ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การออกแบบวงจรของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์

เครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยงานทดลองทางฟิสิกส์บางอย่าง โดยอาศัยอิเล็กทรอนิกส์เป็นพื้นฐานในการช่วยพัฒนา ซึ่งส่วนสำคัญที่ช่วยให้งานพัฒนาเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์สำเร็จได้นั้นคือส่วนของวงจร เพราะเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ วงจรเบ็ดเสร็จหรือไอซี (IC) หน่วยความจำแบบถาวร (ROM) หน่วยความจำแบบชั่วคราว (RAM) และอุปกรณ์เล็กๆ เช่น ตัวต้านทาน สวิทช์ และตัวเก็บประจุ อีกเป็นจำนวนมากที่ต้องประกอบกันเป็นวงจรเรียบร้อยแล้วเท่านั้นจึงจะสามารถทำงานได้ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์จึงต้องออกแบบวงจรของเครื่องให้สอดคล้องตามสมบัติพื้นฐานและลักษณะของเครื่องที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 ด้วย ซึ่งวงจรของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์มีส่วนหลักๆ ดังนี้ คือ

1. *แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง* สำหรับเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้ต้องการไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ด้วยแรงดัน 3 ขนาด คือ +5 V +12 V และ -12 V

2. *หน่วยควบคุม* ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) โดยมีไอซีหมายเลข 2732 ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแบบถาวร (ROM) ซึ่งใช้เก็บชุดคำสั่งดูแลระบบและเก็บข้อมูล ไอซีหมายเลข 6116 ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแบบชั่วคราว (RAM) เพื่อเก็บข้อมูลที่เครื่องอ่านค่าได้ไว้แสดงผลชั่วคราว และไอซีหมายเลข 8255 ที่ทำหน้าที่เพิ่มช่องหรือพอร์ทในการรับหรือส่งข้อมูล

3. *หน่วยแสดงผล* ใช้จอแสดงผลแบบ LCD ชนิดจุด (Dot Matrix LCD) ที่แสดงผลได้ 16 ตัวอักษร จำนวน 1 แถว

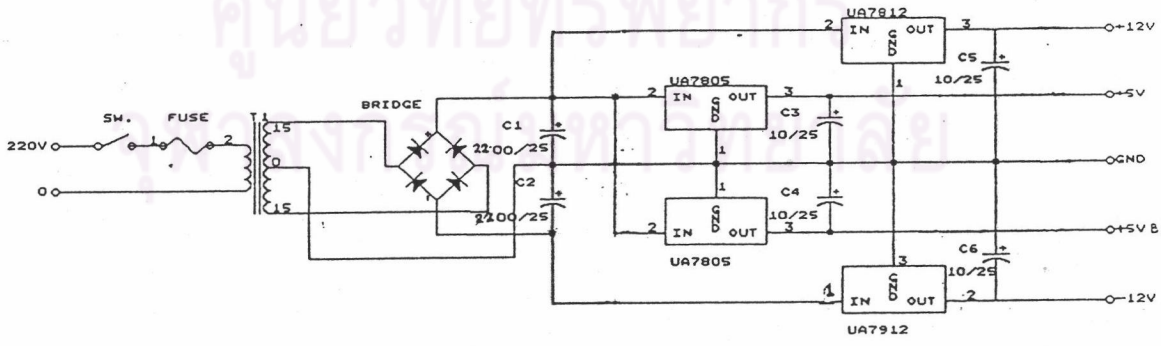
4. *ส่วนแปลงสัญญาณ* ใช้ไอซีออปแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแบบอนาลอก (Analog) ที่อ่านค่าได้ก่อนที่จะให้ไอซี ADC หมายเลข 574A แปลงสัญญาณแบบอนาลอกไปเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) อีกต่อหนึ่ง

5. *ส่วนการรับสัญญาณและตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณ* ใช้ไอซีหมายเลข 4051 4052 และ 4097 ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ตัดต่อ

6. *วงจรวัดอุณหภูมิ* ใช้เทอร์โมมิเตอร์ทองคำขาว (Platinum,Pt) เป็นหัววัดอุณหภูมิ

แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

เครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้ต้องการไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ภายในเครื่องด้วยแรงดันขนาด +12 V -12 V และ +5 V เฉพาะแรงดันขนาด +5 V นี้มี 2 ชุด ชุดหนึ่ง (+5V) สำหรับจ่ายกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และอีกชุดหนึ่ง (+5VB) จ่ายให้กับวงจรวัดอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวเพราะวงจรวัดอุณหภูมิต้องการความแม่นยำในการอ่านสูงซึ่งถ้าใช้ไฟเลี้ยง +5 V ชุดเดียวกันเมื่อเกิดการใช้ไฟในวงจรอื่นๆ มากไปจะทำให้วงจรวัดอุณหภูมิอ่านค่าผิดพลาดได้ วงจรของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงสำหรับเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้แสดงดังรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

จากรูป 2.1 T_1 เป็นหม้อแปลงขนาด 15 V ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 V ลดลงเหลือ 15 V จำนวน 2 ชุดผ่านวงจรบริดจ์ของไดโอดเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์ 2 ชุด ชุดหนึ่งมีค่าเป็นบวกอีกชุดหนึ่งมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับจุดกลางของแทปของหม้อแปลง T_1 (ทวีเกียติ เอี่ยมงามทรัพย์, 2535 ; Simpson, 1987) เราเรียกวงจรนี้ว่า วงจร*ตัวทำกระแสตรง (Rectifier)*

ไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์ที่ได้จะผ่านตัวเก็บประจุขนาด 2200 μF เพื่อกรองกระแสให้เรียบขึ้น จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านการกรองแล้วจะไปยังไอซีตัวควบคุม (Regulator) โดยที่ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +15 V จะเข้าไอซีตัวควบคุมหมายเลข 7805 จำนวน 2 ตัวและหมายเลข 7812 เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าขนาด +5 V จำนวน 2 ชุดและ +12 V ตามลำดับ ส่วนไฟฟ้ากระแสตรงขนาด -15 V จะเข้าไอซีตัวควบคุมหมายเลข 7912 เพื่อผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาด -12 V แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ทั้งหมดผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวเก็บประจุขนาด 10 μF อีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำไปใช้ต่อไป

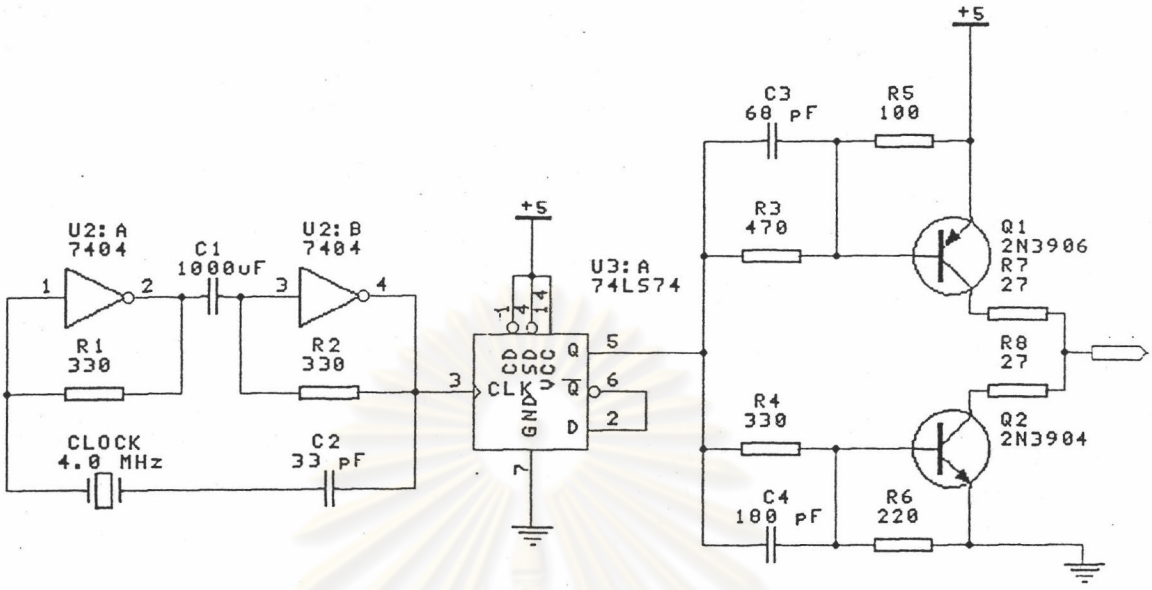
อนึ่งไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +5 V ที่ได้จากวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจะนำไปใช้ในวงจรต่างๆ และไอซีเกือบทุกชนิดในเครื่อง ยกเว้นแต่ไอซีออปแอมป์เท่านั้นที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +12 V และ -12 V ส่วนไอซี ADC หมายเลข 574A ต้องใช้ไฟเลี้ยงทั้งสามขนาดในการทำงาน

หน่วยควบคุม

การพัฒนาเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้เราใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit , CPU) (พรพจน์ ดุลยโกเมศ, 2535 ; พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป. ; ยืน ภู่วรวรรณ และวัฒนา เชียงกุล, 2534 ; Brey, 1988) โดยมีอุปกรณ์และวงจรช่วยทำงานต่อให้กับ Z80 เพิ่มเติมเพื่อช่วยให้การทำงานของ Z80 ดีขึ้น วงจรที่สำคัญที่อยู่ในหน่วยควบคุมและช่วยการทำงานของ Z80 ได้แก่

1. **สัญญาณนาฬิกา** (Brey , 1988)

สัญญาณนาฬิกาที่ให้กับ Z80 ในเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้มีความถี่ 2 MHz ซึ่งวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาชนิดคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ความถี่ 2 MHz แสดงได้ดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 MHz

วงจรส่วนซ้ายของรูป 2.2 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ผลึก (Crystal) ความถี่ 4 MHz ลอจิก NOT ของไอซีหมายเลข 7404 ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อเป็นวงจรออสซิเลเตอร์แบบวงแหวน (Ring Oscillator) สัญญาณที่ออกมาจากวงจรออสซิเลเตอร์แบบวงแหวนนี้จะมีความถี่ 4 MHz

เรานำสัญญาณที่มีความถี่ 4 MHz ที่ได้เข้าขาสัญญาณนาฬิกา (ขา 3) ของไอซีหมายเลข 74LS74 ซึ่งเป็นไอซีดีฟลิปฟลอป (D Flip-Flop) (กฤษดา วิศวธีรานนท์, 2537 ; Simpson, 1987 ; Smith, 1984) เพื่อลดความถี่ของสัญญาณลงครึ่งหนึ่งก่อนโดยการต่อขาข้อมูลชนิด D (ขา 2) ของไอซีตัวดังกล่าวเข้ากับขาสัญญาณขาออกชนิด Q (ขา 6) ของไอซีตัวเดียวกันทำให้สัญญาณที่ออกจากขาสัญญาณขาออกชนิด Q (ขา 5) เป็นสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 2 MHz ตามที่ Z80 ต้องการ

แต่สัญญาณที่ได้จากขาสัญญาณขาออกชนิด Q (ขา 5) ของไอซีดีฟลิปฟลอปยังไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่สมบูรณ์ ดังนั้นเราจึงต้องนำสัญญาณที่ได้จากไอซีดีฟลิปฟลอปผ่านวงจรปรับแต่งสัญญาณที่ใช้ทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3906 และ 2N3904 ต่อเป็นวงจรลักษณะดังรูป 2.2 ส่วนขวาก่อนที่จะนำสัญญาณนาฬิการูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 2 MHz เข้าขาสัญญาณนาฬิกา (ขา 6) ของ Z80 เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

2. หน่วยความจำ

เนื่องจากเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์จำเป็นต้องใช้ชุดคำสั่งควบคุมการทำงาน ดังนั้นเครื่องจึงต้องมีไอซีทำหน้าที่เก็บชุดคำสั่งต่างๆ และข้อมูลที่เครื่องอ่านค่าได้จากการวัด ซึ่งในการออกแบบหน่วยความจำของเครื่องนี้เราใช้ไอซี 2 ชนิดทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำ ไอซีนั้นได้แก่

2.1 ไอซีหมายเลข 2732 เป็นไอซีชนิด EPROM (Erasable Programable Read Only) มีขนาดหน่วยความจำ 4K X 8 ไบต์ (พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป. ; Brey, 1988) ไอซีนี้จะทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแบบถาวร (ROM) ใช้เก็บชุดคำสั่งดูแลระบบและเก็บข้อมูล โดยกำหนดให้เริ่มเก็บชุดคำสั่งที่ตำแหน่งที่ 0000H - 0FFFH

2.2 ไอซีหมายเลข 6116 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแบบชั่วคราว (RAM) มีขนาดหน่วยความจำเท่ากับ 2K X 8 ไบต์ (พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป.) ใช้เก็บข้อมูลที่อ่านได้ไว้ชั่วคราวเพื่อแสดงค่าที่อ่านได้ในภายหลังและค่าที่เปลี่ยนแปลงเสมอๆ ของชุดคำสั่งหลักบางส่วน โดยกำหนดให้เริ่มบันทึกข้อมูลที่ตำแหน่งที่ 1000H - 17FFH

เนื่องจากไอซีหมายเลข 2732 จะเริ่มทำงานเมื่อมีสัญญาณต่ำ (LOW) หรือสัญญาณค่า 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{CE}$ (ขา 18) และไอซีหมายเลข 6116 จะเริ่มทำงานเมื่อมีสัญญาณ 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{E}$ (ขา 18) ดังนั้นเราสามารถกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำของ ROM และ RAM ได้โดยใช้บิตตำแหน่ง 4 บิตสุดท้าย (A12-A15) ที่ส่งมาจาก Z80 ผ่านเข้าวงจรถอดรหัสหรือไอซีวงจรถอดรหัสเพื่อให้เกิดสัญญาณค่า 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{CE}$ ของไอซีหมายเลข 2732 ในกรณีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งของ ROM และนำสัญญาณนั้นเข้าขาสัญญาณ $\overline{E}$ ของไอซีหมายเลข 6116 เมื่อต้องการกำหนดตำแหน่งของ RAM (พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป. ; Brey, 1988)

ในกรณีของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์เราออกแบบวงจรให้ใช้ไอซีทั้งสองอย่างละตัวเท่านั้น จึงใช้บิตตำแหน่ง A12 จาก Z80 เพียงตำแหน่งเดียวในการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งสอง ส่วนบิตตำแหน่ง A13-A15 เรากำหนดให้สัญญาณมีค่าเป็น 0 และต่อผ่านตัวต้านทานลงกราวด์ของเครื่อง ซึ่งวิธีการกำหนดตำแหน่งของ ROM และ RAM ในวงจรนี้เราใช้สัญญาณ A12 (ขา 2) ของ Z80 เข้าขาสัญญาณ $\overline{CE}$ ของไอซีหมายเลข 2732 โดยตรงและต่อสัญญาณ A12 เข้า

2. หน่วยความจำ

เนื่องจากเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์จำเป็นต้องใช้ชุดคำสั่งควบคุมการทำงาน ดังนั้นเครื่องจึงต้องมีไอซีทำหน้าที่เก็บชุดคำสั่งต่างๆ และข้อมูลที่เครื่องอ่านค่าได้จากการวัด ซึ่งในการออกแบบหน่วยความจำของเครื่องนี้เราใช้ไอซี 2 ชนิดทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำ ไอซีนั้นได้แก่

2.1 ไอซีหมายเลข 2732 เป็นไอซีชนิด EPROM (Erasable Programmable Read Only) มีขนาดหน่วยความจำ 4K X 8 ไบต์ (พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป. ; Brey, 1988) ไอซีนี้จะทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแบบถาวร (ROM) ใช้เก็บชุดคำสั่งดูแลระบบและเก็บข้อมูล โดยกำหนดให้เริ่มเก็บชุดคำสั่งที่ตำแหน่งที่ 0000H - 0FFFH

2.2 ไอซีหมายเลข 6116 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแบบชั่วคราว (RAM) มีขนาดหน่วยความจำเท่ากับ 2K X 8 ไบต์ (พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป.) ใช้เก็บข้อมูลที่อ่านได้ไว้ชั่วคราวเพื่อแสดงค่าที่อ่านได้ในภายหลังและค่าที่เปลี่ยนแปลงเสมอๆ ของชุดคำสั่งหลักบางส่วน โดยกำหนดให้เริ่มบันทึกข้อมูลที่ตำแหน่งที่ 1000H - 17FFH

เนื่องจากไอซีหมายเลข 2732 จะเริ่มทำงานเมื่อมีสัญญาณต่ำ (LOW) หรือสัญญาณค่า 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{CE}$ (ขา 18) และไอซีหมายเลข 6116 จะเริ่มทำงานเมื่อมีสัญญาณ 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{E}$ (ขา 18) ดังนั้นเราสามารถกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำของ ROM และ RAM ได้โดยใช้บิตตำแหน่ง 4 บิตสุดท้าย (A12-A15) ที่ส่งมาจาก Z80 ผ่านเข้าวงจรถอดรหัสหรือไอซีวงจรถอดรหัสเพื่อให้เกิดสัญญาณค่า 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{CE}$ ของไอซีหมายเลข 2732 ในกรณีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งของ ROM และนำสัญญาณนั้นเข้าขาสัญญาณ $\overline{E}$ ของไอซีหมายเลข 6116 เมื่อต้องการกำหนดตำแหน่งของ RAM (พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป. ; Brey, 1988)

ในกรณีของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์เราออกแบบวงจรให้ใช้ไอซีทั้งสองอย่างละตัวเท่านั้น จึงใช้บิตตำแหน่ง A12 จาก Z80 เพียงตำแหน่งเดียวในการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งสอง ส่วนบิตตำแหน่ง A13-A15 เรากำหนดให้สัญญาณมีค่าเป็น 0 และต่อผ่านตัวต้านทานลงกราวด์ของเครื่อง ซึ่งวิธีการกำหนดตำแหน่งของ ROM และ RAM ในวงจรนี้เราใช้สัญญาณ A12 (ขา 2) ของ Z80 เข้าขาสัญญาณ $\overline{CE}$ ของไอซีหมายเลข 2732 โดยตรงและต่อสัญญาณ A12 เข้า

ขาสัญญาณขาเข้าของลอจิก NOT ของไอซีหมายเลข 4069 ก่อนที่จะนำขาสัญญาณขาออกของลอจิก NOT ต่อเข้าขาสัญญาณ $\overline{E}$ ของไอซีหมายเลข 6116 ต่อไป

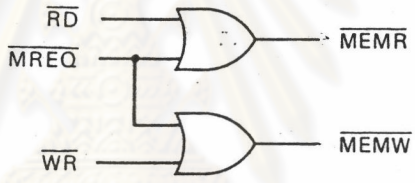
การต่อแบบดังกล่าวพบว่า เมื่อสัญญาณจากบิตตำแหน่ง A12 มีค่าเป็น 0 ไอซีหมายเลข 2732 ที่ทำหน้าที่เป็น ROM จะทำงาน แต่สัญญานของบิตตำแหน่ง A12 ที่เข้าขาสัญญาณ $\overline{E}$ ของไอซีหมายเลข 6116 จะผ่านลอจิก NOT ก่อนดังนั้นค่าสัญญาณจึงเปลี่ยนเป็นสัญญาณสูง (HI) หรือค่าสัญญาณ 1 ก่อนที่จะเข้าไอซีหมายเลข 6116 ทำให้ไอซีหมายเลข 6116 ที่ทำหน้าที่เป็น RAM ไม่ทำงาน ในทางกลับกันเมื่อสัญญาณจากบิตตำแหน่ง A12 มีค่าเป็น 1 ไอซีหมายเลข 2732 จะไม่ทำงาน แต่ไอซีหมายเลข 6116 จะทำงาน ซึ่งจากการทำงานในลักษณะนี้ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของ ROM และ RAM ได้ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น คือ เมื่อ Z80 ส่งค่าบิตตำแหน่งเป็น 0XXXH บิตตำแหน่ง A12 จะมีสัญญาณเป็น 0 ทำให้ ROM ทำงาน และเมื่อ Z80 ส่งค่าบิตตำแหน่งเป็น 1XXXH บิตตำแหน่ง A12 จะมีค่าสัญญาณเป็น1 ทำให้ RAM ทำงาน

ส่วนการกำหนดให้ ROM และ RAM ทำหน้าที่อ่านหรือเขียนข้อมูลนั้นสามารถทำได้โดยผ่านวงจรถอดรหัสซึ่งใช้ขาสัญญาณ $\overline{MREQ}$ (ขา 19) ของ Z80 เข้าขาสัญญาณขาเข้าของลอจิก OR ของไอซีหมายเลข 4071 กับขาสัญญาณ $\overline{WR}$ (ขา 22) ของ Z80 ได้ขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR เป็น $\overline{MEMW}$ จากนั้นนำขาสัญญาณที่ได้เข้าขาสัญญาณ $\overline{W}$ ของไอซีหมายเลข 6116 และนำขาสัญญาณ $\overline{MREQ}$ อีกเช่นกันต่อเข้ากับขาสัญญาณขาเข้าของลอจิก OR กับขาสัญญาณ $\overline{RD}$ (ขา 21) ของ Z80 ได้ขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR เป็น $\overline{MEMR}$ นำขาสัญญาณที่ได้เข้าขาสัญญาณ $\overline{OE}$/Vpp (ขา 20) ของไอซีหมายเลข 2732 และขาสัญญาณ $\overline{G}$ (ขา 20) ของไอซีหมายเลข 6116 (พิพัฒน์ เลาหสงคราม, ม.ป.ป. ; Brey, 1988)

เมื่อ Z80 ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสัญญาณจากขา $\overline{RD}$ ของ Z80 จะมีค่าเป็น 0 เมื่อผ่านลอจิก OR กับสัญญาณ $\overline{MREQ}$ ซึ่งขณะที่ Z80 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำจะมีค่าเป็น 0 จะให้ค่าสัญญาณ $\overline{MEMR}$ เป็น 0 ตามกฎของลอจิกพื้นฐาน และเมื่อนำสัญญาณ $\overline{MEMR}$ เข้าขาสัญญาณ $\overline{OE}$/Vpp ของไอซีหมายเลข 2732 หรือเข้าขาสัญญาณ $\overline{G}$ ของไอซีหมายเลข 6116 ก็จะทำให้ Z80 อ่านข้อมูลหรือชุดคำสั่งจากหน่วยความจำได้ตามตำแหน่งที่กำหนดจากบิตตำแหน่ง A12 ของ

Z80 ว่าต้องการอ่านค่าจาก ROM โดยให้ค่าสัญญาณจากบิตตำแหน่ง A12 เป็น 0 หรือต้องการอ่านข้อมูลจาก RAM โดยให้ค่าสัญญาณจากบิตตำแหน่ง A12 เป็น 1

เมื่อ Z80 ต้องการเขียนข้อมูลที่หน่วยความจำชนิด RAM สัญญาณจากขาสัญญาณ $\overline{WR}$ จะมีค่าเป็น 0 เมื่อผ่านลอจิก OR กับสัญญาณ $\overline{MREQ}$ ซึ่งมีค่าเป็น 0 ด้วย จะให้สัญญาณ $\overline{MEMW}$ มีค่าเป็น 0 และเมื่อสัญญาณ $\overline{MEMW}$ เข้าขาสัญญาณ $\overline{W}$ ของไอซีหมายเลข 6116 กับสัญญาณบิตตำแหน่ง A12 ของ Z80 ที่มีค่าเป็น 1 จะทำให้ Z80 สามารถเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำชนิด RAM ของไอซีหมายเลข 6116 ได้ ส่วนกรณีนอกเหนือจากนี้หน่วยความจำทั้งสองชนิดจะไม่ทำงาน วงจรถอดรหัสสำหรับควบคุมหน่วยความจำแสดงได้ดังรูป 2.3



รูป 2.3 แสดงวงจรถอดรหัสสำหรับควบคุมหน่วยความจำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

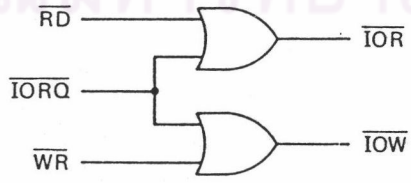
3. ส่วนเพิ่มช่องรับส่งข้อมูล

ระบบที่ออกแบบสำหรับเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์มีไอซีที่ต้องควบคุมในส่วนต่างๆ มากมายไม่ว่าจะเป็นหน่วยแสดงผล ส่วนแปลงสัญญาณ และส่วนรับสัญญาณและตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณ ซึ่งลำพัง Z80 เองมีพอร์ทไม่เพียงพอที่จะควบคุมได้หมด เราจึงหาไอซีมาช่วยเพิ่มพอร์ทรับส่งข้อมูลให้มากขึ้น ไอซีตัวที่ว่านี้ คือ ไอซีหมายเลข 8255 ซึ่งเป็นตัวควบคุมพอร์ทแบบสั่งงานได้ (Programable Port Controller) และมีพอร์ทให้เพิ่มได้ถึง 3 พอร์ทด้วยกัน คือ พอร์ท A พอร์ท B และ พอร์ท C

เนื่องจากในเวลาที่ Z80 ต้องการรับหรือส่งข้อมูลนั้น ขาสัญญาณ $\overline{IORQ}$ (ขา 20) ของ Z80 จะให้สัญญาณค่า 0 ออกมา ซึ่งเราสามารถนำสัญญาณจากขาสัญญาณ $\overline{IORQ}$ นี้ไปควบคุมไอซีหมายเลข 8255 และควบคุมไอซีตัวอื่นๆ ได้โดยผ่านวงจรถอดรหัสในลักษณะเดียวกับวงจรถอดรหัสสำหรับควบคุมหน่วยความจำ กล่าวคือ เราจะนำขาสัญญาณ $\overline{IORQ}$ ของ Z80 ต่อกับขาสัญญาณขาเข้าของลอจิก OR กับขาสัญญาณ $\overline{WR}$ (ขา 22) ของ Z80 ให้ขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR เป็นสัญญาณ $\overline{IOW}$ และใช้ขาสัญญาณ $\overline{IORQ}$ ของ Z80 ขาเดียวกันต่อเข้าขาสัญญาณขาเข้าของลอจิก OR อีกตัวหนึ่งกับขาสัญญาณ $\overline{RD}$ (ขา 21) ของ Z80 จะให้ขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR เป็นสัญญาณ $\overline{IOR}$ ซึ่งทั้งสัญญาณ $\overline{IOW}$ และ $\overline{IOR}$ จะทำหน้าที่เป็นสัญญาณควบคุมไอซีตัวอื่นๆ และควบคุมไอซีหมายเลข 8255 ด้วย (Brey, 1988)

กรณีที่ Z80 ต้องการรับข้อมูลจากส่วนอื่นๆ สัญญาณจากขาสัญญาณ $\overline{IORQ}$ และจากขาสัญญาณ $\overline{RD}$ ของ Z80 จะมีค่าเป็น 0 ซึ่งตามกฎลอจิกพื้นฐานแล้วสัญญาณ $\overline{IOR}$ ที่ออกมาจะมีค่าเป็น 0 ส่วนสัญญาณ $\overline{IOW}$ นั้นเนื่องจากสัญญาณจากขาสัญญาณ $\overline{WR}$ ของ Z80 มีค่าเป็น 1 และเมื่อผ่านลอจิก OR กับสัญญาณจากขาสัญญาณ $\overline{IORQ}$ ของ Z80 ที่มีค่าเป็น 0 แล้วจะให้สัญญาณ $\overline{IOW}$ ที่มีค่าเป็น 1 และในทำนองเดียวกันเมื่อ Z80 ต้องการส่งข้อมูลไปให้ส่วนอื่นๆ สัญญาณจากขาสัญญาณ $\overline{IORQ}$ และขาสัญญาณ $\overline{WR}$ จะมีค่าเป็น 0 ทำให้ได้สัญญาณ $\overline{IOW}$ มีค่าเป็น 0 ส่วนสัญญาณ $\overline{IOR}$ มีค่าเป็น 1 ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่ได้จะมีค่าตรงข้ามกัน วงจรถอดรหัสสำหรับควบคุมการรับส่งข้อมูลแสดงได้ดังรูป 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.4 แสดงวงจรถอดรหัสควบคุมการรับส่งข้อมูล

ส่วนการควบคุมไอซีหมายเลข 8255 ด้วยสัญญาณ $\overline{IOR}$ และ $\overline{IOW}$ นั้น เราจะต่อสัญญาณ $\overline{IOR}$ และ $\overline{IOW}$ กับขาสัญญาณ $\overline{RD}$ (ขา 5) และ $\overline{WR}$ (ขา 36) ของไอซีหมายเลข 8255 โดยตรง เมื่อ Z80 ต้องการรับข้อมูลเข้าโดยผ่านพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 จะเกิดสัญญาณ $\overline{IOR}$ ที่มีค่าเป็น 0 ส่งให้กับขาสัญญาณ $\overline{RD}$ ของไอซีหมายเลข 8255 ในขณะที่สัญญาณของ $\overline{IOW}$ มีค่าเป็น 1 ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ไอซีหมายเลข 8255 ทำหน้าที่รับข้อมูล แต่ถ้า Z80 ต้องการส่งข้อมูลผ่านพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 ก็จะให้สัญญาณ $\overline{IOW}$ ที่มีค่าเป็น 0 กับขาสัญญาณ $\overline{WR}$ ของไอซีหมายเลข 8255 ในขณะที่สัญญาณ $\overline{IOR}$ มีค่าเป็น 1 ซึ่งทำให้ไอซีหมายเลข 8255 ทำหน้าที่ส่งข้อมูล แต่ทั้งสัญญาณ $\overline{IOR}$ และ $\overline{IOW}$ จะมีผลต่อไอซีหมายเลข 8255 ได้ก็ต่อเมื่อขาสัญญาณควบคุมอื่นๆ ของไอซีหมายเลข 8255 ได้รับสัญญาณตรงตามเงื่อนไขของการสั่งไอซีหมายเลข 8255 แล้วเท่านั้น

การควบคุมไอซีหมายเลข 8255 นอกจากการต่อสัญญาณ $\overline{IOR}$ และ $\overline{IOW}$ กับขาสัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ ของไอซีหมายเลข 8255 ตามที่กล่าวมาแล้ว เรายังต้องต่อขาสัญญาณบิตตำแหน่ง A0 (ขา 30) และ A1 (ขา 31) ของ Z80 กับขาสัญญาณ A0 (ขา 9) และ A1 (ขา 8) ของไอซีหมายเลข 8255 ตามลำดับเพื่อการเลือกใช้พอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 ที่ถูกต้องด้วย ซึ่งสัญญาณการเลือกใช้พอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 มีลักษณะตามตาราง 2.1 (Brey, 1988)

ตาราง 2.1 สัญญาณการเลือกใช้พอร์ทของไอซีหมายเลข 8255

ชนิดของพอร์ท	A1	A0
พอร์ท A	0	0
พอร์ท B	0	1
พอร์ท C	1	0
คำสั่ง	1	1

หมายเหตุ "คำสั่ง" คือพอร์ทที่กำหนดหน้าที่ของพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 ว่าจะให้รับหรือส่งข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ประกอบด้วยไอซีหลายชิ้นที่ต้องทำงานไม่พร้อมกัน เราจึงออกแบบให้ใช้สัญญาณจากบิตตำแหน่ง A2 (ขา 32) และ A3 (ขา 33) ของ Z80 เป็นตัวควบคุมไอซีเหล่านั้นให้ทำงาน สำหรับไอซีหมายเลข 8255 เรานำบิตตำแหน่ง A2 และ A3 ของ Z80 เข้าขาสัญญาณขาเข้าของลอจิก OR แล้วนำขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR ไปเข้าขาสัญญาณ $\overline{CS}$ (ขา 6) ของไอซีหมายเลข 8255 อีกทีหนึ่ง และถ้าต้องการให้ไอซีหมายเลข 8255 ทำงานก็จะต้องส่งสัญญาณ 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{CS}$ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถ้าต้องการให้ไอซีหมายเลข 8255 ทำงานจะต้องให้สัญญาณจากบิตตำแหน่ง A2 และ A3 มีค่าเป็น 0 ทั้งคู่ ส่วนสัญญาณบิตตำแหน่ง A4-A15 ในกรณีนี้จะไม่มีผลต่อการควบคุมไอซีหมายเลข 8255 เลย

สำหรับการจัดสรรพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 ของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้ เรากำหนดให้พอร์ท A ทำหน้าที่ส่งข้อมูลให้จอแสดงผลแบบ LCD เพื่อแสดงผล พอร์ท B ทำหน้าที่ส่งข้อมูลควบคุมการปิดเปิดของสวิทช์ตัดต่อ ส่วนพอร์ท C เราแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน คือ พอร์ท C 4บิตล่าง (PC0-PC3) ทำหน้าที่รับข้อมูลการตรวจสอบการเลือกช่องรับสัญญาณและแบบการใช้ที่ผู้ใช้เลือก และพอร์ท C 4บิตล่าง (PC4-PC7) ซึ่งเราใช้เฉพาะบิต PC4 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปตัดต่อศักย์ด้านลบที่วัดจากภายนอกกับกราวด์ของเครื่องเพื่อความถูกต้องในการวัด ส่วนบิต PC5-PC7 เราปล่อยให้ว่างไว้เพื่อพัฒนาและปรับปรุงเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ต่อไปในอนาคต

จากการกำหนดรหัสควบคุมการทำงานและการจัดสรรพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 ตามที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เราสามารถสรุปได้เป็นตาราง 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.2 สรุปการจัดสรรพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255

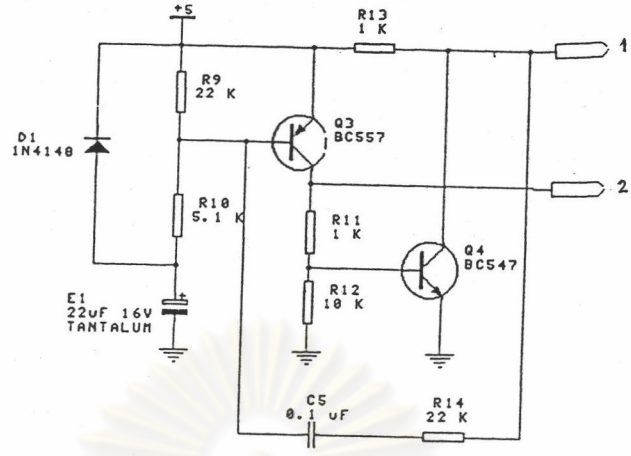
รหัสควบคุม	พอร์ทของ 8255		ลักษณะของพอร์ท	หน้าที่
00000000B (00H)	พอร์ท A		ส่งข้อมูล	ส่งข้อมูลให้ส่วนแสดงผล
00000001B (01H)	พอร์ท B		ส่งข้อมูล	ควบคุมสวิทช์ตัดต่อ
00000010B (02H)	พอร์ท C	PC0-PC3	รับข้อมูล	ตรวจสอบการเลือกแบบและช่องสัญญาณ
		PC4-PC7	ส่งข้อมูล	ควบคุมการตัดต่อศักย์ด้านลบจากภายนอกลงกราวด์
00000011B (03H)	พอร์ทควบคุม 8255		ส่งข้อมูล	กำหนดลักษณะพอร์ทของ8255

ตารางที่ 2.2 มีรหัสของพอร์ทควบคุมไอซีหมายเลข 8255 ซึ่งทำหน้าที่กำหนดลักษณะของพอร์ทของไอซี 8255 ว่ารับหรือส่งข้อมูล โดยการส่งรหัสให้ไอซีหมายเลข 8255 ผ่านบิตข้อมูล (D0-D7) ซึ่งในที่นี้เราใช้รหัส 10000001B หรือ 81H เพื่อสั่งให้พอร์ท A พอร์ท B และพอร์ท C 4บิตบน (PC4-PC7) ทำหน้าที่ส่งข้อมูล และพอร์ท C 4บิตล่าง (PC0-PC3) ทำหน้าที่รับข้อมูล โดยพอร์ททั้งหมดทำงานในแบบ 0 (MODE 0) ของไอซีหมายเลข 8255

4. สัญญาณรีเซต

สำหรับ Z80 และไอซีหมายเลข 8255 สัญญาณรีเซตมีความสำคัญมาก เพราะไอซีทั้งสองนี้จะไม่เริ่มทำงานถ้าไม่ได้รับสัญญาณรีเซต วงจรสัญญาณรีเซตที่ใช้ในเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์แสดงได้ดังรูป 2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



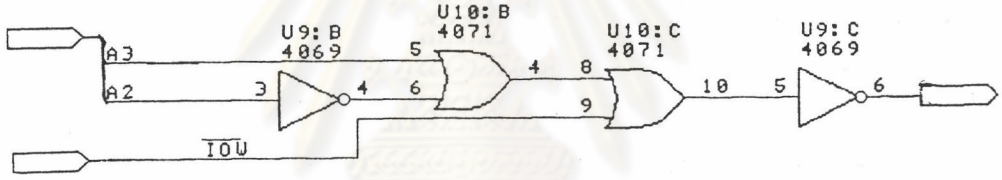
รูป 2.5 แสดงวงจรสัญญาณรีเซต

วงจรสัญญาณรีเซตนี้ เราใช้ไดโอดหมายเลข 1N4148 และทรานซิสเตอร์หมายเลข BC557 กับหมายเลข BC547 มาประกอบกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุตามรูป 2.5 แล้วใช้สัญญาณจากจุดที่ 1 เข้าขาสัญญาณ $\overline{\text{RESET}}$ (ขา 26) ของ Z80 และสัญญาณจากจุดที่ 2 เข้าขาสัญญาณ RESET (ขา 35) ของไอซีหมายเลข 8255

เมื่อเริ่มจ่ายไฟเลี้ยงให้กับระบบสัญญาณจากจุดที่ 1 ของวงจรสัญญาณรีเซตจะให้ค่าสัญญาณ 0 และเปลี่ยนค่าสัญญาณเป็น 1 ในเวลาต่อมา ส่วนสัญญาณจากจุดที่ 2 ตอนเริ่มจ่ายไฟเลี้ยงจะมีค่าสัญญาณ 1 และเปลี่ยนค่าสัญญาณ 0 ในเวลาต่อมา เหตุที่ทำให้วงจรสัญญาณรีเซตมีลักษณะดังกล่าวก็เนื่องจากว่า Z80 จะเริ่มทำงานเมื่อมีค่าสัญญาณ 0 เข้าขาสัญญาณ $\overline{\text{RESET}}$ ของมัน ดังนั้นในขณะเริ่มจ่ายไฟเลี้ยงให้ระบบสัญญาณจากวงจรสัญญาณรีเซตจุดที่ 1 จะให้ค่าเป็น 0 ซึ่งเมื่อเข้าขาสัญญาณ $\overline{\text{RESET}}$ ของ Z80 ก็จะกระตุ้นให้ Z80 เริ่มทำงานและเมื่อ Z80 เริ่มทำงานแล้วสัญญาณจากจุดที่ 1 ก็เปลี่ยนค่าเป็น 1 เพื่อไม่ให้ Z80 เริ่มทำงานใหม่ตลอดเวลา ในทำนองเดียวกันไอซีหมายเลข 8255 จะเริ่มทำงานเมื่อมีค่าสัญญาณ 1 เข้าขาสัญญาณ RESET ของมัน ดังนั้นเมื่อเริ่มจ่ายไฟเลี้ยงให้ระบบสัญญาณจากวงจรสัญญาณรีเซตจุดที่ 2 จะมีค่าเป็น 1 ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ไอซีหมายเลข 8255 ให้เริ่มทำงานและเปลี่ยนค่าสัญญาณจุดที่ 2 เป็น 0 ในเวลาต่อมาก็เพื่อป้องกันไม่ให้ไอซีหมายเลข 8255 เริ่มทำงานใหม่อยู่ตลอดเวลาเช่นกัน

หน่วยแสดงผล

หน่วยแสดงผลของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้ใช้จอแสดงผลแบบ LCD ชนิดจุด (Dot Matrix LCD) ที่สามารถสั่งงานได้โดยตรง(ณรงค์ แสงแก้วและปฐมสวรรค ศิริหาญยากร, 2535 ; ทีมงานอีทีที, 2533 ; บริษัท อีทีที จำกัด, ม.ป.ป. ; เปรมจิต วิสุทธิศิริ, 2533 ; เศกสิทธิ์ คำชมภู, 2537) และจอแสดงผลแบบ LCD นี้จะทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เข้าขาสัญญาณ E (ขา 6) ของจอแสดงผลแบบ LCD ซึ่งในที่นี้เราจะควบคุมการแสดงผลของจอแสดงผลแบบ LCD ด้วยบิตตำแหน่ง A2 A3 และแสดงผลในเวลาที่ Z80 ส่งข้อมูลมาแสดงผลเท่านั้น ดังนั้นเราจึงออกแบบวงจรถอดรหัสสำหรับการแสดงผลขึ้นมามีลักษณะดังรูป 2.6



รูป 2.6 แสดงวงจรถอดรหัสสำหรับจอแสดงผลแบบ LCD

จากรูป 2.6 เราใช้บิตตำแหน่ง A3 (ขา 33) ของ Z80 ต่อเข้าลอจิก OR กับบิตตำแหน่ง A2 (ขา 32) ของ Z80 ที่ผ่านลอจิก NOT มาแล้ว จากนั้นนำขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR ตัวดังกล่าวไปเข้าลอจิก OR อีกตัวหนึ่งกับสัญญาณ $\overline{IOW}$ แล้วนำขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR ตัวที่สองเข้าลอจิก NOT เพื่อเอาสัญญาณที่ผ่านลอจิก NOT แล้วเข้าขาสัญญาณ E ของจอแสดงผลแบบLCD ต่อไป จากการต่อวงจรดังกล่าวถ้าบิตตำแหน่ง A3 มีค่าสัญญาณเป็น 0 และบิตตำแหน่ง A2 มีค่าสัญญาณเป็น 1 เมื่อผ่านวงจรถอดรหัสนี้กับสัญญาณ $\overline{IOW}$ ที่มีค่าเป็น 0 แล้วจะให้สัญญาณที่มีค่าเป็น 1 เข้าขาสัญญาณ E ของจอแสดงผลแบบ LCD ส่วนกรณีอื่นๆ นอกจากนี้สัญญาณที่เข้าขาสัญญาณ E ของจอแสดงผลแบบ LCD จะมีค่าเป็น 0 หมด ดังนั้นถ้าเราต้องการสั่งให้จอแสดงผลแบบ LCD ทำงานเราต้องให้ค่าสัญญาณของบิตตำแหน่ง A3 เป็น 0 บิตตำแหน่ง A2 เป็น 1 และ $\overline{IOW}$ มีค่าเป็น 0 จึงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

สัญญาณที่เข้าขาสัญญาณ E ของจอแสดงผลแบบ LCD จากค่าสัญญาณ 0 เป็น 1 ซึ่งทำให้เกิดการกระตุ้นให้จอแสดงผลแบบ LCD ทำงาน

เหตุที่จอแสดงผลแบบ LCD ชนิดจุดนี้สามารถสั่งงานได้โดยตรง ทำให้มันมีคำสั่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งคำสั่งและหน้าที่ของแต่ละคำสั่งสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 สรุปคำสั่งสำหรับจอแสดงผลแบบ LCD

Instruction	Code										Description	Execution time (when fosc is 250 kHz) Note 1	Execution time (when fosc is 160 kHz) Note 2
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0			
Clear display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Clears all display and returns the cursor to the home position (Address 0).	82 μs ~ 1.64 ms	120 μs ~ 4.9 ms
Return home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	Returns the cursor to the home position (Address 0). Also returns the display being shifted to the original position. DD RAM contents remain unchanged.	40 μs ~ 1.6 ms	120 μs ~ 4.8 ms
Entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Sets the cursor move direction and specifies or not to shift the display. These operations are performed during data write and read.	40 μs	120 μs
Display ON/ OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Sets ON/OFF of all display (D), cursor ON/OFF (C), and blink of cursor position character (B).	40 μs	120 μs
Cursor and display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	Moves the cursor and shifts the display without changing DD RAM contents	40 μs	120 μs
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	Sets interface data length (DL) number of display lines (L) and character font (F).	40 μs	120 μs
Set CG RAM address	0	0	0	1	A_{CG}						Sets the CG RAM address. CG RAM data is sent and received after this setting.	40 μs	120 μs
Set DD RAM address	0	0	1	A_{DD}							Sets the DD RAM address. DD RAM data is sent and received after this setting.	40 μs	120 μs
Read busy flag & address	0	1	BF	AC							Reads Busy flag (BF) indicating internal operation is being performed and reads address counter contents.	1μs	1 μs
Write data to CG or DD RAM	1	0	Write Data								Writes data into DD RAM or CG RAM.	40 μs	120 μs
Read data to CG or DD RAM	1	1	Read Data								Reads data from DD RAM or CG RAM.	40 μs	120 μs
	I/D = 1: Increment (+1) I/D = 0: Decrement (−1) S = 1: Accompanies display shift. S/C = 1: Display shift S/C = 0: Cursor move R/L = 1: Shift to the right. R/L = 0: Shift to the left. DL = 1: 8 bits DL = 0: 4 bits N = 1: 2 lines N = 0: 1 line F = 1: 5 x 10 dots F = 0: 5 x 7 dots BF = 1: Internally operating BF = 0: Can accept instruction										DD RAM: Display data RAM CG RAM: Character generator RAM A_{CG}: CG RAM address A_{DD}: DD RAM address Corresponds to cursor address. AC: Address counter used for both of DD and CG RAM address.	Execution time changes when frequency changes. (Example) When fosc is 270 kHz: $40\ \mu s \times \frac{250}{270} = 37\ \mu s$	

*No effect.

Notes 1. Applied to models driven by 1/8 duty or 1/11 duty.
2. Applied to models driven by 1/16 duty.

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่านอกจากบิตข้อมูล (DB0-DB7) ของจอแสดงผลแบบ LCD ที่เราต่อรับข้อมูลจาก Z80 ผ่านพอร์ท A ของไอซีหมายเลข 8255 โดยตรง จะทำหน้าที่รับคำสั่งและรหัสแสดงผลแล้ว ยังมีขาสัญญาณ RS (ขา 4) และ R/W (ขา 5) ของจอแสดงผลแบบ LCD อีกที่ต้องรับสัญญาณเพื่อกำหนดว่าจะให้จอแสดงผลแบบ LCD ทำงานลักษณะไหนตามตาราง ซึ่งในกรณีนี้เราออกแบบให้ใช้บิตตำแหน่ง A0 และ A1 เป็นตัวกำหนดสัญญาณที่เข้าขาสัญญาณ RS และ R/W ของจอแสดงผลแบบ LCD เพื่อกำหนดหน้าที่ของจอแสดงผลแบบ LCD โดยต่อขาสัญญาณ A0 เข้าขาสัญญาณ RS และบิตตำแหน่ง A1 เข้าขาสัญญาณ R/W ของจอแสดงผลแบบ LCD ตามลำดับ

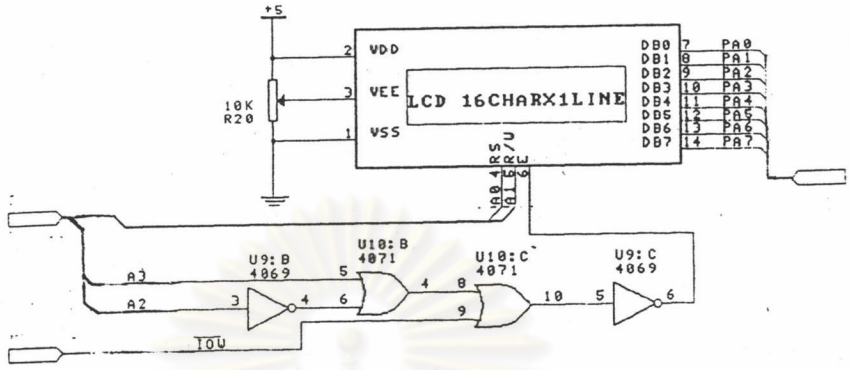
ในการพัฒนาเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้เราจัดสรรพอร์ทสำหรับจอแสดงผลแบบ LCD และหน้าที่ของแต่ละพอร์ทดังนี้

1. พอร์ทควบคุมจอแสดงผลแบบ LCD (LCD_CTRL) ใช้รหัสควบคุมมีค่าเป็น 00000100B หรือ 04H พอร์ทนี้ทำหน้าที่กำหนดลักษณะการทำงานของจอแสดงผลแบบ LCD ตามรหัสที่บิตข้อมูลได้รับ ซึ่งมีหลายแบบดังตาราง 2.3 ที่แสดงก่อนหน้านี้แล้ว

2. พอร์ทให้จอแสดงผลแบบ LCD แสดงผล (LCD_WRI) ใช้รหัสควบคุมมีค่าเป็น 00000101B หรือ 05H พอร์ทนี้ทำหน้าที่สั่งให้จอแสดงผลแบบ LCD แสดงผลตามรหัส ASCII ที่บิตข้อมูลได้รับ

ส่วนขาสัญญาณ V_{SS} (ขา 1) V_{DD} (ขา 2) และ V_{EE} (ขา 3) ของจอแสดงผลแบบ LCD นั้นเรานำไปต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อเอาไว้ปรับความเข้มของจอแสดงผลแบบ LCD ดังรูป 2.7 ที่แสดงถึงวงจรรวมของส่วนแสดงผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.7 แสดงวงจรรวมของส่วนแสดงผล

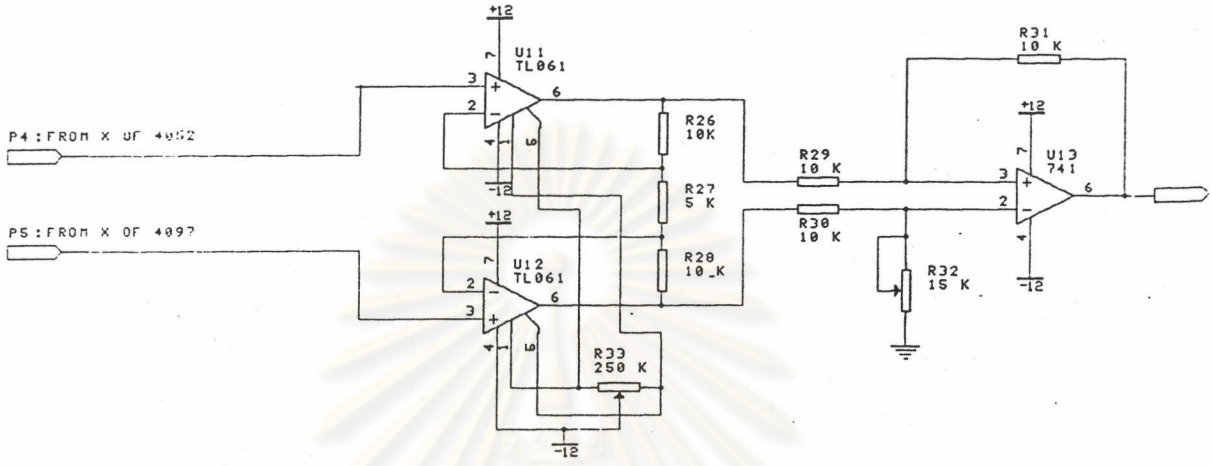
ส่วนแปลงสัญญาณ

เนื่องจากค่าความต่างศักย์จากภายนอกที่เครื่องต้องการวัดเป็นสัญญาณแบบอนาลอกแต่การทำงานภายในของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้เป็นระบบดิจิตอล ดังนั้นเราจึงต้องสร้างส่วนแปลงสัญญาณขึ้นมาเพื่อแปลงสัญญาณแบบอนาลอกที่อ่านจากภายนอกมาเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลให้เครื่องสามารถคำนวณและรายงานผลได้ ส่วนแปลงสัญญาณสำหรับเครื่องนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย คือ

1. **ส่วนขยายสัญญาณ**

เรากำหนดลักษณะของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้ไว้ว่า เครื่องนี้วัดสัญญาณจากภายนอกเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาด 0 mV-2000 mV ได้ แต่ค่าในช่วงที่กำหนดนี้มีขนาดกว้างมากทำให้วัดค่าได้ไม่ละเอียดนัก เราจึงใช้วิธีแบ่งช่วงขนาดของสัญญาณให้อ่านได้ครั้งละไม่เกิน 400 mV ซึ่งเป็นช่วงที่พอเหมาะ แต่เครื่องจะวัดค่าไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 400 mV ได้ไม่แม่นยำเนื่องจากขนาดที่น้อยเกินไป ดังนั้นเราจึงใช้ไอซีออปแอมป์ 3 ตัว อันได้แก่ ไอซีออปแอมป์หมายเลข TL061 จำนวน 2 ตัว และหมายเลข 741 อีก 1 ตัว มาต่อเป็นวงจรขยายเพื่อการเป็นเครื่องตรวจวัด

(Instrumentation Amplifier) (ค็อฟลิน และดริสคอลล์, 2536) เพื่อขยายขนาดของสัญญาณที่เข้ามา ซึ่งวงจรขยายเพื่อการเป็นเครื่องตรวจวัดสำหรับเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้แสดงได้ดังรูป 2.8



รูป 2.8 แสดงวงจรขยายเพื่อการเป็นเครื่องตรวจวัด

เหตุที่เราต่อไอซีออปแอมป์เป็นวงจรขยายเพื่อการเป็นเครื่องตรวจวัด เนื่องจากว่าเราต้องการให้มีค่าความต้านทานขาเข้าสูง (High Input Impedance) ทั้งศักย์ด้านบวกและศักย์ด้านลบเพื่อประโยชน์ในการอ่านค่าความต่างศักย์ของสัญญาณได้ถูกต้องแม่นยำ ซึ่งการต่อไอซีออปแอมป์ตามวงจรในรูป 2.8 นี้ จะทำให้ค่าความต้านทานขาเข้าสูงเท่ากับค่าความต้านทานขาเข้าของไอซีออปแอมป์หมายเลข TL061 ทั้งสองตัว

2. ส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลสำหรับเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์มีไอซีที่สำคัญที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล คือ ไอซี ADC หมายเลข 574A โดยค่าสัญญาณดิจิตอลที่ได้จากการแปลงด้วยไอซี ADC หมายเลข 574A นี้มีขนาด 12 บิตตามสมบัติของไอซี ADC หมายเลข 574A (Burr-Brown : Integrated circuits data book, 1986) ซึ่งการควบคุมและการทำงานของส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีลักษณะดังนี้

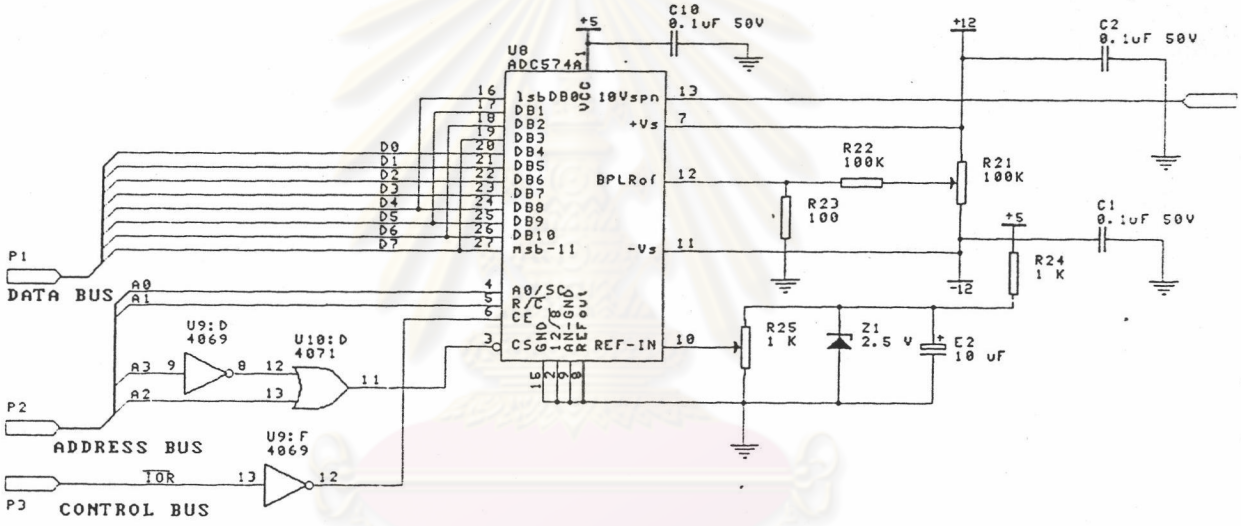
ตาราง 2.4 แสดงชนิดของสัญญาณควบคุมการทำงานของไอซี ADC หมายเลข 574A

CE	$\overline{CS}$	R/$\overline{C}$	12/$\overline{8}$	A_0	Operation
0	X	X	X	X	None
X	1	X	X	X	None
↑	0	0	X	0	Initiate 12-bit conversion
↑	0	0	X	1	Initiate 8-bit conversion
1	↓	0	X	0	Initiate 12-bit conversion
1	↓	0	X	1	Initiate 8-bit conversion
1	0	↓	X	0	Initiate 12-bit conversion
1	0	↓	X	1	Initiate 8-bit conversion
1	0	1	1	X	Enable 12-bit output
1	0	1	0	0	Enable 8 MSBs only
1	0	1	0	1	Enable 4 LSBs plus 4 trailing zeros

การควบคุมการทำงานของไอซี ADC หมายเลข 574A นั้นเราอาศัยตาราง 2.4 เป็นแนวทางในการออกแบบวงจร โดยใช้สัญญาณจากบิตตำแหน่ง A2 เข้าขาสัญญาณขาเข้าของลอจิก OR กับสัญญาณจากบิตตำแหน่ง A3 ที่ผ่านลอจิก NOT แล้ว จากนั้นนำขาสัญญาณขาออกของลอจิก OR ตัวดังกล่าวต่อเข้าขาสัญญาณ CS (ขา 3) ของไอซี ADC หมายเลข 574A เมื่อมีสัญญาณจากบิตตำแหน่ง A2 ที่มีค่าเป็น 0 และสัญญาณจากบิตตำแหน่ง A3 ที่มีค่าเป็น 1 เข้าสู่วงจรนี้แล้วจะทำให้มีสัญญาณค่า 0 เข้าขาสัญญาณ CS ของไอซี ADC หมายเลข 574A ทำให้ไอซี ADC หมายเลข 574A ทำงาน แต่ทั้งนี้สัญญาณที่เข้าขาสัญญาณ CE (ขา 6) ของไอซี ADC หมายเลข 574A ต้องมีค่าเป็น 1 ด้วยดังนั้นเราจึงใช้สัญญาณ IOR ที่ได้จากวงจรถอดรหัสควบคุมการรับส่งสัญญาณมาผ่านลอจิก NOT ก่อนที่จะนำสัญญาณเข้าขาสัญญาณ CE ของไอซี ADC หมายเลข 574A และเมื่อมีสัญญาณ IOR ที่มีค่าเป็น 0 ส่งมาขาสัญญาณ CE จะรับค่าสัญญาณเป็น 1 เมื่อรวมกับสัญญาณที่เข้าขาสัญญาณ CS ที่มีค่าเป็น 0 แล้วจะทำให้ไอซี ADC หมายเลข 574A สามารถทำงาน ส่วนค่าบิตตำแหน่งของ A2 และ A3 ที่นอกเหนือจากนี้ไม่ทำให้ไอซี ADC หมายเลข 574A ทำงาน

นอกจากนี้ในวงจรเรายังต่อบิตตำแหน่ง A0 กับขาสัญญาณ A0/SC (ขา 4) ของไอซี ADC หมายเลข 574A และบิตตำแหน่ง A1 กับขาสัญญาณ R/C (ขา 5) ของไอซี ADC หมายเลข 574A ด้วยเพื่อกำหนดหน้าที่ต่างๆ ให้ไอซี ADC หมายเลข 574A เช่น แปลงค่าสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล กำหนดจำนวนบิตที่ทำงาน หรือสั่งให้ไอซี ADC หมายเลข 574A ส่งค่า

ดิจิตอลของสัญญาณที่แปลงเรียบร้อยแล้วผ่านบิตข้อมูล (D0-D7) ให้ Z80 ส่วนขาสัญญาณ 12/$\overline{8}$ (ขา 2) ของไอซี ADC หมายเลข 574A เราต่อลงกราวด์เพื่อกำหนดให้ไอซี ADC หมายเลข 574A แบ่งส่งค่าดิจิตอลของสัญญาณที่แปลงค่าเรียบร้อยแล้วออกเป็น 2 ครั้ง คือ ส่งค่าดิจิตอลของสัญญาณ 8 บิตบน (DB4-DB11) ก่อนแล้วจึงส่งค่าดิจิตอลของสัญญาณ 4 บิตล่าง (DB3-DB0) ตามมาโดยใช้สัญญาณจากบิตตำแหน่ง A0 ช่วยในการสั่งงาน วงจรของส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่กล่าวมาข้างต้นรวมทั้งวงจรถอดรหัสสำหรับควบคุมการทำงานของไอซี ADC หมายเลข 574A และวงจรไฟอ้างอิงแสดงได้ดังรูป 2.9



รูป 2.9 แสดงวงจรส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

สัญญาณอนาลอกที่จะให้ไอซี ADC หมายเลข 574A แปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลนี้จะเข้ามาที่ขาสัญญาณ 10Vspn (ขา 13) ของไอซี ADC หมายเลข 574A ที่เราต่อไว้กับวงจรส่วนขยาย โดยเราจะต้องส่งรหัสเพื่อให้ไอซี ADC หมายเลข 574A แปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 12 บิตก่อนแล้วจึงส่งรหัสสั่งให้ไอซี ADC หมายเลข 574A ส่งค่าดิจิตอลที่แปลงค่าแล้วมาใช้ในการคำนวณหาค่าอีกทีหนึ่ง

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเกี่ยวกับการควบคุมส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเราสามารถสรุปพอร์ทที่เกี่ยวข้องกับส่วนนี้ได้ดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 สรุปพอร์ทที่เกี่ยวกับการควบคุมส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

รหัสควบคุม	พอร์ทที่ควบคุม	หน้าที่
00001000B (08H)	ADC_CON	สั่งให้ ADC แปลงค่าสัญญาณ
00001010B (0AH)	ADC_READH	สั่งให้ ADC ส่งค่าดิจิตอล 8 บิตบน
00001011B (0BH)	ADC_READL	สั่งให้ ADC ส่งค่าดิจิตอล 8 บิตล่าง

ส่วนการรับสัญญาณและตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณ

ส่วนการรับสัญญาณและตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนย่อย คือ ส่วนการรับสัญญาณและส่วนตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **ส่วนการรับสัญญาณ**

เนื่องจากเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์นี้มีช่องรับสัญญาณจากภายนอกถึง 8 ช่องสัญญาณ ดังนั้นเราจึงใช้ไอซีหมายเลข 4097 ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ตัดต่อช่องสัญญาณเพื่อรับค่าสัญญาณของแต่ละช่องให้ไอซี ADC หมายเลข 574A แปลงค่าสัญญาณต่อไป ซึ่งการเลือกช่องสัญญาณโดยผ่านไอซีหมายเลข 4097 นี้ทำได้โดยอาศัยตารางค่าความจริงของไอซีหมายเลข 4097 ซึ่งแสดงไว้ดังตาราง 2.6

ตาราง 2.6 ตารางค่าความจริงของไอซีหมายเลข 4097

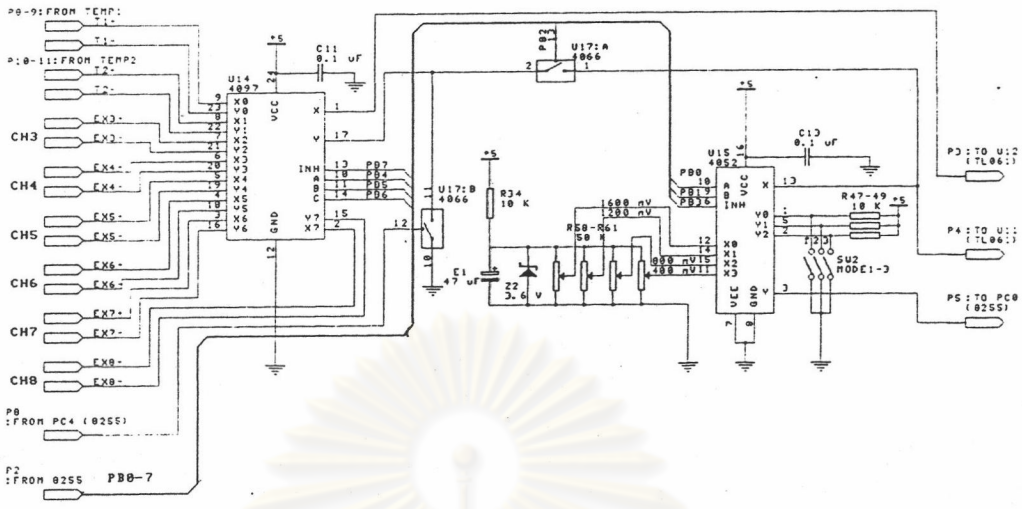
A	B	C	INH	ช่องสัญญาณ
X	X	X	1	ไม่ทำงาน
0	0	0	0	X0,Y0
1	0	0	0	X1,Y1
0	1	0	0	X2,Y2
1	1	0	0	X3,Y3
0	0	1	0	X4,Y4
1	0	1	0	X5,Y5
0	1	1	0	X6,Y6
1	1	1	0	X7,Y7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การควบคุมสวิทช์ตัดต่อของไอซีหมายเลข 4097 เราจะใช้บิต PB4-PB7 ของพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 เป็นตัวควบคุมโดยต่อ PB4-PB7 เข้าขาสัญญาณ A (ขา 10) ขาสัญญาณ B (ขา 11) ขาสัญญาณ C (ขา 14) และขาสัญญาณ INH (ขา 13) ของไอซีหมายเลข 4097 ตามลำดับ และต่อศักย์ด้านบวกของสัญญาณจากภายนอกเข้าขาสัญญาณ X0-X8 ส่วนศักย์ด้านลบของสัญญาณจากภายนอกก็ต่อเข้ากับขาสัญญาณ Y0-Y8 ดังรูป 2.10 ซึ่งจากรูปจะสังเกตเห็นว่ามีช่องรับสัญญาณ X0 กับ Y0 และ X1 กับ Y1 เท่านั้นที่ไม่ได้รับสัญญาณความต่างศักย์มาจากภายนอกแต่จะรับสัญญาณมาจากวงจรวัดอุณหภูมิซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป เมื่อไอซีหมายเลข 4097 มีการตัดต่อสวิทช์เกิดขึ้นจะพบว่าศักย์ด้านบวกของแต่ละช่องรับสัญญาณจะออกมาทางขาสัญญาณ X (ขา 1) และศักย์ด้านลบจะออกจากขาสัญญาณ Y (ขา 17) ของไอซีหมายเลข 4097 เพื่อจะไปยังส่วนขยายสัญญาณและแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป

อนึ่งการออกแบบวงจรนี้มีการต่อสายสัญญาณ NSD ผ่านไอซีหมายเลข 4066 และสายสัญญาณ SD ผ่านไอซีหมายเลข 4066 อีกตัวหนึ่งโดยมีบิตข้อมูล PB7 ของพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 ควบคุมไอซีหมายเลข 4066 ของสายสัญญาณ NSD และบิตข้อมูล PB7 เช่นกันนำไปเข้าลอจิก NOT เพื่อควบคุมไอซีหมายเลข 4066 ของสายสัญญาณ SD ดังรูป 2.17 ที่แสดงวงจรรวมส่วนที่ 4 เพื่อประโยชน์ในการทดลองทางฟิสิกส์บางอย่าง ดังนั้นเมื่อมีการสั่งให้ไอซีหมายเลข 4097 ทำงานบิตข้อมูล PB7 ของพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 จะต้องมีค่าเป็น 0 ซึ่งจะทำให้สายสัญญาณ SD ต่อถึงกัน แต่สายสัญญาณ NSD ไม่ต่อกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.10 แสดงวงจรการรับสัญญาณและตรวจสอบการเลือกแบบการทำงาน

เนื่องจากสัญญาณจากภายนอกมีกราวด์อ้างอิงไม่เหมือนกับในเครื่องซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดผิดพลาดได้ ดังนั้นเราจึงต้องนำขาสัญญาณศักย์ด้านลบลงกราวด์ของเครื่องด้วย แต่การวัดความต่างศักย์ของวงจรวัดอุณหภูมินั้นเนื่องจากเราได้ออกแบบให้มีวงจรวัดอุณหภูมิอยู่ภายในเครื่องและมีกราวด์เดียวกับเครื่องเรียบร้อยแล้ว ถ้าเรานำขาสัญญาณศักย์ด้านลบลงกราวด์อีกก็จะทำให้การอ่านค่าความต่างศักย์จากวงจรวัดอุณหภูมิผิดพลาดได้ เราจึงนำสัญญาณจากขาสัญญาณ Y ของไอซีหมายเลข 4097 ผ่านสวิทช์ของไอซีหมายเลข 4066 ผ่านลงกราวด์ของเครื่องโดยใช้บิตข้อมูล PC4 จากพอร์ท C ของไอซีหมายเลข 8255 เป็นสัญญาณควบคุมการตัดต่อขาสัญญาณ Y ลงกราวด์ โดยมีเงื่อนไขที่ว่าถ้าบิตข้อมูล PC4 มีค่าสัญญาณเป็น 1 จะตัดขาสัญญาณ Y ลงกราวด์แต่ถ้าบิตข้อมูล PC4 มีค่าสัญญาณเป็น 0 ขาสัญญาณ Y ก็จะไม่ต่อกับกราวด์

ค่าความต่างศักย์สูงสุดที่เรากำหนดให้เครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์วัดได้มีค่าเป็น 2000 mV ซึ่งช่วงค่าความต่างศักย์จาก 0-2000 mV นี้ถ้าแปลงเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล 12 บิตแล้วจะมีความละเอียดไม่เพียงพอ แต่จากการคำนวณพบว่าช่วงค่าความต่างศักย์จาก 0-400 mV เมื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล 12 บิตแล้วมีความละเอียดพอที่รับได้ ดังนั้นเราจึงใช้วิธีเพิ่มค่าศักย์ด้านลบให้เครื่องวัดค่าความต่างศักย์ระหว่างศักย์ด้านบวกกับศักย์ด้านลบที่เราเพิ่มค่าให้ ซึ่งศักย์ด้านลบที่เราเพิ่มค่าให้นี้จะขอเรียกว่าศักย์อ้างอิง โดยในครั้งแรกเราให้ศักย์อ้างอิงนั้นเป็นกราวด์ของเครื่องคือวัดศักย์ด้านบวก

เทียบกับศักย์ด้านลบที่ต่อลงกราวด์ ถ้าความต่างศักย์ของศักย์ทั้งสองมากกว่า 400 mV เราจะเปลี่ยนศักย์ด้านลบเป็นศักย์อ้างอิงที่เราสร้างขึ้นเองภายในเครื่องด้วยวงจรแบ่งแรงดันที่ใช้ตัวต้านทานต่อเป็นวงจรในรูป 2.10 ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 ค่า คือ 400 mV 800 mV 1200 mV และ 1600 mV เทียบกับกราวด์ของเครื่อง การเปลี่ยนค่าศักย์ด้านลบเป็นศักย์อ้างอิงเราเริ่มจากค่า 400 mV แล้ววัดศักย์ด้านบวกเทียบกับศักย์อ้างอิงขนาด 400 mV ถ้าค่าความต่างศักย์ทั้งสองยังมากกว่า 400 mV ก็จะเปลี่ยนขนาดศักย์อ้างอิงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนวัดค่าความต่างศักย์ระหว่างศักย์ด้านบวกกับศักย์อ้างอิงมีค่าน้อยกว่า 400 mV ซึ่งด้วยวิธีนี้ทำให้เราวัดค่าความต่างศักย์ในช่วงที่กว้างขึ้นถึง 2000 mV ได้

ค่าความต่างศักย์อ้างอิงที่ใช้ทั้ง 4 ขนาดนั้น เราใช้ไอซีหมายเลข 4052 ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ตัดต่อ ซึ่งสามารถควบคุมการตัดต่อได้ด้วยค่าสัญญาณตามตารางค่าความจริงในตาราง 2.7

ตาราง 2.7 แสดงค่าความจริงสำหรับควบคุมไอซีหมายเลข4052

INH	B	A	ช่องรับสัญญาณ
0	0	0	X0,Y0
0	0	1	X1,Y1
0	1	0	X2,Y2
0	1	1	X3,Y3
1	X	X	ไม่ทำงาน

การควบคุมไอซีหมายเลข 4052 เราใช้บิตข้อมูล PB0 PB1 และ PB3 ของพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 ควบคุมการตัดต่อสวิทช์ โดยใช้ขาสัญญาณของบิตข้อมูล PB0 PB1 และ PB3 ต่อกับขาสัญญาณ A (ขา 10) B (ขา 19) และ INH (ขา 36) ของไอซีหมายเลข 4052 ตามลำดับ ส่วนศักย์อ้างอิงเราต่อเข้าขาสัญญาณ X0-X3 ดังแสดงในรูป 2.10 และเมื่อเกิดการตัดต่อสวิทช์ของไอซีหมายเลข 4052 ค่าศักย์อ้างอิงที่ถูกเลือกจะออกทางขาสัญญาณ X (ขา 13) ของไอซีหมายเลข 4052 แล้วเข้าศักย์ด้านลบของวงจรขยายเลย แต่เนื่องจากขาสัญญาณศักย์ด้านลบต่อลงกราวด์ของเครื่องอยู่ก่อนแล้วดังนั้นเมื่อจะใช้ศักย์อ้างอิงจึงควรตัดขาสัญญาณศักย์ขาลบออกจากขา X ของไอซี

หมายเลข 4052 ก่อน โดยการให้ขาสัญญาณศักย์ด้านลบผ่านสวิทซ์ของไอซีหมายเลข 4066 ก่อนแล้วใช้บิตข้อมูล PB2 ควบคุมการตัดต่อสัญญาณดังกล่าวกับศักย์อ้างอิง ดังรูป 2.10

ส่วนการอ่านค่าความต่างศักย์จากวงจรวัดอุณหภูมินั้น เนื่องจากเราได้คำนวณตอนออกแบบไว้ว่าค่าความต่างศักย์ที่ได้ต้องมีค่าไม่เกิน 400 mV ดังนั้นในส่วนนี้จึงไม่ต้องใช้ศักย์อ้างอิงที่ผ่านไอซีหมายเลข 4052 เลย

การส่งรหัสควบคุมไอซีหมายเลข 4097 และ 4052 ผ่านพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 เพื่อควบคุมการตัดต่อสวิทซ์รับสัญญาณสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.8 สรุปรหัสคำสั่งควบคุมการตัดต่อสวิทซ์รับสัญญาณ

รหัสควบคุม	ช่องรับสัญญาณ
00001100B (0CH)	T1
00011100B (1CH)	T2
00101100B (2CH)	U1 เทียบกับ กราวด์
00100000B (20H)	400 mV
00100001B (21H)	800 mV
00100010B (22H)	1200 mV
00100011B (23H)	1600 mV
00111100B (3CH)	U2 เทียบกับ กราวด์
00110000B (30H)	400 mV
00110001B (31H)	800 mV
00110010B (32H)	1200 mV
00110011B (33H)	1600 mV
01001100B (4CH)	U3 เทียบกับ กราวด์
01000000B (40H)	400 mV
01000001B (41H)	800 mV
01000010B (42H)	1200 mV
01000011B (43H)	1600 mV
01011100B (5CH)	U4 เทียบกับ กราวด์
01010000B (50H)	400 mV
01010001B (51H)	800 mV
01010010B (52H)	1200 mV
01010011B (53H)	1600 mV
01101100B (6CH)	U5 เทียบกับ กราวด์
01100000B (60H)	400 mV
01100001B (61H)	800 mV
01100010B (62H)	1200 mV
01100011B (63H)	1600 mV
01111100B (7CH)	U6 เทียบกับ กราวด์
01110000B (70H)	400 mV
01110001B (71H)	800 mV
01110010B (72H)	1200 mV
01110011B (73H)	1600 mV

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ส่วนตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณ

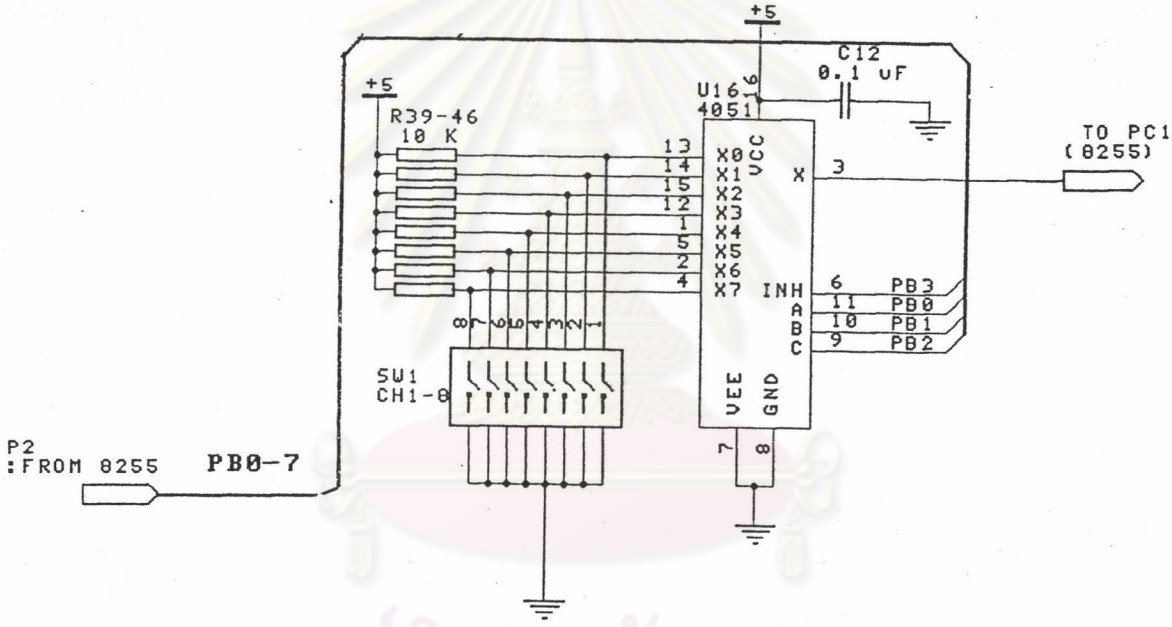
วงจรส่วนนี้ออกแบบไว้เพื่อตรวจสอบการเลือกแบบการทำงานของเครื่องและช่องสัญญาณที่ผู้ใช้กำหนด โดยเราจะต่อวงจรให้มีไฟเลี้ยงผ่านตัวต้านทานแล้วติดสวิทช์เลือกช่องสัญญาณและแบบการทำงานของเครื่องชนิดกดติดปล่อยติดไว้อีกด้านหนึ่งของตัวต้านทานลงกราวด์ของเครื่องดังแสดงในรูป 2.10 และ 2.11 เมื่อไม่มีการกดสวิทช์สัญญาณที่ตรวจสอบได้จะมีไฟเลี้ยงอยู่ตลอดเวลาหรือเครื่องจะอ่านค่าของสัญญาณเป็น 1 แต่ถ้าสวิทช์นั้นมีการกดหรือถูกเลือกขึ้นไฟเลี้ยงที่ผ่านตัวต้านทานจะลงกราวด์ซึ่งทำให้เครื่องจะอ่านค่าของสัญญาณเป็น 0

เนื่องจากเรากำหนดให้แบบการทำงานของเครื่องมี 3 แบบและช่องสัญญาณมี 8 ช่องสัญญาณด้วยกัน ทำให้เราต้องมีสวิทช์และไฟสัญญาณสำหรับสวิทช์แบบการทำงานและช่องสัญญาณถึง 11 ชุดซึ่งพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 มีไม่เพียงพอที่จะนำสัญญาณของสวิทช์แต่ละชุดมาเข้าขาบิตข้อมูลของพอร์ทของไอซีหมายเลข 8255 แต่ละขา ดังนั้นเราจึงใช้วิธีตรวจสอบสัญญาณทีละชุดโดยผ่านไอซีสวิทช์ตัดต่อเพื่อให้สัญญาณที่จะตรวจสอบเข้าขาบิตข้อมูลเพียงขาเดียว

สำหรับการตรวจสอบสวิทช์แบบการทำงานเรานำสัญญาณตรวจสอบสวิทช์แบบการทำงานของเครื่องตั้งแต่แบบ 1 ถึงแบบ 3 ต่อกับขาสัญญาณ Y0-Y2 ของไอซีหมายเลข 4052 ตามลำดับ ซึ่งไอซีหมายเลข 4052 นี้เป็นตัวเดียวกับที่ใช้เลือกศักย์อ้างอิง เมื่อต้องการตรวจสอบสวิทช์ใดก็ส่งรหัสควบคุมผ่านบิตข้อมูล PB0 PB1 และ PB3 ของพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 เพื่อเลือกสัญญาณการตรวจสอบสวิทช์โดยใช้รหัสที่ควบคุมการเลือกสัญญาณตรวจสอบสวิทช์รหัสเดียวกับรหัสที่ควบคุมการตัดต่อสวิทช์เลือกศักย์อ้างอิงดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนสัญญาณตรวจสอบสวิทช์ที่เราเลือกมาตรวจสอบนั้นจะออกมาทางขาสัญญาณ Y (ขา 3) ของไอซีหมายเลข 4052 ซึ่งเราต่อเข้าบิตข้อมูล PC0 ของพอร์ท C ของ ไอซีหมายเลข 8255 เพื่อตรวจสอบตามเงื่อนไขการเลือกสวิทช์ที่กล่าวข้างต้นต่อไป วงจรการตรวจสอบสวิทช์แบบการทำงานของเครื่องแสดงไว้ในรูป 2.10

การตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณนั้นเราใช้ไอซีหมายเลข 4051 เป็นสวิทช์ตัดต่อเพื่อเลือกสัญญาณการตรวจสอบสวิทช์ที่ต้องการตรวจสอบ โดยต่อสัญญาณตรวจสอบสวิทช์การเลือกช่องสัญญาณตั้งแต่ช่องที่ 1 ถึงช่องที่ 8 เข้าขาสัญญาณ X0-X7 ของไอซีหมายเลข 4051 ตามลำดับ ส่วนบิตข้อมูลที่จะทำหน้าที่ส่งรหัสควบคุมการเลือกสัญญาณตรวจสอบสวิทช์เข้าไปตรวจสอบนั้นเราเลือก

ใช้บิตข้อมูล PB0-PB3 ของพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 มาทำหน้าที่นี้ โดยเราจะต่อบิตข้อมูล PB0-PB3 ของพอร์ท B ของไอซีหมายเลข 8255 เข้าขาสัญญาณ A (ขา 11) ขาสัญญาณ B (ขา 10) ขาสัญญาณ C (ขา 9) และขาสัญญาณ INH (ขา 6) ของไอซีหมายเลข 4051 ตามลำดับ ซึ่งไอซีหมายเลข 4051 นี้มีตารางค่าความจริงสำหรับควบคุมลักษณะเดียวกับตารางค่าความจริงสำหรับควบคุมไอซีหมายเลข 4097 ที่แสดงไว้ในตาราง 2.6 เมื่อมีการส่งรหัสควบคุมไปเลือกสัญญาณตรวจสอบสวิทช์ที่ต้องการตรวจสอบแล้วสัญญาณตรวจสอบสวิทช์ที่ต้องการตรวจสอบจะออกมาทางขาสัญญาณ X (ขา 3) และเข้าบิตข้อมูล PC1 ของพอร์ท C ของไอซีหมายเลข 8255 เพื่อตรวจสอบตามเงื่อนไขต่อไป วงจรในส่วนนี้แสดงดังรูป 2.11



รูป 2.11 แสดงวงจรการตรวจสอบการเลือกช่องสัญญาณ

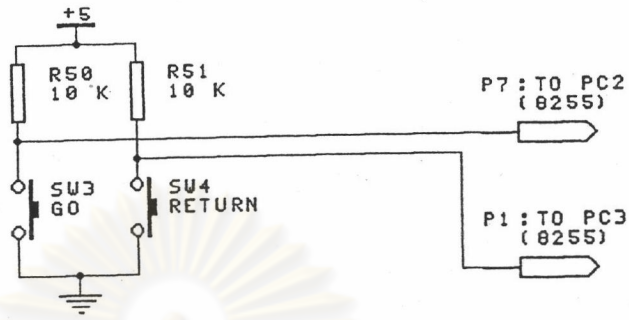
สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นเราสามารถสรุปรหัสคำสั่งควบคุมการเลือกสัญญาณตรวจสอบสวิทช์ได้ดังตาราง 2.9

ตาราง 2.9 สรุปรหัสคำสั่งควบคุมการเลือกสัญญาณตรวจสอบสวิทช์

รหัสควบคุม	สัญญาณตรวจสอบสวิทช์
10000000B (80H)	การทำงานแบบ 1 (MODE 1)
10000001B (81H)	การทำงานแบบ 2 (MODE 2)
10000010B (82H)	การทำงานแบบ 3 (MODE 3)
10000000B (80H)	T1
10000001B (81H)	T2
10000010B (82H)	U1
10000011B (83H)	U2
10000100B (84H)	U3
10000101B (85H)	U4
10000110B (86H)	U5
10000111B (87H)	U6

นอกจากสวิทช์เลือกแบบและเลือกช่องสัญญาณที่ต้องตรวจสอบแล้วในเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ยังมีสวิทช์อีกสองชนิดที่ต้องตรวจสอบ คือ สวิทช์ GO และสวิทช์ RETURN ซึ่งเป็นสวิทช์ควบคุมการทำงานของเครื่องโดยสวิทช์ GO มีหน้าที่สั่งให้เครื่องทำงานในขั้นตอนต่อไป ส่วนสวิทช์ RETURN ทำหน้าที่สั่งให้เครื่องทำงานในขั้นตอนที่ผ่านมาตามที่ชุดคำสั่งกำหนดไว้

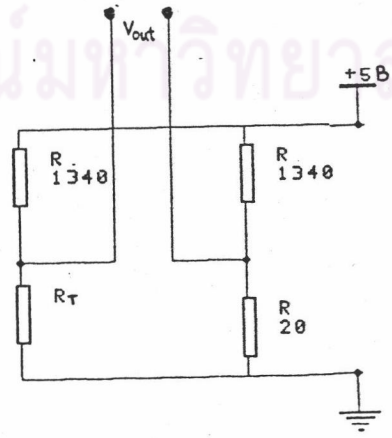
การตรวจสอบสวิทช์ทั้งสองทำในลักษณะเดียวกับการตรวจสอบสวิทช์เลือกแบบและสวิทช์เลือกช่องสัญญาณแต่แตกต่างกันตรงที่ชนิดของสวิทช์ที่ใช้ซึ่งในกรณีของสวิทช์ทั้งสองนี้เราใช้สวิทช์แบบกดติดปล่อยดับแทน ส่วนสัญญาณที่ใช้ตรวจสอบนั้นเราต่อสัญญาณที่มาจากสวิทช์ GO กับบิตข้อมูล PC2 และต่อสัญญาณที่มาจากสวิทช์ RETURN กับบิตข้อมูล PC3 ของพอร์ท C ของไอซีหมายเลข 8255 ซึ่งลักษณะการต่อวงจรของสวิทช์ทั้งสองแสดงได้ดังรูป 2.12



รูป 2.12 แสดงวงจรของสวิทช์ควบคุมเครื่อง

วงจรวัดอุณหภูมิ

เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ทองคำขาวมีสมบัติพิเศษ คือ ความต้านทานของโลหะทองคำขาวจะมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เราจึงคิดที่จะใช้สมบัติดังกล่าวของเทอร์โมมิเตอร์ทองคำขาวมาประยุกต์ใช้เป็นหัววัดอุณหภูมิในเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ โดยออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิให้มีค่าความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความต้านทานของเทอร์โมมิเตอร์ทองคำขาวเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ซึ่งลักษณะของวงจรวัดอุณหภูมิที่ออกแบบนี้มีลักษณะเป็นวงจรบริดจ์โดยนำค่าความต้านทานที่ทราบค่ามาต่อกันดังรูป 2.13



รูป 2.13 แสดงวงจรวัดอุณหภูมิ

สำหรับการพัฒนาเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ในครั้งนี้ เราออกแบบให้ค่าความต่างศักย์สูงสุดที่ได้จากวงจรวัดอุณหภูมิมีค่าไม่เกิน 400 mV และจากการคำนวณพบว่าค่าความต้านทานทั้งสามที่ไม่ทำให้ค่าความต่างศักย์สูงสุดของวงจรเกิน 400 mV มีค่าเป็น 1340 โอห์มสองตัวและมีค่า 20 โอห์มหนึ่งตัวเมื่อใช้ไฟเลี้ยงวงจรขนาด 5 V ซึ่งจากข้อมูลค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของเทอร์โมมิเตอร์ทองคำขาวที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตและค่าต่างๆ ในวงจรวัดอุณหภูมิที่ออกแบบไว้ทำให้เราสามารถคำนวณค่าความต่างศักย์ที่อุณหภูมิและค่าความต้านทานต่างๆ ของเทอร์โมมิเตอร์ทองคำขาวได้จากสมการ

$$V_{out}(mV) = 5\times10^{3}\left[\frac{R_T}{1340+R_T}-\frac{20}{1340+20}\right]$$

เมื่อ R_T = ค่าความต้านทานของเทอร์โมมิเตอร์ทองคำขาว (โอห์ม)

V_{out} = ค่าความต่างศักย์ของวงจรวัดอุณหภูมิ (mV)

และมีค่าดังตาราง 2.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

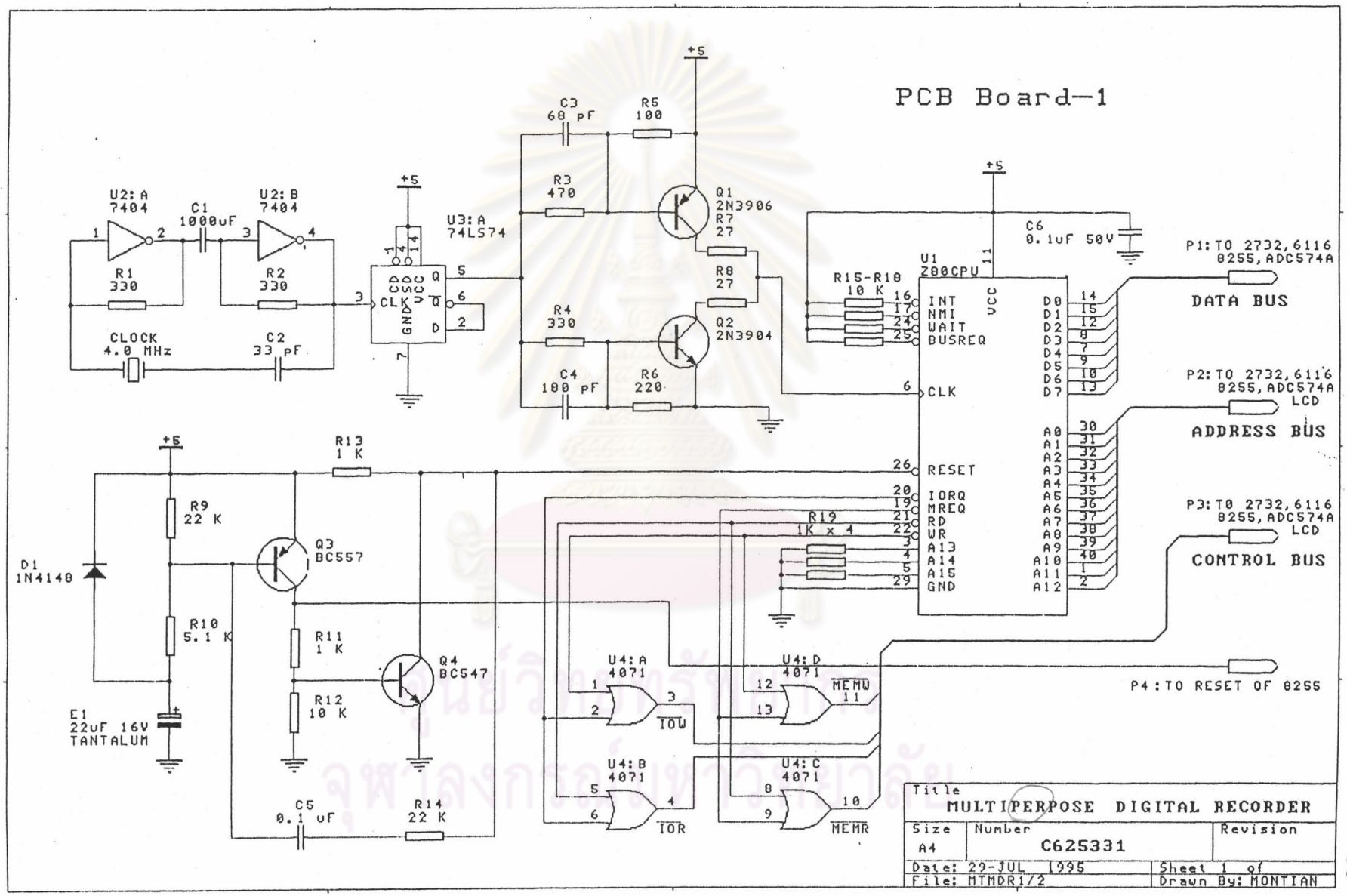
ตาราง 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ ความต้านทานและค่าความต่างศักย์ของวงจรวัดอุณหภูมิ

ค่าอุณหภูมิ (K)	ค่าความต้านทาน R_T (โอห์ม)	ค่าความต่างศักย์ (V_{out},mV)
77.4	21.72	6.22
83.2	24.20	15.17
93.2	28.48	30.53
103.2	32.71	45.61
113.2	36.91	60.50
123.2	41.09	75.23
133.2	45.25	89.80
143.2	49.38	104.18
153.2	53.49	118.40
163.2	57.49	132.16
173.2	61.65	146.39
183.2	65.69	160.13
193.2	69.71	173.72
203.2	73.72	187.20
213.2	77.71	200.54
223.2	81.69	213.77
233.2	85.66	226.89
243.2	89.60	239.84
253.2	93.53	252.69
263.2	97.46	265.47
273.2	101.37	278.12
283.2	105.27	290.66
293.2	109.16	303.10
303.2	113.04	315.45
313.2	116.91	327.70
323.2	120.77	339.85
333.2	124.61	351.87
343.2	128.44	363.81
353.2	132.26	375.64
363.2	136.07	387.39
373.2	139.87	399.05

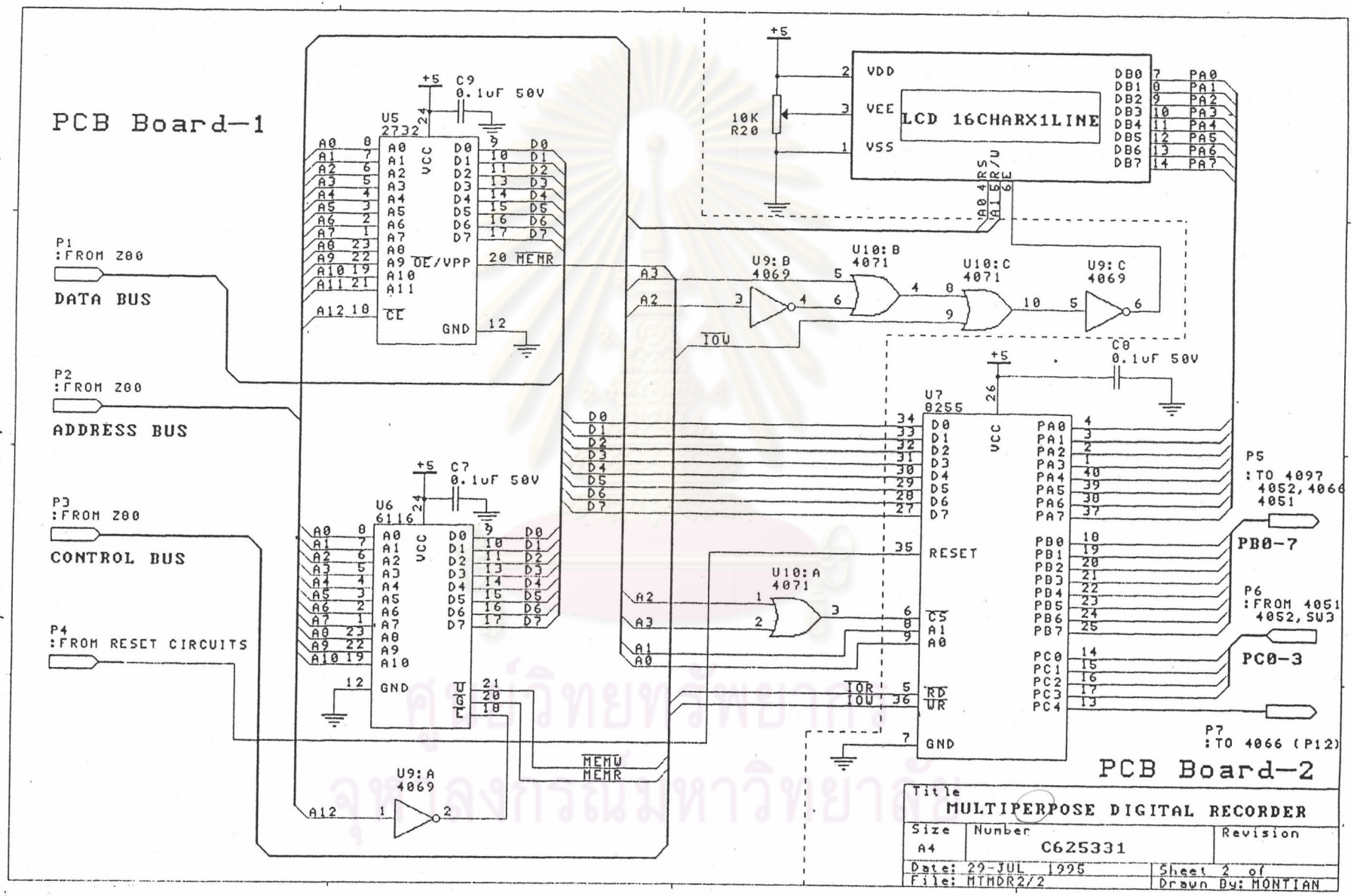
จากค่าความสัมพันธ์ในตาราง 2.10 เรานำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิโดยใช้ชุดคำสั่งเพื่อแสดงผลต่อไป

ส่วนต่างๆ ของวงจรของเครื่องบันทึกเชิงตัวเลขอเนกประสงค์ที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถเขียนเป็นวงจรรวมได้ดังรูป 2.14-2.18

I16215175

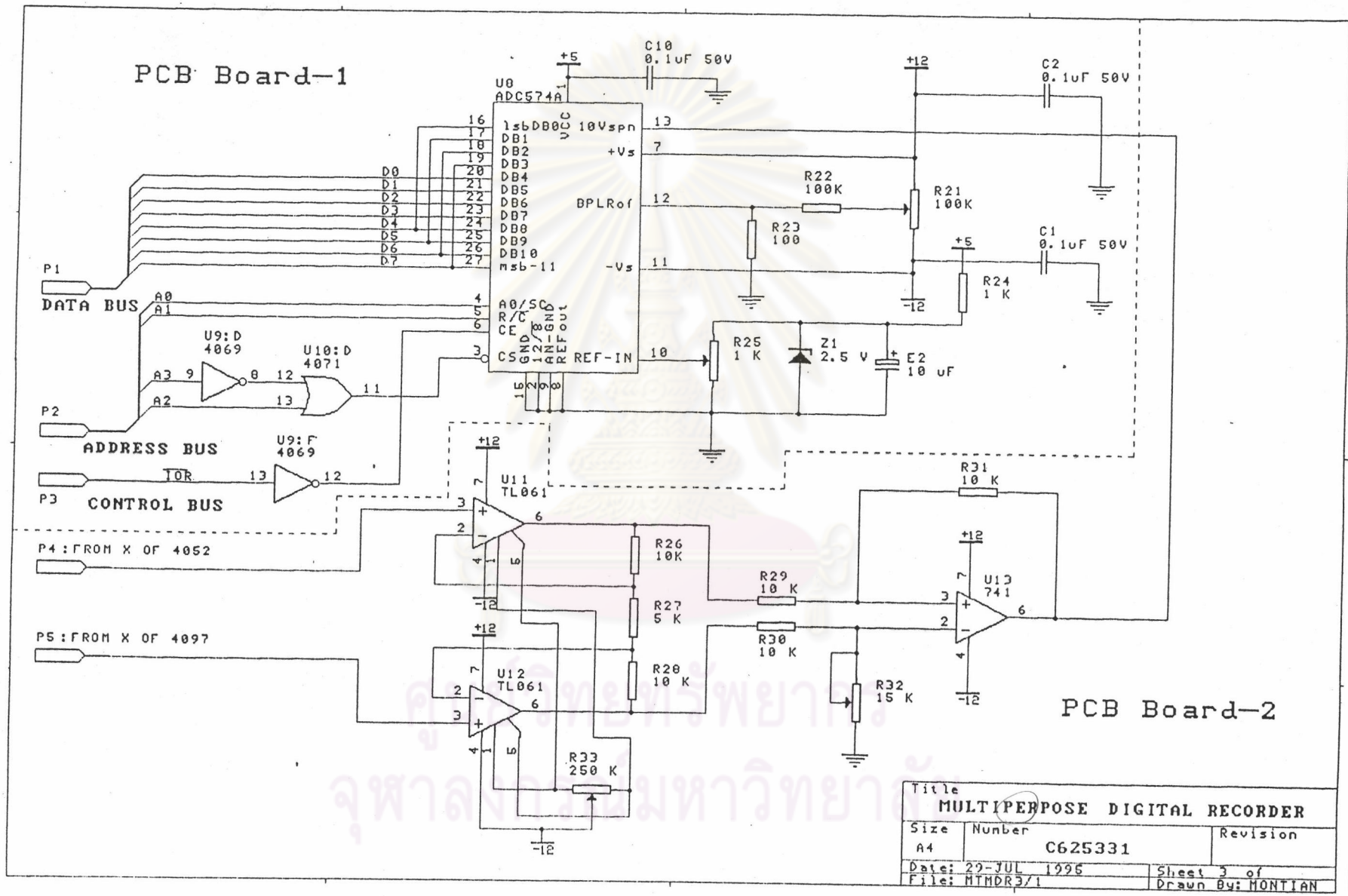


รูป 2.14 แสดงวงจรแต่ละส่วน

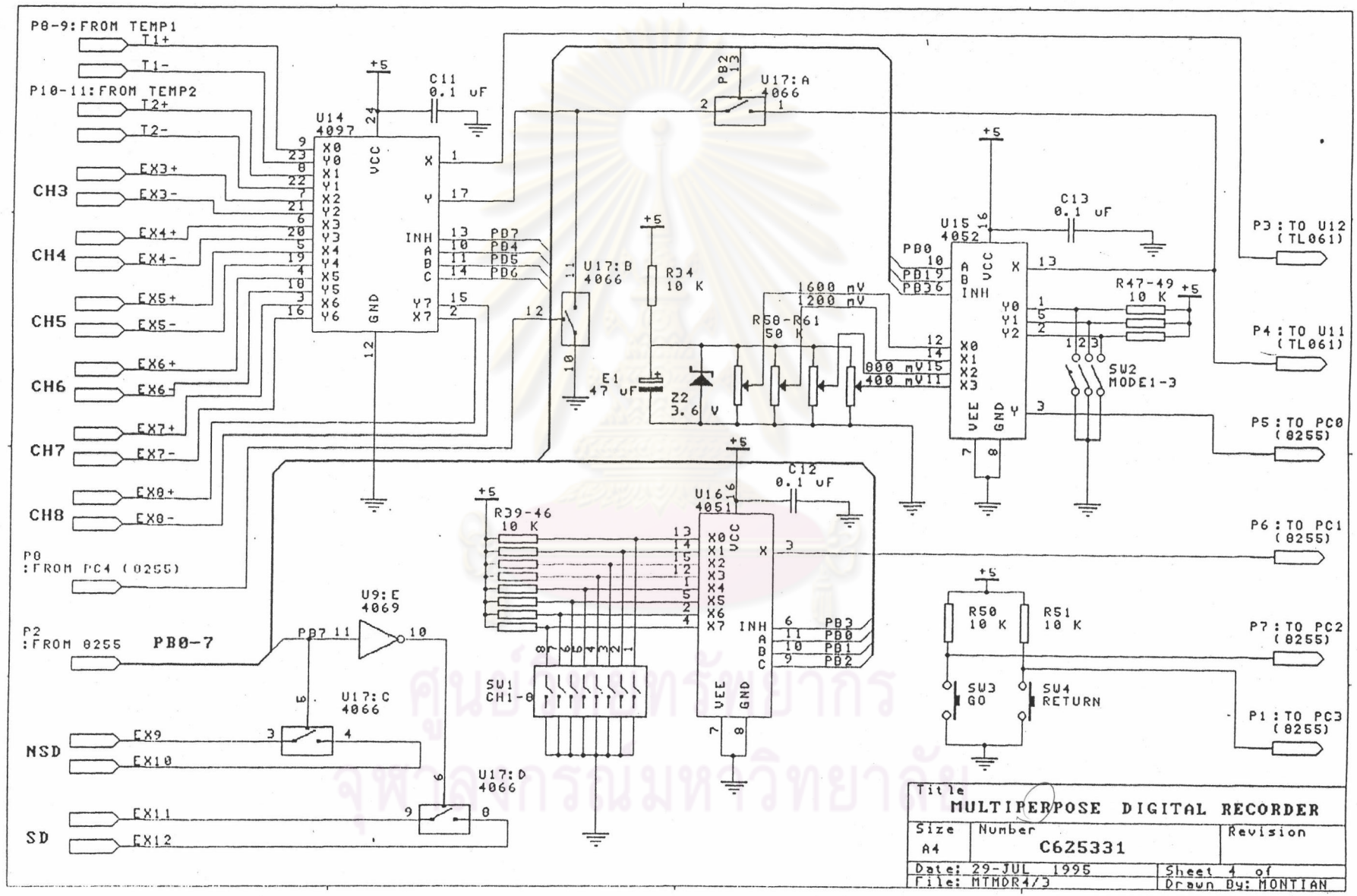


รูป 2.15 แสดงวงจรส่วนที่ 2

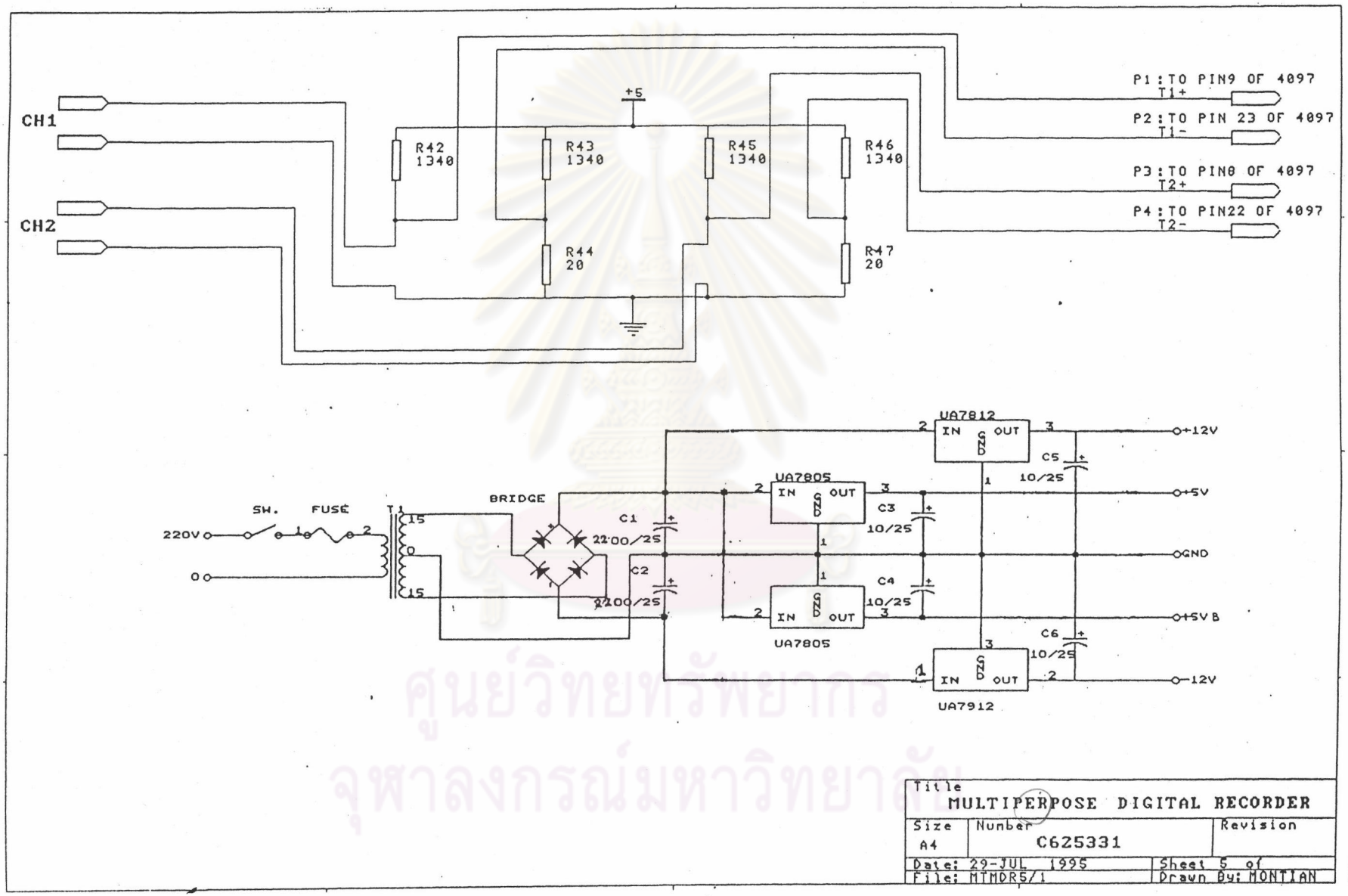
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรของเครื่องบันทึกเสียงดิจิตอลหลายหน้าที่



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Title: MULTIPERPOSE DIGITAL RECORDER		
Size: A4	Number: C625331	Revision:
Date: 29-JUL 1995		Sheet 5 of
File: MTMDR5/1		Drawn By: MONTIAN

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย