

การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน



นายประสาน ทวีวรรณกิจ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0528-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOIL RESISTIVITY
SOUNDING INSTRUMENT

Mr. Prasan Taweewannakij

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0528-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน
โดย นาย ประสาน ทวีวรรณกิจ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรัักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรัักษ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายประสาน ทวีวรรณกิจ : การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า
ของดิน. (DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOIL RESISTIVITY SOUNDING
INSTRUMENT)

อ. ที่ปรึกษา : ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์, 83 หน้า. ISBN 974-03-0528-8

วิทยานิพนธ์นี้ เสนอการพัฒนา ออกแบบ และ สร้างเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า
ของดิน โดยใช้วิธีการวัดแบบสี่จุดของ WENNER มีแท่งดินที่ทั้งสามารส่งกระแสลงดิน และ วัด
แรงดันจากดินจำนวน 20 แท่ง การทำงานของเครื่องควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
และสามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตมาตรฐาน RS232

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์จะกล่าวถึงการควบคุมการวัดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และ
ผลการทดสอบวัดจริงกับดินในสถานที่ต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดนี้สามารถวัดค่าสภาพ
ต้านทานไฟฟ้าของดินโดยใช้เวลาน้อยกว่า และ สะดวกสบายกว่าวิธีแบบดั้งเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____

สาขาวิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____

ปีการศึกษา _____ 2544 _____

ลายมือชื่อผู้นิสิต _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4070552721 : ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : ELECTRICAL EARTH RESISTANCE / ELECTRICAL EARTH RESISTIVITY /
EARTH RESISTIVITY SOUNDING / SOIL RESISTIVITY

PRASAN TAWEEWANNAKIJ : DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOIL
RESISTIVITY SOUNDING INSTRUMENT

THESIS ADVISOR : KOMSON PETCHARAKS, Dr. Sc. Techn. 83 pp.

ISBN 974-03-0528-8

This thesis reports design and construction of a soil resistivity sounding instrument that uses four-points method of WENNER. This instrument have 20 rods that can be used either as feeding current rod or voltage measuring rod. The instrument operation is controlled by microcontroller MCS-51 system and interface to microcomputer via standard port RS232.

The information is provided for the controlling of the instrument by using microcontroller system. The results of soil resistivity measurement ,in several places, showed that the instrument can measure earth resistivity by using less time and more convenient than the conventional method.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering

Student's signature _____

Field of study Electrical Engineering

Advisor's signature _____

Academic year 2001

Co-advisor's signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรัชชี่ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รศ.ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ และ อ.ดร.ชาญนรงค์ บาลมงคล ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำ

อนึ่งเนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้าน เทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

รวมทั้งต้องขอขอบพระคุณ พี่ พิเชฐ สุทธราชวงศ์ วิศวกรระบบ บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรมที่ใช้ ขอขอบคุณคุณสมอัฒ์ บุญยะรัตเวช ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับ Visual Basic

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา และต้องขอขอบคุณทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์นี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประสาน ทวีวรรณกิจ

กันยายน 2544

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 บทนำทั่วไป.....	1
1.2 ที่มาของปัญหา.....	2
1.3 ขอบข่ายของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ผลงานการศึกษา และ วิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	5
2. ทฤษฎีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	6
2.1 ความต้านทานไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	6
2.1.1 ความต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	6
2.1.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	8
2.2 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	11
2.3 การแปลความหมายจากการวัด.....	14
3. หลักการออกแบบและประกอบสร้างเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	16
3.1 แหล่งจ่ายกระแสลงดิน.....	16
3.1.1 วงจร OSCILLATION.....	16
3.1.2 หม้อแปลง STEP UP.....	18
3.1.3 ส่วนประกอบอื่นๆ.....	18
3.2 ส่วนควบคุม.....	18
3.2.1 ส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2.2 ส่วนแสดงผล.....	20
3.2.3 ส่วนจ่ายกระแสลงดิน และ วัดแรงดันจากดิน.....	21
3.2.4 ส่วนการวัดค่ากระแสที่ส่งลงดิน และ แรงดันจากดิน.....	23
3.3 ส่วนโปรแกรมควบคุม และการเชื่อมต่อ (INTERFACE).....	26
3.3.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	26
3.3.2 ส่วนเชื่อมต่อ (INTERFACE).....	27
3.3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมเพื่อรับส่งข้อมูล.....	31
3.3.4 ขั้นตอนการสั่งงานของโปรแกรมควบคุม.....	32
3.4 ส่วนประกอบอื่นๆ.....	33
4. การทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	34
4.1 การทดสอบวัด.....	34
4.1.1 ดินขึ้น.....	34
4.1.2 ดินแห้ง.....	38
4.2 การวัดแบบทั่วบริเวณ.....	41
5. สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	45
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
5.2.1 หน้าหน้าตัวเครื่อง.....	47
5.2.2 วงจรที่ใช้ในการเลือกแท่งดิน.....	48
5.2.3 การขยายขนาดของเครื่องวัด.....	48
รายการอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	50
ก. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32.....	51
ข. โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	54
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินและหินแต่ละชนิดตามยุคทางธรณีวิทยา และการจัดเรียงตัว.....	9
4.1 แสดงค่าที่ได้จากการวัดที่ดินชั้น.....	35
4.2 แสดงค่าที่ได้จากการวัดที่ดินแห้ง.....	38
4.3 แสดงค่าที่ได้จากการวัดแบบทั่วบริเวณที่ระยะ 1 เมตรในดินชั้น.....	42
4.4 สรุปและเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการวัดและความซับซ้อนในการวัดแต่ละวิธี.....	44



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 การเกิดแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว.....	1
2.1 รูปแบบการวัดระบบรากสายดิน.....	7
2.2 วงจรภายในเครื่องวัดค่าความต้านทานรากสายดิน.....	7
2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	9
2.4 ผลของปริมาณเกลือในดินที่มีต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	10
2.5 ผลของปริมาณความชื้นในดินที่มีต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน.....	10
2.6 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ WENNER.....	11
2.7 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน กับ ระยะระหว่างแท่งดินที่ใช้ในการวัด.....	12
2.8 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ SCHLUMBERGER-PALMER.....	13
3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองแหล่งกำเนิดคลื่น SINE.....	17
3.2 ผลการจำลองจากวงจรกำเนิดคลื่นรูป SINE	17
3.3 Fast Fourier Transform ของผลการจำลอง.....	17
3.4 บอร์ด ANT-32 ที่ใช้ในการควบคุม.....	19
3.5 คีย์บอร์ดที่ต่อเชื่อมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
3.6 การเชื่อมต่อ LCD กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
3.7 รีเลย์ OMRON G5LE-14ACD และวงจรภายใน.....	21
3.8 ตำแหน่งที่ส่งข้อมูลของพอร์ต 8255 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	22
3.9 วงจรภายในไอซี SN74LS374N (Octal D flip-flop with 3 state Output).....	22
3.10 วงจรภายในไอซี ULN 2803 (8 unit Darlington Array/Driver).....	22
3.11 แสดงการควบคุมรีเลย์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	23
3.12 วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสที่ส่งลงดิน.....	24
3.13 วงจรที่ใช้วัดค่าแรงดันจากดิน.....	25
3.14 วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสที่ส่งลงดินและแรงดันจากดิน.....	25
3.15 ไอซี ACD LTC 1298.....	26
3.16 การต่อสาย RS232 กับ DB9.....	27
3.17 หน้าจอขณะ RUN โปรแกรม LINKEARTH.....	28

สารบัญภาพ(ต่อ)

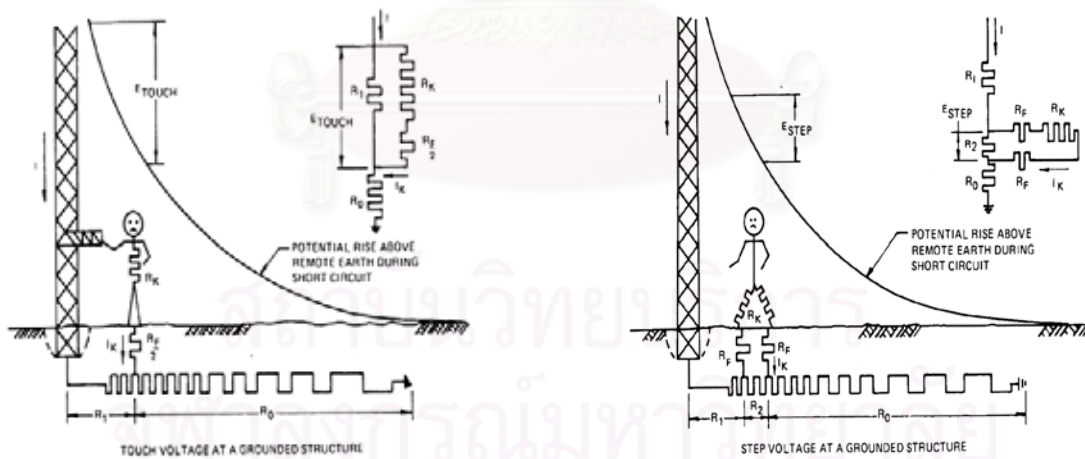
รูปที่	หน้า
3.18 รูปแบบของข้อมูลที่รับส่งระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ คอมพิวเตอร์.....	29
3.19 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม.....	30
3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเพื่อรับส่งข้อมูล.....	31
3.21 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสั่งงานของโปรแกรมควบคุม.....	32
3.22 รายละเอียดของแท่งดิน.....	33
4.1 รูปถ่ายสภาพของดินที่ทำการวัด ซึ่งดินมีสภาพขึ้นมาก.....	35
4.2 หน้าจอขณะทำการวัดกรณีดินขึ้น.....	36
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินกับ ระยะห่างระหว่างแท่งดินในกรณีดินขึ้น.....	37
4.4 ลักษณะชั้นดินที่เกิดจากการถมดินลูกรัง.....	38
4.5 หน้าจอขณะทำการวัดกรณีดินแห้ง.....	40
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินกับ ระยะห่างระหว่างแท่งดินในกรณีดินแห้ง.....	40
4.7 การวางแท่งดินขณะวัดแบบทั่วบริเวณ.....	41
4.8 หน้าจอขณะวัดแบบทั่วบริเวณที่ระยะ 1 เมตร ในดินขึ้น.....	43
5.1 เปรียบเทียบเครื่องที่ขายตามท้องตลาด(ซ้าย) และเครื่องที่ออกแบบ(ขวา).....	46
ก-1 ภาพถ่ายของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32.....	51
ก-2 วงจรของบอร์ด ANT-32.....	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป

การออกแบบและสร้างระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากจะต้องคำนึงถึงเรื่องความเชื่อถือได้ (Reliability) และ เสถียรภาพ (Stability) ของระบบส่งจ่าย ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย ในระบบไฟฟ้ากำลัง(Electrical Power system) จะต้องมีการระบบดิน(Earthing System) อยู่ควบคู่ไปด้วย เช่น โรงไฟฟ้า, ลานไคสวิตช์เกียร์, ระบบจำหน่าย, สถานีไฟฟ้าย่อย, สายส่ง, ฯลฯ สิ่งที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากกระแสลัดวงจรลงดิน เช่น การวาบไฟตามผิว ลูกถ้วย, การเบรกดาวนลงดิน, สายไฟขาดลงดิน หรือแม้แต่การเกิดฟ้าผ่า คือ แรงดันสัมผัส (Touching Voltage) ซึ่งทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างดิน กับ จุดที่สัมผัสกับตัวนำที่ต่อ ลงดิน และแรงดันช่วงก้าว(Step Voltage) ซึ่งทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างช่วงก้าวบนดิน ดังรูปที่ 1.1 ถ้าแรงดันสัมผัส และ แรงดันช่วงก้าวมีค่าสูงเกินไปจะเกิดอันตรายแก่คนและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบริเวณที่มีกระแสลัดวงจรลงดิน อันตรายดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยการออกแบบระบบดินที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1.1 การเกิดแรงดันสัมผัส และ แรงดันช่วงก้าว

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบดินคือ รากสายดิน (Earthing Electrode) และดิน (Soil) ที่รากสายดินนั้นฝังอยู่ ระบบดินที่มีประสิทธิภาพนั้นค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) ของระบบดิน

ต้องมีค่าต่ำ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของระบบดินนั้นจะขึ้นอยู่กับ รูปร่างลักษณะการจัดเรียงตัวของรากสายดิน และสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน (Soil Resistivity) [1] จะเห็นได้ว่ารูปร่างลักษณะการจัดเรียงตัวของ รากสายดินเราสามารถกำหนดได้ แต่สภาพต้านทานไฟฟ้าของดินเป็นสมบัติเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับดิน และ สิ่งแวดล้อมในสถานที่นั้นๆ

การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินจึงเป็นประโยชน์ในการกำหนดหรือออกแบบระบบดินในสถานที่ ต่างๆให้เป็นระบบดินที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งได้มีข้อเสนอแนะและแนวทางปฏิบัติในการวัดค่าความต้านทาน และค่า สภาพต้านทานไฟฟ้าของดินของ IEEE [2] รวมทั้งประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้ ดังนั้นก่อนการออกแบบระบบดินของระบบไฟฟ้าจึงควรวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินเพื่อเป็นข้อมูลในการ ออกแบบ

1.2 ที่มาของปัญหา

การจัดทำระบบดินโดยทั่วไป มักจะทำการตอกรากสายดินลงไปที่ความลึกต่างๆ ต่อสายตัวนำลงดิน แล้วทำการวัดวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของระบบดิน ถ้าค่าความต้านทานไฟฟ้ายังสูงอยู่ก็เพิ่มความลึกหรือ จำนวนรากสายดินจนกระทั่งค่าความต้านทานไฟฟ้าลดต่ำลงจนพอใจ โดยมักไม่สนใจว่าดินมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามากหรือน้อยเพียงใด รวมทั้งสมบัติอย่างอื่นของดินเช่น ความชื้น , ภูมิภาค , ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของดิน (Non-homogeneous Soil) ฯลฯ ค่าความต้านทานที่วัดได้เป็นค่าความต้านทานที่ จุดที่ตอกรากสายดินในช่วงเวลาขณะนั้น ถ้าเป็นระบบดินที่ไม่ใหญ่โตมากนัก ค่าความต้านทานไฟฟ้าของ ระบบดินก็มักไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากสมบัติต่างๆของดิน แต่ถ้าเป็นระบบดินที่มีขนาดใหญ่และมีความ สำคัญ เราจำเป็นต้องทราบค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินในพื้นที่บริเวณที่จะจัดทำระบบดินโดยรอบเป็น บริเวณกว้าง รวมทั้งสมบัติอย่างอื่นที่มีผลต่อความต้านทานไฟฟ้าของดิน เพราะความต้านทานไฟฟ้าของ ดินในบริเวณที่เราจะจัดทำนั้นอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ในเวลาที่กว้างมาก

สิ่งหนึ่งที่มีจะทำกันคือการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน เพราะค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของดิน สามารถบอกลักษณะของดินได้ทั้งลักษณะทางไฟฟ้าของดิน และลักษณะ ทางกายภาพของดินด้วย

ปัจจุบันเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินมีจำหน่ายมากมายในท้องตลาด โดยใช้หลักการวัด ค่าที่ผิวหน้าดิน แล้วสามารถนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆของดิน หรือทรัพยากรที่อยู่ใต้ดิน เช่น ความไม่ เป็นเนื้อเดียวกันของดิน , วัตถุที่ปรากฏอยู่ใต้ผิวดิน , น้ำใต้ดิน , น้ำมันปิโตรเลียม ฯลฯ เครื่องวัดที่จำหน่ายใน ท้องตลาดมักจะเน้นในการสำรวจหาทรัพยากรที่อยู่ใต้พื้นดินมากกว่าที่จะหาลักษณะสมบัติของดินทางด้านไฟ ฟ้า จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่เน้นวัดลักษณะ สมบัติทางไฟฟ้าของดินเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบดิน และเป็นฐานข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน ภูมิภาคต่างๆ

1.3 ขอบข่ายของวิทยานิพนธ์

ทำการออกแบบและประกอบเครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน ขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายได้เท่ากับ 300 V , 500 mA รูปคลื่นไซน์(sine) ความถี่ 60-70 Hz มีแท่งดินที่ใช้ในการวัด 20 แท่ง ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัด โดยการรับคำสั่งจากคีย์บอร์ด และแสดงผลโดยใช้จอ LCD สามารถเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS232 เมื่อประกอบสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า และ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

1.4 ผลงานการศึกษา และ วิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้างานการศึกษา และ วิจัยพบว่า

ในปี ค.ศ. 1916 WENNER [2] ได้เสนอวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินแบบ สี่จุด(Four point method) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย, ประหยัด , ได้ค่าการวัดที่ถูกต้องมากกว่าวิธีในอดีต และเป็นวิธีที่รบกวนหน้าดินน้อยที่สุด การวัดใช้แท่งดิน 2 คู่ คู่ที่หนึ่งส่งกระแสลงดิน อีกคู่หนึ่งวัดแรงดันที่เกิดจากดิน อัตราส่วนระหว่างแรงดันที่เกิดจากดิน และกระแสที่ส่งลงดินก็คือค่าความต้านทานของดิน

ในปี 1932 Electrical Research Association [3] ประเทศอังกฤษ ได้ตีพิมพ์แผนที่แสดงค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของสหราชอาณาจักร ซึ่งใช้วิธีการวัดแบบสี่จุด ของ WENNER ทำให้ทราบว่าแม้ประเทศที่มีพื้นที่เล็กอย่างสหราชอาณาจักรยังมีความหลากหลายของชนิดดินและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

ในปี 1964 G.F.Tagg ได้รวบรวมเทคนิค และทฤษฎีต่างๆเกี่ยวกับการวัดค่าสภาพ ดัชนีทานไฟฟ้าดิน ตีพิมพ์ลงในหนังสือชื่อ ‘ EARTH RESISTANCES ‘ [3] ซึ่งเป็นหนังสือที่นักวิจัยเรื่องเกี่ยวกับการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินในปัจจุบันยังใช้ในการอ้างอิง

มีการพัฒนาการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าให้ดีขึ้น ถูกต้องยิ่งขึ้น ง่ายในการวัดมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์เจริญขึ้น ทำให้เครื่องมือวัดมีความเที่ยงตรงมากขึ้น จึงมีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการวัด ทำให้เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้มีขนาดเล็กลง ถูกต้องมากขึ้นรวมทั้งสะดวกในการที่จะนำไปวัดในสถานที่ต่างๆ

ในปี 1992 Hitoshi KAJIMA [4] ได้ศึกษาวิจัยและสร้างเครื่องประมาณค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน โดยอาศัยการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินชั้นต่างๆ แล้วให้เครื่องประมาณค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน ซึ่งมีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ช่วยในการวัด และคำนวณ ค่าที่ได้จึงมีความถูกต้องและรวดเร็วเป็นที่ยอมรับได้

ในปี 1997 Y.L. Chow และคณะ [6] ได้ออกบทความเกี่ยวกับการปรับปรุงค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน เมื่อทราบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน โดยใช้รากสายดินรูปร่างต่างๆ โดยการจำลองดินเป็นดินสองชั้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ก) เป็นต้นแบบของการพัฒนาออกแบบสร้างเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน เพื่อใช้ในการวัดและวิเคราะห์ความต้านทานดิน, โครงสร้างของดิน รวมทั้งผลของดินหลายชั้นที่มีต่อค่าความต้านทานของดิน เพื่อให้การออกแบบระบบดินมีความถูกต้องและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น
- ข) ใช้เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้ เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาวิจัยและการทดสอบเกี่ยวกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน, ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน และผลที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างดินแบบต่างๆ โดยที่จะเน้นในเรื่ององค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงของค่าทางไฟฟ้า

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนหลักๆ 5 บท คือ

- บทที่ 1 (บทนำ)
- บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีการวัดค่าความต้านทานของดิน และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน
- บทที่ 3 กล่าวถึง การออกแบบและประกอบเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน รวมทั้งองค์ประกอบต่างๆ
- บทที่ 4 กล่าวถึง การทดสอบวัดความต้านทานไฟฟ้าของดิน และ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

บทที่ 5 กล่าวถึง การสรุปผลการออกแบบและประกอบเครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน และข้อเสนอแนะ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

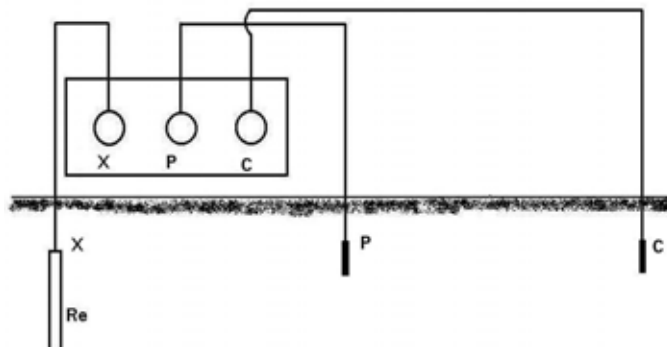
ในบทนี้จะกล่าวถึงคำจำกัดความ, แนวคิด รวมทั้งทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดค่าความต้านทานของดิน และ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน รวมทั้งการแปลผลจากการวัดค่าสภาพต้านทาน ไฟฟ้าของดิน เพื่อที่จะได้สามารถรู้ว่าดินที่ทำการวัดนั้นมีลักษณะอย่างไร ได้ผิวดินมีอะไรแปลกปลอมหรือไม่ เพื่อที่จะได้สามารถออกแบบระบบดินที่มีประสิทธิภาพ

2.1 ความต้านทานไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

2.1.1 ความต้านทานไฟฟ้าของดิน

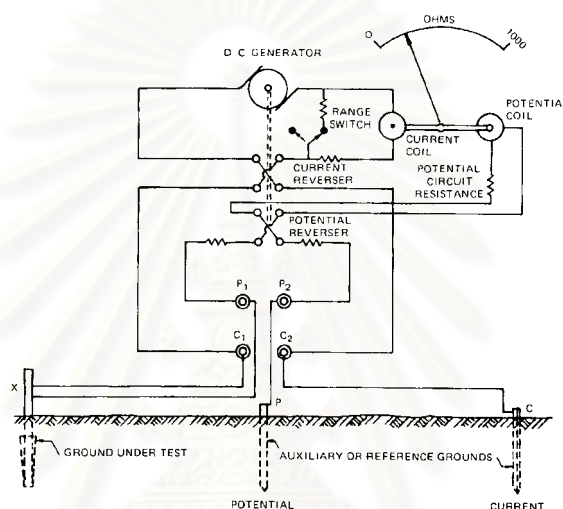
ความต้านทานไฟฟ้าของดิน หมายถึง ความต้านทานไฟฟ้าต่อกระแสที่ไหลในดิน[3] ซึ่งทางเดินของกระแสในดินจะกว้างใหญ่่มาก นั่นหมายความว่า แม้ดินที่กระแสไหลผ่านจะมีการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี แต่กระแสสามารถเดินทางในพื้นที่ที่กว้างมากในดิน อาจทำให้ความต้านทาน ไฟฟ้าของดินมีค่าต่ำได้ ดินได้ถูกใช้เป็นที่ทางเดินของกระแสเพื่อถ่ายเทประจุมาเป็นเวลานานแล้ว ดังนั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา มีความต้องการที่จะรู้ว่าดินมีความต้านทานไฟฟ้าเท่าไร หลายวิธีได้ถูกพัฒนาเพื่อวัดค่าทางกายภาพต่างๆของดิน โดยเฉพาะค่าความสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน ซึ่งการวัดที่ผิวดินจะสามารถทำให้รู้ถึงส่วนต่างๆของดินชั้นล่าง

โดยทั่วไปหลังการติดตั้งระบบสายดินเรียบร้อยแล้ว หากต้องการทราบค่าความต้านทานไฟฟ้าของระบบสายดินว่ามีค่าเท่าใด สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน (Earth Resistance Meter) ต่อดวงจรในรูปแบบดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบการวัดระบบรากสายดิน

ภายในเครื่องวัดค่าความต้านทานระบบสายดิน จะมีเครื่องกำเนิดแรงดันเป็นตัวจ่ายกระแส I ผ่านไปยังขั้ว X ซึ่งจะต่อกับรากสายดินที่ต้องการจะวัดค่าความต้านทาน (Re) กระแสจะไหลลงดินและผ่านขึ้นไปยังหลักดินที่ต่อกับขั้ว C ซึ่งเป็นขั้วรับกระแสเพื่อให้ครบวงจร ขั้ว P เป็นขั้ววัดแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อจ่ายกระแส จะต่ออยู่กับหลักดินซึ่งอยู่ตรงกลางระหว่างหลักดินที่จ่ายกระแส เมื่อทราบค่าแรงดันที่ P และค่ากระแสที่จ่ายลงไปที่คำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของรากสายดินได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรภายในเครื่องวัดค่าความต้านทานรากสายดิน

การวัดค่าความต้านทานระบบสายดิน (Re) ให้ต่อขั้ว X ของเครื่องวัดเข้ากับสายรากดินที่ต้องการวัด ต่อขั้ว P ของเครื่องวัดเข้ากับหลักดินที่ปักห่างออกไปจากรากสายดินที่ต้องการวัดไม่น้อยกว่า 20 เมตร และต่อขั้ว C ของเครื่องวัดเข้ากับหลักดินอีกอันหนึ่งที่ปักอยู่ในแนวเดียวกับรากสายดินที่ต้องการวัด และห่างจากหลักดินที่ต่อจากขั้ว P ออกไปอีกไม่น้อยกว่า 20 เมตร การให้ระยะระหว่างหลักดินที่ต่อจากขั้ว C ห่างจากรากสายดินที่ต้องการวัด X ห่างกันมากเช่นนี้ก็เพื่อมิให้ศักย์ไฟฟ้าจากหลักดินรบกวนซึ่งกันและกัน คือต้องการให้หลักดินที่ต่อจากขั้ว P อยู่ในย่านที่เป็นกลาง ค่าความต้านของรากสายดินที่วัดได้จึงจะถูกต้อง

ความถูกต้องของการวัดค่าความต้านทานระบบดินขึ้นอยู่กับลักษณะการวางตัวของแท่งดิน C และแท่งดิน P ที่ใช้ในการวัด ในกรณีระบบสายดินขนาดเล็ก เช่น รากสายดินปักลึกในแนวตั้ง หรือแท่งรากสายดินวางในแนวนอนยาวไม่เกิน 10 เมตร ระยะ 20 เมตรดังกล่าวข้างต้นถือว่าใช้ได้ในทางปฏิบัติ แต่ถ้าระบบดินที่มี

ขนาดใหญ่ ระยะระหว่างแท่งดินต้องมีค่ามากขึ้น โดยทั่วไปจะใช้ระยะห่างประมาณ 3-5 เท่าของความยาวด้านที่ยาวที่สุดของระบบดิน ความต้านทานของระบบดินมักมีค่าเพียงไม่กี่โอห์ม

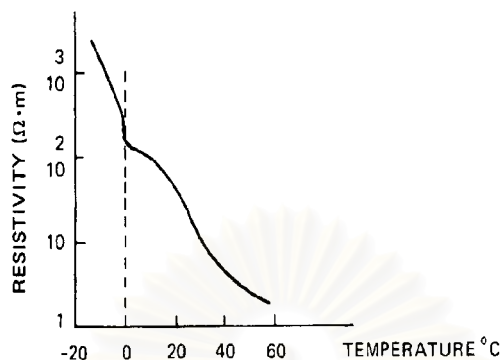
2.1.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

สมบัติทางไฟฟ้าของดินอย่างหนึ่งที่เราสนใจ คือค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็น สิ่งหนึ่งในส่วนประกอบที่จะใช้ในการหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของระบบดินที่ ออกแบบ [3] ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของดิน,ความชื้นภายในดิน, อุณหภูมิ, ปริมาณเกลือที่ผสมอยู่ในดิน , ความแน่นของดิน , ทำเลที่ตั้ง ฯลฯ [2] ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 1 Ω -m ในกรณีของน้ำทะเล และอาจมีค่าสูงถึง 10⁹ Ω -m ในกรณีของหินทราย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินและหินแต่ละชนิดตามยุคทางธรณีวิทยา และ การจัดเรียงตัว

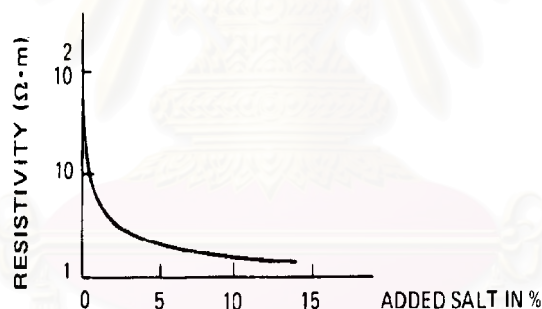
ค่าสภาพต้านทาน ไฟฟ้า Ω -m	ดินยุค Quaternary	ดินยุค Cretaceous Tertiary Quaternary	ดินยุค Carboniferous Triassic	ดินยุค Cambrian Ordovician Devonian	ดินยุค Pre- Cambrian and Combinat. with Cambrian
1 น้ำทะเล					
10 ต่ำมาก		Loam ,Clay			
30 ค่อนข้างต่ำ		Chalk	Chalk,Trap		
100 ต่ำ			Diabase		
300 ปานกลาง			Shale	Shale	
1000 สูง			Limestone	Limestone	
			Sandstone	Sandstone	Sandstone
3000 ค่อนข้างสูง	Coarse Sand and Gravel in Surface Layers			Dolomite	Quartzite
10000 สูงมาก					Slate Granite Gneisses

นอกจากนี้สภาพต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆตามอุณหภูมิที่ลดลงจาก 25 องศา ถึง 0 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส สภาพต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2.3 ดินที่แข็งเป็นน้ำแข็งในฤดูหนาว สภาพต้านทานไฟฟ้าที่ผิวดินจะมีค่าสูงมากเป็นพิเศษ

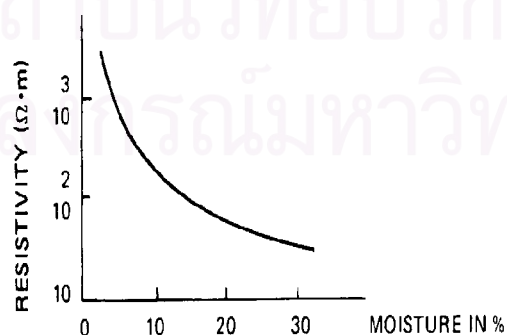


รูปที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

นอกจากนี้ปริมาณเกลือที่ผสมอยู่ และ ความชื้นที่มีอยู่ในดิน ก็จะมีผลต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ผลของปริมาณเกลือในดินที่มีต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน



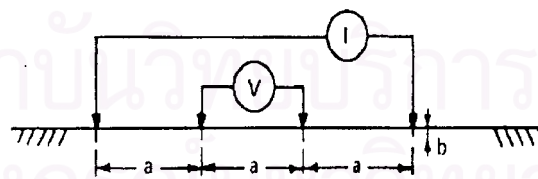
รูปที่ 2.5 ผลของปริมาณความชื้นในดินที่มีต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

จะเห็นได้ว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยหลายๆอย่าง ดังนั้นถ้าต้องการรู้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน ที่ตำแหน่งใด วิธีที่ดีที่สุดคือทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งจะได้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ณ.เวลานั้นตามสภาพ แวดล้อมในขณะนั้น [3]

2.2 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

จากแนวความคิดที่ได้จากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของระบบดิน ทำให้มีการค้นคว้าเรื่องการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของดินมีค่าเท่ากับในดินชนิดเดียวกัน ส่วนค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินเป็นค่าที่วัดได้จากดินปริมาณหนึ่ง ถ้าปริมาณเปลี่ยนไปค่าความต้านทานของดินย่อมเปลี่ยนไปด้วย

การหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน มีหลายวิธี แต่วิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินแบบสี่จุด (Four - Point Method) [2] ซึ่งพัฒนามาจากแนวความคิดของเครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของสายดิน ได้รับความนิยมนิยมที่สุด WENNER ได้แนะนำวิธีนี้ในการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินแบบนี้มาตั้งแต่ ค.ศ.1916 ในบทความที่เขาได้เขียนขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีการวัดหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในดินที่มีความถูกต้อง รอบคอบดินน้อย และสามารถใช้กับดินที่มีปริมาตรมากได้ วิธีนี้ใช้แท่งดินเล็กๆ 4 แท่ง ฝังลงไปลึก b จากผิวดิน และห่างกันเท่ากับ a ในแนว เส้นตรงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ WENNER

กระแส (I) จะส่งผ่านจากแท่งดินคู่แรกทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) ระหว่างแท่งดินคู่ใน อัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสที่ส่งผ่าน คือค่าความต้านทาน (R)

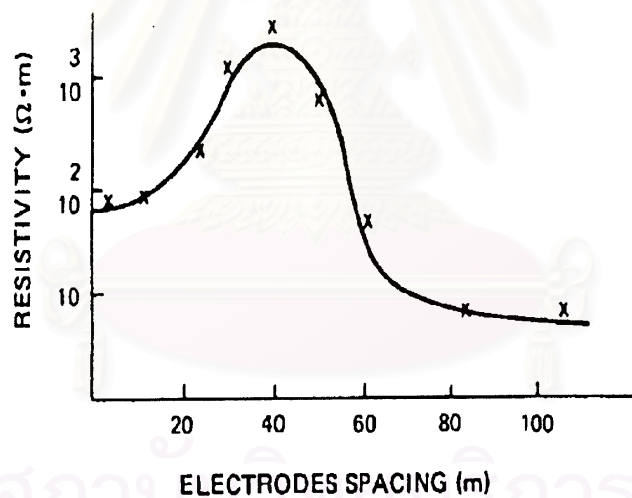
ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) หาได้จากสูตรตามสมการที่ (2.1)

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (2.1)$$

ในทางปฏิบัติแท่งดินจะต้องเป็นแท่งสั้นๆ มักจะให้ค่า b ไม่เกิน $0.1a$ เพื่อที่จะสมมติว่า $b \Rightarrow 0$ ดังนั้นสมการที่ (1) จะเปลี่ยนรูปเป็น

$$\rho = 2\pi aR \quad (2.2)$$

ค่าที่ได้ตามสมการที่ (2.2) เป็นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของดินโดยประมาณที่ความลึกของดินเท่ากับ a และเมื่อนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการวัดที่ระยะระหว่างแท่งดินหลายๆค่า มาเขียนแผนภูมิจะได้แผนภูมิดังรูปที่ 2.7

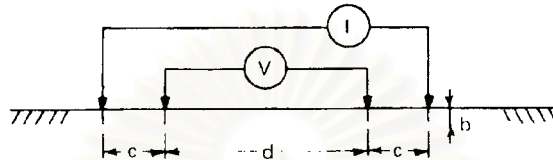


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน กับ ระยะระหว่างแท่งดินที่ใช้ในการวัด

จากแผนภูมิทำให้ทราบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินและระยะของแท่งดินที่ใช้ในการวัด ซึ่งจะนำไปสู่ความเกี่ยวข้องกันของสภาพต้านทานไฟฟ้าและความลึกของดินชั้นต่างๆ ซึ่งมีผลต่อค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินในบริเวณนั้น โดยการแปลผลจากการวัดจากแผนภูมิ

การหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินด้วยวิธีแบบสี่จุดของ WENNER นี้เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ค่าที่ได้มีความถูกต้องเชื่อถือได้ และวิธีการวัดก็ไม่ซับซ้อน รวมทั้งไม่รบกวนหน้าดินที่ทำการวัดมากนัก

วิธีแบบสี่จุดมีผู้นำไปประยุกต์เปลี่ยนแปลงรูปแบบเพื่อใช้ในการหาทรัพยากรใต้ดิน หรือ วัดถั่วใต้ดิน เช่นรูปแบบของ SCHLUMBERGER-PALMER ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ SCHLUMBERGER-PALMER

รูปแบบการวัดแบบ SCHLUMBERGER-PALMER เกิดขึ้นเนื่องจากการวัดค่าแรงดันในรูปแบบของ WENNER จะได้ค่าน้อยมากถ้าระยะระหว่างแท่งดินมีค่ามาก จึงมีการเลื่อนแท่งดินวัดแรงดันให้เข้าไปใกล้กับแท่งดินจ่ายกระแส เพื่อให้วัดค่าแรงดันได้สูงขึ้น

รูปแบบการวัดแบบ SCHLUMBERGER-PALMER นี้เป็นที่แพร่หลายในการวัดเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะการหาทรัพยากรใต้ดิน เนื่องจากสำรวจทรัพยากรใต้ดินต้องใช้ระยะห่างระหว่างแท่งดินมาก และการสำรวจทรัพยากรใต้ดินมักใช้กระแสตรง (DC source) เพราะสามารถลงไปในดินได้ดีกว่า การวัดแรงดันจึงต้องให้แท่งดินอยู่ใกล้แท่งดินจ่ายกระแส การเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการวัดนี้ทำให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจากการวัดโดยใช้รูปแบบ SCHLUMBERGER-PALMER นี้เป็นไปตามสมการ 2.3

$$\rho = \frac{\pi c(c+d) R}{d} \quad (2.3)$$

2.3 การแปลความหมายจากการวัด

การแปลความหมายจากผลของการวัดที่ได้จากภาคสนามเป็นส่วนที่ซับซ้อนที่สุด [2] ดังที่ได้กล่าวถึงแล้วว่าค่าสภาพต้านทานมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ และช่วงของการเปลี่ยนแปลงนั้นมีค่ามาก และ ซับซ้อน เพราะความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของดินในโลก

การแปลความหมายจากการวัดโดยใช้วิธีที่ง่ายที่สุด เมื่อทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ระยะห่างของแท่งดินต่างๆกันและนำค่าสภาพต้านทานที่วัดได้ กับ ระยะห่างของแท่งดิน มาเขียนแผนภูมิ จะได้แผนภูมิที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.7 ความลึกของดินชั้นต่างๆ สามารถประมาณได้โดยวิธีต่างๆ ที่ได้จากประสบการณ์ของผู้ที่เคยทำการวัดและแปลผลหลายท่าน ดังนี้

(ก) วิธีของ Gish และ Rooney [2] กล่าวว่า จากแผนภูมิ ดินอีกชั้นหนึ่งจะอยู่ที่ความลึกเท่ากับระยะห่างระหว่างแท่งดินในแผนภูมิ ซึ่งเส้นแผนภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากรูปที่ 2.7 ที่ระยะห่างระหว่างแท่งดินประมาณ 20 เมตร มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแผนภูมิ ดังนั้นหมายความว่าที่ระยะความลึกของดิน 20 เมตรจะมีดินอีกชั้นหนึ่ง ในขณะที่ ที่ระยะห่างระหว่างแท่งดินประมาณ 60 เมตร มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแผนภูมิอีกครั้ง นั่นคือที่ระยะความลึกของดินประมาณ 60 จะมีดินอีกชั้นหนึ่ง นั่นคือมีดิน 3 ชั้น

(ข) วิธีของ Lancaster – Jones [2] กล่าวว่าความลึกของดินชั้นล่างอยู่ที่ $2/3$ ของระยะระหว่างแท่งดินซึ่งค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง

อย่างไรก็ตามวิธีการทั้งสองเป็นวิธีการที่ได้จากการสังเกต และประสบการณ์จากผู้ทำการวัดจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการสรุป เป็นแต่เพียงข้อสังเกตเพื่อช่วยแยกแยะเท่านั้น

ดังนั้นจึงมีการหาแบบจำลองที่สมมูลมาอธิบายลักษณะของดินที่ทำการวัด แบบจำลองนี้จะขึ้นอยู่กับ

- ความถูกต้องมากน้อยแค่ไหนของการวัด
- วิธีที่ใช้
- ความซับซ้อนของคณิตศาสตร์ที่ใช้
- วัตถุประสงค์ของการวัด

ในทางปฏิบัติมีการจำลองดินเป็นแบบจำลอง 3 แบบดังนี้

1. สภาพต้านทานไฟฟ้าสม่ำเสมอตลอด
2. สภาพต้านทานไฟฟ้าสม่ำเสมอในแนวราบในดินแต่ละชั้น (ดินมี 2 ชั้น)
3. สภาพต้านทานแปรผันแบบ Exponential

แบบจำลองใดจะใช้ได้ดีที่สุด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวัด แต่โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองดินสองชั้นมักจะให้ผลลัพธ์ที่ดี เพราะมีความถูกต้องเพียงพอ และคณิตศาสตร์ที่ใช้ก็ไม่ ซับซ้อนมากนัก

ในวิทยานิพนธ์นี้จะไม่กล่าวถึงเรื่องการแปลความหมายจากการวัด และการแบบจำลองของดิน เพราะการแปลความหมายจากการวัดเป็นเรื่องที่ต้องใช้ประสบการณ์ของผู้แปลเป็นหลัก ข้อมูลอย่างเดียวกันผู้แปลแต่ละคนก็จะแปลผลออกมาแตกต่างกัน ซึ่งก็จะทำให้การจำลองดินแตกต่างกันไปด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

หลักการออกแบบและประกอบสร้างเครื่องวัด ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและประกอบสร้างเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน โดยใช้ ANSI/IEEE Std 81-1993 (Revision of IEEE Std81-1962) และ ข้อเสนอแนะของ Tagg,G.F ใน Earth Resistances เป็นหลักในการออกแบบ

การออกแบบเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้านี้จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

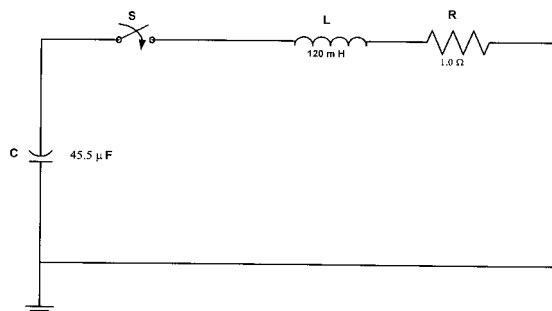
3.1 แหล่งจ่ายกระแสดิน

แหล่งจ่ายกระแสดินจะเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง หรือกระแสสลับก็ได้ แล้วแต่ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการได้จากการวัด

ในการออกแบบนี้จะใช้ แหล่งจ่ายกระแสดินจะเป็นแหล่งจ่ายกระแสสลับ Sine Wave ความถี่ 60-70 Hz จ่ายกระแสได้สูงสุด 500 mA ที่แรงดัน 300 V โดยมีแบตเตอรี่ 12 VDC เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

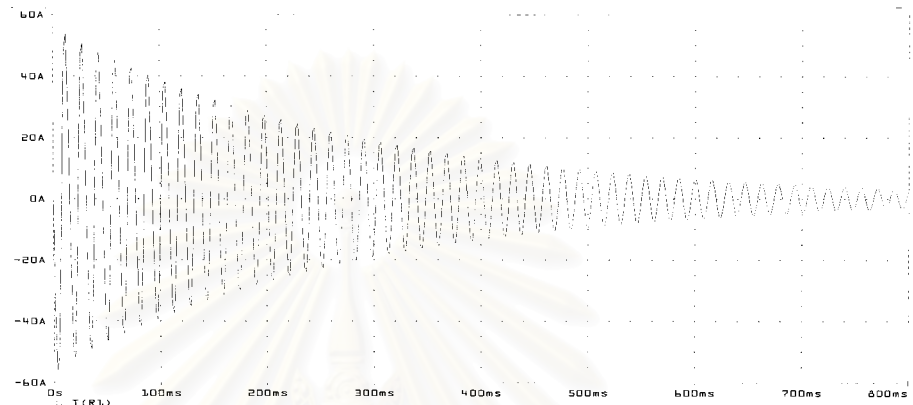
แหล่งจ่ายกระแสดินประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.1.1 วงจร oscillation เป็นวงจร RLC ในเบื้องต้นได้มีการจำลองวงจร oscillation โดยใช้โปรแกรม PSPICE โดยการปรับค่าของ R , L และ C จนได้รูปคลื่น SINE ที่มีความถี่ที่ต้องการ

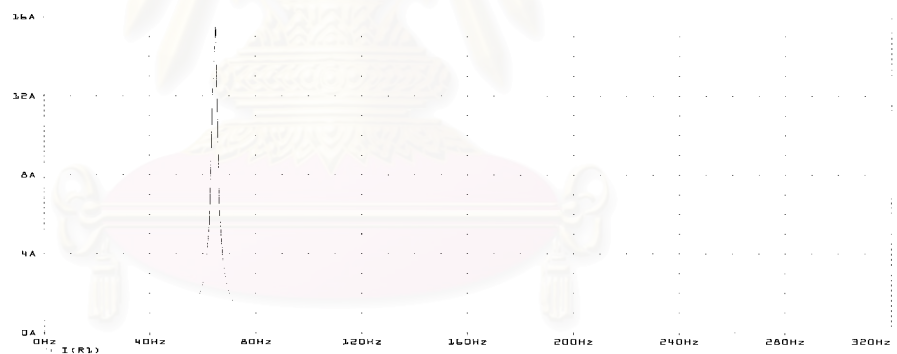


รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองแหล่งกำเนิดคลื่น SINE

ซึ่งเมื่อทำการ Simulation จะได้รูปคลื่นที่มีความถี่ประมาณ 60-70 Hz ดังรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ผลการจำลองจากวงจรกำเนิดคลื่นรูป SINE



รูปที่ 3.3 Fast Fourier Transform ของผลการจำลอง

เมื่อได้สัญญาณรูป SINE ความถี่ที่ต้องการแล้ว ก็ทำการขยายสัญญาณโดย Amplify Transistor เบอร์ MJ 2955 10 ตัว ซึ่ง MJ 2955 แต่ละตัวให้กำลังได้สูงสุด 30 วัตต์ ก็จะได้คลื่นรูป SINE ที่มีกำลัง 300 วัตต์

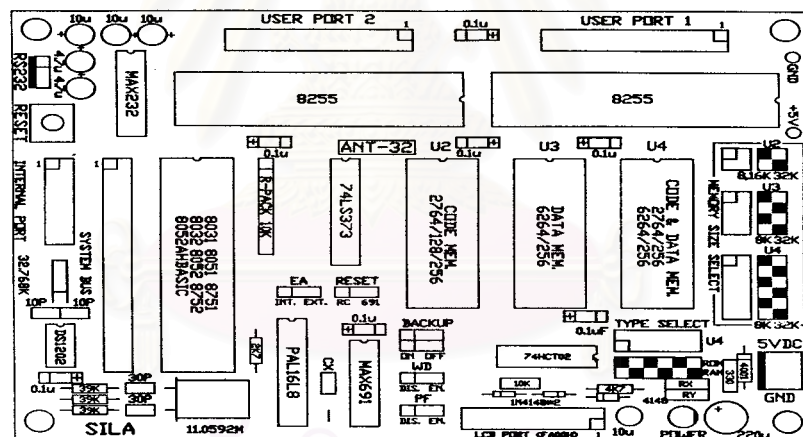
3.1.2 หม้อแปลง Step up เพื่อที่จะเพิ่มแรงดันคลื่นรูป SINE จาก 12 V เป็น 300 V โดยได้ตั้ง พันหม้อแปลงขนาด 400 VA input 12 V output 300 V

3.1.3 ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น Fuse กันกระแสลัดวงจร , มิเตอร์แสดงแรงดัน input 12 V และ output 300 V และ แผ่นเหล็กระบายความร้อน (Heat sink) สำหรับ Amplify Transistor และหม้อแปลง

3.2 ส่วนควบคุม

เครื่องวัดนี้ได้ออกแบบให้สามารถใช้แท่งดินในการวัดได้ 10 คู่ โดยในการวัดแบบสี่จุดนั้นการวัดแต่ละครั้งต้องใช้ แท่งดิน 2 คู่ โดยคู่แรกจะทำการส่งกระแสลงดิน และอีกคู่หนึ่งทำการวัดแรงดันในดิน อัตราส่วนของแรงดันที่วัดได้ ต่อ กระแสที่จ่ายลงไปที่คือค่าความต้านทานดินที่ระยะห่างระหว่างแท่งดินค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความต้านทานนี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินได้

การออกแบบส่วนควบคุมได้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ANT-32 cpu เบอร์ 80C32 ในตระกูล MCS-51 ของบริษัท ซิลาร์โรอิซ์ จำกัด ดังรูปที่ 3.4 ในการควบคุมการเลือกแท่งดินจ่ายกระแสลงดิน และ แท่งดินในการวัดแรงดันจากดิน



รูปที่ 3.4 บอร์ด ANT-32 ที่ใช้ในการควบคุม

คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32 มีดังนี้

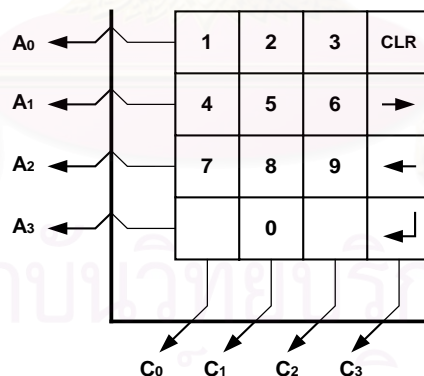
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ใช้ซีพียู 80C32 ขนาด 8 บิต ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 11.0592 MHz
- ภายในมีหน่วยความจำ 3 ตำแหน่งคือ PROGRAM MEMORY ขนาด 8-32 กิโลไบต์ , DATA MEMORY ขนาด 8-32 กิโลไบต์ และ PROGRAM AND DATA MEMORY ขนาด 8-32 กิโลไบต์

- มีพอร์ต I/O เบอร์ 8255 จำนวน 2 พอร์ต (48 บิต)
- มีพอร์ต LCD สำหรับต่อใช้งานโดยตรง
- มีวงจรถ่าย SERIAL INTERFACE DRIVER RS232 ด้วยชิพ MAX232 สำหรับใช้ในการ INTERFACE กับคอมพิวเตอร์
- มีวงจรถ่าย WATCHDOG TIMER , POWER UP/DOWN RESET ด้วยชิพ MAX691
- มี REAL TIME CLOCK ใช้ชิพ เบอร์ DS1202
- มี CONNECTOR สำหรับ SYSTEM BUS สามารถขยายบอร์ดได้ในอนาคต

ซึ่งจะมีรายละเอียดของ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32 กล่าวอยู่ในภาคผนวก ก.

3.2.1 ส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์

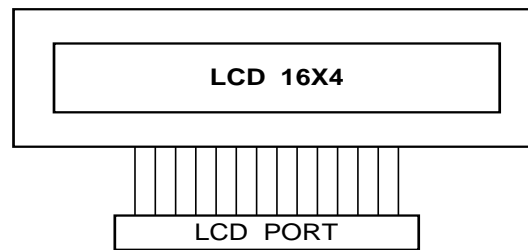
ในส่วนนี้ใช้คีย์บอร์ดแบบเมตริกซ์ ขนาด 4X4 ในการป้อนรหัสคำสั่ง , การเลือกแท่งดิน และค่าตัวแปรต่างๆ โดยต่อคีย์บอร์ดนี้เข้ากับพอร์ต 8255 พอร์ตที่ 2 ของบอร์ด ANT-32 ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 คีย์บอร์ดที่ต่อเชื่อมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 ส่วนแสดงผล

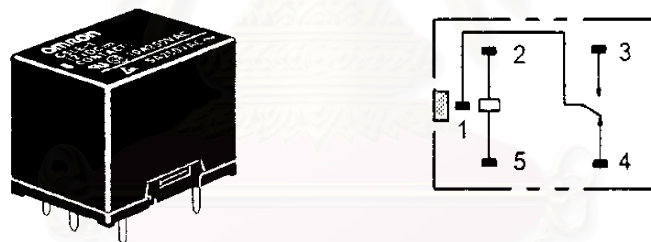
ส่วนแสดงผลจะใช้เป็นแบบผลึกเหลว หรือ LCD โมดูล ขนาด 16X4 ตัวอักษร (DOT MATRIX LCD) ซึ่งจะต่อ LCD โมดูล เข้าที่ LCD PORT ของบอร์ด ANT-32 ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อ LCD กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.3 ส่วนจ่ายกระแสลงดิน และวัตต์แรงดันจากดิน

ในส่วนนี้จะจ่ายกระแสที่ได้จากแหล่งจ่าย ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเลือกแหล่งจ่ายกระแส และแหล่งดินวัตต์แรงดัน โดยใช้รีเลย์(Relay) เป็นตัวเปิดปิดเลือกแหล่งดิน ในที่นี้ใช้รีเลย์ OMRON G5LE-14-ACD ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งใช้ไฟ 12 VDC ในการควบคุมการปิดเปิด



รูปที่ 3.7 รูปรีเลย์ OMRON G5LE-14-ACD และวงจรรภายใน

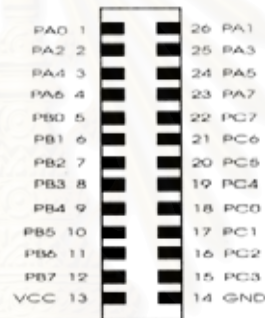
ในการออกแบบนั้น ได้ออกแบบให้แหล่งดินทุกแห่งสามารถเป็นได้ทั้งแหล่งดินส่งกระแส และแหล่งดินวัตต์แรงดัน ดังนั้นจึงต้องใช้รีเลย์ 4 ตัว ต่อแหล่งดิน 1 แห่ง นั่นคือแหล่งดินทั้งหมด 20 แห่งต้องใช้ รีเลย์ ทั้งหมด เท่ากับ $4 \times 20 = 80$ ตัว

การที่จะให้รีเลย์ สามารถปิดเปิดได้ตามต้องการนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งชุด ข้อมูลผ่านมาทางพอร์ต 8255 ดังรูปที่ 3.8 แล้วส่งผ่านต่อให้ไอซี SN74LS374N ซึ่งเป็น Octal D flip-flop with 3 State Output ดังรูปที่ 3.9 เพื่อทำการจัดรูปแบบปิดเปิดเป็น Matrix

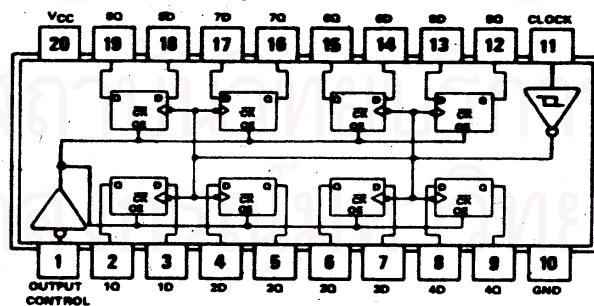
โดยที่ PA0-PA7 ในพอร์ต 8255 พอร์ตที่ 1 ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเป็นข้อมูลในการปิดเปิดรีเลย์ ส่วน PB0-PB7 และ PC0-PC1 จะเป็นสัญญาณไปที่ขา clock ของ ไอซี SN74LS374 เพื่อให้ทำการส่งข้อมูลปิดเปิดรีเลย์ไปที่ขา output

จากนั้นก็ส่งสัญญาณปิดเปิดรีเลย์จากขา Output ของไอซี SN74LS374 ไปให้ไอซี ULN2803 ซึ่งเป็น ไอซี 8unit Darlington Array/Driver ดังรูปที่ 3.10 เพื่อทำการขับเคลื่อนรีเลย์ ต่อไป

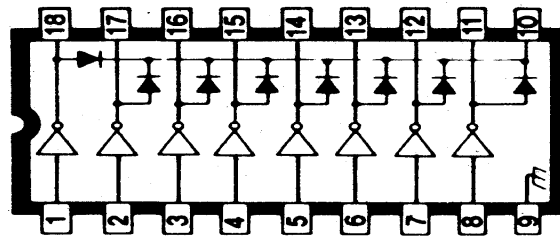
ไอซี SN74LS374N 1 ตัวสามารถรับข้อมูลในการปิดเปิดรีเลย์ได้ 8 คำสั่ง เมื่อมีรีเลย์ 80 ตัว จึงต้องใช้ ไอซี SN74LS374N ทั้งหมด 10 ตัว ส่วนไอซี ULN 2803 1 ตัว สามารถใช้ขับรีเลย์ ได้ 8 ตัว ดังนั้น ต้องใช้ไอซี ULN 2803 ทั้งหมด 10 ตัว



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งที่ส่งข้อมูลของ พอร์ต 8255 ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

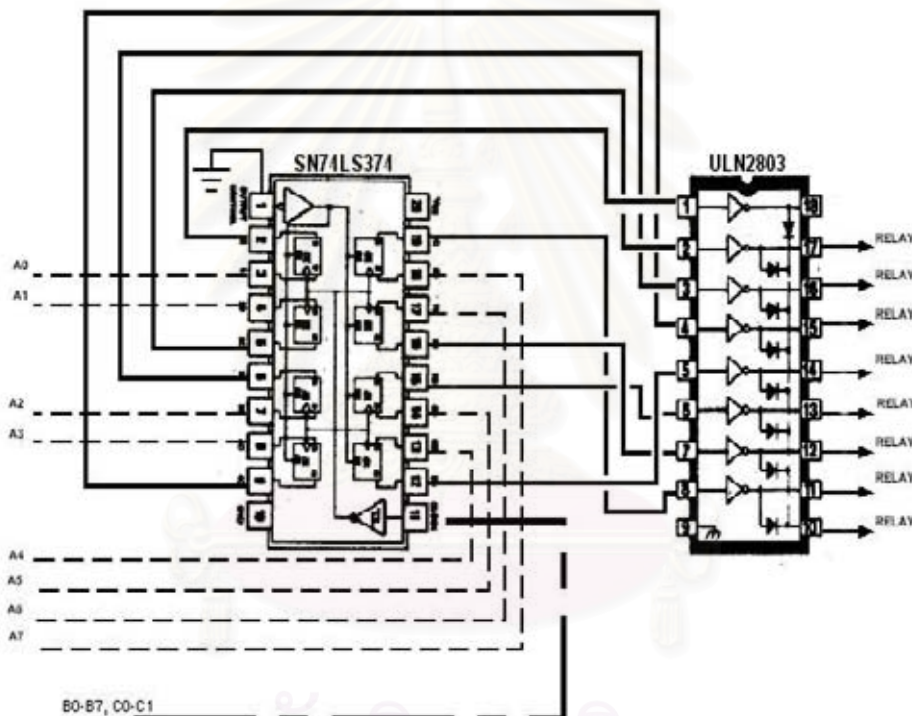


รูปที่ 3.9 วงจรภายในไอซี SN74LS374N (Octal D flip-flop with 3 state output)



รูปที่ 3.10 วงจรภายใน ไอซี ULN 2803 (8unit Darlington Array/Driver)

แผนภาพสรุปการควบคุมการปิดเปิด Relay ซึ่งควบคุมโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงการควบคุมรีเลย์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

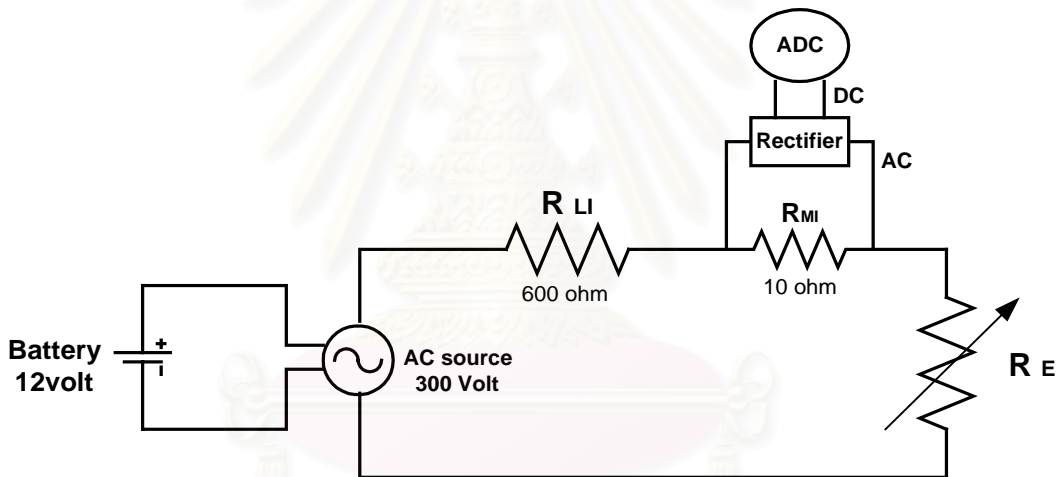
3.2.4 ส่วนการวัดค่ากระแสที่ส่งลงดิน และ แรงดันจากดิน

กระแสที่ส่งลงดินเป็นกระแสสลับ แรงดัน 300 โวลต์ 300 วัตต์ นั้นคือสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมแปร์ แต่จะจำกัดกระแสให้ไหลลงดินได้เพียง 500 มิลลิแอมแปร์ตามข้อแนะนำของ ANSI/IEEE Std 81-1993 (Revision of IEEE Std81-1962) จึงใช้ตัวต้านทาน R_{\perp} ขนาด 600 โอห์ม มาต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายกระแส

แสงลงดิน ซึ่งจะทำให้กระแสไหลลงดินเท่ากับ $300/600 = 500$ มิลลิแอมแปร์ โดยคิดว่าความต้านทานของดิน R_E อาจจะมีค่าน้อยมากจนเสมือนกับลัดวงจร คำนวณ ที่ตัวต้านทาน R_L จะได้รับมีค่าเท่ากับ $300 \times 0.5 = 150$ วัตต์ จึงใช้ความต้านทานแบบเส้นลวดพัน (WIRE WOUND) หุ้มด้วยเซรามิกส์ ขนาด 600 โอห์ม ทนกำลังไฟฟ้าได้ 200 วัตต์

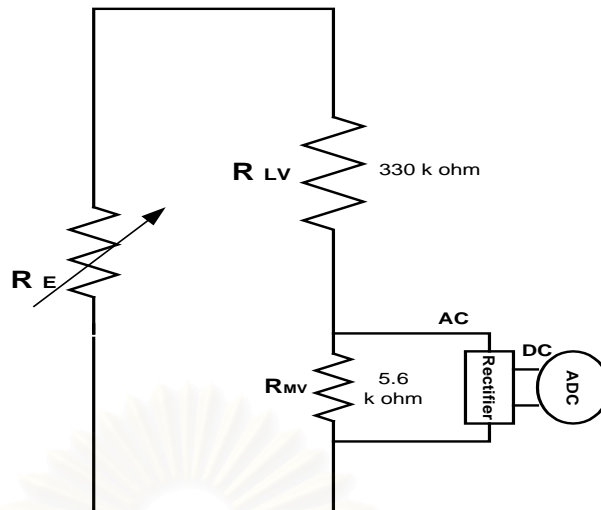
ในส่วนที่จะวัดกระแสที่ส่งลงดินจะใช้การวัดแรงดันตกคร่อม R_{MI} ซึ่งแรงดันตกคร่อม R_{MI} นี้จะเป็นสัดส่วนกับค่ากระแสที่ไหลผ่าน R_{MI} ดังนั้นค่าแรงดันตกคร่อมจะถูกเรียงกระแสให้เป็นแรงดันกระแสตรงโดย Rectifier ซึ่งแรงดันนี้จะส่งเข้า ACD ซึ่งมีเงื่อนไขว่าแรงดันกระแสตรงต้องอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ คำนวณและเทียบกลับเป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านลงดิน ในที่นี้ใช้ R_{MI} เท่ากับ 10 โอห์ม ทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 วัตต์

ดังนั้นวงจรที่ส่งกระแสลงดิน และส่วนวัดกระแสลงดินแสดงโดยรูปที่ 3.12



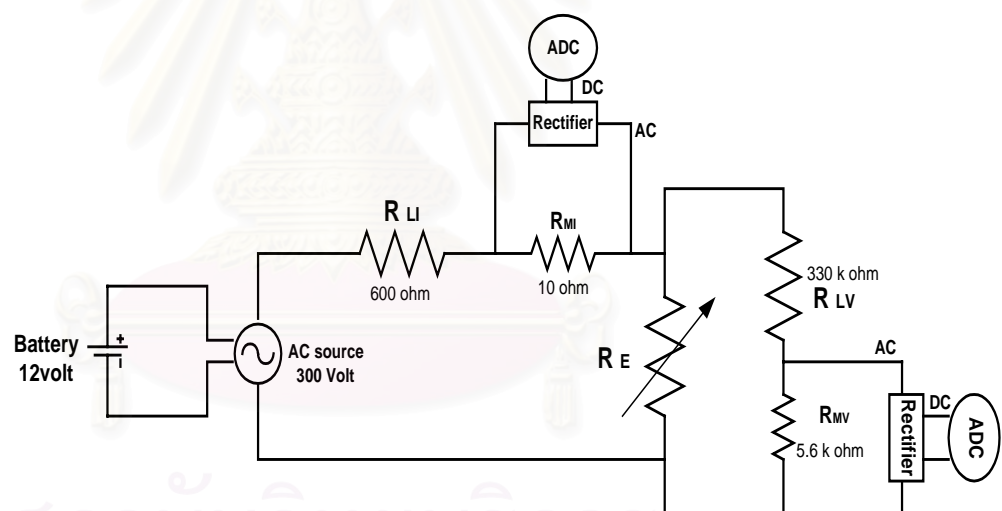
รูปที่ 3.12 วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสที่ส่งลงดิน

ในส่วนที่จะวัดแรงดันจากดินนั้นเป็นไปตามวงจรรูป 3.13 โดยแรงดันจากดินจะผ่านวงจรแบ่งแรงดัน โดยเงื่อนไขที่ว่าแรงดันที่จะผ่านเข้าไปที่ ADC จะอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ จึงใช้ความต้านทาน R_{LV} เท่ากับ 330 กิโลโอห์ม และความต้านทาน R_{MV} เท่ากับ 5.6 กิโลโอห์ม ซึ่งมีอัตราส่วน 59 : 1 มาเป็นวงจรแบ่งแรงดัน โดยจะคิดว่าแรงดันสูงสุดจากดินคือ 300 โวลต์เมื่อผ่านวงจรแบ่งแรงดันจะได้แรงดันคร่อม R_{MV} เท่ากับ $(5.6/335.6) \times 300 = 5.00$ โวลต์ ซึ่งแรงดันนี้จะถูกเรียงกระแสให้เป็นแรงดันกระแสตรงโดย Rectifier แล้วส่งผ่านเข้าไปที่ ADC เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ คำนวณและเทียบกลับเป็นค่าแรงดันจากดิน



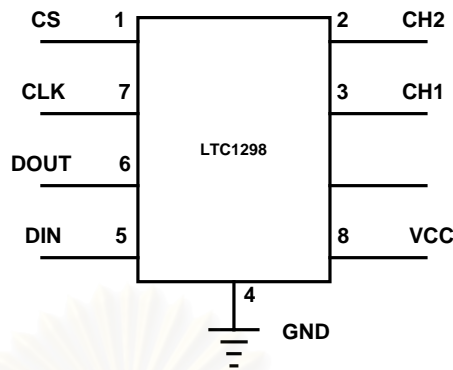
รูปที่ 3.13 วงจรที่ใช้วัดค่าแรงดันจากดิน

สามารถสรุปวงจรที่ใช้วัดค่ากระแสที่ส่งลงดินและแรงดันจากดินดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรที่ใช้วัดค่ากระแสที่ส่งลงดินและแรงดันจากดิน

เนื่องจากกระแสที่ส่งลงดิน และแรงดันที่วัดได้จากดิน เป็น Analog ดังนั้นจึงต้องใช้ Analog to Digital Converter (ADC) เพื่อแปลง Analog ให้เป็น Digital เพื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าและนำไปคำนวณได้ ในส่วนนี้ได้ใช้ ไอซีเบอร์ LTC 1298 ซึ่งเป็น ADC แบบ Serial ADC จำนวน 2 ช่องสัญญาณ 12 บิต (4096 ระดับ) ดังรูปที่ 3.15 โดยช่องสัญญาณที่ 1 ใช้แปลงค่ากระแส และช่องสัญญาณที่ 2 ใช้แปลงค่าแรงดัน ซึ่งสามารถต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านทาง INTERNAL PORT



รูปที่ 3.15 ไอซี ACD LTC1298

3.3 ส่วนโปรแกรมควบคุม และ การเชื่อมต่อ(INTERFACE)

3.3.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนนี้มีแนวคิดในการออกแบบมีแนวความคิดที่ต้องการให้ผู้ใช้ทุกระดับสามารถใช้เครื่องวัดนี้ได้ มีลำดับและขั้นตอนการทำงานที่ง่าย เพราะมีจอแสดงผลแสดงข้อความให้ผู้รู้ และป้อนข้อมูลตามลำดับขั้นผ่านทางคีย์บอร์ดแบบเมตริกซ์ขนาด 4X4 แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำงานตามที่ต้องการต่อไป

ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นภาษาแอสเซมบลี เพราะเป็นภาษาที่สามารถลงลึกได้ถึงรายละเอียดอุปกรณ์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มากที่สุด แม้จะมีปัญหาเรื่องการตรวจสอบความถูกต้องและค้นหาจุดที่ผิดพลาดก็ตาม

โปรแกรมที่พัฒนานี้มีองค์ประกอบดังนี้

1) ไฟล์ EARTH.ASM เป็น ไฟล์โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด

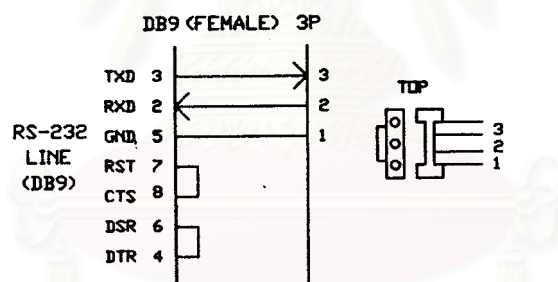
2) ไฟล์ EARTH.HEX เป็นไฟล์ที่ได้จากการคอมไพล์โปรแกรม EARTH.ASM ด้วย ASSEMBLER

เมื่อได้ ไฟล์ HEX แล้วก็นำโปรแกรมดังกล่าวมา burn ลงใน EPROM ซึ่งใช้ EPROM เบอร์ NM27C64 หน่วยความจำ 8 กิโลไบต์ จากนั้นนำ EPROM ใส่ลงในบอร์ดคอนโทรลเลอร์ให้เรียบร้อย ก็สามารถทำงานได้ตามโปรแกรมควบคุมทันที

รายละเอียดของโปรแกรม EARTH.ASM และ EARTH.HEX จะมีอยู่ที่ภาคผนวก ข.

3.3.2 ส่วนเชื่อมต่อ (INTERFACE)

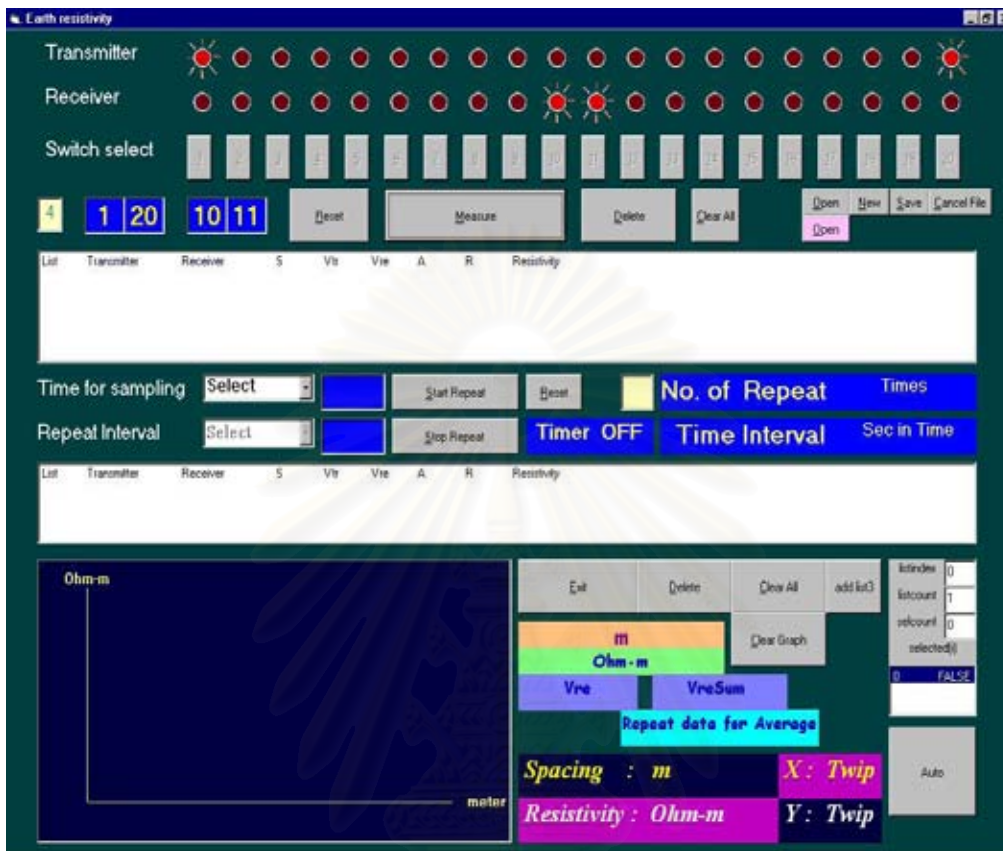
ในส่วนการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Interface) ในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีขั้ว RS232 เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ จึงได้ทำการต่อสายออกมาที่ขั้ว DB9 (FEMALE) เพื่อต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การต่อสาย RS232 กับ DB9

โปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อ ระหว่างคอมพิวเตอร์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้เป็นโปรแกรมภาษา VISUAL BASIC เนื่องจากเป็นภาษาที่มีการแสดงหน้าจอที่เข้าใจง่าย , สวยงามและสามารถนำเอาโปรแกรมอื่น ๆ มาเชื่อมต่อได้ง่าย

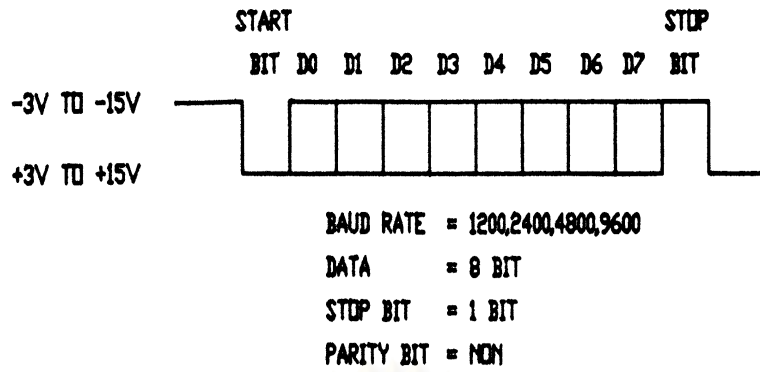
โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานตามที่ต้องการ, เก็บข้อมูล และคำนวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ซึ่งใช้ชื่อไฟล์ว่า LINKEARTH.VBP ซึ่งเมื่อ RUN จะมีหน้าจอ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หน้าจอขณะ RUN โปรแกรม LINKEARTH

โปรแกรม LINKEARTH นี้ออกแบบมาให้ใช้งานง่าย สามารถเลือกแท่งดินได้โดยใช้เมาส์ไปคลิกเลือก ปุ่มที่แสดงตำแหน่งของแท่งดินก็จะมีไฟแสดงว่าได้เลือกแล้ว และยังมีเลขกำกับบอกแท่งดินที่ส่งกระแสลงดิน และ รับแรงดันจากดิน สามารถวัดซ้ำ ตั้งช่วงเวลาในการวัด รวมทั้งจะมีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานกับระยะทางระหว่างแท่งดินด้วย

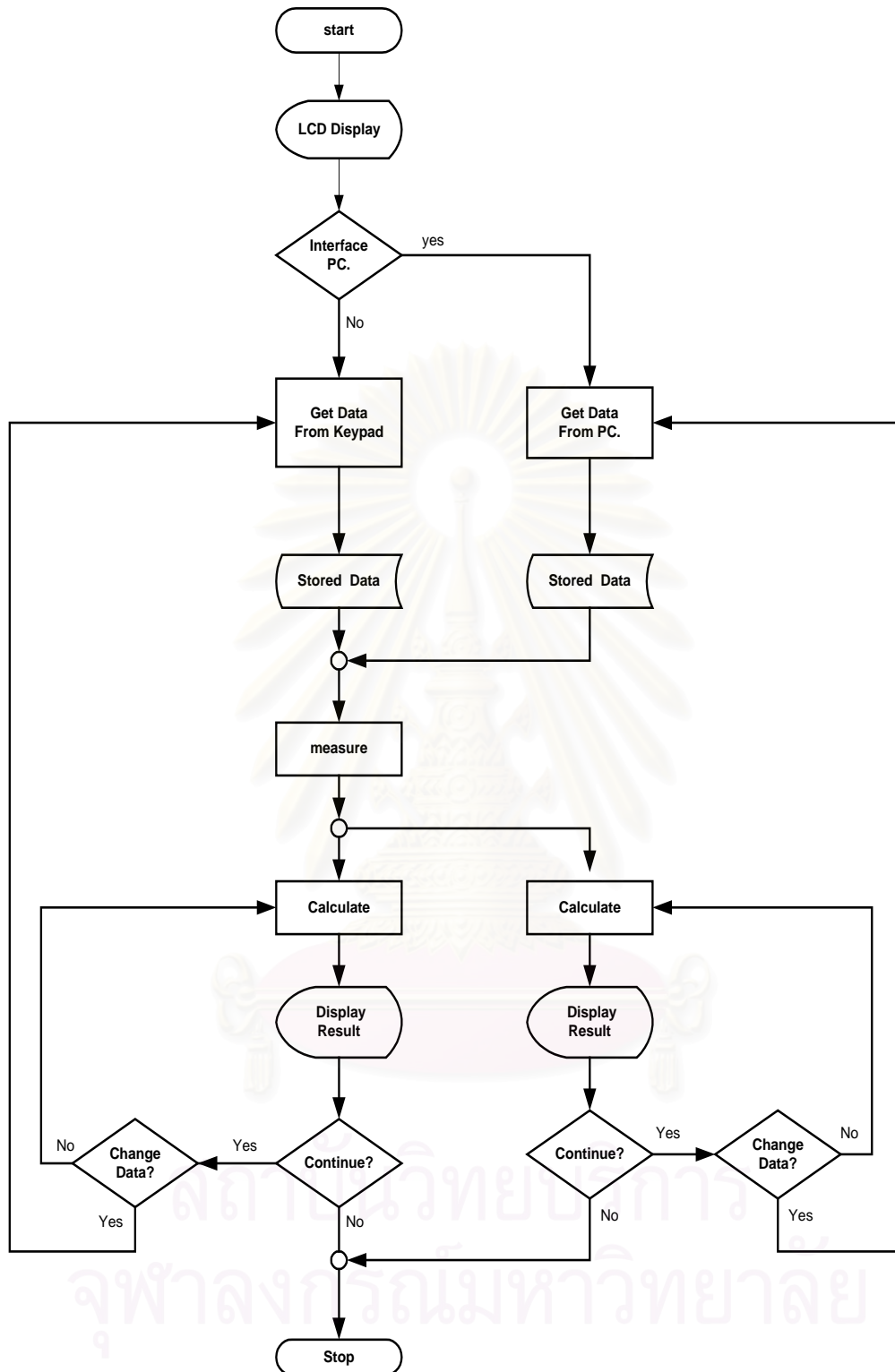
การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และ คอมพิวเตอร์ จะรับส่งข้อมูลแบบ 8 บิต รูปแบบการรับส่งจะเป็น 8N1 โดยที่ 8 คือจำนวนบิต , N คือ บิตตรวจสอบ (PARITY BIT)ในที่นี่ไม่ได้ใช้ และ 1 คือ STOP BIT ความเร็วในการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 9600 บิตต่อวินาที ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 รูปแบบของข้อมูลที่รับส่งระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ คอมพิวเตอร์

โครงสร้างโปรแกรมคำสั่งให้เครื่องทำงานสัมพันธ์กับฮาร์ดแวร์ โดยกำหนดแผนภาพการทำงานของโปรแกรม (Flow Chart) เป็นไปตามแผนภาพดังรูปที่ 3.19

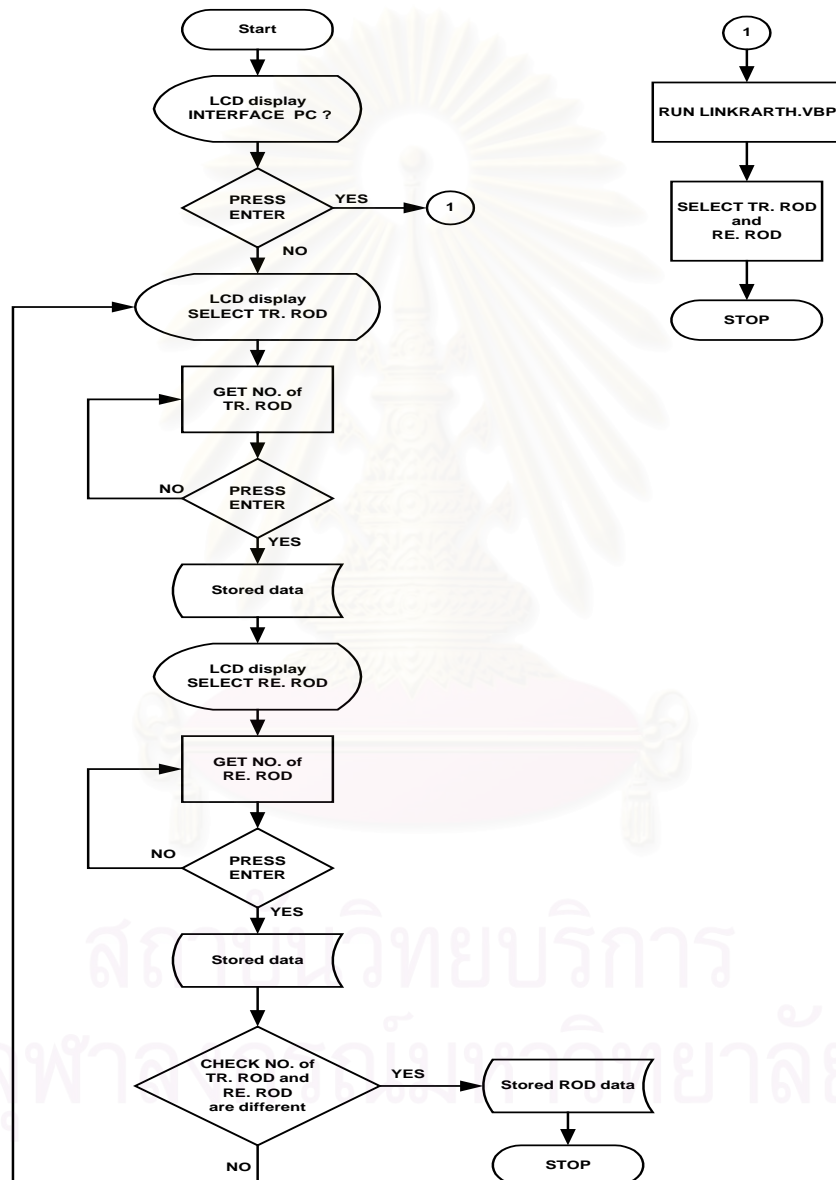
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.19 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม

3.3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมเพื่อรับส่งข้อมูล

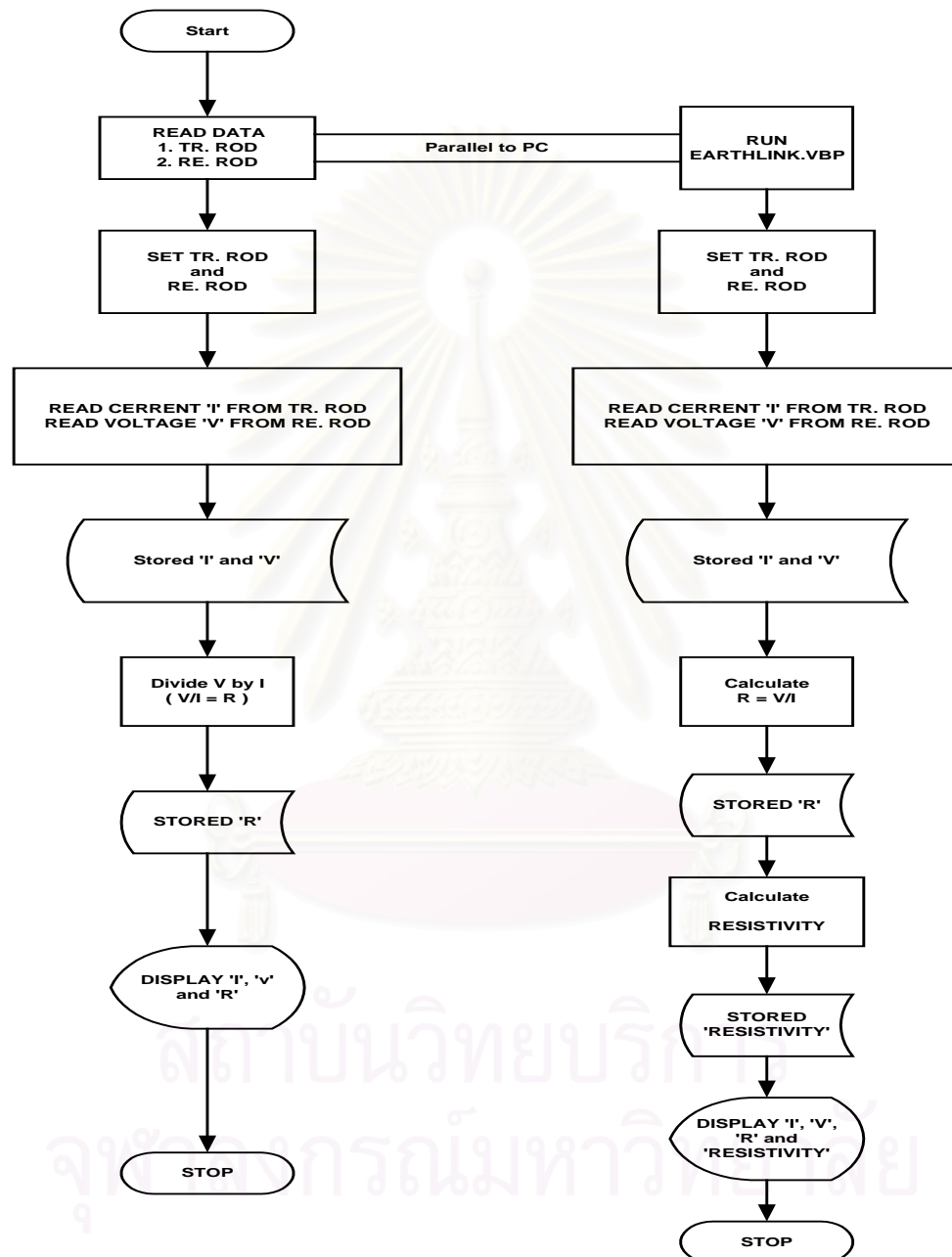
รูปที่ 3.20 เป็นแผนภาพแสดงถึงลำดับขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะรับข้อมูลที่
ต้องการต่างๆจากผู้ใช้โดยผ่านทางคีย์บอร์ดแบบเมตริกซ์ 4X4 โดยจะมีหน้าปัดแสดงข้อความแนะนำทางจอ
แสดงผล LCD หรือเมื่อมีการเชื่อมโยงโดยคอมพิวเตอร์ก็สามารถติดต่อผ่านทางคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์,
เมาท์ โดยจะแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเพื่อรับส่งข้อมูล

3.3.4 ขั้นตอนการส่งงานของโปรแกรมควบคุม

รูปที่ 3.21 แสดงให้เห็นขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หลังจากได้รับข้อมูลที่ต้องการจากผู้ใช้แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็นำข้อมูลดังกล่าวมาส่งการควบคุมด้วยสถานะ ลอจิกต่างๆให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมโยงอยู่ให้ทำงานตามที่ต้องการ

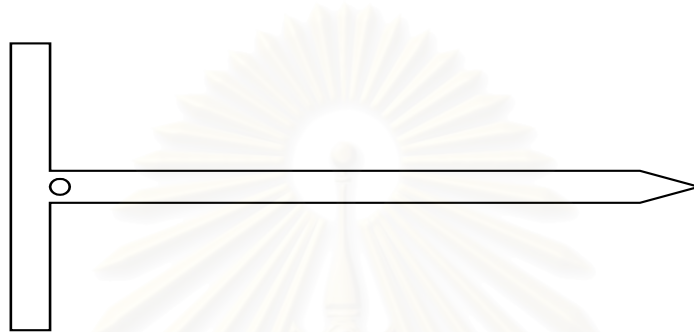


รูปที่ 3.21 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม

3.4 ส่วนประกอบอื่นๆ

นอกจากตัวเครื่องแล้วยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นที่จำเป็นสำหรับการวัดเพื่อให้การวัดสมบูรณ์และมีความถูกต้องมากขึ้นดังต่อไปนี้

- แท่งดิน ใช้เหล็กกล้ากันสนิม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ปลายด้านหนึ่งทำให้แหลมเพื่อง่ายในการปักลงดิน ปลายอีกข้างหนึ่งเชื่อมติดกับแท่งเหล็กอีกแท่งเพื่อเป็นที่จับในการปักลงดิน หรือ ถอนแท่งเหล็กขึ้นจากดิน เจาะรูเพื่อให้สามารถเสียบปลั๊กแบบ BANANA ได้ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 รายละเอียดของแท่งดิน

- สายไฟที่ใช้เป็นสายไฟชนิดฉนวนดีเป็นเกลียวขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร สามารถรับกระแสสูงสุดได้ 14 แอมแปร์ เป็นสายไฟชนิดสูญเสียต่ำมีความต้านทาน 1 โอห์ม ต่อ 100 เมตร
- แบตเตอรี่ใช้แบบเซลล์แห้งขนาด 12 โวลต์ 12 AH
- วงจรแปลงแรงดัน เนื่องจากแหล่งจ่ายมีเพียงแบตเตอรี่ 12 โวลต์ แต่วงจรของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ไอซีบางตัวใช้แรงดันเพียง 5 โวลต์จึงต้องมีวงจรแปลงแรงดันจาก 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ โดยใช้ ไอซีเบอร์ LM 7805K ซึ่งเป็นไอซี เรกกูเรต แรงดัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินมีเป้าหมายในการวิเคราะห์ดินเพื่อให้ทราบว่าดินมีสมบัติอย่างไร มีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำหรือสูง การเรียงตัวของดินเป็นกี่ชั้น ฯลฯ เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลนั้นมาทำการออกแบบระบบบรากสายดินให้มีประสิทธิภาพ

การทดสอบได้ทำการทดสอบโดยใช้ระยะระหว่างแท่งดินต่างๆ เพื่อที่จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินที่วัด กับ ระยะระหว่างแท่งดิน เพื่อแปลผลที่ได้มาวิเคราะห์การแยกตัวของดินชั้นต่างๆ ซึ่งอาจมีผลต่อค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน

4.1 การทดสอบวัด

ดินที่พบเห็นในประเทศเราโดยมากเป็นดินเหนียว อาจมีการถมหน้าดินด้วยดินร่วนเพื่อปลูกหญ้าหรือไม้ประดับ แต่ได้ดินลงไปก็มักเป็นดินเหนียวซึ่งในหน้าแล้งแม้จะดูแลแต่กระแจะแต่ก็ยังมีน้ำอยู่ใต้ดินมากมาย ในครั้งนี้จึงลองวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินธรรมชาติชั้นที่มักเห็นกันอยู่ก่อน แล้วจึงวัดดินลูกรังซึ่งมีสภาพแห้งมาก

4.1.1 ดินชั้น

การทดสอบวัดดินที่ค่อนข้างมีความชื้นซึ่งเป็นดินบริเวณถนนพุทธมณฑลสาย 3 มีการถมดินกั้นน้ำท่วม ดังรูปที่ 4.1 วันที่ไปทำการทดสอบวัดลักษณะดินค่อนข้างชื้นเพราะเพิ่งฝนตก ทำการวัดโดยการต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ โดยวัดตั้งแต่ระยะระหว่างแท่งดินเท่ากับ 1 เมตรจนถึง 30 เมตร หน้าจอขณะทำการวัดแสดงในรูปที่ 4.2 ผลการวัดแสดงในตารางที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

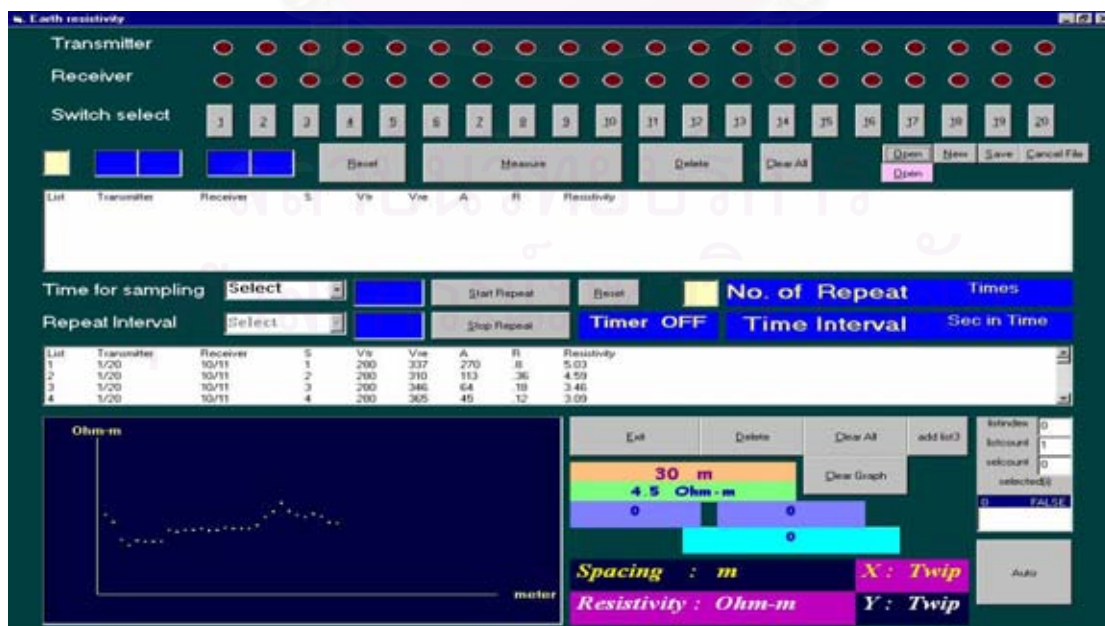


รูป 4.1 รูปถ่ายสภาพของดินที่ทำการวัด ซึ่งดินมีสภาพชื้นมาก

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการวัดที่ดินชั้น

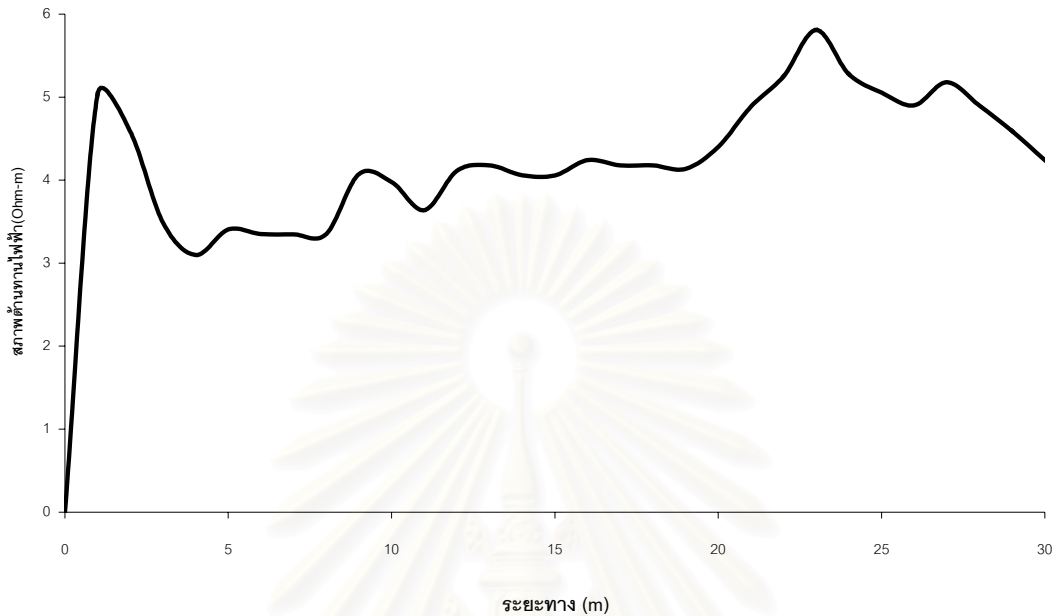
ระยะระหว่าง แท่งดิน (m.)	กระแส (mA)	แรงดัน (mV)	ความต้านทาน(Ohm)	สภาพต้านทาน(Ohm-m)
0	0	0	0	0
1	337	270	0.801	5.03
2	310	113	0.365	4.58
3	346	64	0.185	3.49
4	365	45	0.123	3.10
5	369	40	0.108	3.41
6	360	32	0.089	3.35
7	368	28	0.076	3.35
8	360	24	0.067	3.35
9	361	26	0.072	4.07
10	379	24	0.063	3.98
11	380	20	0.053	3.64
12	385	21	0.055	4.11
13	391	20	0.051	4.18

ระยะระหว่างแท่งดิน (m.)	กระแส (mA)	แรงดัน (mV)	ความต้านทาน(Ohm)	สภาพต้านทาน(Ohm-m)
14	390	18	0.046	4.06
15	395	17	0.043	4.06
16	403	17	0.042	4.24
17	409	16	0.039	4.18
18	406	15	0.037	4.18
19	404	14	0.035	4.14
20	400	14	0.035	4.40
21	405	15	0.037	4.89
22	395	15	0.038	5.25
23	398	16	0.040	5.81
24	400	14	0.035	5.28
25	404	13	0.032	5.05
26	400	12	0.030	4.90
27	393	12	0.031	5.18
28	395	11	0.028	4.90
29	397	10	0.025	4.59
30	400	9	0.023	4.24



รูปที่ 4.2 หน้าจอขณะทำการวัดกรณี้ดินชั้น

เมื่อนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและระยะระหว่างแท่งดินมาเขียนแผนภูมิจะได้แผนภูมิดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินกับระยะห่างระหว่างแท่งดินในกรณีดินชั้น

จากรูปที่ 4.3 ถ้าแปลความหมายจากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าเส้นแผนภูมิมีการเปลี่ยนแปลงที่ระยะประมาณ 2 เมตร ดังนั้นหมายความว่าที่ระยะลึกประมาณ 2 เมตรจะมีการเปลี่ยนของชั้นดินครั้งหนึ่งซึ่งอาจเกิดจากดินที่นำมามาก นอกจากนี้จะเห็นว่าเส้นแผนภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งที่ระยะประมาณ 22-24 เมตร ก็หมายความว่าที่ความลึกประมาณ 23 เมตรก็จะมีการเปลี่ยนของชั้นดินอีกครั้ง

การแปลความหมายจากแผนภูมิเป็นการแปลความหมายโดยประมาณ เป็นส่วนที่ยาก มักเป็นการแปลความหมายที่ได้จากประสบการณ์ของคนวัดความถูกต้องจึงมีไม่มาก

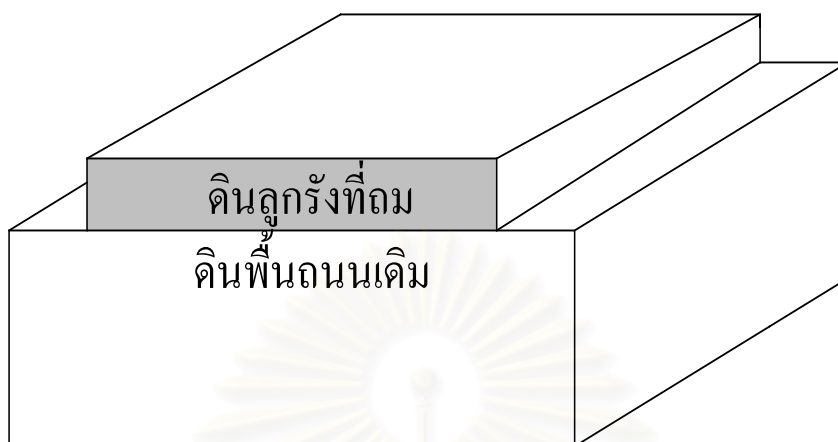
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ดินแข็ง

ได้ทำการทดสอบวัดอีกครั้งกับดินแข็งซึ่งค่อนข้างไม่มีความชื้นที่ผิวดิน ทำการวัดที่บริเวณงานก่อสร้างถนนระแวกสุพรรณบุรี ซึ่งมีการเทดินลูกรังแห้งถมถนนหนาประมาณ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ได้ใช้

เครื่องวัดโดยการต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์โดยเพิ่มระยะระหว่างแท่งดินจาก 1 เมตรจนถึง 30 เมตร หน้าจอขณะทำการวัดแสดงในรูปที่ 4.5 ผลการวัดแสดงในตาราง ที่ 4.2

รูปที่ 4.4 ลักษณะชั้นดินที่เกิดจากการถมดินลูกรัง



ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากการวัดที่ดินแห้ง

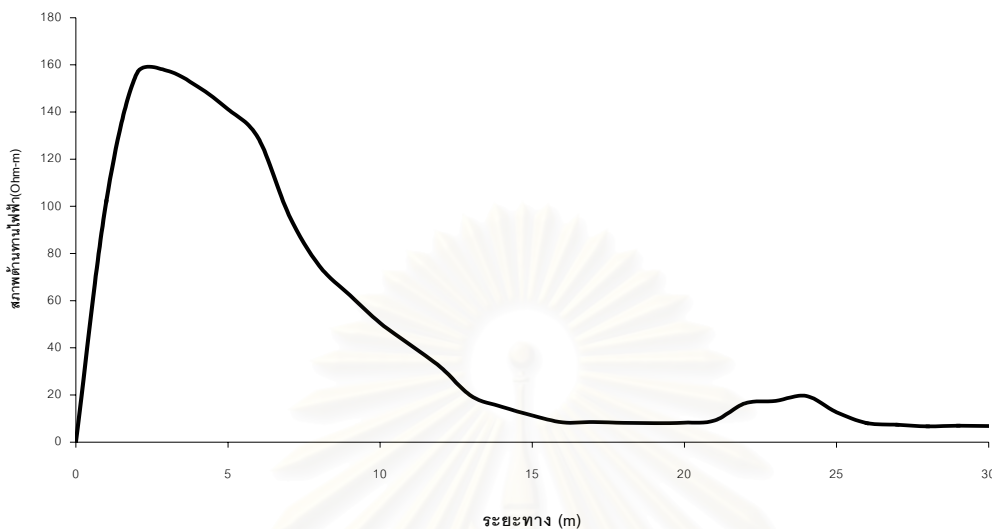
ระยะระหว่างแท่งดิน (m.)	กระแส (mA)	แรงดัน (mV)	ความต้านทาน(Ohm)	สภาพต้านทาน(Ohm-m)
0	0	0	0	0
1	330	5360	16.242	102.05
2	340	4230	12.441	156.34
3	347	2900	8.357	157.53
4	350	2100	6.000	150.80
5	356	1600	4.494	141.20
6	360	1230	3.417	128.81
7	379	830	2.190	96.32
8	383	570	1.488	74.81
ระยะระหว่างแท่งดิน (m.)	กระแส (mA)	แรงดัน (mV)	ความต้านทาน(Ohm)	สภาพต้านทาน(Ohm-m)
9	390	430	1.103	62.35
10	398	320	0.804	50.52
11	403	240	0.596	41.16
12	405	170	0.420	31.65
13	406	97	0.239	19.52
14	410	70	0.171	15.02
15	408	49	0.120	11.32

16	406	34	0.084	8.42
17	400	32	0.080	8.55
18	398	29	0.073	8.24
19	397	27	0.068	8.12
20	393	26	0.066	8.31
21	400	28	0.070	9.24
22	410	49	0.120	16.52
23	405	49	0.121	17.48
24	400	52	0.130	19.60
25	395	32	0.081	12.73
26	383	19	0.050	8.10
27	390	17	0.044	7.39
28	395	15	0.038	6.68
29	393	15	0.038	6.95
30	387	14	0.036	6.82



รูปที่ 4.5 หน้าจอขณะทำการวัดกรณดินแห้ง

เมื่อนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและระยะระหว่างแท่งดินมาเขียนแผนภูมิจะได้แผนภูมิดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินกับระยะห่างระหว่างแท่งดินในกรณีดินแห้ง

จากรูปที่ 4.6 การแปลความหมายจากแผนภูมิจะเห็นว่าเส้นแผนภูมิมิมีการเปลี่ยนแปลงที่ระยะประมาณ 3-5 เมตร ดังนั้นหมายความว่าที่ระยะลึกประมาณ 4 เมตรจะมีการเปลี่ยนของชั้นดินครั้งหนึ่งซึ่งอาจเกิดจากดินลูกรังที่นำมาถม แต่ดินข้างล่างอาจเป็นดินที่มีความชื้นหรือเป็นดินที่มีน้ำใต้ดินอยู่ นอกจากนี้จะเห็นว่าเส้นแผนภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งที่ระยะประมาณ 22-24 เมตร ก็หมายความว่าที่ความลึกประมาณ 23 เมตรก็จะมีการเปลี่ยนของชั้นดินอีกครั้ง

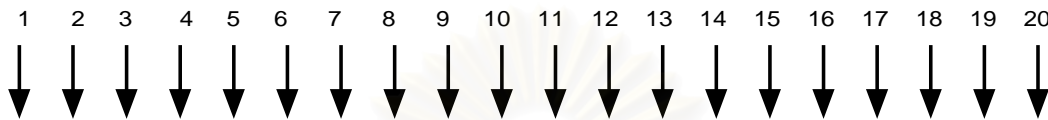
จากกรณีนี้จะเห็นว่าดินข้างบนมีลักษณะที่แห้งมากค่าสภาพต้านทานจึงสูงมากที่ดินชั้นบน แต่เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นความชื้นในดินจะมีมากขึ้นทำให้ค่าสภาพต้านทานลดลง ดังนั้นการเห็นสภาพของดินชั้นบนอาจไม่ใช่ข้อบ่งชี้ว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะสูงหรือต่ำ

4.2 การวัดแบบทั่วบริเวณ

การวัดแบบนี้เป็นการวัดที่ระยะเดียวกันตลอดไปทั่วบริเวณ เช่นมีดินบริเวณหนึ่งเราจะทำการวัดทั่วบริเวณก็จะเริ่มวัดที่ระยะระหว่างแท่งดินเท่ากับ 1, 2, 3 ไปเรื่อยๆจนพอ เช่นวัดที่ระยะระหว่างแท่งดินเท่ากับ 1 เมตร ก็จะวัดไปเรื่อยๆที่ละ 1 เมตรจนหมดบริเวณ ต่อไปก็วัด 2 เมตร, 3 เมตร ไปเรื่อยๆจนหมดบริเวณเช่นกัน การวัดแบบนี้จะทำให้ทราบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าอย่างละเอียดและทั่วบริเวณที่วัด แต่การวัดเช่นนี้ก็เปลืองแรงงานมาก เพราะต้องมีการปักแท่งดินจำนวนมาก และมีการเปลี่ยนแท่งดินที่วัดตลอดพื้นที่ ซึ่งการวัดเช่นนี้ทำให้เสียเวลามาก บางบริเวณเสียเวลาในการวัดเป็นเดือน หรือปีก็มี

การออกแบบเครื่องวัดนี้ได้คำนึงถึงปัญหานี้จึงได้ออกแบบให้สามารถเลือกแทงดินจากแทงดินทั้ง 20 แท่ง โดยจะให้แทงใดเป็นแทงดินส่งกระแส หรือแทงใดเป็นแทงดินรับแรงดัน ก็ได้ จึงทำให้สามารถลดเวลาในการวัดแบบเดิมลงไปได้มาก

ตัวอย่างเช่น ต้องการวัดแบบทั่วบริเวณก็ทำการปักแทงดินทั้ง 20 แท่งห่างกันแต่ละ
 ดังรูปที่ 4.7 1 เมตร



รูปที่ 4.7 การวางแทงดินขณะวัดแบบทั่วบริเวณ

สามารถวัดแบบทั่วบริเวณที่ระยะเท่ากับ 1 เมตร โดยใช้รูปแบบการเลือกแทงดินดังนี้ 1-2-3-4 , 2-3-4-5 , 3-4-5-6 , ..., 17-18-19-20 (หมายเลขแทงดิน) รวม 17 กรณี โดยผู้ด้านนอกเป็นแทงดินส่งกระแส และผู้ด้านในเป็นแทงดินวัดแรงดัน ถ้าจะวัดทั่วบริเวณที่ระยะ 2 เมตร ก็ปักแทงดินให้ห่างกัน 2 เมตร ก็จะได้ 17 กรณีเช่นกัน ดังนั้นจะเสียเวลาในการเลือกแทงดินเท่านั้น ซึ่งการวัดแบบเดิมๆ จะต้องเลือกแทงดินทุกครั้งที่ทำกรวัด

กรณีใช้เครื่องวัดที่ออกแบบวัดแบบทั่วบริเวณโดยใช้รูปแบบการวัดแบบเดิมๆโดยการเลือกแทงดินทุกครั้งที่ทำกรวัด ถ้าระยะห่างระหว่างแทงดินเท่ากับ 1 เมตรและใช้กรวัด 17 ครั้งจะใช้เวลาประมาณ 90 นาที แต่ถ้าใช้วิธีปักแทงดินพร้อมกันแล้วเลือกวัดจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที

นอกจากนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมชื่อ Pioneearth.VBP ที่เชื่อมโยงจากคอมพิวเตอร์ให้สามารถเลือกแทงดินโดยอัตโนมัติ คือ จะทำการเลือกแทงดินแล้วทำการวัดเป็นลำดับ ทั้ง 17 กรณีดังที่กล่าวข้างต้นแล้วจะเก็บค่า รวมทั้งคำนวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและแสดงทางหน้าจอ

เพียงแต่ต้องใส่ค่าระยะห่างระหว่างแทงดินเพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณ ทำให้ใช้เวลาในการวัดเพียงไม่เกิน 30 นาที จึงนับว่าประหยัดเวลามากขึ้นอีก

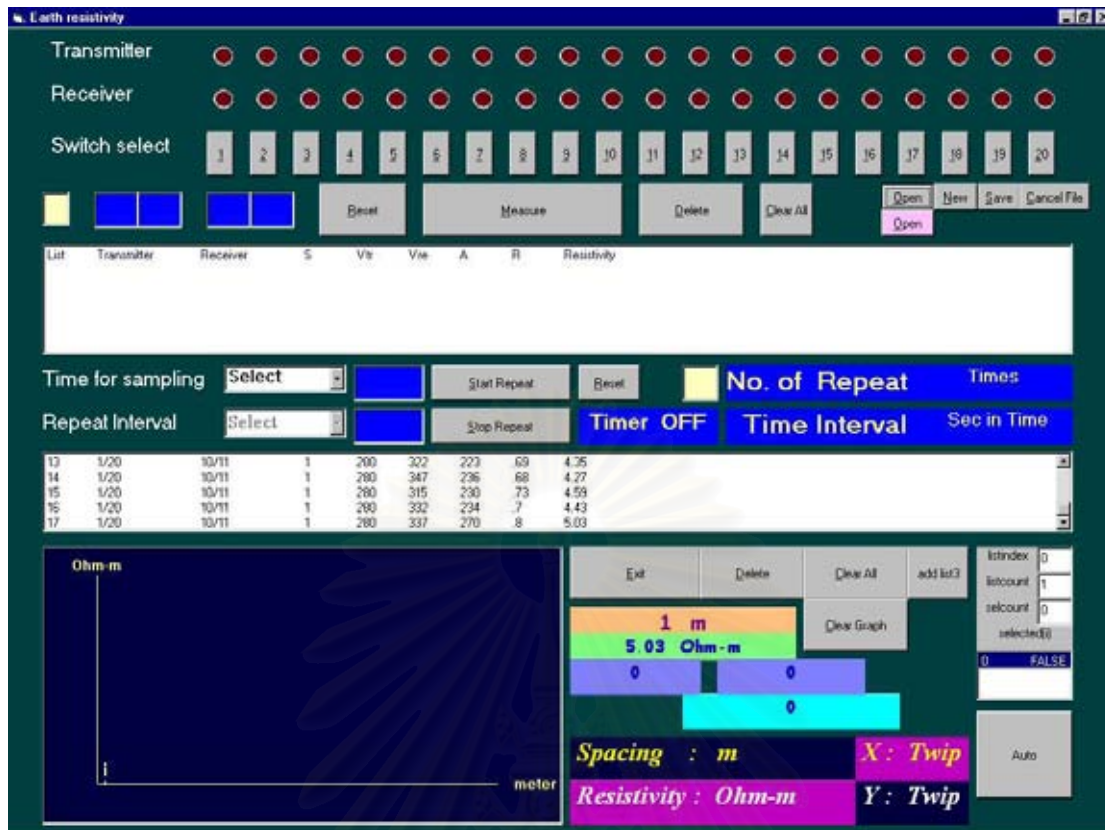
ค่าที่ได้จากการวัดแบบทั่วบริเวณที่ระยะ 1 เมตรในดินชื้นโดยใช้โปรแกรม Pioneearth.VBP ทั้งหมด 17 กรณีแสดงในตารางที่ 4.3 ส่วนหน้าจอสขณะทำการวัดแสดงในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการวัดแบบทั่วบริเวณที่ระยะ 1 เมตร ในดินชื้น

ระยะระหว่างแทงดิน (m.)	กระแส (mA)	แรงดัน (mV)	ความต้านทาน(Ohm)	สภาพต้านทาน(Ohm-m)
1	294	479	1.629	10.24
1	291	476	1.636	10.28

1	320	460	1.438	9.03
1	303	456	1.505	9.46
1	319	373	1.169	7.35
1	337	394	1.169	7.35
1	341	316	0.927	5.82
1	352	369	1.048	6.59
ระยะระหว่างแท่ง ดิน (m.)	กระแส (mA)	แรงดัน (mV)	ความต้านทาน(Ohm)	สภาพต้านทาน(Ohm-m)
1	353	254	0.720	4.52
1	334	237	0.710	4.46
1	351	248	0.707	4.44
1	339	221	0.652	4.10
1	322	223	0.693	4.35
1	347	236	0.680	4.27
1	315	230	0.730	4.59
1	332	234	0.705	4.43
1	337	270	0.801	5.03

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 หน้าจอขณะวัดแบบที่วัดบริเวณที่ระยะ 1 เมตร ในดินชั้น

สรุปเวลาที่ใช้ในการวัดและความซับซ้อนในการวัดของแต่ละวิธี แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปและเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการวัดและความซับซ้อนในการวัดของแต่ละวิธี

รูปแบบการวัดที่ใช้	เวลาที่ใช้	ความซับซ้อนในการวัด
1. แบบดั้งเดิม	ประมาณ 90 นาที	ต้องเปลี่ยนแท่งดินตลอดทุกครั้งที่วัด
2. แบบเลือกโดยเอง	ประมาณ 45 นาที	ไม่ต้องเปลี่ยนแท่งดินแต่ต้องเลือกแท่งดินจากเครื่อง
3. แบบใช้โปรแกรม	ไม่เกิน 30 นาที	ไม่ต้องเปลี่ยนแท่งดิน ไม่ต้องเลือกแท่งดิน เพียงแค่ใส่ค่าระยะระหว่างแท่งดิน

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินที่ออกแบบประกอบสร้างขึ้นนี้ ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สามารถจัดซื้อได้จากภายในประเทศทั้งหมด ใช้ความรู้และเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลายแขนง เช่น ไฟฟ้ากำลัง , อิเล็กทรอนิกส์กำลัง , อิเล็กทรอนิกส์เชิงเลข , ระบบควบคุมด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และ โปรแกรมภาษา VISUAL BASIC ผลการออกแบบและประกอบสร้างพอจะสรุปได้ดังนี้คือ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) ราคา

เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆที่สามารถจัดหาซื้อได้ภายในประเทศ ดังราคาของส่วนประกอบต่างๆดังนี้

ก. หมวดค่าวัสดุ

ก.1 กิ่งงัดโลหะ	ราคา	10,000	บาท
ก.2 แท่งเหล็ก	ราคา	400	บาท
ก.3 สายไฟและอื่นๆ	ราคา	1,200	บาท

ข. หมวดค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ข.1 รีเลย์	ราคา	2,400	บาท
ข.2 แผ่นปริ้นท์วงจร	ราคา	6,000	บาท
ข.3 หม้อแปลง	ราคา	1,500	บาท
ข.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์เสริมต่างๆ	ราคา	6,500	บาท
ข.5 อุปกรณ์ชิปต่างๆ	ราคา	3,000	บาท
ข.6 แบตเตอรี่	ราคา	2,000	บาท

รวมราคาทั้งหมด 33,000 บาท

เมื่อลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัดของบริษัทหนึ่งซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับเครื่องวัดที่ ออกแบบนั้นพบว่า ราคาของเครื่องที่ขายอยู่มีราคา 4,000 ดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 180,000 บาท (คิดที่อัตราแลกเปลี่ยน 44 บาทต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ) ซึ่งเป็นราคาเฉพาะเครื่องยังไม่ได้รวมอุปกรณ์ประกอบ ในขณะที่ราคาของเครื่องที่ออกแบบคือ 33,000 บาท จะเห็นว่า จะเห็นว่าเครื่องวัดที่ทำการออกแบบมีราคาถูกมาก



รูป 5.1 เปรียบเทียบเครื่องที่ขายกันตามท้องตลาด(ซ้าย) และเครื่องที่ออกแบบ(ขวา)

2) โครงสร้าง

งานวิจัยนี้ ประกอบสร้างอยู่ในกล่องโลหะพ่นสีแบบมาตรฐาน การประกอบสร้างทำ ได้ง่าย โครงสร้างมีความแข็งแรงมั่นคงทนต่อการนำไปใช้ในสภาพภูมิประเทศต่างพอสมควร การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าและวงจรใช้ขั้วมาตรฐาน

3) มาตรฐาน

เครื่องวัดค่าสภาพต้านทางไฟฟ้าของดินที่ได้ออกแบบและประกอบสร้างขึ้นนี้ เป็นไปตามคำแนะนำของ ANSI/IEEE Std 81-1983 (Revision of IEEE Std81-1962)

4) การใช้งานจริง

ได้นำเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินไปทำการทดลองวัดดินในลักษณะที่ต่างกัน และในรูปแบบที่ต่างกันปรากฏว่าสามารถวัดได้ค่าตามต้องการ

5) เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินนี้มีระบบการทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติตามที่ได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ รวมทั้งมีการเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจขั้นตอนการวัดได้ง่าย

6) เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินที่สร้างขึ้นนี้เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาวิจัย ออกแบบและทดสอบระบบรากสายดิน รวมทั้งการวิเคราะห์สมบัติของดินทั้งในเชิงทางไฟฟ้า และ สมบัติทางกายภาพ เพื่อรวบรวมฐานข้อมูลเกี่ยวกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในสถานที่ต่างๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยและออกแบบสร้างเครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินนี้ยังมีปัญหาในเรื่องต่างๆและข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 น้ำหนักตัวเครื่อง

เนื่องจากสาเหตุดังนี้

- 1) น้ำหนักของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับลงดิน
- 2) น้ำหนักของแบตเตอรี่ และ โครงสร้างของกล่อง

ข้อเสนอแนะ

- 1) เปลี่ยนวงจรกำเนิดกระแสสลับเป็นแบบใช้ไอซีกำเนิดสัญญาณ และเปลี่ยนหม้อแปลงที่เป็นแบบแกนเหล็กซึ่งมีน้ำหนักมากมาเป็นแบบสวิตชิ่งซึ่งมีน้ำหนักเบากว่า
- 2) เปลี่ยนไปใช้แบตเตอรี่แบบ นิกเกิล-แคดเมียมซึ่งมีน้ำหนักเบากว่า ส่วนโครงสร้างเหล็ก ก็เปลี่ยนมาใช้อลูมิเนียมก็สามารถลดน้ำหนักไปได้มาก

5.2.2 วงจรที่ใช้ในการเลือกแทงดิน

วงจรมีควรรใช้อุปกรณ์ที่ค่อนข้างมาตรฐาน และคงทน เพราะการสวิตซ์แต่ละครั้งอุปกรณ์จะได้รับความสึกหรอโดยเฉพาะรีเลย์ ซึ่งถ้าใช้อุปกรณ์ไม่มาตรฐานแล้วจะทำให้เครื่องวัดมีอายุการใช้งานที่สั้นลง

5.2.3 การขยายขนาดของเครื่องวัด

ในการออกแบบได้คำนึงถึงการขยายที่สามารถเกิดขึ้นได้ในอนาคต ซึ่งสามารถเพิ่มวงจรเข้าการเลือกแท่งดินเข้าไปจนเต็มความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือแม้แต่จะขยาย ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้วัดจำนวนแท่งดินที่เพิ่มขึ้น

ในส่วนของโปรแกรมควบคุมก็สามารถแก้ไขได้ง่ายโดยนำ EPROM มา burn โปรแกรมใหม่ได้ ส่วนโปรแกรมภาษา VISUAL BASIC ก็สามารถพัฒนาขึ้นได้โดยง่าย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง , คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2528
2. IEEE Guide for Measureing Earth Resistivity,Ground Impedance, and Earth Surface Potential of a Ground System ; ANSI/IEEE Std 81-1983 (Revision of IEEE Std81-1962) ; New York , NY 10017, USA.
3. Tagg , G. F. , Earth Resistances, London, Georges Newnes Limited, 1964
4. Hitoshi KIJIMA; NTT,Japan ; 'Earth- resistance Estimation Instrument' ; 21st International Conference On Lightning Protection, 00 , Germany ;September 21-25,1992
5. F.Dawalibi and C.J.Blattner ; 'Earth Resistivity Measurement Interpretation Techniques'; IEEE Transactions on power apparatus and system, Vol. PAS-103, No.2, February 1984
6. Y.L. Chow , M.M. Elsherbiny , M.M.A. Salaina "Surface Voltages and Resistance of Grounding Systems of Grid and Rods in Two-Layer Earth by the Rapid Galerkin' s Moment method " , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No.1, January 1997, pp 179-185
7. M.M.Elsherbiny , M.M.A. Salama and Y.L. Chow :
" A Fast and Accurate Analysis Of Grounding Resistance Of A Driven Rodbed IN A Two-layer Soil " , IEEE Transactions on Power Delivery , Vol.11, No.2, April 1996
8. J.Ma , F.P.Dawalibi and R.D.Southey :
"On the equivalence of uniform and two-layer soils to multilayer soils in the analysis of grounding systems", IEEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, No 1,January 1996 P.49-55

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

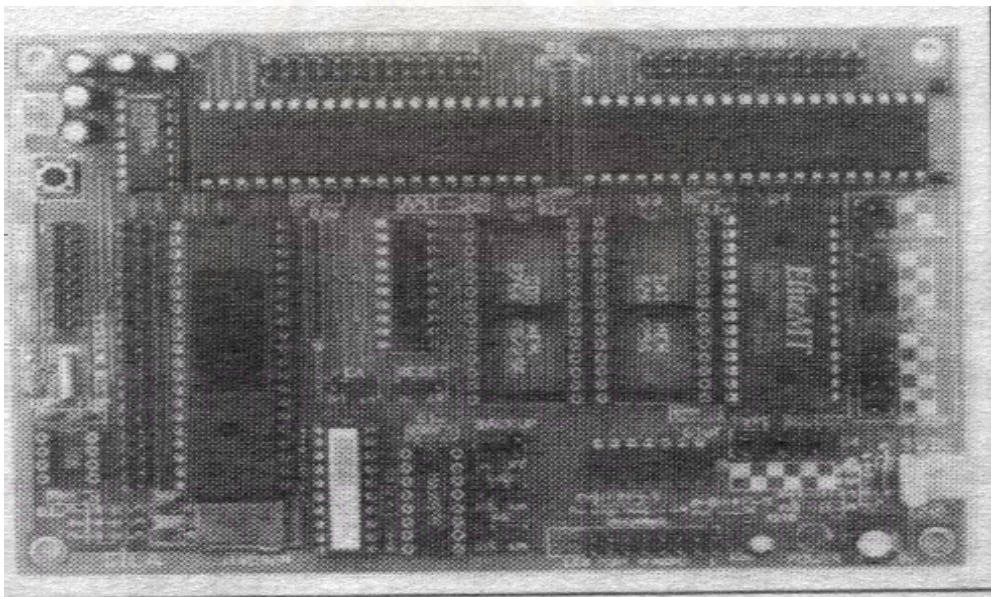
ภาคผนวก ก. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เกิดการพัฒนาด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และ ไมโครคอมพิวเตอร์ขึ้น เมื่อก้าวถึงระบบการควบคุม เช่นการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เรามักจะรู้จักกันในชื่อของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมากที่สุดคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งแทบจะทุกบริษัทต้องผลิตไอซีตระกูลนี้ออกมา

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มีการพัฒนาต่อเนื่องมาตลอด ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมตามต้องการ ไม่ว่าจะเป็นภาษา แอสเซมบลี หรือ ภาษาซี ฯลฯ จึงมีอิสระและความคล่องตัวสูง

จากข้อดีต่างๆทำให้มีแนวความคิดที่จะนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มาใช้ในงานวิจัยและออกแบบเครื่องวัดค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าของดิน ซึ่งมีระบบควบคุมการทำงานเป็นอัตโนมัติ ตามขั้นตอนของโปรแกรมที่เขียน

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกบอร์ดสำเร็จรูปรุ่น ANT-32 ของบริษัท ศิลาเรีเสิร์ช จำกัด ดังแสดงในรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 ภาพถ่ายของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32

คุณสมบัติของบอร์ด ANT-32

- เป็นบอร์ดคอนโทรล ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8032 ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 11.0592 MHz
- ใช้หน่วยความจำบอร์ดได้ 3 ตำแหน่งคือ
 - U2 เป็นหน่วยความจำโปรแกรม ใช้กับ EPROM ขนาด 8-32 กิโลไบต์
 - U3 เป็นหน่วยความจำข้อมูล ใช้กับ RAM ขนาด 8 กิโลไบต์ สามารถ แลกข้อมูลโดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียม
 - U4 เป็นหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล ใช้กับ EPROM หรือ RAM
- มี I/O เบอร์ 8255 2 ตัว สำหรับต่อไปใช้งานภายนอก
- มีพอร์ต LCD สำหรับการต่อใช้งาน LCD แบบ DOT MATRIX
- มีวงจร SERIAL INTERFACE DRIVER RS232 สำหรับการต่อเข้าเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
- มีวงจร WATCHDOG TIMER , POWER UP/DOWN RESET
- มีวงจร RTC ใช้ชิพเบอร์ DS1202
- มีคอนเนกเตอร์สำหรับ PORT 1 โดยเฉพาะ
- มีคอนเนกเตอร์สำหรับ SYSTEM BUS ทำให้ขยายระบบได้ง่าย
- สามารถกำหนดคุณสมบัติต่างๆของบอร์ดด้วย JUMPER
- สามารถพัฒนาทั้งโปรแกรมภาษา แอสเซมบลี หรือภาษาเบสิก

ซึ่งวงจรของบอร์ด ANT-32 แสดงดังรูปที่ ก-2

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้ออกแบบนี้ ใช้ภาษาแอสเซมบลีในการเขียนโปรแกรมควบคุม โดยใช้ชื่อโปรแกรมว่า EARTH.ASM ดังมีรายละเอียดโปรแกรกดังนี้

'EARTH.ASM'

```
.....  
;*** ตั้งค่าตัวแปรค่าคงที่ประจำ Port *****  
.....
```

```
PDATA EQU 0FA00H  
PBUSY EQU 0FA01H  
PWRT EQU 0FA02H  
PREAD EQU 0FA03H  
IO1A EQU 0F800H  
IO1B EQU 0F801H  
IO1C EQU 0F802H  
IO1CNT EQU 0F803H  
IO2A EQU 0FC00H  
IO2B EQU 0FC01H  
IO2C EQU 0FC02H  
IO2CNT EQU 0FC03H
```

```
ORG 0000H  
SJMP OVER
```

```
.....  
;*** SERIAL INTERRUPT ADDRESS *****  
.....
```

```
ORG 0023H  
JNB TI,RXINT  
CLR TI  
RETI
```

RXINT:

```
CALL RXSUB  
RETI
```

```
.....  
;***** START PROGERM *****  
.....
```

OVER:

```
MOV R2,#20H  
LOOP: MOV R3,#00H  
DJNZ R3,$  
DJNZ R2,LOOP  
MOV SP,#50H
```

```
.....  
;*** ตั้งค่า IO_1 PORT ALL PORT OUT *****  
.....
```

สถาบันวิทยบริการ
วิทยาลัยการน้อมมหาวิทยาลัย

```

MOV DPTR,#I01CNT
MOV A,#80H
MOVX @DPTR,A

;*****
;*** SET IO2_PORT A=OUT,C=IN *****
;*****
MOV DPTR,#I02CNT
MOV A,#89H
MOVX @DPTR,A

;*****
;**** CLEAR ALL PORT RELAY OFF *****
;*****
MOV DPTR,#I01A
MOV A,#00H
MOVX @DPTR,A
INC DPTR
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FFH
MOVX @DPTR,A
MOV A,#00H
MOVX @DPTR,A

INC DPTR
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FFH
MOVX @DPTR,A
MOV A,#00H
MOVX @DPTR,A

MOV R0,#30H
MOV R2,#09H
LOOP4:
MOV @R0,#00H
INC R0
DJNZ R2,LOOP4

;*****
;*** SET SERIAL PORT 8N1 9600 BPS *****
;*****
MOV TMOD,#20H ;SET TIMER 1 MODE 2
MOV SCON,#52H ;SET SERIAL PORT MODE 1
MOV TH1,#0FDH ;SET SPEED 9600 BPS
SETB TR1 ;START TIMER 1
SETB EA ;ENABLE ALL INTERRUPT
SETB ES ;SELECT SERIAL INTERRUPT

;*****
;***** INITIAL LCD DISPLAY *****
;*****
MOV DPTR,#PDATA
MOV A,#00111000B ;SET 8 BIT 4 LINE 5X7 DOT
MOVX @DPTR,A
CALL DELAY_MS
MOV A,#00001110B ;
MOVX @DPTR,A
CALL DELAY_MS
MOV A,#00000110B ;
MOVX @DPTR,A
CALL DELAY_MS
MOV A,#00000001B ;

```

```

MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_MS

;*****
;***** START MAIN PROGRAM *****
;*****

MAIN:
CALL    LCD_CLR
CALL    RELAY_CLR
CALL    RELAY

MOV     DPTR,#F1_L1
CALL    LCD_TEXT_L1
MOV     DPTR,#F1_L3
CALL    LCD_TEXT_L2
CALL    INC_DATA
MOV     A,R2
MOV     R7,A
CALL    SET_ROD_S0

MOV     DPTR,#F2_L1
CALL    LCD_TEXT_L1
MOV     DPTR,#F2_L3
CALL    LCD_TEXT_L2
CALL    INC_DATA
MOV     A,R2
MOV     R7,A
CALL    SET_ROD_S1

MOV     DPTR,#F3_L1
CALL    LCD_TEXT_L1
MOV     DPTR,#F3_L3
CALL    LCD_TEXT_L2
CALL    INC_DATA
MOV     A,R2
MOV     R7,A
CALL    SET_ROD_M0

MOV     DPTR,#F4_L1
CALL    LCD_TEXT_L1
MOV     DPTR,#F4_L3
CALL    LCD_TEXT_L2
CALL    INC_DATA
MOV     A,R2
MOV     R7,A
CALL    SET_ROD_M1

CALL    RELAY
CALL    LCD_CLR

MOV     DPTR,#INT_L1
CALL    LCD_TEXT_L1
MOV     DPTR,#VOLT_L3
CALL    LCD_TEXT_L3
MOV     DPTR,#AMP_L4
CALL    LCD_TEXT_L4

MAIN2:
CALL    ADP0
CALL    ADP1
CALL    WR_VOLT

```

```

CALL    WR_AMP

CALL    SCAN_KEY
MOV     A,40H
CJNE   A,#3AH,NO_CLR
LJMP   MAIN

NO_CLR:
SJMP   MAIN2
;*****
;**** IN DATA IN FUNCTION AND READ ***
;**** DATA TO REGISTER R2 ****
;*****
INC_DATA:
MOV     DPTR,#PDATA
MOV     A,#00001111B
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_MS

MOV     R7,#02H

NO_F1:
CALL   SCAN_KEY
MOV     A,40H
CJNE   A,#00H,IN_DATA_F1
SJMP   NO_F1

IN_DATA_F1:
MOV     A,40H
CJNE   A,#3DH,DATA_OK1
SJMP   NO_F1

DATA_OK1:
CJNE   A,#3BH,DATA_OK2
SJMP   NO_F1

DATA_OK2:
CJNE   A,#3AH,DATA_OK3
SJMP   NO_F1

DATA_OK3:
MOV     DPTR,#PWRT
MOV     A,40H
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_40MS
MOV     40H,#00H
MOV     DPTR,#PDATA
MOV     A,#00010000B
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_40MS

NO_CONT:
CALL   SCAN_KEY
MOV     A,40H
CJNE   A,#3BH,NO_CONT

MOV     DPTR,#PDATA
MOV     A,#00010100B
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_40MS

DJNZ   R7,NO_F1

MOV     DPTR,#PDATA
MOV     A,#00001110B
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_40MS

```



```

NO_F1_2:
    CALL    SCAN_KEY
    MOV     A,40H
    CJNE   A,#00H,IN_DATA_F1_2
    SJMP   NO_F1_2

```

```

IN_DATA_F1_2:
    CJNE   A,#3DH,NO_F1_2

```

```

    MOV     40H,#00H
    MOV     DPTR,#PDATA
    MOV     A,#10001101B
    MOVX   @DPTR,A
    CALL   DELAY_40MS

```

```

    MOV     DPTR,#PREAD
    MOVX   A,@DPTR
    CALL   DELAY_40MS

```

```

    MOV     R3,A
    MOVX   A,@DPTR
    CALL   DELAY_40MS

```

```

    MOV     R2,A

```

```

    MOV     R6,#04H
    MOV     A,R3
    ANL    A,#0FH

```

```

L1:    RL     A
    DJNZ   R6,L1
    MOV    R3,A

```

```

    MOV     A,R2
    ANL    A,#0FH
    ORL    A,R3
    MOV    R2,A
    RET

```

```

;.....
;***** SCAN KEY *****
;.....

```

```
SCAN_KEY:
```

```

    MOV     40H,#00H
    MOV     A,#01H
    MOV     DPTR,#IO2A
    MOVX   @DPTR,A
    MOV     DPTR,#IO2C
    MOVX   A,@DPTR
    CALL   KEY_C1
    MOV     A,#02H
    MOV     DPTR,#IO2A
    MOVX   @DPTR,A
    MOV     DPTR,#IO2C
    MOVX   A,@DPTR
    CALL   KEY_C2
    MOV     A,#04H
    MOV     DPTR,#IO2A
    MOVX   @DPTR,A
    MOV     DPTR,#IO2C
    MOVX   A,@DPTR
    CALL   KEY_C3
    MOV     A,#08H
    MOV     DPTR,#IO2A

```



สถาบันวิทยบริการ
 ภาควิชาวิศวกรรมมหาวิทาลัย

```

MOVX    @DPTR,A
MOV     DPTR,#IO2C
MOVX    A,@DPTR
CALL    KEY_C4
MOV     A,#00H
MOV     DPTR,#IO2A
MOVX    @DPTR,A
SETB    00H
RET

```

```

;*****
;**** WRITE DATA FROM A/D TO LCD ***
;***** VOLT *****
;*****

```

WR_VOLT:

```

CALL    ADP0                ;RAED DATA A/D PORT 0
MOV     DPTR,#PDATA
MOV     A,#10010111B ;SET ADDRESS 17H
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

MOV     A,2CH                ;MOV DATA FORM A/D PORT 0
CALL    HTOA
MOV     DPTR,#PWRT
MOV     A,3AH
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

MOV     A,2BH
CALL    HTOA
MOV     DPTR,#PWRT
MOV     A,3AH
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

MOV     A,2AH
CALL    HTOA
MOV     DPTR,#PWRT
MOV     A,3AH
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

MOV     A,#0A0H
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS
MOV     A,#48H
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS
RET

```

```

;*****
;**** WRITE DATA FROM A/D TO LCD ***
;***** AMP *****
;*****

```

WR_AMP:

```

CALL    ADP1                ;READ DATA A/D PORT 1
MOV     DPTR,#PDATA
MOV     A,#11010111B ;SET ADDRESS 57H
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

```

```

MOV     A,2FH           ;MOV DATA FORM A/D PORT 0
CALL    HTOA
MOV     DPTR,#PWRT
MOV     A,3AH
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

MOV     A,2EH
CALL    HTOA
MOV     DPTR,#PWRT
MOV     A,3AH
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

MOV     A,2DH
CALL    HTOA
MOV     DPTR,#PWRT
MOV     A,3AH
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

MOV     A,#0A0H
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS
MOV     A,#48H
MOVX    @DPTR,A
CALL    DELAY_40MS

RET

```

```

;*****
;*** Program Rev Data in Comm.Port ***
;*****
RXSUB:

```

```

RET
;*****
;***** Program Relay Control *****
;*****

```

```

RELAY:
MOV     R0,#30H        ;SET INDEX DATA BUFFER 1
MOV     R6,#08H        ;SET COUNTER PORT
MOV     R5,#01H        ;SET INDEX DATA COLUMN
LOOP2:
MOV     DPTR,#IO1B     ;LOAD DPTR PORT IO1 PORT A
MOV     A,#00H
MOVX    @DPTR,A
MOV     DPTR,#IO1A     ;LOAD DPTR PORT IO1 PORT A
MOV     A,@R0          ;MOVE DATA IN BUFFER TO REG A.
MOVX    @DPTR,A       ;OUT DATA TO IO PORT
MOV     DPTR,#IO1B     ;LOAD DPTR PORT TO1 PORT B
MOV     A,R5           ;MOV DATA INDEX TO REG A.
MOVX    @DPTR,A       ;SET COLUMN ACTIVE
RL      A              ;SHIFT COLUMN ACTIVE TO NET
MOV     R5,A           ;SAVE INDEX COLUMN TO R5
INC     R0              ;INC INDEX DATA BUFFER
DJNZ   R6,LOOP2       ;LOOP IF COUNTER <-> 0

MOV     R0,#38H        ;SET INDEX DATA BUFFER 2
MOV     R6,#02H        ;SET COUNTER PORT

```

```

MOV     R5,#01H      ;SET INDEX DATA COLUMN

LOOP3:
MOV     DPTR,#01C
MOV     A,#00H
MOVX   @DPTR,A

MOV     DPTR,#01A      ;LOAD DPTR PORT IO1 PORT A.
MOV     A,@R0      ;MOVE DATA IN BUFFER TO REG A.
MOVX   @DPTR,A      ;OUT DATA TO IO PORT
MOV     DPTR,#01C      ;LOAD DATA PORT TO1 PORT C.
MOV     A,R5      ;MOV DATA INDEX TO RFG A.
MOVX   @DPTR,A      ;SET COLUMN ACTIVE
RL     A      ;SHIFT COLUMN ACTIVE
MOV     R5,A      ;SAVE COLUMN TO REG R5
INC     R0      ;INC INDEX DATA BUFFER
DJNZ   R6,LOOP3

RET

```

```

;*****
;*** SET DATA KEY COLUM 1 *****
;*****

```

```

KEY_C1:
ANL    A,#0F0H
CJNE   A,#00H,DATA_C1
RET

DATA_C1:
CJNE   A,#10H,NO_KEY1
MOV     40H,#34H
RET

NO_KEY1:
CJNE   A,#20H,NO_KEY4
MOV     40H,#35H
RET

NO_KEY4:
CJNE   A,#40H,NO_KEY7
MOV     40H,#36H
RET

NO_KEY7:
CJNE   A,#80H,NO_KEYE
MOV     40H,#3BH
RET

NO_KEYE:
RET

```

```

;*****
;*** SET DATA KEY COLUM 2 *****
;*****

```

```

KEY_C2:
ANL    A,#0F0H
CJNE   A,#00H,DATA_C2
RET

DATA_C2:
CJNE   A,#10H,NO_KEY2
MOV     40H,#31H
RET

NO_KEY2:
CJNE   A,#20H,NO_KEY5
MOV     40H,#32H
RET

NO_KEY5:
CJNE   A,#40H,NO_KEY8

```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

MOV 40H,#33H
RET
NO_KEY8:
CJNE A,#80H,NO_KEY0
MOV 40H,#3AH
NO_KEY0:
RET

```

```

;*****
;*** SET DATA KEY COLUM 3 *****
;*****

```

```

KEY_C3:
ANL A,#0F0H
CJNE A,#00H,DATA_C3
RET

```

```

DATA_C3:
CJNE A,#10H,NO_KEY3
MOV 40H,#00H
RET

```

```

NO_KEY3:
CJNE A,#20H,NO_KEY6
MOV 40H,#30H
RET

```

```

NO_KEY6:
CJNE A,#40H,NO_KEY9
MOV 40H,#00H
RET

```

```

NO_KEY9:
CJNE A,#80H,NO_KEYF
MOV 40H,#3DH

```

```

NO_KEYF:
RET

```

```

;*****
;*** SET DATA KEY COLUM 4 *****
;*****

```

```

KEY_C4:
ANL A,#0F0H
CJNE A,#00H,DATA_C4
RET

```

```

DATA_C4:
CJNE A,#10H,NO_KEYA
MOV 40H,#37H
RET

```

```

NO_KEYA:
CJNE A,#20H,NO_KEYB
MOV 40H,#38H
RET

```

```

NO_KEYB:
CJNE A,#40H,NO_KEYC
MOV 40H,#39H
RET

```

```

NO_KEYC:
CJNE A,#80H,NO_KEYD
MOV 40H,#00H

```

```

NO_KEYD:
RET

```

```

;*****
;*** PROGRAM DELAY TIME *****
;*****

```

```

DELAY_MS:

```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

        PUSH    ACC
        PUSH    B
        MOV     B,#249
DM:
        DJNZ   B,$
        MOV     B,#249
        DJNZ   B,$
        MOV     B,#248
        DJNZ   ACC,DM
        POP     B
        POP     ACC
        RET

;*****
;** PROGRAM DELAY TIME 40 us ****
;*****
DELAY_40MS:
        PUSH    ACC                ;2us
        MOV     A,#20              ;2us
        DJNZ   ACC,$              ;2 us,20*2=40
        POP     ACC                ;2us
        RET                       ;2us

;*****
;**** READ DATA FORM A/D PORT 0 ****
;*****
ADP0:
        MOV     P1,0FFH
        CLR     P1.4                ;CS ENABLE
        CLR     P1.3                ;CLOCK LOGIC 0
        SETB    P1.2                ;DIN START BIT
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3                ;CLOCK LOGIC 0
        SETB    P1.2                ;DIN SGL=1
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3
        CLR     P1.2                ;DIN ODD=0 SELECT A/D PORT 0
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3
        SETB    P1.2                ;DIN MSBF=1
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (READ NULL BIT)
        CLR     P1.3

        MOV     R0,#2CH            ;INDEX DATA BUFFER
        MOV     R6,#03H           ;SET CONTER DATA BUFFER 3
ADP0_BL:
        MOV     @R0,#00H
        MOV     R7,#04H           ;SET DATA IN BUFFER 4 BIT
ADP0_DL:
        CLR     P1.3
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        MOV     A,@R0              ;READ DATA IN DUFFER TO ACC
        JNB    P1.0,AD0_CLR;JUMP IF DATA IN =0
        SETB    C                    ;SET CARRY =1
        SJMP   AD0_OVER
AD0_CLR:
        CLR     C
AD0_OVER:
        RLC     A                    ;
        MOV     @R0,A              ;WRITE DATA TO BUFFER

```

```

        DJNZ     R7,ADP0_DL
        DEC      R0                ;INC INDEX BUFFER DATA
        DJNZ     R6,ADP0_BL

        RET

;*****
;**** READ DATA FORM A/D PORT 1 ****
;*****
ADP1:
        MOV     P1,0FFH
        CLR     P1.4                ;CS ENABLE
        CLR     P1.3                ;CLOCK LOGIC 0
        SETB    P1.2                ;DIN START BIT
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3                ;CLOCK LOGIC 0
        SETB    P1.2                ;DIN SGL=1
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3
        SETB    P1.2                ;DIN ODD=1 SELECT A/D PORT 1
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3
        SETB    P1.2                ;DIN MSBF=1
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        CLR     P1.3
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (READ NULL BIT)
        CLR     P1.3

        MOV     R0,#2FH            ;INDEX DATA BUFFER
        MOV     R6,#03H            ;SET CONTER DATA BUFFER 3
ADP1_BL:
        MOV     @R0,#00H
        MOV     R7,#04H            ;SET DATA IN BUFFER 4 BIT
ADP1_DL:
        CLR     P1.3
        SETB    P1.3                ;CLOCK LOGIC 1 (ACTIVE)
        MOV     A,@R0              ;READ DATA IN DUFFER TO ACC
        JNB     P1.0,AD1_CLR ;JUMP IF DATA IN =0
        SETB    C                    ;SET CARRY =1
        SJMP    AD1_OVER
AD1_CLR:
        CLR     C
AD1_OVER:
        RLC     A                    ;
        MOV     @R0,A                ;WRITE DATA TO BUFFER
        DJNZ    R7,ADP1_DL
        DEC     R0                    ;INC INDEX BUFFER DATA
        DJNZ    R6,ADP1_BL
        RET

;*****
;** WRITE DATA TO LCD MODULE ****
;***** LINE 1 ****
;*****
LCD_TEXT_L1:
        PUSH    DPL
        PUSH    DPH
        MOV     DPTR,#PDATA
        MOV     A,#10000000B ;SET ADDRESS DD RAM =00
        MOVX   @DPTR,A

```

```

CALL    DELAY_MS
MOV     R7,#00H
WR_TEXT1:
POP     DPH
POP     DPL
MOV     A,R7
MOVC   A,@A+DPTR
MOV     R6,A
INC     R7
PUSH   DPL
PUSH   DPH
CJNE   A,#0FFH,WR_L1
SJMP   END_L1
WR_L1:  MOV   DPTR,#PWRT
MOV     A,R6
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_40MS
SJMP   WR_TEXT1
END_L1:
POP     DPH
POP     DPL
RET

```

```

;*****
; ** WRITE DATA TO LCD MODULE *****
;***** LINE 2 *****
;*****

```

```

LCD_TEXT_L2:
PUSH   DPL
PUSH   DPH
MOV     DPTR,#PDATA
MOV     A,#11000000B ;SET ADDRESS DD RAM =40
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_MS
MOV     R7,#00H

```

```

WR_TEXT2:
POP     DPH
POP     DPL
MOV     A,R7
MOVC   A,@A+DPTR
MOV     R6,A
INC     R7
PUSH   DPL
PUSH   DPH
CJNE   A,#0FFH,WR_L2
SJMP   END_L2
WR_L2:  MOV   DPTR,#PWRT
MOV     A,R6
MOVX   @DPTR,A
CALL   DELAY_40MS
SJMP   WR_TEXT2

```

```

END_L2:
POP     DPH
POP     DPL
RET

```

```

;*****
; ** WRITE DATA TO LCD MODULE *****
;***** LINE 3 *****
;*****

```

```

LCD_TEXT_L3:
PUSH   DPL

```



```

        PUSH    DPH
        MOV     DPTR,#PDATA
        MOV     A,#10010000B ;SET ADDRESS DD RAM =10
        MOVX   @DPTR,A
        CALL   DELAY_MS
        MOV     R7,#00H

WR_TEXT3:
        POP     DPH
        POP     DPL
        MOV     A,R7
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV     R6,A
        INC    R7
        PUSH   DPL
        PUSH   DPH
        CJNE   A,#0FFH,WR_L3
        SJMP   END_L3
WR_L3:  MOV     DPTR,#PWRT
        MOV     A,R6
        MOVX   @DPTR,A
        CALL   DELAY_40MS
        SJMP   WR_TEXT3

END_L3:
        POP     DPH
        POP     DPL
        RET

```

```

;*****
; ** WRITE DATA TO LCD MODULE **
;***** LINE 4 *****
;*****

```

```

LCD_TEXT_L4:
        PUSH   DPL
        PUSH   DPH
        MOV     DPTR,#PDATA
        MOV     A,#11010000B ;SET ADDRESS DD RAM =50
        MOVX   @DPTR,A
        CALL   DELAY_MS
        MOV     R7,#00H

WR_TEXT4:
        POP     DPH
        POP     DPL
        MOV     A,R7
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV     R6,A
        INC    R7
        PUSH   DPL
        PUSH   DPH
        CJNE   A,#0FFH,WR_L4
        SJMP   END_L4
WR_L4:  MOV     DPTR,#PWRT
        MOV     A,R6
        MOVX   @DPTR,A
        CALL   DELAY_40MS
        SJMP   WR_TEXT4

END_L4:
        POP     DPH
        POP     DPL
        RET

```

```

;*****
; ** CLEAR DATA DISPLY LCD MODULE **

```

```

;*****
LCD_CLR:
    MOV     DPTR,#PDATA
    MOV     A,#0000001B ;CLEAR DISPLAY
    MOVX    @DPTR,A
    CALL    DELAY_MS
    RET

```

```

;*****
; ** CLEAR ALL DATA SOUND 0 *****
;*****

```

```

CLR_ALL_S0:
    MOV     R0,#30H           ;SET INDEX DATA BUFFER
    MOV     R7,#09H          ;SET COUNTER

L_CLR_S0:
    MOV     A,@R0             ;MOV DATA IN BUFFER TO ACC
    ANL    A,#11101110B ;CLR BIT SUPPLY 0
    MOV     @R0,A             ;MOV DATA TO BUFFER
    INC     R0                 ;INC. INDEX DUFFER
    DJNZ   R7,L_CLR_S0 ;JUMP IF COUNTER <-> 0
    RET

```

```

;*****
; ** CLEAR ALL DATA SOUND 1 *****
;*****

```

```

CLR_ALL_S1:
    MOV     R0,#30H
    MOV     R7,#09H

L_CLR_S1:
    MOV     A,@R0
    ANL    A,#11011101B
    MOV     @R0,A
    INC     R0
    DJNZ   R7,L_CLR_S1
    RET

```

```

;*****
; ** CLEAR ALL DATA MEASURE 0 *****
;*****

```

```

CLR_ALL_M0:
    MOV     R0,#30H
    MOV     R7,#09H

L_CLR_M0:
    MOV     A,@R0
    ANL    A,#10111011B
    MOV     @R0,A
    INC     R0
    DJNZ   R7,L_CLR_M0
    RET

```

```

;*****
; ** CLEAR ALL DATA MEASURE 1 *****
;*****

```

```

CLR_ALL_M1:
    MOV     R0,#30H
    MOV     R7,#09H

L_CLR_M1:
    MOV     A,@R0
    ANL    A,#01110111B
    MOV     @R0,A
    INC     R0
    DJNZ   R7,L_CLR_M1

```

```

RET

;*****
;**** SET ROD TO SOUND 1 ****
;*****

SET_ROD_S0:
CALL    CLR_ALL_S0
MOV     A,R7                ;MOV DATA FORM BUFFER
CJNE   A,#01H,NO_S0_ROD1  ;JUMP IF NO ROD 01
MOV     A,30H
ORL    A,#10H              ;SET BIT CONTROL RELAY
MOV     30H,A              ;SAVE DATA TO BUFFER
RET

NO_S0_ROD1:
MOV     A,R7
CJNE   A,#02H,NO_S0_ROD2
MOV     A,30H
ORL    A,#01H
MOV     30H,A
RET

NO_S0_ROD2:
MOV     A,R7
CJNE   A,#03H,NO_S0_ROD3
MOV     A,31H
ORL    A,#10H
MOV     31H,A
RET

NO_S0_ROD3:
MOV     A,R7
CJNE   A,#04H,NO_S0_ROD4
MOV     A,31H
ORL    A,#01H
MOV     31H,A
RET

NO_S0_ROD4:
MOV     A,R7
CJNE   A,#05H,NO_S0_ROD5
MOV     A,32H
ORL    A,#10H
MOV     32H,A
RET

NO_S0_ROD5:
MOV     A,R7
CJNE   A,#06H,NO_S0_ROD6
MOV     A,32H
ORL    A,#01H
MOV     32H,A
RET

NO_S0_ROD6:
MOV     A,R7
CJNE   A,#07H,NO_S0_ROD7
MOV     A,33H
ORL    A,#10H
MOV     33H,A
RET

NO_S0_ROD7:
MOV     A,R7
CJNE   A,#08H,NO_S0_ROD8
MOV     A,33H
ORL    A,#01H
MOV     33H,A
RET

```

```
NO_S0_ROD8:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#09H,NO_S0_ROD9
    MOV     A,34H
    ORL    A,#10H
    MOV     34H,A
    RET

NO_S0_ROD9:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#10H,NO_S0_ROD10
    MOV     A,34H
    ORL    A,#01H
    MOV     34H,A
    RET

NO_S0_ROD10:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#11H,NO_S0_ROD11
    MOV     A,35H
    ORL    A,#10H
    MOV     35H,A
    RET

NO_S0_ROD11:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#12H,NO_S0_ROD12
    MOV     A,35H
    ORL    A,#01H
    MOV     35H,A
    RET

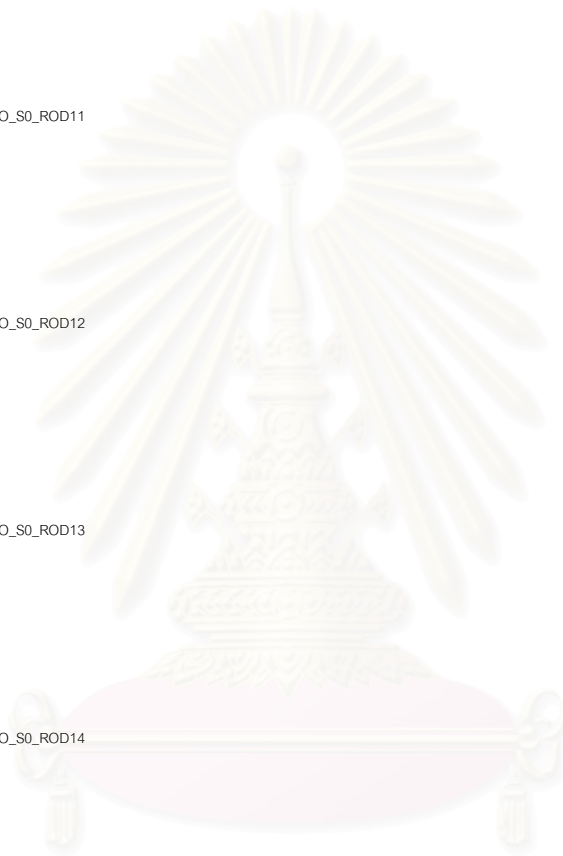
NO_S0_ROD12:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#13H,NO_S0_ROD13
    MOV     A,36H
    ORL    A,#10H
    MOV     36H,A
    RET

NO_S0_ROD13:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#14H,NO_S0_ROD14
    MOV     A,36H
    ORL    A,#01H
    MOV     36H,A
    RET

NO_S0_ROD14:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#15H,NO_S0_ROD15
    MOV     A,37H
    ORL    A,#10H
    MOV     37H,A
    RET

NO_S0_ROD15:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#16H,NO_S0_ROD16
    MOV     A,37H
    ORL    A,#01H
    MOV     37H,A
    RET

NO_S0_ROD16:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#17H,NO_S0_ROD17
    MOV     A,38H
    ORL    A,#10H
    MOV     38H,A
```



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันวิทยบริการ

```

RET
NO_S0_ROD17:
MOV     A,R7
CJNE   A,#18H,NO_S0_ROD18
MOV     A,38H
ORL    A,#01H
MOV     38H,A
RET
NO_S0_ROD18:
MOV     A,R7
CJNE   A,#19H,NO_S0_ROD19
MOV     A,39H
ORL    A,#10H
MOV     39H,A
RET
NO_S0_ROD19:
MOV     A,R7
CJNE   A,#20H,NO_S0_ROD20
MOV     A,39H
ORL    A,#01H
MOV     39H,A
RET
NO_S0_ROD20:
RET

;*****
;*** SET ROD TO SOUND 2 ****
;*****
SET_ROD_S1:
CALL   CLR_ALL_S1
MOV    A,R7                ;MOV DATA FORM BUFFER
CJNE  A,#01H,NO_S1_ROD1   ;JUMP IF NO ROD 01
MOV    A,30H
ORL   A,#20H              ;SET BIT CONTROL RELAY
MOV    30H,A              ;SAVE DATA TO BUFFER
RET
NO_S1_ROD1:
MOV    A,R7
CJNE  A,#02H,NO_S1_ROD2
MOV    A,30H
ORL   A,#02H
MOV    30H,A
RET
NO_S1_ROD2:
MOV    A,R7
CJNE  A,#03H,NO_S1_ROD3
MOV    A,31H
ORL   A,#20H
MOV    31H,A
RET
NO_S1_ROD3:
MOV    A,R7
CJNE  A,#04H,NO_S1_ROD4
MOV    A,31H
ORL   A,#02H
MOV    31H,A
RET
NO_S1_ROD4:
MOV    A,R7
CJNE  A,#05H,NO_S1_ROD5
MOV    A,32H

```

```

    ORL    A,#20H
    MOV    32H,A
    RET
NO_S1_ROD5:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#06H,NO_S1_ROD6
    MOV    A,32H
    ORL    A,#02H
    MOV    32H,A
    RET
NO_S1_ROD6:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#07H,NO_S1_ROD7
    MOV    A,33H
    ORL    A,#20H
    MOV    33H,A
    RET
NO_S1_ROD7:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#08H,NO_S1_ROD8
    MOV    A,33H
    ORL    A,#02H
    MOV    33H,A
    RET
NO_S1_ROD8:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#09H,NO_S1_ROD9
    MOV    A,34H
    ORL    A,#20H
    MOV    34H,A
    RET
NO_S1_ROD9:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#10H,NO_S1_ROD10
    MOV    A,34H
    ORL    A,#02H
    MOV    34H,A
    RET
NO_S1_ROD10:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#11H,NO_S1_ROD11
    MOV    A,35H
    ORL    A,#20H
    MOV    35H,A
    RET
NO_S1_ROD11:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#12H,NO_S1_ROD12
    MOV    A,35H
    ORL    A,#02H
    MOV    35H,A
    RET
NO_S1_ROD12:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#13H,NO_S1_ROD13
    MOV    A,36H
    ORL    A,#20H
    MOV    36H,A
    RET
NO_S1_ROD13:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#14H,NO_S1_ROD14

```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

MOV     A,36H
ORL     A,#02H
MOV     36H,A
RET

NO_S1_ROD14:
MOV     A,R7
CJNE   A,#15H,NO_S1_ROD15
MOV     A,37H
ORL     A,#20H
MOV     37H,A
RET

NO_S1_ROD15:
MOV     A,R7
CJNE   A,#16H,NO_S1_ROD16
MOV     A,37H
ORL     A,#02H
MOV     37H,A
RET

NO_S1_ROD16:
MOV     A,R7
CJNE   A,#17H,NO_S1_ROD17
MOV     A,38H
ORL     A,#20H
MOV     38H,A
RET

NO_S1_ROD17:
MOV     A,R7
CJNE   A,#18H,NO_S1_ROD18
MOV     A,38H
ORL     A,#02H
MOV     38H,A
RET

NO_S1_ROD18:
MOV     A,R7
CJNE   A,#19H,NO_S1_ROD19
MOV     A,39H
ORL     A,#20H
MOV     39H,A
RET

NO_S1_ROD19:
MOV     A,R7
CJNE   A,#20H,NO_S1_ROD20
MOV     A,39H
ORL     A,#02H
MOV     39H,A
RET

NO_S1_ROD20:
RET

;*****
;**** SET ROD TO M 1 *****
;*****

SET_ROD_M0:
CALL   CLR_ALL_M0
MOV     A,R7                                ;MOV DATA FORM BUFFER
CJNE   A,#01H,NO_M0_ROD1                    ;JUMP IF NO ROD 01
MOV     A,30H
ORL     A,#40H                                ;SET BIT CONTROL RELAY
MOV     30H,A                                ;SAVE DATA TO BUFFER
RET

NO_M0_ROD1:
MOV     A,R7

```

```
CJNE    A,#02H,NO_M0_ROD2
MOV     A,30H
ORL     A,#04H
MOV     30H,A
RET

NO_M0_ROD2:
MOV     A,R7
CJNE   A,#03H,NO_M0_ROD3
MOV     A,31H
ORL     A,#40H
MOV     31H,A
RET

NO_M0_ROD3:
MOV     A,R7
CJNE   A,#04H,NO_M0_ROD4
MOV     A,31H
ORL     A,#04H
MOV     31H,A
RET

NO_M0_ROD4:
MOV     A,R7
CJNE   A,#05H,NO_M0_ROD5
MOV     A,32H
ORL     A,#40H
MOV     32H,A
RET

NO_M0_ROD5:
MOV     A,R7
CJNE   A,#06H,NO_M0_ROD6
MOV     A,32H
ORL     A,#04H
MOV     32H,A
RET

NO_M0_ROD6:
MOV     A,R7
CJNE   A,#07H,NO_M0_ROD7
MOV     A,33H
ORL     A,#40H
MOV     33H,A
RET

NO_M0_ROD7:
MOV     A,R7
CJNE   A,#08H,NO_M0_ROD8
MOV     A,33H
ORL     A,#04H
MOV     33H,A
RET

NO_M0_ROD8:
MOV     A,R7
CJNE   A,#09H,NO_M0_ROD9
MOV     A,34H
ORL     A,#40H
MOV     34H,A
RET

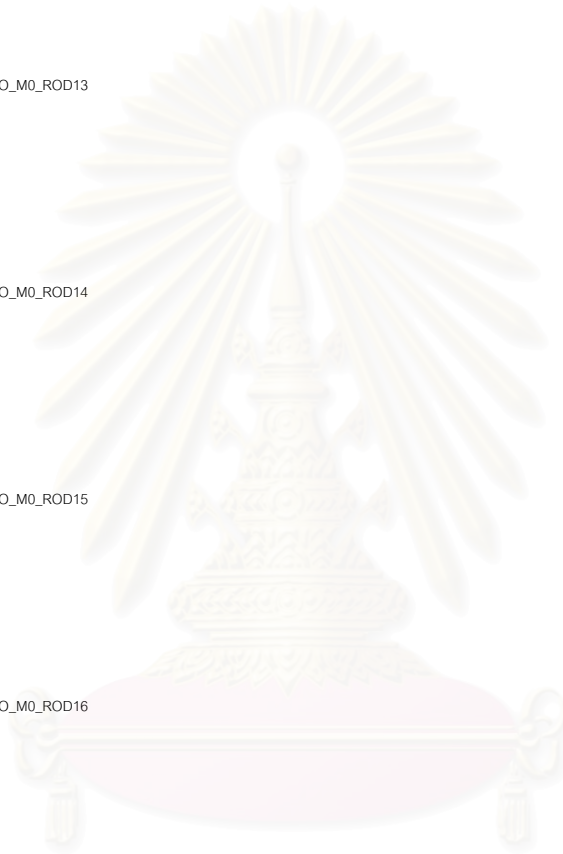
NO_M0_ROD9:
MOV     A,R7
CJNE   A,#10H,NO_M0_ROD10
MOV     A,34H
ORL     A,#04H
MOV     34H,A
RET

NO_M0_ROD10:
```



สถาบันวิทยบริการ
ภาควิชาการมัธยมศึกษา


```
MOV A,R7
CJNE A,#11H,NO_M0_ROD11
MOV A,35H
ORL A,#40H
MOV 35H,A
RET
NO_M0_ROD11:
MOV A,R7
CJNE A,#12H,NO_M0_ROD12
MOV A,35H
ORL A,#04H
MOV 35H,A
RET
NO_M0_ROD12:
MOV A,R7
CJNE A,#13H,NO_M0_ROD13
MOV A,36H
ORL A,#40H
MOV 36H,A
RET
NO_M0_ROD13:
MOV A,R7
CJNE A,#14H,NO_M0_ROD14
MOV A,36H
ORL A,#04H
MOV 36H,A
RET
NO_M0_ROD14:
MOV A,R7
CJNE A,#15H,NO_M0_ROD15
MOV A,37H
ORL A,#40H
MOV 37H,A
RET
NO_M0_ROD15:
MOV A,R7
CJNE A,#16H,NO_M0_ROD16
MOV A,37H
ORL A,#04H
MOV 37H,A
RET
NO_M0_ROD16:
MOV A,R7
CJNE A,#17H,NO_M0_ROD17
MOV A,38H
ORL A,#40H
MOV 38H,A
RET
NO_M0_ROD17:
MOV A,R7
CJNE A,#18H,NO_M0_ROD18
MOV A,38H
ORL A,#04H
MOV 38H,A
RET
NO_M0_ROD18:
MOV A,R7
CJNE A,#19H,NO_M0_ROD19
MOV A,39H
ORL A,#40H
MOV 39H,A
RET
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

NO_M0_ROD19:
    MOV     A,R7
    CJNE   A,#20H,NO_M0_ROD20
    MOV     A,39H
    ORL    A,#04H
    MOV     39H,A
    RET
NO_M0_ROD20:
    RET

```

```

;*****
;**** SET ROD TO M 1 ****
;*****

```

```

SET_ROD_M1:
    CALL   CLR_ALL_M1
    MOV    A,R7                ;MOV DATA FORM BUFFER
    CJNE  A,#01H,NO_M1_ROD1  ;JUMP IF NO ROD 01
    MOV   A,30H
    ORL  A,#40H                ;SET BIT CONTROL RELAY
    MOV  30H,A                 ;SAVE DATA TO BUFFER
    RET

```

```

NO_M1_ROD1:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#02H,NO_M1_ROD2
    MOV   A,30H
    ORL  A,#04H
    MOV  30H,A
    RET

```

```

NO_M1_ROD2:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#03H,NO_M1_ROD3
    MOV   A,31H
    ORL  A,#40H
    MOV  31H,A
    RET

```

```

NO_M1_ROD3:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#04H,NO_M1_ROD4
    MOV   A,31H
    ORL  A,#04H
    MOV  31H,A
    RET

```

```

NO_M1_ROD4:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#05H,NO_M1_ROD5
    MOV   A,32H
    ORL  A,#40H
    MOV  32H,A
    RET

```

```

NO_M1_ROD5:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#06H,NO_M1_ROD6
    MOV   A,32H
    ORL  A,#04H
    MOV  32H,A
    RET

```

```

NO_M1_ROD6:
    MOV    A,R7
    CJNE  A,#07H,NO_M1_ROD7
    MOV   A,33H
    ORL  A,#40H

```

```
MOV 33H,A
RET
NO_M1_ROD7:
MOV A,R7
CJNE A,#08H,NO_M1_ROD8
MOV A,33H
ORL A,#04H
MOV 33H,A
RET
NO_M1_ROD8:
MOV A,R7
CJNE A,#09H,NO_M1_ROD9
MOV A,34H
ORL A,#40H
MOV 34H,A
RET
NO_M1_ROD9:
MOV A,R7
CJNE A,#10H,NO_M1_ROD10
MOV A,34H
ORL A,#04H
MOV 34H,A
RET
NO_M1_ROD10:
MOV A,R7
CJNE A,#11H,NO_M1_ROD11
MOV A,35H
ORL A,#40H
MOV 35H,A
RET
NO_M1_ROD11:
MOV A,R7
CJNE A,#12H,NO_M1_ROD12
MOV A,35H
ORL A,#04H
MOV 35H,A
RET
NO_M1_ROD12:
MOV A,R7
CJNE A,#13H,NO_M1_ROD13
MOV A,36H
ORL A,#40H
MOV 36H,A
RET
NO_M1_ROD13:
MOV A,R7
CJNE A,#14H,NO_M1_ROD14
MOV A,36H
ORL A,#04H
MOV 36H,A
RET
NO_M1_ROD14:
MOV A,R7
CJNE A,#15H,NO_M1_ROD15
MOV A,37H
ORL A,#40H
MOV 37H,A
RET
NO_M1_ROD15:
MOV A,R7
CJNE A,#16H,NO_M1_ROD16
MOV A,37H
```

```

        ORL    A,#04H
        MOV    37H,A
        RET
NO_M1_ROD16:
        MOV    A,R7
        CJNE  A,#17H,NO_M1_ROD17
        MOV    A,38H
        ORL    A,#40H
        MOV    38H,A
        RET
NO_M1_ROD17:
        MOV    A,R7
        CJNE  A,#18H,NO_M1_ROD18
        MOV    A,38H
        ORL    A,#04H
        MOV    38H,A
        RET
NO_M1_ROD18:
        MOV    A,R7
        CJNE  A,#19H,NO_M1_ROD19
        MOV    A,39H
        ORL    A,#40H
        MOV    39H,A
        RET
NO_M1_ROD19:
        MOV    A,R7
        CJNE  A,#20H,NO_M1_ROD20
        MOV    A,39H
        ORL    A,#04H
        MOV    39H,A
        RET
NO_M1_ROD20:
        RET

```

```

;*****
;***** CONVERT HEX TO AS. *****
;***** OUTPUT ADDR. 3AH *****
;*****

```

HTOA:

```

        MOV    R0,#3AH
        LCALL  HTOAS
        MOV    @R0,A
        RET

```

HTOAS:

```

        ANL    A,#0FH
        CJNE  A,#0AH,$+3
        JNC   HTOAS1
        ORL    A,#30H
        RET

```

HTOAS1:

```

        SUBB  A,#9H
        ORL    A,#40H
        RET

```

```

;*****
;***** CLEAR RELAY OFF ALL *****
;*****

```

RELAY_CLR:

```

        MOV    R0,#30H
        MOV    R2,#09H

```

LOOP5:

```

        MOV    @R0,#00H

```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

INC R0
DJNZ R2,LOOP5
RET

```

```

;*****
;***** DISPLAY FUNCTION 1 ON LCD **
;*****

```

```

DISP_F1:
CALL LCD_CLR
MOV DPTR,#F1_L1
CALL LCD_TEXT_L1
MOV DPTR,#F1_L3
CALL LCD_TEXT_L3
RET

```

```

;*****
;*** TEXT DISPLY ON LCD **
;*****

```

```

INT_L1: DB "EARTH RESISTANCE",0FFH

VOLT_L3: DB "VOLT = ",0FFH
AMP_L4: DB "AMP = ",0FFH

F1_L1: DB "SELECT TR ROD N1",0FFH
F1_L3: DB "TR ROD NO1 = ",0FFH

F2_L1: DB "SELECT TR ROD N2",0FFH
F2_L3: DB "TR ROD NO2 = ",0FFH

F3_L1: DB "SELECT RE ROD N1",0FFH
F3_L3: DB "RE ROD NO1 = ",0FFH

F4_L1: DB "SELECT RE ROD N2",0FFH
F4_L3: DB "RE ROD NO1 = ",0FFH

```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อทำการคอมไพล์ EARTH.ASM ด้วย ASSEMBLER SXA51 จะได้ไฟล์ EARTH.HEX ซึ่งสามารถ
burn ลง EPROM แล้วนำไปใส่บอร์ดคอนโทรลเลอร์ใช้งานได้ทันที

ไฟล์ EARTH.HEX มีรายละเอียดดังนี้

'EARTH.HEX'

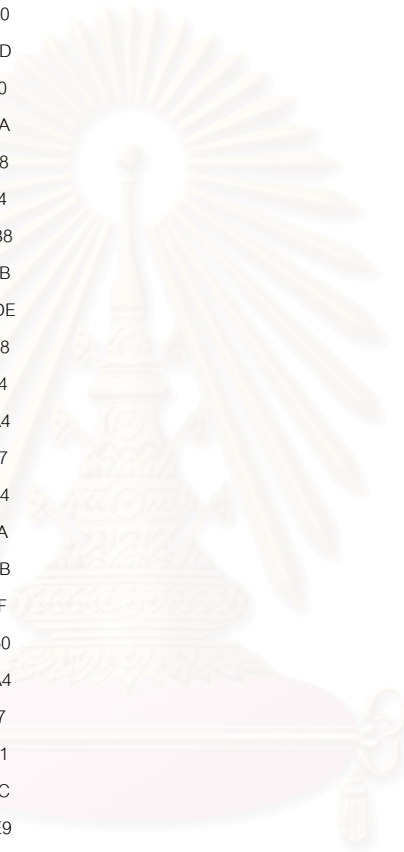
```
:02000000802B53
:10002300309903C29932120269327A207B00DBFED7
:10003300DAFA75815090F8037480F090FC037489A8
:10004300F090F8007400F0A3F074FFF07400F0A3D4
:10005300F074FFF07400F078307A09760008DAFB68
:10006300758920759852758DFDD28ED2AFD2AC9022
:10007300FA007438F0120329740EF012032974067F
:10008300F01203297401F012032912048012084BA1
:1000930012026A9008861203CC9008971203F91291
:1000A3000117EAF1204B99008A51203CC9008B611
:1000B3001203F9120117EAF1205989008C41203FC
:1000C300CC9008D51203F9120117EAF12067790B4
:1000D30008E31203CC9008F41203F9120117EAF1204
:1000E30012075612026A1204809008651203CC901C
:1000F300087612042690087E12045312034E12034C
:100103008D1201E31202261201A3E540B43A030261
:10011300008D80E790FA00740FF01203297F02121A
:1001230001A3E540B4000280F6E540B43D0280EF50
:10013300B43B0280EAB43A0280E590FA02E540F06B
:1001430012034475400090FA007410F01203441235
:1001530001A3E540B43BF890FA007414F012034491
:10016300DFBD90FA00740EF01203441201A3E540C0
:10017300B4000280F6B43DF375400090FA00748D2C
:10018300F012034490FA03E0120344FBE012034429
:10019300FA7E04EB540F23DEFDFBEA540F4BFA22E5
:1001A300754000740190FC00F090FC02E01202A183
:1001B300740290FC00F090FC02E01202C3740490FD
:1001C300FC00F090FC02E01202E5740890FC00F0E1
:1001D30090FC02E0120307740090FC00F0D20022AE
:1001E30012034E90FA007497F0120344E52C1208A0
:1001F3003590FA02E53AF0120344E52B12083590E4
:10020300FA02E53AF0120344E52A12083590FA029D
:10021300E53AF012034474A0F01203447448F01258
:1002230003442212038D90FA0074D7F0120344E5BD
:100233002F12083590FA02E53AF0120344E52E1224
:10024300083590FA02E53AF0120344E52D12083519
:1002530090FA02E53AF012034474A0F012034474D6
:1002630048F012034422278307E087D0190F80181
:100273007400F090F800E6F090F801EDF023FD082B
```

:10028300DEEB78387E027D0190F8027400F090F87E
:1002930000E6F090F802EDF023FD08DEEB2254F0C7
:1002A300B4000122B4100475403422B42004754014
:1002B3003522B4400475403622B4800375403B2296
:1002C30054F0B4000122B4100475403122B4200468
:1002D30075403222B4400475403322B48003754024
:1002E3003A2254F0B4000122B4100475400022B441
:1002F300200475403022B4400475400022B48003CA
:1003030075403D2254F0B4000122B4100475403707
:1003130022B4200475403822B4400475403922B415
:10032300800375400022C0E0C0F075F0F9D5F0FD00
:1003330075F0F9D5F0FD75F0F8D5E0F1D0F0D0E027
:1003430022C0E07414D5E0FDD0E02285FF90C29472
:10035300C293D292D293C293D292D293C293C292B5
:10036300D293C293D292D293C293D293C293782C54
:100373007E0376007F04C293D293E6309003D3804A
:1003830001C333F6DFF018DEE92285FF90C294C281
:1003930093D292D293C293D292D293C293D292D255
:1003A30093C293D292D293C293D293C293782F7E65
:1003B3000376007F04C293D293E6309003D3800187
:1003C300C333F6DFF018DEE922C082C08390FA005F
:1003D3007480F071297F00D083D082EF93FE0FC029
:1003E30082C083B4FF02800990FA02EEF071448068
:1003F300E6D083D08222C082C08390FA0074C0F01A
:1004030071297F00D083D082EF93FE0FC082C08317
:10041300B4FF02800990FA02EEF0714480E6D083C3
:10042300D08222C082C08390FA007490F071297F39
:100433000D083D082EF93FE0FC082C083B4FF024B
:10044300800990FA02EEF0714480E6D083D08222D4
:10045300C082C08390FA0074D0F071297F00D083EA
:10046300D082EF93FE0FC082C083B4FF0280099055
:10047300FA02EEF0714480E6D083D0822290FA0033
:100483007401F071292278307F09E654EEF608DF13
:10049300F92278307F09E654DDF608DFF922783057
:1004A3007F09E654BBF608DFF92278307F09E6546A
:1004B30077F608DFF9229189EFB40107E53044109C
:1004C300F53022EFB40207E5304401F53022EFB4F2
:1004D3000307E5314410F53122EFB40407E5314455
:1004E30001F53122EFB40507E5324410F53222EF6E
:1004F300B40607E5324401F53222EFB40707E533CA
:100503004410F53322EFB40807E5334401F53322F1
:10051300EFB40907E5344410F53422EFB41007E5CE
:10052300344401F53422EFB41107E5354410F535B1
:1005330022EFB41207E5354401F53522EFB4130772
:10054300E5364410F53622EFB41407E5364401F5D9
:100553003622EFB41507E5374410F53722EFB4160A
:1005630007E5374401F53722EFB41707E5384410A0
:10057300F53822EFB41807E5384401F53822EFB413
:100583001907E5394410F53922EFB42007E539445A
:1005930001F5392229195EFB40107E5304420F5A6



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศูนย์บริการ
กรุงเทพมหานคร

:1005A3003022EFB40207E5304402F53022EFB40302
:1005B30007E5314420F53122EFB40407E531440265
:1005C300F53122EFB40507E5324420F53222EFB4CA
:1005D3000607E5324402F53222EFB40707E5334458
:1005E30020F53322EFB40807E5334402F53322EF55
:1005F300B40907E5344420F53422EFB41007E53499
:100603004402F53422EFB41107E5354420F53522D1
:10061300EFB41207E5354402F53522EFB41307E5CD
:10062300364420F53622EFB41407E5364402F53696
:1006330022EFB41507E5374420F53722EFB4160748
:10064300E5374402F53722EFB41707E5384420F5C0
:100653003822EFB41807E5384402F53822EFB4190D
:1006630007E5394420F53922EFB42007E539440280
:10067300F539222291A1EFB40107E5304440F5306A
:1006830022EFB40207E5304404F53022EFB4030748
:10069300E5314440F53122EFB40407E5314404F574
:1006A3003122EFB40507E5324440F53222EFB406B8
:1006B30007E5324404F53222EFB40707E53344403B
:1006C300F53322EFB40807E5334404F53322EFB4DE
:1006D3000907E5344440F53422EFB41007E5344408
:1006E30004F53422EFB41107E5354440F53522EF24
:1006F300B41207E5354404F53522EFB41307E536A4
:100703004440F53622EFB41407E5364404F53622A7
:10071300EFB41507E5374440F53722EFB41607E584
:10072300374404F53722EFB41707E5384440F5386A
:1007330022EFB41807E5384404F53822EFB419075B
:10074300E5394440F53922EFB42007E5394404F58F
:1007530039222291ADEFB40107E5304440F5302250
:10076300EFB40207E5304404F53022EFB40307E5A4
:10077300314440F53122EFB40407E5314404F53147
:1007830022EFB40507E5324440F53222EFB4060701
:10079300E5324404F53222EFB40707E5334440F56C
:1007A3003322EFB40807E5334404F53322EFB409E9
:1007B30007E5344440F53422EFB41007E53444042C
:1007C300F53422EFB41107E5354440F53522EFB493
:1007D3001207E5354404F53522EFB41307E5364433
:1007E30040F53622EFB41407E5364404F53622EF1C
:1007F300B41507E5374440F53722EFB41607E5375C
:100803004404F53722EFB41707E5384440F538229E
:10081300EFB41807E5384404F53822EFB41907E5B7
:10082300394440F53922EFB42007E5394404F5395A
:10083300222783A12083CF622540FB40A005003DD
:10084300443022940944402278307A09760008DA49
:10085300FB221204809008861203CC90089712049E
:100863002622454152544820524553495354414E40
:100873004345FF564F4C54203D20FF414D5020200F
:100883003D20FF53454C45435420545220524F447E
:10089300204E31FF545220524F44204E4F31203DC1
:1008A30020FF53454C45435420545220524F44207B
:1008B3004E32FF545220524F44204E4F32203D209F



มหาวิทยาลัย
วิทยาบริการ

:1008C300FF53454C45435420524520524F44204E3C
:1008D30031FF524520524F44204E4F31203D20FFDF
:1008E30053454C45435420524520524F44204E32E9
:0F08F300FF524520524F44204E4F31203D20FFF1
:0000001FF



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประสาน ทวีวรรณกิจ เกิดวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2511 ที่เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2538 และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2540 โดยระหว่างการศึกษาในระดับมหาบัณฑิตได้รับทุนการศึกษาจาก ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย