสอบเทียบแรงดันและกระแสของเฟสอื่นๆ อยู่ในเรื่อง การปรับเทียบ และสอบเทียบค่าทางไฟฟ้าจากระบบที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดตัวอื่น

ภาคผนวก ง

รายละเอียดของ
การสร้างระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ต
และลักษณะของหน้าต่างแสดงผลแต่ละตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบ่งอธิบายเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1. ผลการประกอบอุปกรณ์ของระบบ 2. การสื่อสารของอุปกรณ์ภายใน 3. ผลการทำงานของโปรแกรม และ 4. ผลการทำงานของตัวบริการเว็บเพื่อส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต อธิบายดังต่อไปนี้

1) มิติและจุดเชื่อมต่อภายนอก จากรูปที่ ง.1 อุปกรณ์ของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจะบรรจุอยู่ในกล่องมีความกว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.4 เมตร และสูง 0.15 เมตร มีส่วนเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนวัดค่ากระแส ส่วนวัดค่าแรงดัน ช่องต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับระบบ และช่องต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ต แต่ละส่วนมีหน้าที่ดังนี้



รูปที่ ง.1 กล่องระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตและจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก

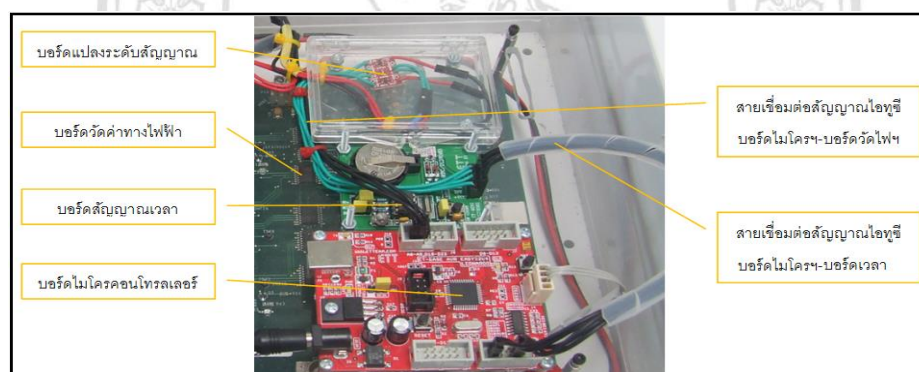
- 1.1) ส่วนวัดค่าแรงดัน ใช้ต่อกับสายสัญญาณแรงดันที่แยกมาจากสายไฟของเครื่องอัดอากาศ เนื่องจากเป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายจึงมีจุดเชื่อมต่อ 4 จุดคือ L1, L2, L3 และ N
- 1.2) ส่วนวัดค่ากระแส ใช้ต่อกับสายสัญญาณของเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่คล้องอยู่กับสายไฟของเครื่องอัดอากาศ มี 4 เส้นเช่นกัน เนื่องจากเซนเซอร์ 1 ตัวมีสายสัญญาณ 2 เส้น ดังนั้นจึงมีจุดเชื่อมต่อสาย 8 จุด
- 1.3) ช่องต่อไฟเลี้ยงให้กับระบบ ใช้ต่อกับสายไฟกระแสสลับแบบ 1 เฟส ขนาดแรงดัน 220 โวลต์เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ภายในระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

- 1.4) ช่องสัญญาณอินเทอร์เน็ต ใช้ต่อกับสาย RJ45 เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตให้กับระบบ หรือใช้เชื่อมต่อเครือข่ายแลน (LAN Network) สำหรับอ่านข้อมูลจากระบบผ่านโปรแกรมแสดงผลโดยไม่ต้องเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

หลังจากเชื่อมต่อสายสัญญาณกับส่วนวัดค่าแรงดัน ส่วนวัดค่ากระแส และต่อไฟเลี้ยงให้กับระบบ รวมถึงต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตให้กับระบบผ่านสาย RJ-45 พบว่าสามารถใช้คอมพิวเตอร์เรียกข้อมูลจากตัวบริการเว็บของระบบได้ รายละเอียดจะกล่าวในส่วนต่อไป

2) การสื่อสารของอุปกรณ์ภายใน ใช้การสื่อสาร 2 แบบ คือ การสื่อสารแบบไอทิวซี และการสื่อสารแบบยูอาร์ที

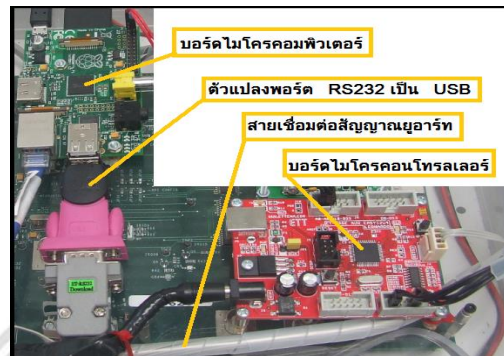
- 2.1) อุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารแบบไอทิวซี ได้แก่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้า และบอร์ดสัญญาณเวลา มีลักษณะและการต่อสายสัญญาณดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 การเชื่อมต่อสัญญาณไอทิวซีในระบบ

จากรูปที่ ง.2 สายที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณแบบไอทิวซีระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ดสัญญาณเวลา และบอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้า จะต่อกันเป็นแบบอนุกรม และเนื่องจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกกำหนดให้ใช้งานเป็นอุปกรณ์ตัวหลัก (Master) ซึ่งใช้แรงดันในสายสื่อสารขนาด 5 โวลต์ ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะสื่อสารกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องใช้ระดับสัญญาณขนาด 5 โวลต์ด้วยเช่นกัน สำหรับบอร์ดสัญญาณเวลา จากคู่มือระบุว่าให้ใช้สัญญาณสื่อสารแบบไอทิวซีระดับ 5 โวลต์ จึงสามารถต่อสายไฟระหว่างบอร์ดได้ทันที แตกต่างจากบอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้าซึ่งใช้ระดับสัญญาณขนาด 3.3 โวลต์ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์แปลงระดับสัญญาณในการสื่อสารระหว่างบอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้ากับอุปกรณ์ตัวอื่นติดตั้งอยู่ระหว่างสายสัญญาณ

- 2.2) อุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารแบบยูอาร์ที ได้แก่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ มีการต่อสายสัญญาณในระบบดังรูปที่ ๓.3



รูปที่ ๓.3 การเชื่อมต่อสัญญาณยูอาร์ทีในระบบ

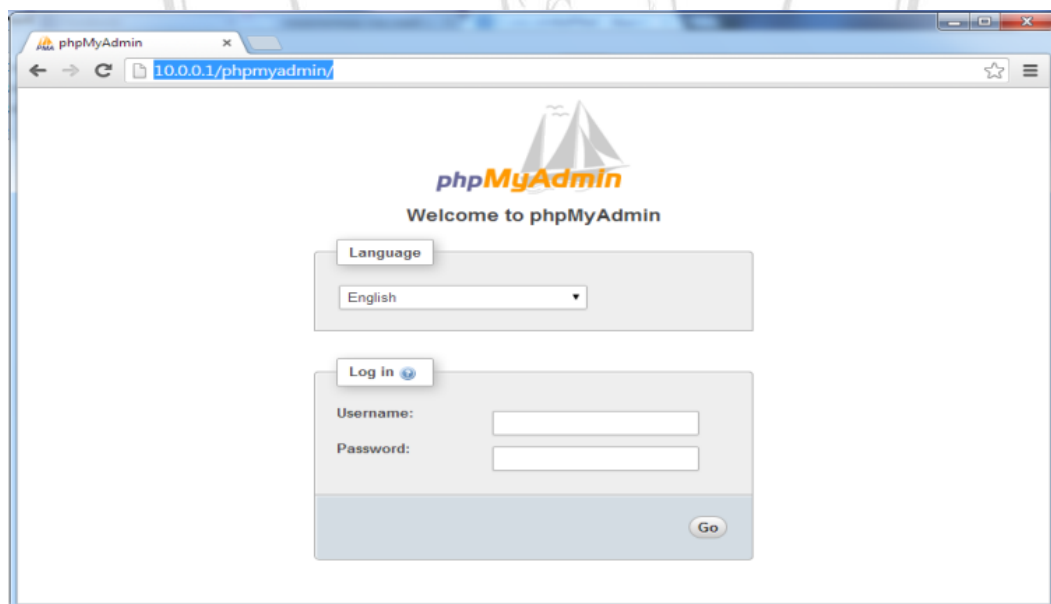
จากรูปที่ ๓.3 โดยทั่วไปสัญญาณยูอาร์ทีของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะสื่อสารพอร์ตอนุกรม แต่บนบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์มีพอร์ตเชื่อมต่อภายนอกเป็นแบบยูเอสบีจำนวน 2 ช่องเท่านั้น ผู้วิจัยจึงติดตั้งตัวแปลงสัญญาณจากพอร์ตอนุกรม (DB9) เป็นพอร์ตยูเอสบี (USB) ระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้มีค่าความเร็วในการรับส่ง (Bound Rate) คือ 19,200 ส่งข้อมูลทีละ 8 บิต มีการตรวจสอบบิตหยุด 1 บิต (StopBit = 1) และไม่ควบคุมการไหลของข้อมูล (Flow Control = None)

นอกจากสายสัญญาณรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดแล้ว ยังมีสายไฟเลี้ยงของบอร์ดแต่ละตัว รวมถึงสายไฟสัญญาณจากขาบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Digital PIN) เพื่อกำหนดโหมดการทำงานให้กับบอร์ดวัดค่าทางไฟฟ้า โดยต่อขา D18, D19, D20, D21, D22, D23 ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปที่ขา PM0, PM1, SS, IRQ0, IRQ1, HRST ของบอร์ด EVAL-ADE7878 ตามลำดับ

3) ผลการทำงานของโปรแกรม โปรแกรมในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่อ่านค่าจากหน่วยความจำภายในของไอซีวัดค่าทางไฟฟ้า และรวบรวมส่งค่าที่อ่านได้ส่งให้กับบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ตามรอบเวลาของการอ่านทุก ๆ 7 วินาที ดังนั้นโปรแกรมส่วนใหญ่ของระบบจึงทำงานอยู่บนบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์เป็นหลัก สาเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกทดสอบผลการทำงานของโปรแกรม 3 ส่วนได้แก่ 1. ผลการเก็บค่าในระบบฐานข้อมูล 2. ผลการทำงานของหน้าต่างตั้งค่าและแสดงผลข้อมูล และ 3. ผลการทำงานของตัวบริการเว็บเพื่อส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

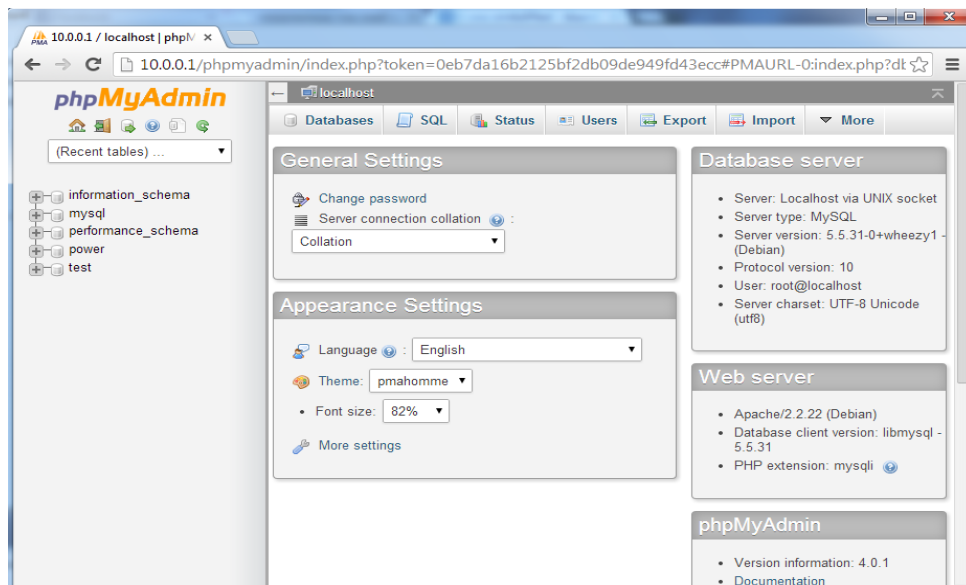
- 3.1) ผลการเก็บค่าลงระบบฐานข้อมูล สาเหตุที่เริ่มตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมในระบบที่จุดนี้ เนื่องจากเป็นจุดรวบรวมค่าทางไฟฟ้าและค่าวันเวลาที่ถูกส่งมาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้น หากระบบฐานข้อมูลทำงานบันทึกค่าได้ตรงกับการออกแบบ จะโยงไปถึงผลการทำงานของโปรแกรมในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมทั้งผลการทำงานของโปรแกรมในบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์อีก 4 ตัว ได้แก่ โปรแกรมรับและรวบรวมข้อมูล (minicom) โปรแกรมโอนถ่ายข้อมูล (import.php) โปรแกรมฐานข้อมูล (MySQL) และโปรแกรมควบคุมขั้นตอน (croptap)

โปรแกรมฐานข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ MySQL ที่ทำงานผ่านตัวบริการเว็บ (Web server) สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลผ่านโปรแกรมค้นดูเว็บ (Web browser) โดยพิมพ์หมายเลขไอพี (IP Address) ของตัวบริการเว็บลงในแถบค้นหา สำหรับตัวบริการเว็บของระบบตรวจวัดพลังงานนี้คือ 10.0.0.1 ดังนั้น หากต้องการเข้าโปรแกรมฐานข้อมูลของระบบจะต้องพิมพ์คำสั่ง 10.0.0.1/phpmyadmin ลงบนโปรแกรมค้นดูเว็บ จะแสดงผลดังรูปที่ ๓.4



รูปที่ ๓.4 โปรแกรมฐานข้อมูลของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

จากนั้นได้ชื่อผู้ใช้กับรหัสผ่านให้กับโปรแกรม โดยชื่อผู้ใช้คือ root และรหัสผ่านคือ pi เมื่อพิมพ์ข้อมูล โปรแกรมเปลี่ยนเป็นหน้าต่างหลักของฐานข้อมูลดังรูปที่ ๓.5



รูปที่ ง.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมฐานข้อมูล

ผู้วิจัยสร้างฐานข้อมูลชื่อ power สำหรับเก็บค่าที่รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้แล้ว หากโปรแกรมทำงานถูกต้อง เมื่อคลิกชื่อฐานข้อมูล power จะปรากฏค่าต่าง ๆ ที่ถูกบันทึกอยู่ในฐานข้อมูลแสดงขึ้นมาดังรูปที่ ง.6 โดยที่ค่าดังกล่าวมาจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมรวบรวมข้อมูล (minicom) โปรแกรมโอนถ่ายข้อมูล (import.php) และโปรแกรมควบคุมขั้นตอน (croptap) ซึ่งทำงานอยู่เบื้องหลัง

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for the 'power' table. The table structure is visible at the top, and the main area displays a list of rows. The table has columns: stime, IA, IB, IC, VA, VB, VC, PF, I, and V. The data is as follows:

stime	IA	IB	IC	VA	VB	VC	PF	I	V
2013-02-07 10:23:57	0	0	0	232.3	231.49	230.47	0	0	231.42
2013-02-07 10:24:04	0	0	0	232	229.56	231.09	0	0	230.883
2013-02-07 10:24:11	0	0	0	228.86	232.14	232.83	0	0	231.277
2013-02-07 10:24:18	0	0	0	237.25	228.88	233.6	0	0	233.243
2013-02-07 10:24:25	0	0	0	232	231.33	233.27	0	0	232.2
2013-02-07 10:24:32	0	0	0	234.24	234.57	232	0	0	233.603
2013-02-07 10:24:39	0	0	0	232	232	232	0	0	232
2013-02-07 10:24:46	0	0	0	232	232.87	230.3	0	0	231.723
2013-02-07 10:24:53	0	0	0	231.79	229.99	231.2	0	0	230.993
2013-02-07 10:25:00	0	0	0	230.54	233.99	234.49	0	0	233.007
2013-02-07 10:25:07	0	0	0	232	232	232	0	0	232
2013-02-07 10:25:14	0	0	0	232	230.88	232.88	0	0	231.92
2013-02-07 10:25:21	0	0	0	227.07	232	232	0	0	230.357

รูปที่ ง.6 การแสดงค่าต่างๆ ในโปรแกรมฐานข้อมูล

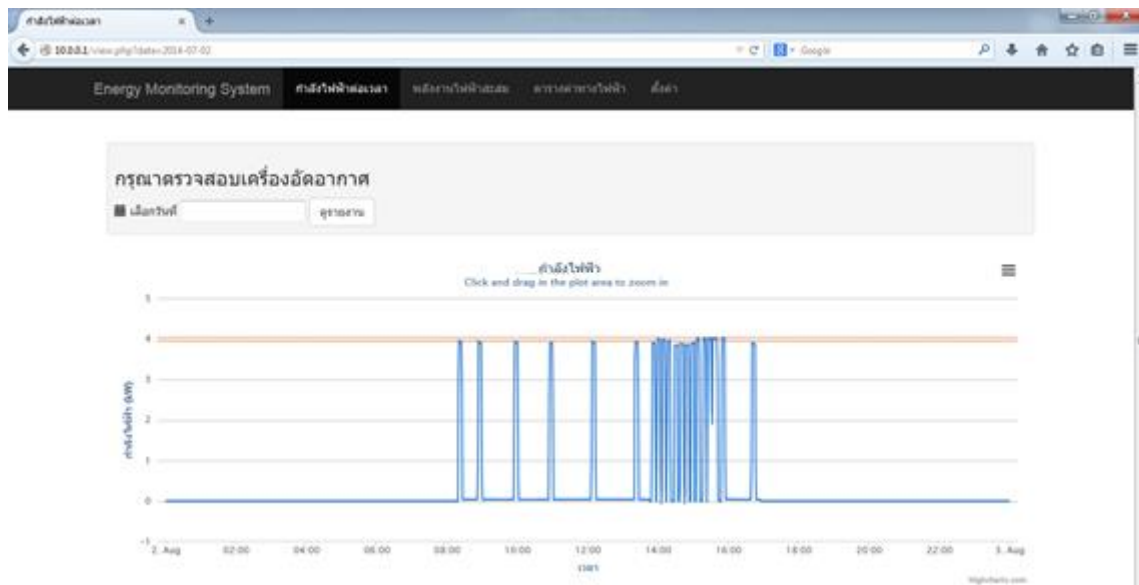
จากรูปที่ ๖.6 พบว่า ในคอลัมน์ stime ซึ่งแสดงวันเวลา จะมีค่าบันทึกลงในฐานข้อมูล ทุก ๆ 7 วินาที ตรงกับรอบการส่งค่าของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขณะที่คอลัมน์ IA, IB, IC, VA, VB และ VC จะแสดงค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสตามลำดับ พร้อมกับเฉลี่ยค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส เก็บไว้ในคอลัมน์ I และ V และมีคอลัมน์ PF สำหรับเก็บค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของเครื่องอัดอากาศในเวลาต่าง ๆ ด้วย หลังจากผู้วิจัยได้ทดลองเก็บค่าลงฐานข้อมูลเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า ค่าในฐานข้อมูล มีการปรับปรุงค่าทุก ๆ 1 นาที และทุกนาทีมีแถวเพิ่มขึ้นครั้งละ 8 แถว

จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า ฐานข้อมูลสามารถบันทึกค่าทางไฟฟ้าและค่าวันเวลาที่ส่งมาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยไม่มีข้อผิดพลาด ดังนั้น โปรแกรมในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่อ่านค่าจากไอซีวัดค่าทางไฟฟ้าและบอร์ดข้อมูลวันเวลาจึงทำงานได้ตรงกับการออกแบบ และกล่าวได้ว่า โปรแกรมในบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย โปรแกรมรับค่าและรวบรวมข้อมูล โปรแกรมโอนถ่ายข้อมูล โปรแกรมโอนถ่ายข้อมูล และโปรแกรมควบคุมขั้นตอน ทำงานประสานกันได้อย่างถูกต้อง

เนื่องจากบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลโปรแกรมและเก็บค่าในฐานข้อมูลจำนวน 8 กิกะไบต์ หลักการทดลองใช้โปรแกรมฐานข้อมูลพบว่า ใน 1 วันจะมีข้อมูลที่ถูกอยู่ 11,520 บรรทัด ใช้พื้นที่ในหน่วยความจำทั้งสิ้นประมาณ 1 เมกกะไบต์ ดังนั้นฐานข้อมูลของระบบจึงสามารถเก็บข้อมูลย้อนหลังได้อย่างน้อย 8,192 วัน

- 3.2) ผลการทำงานของหน้าต่างตั้งค่าและแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ หลังจากโปรแกรมฐานข้อมูลเก็บค่าวันเวลาและค่าทางไฟฟ้าที่ส่งมาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว จะมีโปรแกรมดึงข้อมูลไปให้หน้าต่างแสดงผล 3 ตัว และมีหน้าต่างตั้งค่าการแสดงผล 1 ตัว ผลการทำงานของหน้าต่างแต่ละตัวมีดังนี้

ก.) ผลการทำงานของหน้าต่าง view.php หรือหน้าต่างกำลังไฟฟ้า สามารถเข้าถึงได้โดยการพิมพ์คำสั่ง 10.0.0.1/view.php ลงในแถบค้นหาของโปรแกรมค้นดูเว็บจะมีหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ ๖.7



รูปที่ ง.7 หน้าต่าง view.php หรือหน้าต่างกำลังไฟฟ้า

เมื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงผลให้เลือกวันที่เพื่อดูข้อมูล และเมื่อกดปุ่มดูรายงาน โปรแกรมจะดึงค่าจากฐานข้อมูลแสดงผลเป็นกราฟเส้น ผู้ใช้สามารถคลิกช่วงเวลาในกราฟเพื่อขยายจุดที่ต้องการดูรายละเอียด และชี้ดูข้อมูลที่จุดเวลา ดังแสดงในรูปที่ ง.8

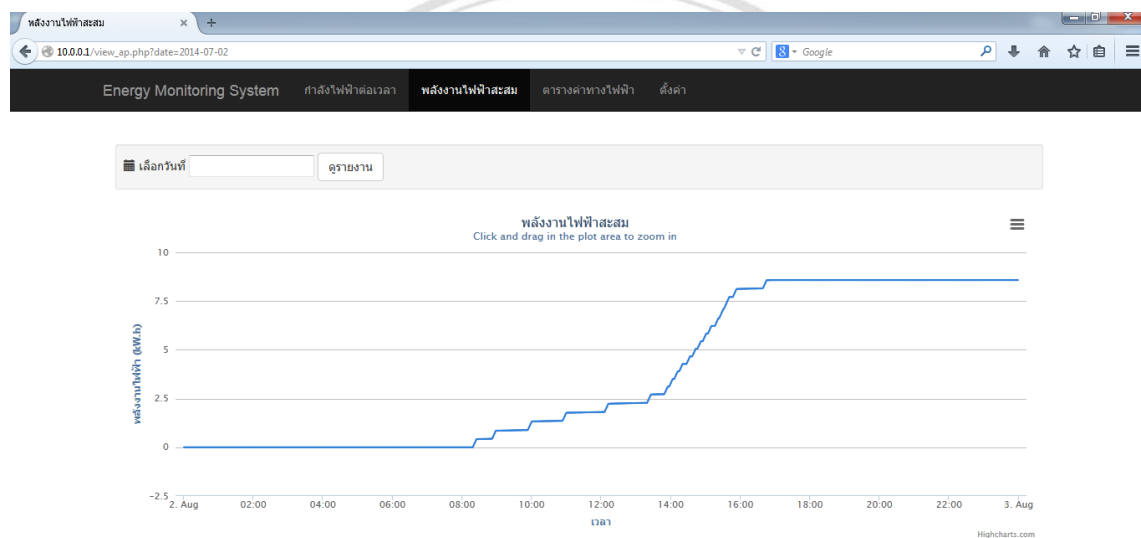


รูปที่ ง.8 ลักษณะกราฟเมื่อขยายจุดช่วงเวลาที่ต้องการ

หากต้องการบันทึกรูปกราฟ หรือสั่งพิมพ์กราฟออกทางเครื่องพิมพ์ สามารถทำได้โดยกดแถบ chart context menu สามารถบันทึกไฟล์ได้ 4 ชนิดคือ .PNG .JPG .SVG และ .PDF ในฐานข้อมูลจะมีค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าทุกๆ 7 วินาที แต่จะแสดงผล

ข้อมูลบนกราฟทุก ๆ 1 นาที หรือ 1,440 จุด ใน 1 วัน ซึ่งเป็นความถี่เดียวกับลักษณะการทำงาน of โปรแกรม import.php ดังนั้น โปรแกรมจะนำข้อมูลค่าทางไฟฟ้า 8 ชุด หรือ ทุกๆ 7 วินาที เฉลี่ยเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเพื่อแสดงบนกราฟทุก ๆ 1 นาที

ข.) ผลการทำงานของหน้าต่าง view_ap.php หรือหน้าต่างพลังงานไฟฟ้าสะสม สามารถเข้าถึงได้โดยการพิมพ์คำสั่ง 10.0.0.1/view_ap.php ลงในแถบค้นหาของโปรแกรมค้นดูเว็บจะมีหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ ง.9



