

การสร้างระบบไฟตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนบนพื้นฐานของโพรโทคอล TCP/IP แบบฝังตัว

นายเกริกศักดิ์ จันทร์ตั้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN IMPLEMENTATION OF BATTERY MONITORING SYSTEM FOR UNMANNED POWER
SUBSTATION BASED ON EMBEDDED TCP/IP PROTOCOL

Mr.Kroeksak Chandong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

เกริกศักดิ์ จันทร์ตั้ง : การสร้างระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนบนพื้นฐานของโพรโทคอล TCP/IP แบบฝังตัว. (AN IMPLEMENTATION OF BATTERY MONITORING SYSTEM FOR UNMANNED POWER SUBSTATION BASED ON EMBEDDED TCP/IP PROTOCOL) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. วาทิต เบญจพลกุล, 114 หน้า.

ในปัจจุบันสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนได้นำเอาระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่มาใช้เฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำรองสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยตลอดเวลา แต่ระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ส่วนใหญ่ที่มีขายในท้องตลาดมีราคาสูงอีกทั้งยังมีฟังก์ชันเกินความจำเป็นที่ผู้ใช้งานต้องการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ออกแบบและสร้างระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ขึ้นโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการฝังระบบโพรโทคอล TCP/IP ไว้ในตัวซึ่งใช้ควบคุมการสื่อสารบนโครงข่ายไอพี โครงสร้างของระบบประมวลผลจัดให้มีโครงสร้างการทำงานแบบแม่ข่ายลูกข่าย กล่าวคือจัดให้มีไมโครคอนโทรลเลอร์หลักหนึ่งตัวทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายอีกสี่ตัว เพื่อประมวลผลสัญญาณจากวงจรวัดและเซนเซอร์ที่จำเป็นในงานเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ โดยเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดแรงดันเซลล์ อุณหภูมิของแต่ละเซลล์ กระแสแบตเตอรี่ คำนวณความต้านทานของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ รวมถึงการเตือนเมื่อระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่ำกว่าขีดที่กำหนด โดยสามารถใช้งานได้กับแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมจำนวน 24 เซลล์

จากการทดสอบใช้งานจริงกับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนเป็นระยะเวลากว่า 3 เดือนพบว่าระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้น หลังจากปรับปรุงแก้ไขแล้วสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2552

4970230421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: BATTERY MONITORING / EMBEDDED TCP/IP /UNMANNED POWER SUBSTATION

KROEKSAK CHANDONG : AN IMPLEMENTATION OF BATTERY MONITORING SYSTEM FOR UNMANNED POWER SUBSTATION BASED ON EMBEDDED TCP/IP PROTOCOL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL. D. Eng., 114 pp.

At present, unmanned power substation uses a battery monitoring system to monitor its backup battery continuously. However, most of the battery monitoring systems in the market are expensive and have excessive functions.

In this thesis, a battery monitoring system is designed and implemented by using embedded TCP/IP protocol microcontroller which has the ability to communicate over IP network. The processing structure uses the master-slave structure which provides one master microcontroller and four slave microcontrollers to perform signal processing task from measurement circuits and sensors. The prototype which is developed can provide ability to measure cell voltage, cell temperature, battery current and room temperature, ability to calculate internal resistance of each cell and ability to alarm when electrolyte of each cell is below a specified limit. This prototype can work with battery which has cells connected in a series up to 24 cells.

The system was tested in a unmanned power substation for over 3 months, after improvement, the developed battery monitoring system can work quite well.

Department : Electrical Engineering Student's Signature

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล ซึ่งได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ อันมีค่ายิ่ง รวมถึงหนังสือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อีกทั้งตรวจทานงานวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ตลอดจนอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์กับงานวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าตลอดจนให้คำแนะนำและแนวทางในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคมทุกๆ คนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวที่ให้ความรัก ความเข้าใจและแรงสนับสนุนที่ดีตลอดมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

| | |
|--------------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ญ |
| สารบัญภาพ | ฎ |

บทที่

| | | |
|---|---|----|
| 1 | บทนำ | 1 |
| | 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| | 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ | 2 |
| | 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ | 2 |
| | 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| | 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการ | 2 |
| | 1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ | 3 |
| 2 | ความรู้เบื้องต้น เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ | 4 |
| | 2.1 ความสามารถของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนที่ ผู้ใช้งานต้องการ | 4 |
| | 2.2 แบตเตอรี่ที่ใช้งานอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง | 6 |
| | 2.3 โพรโทคอลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล | 7 |
| | 2.3.1 โพรโทคอล TCP/IP | 7 |
| | 2.3.2 แบบจำลองทางสถาปัตยกรรมของโพรโทคอล TCP/IP | 7 |
| | 2.3.3 แบบจำลองแบบชั้นของโพรโทคอล TCP/IP | 8 |
| | 2.3.3.1 ชั้นประยุกต์การใช้งาน (Application Layer) | 9 |
| | 2.3.3.2 ชั้นเคลื่อนย้าย (Transport Layer) | 12 |
| | 2.3.3.3 ชั้นโครงข่าย (Internetwork Layer) | 16 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3.3.4 | ชั้นเชื่อมต่อประสานโครงข่ายและฮาร์ดแวร์ (Network Interface and Hardware Layer)..... | 17 |
| 2.3.3.5 | ชุดโพรโทคอล TCP/IP ที่ใช้งาน..... | 20 |
| 3 | การออกแบบระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย..... | 21 |
| 3.1 | โครงสร้างของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย..... | 21 |
| 3.1.1 | ส่วนประกอบของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย..... | 21 |
| 3.1.1.1 | เครื่องเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection Module: DCM)..... | 22 |
| 3.1.1.2 | เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server Computer) | 23 |
| 3.1.1.3 | เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client Computer) | 24 |
| 3.1.2 | การทำงานของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย..... | 24 |
| 3.2 | การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 26 |
| 3.2.1 | โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 26 |
| 3.2.1.1 | ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก..... | 27 |
| 3.2.1.2 | ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย..... | 31 |
| 3.2.1.3 | วงจรวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่..... | 32 |
| 3.2.1.4 | วงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์..... | 35 |
| 3.2.1.5 | วงจรวัดกระแสของแบตเตอรี่..... | 36 |
| 3.2.1.6 | เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่และอุณหภูมิห้องแบตเตอรี่..... | 38 |
| 3.2.1.7 | การคำนวณความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่ | 39 |
| 3.2.2 | โครงสร้างการทำงานของเฟิร์มแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 42 |
| 3.3 | การออกแบบซอฟต์แวร์..... | 45 |
| 3.3.1 | ซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Data Collection Software)..... | 45 |
| 3.3.1.1 | การออกแบบการทำงานของซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่..... | 46 |
| 3.3.2 | ซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Battery Data Management Software: BDM)..... | 52 |
| 3.3.3 | การออกแบบฐานข้อมูลสำหรับระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่..... | 61 |

บทที่

หน้า

4 การทดสอบและผลการทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจเบตเตอรีสำหรับสถานี
ไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน.....67

4.1 การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ของระบบเฝ้าตรวจเบตเตอรีสำหรับสถานีไฟฟ้า
ย่อยแบบไร้คน.....67

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ของระบบเฝ้าตรวจเบตเตอรีสำหรับสถานี
ไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน.....70

4.3 การทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์ของระบบเฝ้าตรวจเบตเตอรีสำหรับสถานีไฟฟ้า
ย่อยแบบไร้คนกับสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง.....73

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์ของระบบเฝ้าตรวจเบตเตอรีสำหรับสถานี
ไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนกับสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง.....77

5 สรุปผลการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....82

5.1 สรุปผลการทดสอบระบบเฝ้าตรวจเบตเตอรีสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน.....82

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....84

รายการอ้างอิง.....86

ภาคผนวก.....87

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว.....108

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....114

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.1 จำนวนพอร์ต I/O ที่จำเป็นต่อการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย..... | 32 |
| 3.2 ตารางสรุปความสามารถในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่..... | 42 |
| 3.3 ข้อมูลสำหรับเทรตเพื่อทำงานสอบถามข้อมูลจากเครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 49 |
| 3.4 สถานะการทำงานของแต่ละเทรตที่ทำงานในการสอบถามข้อมูล..... | 50 |
| 3.5 รายละเอียดของ DCM แต่ละตัว..... | 61 |
| 3.6 ค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่วัดได้..... | 63 |
| 3.7 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่คำนวณได้..... | 64 |
| 3.8 ค่าสอบเทียบของวงจรวัดของเครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 64 |
| 3.9 เหตุการณ์เตือนต่างๆเกี่ยวกับแบตเตอรี่..... | 66 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ลำดับชั้นของโพรโทคอล TCP/IP พร้อมโพรโทคอลตัวอย่างในแต่ละชั้น..... | 9 |
| 2.2 สถาปัตยกรรมแบบลูกข่ายและแม่ข่าย..... | 10 |
| 2.3 โครงสร้างเซกเมนต์ของทีซีพี..... | 13 |
| 2.4 การสร้างการเชื่อมต่อของโพรโทคอลทีซีพีโดยวิธีการจับมือสามวิถี..... | 15 |
| 2.5 ลำดับการจัดเฟรมข้อมูลของชุดโพรโทคอล TCP/IP..... | 19 |
| 2.6 เส้นทางเดินของข้อมูลโดยอาศัยชุดโพรโทคอล TCP/IP..... | 20 |
| 3.1 เครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 22 |
| 3.2 ระบบการทำงานที่ประสานกันของส่วนประกอบต่างๆของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่..... | 23 |
| 3.3 โครงสร้างการเชื่อมต่อของเครื่องรวบรวมข้อมูลกับโพรบวัดต่างๆ..... | 29 |
| 3.4 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของบอร์ดหลักของเครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 30 |
| 3.5 แหล่งจ่ายไฟแยกสำหรับวงจรวัดเซลล์แบตเตอรี่แต่ละชุด..... | 34 |
| 3.6 วงจรวัดแรงดันเซลล์แบตเตอรี่..... | 35 |
| 3.7 วงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์..... | 36 |
| 3.8 วงจรวัดกระแสแบตเตอรี่..... | 38 |
| 3.9 แผนภาพวงจรของแบตเตอรี่ในขณะประจุไฟแบบลอยet..... | 39 |
| 3.10 แผนภาพวงจรของแบตเตอรี่ในขณะคายประจุ..... | 41 |
| 3.11 ผังแสดงสถานะการทำงานของเครื่องรวบรวมข้อมูล..... | 44 |
| 3.12 แฟ้มเกตที่ใช้งานในระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่..... | 44 |
| 3.13 ภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่..... | 45 |
| 3.14 ผังงานการทำงานของโปรแกรมหลัก..... | 47 |
| 3.15 การทำงานของแหล่งรวมเทรต..... | 48 |
| 3.16 ผังงานการทำงานของเทรตที่รับผิดชอบการสอบถามข้อมูลจาก DCM..... | 51 |
| 3.17 หน้าจอแสดงรายการและฟังก์ชันที่สามารถใช้งานได้ของซอฟต์แวร์..... | 52 |
| 3.18 หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่..... | 53 |
| 3.19 หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันแสดงผลเป็นกราฟ..... | 54 |
| 3.20 ผังงานการทำงานของโปรแกรมในฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่..... | 55 |
| 3.21 หน้าจอการเรียกดูข้อมูลในอดีตของแรงดันเซลล์ที่ 1 โดยแสดงค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที..... | 56 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.22 | หน้าจอการเรียกดูข้อมูลในอดีตของแรงดันเซลล์ที่ 1 โดยแสดงค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 ชั่วโมง | 57 |
| 3.23 | หน้าจอการเรียกดูข้อมูลในอดีตของแรงดันเซลล์ที่ 1 โดยแสดงค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 วัน | 57 |
| 3.24 | ผังงานการทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลในอดีตของแบตเตอรี่ | 58 |
| 3.25 | หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการเตือนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ | 59 |
| 3.26 | หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ | 60 |
| 4.1 | การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบไฟาตรวจแบตเตอรี่เพื่อทดสอบระบบซอฟต์แวร์ | 69 |
| 4.2 | การติดตั้งจริงของระบบซอฟต์แวร์ในระบบไฟาตรวจแบตเตอรี่ | 69 |
| 4.3 | หน้าจอสำหรับเลือกเครื่องรวบรวมข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบด้วยฟังก์ชันที่ต้องการ | 71 |
| 4.4 | หน้าจอแสดงผลเวลาจริงโดยแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ขณะประจุไฟ | 71 |
| 4.5 | หน้าจอแสดงผลเวลาจริงหลังจากสั่งการหยุดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่แล้ว | 72 |
| 4.6 | หน้าจอแสดงผลข้อมูลกระแสในอดีตของแบตเตอรี่ใน | 72 |
| 4.7 | หน้าจอแสดงผลข้อมูลแรงดันในอดีตของเซลล์แบตเตอรี่ | 73 |
| 4.8 | การติดตั้งโพรบวัดของเซนเซอร์บนแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ | 74 |
| 4.9 | การติดตั้งโพรบวัดของเซนเซอร์เข้ากับชุดแบตเตอรี่ที่ทดสอบ | 74 |
| 4.10 | การติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสเพื่อวัดกระแสของแบตเตอรี่ | 75 |
| 4.11 | เครื่องต้นแบบของเครื่องรวบรวมข้อมูล | 75 |
| 4.12 | การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบเพื่อทดสอบกับสถานีไฟฟ้าตัวอย่าง | 76 |
| 4.13 | หน้าจอของซอฟต์แวร์แสดงผลการทดสอบในขณะที่ทดสอบกับสถานีไฟฟ้าตัวอย่าง | 78 |
| 4.14 | หน้าจอของมาตรวัดกระแสที่แสดงค่ากระแสไหลของแบตเตอรี่ | 78 |
| 4.15 | การติดตั้งโพรบวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว | 79 |
| 4.16 | เครื่องวัดอุณหภูมิที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว | 79 |
| 4.17 | สถานะกำลังประจุไฟแบบลอยถูกแสดงในการทำงาน | 80 |
| 4.18 | สถานะ AC Fail ถูกแสดงหลังจากสั่งให้แม็กเนติกคอนแท็คเตอร์เปิดวงจร | 81 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง (Power Distribution System) ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมอุปกรณ์ตัดต่อวงจรแรงดันสูงที่สถานีไฟฟ้าย่อย โดยอุปกรณ์ควบคุมเหล่านั้นทำงานด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง หากระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยเกิดขัดข้อง อุปกรณ์ควบคุมเหล่านั้นจะไม่สามารถทำงานได้

ในปัจจุบันสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่งจะมีแบตเตอรี่สำรอง (Backup Battery) สำหรับทำงานแทนระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกรณีที่ระบบไฟฟ้ากระแสตรงเกิดขัดข้อง เพื่อให้มั่นใจว่าแบตเตอรี่สำรองดังกล่าวจะสามารถทำหน้าที่ของมันได้อย่างที่ออกแบบไว้ การบำรุงรักษาแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอรวมทั้งการตรวจสอบแบตเตอรี่สำรองเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก โดยปกติจะมีแบตเตอรี่จำนวนสองชุดอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อย ทำให้การบำรุงรักษาและตรวจตราสภาพของแบตเตอรี่ทั้งหมดในระบบอย่างสม่ำเสมอโดยเจ้าหน้าที่เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก แบตเตอรี่สำรองเหล่านี้มักจะติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน (Unmanned Power Substation) ความผิดพลาดสำคัญที่อาจเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ เช่น เกิดการลัดวงจรของเซลล์แบตเตอรี่ในปัจจุบันมักไม่สามารถตรวจพบได้ทันทั่วถึง ซึ่งถึงแม้ว่าแบตเตอรี่เหล่านี้จะยอมให้เกิดการลัดวงจรได้ แต่การลัดวงจรจะทำให้แบตเตอรี่สำรองไม่มีพลังงานเหลือเพียงพอขณะทำงาน

การที่จะแก้ไขปัญหาก็กล่าวมาข้างต้นได้จำเป็นต้องมีระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ซึ่งคอยเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ในปัจจุบันมีราคาสูง อีกทั้งยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การออกแบบและจัดสร้างขึ้นเองน่าจะมีความเหมาะสม นอกจากนี้ในปัจจุบันระบบการสื่อสารโทรคมนาคม มีการวางโครงข่ายไว้อย่างกว้างขวางโครงข่ายต่างๆ ถูกเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายอินเทอร์เน็ต การส่งผ่านข้อมูลสามารถทำได้ย่นย่อเชื่อถือและเป็นมาตรฐานโดยอาศัยชุดโพรโทคอล TCP/IP ซึ่งปัจจุบันถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ในระดับของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีราคาต่ำ แต่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นการออกแบบและสร้าง

ระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนโดยอาศัยโพรโทคอล TCP/IP แบบฝังตัวน่าจะมีความเหมาะสมทั้งในด้านประสิทธิภาพและต้นทุนสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อสร้างระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนโดยอาศัยโพรโทคอล TCP/IP แบบฝังตัวเป็นพื้นฐานในการออกแบบ

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน
2. สร้างต้นแบบระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนตามที่ออกแบบไว้
3. ทดสอบการทำงานของต้นแบบระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นโดยทดสอบในโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมจริงของสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับระบบที่จำหน่ายอยู่จริง และสามารถนำไปใช้งานจริงกับสถานีไฟฟ้าย่อย

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการ

1. ศึกษาระบบไฟฟ้าสำรองกระแสตรงของสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน
2. ศึกษามาตรฐานของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าสำรอง
3. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง

4. ออกแบบระบบเฝ้าตรวจเบตเตอร์สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน
5. สร้างต้นแบบระบบเฝ้าตรวจเบตเตอร์สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน
6. เขียนซอฟต์แวร์ของระบบเฝ้าตรวจเบตเตอร์สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน
7. ทดสอบต้นแบบระบบเฝ้าตรวจเบตเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยนำไปติดตั้งใช้งานกับสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง
8. จัดทำรายงาน

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 5 บท ประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตงานวิจัย ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังที่กล่าวไว้แล้ว บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้น เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบระบบเฝ้าตรวจเบตเตอร์สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน บทที่ 4 เป็นการทดสอบและผลการทดสอบการทำงานของต้นแบบระบบเฝ้าตรวจเบตเตอร์สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน และบทสุดท้ายบทที่ 5 เป็นการสรุปผลการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆ

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้น เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

ในบทนี้เป็นกรนำเสนอกำความรู้เบื้องต้น เอกสารและทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและจัดสร้างระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน

2.1 ความสามารถของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนที่ผู้ใช้งานต้องการ

จากการศึกษาข้อมูลและสอบถามเจ้าหน้าที่ของกรไฟฟ้านครหลวง ผู้ใช้งานระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนมีความต้องการระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ที่สามารถตอบสนองความต้องการดังต่อไปนี้

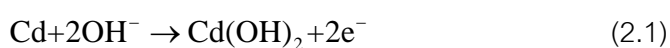
1. สามารถวัดแรงดันของแบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
2. สามารถวัดกระแสของแบตเตอรี่ได้
3. สามารถแสดงสถานะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้อย่างน้อย 24 เซลล์
4. สามารถวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
5. สามารถวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
6. สามารถวัดอุณหภูมิห้องแบตเตอรี่ได้
7. เครื่องเฝ้าตรวจทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
8. สามารถส่งผลการวัดพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่ที่เฝ้าตรวจผ่านระบบโครงข่ายไอพีเพื่อแสดงผลที่หน้าจออย่างน้อย 4 จุดคือ ที่ผู้รับผิดชอบ 3 จุดและที่สถานีไฟฟ้าย่อย 1 จุด
9. ฟังก์ชันการสั่งการจากผู้รับผิดชอบ

10. ฟังก์ชันเก็บรวบรวมข้อมูลที่วัดได้
11. ฟังก์ชันการจัดฟอร์แมต (Format) ข้อมูลเพื่อส่งกลับไปให้ผู้รับผิดชอบ
12. ฟังก์ชันการตอบรับการควบคุมกลับไปยังด้านส่ง
13. ฟังก์ชันการตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล
14. ฟังก์ชันการแสดงผล ได้แก่ แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์, ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์, อุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์, สถานะของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ โดยแสดงในรูปแบบของกราฟและ/หรือตาราง
15. ฟังก์ชันการเตือน (Alarm)
16. ฟังก์ชันการตั้งเวลาเกี่ยวกับการส่งข้อมูล
17. ฟังก์ชันควบคุมการทำงานเดือนละครั้ง โดยมีลำดับการควบคุมดังนี้
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามปกติ
 - หยุดการประจุไฟ (Charge) แบตเตอรี่โดยการหยุดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆหลังจากหยุดการประจุไฟแบตเตอรี่
 - ปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุ (Discharge) เป็นระยะเวลา 30 นาที
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อีกครั้งหนึ่งเพื่อทดสอบความสามารถในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่
 - ประจุไฟแบตเตอรี่อีกครั้งโดยเปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามปกติ

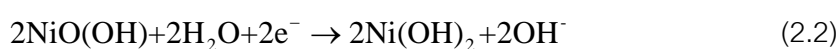
2.2 แบตเตอรี่ที่ใช้งานอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง

ในการออกแบบได้เลือกสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง เขตคลองเตย เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง แบตเตอรี่ที่ใช้งานอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่างเป็นแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลแคดเมียม (Nickel Cadmium Battery) ซึ่งมีแผ่นขั้วบวกเป็นนิเกิลไฮดรอกไซด์ (Nickel Hydrate: NiO(OH)) และแผ่นขั้วลบเป็นฟองน้ำแคดเมียม (Sponge Cadmium: Cd) แยกจากกันโดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็น สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide: KOH) ที่มีความเข้มข้นประมาณ 20-34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และมีการปฏิกิริยาทางเคมี ดังนี้

ปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้าชนิดแคดเมียม (Cadmium Electrode) ขณะคายประจุ



ปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้าชนิดนิเกิล (Nickel Electrode) ขณะคายประจุ



ปฏิกิริยาเคมีลัพท์ ขณะคายประจุ



จะเห็นได้ว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์คือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ไม่ได้ถูกใช้ในปฏิกิริยาทางเคมีดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) จะแตกต่างจากกรณีแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-acid Battery) ที่สามารถบ่งชี้สถานะของการประจุ (State of Charge) ได้

โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ทำการทดสอบเป็นแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลแคดเมียม (NiCd) ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญดังต่อไปนี้

- สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -50 องศาเซลเซียสถึง +50 องศาเซลเซียส
- ระยะเวลาในการเติมน้ำกลั่นใหม่ยาวนาน
- ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี

- ถูกออกแบบให้สามารถทนต่อการลัดวงจร การต้อกลับขั้ว การจ่ายไฟจนหมดและการประจุไฟเกินพิกัดได้
- มีความสามารถในการจ่ายกระแสได้สูงสุด 300 แอมแปร์เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง

2.3 โพรโทคอลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

จากความต้องการระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีความเชื่อถือได้ของการส่งข้อมูลการวัดผ่านระบบโครงข่ายไอพี โพรโทคอลที่เป็นที่นิยมและเป็นมาตรฐานในการใช้ส่งข้อมูลภายในโครงข่ายไอพีคือชุดโพรโทคอล TCP/IP [1]

2.3.1 โพรโทคอล TCP/IP [1, 2]

TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) เป็นชุดของโพรโทคอลมาตรฐานที่ถูกใช้เพื่อทำให้การสื่อสารข้อมูลระหว่างแม่ข่าย (Hosts) บนโครงข่ายไอพี ซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายทางกายภาพที่แตกต่างกันเป็นไปได้

2.3.2 แบบจำลองทางสถาปัตยกรรมของโพรโทคอล TCP/IP

เป้าหมายหลักของการออกแบบ TCP/IP คือการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย (Internetwork) เพื่อให้บริการการสื่อสารที่เป็นสากล (Universal Communication Services) บนพื้นฐานของโครงข่ายที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน (Heterogeneous Physical Networks) กล่าวคือใช้เพื่อทำให้โหนดที่อยู่บนโครงข่ายที่แตกต่างกัน เช่น โครงข่ายที่อยู่บนพื้นฐานทางเทคโนโลยีที่แตกต่างกันสามารถติดต่อสื่อสารกันได้

เป้าหมายอีกอย่างหนึ่งของการออกแบบ TCP/IP คือการสร้างมาตรฐานที่เป็นนามธรรม (Standardized Abstraction) สำหรับกลไกการสื่อสารของโครงข่ายแต่ละชนิด เนื่องจากโครงข่ายแต่ละชนิดจะมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ โดยโครงข่ายเหล่านี้จะ

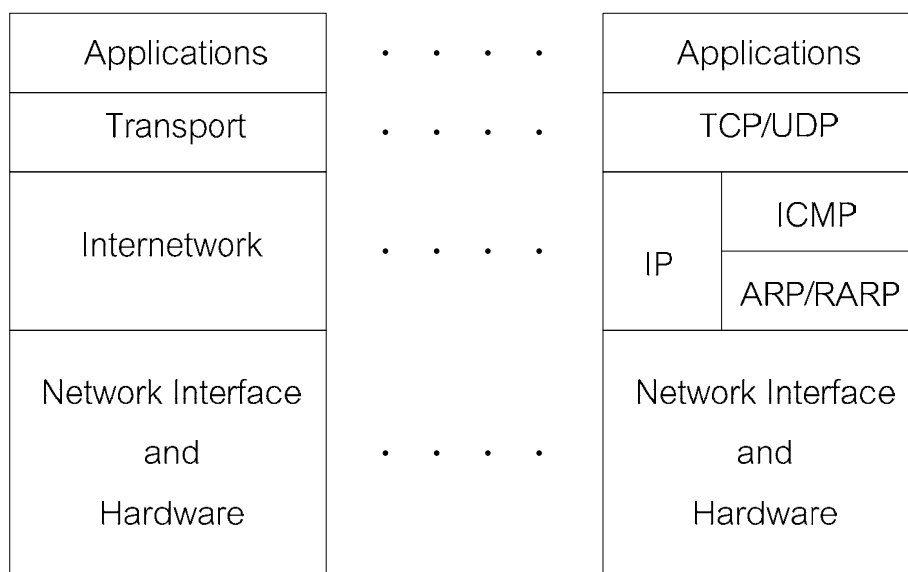
เปิดช่องทางสำหรับการสื่อสารกับโลกภายนอกด้วยตัวต่อประสาน (Interface) ที่เฉพาะตัว เช่น การกำหนดให้มีตัวเชื่อมประสานโปรแกรม (Programming Interface) ของตัวเองไว้สำหรับ นำเสนอฟังก์ชันในการสื่อสารขั้นพื้นฐาน ผู้ที่จะติดต่อสื่อสารกับโครงข่ายเหล่านี้ต้องเรียนรู้การใช้งานโปรแกรมต่อประสานเหล่านี้จึงจะสามารถติดต่อสื่อสารกับโครงข่ายเหล่านี้ได้ ด้วยเหตุนี้เอง ผู้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ (Applications) ที่ต้องการที่จะทำให้โปรแกรมประยุกต์ของตนเอง สามารถติดต่อสื่อสารกับโครงข่ายเหล่านี้ได้จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางระหว่างโปรแกรมต่อประสานของโครงข่ายและโปรแกรมประยุกต์ของผู้ใช้งานซึ่งก็คือโพรโทคอล TCP/IP โดย TCP/IP จัดเตรียมตัวต่อเชื่อมมาตรฐานไว้ใช้สื่อสารกับโครงข่ายต่างๆ โดยมาตรฐานดังกล่าวเป็นอิสระกับ ลักษณะทางกายภาพของโครงข่าย กล่าวคือผู้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ไม่จำเป็นต้องทราบ เกี่ยวกับสถาปัตยกรรมทางกายภาพของโครงข่ายเหล่านั้น เพียงแต่เขียนโปรแกรมให้สอดคล้อง ตามมาตรฐานที่ TCP/IP กำหนดไว้จากนั้นจะเป็นหน้าที่ของชุดโพรโทคอล TCP/IP ที่จะส่งการ ฟังก์ชันการสื่อสารพื้นฐาน (Basic Communication Functions) ของโครงข่ายกายภาพชนิดต่างๆ แทน

2.3.3 แบบจำลองแบบชั้นของโพรโทคอล TCP/IP

TCP/IP จะมีลักษณะคล้ายกับโปรแกรมสำหรับโครงข่าย (Networking Software) ทั่วไป คือ TCP/IP ถูกแบ่งออกเป็นชั้น (Layers) ชั้นๆกัน ซึ่งเป็นที่มาของคำว่า โพรโทคอลสแตค (Protocol Stack) การที่ TCP/IP ถูกแบ่งออกเป็นชั้นๆเพื่อจุดประสงค์ดังต่อไปนี้

- เพื่อแบ่งงานและภาระหน้าที่ของแต่ละชั้นให้ชัดเจน
- เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างและการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม
- เพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงหรือพัฒนาโพรโทคอลแต่ละชั้นที่สร้างขึ้นมาโดยที่ไม่กระทบกับ ชั้นโพรโทคอลอื่นๆที่มีอยู่เดิม

TCP/IP ถูกแบ่งออกเป็น 4 ชั้นประกอบด้วย ชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application Layer) ชั้นเคลื่อนย้าย (Transport Layer) ชั้นโครงข่าย (Internetwork Layer) และชั้นเชื่อมประสานโครงข่าย และฮาร์ดแวร์ (Network Interface and Hardware Layer) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลำดับชั้นของโพรโทคอล TCP/IP พร้อมตัวอย่างโพรโทคอลในแต่ละชั้น

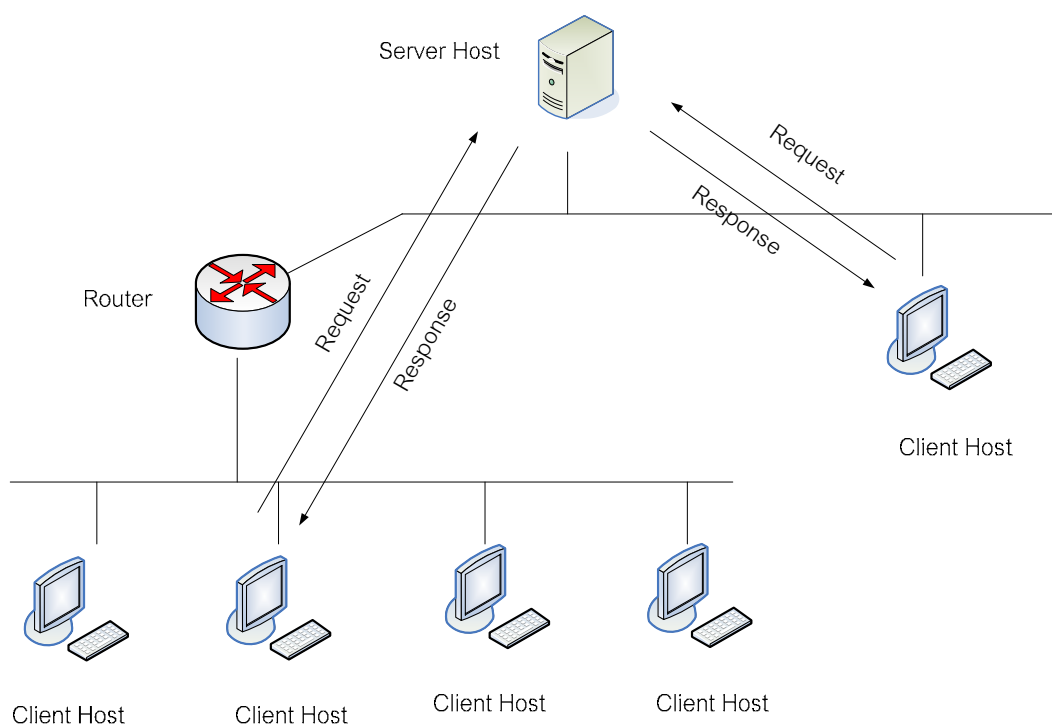
2.3.3.1 ชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application Layer)

ชั้นประยุกต์ใช้งานเป็นชั้นที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมประยุกต์ของผู้ใช้งานที่ใช้โพรโทคอล TCP/IP ในการสื่อสารโดยโปรแกรมประยุกต์เหล่านี้มีทั้งที่เป็นมาตรฐานได้แก่ เหน็ดวิธีถ่ายโอนแฟ้ม (File Transfer Protocol: FTP), เหน็ดวิธีขนส่งข้อความหลายมิติ (Hyper Text Transport Protocol: HTTP), เทลเน็ต (Telnet) ฯลฯ หรือโปรแกรมอื่น ๆ ที่ไม่ได้เป็นมาตรฐานเช่นโปรแกรมประยุกต์ที่ผู้ใช้งานพัฒนาขึ้นเองเพื่อใช้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งที่ต้องการ สถาปัตยกรรมที่ถูกใช้งานบ่อยและเป็นที่ยอมรับคือสถาปัตยกรรมแบบลูกข่ายและแม่ข่าย (Client-Server Architecture)

- **สถาปัตยกรรมแบบลูกข่ายและแม่ข่าย (Client-Server Architecture)**

สถาปัตยกรรมแบบลูกข่ายและแม่ข่ายจะประกอบด้วยโฮสต์ซึ่งจะทำงานตลอดเวลา (Always-on) ที่เรียกว่าแม่ข่าย (Server) ซึ่งให้บริการต่อคำร้องขอ (Request) จากหลายๆโฮสต์ที่เรียกว่า ลูกข่าย (Client) โดยโฮสต์ที่ประพฤติตัวเป็นลูกข่ายอาจจะทำงานตลอดเวลาหรือไม่ก็ได้

ตัวอย่างของสถาปัตยกรรมดังกล่าวที่รู้จักกันดีได้แก่ระบบประยุกต์เว็บ (Web Application) ซึ่งประกอบด้วยแม่ข่ายเว็บ (Web Server) ซึ่งทำงานอยู่ตลอดเวลาารับคำร้องขอจากโปรแกรมค้นดูเว็บ (Web Browser) ซึ่งทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย เมื่อแม่ข่ายเว็บได้รับคำร้องขอข่าวสารที่ต้องการจากโปรแกรมค้นดูเว็บ แม่ข่ายเว็บก็จะตอบรับคำร้องดังกล่าวด้วยข่าวสารที่โปรแกรมค้นดูเว็บต้องการกลับไปยังเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมแบบลูกข่ายและแม่ข่าย

โปรแกรมประยุกต์สำหรับโครงข่าย (Network Application) ประกอบด้วยโปรเซส (Process) สองโปรเซสซึ่งรับส่งข่าวสารระหว่างกันผ่านโครงข่าย (Network) ตัวอย่างเช่น ในระบบประยุกต์เว็บประกอบด้วยโปรแกรมค้นดูเว็บแลกเปลี่ยนข่าวสารกับแม่ข่ายเว็บเป็นต้น โดยสำหรับคู่ของโปรเซสที่สื่อสารกันโดยปกติแล้วเราจะพิจารณาโปรเซสหนึ่งเป็นโปรเซสลูกข่าย (Client Process) ส่วนอีกโปรเซส หนึ่งเป็นโปรเซสแม่ข่าย (Server Process) ดังเช่นในกรณีของระบบประยุกต์ โปรแกรมค้นดูเว็บถูกพิจารณาให้เป็นโปรเซสลูกข่ายส่วนแม่ข่ายเว็บถูกพิจารณาให้เป็น

โปรเซสแม่ข่าย โดยหลักในการพิจารณาว่าโปรเซสใดเป็นลูกข่าย หรือ แม่ข่าย นั้นพิจารณาว่า “ในช่วงเวลาสื่อสาร (Session) ของการสื่อสารหนึ่งๆที่ประกอบด้วย โปรเซสสองตัวสื่อสารกัน โปรเซสที่เป็นผู้เริ่มต้นการสื่อสาร จะถูกพิจารณาว่าเป็นโปรเซสลูกข่าย ส่วนโปรเซสซึ่งรอคอยการติดต่อจากโปรเซส อื่นจะถูกพิจารณาว่าเป็นโปรเซสแม่ข่าย” จากในกรณีของระบบประยุกต์เว็บก็ จะเห็นได้ว่าโปรแกรมคั่นดูเว็บจะเป็นผู้เริ่มการติดต่อไปยังแม่ข่ายเว็บก่อน ดังนั้นโปรแกรมคั่นดูเว็บจึงถูกพิจารณาว่าเป็นโปรเซสลูกข่าย ส่วนแม่ข่ายเว็บซึ่งคอยการติดต่อจากโปรแกรมคั่นดูเว็บจึงถูกพิจารณาให้เป็นโปรเซสแม่ข่าย

ดังที่ได้อธิบายข้างต้น โปรแกรมประยุกต์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรเซสสองตัวสื่อสารกัน ด้วยการส่งข่าวสารไปมาระหว่างกัน ข่าวสารใดๆที่ส่งจากโปรเซสหนึ่งจะถูกส่งผ่านโครงข่ายไปยังอีกโปรเซสหนึ่ง สำหรับโปรเซสหนึ่งๆจะรับและส่งข่าวสารผ่านทางสิ่งที่เรียกว่าซ็อกเก็ต (Socket) ซึ่งเปรียบเสมือนประตูในขณะที่โปรเซสเปรียบเสมือนบ้าน

ซ็อกเก็ตเปรียบเสมือนประตูระหว่างโปรเซสกับทีซีพี ผู้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์จะสามารถควบคุมทุกอย่างเกี่ยวกับโปรเซสได้แต่สามารถควบคุมทีซีพีได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เช่น การกำหนดพารามิเตอร์บางอย่าง เช่น ขนาดของที่พักรับข้อมูลทีซีพี (TCP Buffer) เป็นต้น เนื่องจากทีซีพีจะถูกควบคุมการทำงานโดย TCP/IP Stack สำหรับกรณีของการใช้งานทีซีพีบนไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือถูกควบคุมการทำงานโดย ระบบปฏิบัติการ (Operating System) ในกรณีของการใช้งานทีซีพีบนเครื่องคอมพิวเตอร์

เมื่อโปรเซสต้องการที่จะส่งข่าวสารก็จะส่งข่าวสารออกทางซ็อกเก็ตพร้อมกับพารามิเตอร์ที่ต้องการโดยใช้ตัวเชื่อมประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface: API) เพื่อติดต่อขอใช้บริการทีซีพีจากนั้นข่าวสารดังกล่าวจะถูกส่งผ่านโครงข่ายโดยโพรโทคอลทีซีพีไปจนถึงโฮสต์อีกเครื่องหนึ่งและถูกบริการทีซีพีที่อยู่บนโฮสต์อีกเครื่องหนึ่งนำข่าวสารดังกล่าวไปส่งยังซ็อกเก็ตของโปรเซสปลายทางต่อไป

