

การออกแบบและสร้างระบบจีไออิเล็กทรอนิกส์ โหนดสำหรับเครื่องวัดสภาพต้านทานดิน

สมศักดิ์ เดียวสุนทร วรุฒิ โลหะวิจารณ์ วีระ ไทยสยาม และแจลัม พรหมพัฒน์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างระบบจีไออิเล็กทรอนิกส์โหนด ซึ่งเป็นเครื่องมือในการสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์หลายขั้วสำหรับใช้กับเครื่องวัดสภาพต้านทานดินใดๆ ระบบประกอบด้วยหน่วยควบคุมซึ่งต่อกับเครื่องวัดสภาพต้านทานดินด้วยสายไฟสี่สาย (สายกระแสสองเส้นและสายศักย์ไฟฟ้าสองเส้น) และต่อกับจีไออิเล็กทรอนิกส์โหนดแบบเน็ตเวอร์ก 16 ชุดด้วยสายเคเบิลเจ็ดสาย หน่วยควบคุมออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ต่อกับคีย์แพดโทรศัพท์เพื่อเลือกโหนดที่ต้องการ มีหน่วยแสดงผลเป็นเซเวนเซกเมนต์สองหลัก สวิตซ์สี่ตัวสำหรับเลือกสายทั้งสี่ และ LED สี่ตัวแสดงผลสายที่ถูกเลือก แต่ละอิเล็กทรอนิกส์โหนดออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 กับสวิตซ์รีเลย์สี่ตัว สายไฟสองสายใช้กับบัส RS-485 ไตรเวอร์สำหรับการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมกับแต่ละจีไออิเล็กทรอนิกส์โหนด ระบบสามารถขยายเพื่อรองรับได้กับ 32 อิเล็กทรอนิกส์โหนดและมีช่วงการวัดยาวถึง 3 กิโลเมตร

Design and Construction of a Geo-electric Node System for Earth Resistivity Meters

Somsak Deawsurintr, Warawutti Lohawijarn, Wera Thaisayam and Chalamp Prompat
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkhla University, Hatyai, Songkhla
90112, Thailand;

Abstract

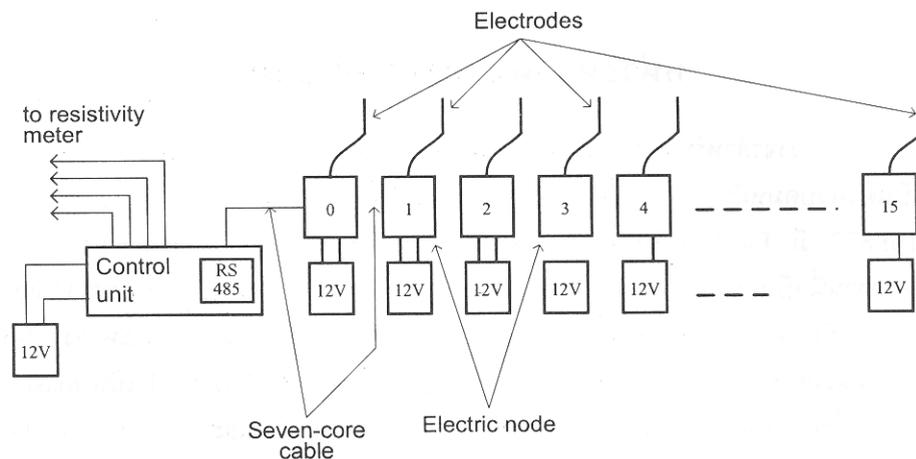
A sixteen-node geo-electric system is presented. The multi-electrode switching array can be used with any earth-resistivity meter and consists of a control unit which interfaces resistivity meter by means of four wires (two current wires and two potential wires) with sixteen geo-electric nodes, connected to the control unit via a network of a seven-core cable. The control unit uses PIC16F877 interfaces with a telephone keypad to select the wanted electric node, two seven-segment LED for display, four switches for line selection and four LEDs for line indicator. Each electric node has been designed by using PIC16F84 and four relays for electrode switching. Two wires are used for the RS-485 bus driver between the control unit and each electric node for communication. The system can be expanded up to 32-electric nodes within a range of 3 kilometer.

บทนำ

หน่วยธรณีฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์มีเครื่องวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินซึ่งใช้ในการสำรวจ การตรวจหาชั้นน้ำบาดาล การตรวจหาลำดับชั้นดิน การตรวจหาความลึกของชั้นหินดานสำหรับงานก่อสร้าง การตรวจหารอยต่อของชั้นหินทางด้านธรณีวิทยาตามแนวราบ ในการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้ขั้วไฟฟ้า 4 ขั้วโดยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วสำหรับป้อนกระแสไฟฟ้า (I) ให้กับดิน และขั้วไฟฟ้าอีก 2 ขั้วสำหรับวัดความต่างศักย์ของดิน (ΔV) โดยสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินสามารถคำนวณได้จาก $\rho = G(\Delta V/I)$ เมื่อ G คือ geometrical factor ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าต่างๆ ในการวัดเราต้องปักขั้วไฟฟาลงบนพื้นดินทั้งสี่จุดพร้อมกัน เมื่อต้องการวัดค่าอื่นๆ จะต้องเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วกระแสไฟฟ้า หรือการเปลี่ยนตำแหน่งขั้วไฟฟ้าตามแนวราบ จำเป็นต้องใช้แรงงานคนช่วย โดยใช้คน 1 คนต่อ 1 ขั้วไฟฟ้า เพื่อความสะดวกและความรวดเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่ง ในหนึ่งทีมสำหรับการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินเรา

จำเป็นต้องมีผู้ช่วยงานสนามถึง 4 คน

เพื่อลดจำนวนคนและเพิ่มประสิทธิภาพในกรณีที่ต้องการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าซ้ำหลาย ๆ ครั้งโดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายขั้วไฟฟ้ากลับไปกลับมา การออกแบบระบบเคลื่อนย้ายขั้วไฟฟ้าอัตโนมัติ หรือการใช้ระบบวัดแบบขั้วไฟฟ้าหลายขั้วเพื่อนำมาใช้กับเครื่องวัดสภาพต้านทานที่มีอยู่จึงเป็นสิ่งที่เป็ประโยชน์อย่างยิ่ง วิธีนี้จำนวนขั้วไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องการจะถูกปักลงบนพื้นดินครั้งเดียวตามแบบที่กำหนดไว้ เครื่องควบคุมสามารถเลือกขั้วไฟฟ้า 4 ขั้วใดๆ ตามต้องการ ระบบนี้ทำให้การออกสนามเพื่อวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าใช้คนเพียงคนเดียว เรียกขานระบบนี้ว่าระบบจีโออิเล็กทริกโหนด (Geo-electric node system)



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบจีโออิเล็กทริกโหนด

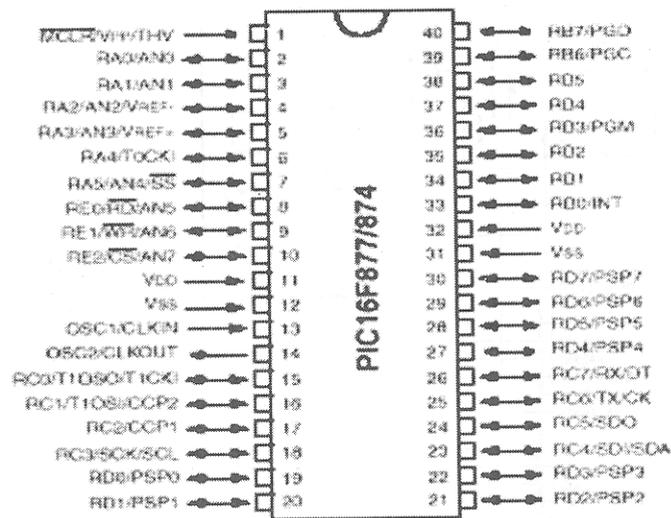
วิธีการ (methodology)

ระบบจีโออิเล็กทริกโหนดมีแผนภาพบล็อกดังแสดงรูปที่ 1 ระบบประกอบด้วย 2 ส่วนคือ หน่วยควบคุม (control unit) และอิเล็กทริกโหนด (electric node) 16 ชุด หน่วยควบคุมต่อกับเครื่องวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยสายไฟ 4 สาย สาย A และ B สำหรับกระแส สาย M และ N สำหรับศักย์ไฟฟ้าและต่อกับอิเล็กทริกโหนดทั้ง 16 ชุด เป็นเครือข่าย (network) ด้วยเคเบิล utp แบบ 8 สาย สาย 4 สายต่อผ่านแผงพิมพ์วงจรไปสู่เครื่องวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า 2 สายเป็นบัสของสัญญาณควบคุม สายดิน (ground) 1 สาย และสายว่าง 1 สาย คอนเนกเตอร์สำหรับเคเบิลนี้เป็นเต้าเสียบสายโทรศัพท์แบบโมดูลา (modular telephone jack)

หน่วยควบคุมทำหน้าที่เลือกสาย A B M หรือ N โดยสวิทช์แบบกดติดปล่อยดับ (push button switch) 4 ตัว และเลือกหมายเลขโหนด (electric node number) ด้วยแผงแป้น (keypad) ไทคัพท์ สายที่เลือกแสดงผลบน LED 4 ตัว และหมายเลขแสดงผลบนเซเวนเซกเมนต์ LED สองหลัก สวิทช์อีกหนึ่งตัวทำหน้าที่ในการส่งข้อมูล (enter switch) อิเล็กทริกโหนดแต่ละตัวซึ่งมีหมายเลข (node number) เฉพาะของมันเอง (0-15) ทำหน้าที่รับหมายเลขจากหน่วยควบคุมพร้อมกันทั้ง 16 ชุด ถ้าหมายเลขที่ส่งมาตรงกับหมายเลขตัวมันเอง วงจรในอิเล็กทรอนิกส์จะกระตุ้นรีเลย์สวิทช์ให้ทำงาน ทำให้ขั้วไฟฟ้าสำหรับอิเล็กทรอนิกส์นั้นเชื่อมต่อเข้ากับสายใดๆ ในสี่สายที่ถูกเลือก ถ้าหมายเลขที่ส่งมาไม่ตรงกับหมายเลขของมัน วงจรจะไม่กระตุ้นรีเลย์สวิทช์แต่จะเข้าสู่สลิปโหมด (sleep mode) เพื่อประหยัดพลังงาน

หน่วยควบคุม (control unit)

วงจรสำหรับหน่วยควบคุมมีไมโครคอนโทรลเลอร์ Microchip PIC 16F877 เป็นตัวควบคุมหลัก อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ใหม่ที่บริษัทผลิตจำหน่ายเมื่อไม่นานมานี้ PIC 16F877 มี Flash EEPROM สำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งสะดวกในการนำมาใช้สำหรับโครงการนี้ เป็นอุปกรณ์ขนาด 40 ขา ไดอะแกรมขา 16F877 แสดงในรูปที่ 2 ขา 32 และ 31 ต่อกับแหล่งจ่ายไฟบวกและลบ ตามลำดับ แหล่งจ่ายไฟป้อนแรงดันระหว่าง 2-6 โวลต์และโดยทั่วไปจ่ายกระแสประมาณ 2 mA ที่ 5 โวลต์ที่ 4 MHz ขา 1 เป็น master clear ซึ่งปกติต้องเป็น high ยกเว้นเมื่อต้องการ clear ขา 15 และ 16 ต่อกับ crystal ออสซิลเลเตอร์ 4 MHz PIC 16F877 มี EEPROM 8K word ขนาด 14-bit สำหรับเก็บคำสั่งและ 256 byte EEPROM เก็บข้อมูลมี 15 special function รีจิสเตอร์ และ 36 byte รีจิสเตอร์อเนกประสงค์ มี I/O พอร์ต 5 พอร์ต ซึ่งมีขา ดังนี้ พอร์ต A (RA0-6) พอร์ต B (RB0-7) พอร์ต C (RC0-7) พอร์ต D (RD0-7) พอร์ต E (RE0-7) PIC มีคำสั่งเพียง 35 คำสั่งทำให้โปรแกรมง่ายต่อการเรียนรู้



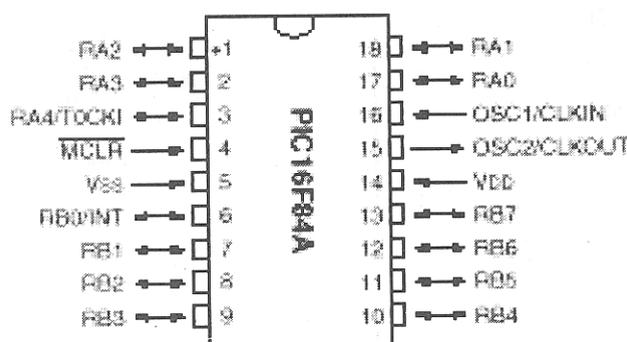
รูปที่ 2 ไดอะแกรมแสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 สำหรับวงจรควบคุมหลัก

PIC 16F877 ต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นวงจรควบคุมหลักดังรูปที่ 3 พอร์ต B ติดต่อกับเซเว่นเซกเมนต์ LED สองหลักสำหรับแสดงหมายเลขของอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมเดียวกันพอร์ท B ก็ต่อกับ 3x4 แผงแป้นโทรศัพท์สำหรับเลือกอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมที่ต้องการติดต่อ พอร์ท B ทำงานแบบมัลติเพล็กซ์คือเป็นเอาต์พุตทั้งพอร์ทเมื่อแสดงผลแต่เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุตเมื่อต้องรับค่าจากคีย์แป้น ขา RB0-RB7 ต่อกับ เซกเมนต์ a-g ตามลำดับ ขา RB3-RB0 ต่อกับสแตมภ์ 1-3 RB4-RB7 ต่อกับแถว 1-4 ตามลำดับ พอร์ท A เป็นเอาต์พุตสำหรับ RA0 และ RA1 เพื่อจุดเซเว่นเซกเมนต์หลักสิบและหลักหน่วย ตามลำดับ ขา RB2 เป็นขาส่งข้อมูลแบบอนุกรมไปยังอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมผ่านบัสดрайเวอร์ ไอซี SN75176B ซึ่งเป็น balanced line drivers สัญญาณอินพุตเข้าที่ขา 4(D) และสัญญาณออกที่ขา 6(A) และ 7(B) ผ่านคอนเนกเตอร์เป็นบัสร่วมของอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมทั้ง 16 ชุด ขา RA3 เป็นอินพุตต่อกับสวิตช์เพื่อควบคุมการส่งข้อมูล พอร์ท C RC0- RC 3 ขาเป็นอินพุตต่อกับสวิตช์ ทั้งสี่ (A B M และ N) เพื่อเลือกสายกระแสหรือสายศักย์ไฟฟ้าของเครื่องวัดสภาพด้านทาดินไฟฟ้าที่จะต้องต่อกับอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคม ส่วนขา RC4- RC7 เป็นเอาต์พุตต่อกับ LED เพื่อแสดงผลสายทั้งสี่

อิเล็กทรอนิกส์ (electric node unit)

วงจรอิเล็กทรอนิกส์มีไมโครคอนโทรลเลอร์ Microchip PIC16F84 (รูปที่ 4) เป็นตัวควบคุมการทำงาน PIC16F84 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า PIC16F877 คือ มีขาเพียง 18 ขา และ Flash EEPROM สำหรับเก็บโปรแกรมก็น้อยกว่ามาก แต่ก็เพียงพอสำหรับหน้าที่ในการรับข้อมูลจากหน่วยควบคุม และช่วยกระตุ้นรีเลย์ให้ทำหน้าที่ปิด-เปิดขั้วไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์มีวงจรตามรูปที่ 5

อิเล็กทรอนิกส์รับข้อมูลจากับระบบด้วยบัสรีซีฟเวอร์ไอซี SN75176B เอาท์พุทรีซีฟเวอร์ R ขา 1 ต่อกับอินพุทพอร์ท B RB5 ของ PIC16F84 ขา 11 RB0-RB3 เป็นเอาท์พุทต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ 2N3904 ทั้ง 4 เพื่อควบคุมรีเลย์สวิตช์ RELAY1 RELAY2 RELAY3 และ RELAY4 ตามลำดับ LED เปล่งแสง D5 ต่อกับ RB5 ของพอร์ท B เพื่อแสดงว่า อิเล็กทรอนิกส์นั้นถูกเลือกจากหน่วยควบคุม



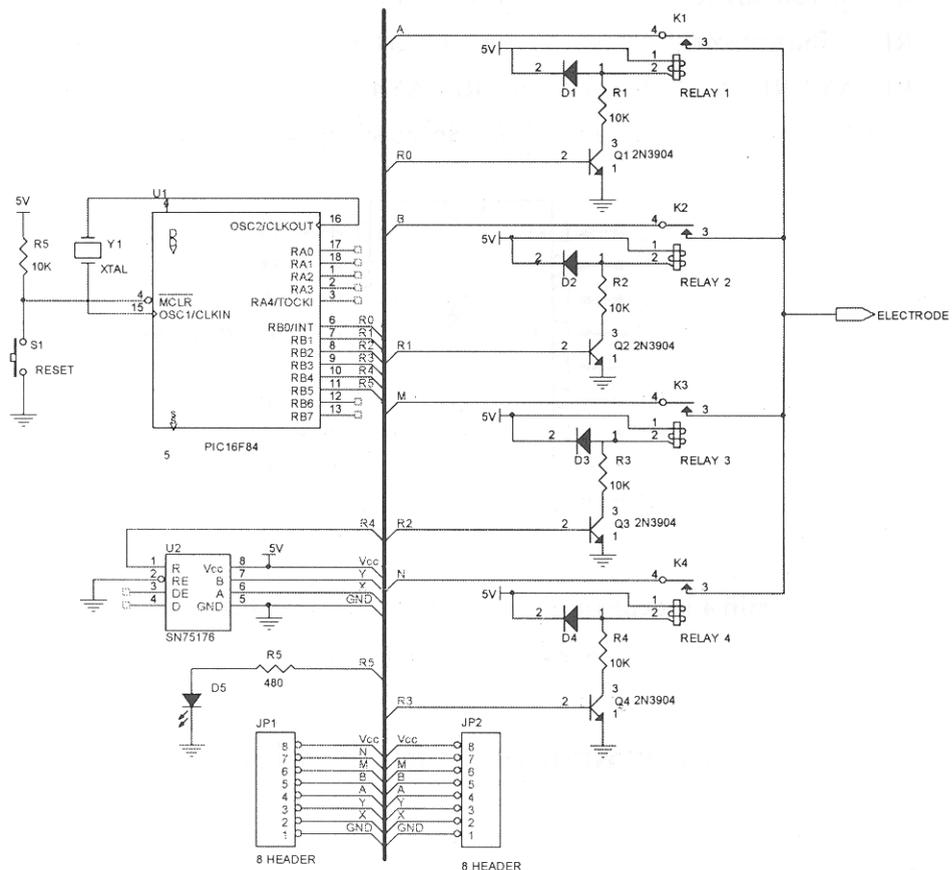
รูปที่ 4 ไดอะแกรมแสดงขาไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ซอฟต์แวร์ควบคุม (control software)

ซอฟต์แวร์โปรแกรมแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ โปรแกรมสำหรับ PIC16F877 ในหน่วยควบคุมและโปรแกรมสำหรับ PIC16F84 ในอิเล็กทรอนิกส์ โปรแกรมในหน่วยควบคุมประกอบด้วย โปรแกรมหลัก (main program) และโปรแกรมย่อยอินเตอร์รัปต์ (interrupt service routine) ซึ่งควบคุมการส่งข้อมูลและแสดงผล โปรแกรมในอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมการรับข้อมูลและปิดเปิด RELAY ทั้งสี่

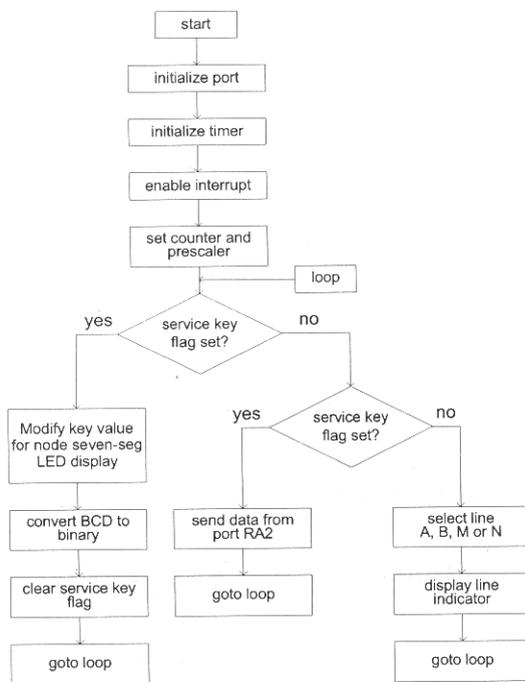
โปรแกรมหลัก (main program)

โปรแกรมหลักเริ่มต้นด้วยการเตรียมพร้อมพอร์ตต่างๆ โดยเซตพอร์ต B เป็นเอาต์พุตสำหรับส่งข้อมูลไปแสดงผล พอร์ต A เป็นเอาต์พุตสำหรับเซเว่นเซกเมนต์ LED พอร์ต C 4 บิตล่างเป็นอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากสวิทช์ทั้ง 4 พอร์ต C 4 บิตบนเป็นเอาต์พุตสำหรับแสดงผลค่าของสวิทช์ จากนั้นโปรแกรมจะเตรียมเซตค่าต่างๆ ให้แก่อุปกรณ์จับเวลา (timer) โดยเซตค่า prescaler หารด้วย 16 เซตค่าเริ่มต้นใน TMR0 เซต INTCON ให้อุปกรณ์จับเวลาทำการขัดจังหวะ (interrupt) โปรแกรมหลักได้ โปรแกรมหลักจะถูกขัดจังหวะทุกๆ 5 มิลลิวินาที

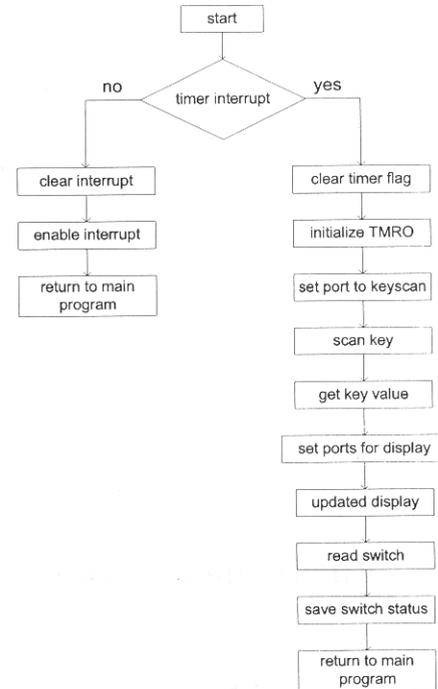


รูปที่ 5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

โปรแกรมทดสอบว่า service key flag เป็นเซตหรือไม่ ถ้า flag ถูกเซต โปรแกรมจะเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้รับจากการกดแป้น เพื่อให้เหมาะสมต่อการแสดงผลบนเซเว่นเซกเมนต์ LED หลังจากนั้นแปลงข้อมูลจาก BCD ให้เป็นเลขฐานสองเพื่อส่งไปยังอิเล็กทรอนิกส์โหนด แล้วเคลียร์ service key flag และวนอยู่ในลูป แต่ถ้า flag ไม่ถูกเซต โปรแกรมจะทดสอบว่า สวิตช์ที่ใช้ควบคุมในการส่งข้อมูลถูกกดหรือไม่ ถ้าถูกกดข้อมูลจะถูกส่งแบบอนุกรมผ่านขา RA2 แล้วกลับเข้าสู่ลูป แต่ถ้าไม่ถูกกดโปรแกรมจะเลือกว่า LED แสดงสาย A B M หรือ N ที่จะต้องแสดงผลซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะที่เก็บไว้ในช่วง interrupt service routine แล้วกลับเข้าสู่ลูป



(1) โปรแกรมหลัก



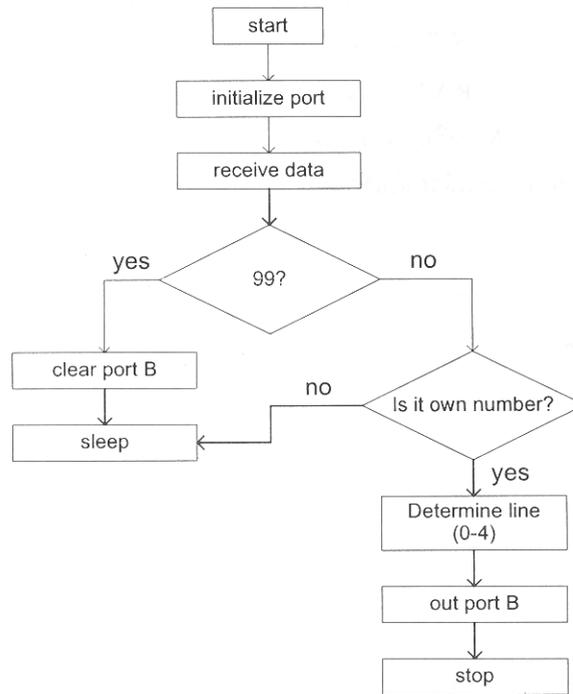
(2) โปรแกรมย่อยอินเตอร์รัป

รูปที่ 6 โฟลชาร์ทโปรแกรมการทำงานของหน่วยควบคุมจีไออิเล็กทรอนิกส์

โปรแกรมย่อยอินเตอร์รัป (interrupt service routine)

โปรแกรมเริ่มด้วยการทดสอบว่า เป็นการขัดจังหวะของอุปกรณ์จับเวลาหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ โปรแกรมจะเคลียร์อินเตอร์รัปรีจิสเตอร์แล้วเซตอินเตอร์รัปอีเนเบิลแล้วกลับโปรแกรม

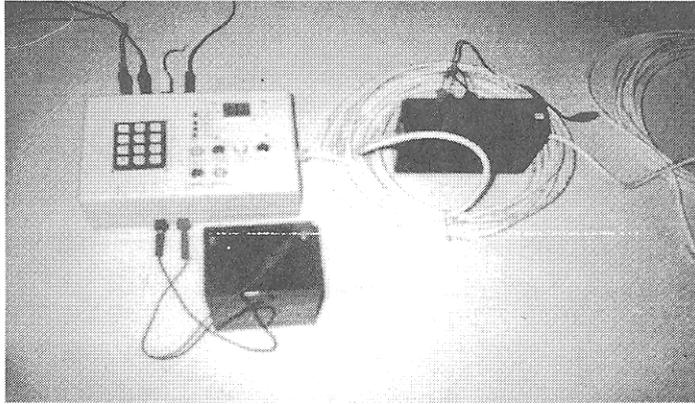
แกรมหลัก แต่ถ้าใช่ โปรแกรมจะเคลียร์ timer flag ตั้งค่า TMR0 ใหม่ เซตพอร์ท B สำหรับสแกนคีย์ทำการ สแกนคีย์ หาค่าค่าคีย์ เซตพอร์ท B สำหรับแสดงผล ปรับค่าใหม่ สำหรับการแสดงผล อ่านค่าสวิทช์ เก็บสถานะสวิทช์ กลับโปรแกรมหลัก



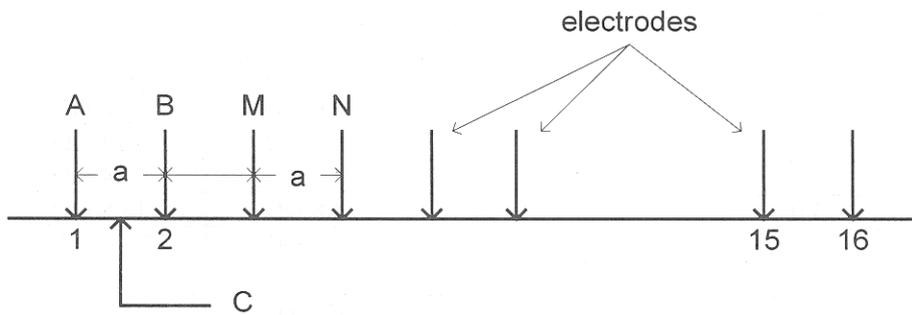
รูปที่ 7 โฟลชาร์ทโปรแกรมการทำงานของจีโออิเล็กทรอนิกส์โหนด

โปรแกรมสำหรับอิเล็กทรอนิกส์โหนด (electric node program)

จากรูปที่ 7 โปรแกรมเริ่มต้นด้วยการเซตพอร์ทแล้วทำการรับข้อมูล ถ้าข้อมูลเป็นเลข 99 ซึ่งเป็นรหัสสำหรับรีเซตพอร์ท B ทำให้ขั้วไฟฟ้าไม่ต่อกับสายใดๆ ทั้ง 4 สาย ถ้าข้อมูลเป็นหมายเลขโหนดของมัน โปรแกรมจะทำการหาว่าสายใดควรต่อกับขั้วไฟฟ้าแล้วส่งค่าออกที่พอร์ท B ถ้าข้อมูลเป็นหมายเลขอื่นโปรแกรมจะเข้าสู่โหมด sleep



รูปที่ 8 ภาพต้นแบบระบบจีโออิเล็กทริกโหนดซึ่งประกอบด้วย
หน่วยควบคุมและอิเล็กทริกโหนด 1 ชุด



รูปที่ 9 ภาพแสดงการจัดอิเล็กโทรดสำหรับการทดสอบการวัดความต้านทาน
แบบ dipole

การทดสอบ

ผู้วิจัยได้นำระบบต้นแบบจีโออิเล็กทริกโหนด (รูปที่ 8) ไปทดสอบใช้ในสนาม สำหรับการทดลองหาสภาพต้านทานดินของนักศึกษาวิชาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 3 กับเครื่อง ABEM Resistivity Meter พบว่าผลการทำงานเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตาม ค่าที่อ่านได้แตกต่างเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการวัดแบบใช้สายต่อโดยตรงในขณะที่ไม่มีระบบจีโออิเล็กทริกโหนด ความผิดพลาดนี้เป็นผลมาจากการเกิดศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสายวัดศักย์ไฟฟ้า (M, N) เนื่องจากกระแสในสาย (A, B) เพราะสายที่ใช้ของระบบนี้เป็นแบบ

unshield ความผิดพลาดนี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการปรับปรุงระบบโดยเลือกใช้สายแบบ shield แต่ละคู่เพื่อไม่ให้มีสัญญาณรบกวนระหว่างคู่สาย แต่จะต้องเปลี่ยนคอนเน็กเตอร์ เพราะสายสองชนิดนี้ใช้คอนเน็กเตอร์ไม่เหมือนกัน ตารางที่ 1 เป็นผลการวัดค่าความต้านทานเปรียบเทียบเมื่อมีและไม่มีระบบสวิตซ์ขั้วของการวัดแบบ dipole (รูปที่ 9)

ผู้อ่านที่สนใจต้องการจะสร้างระบบระบบจีโออิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องวัดสภาพต้านทานดินไว้ใช้เอง โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก กรุณาติดต่อขอรายละเอียดเพิ่มเติมหรือขอสายพิมพ์วงจร และซอร์สโค้ดของโปรแกรมซึ่งไม่สามารถลงในบทความนี้ได้เพราะมีความยาวมากเกินไปได้จากคณะผู้วิจัย

ตารางที่ 1

ตารางเปรียบเทียบค่าความต้านทานที่อ่านได้จากเครื่อง **ABEM Resistivity Meter**

ตำแหน่งจุดกึ่งกลาง ขั้วกระแส (c)	ระยะระหว่างขั้ว A และ M (na) (เมตร)	ความต้านทานเมื่อไม่มี ระบบสวิตซ์ขั้ว	ความต้านทาน เมื่อมีระบบสวิตซ์ขั้ว
2.5	1a	17.78 Ω	14.0 Ω
	2a	2.35 Ω	2.17 Ω
	3a	973 mΩ	930 mΩ
	4a	570 mΩ	530 mΩ
	5a	407 mΩ	413 mΩ
	6a	87.7mΩ	74.4 mΩ
3.0	6a	24.8 mΩ	18.8 mΩ
	5a	131.1 mΩ	123 .6 mΩ
	4a	616 mΩ	617 mΩ
	3a	976 mΩ	905 mΩ
	2a	2.37Ω	2.02 Ω
	1a	16.99 Ω	10.99 Ω
3.5	1a	12.53 Ω	9.50 Ω
	2a	2.03 Ω	1.827Ω
	3a	1.03 Ω	1.00 Ω
	4a	236 mΩ	221 mΩ
	5a	74.4 mΩ	75.3 mΩ
	6a	54.2 mΩ	46.3 mΩ
4.0	6a	68.6m Ω	53.8 mΩ
	5a	69.8 mΩ	65.5 mΩ
	4a	102.1 mΩ	85.9 mΩ
	3a	435 mΩ	439 mΩ
	2a	1.92 Ω	2.71 Ω
	1a	6.38 Ω	7.14 Ω

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะกรรมการจัดสรรทุนวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้โอกาสและทุนอุดหนุนสำหรับการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] D'Souza Stan (1997) Multiplexing LED Drive and 4×4 Keypad Sampling. Application note AN529. Microchip Technology Inc.
- [2] Placherla, Amar (1997) Software Implementation of Asynchronous Serial I/O. Application note AN555 Microchip Technology Inc.
- [3] PIC16F877 28/40-Pin, 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers with 10-bit A/D converter. 1997 Databook. Microchip Technology Inc.
- [4] PIC16F84 18Pin, 8-Bit CMOS Flash/EEPROM Microcontrollers. 1997. Data Book Microchip Technology Inc.