รูปที่ ง.9 หน้าต่าง view_ap.php หรือหน้าต่างพลังงานไฟฟ้าสะสม

การขยายจุดในกราฟ การบันทึกรูปภาพ และการสั่งพิมพ์กราฟออกทางเครื่องพิมพ์ สามารถทำได้โดยวิธีเดียวกับขั้นตอนในหน้าต่างกำลังไฟฟ้า

ค.) ผลการทำงานของหน้าต่าง view_table.php หรือหน้าต่างตารางแสดงผลค่าทางไฟฟ้า สามารถเข้าถึงได้โดยการพิมพ์คำสั่ง 10.0.0.1/view_table.php ลงในแถบค้นหาของโปรแกรมค้นดูเว็บจะมีหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ ง.10 จากนั้นให้เลือกวันที่เพื่อดูข้อมูล แล้วจึงกดปุ่มดูรายงาน โปรแกรมจะดึงค่าจากฐานข้อมูลแสดงผลเป็นตารางค่าทางไฟฟ้า ประกอบด้วย ค่าวันเวลา ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยและสะสม รวมทั้งค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ โดยจะแสดงผลตามเวลาแต่ละนาที โดยเฉลี่ยมากกว่าค่า 8 ค่า หรือทุก 7 วินาที ในโปรแกรมฐานข้อมูล

Energy Monitoring System

เลือกปี: ดูรายงาน

PF: 0.00

ตารางแสดงข้อมูลไฟฟ้า

วันที่	IA	IB	IC	Line	VA	VB	VC	V,เฉลี่ย	P,เฉลี่ย	E,a (Kw.h)	E,s (Kw.h)	PF
2014-02-07 10:30	15.65	16.82	14.32	15.60	232.19	233.40	233.62	233.07	3.635.38	0.0606	0.0606	0.0000
2014-02-07 10:31	15.96	18.01	15.07	16.35	231.36	233.42	230.96	231.91	3.790.93	0.0632	0.1238	0.0000
2014-02-07 10:32	17.00	14.99	15.08	15.69	232.27	231.74	231.12	231.71	3.634.92	0.0606	0.1844	0.0000
2014-02-07 10:33	16.07	16.78	14.86	15.91	232.39	233.52	231.99	232.63	3.700.09	0.0617	0.2461	0.0000
2014-02-07 10:34	16.65	17.17	15.44	16.42	229.85	232.21	232.52	231.53	3.801.66	0.0634	0.3095	0.0000
2014-02-07 10:35	12.50	13.11	11.72	12.44	232.44	232.22	231.51	232.06	2.887.66	0.0481	0.3576	0.0000
2014-02-07 10:36	0.00	0.00	0.00	0.00	231.81	233.31	232.38	232.50	0.00	0	0.3576	0.0000
2014-02-07 10:37	0.00	0.00	0.00	0.00	232.37	232.09	232.81	232.42	0.00	0	0.3576	0.0000
2014-02-07 10:38	0.00	0.00	0.00	0.00	232.08	232.04	231.74	231.95	0.00	0	0.3576	0.0000

รูปที่ ง.10 หน้าต่าง view_table.php หรือหน้าต่างตารางแสดงผลค่าทางไฟฟ้า

ง.) ผลการทำงานของหน้าต่าง setting.php หรือหน้าต่างตั้งค่า สามารถเข้าถึงได้โดยการพิมพ์คำสั่ง 10.0.0.1/setting.php ลงในแถบค้นหาของโปรแกรมค้นดูเว็บจะมีหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ ง.11 จากนั้นผู้ใช้ต้องพิมพ์รหัสผ่าน จึงจะสามารถเข้ารายการตั้งค่าได้โดยพิมพ์รหัส 123 เป็นรหัสของระบบตรวจวัดพลังงานนี้ จากนั้นจะมีรายการตั้งค่าแสดงขึ้นดังรูปที่ ง.12

Energy Monitoring System

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเวลา พลังงานไฟฟ้าสะสม ตารางพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย **ตั้งค่า**

✖ กรอกรหัสผ่าน

รหัสผ่าน

รูปที่ ง.11 หน้าต่าง setting.php หรือหน้าต่างตั้งค่า

Energy Monitoring System

พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเวลา พลังงานไฟฟ้าสะสม ตารางพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย **ตั้งค่า**

⚙ ตั้งค่าพลังงานไฟฟ้าคิดปกติ

เริ่มต้น สิ้นสุด

⚙ ตั้งค่าค่าไฟ

ค่าไฟต่อหน่วย

⚙ ตั้งค่า PF

ค่า PF ค่าสุด

รูปที่ ง.12 รายการตั้งค่า

จากรูปที่ 4.13 รายการตั้งค่าที่ผู้ใช้ต้องกำหนด มี 3 จุดได้แก่ ตั้งค่าช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าผิดปกติ ตั้งค่าค่าไฟฟ้าต่อหน่วย และตั้งค่า PF

- การตั้งค่าช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าผิดปกติ ให้ผู้ใช้ป้อนค่าเริ่มต้นและค่าสิ้นสุด เช่น หากกำหนดให้ระบบตรวจจับความผิดปกติในช่วงพลังงานตั้งแต่ 0.0630 ถึง 0.0635 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง โปรแกรมจะตรวจสอบค่าในฐานข้อมูลกับช่วงความผิดปกติ หากโปรแกรมตรวจพบค่าพลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วงผิดปกติติดต่อกันเกิน 3 นาที จะมีการแจ้งเตือนเกิดขึ้น โดยจะแสดงทางหน้าต่าง view.php และ view_table.php

- การตั้งค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ให้ผู้ใช้กำหนดมูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้ต่อหน่วย โปรแกรมจะคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวัน โดยแสดงผลบนกราฟผ่านหน้าต่าง view_ap.php

- การตั้งค่า PF ให้ผู้ใช้กำหนดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำสุดของเครื่องอัดอากาศ หากโปรแกรมตรวจสอบว่าเครื่องมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้จะมีการแจ้งเตือนเกิดขึ้น

4) ผลการทำงานของตัวบริการเว็บเพื่อส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถเรียกดูข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือเรียกดูข้อมูลผ่านเครือข่ายแลน ลักษณะของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจึงมีช่องสำหรับเชื่อมต่อกับสาย RJ-45 ติดตั้งอยู่ 1 ช่อง มีวิธีการใช้งานดังนี้

4.1) หากผู้ใช้ไม่ได้เชื่อมต่อระบบกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เครือข่ายเชื่อมต่อกับระบบผ่านสาย RJ-45 เช่น ต่อสาย RJ-45 ระหว่างระบบกับตัวกระจายสัญญาณไร้สาย (Access Point) ดังรูปที่ 4.14 จากนั้นเปิดโปรแกรมคันทูเว็บ และเรียกไปที่ IP Address ของบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ด้วยการพิมพ์ 10.0.0.1 ตามด้วยชื่อของโปรแกรมหน้าต่างแสดงผลลงในแถบค้นหาของโปรแกรมคันทูเว็บ อย่างไรก็ตาม ตามข้อกำหนดของระบบเครือข่ายแลนกำหนดให้อุปกรณ์ในระบบหากจะติดต่อกันได้ต้องอยู่ในวงแลนเดียวกัน ดังนั้น ผู้ใช้ต้องตั้งค่า IP Address ของอุปกรณ์ที่ต้องการดูข้อมูลอยู่ในวงเดียวกันก่อน เช่น ตั้ง IP Address ไปที่ 10.0.0.2 ถึง 10.0.0.254 โดยค่า Subnet Marks คือ 255.255.255.0 จึงสามารถเรียกดูข้อมูลจากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าได้

4.2) หากผู้ใช้ต้องการดูข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ต้องทำการกำหนดเส้นทางของอุปกรณ์ในเครือข่ายที่อุปกรณ์เราเตอร์ก่อน (Forward Port) เนื่องจาก หากมีการเปิด -ปิด เราเตอร์ที่เชื่อมต่ออุปกรณ์กับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หมายเลข IP Address จะถูกเปลี่ยนทุกครั้ง

เครื่องอัดอากาศที่ผู้วิจัยใช้ทำการทดสอบ ติดตั้งที่ห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลหนัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระบบอินเทอร์เน็ตเป็นของมหาวิทยาลัยทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถปรับตั้งค่าในเราเตอร์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทดสอบแบบไม่เชื่อมต่อระบบกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากนั้นจึงใช้คอมพิวเตอร์เรียกหมายเลข IP Address ของบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ พบว่าสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านหน้าต่างแสดงผลได้



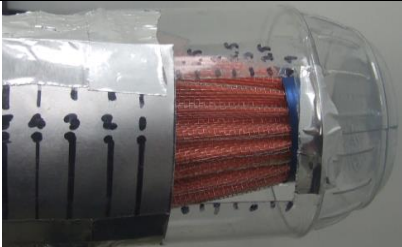
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

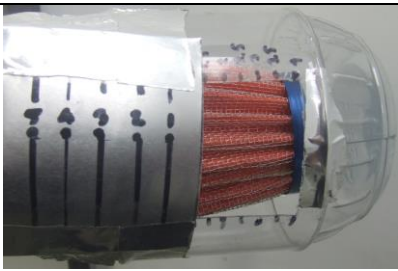
ตารางค่าทางไฟฟ้า
ในการจำลองสภาพจุดต้นของตัวกรองอากาศ

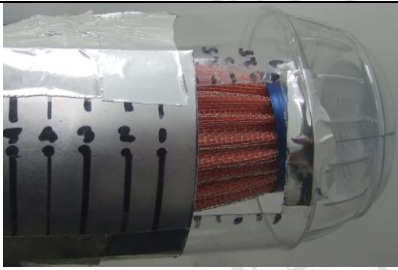
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

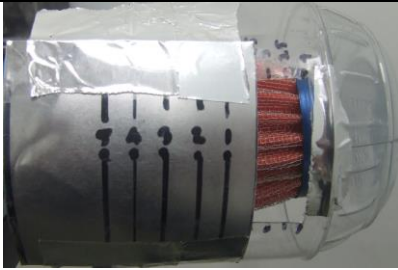
ปิดกรองอากาศ 0.0 มิลลิเมตร หรือ 0.0 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	225.6	1.311	2958
	ครั้งที่ 2	225.7	1.318	2958
	ครั้งที่ 3	225.6	1.312	2957
	เฉลี่ย	225.63	1.313	2957.66
	กำลังไฟฟ้า	$225.63 \times 1.313 = 296.25$ หรือ 0.2963 kW		

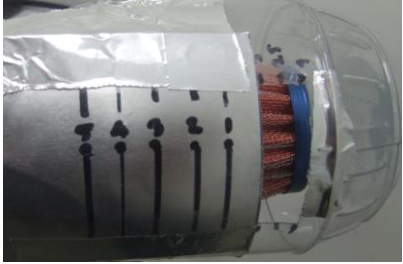
ปิดกรองอากาศ 0.50 มิลลิเมตร หรือ 250 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	226.6	1.339	2958
	ครั้งที่ 2	226.3	1.318	2958
	ครั้งที่ 3	225.6	1.313	2958
	เฉลี่ย	225.50	1.323	2958.00
	กำลังไฟฟ้า	$225.50 \times 1.323 = 298.34$ หรือ 0.2983 kW		

ปิดกรองอากาศ 100 มิลลิเมตร หรือ 500 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	226.7	1.333	2957
	ครั้งที่ 2	226.4	1.336	2958
	ครั้งที่ 3	225.6	1.337	2958
	เฉลี่ย	226.23	1.335	2957.66
	กำลังไฟฟ้า	$226.23 \times 1.335 = 302.02$ หรือ 0.3020 kW		

ปิดกรองอากาศ 150 มิลลิเมตร หรือ 750 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	226.8	1.340	2957
	ครั้งที่ 2	226.5	1.335	2956
	ครั้งที่ 3	226.6	1.336	2957
	เฉลี่ย	226.63	1.337	2956.66
	กำลังไฟฟ้า	$226.63 \times 1.337 = 303.01$ หรือ 0.3030 kW		

ปิดกรองอากาศ 200 มิลลิเมตร หรือ 1000 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	225.7	1.346	2950
	ครั้งที่ 2	225.6	1.346	2951
	ครั้งที่ 3	225.6	1.345	2952
	เฉลี่ย	225.63	1.346	2951.00
	กำลังไฟฟ้า	$225.63 \times 1.346 = 303.69$ หรือ 0.3037 kW		

ปิดกรองอากาศ 250 มิลลิเมตร หรือ 1250 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	226.0	1.371	2951
	ครั้งที่ 2	226.0	1.372	2950
	ครั้งที่ 3	226.1	1.371	2951
	เฉลี่ย	226.03	1.371	2950.66
	กำลังไฟฟ้า	$226.03 \times 1.371 = 309.89$ หรือ 0.3099 kW		