ในการระบุที่อยู่ของโปรเซสต้นทาง และโปรเซสปลายทางจะระบุด้วยสองสิ่งคือ ที่อยู่ไอพีของโฮสต์ และหมายเลขพอร์ต (Port Number) เนื่องจากบนโฮสต์หนึ่งๆอาจมีหลายโปรเซสทำงานอยู่ ดังนั้นการที่จะระบุว่าต้องการติดต่อไปยังโปรเซสใดบนโฮสต์ปลายทางหมายเลขพอร์ตจึงเป็นสิ่งจำเป็นนอกเหนือจากที่อยู่ไอพีที่ใช้ระบุที่อยู่ของโฮสต์บนโครงข่ายไอพี

2.3.3.2 ชั้นเคลื่อนย้าย (Transport Layer)

ชั้นเคลื่อนย้ายเป็นชั้นที่ทำหน้าที่จัดเตรียมการส่งผ่านข้อมูลจากปลายทางหนึ่งไปยังอีกปลายทางหนึ่ง (End-to-end Data Transfer) โดยส่งข้อมูลที่ได้รับจากโปรแกรมประยุกต์ไปยังโปรแกรมประยุกต์ที่เป็นคู่สนทนาที่อยู่ระยะไกล (Remote Peer) โดยทั่วไปชั้นเคลื่อนย้ายสามารถให้บริการโปรแกรมประยุกต์ได้หลายโปรแกรมพร้อมๆกัน

โพรโทคอลที่นิยมใช้งานมากในชั้นเคลื่อนย้ายได้แก่โพรโทคอล TCP (Transmission Control Protocol) และโพรโทคอล UDP (User Datagram Protocol) ต่างกันที่โพรโทคอล TCP ให้บริการการรับส่งข้อมูลในลักษณะที่มีความเชื่อถือได้สูงกว่า

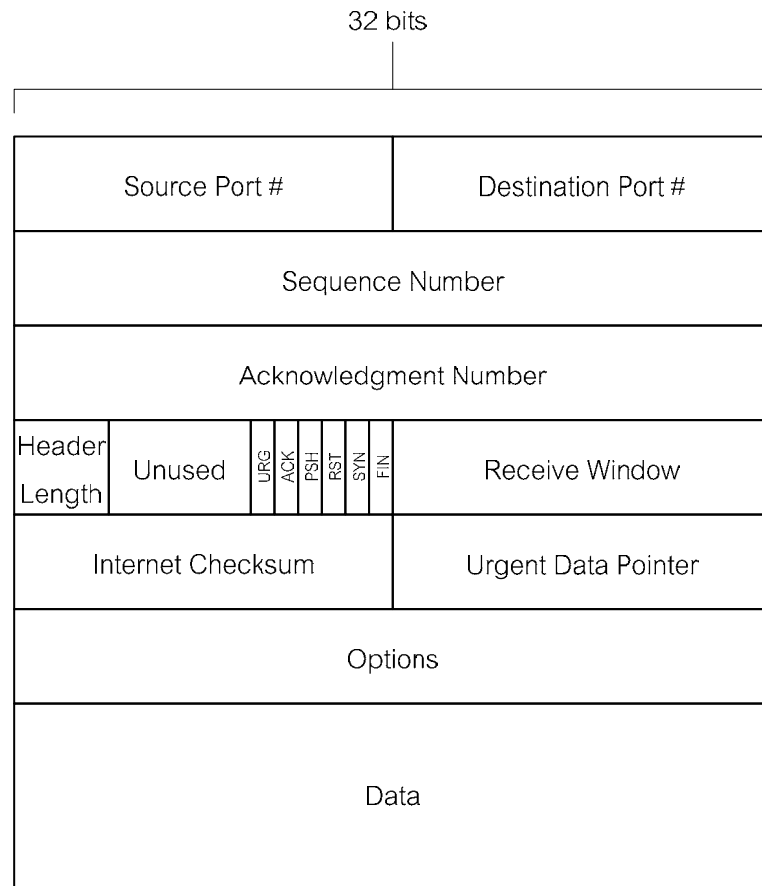
- **โพรโทคอล TCP (Transmission Control Protocol)**

โพรโทคอลทีซีพีจะให้บริการการส่งข้อมูลในลักษณะที่มีความเชื่อถือได้สูง ข้อมูลที่ถูกส่งด้วยโพรโทคอลทีซีพีจะถูกรับประกันว่าข้อมูลจะได้รับอย่างแน่นอนและถูกต้องตามลำดับ ดังนั้นโพรโทคอล ทีซีพีจะถูกใช้สำหรับการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการความเชื่อถือได้ของการรับส่งข้อมูล ลักษณะเฉพาะของโพรโทคอลทีซีพีมีดังต่อไปนี้

- มีการสร้างช่องทางสำหรับการสื่อสารไว้ล่วงหน้าก่อนที่การรับส่งข้อมูลจะเกิดขึ้น
- มีฟังก์ชันการป้องกันการซ้ำกันของข้อมูล (Duplicate Data Suppression)
- มีฟังก์ชันการควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (Congestion Control)
- มีการควบคุมการไหลของข้อมูล (Flow Control)

โครงสร้างของ TCP segment (TCP Segment Structure)

โครงสร้างของ TCP segment ประกอบด้วยฟิลด์ต่างๆดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเซกเมนต์ของทีซีพี

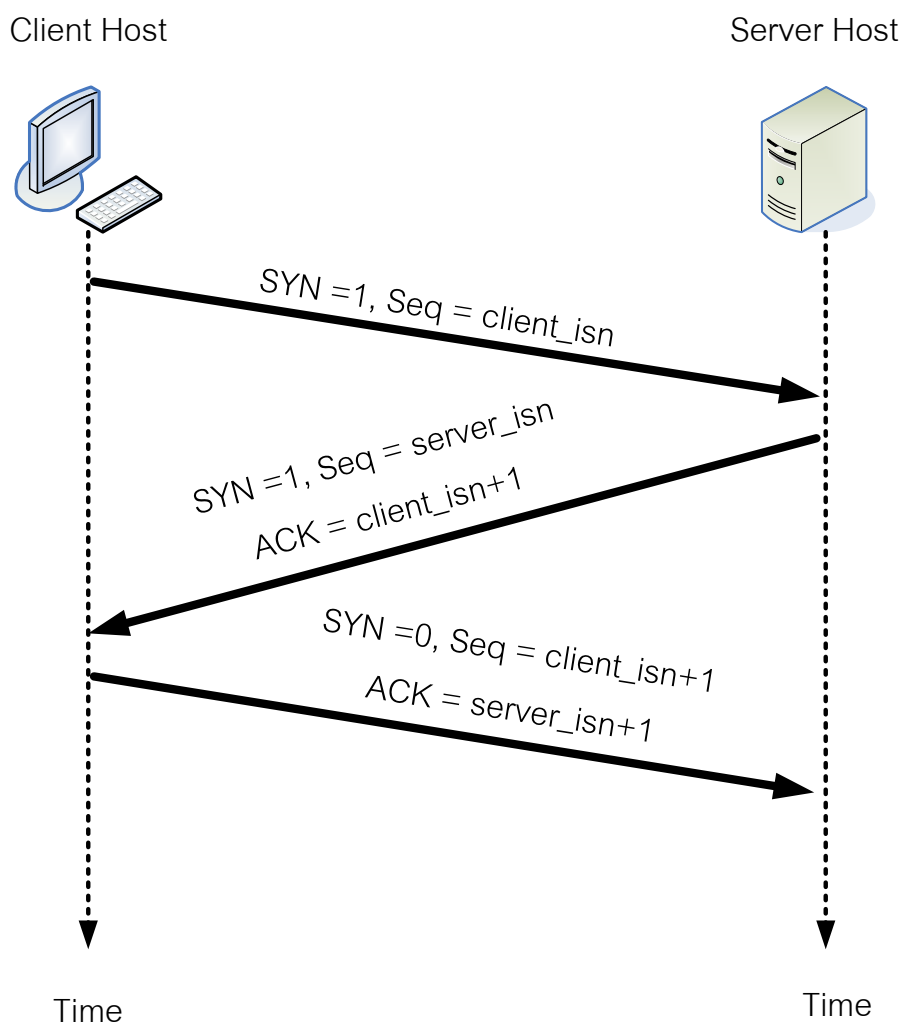
ทีซีพีเป็นบริการการส่งข้อมูลแบบคอนเนกชันโอเรียนเตด (Connection-oriented) กล่าวคือจะมีการสร้างการเชื่อมต่อก่อนที่โฮสทั้งสองจะแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน กระบวนการดังกล่าวจะเรียกว่า “การจับมือ 3 วิธี” (Three-way Handshake) โดยหากสมมุติว่าโปรเซสที่ทำงานบนโฮสฝั่งหนึ่งทำหน้าที่เป็นลูกข่ายต้องการที่จะเริ่มต้นสร้างการเชื่อมต่อกับอีกโปรเซสที่ทำงานอยู่บนอีกโฮสอีกฝั่งหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นแม่ข่ายการทำงานดังกล่าวจะเริ่มต้นจากโปรเซสที่ทำงานบนโฮสที่ทำหน้าที่เป็น ลูกข่ายจะส่งความต้องการไปบอกทีซีพีว่าต้องการที่จะสร้างการ

เชื่อมต่อกับโปรเซสที่ทำงานบนเครื่องแม่ข่าย หลังจากนั้นทีซีพีจะดำเนินการเพื่อให้บรรลุความต้องการดังกล่าวด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้และแสดงดังรูปที่ 2.4

1) ทีซีพีบนฝั่งลูกข่ายจะส่งเซกเมนต์ของทีซีพี (TCP Segment) แบบพิเศษซึ่งเรียกว่า TCP SYN Segment ไปยังทีซีพีบนฝั่งแม่ข่ายโดย TCP SYN Segment ดังกล่าวนี้อาจไม่มีข้อมูลในชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application-layer Data) แต่จะมีการเซตบิต SYN ในฟิลด์แฟล็ก (Flag) ในส่วนหัว (Header) ของเซกเมนต์ให้เป็น "1" นอกจากนี้ทีซีพีบนฝั่งลูกข่ายจะสุ่ม (Random) ค่าเริ่มต้นของเลขลำดับการส่ง (Sequence Number) (แสดงเป็น `client_isn` แสดงในรูปที่ 2.4) และใส่ลงในฟิลด์ลำดับการส่ง (Sequence Number Field) ในส่วนหัวของเซกเมนต์ จากนั้น TCP SYN Segment นี้จะถูกห่อหุ้ม (Encapsulated) ลงในดาตาแกรมและถูกส่งไปยังเครื่องแม่ข่าย

2) เมื่อดาตาแกรมที่บรรจุ TCP SYN Segment มาถึงเครื่องแม่ข่าย ทีซีพีบนเครื่องแม่ข่ายจะแยก TCP SYN Segment ออกจากดาตาแกรมแล้วใส่ TCP SYN Segment ลงในที่พักข้อมูลของทีซีพี (TCP Buffer) แล้วอ่านตัวแปร (Variable) ที่จำเป็นต่อการเชื่อมต่อไปเก็บไว้ใช้งาน จากนั้นทีซีพีบนเครื่องแม่ข่ายจึงส่งเซกเมนต์ยินยอมให้เชื่อมต่อเรียกว่า TCP SYNACK Segment กลับไปยังเครื่องลูกข่าย โดย TCP SYNACK Segment ดังกล่าวก็ไม่มีข้อมูลในชั้นประยุกต์ใช้งานเช่นกัน แต่มีความพิเศษคือ มีการเซตบิต SYN ให้เป็น "1", ฟิลด์เลขลำดับการตอบรับ (Acknowledgement Number Field) ถูกเซตให้มามีค่าเป็น `client_isn+1` และสุดท้ายทีซีพีบนเครื่องแม่ข่ายจะสุ่มค่าเริ่มต้นของเลขลำดับการส่ง (แสดงเป็น `server_isn` ในรูปที่ 2.4) และใส่ค่าเหล่านี้ข้างต้นลงในฟิลด์ต่างๆในส่วนหัวของเซกเมนต์ ต่อไป กระบวนการข้างต้นเปรียบเสมือนตัวอย่างการสื่อสารของมนุษย์ที่ว่า "ฉันได้รับ SYN Packet เพื่อขอเริ่มการเชื่อมต่อด้วยเลขลำดับการส่งเริ่มต้นของคุณคือ `client_isn` แล้ว ฉันยินดีเริ่มต้นการเชื่อมต่อดังกล่าวโดยเลขลำดับการส่งเริ่มต้นของฉันคือ `server_isn`"

3) เมื่อเครื่องลูกข่ายได้รับ TCP SYNACK Segment แล้ว ทีซีพีบนเครื่องลูกข่ายจะนำ TCP SYNACK Segment ไปใส่ไว้ในที่พักข้อมูลของทีซีพี แล้วอ่านตัวแปรที่จำเป็นต่อการเชื่อมต่อไปเก็บไว้ใช้งาน จากนั้นเครื่องลูกข่ายจึงส่งเซกเมนต์ตอบรับไปให้เครื่องแม่ข่ายโดย เซกเมนต์ดังกล่าวใส่ เลขลำดับการตอบรับเป็น `server_isn+1` เพื่อแจ้งให้เครื่องแม่ข่ายทราบว่าได้รับเซกเมนต์ก่อนหน้าแล้วและ SYN บิตของเซกเมนต์นี้ถูกเซตเป็น "0" เนื่องจากการเชื่อมต่อถูกสร้างเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 2.4 การสร้างการเชื่อมต่อของโพรโทคอลทีซีพีด้วยวิธีการจับมือสามวิถี

ความเชื่อถือได้ (Reliability) เกิดจากการกำหนดเลขลำดับการส่ง ให้กับแต่ละเซกเมนต์ที่ส่ง โหนดทั้งคู่ที่สื่อสารด้วยทีซีพีจะมีการสร้างการตอบรับ (Acknowledgement: ACK) เมื่อได้รับข้อมูลหากผู้ส่งไม่ได้รับ ACK ภายในระยะเวลาที่กำหนดเซกเมนต์ดังกล่าวจะถูกส่งกลับไปยังผู้รับอีกครั้งเรียกกระบวนการนี้ว่า Retransmission

หากโปรแกรมประยุกต์ต้องการใช้งานโพรโทคอลทีซีพี โปรแกรมประยุกต์ดังกล่าวจะต้องใส่หมายเลขไอพี ทีซีพีพอร์ต (TCP Port) ของโปรแกรมประยุกต์ต้นทาง และทีซีพีพอร์ตของโปรแกรมประยุกต์ปลายทาง ทีซีพีพอร์ตที่มีค่าต่ำกว่า 1024 จะเป็นพอร์ตที่ถูกกำหนดโดยองค์กร IANA (Internet Assigned Numbers Authority) เพื่อใช้กับโปรแกรมประยุกต์บางอย่างได้แก่

พอร์ต 23 ใช้กับเทลเน็ต (Telnet) พอร์ต 80 ใช้กับเกณฑ์วิธีขนส่งข้อความหลายมิติ (HTTP) เป็นต้น

2.3.3.3 ชั้นโครงข่าย (Internetwork Layer)

ชั้นโครงข่ายบางครั้งถูกเรียกว่าชั้นอินเทอร์เน็ต (Internet Layer) หรือ ชั้นโครงข่าย (Network Layer) ทำหน้าที่จัดเตรียมโครงข่ายเสมือน (Virtual Network) โดยชั้นนี้จะเสมือนปิดบังโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายต่อชั้นที่อยู่สูงกว่า โพรโทคอลในชั้นนี้ที่สำคัญที่สุดได้แก่โพรโทคอลอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol : IP) ซึ่งจัดเป็นโพรโทคอลที่มีลักษณะแบบคอนเนกชันเลส (Connectionless) โดยโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตจะทำหน้าที่พยายามส่งข่าวสารไปให้ถึงปลายทางให้สำเร็จ โดยข่าวสารในที่นี่เรียกว่าอินเทอร์เน็ตดาตาแกรม (IP Datagram) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของข้อมูลที่ส่งไปมาภายในโครงข่ายไอพี

- ตารางจัดเส้นทางสำหรับโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต (IP Routing Table)

ในการพิจารณาว่าควรส่งแพ็กเก็ตไปเส้นทางไหนพิจารณาจากบัญชีของอุปกรณ์ต่อร่วมท้องถิ่น (Local Interface) โดยในบัญชีดังกล่าวจะจับคู่ระหว่างที่อยู่ของโครงข่ายไอพีปลายทางกับเส้นทางไปยังเกตเวย์ (Gateway) ถัดไป โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ในตารางที่เรียกว่า ตารางจัดเส้นทางสำหรับโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต

- IP Routing Algorithm

โพรโทคอล IP ใช้อัลกอริทึมนี้ในการจัดเส้นทางให้กับดาตาแกรม

- Address Resolution Protocol

Address Resolution Protocol หรือ ARP เป็นโพรโทคอลมาตรฐานที่มีหน้าที่แปลงที่อยู่บนโครงข่ายของโพรโทคอลชั้นที่อยู่สูงกว่าโดยในที่นี้คือที่อยู่ไอพี (IP Address) ไปเป็นที่อยู่ของโพรโทคอลในชั้นโครงข่ายกายภาพ (Physical Network Address)

- การใช้งานโพรโทคอล ARP

ภายใต้โครงข่ายกายภาพหนึ่ง เราจะระบุที่อยู่ของโหนดบนโครงข่ายด้วย ที่อยู่ทางกายภาพ (Physical Address) สำหรับโครงข่ายอีเทอร์เน็ตคือ MAC Address แต่ที่อยู่สำหรับโพรโทคอลในชั้นที่อยู่สูงขึ้นไปจะเป็นที่อยู่ไอพี ดังนั้นเมื่อโพรโทคอลในชั้นที่อยู่สูงกว่าต้องการที่จะส่งดาตาแกรมไปยังที่อยู่ไอพีปลายทาง ไดรเวอร์ของอุปกรณ์ (Device Driver) จะไม่เข้าใจที่อยู่ไอพีดังกล่าว ดังนั้นจำเป็นต้องมีมอดูลหนึ่งที่ทำหน้าที่แปลความที่อยู่ไอพีดังกล่าวไปเป็นที่อยู่ทางกายภาพของโหนด ปลายทาง ซึ่งก็คือมอดูล ARP โดยหากที่อยู่ไอพีดังกล่าวไม่ถูกพบในหน่วยความจำชั่วคราวของมอดูล ARP (ARP Cache) จะมีการแพร่สัญญาณ (Broadcast) แพร่ข้อมูลเฉพาะที่เรียกว่า ARP Request ไปบนโครงข่าย หากโหนดใดๆบนโครงข่ายเป็นเจ้าของที่อยู่ไอพีที่ถูกถามนี้ก็จะตอบกลับด้วยแฟรมข้อมูลเฉพาะที่เรียกว่า ARP Reply กลับมายังโหนดที่เป็นผู้เรียกโดยภายใน ARP Reply นั้นจะบรรจุที่อยู่ทางกายภาพของโหนดที่เป็นเจ้าของ ARP Reply

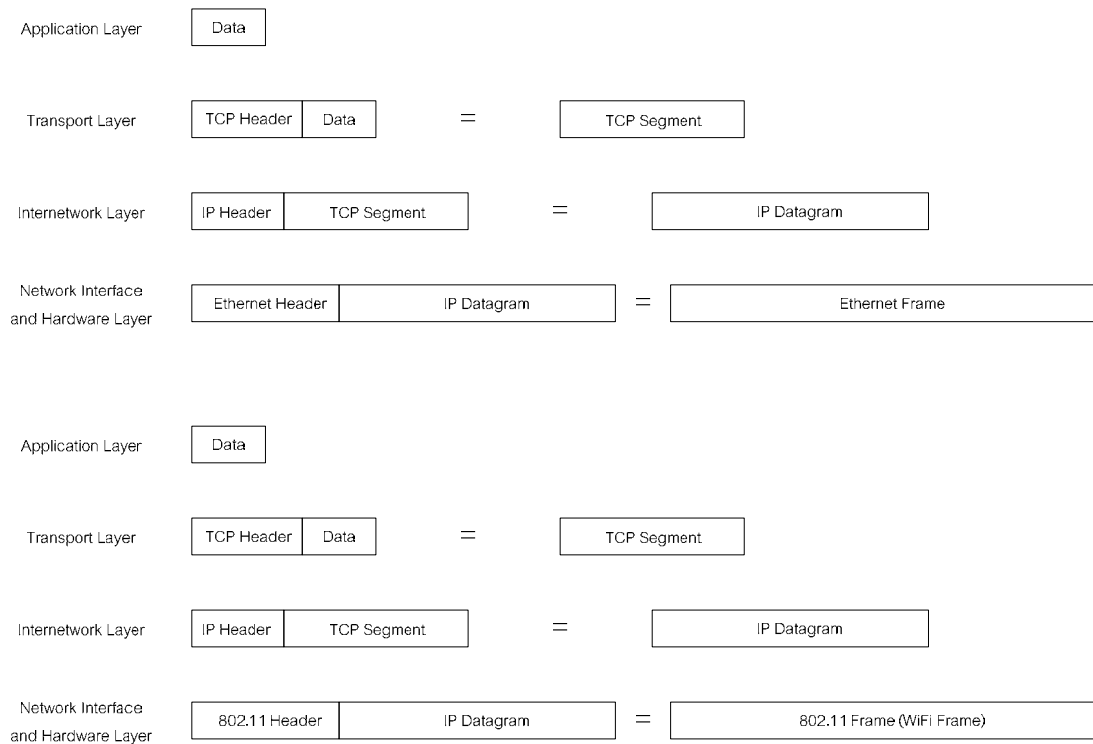
2.3.3.4 ชั้นเชื่อมต่อประสานโครงข่ายและฮาร์ดแวร์ (Network Interface and Hardware Layer)

จากที่กล่าวมาบนโครงข่ายไอพีจะประกอบด้วยโหนดและ อุปกรณ์จัดเส้นทาง (Router) อยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับชั้นนี้จะนิยามโหนดหรืออุปกรณ์จัดเส้นทางเป็นสิ่งเดียวกันคือโหนด (Node) โดยโครงข่ายไอพีจะถูกรวมองว่าประกอบด้วยโหนดจำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยสายเชื่อมโยง (Link) จำนวนมากดังนั้นการที่จะส่งข่าวสารซึ่งในที่นี้ก็คืออินเทอร์เน็ตดาตาแกรมจากโหนดหนึ่งข้ามไปยังโหนดหนึ่งผ่าน สายเชื่อมโยงหนึ่งๆได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยโพรโทคอลในชั้นนี้ อาจเรียกโพรโทคอลในชั้นนี้ได้ว่าเป็น Link-Layer Protocol โดยตัวอย่างของโพรโทคอลดังกล่าวได้แก่ อีเทอร์เน็ต (Ethernet), IEEE 802.11, โทเคนริง (Token Ring) เป็นต้น ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของสาย

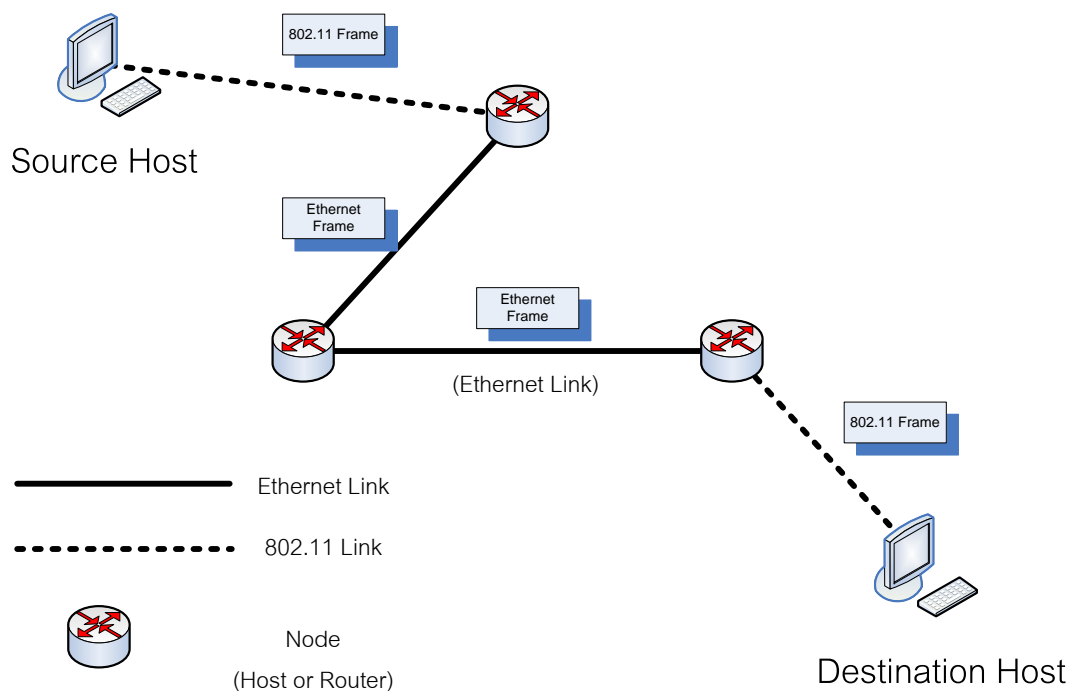
เชื่อมโยงว่าใช้การสื่อสารในทางกายภาพเป็นแบบใด จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่างานในชั้นโครงข่าย (Network Layer) คือการส่งเซกเมนต์ในชั้นเคลื่อนย้าย (Transport-layer Segments) หรือก็คือเซกเมนต์ของทีซีพี ในกรณีที่เลือกใช้โพรโทคอลทีซีพีจากโฮสต์ต้นทางไปยังโฮสต์ปลายทาง ส่วนงานหลักในชั้นนี้คือการส่งดาตาแกรมในชั้นโครงข่าย (Network-layer Datagram) หรือ อินเทอร์เน็ตดาตาแกรมจากโหนดหนึ่งข้ามสายเชื่อมโยงหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง สำหรับหน่วยของข้อมูลที่ Link-layer Protocol แลกเปลี่ยนกันจะเรียกว่าเฟรม (Frame) ซึ่งโดยทั่วไป Link-layer Protocol จะบรรจุเพียง 1 อินเทอร์เน็ตดาตาแกรมไว้ภายใน 1 เฟรม โดยลำดับการจัดข้อมูลแสดง ดังรูปที่ 2.5

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าสำหรับโปรแกรมประยุกต์ที่ทำงานบนโฮสต์ต้นทางที่มีโปรเซสที่ต้องการส่งข้อมูลในชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application-layer Data) ไปยังโปรเซสที่อยู่ในโปรแกรมประยุกต์ที่ทำงานอยู่บนโฮสต์ปลายทาง ข้อมูลในชั้นประยุกต์ใช้งานดังกล่าวจะถูกส่งไปยังซ็อกเก็ตและถูกห่อหุ้ม (Encapsulate) ด้วยส่วนหัว (Header) ของโพรโทคอลทีซีพีกลายเป็นเซกเมนต์ของทีซีพี จากนั้นเซกเมนต์ดังกล่าวก็就会被ห่อหุ้มด้วยส่วนหัวของโพรโทคอล IP กลายเป็นอินเทอร์เน็ตดาตาแกรม จากนั้นดาตาแกรมนี้อีกก็จะถูกส่งผ่านสายเชื่อมโยงไปยังอีกโหนดหนึ่ง ซึ่งก็就会被ห่อหุ้มด้วย ส่วนหัวของ Link-layer Protocol กลายเป็นเฟรมขึ้นอยู่กับการที่สายเชื่อมโยงดังกล่าวใช้ Link-layer Protocol อะไรเช่นถ้าเป็นอีเทอร์เน็ต อินเทอร์เน็ตดาตาแกรมก็就会被ห่อหุ้มด้วยส่วนหัวของอีเทอร์เน็ต กลายเป็นเฟรมอีเทอร์เน็ต (Ethernet Frame) ส่งข้ามสายเชื่อมโยงที่ใช้โพรโทคอลอีเทอร์เน็ต (Ethernet Link) ซึ่งเมื่อเฟรมดังกล่าวข้ามมาถึงยังโหนดอีกด้านของสายเชื่อมโยงแล้วโหนดดังกล่าวก็จะแยกเอาอินเทอร์เน็ตดาตาแกรมออกจากเฟรม แล้วตรวจสอบว่าอินเทอร์เน็ตดาตาแกรมนั้นมีปลายทางอยู่ที่ใด ก็จะไปส่งต่ออินเทอร์เน็ตดาตาแกรมไปด้วยกระบวนการเช่นเดิมข้ามสายเชื่อมโยงไปยังโหนดอื่นๆต่อไป โดยแต่ละสายเชื่อมโยงที่อินเทอร์เน็ตดาตาแกรมข้ามผ่านก่อนจะถึงโฮสต์ปลายทางไม่จำเป็นจะต้องมีลักษณะทางกายภาพแบบเดียวกัน เช่นอาจเป็นสายคู่บิดเกลียว (Twisted-pair) สายไฟเบอร์ (Fiber Optic Cable) หรือเป็นคลื่นความถี่วิทยุก็ได้ โดยสายเชื่อมโยงเหล่านั้นก็จะมี Link-layer Protocol ที่ต่างกันออกไป การที่จะข้ามสายเชื่อมโยงเหล่านั้นได้อินเทอร์เน็ตดาตาแกรมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยส่วนหัวของโพรโทคอลเหล่านั้นเพื่อสร้างเป็นเฟรมที่เหมาะสม จึงจะสามารถข้ามสายเชื่อมโยงนั้นไปยังโหนดต่อไป และท้ายที่สุดเมื่ออินเทอร์เน็ตดาตาแกรมเดินทางมาถึงโหนดปลายทางหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมาถึงโฮสต์ปลายทางตามที่อยู่ระบุในที่อยู่ไอพี เฟรมที่มาถึงโหนดดังกล่าวจะถูกแยกเอาอินเทอร์เน็ตดาตาแกรมออกมาและอินเทอร์เน็ตดาตาแกรมนี้อีกก็จะถูกนำไปแยกเอาเซกเมนต์ของทีซีพี

ออกมาและจากเซกเมนต์ดังกล่าวข้อมูลในชั้นประยุกต์ใช้บรรจุในเซกเมนต์ก็จะถูกแยกออกเพื่อนำส่งให้กับซ็อกเก็ตที่เหมาะสม โดยซ็อกเก็ตดังกล่าวจะนำข้อมูลส่งไปยังโปรเซสที่เป็นเป้าหมายของผู้ส่งเพื่อใช้ทำงานต่อไป โดยเส้นทางการเดินทางของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ลำดับการจัดเฟรมข้อมูลของชุดโพรโทคอล TCP/IP



รูปที่ 2.6 เส้นทางเดินของข้อมูลโดยอาศัยชุดโพรโทคอล TCP/IP

2.3.4 ชุดโพรโทคอล TCP/IP ที่ใช้งาน [3, 4]

สำหรับชุดโพรโทคอล TCP/IP ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ชุดโพรโทคอล TCP/IP ของบริษัทไมโครชิพ (Microchip TCP/IP Protocol Stack) ซึ่งถูกเขียนขึ้นด้วยโค้ดภาษา C โดยสามารถนำมาใช้งานได้ฟรีกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีมอดูลอีเทอร์เน็ตแบบฝัง PIC18F86J65 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC18F97J60 ที่มีจุดเด่นคือ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถทำงานสอดคล้องโดยสมบูรณ์ (Fully Compatible) กับ โครงข่ายอีเทอร์เน็ตแบบใช้สายคู่บิดเกลียว (Ethernet 10/100/1000 Base-T) และมีการฝังมอดูลควบคุมการทำงานแบบอีเทอร์เน็ตไว้ภายในเพื่อเป็นฮาร์ดแวร์ที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลบนโครงข่ายอีเทอร์เน็ตบนสายนำสัญญาณแบบสายคู่บิดเกลียว (Twisted Pair) ด้วยความเร็วสูงสุด 10 เมกะบิตต่อวินาที และยังมีที่อยู่สำหรับโพรโทคอลอีเทอร์เน็ต (Multiple Access Control Address: MAC Address) ไว้ในตัวเพื่อระบุตัวตนบนโครงข่ายอีเทอร์เน็ตอีกด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวจึงเป็นการรวมความต้องการของการควบคุมผ่านโครงข่ายอีเทอร์เน็ตไว้บนชิพเดียว

บทที่ 3

การออกแบบระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

ในบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบและการสร้างระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งประกอบด้วยหลายหัวข้อได้แก่ โครงสร้างของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งอธิบายส่วนประกอบของระบบและการทำงานของระบบในภาพรวม การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูลซึ่งอธิบายถึงการออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูล การออกแบบระบบการประมวลผลและการออกแบบวงจรวัดและเซนเซอร์ที่ใช้ในงานเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ การออกแบบซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบและฐานข้อมูลที่ใช้งานตามลำดับ

3.1 โครงสร้างของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

ระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ที่ออกแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำงานโดยอาศัยชุดโพรโทคอล TCP/IP จึงสามารถนำไปใช้ได้บนโครงข่ายไอพีทั้งที่เป็นโครงข่ายไอพีแบบสาธารณะ (Public Internet) หรือโครงข่ายไอพีส่วนตัว (Intranet)

3.1.1 ส่วนประกอบของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

ระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนดังต่อไปนี้

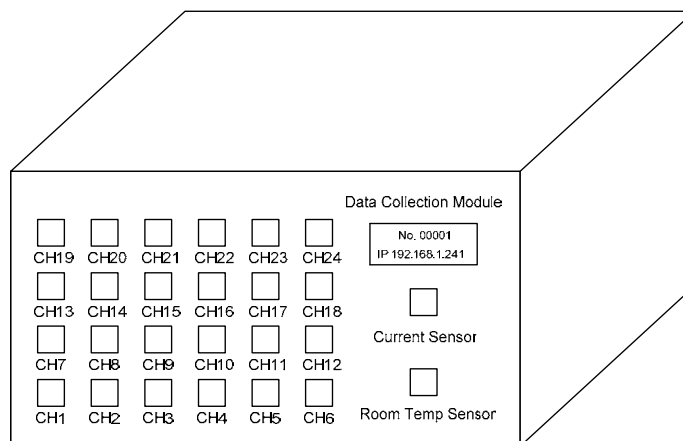
- 1) เครื่องรวบรวมข้อมูล (Data Collection Module: DCM)
- 2) เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server Computer)
- 3) เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client Computer)

3.1.1.1 เครื่องรวบรวมข้อมูล (Data Collection Module: DCM)

มอดูลเก็บรวบรวมข้อมูลทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลการวัดพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่ ต้องการเฝ้าตรวจได้แก่ แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ อุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ กระแส ของแบตเตอรี่ อุณหภูมิห้อง สถานะของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยอาศัยเซนเซอร์ที่ เหมาะสมในการวัดค่าเหล่านั้นจากแบตเตอรี่

มอดูลเก็บรวบรวมข้อมูลที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆที่ ต้องการเฝ้าตรวจของแบตเตอรี่ได้จำนวนสูงสุดเท่ากับ 24 เซลล์ โดยมอดูลเก็บรวบรวมข้อมูลแต่ ละเครื่องจะได้รับการจัดสรรที่อยู่ไอพีไว้เฉพาะตัวโดยไม่ซ้ำกันเพื่อเป็นที่อยู่อ้างอิงภายในโครงข่าย อินเทอร์เน็ตเพื่อใช้อ้างอิงในขณะมีการรับและส่งข้อมูลโดยใช้โพรโทคอล TCP/IP

การรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลเก็บรวบรวมข้อมูลและโปรแกรมประยุกต์อื่นๆกระทำโดย โพรโทคอล TCP/IP ซึ่งในชั้นเคลื่อนย้าย (Transport Layer) จะใช้โพรโทคอลที่ซีพีในการรับส่ง ข้อมูล โดยลักษณะของเครื่องรวบรวมข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.1

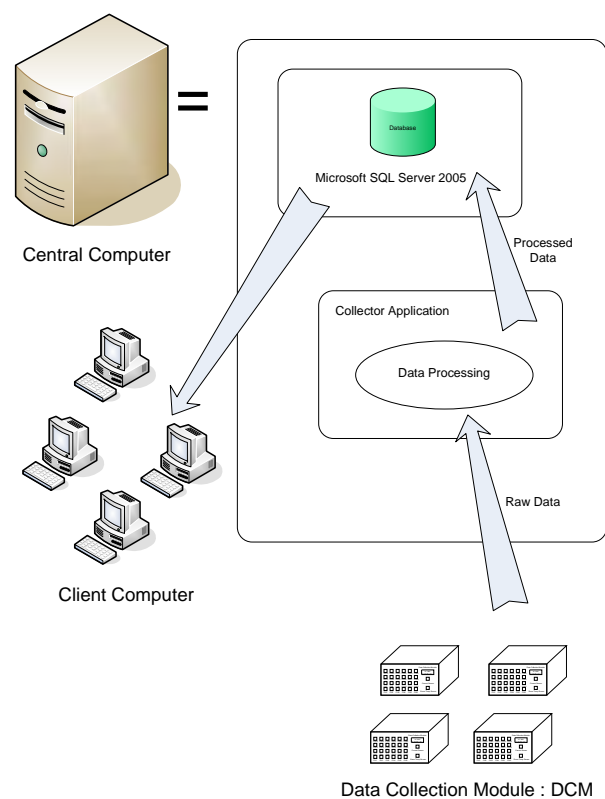


รูปที่ 3.1 เครื่องรวบรวมข้อมูล

3.1.1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server Computer)

เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่รวบรวมมาจากเครื่องรวบรวมข้อมูลแต่ละเครื่องที่ถูกติดตั้งอยู่ในระบบ จากนั้นประมวลผลข้อมูลก่อนที่จะบันทึกข้อมูลเหล่านั้นลงในฐานข้อมูลโดยการทำงานเหล่านี้รับผิดชอบโดยซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลที่ทำงาานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย
- 2) นำเสนอข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่เก็บรักษาไว้ในฐานข้อมูลให้แก่ซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่ทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Host Computer) โดยการทำงานเหล่านี้รับผิดชอบโดยซอฟต์แวร์ฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2005 Express Edition



รูปที่ 3.2 ระบบการทำงานที่ประสานกันของส่วนประกอบต่างๆของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่

3.1.1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client Computer)

เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมแสดงผลข้อมูล ที่ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

- 1) แสดงผลข้อมูลเป็นตารางสำหรับผู้ใช้งานตรวจสอบดูว่ามีแบตเตอรี่ชุดใดบ้างที่เกิดปัญหา
- 2) แสดงผลข้อมูลเป็นกราฟและตารางเพื่อแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่เซลล์ใดเซลล์หนึ่งที่ผู้ใช้งานต้องการตรวจสอบโดยสามารถดูได้ทั้งข้อมูลเวลาจริง ข้อมูลในอดีต และแนวโน้มของข้อมูลในอดีต
- 3) ตรวจสอบความสามารถในการทำงานของแบตเตอรี่ที่ต้องการ โดยส่งคำสั่งควบคุมไปตัดไฟฟ้ากระแสลับที่ไหลเข้าสู่เครื่องประจุและเครื่องแปลงไฟแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้แบตเตอรี่ที่ต้องการตรวจสอบจ่ายโหลด แล้วดูว่าแบตเตอรี่จ่ายโหลดได้นานเท่าที่ต้องการหรือไม่

3.1.2 การทำงานของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

ระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยจะทำงานโดยเริ่มจากการติดตั้งเครื่องรวบรวมข้อมูลไว้กับชุดแบตเตอรี่ที่ต้องการเฝ้าตรวจ โดยเครื่องรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจะประกอบด้วยเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่อันได้แก่ แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ อุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ สถานะของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ กระแสที่ไหลเข้าหรือออกจากแบตเตอรี่ และอุณหภูมิของห้องแบตเตอรี่ โดยเครื่องรวบรวมข้อมูลที่ออกแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเซนเซอร์ที่สามารถเฝ้าตรวจแบตเตอรี่ได้จำนวนทั้งสิ้น 24 เซลล์พร้อมกัน สำหรับระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่โดยรวมจะประกอบด้วยเครื่องรวบรวมข้อมูลถูกติดตั้งจำนวนมาก แต่ละเครื่องติดตั้งไว้กับแบตเตอรี่ที่ต้องการเฝ้าตรวจ โดยแต่ละเครื่องจะมีที่อยู่ไอพี (IP Address) เป็นของตนเองเพื่อระบุตัวตนบนโครงข่ายไอพีเพื่อใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลบนโครงข่ายไอพีด้วยชุดโพรโทคอล TCP/IP

ในระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่นอกจากจะประกอบด้วยเครื่องรวบรวมข้อมูลที่ถูกติดตั้งไว้กับชุดแบตเตอรี่ที่ต้องการเฝ้าตรวจตามสถานที่ต่างๆแล้วยังประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเรียกเก็บพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่จากเครื่องรวบรวมข้อมูลที่ถูกติดตั้งทั้งหมดในระบบมาเก็บรักษาไว้ยังฐานข้อมูลส่วนกลางและให้บริการข้อมูลพารามิเตอร์ของ

แบตเตอรี่ที่เก็บไว้ ให้แก่ผู้ใช้งานผ่านโครงข่ายไอพีโดยใช้ซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Battery Data Management Software: BDM) บนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายในการขอรับบริการดังกล่าว

การทำงานของระบบจะเริ่มต้นจากซอฟต์แวร์บนเครื่องแม่ข่ายจะสอบถามข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่จากเครื่องรวบรวมข้อมูลทุกตัวที่ถูกติดตั้งในระบบด้วยคาบเวลาที่คงที่ เช่น ทุกๆ 1 นาทีเป็นต้นโดยคาบเวลาดังกล่าวสามารถเลือกได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน เมื่อเครื่องรวบรวมข้อมูลได้รับคำสั่งสอบถามข้อมูลจากเครื่องแม่ข่าย มันจะตอบกลับคำร้องดังกล่าวด้วยข้อมูลพารามิเตอร์ ณ ขณะนั้นของแบตเตอรี่ชุดที่มันเฝ้าตรวจอยู่ เมื่อเครื่องแม่ข่ายได้รับข้อมูลดังกล่าวแล้วก็ประมวลผลแล้วบันทึกข้อมูลดังกล่าวพร้อมทั้งวันเวลาในการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลในตารางที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของเครื่องรวบรวมข้อมูลเครื่องนั้น ทำให้ในฐานข้อมูลกลางมีข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่ถูกเฝ้าตรวจโดยเครื่องรวบรวมข้อมูลแต่ละเครื่องอยู่ทั้งหมด

เมื่อผู้ใช้งานต้องการตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ชุดใดก็จะใช้ซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายติดต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพื่อขอข้อมูลของแบตเตอรี่ชุดที่ต้องการมาตรวจดูโดยสามารถตรวจดูข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ได้ทั้งในลักษณะของข้อมูลในลักษณะเวลาจริง (RealTime) หรือในลักษณะของข้อมูลในอดีต โดยสำหรับข้อมูลในอดีตสามารถเลือกดูได้ทั้งข้อมูลดิบ ข้อมูลที่ถูกเฉลี่ยทุกๆนาที่ ชั่วโมง วัน หรือเฉลี่ยทุกๆเดือน เพื่อดูแนวโน้มของพารามิเตอร์ที่สนใจได้

ในการทดสอบความสามารถในการเก็บประจุของชุดแบตเตอรี่ ผู้ใช้งานจะเลือกใช้ฟังก์ชันบนซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย ในการติดต่อไปยังเครื่องรวบรวมข้อมูลเพื่อสั่งการปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่

และเครื่องแปลงไฟตรง (Battery Charger and Rectifier Module) เพื่อเป็นการบังคับให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดของสถานีไฟฟ้าโดยตรงทดสอบดูว่าแบตเตอรี่ชุดดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างที่คาดหวังไว้หรือไม่

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูล

แนวทางในการออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูลจะดำเนินการออกแบบให้สอดคล้องกับฟังก์ชันพื้นฐานที่ต้องการจากเครื่องรวบรวมข้อมูลได้แก่

- สามารถวัดแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
- สามารถวัดกระแสของแบตเตอรี่ได้จำนวน 1 จุด
- สามารถวัดอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
- สามารถวัดอุณหภูมิของห้องแบตเตอรี่ได้จำนวน 1 จุด
- สามารถคำนวณค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
- สามารถแสดงสถานะการเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้จำนวน 24 เซลล์
- สามารถสั่งการเปิดปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ได้
- สามารถทำงานด้วยโพรโทคอล TCP/IP โดยมีโพรโทคอลการเชื่อมต่อในชั้นเชื่อมต่อประสานโครงข่ายและฮาร์ดแวร์แบบอีเทอร์เน็ต

นอกจากนี้ในส่วนคุณลักษณะของค่าการวัดที่ได้จากวงจรวัดและเซนเซอร์แต่ละชนิดได้แก่ ความแม่นยำในการวัด (Accuracy) ย่านการวัด (Range) จะพิจารณาจากวัตถุประสงค์ในการวัดเป็นสำคัญ

3.2.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูล

เครื่องรวบรวมข้อมูลต้องทำงานกับวงจรวัดและเซนเซอร์จำนวนมากแสดงดังโครงสร้างการเชื่อมต่อของเครื่องรวบรวมข้อมูลกับโพรบวัดต่างๆดังรูปที่ 3.3 ดังนั้นการประมวลผลข้อมูลจากวงจรวัดและเซนเซอร์เหล่านั้น สร้างภาระงานต่อหน่วยประมวลผลของเครื่องรวบรวมข้อมูลอย่างมาก นอกจากงานดังกล่าวแล้วหน่วยประมวลผลยังต้องรับภาระงานในการสื่อสารด้วยโพรโทคอล TCP/IP ด้วย ดังนั้นในการออกแบบระบบการประมวลผลให้แก่เครื่องรวบรวมข้อมูลจึงจัดให้มีหน่วยประมวลผลหลายตัวร่วมกันทำงาน (Multiprocessing) โดยหน่วยประมวลผลเหล่านั้นติดต่อสื่อสารกันโดยใช้โพรโทคอล I2C (Inter-Integrate Circuit) [5] ผ่านทาง I2C บัส (I2C-bus)

โดยในการออกแบบกำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลไว้ที่ 100 kbps ซึ่งจัดเป็นความเร็วของการรับส่งข้อมูลในโหมดมาตรฐาน (Standard Mode) ของโปรโตคอลดังกล่าว

สำหรับการสื่อสารบน I2C บัส ข้อกำหนดของโปรโตคอลกำหนดให้มีอุปกรณ์หนึ่งบนบัสเป็นอุปกรณ์หลัก (Master Device) และอุปกรณ์อื่น ๆ บนบัสเป็นอุปกรณ์ลูกข่าย (Slave Device) โดยที่มีเพียงอุปกรณ์หลักเท่านั้นที่ควบคุมและสามารถริเริ่มการสื่อสารได้ กล่าวคือหากอุปกรณ์หลักต้องการที่จะรับข้อมูลจากหรือส่งข้อมูลถึงอุปกรณ์ลูกข่ายใด ๆ บนบัส อุปกรณ์หลักจะเป็นผู้เริ่มส่งข้อความที่ประกอบด้วยหมายเลขที่อยู่ (Address Number) ของอุปกรณ์ลูกข่ายที่ต้องการสื่อสารด้วยพร้อมทั้งบิตพิเศษซึ่งกำหนดว่าต้องการรับหรือส่งข้อมูลไปบนบัส อุปกรณ์ลูกข่ายทุกตัวจะได้รับข้อความดังกล่าวแต่จะมีเพียงอุปกรณ์ลูกข่ายที่มีหมายเลขที่อยู่ตรงกับที่ปรากฏในข้อความบนบัสเท่านั้นที่จะตอบสนองต่อข้อความดังกล่าว

จากข้อกำหนดของโปรโตคอลสำหรับการสื่อสารนี้เองจึงออกแบบเครื่องรวบรวมข้อมูลให้มีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก (Master-microcontroller) จำนวน 1 ตัว

และไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย (Slave-microcontroller) จำนวน 4 ตัวทำงานอยู่บนบอร์ดหลัก (Mainboard) ของเครื่องเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีการเชื่อมต่อแสดงดังแสดงในรูปที่ 3.4

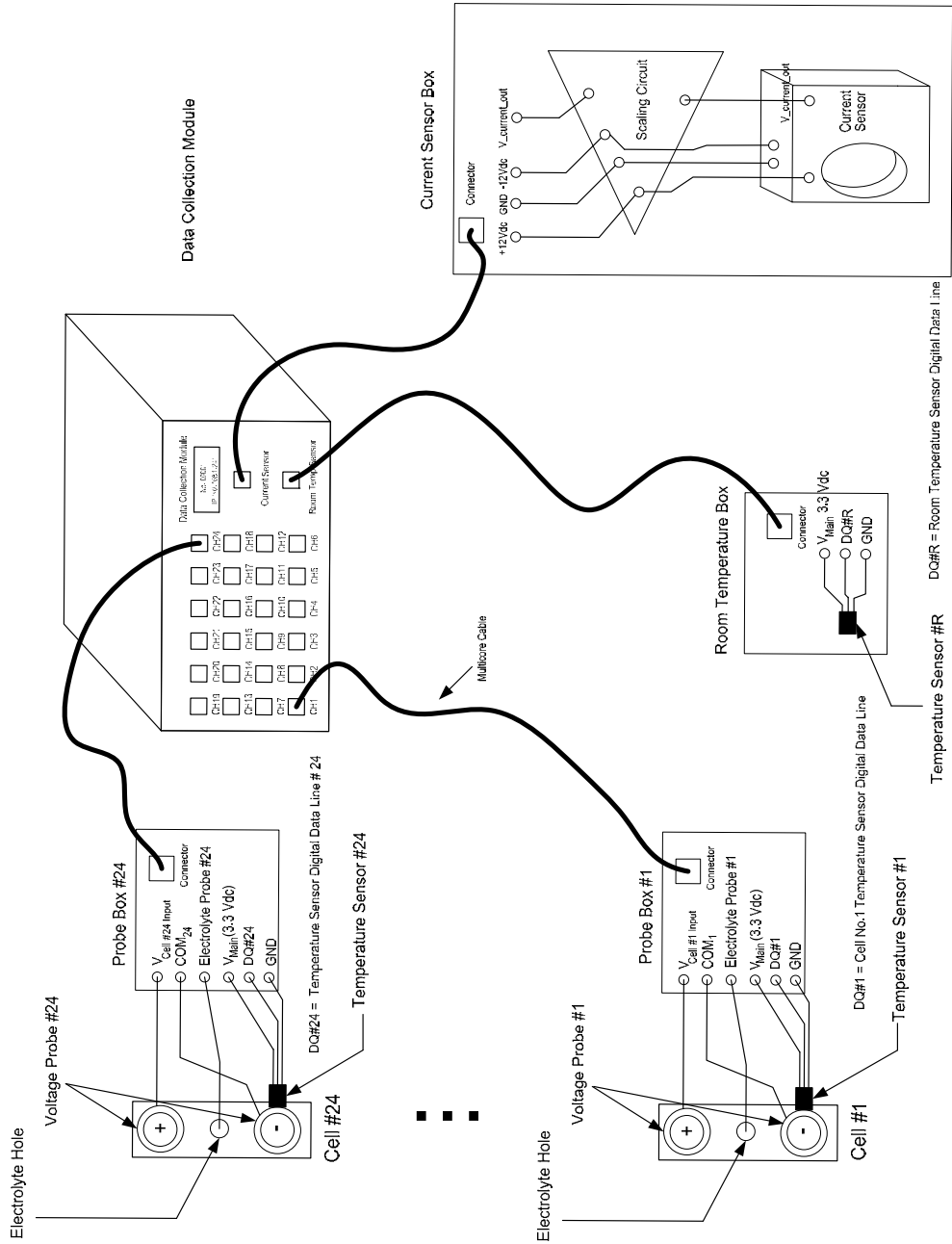
โดยไมโครคอนโทรลเลอร์หลักและไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายมีหน้าที่การทำงานหลักดังต่อไปนี้

3.2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก

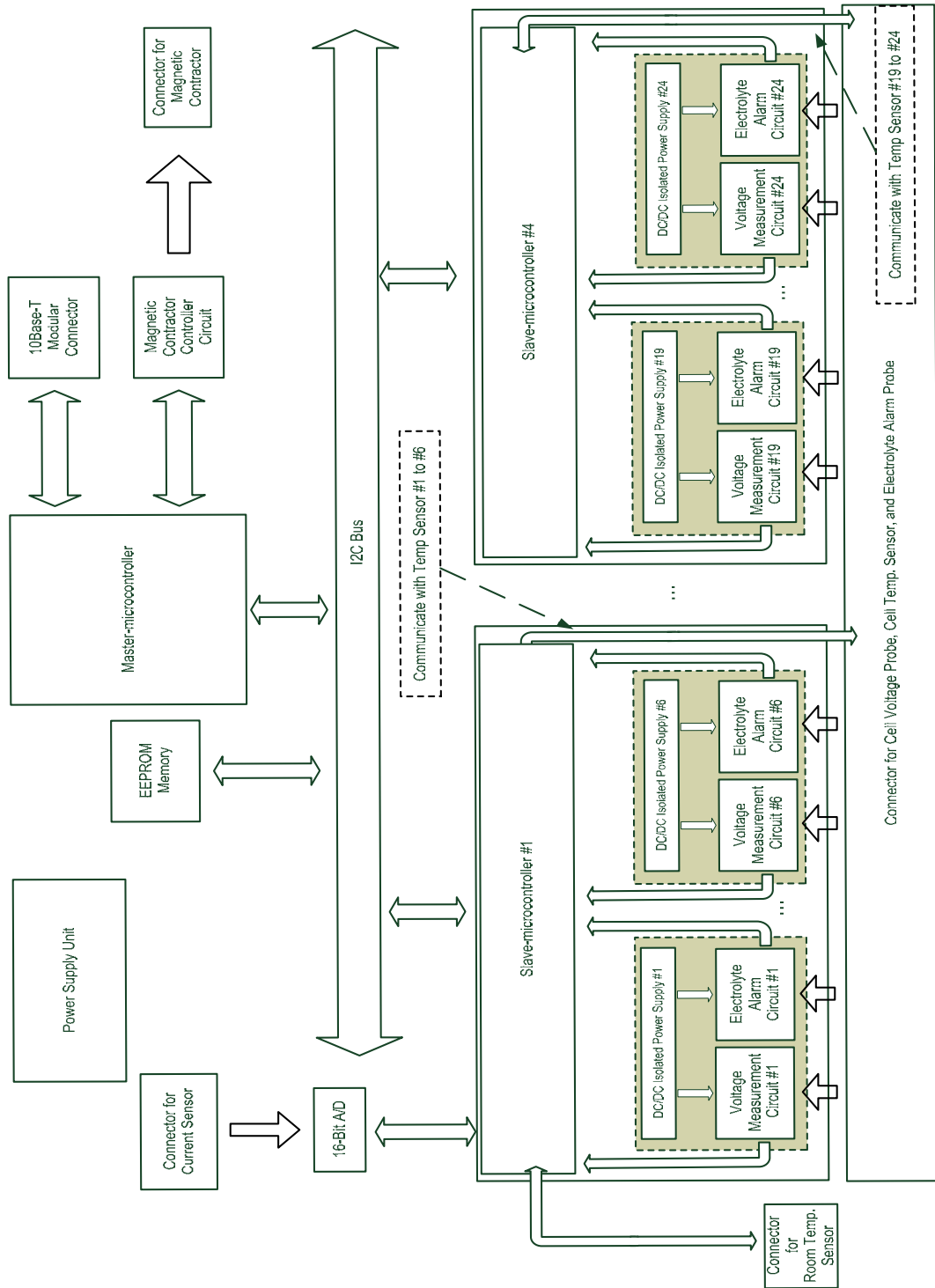
- ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวเองกับไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย
- ประมวลผลข้อมูลดิจิทัลที่ได้รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายเพื่อจัดฟอร์แมตข้อมูลเพื่อนำส่งผ่านโครงข่ายไอพี
- ควบคุมสั่งการวงจรควบคุมการทำงานของแมกเนติกคอนแทรคเตอร์ (Magnetic Contractor Controller Circuit) เพื่อตัดต่อแรงดันขาเข้าของเครื่องประจุไฟแบตเตอรี่ในขณะต้องการทดสอบความสามารถในการเก็บประจุของแบตเตอรี่

- ควบคุมการรับส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายไอพีโดยอาศัยโพรโทคอล TCP/IP ที่มีโพรโทคอลในชั้นเชื่อมต่อประสานโครงข่ายและฮาร์ดแวร์เป็นโพรโทคอลอีเทอร์เน็ต (Ethernet) โดยข้อมูลสำคัญที่จำเป็นในการสื่อสารโดยใช้โพรโทคอล TCP/IP ได้แก่ ที่อยู่ไอพีของเครื่องรวบรวม หน้ากากของโครงข่ายย่อย (Subnet Mask) และ เกตเวย์โดยปริยาย (Default Gateway) จะถูกเก็บไว้ในไอซีหน่วยความจำชนิด EEPROM (EEPROM Memory) เพื่อโหลดเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ขณะเริ่มต้นการทำงาน โดยการอ่านหรือเขียนค่าลงในไอซีหน่วยความจำ EEPROM ดังกล่าวกระทำผ่านโพรโทคอล I2C เช่นเดียวกัน

จากหน้าที่การงานดังกล่าวจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F97J60 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก โดยความสามารถโดยสรุปของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลดังกล่าวแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.3 โครงสร้างการเชื่อมต่อของเครื่องรวบรวมข้อมูลกับโพรบวัดต่างๆ



รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของบอร์ดหลักของเครื่องรวบรวมข้อมูล

3.2.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย

- ควบคุมการรับส่งข้อมูลดิจิทัลระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสำหรับวัดอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่โดยรับผิดชอบเซนเซอร์ดังกล่าวจำนวน 6 ตัว

- ควบคุมการแปลงสัญญาณแอนะล็อกจากวงจรวัดแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ให้เป็นข้อมูลดิจิทัลโดยรับผิดชอบวงจรถูกกล่าวจำนวน 6 วงจร

- ควบคุมการรับสัญญาณเตือนจากวงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยรับผิดชอบวงจรถูกกล่าวจำนวน 6 วงจร

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายทั้ง 4 ตัวจะทำงานเหมือนกันตามข้อสรุปข้างต้น ยกเว้นจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายตัวหนึ่ง (แสดงเป็น Slave-microcontroller # 1 ในรูปที่ 3.4) จะรับผิดชอบการทำงานเพิ่มเติมได้แก่

- ควบคุมการรับส่งข้อมูลดิจิทัลระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสำหรับวัดอุณหภูมิห้องแบตเตอรี่โดยรับผิดชอบเซนเซอร์ดังกล่าวจำนวน 1 ตัว

- ควบคุมการแปลงสัญญาณแอนะล็อกจากเซนเซอร์วัดกระแสแบตเตอรี่โดยใช้ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต

จากหน้าที่การงานดังกล่าวข้างต้นจำเป็นต้องอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีจำนวนพอร์ตขาเข้าและพอร์ตขาออกอย่างเพียงพอต่อการใช้งานโดยจำนวนพอร์ต I/O ที่จำเป็นต่อการทำงานต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายถูกสรุปไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนพอร์ต I/O ที่จำเป็นต่อหน้าที่การทำงานต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย

| หน้าที่การทำงาน | จำนวน I/O ที่ต้องการในการทำงาน |
|---|--------------------------------|
| ใช้สำหรับแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 10 บิต | 6 |
| ใช้รับค่าสัญญาณจากวงจรเตือนระดับสารละลายฯ | 6 |
| ใช้ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่ | 6 |
| ใช้ในการสื่อสารด้วยโปรโตคอล I2C | 2 |

จากตารางที่ 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายแต่ละตัวต้องการจำนวนพอร์ตใช้งานเท่ากับ 20 พอร์ต ยกเว้นไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายที่ควบคุมการอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดกระแสและควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิซึ่งต้องการจำนวนพอร์ตเท่ากับ 23 พอร์ต จากความต้องการดังกล่าวนี้เองจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 18F45J10 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่าย โดยรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวแสดงในภาคผนวก ข

นอกจากการออกแบบระบบการประมวลผลให้แก่เครื่องรวบรวมข้อมูลแล้วเพื่อให้เครื่องรวบรวมข้อมูลสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่ได้ตามความต้องการจำเป็นต้องอาศัยวงจรหรือเซนเซอร์ที่เหมาะสมในการทำงานโดยการออกแบบดังกล่าวแสดงดังต่อไปนี้

3.2.1.3 วงจรวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

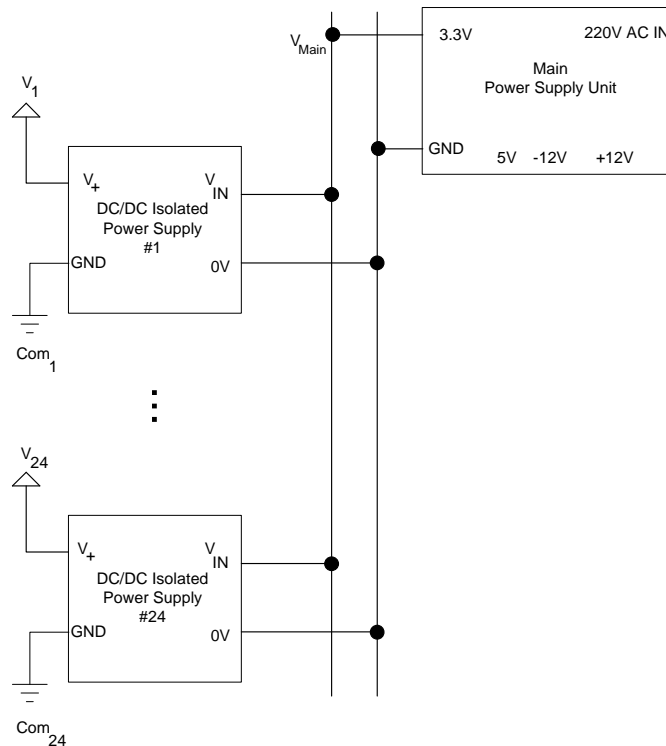
ในการวัดแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์มีประเด็นที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

- **ย่านการวัด** เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ในระบบสำรองไฟของสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวงเป็นแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม มีแรงดันในขณะใช้งานอยู่ที่ 1.3 โวลต์

และมีแรงดันขณะประจุไฟอยู่ในช่วง 1.6 -1.7 โวลต์ นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ที่แบตเตอรี่บางเซลล์ลัดวงจรทำให้แรงดันที่ตกคร่อมแบตเตอรี่แต่ละเซลล์สูงกว่า 2 โวลต์ได้ ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมจึงกำหนดช่วงของแรงดันที่วัดเป็นช่วง 0-3.30 โวลต์

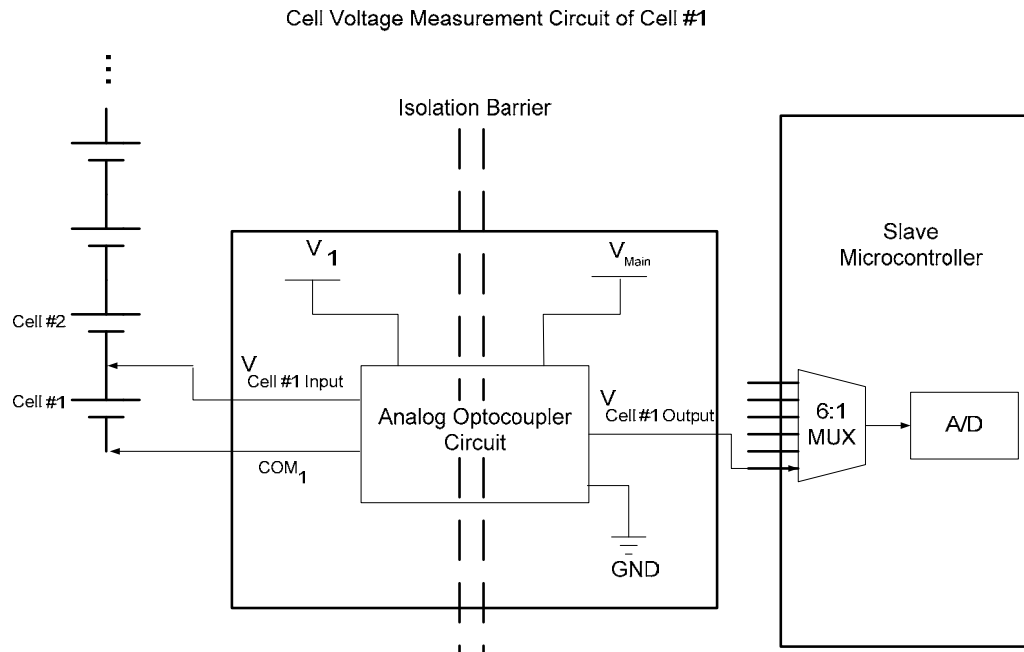
- **ความแม่นยำในการวัด** เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการวัดแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่เพื่อเฝ้าตรวจว่าแรงดันขณะใช้งาน แรงดันขณะประจุไฟของแบตเตอรี่ อยู่ในย่านที่เหมาะสมตามคู่มือใช้งานของบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่หรือไม่ นอกจากนี้ยังจะนำผลการวัดแรงดันไปคำนวณความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์อีกด้วย ดังนั้นความแม่นยำของการวัดแรงดันจึงกำหนดไว้ที่ความผิดพลาดไม่เกิน 0.20% of Full Scale

- **ปัญหาการวัดแรงดันแบตเตอรี่ที่ต่อกันในลักษณะอนุกรมกัน (Battery Stack Problem)** เนื่องจากแบตเตอรี่ในระบบสำรองไฟของสถานีไฟฟ้าอยู่ต่อกันในลักษณะอนุกรมกันเป็น 93 เซลล์ก่อให้เกิดปัญหาของการมีแรงดันร่วมโหมด (Common Mode Voltage) ที่สูงซึ่งปัญหาดังกล่าวถูกรูปไว้ใน [6] ในการแก้ปัญหาดังกล่าววิธีการหนึ่งคือการแยกแหล่งจ่ายของวงจรวัดแรงดันเซลล์แบตเตอรี่แต่ละวงจรถ้าเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งวิธีการนี้ถึงแม้ว่าจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเครื่องรวบรวมข้อมูลโดยรวม แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของการออกแบบโดยใช้ทรัพยากรร่วมกันแล้วพบว่าหากเลือกใช้วิธีการดังกล่าวจะทำให้สามารถออกแบบวงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ง่ายและมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ โดยการแยกแหล่งจ่ายของวงจรวัดแต่ละวงจรถอกจากกันทำได้โดยเลือกใช้ไอซีแหล่งจ่ายไฟชนิดแปลงไฟกระแสตรงเป็นกระแสตรง [ภาคผนวก ค] โดยแหล่งจ่ายดังกล่าวแสดงเป็น DC/DC Isolated Power Supply #1 ถึง DC/DC Isolated Power Supply #24 ในรูปที่ 3.4 โดยแหล่งจ่ายไฟเหล่านี้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟหลัก (Main Power Supply Unit) แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แหล่งจ่ายไฟแยกสำหรับวงจรวัดเซลล์แบตเตอรี่แต่ละชุด

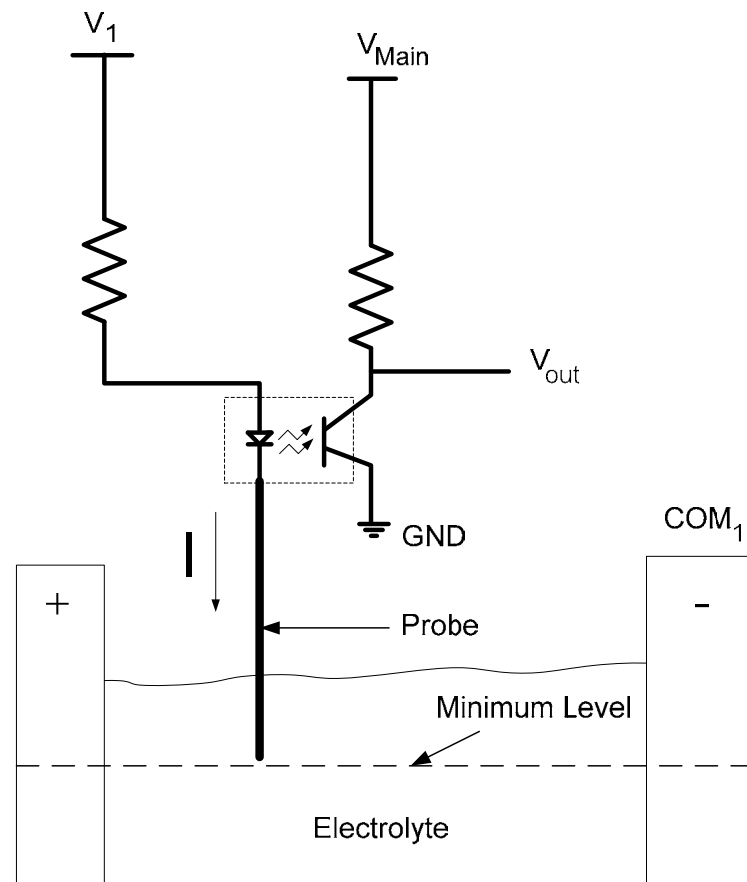
จากประเด็นต่างๆที่กล่าวข้างต้นจึงออกแบบวงจรวัดเซลล์แบตเตอรี่ภายในสถานีไฟฟ้าย่อย โดยอาศัยไอซีออปโตคัปเปิลอร์แบบแอนะล็อก (Analog Optocoupler) ซึ่งมีความสามารถในการส่งแรงดันจากวงจรฝั่งที่ต้องการวัดมายังวงจรฝั่งที่ประมวลผลการวัด โดยไอซีดังกล่าวให้ผลการส่งผ่านแรงดันในลักษณะที่มีความเชิงเส้นสูง [ภาคผนวก ง] เมื่อวงจรฝั่งประมวลผลได้รับแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกแล้ว วงจรฝั่งประมวลผลจะอาศัยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยวงจรแปลงดังกล่าวมีขนาด 10 บิต ดังนั้นค่าความผิดพลาดซึ่งให้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\frac{3.30}{1024} = 3.22$ มิลลิโวลต์คิดเป็นความผิดพลาด 0.098 % of Full Scale โดยวงจรที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรวัดแรงดันเซลล์แบตเตอรี่

3.2.1.4 วงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์

เนื่องจากระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์แบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงเข้ามา ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องวัดระดับของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ การตั้งระดับการเตือนว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์อยู่ในระดับที่เหมาะสมหรือไม่จึงเพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงออกแบบวงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยหลักการทำงานของวงจรคือ จะจุ่มโพรบโลหะสแตนเลสลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ เนื่องจากปลายด้านหนึ่งของโพรบมีแรงดันสูงกว่าเซลล์แบตเตอรี่ดังนั้นหากโพรบดังกล่าวจุ่มลงไปถึงระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะทำให้เกิดกระแส (I) ไหลผ่านโพรบดังกล่าว กระแสดังกล่าวจะไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงภายในไอซีออปโตคัปเปิลอร์ชนิดดิจิทัล ทำให้ทรานซิสเตอร์ขาออกของไอซีอยู่ในสถานะนำไฟฟ้าจึงได้แรงดันขาออก (V_{OUT}) มีแรงดันเท่ากับแรงดันที่จ่ายพลังงานให้แก่วงจรฝั่งขาออก (V_{Main}) ในกรณีที่โพรบจุ่มไม่ถึงระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะไม่เกิดกระแส (I) ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงภายในไอซีออปโตคัปเปิลอร์ทำให้ทรานซิสเตอร์ที่วงจรฝั่งขาออกไม่นำไฟฟ้า ทำให้แรงดันขาออก (V_{OUT}) มีแรงดันเป็น 0 โวลต์หมายความว่าถึงระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่ำกว่าระดับที่กำหนด (Minimum Level)



รูปที่ 3.7 วงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์แบตเตอรี่

3.2.1.5 วงจรวัดกระแสของแบตเตอรี่

ในการวัดกระแสของแบตเตอรี่มีประเด็นที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

- **ย่านการวัด** เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ในระบบไฟฟ้าสำรองของสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวงต่อเข้าเครื่องประจุไฟซึ่งมีความสามารถจ่ายกระแสในขณะประจุไฟได้มากถึง 100 แอมแปร์และกำหนดขนาดของกระแสแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่โหลดได้ไม่เกิน 100 แอมแปร์ ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมจึงกำหนดย่านการวัดไว้ที่ -100 ถึง +100 แอมแปร์โดยเครื่องหมายแสดงถึงทิศทางไหลของกระแสโดยหากกระแสไหลออกจากแบตเตอรี่จะกำหนดให้กระแสมีเครื่องหมายเป็นบวก และเครื่องหมายเป็นลบเมื่อกระแสไหลในทิศทางตรงข้าม
- **ความแม่นยำในการวัด** เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการวัดกระแสของแบตเตอรี่เพื่อเฝ้าตรวจว่ากระแสที่แบตเตอรี่จ่ายให้แก่โหลดอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม เพื่อเตือนว่าแบตเตอรี่มีการจ่ายโหลดซึ่งบ่งชี้ถึงปัญหาของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักของสถานีไฟฟ้า และสุดท้ายเพื่อนำค่า

การวัดไปใช้ในการคำนวณความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่ ดังนั้นความแม่นยำของการวัดกระแสจึงกำหนดไว้ที่ความผิดพลาดไม่เกิน 0.010% of Full Scale

จากข้อกำหนดข้างต้นและความต้องการที่จะแยกวงจรวัดออกจากวงจรที่ต้องการวัด จึงเลือกเทคโนโลยีในการวัดกระแสเป็นแบบ Open Loop Hall Effect โดยเซนเซอร์ที่เลือกใช้มีความสามารถในการวัดกระแสได้สูงถึง 100 แอมแปร์ [ภาคผนวก จ] ซึ่งสอดคล้องกับย่านการวัดที่ต้องการรวมถึงจัดให้มีการแยกอยู่อย่างโดดเดี่ยว (Isolation) ระหว่างวงจรที่วัดและวงจรวัดอีกด้วย

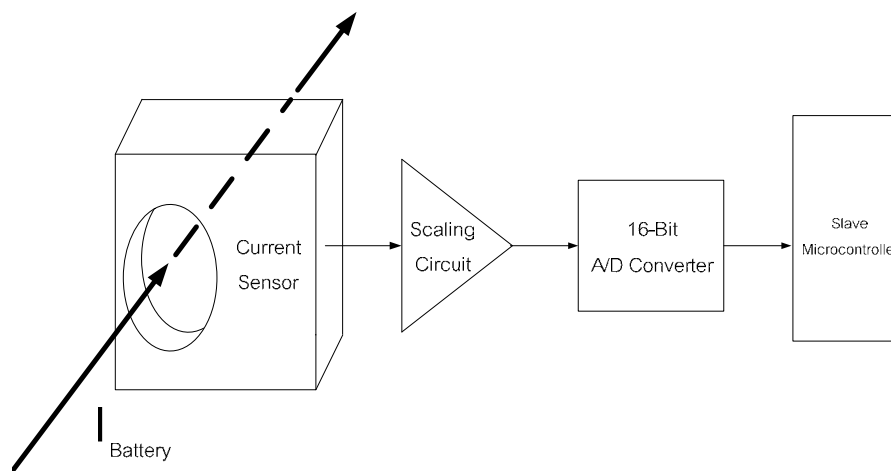
เนื่องจากเซนเซอร์วัดกระแสที่เลือกใช้ให้ผลการวัดออกมาเป็นแรงดันแอนะล็อกในอัตราส่วนกระแสที่วัดต่อแรงดันขาออกเป็น 40 มิลลิโวลต์ต่อแอมป์ และย่านการวัดของกระแสอยู่ในช่วง -100 ถึง +100 แอมแปร์ ดังนั้นแรงดันขาออกที่ได้จากเซนเซอร์ดังกล่าวจะอยู่ในช่วง -4 ถึง +4 โวลต์ ในขณะที่ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เลือกใช้ทำงานในย่าน 0 ถึง 2.38596 โวลต์ [ภาคผนวก ฉ] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเพื่อปรับสเกลแรงดันขาเข้าให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 2.38596 โวลต์ [ภาคผนวก ช]

สำหรับการเลือกขนาดความละเอียดของไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลพิจารณาจากความละเอียดที่ต้องการคือความผิดพลาดไม่เกิน 0.010% of Full Scale ในขณะที่มอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายี

ความละเอียดเพียง 10 บิตซึ่งให้ค่าความผิดพลาดถึง $\frac{200}{1024} = 195.31$ มิลลิแอมแปร์หรือคิดเป็น

ความผิดพลาดเท่ากับ 0.195% of Full Scale ดังนั้นจึงเลือกใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต (แต่ใช้งานได้จริง 15 บิต) [ภาคผนวก ฉ] ซึ่งให้ค่าความผิดพลาดไม่

เกิน $\frac{200}{32768} = 6.10$ มิลลิแอมแปร์ หรือคิดเป็นความผิดพลาดเท่ากับ 0.006% of Full Scale แทน



รูปที่ 3.8 วงจรวัดกระแสแบตเตอรี่

3.2.1.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่และอุณหภูมิห้องแบตเตอรี่

ในการวัดอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่และอุณหภูมิห้องแบตเตอรี่มีประเด็นที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

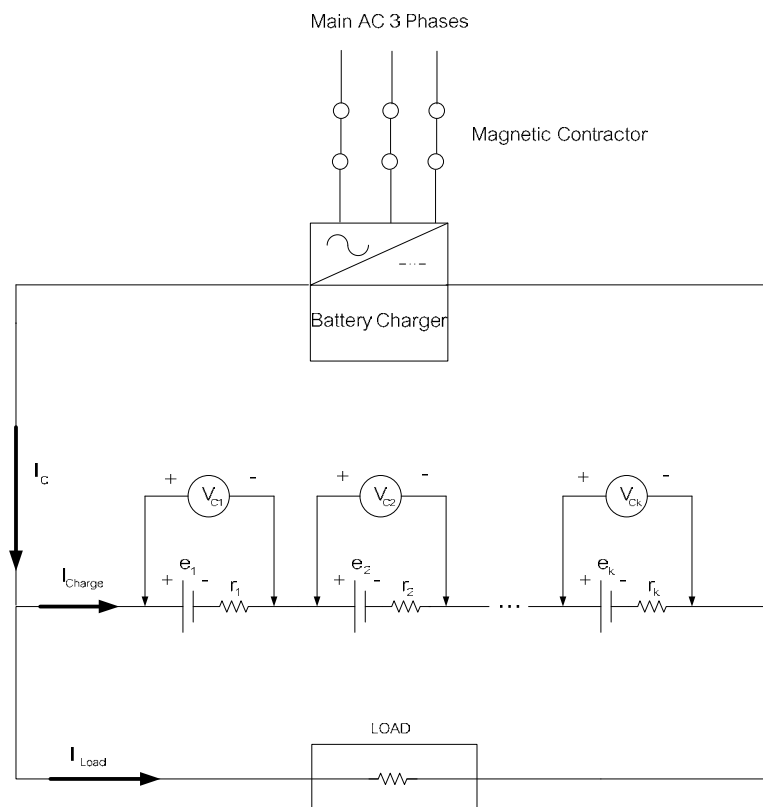
- **ย่านการวัด** แบตเตอรี่ถูกติดตั้งอยู่ในห้องแบตเตอรี่ซึ่งอุณหภูมิอาจสูงกว่าภายนอกเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามย่านการวัดที่เหมาะสมของการวัดอุณหภูมิจึงเหมือนกับย่านการวัดของเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดสภาพอากาศโดยทั่วไป จึงกำหนดย่านการวัดไว้ที่ 0-70 องศาเซลเซียส
- **ความแม่นยำในการวัด** เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการวัดอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่เพื่อตรวจสอบว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์มีอุณหภูมิขณะใช้งานอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมตามที่ผู้ผลิตแบตเตอรี่ระบุไว้ในคู่มือใช้งานหรือไม่ รวมถึงอุณหภูมิห้องแบตเตอรี่อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมหรือไม่ โดยความผิดปกติของอุณหภูมิที่วัดได้อาจเกิดจากความผิดพลาดของระบบระบายอากาศภายในห้องของแบตเตอรี่ จึงเป็นการเตือนให้ผู้มีหน้าที่ทราบถึงความผิดปกติดังกล่าว ดังนั้นความแม่นยำของการวัดแรงดันจึงกำหนดไว้ที่ความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส

เพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงเลือกใช้เซนเซอร์ที่ให้ผลวัดในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลจึงเลือกใช้ไอซีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเบอร์ DS18S20 ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -10

องศาเซลเซียส ถึง 85 องศาเซลเซียส ให้ค่าความละเอียดเท่ากับ 0.5 องศาเซลเซียสหรือคิดเป็นความผิดพลาดเท่ากับ 0.59% of Full Scale สอดคล้องกับความต้องการในการออกแบบโดยรายละเอียดของเซนเซอร์ดังกล่าวดูได้จากคู่มือการใช้งานในภาคผนวก ข

3.2.1.7 การคำนวณความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่

การคำนวณความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่อาศัยข้อมูลกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์จากสองสภาวะคือ สภาวะประจุไฟแบบลอย (Float Charge) และ สภาวะที่แบตเตอรี่คายประจุ (Discharge) โดยการคำนวณจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติด้วยการทำงานของซอฟต์แวร์



รูปที่ 3.9 แผนภาพวงจรของแบตเตอรี่ในขณะประจุไฟแบบลอย

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันในสภาวะประจุไฟแบบลอย (Float Charge) สำหรับแบตเตอรี่เซลล์ที่ 1 เป็นดังสมการที่ 3.1

$$V_{C1} = e_1 + I_{\text{Charge}} \times r_1 \quad (3.1)$$

โดย

e_1, e_2, \dots, e_k เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่เซลล์ที่ 1, 2, ..., k ตามลำดับโดย k เป็นจำนวนเซลล์สูงสุดของแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกันอยู่

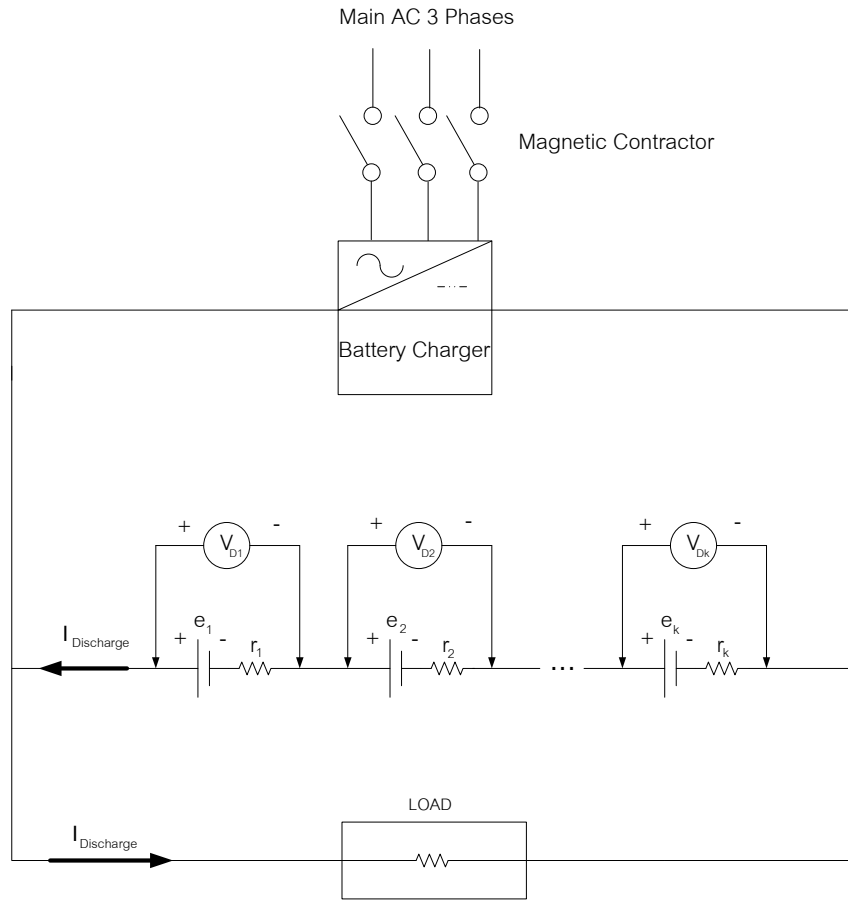
r_1, r_2, \dots, r_k เป็นความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เซลล์ที่ 1, 2, ..., k ตามลำดับโดย k เป็นจำนวนเซลล์สูงสุดของแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกันอยู่

$V_{C1}, V_{C2}, \dots, V_{Ck}$ เป็นแรงดันขณะประจุไฟของแบตเตอรี่เซลล์ที่ 1, 2, ..., k ตามลำดับโดย k เป็นจำนวนเซลล์สูงสุดของแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกันอยู่

$V_{D1}, V_{D2}, \dots, V_{Dk}$ เป็นแรงดันขณะคายประจุของแบตเตอรี่เซลล์ที่ 1, 2, ..., k ตามลำดับโดย k เป็นจำนวนเซลล์สูงสุดของแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกันอยู่

I_{Charge} เป็นกระแสที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ขณะประจุไฟ

$I_{\text{Discharge}}$ เป็นกระแสที่ไหลออกจากแบตเตอรี่ขณะแบตเตอรี่จ่ายโหลด



รูปที่ 3.10 แผนภาพวงจรของแบตเตอรี่ในขณะคายประจุ

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันในสถานะคายประจุ (Discharge) สำหรับแบตเตอรี่เซลล์ที่ 1 เป็นดังสมการที่ 3.2

$$V_{D1} = e_1 - I_{Discharge} \times r_1 \tag{3.2}$$

จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 จะคำนวณความต้านทานภายในของเซลล์ที่ 1 (r_1) ได้ดังสมการที่ 3.3

$$r_1 = \frac{V_{C1} - V_{D1}}{I_{Charge} + I_{Discharge}} \tag{3.3}$$

จากการออกแบบวงจรและเซนเซอร์ในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้กล่าวข้างต้นทำให้สามารถสรุปความสามารถของเครื่องรวบรวมข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางสรุปความสามารถในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่

| พารามิเตอร์แบตเตอรี่ที่วัด | จำนวน | ย่านการวัด | ความผิดพลาดของการวัด |
|----------------------------|-------|-----------------------|----------------------|
| แรงดันเซลล์แบตเตอรี่ | 24 | 0-3.30 โวลต์ | 0.098% of Full Scale |
| กระแสแบตเตอรี่ | 1 | ±100 แอมแปร์ | 0.006% of Full Scale |
| ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ | 24 | - | - |
| อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ | 24 | -10 - 85 องศาเซลเซียส | ±0.5 องศาเซลเซียส |
| อุณหภูมิห้องแบตเตอรี่ | 1 | -10- 85 องศาเซลเซียส | ±0.5 องศาเซลเซียส |

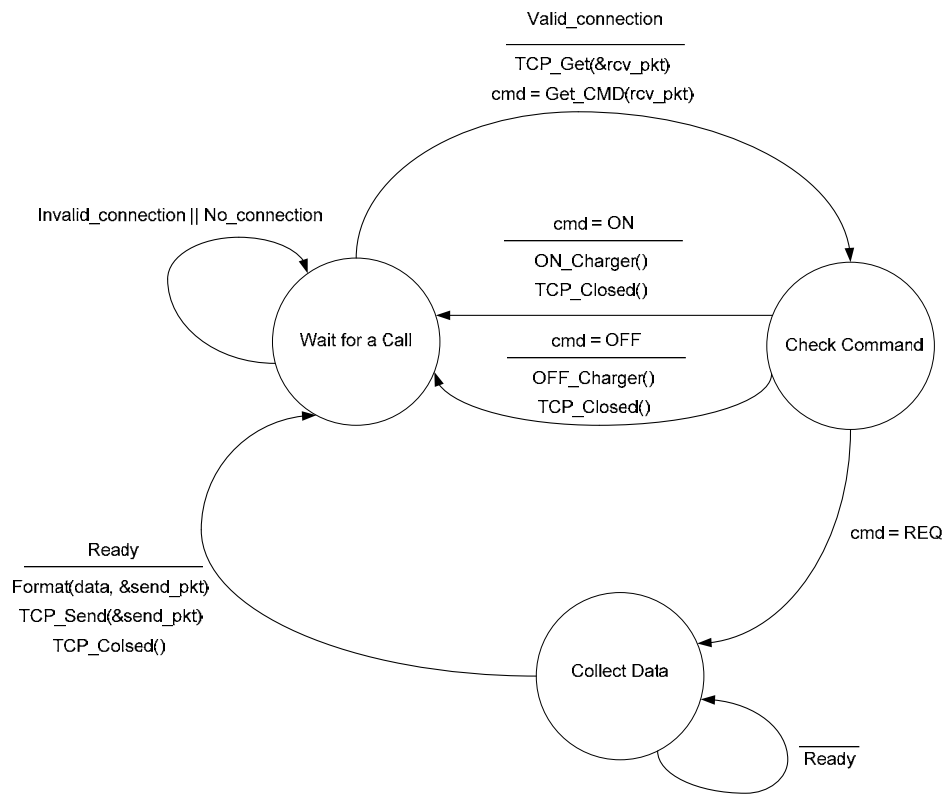
หมายเหตุ เนื่องจากความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ใช้การคำนวณดังนั้นย่านการวัดจึงขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ในสภาวะคายประจุและประจุไฟ

3.2.2 โครงสร้างการทำงานของเฟิร์มแวร์ของเครื่องรวบรวมข้อมูล

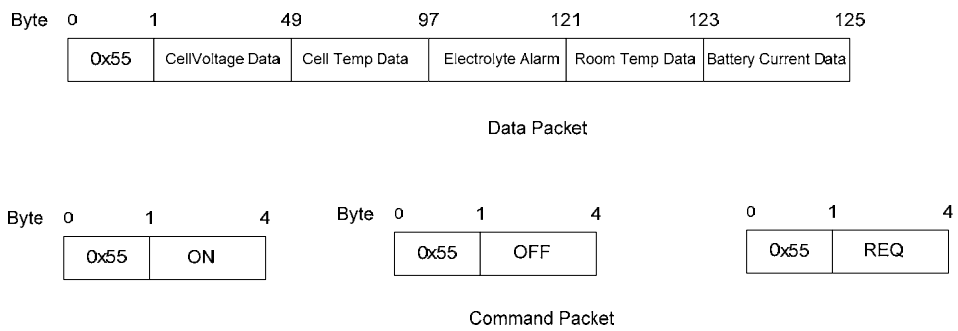
ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารระหว่างเครื่องรวบรวมข้อมูลกับซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ซึ่งทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หลักจะทำงานในลักษณะเครื่องจำกัดสถานะ(Finite State Machine: FSM) โดยประกอบด้วย 3 สถานะ (State) คือ สถานะ Wait For a Call, สถานะ Check Command และ สถานะ Collect Data โดยการทำงานจะเริ่มต้นจากเครื่องรวบรวมข้อมูลจะคอยอยู่ในสถานะ Wait For a Call เพื่อรอคอยการติดต่อจากภายนอก เมื่อมีการติดต่อมาจากภายนอกและเป็นการติดต่อมายังพอร์ตที่ถูกต้อง (Valid_connection) ระบบจะเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะถัดไปคือ สถานะ Check Command โดยในขณะที่เปลี่ยนสถานะ ระบบจะเรียกใช้

ฟังก์ชัน TCP_Get(&rcv_pkt) เพื่ออ่านข้อมูลที่รับจากโครงข่ายมาเก็บไว้ยังตัวแปร rcv_pkt และแยกเอาเฉพาะข้อมูลคำสั่ง (Command) มาเก็บยังตัวแปร cmd ด้วยฟังก์ชัน Get_CMD(rcv_pkt) โดยในสถานะ Check Command นี้ระบบจะตีความคำสั่งที่ได้รับหากคำสั่งที่ได้รับเป็น OFF ระบบจะเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นสถานะ Wait For a Call อีกครั้งโดยในขณะที่เปลี่ยนสถานะระบบจะสั่งการปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ด้วยฟังก์ชัน OFF_Charger() จากนั้นระบบจะเรียกฟังก์ชัน TCP_Closed() เพื่อยุติการเชื่อมต่อกับช่วงเวลาการสนทนา (Session) ที่ติดต่อกันอยู่ หากคำสั่งที่ได้รับเป็น “ON” ระบบจะทำงานเช่นเดียวกับที่ได้รับคำสั่งเป็น “OFF” ยกเว้นแทนที่จะสั่งการปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ด้วยฟังก์ชัน OFF_Charger() แต่จะสั่งการเปิดการทำงานการทำงานของเครื่องประจุไฟด้วยฟังก์ชัน ON_Charger() แทน หากคำสั่งที่ได้รับเป็น “REQ” ระบบจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะ Collect Data โดยในสถานะนี้ระบบจะเรียกข้อมูลพารามิเตอร์ที่ต้องการมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายทุกตัว โดยหากกระบวนการเรียกข้อมูลดังกล่าวเสร็จสิ้นสัญญาณ Ready จะถูกส่งออกมาเพื่อทำให้ระบบเปลี่ยนสถานะกลับไปยังสถานะ Wait For a Call ต่อไปโดยในขณะที่เปลี่ยนสถานะดังกล่าวระบบจะจัดฟอร์แมตข้อมูลที่รับ (Data) ลงในแพ็กเก็ตที่ต้องการส่ง (send_pkt) ด้วยฟังก์ชัน Format(data, &send_pkt) จากนั้นส่งแพ็กเก็ตดังกล่าวด้วยโพรโทคอลที่ซีพี ด้วยฟังก์ชัน TCP_Send(&send_pkt) หลังจากส่งเสร็จก็ยุติการเชื่อมต่อด้วยฟังก์ชัน TCP_Closed() ต่อไป ระบบก็จะกลับไปคอยการติดต่อครั้งใหม่ที่สถานะ Wait For a Call ต่อไป โดยรายละเอียดของกระบวนการทำงานทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.11

โดยฟอร์แมตของข้อมูลในชั้นประยุกต์ประกอบด้วยแพ็กเก็ตข้อมูล (Data Packet) ซึ่งประกอบด้วยไบต์ 0x55 เพื่อแสดงว่าเป็นแพ็กเก็ตที่ต้องการ ข้อมูลแรงแต้นของเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 48 ไบต์ ข้อมูลอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 48 ไบต์ ข้อมูลการเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์จำนวน 24 ไบต์ ข้อมูลอุณหภูมิห้องจำนวน 2 ไบต์ ข้อมูลกระแสแบตเตอรี่จำนวน 2 ไบต์ นอกจากแพ็กเก็ตข้อมูลแล้วยังประกอบด้วยแพ็กเก็ตคำสั่ง (Command Packet) จำนวนสามรูปแบบ โดยแพ็กเก็ตต่างๆที่ใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงสถานะการทำงานของเครื่องรวบรวมข้อมูล



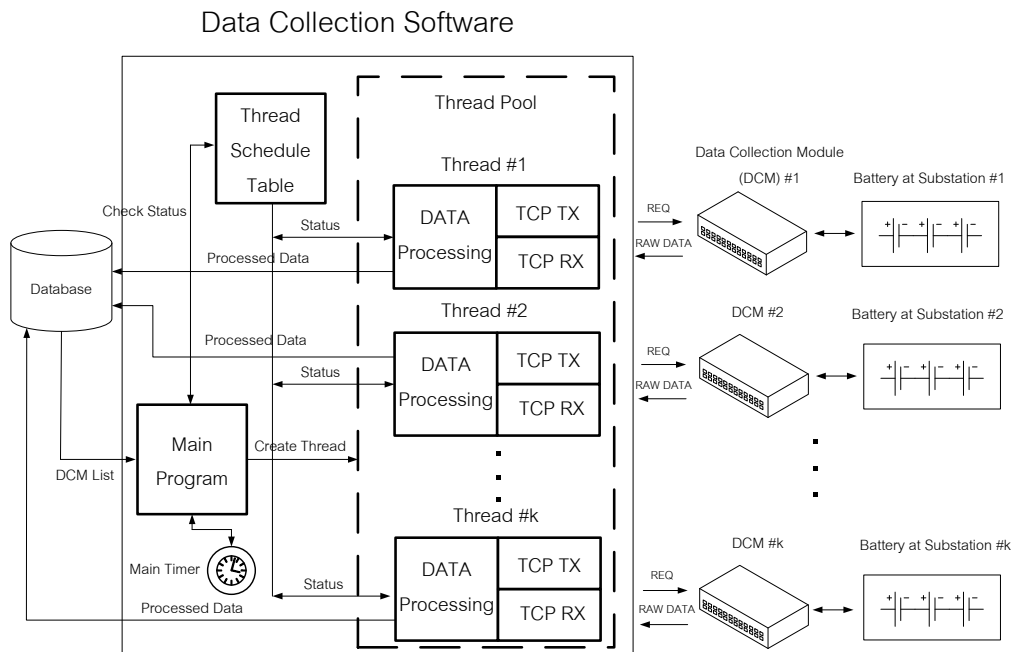
รูปที่ 3.12 แพ็กเก็ตที่ใช้งานในระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่

3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์สำหรับระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนประกอบด้วยซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ ซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่และฐานข้อมูล

3.3.1 ซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Data Collection Software)

ซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ทำหน้าที่สอบถามข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่จากเครื่องรวบรวมข้อมูลหรือ DCM ที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่ง โดยส่งคำสั่งสอบถามข้อมูลพารามิเตอร์ไปยังเครื่องรวบรวมข้อมูล เมื่อเครื่องรวบรวมข้อมูลได้รับคำสั่งสอบถามดังกล่าวก็จะตอบกลับด้วยข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ ณ ขณะนั้น เมื่อซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ได้รับข้อมูลดังกล่าวแล้วก็จะประมวลผลข้อมูลดังกล่าวแล้วจึงบันทึกข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้วลงในฐานข้อมูลโดยแผนภาพแสดงการทำงานของซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.13

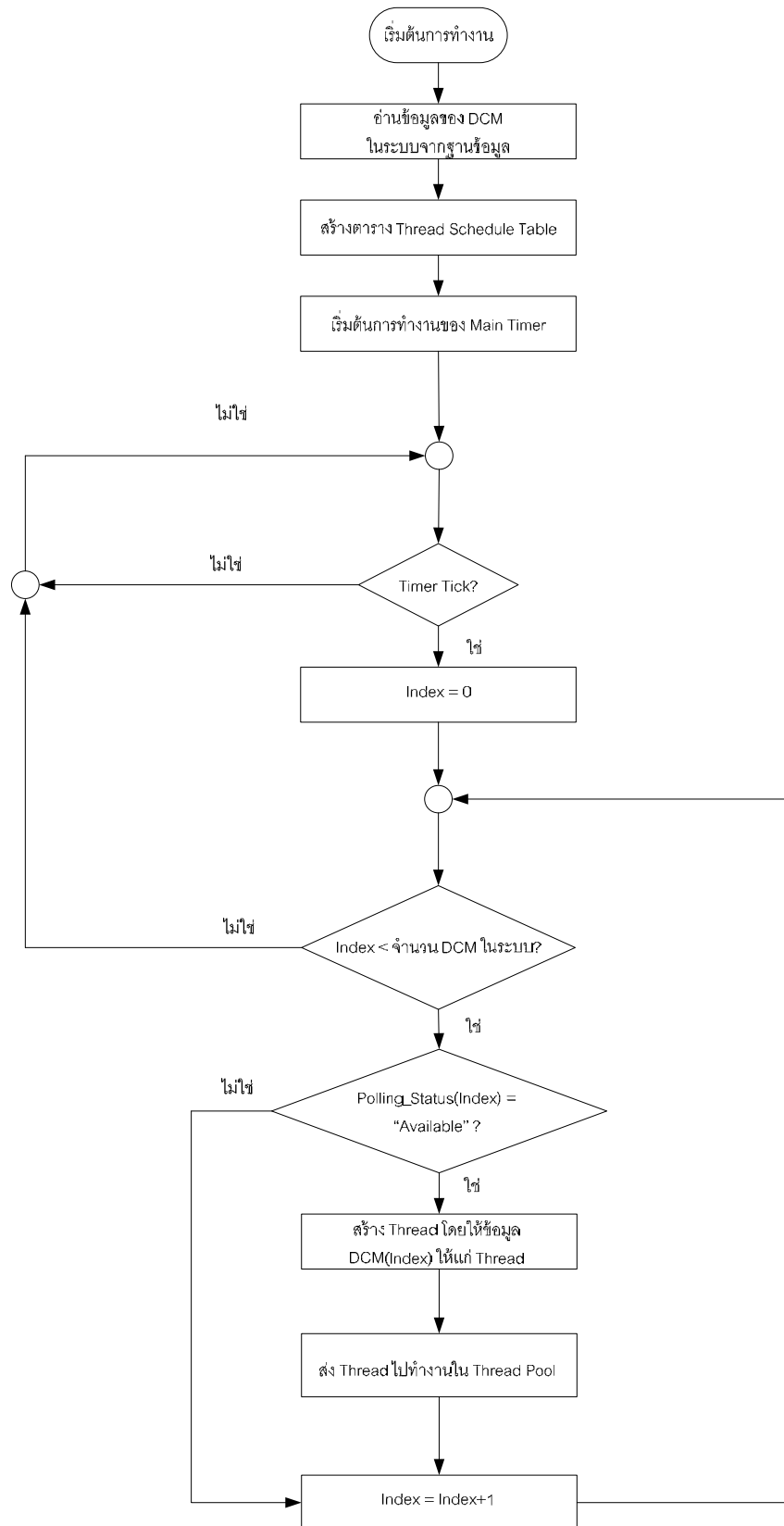


รูปที่ 3.13 ภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

3.3.1.1 การออกแบบการทำงานของซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของเบตเตอรี

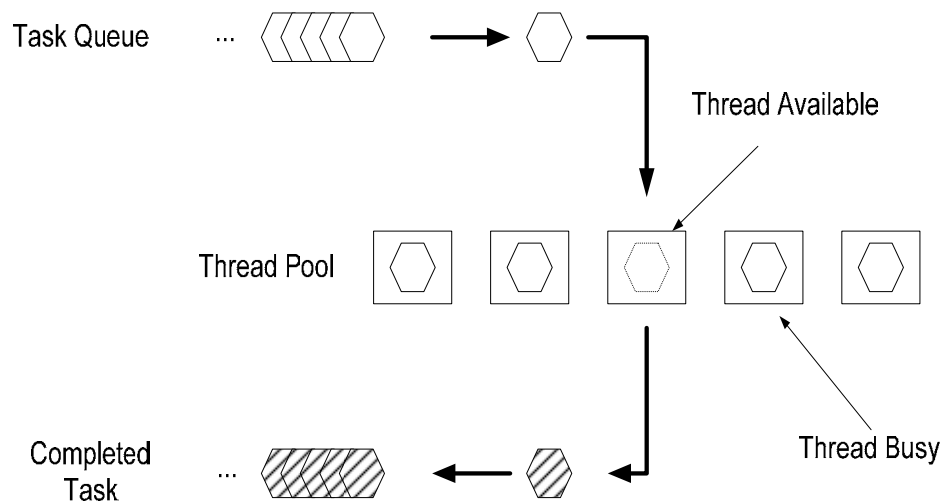
โปรแกรมหลัก

โปรแกรมหลักเริ่มต้นทำงานโดยการติดต่อไปยัง Database Server เพื่อสอบถามข้อมูลของเครื่องรวบรวมข้อมูล (DCM) ทุกๆเครื่องที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในระบบ โดยข้อมูลดังกล่าวได้แก่หมายเลขประจำเครื่อง (DCM_No) สถานที่ติดตั้ง (Power_Substation_Name) ที่อยู่ไอพี (IP_Address) ของเครื่อง ทีซีพีพอร์ต (TCP_Port) ที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารกับเครื่อง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต่อการติดต่อสื่อสารกับเครื่องรวบรวมข้อมูลแต่ละเครื่องด้วยโพรโทคอลทีซีพี จากนั้นเมื่อได้รับข้อมูลจากฐานข้อมูลครบแล้วจึงเก็บชุดข้อมูลของ DCM แต่ละตัวดังกล่าวลงในหน่วยความจำเพื่อสร้างเป็นตารางจัดการตารางการทำงานในการสอบถามข้อมูลพารามิเตอร์ของเบตเตอรีจากแต่ละ DCM ต่อไป โดยตารางดังกล่าวจะประกอบด้วยฟิลด์ดังตารางที่ 3.3 โดยหลังจากสร้างตารางดังกล่าวเสร็จแล้ว โปรแกรมหลักจะเริ่มต้นทำงานโดยเริ่มต้นการทำงานของตัวตั้งเวลา (Timer) เพื่อคอยตรวจสอบสถานะของการสอบถามข้อมูล (Polling_Status) ของแต่ละ DCM ในตารางจัดระบบทราบว่า DCM ตัวไหนในตารางอยู่ในสถานะ “Available” ซึ่งพร้อมที่จะสอบถามข้อมูลครั้งต่อไป โปรแกรมหลักก็จะสร้างเทรตที่รับผิดชอบงานในการสอบถามข้อมูลจาก DCM ตัวนั้นเพื่อทำงานต่อไป แต่หากสถานะของ DCM ตัวใดอยู่ในสถานะ “Busy” แสดงว่ายังไม่พร้อมสำหรับการสอบถามข้อมูลครั้งต่อไปโปรแกรมหลักก็จะละเลย DCM ดังกล่าว เมื่อตรวจสอบทุก DCM ในตารางแล้วโปรแกรมก็จะหยุดคอยเพื่อรอการตรวจสอบตารางจัดการทำงานในครั้งต่อไปซึ่งเวลาในการคอยเป็นไปตามคาบเวลาของตัวตั้งเวลา (Timer Period)



รูปที่ 3.14 ผังงานการทำงานของโปรแกรมหลัก

ทุกครั้งที่มีการสร้างเธรดที่รับผิดชอบงานในการสอบถามข้อมูลจาก DCM ดังกล่าว เธรดเหล่านั้นจะถูกโปรแกรมหลักส่งไปเข้าคิวเพื่อรอการทำงานในแหล่งรวมเธรด (Thread Pool) ซึ่งเธรดเหล่านั้นจะทำงานเสมือนพร้อมๆกันภายในแหล่งรวมเธรดเมื่อทำงานเสร็จเธรดเหล่านั้นก็จะถูกทำลาย ในระบบที่ประกอบด้วยเธรดจำนวนมาก แหล่งรวมเธรดได้จำกัดจำนวนเธรดในแหล่งรวมเธรดเอาไว้ (ในงานวิจัยนี้ใช้ซีพียูแบบ 2 หัว (Cores) สามารถรองรับได้สูงสุด 500 เธรด) หากจำนวนเธรดที่ถูกส่งเข้ามาในแหล่งรวมเธรดมีมากกว่าขีดจำกัด เธรดดังกล่าวจะถูกให้เข้าคิวรอการทำงานอยู่นอกแหล่งรวมเธรดเมื่อเธรดในแหล่งรวมเธรดทำงานเสร็จเธรดลำดับแรกในคิวที่รออยู่ก็จะเข้ามาทำงานในแหล่งรวมเธรดได้ โดยการทำงานของแหล่งรวมเธรดโดยทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การทำงานของแหล่งรวมเธรด

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลสำหรับเทรตเพื่อทำงานสอบถามข้อมูลจากเครื่องรวบรวมข้อมูล

| DCM_No | Power_Substation_Name | Polling_Status | IP_Address | TCP_Port |
|--------|-----------------------|----------------|-------------|----------|
| 1 | Substation A1 | Busy | 10.100.10.2 | 50000 |
| 2 | Substation B1 | Available | 10.100.10.3 | 50000 |
| 3 | Substation C1 | Busy | 10.100.10.4 | 50000 |

...

| | | | | |
|-----|---------------|-----------|---------------|-------|
| 199 | Substation Y4 | Available | 10.100.10.198 | 50000 |
| 200 | Substation Z4 | Busy | 10.100.10.199 | 50000 |

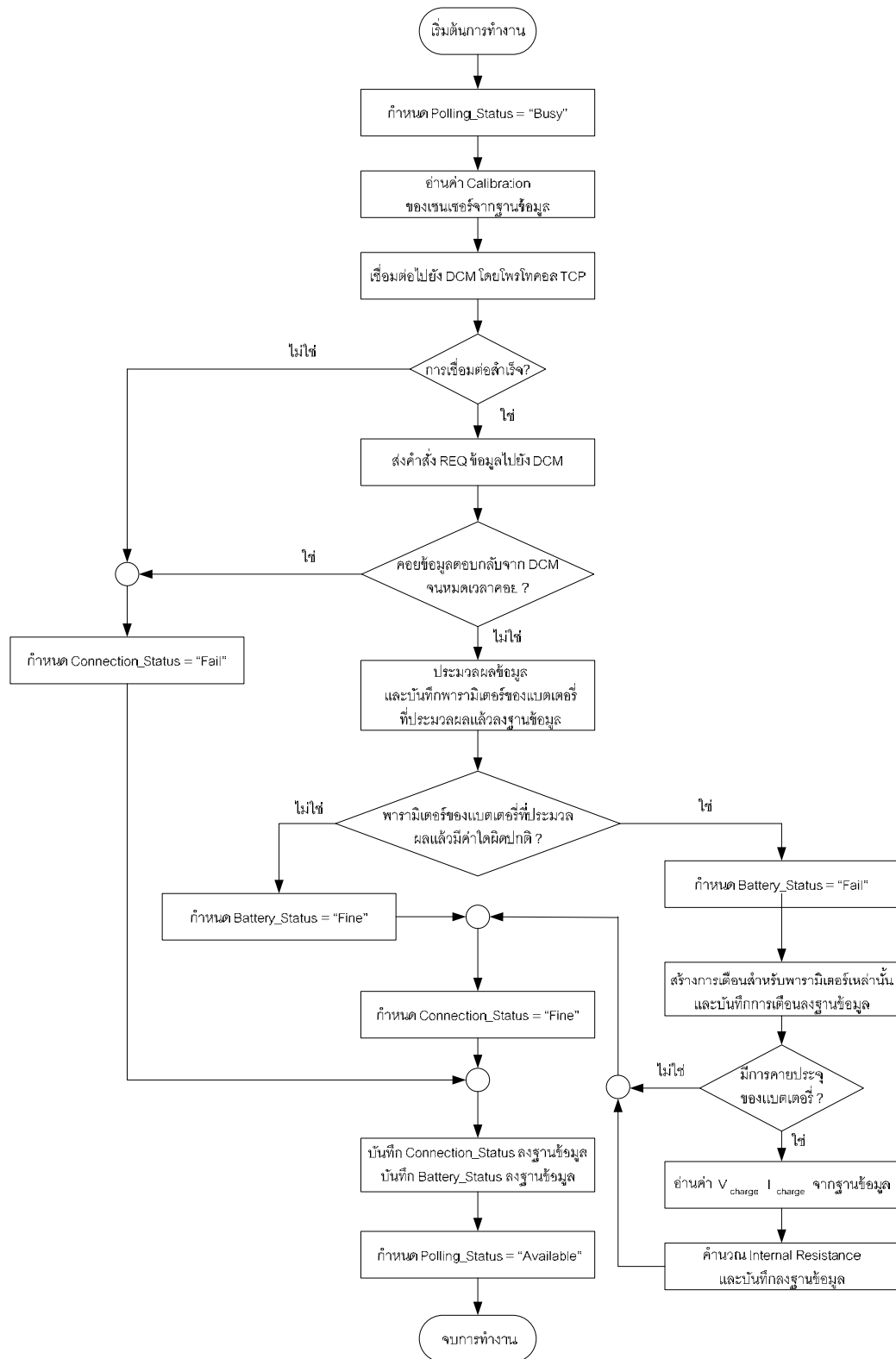
การทำงานของเทรต (Thread) ที่มีหน้าที่สอบถามข้อมูลจาก DCM

เทรต (Thread) ที่มีหน้าที่สอบถามข้อมูลจาก DCM จะถูกสร้างและได้รับข้อมูลเกี่ยวกับ DCM จากโปรแกรมหลักเมื่อโปรแกรมหลักตรวจสอบตารางจัดระบบเทรตแล้วพบว่า DCM ดังกล่าวมีสถานะของการสอบถามข้อมูล (Polling_Status) เป็น “Available” เทรตที่ถูกสร้างดังกล่าวจะถูกโปรแกรมหลักส่งไปเข้าคิวรอการทำงานในแหล่งรวมเทรตต่อไป โดยการทำงานของเทรต (Thread) ดังกล่าวจะเริ่มต้นจากการกำหนดสถานะของการสอบถามข้อมูล (Polling_Status) จาก DCM ตัวนั้นในตารางจัดระบบเทรตให้มีสถานะ Busy เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสร้างเทรตเพื่อสอบถามข้อมูลจาก DCM ตัวเดียวกันนี้ในขณะที่มีการสอบถามข้อมูลโดยเทรตนี้อยู่หรือยังไม่ครบคาบเวลาในการสอบถามข้อมูล (Polling Period) จากนั้นเทรตนี้จะติดต่อไปยังฐานข้อมูลเพื่ออ่านค่าการสอบเทียบ (Calibration Values) ของเซนเซอร์ต่างๆที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลมาเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่องเพื่อใช้ประมวลผลข้อมูลต่อไป จากนั้นจึงติดต่อผ่านโครงข่ายไอพีไปยังเครื่องรวบรวมข้อมูลโดยใช้โพรโทคอลที่ซีพีในการติดต่อสื่อสารเพื่อส่งคำสั่งสอบถามข้อมูลไปยังเครื่องรวบรวมข้อมูล หากเครื่องรวบรวมข้อมูลตอบกลับมาด้วยข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ภายในระยะเวลาที่กำหนด (Read Timeout) โปรแกรมย่อยจะ

ประมวลผลข้อมูลโดยนำข้อมูลดิบ ข้อมูลค่าสอบเทียบ และค่าขีดจำกัดของพารามิเตอร์เบตเตอรี มาประมวลผลร่วมกันเพื่อสร้างเป็นข้อมูลพารามิเตอร์ปัจจุบัน ข้อมูลการเตือนอันเนื่องมาจาก พารามิเตอร์บางตัวของเบตเตอรีเกินหรือต่ำกว่าระดับที่กำหนด อาจรวมถึงการคำนวณความต้านทานภายในของเซลล์เบตเตอรีในกรณีที่เบตเตอรีอยู่ในสภาวะคายประจุ จากนั้นจึงบันทึก ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้วดังกล่าวข้างต้นลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับบริการข้อมูลกับ โปรแกรมลูกข่ายที่ต้องการข้อมูลเหล่านี้ต่อไป จากนั้นเทรตดังกล่าวนี้จะคอยเป็นระยะเวลาเท่ากับ คาบเวลาในการสอบถามข้อมูล (Polling Period) เมื่อครบกำหนดการคอย เทรตนี้จะเปลี่ยน สถานะของการสอบถามข้อมูล (Polling_Status) ของ DCM ตัวนี้ในตารางตารางจัดระบบเทรตให้ เป็น Available เพื่อให้โปรแกรมหลักพร้อมสร้างเทรตใหม่เพื่อมาทำงานเดียวกันนี้ในรอบต่อไปของการตรวจสอบตาราง

ตารางที่ 3.4 สถานะการทำงานของแต่ละเทรตที่ทำงานในการสอบถามข้อมูล

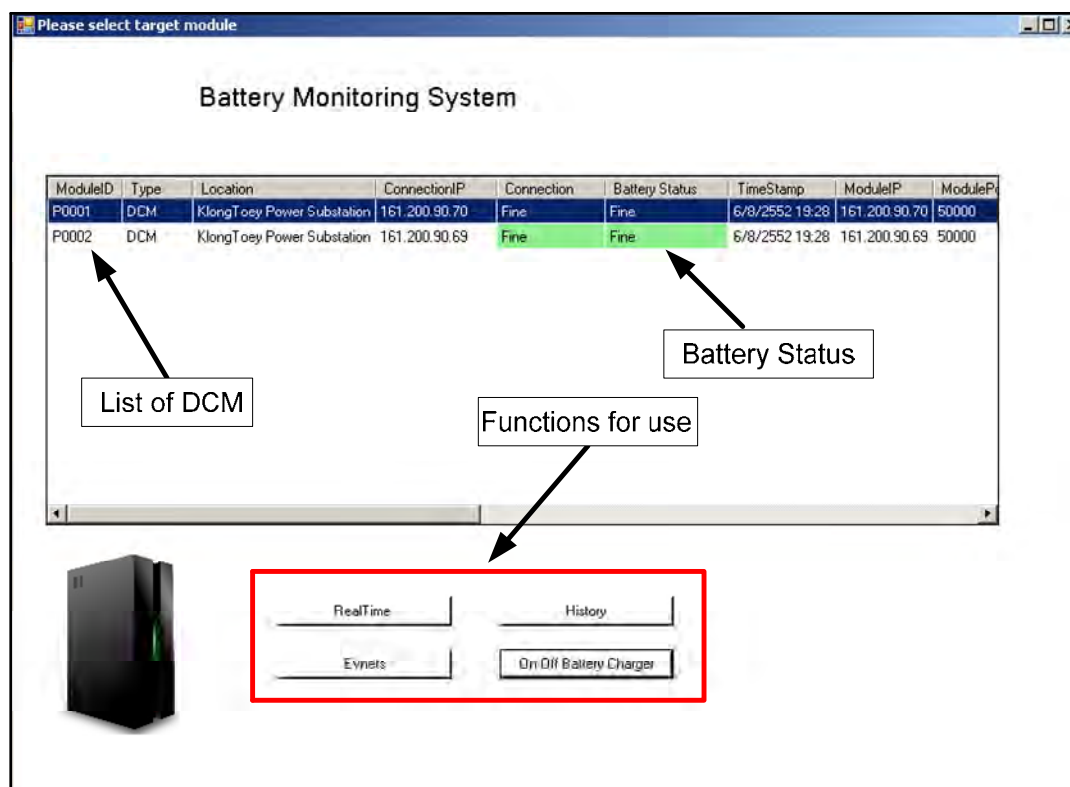
| Polling_Status | คำอธิบาย |
|----------------|---|
| Available | สามารถสอบถามข้อมูลพารามิเตอร์ของเบตเตอรีจาก DCM เครื่องนี้ได้ |
| Busy | ยังไม่สามารถสอบถามข้อมูลพารามิเตอร์ของเบตเตอรีจาก DCM เครื่องนี้ได้เนื่องจากกำลังอยู่ระหว่างขั้นตอนการสอบถามข้อมูลจาก DCM เครื่องนี้หรือยังไม่ครบคาบเวลาในการสอบถามข้อมูล |



รูปที่ 3.16 ผังงานการทำงานของเทรตที่รับผิดชอบการสอบถามข้อมูลจาก DCM

3.3.2 ซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Battery Data Management Software: BDM)

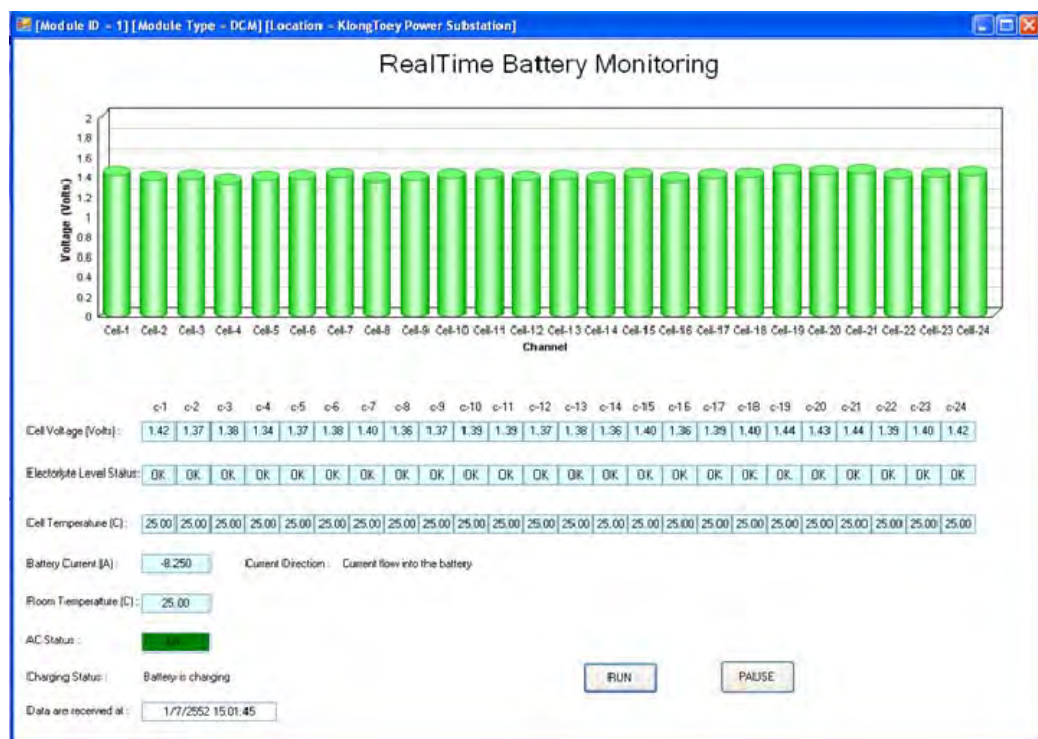
ซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่เป็นซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้งานใช้เพื่อเฝ้าดูสถานะของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมด โดยวิเคราะห์สถานะของ แบตเตอรี่จากพารามิเตอร์แต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่อันได้แก่ แรงดัน อุณหภูมิ กระแส สถานะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ความต้านทานภายใน รวมถึงอุณหภูมิของห้องที่แบตเตอรี่ติดตั้งอยู่ ผู้ใช้งานสามารถเลือกแบตเตอรี่ชุดที่ต้องการตรวจสอบสถานะผ่านทาง การเลือกรายการที่แสดงผลที่หน้าจอ ดังรูปที่ 3.17 จากนั้นจึงเลือกว่าจะเลือกวิธีปฏิบัติใน ลักษณะใดลักษณะหนึ่งต่อไปนี้ได้แก่ เลือกที่จะตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่ เลือกที่จะ ตรวจดูข้อมูลในอดีตของ แบตเตอรี่ เลือกที่จะตรวจดูข้อมูลเหตุการณ์การเตือนที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ หรือเลือกที่ทดสอบความสามารถในการทำงานของแบตเตอรี่โดยบังคับให้ แบตเตอรี่ คายประจุภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด



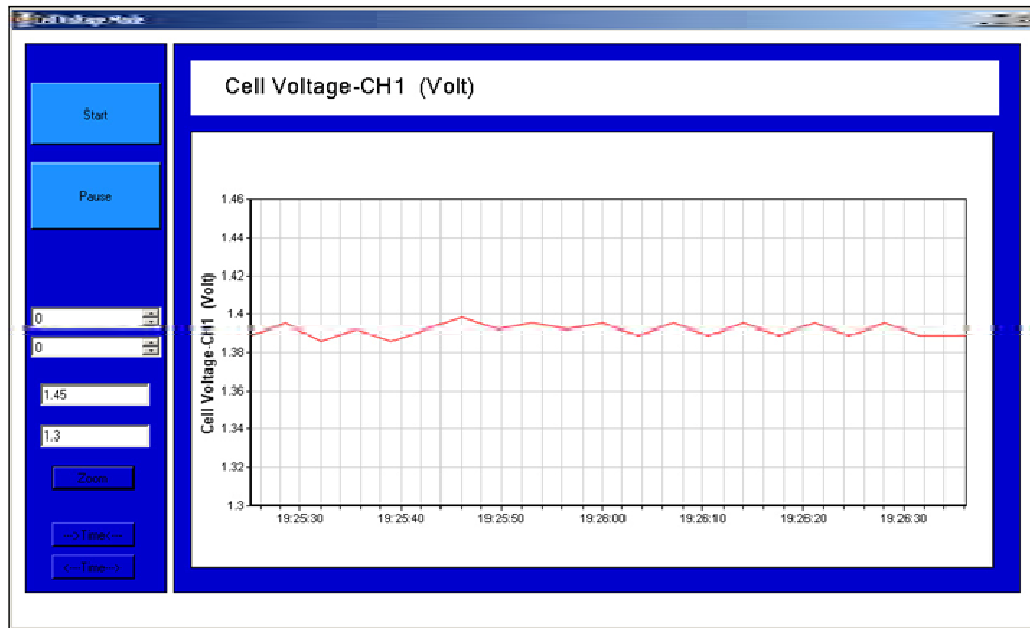
รูปที่ 3.17 หน้าจอแสดงรายการและฟังก์ชันที่สามารถใช้งานได้ของซอฟต์แวร์ BDM

การทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่

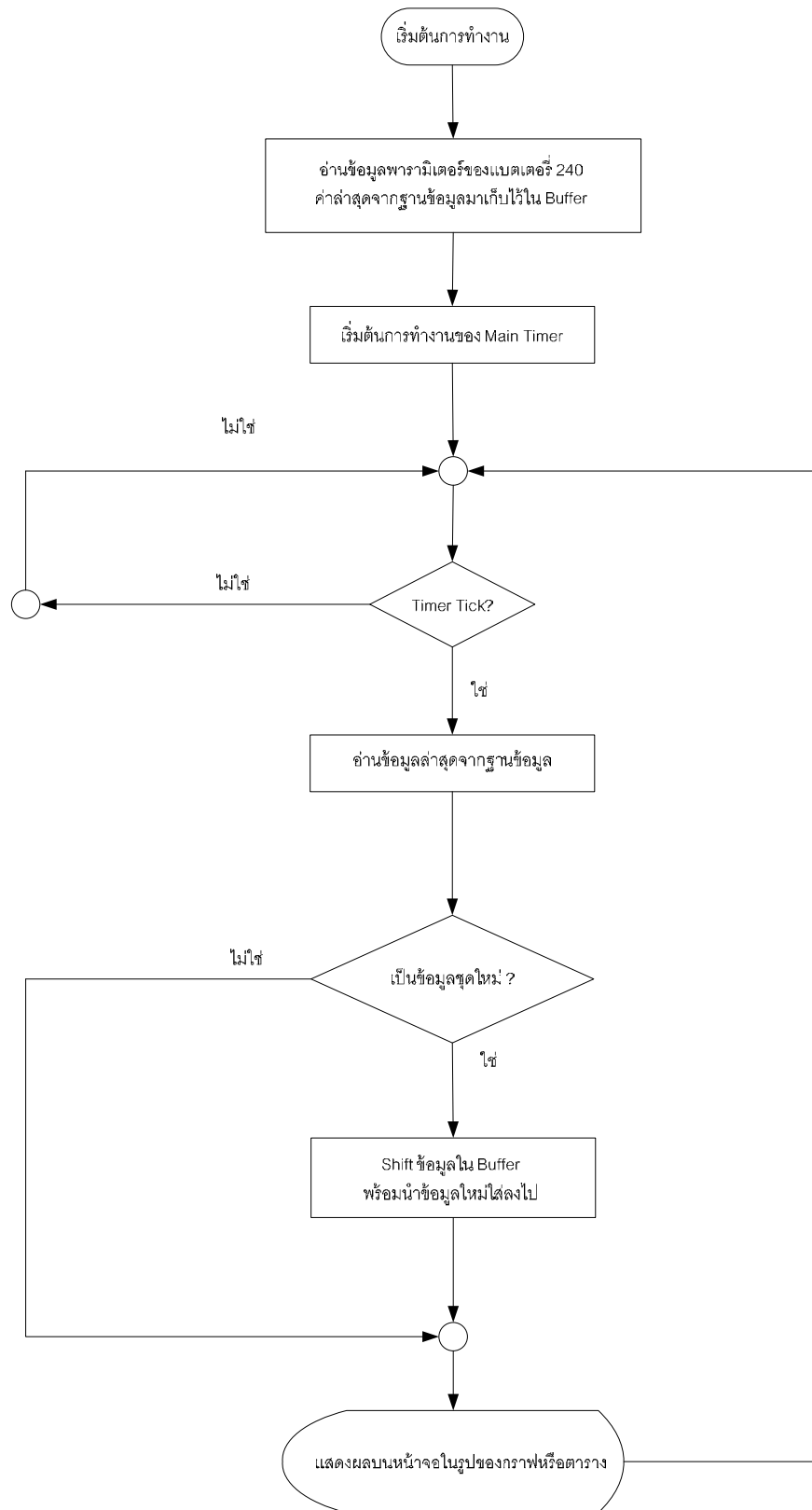
ฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่จะทำงานโดยติดต่อไปยังแม่ข่ายฐานข้อมูล (Database Server) ด้วยข้อมูลของ DCM ที่ผู้ใช้เลือกเพื่อนำข้อมูลล่าสุดจากตารางที่เก็บข้อมูลพารามิเตอร์แบตเตอรี่ของ DCM ดังกล่าวมาแสดงผลในรูปแบบของกราฟและตารางดังแสดงในรูปที่ 3.18 และ 3.19 โดยมีผังงาน แสดงการทำงานดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.18 หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่



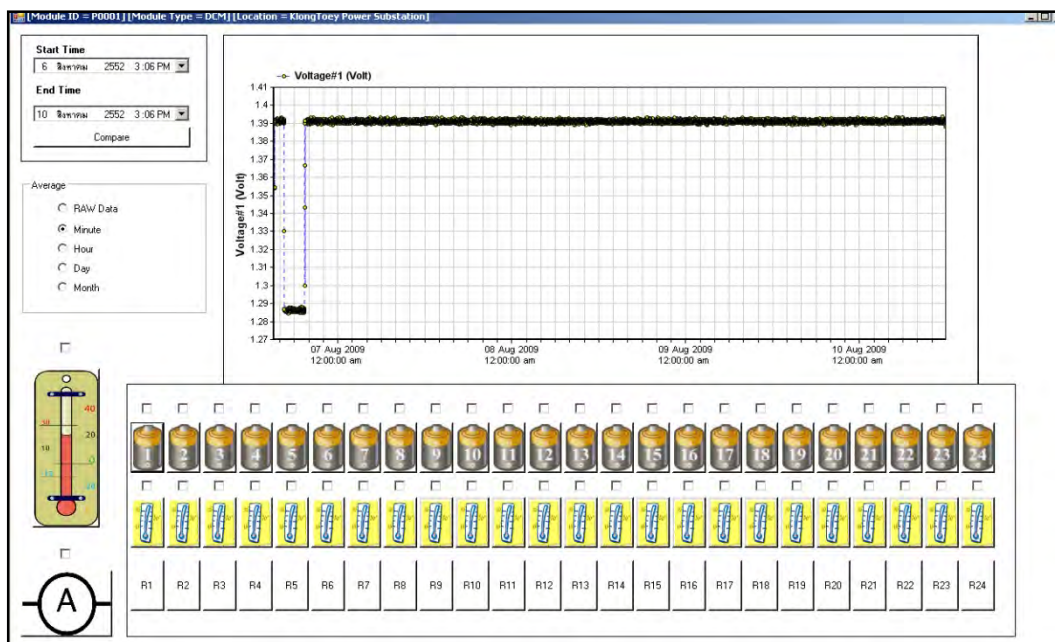
รูปที่ 3.19 หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันแสดงผลเป็นกราฟ



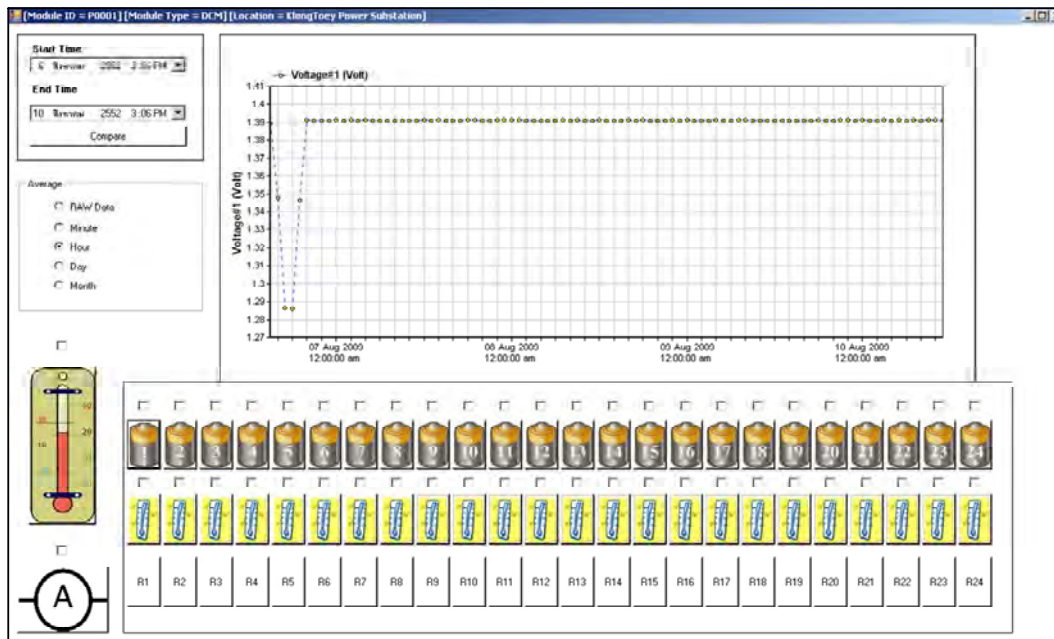
รูปที่ 3.20 ผังงานการทำงานของโปรแกรมในฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่

การทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลในอดีตของเบตเตอรี

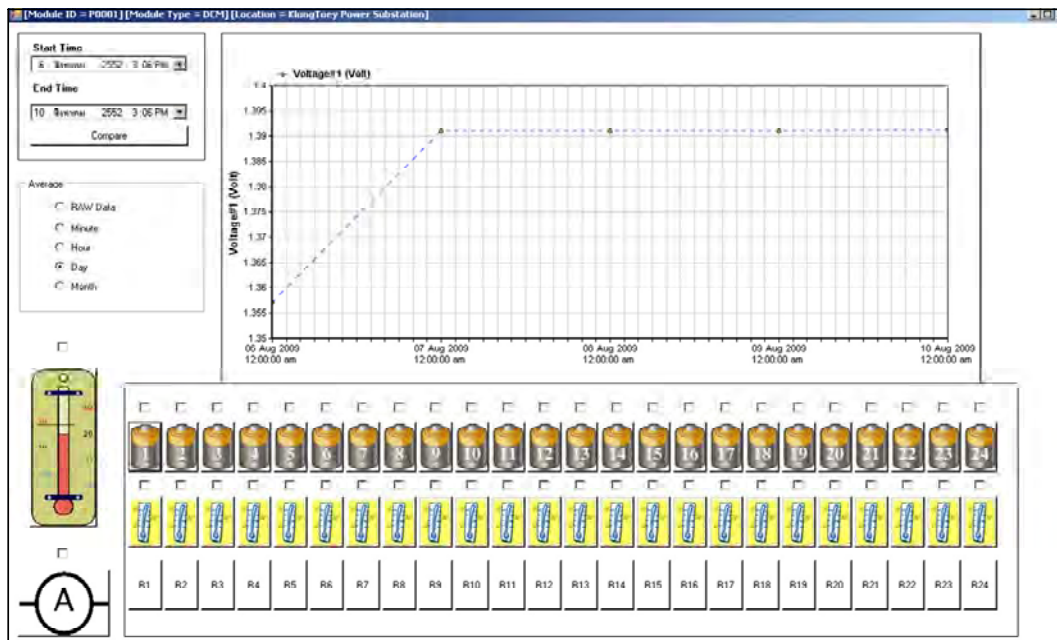
ฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลในอดีตของเบตเตอรีจะทำงานโดยรับค่าช่วงเวลาที่ต้องการและชนิดของข้อมูลที่ต้องการจากผู้ใช้งานจากนั้นจึงติดต่อไปยังแม่ข่ายฐานข้อมูลเพื่อร้องขอข้อมูลมาแสดงโดยผู้ใช้งานสามารถเลือกแสดงได้ทั้งข้อมูลดิบ ข้อมูลที่ถูกเฉลี่ยทุกๆนาที่ ทุกๆชั่วโมง ทุกๆวัน และทุกๆเดือนเพื่อดูแนวโน้มของพารามิเตอร์ของเบตเตอรีที่ต้องการได้โดยหน้าจอแสดงผลของฟังก์ชันดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.21, 3.22 และ 3.23 ส่วนผังงานการทำงานของฟังก์ชันการแสดงผลข้อมูลในอดีตแสดงดังรูปที่ 3.24



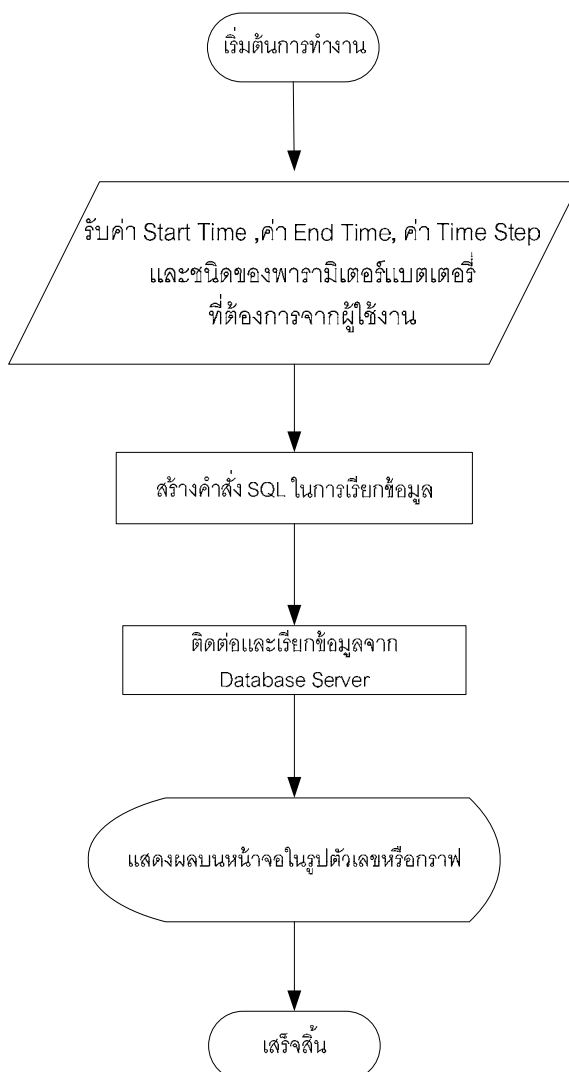
รูปที่ 3.21 หน้าจอการเรียกดูข้อมูลในอดีตของแรงดันเซลล์ที่ 1 โดยแสดงค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 3.22 หน้าจอการเรียกดูข้อมูลในอดีตของแรงดันเซลล์ที่ 1 โดยแสดงค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 ชั่วโมง



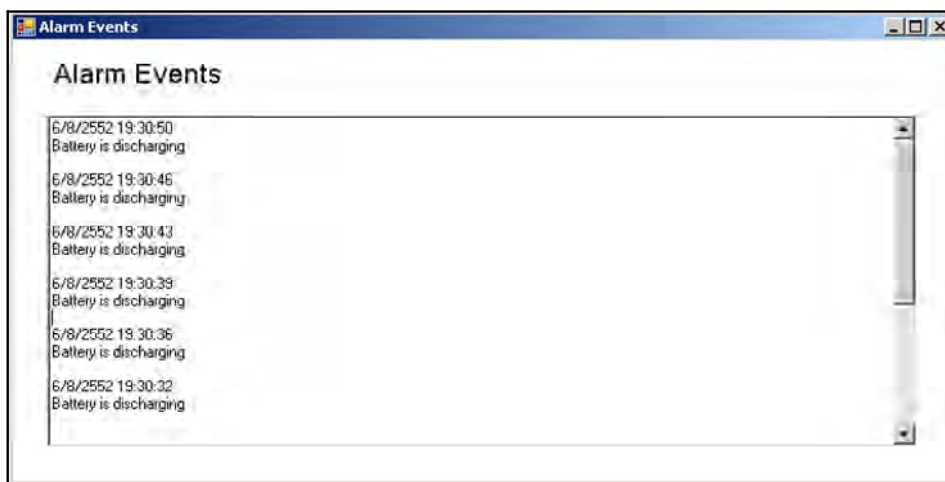
รูปที่ 3.23 หน้าจอการเรียกดูข้อมูลในอดีตของแรงดันเซลล์ที่ 1 โดยแสดงค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 วัน



รูปที่ 3.24 ผังงานการทำงานของฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลในอดีตของเบตเตอรี

การทำงานของฟังก์ชันการตรวจข้อมูลเหตุการณ์การเตือนที่เกิดขึ้นกับเบตเตอรี

ฟังก์ชันการตรวจข้อมูลเหตุการณ์การเตือนที่เกิดขึ้นกับเบตเตอรีจะแสดงเหตุการณ์เตือนที่เกิดขึ้นกับเบตเตอรีในช่วงเวลาล่าสุดโดยแสดงเป็นข้อความบรรยายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเช่นเบตเตอรีกำลังคายประจุ ดังแสดงในรูปที่ 3.25 ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบได้ว่ามีข้อบกพร่องอะไรเกิดขึ้นกับเบตเตอรีบ้างและเมื่อมีการแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวแล้วการเตือนเหล่านั้นก็จะหายไป



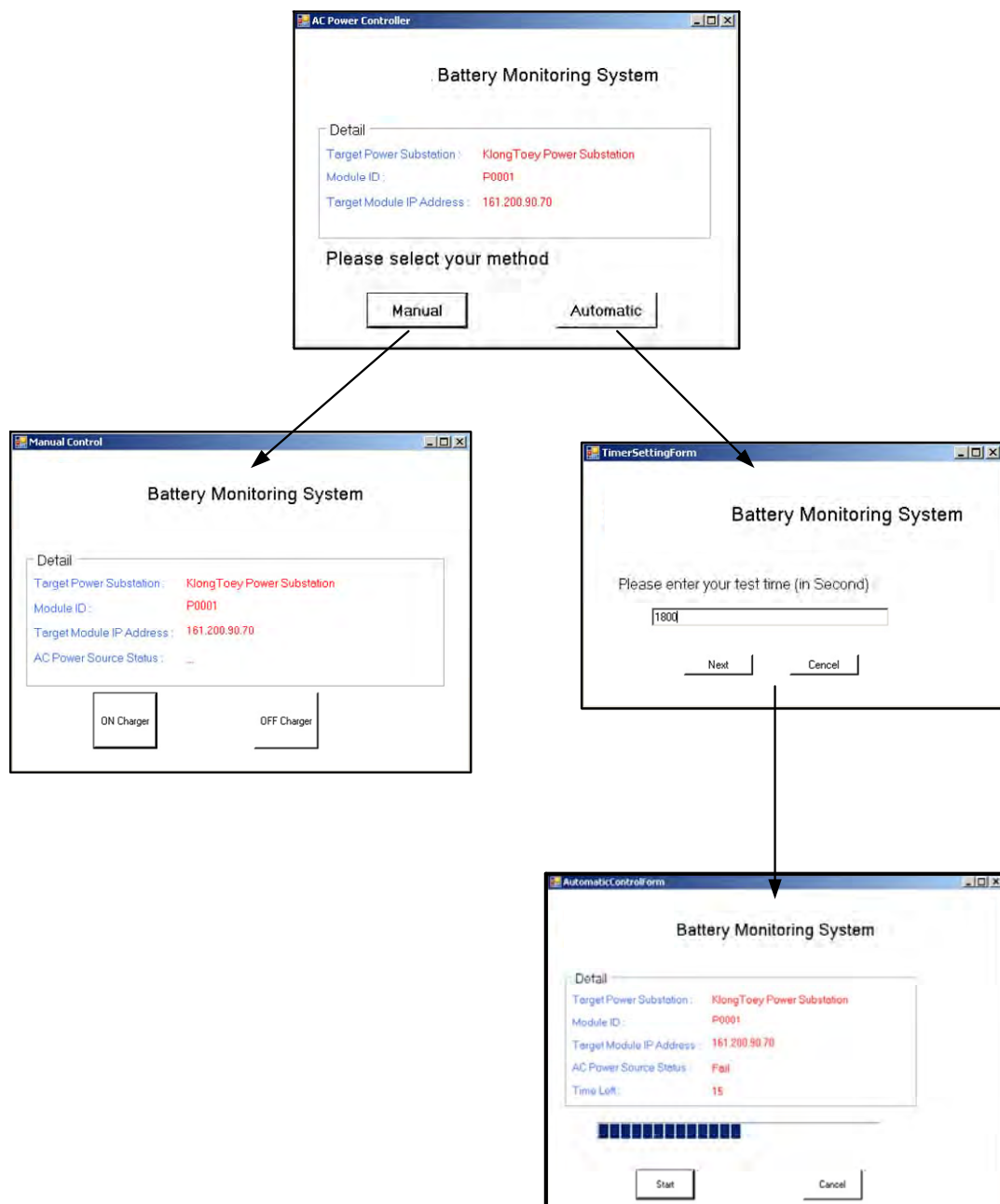
รูปที่ 3.25 หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการเตือนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่

การทำงานของฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่

ฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งานคือ ต้องการฟังก์ชันควบคุมการทำงานเตือนละครึ่ง โดยมีลำดับการควบคุมดังนี้

- วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามปกติ
- หยุดการประจุไฟ (Charge) แบตเตอรี่โดยการหยุดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)
- วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆหลังจากหยุดการประจุไฟแบตเตอรี่
- ปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุ (Discharge) เป็นระยะเวลา 30 นาที
- วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อีกครั้งหนึ่งเพื่อทดสอบความสามารถในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่
- ประจุไฟแบตเตอรี่อีกครั้งโดยเปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่
- วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามปกติ

โดยซอฟต์แวร์ที่ออกแบบจัดให้มีการควบคุมการเปิดปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ทั้งในรูปแบบอัตโนมัติและไม่อัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 หน้าจอการทำงานของฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่

3.3.3 การออกแบบฐานข้อมูลสำหรับระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่

ซอฟต์แวร์แม่ข่ายฐานข้อมูล (Database Server Software) สำหรับระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยเลือกใช้ Microsoft SQL Server 2005 Express ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทางไมโครซอฟท์ผลิตขึ้นมาเพื่อแจกให้ผู้พัฒนาระบบใช้งานได้ฟรี โดย Microsoft SQL Server 2005 Express ได้รับการออกแบบมาเพื่อช่วยให้สามารถติดตั้งและดูแลรักษาได้ง่ายด้วยการมีฐานข้อมูลแบบท้องถิ่นภายในตัวเอง ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและจัดการ พร้อมทั้งมีเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการฐานข้อมูลมาให้อย่างครบครันไม่ด้อยไปกว่า Microsoft SQL Server 2005 เวอร์ชันเต็ม โดยสำหรับการใช้งานจะติดตั้งซอฟต์แวร์ Microsoft SQL Server Management Studio Express ซึ่งนำเสนอการดูแลรักษาระบบแม่ข่ายฐานข้อมูลด้วยรูปแบบของ Graphic User Interface (GUI) โดยตารางต่างๆที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 3.5 ถึง 3.9

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของ DCM แต่ละตัว

| ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดของคอลัมน์ |
|---------------------|-------------|---|
| ModuleID | Varchar[50] | แสดงค่า ID ของ DCM แต่ละเครื่อง |
| ModuleName | Text | แสดงชื่อเรียกของ DCM แต่ละเครื่อง |
| ModuleIPAddress | Text | แสดงที่อยู่ไอพีของ DCM แต่ละเครื่อง |
| Module_TCP_Port | Text | แสดงพอร์ตที่ใช้ติดต่อกับ DCM แต่ละตัวด้วยโพรโทคอล TCP |
| Module_LocationID | Varchar[50] | แสดงค่า ID ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ DCM แต่ละเครื่องติดตั้งอยู่ |
| Module_LocationName | Text | แสดงค่าชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ DCM แต่ละเครื่องติดตั้งอยู่ |
| Router_IPAddress | Text | แสดงค่าที่อยู่ไอพีของเราเตอร์กรณีที่มีการ |

| | | |
|------------------------|----------|--|
| | | ใช้ เราเตอร์ในการทำ Port Forwarding ในการติดตั้ง DCM แต่ละเครื่อง |
| Router_TCP_Port | Text | แสดงพอร์ตที่ใช้ติดต่อกับ Router ด้วย โพรโทคอล TCP ที่สอดคล้อง DCM ตัวที่ทำ Port Forwarding ไว้ |
| Module_DataTableName | Text | แสดงชื่อของตารางที่ใช้เก็บข้อมูล พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่รวบรวมได้โดย DCM แต่ละตัว |
| Module_CalTableName | Text | แสดงชื่อของตารางที่ใช้เก็บข้อมูลค่าสอบเทียบของ DCM แต่ละตัว |
| Module_IRTableName | Text | แสดงชื่อของตารางที่ใช้เก็บค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่รวบรวมได้โดย DCM แต่ละตัว |
| Module_EventsTableName | Text | แสดงชื่อของตารางที่ใช้เก็บค่าเหตุการณ์ที่เกิดกับแบตเตอรี่ที่รวบรวมได้โดย DCM แต่ละตัว |
| TimeStamp | Datetime | แสดงวันเดือนปีและเวลาที่ได้รับข้อมูลสถานะการเชื่อมต่อกับ DCM และสถานะของแบตเตอรี่ที่ DCM นั้นเชื่อมต่ออยู่ |
| ConnectionStatus | Text | แสดงสถานะการเชื่อมต่อกับ DCM แต่ละตัว |
| BatteryStatus | Text | แสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่ DCM นั้นเชื่อมต่ออยู่ |

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่วัดได้

| ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดของคอลัมน์ |
|--------------|------------|--|
| TimeReceived | Datetime | วันเดือนปีและเวลาที่บันทึกข้อมูล |
| V1 | Real | แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ทที่ 1 ในหน่วยโวลต์ |
| V2 | Real | แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ทที่ 2 ในหน่วยโวลต์ |
| ... | ... | ... |
| V24 | Real | แรงดันของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ทที่ 24 ในหน่วยโวลต์ |
| T1 | Real | อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ทที่ 1 ในหน่วยองศาเซลเซียส |
| T2 | Real | อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ทที่ 2 ในหน่วยองศาเซลเซียส |
| ... | ... | ... |
| T24 | Real | อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ทที่ 24 ในหน่วยองศาเซลเซียส |
| L1 | Tinyint | สถานะของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์พอร์ทที่ 1 |
| L2 | Tinyint | สถานะของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์พอร์ทที่ 2 |
| ... | ... | ... |
| L24 | Tinyint | สถานะของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์พอร์ทที่ 24 |
| C1 | Real | กระแสของแบตเตอรี่ในหน่วยแอมแปร์ |
| RT | Real | อุณหภูมิห้องของแบตเตอรี่ในหน่วยองศาเซลเซียส |

ตารางที่ 3.7 ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่คำนวณได้

| ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดของคอลัมน์ |
|--------------|------------|---|
| TimeReceived | Datetime | วันเดือนปีและเวลาที่บันทึกข้อมูล |
| R1 | Real | ความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 1 ในหน่วยมิลลิโห์ม |
| R2 | Real | ความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 2 ในหน่วยมิลลิโห์ม |
| ... | ... | ... |
| R24 | Real | ความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 24 ในหน่วยมิลลิโห์ม |

ตารางที่ 3.8 ค่าสอบเทียบของวงจรวัดของเครื่องรวบรวมข้อมูล

| ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดของคอลัมน์ |
|-------------|------------|---|
| V1_a | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์วัดแรงดันพอร์ตที่ 1 |
| V1_b | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์วัดแรงดันพอร์ตที่ 1 |
| V2_a | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์วัดแรงดันพอร์ตที่ 2 |
| V2_b | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์วัดแรงดันพอร์ตที่ 2 |

| | | |
|-------|------|--|
| ... | ... | ... |
| V24_a | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดแรงดันพอร์ตที่ 24 |
| V24_b | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดแรงดันพอร์ตที่ 24 |
| T1_a | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 1 |
| T1_b | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 1 |
| T2_a | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 2 |
| T2_b | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 2 |
| ... | ... | ... |
| T24_a | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 24 |
| T24_b | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่พอร์ตที่ 24 |
| C1_a | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดกระแสแบตเตอรี่พอร์ตที่ 1 |
| C1_b | Real | สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้น $aX+b$ สำหรับเซนเซอร์ วัดกระแสแบตเตอรี่พอร์ตที่ 1 |

ตารางที่ 3.9 เหตุการณ์เตือนต่างๆเกี่ยวกับแบตเตอรี่

| ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดของคอลัมน์ |
|--------------|------------|---------------------------------------|
| TimeReceived | Datetime | วันเดือนปีและเวลาที่บันทึกข้อมูล |
| Events | Text | เหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ |

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจ แบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน

ในบทนี้เป็นการนำเสนอการทดสอบและผลการทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์และการทำงานของฮาร์ดแวร์

4.1 การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน

ในการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน ใช้ซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของเครื่องรวบรวมข้อมูล (DCM Simulation Software) ที่พัฒนาขึ้นให้มีฟังก์ชันการทำงานเหมือนกับเครื่องรวบรวมข้อมูลจริงทุกประการ ยกเว้นข้อมูลที่อ่านจากวงจรวัดและเซนเซอร์ต่างๆเป็นข้อมูลจำลองที่สุ่มขึ้นมาโดยมีขอบเขตของข้อมูลที่เหมาะสม

ในการทดสอบดังกล่าวจะทดสอบฟังก์ชันการทำงานต่างๆของระบบซอฟต์แวร์ได้แก่ ซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Data Collection Software) และซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Battery Data Management Software: BDM) โดยมีรายละเอียดของการทดสอบดังต่อไปนี้

การติดตั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการทำงานของระบบซอฟต์แวร์

1. จัดระบบทดสอบซึ่งประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 4 เครื่อง ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server Computer) 1 เครื่อง เครื่องคอมพิวเตอร์จำลองเครื่องรวบรวมข้อมูล

(DCM Simulation Computer) จำนวน 2 เครื่อง เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client Computer) จำนวน 1 เครื่อง

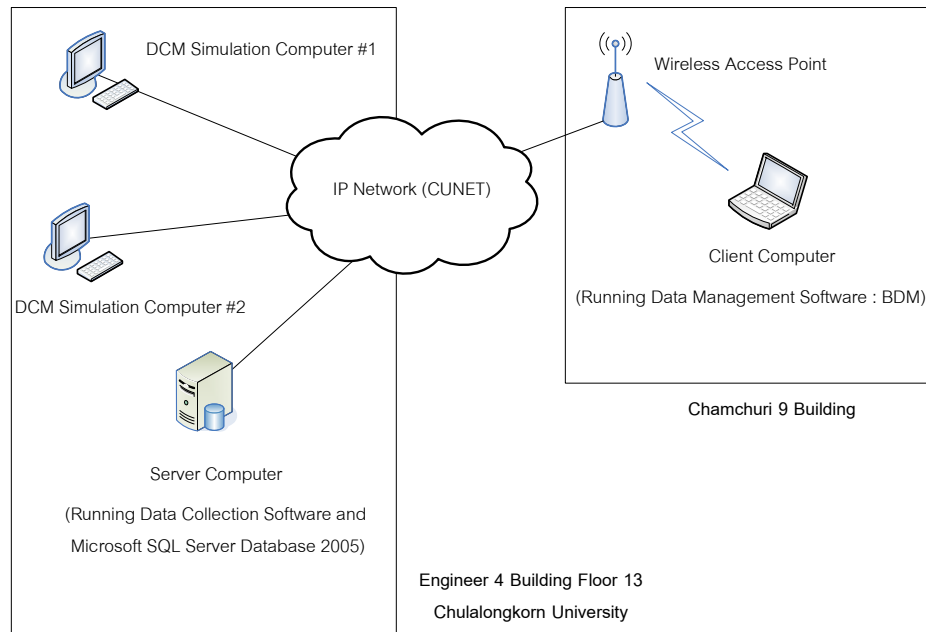
2. เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายติดตั้งซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Data Collection Software) พร้อมทั้งซอฟต์แวร์แม่ข่ายฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2005 Express Edition ที่มีฐานข้อมูลของระบบไฟฟ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

3. เครื่องคอมพิวเตอร์จำลองเครื่องรวบรวมข้อมูล (DCM Simulation Computer) จำนวน 2 เครื่อง ติดตั้งซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของเครื่องรวบรวมข้อมูล (DCM Simulation Software)

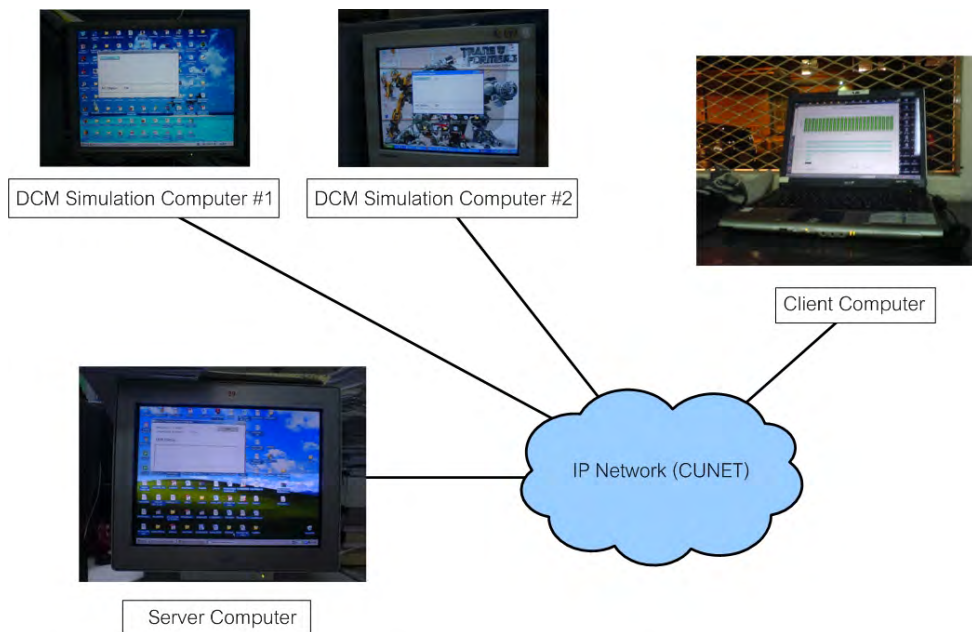
4. เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายเป็นคอมพิวเตอร์ติดตั้งซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Battery Data Management Software: BDM)

5. สภาพแวดล้อมของโครงข่ายไอพีที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบการทำงานของซอฟต์แวร์ระบบไฟฟ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ใช้โครงข่ายไอพีคือโครงข่ายจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CUNET) โดยเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและเครื่องคอมพิวเตอร์จำลองเครื่องรวบรวมข้อมูลทั้ง 2 เครื่อง เชื่อมต่อกับโครงข่าย CUNET ณ ห้องทดลองไฟฟ้าสื่อสารโทรคมนาคม ตึก 4 ชั้น 13 ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายเชื่อมต่อกับโครงข่าย CUNET ผ่านโครงข่ายไร้สาย โดยเชื่อมต่อผ่านทางจุดเข้าถึงโครงข่าย (Access Point) ณ อาคารจามจุรี 9 โดยการเชื่อมต่อแสดงดังรูปที่ 4.1

6. ฟังก์ชันที่ทำการทดสอบประกอบด้วย ฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่ ฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลในอดีตของแบตเตอรี่ ฟังก์ชันการตรวจดูเหตุการณ์เตือนที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่และฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ โดยตั้งค่าคาบเวลาในการการสอบถามข้อมูลจากเครื่องรวบรวมข้อมูลทุกๆ 3 วินาที



รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่เพื่อทดสอบระบบซอฟต์แวร์



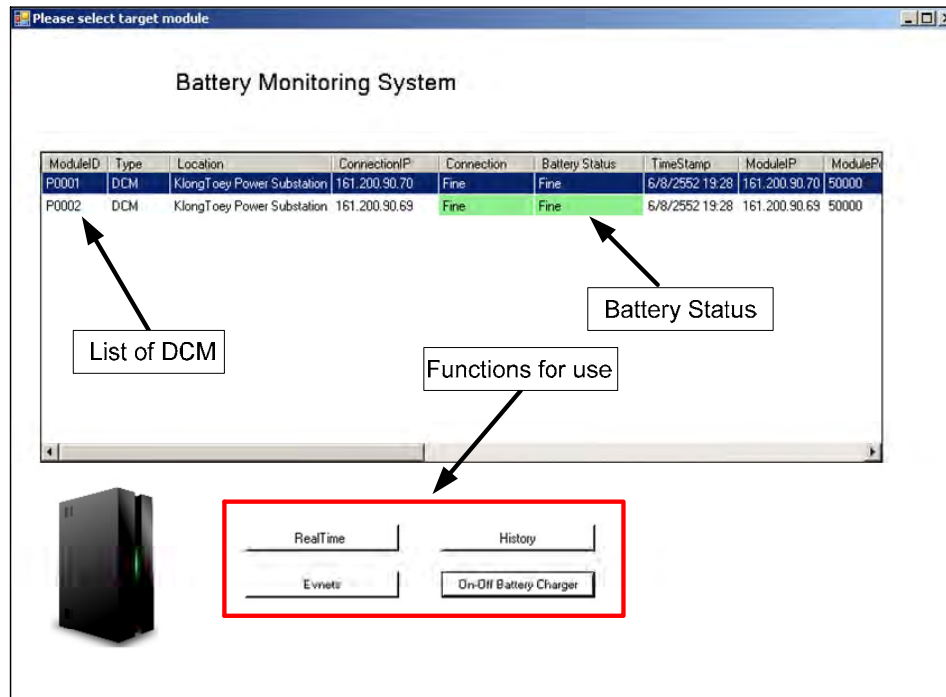
รูปที่ 4.2 การติดตั้งจริงของระบบซอฟต์แวร์ในระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่

การดำเนินการทดสอบ

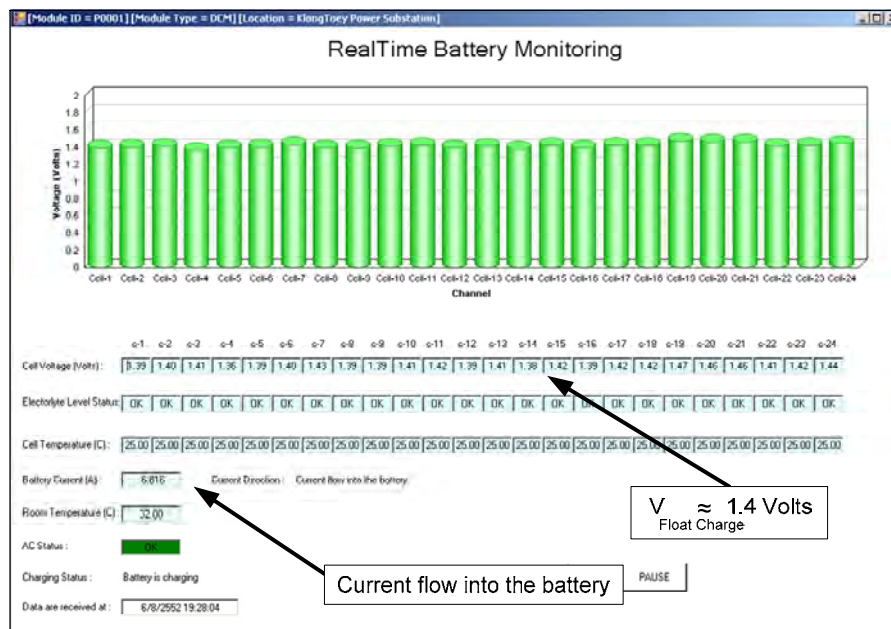
1. เชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายเข้ากับโครงข่าย CUNET ณ อาคารจามจุรี 9 พร้อมทั้งเปิดใช้งานซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Battery Data Management Software: BDM)
2. เลือกรายการของเครื่องรวบรวมข้อมูลที่ต้องการตรวจดูข้อมูล จากนั้นเลือกที่ฟังก์ชันต่างๆที่ต้องการทดสอบได้แก่ ฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลปัจจุบันของแบตเตอรี่ ฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลในอดีตของแบตเตอรี่ ฟังก์ชันการตรวจดูข้อมูลเหตุการณ์เดือนที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ และฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน

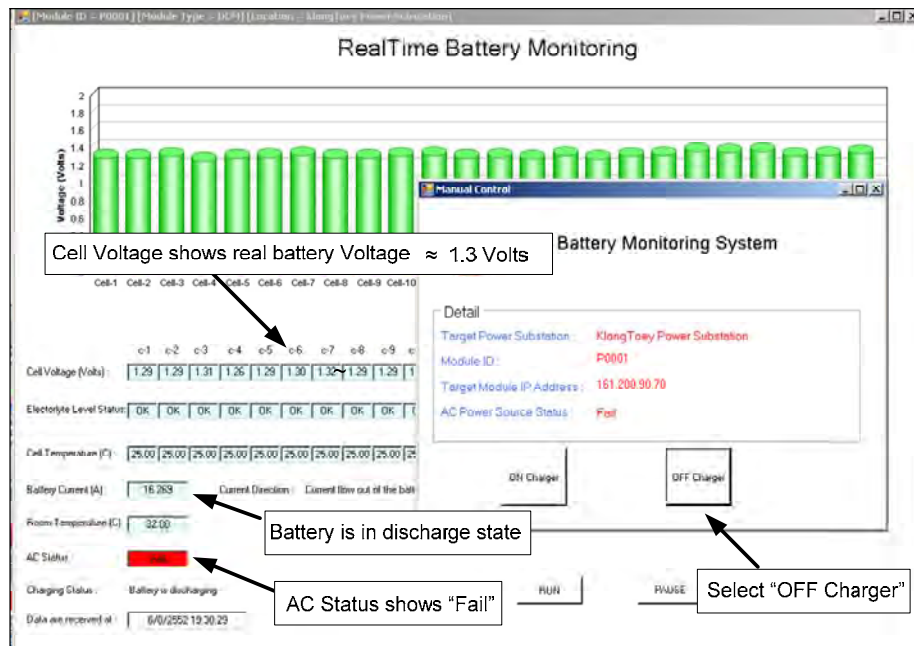
1. จากการทดสอบพบว่าซอฟต์แวร์สามารถแสดงผลได้สอดคล้องกับค่าที่โปรแกรมจำลองการทำงานของเครื่องรวบรวมข้อมูลแต่ละตัวส่งขึ้นมา ณ ขณะนั้นโดยสามารถแสดงผลเป็นกราฟในลักษณะเวลาจริง (Real Time) ได้โดยปรับปรุงค่าทุกๆ 3 วินาทีตามที่กำหนดค่าไว้ข้างต้นโดยไม่มีภาระหน่วงเวลาเกิดขึ้น
2. จากการทดสอบพบว่าซอฟต์แวร์สามารถเรียกดูข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ในอดีตด้วยการกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง
3. จากการทดสอบพบว่าซอฟต์แวร์สามารถแสดงผลการเตือนในกรณีที่พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่บางเซลล์ผิดปกติจากขอบเขตของค่าที่เหมาะสมได้อย่างถูกต้อง
4. จากการทดสอบพบว่าซอฟต์แวร์จากเครื่องลูกข่ายสามารถสั่งการให้ซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของเครื่องรวบรวมข้อมูลสามารถเปลี่ยนแปลงค่าที่ส่งจากสภาวะประจุไฟไปเป็นค่าพารามิเตอร์ในสภาวะคายประจุได้ โดยสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้จากการใช้ฟังก์ชันการดูค่าในเวลาจริงและฟังก์ชันการดูค่าในอดีต



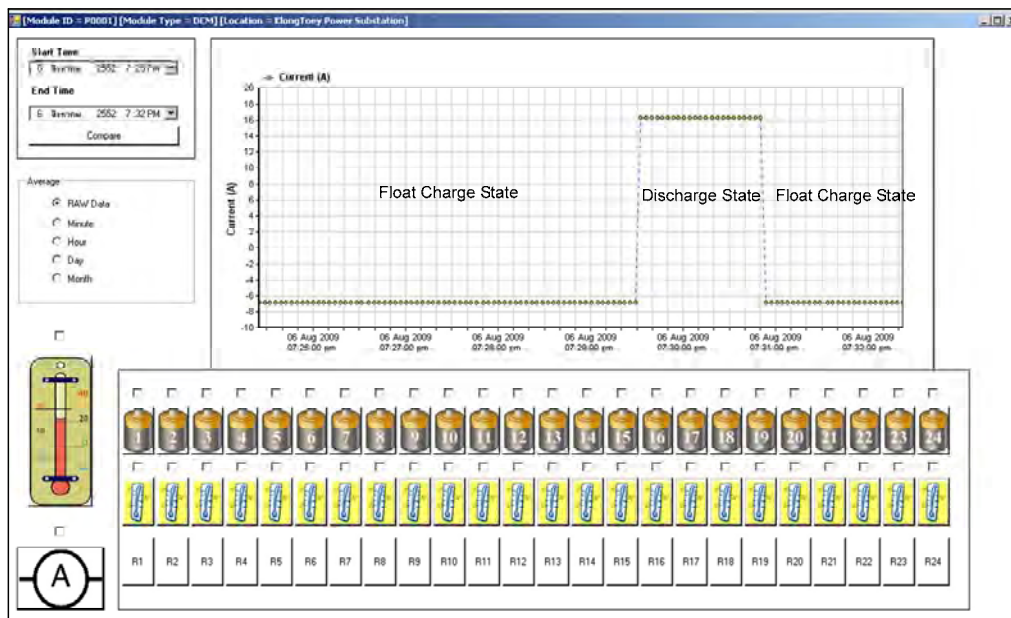
รูปที่ 4.3 หน้าจอสำหรับเลือกเครื่องรวบรวมข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบด้วยฟังก์ชันที่ต้องการ



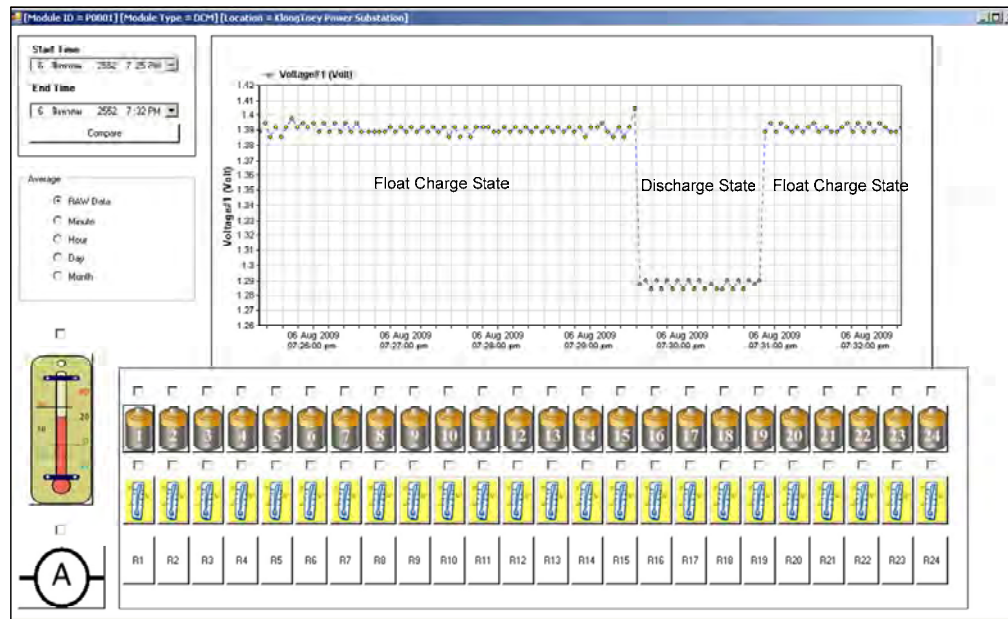
รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงผลเวลาจริงโดยแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ขณะประจุไฟ



รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผลเวลาจริงหลังจากสั่งการหยุดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่แล้ว



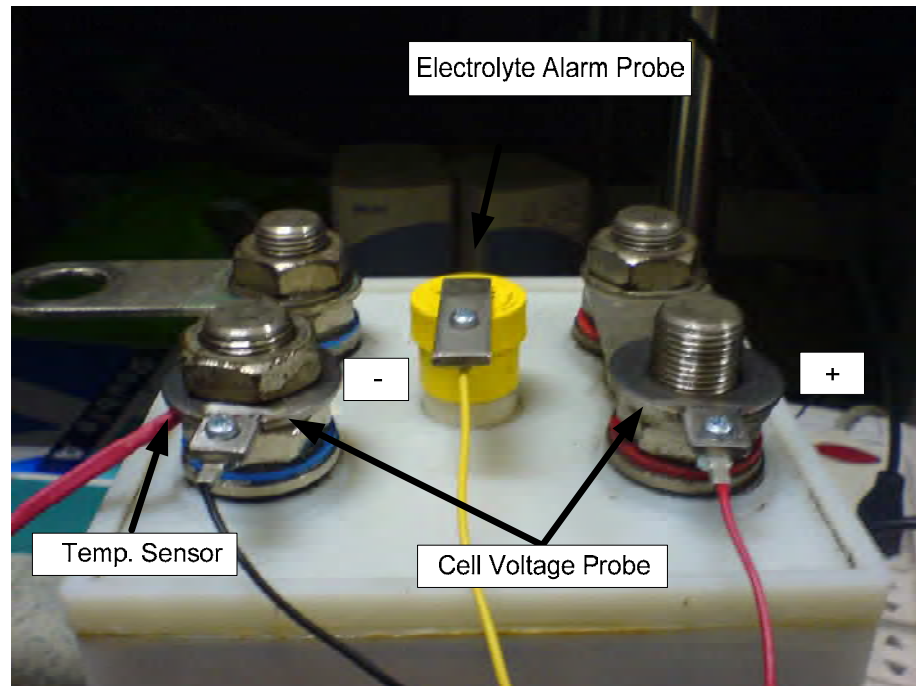
รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลข้อมูลกระแสในอดีตของแบตเตอรี่



รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงผลข้อมูลแรงดันในอดีตของเซลล์แบตเตอรี่

4.3 การทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนกับสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง

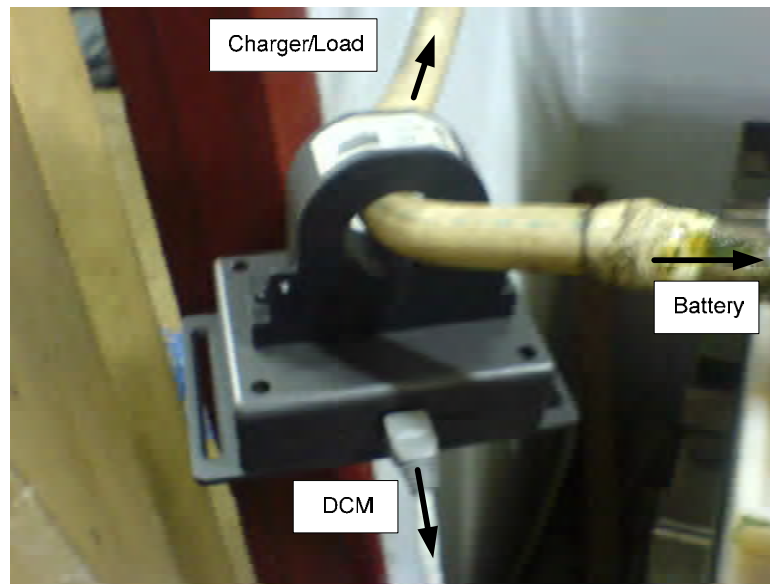
ในการทำการทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนได้เลือกสถานีไฟฟ้าย่อยเขตคลองเตยของการไฟฟ้านครหลวงเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง ในการทดสอบเริ่มต้นโดยติดตั้งเครื่องต้นแบบของเครื่องรวบรวมเข้ากับชุดแบตเตอรี่ที่ใช้งานอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยดังกล่าว จากนั้นติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายไว้ยังห้องของผู้มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับแบตเตอรี่ และใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ภายในห้องปฏิบัติงานของผู้มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับแบตเตอรี่เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายเพื่อใช้ทดสอบ โดยส่วนประกอบทั้งหมดของระบบติดต่อสื่อสารกันด้วยโครงข่ายไอพีซึ่งเป็นโครงข่ายภายในของการไฟฟ้านครหลวง โดยการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของระบบแสดงดังรูปที่ 4.8, 4.9, 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.8 การติดตั้งโพรบวัดของเซนเซอร์บนแบตเตอรี่แต่ละเซลล์



รูปที่ 4.9 การติดตั้งโพรบวัดของเซนเซอร์เข้ากับชุดแบตเตอรี่ที่ทดสอบ



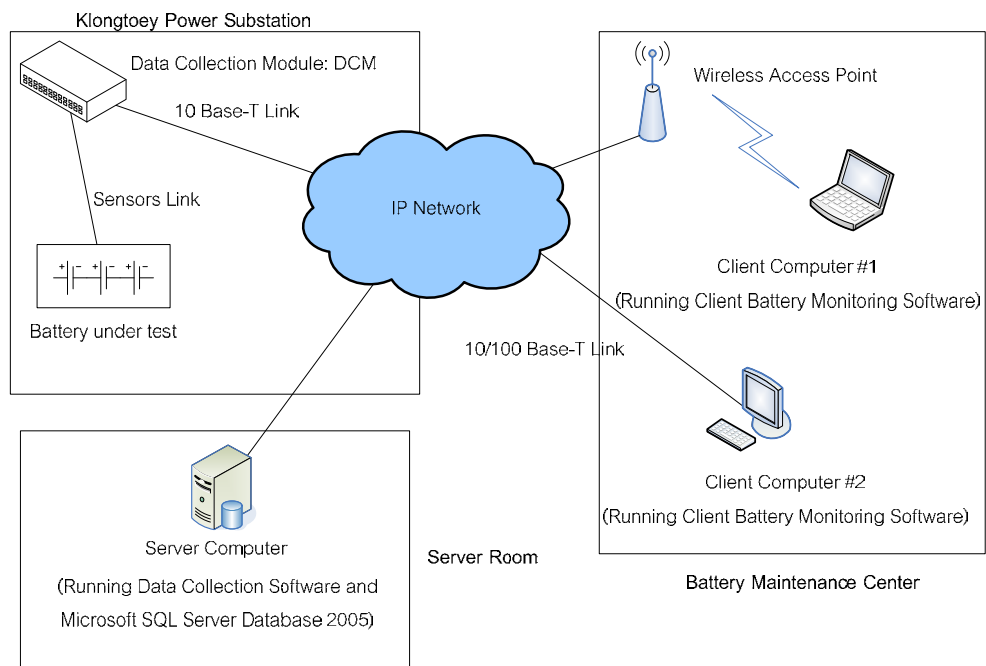
รูปที่ 4.10 การติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสเพื่อวัดกระแสแบตเตอรี่



รูปที่ 4.11 เครื่องต้นแบบของเครื่องรวบรวมข้อมูล

รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน

ระบบที่ทดสอบประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจำนวน 1 เครื่อง ซึ่งติดตั้งซอฟต์แวร์เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Data Collection Software) พร้อมทั้งซอฟต์แวร์แม่ข่ายฐานข้อมูล (Microsoft SQL Server 2005 Express Edition) เครื่องรวบรวมจำนวน 1 เครื่องติดตั้งกับชุดแบตเตอรี่ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่าง เครื่องคอมพิวเตอร์ถูกย้ายเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ใดๆภายในหน่วยงานของผู้มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการดูแลรักษาแบตเตอรี่ ซึ่งติดตั้งซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ (Battery Data Management Software: BDM) และคอมพิวเตอร์ดังกล่าวจำเป็นต้องสามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายไอพีของหน่วยงานนั้นได้ โดยการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวถึงแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบเพื่อทดสอบกับสถานีไฟฟ้าตัวอย่าง

การดำเนินการทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อการทดสอบคือการทดสอบที่ 1 และการทดสอบที่ 2 โดย การทดสอบที่ 1 จะเป็นการทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์ในด้านการวัดและส่งผลการวัดของเซนเซอร์ต่างๆมาแสดงผลยังซอฟต์แวร์ BDM ซึ่งผู้มีหน้าที่บำรุงรักษาแบตเตอรี่จำเป็นต้องใช้งาน ส่วนการทดสอบที่ 2 จะเป็นการทดสอบการส่งคำสั่งควบคุมไปยังแม่๊กเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อเปิดวงจรกระแสไฟฟ้ากระแสลับที่ไหลเข้าสู่เครื่องประจุไฟแบตเตอรี่

การทดสอบที่ 1

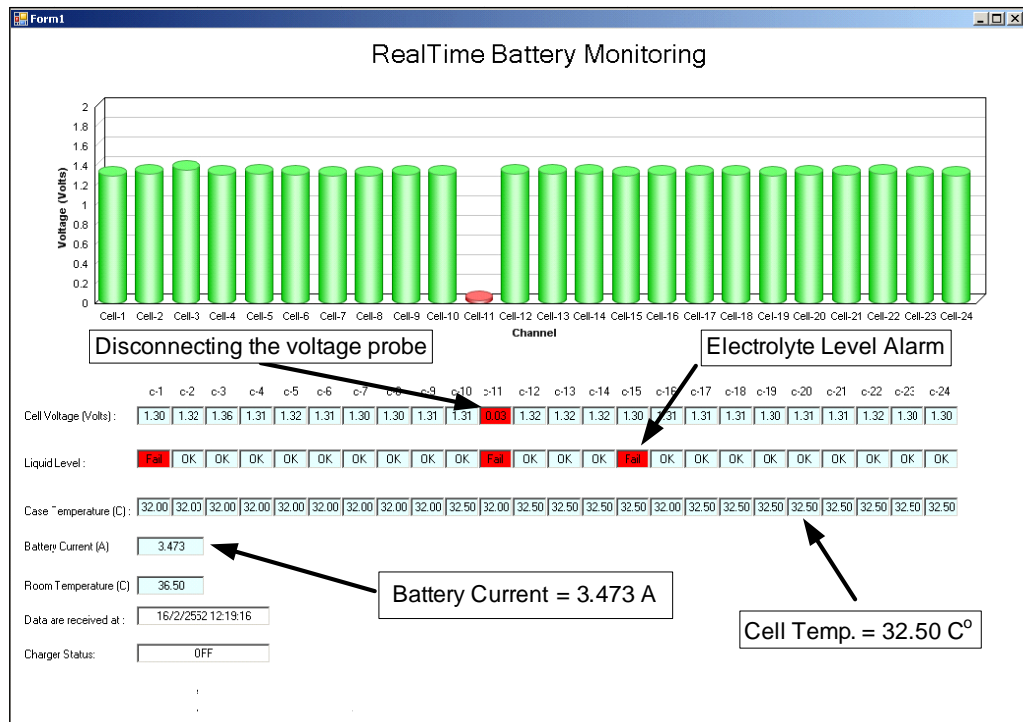
1. สั่งการให้แม่๊กเนติกคอนแทคเตอร์เปิดวงจรเพื่อหยุดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ทำให้เป็นการบังคับให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสให้แก่โหลดภายในสถานีไฟฟ้า ตัวอย่าง
2. ทดลองยกโพรบเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์แบตเตอรี่เซลล์ที่ 1, 11 และ 15 ออก
3. ทดลองปลดโพรบวัดแรงดันออกจากแบตเตอรี่เซลล์ที่ 11
4. ใช้ฟังก์ชันการแสดงผลเวลาจริงของซอฟต์แวร์ BDM เพื่อทดสอบการทำงาน

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์ของระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน

ผลการทดสอบที่ 1

พบว่าซอฟต์แวร์ BDM ในโหมดแสดงผลเวลาจริง สามารถแสดงผลได้สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงของแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ถึง 4.16 ซึ่งจากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าระบบซอฟต์แวร์สามารถแสดงผลความผิดพลาดของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ถูกต้องทั้ง 3 จุด รวมทั้งความผิดพลาดของแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ ณ เซลล์ที่ 11 นอกจากนี้ในส่วนของการวัด

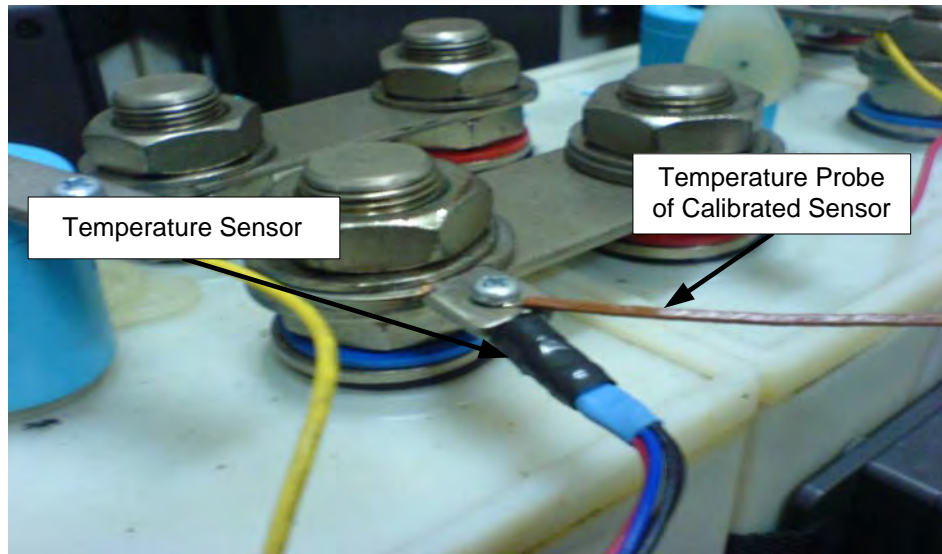
กระแสของแบตเตอรี่ที่สอดคล้องกับมาตรวัดกระแสที่ติดตั้งยังห้องควบคุมดังแสดงโดยรูปที่ 4.14 ส่วนการวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผ่านการสอบเทียบมาแล้วดังแสดงโดยรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.13 หน้าจอของซอฟต์แวร์แสดงผลการทดสอบในขณะทดสอบกับสถานีไฟฟ้าตัวอย่าง



รูปที่ 4.14 หน้าจอของมาตรวัดกระแสที่แสดงค่ากระแสไหลของแบตเตอรี่



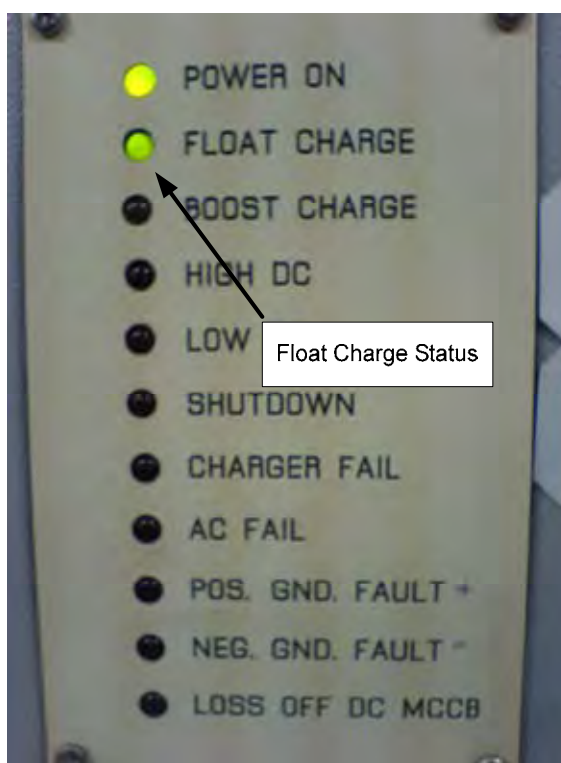
รูปที่ 4.15 การติดตั้งโพรบวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว



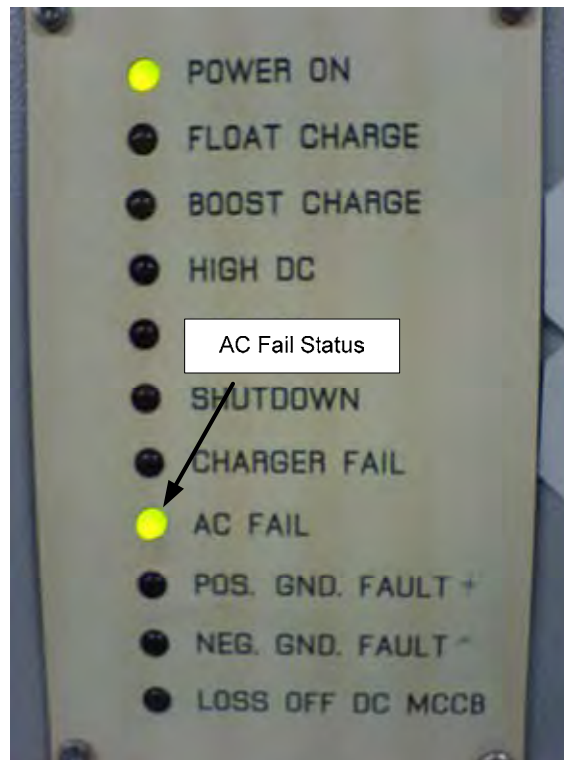
รูปที่ 4.16 เครื่องวัดอุณหภูมิที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว

ผลการทดสอบที่ 2

พบว่าสามารถสั่งการควบคุมการปิดเปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ผ่านทางแม็กเนติกคอนแทคเตอร์ที่ควบคุมกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ไหลเข้าสู่เครื่องประจุแบตเตอรี่ได้ผ่านโครงข่ายไอพีโดยใช้ซอฟต์แวร์ BDM ในโหมดทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ซึ่งหน้าปัดของเครื่องประจุไฟในโหมดปกติจะแสดงผลที่ประจุไฟแบบลอย (Float Charge) ซึ่งหมายถึงเครื่องประจุแบตเตอรี่จะส่งกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่แบตเตอรี่เพื่อประจุไฟแต่เมื่อมีการสั่งให้แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ตัดไฟเข้าเครื่องประจุแบตเตอรี่ หน้าปัดของเครื่องประจุไฟจะเปลี่ยนมาแสดงผลยังโหมด AC Fail ซึ่งแสดงถึงเหตุการณ์ที่กระแสไฟฟ้ากระแสสลับหายไป



รูปที่ 4.17 สถานะกำลังประจุไฟแบบลอยถูกแสดงในการทำงานปกติ



รูปที่ 4.18 สถานะ AC Fail ถูกแสดงหลังจากสั่งให้แม่กเนติกคอนแท็คเตอร์เปิดวงจร

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการนำเสนอสรุปผลการทดสอบ ปัญหาและข้อเสนอแนะของระบบฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนที้ออกแบบขึ้น

5.1 สรุปผลการทดสอบระบบฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คน

ระบบฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบไร้คนสามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่ได้ระบุไว้ในตอนต้นคือสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานดังต่อไปนี้

1. สามารถวัดแรงดันของแบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
2. สามารถวัดกระแสของแบตเตอรี่ได้
3. สามารถแสดงสถานะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้อย่างน้อย 24 เซลล์
4. สามารถวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
5. สามารถวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้จำนวน 24 เซลล์
6. สามารถวัดอุณหภูมิห้องแบตเตอรี่ได้
7. เครื่องฝ้าตรวจทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
8. สามารถส่งผลการวัดพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่ที่ฝ้าตรวจผ่านระบบโครงข่ายไอพีเพื่อแสดงผลที่หน้าจออย่างน้อย 4 จุดคือ ที่ผู้รับผิดชอบ 3 จุดและที่สถานีไฟฟ้าย่อย 1 จุด
9. ฟังก์ชันการสั่งการจากผู้รับผิดชอบ
10. ฟังก์ชันเก็บรวบรวมข้อมูลที่วัดได้

11. ฟังก์ชันการจัดฟอร์แมต (Format) ข้อมูลเพื่อส่งกลับไปให้ผู้รับผิดชอบ
12. ฟังก์ชันการตอบรับการควบคุมกลับไปยังด้านส่ง
13. ฟังก์ชันการตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล
14. ฟังก์ชันการแสดงผล ได้แก่ แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์, ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์, อุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์, สถานะของระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ โดยแสดงในรูปแบบของกราฟและ/หรือตาราง
15. ฟังก์ชันการเตือน (Alarm)
16. ฟังก์ชันการตั้งเวลาเกี่ยวกับการส่งข้อมูล
17. ฟังก์ชันควบคุมการทำงานเดือนละครั้ง โดยมีลำดับการควบคุมดังนี้
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามปกติ
 - หยุดการประจุไฟ (Charge) แบตเตอรี่โดยการหยุดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆหลังจากหยุดการประจุไฟแบตเตอรี่
 - ปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุ (Discharge) เป็นระยะเวลา 30 นาที
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อีกครั้งหนึ่งเพื่อทดสอบความสามารถในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่
 - ประจุไฟแบตเตอรี่อีกครั้งโดยเปิดการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่
 - วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามปกติ

ผลการทดสอบกับสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่างเป็นระยะเวลาการทดสอบกว่า 3 เดือนพบว่า ระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานโดยมีความเชื่อถือได้ของระบบ (System Reliability) สูง โดยเฉพาะในด้านการทำงานของฮาร์ดแวร์เครื่องเก็บรวบรวมข้อมูลเนื่องจากทุกครั้งที่เกิดความขัดข้องของระบบ (System Failure) มีสาเหตุมาจากระบบซอฟต์แวร์ทั้งสิ้น ระบบซอฟต์แวร์มีความขัดข้องหลายครั้งในช่วงต้นของการทดสอบโดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิด ความไม่สมบูรณ์ของซอฟต์แวร์อันเนื่องมาจากการเขียนโปรแกรม (Coding Error) ซึ่งหลังจากพบปัญหา ก็ได้ดำเนินการแก้ไข จนซอฟต์แวร์ในปัจจุบันสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ความขัดข้องของระบบในช่วงท้ายของระยะเวลาการทดสอบจึงเป็นความผิดพลาดอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของระบบโครงข่ายภายในของสถานีไฟฟ้าย่อยเองทั้งสิ้น โดยในปัจจุบันระบบเฝ้าตรวจแบตเตอรี่สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่พัฒนาขึ้นก็ยังคงติดตั้งและทำงานในสถานีไฟฟ้าย่อยตัวอย่างต่อไป

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ในการติดตั้งเครื่องเก็บรวบรวมข้อมูลเข้ากับแบตเตอรี่ที่ต้องการทดสอบมีปัญหาในประเด็นของจำนวนสายนำสัญญาณที่มีเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเครื่องต้นแบบของเครื่องเก็บรวบรวมข้อมูลในปัจจุบันจะใช้สายนำสัญญาณ 1 เส้นเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่จำนวน 1 เซลล์ ดังนั้นจำนวนสายทั้งหมดที่ต้องติดตั้งอยู่ในระบบจึงมากขึ้นตามจำนวนเซลล์แบตเตอรี่ที่ต้องการเฝ้าตรวจ ดังนั้นในอนาคตอาจหาแนวทางอื่นๆ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้แก่ อาจพิจารณาเปลี่ยนสายสัญญาณดังกล่าวเป็นสายเชื่อมโยงแบบคลื่นวิทยุ (Radio Link) แทน เป็นต้น

2. ระบบซอฟต์แวร์ในปัจจุบันมีเพียงฟังก์ชันพื้นฐานเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานเท่านั้น ในอนาคตอาจเพิ่มฟังก์ชันอื่นๆ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานได้แก่ระบบช่วยเหลือในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบตเตอรี่รวมถึงให้คำแนะนำหรือขั้นตอนในการปฏิบัติให้แก่ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบบำรุงรักษาแบตเตอรี่ทันทีโดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ในเชิงลึก เป็นต้น

3. เนื่องจากปัจจุบันในการออกแบบเครื่องเก็บรวบรวมข้อมูลในปัจจุบันออกแบบโดยเน้นการทำงานให้มีเสถียรภาพมากที่สุด การออกแบบในหลายส่วนจึงออกแบบอย่างเรียบง่าย ไม่ใช่การออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Design) เช่น ในการออกแบบวงจรวัดแรงดันเซลล์

แบตเตอรี่ที่เลือกใช้แนวทางการแก้ปัญหาการวัดแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกันจำนวนมาก (Battery Stack Problem) โดยใช้วิธีกำหนดแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรแบบตัวต่อตัว ซึ่งแหล่งจ่ายดังกล่าวทำให้ระบบโดยรวมมีต้นทุนที่สูง แม้จะชัดเจนได้กับช่วยให้การออกแบบวงจรเตือนระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ออกแบบได้ในต้นทุนที่ต่ำก็ตาม ในอนาคตหากพิจารณาแนวทางอื่นๆได้แก่การพิจารณาหาแนวทางใช้พลังงานของเซลล์แบตเตอรี่ที่ต้องการวัดมาจ่ายพลังงานให้แก่วงจรทั้งสองแทนก็น่าที่จะลดต้นทุนในการสร้างเครื่องเก็บรวบรวมโดยรวมโดยรวมได้

รายการอ้างอิง

- [1] Liu, W., Matthews C., Parziale L., Rosselot N., Davis C., Forrester J. and Britt, D. T. TCP/IP Tutorial and Technical Overview. An IBM Redbook Publication [Online]. 2006. Available from: <http://www.redbooks.ibm.com> [2009, May 21]
- [2] Kurose, J. F., and Ross, K. W. Computer Networking: A Top-down Approach Featuring the Internet. 3rd ed. Pearson Education, 2005.
- [3] Rajbharti, N. Microchip TCP/IP Stack Application Note. Microchip Application Note [Online]. 2008. Available from: <http://microchip.com> [2009, May 21]
- [4] Smith, N. Embedded Ethernet Made Easy[Online]. 2007. Available from: <http://microchip.com> [2009, May 21].
- [5] Fischer, R. L. Using the PICmicro MSSP Module for I2C Communications. Microchip Application Note[Online]. 2000. Available from: <http://microchip.com> [2009, May 21]
- [6] Williams, J. and Thoren, M. Novel Measurement Circuit Eases Battery-stack-cell Design. EDN Magazine (January 2008): 60-63.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักที่เลือกใช้งาน



PIC18F97J60 FAMILY

64/80/100-Pin High-Performance, 1-Mbit Flash Microcontrollers with Ethernet

Ethernet Features:

- IEEE 802.3™ Compatible Ethernet Controller
- Fully Compatible with 10/100/1000Base-T Networks
- Integrated MAC and 10Base-T PHY
- 8-Kbyte Transmit/Receive Packet Buffer SRAM
- Supports One 10Base-T Port
- Programmable Automatic Retransmit on Collision
- Programmable Padding and CRC Generation
- Programmable Automatic Rejection of Erroneous Packets
- Activity Outputs for 2 LED Indicators
- Buffer:
 - Configurable transmit/receive buffer size
 - Hardware-managed circular receive FIFO
 - Byte-wide random and sequential access
 - Internal DMA for fast memory copying
 - Hardware assisted checksum calculation for various protocols
- MAC:
 - Support for Unicast, Multicast and Broadcast packets
 - Programmable Pattern Match of up to 64 bytes within packet at user-defined offset
 - Programmable wake-up on multiple packet formats
- PHY:
 - Wave shaping output filter

Flexible Oscillator Structure:

- Selectable System Clock derived from Single 25 MHz External Source:
 - 2.778 to 41.667 MHz
- Internal 31 kHz Oscillator
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if oscillator stops
- Two-Speed Oscillator Start-up

External Memory Bus (100-pin devices only):

- Address Capability of up to 2 Mbytes
- 8-Bit or 16-Bit Interface
- 12-Bit, 16-Bit and 20-Bit Addressing modes

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA on PORTB and PORTC
- Five Timer modules (Timer0 to Timer4)
- Four External Interrupt pins
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules
- Three Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) modules:
 - One, two or four PWM outputs
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Up to Two Master Synchronous Serial Port (MSSP) modules supporting SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- Up to Two Enhanced USART modules:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
 - Auto-wake-up on Start bit
 - Auto-Baud Detect (ABD)
- 10-Bit, Up to 16-Channel Analog-to-Digital Converter module (A/D):
 - Auto-acquisition capability
 - Conversion available during Sleep
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing
- Parallel Slave Port (PSP) module (100-pin devices only)

Special Microcontroller Features:

- 5.5V Tolerant Inputs (digital-only pins)
- Low-Power, High-Speed CMOS Flash Technology:
 - Self-reprogrammable under software control
- C compiler Optimized Architecture for Reentrant Code
- Power Management Features:
 - Run: CPU on, peripherals on
 - Idle: CPU off, peripherals on
 - Sleep: CPU off, peripherals off
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 134s
- Single-Supply 3.3V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) with 3 Breakpoints via Two Pins
- Operating Voltage Range of 2.35V to 3.6V (3.1V to 3.6V using Ethernet module)
- On-Chip 2.5V Regulator

ภาคผนวก ข

ไมโครคอนโทรลเลอร์ลูกข่ายที่เลือกใช้งาน



PIC18F45J10 FAMILY

**28/40/44-Pin High-Performance, RISC Microcontrollers
with nanoWatt Technology**

Special Microcontroller Features:

- Operating voltage range: 2.0V to 3.6V
- 5.5V tolerant input (digital pins only)
- On-chip 2.5V regulator
- Low-power, high-speed CMOS Flash technology
- C compiler optimized architecture:
 - Optional extended instruction set designed to optimize re-entrant code
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 131s
- Single-Supply In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) with three Break points via two pins
- Power-Managed modes:
 - Run: CPU on, peripherals on
 - Idle: CPU off, peripherals on
 - Sleep: CPU off, peripherals off

Flexible Oscillator Structure:

- Two Crystal modes, up to 40 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal 31 kHz oscillator
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Two-Speed Oscillator Start-up
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops

Peripheral Highlights:

- High-current sink/source 25 mA/25 mA (PORTB and PORTC)
- Three programmable external interrupts
- Four input change interrupts
- One Capture/Compare/PWM (CCP) module
- One Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - One, two or four PWM outputs
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Two Master Synchronous Serial Port (MSSP) modules supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- One Enhanced Addressable USART module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
 - Auto-Wake-up on Start bit
 - Auto-Baud Detect
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D):
 - Auto-acquisition capability
 - Conversion available during Sleep
 - Self-calibration feature
- Dual analog comparators with input multiplexing

| Device | Program Memory | | SRAM Data Memory (bytes) | I/O | 10-bit A/D (ch) | CCP/ ECCP (PWM) | MSSP | | EUSART | Comparators | Timers 8/16-bit | |
|-------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----|-----------------|-----------------|------|--------------------------|--------|-------------|-----------------|-----|
| | Flash (bytes) | # Single-Word Instructions | | | | | SPI™ | Master I ² C™ | | | | |
| PIC18F24J10 | 16K | 8192 | 1024 | 21 | 10 | 2/0 | 1 | Y | Y | 1 | 2 | 1/2 |
| PIC18F25J10 | 32K | 16384 | 1024 | 21 | 10 | 2/0 | 1 | Y | Y | 1 | 2 | 1/2 |
| PIC18F44J10 | 16K | 8192 | 1024 | 32 | 13 | 1/1 | 2 | Y | Y | 1 | 2 | 1/2 |
| PIC18F45J10 | 32K | 16384 | 1024 | 32 | 13 | 1/1 | 2 | Y | Y | 1 | 2 | 1/2 |

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของไอซี DC/DC Isolated Power Supply ที่เลือกใช้งาน



NTE SERIES

Isolated 1W Single Output SM DC/DC Converters



FEATURES

- Wide Temperature Performance at Full 1 Watt Load, -40°C to 85°C
- Lead Frame Technology
- Maximum Reflow Temperature 280°C
- Single Isolated Output
- 1kVDC Isolation
- Efficiency to 78%
- Power Density 1.8W/cm³
- 3.3V, 5V & 12V Input
- 3.3V, 5V, 9V, 12V and 15V Output
- Footprint Over Pins 1.64cm²
- UL 94V-0 Package Material
- No Heatsink Required
- Internal SMD Construction
- Toroidal Magnetics
- Plastic Encapsulated
- MTF up to 2.9 Million Hours
- Custom Solutions Available
- Multi Layer Ceramic Capacitors
- Lead Free Compatible

DESCRIPTION

The NTE series of miniature surface mounted DC/DC Converters employ leadframe technology and transfer moulding techniques to bring all of the benefits of IC style packaging to hybrid circuitry. The devices are fully compatible with CECC00802 to 280°C which allows them to be placed and reflowed with IC's, thus reducing time and cost in production. The co-planarity of the pin positions is based upon IEC 191-6:1990. The devices are suitable for all applications where high volume production is envisaged.

SELECTION GUIDE

| | Nominal Input Voltage | Output Voltage | Output Current | Input Current at Rated Load | Efficiency | Isolation Capacitance | MTTF ¹ |
|-------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Order Code ² | (V) | (V) | (mA) | (mA) | (%) | (pF) | kHrs |
| NTE0303M | 3.3 | 3.3 | 303 | 410 | 73 | 30 | 1234 |
| NTE0305M | 3.3 | 5 | 200 | 390 | 78 | 35 | 632 |
| NTE0309M | 3.3 | 9 | 111 | 400 | 77 | 31 | 1005 |
| NTE0312M | 3.3 | 12 | 83 | 400 | 77 | 28 | 525 |
| NTE0315M | 3.3 | 15 | 66 | 400 | 77 | 29 | 293 |
| NTE0503M | 5 | 3.3 | 303 | 270 | 74 | 40 | 619 |
| NTE0505M | 5 | 5 | 200 | 294 | 68 | 35 | 2418 |
| NTE0505ME | 5 | 5 | 200 | 260 | 77 | 40 | 419 |
| NTE0509M | 5 | 9 | 111 | 267 | 75 | 43 | 1174 |
| NTE0512M | 5 | 12 | 83 | 260 | 77 | 42 | 634 |
| NTE0515M | 5 | 15 | 66 | 256 | 78 | 44 | 360 |
| NTE1205M | 12 | 5 | 200 | 124 | 67 | 47 | 621 |
| NTE1209M | 12 | 9 | 111 | 114 | 73 | 77 | 488 |
| NTE1212M | 12 | 12 | 83 | 113 | 74 | 88 | 360 |
| NTE1215M | 12 | 15 | 66 | 111 | 75 | 95 | 252 |

When operated with additional external load capacitance the rise time of the input voltage will determine the maximum external capacitance value for guaranteed start up. The slower the rise time of the input voltage the greater the maximum value of the additional external capacitance for reliable start up.

INPUT CHARACTERISTICS

| Parameter | Conditions | MIN | TYP | MAX | Units |
|--------------------------|--|------|------|------|--------|
| Voltage Range | Continuous operation, 3.3V input types | 2.97 | 3.30 | 3.63 | V |
| | Continuous operation, 5V input types | 4.5 | 5 | 5.5 | |
| | Continuous operation, 12V input types | 10.8 | 12 | 13.2 | |
| Reflected Ripple Current | | | 30 | 47 | mA p-p |

OUTPUT CHARACTERISTICS

| Parameter | Conditions | MIN | TYP | MAX | Units |
|------------------------------|--|-----|------|-----|--------|
| Rated Power ² | T _A = -40°C to 85°C | | | 1.0 | W |
| Voltage Set Point Accuracy | See tolerance envelope | | | | |
| Line regulation | High V _{IN} to low V _{IN} | | 1.0 | 1.2 | %/% |
| Load Regulation ³ | 10% load to rated load, 03XXM, 0503M, 0505ME | | 10 | 14 | % |
| | 10% load to rated load, 0505M & 1205M | | 12.8 | 15 | |
| | 10% load to rated load, 0509M & 1209M | | 8.3 | 9.0 | |
| | 10% load to rated load, 0512M & 1212M | | 6.8 | 7.5 | |
| | 10% load to rated load, 0515M & 1215M | | 6.3 | 7.0 | |
| Ripple and Noise | BW=DC to 20MHz, 03XXM, 0503M, 0505ME types | | 40 | 60 | mV p-p |
| | BW=DC to 20MHz, 0505M & 1205M | | 62 | 85 | |
| | BW=DC to 20MHz, 0509M & 1209M | | 49 | 75 | |
| | BW=DC to 20MHz, 0512M & 1212M | | 39 | 65 | |
| | BW=DC to 20MHz, 0515M & 1215M | | 38 | 76 | |

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | |
|---|---------|
| Short circuit duration ⁴ | 1second |
| Internal power dissipation | 600mW |
| Lead temperature 1.5mm from case for 10 seconds | 300°C |
| Input Voltage V _{IN} , NTE03 types | 5.5V |
| Input Voltage V _{IN} , NTE05 types | 7V |
| Input voltage V _{IN} , NTE12 types | 15V |

1 Calculated using MIL-HDBK-217F with nominal input voltage at full load.

2 See derating curve.

3 12V input types have typically 3% less load regulation change.

4 Supply voltage must be discontinued at the end of the short circuit duration.

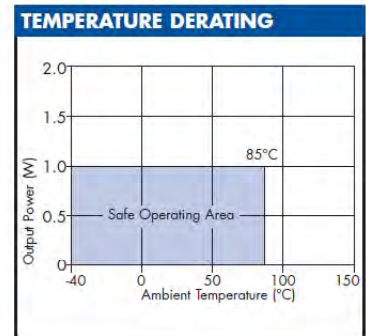
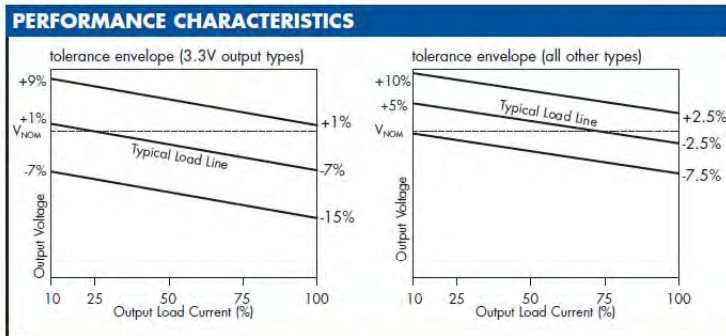
5 If components are required in tape and reel format suffix order code with -R, e.g. NTE0505M-R

All specifications typical at T_A=25°C, nominal input voltage and rated output current unless otherwise specified.

| ISOLATION CHARACTERISTICS | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|------|-----|-----|-------|
| Parameter | Conditions | MIN | TYP | MAX | Units |
| Isolation Test Voltage | Flash tested for 1 second | 1000 | | | VDC |
| Resistance | V _{iso} =1000VDC | 10 | | | GΩ |

| GENERAL CHARACTERISTICS | | | | | |
|-------------------------|--------------|-----|-----|-----|-------|
| Parameter | Conditions | MIN | TYP | MAX | Units |
| Switching Frequency | All variants | | 110 | | kHz |

| TEMPERATURE CHARACTERISTICS | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Parameter | Conditions | MIN | TYP | MAX | Units |
| Specification | All output types | -40 | | 85 | °C |
| Storage | | -55 | | 125 | °C |
| Case Temperature above ambient | 0303M, 0305M, 0503M, 0505ME | | 30 | | °C |
| | 0505M, 1205M | | 40 | | |
| | All other output types | | 40 | | |
| Cooling | Free air convection | | | | |



MECHANICAL DIMENSIONS

| PIN | |
|-----|-----------------|
| 1 | GND |
| 3 | V _{IN} |
| 5 | NA |
| 7 | OV |
| 8 | +V |
| 10 | NA |
| 12 | NA |
| 14 | NA |

NA - Not available for electrical connection
Weight: 1.21g

All dimensions in mm XX.XX ±0.25mm. All pins on a 2.54mm pitch.

C&D Technologies Inc. reserve the right to alter or improve the specification, internal design or manufacturing process at any time, without notice. Please check with your supplier or visit our web site to ensure that you have the current and complete specification for your product before use.

© C&D Technologies Inc. 2004 NDC NTE.5

No part of this publication may be copied, transmitted or stored in a retrieval system or reproduced in any way including, but not limited to, photography, photocopy, magnetic or other recording means, without prior written permission from C&D Technologies Inc.

Instructions for use are available from: www.cdpoweronline.com

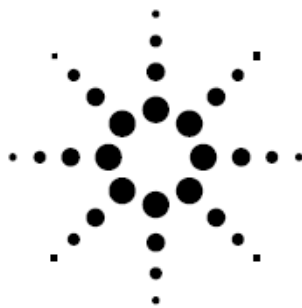
C&D Technologies (NCL) Ltd
Tanners Drive, Blakelands North
Milton Keynes MK14 5BU, England
Tel: +44 (0)1908 615232
Fax: +44 (0)1908 617545
email: info@cdtechno-ncl.com

www.cdpoweronline.com

C&D Technologies Inc.
3400 E Britannia Drive, Tucson,
Arizona 85706, USA
Tel: +1 (800) 547-2537
Fax: +1 (520) 741-4598
email: sales@cdtechno.com

ภาคผนวก ง

ไอซีออปโตคัปเปิลอร์แบบแอนะล็อกที่เลือกใช้งาน



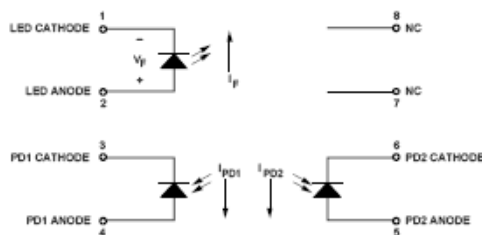
Agilent HCNR200/201
High-Linearity Analog Optocouplers
 Data Sheet

Description

The HCNR200/201 high-linearity analog optocoupler consists of a high-performance AlGaAs LED that illuminates two closely matched photodiodes. The input photodiode can be used to monitor, and therefore stabilize, the light output of the LED. As a result, the non-linearity and drift characteristics of the LED can be virtually eliminated. The output photodiode produces a photocurrent that is linearly related to the light output of the LED. The close matching of the photodiodes and advanced design of the package ensure the high linearity and stable gain characteristics of the optocoupler.

The HCNR200/201 can be used to isolate analog signals in a wide variety of applications that require good stability, linearity, bandwidth and low cost. The HCNR200/201 is very flexible and, by appropriate design of the application circuit, is capable of operating in many different modes, including: unipolar/bipolar, ac/dc and inverting/non-inverting. The HCNR200/201 is an excellent solution for many analog isolation problems.

Schematic



CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

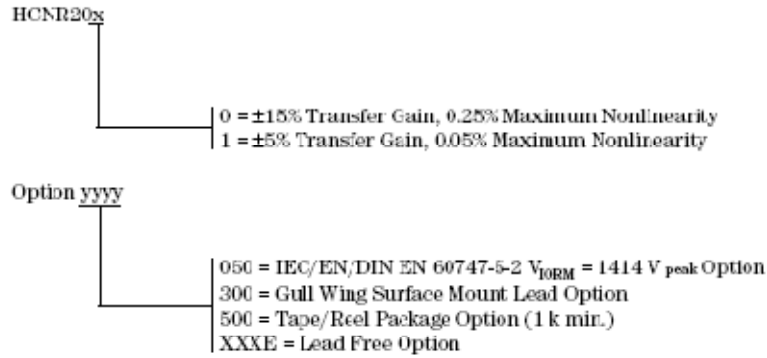
Features

- **Low nonlinearity: 0.01%**
- **$K_3 (I_{PD2}/I_{PD1})$ transfer gain**
 HCNR200: $\pm 15\%$
 HCNR201: $\pm 5\%$
- **Low gain temperature coefficient:**
 -65 ppm/ $^{\circ}\text{C}$
- **Wide bandwidth – DC to >1 MHz**
- **Worldwide safety approval**
 - UL 1577 recognized (5 kV rms/1 min rating)
 - CSA approved
 - IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 approved
 - $V_{ICRM} = 1414 \text{ V}_{\text{peak}}$ (option #050)
- **Surface mount option available** (Option #300)
- **8-Pin DIP package - 0.400" spacing**
- **Allows flexible circuit design**
- **Special selection for HCNR201: tighter K_1 , K_3 and lower nonlinearity available**

Applications

- **Low cost analog isolation**
- **Telecom: Modem, PBX**
- **Industrial process control:**
 Transducer isolator
 Isolator for thermocouples 4 mA to 20 mA loop isolation
- **SMPS feedback loop, SMPS feedforward**
- **Monitor motor supply voltage**
- **Medical**

Ordering Information



Option data sheets available. Contact your Agilent Technologies sales representative or authorized distributor for information.

Remarks: The notation “#” is used for existing products, while (new) products launched since 15th July 2001 and lead free option will use “-”

Package Outline Drawings

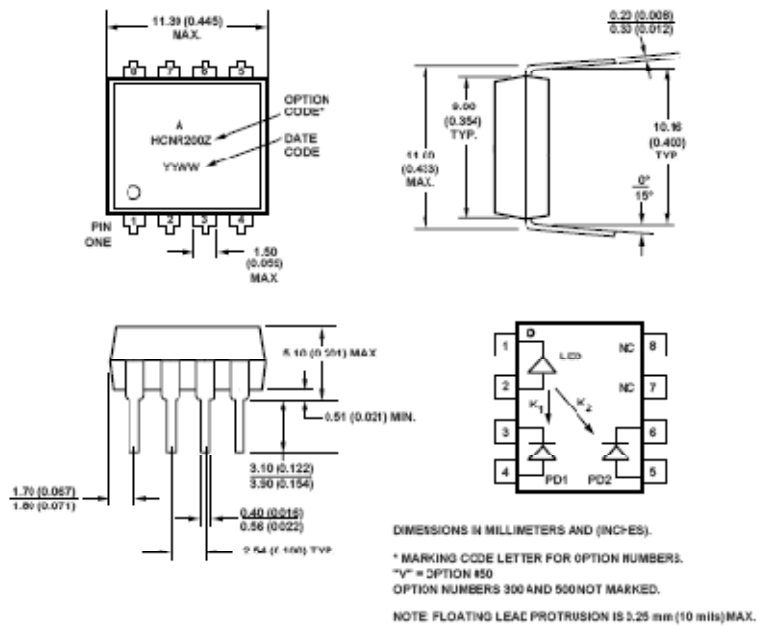


Figure 1.

Electrical Specifications $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

| Parameter | Symbol | Device | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions | Fig. | Note |
|---|-------------------------|---------|-------|------|------|---|---|-------|------|
| Transfer Gain | K_3 | HCNR200 | 0.85 | 1.00 | 1.15 | | $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | 2,3 | 1 |
| | | HCNR201 | 0.95 | 1.00 | 1.05 | | $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | | 1,2 |
| | | HCNR201 | 0.93 | 1.00 | 1.07 | | $-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$, $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | | 1,2 |
| Temperature Coefficient of Transfer Gain | $\Delta K_3/\Delta T_A$ | | -65 | | | ppm/ $^\circ\text{C}$ | $-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$, $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | 2,3 | |
| DC NonLinearity (Best Fit) | NL_{BF} | HCNR200 | | 0.01 | 0.25 | % | $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | 4,5,6 | 3 |
| | | HCNR201 | | 0.01 | 0.05 | | $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | | 2,3 |
| | | HCNR201 | | 0.01 | 0.07 | | $-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$, $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | | 2,3 |
| DC Nonlinearity (Ends Fit) | NL_{EF} | | 0.016 | | | $5\text{ nA} < I_{PD} < 50\text{ }\mu\text{A}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | | 4 | |
| Input Photodiode Current Transfer Ratio (I_{PD1}/I_F) | K_1 | HCNR200 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | % | $I_F = 10\text{ mA}$, $0\text{ V} < V_{PD1} < 15\text{ V}$ | 7 | 2 |
| | | HCNR201 | 0.36 | 0.48 | 0.72 | | | | |
| Temperature Coefficient of K_1 | $\Delta K_1/\Delta T_A$ | | | -0.3 | | %/ $^\circ\text{C}$ | $-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$, $I_F = 10\text{ mA}$, $0\text{ V} < V_{PD1} < 15\text{ V}$ | 7 | |
| Photodiode Leakage Current | I_{LK} | | | 0.5 | 25 | nA | $I_F = 0\text{ mA}$, $0\text{ V} < V_{PD} < 15\text{ V}$ | 8 | |
| Photodiode Reverse Breakdown Voltage | BV_{RFD} | | 30 | 150 | | V | $I_R = 100\text{ }\mu\text{A}$ | | |
| Photodiode Capacitance | C_{PD} | | | 22 | | pF | $V_{PD} = 0\text{ V}$ | | |
| LED Forward Voltage | V_F | | 1.3 | 1.6 | 1.85 | V | $I_F = 10\text{ mA}$, $-40^\circ\text{C} < T_A < 85^\circ\text{C}$ | 9,10 | |
| | | | 1.2 | 1.6 | 1.95 | | | | |
| LED Reverse Breakdown Voltage | BV_R | | 2.5 | 9 | | V | $I_F = 100\text{ }\mu\text{A}$ | | |
| Temperature Coefficient of Forward Voltage | $\Delta V_F/\Delta T_A$ | | | -1.7 | | mV/ $^\circ\text{C}$ | $I_F = 10\text{ mA}$ | | |
| LED Junction Capacitance | C_{LED} | | | 80 | | pF | $f = 1\text{ MHz}$, $V_F = 0\text{ V}$ | | |

AC Electrical Specifications

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

| Parameter | Symbol | Device | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions | Fig. | Note |
|---------------------------------|--------|--------|------|------|------|-------|-----------------------|------|------|
| LED Bandwidth | f -3dB | | | 9 | | MHz | $I_f = 10 \text{ mA}$ | | |
| Application Circuit: Bandwidth: | | | | | | | | | |
| High Speed | | | | 1.5 | | MHz | | 16 | 7 |
| High Precision | | | | 10 | | kHz | | 17 | 7 |
| Application Circuit: IMRR | | | | | | | | | |
| High Speed | | | | 95 | | dB | freq = 60 Hz | 16 | 7, 8 |

Package Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

| Parameter | Symbol | Device | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions | Fig. | Note |
|---|-----------|--------|-----------|-----------|------|----------|--|------|------|
| Input-Output Momentary-Withstand Voltage* | V_{ISO} | | 5000 | | | V rms | RH \leq 50%, t = 1 min. | | 5, 6 |
| Resistance (Input-Output) | R_{LO} | | 10^{12} | 10^{13} | | Ω | $V_O = 500 \text{ VDC}$ | | 5 |
| | | | 10^{11} | | | | TA = 100°C , $V_{IO} = 500 \text{ VDC}$ | | 5 |
| Capacitance (Input-Output) | C_{LO} | | | 0.4 | 0.6 | pF | f = 1 MHz | | 5 |

*The Input-Output Momentary Withstand Voltage is a dielectric voltage rating that should not be interpreted as an input-output continuous voltage rating. For the continuous voltage rating refer to the VDE 0884 Insulation Characteristics Table (if applicable), your equipment level safety specification, or Application Note 1074, "Optocoupler Input-Output Endurance Voltage."

Notes:

- K_3 is calculated from the slope of the best fit line of I_{FO2} vs. I_{FO1} with eleven equally distributed data points from 5 nA to 50 μA . This is approximately equal to I_{FO2}/I_{FO1} at $I_f = 10 \text{ mA}$.
- Special selection for tighter K_1 , K_3 and lower Nonlinearity available.
- BEST FIT DC NONLINEARITY (NL_{BF}) is the maximum deviation expressed as a percentage of the full scale output of a "best fit" straight line from a graph of I_{FO2} vs. I_{FO1} with eleven equally distributed data points from 5 nA to 50 μA . I_{FO2} error to best fit line is

the deviation below and above the best fit line, expressed as a percentage of the full scale output.

- ENDS FIT DC NONLINEARITY (NL_{EF}) is the maximum deviation expressed as a percentage of full scale output of a straight line from the 5 nA to the 50 μA data point on the graph of I_{FO2} vs. I_{FO1} .
- Device considered a two-terminal device: Pins 1, 2, 3, and 4 shorted together and pins 5, 6, 7, and 8 shorted together.
- In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage of $\geq 6000 \text{ V rms}$ for ≥ 1

- second (leakage detection current limit, I_{L0} of 5 μA max.). This test is performed before the 100% production test for partial discharge (method b) shown in the IEC/EN/DIN EN 60747-5-2 Insulation Characteristics Table (for Option #050 only).
- Specific performance will depend on circuit topology and components.
- IMRR is defined as the ratio of the signal gain (with signal applied to V_{IN} of Figure 16) to the isolation mode gain (with V_{IN} connected to input common and the signal applied between the input and output commons) at 60 Hz, expressed in dB.

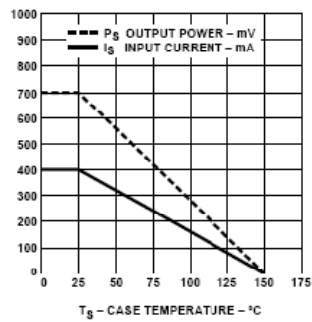


Figure 11. Thermal derating curve dependence of safety limiting value with case temperature per IEC/EN/DIN EN 60747-5-2.

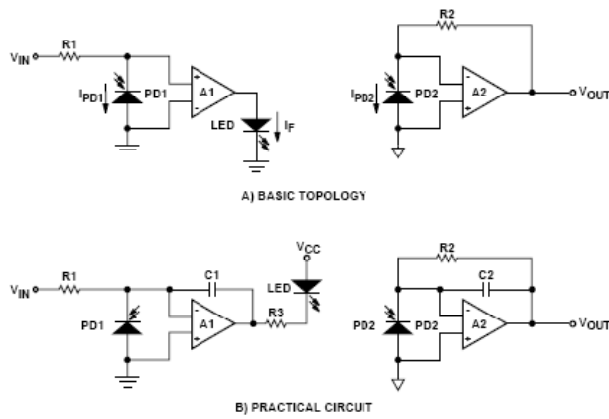
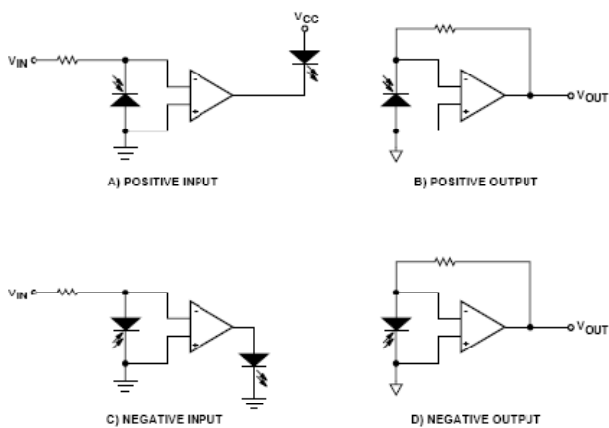


Figure 12. Basic isolation amplifier.



ภาคผนวก จ

เซ็นเซอร์วัดกระแสแบบเตอริที่เลือกใช้งาน

Model RS-A and RSS-A **Open Loop Hall Effect**

Description

The RS/RSS-A Series is a current sensor that accurately measures AC and DC currents and provides electrical isolation between the circuit being measured and the output of the sensor. One package provides nominal current measurements from 100 to 1000 amps and has the versatility to be panel or bulkhead mounted.



Current Sensors

Features

- High accuracy
- Wide frequency range
- Excellent linearity
- Safety isolation
- Heavy duty industrial housing
- Panel or bulkhead mounting
- Single or dual supply voltage option

Applications

- Motor controllers and drives
- Battery supplied equipment
- Switch mode and uninterruptable power supplies
- Welding equipment

Specifications

| Electrical Data | Nominal Range | Measurement Range | Output (mV/A) | |
|--|--|-------------------|---------------|-------|
| | | | RS | RSS |
| RS/RSS - 1000-A | 1000 Amps | ±1000 Amps | 4.00 | 1.60 |
| RS/RSS - 600-A | 600 Amps | ±1000 Amps | 6.67 | 2.67 |
| RS/RSS - 500-A | 500 Amps | ±1000 Amps | 8.00 | 3.20 |
| RS/RSS - 400-A | 400 Amps | ±1000 Amps | 10.00 | 4.00 |
| RS/RSS - 300-A | 300 Amps | ±750 Amps | 13.33 | 5.33 |
| RS/RSS - 200-A | 200 Amps | ±500 Amps | 20.00 | 8.00 |
| RS/RSS - 100-A | 100 Amps | ±250 Amps | 40.00 | 16.00 |
| Overload Capacity | 25,000 Amp Turns | | | |
| Linearity | 0.75% of Nominal | | | |
| RS-A Supply Voltage | ±12 to ±18 VDC | | | |
| RSS-A Supply Voltage | +12 to +18 VDC | | | |
| Isolation Between Primary and Output | 3KV RMS 50Hz for 1 minute | | | |
| RS-A Zero Offset (at +25°C) | 0.000 V ±10mV max | | | |
| RSS-A Zero Offset (at +25°C) | 6.000 V ±10mV max | | | |
| Zero Offset Drift | ±1.0mV/°C max | | | |
| Gain Variation | ±0.05%/°C | | | |
| Response Time | <3µs | | | |
| di/dt Accurately Followed | >50 A/µs | | | |
| Frequency Range | DC to 25 kHz, Core eddy current heating is produced when (RMS current x frequency) > 400,000 | | | |

General Information

| | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Operating Temperature | -40°C to +85°C |
| Extended Operating Temperature | -40°C to +105°C |
| Storage Temperature | -55°C to +125°C |
| Current Consumption | 30 mA max |
| Output Burden | 10 mA max |
| Enclosure | UL94-VO Self Extinguishing Plastic |
| Insulation Resistance | 500M Ohm min at 500V DC |
| Weight | 240g nominal |

Note: Due to continuous process improvement, all specifications are subject to change without notice.



SYPRIS
TEST & MEASUREMENT

6120 Hanging Moss Road • Orlando, Florida 32807 • www.fwbell.com
Phone (407) 678-6900 • Fax (407) 677-5765 • Toll Free (800) 778-6117

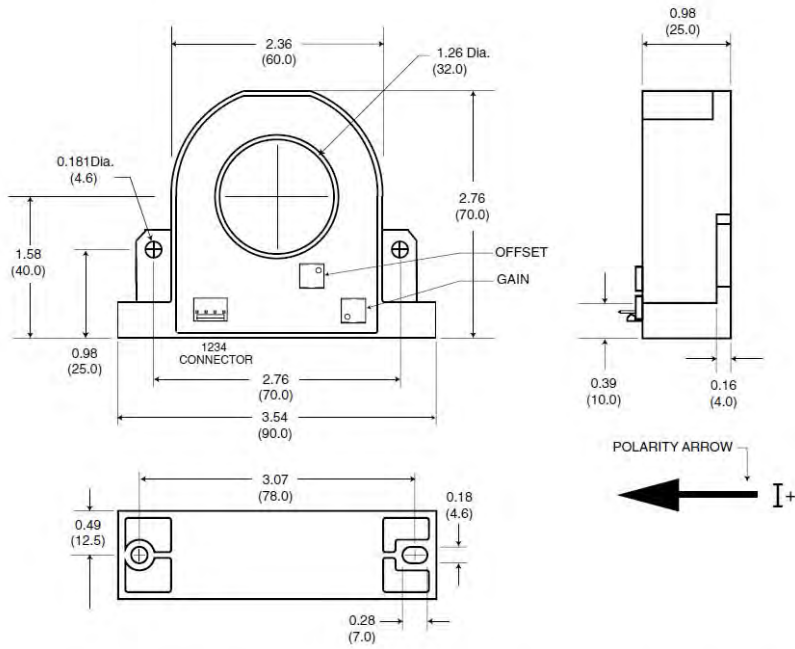


Rev. date 02/2004

Mechanical Dimensions

All dimensions are in inches (millimeters)

Models **RS-A and RSS-A**



Open Loop Current Sensors

Mating Connector: Molex: Terminal 08-50-0114 (4 pieces), Connector 22-01-2047 (1 piece)

Connection Chart

| PIN | RS signals | RSS signals |
|-----|---------------|---------------|
| 1 | +12 to +18Vdc | +12 to +18Vdc |
| 2 | -12 to -18Vdc | +6Vdc REF. |
| 3 | Output | Output |
| 4 | Ground | Ground |

Note: 1. Tolerance is $\pm 0.01"$ (± 0.25 mm)
 2. Due to continuous process improvement, all specifications are subject to change without notice.

ภาคผนวก จ

ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกขนาด 16 บิตที่เลือกใช้งาน



TC3400

+1.8V, Low Power, 16-Bit Sigma-Delta A/D Converter

Features

- 16-bit Resolution at Eight Conversions Per Second, Adjustable Down to 10-bit Resolution at 512 Conversions Per Second
- 1.8V – 5.5V Operation, Low Power Operating 260µA; Sleep: 0.75µA
- microPort™ Serial Bus Requires only two Interface Lines
- Uses Internal or External Reference
- Automatically Enters Sleep Mode when not in use

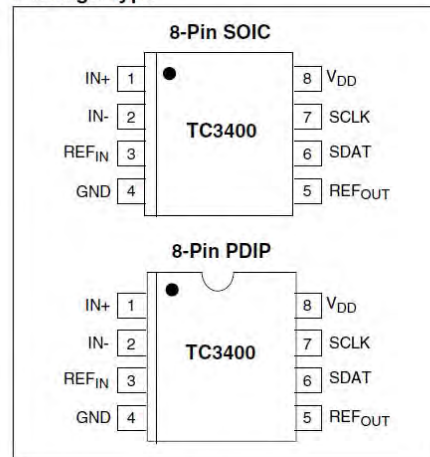
Applications

- Consumer Electronics, Thermostats, CO Monitors, Humidity Meters, Security Sensors
- Embedded Systems, Data Loggers, Portable Equipment
- Medical Instruments

Device Selection Table

| Part Number | Package | Temperature Range |
|-------------|---------------------|-------------------|
| TC3400VPA | 8-Pin PDIP (Narrow) | 0°C to +85°C |
| TC3400VOA | 8-Pin SOIC (Narrow) | 0°C to +85°C |

Package Type



General Description

The TC3400 is a low cost, low power analog-to-digital converter based on Microchip's Sigma-Delta technology. It will perform 16-bit conversions (15-bit plus sign) at up to eight per second. The TC3400 is optimized for use as a microcontroller peripheral in low cost, battery operated systems. A voltage reference is included, or an external reference can be used.

The TC3400's 2-wire microPort™ digital interface is used for starting conversions and for reading out the data. Driving the SCLK line low starts a conversion. After the conversion starts, each additional falling edge (up to six) detected on SCLK for t_f seconds reduces the A/D resolution by one bit and cuts conversion time in half. After a conversion is completed, clocking the SCLK line puts the MSB through LSB of the resulting data word onto the SDAT line, much like a shift register. The part automatically sleeps when not performing a data conversion.

The TC3400 is available in a 8-Pin PDIP and a 8-Pin SOIC package.

TC3400

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings*

| | |
|--|-----------------|
| Supply Voltage | 6.0V |
| Input Voltage (All Other Pins): | |
| (GND – 0.3V) to (V _{DD} + 0.3V) | |
| Operating Temperature Range | 0°C to 85°C |
| Storage Temperature | -65°C to +150°C |

*Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of the specifications is not implied. Exposure to Absolute Maximum Rating conditions for extended periods may affect device reliability.

TC3400 DC ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: T_A = 25°C and V_{DD} = 2.7V, unless otherwise specified. **Boldface** type specifications apply for temperatures of 0°C to 85°C. V_{REF} = 1.25V, Internal Clock Frequency = 520kHz.

| Symbol | Parameter | Min | Typ | Max | Unit | Test Conditions |
|--|--|-----|------------|-----------------|-------|--------------------------------|
| Power Supply | | | | | | |
| V _{DD} | Supply Voltage | 1.8 | — | 5.5 | V | |
| I _{DD} | Supply Current, During Data Conversion | — | 260 | — | μA | |
| I _{DDSLLEEP} | Supply Current, Sleep Mode | — | 0.75 | 1.5 | μA | T _A = +25°C |
| | | — | 1.2 | 3.0 | μA | |
| Accuracy (Differential Inputs) | | | | | | |
| RES | Resolution | — | 16 | — | Bits | |
| INL | Integral Non-Linearity | — | .0038 | — | %FSR | V _{DD} = 2.7V |
| V _{OS} | Offset Error | — | — | ±0.9 | %FSR | IN+, IN- = 0V |
| V _{NOISE} | Referred to input | — | 60 | — | μVrms | |
| CMR | Common Mode Rejection | — | 75 | — | dB | At DC |
| FSE | Full Scale Error | — | 0.4% | — | %FS | |
| PSRR | Power Supply Rejection Ratio | — | 75 | — | dB | V _{DD} = 2.5V to 3.5V |
| IN+, IN- | | | | | | |
| V _{IN±} | Differential Input Voltage | — | — | 2.5 | V | Note 1 |
| | Absolute Voltage Range on IN+, IN- | — | — | V _{DD} | V | |
| | Input Bias Current | — | 1 | 100 | nA | |
| C _{IN} | Input Sampling Capacitance | — | 2 | — | pF | |
| R _{IN} | Differential Input Resistance | — | 2.0 | — | MΩ | Note 2 |
| REF_{IN}, REF_{OUT} | | | | | | |
| V _{REF} | REF _{IN} Voltage Range | 0 | — | 1.25 | V | |
| I _{REF} | REF _{IN} Input Current | — | 1 | — | μA | |
| V _{REFOUT} | REF _{OUT} Voltage | — | 1.193 | — | V | |
| REF _{SINK} | REF _{OUT} Current Sink Capability | — | 10 | — | μA | |
| REF _{SRC} | REF _{OUT} Current Source Capability | 300 | — | — | μA | |

Note 1: Differential input voltage defined as (V_{IN+} – V_{IN-}).
 2: Resistance from INn+ to INn- or INn to GND.
 3: @ V_{DD} = 1.8V, I_{SOURCE} ≤ 200μA.

TC3400

TC3400 DC ELECTRICAL SPECIFICATIONS (CONTINUED)

Electrical Characteristics: $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V_{DD} = 2.7\text{V}$, unless otherwise specified. **Boldface** type specifications apply for temperatures of 0°C to 85°C . $V_{REF} = 1.25\text{V}$, Internal Clock Frequency = 520kHz.

| Symbol | Parameter | Min | Typ | Max | Unit | Test Conditions |
|-------------|----------------------------|---------------------|-----|---------------------|---------------|--|
| SCLK | | | | | | |
| V_{IL} | Input Low Voltage | — | — | $0.3 \times V_{DD}$ | V | |
| V_{IH} | Input High Voltage | $0.7 \times V_{DD}$ | — | — | V | |
| I_{LEAK} | Leakage Current | — | 1 | — | μA | |
| SDAT | | | | | | |
| V_{OL} | Output Low Voltage | — | — | 0.4 | V | $I_{OL} = 1.5\text{mA}$ |
| V_{OH} | Output High Voltage (SDAT) | $0.9 \times V_{DD}$ | — | — | V | $I_{SOURCE} = 400\mu\text{A}$ (Note 3) |

- Note** 1: Differential input voltage defined as $(V_{IN+} - V_{IN-})$.
 2: Resistance from $INn+$ to $INn-$ or INn to GND.
 3: @ $V_{DD} = 1.8\text{V}$, $I_{SOURCE} \leq 200\mu\text{A}$.

TC3400 AC ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V_{DD} = 2.7\text{V}$, unless otherwise specified. **Boldface** type specifications apply for temperatures of 0°C to 85°C . $V_{REF} = 1.25\text{V}$, Internal Clock Frequency = 520kHz.

| Symbol | Parameter | Min | Typ | Max | Unit | Test Conditions |
|--------|------------------------------------|-------------|------------|-------------|-----------------|--|
| t_1 | Resolution Reduction Clock Width | 1 | — | — | μsec | Width of SCLK (Negative) |
| t_2 | Resolution Reduction Clock Width | 1 | — | — | μsec | Width of SCLK (Positive) |
| t_3 | Conversion Time (15-bit Plus Sign) | — | 125 | — | msec | 16-bit Conversion, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 1) |
| | Conversion Time (14-bit Plus Sign) | — | $t_3/2.0$ | — | msec | 15-bit Conversion |
| | Conversion Time (13-bit Plus Sign) | — | $t_3/4.0$ | — | msec | 14-bit Conversion |
| | Conversion Time (12-bit Plus Sign) | — | $t_3/7.8$ | — | msec | 13-bit Conversion |
| | Conversion Time (11-bit Plus Sign) | — | $t_3/15.1$ | — | msec | 12-bit Conversion |
| | Conversion Time (10-bit Plus Sign) | — | $t_3/28.6$ | — | msec | 11-bit Conversion |
| | Conversion Time (9-bit Plus Sign) | — | $t_3/51.4$ | — | msec | 10-bit Conversion |
| t_4 | Resolution Reduction Window | — | $t_3/85.7$ | — | msec | Width of SCLK |
| t_5 | SCLK to Data Valid | 1000 | — | — | nsec | SCLK Falling Edge to SDAT Valid |
| t_6 | Acknowledge Delay | — | — | 1000 | nsec | SCLK to SDAT Delay |

- Note** 1: Nominal temperature drift is $-2830\text{ppm}/^\circ\text{C}$ for temperature less than 25°C and $-1340\text{ppm}/^\circ\text{C}$ for temperatures greater than 25°C .

TC3400

3.0 DETAILED DESCRIPTION

The TC3400 is a 16-bit sigma-delta A/D converter with one differential input. See the Typical Application circuit and the Functional Block diagram. The key components of the TC3400 are described below.

Also refer to Figure 3-4, A/D Operational Flowchart and the Timing Diagrams, Figure 3-1, Figure 3-2 and Figure 3-3).

3.1 A/D Converter Operation

When the TC3400 is not converting, it is in sleep mode with both the SCLK and SDAT lines high. An A/D conversion is initiated by a high to low transition on the SCLK line at which time the internal clock of the TC3400 is started. Each additional high to low transition of SCLK (following the initial SCLK falling edge) during the time interval t_4 , will decrement the conversion resolution by one bit and reduce the conversion time by one half. The time interval t_4 is referred to as the resolution reduction window. The minimum conversion resolution is 10-bits so any more than 6 SCLK transitions during t_4 will be ignored.

After each high to low transition of SCLK, in the t_4 interval, the SDAT output is driven high by the TC3400 to acknowledge that the conversion has been decremented. When the SCLK returns high or the t_4 interval ends, the SDAT line returns low (see Figure 3-2). When the conversion is complete SDAT is driven high. The TC3400 now enters sleep mode and the conversion value can be read as a serial data word on the SDAT line.

3.2 Reading the Data Word

After the conversion is complete and SDAT goes high, the conversion value can be clocked serially onto the SDAT line by high to low transitions of the SCLK. The data word is in two's compliment format with the sign bit clocked onto the SDAT line, first followed by the MSB and ending in the LSB. For a 16-bit conversion the data word would consist of a sign bit followed by 15 magnitude bits, Table 3-1 shows the data word versus input voltage for a 16-bit conversion. Note that the full scale input voltage range is $\pm(2 \text{ REF}_{IN} - 1\text{LSB})$. When REF_{OUT} is fed back directly to REF_{IN} , an LSB is $73\mu\text{V}$ for a 16-bit conversion, as REF_{OUT} is typically 1.193V.

Figure 3-3 shows typical SCLK and SDAT waveforms for 16, 12 and 10-bit conversions. Note that any complete convert and read cycle requires 17 negative edge clock pulses. The first is the convert command. Then, up to six of these can occur in the resolution reduction window, t_4 , to decrement resolution. The remaining pulses clock out the conversion data word.

TABLE 3-1: DATA CONVERSION WORD VS. VOLTAGE INPUT (REF_{IN} = 1.193V)

| Data Word | INn+ – INn- (Volts) |
|---------------------|--------------------------------|
| 0111 1111 1111 1111 | 2.38596 (Positive Full Scale) |
| 0000 0000 0000 0001 | 72.8 E -6 |
| 0000 0000 0000 0000 | 0 |
| 1111 1111 1111 1111 | -72.8 E -6 |
| 1000 0000 0000 0001 | -2.38596 (Negative Full Scale) |
| 1000 0000 0000 0000 | Reserved Code |

The SCLK input has a filter which rejects any positive or negative pulse of width less than 50nsec to reduce noise. The rejection width of this pulse can vary between 50nsec and 750nsec depending on processing parameters and supply voltage.

Figure 3-1 and Table 3-2 show information for determining the mode of operation for the TC3400 part by recording the value of SDAT for SCLK in a high, then low, then high state. For example, if SCLK goes through a 1-0-1 transition and the corresponding values of SDAT are 1-1-0, then the SCLK falling edge started a new data conversion. A 0-1-0 for SDAT would have indicated a resolution reduction had occurred. This is useful if the microcontroller has a watchdog reset or otherwise loses track of where the TC3400 is in the conversion and data readout sequence. The microcontroller can simply transition SCLK until it "finds" a Start Conversion condition.

FIGURE 3-1: SCLK, SDAT LOGIC STATE DIAGRAM

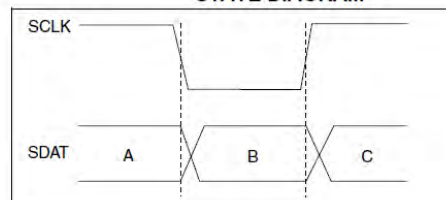


TABLE 3-2: SCLK, SDAT LOGIC STATE

| A | B | C | Status |
|---|---|---|------------------------|
| 1 | 1 | 0 | Start Conversion |
| 0 | 1 | 0 | Resolution Reduction |
| x | 1 | 1 | Data Transfer |
| x | 0 | 0 | Data Transfer or Busy* |

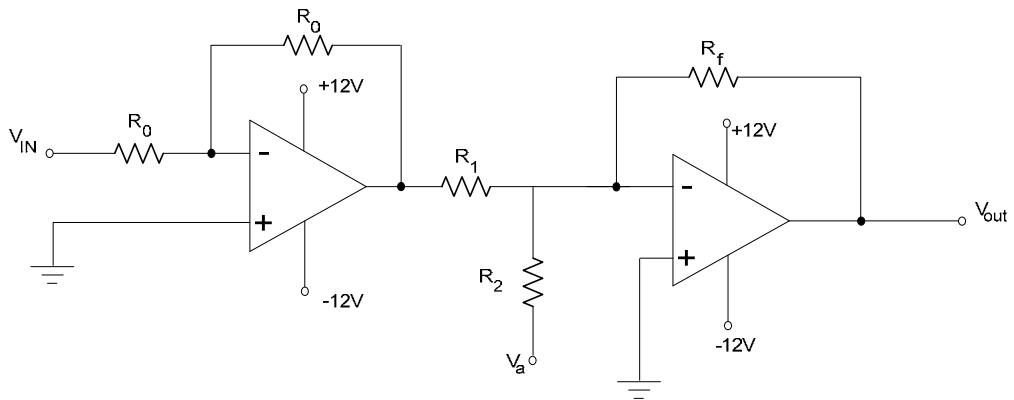
*Note: The code X00 has a dual meaning: Data Transfer or Busy converting. To avoid confusion, the user should send only the required number of pulses for the desired resolution, then wait for SDAT to rise to 1, indicating conversion is complete before clocking SCLK again to read out data bits.

ภาคผนวก ช

วงจรปรับสเกลแรงดันสำหรับเซนเซอร์วัดกระแสที่เลือกใช้งาน

Scaling Circuit

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_1} V_{IN} - \frac{R_f}{R_2} V_a$$



ในที่นี้ได้เลือกใช้ $R_f = 1491$ โอห์ม $R_1 = 5$ กิโลโอห์ม $R_2 = 15$ กิโลโอห์ม และ $V_a = -12$ โวลต์ตามลำดับดังนั้น

เมื่อ $V_{IN} = -4$ โวลต์ จะได้แรงดัน $V_{OUT} = 0$ โวลต์

เมื่อ $V_{IN} = 4$ โวลต์ จะได้แรงดัน $V_{OUT} = 2.3856$ โวลต์

ภาคผนวก ซ

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เลือกใช้งาน



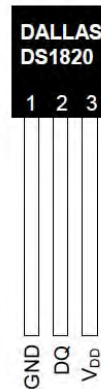
www.maxim-ic.com

DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer

FEATURES

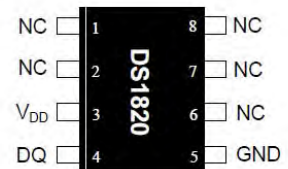
- Unique 1-Wire[®] interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ accuracy from -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- 9-bit thermometer resolution
- Converts temperature in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT



(BOTTOM VIEW)

TO-92
(DS18S20)



8-Pin 150mil SO
(DS18S20Z)

PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In/Out
 V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18S20 Digital Thermometer provides 9-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18S20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ and is accurate to $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ over the range of -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$. In addition, the DS18S20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18S20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18S20s to function on the same 1-Wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18S20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18S20 is its direct-to-digital temperature sensor. The temperature sensor output has 9-bit resolution, which corresponds to 0.5°C steps. The DS18S20 powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18S20 returns to its idle state. If the DS18S20 is powered by an external supply, the master can issue “read-time slots” (see the *1-WIRE BUS SYSTEM* section) after the Convert T command and the DS18S20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18S20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *POWERING THE DS18S20* section of this datasheet.

The DS18S20 output data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two’s complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading.

Resolutions greater than 9 bits can be calculated using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers in the scratchpad. Note that the COUNT PER °C register is hard-wired to 16 (10h). After reading the scratchpad, the TEMP_READ value is obtained by truncating the 0.5°C bit (bit 0) from the temperature data (see Figure 2). The extended resolution temperature can then be calculated using the following equation:

$$TEMPERATURE = TEMP_READ - 0.25 + \frac{COUNT_PER_C - COUNT_REMAIN}{COUNT_PER_C}$$

Additional information about high-resolution temperature calculations can be found in *Application Note 105: High Resolution Temperature Measurement with Dallas Direct-to-Digital Temperature Sensors*.

TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

| | | | | | | | | |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | bit 7 | bit 6 | bit 5 | bit 4 | bit 3 | bit 2 | bit 1 | bit 0 |
| LS Byte | 2 ⁶ | 2 ⁵ | 2 ⁴ | 2 ³ | 2 ² | 2 ¹ | 2 ⁰ | 2 ⁻¹ |
| | bit 15 | bit 14 | bit 13 | bit 12 | bit 11 | bit 10 | bit 9 | bit 8 |
| MS Byte | S | S | S | S | S | S | S | S |

TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2

| TEMPERATURE | DIGITAL OUTPUT (Binary) | DIGITAL OUTPUT (Hex) |
|-------------|----------------------------|-------------------------|
| +85.0°C* | 0000 0000 1010 1010 | 00AAh |
| +25.0°C | 0000 0000 0011 0010 | 0032h |
| +0.5°C | 0000 0000 0000 0001 | 0001h |
| 0°C | 0000 0000 0000 0000 | 0000h |
| -0.5°C | 1111 1111 1111 1111 | FFFFh |
| -25.0°C | 1111 1111 1100 1110 | FFCEh |
| -55.0°C | 1111 1111 1001 0010 | FF92h |

*The power-on reset value of the temperature register is +85°C

OPERATION — ALARM SIGNALING

After the DS18S20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T_H and T_L registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers $S = 0$ and for negative numbers $S = 1$. The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T_H and T_L can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the MEMORY section of this datasheet.

T_H AND T_L REGISTER FORMAT Figure 3

| bit 7 | bit 6 | bit 5 | bit 4 | bit 3 | bit 2 | bit 1 | bit 0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S | 2^6 | 2^5 | 2^4 | 2^3 | 2^2 | 2^1 | 2^0 |

Only bits 8 through 1 of the temperature register are used in the T_H and T_L comparison since T_H and T_L are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than or equal to T_L or higher than T_H , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18S20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18S20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18S20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18S20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the T_H or T_L settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

POWERING THE DS18S20

The DS18S20 can be powered by an external supply on the V_{DD} pin, or it can operate in “parasite power” mode, which allows the DS18S20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18S20's parasite-power control circuitry, which “steals” power from the 1-Wire bus when the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18S20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor (C_{PP}) to provide power when the bus is low. When the DS18S20 is used in parasite power mode, the V_{DD} pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and C_{PP} can provide sufficient current to the DS18S20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (refer to the *DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* and the *AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* sections of this data sheet). However, when the DS18S20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied by C_{PP} . To assure that the DS18S20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 μ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (t_{conv}) or data transfer ($t_{wr} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18S20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the V_{DD} pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

บทความทางวิชาการจากการประชุม ICESIT 2009 (The 2009 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology) ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 11 - 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ณ โรงแรม Jomtien Palm Beach Hotel & Resort พัทยา ประเทศไทย

Design of Real-Time Battery Monitoring System in Substations Using
Low Cost Embedded Ethernet Module Microcontroller
การออกแบบระบบการตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่สำรองแบบเวลาจริงในสถานีไฟฟ้าย่อย
โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีระบบอีเธอร์เน็ตแบบฝังตัว

เกริกศักดิ์ จันทร์ตั้ง วาติต เบญจพลกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อีเมลล์ not2405@hotmail.com, watit.b@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบการตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่สำรองของสถานีไฟฟ้าย่อย (Back-up battery of substation) แสดงผลระยะไกลผ่านโครงข่ายอินทราเน็ต (Intranet) โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีระบบอีเธอร์เน็ตแบบฝังตัว (Embedded Ethernet Module Microcontroller) เป็นพื้นฐานในการออกแบบ เพื่อประโยชน์ในการเฝ้าระวังความผิดปกติ แจ้งเตือน ตรวจสอบสภาพปัจจุบัน รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพของงานบำรุงรักษา ของระบบแบตเตอรี่สำรอง

คำสำคัญ ระบบตรวจวัดแบตเตอรี่, อีเธอร์เน็ต, ไมโครคอนโทรลเลอร์, อินทราเน็ต

Abstract

This paper introduces the design of real-time battery monitoring system based on embedded Ethernet module microcontroller for monitor, alarm and improve maintenance process for backup battery in substation via intranet network.

Keywords Battery Monitoring System, Ethernet, Microcontroller, Intranet

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบไฟฟ้าสำรองเป็นส่วนสำคัญของระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ไม่ว่าจะเป็นสถานีฐานของระบบโทรคมนาคม สถานีไฟฟ้าย่อย ล้วนแต่ต้องอาศัยระบบไฟฟ้าสำรองจากระบบแบตเตอรี่สำรองทั้งสิ้นดังนั้นหากระบบแบตเตอรี่สำรองมีความน่าเชื่อถือสูง ย่อมหมายถึงระบบโทรคมนาคม หรือระบบการจ่ายไฟฟ้าในกรณีอุตสาหกรรมจำหน่ายไฟฟ้าจะมีความน่าเชื่อถือสูงตามไปด้วย ดังนั้นในระบบขนาดใหญ่เหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีการตั้งหน่วยงานเฉพาะกิจเพื่อดูแล บำรุงรักษาระบบแบตเตอรี่สำรองดังกล่าวสำหรับหน่วยงานการไฟฟ้าก็เช่นเดียวกันมีหน่วยงานรับผิดชอบโดยตรง แต่เนื่องจากมีสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องดูแลเป็นจำนวน จึงเป็นข้อจำกัดในการดูแลให้ระบบแบตเตอรี่สำรองของแต่ละสถานี มีสภาพการใช้งานที่ดีอยู่เสมอ ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะออกแบบระบบการตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่สำรองของสถานีไฟฟ้าย่อยทุกแห่งแล้วส่งข้อมูลการวัดดังกล่าวกลับมายังหน่วยงานรับผิดชอบส่วนกลางผ่านทางระบบการสื่อสารภายในของหน่วยงานการไฟฟ้าเอง เพื่อลดภาระของหน่วยงานดังกล่าวอีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาระบบแบตเตอรี่สำรองอีกด้วย

2. แนวทางการออกแบบ

ตัวอย่างแบตเตอรี่สำรองภายในสถานีไฟฟ้าย่อยที่ศึกษาประกอบด้วยแบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd ขนาดแรงดัน 1.3 โวลต์ ต่อเซลล์แบบอนุกรมกันจำนวน 93 เซลล์ จ่ายแรงดันรวมทั้งสิ้น 120.3 โวลต์ โดยแบตเตอรี่สำรองดังกล่าวต่อเข้ากับเครื่องประจุไฟ (charger) ที่รับไฟ 3 เฟสจากแหล่งไฟฟ้าหลักจากนั้นแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ สำหรับในสภาวะจ่ายโหลดปกติจะมีกระแสประมาณ 20 แอมแปร์ ส่วนในขณะประจุไฟในสภาวะที่แบตเตอรี่ไม่มีประจุค่ากระแสอาจสูงถึง 100 แอมแปร์ สภาพภายในห้องแบตเตอรี่มีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส สำหรับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ภายในแบตเตอรี่เป็นชนิดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

ส่วนระบบการสื่อสารระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่งจะเป็นโครงข่ายอินทราเน็ต เชื่อมโยงโดยใช้สายสัญญาณไฟเบอร์ออปติก โดยอาศัยอินเทอร์เน็ตโพโทคอลในการสื่อสาร

จากสภาพทางกายภายดังกล่าวของระบบแบตเตอรี่สำรองของระบบสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่งซึ่งเชื่อมโยงโครงข่ายกันด้วยระบบอินทราเน็ตโดยใช้อินเทอร์เน็ตโพโทคอลในการสื่อสาร จึงมีความเหมาะสมหากจะใช้โครงข่ายดังกล่าวในการส่งข้อมูลการตรวจวัดสภาพของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยเนื่องจากมีความน่าเชื่อถือสูงและในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างล้วนแล้วแต่รองรับการทำงานกับระบบอินเทอร์เน็ตโพโทคอลเกือบทั้งสิ้น

จากความเหมาะสมดังกล่าวจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F86J65 [1] เป็นหน่วยประมวลผลหลักและทำหน้าที่ติดต่อโดยตรงกับระบบอีเธอร์เน็ต โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวมีโมดูลอีเธอร์เน็ตฝังภายในตัว อีกทั้งมีขนาดเล็ก

โดยใช้การบรรจุ (Package) แบบ TQFP จำนวน 80 ขา ทำงานด้วยแรงดันขนาด 3.3 โวลต์

สำหรับการติดต่อกับเซนเซอร์แต่ละชนิดเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45J10 [2] ซึ่งมีจุดเด่นคือมีจำนวนพอร์ตการแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลจำนวนมากถึง 13 พอร์ต โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวทำหน้าที่ติดต่อกับเซนเซอร์แต่ละชนิด

สำหรับพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่มีการตรวจวัดกันในระบบการ Monitor แบตเตอรี่ส่วนใหญ่ได้แก่ แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ ระดับของสารละลายของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ อุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ รวมถึงความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ [3] โดยเซนเซอร์ที่นำมาใช้วัดพารามิเตอร์แต่ละชนิดจำเป็นต้องมีความเหมาะสม และไม่ส่งผลกระทบต่อระบบแบตเตอรี่สำรองที่ทำการวัด

3. ระบบที่นำเสนอ

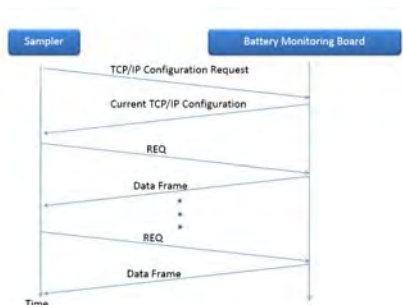
3.1 โครงสร้างโดยรวมของระบบ

โครงสร้างโดยรวมของระบบตรวจวัดแบตเตอรี่แสดงผลระยะไกลประกอบด้วยเครื่องตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่ติดตั้งในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งแต่ละเครื่องที่ติดตั้งจะได้รับที่อยู่ไอพี (IP Address) เป็นของตนเองเพื่อแสดงตัวตนในโครงข่าย โดยเครื่องตรวจวัดดังกล่าวจะคอยคำร้องขอข้อมูลการวัดจากส่วนกลาง เมื่อมีคำร้องขอข้อมูลเครื่องตรวจวัดจะส่งข้อมูลการวัดไปบันทึกไว้ที่ Database Server ซึ่งตั้งอยู่ที่ศูนย์ควบคุมส่วนกลาง ส่วนผู้มีหน้าที่ดูแลบำรุงรักษาระบบแบตเตอรี่สำรองจะใช้ซอฟต์แวร์อีกตัวหนึ่งสำหรับบริหารจัดการระบบแบตเตอรี่สำรองในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยในการเรียกข้อมูลจาก Database Server เพื่อตรวจดูสภาพปัจจุบันของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยรวมถึงสั่งการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่สำรองในแต่ละสถานีไฟฟ้า

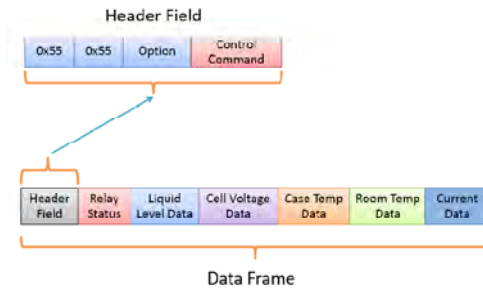
ย่อยเพื่อตรวจสอบสภาพการเก็บประจุของแบตเตอรี่ดังกล่าว

3.2 โครงสร้างของเครื่องตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่สำรองในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อย

เครื่องตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่ที่นำเสนอประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลางคือ PIC18F86J65 โดยมีหน้าที่คือ ควบคุมการติดต่อสื่อสารกับระบบอินเทอร์เน็ต ควบคุมการเปิดระบบประจุไฟของเครื่องประจุไฟ และควบคุมการติดต่อสื่อสารกับหน่วยประมวลผลย่อย เพื่อร้องขอค่าการวัดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวลูกแต่ละตัวมาจัดลงแพ็คเกจเพื่อส่งต่อไปยังสถานีควบคุมส่วนกลางหากมีการร้องขอข้อมูล โดยโปรโตคอลในการรับส่งข้อมูลมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 และมีแพ็คเกจของข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนประกอบอีกส่วนหนึ่งของเครื่องตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่ได้แก่ หน่วยประมวลผลย่อยคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F45J10 ซึ่งทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับหน่วยการวัดย่อย ซึ่งต่ออยู่กับแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ที่ต้องการวัด โดยหน่วยประมวลผลย่อยหนึ่งตัวจะรับผิดชอบการควบคุมหน่วยการวัดย่อยจำนวนหนึ่ง เพื่อให้ครอบคลุมการวัดระบบแบตเตอรี่สำรองที่มีจำนวนเซลล์ที่ต้องการวัดจำนวนมาก เครื่องตรวจวัดแบตเตอรี่จึงจำเป็นต้องมีหน่วยประมวลผลย่อยมากกว่าหนึ่งตัวเพื่อเป็นการแบ่งภาระการทำงานระหว่างกัน



รูปที่ 1 ตัวอย่างโปรโตคอลในการรับส่งข้อมูล



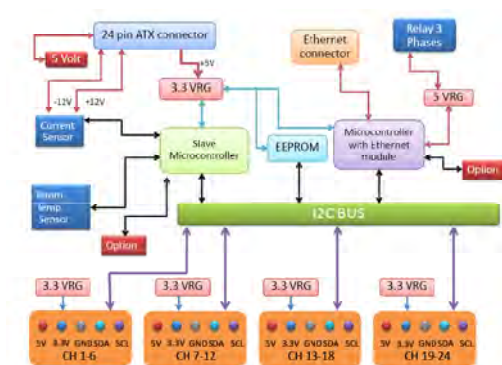
รูปที่ 2 เฟรมของข้อมูลการวัด

| Control Command | Description |
|-----------------|------------------------|
| 0x01 | REQUEST DATA |
| 0x02 | ON CHARGER |
| 0x03 | OFF CHARGER |
| 0x04 | REQUEST TCP/IP CONFIG |
| 0x05 | SEND NEW TCP/IP CONFIG |

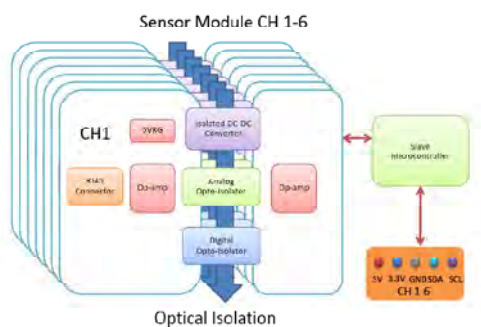
รูปที่ 3 คำสั่งต่างๆใน Control Field

ในส่วนของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผลหลักและหน่วยประมวลผลย่อยจะใช้โปรโตคอลมาตรฐานแบบ I2C ซึ่งหน่วยประมวลผลย่อยแต่ละตัวจะมีที่อยู่ของตัวเองในการติดต่อสื่อสารบนบัส

ในส่วนการติดต่อสื่อสารกับซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สถานีควบคุมส่วนกลางจะใช้โปรโตคอล TCP/IP โดยเครื่องตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยจะมีที่อยู่ไอพีเป็นของตัวเอง โดยภาพรวมของระบบฮาร์ดแวร์แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์หลัก

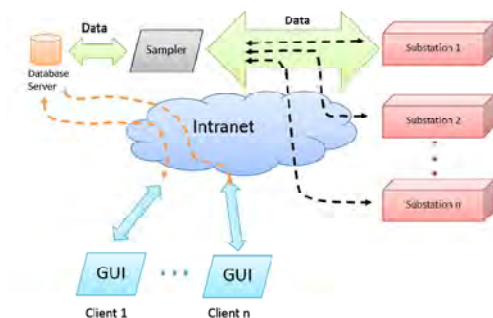


รูปที่ 5 โครงสร้างของ Sensor Module

3.3 ระบบซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ที่ควบคุมการทำงานของระบบตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่แสดงผลระยะไกลถูกติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สถานีควบคุมส่วนกลางถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา C# ใน Visual Studio .Net 2005 ซอฟต์แวร์ถูกออกแบบโดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานมีชื่อเรียกว่า GUI ในส่วนนี้ซอฟต์แวร์จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อร้องขอข้อมูลจาก database server เพื่อนำมาแสดงผลในลักษณะเวลาจริง (Real Time) หรือแสดงผลในลักษณะของเวลา ย้อนหลัง (History) รวมถึงการออกคำสั่งควบคุมการทำงานของระบบการทดสอบความจุของแบตเตอรี่โดยการสั่งปิดกระแสจากเครื่องประจุไฟทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 นาทีเพื่อบันทึกผลการวัดในช่วงเวลาดังกล่าวเพื่อตรวจวัดสภาพการเก็บประจุของแบตเตอรี่ (discharge test) อีกทั้งทำหน้าที่แจ้งเตือนข้อผิดพลาดของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานี ไฟฟ้าย่อยให้ผู้รับผิดชอบรับทราบในหลายช่องทาง ได้แก่ ข้อความข่าวสารสั้น (SMS) หรือ อีเมล (Email) เป็นต้น ซอฟต์แวร์อีกส่วนหนึ่งมีชื่อเรียกว่า Sampler ทำหน้าที่ส่งคำร้องขอข้อมูลการวัดไปยังเครื่องตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อร้องขอข้อมูลการวัดมาเก็บยัง database server โดยซอฟต์แวร์ดังกล่าวมี

ความสามารถในการควบคุมระยะเวลาในการร้องขอข้อมูลได้เพื่อเป็นการประหยัดหน่วยบันทึกข้อมูล เช่น อัจฉริยะขอข้อมูลการวัดทุกๆหนึ่งนาที่ เป็นต้น การทำงานของซอฟต์แวร์ถูกอธิบายในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทำงานของซอฟต์แวร์

3.4 ระบบเซนเซอร์ที่นำมาใช้แต่ละชนิด

เซนเซอร์แต่ละชนิดถูกเลือกอย่างเหมาะสมเพื่อให้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับระบบตรวจวัดแบตเตอรี่โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การวัดแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์

ในการวัดแรงดันแบตเตอรี่ซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญของการตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่ วิธีการวัดหลายวิธีถูกนำเสนอในงานของ [4] ได้แก่ การสวิตช์การวัดไปในแต่ละเซลล์โดยใช้หน่วยวัดเพียงตัวเดียว หรือวงจรที่ซับซ้อนอื่นๆ ซึ่งแต่ละวิธีที่นำเสนอพบว่ามีควมยุ่งยาก ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ออปโตคัปเปิลอร์ชนิดความเป็นเชิงเส้นสูงซึ่งประกอบด้วยไฟโตไดโอดสองตัวที่รับแสงจาก LED ได้ในจำนวนที่เท่ากันในการออกแบบซึ่งวิธีการวัดแรงดันของแบตเตอรี่ โดยวงจรดังกล่าวสามารถเคลื่อนย้ายแรงดันของแบตเตอรี่ที่จะวัดได้อย่างแม่นยำความผิดพลาดไม่เกิน 0.005% โดยแบ่งแยกวงจรของแบตเตอรี่และวงจรประมวลผลด้วยแสงซึ่งมีความปลอดภัยสูงเหมาะสำหรับการใช้งานในสถานีไฟฟ้าซึ่งต้องการความปลอดภัยสูง

3.4.2 การวัดระดับสารละลาย

ในการวัดระดับสารละลายผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการจุ่มแท่งโลหะ Stainless Steel ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้กับแบตเตอรี่ Ni-Cd ในสถานีไฟฟ้าที่ทดสอบ แล้วใช้ซอฟต์แวร์เพลอร์เพื่อแยกแยะแรงดันขาออกเพื่อส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป ซึ่งการวัดด้วยวิธีนี้มีต้นทุนที่ต่ำ และเหมาะสมเนื่องจากระดับสารละลายเปลี่ยนแปลงไม่รวดเร็วนัก

3.4.3 การวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์

ในการวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์เลือกใช้ดิจิตอลไอซีเบอร์ของบริษัท Dallas ซึ่งอาศัยโพเทนชิโอสแตตแบบ 1-Wire ในการสื่อสารสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0 - 85 องศาเซลเซียสมีความละเอียดอยู่ที่ 0.5 องศาเซลเซียส

3.4.4 การวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

ในการวัดความต้านทานภายในใช้วิธีการวัดแรงดันเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) ของแบตเตอรี่ และแรงดันขณะจ่ายโหลดของแบตเตอรี่จากนั้นวัดกระแสของแบตเตอรี่ในแต่ละสถานะเพื่อนำมาคำนวณหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ โดยการควบคุมการเปิดปิดวงจรดังกล่าวกระทำโดยซอฟต์แวร์ที่ควบคุมจากศูนย์กลาง

3.4.5 การวัดกระแสของแบตเตอรี่

ในการวัดกระแสของแบตเตอรี่มีข้อควรระวังคืออาจมีกระแสสูงถึง 100 แอมแปร์เมื่อขณะแบตเตอรี่กำลังประจุไฟ ดังนั้นวิธีการวัดโดยเลือกใช้เซนเซอร์แบบ ฮอลล์เอฟเฟค (Hall Effect) ซึ่งสามารถวัดกระแสตรงได้

4. ผลการทดสอบ

ในการทดสอบใช้เครื่องต้นแบบที่ได้ออกแบบตามหลักการที่นำเสนอข้างต้นทดสอบกับระบบแบตเตอรี่สำรองของสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งหนึ่งพบว่าสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี สามารถส่งผลการวัดกลับมายังสถานีควบคุมส่วนกลางได้อย่างถูกต้องอีกทั้งผู้มีหน้าที่ดูแลระบบแบตเตอรี่สำรองยังสามารถใช้งานซอฟต์แวร์ได้ง่ายอีกด้วย

5. ข้อเสนอแนะและสิ่งที่จะดำเนินการต่อไป

เนื่องจากในการทดสอบเป็นเพียงการทดสอบเครื่องต้นแบบเพียงเครื่องเดียว ยังไม่ได้ทดสอบเป็นระบบใหญ่ในกรณีที่มีเครื่องต้นแบบเป็นจำนวนมากกระจายในหลายๆสถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งเป็นงานที่จะดำเนินการต่อไป ซึ่งอาจพบปัญหาหรืออุปสรรคอื่นเพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุงระบบการตรวจวัดสภาพแบตเตอรี่แสดงผลระยะไกลที่นำเสนอต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] PIC18F97J60 Family Data Sheet, <http://www.microchip.com>
- [2] PIC18F45J10 Family Data Sheet, <http://www.microchip.com>
- [3] W. Porebski, "New Approaches to Battery Monitoring Architecture Design and Methodologies," *Telecommunications Energy Conference, 2004. INTELEC2004.*, Sep. 2004, pp. 411-418.
- [4] J. Williams and M. Thoren, "Novel Measurement Circuit Eases Battery-Stack-Cell Design A Transformer AND DIODE ON EACH CELL ALLOW ISOLATED MEASUREMENT" *EDN Europe*, Mar, 2008.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกริกศักดิ์ จันทร์ตั้ง เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดพัทลุง จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา และสำเร็จการศึกษา ระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549