บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยประกอบด้วย

1. การออกแบบโครงสร้างของระบบ
2. การออกแบบระบบในแต่ละส่วน
3. การสร้างระบบในแต่ละส่วน
4. การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
5. การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์

การใช้วัสดุ อุปกรณ์และระเบียบวิธีวิจัยมีดังนี้

2.1 วัสดุ

2.1.1 วัสดุที่ใช้สร้างขั้วไฟฟ้า

1. ท่อพีวีซี (PVC) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 4 เส้น
2. ไม้ขนุนขนาดความกว้าง 3 นิ้ว หนา 1.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 1 ท่อน
3. ฝาปิดท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 40 ฝา
4. ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 40 เมตร จำนวน 1 เส้น
5. เทอร์มินอล (Terminal) จำนวน 80 หัว
6. กาวติดท่อพีวีซี จำนวน 1 กระป๋อง
7. เทปพันท่อพีวีซี จำนวน 1 ม้วน

2.1.2 วัสดุที่ใช้สร้างสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณมีทั้งหมด 4 ชนิดใช้วัสดุดังนี้

1. วัสดุที่ใช้สร้างสายนำสัญญาณขนาดแกน (core) 10 เส้น ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างคอนโทรลยูนิตและไคลเอนท์ มีรายการดังนี้

1.1 หัวต่อชนิดกลมขนาด 8 ขาตัวถังสแตนเลส

- ตัวผู้ (สำหรับติดสายไฟ) จำนวน 35 ตัว
- ตัวเมีย(สำหรับติดสายไฟ) จำนวน 35 ตัว

1.2 หลอดยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร
ยาว 200 เมตร จำนวน 1 เส้น

1.3 หลอดยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร
ยาว 8 เมตร จำนวน 1 เส้น

1.4 สายไฟแบบมีชีลด์ (shield) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
2 มิลลิเมตรยาว 200 เมตร จำนวน 1 เส้น

1.5 สายโทรศัพท์ในบ้านขนาดแกน 4 เส้นยาว 300 เมตร จำนวน 2 เส้น

1.6 กาวติดหลอดยาง จำนวน 1 กระป๋อง

1.7 ตะกั่วบัดกรี จำนวน 1 ม้วน

1.8 น้ำยาประสานการบัดกรี จำนวน 1 ตลับ

1.9 เทปพันสายไฟ จำนวน 4 ม้วน

1.10 แป้งฝุ่น จำนวน 1 กระป๋อง

2. วัสดุที่ใช้สร้างสายนำสัญญาณขนาดแกน 4 เส้น ใช้สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกระหว่างคอนโทรลยูนิตและเทอรามิเตอร์ มีรายการดังนี้

2.1 หัวต่อซนิดกลมขนาด 5 ขาตัวผู้ จำนวน 1 หัว

2.2 หลอดยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร
ยาว 5 เมตร จำนวน 1 เส้น

2.3 สายไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร
ยาว 5 เมตร จำนวน 4 เส้น

2.4 หัวต่อแบบบานานา (Banana Connector) จำนวน 4 หัว

3. วัสดุที่ใช้สร้างสายนำสัญญาณขนาดแกน 4 เส้น ใช้สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณดิจิตอลระหว่างคอนโทรลยูนิตและเทอรามิเตอร์ มีรายการดังนี้

3.1 หัวต่อแบบ DB9-F ตัวเมีย จำนวน 1 หัว

3.2 หัวต่อแบบกลม 5 ขา จำนวน 1 หัว

3.3 สายไฟซนิด 4 แกนเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร

4. วัสดุที่ใช้สร้างสายนำสัญญาณขนาดแกน 25 เส้นใช้สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณดิจิตอลระหว่างคอนโทรลยูนิตและคอมพิวเตอร์ มีรายการดังนี้

4.1 หัวต่อแบบขนานซนิด DB25-M ตัวผู้ จำนวน 1 หัว

4.2 สายไฟชนิด 25 แกน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
5 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร จำนวน 1 เส้น

4.3 หัวต่อแบบขนานชนิดเซนทรอนิคส์ (Centronics)
-ตัวผู้ จำนวน 1 หัว

2.1.3 วัสดุที่ใช้สร้างไคลเอนท์

1. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ยาว 5 เมตร จำนวน 1 ท่อน
2. ฝาอุดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 70 ฝา
3. ข้อต่อท่อพีวีซีแบบแยก 3 ทาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
1.5 นิ้ว จำนวน 35 ท่อ
4. หัวต่อชนิดกลมขนาด 8 ขาแบบสเตนเลส
- ตัวผู้ (แบบติดแท่น) จำนวน 35 ตัว
- ตัวเมีย (แบบติดสาย) จำนวน 35 ตัว
5. หลอดยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร ยาว 2 เมตร จำนวน 1 เส้น
6. สายไฟแบบมีชีลด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร
ยาว 10 เมตร จำนวน 1 เส้น
7. สายไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ยาว 10 เมตร จำนวน 7 เส้น
8. กาวติดท่อพีวีซี จำนวน 1 กระป๋อง
9. ตะกั่วบัดกรี จำนวน 1 ม้วน
10. เทปพันสายไฟ จำนวน 6 ม้วน
11. วัสดุที่ใช้สร้างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของไคลเอนท์

11.1 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียวขนาดความกว้าง
3.5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 38 แผ่น

11.2 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 5 ขา
- ตัวผู้ จำนวน 76 ตัว
- ตัวเมีย จำนวน 76 ตัว

11.3 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 2 ขา
- ตัวผู้ จำนวน 76 ตัว
- ตัวเมีย จำนวน 76 ตัว

11.4 รีเลย์แบบหน้าสัมผัสคู่ 5 โวลท์ จำนวน 152 ตัว

11.5 คริสตอลความถี่ 11.0592 เมกะเฮิรตซ์ จำนวน 38 ตัว

11.6 วงจรรวมเบอร์ AT89C2051-24PC จำนวน 38 ตัว

11.7 ตัวต้านทานขนาด 0.25 วัตต์

- ค่า 10 กิโลโอห์ม จำนวน 342 ตัว
- ค่า 4.7 กิโลโอห์ม จำนวน 114 ตัว

11.8 ตัวเก็บประจุ

- แบบไมกา ค่า 0.1 ไมโครฟารัด จำนวน 76 ตัว
- แบบอิเล็กโทรไลต์ ค่า 10 ไมโครฟารัด 16 โวลท์ จำนวน 38 ตัว
- แบบเซรามิค ค่า 33 พิโกฟารัด จำนวน 76 ตัว

11.9 ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC546 จำนวน 266 ตัว

11.10 ไดโอดเบอร์ 1N4001 จำนวน 38 ตัว

11.11 ดิพสวิทช์ ชนิด 8 ดิพ จำนวน 38 แผง

11.12 ซ็อคเก็ตไอซี (socket IC) จำนวน 38 ตัว

2.1.4 วัสดุที่ใช้สร้างคอนโทรลยูนิต (control unit)

1. บอร์ด CP-S8252 V2.0 จำนวน 1 แผง
2. โมดูลแอลซีดี (LCD module) ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด จำนวน 1 แผง
3. สวิทช์แบบกดติดปล่อยดับ จำนวน 3 ตัว
4. แบตเตอรี่เซลแห้งขนาด 12 โวลท์ 7.5 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 1 ลูก
5. แผ่นอลูมิเนียม ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตรยาว 100 เซนติเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 1 แผ่น
6. กล่องอลูมิเนียมขนาดกว้าง 25 เซนติเมตรยาว 40 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร จำนวน 1 กล่อง
7. หัวต่อแบบขนานชนิดเซนทรอนิกส์ตัวเมีย จำนวน 1 หัว
8. หัวต่อแบบอนุกรมชนิด DB9-M ตัวผู้ จำนวน 1 หัว
9. หัวต่อชนิดกลมขนาด 8 ขา ตัวถังเป็นสแตนเลส ตัวผู้ (แบบติดแท่น) จำนวน 35 ตัว
10. หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 3 แอมแปร์จาก 220 โวลท์ เป็น 12 โวลท์ จำนวน 1 แท่น
11. แผ่นพลาสติกหนา 0.5 มิลลิเมตร ยาว 7.8 เซนติเมตร กว้าง

2.8 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

12. แผ่นพลาสติกหนา 1 มิลลิเมตร ยาว 12 เซนติเมตร
กว้าง 4 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

13. สายแพขนาด 40 เส้นยาว 1 ฟุต จำนวน 1 แผง

14. สายแพขนาด 26 เส้นยาว 1 ฟุต จำนวน 1 แผง

15. สายไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ยาว 10 เมตร จำนวน 1 เส้น

16. สกรูขนาดความยาว 2 หุน จำนวน 100 ตัว

17. ตะกั่วบัดกรี จำนวน 1 ม้วน

18. เทปพันสายไฟ จำนวน 1 ม้วน

19. วัสดุที่ใช้สร้างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของคอนโทรลยูนิตในส่วนของวงจรเอ็กแพนชัน

19.1 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียวขนาดความกว้าง
10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

19.2 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 34 ขา
- ตัวผู้ จำนวน 1 แถว

19.3 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 26 ขา
- ตัวผู้ จำนวน 1 แถว

19.4 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 10 ขา
- ตัวผู้ จำนวน 1 แถว

19.5 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 4 ขา
- ตัวผู้ จำนวน 3 แถว

19.6 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 3 ขา
- ตัวผู้ จำนวน 3 แถว

19.7 รีเลย์แบบหน้าสัมผัสคู่ 5 โวลท์ จำนวน 2 ตัว

19.8 รีเลย์แบบหน้าสัมผัสเดี่ยว 6 โวลท์ จำนวน 2 ตัว

19.9 ตัวต้านทานขนาด 0.25 วัตต์
- ค่า 10 กิโลโอห์ม จำนวน 12 ตัว
- ค่า 4.7 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

19.10 ตัวเก็บประจุ
- แบบอิเล็กโทรไลต์ ค่า 2200 ไมโครฟารัด 16 โวลท์ จำนวน 3 ตัว

- แบบอิเล็กโทรไลต์ ค่า 1,600 ไมโครฟารัด 35 โวลท์ จำนวน 1 ตัว

19.11 ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC546 จำนวน 8 ตัว

19.12 ไดโอดเบอร์ 1N4001 จำนวน 5 ตัว

19.13 โวลเตจเร็คกูเลเตอร์เบอร์ LM7806VC จำนวน 4 ตัว

20. วัสดุที่ใช้สร้างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของคอนโทรลยูนิตในส่วนของวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าหลัก

20.1 ตัวต้านทานขนาด 0.25 วัตต์

- ค่า 100 กิโลโอห์ม จำนวน 2 ตัว
- ค่า 10 กิโลโอห์ม จำนวน 4 ตัว
- ค่า 15 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
- ค่า 22 โอห์ม จำนวน 1 ตัว
- ค่า 680 โอห์ม จำนวน 1 ตัว
- ค่า 5.6 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
- ค่า 2.7 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
- ค่า 82 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

20.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเกือกม้า 500 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

20.3 โวลเตจเร็คกูเลเตอร์เบอร์ LM7805VC จำนวน 1 ตัว

20.4 ตัวเก็บประจุ

- แบบอิเล็กโทรไลต์ ค่า 470 ไมโครฟารัด 25 โวลท์ จำนวน 2 ตัว
- แบบอิเล็กโทรไลต์ ค่า 10 ไมโครฟารัด 25 โวลท์ จำนวน 2 ตัว
- แบบอิเล็กโทรไลต์ ค่า 220 ไมโครฟารัด 16 โวลท์ จำนวน 2 ตัว
- แบบอิเล็กโทรไลต์ ค่า 22,000 ไมโครฟารัด 25 โวลท์ จำนวน 1 ตัว
- แบบไมกา ค่า 0.1 ไมโครฟารัด 50 โวลท์ จำนวน 1 ตัว

20.5 หัวต่อสายไฟแบบติดแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 2 ขา

- ตัวผู้ จำนวน 1 ตัว

20.6 รีเลย์แบบหน้าสัมผัสเดี่ยว 12 โวลท์ จำนวน 1 ตัว

20.7 ไดโอด

- เบอร์ 1N4148 จำนวน 2 ตัว
- เบอร์ 1N4001 จำนวน 2 ตัว

20.8 บริดจ์ไดโอดเบอร์ RS402L ขนาด 10 แอมแปร์	จำนวน 1 ตัว
20.9 ไดโอดเปล่งแสงสีแดง สีเหลือง และสีเขียว	สีละ 1 ดวง
20.10 ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337	จำนวน 1 ตัว
20.11 วงจรรวมเบอร์ TLC271CP	จำนวน 1 ตัว

2.2 **อุปกรณ์**

2.2.1. อุปกรณ์ที่ใช้สร้างในส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์

1. หัวแร้งไฟฟ้าสำหรับบัดกรีตะกั่ว
2. สว่านมือสำหรับเจาะรูใส่ขาอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์
3. คีมปากจิ้งจกและคีมปากนกแก้ว
4. ไขควงปากแบนและปากแฉก
5. ออสซิลโลสโคป (oscilloscope) ขนาด 2 ช่องสัญญาณ
6. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (function generator)
7. แผงวงจรพิมพ์เอนกประสงค์
8. มัลติมิเตอร์แบบอนาล็อกและมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล
9. หลอดนีออน
10. เครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

2.2.2 อุปกรณ์ทางด้านซอฟแวร์

1. โปรแกรมโปรเทลแอดวานซ์ซีเมติค (Protel Advance Schematic) รุ่น 3.20
2. โปรแกรมโปรเทลแอดวานซ์พีซีบี (Protel Advance PCB) รุ่น 2.71
3. โปรแกรมเวิร์ดเพด (WordPad)
4. โปรแกรมเอสเอ็กซ์เอห้าหนึ่ง (SXA51)
5. โปรแกรมแอทเมลพี (AtmelP)
6. โปรแกรมดับเบิลยูเอสแปดสองห้าสอง (WS8252)
7. โปรแกรมบอร์แลนด์ปาสคาล (Borland Pascal) รุ่น 7.0
8. โปรแกรมบอร์แลนด์เดลไฟ (Borland Delphi) รุ่น 5.0
9. ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 วินโดวส์ 98 วินโดวส์ 2000 วินโดวส์มิลเลนเนียม วินโดวส์เอ็กพี และดอส
10. โปรแกรมโฟโตช็อป (Photoshop) รุ่น 6.0

11. โปรแกรมโฟโตเอดิเตอร์ (Photo Editor)

12. โปรแกรมเอ็กเซล (Excel) รุ่น 97

13. โปรแกรมโน้ตเพด (NotePad)

2.2.3 อุปกรณ์อื่นๆ

1. สว่านมือขนาด 750 วัตต์

2. สว่านตั้งแท่น

3. เครื่องกลึง

4. เครื่องขัดกระดาษทราย

5. เลื่อยฉลุไฟฟ้า

6. เลื่อยตัดเหล็ก

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย

2.3.1 การออกแบบโครงสร้างของระบบ

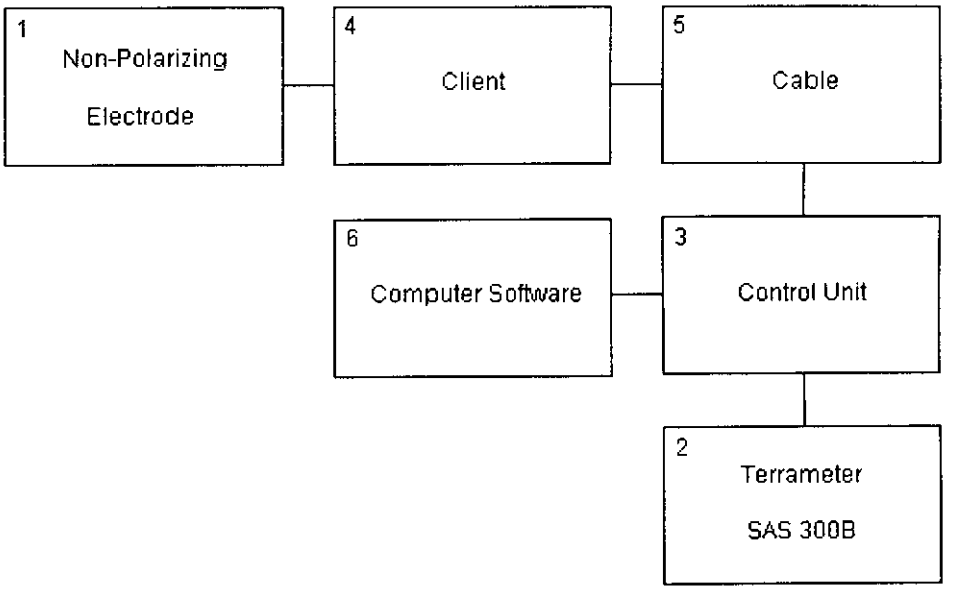
ระบบเฝ้าติดตามศักย์ไฟฟ้าในดิน มีแนวคิดในการออกแบบให้ระบบประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 6 ส่วนดังภาพประกอบ 2.1 ดังนี้ 1.ขั้วไฟฟ้า (electrode) 2.เทอรามิเตอร์ (terrameter) 3.คอนโทรลยูนิต (control unit) 4.ไคลเอนท์ (client) 5.สายนำสัญญาณ (cable) 6.โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer software) โดยส่วนประกอบของระบบเฝ้าติดตามศักย์ไฟฟ้าในดินในแต่ละส่วนนั้น ที่พัฒนาและสร้างขึ้นมาเองคือส่วนที่ 1 3 4 และ 5 ในขณะที่ส่วนที่ 2 เป็นการดัดแปลงจากอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการธรณีฟิสิกส์ และส่วนที่ 6 เป็นการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาใช้กับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหรือแบบพกพา

ระบบได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานได้ 2 โหมดคือ โหมดสแตนอโลน (stand alone) และโหมดคอมพิวเตอร์คอนโทรล (computer controlled) มีรายละเอียดดังนี้

1. โหมดสแตนอโลน จะทำงานโดยไม่ต้องมีคอมพิวเตอร์ควบคุม แต่มีคอนโทรลยูนิต (control unit) ทำหน้าที่แทนสำหรับการติดต่อกับผู้ใช้งาน ควบคุมการวัดค่าของเทอรามิเตอร์ (terrameter) ส่งรหัสคำสั่งไปให้ไคลเอนท์ (client) ตลอดจนถึงการบันทึกค่าที่วัดได้ลงหน่วยความจำด้วย

2. โหมดคอมพิวเตอร์คอนโทรล จะทำงานโดยมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมแทนคอนโทรลยูนิต โดยที่คอมพิวเตอร์ไม่ได้ควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ โดยตรง แต่จะส่งรหัสคำสั่งไปควบคุมคอนโทรลยูนิตและรับข้อมูลกลับมาประมวลผลต่อเท่านั้น

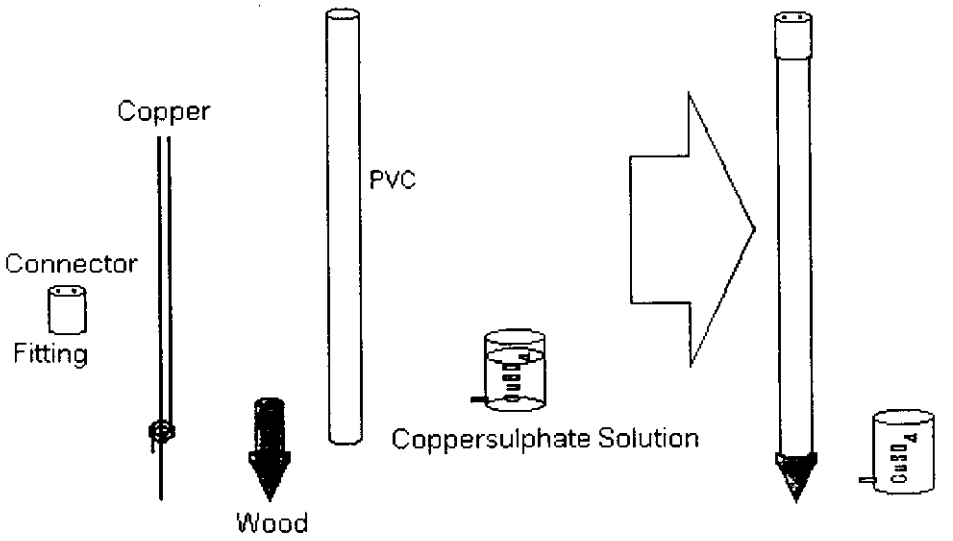
ภาพประกอบ 2.1 หลักในการออกแบบระบบเฝ้าติดตามศักย์ไฟฟ้าในดิน



2.3.2 การออกแบบระบบในแต่ละส่วน

1. ขั้วไฟฟ้า เป็นแบบนอนโพลาไรเซขันที่ใช้ทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เพื่อต้องการให้สารละลายคอปเปอร์ไหลซึมออกไปในดิน ซึ่งจะช่วยลดความต้านทานบริเวณรอยต่อของขั้วไฟฟ้ากับดิน ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าศักย์ไฟฟ้าในดินมากที่สุด แต่เนื่องจากต้องใช้จำนวนขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 33 ขั้วจึงออกแบบให้ใช้วัสดุที่หาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพง โดยมีส่วนประกอบดังภาพประกอบ 2.2

ภาพประกอบ 2.2 ส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้า



ส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้ามีทั้งหมด 6 อย่างคือ

1.1 หัวต่อสายไฟตัวเมียจำนวน 2 ตัว ใช้สำหรับเป็นช่องเสียบสายนำสัญญาณที่มาจากไคลเอนท์ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับลวดทองแดง (ข้อ 1.3)

1.2 ฝาปิดท่อพีวีซี ใช้เป็นที่ยึดของหัวต่อสายไฟทั้ง 2 ตัว และปิดท่อไม่ให้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตไหลออกมา

1.3 ลวดทองแดงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร ใช้เป็นส่วนแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

1.4 ไม้ขนุน ใช้เป็นส่วนที่สัมผัสกับดินและให้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตไหลซึมออกไปได้

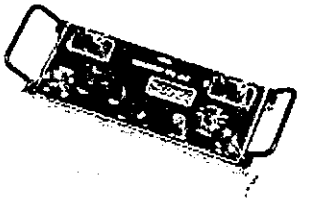
1.5 ท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้วยาว 40 เซนติเมตร ใช้เป็นตัวถังของขั้วไฟฟ้าและเป็นที่เก็บสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

1.6 สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ใช้เป็นส่วนแลกเปลี่ยนอิออนอิสระกับดินและแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับลวดทองแดง

ขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 33 ขั้วโดยใช้เป็นขั้ววัดศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง 1 ขั้วและวัดศักไฟฟ้าที่ตำแหน่งทั่วๆ ไป 32 ขั้ว

2. เทอรามิเตอร์รุ่น SAS 300B ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการธรณีฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผลิตโดยบริษัท ABEM ใช้สำหรับวัดค่าเอสพีและความต้านทานไฟฟ้า มีค่าผิดพลาด (error) ของการวัดเอสพีอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 1 มิลลิโวลท์ มีช่องสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ตามภาพประกอบ 2.3

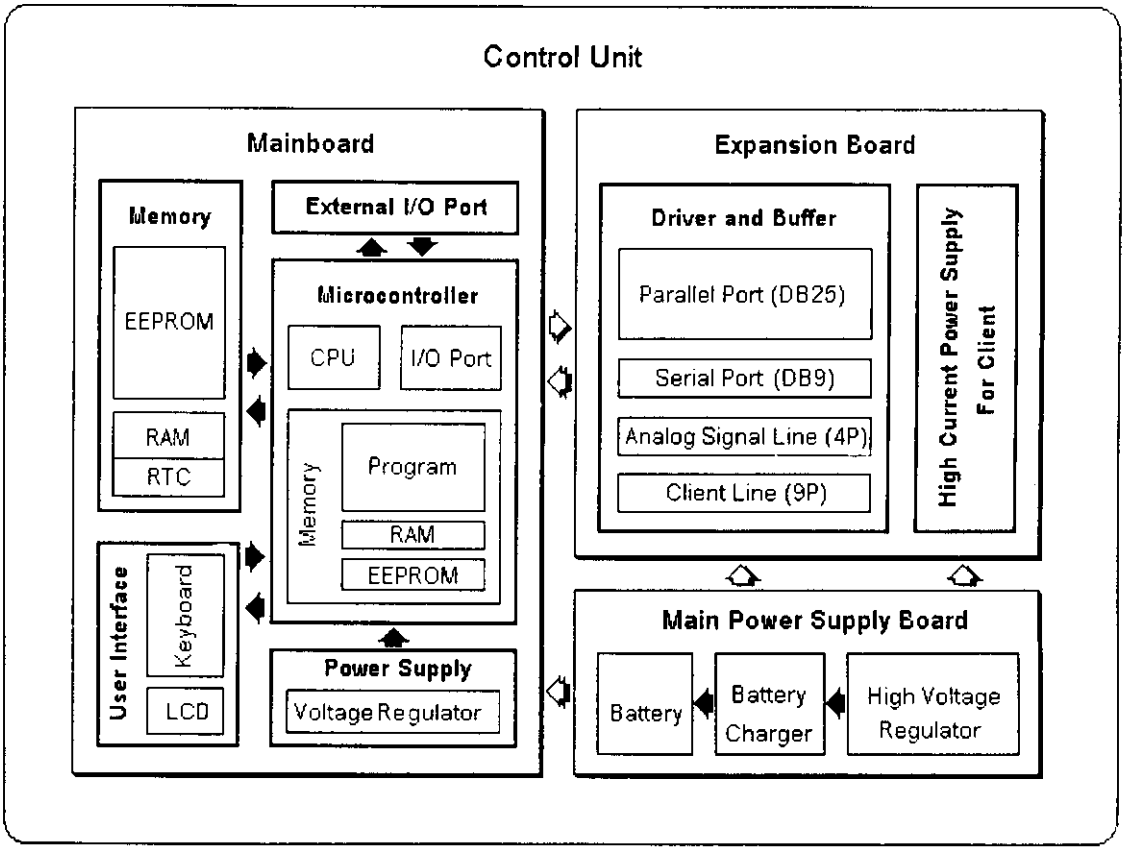
ภาพประกอบ 2.3 เครื่องเทอรามิเตอร์ที่ใช้วัดค่าเอสพี



3. คอนโทรลยูนิต เป็นหัวใจหลักของระบบ ทำหน้าที่ในการติดต่อกับผู้ใช้งานทางปุ่มกดและแสดงผลด้วยจอแอลซีดี (liquid crystal display : LCD) ควบคุมการทำงานและสื่อสารรหัสหมายเลขตำแหน่งแบบอนุกรมไปให้ไคลเอนท์ ควบคุมการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเครื่องเทอรามิเตอร์ พร้อมทั้งอ่านค่า และบันทึกข้อมูลที่วัดได้ไว้ชั่วคราวในกรณีที่ทำการวัดโดยไม่มีคอมพิวเตอร์ต่ออยู่ หรือ

ถ้าหากทำงานโดยมีคอมพิวเตอร์ก็จะให้ทำหน้าที่รับการกำหนดค่าต่างๆ จากคอมพิวเตอร์และส่งถ่ายข้อมูลที่ได้ทันที โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวจัดการการทำงาน มีโครงสร้างตามภาพประกอบ 2.4 ซึ่งส่วนของแบตเตอรี่จะใช้แบบเซลล์แห้งขนาด 12 โวลท์ 7.5 แอมแปร์-ชั่วโมง ส่วนที่เป็นวงจรแปลงแรงดันนี้จะเกี่ยวกับการประจุไฟให้แบตเตอรี่ ถ้าหากมีการต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์รวมไปถึงการจัดการปรับกระแสและศักย์ไฟฟ้าให้กับวงจรอื่นทั้งหมดรวมถึงไคลเอนท์ด้วย

ภาพประกอบ 2.4 โครงสร้างของคอนโทรลยูนิต



ในการออกแบบคอนโทรลยูนิตจะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนคือ 1.เมนบอร์ด (mainboard) 2. เอ็กแพนชันบอร์ด (expansion board) 3. บอร์ดจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก (main power supply board) ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เมนบอร์ด เป็นแผงวงจรหลักของระบบที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหน่วยความจำติดตั้งอยู่ ตามรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เบอร์ AT89S8252 ทำงานที่ความถี่ 18.432 เมกะเฮิรตซ์ มีหน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลไบต์ หน่วยความจำแบบอีอีพรอม 2 กิโลไบต์

และหน่วยความจำแรม 256 ไบต์ ใช้ชุดคำสั่งเดียวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในโหมดการทำงานแบบสแตนอโลน ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ประมวลผลคำสั่งจากปุ่มกดและควบคุมการทำงานทั้งหมด แต่เมื่อทำงานในโหมดคอมพิวเตอร์คอนโทรลจะไม่มีการควบคุมผ่านปุ่มกด โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับรหัสคำสั่งมาจากคอมพิวเตอร์เท่านั้น ขณะทำการวัดค่าเอสพี ไมโครคอนโทรลเลอร์จะจ่ายกำลังไฟฟ้าและส่งรหัสตำแหน่งขั้วไฟฟ้าไปให้ไคลเอนท์ โดยที่ไคลเอนท์ทุกๆ ตัวจะมีรหัสตำแหน่งไม่ซ้ำกันและจะคอยตรวจสอบรหัสตำแหน่งและคำสั่งจากคอนโทรลยูนิตตลอดเวลา ซึ่งในการส่งรหัสให้กับไคลเอนท์ 1 รอบนั้นจะมีข้อมูลทั้งหมด 16 บิต แบ่งออกเป็น 3 ชุดคือ รหัสประจำตัว (signature) คำสั่ง (command) และตำแหน่ง (address) แสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 รหัสที่คอนโทรลยูนิตส่งไปให้ไคลเอนท์

Signature			Command					Address							
S2	S1	S0	C4	C3	C2	C1	C0	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0

ข้อมูลชุดแรกที่เป็นรหัสประจำตัวกำหนดไว้เพื่อความสะดวกในการแบ่งกลุ่มไคลเอนท์ (สำหรับการพัฒนาต่อในอนาคต) ซึ่งรหัสนี้จะถูกฝังลงในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในไคลเอนท์ จะเปลี่ยนแปลงได้ก็ต่อเมื่อต้องทำการอัดโปรแกรมลงไปใหม่เท่านั้น ส่วนข้อมูลชุดที่สองที่เป็นคำสั่งนั้นเป็นการควบคุมการปิดเปิดรีเลย์ของไคลเอนท์ และสำหรับชุดที่สามที่เป็นรหัสตำแหน่ง ใช้สำหรับการอ้างถึงตำแหน่งไคลเอนท์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากดิพสวิทช์บนไคลเอนท์ (มีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับไคลเอนท์ในหัวข้อที่ 4)

สำหรับการควบคุมให้เทอรามิเตอร์ทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการลบข้อมูลในหน่วยความจำชั่วคราวบนไมโครคอนโทรลเลอร์ออก แล้วส่งสัญญาณกระตุ้น (trigger) ไปให้ซึ่งเท่ากับการกดวัด (measure) บนเครื่องเทอรามิเตอร์เอง หลังจากนั้นจะคอยตรวจสอบว่ามีข้อมูลเข้ามาที่หน่วยความจำชั่วคราวหรือยัง ถ้ามีแล้วจะโอนข้อมูลจากหน่วยความจำชั่วคราวไปจัดลำดับไว้ในหน่วยความจำแรมภายนอกอีกครั้ง หลังจากทำการวัดเสร็จทุกๆ จุด ถ้าผู้ใช้ต้องการบันทึกลงแฟ้มจึงจะถ่ายโอนลงในหน่วยความจำแบบอีอีพรอมภายนอก

3.1.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) มี 2 อย่างคือปุ่มกด (keyboard) ทั้งหมด 3 ปุ่ม (รายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 3) และจอแสดงผลแบบแอลซีดี และเป็นแบบดอทเมทริก (dot

matrix) ขนาด 20 ตัวอักษรต่อบรรทัด ทั้งหมด 4 บรรทัด ควบคุมการแสดงผลด้วยคอนโทรลเลอร์ (controller) เบอร์ HD44780

3.1.3 หน่วยความจำ (memory) เป็นหน่วยความจำที่นำมาขยายขนาดให้เพิ่มขึ้นจากที่มีอยู่แล้วในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งนำมาต่อพ่วงภายนอกมี 2 แบบคือ อีอีพรอมมีการสื่อสารแบบอนุกรมเบอร์ 24L256 สามารถบันทึกข้อมูลซ้ำได้ 1 แสนครั้งความจุ 32 กิโลไบต์และหน่วยความจำอีกชนิดหนึ่งคือแบบแรม (random access memory) ขนาด 8 กิโลไบต์เบอร์ M48T08 ซึ่งจะมีความพิเศษกว่าแรมทั่วไปคือ มีนาฬิกา (real time clock) อยู่ภายในและจะเดินอยู่ตลอดเวลา แม้จะไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรก็ตาม

3.1.4 แหล่งจ่ายกำลังมีวงจรเรกูเลเตอร์ (regulator) คอยปรับระดับไฟฟ้าคงที่ 5 โวลท์ สำหรับใช้บนเมนบอร์ดนี้ทั้งหมด

3.2 เอ็กแพนชันบอร์ด (expansion board) เป็นบอร์ดที่ขยายออกมาจากเมนบอร์ดเพื่อทำหน้าที่เฉพาะในแต่ละกรณีไป ซึ่งจะมีทั้งวงจรไดรเวอร์ (driver) และวงจรบัฟเฟอร์ (buffer) เพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกดังรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ไดรเวอร์และบัฟเฟอร์ ใช้กับพอร์ต (port) ของการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกซึ่งมีทั้งหมด 4 ชนิดคือ

3.2.1.1 พอร์ตขนานแบบ 25 ขา (parallel port แบบ DB25) ไว้ใช้ในกรณีติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (หรืออุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ ที่จะพัฒนาขึ้นมาในอนาคต) ซึ่งจะใช้หัวต่อแบบเซนทรอนิกส์ขนาด 32 ขา เหมือนกับที่ใช้ในเครื่องพิมพ์ (printer) ทั่วไป ดังนั้นจึงสามารถนำสายเครื่องพิมพ์มาใช้กับคอนโทรลยูนิตได้

3.2.1.2 พอร์ตอนุกรมแบบ 9 ขา (serial port แบบ DB9) เป็นช่องทางการสื่อสารข้อมูลกับเครื่องเทอรามิเตอร์ ซึ่งใช้หัวต่อแบบ DB9 ตัวผู้เหมือนกับที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์

3.2.1.3 สายสัญญาณอนาล็อก (analog signal wire line) ขนาด 4 ช่องทาง เป็นอิสระต่อกัน สำหรับเป็นสายนำสัญญาณอนาล็อกไปให้เทอรามิเตอร์

3.2.1.4 พอร์ตไคลเอนท์ (client port) ขนาด 10 ช่องทาง ใช้สำหรับเป็นช่องทางติดต่อกับไคลเอนท์เป็นช่องสัญญาณอนาล็อก 4 ช่องทาง กระแสไฟฟ้า 2 ช่องทาง และสัญญาณดิจิตอล (digital signal) จำนวน 4 ช่องทาง

3.2.2 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับไคลเอนท์ (client power supply) ทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงกระแสไฟฟ้ามีความสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 4 แอมแปร์ ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 6 โวลท์ โดยใช้เรกูเลเตอร์เบอร์ LM7806 ทั้งหมด 4 ตัว

3.3. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก (main power supply) เป็นแผงวงจรที่เกี่ยวข้องกับการแปลงกำลังไฟฟ้าและการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ทั้งระบบ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

3.3.1 เรกูเลเตอร์ศักย์ไฟฟ้าสูง (high voltage regulator) ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์เป็น 16.97 โวลท์กระแสตรง

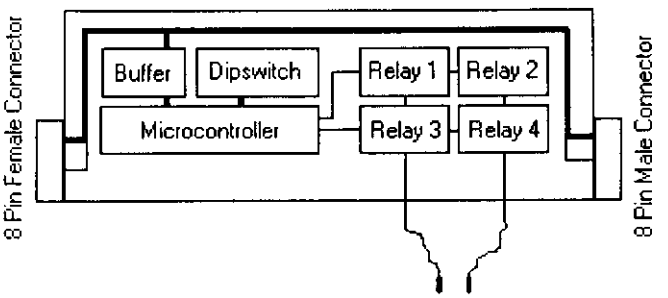
3.3.2 ประจุแบตเตอรี่ (battery charger) เป็นวงจรอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่

3.3.3 แบตเตอรี่ชนิดเซลแห้ง ขนาด 12 โวลท์ 7.5 แอมแปร์-ชั่วโมง

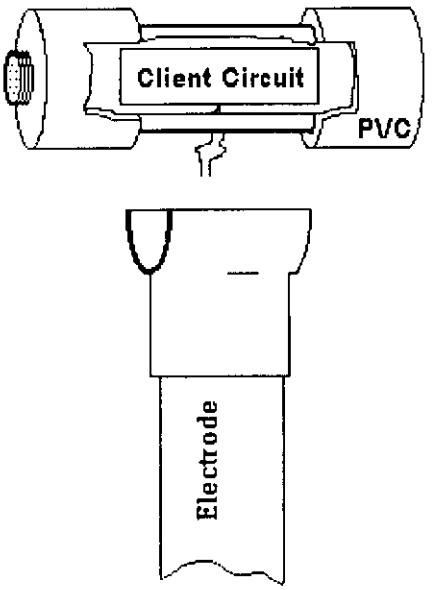
อุปกรณ์ทั้งหมดของส่วนที่เป็นคอนโทรลยูนิตจะบรรจุลงกล่อง โดยใช้กล่องแบบอลูมิเนียม มีหูหิ้วและฝาปิด-เปิด สะดวกในการเคลื่อนย้ายและใช้งาน

4. ไคลเอนท์ มีโครงสร้างดังภาพประกอบ 2.5 มีหน้าที่รับรหัสตำแหน่งมาจากคอนโทรลยูนิต ถ้ารหัสตรงกับหมายเลขที่กำหนดไว้ด้วยดิพสวิทช์และตรงกับรหัสประจำตัวที่ฝังไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะทำการตัดหรือต่อสายสัญญาณอนาล็อกในสายเคเบิลเข้ากับขั้วไฟฟ้า สำหรับที่ปลายทั้ง 2 ด้านจะเป็นหัวต่อสำหรับต่อเข้ากับสายเคเบิลซึ่งเป็นตัวเมีย 1 ด้าน และตัวผู้ 1 ด้าน แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของไคลเอนท์นี้จะถูกบรรจุอยู่ในท่อพีวีซีและมีฝาปิดเพื่อกันน้ำเข้าและมีหัวต่อตัวผู้แบบบานานาโผล่ออกมาไว้สำหรับต่อเข้ากับตัวต่อตัวเมียที่อยู่บนขั้วไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 2.6

ภาพประกอบ 2.5 โครงสร้างของวงจรไคลเอนท์

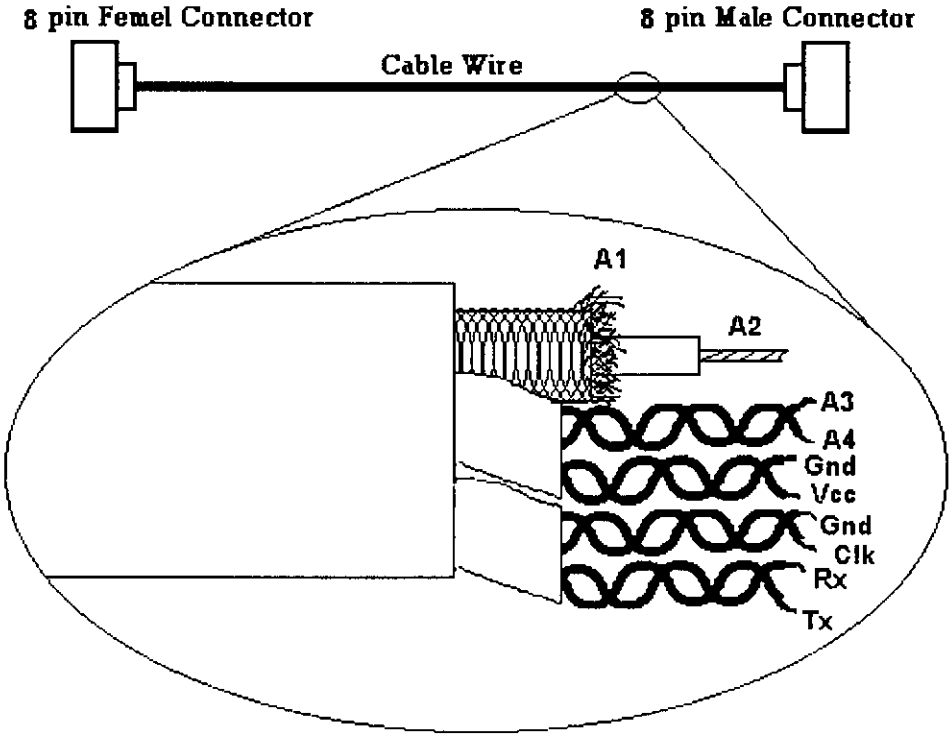


ภาพประกอบ 2.6 ไคลเอนท์และการต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า



5. สายนำสัญญาณ ดังภาพประกอบ 2.7 สร้างให้มีสายนำสัญญาณอนาล็อกแบบมีชีลด์ 1 เส้นคือสาย A1 เป็นชีลด์และ A2 เป็นแกนกลาง โดยในการวัดศักย์ไฟฟ้าค่าต่ำๆ ระดับมิลลิโวลท์ จะใช้สายนำสัญญาณ A2 ต่อเข้ากับจุดที่ต้องการวัดค่าและต่อสายนำสัญญาณ A1 เข้ากับตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งจะเป็นการป้องกันสัญญาณรบกวนจากสนามไฟฟ้าภายนอกที่อาจจะมีผลให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นกระแสรบกวนในสายนำสัญญาณ A2 ได้ ส่วนที่เหลือจะเป็นสายนำสัญญาณแบบธรรมดาที่ตีเกลียวเป็นคู่ (สายนำสัญญาณโทรศัพท์ที่ใช้ในอาคาร) ทำหน้าที่เป็นสายนำสัญญาณอนาล็อกอีก 2 เส้น (A3 และ A4) สัญญาณดิจิตอล 4 เส้น (Rx Tx Clk และ Gnd) และสายกระแสไฟฟ้าเลี้ยงวงจรอีก 2 เส้น (Vcc และ Gnd)ที่ปลายชุดสายไฟด้านหนึ่งต่อเข้ากับหัวต่อตัวผู้ ส่วนอีกด้านจะต่อเข้ากับหัวต่อตัวเมีย สายนำสัญญาณชนิดนี้มีความยาวเส้นละ 5.3 เมตร จำนวนทั้งหมด 35 เส้น นอกจากสายนำสัญญาณชุดนี้แล้วยังมีอีกเส้นหนึ่งที่ใช้สายธรรมดามีแกนเดียวขนาด 1 มิลลิเมตร ยาว 500 เมตรอีก ไว้ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าจุดวัดศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงด้วย

ภาพประกอบ 2.7 สายนำสัญญาณขนาด 10 แกน



6. คอมพิวเตอร์ ในส่วนนี้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับคอนโทรลยูนิต ทั้งการตั้งค่าเริ่มต้น การวัดแบบตั้งเวลา การวัดแบบเฝ้าติดตาม การรับข้อมูลจากคอนโทรลยูนิต แสดงผลข้อมูลที่ได้ด้วยกราฟอย่างง่าย และบันทึกข้อมูลในรูปแบบมาตรฐานที่โปรแกรมทั่วไปในด้านการจัดการข้อความ (word processing) สามารถอ่านเพื่อนำไปประมวลผลต่อได้

2.3.3 **การสร้างระบบในแต่ละส่วน**

องค์ประกอบของระบบเฝ้าติดตามศักย์ไฟฟ้าในดินที่สร้างขึ้นมาใหม่มี 4 ส่วนคือขั้วไฟฟ้าไคลเอนท์ สายนำสัญญาณ และคอนโทรลยูนิต วิธีการสร้างอธิบายแต่ละส่วนดังนี้

3.1 การสร้างขั้วไฟฟ้า

3.1.1 ตัดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วให้มีความยาว 40 เซนติเมตร

3.1.2 ตัดไม้ขนุนให้มีความยาว 10 เซนติเมตรและกลึงครึ่งหนึ่งให้แหลมคล้ายการเหลาดินสอ ส่วนอีกด้านกลึงให้สามารถสวมลงไปในท่อในข้อ 3.1.1 ได้พอดีและทากาวกันไม้ขนุนหลุดด้วย

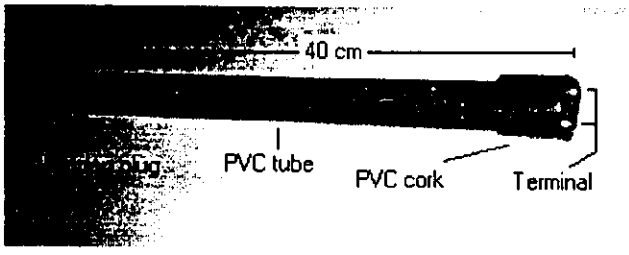
3.1.3 เจาะฝาอุดท่อพีวีซีสองรูบริเวณขอบนอกด้านบนสำหรับใส่เทอร์มินอล

3.1.4 ตัดลวดทองแดงให้ยาวเส้นละ 40 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้นและนำไปบัดกรีติดกับเทอร์มินอลที่ได้ติดฝาอุดท่อในข้อ 3.1.3

3.1.5 นำฝาอุดท่อไปปิดท่อพีวีซีอีกด้านหนึ่งของข้อ 3.1.2

3.1.6 ทำตามขั้นตอนข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.5 จนได้ขั้วไฟฟ้าครบ 33 ขั้ว และเมื่อใช้งานจะดึงฝาอุดท่อออกแล้วเติมสารละลายคอบเปอร์ซัลเฟตลงไป หลังจากนั้นใช้เทปพันท่อพีวีซีพันที่ปลายท่อ 2 รอบ ก่อนปิดฝาอุดอีกครั้ง โดยการเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตนี้จะแช่ไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการใช้งาน

ภาพประกอบ 2.8 ขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้น



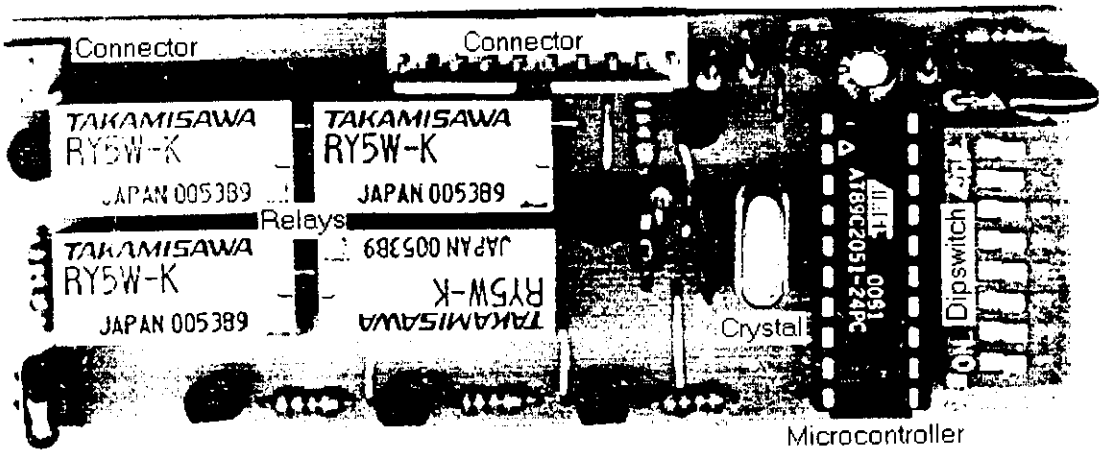
3.2 การสร้างไคลเอนท์

3.2.1 การทำวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ใช้โปรแกรม Protel Schematic ออกแบบผังวงจรตามภาพประกอบ 8.1 ในภาคผนวก ง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C2051 ขนาด 20 ขาทำงานที่ 11.0592 เมกะเฮิรตซ์ เป็นตัวรับคำสั่งจากคอนโทรลยูนิตและทำการตัดหรือต่อสายนำสัญญาณอนาล็อกเข้ากับขั้วไฟฟ้าโดยผ่านรีเลย์ 4 ตัว ผ่านทางพอร์ต P3.2 ถึง P3.5 และมีทรานซิสเตอร์เบอร์ BC546 เป็นตัวขยายกระแสไปขับรีเลย์ให้ทำงาน ส่วนสัญญาณควบคุมแบบดิจิตอลที่มาจากคอนโทรลยูนิ

ตจะมีอยู่ 3 ชนิด คือ Rx จะถูกต่อผ่านทรานซิสเตอร์เบอร์ BC546 ไปยังพอร์ต P3.0 ส่วน Tx ต่อเข้ากับพอร์ต P3.1 และเส้นที่สาม Clk ต่อเข้ากับพอร์ต P3.7 หลังจากนั้นเมื่อได้ผังวงจรแล้วจะนำไปสร้างลายของวงจรด้วยโปรแกรม Protel PCB และบัตกรีอุปกรณ์ลงบนแผงวงจรทั้งหมดจำนวน 38 วงจร แสดงแผงวงจรไคลเอนท์ในภาพประกอบ 2.9ก

ภาพประกอบ 2.9ก แผงวงจรไคลเอนท์



3.2.2 การประกอบลงกล่อง

3.2.2.1 ตัดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ให้มีความยาว 13 เซนติเมตร

3.2.2.2 เจาะฝาอุดท่อให้มีขนาดพอดีกับหัวต่อแบบกลม 8 ขา โดยเป็นตัวเมียด้านหนึ่งตัวผู้ด้านหนึ่ง

3.2.2.3 ต่อสายไฟจากหัวต่อตัวผู้ไปยังหัวต่อตัวเมีย และต่อสายไฟอีกชุดหนึ่งไปยังหัวต่อ 5 ขา 2 แถว ดังภาพประกอบ 2.9ข

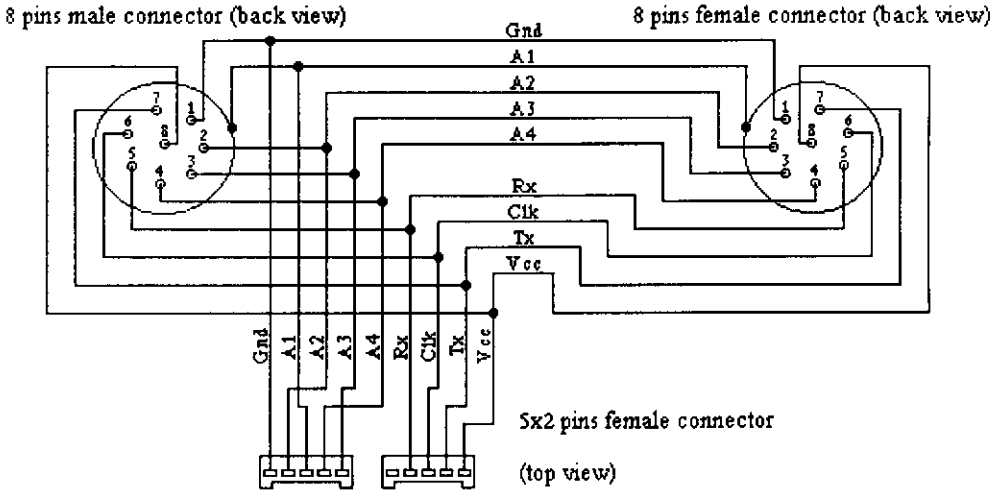
3.2.2.4 เจาะรู 2 รูที่กึ่งกลางท่อเพื่อใส่สายไฟสำหรับการติดหัวต่อสำหรับเสียบกับเทอร์มินอลบนขั้วไฟฟ้า

3.2.2.5 เจาะ1 รูตรงกันข้ามกับรูในข้อ 3.2.2.4 สำหรับใส่หลอดแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของไคลเอนท์

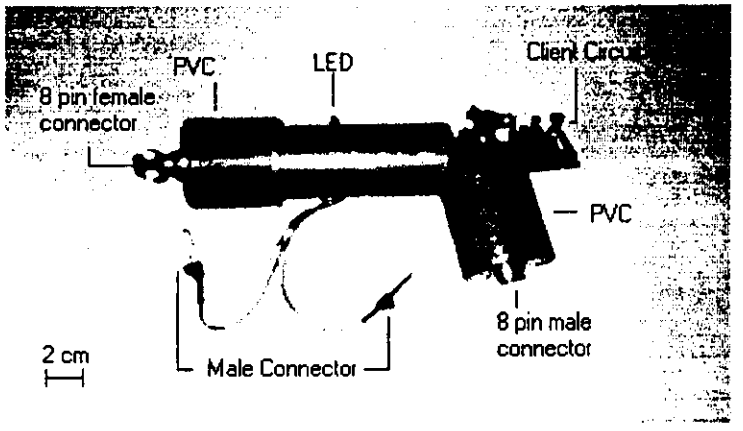
3.2.2.5 นำแผงวงจรในข้อ 3.2.1 มาใส่เข้าไปในท่อ และเสียบหัวต่อทุกชนิด จากนั้นจึงปิดฝาทั้ง 2 ด้าน

3.2.2.6 ทำซ้ำข้อ 3.2.2.1 ถึง 3.2.2.5 จนครบ 35 เครื่อง

ภาพประกอบ 2.9ข การต่อสายนำสัญญาณในไคลเอนท์



ภาพประกอบ 2.9ค ไคลเอนท์



3.3 การสร้างสายนำสัญญาณ

3.3.1 ตัดสายซีลด์ สายโทรศัพท์และหลอดยางให้มีความยาว 5.3 เมตร และตัดหลอดยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตรให้มีความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น

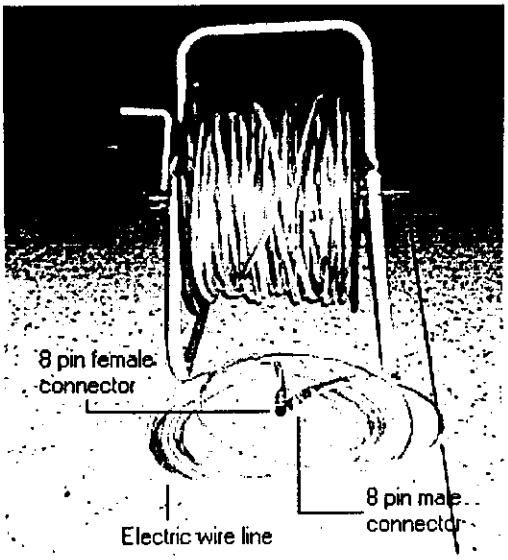
3.3.2 นำสายซีลด์และสายโทรศัพท์ใส่เข้าไปในหลอดยาง

3.3.3 นำหลอดยางขนาด 1.2 เซนติเมตรสวมที่ปลายทั้งสองด้าน

3.3.4 ต่อสายไฟเข้ากับหัวต่อแบบกลม 8 ขาโดยต่อสายซีลด์เข้ากับตัวถัง และควบสาย Power Ground และ Digital Ground เข้าด้วยกัน แล้วดึงหลอดยางที่สวมไว้ที่ปลายทั้งสองด้านให้ขึ้นไปหุ้มฐานของหัวต่อและทากาวให้หลอดยางที่สวมติดกันกับหลอดยางด้านใน เพื่อป้องกันน้ำเข้า

3.3.5 ทำตามขั้นตอน 3.3.1 ถึง 3.3.4 จนครบ 35 เส้น

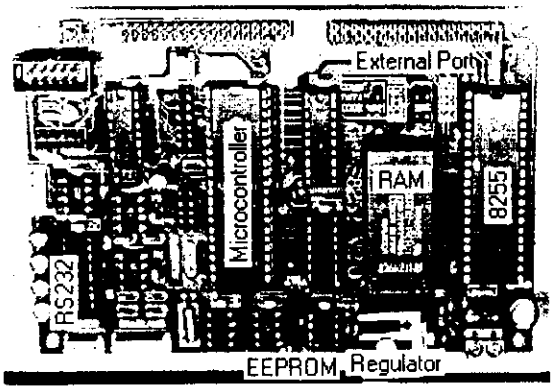
ภาพประกอบ 2.10 สายนำสัญญาณขนาด 10 แกน



3.4 การสร้างคอนโทรลยูนิต

3.4.1 การสร้างเมนบอร์ด ประยุกต์ใช้บอร์ดอเนกประสงค์ของบริษัทอีทีที รุ่น CP-S8252 V2.0 โดยเพิ่มเติมส่วนของแรมและอีอีพรอมเข้าไป แรมที่ใช้เบอร์ M48T08 ส่วนอีอีพรอมใช้เบอร์ 24S256 จากนั้นใช้โมดูลแอลซีดีต่อสายสัญญาณเข้ากับพอร์ต P1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในลักษณะการสื่อสารข้อมูลแบบ 4 บิต ส่วนคีย์บอร์ดใช้เป็นปุ่มกด 3 ปุ่ม ปุ่มที่ 1 ต่อเข้ากับพอร์ต P3.2 ปุ่มที่ 2 ต่อเข้ากับพอร์ต P3.3 และปุ่มที่ 3 ต่อเข้ากับพอร์ต P3.4 ส่วนผังวงจรนี้แสดงในภาพประกอบ 8.2 ของภาคผนวก ง ส่วนแผงวงจรแสดงในภาพประกอบ 2.11ก

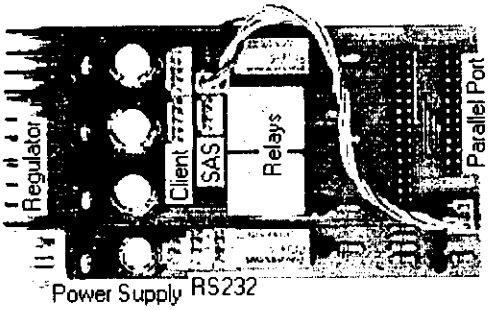
ภาพประกอบ 2.11ก เมนบอร์ด



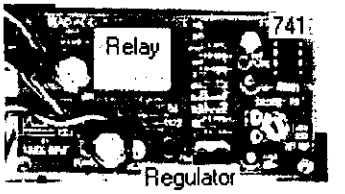
3.4.2 การสร้างเอ็กแพนชันบอร์ด จากวงจรที่ได้ออกแบบใช้ด้วยโปรแกรม Protel Schematic นำแฟ้มข้อมูลมาให้โปรแกรม Protel PCB ทำการวาดแบบลายวงจร แต่โปรแกรมไม่สามารถทำการวาดลายวงจรแบบแบบอัตโนมัติ (auto route) สำหรับหน้าลายทองแดงด้านเดียวได้ จึงต้องวาดลายวงจรด้วยตัวเอง (manual) หลังจากนั้นพิมพ์ภาพนี้ด้วยเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์ (เพื่อให้ได้ความคมชัดที่สุด) และนำภาพที่พิมพ์ได้ไปถ่ายเอกสารลงบนแผ่นใสหลังจากนั้น นำแผ่นใสที่ถ่ายเอกสารแล้วเอาด้านผงหมึกวางทาบบนแผ่นทองแดง (สำหรับทำลายวงจรพิมพ์) แล้วใช้เตารีด รีดให้ผงหมึกจากการถ่ายเอกสารลงไปติดบนแผ่นทองแดง แล้วนำแผ่นทองแดงไปแช่ในน้ำยากัดปริ้นส์จนกว่า น้ำยาจะกัดทองแดงส่วนที่ไม่มีผงหมึกคลุมอยู่ออกหมด แล้วนำไปล้างด้วยแอลกอฮอล์เพื่อเอาผงหมึกออก จากนั้นก็เจาะรูตรงตำแหน่งของขาอุปกรณ์และนำอุปกรณ์ทุกตัวบัดกรีลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ผังวงจรนี้แสดงในภาพประกอบ 8.3 ของภาคผนวก ง ส่วนแผงวงจรแสดงในภาพประกอบ 2.11ข

3.4.3 การสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลายวงจรอยู่แล้ว มาบัดกรีอุปกรณ์ทุกตัว และใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1.5 แอมแปร์แปลงกระแสไฟฟ้าจาก 220 โวลท์เป็น 12 โวลท์ และใช้ไดโอดแบบบริดจ์เบอร์ RS402L แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 16.97 โวลท์ เพื่อจะนำไฟฟ้ากระแสตรงไปประจุเข้ากับแบตเตอรี่ สำหรับจ่ายให้กับทุกๆ ส่วนในระบบ Schematic ของแผงวงจรนี้แสดงในภาพประกอบ 8.4 ของภาคผนวก ง ส่วนแผงวงจรแสดงในรูป 2.11ค

ภาพประกอบ 2.11ข เอ็กแพนชันบอร์ด

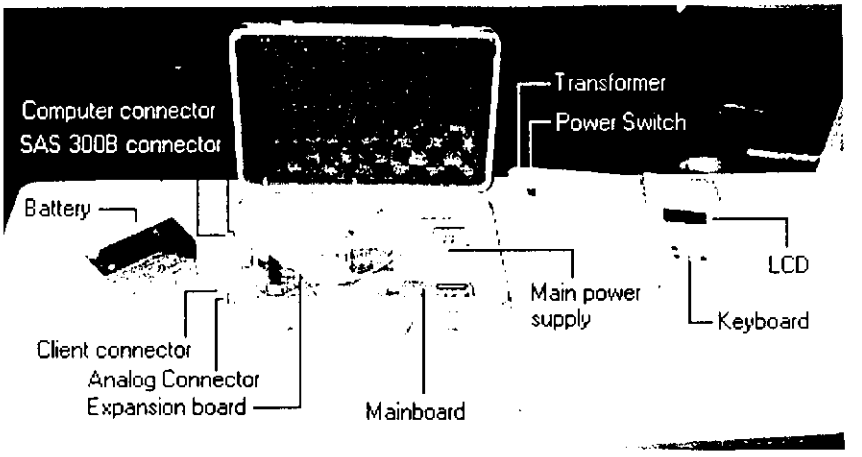


ภาพประกอบ 2.11ค แผงวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก



การบรรจุอุปกรณ์ต่างๆ ของคอนโทรลยูนิตลงในกล่อง จะใช้กล่องอลูมิเนียมแล้วใช้การทำโครงด้านในเพื่อให้อุปกรณ์ยึดติดกับโครงเดิมของกล่อง และใช้แผ่นอลูมิเนียมทำเป็นฝาปิดตรงกลางอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งชั้นนี้จะติดตั้งโมดูลแอลซีดีและปุ่มกดไว้และนอกจากนี้จะเจาะช่องสำหรับการใส่แบตเตอรีไว้อีกด้วย แสดงคอนโทรลยูนิตที่สร้างเสร็จแล้วในภาพประกอบ 2.11ง

ภาพประกอบ 2.11ง คอนโทรลยูนิต

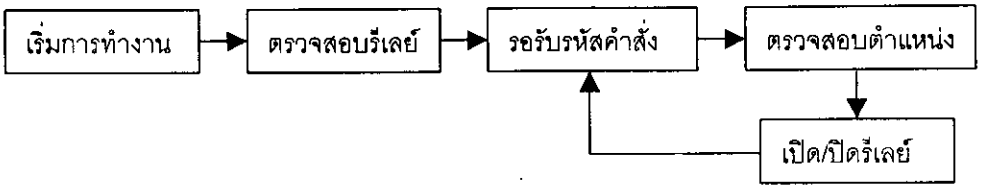


2.3.4 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนที่ใช้ทั้งหมด 39 ตัว เขียนคำสั่งด้วยภาษาแอสเซมบลีตระกูล MCS-51 และใช้สองชนิดดังนี้

1. โปรแกรมใช้ควบคุมการทำงานของไคลเอนท์ 38 ตัว เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 20 ขาผลิตโดยบริษัท Atmel เบอร์ AT89C2051 ทั้ง 38 ตัว จะใช้คำสั่งภาษาแอสเซมบลีชุดเดียวกันแปลคำสั่งด้วยตัวแปล SXA51 และทำการอัดโปรแกรมที่แปลเป็นรูปแบบแลขฐานสองแล้วด้วยโปรแกรม AtmelP ผ่านเครื่องอัดโปรแกรมตระกูล MCS-51 ลงในหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งโครงสร้างการทำงานของไคลเอนท์ทั้ง 38 ตัวแสดงตามภาพประกอบ 2.12ก ส่วนแผนผังลำดับการทำงาน (Flowchart) แสดงในแผนผังลำดับขั้นการทำงานที่ 37 ในภาคผนวก จ และคำสั่งภาษาแอสเซมบลีทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ช

ภาพประกอบ 2.12ก โครงสร้างการทำงานของไคลเอนท์



โดยการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในไคลเอนท์มีรายละเอียดดังนี้

1.1 เริ่มการทำงาน จะเกิดขึ้นเมื่อคอนโทรลยูนิตจ่ายกระแสไฟฟ้ามาให้ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านรหัสประจำตัวจากหน่วยความจำโปรแกรมและอ่านรหัสตำแหน่งจากดิพสวิตช์มาไว้ที่หน่วยความจำชั่วคราว เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบในภายหลัง

1.2 ตรวจสอบรีเลย์ ในขั้นตอนนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้รีเลย์ทั้ง 4 ตัว (ไคลเอนท์ 1 เครื่องใช้รีเลย์ 4 ตัว) ทำงานหรือต่อสายสัญญาณเข้ากับขั้วไฟฟ้า (switch on) และหน่วงเวลาประมาณ 50 มิลลิวินาทีหลังจากนั้นจึงตัดสายนำสัญญาณออก (switch off) ทั้งนี้เพื่อเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นที่แน่นอนของสถานะรีเลย์ทุกตัว ซึ่งเราจะได้ยินการทำงานของรีเลย์ในไคลเอนท์ทุกตัว

1.3 รอรับรหัสคำสั่ง ในขั้นตอนนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคอยตรวจสอบสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่คอนโทรลยูนิตส่งมาให้ ซึ่งถ้าสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนเป็นลอจิกศูนย์ (logic 0) จะเป็นการเริ่มรับข้อมูลบิตแรก และรอรับบิตถัดไปจนครบ 16 บิต แต่ถ้าหากมีความขัดข้องในการสื่อสารข้อมูล โดยที่บิตถัดไปไม่สามารถตามมาได้ภายในเวลาประมาณ 100 มิลลิวินาทีก็จะทำการลบข้อมูลทั้งหมดและกลับไปรอคำสั่งเพื่อเริ่มนับบิตที่หนึ่งใหม่

1.4 ตรวจสอบตำแหน่ง ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อในขั้นตอน 1.3 สามารถรับข้อมูลได้ครบทั้ง 16 บิต ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบค่ารหัสประจำตัวและรหัสตำแหน่งที่คอนโทรลยูนิตส่งมาให้กับรหัสประจำตัวกับรหัสตำแหน่งในข้อ 1.1 ถ้าเท่ากันก็จะทำขั้นตอนที่ 1.5 ต่อไป แต่ถ้าไม่เท่าจะกลับไปที่ขั้นตอนที่ 1.3

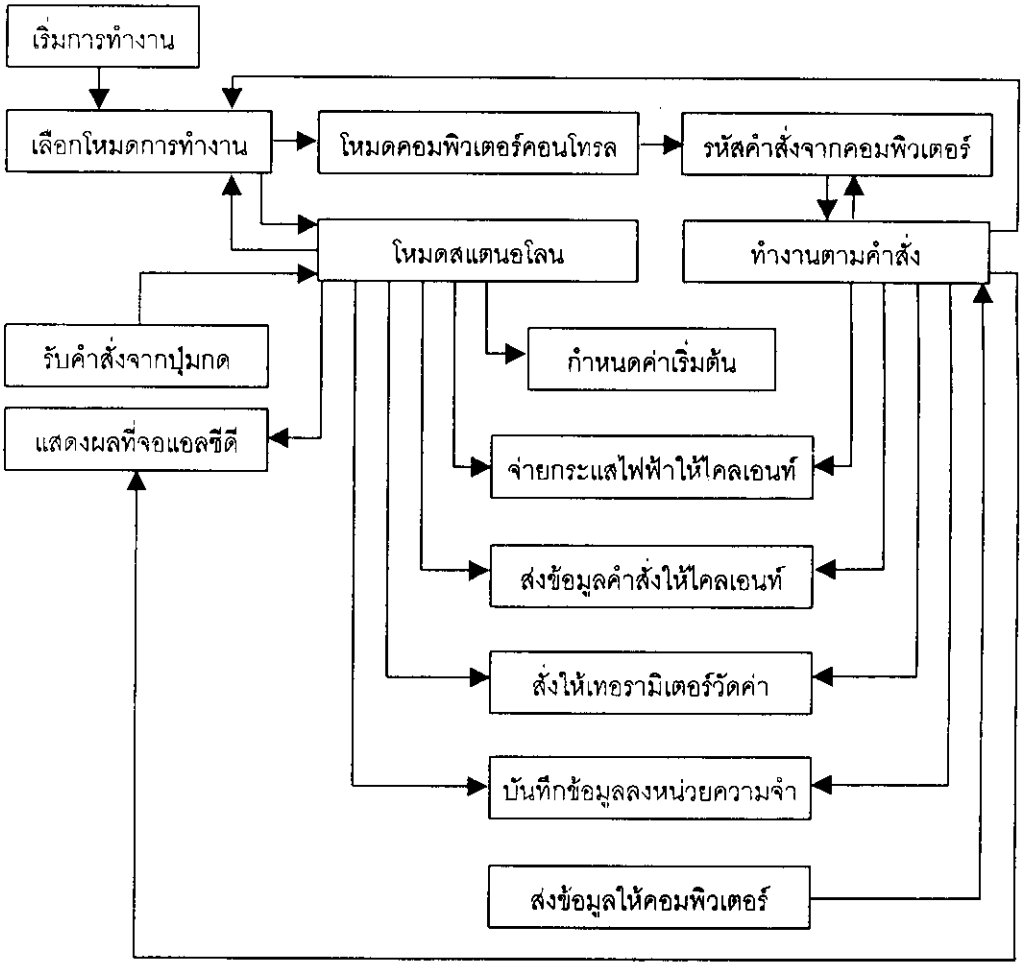
1.5 เปิด/ปิดรีเลย์ จะเป็นการทำงานตามคำสั่งที่คอนโทรลยูนิตส่งมาให้ ซึ่งค่าของข้อมูลคำสั่งทั้งหมด 5 บิตจะควบคุมการทำงานของรีเลย์ โดยถ้าหากบิตที่ 5 (C4) เป็นลอจิก 0 จะทำให้สถานะของรีเลย์ตัวที่ 1 ถึง 4 มีสถานะตามลอจิกของคำสั่งในบิตที่ 1 ถึง 4 (C0 – C3) แต่ถ้าบิตที่ 5 เป็นลอจิก 1 ไมโครคอนโทลเลอร์จะไม่สนใจ (not care : NC) บิตอื่นๆ และจะไม่มีการทำงานใดๆ (ในส่วนนี้กำหนดไว้เพื่อการพัฒนาต่อในอนาคต) ดังตัวอย่างในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 การควบคุมรีเลย์

Command (Logic)					Relays (Status)			
C4	C3	C2	C1	C0	4	3	2	1
0	0	0	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF
0	0	0	0	1	OFF	OFF	OFF	ON
0	0	0	1	0	OFF	OFF	ON	OFF
0	0	0	1	1	OFF	OFF	ON	ON
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	0	0	0	0	NC	NC	NC	NC
1	0	0	0	1	NC	NC	NC	NC
1	0	0	1	0	NC	NC	NC	NC
1	0	0	1	1	NC	NC	NC	NC

2. โปรแกรมแอสเซมบลีใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในคอนโทรลยูนิตจำนวน 1 ตัว เบอร์ AT89S8252 ของบริษัท Atmel แปลคำสั่งภาษาแอสเซมบลีด้วยตัวแปล SXA51 และทำการอัดโปรแกรมที่แปลเป็นรูปแบบเลขฐานสองแล้วด้วยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง (ไม่ต้องใช้เครื่องอัดโปรแกรมอื่น) โครงสร้างการทำงานของคอนโทรลยูนิตแสดงในภาพประกอบ 2.12ข ส่วนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีมีการทำงานแสดงดังแผนผังการทำงานที่ 1 ถึง 36 ในภาคผนวก จ และคำสั่งภาษาแอสเซมบลีแสดงในภาคผนวก ช

ภาพประกอบ 2.12ข โครงสร้างการทำงานของคอนโทรลยูนิต



2.3.5 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์

โปรแกรมควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ เขียนด้วยภาษาออบเจ็คปาสคาล โดยโปรแกรมบอร์แลนเดลไฟ รุ่นที่ 5.0 โปรแกรมที่เขียนขึ้นให้ชื่อว่า Self Potential Monitor โดยแบ่งเป็นหน่วยย่อยทั้งหมด 19 หน่วย 19 หน้าต่าง และในการทำงานจะประกอบไปด้วยแฟ้มข้อมูลหลายชนิดและหลายแฟ้ม (รายละเอียดตามภาคผนวก ก) หลังจากได้ทดสอบการทำงานของโปรแกรมนี้ในรุ่นที่ 1.00 พบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้และสามารถควบคุมการทำงานของระบบได้เป็นอย่างดี แต่ยังมีข้อบกพร่องในเรื่องของการวัดข้อมูลซ้ำ (stack) จึงได้ทำการพัฒนาเพิ่มเติมและกำหนดให้เป็นรุ่นที่ 1.02 นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ได้ด้วย