ปิดกรองอากาศ 300 มิลลิเมตร หรือ 1500 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	226.0	1.394	2947
	ครั้งที่ 2	226.1	1.394	2946
	ครั้งที่ 3	226.0	1.394	2946
	เฉลี่ย	226.03	1.394	2946.33
	กำลังไฟฟ้า	$226.03 \times 1.394 = 315.09$ หรือ 0.3151 kW		

ปิดกรองอากาศ 350 มิลลิเมตร หรือ 1750 ตารางมิลลิเมตร	รอบของ การทดลอง	ค่าแรงดัน (Volt)	ค่ากระแส (Amp)	ความเร็วรอบ (rpm)
	ครั้งที่ 1	226.3	1.408	2945
	ครั้งที่ 2	226.6	1.408	2945
	ครั้งที่ 3	226.3	1.410	2946
	เฉลี่ย	226.03	1.408	2946.33
	กำลังไฟฟ้า	$226.40 \times 1.408 = 318.77$ หรือ 0.3187 kW		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

การคำนวณสัดส่วน
ร้อยละต่อพื้นที่ของการปิดช่องลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการจำลองสถานการณ์ขณะที่เครื่องอัดอากาศทำงานในสภาวะตัวกรองอุดตัน เนื่องจากการสร้างสถานการณ์เพื่อให้กลไกอัดอากาศใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อความสะดวกผู้วิจัยจึงดำเนินการโดยใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามระยะ

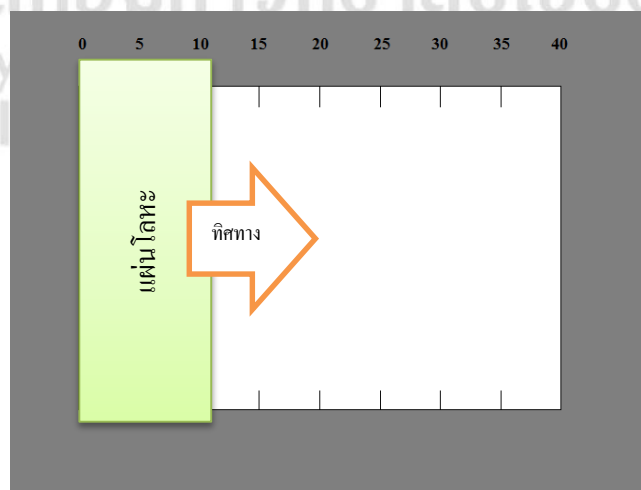
การใช้แผ่นโลหะปิดช่องลม ดำเนินการใน 2 การทดสอบคือ การจำลองสภาพอุดตันของตัวกรองอากาศที่ส่งผลต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า และการทดสอบระบบตรวจวัดกับเครื่องอัดอากาศ

1. การจำลองสภาพอุดตันของตัวกรองอากาศที่ส่งผลต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า จะใช้แผ่นโลหะปิดช่องลมของชุดตัวกรองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นลักษณะดังรูปที่ จ.1



รูปที่ จ.1 ลักษณะชุดกรองอากาศที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

จากรูปที่ จ.1 ลักษณะช่องลมของชุดกรองอากาศจะเป็นช่องสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ขณะทดสอบผู้วิจัยจะวัดค่าทางไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้นกำลังใช้ขับเคลื่อนกลไกอัดอากาศ เมื่อใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความยาวครึ่งละ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับลักษณะดังรูปที่ จ.2



รูปที่ จ.2 ลักษณะการใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความยาวครึ่งละ 5 มิลลิเมตร

จากลักษณะช่องลมสี่เหลี่ยมกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร หากคำนวณพื้นที่ตามสมการที่ จ.1
อากาศจะไหลเข้าผ่านช่องลมที่มีขนาด 2000 ตารางมิลลิเมตร

$$A_t = W \times L \quad (\text{จ.1})$$

เมื่อ A_t คือ ขนาดของพื้นที่สี่เหลี่ยม

W คือ ความกว้างของพื้นที่สี่เหลี่ยม

L คือ ความยาวของพื้นที่สี่เหลี่ยม

เมื่อใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความยาวที่ระยะ 10 มิลลิเมตร จะมีพื้นที่ถูกปิดไปคือ

จากสมการที่ จ.1

$$A_t = W \times L$$

$$A_t = 50 \times 10$$

$$A_t(\text{close}) = 500$$

ดังนั้น เมื่อเลื่อนปิดช่องลมที่ระยะ 10 มิลลิเมตร จะมีพื้นที่ถูกปิดไป 500 ตารางมิลลิเมตร

ใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางศ์เพื่อหาสัดส่วนร้อยละของช่องลมที่ถูกปิดไป 500 ตารางมิลลิเมตร ต่อ
ขนาดพื้นที่ของช่องลมทั้งหมดโดย

พื้นที่ช่องลม 2000 ตารางมิลลิเมตร มีร้อยละ 100 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ช่องลม 500 ตารางมิลลิเมตร มีขนาดร้อยละ $\frac{100 \times 500}{2000}$

เท่ากับร้อยละ 25 ของพื้นที่ทั้งหมด

ดังนั้น ร้อยละของการปิดแผ่นโลหะเมื่อเลื่อนปิดตามความยาวเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร

คิดเป็นร้อยละ 25 ของพื้นที่ของช่องลมทั้งหมด

ผู้วิจัยใช้วิธีคำนวณนี้สำหรับคิดค่าร้อยละของการปิดแผ่นโลหะตามความยาว ตั้งแต่ระยะ 5 ถึง 35
มิลลิเมตรตามลำดับ

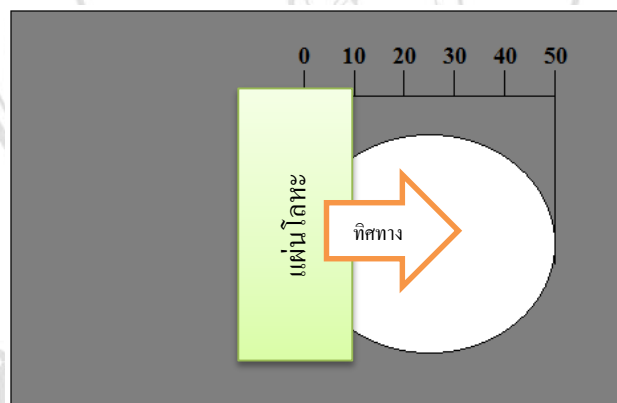
ผลการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เมื่อปิดช่องลม จะแสดงอยู่ในตารางที่ 4.2

2.การทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้ากับเครื่องอัดอากาศ จะใช้แผ่นโลหะปิดช่องลมของชุดตัวกรองที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดอากาศ ลักษณะดังรูปที่ น.3



รูปที่ น.3 ลักษณะชุดกรองที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดอากาศ

จากรูปที่ น.3 ลักษณะช่องลมของชุดกรองอากาศจะเป็นช่องวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร จำนวน 2 ช่อง ขณะทดสอบผู้วิจัยจะวัดค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ เมื่อใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความยาวครึ่งละ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับลักษณะดังรูปที่ น.4



รูปที่ น.4 ลักษณะการใช้แผ่นโลหะเลื่อนปิดช่องลมตามความยาวครึ่งละ 10 มิลลิเมตร

จากลักษณะช่องลมวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สามารถหาพื้นที่ด้วยสมการที่ น.2

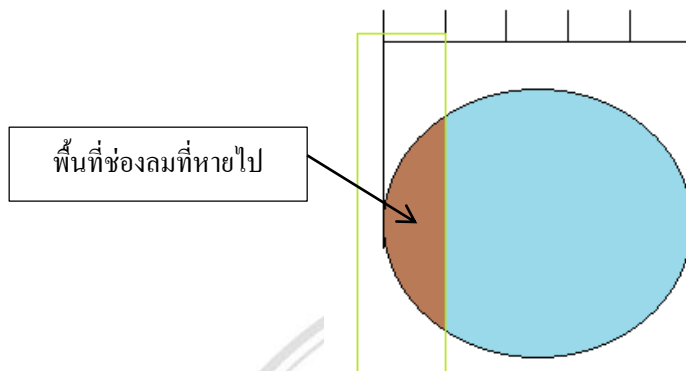
$$A_c = \pi r^2 \quad (น.2)$$

เมื่อ A_c คือ ขนาดของพื้นที่วงกลม

r คือ รัศมีของวงกลม

π คือ ค่าคงที่ (เท่ากับ 3.1416)

ลักษณะการปิดแผ่นโลหะตามแนวยาวของช่องลมแบบวงกลม จะทำให้พื้นที่วงกลมถูกปิดเป็นลักษณะดังรูปที่ จ.5



รูปที่ จ.5 พื้นที่วงกลมที่หายไปเมื่อแผ่นโลหะตามแนวยาว

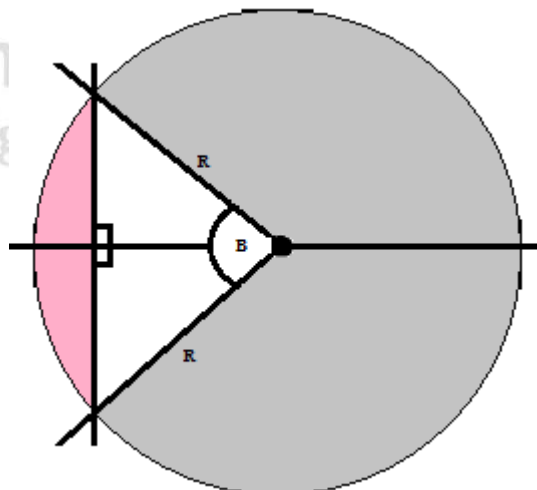
ในการคำนวณขนาดพื้นที่ของวงกลมที่หายไปในรูปที่ จ.5 จะใช้สูตรคำนวณพื้นที่ระหว่างโค้งวงกลมตามสมการที่ จ.3 เทียบกับรูปที่ จ.6

$$A_u = \frac{R^2}{2} \times \left[\left(\frac{\pi \times B}{180} - \sin B \right) \right] \quad (\text{จ.3})$$

เมื่อ A_u คือ พื้นที่ระหว่างโค้งวงกลม (พื้นที่สีชมพูในรูปที่ จ.6)

R คือ รัศมีของวงกลม

B คือ มุมระหว่างโค้งวงกลม (ดังรูปที่ จ.6)



รูปที่ จ.6 มุมและพื้นที่ระหว่างโค้งวงกลม

เมื่อใช้แผ่นโลหะปิดช่องลมตัวกรองของเครื่องอัดอากาศเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร จะมีพื้นที่ถูกปิดคือ จากสมการ ๓.3

$$A_u = \frac{R^2}{2} \times \left[\left(\frac{\pi \times B}{180} - \sin B \right) \right]$$

$$A_u = \frac{25^2}{2} \times \left[\left(\frac{\pi \times B}{180} - \sin B \right) \right]$$

หามุม B จากรูปสามเหลี่ยมตรีโกณมิติ จะได้มุม B เท่ากับ 106.26 องศา แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$A_u = \frac{25^2}{2} \times \left[\left(\frac{\pi \times 106.26}{180} - \sin 106.26 \right) \right]$$

$$A_u = 279.558$$

ดังนั้น เมื่อเลื่อนปิดช่องลมที่ระยะ 10 มิลลิเมตร จะมีพื้นที่ถูกปิดไป 279.558 ตารางมิลลิเมตร

ใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อหาสัดส่วนร้อยละของช่องลมที่ถูกปิดไป 279.558 ตารางมิลลิเมตร ต่อ ขนาดพื้นที่ของช่องลมทั้งหมดโดย

พื้นที่ช่องลม 3926.98 ตารางมิลลิเมตร มีร้อยละ 100 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ช่องลม 279.558 ตารางมิลลิเมตร มีขนาดร้อยละ $\frac{279.558 \times 100}{3926.98}$ เท่ากับร้อยละ 7.128 ของพื้นที่ทั้งหมด

ดังนั้น ร้อยละของการปิดแผ่นโลหะเมื่อเลื่อนปิดตามความยาวเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร

คิดเป็นร้อยละ 7.128 ของพื้นที่ของช่องลมทั้งหมด

ผู้วิจัยใช้วิธีคำนวณนี้สำหรับคิดค่าร้อยละของการปิดแผ่นโลหะตามความยาว ตั้งแต่ระยะ 10 ถึง 80 มิลลิเมตรตามลำดับ

ผลการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เมื่อปิดช่องลม จะแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 4.3

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ฐากูร ชาวบ้านเกาะ

วัน เดือน ปี เกิด 2 ธันวาคม พ.ศ. 2530

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2549 เตรียมวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved