การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม

โดย

ชาตรี ศรีไพพรรณ
กฤษดา วิศวธีรานนท์
สมชาย จิตะพันธ์กุล

โครงการวิจัย เลขที่ 10G-EE-2523
ทุนส่งเสริมการวิจัยด้วยเงินงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ

จฬ
วศ ๑๕
๐๐๒๑๔๘

มิถุนายน 2527

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสารฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ศรีไพพรรณ

วุฒิ B.E.(Sydney),M.Eng.Sc.(New South Wales)

Ph.D.(Hawaii)

รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์

วุฒิ B.Eng., M.Eng.(Kyoto)

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

วุฒิ วศ.บ. (จุฬา),วศ.ม.(จุฬา), D.E.A.(Aix-Marscille),

Dr.- Ing.(Aix-Marseille)

โครงการวิจัยเลขที่ 10G-EE-2523

ทุนส่งเสริมการวิจัยด้วยเงินงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพ ฯ

มิถุนายน 2527

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 2 ชนิดคือ เครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้ และระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ

เครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้ ใช้ซีพียู เบอร์แซด-80 มีรอม 2 กิโลไบท์ และแรม 1 กิโลไบท์ ภาคแสดงผลใช้ได้โอดเปล่งแสงเป็นตัวเลข 6 หลัก สำหรับแสดงเวลา และอีก 1 หลัก สำหรับแสดงลำดับช่องและรหัสของกรรมวิธีตั้งเวลา ภาคเอ้าท์พุทมีรีเลย์ 8 ตัว สำหรับควบคุมการเปิดและปิดของอุปกรณ์อื่น และมีไดโอดเปล่งแสงสำหรับแสดงสถานะของแต่ละช่อง เครื่องนี้สามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 99 วัน แต่ละช่องในจำนวนทั้งหมด 8 ช่อง สามารถตั้งเวลาการเปิดและปิดได้โดยอิสระ การแก้ไขข้อมูลก็กระทำได้ตลอดเวลาและทุกแบบโดยใช้แป้นกดข้อมูล ในขณะที่เครื่องทำงาน ภาคแสดงผลจะแสดงเวลาจริง และสามารถตรวจสอบเวลาเปิดและปิดของแต่ละช่องที่ตั้งไว้ ความคลาดเคลื่อนในการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้นนี้มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 0.035

ระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ ใช้วัดค่าอุณหภูมิหลายจุด โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องที่สร้างขึ้น มีความแม่นยำในการวัด 0.1 % ของค่าสูงสุด สามารถต่อกับหัววัดอุณหภูมิได้หลายชนิด มีจำนวนหัววัดสูงสุด 160 หัววัด สัญญาณการวัดจะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขขนาด 12 บิท ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานภายในใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ แซด-80 มีรอม 4 กิโลไบท์ และแรม 2 กิโลไบท์ มีอินเตอร์เฟสสำหรับวงจรต่าง ๆ คือ วงจรแปลงสัญญาณ หน่วยแสดงผล แป้นกดข้อมูล หน่วยเตือนภัย นาฬิกา เครื่องพิมพ์และบัส อาร์ เอส - 232 ซี เพื่อติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ ระบบอื่น หัววัดอุณหภูมิจะถูกแสกนด้วยความเร็ว 0.1 วินาทีต่อหัว ข้อมูลที่วัดได้จะพิมพ์ออกมาเป็นรายงานการวัดที่เครื่องพิมพ์ และสามารถเรียกดูผลการวัดที่หัววัดได้ทุกหัวตลอดเวลา โดยการควบคุมที่แป้นกดข้อมูล สัญญาณเตือนภัยจะดังเมื่อค่าวัดเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังได้ดัดแปลงเครื่องที่ทดลองสร้างขึ้นไปใช้เป็นเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ซึ่งทำการวัดข้อมูลต่าง ๆ จำนวน 200 จุด และประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ปรากฏว่าใช้งานได้ดี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

The research is the development of two industrial electronics equipment, namely, a programmable timer and a temperature measurement and recording system.

The programmable timer uses a Z-80 CPU, has 2 kilobytes of ROM and 1 kilobytes of RAM. The display unit has 6 7-segment LED's to display time and one more to display the channel sequence and code in the setting of the timer. The output unit has 8 relays to control the operation of other equipment and 8 LED's to show the condition of each channel. The timer can be set for period of 1 second to 99 days. Each of the 8 channel can be set separately. The data can be changed at all times using the keyboard. While the timer is in operation the display unit will display the real time. The error of the constructed unit has been found to be less than 0.035 %. The temperature measurement and recording system is a multi-point measurement system controlled by a microcomputer. The constructed unit has an accuracy of 0.1 % of full scale. It can be connected to several types of transducers and may have a maximum of 160 transducers. The analog signal obtained is converted into a 12 bit digital signal. The microcomputer which controls the internal operation uses a Z-80 microprocessor with 4 kilobytes of ROM and 2 kilobytes of RAM. There are a number of interfacing circuits, namely, A/D converter, display unit, keyboard, alarm unit, clock, printer and RS-232C to communicate with other microcomputer systems. The transducers are scanned with a velocity of 0.1 second per transducer. The data obtained are printed as a measurement report by the printer.and can be reviewed at all time using the keyboard. When the measured value exceeds the set one, an alarm will sound. The construted unit was modified and used as a data measurement and recording system at a factory which requires the measurement of 200 points and the processing of data by a microcomputer. The result was satisfactory.

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยและพัฒนาเครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณวิจักษณ์ ถิระพานิช ที่ได้ช่วยเหลืองานวิจัยนี้อย่างเต็มสติกำลัง ความคิด นอกจากนี้ก็ต้องขอขอบคุณ คุณวันชัย ทวี-อักษรพันธ์ ซึ่งเริ่มต้นการทำงานวิจัยนี้พร้อมคุณวิจักษณ์ และขอบคุณ คุณประสิทธิ์ชัย วีระยุทธวิไล และคุณชวลิต จามักรกุล ที่เข้าร่วมงานในเวลาต่อมา

สำหรับระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมินั้น สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ได้แก่ คุณสิทธิชัย วิริยะยุทธกร คุณสุรเชษฐ์ คุณรักษา และคุณสิทธิชัย ศรีกังวาล ที่ได้ช่วยเหลือในการประกอบวงจรและเขียนโปรแกรมทดลอง สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ที่ได้ให้ความร่วมมือในการใช้เครื่องมือสอบเทียบอุณหภูมิ บริษัทเทยินโพลิเอสเตอร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนการวิจัยบางส่วน และให้โอกาสและอำนวยความสะดวกในการนำเครื่องไปทดลอง ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านและหน่วยงาน มา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนการวิจัยนี้ด้วย เงินอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน

คณะผู้วิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 หลักการวัดของหัววัดอุณหภูมิทั้ง 3 ชนิด 44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	บล็อกไดอะแกรมของฮาร์ดแวร์ของเครื่องตั้งเวลา-ที่โปรแกรมได้	4
2.2	วงจรฐานเวลา	5
2.3	วงจรแสดงผลเป็นตัวเลข	5
2.4	วงจรแสดงผลการเปิด-ปิดช่อง	6
2.5	วงจรซีพียูและหน่วยความจำ	7
2.6	FLOWCHART แสดงขั้นตอนการทำงาน	9 - 10
2.7	โครงสร้างของตารางเวลาที่ถูกจัด	12
2.8.1	โปรแกรมเริ่มแรก	13
2.8.2	โปรแกรมย่อยใช้เลือกแป้นกด	13
2.8.3	โปรแกรม NEW ENTRY	14
2.8.4	โปรแกรม RUN/STOP	14
2.8.5	โปรแกรม DATA EXAMINE	15
2.8.6	โปรแกรม UPDATE REAL TIME CLOCK AND COMPARE DATA IN TIME TABLE	16
2.9	แผงหน้าปัทม์ของเครื่อง	17
2.10	ภาพถ่ายแสดงรูปลักษณะภายนอกของเครื่องตั้งเวลา	21
2.11	แสดงหน้าปัทม์ของเครื่องตั้งเวลา	21
2.12	ภาพถ่ายแสดงวงจรฐานเวลา	22
2.13	ภาพถ่ายแสดงวงจรซีพียูและหน่วยความจำ	22
3.1	รูปถ่ายระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของบริษัทต่างประเทศ	42
3.2	หลักการของเทอร์โมคับเปิ้ล	45
3.3	การชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง	46

รูปที่ หน้า

3.4 ตัวอย่างลักษณะสมบัติอุณหภูมิความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ 47

3.5 (ก) ลักษณะสมบัติความต้านทานอุณหภูมิของโลหะชนิดต่าง ๆ 48

(ข) วงจรบริดจ์สำหรับอุณหภูมิแบบ 3 สาย

3.6 หลักการของ Piecewise linearization 50

3.7 โครงสร้างของระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ 53

3.8 โครงสร้างภายในระบบไมโครคอมพิวเตอร์ 53

3.9 ขั้นตอนการทำงานภายในของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ 54

3.10 บล็อกไดอะแกรมของภาคสแกนสัญญาณเข้า 56

3.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ 57

3.12 วงจรวัดอุณหภูมิเมื่อหัววัดเป็นกระเปาะความต้านทาน 59

3.13 วงจร A/D converter 64

3.14 รูปถ่ายของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ทดลองสร้างขึ้น 68

3.15 รูปถ่ายของเครื่องพร้อมกับเครื่องพิมพ์และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 68

3.16 โฟลชาร์ทของโปรแกรมควบคุม 73

3.17 Memory map ของระบบ 75

3.18 I/O map ของระบบ 78

3.19 บล็อกไดอะแกรมระบบวัดและบันทึกข้อมูลในโรงงาน 77

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ ลพ
ดส 15
เลขทะเบียน 002189
วัน,เดือน,ปี 21 มิ.ค. 28

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
รายการตาราง	ง
รายการรูปประกอบ	จ-ฉ
บทที่ 1 คำนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 เป้าหมาย	2
1.4 การดำเนินงาน	2
บทที่ 2 เครื่องตั้งเวลาชนิดโปรแกรมได้	3
2.1 คำนำ	3
2.2 ทฤษฎีและการออกแบบ	3
2.3 การใช้งานเครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้	17
2.4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	20
2.5 เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวกที่ 2.1	25-38
บทที่ 3 ระบบเครื่องวัดอุณหภูมิควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	39
3.1 บทนำ	39
3.2 ทฤษฎีการวัดอุณหภูมิ	43
3.3 คุณสมบัติที่ต้องการของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ	50
3.4 หลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องวัดและ-บันทึกค่าอุณหภูมิ	52

หน้า

3.5 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องที่ออกแบบ 55

3.6 การออกแบบวงจรส่วนต่าง ๆ 58

3.7 การประกอบวงจรและทดลอง 67

3.8 โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง 71

3.9 การประยุกต์ใช้เป็นระบบวัดและบันทึกข้อมูล-
ในโรงงานอุตสาหกรรม 76

3.10 บทสรุปและการวิจัยขั้นตอนต่อไป 78

3.11 เอกสารอ้างอิง 79

ภาคผนวกที่ 3.1

CIRCUIT DIAGRAM 81-88

ภาคผนวกที่ 3.2

PROGRAM LISTING 89-104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1 คำนำ

1.1 ความเป็นมา

อาจกล่าวได้ว่าอิเล็กทรอนิกส์เป็นแขนงวิชาการที่มีความก้าวหน้ารวดเร็วที่สุด จากการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ตัวแรก ในปี พ.ศ.2490 มาถึงไอซีตัวแรกในปี พ.ศ.2504 จนถึงไมโครโปรเซสเซอร์ตัวแรก ในปี พ.ศ.2514 ความเจริญก้าวหน้านี้ทำให้การใช้อิเล็กทรอนิกส์แทรกซึมไปทั่วทุกวงการ ทั้งการบันเทิงธุรกิจและอุตสาหกรรม สำหรับภาคอุตสาหกรรมนั้นระบบการวัดและควบคุมได้เปลี่ยนจากนิวแมติกส์ และกลไฟฟ้ามาเป็นอิเล็กทรอนิกส์มากขึ้นทุกที เพราะเครื่องมืออิเล็ก-ทรอนิกส์ไม่เพียงแต่จะสามารถทำหน้าที่อย่างเดียวกันได้ในราคาที่ถูกกว่า ยังสามารถทำหน้าที่ที่สลับซับซ้อน ซึ่งระบบเดิมไม่สามารถทำได้อีกด้วย

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมที่สั่งซื้อจากต่างประเทศมักมีราคาสูง เพราะได้บวกค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนา และกำไรไว้ค่อนข้างสูง เป็นที่โชคดีว่าความสามารถของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ในการผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานเป็นจำนวนมากในราคาถูก ให้โอกาสประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างเรา สามารถนำชิ้นส่วนเหล่านี้มาออกแบบสร้างเป็นอุปกรณ์คุณภาพราคาถูกดีขึ้น โดยที่ไม่จำเป็นต้องอุตสาหกรรมชิ้นส่วนในประเทศ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าได้เล็งเห็นความสำคัญในข้อนี้ และได้พยายามตลอดมาที่จะสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นใช้เองในห้องปฏิบัติการ ความพยายามในการที่จะสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมจึงเป็นอีกก้าวหนึ่ง ในการที่จะให้ผลงานวิจัยในมหาวิทยาลัยเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมและต่อสังคม

1.2 วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้ต้องการที่จะวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความต้องการสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ให้ได้อุปกรณ์ที่มีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ซึ่งซื้อจากต่างประเทศและมีมาตรฐานดีพอใช้

1.3 เป้าหมาย

เป้าหมาย คือการออกแบบและสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 2 ชิ้น คือ

1.3.1 เครื่องตั้งเวลาแบบโปรแกรมได้ เครื่องตั้งเวลาเป็นตัวควบคุมลำดับและช่วงเวลาการทำงานของเครื่องจักร การไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมจะขจัดข้อจำกัดของเครื่องที่ใช้วงจรกลไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบเป็นตัว ๆ ได้อย่างมาก การตั้งเวลาทำได้อย่างแม่นยำและมีช่วงกว้าง สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรได้หลายช่อง แต่ละช่องก็จะมีโปรแกรมการปิดเปิดได้เป็นจำนวนมาก และข้อสำคัญ คือสามารถเปลี่ยนแปลงโปรแกรมได้โดยมิต้องเปลี่ยนวงจรทางฮาร์ดแวร์เลย

1.3.2 ระบบวัดอุณหภูมิ

ในโรงงานอุตสาหกรรมมักมีการวัดอุณหภูมิที่ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการเพื่อให้แน่ใจว่า กระบวนการทำงานถูกต้องและไม่เป็นอันตราย การที่มีเครื่องวัดอิสระจากกันเป็นจำนวนมาก จะมีราคาสูงและมีความยากลำบากในการประมวลข้อมูล หากใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการเลือกตำแหน่งที่จะวัดค่าโดยการสแกนก็จะช่วยลดอุปกรณ์ซ้ำซ้อนกันได้มาก ช่วยลดเวลาในการวัดและสามารถแสดงผลการวัดออกในรูปแบบที่อ่านง่ายอีกด้วย

1.4 การดำเนินงาน

ได้มีการแบ่งแยกหน้าที่รับผิดชอบการวิจัย ดังนี้

ผู้วิจัยหลัก	นายชาตรี ศรีไพพรรณ	รับผิดชอบเรื่องการประสานงานการบริหารการเงิน และการรายงาน
ผู้ร่วมวิจัย	นายกฤษดา วิศวธีรานนท์	รับผิดชอบการวิจัย เรื่อง ระบบวัดอุณหภูมิ
	นายสมชาย จิตะพันธ์กุล	รับผิดชอบการวิจัย เรื่อง เครื่องตั้งเวลาแบบโปรแกรม

บทที่ 2 เครื่องตั้งเวลาชนิดโปรแกรมได้

2.1 คำนำ

เครื่องตั้งเวลาเป็นอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม งานบางประเภทอาจต้องการเครื่องตั้งเวลาที่มีความแม่นยำสูง และโปรแกรมการตั้งเวลาสลับซับซ้อน ทำให้เครื่องตั้งเวลาที่ใช้จักรกลในการทำงาน ไม่สามารถทำได้ เครื่องตั้งเวลาที่ใช้วัสดุทางอิเล็กทรอนิกส์จึงเข้ามามีบทบาทแทนที่ ในงานวิจัยนี้ต้องการออกแบบและสร้างเครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้โดยอาศัยไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อลดขนาดและราคา เพิ่มสมรรถนะและความคล่องตัวของเครื่องตั้งเวลาให้มากขึ้น เมื่อเทียบกับแบบที่ใช้วัสดุทางอิเลกทรอนิกส์เป็นตัว ๆ คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องกำหนดไว้ดังต่อไปนี้

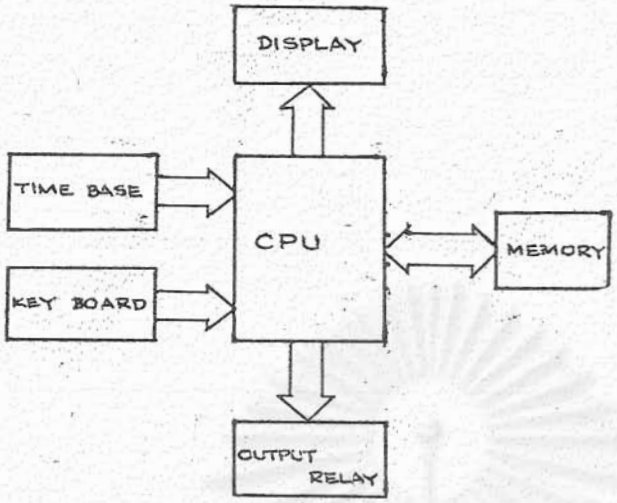
1. ตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1 วินาที จนถึง 99 วัน
2. จำนวนช่องที่จะตั้งเวลาได้มี 8 ช่อง
3. การตั้งเวลาในแต่ละช่องทำเป็นคาบได้ แต่ละคาบกินเวลา 1 วัน
4. การตั้งเวลาเปิด ปิด ของแต่ละช่อง เป็นอิสระต่อกัน
5. การแก้ไขข้อมูล กระทำได้ตลอดเวลา และทำได้ทุกแบบ
6. ขณะเครื่องทำงาน ภาคแสดงผลด้วยหลอดไดโอดเรืองแสงเป็น รูปตัวเลข จะแสดงเวลาที่ตั้งไว้ และภาคแสดงผลด้วยหลอดไดโอดเรืองแสงของแต่ละช่อง จะแสดงการเปิดปิดของช่องนั้น ๆ

2.2 ทฤษฎีและการออกแบบ

เครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้ ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของวงจร- หรือเรียกว่า ฮาร์ดแวร์ และส่วนของโปรแกรมควบคุม หรือเรียกว่า ซอฟแวร์ควบคุม ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ได้แก่ โปรแกรมหลัก และโปรแกรมอินเตอรัพท์

2.2.1 ฮาร์ดแวร์

ฮาร์ดแวร์ของเครื่องตั้งเวลา อาจแบ่งออกเป็น 6 ภาคสำคัญ ดังรูปที่ 2.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของฮาร์ดแวร์ทั้ง 6 ภาค ดังกล่าว



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของฮาร์ดแวร์ของเครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้

การเลือกชิ้นส่วนหรือวัสดุทางอิเลกทรอนิกส์สำหรับทำฮาร์ดแวร์ ขึ้นกับความสะดวกในการจัดหาจากท้องตลาดภายในประเทศ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงสมรรถนะของมันด้วย จากเงื่อนไขดังกล่าว สรุปได้ว่า

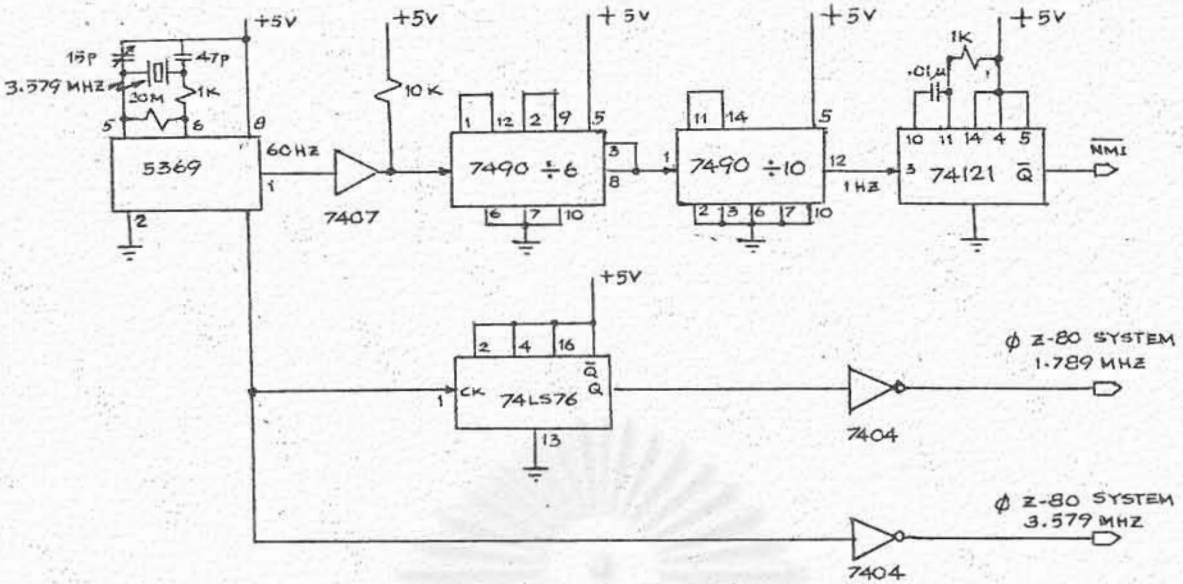
ก. ภาค CPU ใช้รุ่น Z-80

ข. ภาคหน่วยความจำถาวร เพื่อเก็บโปรแกรมควบคุมใช้ EPROM 2716 ขนาด 8 bit 2 kbyte ร่วมกับภาคหน่วยความจำชั่วคราวที่ใช้เก็บโปรแกรมคำสั่งเปิด-ปิดช่องต่าง ๆ ใช้ RAM 2114 จำนวน 2 ตัว ซึ่งให้ขนาดของหน่วยความจำรวมกันเป็น 8 bit 1 kbyte

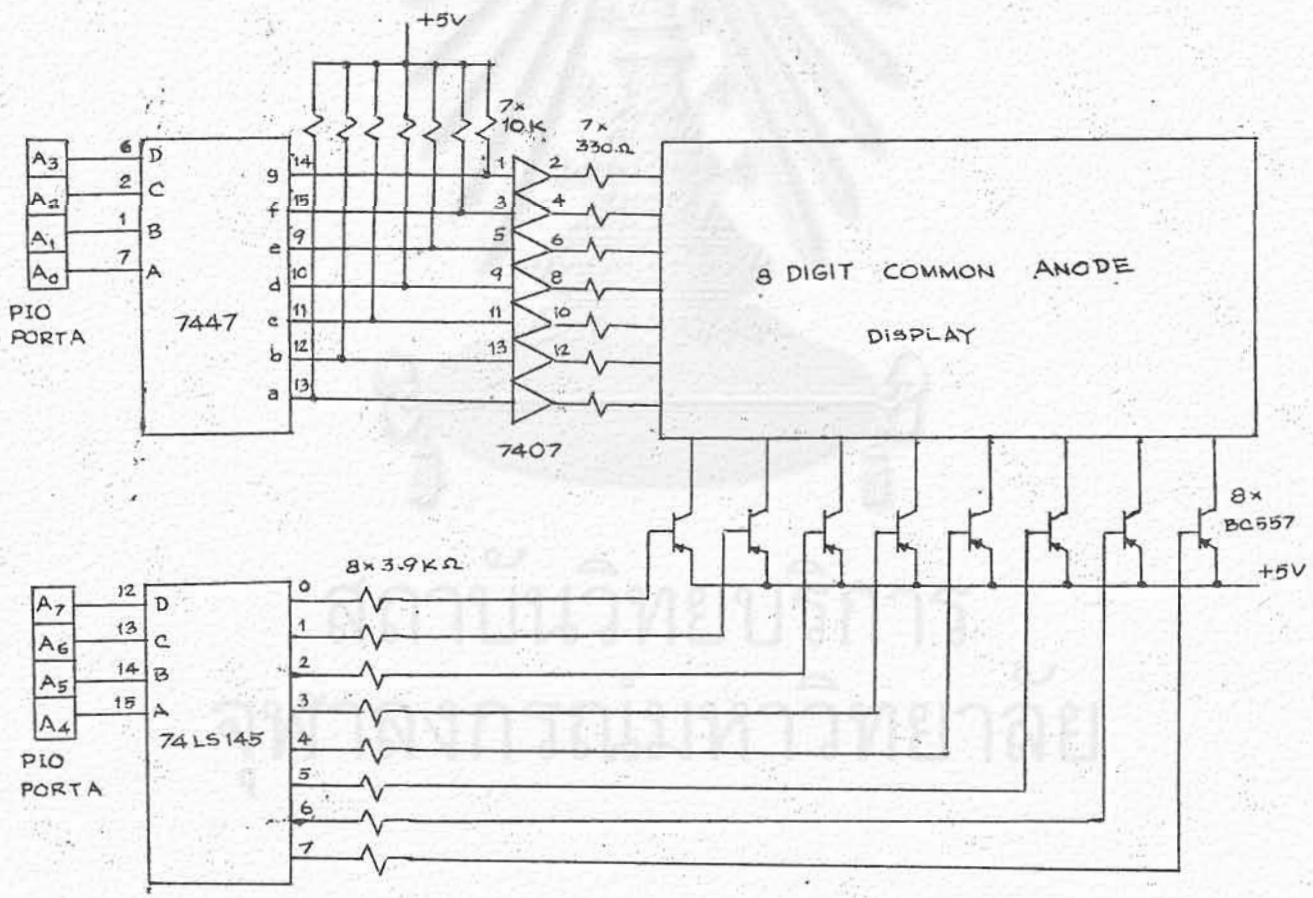
ค. ภาคฐานเวลา ใช้วงจรรวม 5367 ที่ให้ความถี่ 2 ชุด คือ 3.579 MHz และ 60 Hz ทั้งนี้ความถี่ 3.579 MHz ถูกหารด้วยวงจรรวม 74LS76 เหลือครึ่งหนึ่งเพื่อป้อนเป็นสัญญาณนาฬิกาสำหรับ CPU และความถี่ 60 Hz จะถูกหารลงเหลือ 1 Hz ด้วยวงจรรวม 7490 2 ตัว เพื่อป้อนผ่านวงจรรวม 74121 ไปเป็นสัญญาณอินเตอรับ เข้า CPU

จ. ภาคแสดงผล ใช้ 7-segment LED Display แสดงผลเป็นตัวเลข 6 หลัก แทนเวลาเป็น ชั่วโมง นาที และวินาที และใช้ 7-segment LED Display อีก 1 ตัว เพื่อแสดงช่องและรหัสหลักในการตั้งเวลา นอกจากนั้น

(ต่อหน้า 8)



รูปที่ 2.2 วงจรฐานเวลา



รูปที่ 2.3 วงจรแสดงผลเป็นตัวเลข

สรุป HARD WARE ในเครื่อง PROTOTYPE

1. ใช้ CPU CLOCK 1.789 MHz

   NMI (ON MASKABLE INTERRUPT) 1 Hz

   สำหรับ CLOCK 3.579 MHz และ OUTPUT BUFFER ไม่ได้ทำไว้

   ความถูกต้องของ CLOCK จะขึ้นอยู่กับการปรับแต่งวงจรส่วน OSCILLATOR

2. MEMORY MAP

   ADDRESS 0 - $7FF_{16}$ เป็น ROM AREA

   ADDRESS 8000_{16} - $83FF_{16}$ เป็น RAM AREA

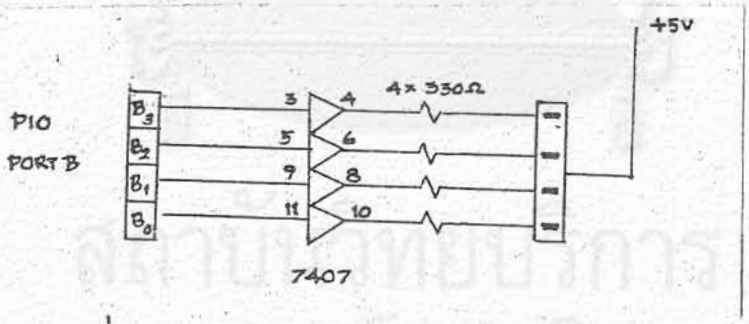
3. PIO ADDRESS

   PORT ADDRESS 00 - 03

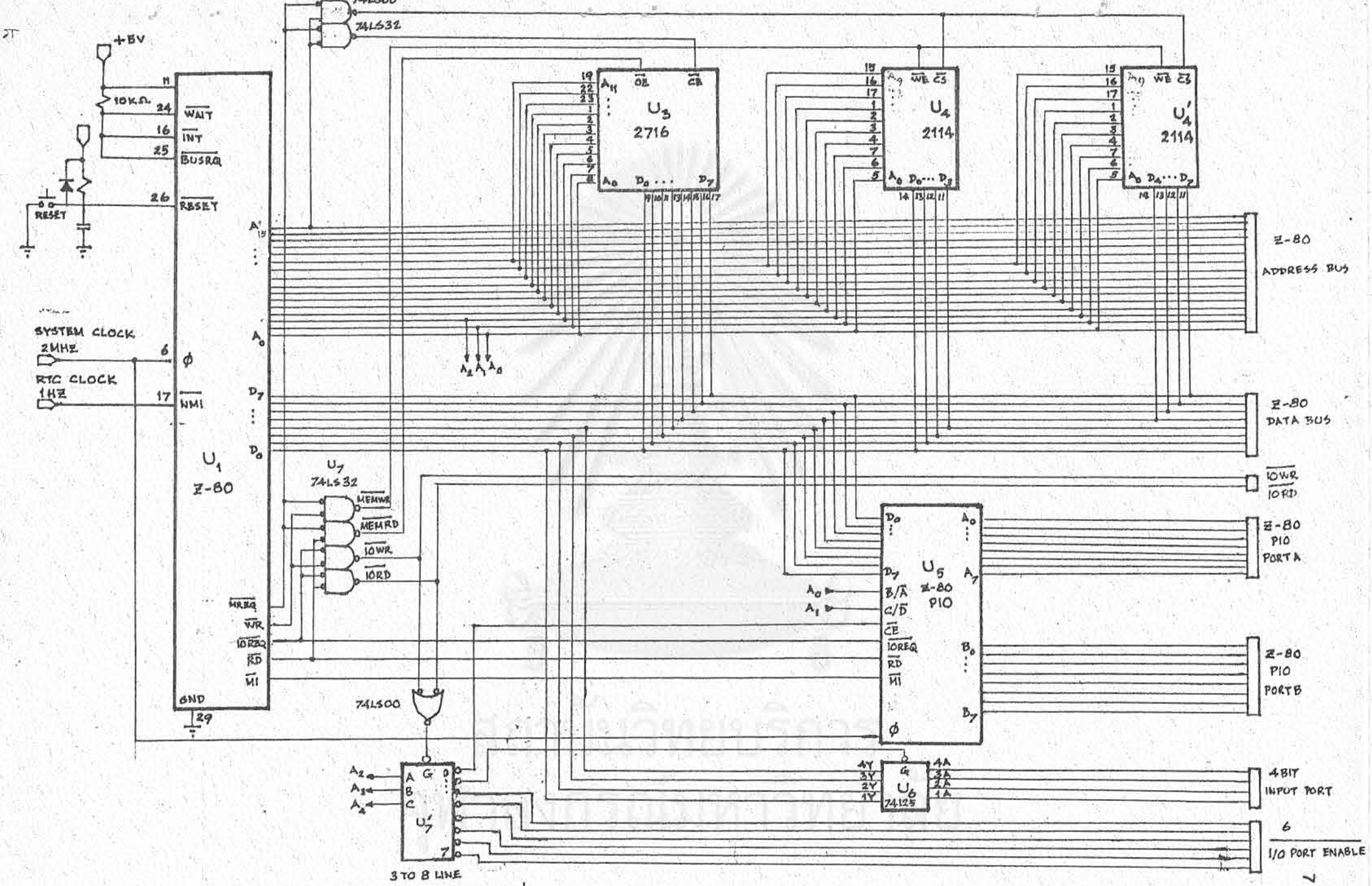
4. 4 bit INPUT PORT ใน CPU BOARD (74LS125)

   PORT ADDRESS xxxx 01 xx_B
   bit 7

5. EXTERNAL i/o PORT OUTPUT ที่ออกจาก 74LS155 ยังว่าอยู่อีก 2 ขา ดังนั้นสามารถต่อ EXTERNAL i/o PORT ได้อีก 2 PORT



รูปที่ 2.4 วงจรแสดงผลการเปิด-ปิดช่อง



รูปที่ 2.5 วงจรซีพียูและหน่วยความจำ

ยังมี LED อีก 8 ตัว สำหรับใช้แสดงผลการเปิด-ปิดของช่องแต่ละช่องด้วย

จ. ภาคแป้นกด กำหนดจำนวนปุ่มกดไว้ 16 ปุ่ม 10 ปุ่มแรกสำหรับป้อนค่าตัวเลข 0 ถึง 9 เข้าเครื่อง อีก 6 ปุ่มมีปุ่ม RUN/STOP (R/S) ปุ่ม clear (CLR) ปุ่มเลือกช่อง (CH) ปุ่มสั่งให้ป้อนโปรแกรมการเปิด-ปิดช่องเข้าเก็บไว้ในหน่วยความจำ (ENT) ปุ่ม Execution (EX) และปุ่ม increment (INC) ปุ่มทั้ง 16 ปุ่ม จะจัดในรูปมาทริกซ์ ขนาด 4 x 4 และต่อเข้ากับขา $A_0 - A_3$ ของวงจร Z-80 PIO การเลือกปุ่มกดกำหนดจาก Address bus $A_{12} - A_{15}$ ของ CPU

ฉ. ภาคเอ้าพุทรีเลย์ จะมีรีเลย์ต่อเข้ากับเครื่องตั้งเวลาผ่านทางขา $B_0 - B_7$ ของวงจร Z-80 PIO

ในรูปที่ 2.2 ถึง 2.5 เป็นรูปวงจรฐานเวลา วงจรแสดงผลเป็นตัวเลข วงจรแสดงผลการเปิด-ปิดช่อง และวงจร CPU และหน่วยความจำ ตามลำดับ

งานวิจัยนี้จะไม่กล่าวถึงโครงสร้างภายในของวงจรรวมแต่ละตัว และพยายามอธิบายให้น้อยที่สุดเกี่ยวกับการทำงานของวงจรเหล่านี้เป็นตัว ๆ เนื่องจากเป็นเรื่องที่สามารถหาอ่านหรือค้นคว้าได้โดยง่ายจากคู่มือของวงจรเหล่านี้ได้ ยิ่งกว่านั้นการต่อวงจรรวมเข้าด้วยกัน จะถูกกำหนดตายตัวอยู่แล้วว่า ขาไหนของวงจรรวมตัวหนึ่งจะไปต่อเข้าที่ขาไหนของอีกวงจรรวม ทำให้โครงสร้างรวมของฮาร์ดแวร์เกือบคล้ายคลึงกัน จะแตกต่างกันไปในส่วนหรือภาคของอินพุท เอาพุท เท่านั้น

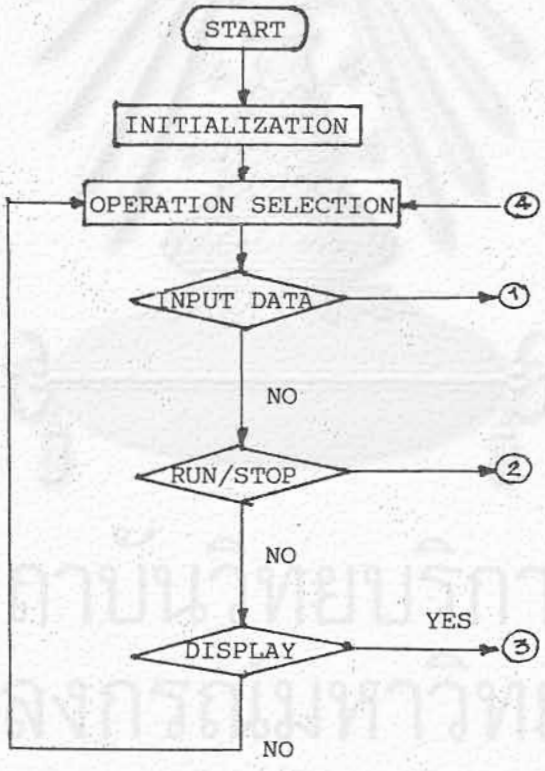
ดังนั้นงานหลักของวิจัยนี้จึงเป็นเรื่องของการพัฒนาซอฟท์แวร์ต่าง ๆ

2.2.2 ซอฟท์แวร์

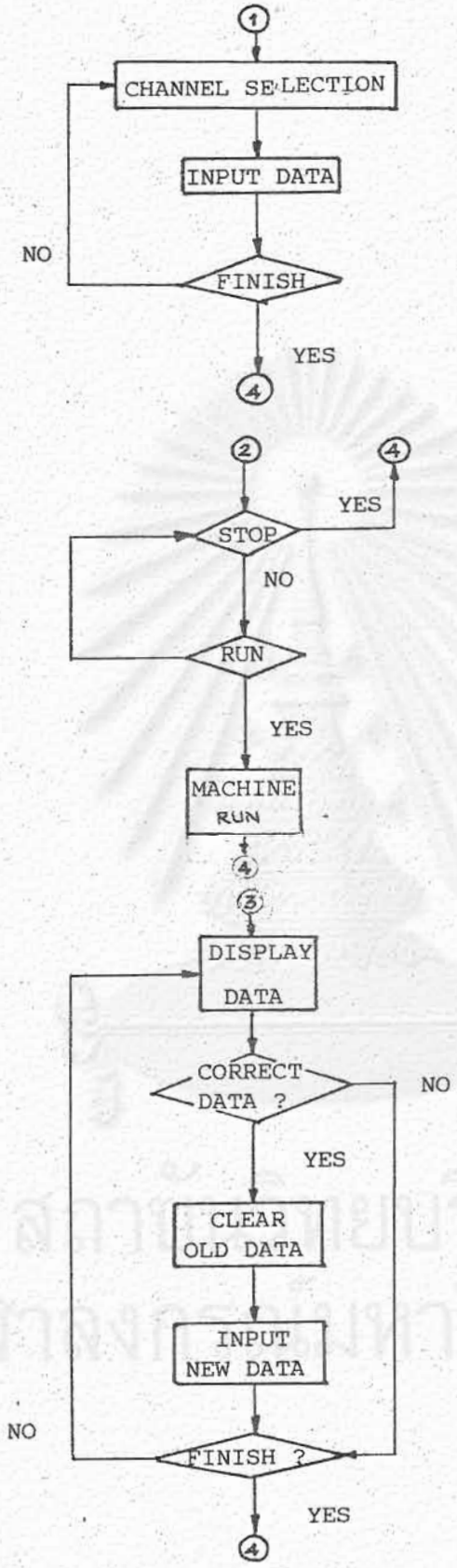
ก่อนจะเขียนและพัฒนาซอฟท์แวร์ได้จะต้องกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องโดยส่วนรวมก่อนว่าจะให้มันทำงานใดก่อน งานใดหลัง จากนั้นงานแต่ละชิ้นที่มันจะทำ มีรายละเอียดปลีกย่อยเป็นเช่นใด แล้วจึงค่อยเขียนโปรแกรมตามข้อกำหนดที่วางไว้ล่วงหน้า ทั้งนี้เพื่อความสะดวก เราจะใช้ flow chart แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องไม่ว่าจะเป็นส่วนใดทั้งสิ้น ในรูปที่ 2.6 เป็น flow chart แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องโดยส่วนรวม เริ่มจากการเปิดเครื่อง แล้วทำการ initialization จากนั้นเป็นการเตรียมตัวรับคำสั่งต่าง ๆ ที่จะป้อนเข้าทาง key board ถ้าไม่มีคำสั่งใด ๆ

เครื่องจะเดินไปเรื่อย ๆ พร้อมกับเปรียบเทียบเวลาจริงของเครื่องกับเวลาที่เก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนที่เรียกว่า Time Table ถ้าเท่ากันจะตรวจสอบว่าเป็นของช่วงใด และเป็นเวลา ON หรือ OFF จากนั้นจะส่งคำสั่งควบคุมไปยังช่องนั้น ๆ เพื่อควบคุม RELAY อีกต่อหนึ่ง ถ้ามีสัญญาณ Interrupt จาก key board ผ่านเข้ามา มันจะหยุดการทำงานในส่วนนี้ชั่วคราว รอรับคำสั่งใหม่ ในขณะที่เวลาจริงจะเดินต่อไปเรื่อย ๆ คำสั่งที่เข้าทาง key board จะเริ่มด้วยปุ่ม "CH" หรือปุ่ม "R/S" หรือปุ่ม "EX" เท่านั้น ถ้าเป็นปุ่มอื่นเครื่องจะไม่รับสัญญาณ

เริ่มด้วยปุ่ม "CH" หมายความว่าต้องการป้อนข้อมูลการเปิด-ปิดของช่องต่าง ๆ เข้าไปเก็บไว้ใน Time table ยกเว้นกรณีของช่องที่ศูนย์ ที่เป็นข้อมูลของเวลาจริงที่จะให้เครื่องเริ่มเดิน รูปแบบการป้อนข้อมูลจะเรียงตามลำดับ ดังนี้



รูปที่ 2.6 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงาน


1
CHANNEL SELECTION
INPUT DATA
NO
FINISH
YES
4
2
4
YES
STOP
NO
RUN
YES
MACHINE RUN
4
3
DISPLAY DATA
CORRECT DATA ?
NO
YES
CLEAR OLD DATA
INPUT NEW DATA
NO
FINISH ?
YES
4

รูปที่ 2.6 (ต่อ)

STEP 1 กดปุ่ม "CH"

STEP 2 กดปุ่มที่มีตัวเลขกำกับ ตั้งแต่ 0 ถึง 8 ปุ่มใดปุ่มหนึ่งขึ้นกับช่องที่จะกำหนดไว้ล่วงหน้า

STEP 3 กดปุ่มที่มีตัวเลขกำกับ 6 ครั้ง แทนหน่วยของชั่วโมง 2 ครั้ง ที่มีค่าตั้งแต่ 00 ถึง 23 นาที 2 ครั้ง ที่มีค่าตั้งแต่ 00 ถึง 59 และวินาที 2 ครั้ง ที่มีค่าตั้งแต่ 00 ถึง 59

STEP 4 กดปุ่ม "ENT" เพื่อเก็บข้อมูลลงในตารางเวลา

ยกเว้นกรณีของช่องที่ศูนย์ นอกนั้นจะสามารถป้อนข้อมูลด้วยวิธีการข้างต้นได้ 2 ครั้งต่อหนึ่งช่อง เพื่อแสดงเวลาเปิดและปิด ทั้งนี้ข้อมูลชุดใดจะเป็นข้อมูลในการเปิดหรือปิดช่องดังกล่าวขึ้นกับความประสงค์ของผู้ใช้

ALGORITHM ของซอฟท์แวร์ สำหรับการอ่านและเก็บข้อมูลทางเวลาเหล่านี้มีลักษณะที่ทำให้การเก็บข้อมูลลงในตารางเวลา เรียงลำดับตามเวลาได้โดยไม่คำนึงถึงลำดับช่อง จึงง่ายต่อการป้อนข้อมูลเข้าเครื่อง สาเหตุของการใช้วิธีการนี้ก็เพื่อลดเวลาของ CPU ในการเปรียบเทียบข้อมูลลง ทั้งโครงสร้างของซอฟท์แวร์ทั้งหมดอาจแบ่งเป็นโปรแกรมหลัก ๆ ได้ดังนี้

2.2.2.1 โปรแกรมเริ่มแรก ทำหน้าที่ INITIALIZE ระบบให้พร้อมที่จะทำงานขั้นต่อไป ทั้งนี้จะเคลียร์พารามิเตอร์ทั้งหมด

2.2.2.2 โปรแกรมหลัก เริ่มด้วยการแสดงผลออกทาง 7-SEGMENT DISPLAY LED ตัวที่ 7 แจ้งถึงสถานะของเครื่องในขณะนั้น พร้อมทั้งเคลียร์แป้นกด เพื่อรอรับคำสั่งที่จะป้อนเข้าเครื่อง จากนั้นเครื่องจึงจะทำงานไปตามที่กำหนด จนกว่าจะมีคำสั่งใหม่เข้ามา ในโปรแกรมหลักจะรวมโปรแกรมย่อยไว้หลายโปรแกรมดังนี้

(ก) NEW ENTRY ROUTINE

(ข) RUN/STOP ROUTINE

(ค) DATA EXAMINE ROUTINE

(ง) SEARCH ROUTINE

(จ) MOVE AND INSERT DATA BLOCK ROUTINE

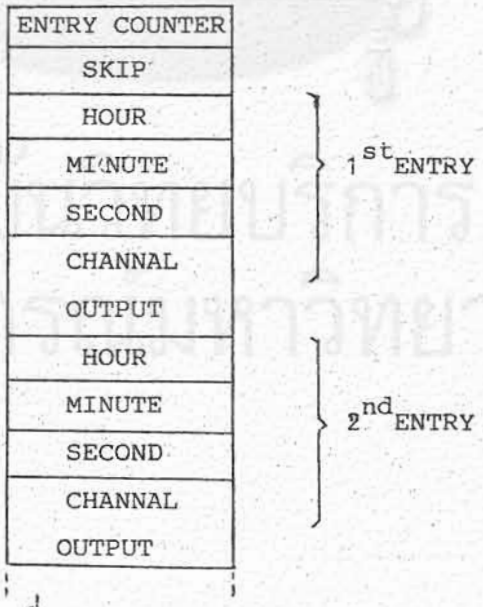
(ฉ) KEY BOARD AND DISPLAY ROUTINE

(ช) LED OUTPUT ROUTINE

(ช) UPDATE REAL TIME CLOCK AND COMPARE DATA IN TIME TABLE ROUTINE

3 โปรแกรมย่อยแรก เป็นโปรแกรมสำหรับรับข้อมูล หรือคำสั่งที่ป้อนเข้าเครื่อง ในขณะที่ 2 โปรแกรมย่อยถัดมาจะทำการค้นหาข้อมูล ทำการดึงข้อมูลออกมาหรือใส่เข้าไปในตารางเวลา ส่วน 2 โปรแกรมย่อยจากนั้นเป็นโปรแกรมใช้ในการควบคุมการป้อนสัญญาณรับส่งระหว่าง CPU และแป้นกดและภาคแสดงผล โปรแกรมสุดท้ายจัดเป็นโปรแกรมอินเตอรัพท์ เพราะมันจะทำหน้าที่ปรับเวลาตามที่เป็นจริง พร้อมทั้งเปรียบเทียบเวลาดังกล่าวกับข้อมูลในตารางเวลาไปเรื่อย ๆ เป็นระยะ

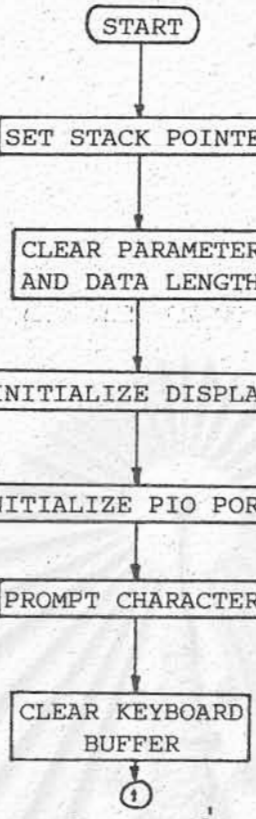
รายละเอียดของตัวโปรแกรมทั้งหมดซึ่งเขียนในรูปภาษาแอสเซมเบลอ ถูกจัดไว้ในภาคผนวกท้ายรายงานการวิจัยฉบับนี้แล้ว ส่วนโครงสร้างของตารางเวลาที่ถูกจัดไว้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าหน่วยความจำที่ใช้เก็บจำนวนข้อมูล (ENTRY COUNTER) อยู่บนสุด ในขณะที่ข้อมูลแสดงจำนวนชุดของข้อมูลที่จะข้ามไป เนื่องจากสภาวะของเครื่องดำเนินผ่านไปแล้วจะอยู่ถัดลงมา (SKIP) ข้อมูลแต่ละชุดจะประกอบด้วยค่าของชั่วโมง ค่าของนาที ค่าของวินาที สถานะการเปิด-ปิดช่องและลำดับช่องที่จะเปิดปิด บรรจุรวมไว้



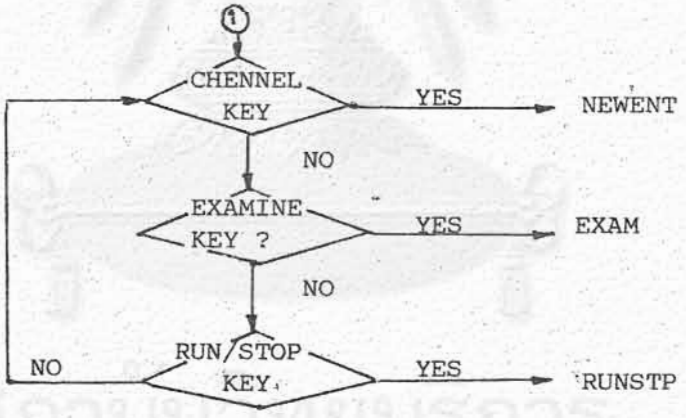
รูปที่ 2.7

ไม่เกิน 4 ไบท์

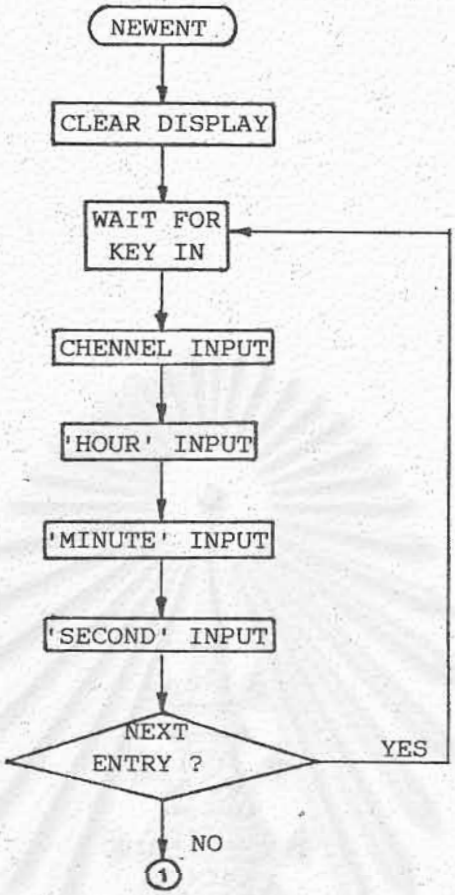
ในรูปที่ 2.8.1 ถึง 2.8.6 แสดงให้เห็นโฟลจ์ชาร์ทของโปรแกรมต่าง ๆ



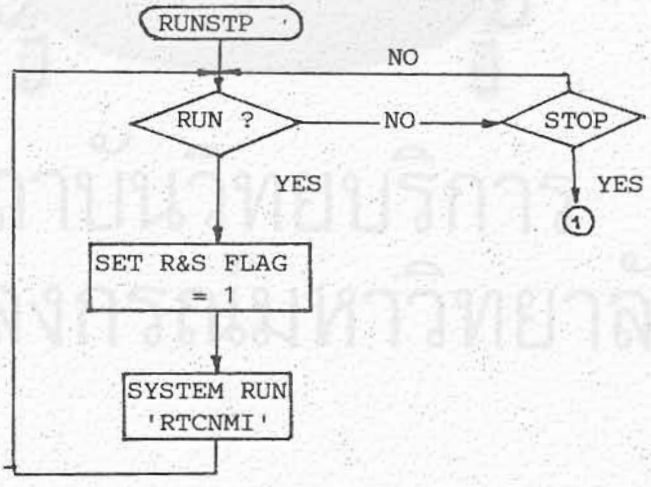
รูปที่ 2.8.1 โปรแกรมเริ่มแรก



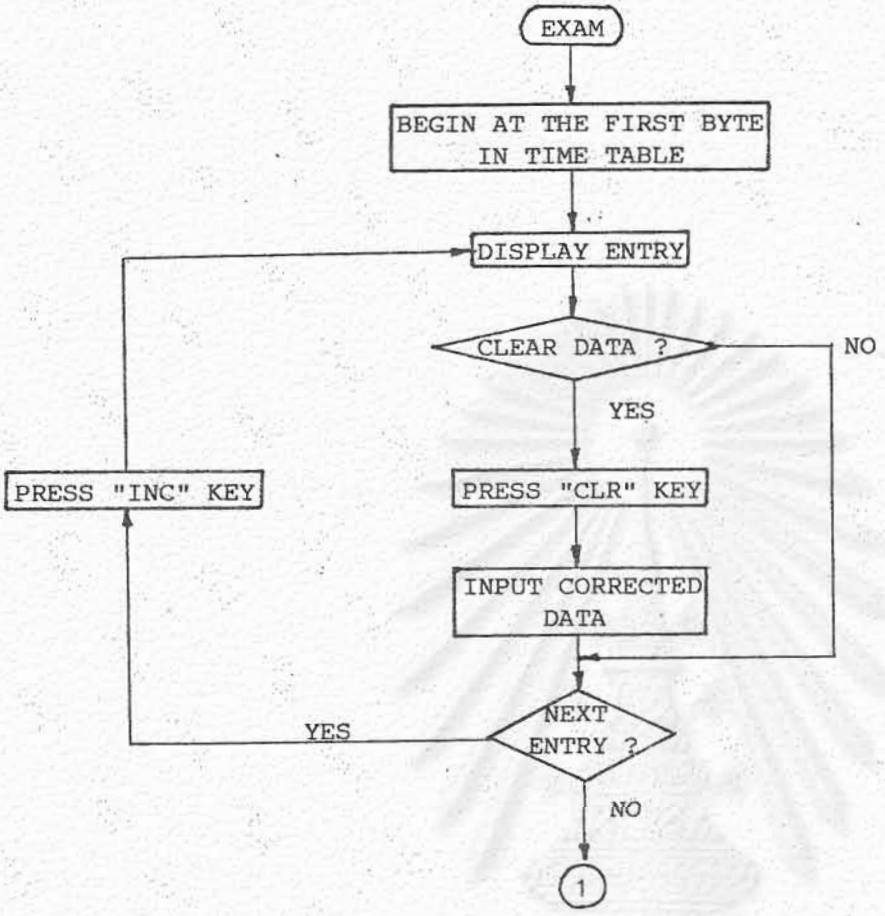
รูปที่ 2.8.2 โปรแกรมย่อยใช้เลือกแป้นกด



รูปที่ 2.8.3 โปรแกรม NEW ENTRY

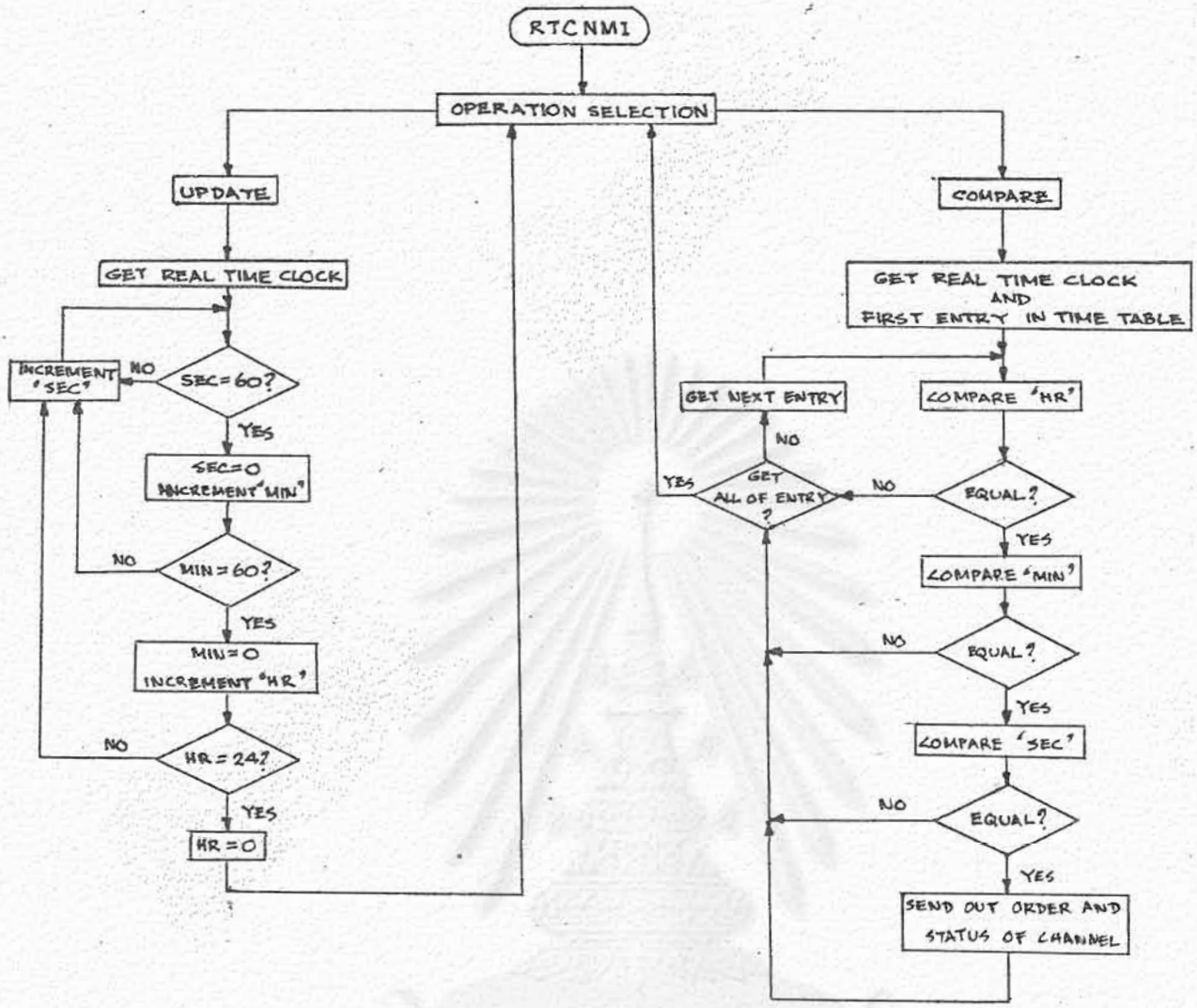


รูปที่ 2.8.4 โปรแกรม RUN/STOP



รูปที่ 2.8.5 โปรแกรม DATA EXAMINE

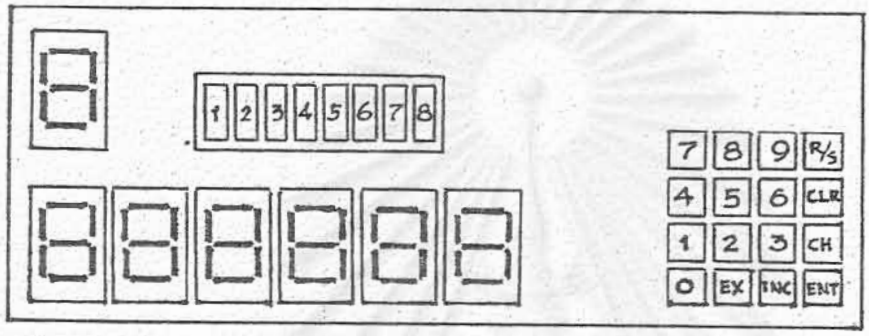
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.8.6 โปรแกรม UPDATE REAL TIME CLOCK AND COMPARE DATA IN TIME TABLE

2.3 การใช้งานเครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้

เพื่อให้เครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้นี้ใช้งานได้เต็มตามประสิทธิภาพที่วางไว้แต่แรก จำเป็นจะต้องมีการอธิบายวิธีการใช้งานโดยละเอียด ทั้งนี้จะอาศัยรูปที่ 2.9 ประกอบ ซึ่งเป็นรูปวาดแสดงแผงหน้าปัทม์ของเครื่องดังกล่าว



รูปที่ 2.9 แผงหน้าปัทม์ของเครื่อง

จากแผงหน้าปัทม์ดังกล่าว ทางขวามือเป็นแป้นกดที่มีทั้งหมด 16 ปุ่ม สำหรับค่าตัวเลขสิบปุ่ม (จากศูนย์ถึงเก้า) และสำหรับคำสั่งต่าง ๆ อีก 6 ปุ่ม คือ

ปุ่ม R/S สำหรับ เดินหรือหยุดเครื่อง

ปุ่ม CLR สำหรับเคลียร์ข้อมูลในตารางเวลาตามที่แสดงผล

ปุ่ม CH สำหรับแสดงคำสั่งว่าจะเลือกช่อง ซึ่งจะต้องป้อนค่าตัวเลขลำดับของช่องตามเข้าไป มีทั้งสิ้น 8 ช่อง (จาก 1 ถึง 8)*

ปุ่ม ENT สำหรับป้อนข้อมูลตัวเลขที่แสดงผลด้วย 7-SEGMENT LED เข้าไปเก็บไว้ในตารางเวลา

ปุ่ม INC สำหรับเพิ่มลำดับของชุดข้อมูลในตารางที่จะนำมาแสดงผล

ปุ่ม EX สำหรับเรียกข้อมูลที่เก็บในตารางเวลาที่แอดเดรสต่ำสุดให้มาปรากฏบน LED เพื่อตรวจสอบค่า ทั้งนี้สามารถแสดงสถานะของช่องและลำดับช่องได้ด้วย

นอกจากแป้นกดแล้วที่เหลือเป็นภาคแสดงผลอันประกอบด้วย 7-SEGMENT LED 6 ตัวเรียงกันอยู่ทางด้านล่าง สำหรับแสดงข้อมูลของชั่วโมง นาทีและวินาที ที่จะเปิดและหรือปิด

ช่องต่าง ๆ ถัดขึ้นไปเป็นชุดของ LED ที่ใช้แสดงสถานะการเปิดและปิดของช่องต่าง ๆ เรียงตามลำดับ จากซ้ายไปขวา สุดท้ายเป็น 7-segment LED อีกตัวหนึ่งอยู่ทางบนซ้ายของหน้าปัทม์ทำหน้าที่แสดงสถานะของเครื่อง ดังนี้

⊑ แสดงว่า เครื่องพร้อมที่จะรับคำสั่งใหม่

⊐ แสดงว่า เครื่องพร้อมจะรับหมายเลขของช่อง

⊏ แสดงว่า ข้อมูลที่ป้อนเข้าเครื่องไม่ถูกต้อง

เป็นต้นว่า ค่าของนาที เกิน 59 หรือหมายเลขของช่องเกิน 8

⊂ แสดงว่า ข้อมูลที่ป้อนเข้าหรือแสดงผลอยู่นั้นเป็นค่าของเวลาจริง

นอกจากนั้นมันยังใช้แสดงลำดับช่องที่จะตั้งเวลาด้วย

การใช้งานของเครื่องตั้งเวลานี้ สามารถแบ่งออกเป็น 6 แบบด้วยกัน ขึ้นกับปุ่มคำสั่งปุ่มแรกที่จะกดว่าเป็น ปุ่ม "CH" ปุ่ม "EX" ปุ่ม "R/S" ปุ่ม "INC" ปุ่ม "ENT" หรือปุ่ม "CLR"

2.3.1 การป้อนข้อมูลแบบตั้งเวลาเปิดและหรือปิดช่องต่าง ๆ

ขั้นที่ 1. หลังจากเปิดเครื่องแล้ว ต้องคอยสัญญาณแสดงสถานะของเครื่อง ถ้าปรากฏ ⊑ แล้ว

ขั้นที่ 2 กดปุ่ม "CH"

ขั้นที่ 3 กดปุ่ม "n" เลือกลำดับของช่องที่จะเปิดและหรือปิด

ขั้นที่ 4 กดปุ่ม "n" ของตัวเลขค่าต่าง ๆ 6 ครั้ง แสดงถึง จำนวนชั่วโมง นาทีและวินาที อย่างละ 2 ตำแหน่ง

ขั้นที่ 5 ถ้าข้อมูลถูกต้อง ให้กดปุ่ม "ENT" เพื่อเก็บข้อมูลดังกล่าว เข้าในตารางเวลา

ตัวอย่างการป้อนข้อมูลในลักษณะนี้ คือ

FORMAT : [CH] [4] [0] [2] [5] [5] [4] [7] [ENT]

หมายความว่า ต้องการ เปิดหรือปิด ช่องที่ 4 ณ เวลา 2 นาฬิกา 55 นาที 47 วินาที ส่วนการกำหนดสถานะเปิดหรือปิด จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

หลังจากป้อนข้อมูลตามขั้นตอนดังกล่าวแล้ว เครื่องจะรอรับคำสั่งการปิดหรือเปิดของช่องเดิมต่อไปอีก ถ้าผู้ใช้ต้องการก็เพียงแต่กดปุ่มตัวเลข 6 ค่า และปุ่ม "ENT" เท่านั้น

FORMAT : [CH] [4] [0] [2] [5] [5] [4] [7] [ENT]

[0] [2] [5] [9] [0] [0] [ENT]

หมายความว่า ต้องการเปิดหรือปิด ช่องที่ 4 ณ เวลา 2 นาฬิกา 55 นาที 47 วินาที และเปิดหรือปิดช่องที่ 4 ณ เวลา 2 นาฬิกา 59 นาที 00 วินาที

แต่ถ้า ผู้ใช้ไม่ต้องการป้อนข้อมูลสำหรับช่องดังกล่าวอีกต่อไป ก็ให้กดปุ่ม "ENT" ซ้ำอีก เครื่องจะแสดงสถานะ ☰ เพื่อรอรับคำสั่งหรือข้อมูลใหม่ ดังตัวอย่าง

FORMAT : [CH] [4] [0] [2] [5] [5] [4] [7] [ENT] [ENT]

หมายความว่า ต้องการเปิดหรือปิด ช่องที่ 4 ณ เวลา 2 นาฬิกา 55 นาที 47 วินาที เพียงอย่างเดียว และปล่อยให้สถานะของช่อง 4 คงไว้ได้เช่นนั้นตลอดไป

2.3.2 การตรวจสอบข้อมูล

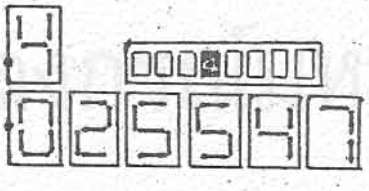
ขั้นที่ 1 ต้องรอคอยให้สถานะของเครื่องเป็น ☰ แล้ว

ขั้นที่ 2 กดปุ่ม "EX" 7-segment LED ในแนวล่าง จะแสดงผลของข้อมูลที่แอดเดรสต่ำสุดในตารางเวลา พร้อมด้วยสถานะการเปิดหรือปิดของช่องและลำดับช่องจะปรากฏบนชุด LED

ขั้นที่ 3 กดปุ่ม "INC" เมื่อต้องการดูข้อมูลในแอดเดรสถัด ๆ ไป

2.3.3 การแก้ไขสถานะการเปิดหรือปิดของช่อง

หลังจากขั้นที่ 2 หรือ 3 ในหัวข้อ 3.2 ให้กดปุ่ม "n" ตรงกับตัวเลขใน 7-segment LED บนซ้าย เพื่อเปลี่ยนสถานะการเปิดหรือปิดช่องดังกล่าว ณ เวลาที่แสดงผลอยู่ ตัวอย่าง



แสดงว่าสถานะของช่องที่ 4 เปิด ณ เวลา 2 นาฬิกา 55 นาที 47 วินาที ชุด LED ที่แสดงสถานะตัวที่ 4 จะสว่าง ถ้าต้องการให้ที่เวลาดังกล่าว ช่องที่ 4 ปิด ผู้ใช้ต้องกดปุ่ม"4" ชุด LED ที่แสดงสถานะตัวที่ 4 จะดับ โดยอัตโนมัติสถานะปิดของช่องที่ 4 เดิม ถ้ามีอยู่จะเปลี่ยนเป็นเปิด

2.3.4 การลบและแก้ไขข้อมูลทางเวลา

หลังจากขั้นที่ 2 หรือ 3 ในหัวข้อ 3.2 ถ้าต้องการลบข้อมูลทางเวลาที่ใช้เปิดหรือปิดช่องทิ้งไป เพียงแต่กดปุ่ม "CLR" ข้อมูลที่แสดงผลอยู่จะถูกลบทิ้งไปจากตารางเวลา และข้อมูลในตารางเวลาที่เหลือ จะถูกรันแอดเดรสเข้าแทนตามลำดับ

เมื่อลบข้อมูลดังกล่าวทิ้งไป ผู้ใช้ก็สามารถแก้ไขข้อมูลทางเวลาได้โดยป้อนข้อมูลที่ถูกต้องเข้าไปตามหัวข้อ 3.1 ใหม่

2.3.5 การหยุดหรือเดินเครื่อง

ในกรณีที่ต้องการหยุดเครื่อง เพื่อตรวจสอบและแก้ไขข้อมูลต่าง ๆ ให้กดปุ่ม "R/S" เครื่องจะหยุดการเปรียบเทียบข้อมูลและหยุดนาฬิกาด้วย เมื่อตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อย ให้กดปุ่ม "R/S" ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เครื่องจะเดินต่อไป

2.3.6 การป้อนข้อมูลทางเวลาจริง

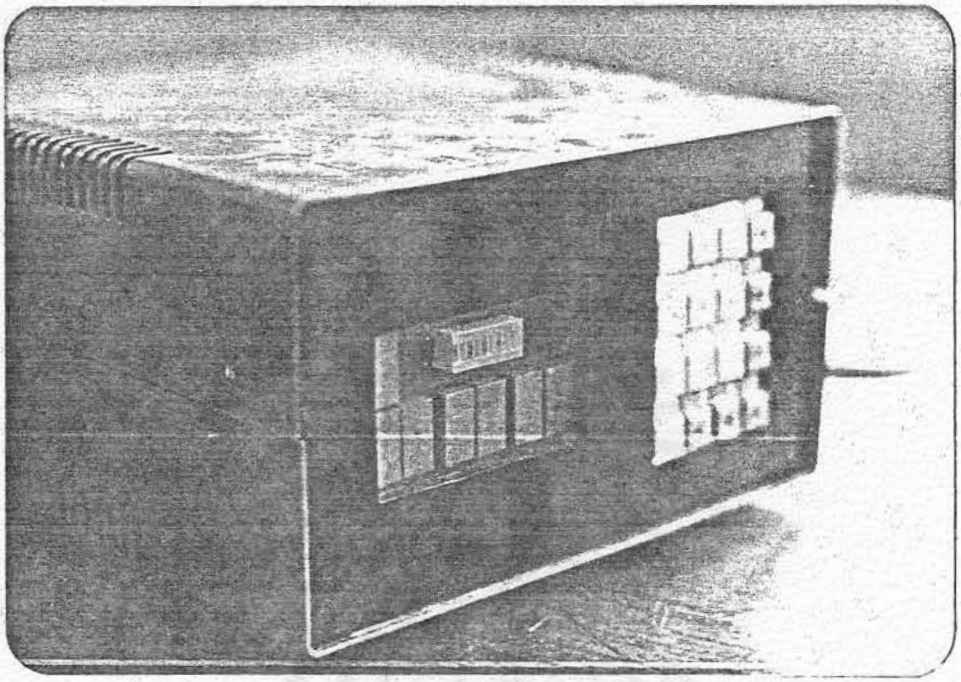
ถ้าผู้ใช้ต้องการตั้งเวลาจริงให้แก่เครื่อง เช่น ต้องการเดินเครื่องตรงกับเวลา 12 นาฬิกา 00 นาที 00 วินาที ก็จำเป็นจะต้องป้อนข้อมูลทางเวลาจริงให้แก่เครื่อง ขั้นตอนการป้อนข้อมูลจะเป็นไปตามหัวข้อ 3.1 กล่าวคือ หลังจากเปิดเครื่องแล้วให้กดปุ่ม

FORMAT : [CH] [0] [1] [2] [0] [0] [0] [0] [ENT]

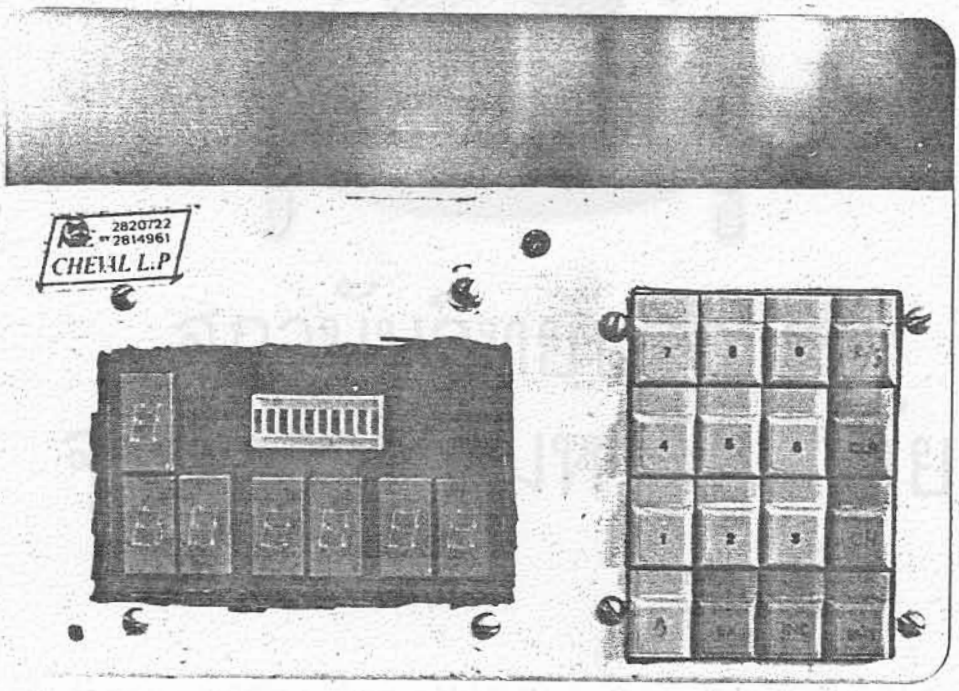
หมายความว่า ค่าตัวเลข 0 ที่ป้อนเข้าเครื่องภายหลังการกดปุ่ม "CH" แสดงการตั้งเวลาจริงให้แก่เครื่อง ถ้าผู้ใช้ไม่ตั้งเวลาจริง เครื่องจะเริ่มเดินที่เวลา 00 นาฬิกา 00 นาที 00 วินาที โดยอัตโนมัติ

2.4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

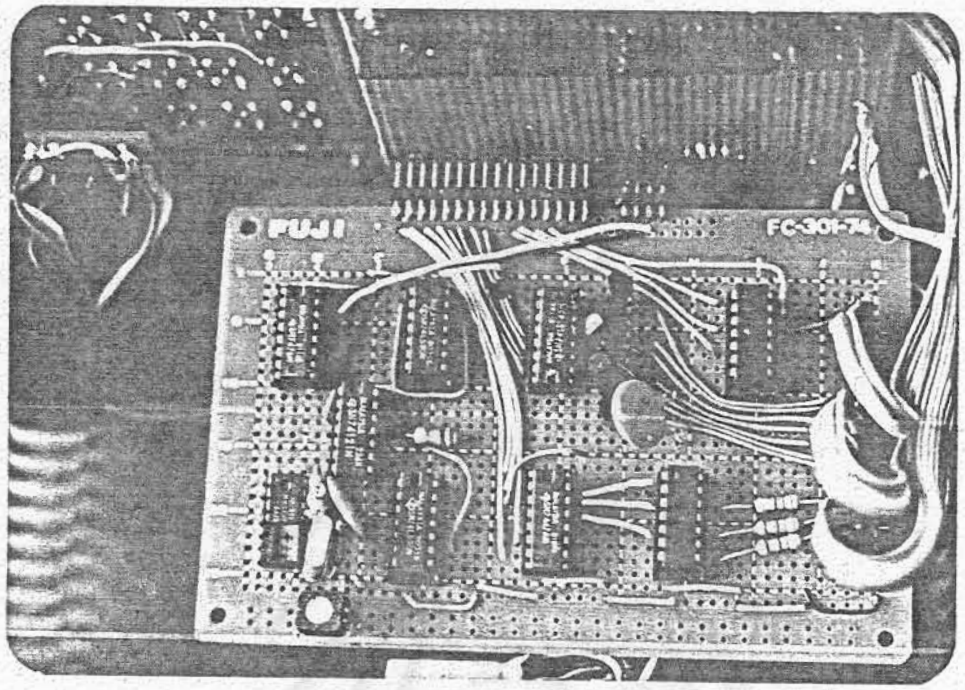
การออกแบบและสร้างเครื่องตั้งเวลาที่โปรแกรมได้นี้ เริ่มด้วยการกำหนดสมรรถนะและลักษณะการใช้งานของเครื่อง จากนั้นจึงเลือกอุปกรณ์และวัสดุสำคัญที่จะนำมาเป็นตัวหลักในวงจร ได้แก่ ซีพียู หน่วยความจำ และวงจรฐานเวลา เมื่อได้อุปกรณ์และวัสดุสำคัญเหล่านี้มาการออกแบบวงจรทั้งหมดจึงทำได้ด้วยการแบ่งออกเป็นภาคต่าง ๆ 6 ภาคเชื่อมต่อกัน คือ ภาคซีพียู ภาคหน่วยความจำ ภาคฐานเวลา ภาคแสดงผล ภาคแป้นกดและภาคเอ้าท์พุทรีเลย์ งานขั้นต่อไปเป็นเรื่องของการเขียนซอฟท์แวร์ ที่ต้องเขียนโฟลวชาร์ท แสดงการทำงานและการใช้เครื่องล่วงหน้า เมื่อมีโฟลว์ชาร์ทแล้ว ตัวโปรแกรมต่าง ๆ จึงเขียนขึ้นได้ ทั้งนี้อาจแบ่งออก



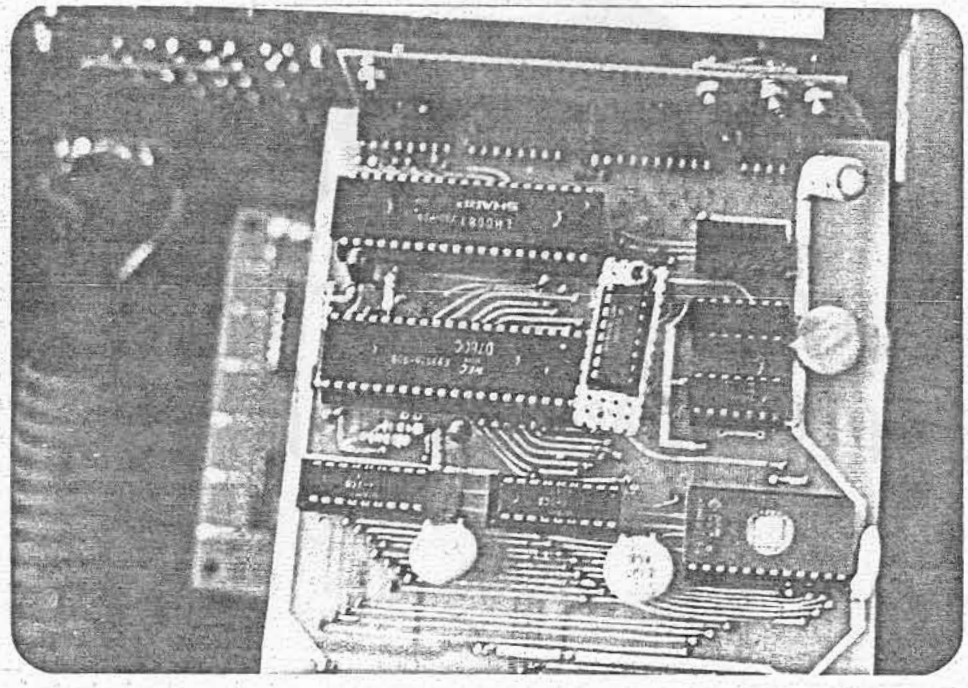
รูปที่ 2.10 ภาพถ่ายแสดงรูปลักษณะภายนอกของเครื่องตั้งเวลา



รูปที่ 2.11 แสดงแผงหน้าปัทม์ของเครื่องตั้งเวลา



รูปที่ 2.12 ภาพถ่ายแสดงวงจรฐานเวลา



รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายแสดงวงจรซีพียูและหน่วยความจำ

ได้เป็น 2 ส่วน คือ โปรแกรมเริ่มแรก และโปรแกรมหลัก ในโปรแกรมหลักยังมีโปรแกรมย่อยอีกหลายโปรแกรม เพื่อให้เครื่องทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นโปรแกรมรับข้อมูล โปรแกรมหยุดและเดินเครื่อง โปรแกรมตรวจสอบข้อมูล โปรแกรมค้นหาข้อมูล โปรแกรมรับส่งข้อมูล โปรแกรมควบคุมแป้นกด และภาคแสดงผล โปรแกรมเปรียบเทียบข้อมูล งานขั้นสุดท้ายของการวิจัย คือการแสดงวิธีใช้เครื่อง และทดลองเดินเครื่องตามกรรมวิธีที่ได้ระบุไว้ จากผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ เพราะเครื่องสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้แต่แรก จะมีข้อเสียเล็ก ๆ น้อย ๆ อยู่บางประการ คือ ความคลาดเคลื่อนของเวลาจริงที่เดินไป พบว่าอาจผิดพลาดได้มาก ถ้าปล่อยให้เครื่องร้อนเกินไป ทั้งนี้คาดว่าค่าความต้านทานและค่าการเก็บประจุที่ใช้ภายในวงจรฐานเวลาเปลี่ยนไป ซึ่งจริง ๆ แล้วจะผิดพลาดไม่เกิน 30 วินาทีต่อ 24 ชั่วโมง ปัญหาประการที่สองเป็นเรื่องของฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกที่จะไปทำให้สัญญาณต่าง ๆ ภายในเครื่องผิดปกติไป ปัญหาประการสุดท้าย คือปัญหาของแหล่งจ่ายไฟที่เครื่องใช้อยู่เป็นกระแสไฟสลับ 220 โวลท์ 50 เฮริทซ์ ถ้าเกิดดับลงจะทำให้ข้อมูลที่เก็บไว้ในตารางเวลาสูญไปหมดด้วย

การแก้ไขปัญหาเหล่านี้อาจทำได้ดังนี้ คือการติดตั้งพัดลมขนาดเล็กไว้ในตัวเครื่องเพื่อระบายความร้อน การฉาบแผงวงจรด้วยวัสดุประเภทพลาสติก ป้องกันฝุ่นละอองและหมั่นให้การบำรุงรักษาประกอบการติดตั้งวงจรในตัวถังที่ปิดมิดชิดพอควร และการจัดสร้างแหล่งจ่ายไฟ แบบ UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY ไว้ในวงจรด้วย ลักษณะของแหล่งจ่ายไฟนี้ ประกอบด้วย หม้อแบตเตอรี่ แบบอัดไฟได้เองโดยอัตโนมัติ และวงจรอัดไฟ

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ ที่น่าสนใจคือการปรับปรุงให้สมรรถนะของเครื่องตั้งเวลาสูงขึ้น เป็นต้นว่า สามารถเลือกตั้งเวลาแบบเป็นรายคาบก็ได้ หรือแบบไม่เป็นรายคาบก็ได้ การแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้ตลอดเวลาโดยที่ไม่จำเป็นจะต้องหยุดเวลาจริงของเครื่อง หมายความว่าควรจะแยกวงจรแสดงเวลาจริงของเครื่องให้ทำงานอย่างเป็นอิสระและเวลาจริงของเครื่อง ควรแสดง วัน เดือนและปีได้ พร้อมทั้งสามารถปรับวัน เดือน ปีได้โดยอัตโนมัติ เช่น เดือนมกราคม มี 31 วัน เครื่องก็สามารถแสดงวันที่ได้จนถึงวันที่ 31 เดือนกุมภาพันธ์ มี 29 วัน ในปีค.ศ.1984 เครื่องก็สามารถตรวจสอบและแสดงผลจนถึงวันที่ 29 ได้ สุดท้ายควรเพิ่มขีดความสามารถในการเปิดและปิดแต่ละช่องให้สามารถทำได้มากกว่า 1 ครั้ง ต่อ 1 คาบ เช่นตั้งเวลาให้เปิดและปิด ภายในระยะ 24 ชั่วโมง ดังนี้

เปิดที่เวลา 10.00.00 นาฬิกา ปิดที่เวลา 10.50.00 นาฬิกา จากนั้นเปิดใหม่ที่เวลา 11.00.00 นาฬิกา แล้วปิดที่เวลา 12.00.00 นาฬิกา เป็นต้น

2.5 เอกสารอ้างอิง

1. S.C.Lee, "Digital Ciremits and Logic Design",Prentice Hall,1976
2. A.Osborne, "6800 Programming for Logic Design", Adam Osborne and Associates, 1976.
3. A.Osborne,"8080 Programming for Logic Design", Adam Osborne and Associates, 1976.
4. A.A.Leventhal, "8080A/8085 Assembly Language Programming", Osborne/Mc Graw-Hill, 1978.
5. สุธนะ สามโกเศศ "ระบบปลุกเตือนผ่านทางโทรศัพท์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525.
6. Z80 Assembly Language Programming Manual

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 2.1

SOURCE LISTING OF THE PROGRAMMABLE TIMER

```
                    ORG     0
*****************************************************************
*                   INITTALIZE    SYSTEM PARAMETER                *
*****************************************************************
INTT                EQU     $
                    DI
                    LD      SP,H'83FF'    :SET STACK PIONTER
                    LD      HL,KELG       :START OF THE INITIALIZE DATA
                    LD      A,0           :CLEAR ALL PARAMETER & DATA
                    LD      B,160         :LENGTH
INTT1               LD      (HL),A
                    INC     HL
                    DJNZ    INTT1
                    LD      A,07          :DISPLAY INITIALIZE
                    LD      (LEDNO),A
                    LD      A,H'70'
                    LD      (LEDPOS),A
******    INITIALIZE PIO PORT B
                    LD      A,H'CF'       :PIO CNTRL WORD
                    OUT     (BCTL),A
                    LD      A,00          :SET PORT B TO OUTPUT PORT
                    OUT     (BCTL),A
                    LD      A,H'FF'
                    OUT     (BDAT),A
*****************************************************************
*                   DISPLAY AND WAIT FOR KEY INPUT              *
*****************************************************************
WAIT                LD      A,H'0D'     :PROMPT CHARACTER
                    LD      (LEDBUF),A
                    CALL    CLRKEY      :CLEAR KEYBORD BUFFER
                    CALL    KEYDSP      :WAIT
*****************************************************************
*                   CHECK WHAT KEY ?                            *
*****************************************************************
CHCK                CP      CHAN        :CHANNEL KEY ?
                    JP      Z,NEWENT    :JUMP FOR NEW ENTRY
                    CP      EX          :EXAMINE KEY ?
                    JP      Z,EXAM      :JUMP FOR EXAMINE
                    CP      RS          :RUN/STOP KEY
                    JP      Z,RUNSTP    :JUMP FOR RUN/STOP
                    JP      WAIT        :WAIT FOR CORRECT IN PUT
*****************************************************************
KBX                 ACON    KEYBUF+2
RTCX                ACON    RTC+2
                    ORG     H'66'
NMINT               JP      RTCNMI      :JUMP TO NMI ROUTINE
*****************************************************************
*                   NEW ENTRY ROUTINE                           *
*       ENTRY NEW TIME DATA.THIS ROUTINE STORE THESE DATA IN TIME TABLE  *
*       IN CONSECUTIVE ORDER BY SEARCHING THROUG THE TABLE IF TABLE IS   *
*       FULLED IT SEND THE ERROR MASSAGE AND TERMINATE THE PROGRAM TO WAIT *
```

```
*       IF NOT IT FILL THE DATA IN TTBL AND INCREMENT THE ENTRY COUNT OR *
*       NOT IF NEW ENTRY EQUAL THE EXISTING VALUE                        *
*************************************************************************
                ORG     H'69'
NEWENT          EQU     $
                LD      A,0
                LD      (RSF),A     :RESET 'RUN'
                LD      A,H'FF'
                OUT     (BDAT),A
                OUT     (BDAT),A
*********       CLEAR DISPLAY AND WAIT FOR KEY IN               *********
                LD      HL,LEDBUF
                LD      A,H'FF'     :BLANK CODE
                LD      B,07
NWEN1           LD      (HL),A
                INC     HL
                DJNZ    NWEN1
                LD      A,H'0C'     :PROMPT CHARRACTER FOR WAITING INPUT
                LD      (LEDBUF),A
NWEN2           CALL    KEYDSP      :WAIT AND DISPLAY
                CP      5           :IS 0-4
                JP      P,NWEN2
                LD      (CH),A      : 0<=KEY=<4 THEN SAVE CHANNEL VALUE
                CP      0           :IS RTC SET ?
                JP      Z,RTCENT    :JUMP IF RTC SET
                LD      (LEDBUF),A  :DISPLAY CHANNEL NUMBER
                CALL     CLRKEY     :CLEAR KEY BUFFER
*********       SET KEY PIONTER TO KEY BUFFER                   *********
NWEN3           LD      HL,(KBX)
*********       PACK DATA IN 3-BYTES BCD                        *********
NWEN4           CALL    KEYDSP      :WAIT
                CP      ENT         :TERMINATE TO ENTER ?
                JP      Z,NWEN5     :JUMP IF YES
                CP      H'0A'       :CORRECT KEY IN ?
                JP      P,NWEN4
*********       PACK DATA IN BUFFER/                            *********
PAC             LD      B,03
PAC1            RLD
                DEC     HL
                DJNZ    PAC1
                INC     HL          :HL PIONT TO HH
                LD      IX,LEDBUF+1
                CALL    DSPK        :PACK DATA IN DISPLAY BUFFER
                LD      A,(CH)
                CP      0           :IS RTC ENTER
                JP      Z,RTCENT
                JP      NWEN3       :CONTINUE INPUT
RTCENT          LD      HL,(RTCX)
                LD      A,H'0A'     :PROMPT CHARACTER
                LD      (LEDBUF),A
                JP      NWEN4       :CONTINUE
*********       ENTER DATA                                      *********
NWEN5           LD      A,(CH)
                CP      0           :RTC ENTER
```

```
                JP      Z,CL
********        HL POINT TO SS                                  ********
                DEC     HL
                DEC     HL
                PUSH    HL
                POP     IX
                LD      HL,TTBL
                LD      A,(ENCOUT)
                LD      B,A
                LD      A,(CH)
                LD      C,A
                CALL    INVTST      ;TEST INVALID KEY?
                OR      A
                JP      NZ,CL
                CALL    SEARCH      ;SEARCH THROUE TTBL
********        CLEAR DISPLAY AND KEY BUFFER                    ********
CL              LD      HL,LEDBUF+1
                LD      A,H'FF'
                LD      B,06
CL1             LD      (HL),A
                INC     HL
                DJNZ    CL1
                LD      A,(CH)
                CP      0
                JP      Z,WAIT      ;JUMP IF RTC ENTRY
                CALL    CLRKEY
                CALL    KEYDSP      ;ENTER NEXT ENTRY
                CP      H'0A'
                JP      P,CHCK      ;JUMP TO TEST KEY IN
                LD      HL,(KBX)
                JP      PAC         ;PACK DATA
*****************************************************************
*               RUN / STOP ROUTINE                              *
*       THIS ROUTINE DETERMINE RUN OR STOP PROCESS BY CHECKING R&S FLAG  *
*       IF SET = 1  THEN RUN OTHERWISE STOP PROCESS AND TAKE THE PROGRAM *
*       TO COMMAND LEVEL                                        *
*****************************************************************
RUNSTP          EQU     $
                LD      A,(RSF)
                CP      0
                JP      NZ,RS1
                LD      A,01
                LD      (RSF),A
                LD      A,H'0A'
                LD      (LEDBUF),A
RS0             CALL    LEDOUT
                CALL    KEYIN
                JR      Z,RS0
                CP      RS
                JP      NZ,RS0
RS1             XOR     A
                LD      (RSF),A
                JP      WAIT
*****************************************************************
```

```
*                  DATA EXAMINE ROUTINE                                    *
*     THIS ROUTINE SHOW THE CONTENT IN TIME TABLE AND ITS OUTPUT STATUS     *
*       INCONSECUTIVE ORDER BY PRESSING INC KEY WHEN LISTING DATA USER      *
*       CAN SET OR RESET OUTPUT BITS BY PRESSING THE NUMBER IN RANGE OF     *
*       CHANNEL NUMBER ,IF WISH TO CLEAR ALL STATUS PRESS CLR KEY           *
*************************************************************************
EXAM            EQU     $
                LD      A,(ENCOUT)    :CHECK IF NO ENTRY
                CP      0
                JP      Z,TERM
                LD      A,0
                LD      (RSF),A
                LD      IX,TTBL :IX PTONT TO BASE OF TIME TABLE
                LD      D,0           :INITIALIZE D
                LD      A,(ENCOUT)
                LD      B,A
EX1             PUSH    IX            :PACK 3 BYTES INTO DISPLAY BUFFER
                POP     HL            :DATA TO BE DISPLAYED PIONT BY HL
                CALL    DSPK          :PACK
                LD      A,(IX+3)      :GET OUTPUT STATUS
                CPL                   :ACTIVE LOW OUTPUT
                OUT     (01),A        :PORT B DATA
EX2             CALL    KEYDSP        :WAIT
                CP      INC           :IS INCREMENT KEY ?
                JP      Z,EOT         :JUMP TO END OF TABLE TEST
                CP      CLR           :IS CLEAR KEY ?
                JP      Z,CLEAR       :JUMP TO CLEAR ENTRY
                CP      0             :RTC ?
                JP      Z,EX2
                CP      TTCHAN+1      :WITH IN CHANNEL RANGE ?
                JP      P,EX3         :JUMP TO TEST TERMINATION
                CALL    TRANSL
                XOR     (IX+3)
                LD      (IX+3),A      :SET/OUTPUT BIT
                CPL
                OUT     (01),A        :PORT B DATA
EX3             CP      CHAN          :TERMINATE KEY
                JP      Z,TERM
                JP      EX2
EOT             INC     D
                LD      A,(ENCOUT) ;TEST END OF TTBL
                CP      D
                JP      Z,TERM     ;JUMP IF END OF TTBL
                INC     IX
                INC     IX
                INC     IX
                INC     IX            :NOW IX PIONT TO NEXT ENTRY
                JP      EX1
TERM            CALL    CLRDSP        :CLEAR DISPLAY AND TERMINATE
                LD      A,H'FF'
                OUT     (BDAT),A
                JP      WAIT          :TERMINATE
CLEAR           PUSH    BC
                PUSH    DE
```

```
                LD      A,B
                SUB     D
                SLA     A
                SLA     A               ;INCCOUNT*4
                LD      B,0
                LD      C,A
                PUSH    IX
                PUSH    IX
                POP     HL
                POP     DE
                INC     HL
                INC     HL
                INC     HL
                INC     HL
                LDIR
                LD      A,(ENCOUT)
                DEC     A
                LD      (ENCOUT),A
                POP     DE
                POP     BC
                CP      D
                JP      Z,TERM          ;JUMP WHEN LAST ENTRY CLEARED
                JP      EX1             ;CONTINUE
*****************************************************************************
*               CLEAR DISPLAY ROUTINE                                       *
*       CLEAR ALL SEVEN DIGITS LED.                                         *
*****************************************************************************
CLRDSP          LD      HL,LEDBUF
                LD      A,H'FF'
                LD      B,07
CLRD1           LD      (HL),A
                INC     HL
                DJNZ    CLRD1
                RET
*****************************************************************************
*               CLEAR KEY BORD BUFFER                                       *
*****************************************************************************
CLRKEY          LD      A,H'FF'
                LD      B,08
                LD      HL,KEYBUF
KLOOP           LD      (HL),A
                INC     HL
                DJNZ    KLOOP
                RET
*****************************************************************************
*               SEARCH  ROUTINE                                             *
*       SEARCH THROUGH TIME TABLE ROUTINE                                   *
*****************************************************************************
SEARCH          LD      A,00
                CP      B               ;CHECK IS FIRST ENTRY ?
                JP      Z,ERSENT        ;JUMP FIRST ENTRY
                LD      D,0
SEAR            LD      A,D
                LD      (ENPASS),A
```

```
        LD      A,(HL)
        CP      (IX+0)
        JP      Z,CONT1
        JP      M,GR1
        JP      P,LT1
CONT1   INC     HL
        LD      A,(HL)
        CP      (IX+1)
        JP      Z,CONT2
        JP      M,GR2
        JP      P,LT2
CONT2   INC     HL
        LD      A,(HL)
        CP      (IX+2)
        JP      Z,EQ
        JP      M,GR3
        JP      P,LT3
EQ      INC     HL          :PIONT TO O/P VALUE
        CALL    CHECK
        JP      Z,EQ1       :SCAN O/P BIT
        XOR     (HL)        :RESET O/P BIT
        LD      (HL),A      :RESTORE
        LD      A,(ENPASS)
        JP      SCAN3
        RET
EQ1     LD      A,B         :GET ENCOUT
        SUB     D           :GET ENCOUT-ENPASS
        LD      B,A         :AMOUNT IN B
        JP      SCAN        :SCAN O/P BIT AND RETURN
ERSENT  LD      A,(CH)
        CALL    TRANSL
        JP      GPX0-2      :STORE KEY INPUT
LT1     CALL    MOVE
        RET
LT2     DEC     HL
        CALL    MOVE
        RET
LT3     DEC     HL
        DEC     HL
        CALL    MOVE
        RET
GR1     INC     HL
GR2     INC     HL
GR3     INC     HL
        INC     HL
GR      INC     D
        LD      A,D
        CP      B
        JP      M,SEAR
GPX     CP      MAXENT
        JP      Z,ERR       :SEND ERROR MASSAGE
        LD      B,03
        DEC     HL
        LD      A,(CH)
```

```
                CALL    TRANSL
                XOR     (HL)
                INC     HL
                LD      B,03
GPX0            LD      C,(IX)
                LD      (HL),C
                INC     HL
                INC     IX
                DJNZ    GPX0
                LD      (HL),A
                LD      A,(ENCOUT)
                INC     A
                LD      (ENCOUT),A
                RET
ERR             LD      A,H'0E'
                LD      (LEDBUF),A
                LD      A,01
                RET
******  CHECK O/P BIT ROUTINE
******  HL PTONT TO O/P VALUE OF ENTRY TOBE CHECK
CHECK           LD      A,(CH)
                CALL    TRANSL
                LD      (CHB),A   :BIT CHANNEL
                LD      E,(HL)
                AND     E                 :IF Z=1 BIT TOBE CHANGED FR.0 TO 1
*                                         :IF Z=0 BIT TOBE CHANGED FR.1 TO 0
                RET
******  TRANSLATE #CH TO BIT CHANNEL
TRANSL          PUSH    DE
                PUSH    HL
                LD      HL,START
                LD      D,0
                LD      E,A
                ADD     HL,DE
                LD      A,(HL)
                POP     HL
                POP     DE
                RET
START           DATA    00,01,02,04,08
******  SCAN OUTPUT BIT ROUTINE
******  B=NUMBER OF ENTRY TOBE SCAN
******  HL PIONT TO O/P OF FIRST ENTRY TOBE SCAN
SCAN            LD      A,(CHB)   :GET BIT CHANNEL
                LD      E,(HL)
                AND     E
                JP      NZ,SCAN2  :STOP SCANNING IF THAT BIT EQ. 1
                LD      A,(CHB)
                OR      (HL)
                LD      (HL),A
                LD      A,04      :SET HL TO NEXT ENTRY O/P BYTE
SCAN1           INC     HL
                DEC     A
                JR      NZ,SCAN1
                DJNZ    SCAN
```

```
SCAN2           RET
SCAN3           LD      D,A         :ENPASS+1
                LD      A,(ENCOUT)
                SUB     D
                LD      B,A         :AMOUNT
                INC     HL
                INC     HL
                INC     HL
                INC     HL          :NEXT O/P BYTE
SCAN4           LD      A,(CHR)
                LD      E,(HL)      :O/P IN E
                AND     E
                JR      Z,SCAN6     :STOP IF 1 TO 0 AGAIN
                LD      A,(CHR)
                CPL                 : COMPL.(CHR)
                AND     E
                LD      (HL),A
                LD      A,04
SCAN5           INC     HL
                DEC     A
                JR      NZ,SCAN5
                DJNZ    SCAN4
SCAN6           RET
;*****************************************************************************
;*              MOVE AND INSERT DATA BLOCK                                   *
;*      HL = STARTING ADDRESS TO MOVE                                        *
;*      IX   PTON TO DATA TO INSERT                                          *
;*      B = ENTRY COUNT IN TBL                                               *
;*      D = ENTRY PASSED                                                     *
;*****************************************************************************
MOVE            LD      A,D         :GET ENPASS
                LD      (ENPASS),A
                LD      A,(ENCOUT)
                CP      MAXENT
                JP      Z,ERR
                LD      A,(ENCOUT)  :GET ENTTRY COUNT
                SUB     D           :ENTCOUT-ENTPASSED
                SLA     A
                SLA     A           :MULTIPLY WITH 4
                LD      D,0
                LD      E,A
                ADD     HL,DE
                PUSH    HL
                POP     DE
                INC     DE
                INC     DE
                INC     DE
                DEC     HL
                LD      C,A
                LD      B,0
                LDDR
TNSRT           LD      A,(ENPASS)  :GET ENPASS
                LD      D,A
                LD      A,(ENCOUT)  :GET ENTRY COUNT
```

```
                INC     A
                LD      (ENCOUT),A
                LD      A,(CH)      :TRANSLATE #CH TO BIT CH.
                CALL    TRANSL -
                LD      (CHB),A
                XOR     (HL)        :RESULT OF O/P IN ACC. A
                LD      (SAVEA),A
                INC     HL          :HL PIONT TO HH OF INSERT ENTRY
                LD      B,03
LOOP            LD      D,(IX)
                LD      (HL),D
                INC     HL
                INC     IX
                DJNZ    LOOP
                LD      B,A
                LD      A,(ENPASS)
                OR      A
                JR      Z,INSRT2
                LD      A,(CHB)
                AND     B
                JP      NZ,INSRT1   :JUMP IF O/P BIT CHANGE FROM 0 TO 1
                LD      (HL),B      :SAVE STATUS OF INSERT ENTRY
                LD      A,(ENPASS)
                INC     A
                JR      SCAN3
                RET
INSRT1          LD      A,(SAVEA)
                LD      (HL),A
INSRT3          INC     HL
                INC     HL
                INC     HL
                INC     HL
                LD      A,(ENPASS)  :GET ENTRY PASSED
                LD      D,A
                LD      A,(ENCOUT)
                SUB     D
                DEC     A
                LD      B,A         :AMOUNT
                JP      SCAN        :JUMP TO SCAN O/P BIT AND RETURN
INSRT2          LD      A,(CHB)
                LD      (HL),A
                JR      INSRT3
*****   KEY INPUT VALID VALUE?
INUTST          LD      A,H'24'
                CP      (IX)
                JP      M,ERR
                LD      A,H'59'
                CP      (IX+1)
                JP      M,ERR
                CP      (IX+2)
                JP      M,ERR
                XOR     A
                RET
*****************************************************************************
```

```
*                KEYBORD AND DISPLAY ROUTINE                          *
*          THIS ROUTINE SCAN KEYBORD AND DISPLAY DATA IN LED BUFFER    *
*          AND WILL LOOP UNTIL DATA RECEIVE IN REG.A  THEN RETURN TO   *
*          THE MAIN PROGRAM                                            *
********************************************************************************
KEYDSP          CALL    KEYIN       :KEY PRESSED ?
                JP      NZ,RETRN
                CALL    LEDOUT      :DISPLAY
                JP      KEYDSP
RETRN           RET
********************************************************************************
*                KEY INPUT SUBROUTINE                                 *
********************************************************************************
KEYIN           EQU     $
                PUSH    BC
                PUSH    DE
                PUSH    HL
                LD      A,H'CF'     :SET PORT A CONTROL WORD
                OUT     (ACTL),A
                LD      A,H'0F'     ;4-HIGHER BITS AS O/P,4-LOWER AS I/P
                OUT     (ACTL),A
                LD      A,H'88'
                LD      E,H'FF'
KS00            LD      B,A
                IN      A,(ADAT)
                CPL
                AND     H'0F'
                JR      NZ,KEYON
                LD      A,B
                RRCA
                JR      NC,KS00
                XOR     A
                DATA    H'21'
KEYON           LD      C,A
                LD      A,E
                LD      HL,KFLG
                XOR     (HL)
                JR      Z,DKRET
                LD      E,H'0A'
                CALL    DELAY
                XOR     (HL)
                LD      (HL),A
                JR      Z,DKRET
                LD      A,B
                LD      E,H'FF'
ROW             INC     E
                RLCA
                JR      NC,ROW
                LD      A,C
                LD      D,0
COL             INC     D
                RRCA
                JR      NC,COL
                LD      A,E
```

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


```
                ADD     A,A
                ADD     A,A
                ADD     A,D
                LD      E,A
                LD      D,0
                LD      HL,KTBL-1
                ADD     HL,DE
                LD      A,(HL)
DKRET           POP     HL
                POP     DE
                POP     BC
                RET
KTBL            DATA    00,H'10',H'13',H'16',01,02,03,H'19',04,05
                DATA    06,H'1C',07,08,09,H'1F'
****** DELAY SUBROUTINE
DELAY           LD      D,H'84'
DLOOP           DEC     D
                JR      NZ,DLOOP
                DEC     E
                JR      NZ,DELAY
                RET
*****************************************************************************
*               LED OUTPUT SUBROUTINE                                       *
*****************************************************************************
LEDOUT          PUSH    BC
                PUSH    DE
                PUSH    HL
                LD      A,H'CF'     :SET CONTROL WORD TO PORT A
                OUT     (ACTL),A
                LD      A,00        :PORT A AS OUTPUT PORT
                OUT     (ACTL),A
                LD      A,(LEDNO)
                LD      C,A
                LD      B,0
                LD      HL,LEDBUF
                ADD     HL,BC
                LD      B,(HL)
                LD      A,(LEDPOS)
                OR      B
                OUT     (ADAT),A
                LD      A,(LEDNO)
                DEC     A
                CP      H'FF'
                JR      NZ,SAVE1
                LD      A,06        :7-DIGITS
SAVE1           LD      (LEDNO),A
                LD      A,(LEDPOS)
                SUB     H'10'
                JR      NC,SAVE2
                LD      A,H'60'     :7-DIGITS
SAVE2           LD      (LEDPOS),A
                POP     HL
                POP     DE
                POP     BC
```

025480

```
                    RET
*****************************************************************************
*                   DISPLAY PACK                                            *
*       PACK DATA 3-BYTES INTO 6 BYTES OF LED BUFFER                        *
*****************************************************************************
DSPK                PUSH    IX
                    PUSH    HL
                    PUSH    BC
                    LD      IX,LEDBUF+1   :IX PIONT TO 2nd LEDBUF
                    LD      B,03
PAKLP               RLD
                    LD      (IX+0),A
                    RLD
                    INC     IX
                    LD      (IX+0),A
                    RLD
                    INC     IX
                    INC     HL
                    DJNZ    PAKLP
                    POP     BC
                    POP     HL
                    POP     IX
                    RET
*****************************************************************************
*                   UPDATE REAL TIME CLOCK AND COMPARE DATA IN TIME TABLE   *
*                   WITH REAL TIME CLOCK                                    *
*****************************************************************************
RTCNMI              EX      AF,AF'
                    EXX
                    PUSH    IX
                    LD      C,01
                    LD      A,(RSF)
                    CP      01
                    JP      NZ,RETNMI  :RETURN IF NOT RUN
                    LD      HL,RTC+2   :PIONT TO SS OF RTC.
                    LD      A,(HL)     :GET SECOND
                    ADD     A,C
                    DAA
                    CP      H'60'
                    JR      Z,CLS
                    LD      (HL),A
                    JR      RTCEND
CLS                 XOR     A
                    LD      (HL),A
                    DEC     HL
                    LD      A,(HL)     :PIONT TO MIN.
                    ADD     A,C
                    DAA
                    CP      H'60'
                    JR      Z,CLM
                    LD      (HL),A
                    JR      RTCEND
CLM                 XOR     A
                    LD      (HL),A
```

```
                DEC     HL
                LD      A,(HL)      ;GET HR.
                ADD     A,C
                DAA
                CP      H'24'
                JR      Z,CLH
                LD      (HL),A
                JR      RTCEND
CLH             XOR     A
                LD      (HL),A
********COMPARE DATA IN TIME TABLE
RTCEND          LD      HL,RTC
                XOR     A
                CALL    DSPK
                LD      A,(ENCOUT)
                OR      A
                JR      Z,RETNMI
                LD      A,(SKIP)
                LD      HL,ENCOUT
                CP      (HL)
                JP      Z,NEWSET
                SLA     A
                SLA     A           ;4*(ENPASS)
                LD      E,A
                LD      D,0
                LD      HL,TTBL
                ADD     HL,DE       ;NOW HL POINT TO HH IN TTBL
                LD      IX,RTC      ;IX POINT TO RTC TABLE
COMPH           LD      A,(HL)
                CP      (IX)
                JP      Z,COMPM     ;COMPARE MINUTE
                JP      RETNMI
COMPM           INC     HL
                LD      A,(HL)
                CP      (IX+1)
                JP      Z,COMPS     ;COMPARE SECOND
                JP      RETNMI
COMPS           INC     HL
                LD      A,(HL)
                CP      (IX+2)
                JP      Z,OUTPUT    ;TTBL EQU. TO RTC THEN GOTO OUTPUT ROUTINE
                JP      RETNMI      ;RETURN IF NOT EQ.
OUTPUT          INC     HL
                LD      A,(HL)
                CPL                 ;ACTIVE LOW
                OUT     (BDAT),A    ;SEND OUTPUT VALUE
                LD      HL,SKIP
                INC     (HL)        ;INCREMENT ENTRY PASS
RETNMI          POP     IX
                EX      AF,AF'
                EXX
                RETN
NEWSET          XOR     A
                LD      (SKIP),A
```

```
                JP          RETNMI
*****************************************************************************
*               SYSTEM PARAMETER                                            *
*****************************************************************************
***********     CONSTANT VALUE
TTCHAN          EQU         4           ;TOTAL CHANNEL
MAXENT          EQU         30          ;30 ENTRY MAX.
CHAN            EQU         H'19'
ENT             EQU         H'16'
INC             EQU         H'13'
EX              EQU         H'10'
CLR             EQU         H'1C'
RS              EQU         H'1F'
***********PIO PORT ID.
ACTL            EQU         02
ADAT            EQU         00
BCTL            EQU         03
BDAT            EQU         01
***********VARIABLE VALUE
                ORG         H'8000'
KFLG            RESB        1
KEYBUF          RESB        8
LEDNO           RESB        1
LEDPOS          RESB        1
LEDPR1          RESB        2
LEDBUF          RESB        7
LEDPR2          RESB        2
RSF             RESB        1
ENCOUT          RESB        1
SKIP            RESB        1
TTBL            RESB        120
RTC             RESB        6
CH              RESB        1
ENPASS          RESB        1
CHB             RESB        1
SAVEA           RESB        1
*****************************************************************************
                END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระบบเครื่องวัดอุณหภูมิควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

3.1 บทนำ

การรู้ค่าอุณหภูมิและการวัดอุณหภูมินับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรา เราจะเห็นการวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดอุณหภูมิมีใช้กันอยู่ในหลายวงการ อย่างเช่น ในการเกษตร การประมง โรงงานอุตสาหกรรม ในห้องปฏิบัติการวิจัย เป็นต้น

เครื่องวัดอุณหภูมิที่มีใช้กันอยู่ภายในประเทศมีด้วยกันหลายแบบ ตั้งแต่เครื่องวัดอุณหภูมิแบบหยาบ ๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบไบเมทเทล (bimetal thermometer) เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว (glass thermometer) เทอร์โมมิเตอร์แบบใช้การขยายตัวของก๊าซ (filled system thermometer) จนถึงเครื่องวัดอุณหภูมิแบบวัดละเอียด เช่น เทอร์โมมิเตอร์ที่มีหัววัด (sensor) และแสดงผลด้วยเข็ม หรือแบบที่แสดงผลด้วยตัวเลข ชนิดของหัววัดที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เทอร์มิสเตอร์ (thermister) ใช้กระเปาะความต้านทาน (resistance bulb) และใช้เทอร์โมคับเปิ้ล (thermocouple) ในกรณีที่ต้องการบันทึกผลการวัดค่าอุณหภูมิมักจะนิยมใช้เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (temperature recorder) ซึ่งจะใช้เข็มที่มีหมึกเขียนลงบนสเกลกราฟเทียบกับเวลา และกรณีที่ต้องการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิหลายจุดวัดพร้อม ๆ กัน ก็นิยมใช้เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิแบบหลายจุด (multipoint temperature recorder) ซึ่งมีหัวเข็มบันทึกหลาย ๆ หัวอยู่ในเครื่องเดียวกัน

เครื่องวัดอุณหภูมิดังที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ เหมาะสำหรับใช้ในการวัดอุณหภูมิเพียงจุดเดียวหรือจำนวนจุดวัดมีน้อย ในกรณีที่จุดวัดอุณหภูมิมีมากขึ้น ถ้าใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเดิมเหล่านี้ จะมีปัญหาเรื่องความเร็วในการวัด จำนวนของเครื่องวัดมีมากต้องใช้เนื้อที่มาก การบันทึกข้อมูลทำได้ยาก การเก็บผลการบันทึกข้อมูลในรูปของกระดาษกราฟ ทำให้การประเมินผลข้อมูลทำได้ยาก และที่สำคัญราคาของระบบทั้งหมดจะสูงขึ้นมากตามจำนวนจุดของการวัดอุณหภูมิ

ในการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิหลาย ๆ จุดนั้น มักจะนิยมใช้ระบบวัดและบันทึกข้อมูล (data acquistion system) โดยจะมีเครื่องวัดอุณหภูมิอยู่เพียงเครื่องเดียว และมีเครื่องควบคุมการวัดอุณหภูมิไปยังจุดต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ เครื่องควบคุมการวัดหลาย ๆ จุดนี้ เรียกว่าสแกนเนอร์ (scanner) หัววัดอุณหภูมิแต่ละจุดจะถูกสลับต่อเข้าเครื่องวัดอุณหภูมิเพียงตัวเดียว ผลของการวัดจะถูกพิมพ์ออกมาเป็นรายงานที่เครื่องพิมพ์ รายงานประกอบด้วยหมายเลขหัวที่วัด (channel number) ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ และเวลาขณะที่วัด ระบบวัดและบันทึกข้อมูลชนิดนี้ มีใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม และห้องปฏิบัติการวิจัย ในระยะแรกจะมีรูปร่างลักษณะเป็นตู้เครื่องมือซึ่งภายในจะมีเครื่องวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ หลายชิ้น ประกอบกันอยู่ ราคารวมทั้งระบบจะสูงมาก ปัจจุบันระบบวัดและบันทึกข้อมูลได้รับการปรับปรุงให้มีขนาดเล็กลงมาก มีความสามารถในการทำงานสูงขึ้น และราคาถูกลง

สาเหตุสำคัญของการพัฒนาระบบวัดและบันทึกข้อมูลนี้ คือ ความเจริญทางด้านเทคโนโลยีการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ และเทคโนโลยีทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอมพิวเตอร์ ระบบวัดและบันทึกข้อมูลในปัจจุบัน มักจะเป็นระบบที่ภายในมีไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นไอซีขนาดไม่ใหญ่นักควบคุมการทำงานภายใน ไมโครคอมพิวเตอร์จะควบคุมการสแกน (scan) เพื่อต่อหัววัดตำแหน่งต่าง ๆ เข้ากับวงจรวัดอุณหภูมิ ควบคุมการอ่านค่าอุณหภูมิแปลงสัญญาณจากอานาลอก (analog signal) เป็นสัญญาณเชิงเลข (digital signal) บันทึกข้อมูลที่อ่านได้ในหน่วยความจำ ควบคุมการอ่านคำสั่งจากผู้ใช้จากแป้นกดข้อมูล และพิมพ์รายงานการวัดออกที่เครื่องพิมพ์ งานต่าง ๆ เหล่านี้จะอยู่ภายใต้การควบคุมของไมโครคอมพิวเตอร์ทั้งสิ้น

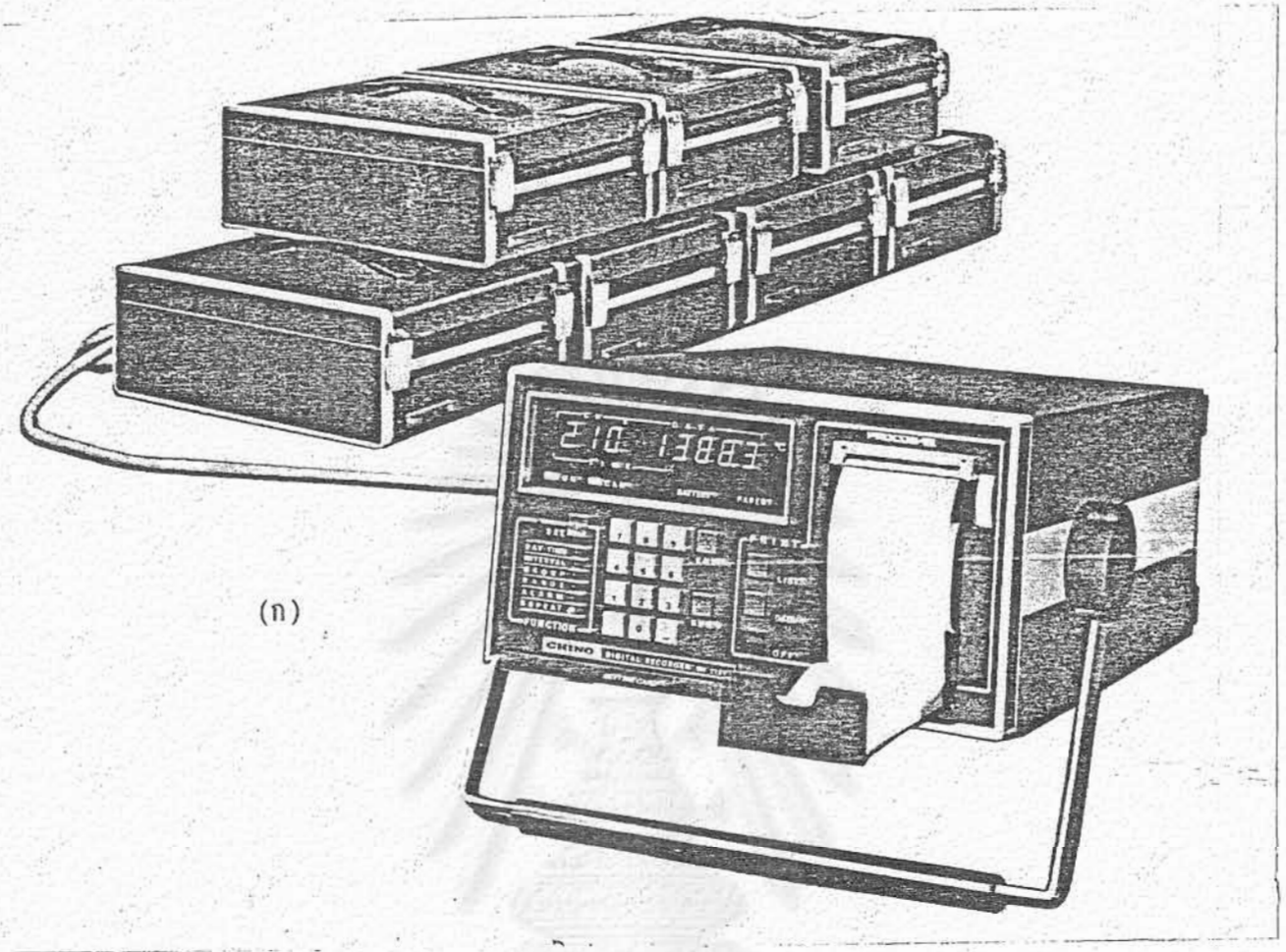
ข้อดีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมการทำงานของระบบวัดและบันทึกข้อมูล พอสรุปได้ดังนี้ คือ ทำให้ขนาดของเครื่องทั้งระบบมีขนาดเล็กลงมาก ราคาของเครื่องจะถูกลงมาก วงจรของเครื่องจะเป็นมาตรฐาน ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงมากเมื่อเปลี่ยนข้อกำหนดของระบบ การกำหนดความสามารถของระบบ สามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์ เราสามารถเปลี่ยนโปรแกรมควบคุมนี้ได้ง่าย สัญญาณที่ใช้ภายในระบบเป็นสัญญาณเชิงเลข สามารถส่งเข้าหรือรับจากเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ทำให้สะดวกในการใช้ในการต่อเชื่อมระบบเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อทำให้ข่ายงานของระบบใหญ่ขึ้น และขีดความสามารถของ

ของระบบเพิ่มสูงได้อย่างมากมาย

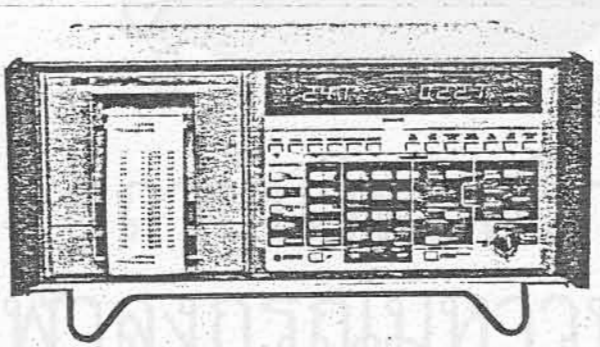
ระบบวัดและบันทึกข้อมูลชนิดที่ควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์- (microcomputer controlled data acquisition system) นี้ มีบริษัทต่างประเทศหลายบริษัทที่ได้ผลิตขึ้นและส่งเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทย เช่น PROC OS-VII Digital Recorders ของบริษัท CHINO ประเทศญี่ปุ่น Data Loggers Model 2240 C ของบริษัท Fluke ประเทศอเมริกา (ดูรูป 3.1 ประกอบ) เป็นต้น ระบบเหล่านี้แม้จะมีราคาถูกลงมาบ้างจากระบบเก่า ๆ แต่ก็ยังมีราคาสูงเมื่อคิดที่จะซื้อเข้ามาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และห้องปฏิบัติการวิจัยทั่ว ๆ ไป

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิหลายจุดที่ควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์นี้ขึ้นมาเอง โดยมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อพัฒนาและติดตามเทคโนโลยีทางด้านระบบวัดและบันทึกข้อมูล และพัฒนาระบบที่ไม่ซับซ้อนเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในประเทศ มีราคาถูกกว่าผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ และจุดประสงค์อีกข้อ คือ การทดลองประยุกต์ระบบที่สร้างขึ้นไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศ

งานวิจัยในครั้งนี้เริ่มจากการศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวัดอุณหภูมิ คุณสมบัติของหัววัดชนิดต่าง ๆ ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับวงจรวัดอุณหภูมิ ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ศึกษาโครงสร้างและรายละเอียดของระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของบริษัทต่าง ๆ ออกแบบโครงสร้างระบบ ออกแบบวงจรในรายละเอียด ทดลองสร้างวงจร ทดสอบวงจร เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ ทดสอบการทำงานของระบบ และลองนำระบบบางส่วนประยุกต์เข้ากับเครื่องมือในโรงงานอุตสาหกรรม



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 รูปถ่ายระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของบริษัทต่างประเทศ

(ก) PORCOS-VII Digital Recorder

(ข) Data Logger Model 2240C

ระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้ออกแบบและทดลองสร้างขึ้นนี้ มีความสามารถในการวัดอุณหภูมิได้ 10 จุด สามารถขยายได้สูงสุดถึง 160 จุด ใช้ต่อกับหัววัดชนิดกระเปาะความต้านทาน การวัดอุณหภูมิเมื่อแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขจะมีความละเอียด (resolution) 12 บิท ความแม่นยำ $\pm$ 0.1 % $\pm$ 1 บิท แสดงผลค่าวัดด้วยไดโอดเปล่งแสงเจ็ดขีด (7 segment LED) จำนวน 6 ตัว มีปุ่มกดข้อมูลเพื่อป้อนคำสั่ง จำนวน 16 ปุ่ม มีนาฬิกาภายในสำหรับบอกและบันทึกเวลาขณะที่ทำการวัด สามารถต่อกับเครื่องพิมพ์ (printer) เพื่อพิมพ์รายงานการวัดได้ สามารถต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยใช้บัสต่อเชื่อมข้อมูลแบบอนุกรม ตามมาตรฐาน RS-232C (RS-232C serial interface) ภายในเครื่องมีแบตเตอรี่ขนาดเล็กสำหรับเลี้ยงหน่วยความจำ ข้อมูลในการวัดจะไม่สูญหาย แม้ไฟฟ้าจะดับลงชั่วขณะ ระบบที่ได้ทดลองสร้างขึ้นนี้ พยายามใช้วัสดุที่สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ระบบที่ประกอบเสร็จได้ทำการแก้ไขจนใช้งานได้ดี สำหรับโปรแกรมควบคุมได้เขียนไว้เฉพาะส่วนที่จำเป็นที่จะใช้ ได้นำแนวความคิดแบบเดียวกันไปประยุกต์กับเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยนำเครื่องระบบเก่าของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง มาเพิ่มเติมส่วนควบคุมที่เป็นไมโครคอมพิวเตอร์เข้าไป และนำไปติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งนั้นเพื่อทดลองใช้งาน

ผลของการวิจัยครั้งนี้ ประโยชน์ที่ได้รับ คือ

1. เข้าใจเทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิมากขึ้น
2. เข้าใจเทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์มากขึ้น
3. เป็นการติดตามเทคโนโลยีทางด้านระบบวัดและบันทึกข้อมูล และเกี่ยวกับไมโครคอมพิวเตอร์
4. ได้ระบบวัดและบันทึกข้อมูลแบบใช้งานได้จริงหนึ่งระบบ
5. ได้นำระบบที่คิดขึ้น เข้าไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมจริง

3.2 ทฤษฎีการวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิที่มีใช้กันในวงการอุตสาหกรรม และห้องปฏิบัติการวิจัย สามารถแบ่งออกตามหลักการวัดได้ 3 แบบ ด้วยกัน คือ

(ก) แบบเชิงไฟฟ้า ใช้หัววัดที่สามารถแปลงค่าอุณหภูมิไปเป็น ค่าทางไฟฟ้า

เช่น แรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทาน

(ข) แบบเชิงแสงและแผ่รังสี แบบเชิงแสงมีหลักการว่าวัตถุที่ร้อนแดงจัด การวัดอุณหภูมิจะทำได้จากการวัดความเข้มของพลังงานที่แผ่รังสีออกมา สำหรับแบบแผ่รังสีได้แก่การวัดความเข้มของพลังงานความร้อนที่แผ่รังสีจากวัตถุนั้น

(ค) แบบเชิงกล โดยการอาศัยหลักการขยายตัวของของเหลว หรือโลหะ เมื่อถูกความร้อน เช่นพวกเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแก้ว และไบเมทอล เป็นต้น

ในวงการอุตสาหกรรมปัจจุบันการวัดอุณหภูมิเชิงไฟฟ้าเป็นแบบที่ใช้มากที่สุด เนื่องจากมีช่วงการวัดอุณหภูมิที่กว้างมากพอ มีความละเอียดแม่นยำสูง หัววัดมีราคาถูก และมีมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ สัญญาณที่วัดได้เป็นสัญญาณรูปทางไฟฟ้า จึงสะดวกในการใช้ร่วมกับเครื่องวัดทางไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น เครื่องบันทึก เครื่องควบคุม และคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นยังมีข้อดีที่สามารถส่งสัญญาณได้ไกล จึงทำให้สามารถวัดจากที่ไกลได้

การวัดอุณหภูมิเชิงไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 แบบ ตามชนิดของหัววัด คือ เทอร์โมคับเปิ้ล (thermocouple) กระเปาะความต้านทาน (resistance bulb) และเทอร์มิสเตอร์ (thermister) หลักการในการวัดและช่วงอุณหภูมิของการวัดแสดงในตารางที่ 3.1 เทอร์โมคับเปิ้ลจะใช้ในการวัดอุณหภูมิสูง และช่วงการวัดอุณหภูมิที่กว้าง กระเปาะความต้านทานมักใช้ในกรณีวัดอุณหภูมิต่ำ แต่ต้องการความแม่นยำสูง ส่วนเทอร์มิสเตอร์ก็นิยมใช้กันมาก เมื่อวัดอุณหภูมิต่ำ และต้องการหัววัดที่มีราคาถูก

หัววัดทั้ง 3 ชนิด มีคุณสมบัติและหลักการวัดแตกต่างกัน ดังนี้

ตาราง 3.1 หลักการวัดของหัววัดอุณหภูมิทั้ง 3 ชนิด

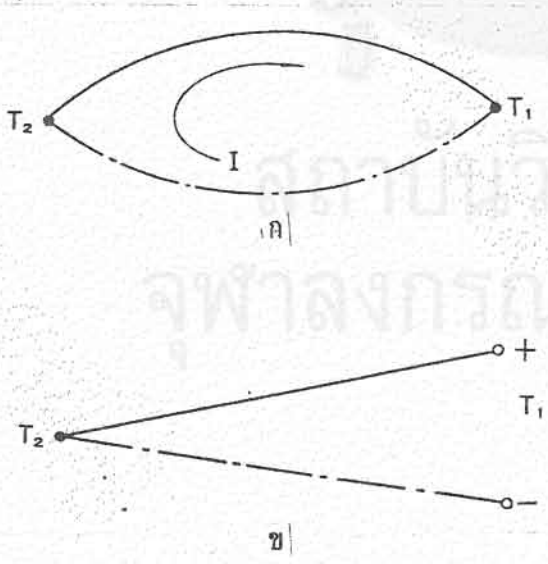
แบบ	เครื่องวัด	หลักการวัด	ชนิด	ช่วงวัด
เชิงไฟฟ้า	THERMOCOUPLE	อุณหภูมิ — THERMOCOUPLE — VOLTAGE — POTENTIOMETER / mV METER	COPPER-CONSTANTAN IRON - CONSTANTAN C - A Rh - Pt	-200~350°C -200~750°C -200~1100°C 0~1450°C
	RESISTANCE BULB	อุณหภูมิ — RESISTANCE BULB — ความต้านทาน — BRIDGE	Pt NICKEL COPPER	-258~900°C -150~300°C -200~120°C
	THERMISTOR	อุณหภูมิ — THERMISTER — ความต้านทาน — BRIDGE	THERMISTER	-30~300°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 เทอร์โมคับเปิ้ล

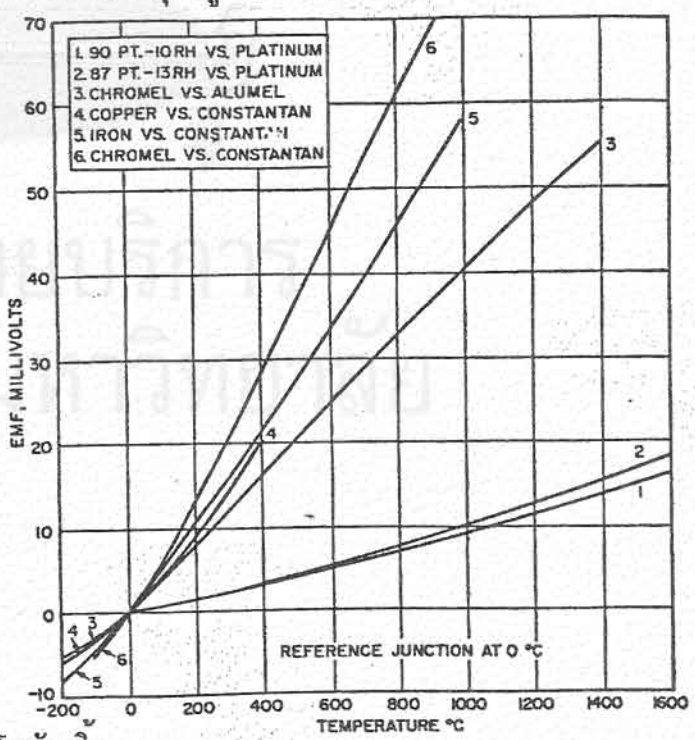
มีหลักการว่าเมื่อนำลวดโลหะสองชนิดมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้าง ถ้าจุดเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างได้รับอุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งแปรผันกับความแตกต่างของอุณหภูมิ และเกิด กระแสไหลในวงจร ดังในรูป 3.2 (ก) กระแสที่ไหลนี้จะขึ้นกับค่าความต้านทานของลวดโลหะ ถ้าตัดปลายด้านหนึ่งดังรูป 3.2 (ข) ที่ปลายด้านที่ตัดจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า ขนาดและทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองข้าง แต่ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของโลหะ และอุณหภูมิตอนกลางของโลหะเลย ดังนั้น ถ้าเรารู้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและอุณหภูมิที่ปลายข้างหนึ่ง เราจึงสามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่ปลายอีกข้างหนึ่งได้อย่างแม่นยำ โลหะคู่ชนิดต่าง ๆ จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แตกต่างกัน รูป (3.2)(ค) แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากคู่โลหะชนิดต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรม รายละเอียดของค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของเทอร์โมคับเปิ้ลชนิดต่าง ๆ จะมีกำหนดเป็นตารางมาตรฐานและใช้กันในอุตสาหกรรม

ในการวัดอุณหภูมินั้นมักจะรักษาอุณหภูมิที่ปลายข้างหนึ่งไว้ที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า



ก

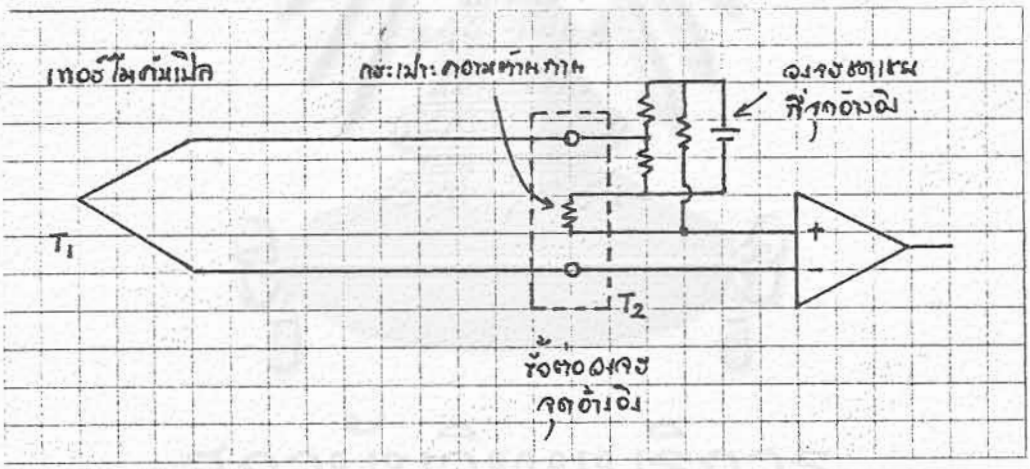
ข



ค

รูป 3.2 หลักการของเทอร์โมคับเปิ้ล

จุดอ้างอิง (reference junction) และปลายอีกข้างหนึ่งต่อไปยังบริเวณที่ต้องการวัดอุณหภูมิ การวัดที่แม่นยำมักจะให้อุณหภูมิที่จุดอ้างอิงเป็น 0°C แต่ในทางปฏิบัติมักจะไม่สะดวก จึงรักษาอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงไว้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิรายรอบ (ambient temperature) เล็กน้อย และนำผลจากการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาลบออกจากอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงนี้ การชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงนี้สามารถทำได้โดยใช้วงจรทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 3.3 ตรงบริเวณขั้วต่อที่เป็นจุดอ้างอิงนี้จะต่อองค์ประกอบวงจรที่ไวต่ออุณหภูมิ เช่น เทอร์มิสเตอร์หรือกระเปาะความต้านทานไว้ ความต้านทานนี้จะต่อกับบริดจ์ที่จะให้แรงดันไฟฟ้าสำหรับชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง ถ้าอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงเปลี่ยนไป ความต้านทานจะเปลี่ยนไปทำให้การชดเชยเป็นไปอย่างอัตโนมัติ



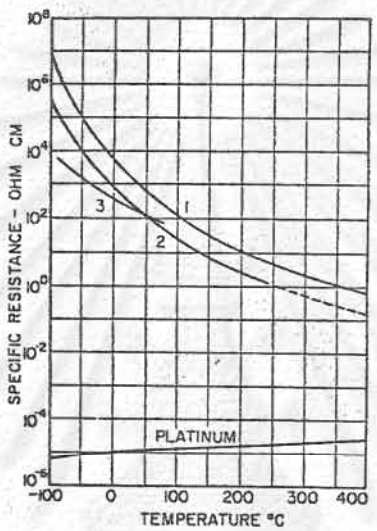
รูป 3.3 การชดเชยอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง

3.2.2 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์เป็นโลหะผสมซึ่งทำมาจากออกไซด์ของโลหะบางชนิด เช่น โคบอลท์ เหล็ก นิเกล เป็นต้น มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ความต้านทานของตัวมันจะลดลงต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีข้อดี คือสัมประสิทธิ์ค่าคงตัวอุณหภูมิมีค่าสูงมาก รูป 3.4 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ของความต้านทานและอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์มีข้อดีตรงราคาถูกมาก แต่มีข้อเสียเปรียบตรงช่วงการวัดอุณหภูมิแคบ มักจะใช้วัด

อุณหภูมิใช้ช่วงไม่เกิน 200°C และมีลักษณะสมบัติอุณหภูมิความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น

เทอร์มิสเตอร์นี้มีขนาดทนกำลังไฟฟ้าได้ตั้งแต่เป็น ไมโครวัตต์ จนถึง 25 วัตต์ และมีช่วงความต้านทาน ตั้งแต่ไม่กี่โอห์ม จนถึง เมกกาโอห์ม



รูป 3.4 ตัวอย่างลักษณะสมบัติอุณหภูมิความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์

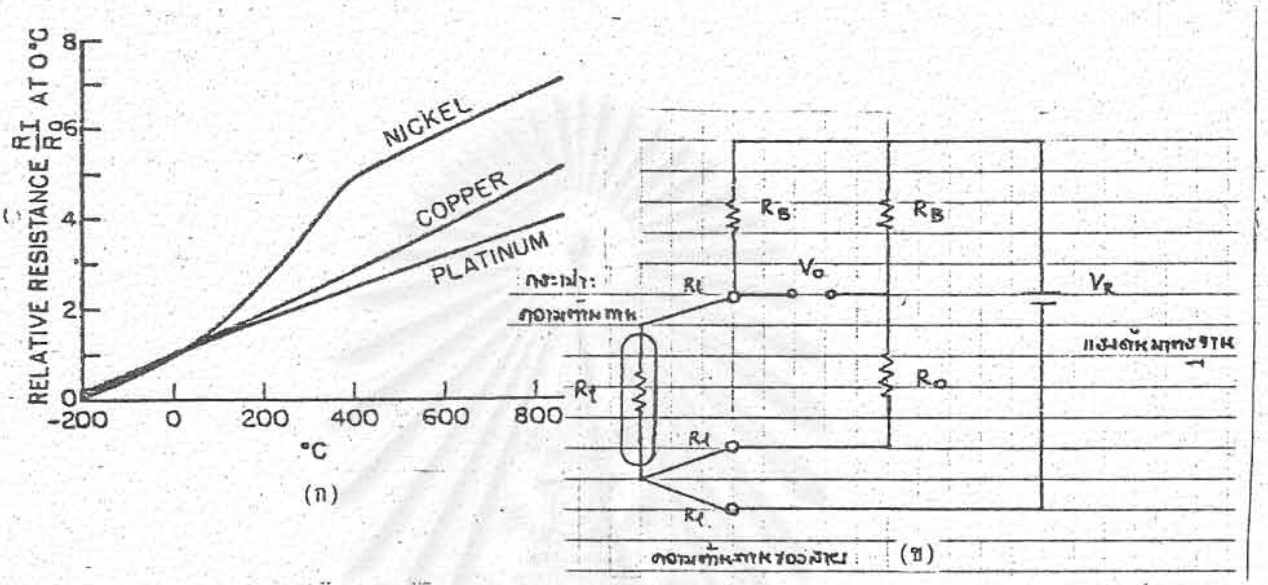
3.2.3 กระเปาะความต้านทาน

คุณสมบัติของโลหะทั่ว ๆ ไป ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ถ้าเรารู้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานนี้แล้ว เราสามารถนำเอาลวดโลหะไปวัดอุณหภูมิได้ เพียงแต่วัดความต้านทานของโลหะเท่านั้น

โลหะที่นิยมนำมาทำกระเปาะความต้านทานเพื่อใช้วัดอุณหภูมิ ได้แก่ ทองคำขาว นิเกล และทองแดง เพราะมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง มีเสถียรภาพดี และผลิตให้ได้โลหะบริสุทธิ์ได้ง่าย รูป 3.5 แสดงลักษณะสมบัติความต้านทานอุณหภูมิของโลหะชนิดต่างๆ

กระเปาะความต้านทานชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม ได้แก่ ชนิดทองคำขาว มีความต้านทาน 100 โอห์ม (Pt 100Ω) ปรกติจะทำเป็นกระเปาะโลหะอย่างดีภายในมีขดลวดทองคำขาวพันขดอยู่ มีขั้วต่อออกมา 3 เส้น

วงจรในการวัดอุณหภูมิโดยใช้กระเปาะความต้านทานนี้ มักจะใช้วงจรบริดจ์ และต่อกระเปาะความต้านทานเข้ากับบริดจ์ แบบ 3 สาย (3 wire system) ดังแสดงในรูป 3.6 แรงดันขาออก V_o จากวงจรบริดจ์จะมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทาน



รูป 3.5 ลักษณะสมบัติความต้านทานอุณหภูมิของโลหะชนิดต่าง ๆ

รูป 3.6 วงจรบริดจ์สำหรับวัดอุณหภูมิแบบ 3 สาย

R_t ของกระเปาะความต้านทานดังนี้

$$V_o = \frac{D}{E + F + G} V_r \qquad (3.1)$$

โดยที่

$$D = (R_t - R_o)R_B$$

$$E = (R_B + R_t)(R_B + R_o)$$

$$F = 2R_l(2R_B + R_t + R_o)$$

$$G = 3R_l$$

ปรกติมักจะเลือกค่า R_o เท่ากับ R_t และเลือก R_B ที่มีค่ามากกว่า R_t มาก ๆ จะทำให้แรงดัน V_o ที่วัดได้แปรผันกับ R_t มีผลของความต้านทานสาย R_l เข้ามาเกี่ยวข้องน้อยมาก และความไม่เป็นเชิงเส้นก็จะน้อย

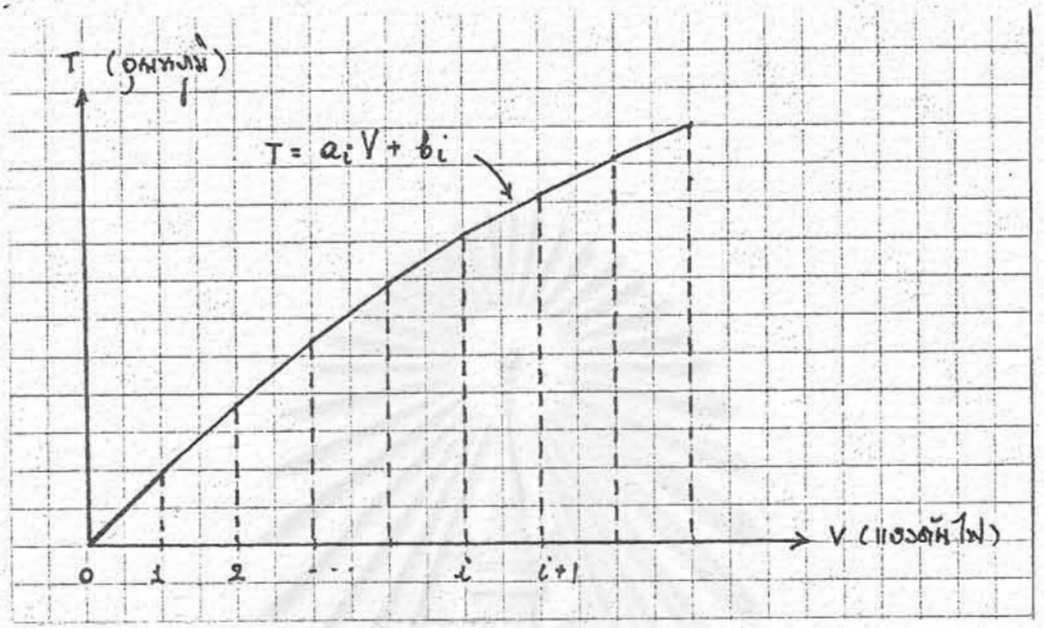
ค่าที่นิยมใช้กันมาในวงจรวัดอุณหภูมิ เมื่อใช้ R_t เป็น Pt 100 Ω คือ

R_B = 20 KΩ R_o = 100Ω จะได้ความแม่นยำสูงพอ คือ ความผิดพลาดเนื่องจากความต้านทานสาย R_l จะมีค่าเท่ากับ 0.00004 %/ ^oC เมื่อ R_l = 1Ω

ปัญหาหนึ่งของการวัดอุณหภูมิโดยใช้หัววัดทั้ง 3 แบบ ที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ คือความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linearity) ของลักษณะสมบัติอุณหภูมิแรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานโดยเฉพาะ การใช้หัววัดในการวัดอุณหภูมิใช้ช่วงการวัดกว้าง ๆ การที่จะวัดอุณหภูมิให้มีความแม่นยำจำเป็นต้องแก้ความไม่เป็นเชิงเส้นนี้ การแก้ไขปัญหานี้ทำโดยการทำเป็นเชิงเส้น (linearization) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้เทคนิคทางด้านวงจรไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นวงจรอะนาลอกที่ใช้ op amp linearizer หรือวงจรเชิงเลข ที่ใช้ non linear A/D converter หรือใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการคำนวณค่าให้ถูกต้อง โดยวิธีการทางด้านซอฟท์แวร์

วิธีการทำเป็นเชิงเส้นโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ในกรณีที่จะใช้ในเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ เพราะภายในเครื่องจะมีไมโครคอมพิวเตอร์อยู่แล้วไม่จำเป็นต้องเพิ่มวงจรขึ้นอีก จะทำให้วงจรซับซ้อนขึ้นและราคาแพงได้

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาโปรแกรมสำหรับการทำเป็นเชิงเส้น โดยใช้วิธี peiecewise linearization มีหลักการดังแสดงในรูป 3.7 แรงดันที่ได้จากวงจรในช่วงการวัดอุณหภูมิจะถูกแบ่งเป็นช่วงเล็ก ๆ แต่ละช่วงถือว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอุณหภูมิจะเป็นเชิงเส้น และมีสมการเชิงเส้นกำหนดความสัมพันธ์นี้อยู่ สมการและค่าคงที่สามารถหาได้จากตารางมาตรฐานของหัววัดแต่ละชนิด เมื่อวัดแรงดันจากหัววัดเข้ามา จะนำค่าแรงดันมาเทียบว่าอยู่ในช่วงใดเสียก่อน จากนั้นจึงคำนวณค่าอุณหภูมิตามสมการที่กำหนดในช่วงนั้น ด้วยวิธีการทำเป็นเชิงเส้นแบบนี้ทำให้เราสามารถวัดอุณหภูมิได้แม่นยำ ถึง 0.1 % ของค่าสูงสุด ตลอดช่วงการวัดอุณหภูมิทั้งหมด



รูป 3.6 หลักการของ piecewise linearization

3.3 คุณสมบัติที่ต้องการของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ

จากการศึกษาข้อกำหนดของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่เป็นผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ และจากการศึกษาขบวนการการวัดค่าอุณหภูมิและความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศ ทำให้สรุปคุณสมบัติที่ต้องการของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่จะออกแบบและทดลองสร้างขึ้น

3.3.1 คุณสมบัติทางฮาร์ดแวร์

1. สามารถวัดอุณหภูมิจากหัววัดได้ทั้ง 3 ชนิด คือ เทอร์โมคับเปิ้ล กระเปาะความต้านทาน และเทอร์มิสเตอร์
2. สามารถวัดสัญญาณ ขนาด 0-10 mV ได้
3. จำนวนสัญญาณที่วัดได้สูงสุด ควรมากกว่า 16 ช่อง
4. ความแม่นยำในการวัด 0.1 % ของค่าสูงสุดในการวัด
5. มีหน่วยแสดงผลเป็นตัวเลข เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิ หมายเลขช่องที่ต่อ (channel number) และเวลา

6. มีแป้นปุ่มกดเพื่อรับคำสั่ง

- การเซทวันที่ และเวลา
- แสดงค่าอุณหภูมิจากช่องที่กำหนด
- การตั้งช่วงเวลาในการพิมพ์รายงาน
- การตั้งค่า High/Low alarm ของสัญญาณแต่ละช่อง

7. สามารถต่อกับเครื่องพิมพ์เพื่อพิมพ์รายงานการวัดได้ โดยใช้บัส Centronics

8. สามารถติดต่อรับส่งข้อมูลกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้ทางบัส RS-232C อัตราในการส่งไม่ต่ำกว่า 1200 บิท/วินาที

9. มีแบตเตอรี่ภายในสำหรับเลี้ยงหน่วยความจำ ไม่ให้ข้อมูลการวัดหาย เมื่อไฟดับ

10. มีหน้าสัมผัสสัญญาณออกเพื่อใช้เตือนภัย เมื่อค่าวัดเกินขีดกำหนด

3.3.2 คุณสมบัติทางซอฟท์แวร์

1. สามารถเซท ชนิดของ หัววัด และสัญญาณเข้าได้

2. สามารถนำผลการวัดแสดงออกที่หน่วยแสดงผล ทันทีเมื่อป้อนหมายเลขช่องสัญญาณเข้าทางแป้นปุ่มกด

3. สามารถรับค่า High/Low alarm ของสัญญาณแต่ละช่อง เมื่อวัดค่าจะทำการเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดนี้ ถ้าไม่อยู่ในช่วงค่าที่กำหนด ให้ส่งสัญญาณออกไปสู่ระบบเตือนภัย

4. มีโปรแกรมการทำแป้นเชิงเส้นอยู่ภายใน เพื่อให้การวัดแม่นยำ

5. การแสดงผลอุณหภูมิในหน่วยขององศาเซลเซียส

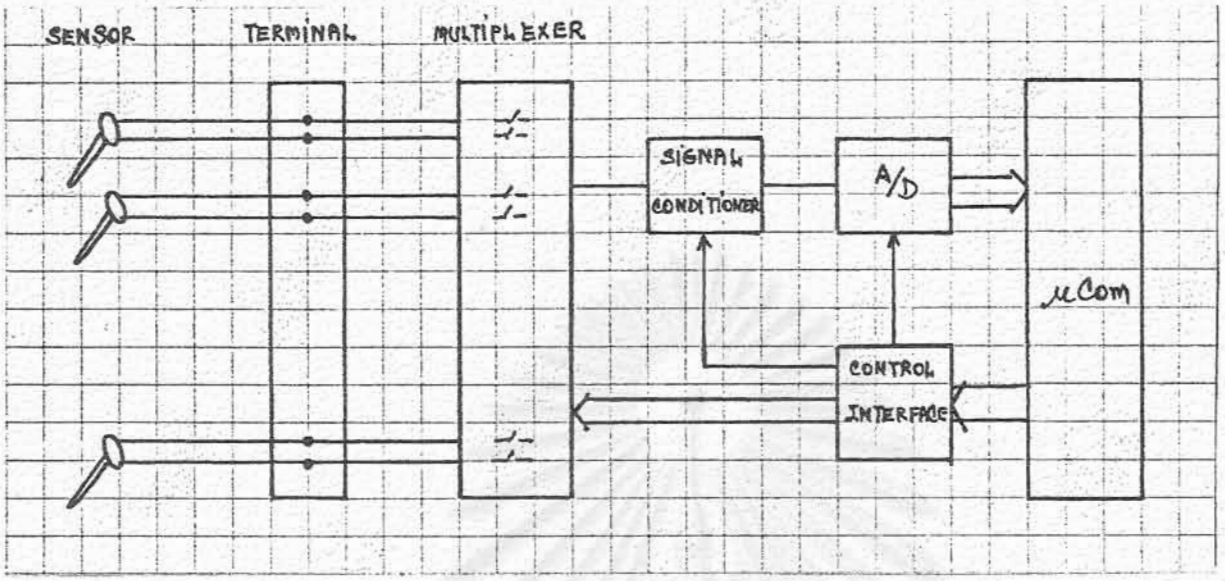
6. การพิมพ์รายงาน ให้พิมพ์ เวลา หมายเลขช่องชนิดของหัววัด และอุณหภูมิที่วัดได้

7. การติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับค่า High/Low alarm จากไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถส่งค่าวัดทุกช่องให้ไมโครคอมพิวเตอร์ได้

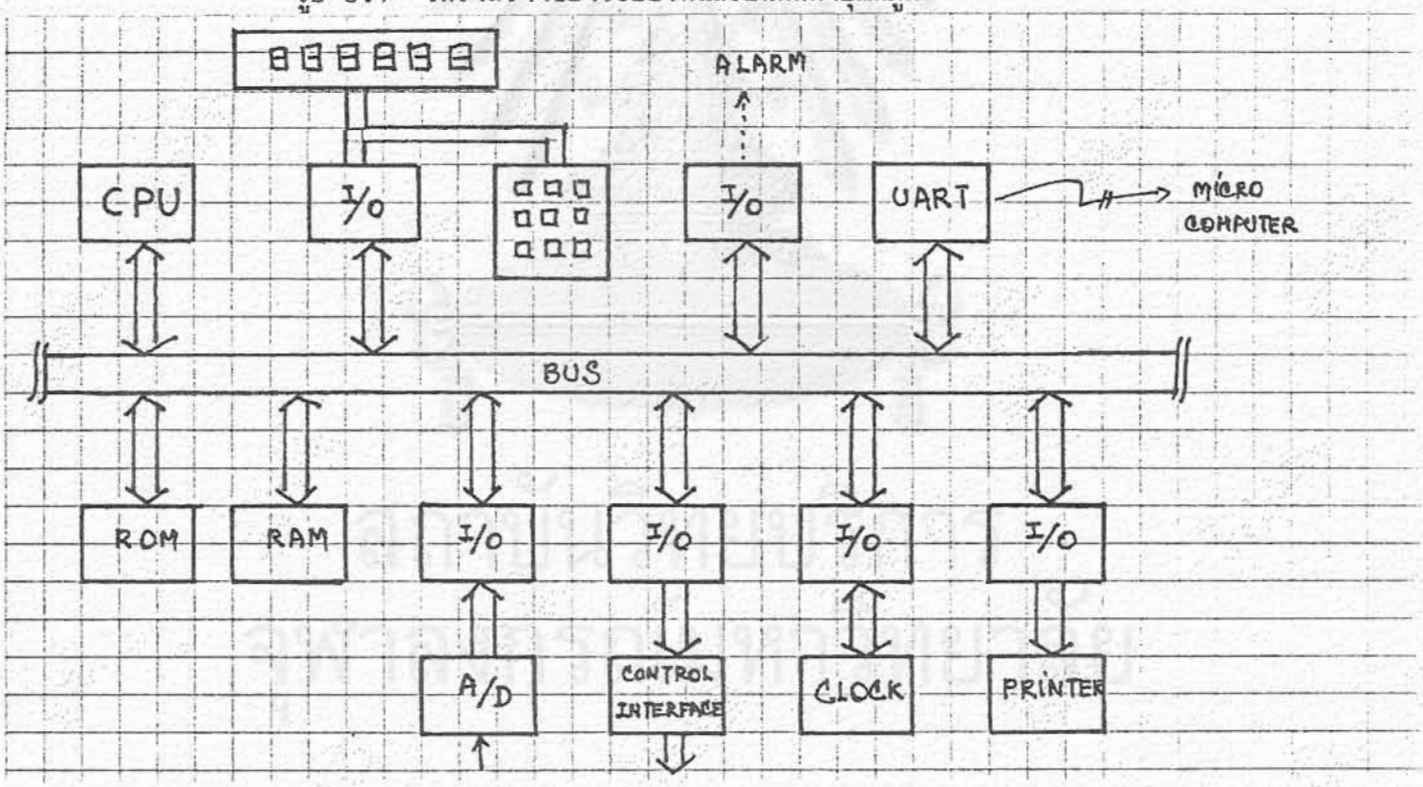
3.4 หลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ

รูป 3.7 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิแบบทั่วไป หัววัดหลายหัววัดจะถูกต่อเข้ามาที่กล่องขั้วต่อ และต่อเข้ามัลติเพลกเซอร์ ซึ่งภายในเป็นสวิทช์สามารถต่อสายของหัววัดเข้ากับวงจรวัด และวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D converter) และส่งเข้าไมโครคอมพิวเตอร์ได้ การตัดต่อสวิทช์ในมัลติเพลกเซอร์ จะได้รับการควบคุมจากไมโครคอมพิวเตอร์ ปรกติสวิทช์จะผลัดกันทำงานเพื่อให้สัญญาณของหัววัดทุกหัวสามารถต่อเข้าไปในวงจรวัดได้ สวิทช์จะทำงานเรียงลำดับกัน เรียกว่า การสแกน (scan) การสแกนทำทุกช่องเวลาที่เรากำหนด โดยไมโครคอมพิวเตอร์จะควบคุมการสแกนทั้งหมดนี้ โดยเริ่มจากการส่งสัญญาณไปควบคุมให้สวิทช์ปิด ส่งสัญญาณให้วงจรขยายทำงาน ส่งสัญญาณให้วงจรแปลงสัญญาณทำงาน อ่านค่าการวัดซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลเก็บเข้าไปในระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การทำงานของภาควัดแต่ละภาคจะต้องใช้เวลา ไมโครคอมพิวเตอร์จะต้องคำนวณเวลาล่าช้าของแต่ละขั้นตอนของการวัด เพื่อให้ได้ค่าวัดที่ถูกต้องและแม่นยำ

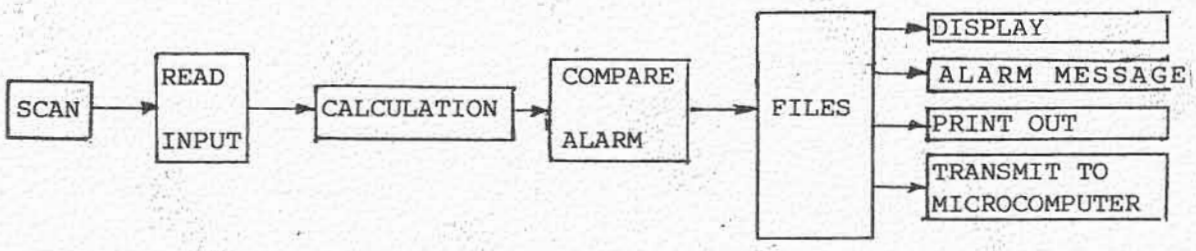
รูป 3.8 เป็นโครงสร้างของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมเครื่อง ภายในจะประกอบด้วย CPU ROM RAM และ I/O ต่าง ๆ ที่ใช้ติดต่อกับวงจรและอุปกรณ์ภายนอก ROM เป็นที่เก็บโปรแกรมควบคุม CPU จะอ่านและทำงานตามโปรแกรมนี้อยู่ตลอดเวลา RAM เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลการวัด ข้อมูล High/Low alarm และข้อมูลต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ วงจรรายรอบที่ต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ คือ วงจรแปลงสัญญาณและวงจรควบคุมการสแกน ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้รับข้อมูลการวัดเข้ามา และส่งสัญญาณออกไปเปิดปิดสวิทช์ วงจรนาฬิกาสามารถส่งสัญญาณบอกวันที่และเวลา เมื่อ CPU ต้องการรู้ วงจรอินเตอร์เฟสกับเครื่องพิมพ์เพื่อใช้ส่งข้อมูลออกไปพิมพ์ที่เครื่องพิมพ์ วงจรอินเตอร์เฟสกับหน่วยแสดงผลข้อมูลและแป้นกดข้อมูล เพื่อส่งข้อมูลออกไปแสดงผลและรับข้อมูลจากการกดปุ่มเข้ามาในระบบ วงจร UART เป็นวงจรใช้ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ภายนอก ด้วยการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม วงจรเอาท์พุทสำหรับไปขับหน่วยเตือนภัย



รูป 3.7 โครงสร้างของระบบวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ



รูป 3.8 โครงสร้างภายในระบบไมโครคอมพิวเตอร์



รูป 3.9 ขั้นตอนการทำงานภายในของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ

การทำงานภายในของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมินี้ จะกำหนดด้วยซอฟท์แวร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง โปรแกรมนี้เก็บไว้ใน ROM ซึ่งเป็นหน่วยความจำแบบถาวร CPU จะอ่านโปรแกรมจาก ROM ทีละคำสั่งแล้วทำงานตามนั้น ผลของการทำงานตามโปรแกรมก็ได้แก่ การควบคุมให้เครื่องทำการอ่านและบันทึกข้อมูลทั้งหมด ฟังก์ชั่นของเครื่องจะถูกกำหนดด้วยโปรแกรมนี้ รูป 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานภายในของเครื่อง เริ่มต้นด้วยการสแกนข้อมูล คือการกำหนดเบอร์สวิทช์และควบคุมให้สัญญาณผ่านเข้ามาที่วงจรวัด จากนั้นจะควบคุมการอ่านค่าที่วัดได้ซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล ข้อมูลที่อ่านได้ยังเป็นข้อมูลเดิม จึงต้องทำการประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง การประมวลผลในขั้นตอนนี้ ได้แก่

1. การตรวจเช็คว่าสายต่อของหัววัดขาดหรือไม่ ข้อมูลจะผิดปรกติมาก
2. ทำการชดเชยออฟเซท (offset) และชดเชยอัตราขยายของวงจรขยาย
3. ทำการกรองข้อมูล (filtering) เพื่อขจัดสัญญาณรบกวน
4. ทำให้เป็นเชิงเส้น (linearization)
5. แปลงข้อมูลให้อยู่ในหน่วยวัดที่ถูกต้อง
6. คำนวณค่าอื่น ๆ ที่ต้องการเช่น หาความแตกต่างของอุณหภูมิ หาเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงจากค่าอุณหภูมิที่กำหนด เป็นต้น

หลังจากการประมวลข้อมูลที่ได้ออกมาจะอยู่ในสภาพพร้อมที่จะนำมาใช้งาน จะมีการเปรียบเทียบกับค่า high/low alarm ซึ่งตั้งไว้เพื่อตรวจเช็คว่าข้อมูลอยู่ในขีดกำหนดหรือไม่ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ การเก็บข้อมูลนี้จะเก็บไว้อย่างเป็นระเบียบทุกค่าวัดจะมีรูปแบบ (format) ในการเก็บที่เหมือนกัน เรียกว่าเก็บไว้ในไฟล์ (files) เพื่อสะดวกในการอ่านข้อมูลออกมา

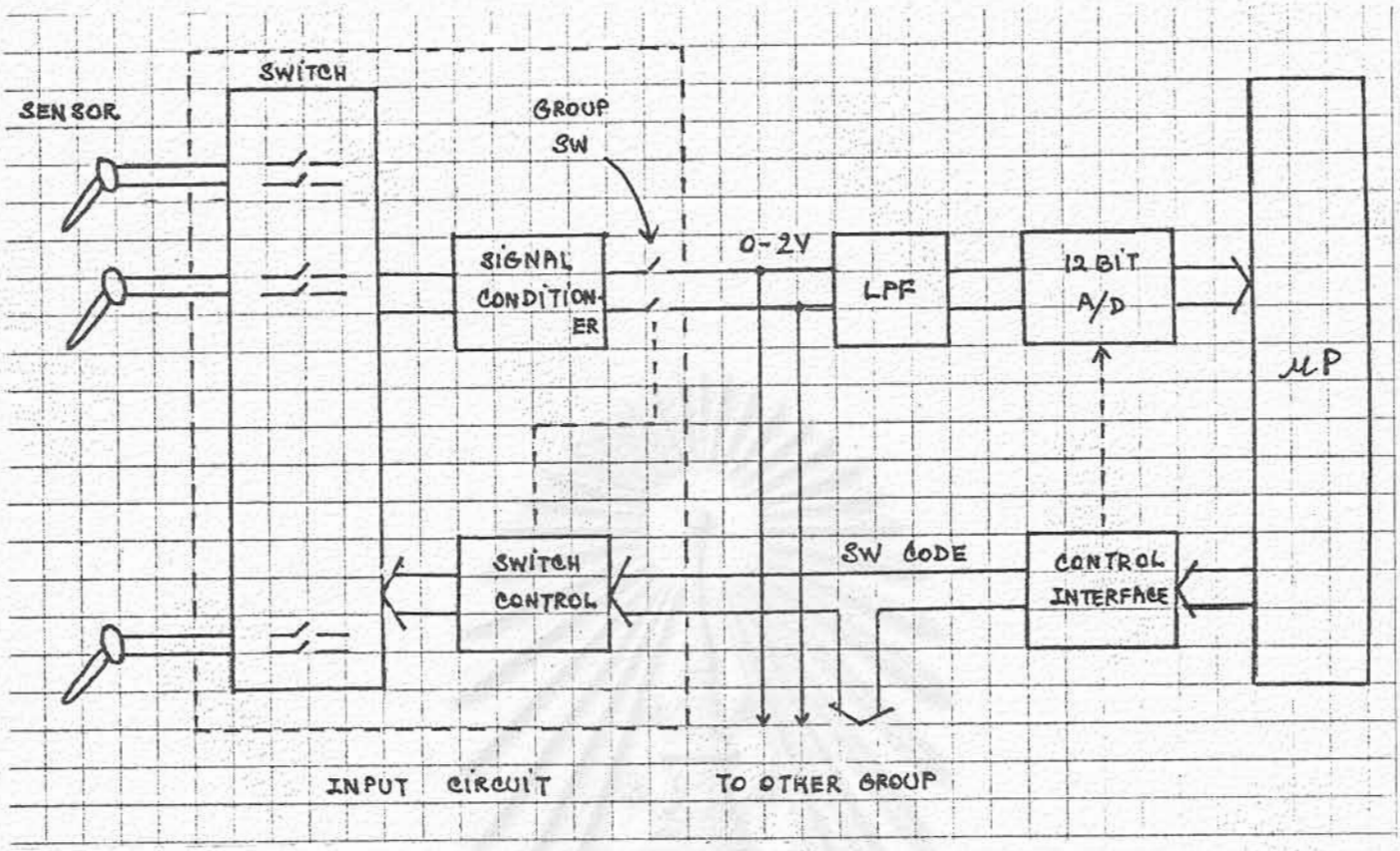
ใช้งานทีหลังอีกทีหนึ่ง เมื่อข้อมูลอยู่ในไฟล์ถ้าต้องการแสดงผลข้อมูลออกมาที่หน่วยแสดงผล หลังจากรับคำสั่งจากแป้นกดข้อมูล ข้อมูลค่าที่ต้องการจะถูกอ่านจากไฟล์ออกไปยังหน่วยแสดงผล เมื่อต้องการพิมพ์รายงาน ข้อมูลส่วนที่ต้องการจะพิมพ์จะถูกอ่านจากไฟล์ส่งออกไปยังสู่เครื่องพิมพ์ เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณเข้ามาที่เครื่องเพื่อรอรับค่าวัด ข้อมูลจะถูกอ่านจากไฟล์ออกมาทีละค่าและส่งไปที่ไมโครคอมพิวเตอร์จนหมด

ด้วยวิธีการทำงานเป็นขั้นตอนเช่นนี้ เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ จึงสามารถจัดการเก็บการวัดค่าอุณหภูมิหลาย ๆ จุดพร้อมกันได้ นอกจากนี้การทำงานที่ซับซ้อนบางอย่างเช่น การคำนวณเพื่อทำเป็นเชิงเส้น การแปลงหน่วย ซึ่งใช้เทคนิคทางฮาร์ดแวร์ทำได้ยาก ก็สามารถทำได้ง่ายโดยใช้ซอฟท์แวร์ วิธีการเช่นนี้มีข้อดี คือสามารถลดต้นทุนทางฮาร์ดแวร์ลง และสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขฟังก์ชั่นของเครื่องได้โดยง่าย เพียงเปลี่ยนซอฟท์แวร์บางส่วนเท่านั้น

3.5 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องที่ออกแบบ

การออกแบบเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิในการวิจัยครั้งนี้ ได้พยายามออกแบบให้โครงสร้างของเครื่องง่าย จัดแบ่งวงจรออกเป็นกลุ่มเป็นบอร์ด เพื่อให้สามารถแก้ไขหรือทดลองวงจรได้ง่าย การใช้องค์ประกอบวงจร เช่น ไอซี LSI ก็พยายามเลือกองค์ประกอบที่พอหาซื้อได้ภายในประเทศ หรือเป็นไอซีที่นิยมใช้กันมาก สามารถหาได้ง่ายในต่างประเทศ

รูป 3.10 เป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงภาคสแกนสัญญาณเข้า จะเห็นว่ามีโครงสร้างเหมือนกับเครื่องทั่วไป เพื่อความสะดวกในการทดลองและการใช้งาน ได้จัดแบ่งภาคมัลติมิเพลกเซอร์ออกเป็นกลุ่ม ๆ กลุ่มหนึ่งจะประกอบด้วยสวิทช์ ขั้วต่อวงจรวัด และวงจรควบคุมสวิทช์ ในหนึ่งกลุ่มจะมีสวิทช์อยู่ 10 ชุด ดังนั้นจึงต่อหัววัดได้ 10 หัว วงจรในกลุ่มจะอยู่บนบอร์ดเดียวกัน เรียกว่า บอร์ดอินพุท สัญญาณจากหัววัดจะถูกขยายเป็นสัญญาณขนาด 0-4 V เพื่อส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณ การจัดแบ่งเป็นกลุ่มของหัววัด เพื่อให้สะดวกในการแบ่งแยกชนิดของหัววัดแต่ละชนิด ซึ่งขนาดของสัญญาณแตกต่างกันออกจากกัน หัววัดที่เป็นเทอร์โมคับเปิ้ล จะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนหัววัดที่เป็นกระเปาะความต้านทานจะอยู่กลุ่มเดียวกัน นอกจากนั้น

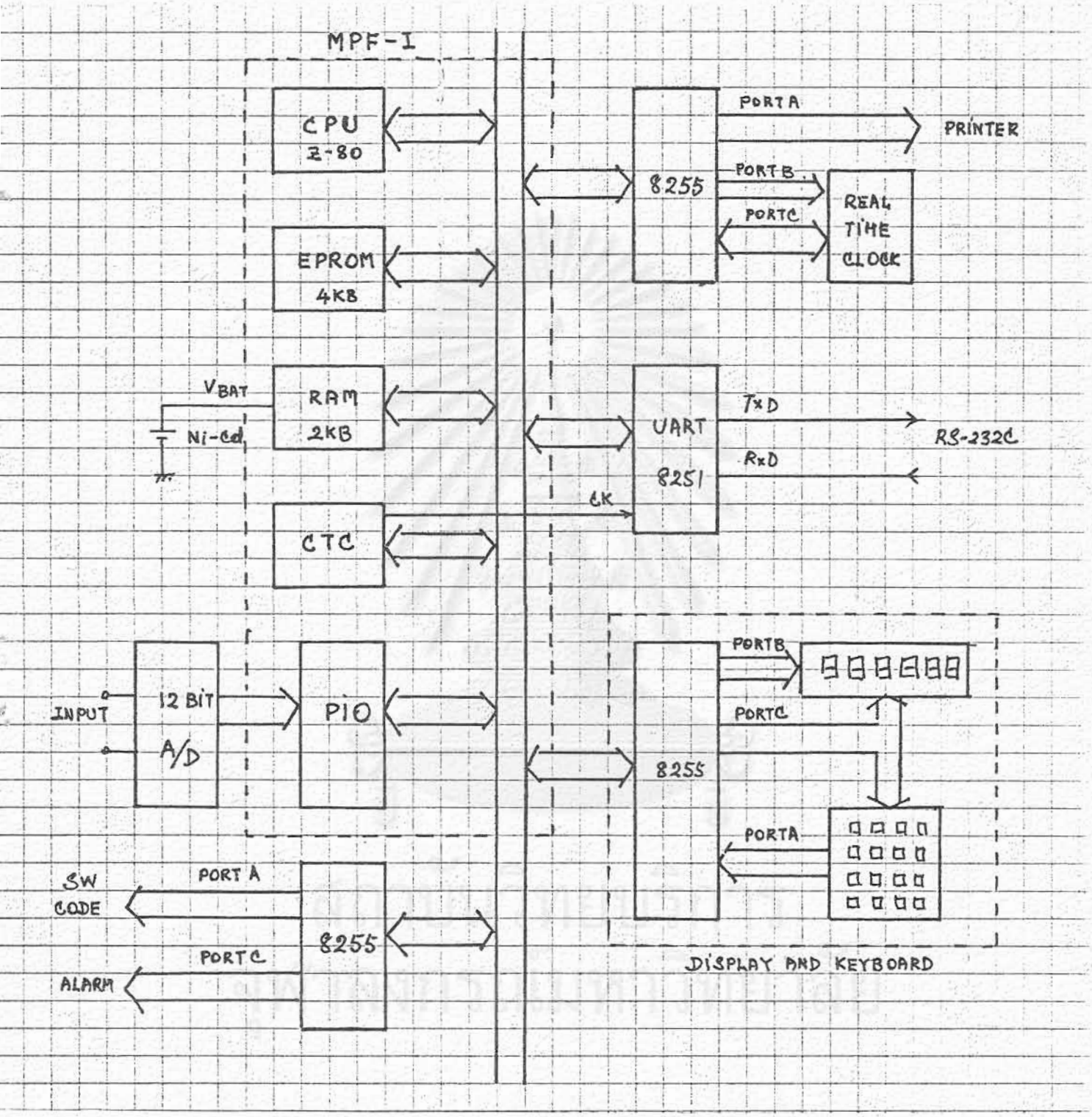


รูป 3.10 บล็อกไดอะแกรมของภาคสแกนสัญญาณเข้า

เทอร์โมคับเปิ้ลยังแบ่งออกเป็นหลายชนิดซึ่งขนาดของสัญญาณแตกต่างกันด้วย ในการวิจัยครั้งนี้ได้สร้างบอร์ดอินพุทขึ้นมาสำหรับหัววัดเพียงชนิดเดียว คือกระเปาะความต้านทานสำหรับหัววัดชนิดอื่น หรือสัญญาณเข้าชนิดอื่น จะมีวงจรแตกต่างไปบ้างแต่มีหลักการในสแกนสัญญาณเหมือนกัน

สัญญาณออกของบอร์ดอินพุท แต่ละบอร์ดจะถูกคั่นด้วยสวิทช์ของกลุ่ม (Group switch) ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณของแต่ละกลุ่มออกจากกัน ในกรณีที่มีหัววัดหลายจุดจำนวนกลุ่มจะเพิ่มมากขึ้น และจากหลักการนี้ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนกลุ่มออกไปได้สูงสุด 16 กลุ่ม และสามารถต่อหัววัดได้สูงสุด 160 หัววัด

รูป 3.11 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่อง องค์ประกอบของวงจรส่วนใหญ่เป็น LSI ทางไมโคร-โปรเซสเซอร์เชื่อมต่อกันด้วยบัสข้อมูล บัสแอดเดรส และบัสควบคุม โดยมีไมโคร-โปรเซสเซอร์ เบอร์ Z-80 เป็น CPU ควบคุมการทำงานของหน่วยต่าง ๆ วงจรของระบบไมโครคอมพิวเตอร์นี้ แบ่งออกเป็น 3 บอร์ด บอร์ดแรกเป็นบอร์ดไมโคร-



รูป 3.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบไมโครคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย CPU ROM RAM PIO และ CTC บอร์ดนี้ใช้บอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว MPF-I ซึ่งสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศมาใช้งาน บอร์ดหน่วยแสดงผลและแป้นกดข้อมูล เป็นบอร์ดที่ประกอบขึ้นมาแทนหน่วยแสดงผลและแป้นกดข้อมูลของบอร์ด MPF-I ซึ่งมีขนาดเล็ก และไม่สะดวกในการใช้งาน บอร์ดที่สามเป็นบอร์ดวงจรแปลงสัญญาณ และวงจร I/O port ประกอบด้วย 12 bit A/D converter UART (8251) PIA (8255) และวงจรนาฬิกา (MSM 5832) สัญญาณออกจากวงจรแปลงสัญญาณจะส่งเข้าระบบโดยผ่าน PIO ในบอร์ด MPF-I ส่วนสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของ UART จะมาจาก CTC ในบอร์ด MPF-I เช่นเดียวกัน PIA จะมี 2 ตัว ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น control interface ของการสแกน ทำหน้าที่จ่ายรหัสของสวิทช์ออกไปให้บอร์ดอินพุท และยังส่งสัญญาณออกไปควบคุมรีเลย์เพื่อขับหน่วยเตือนภัยด้วย PIA อีกตัวหนึ่งจะทำหน้าที่ เป็นอินเตอร์เฟสกับเครื่องพิมพ์ และอินเตอร์เฟสกับวงจรนาฬิกา

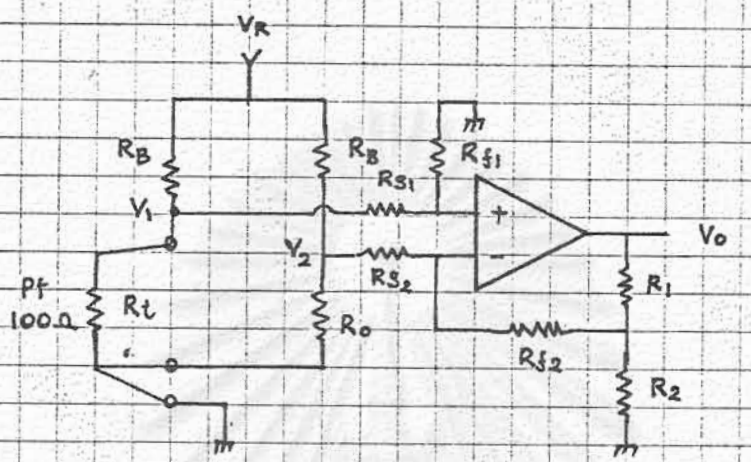
3.6 การออกแบบวงจรส่วนต่าง ๆ

3.6.1 ภาควงจรวัดและมัลติมิเพลกเซอร์

วงจรวัดเป็นวงจรภาคที่มีความสำคัญที่สุด เพราะเป็นวงจรที่แปลงอุณหภูมิเป็นแรงดันไฟฟ้า ความแม่นยำของระบบจะถูกกำหนดที่วงจรวัดนี้ วงจรวัดที่ดีนอกจากจะมีความแม่นยำแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (temperature drift) และสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้น

หัววัดอุณหภูมิที่ใช้เป็นกระเปาะความต้านทาน Pt 100 Ω ช่วงอุณหภูมิที่วัดกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0-200 ^{o}C วงจรวัดที่เหมาะกับกระเปาะความต้านทานนี้ คือ วงจร Wheatstone bridge โดยต่อกระเปาะความต้านทานเข้าเป็นแขนหนึ่งของบริดจ์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป วงจรบริดจ์จะเกิดการไม่สมดุลย์ แรงดันขาออกของบริดจ์จะแปรผันกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้น แรงดันขาออกนี้จะถูกขยายโดยวงจรขยายแบบขยายความแตกต่าง (differential amp) เพื่อให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ตามต้องการ ดูรูป 3.12 ประกอบ

PHILIPS



รูป 3.12 วงจรวัดอุณหภูมิเมื่อหัววัดเป็นกระเปาะความต้านทาน

1. วงจรบริดจ์

ตามปรกติแรงดันขาออกของบริดจ์ $(V_1 - V_2)$ จะมีขนาดแปรผันกับขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ Pt แต่ถ้าบริดจ์ขาดความสมดุลย์มาก จะเกิดความไม่เป็นเชิงเส้นขึ้น ถ้าช่วงในการวัดอุณหภูมิกว้างขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานจะมาก บริดจ์จะไม่สมดุลย์มาก ความไม่เป็นเชิงเส้นนี้ขึ้นอยู่กับ R_B และ R_o ในที่นี้พยายามเลือกค่า R_B และ R_o ให้บริดจ์เกิดความไม่สมดุลย์น้อยสุดในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการวัด เลือก R_B = 20 kΩ และ R_o = 100 Ω เมื่อวัดอุณหภูมิในช่วง 0-200°C จะเกิดความผิดพลาดอันเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น 0.1 %

เมื่ออุณหภูมิ 0°C หัววัดจะมีความต้านทาน 100 Ω เมื่ออุณหภูมิเป็น 200°C ความต้านทานจะเท่ากับ 177.13 Ω ขณะนั้นแรงดันขาออกของบริดจ์จะเท่ากับ

$$V_1 - V_2 = V_r\left(\frac{177.13}{20k + 177.13} - \frac{100}{20k + 100}\right)$$

ถ้าให้ $V_r = 7$ V $V_1 - V_2 = 26.62$ mV

แรงดันนี้จะถูกขยายโดยวงจรขยาย ให้ได้แรงดัน $V_o = 2$ V

ดังนั้นวงจรขยายจะต้องมีกำลังขยายแรงดันถึง 2/26.62 mV = 75.4 เท่า

2. วงจรขยาย

วงจรขยายที่เลือกใช้เป็นแบบวงจรขยายความแตกต่างดังในรูป 3.12 ถ้าเลือกค่าความต้านทาน ตามเงื่อนไข ดังนี้

$$R_{S1} \gg R_B // R_t \quad , \quad R_{S2} \gg R_B // R_o$$

และ $$R_{f2} \gg R_1 // R_2$$

จะได้ $$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \left[\frac{R_{s2} + R_{f2}}{R_{s2}} \times \frac{R_{f1}}{R_{s1} + R_{f1}} V_1 - \frac{R_{f2}}{R_{s2}} V_2 \right]$$

เลือกให้ $R_{f1} = R_{f2} = R_{s1} = R_{s2} = 100$ kΩ จะได้

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_2} (V_1 - V_2)$$

เลือก $R_1 = 10$ k $R_2 = 100\ \Omega$ พร้อมกับมีความต้านทานแบ่งค่าได้ 100 คั่นอยู่ระหว่างกลาง เพื่อปรับให้สามารถปรับอัตราขยายได้ระหว่าง 51-101 เท่า ตัวต้านทานที่ใช้ในวงจร ใช้แบบฟิลม์คาร์บอน ความผิดพลาด 1 % และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิน้อยกว่า 100 ppm/^{o}C

3. การเลือกออฟแอมป์

วงจรขยายจะต้องขยายสัญญาณ ถึง 75.4 เท่า ถ้าต้องการวงจรขยายที่มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิดีกว่า 100 ppm/^{o}C (0.01 %/^{o}C) จะต้องเลือกออฟแอมป์ที่เป็นชนิด Low drift op amp แรงดันขาเข้าของวงจรขยายเท่ากับ 26.62 mV ดังนั้นออฟแอมป์จะมี offset voltage drift น้อยกว่า 26.62mV x 100 x 10^{-6} = 2.66 μV/^{o}C

จากการศึกษาดูคุณสมบัติออฟแอมป์เบอร์ต่าง ๆ ได้เลือกออฟแอมป์เบอร์ LM725E ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- อัตราขยายวงรอบเปิด 120 db

- input offset voltage drift 2.0μV/^{o}C
- input bias current offset drift 90 pA/^{o}C
- input offset voltage 0.5 mV
- input bias current offset 5 nA
- input bias current 75 nA
- common mode rejection ration 120 db

4. วงจรมัลติเพลกเซอร์

การต่อหัววัดกระเปาะความต้านทานเข้าวงจรวัดจะต้องผ่านวงจรมัลติเพลกเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เลือกต่อหัววัดเข้าสู่วงจรวัดภายใน วงจรมัลติเพลกเซอร์จะประกอบด้วยกลุ่มของสวิทช์ และวงจรถอดรหัสสวิทช์ (switch decoder) สวิทช์มีทั้งแบบกลไกเช่นรีเลย์ และแบบสารกึ่งตัวนำ เช่น อะนาลอกสวิทช์ แบบรีเลย์มีข้อดีตรงการเปิดปิดเป็นหน้าสัมผัสทางกลไก เมื่อปิดความต้านทานจะต่ำ และเมื่อเปิดความต้านทานจะสูงมาก นอกจากนั้นยังมีราคาถูก และสามารถต่อแรงดันขาเข้าสูง ๆได้ ข้อเสียของรีเลย์ คือ การทำงานล่าช้า มีอายุการใช้งาน และที่บริเวณหน้าสัมผัสจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า สำหรับอะนาลอกสวิทช์มีข้อดีคือ สามารถเปิดปิดหน้าสัมผัสได้เร็ว กินไฟน้อย และมีอายุการใช้งานที่นานกว่าแบบรีเลย์มาก อย่างไรก็ตาม มีข้อเสีย คือ ความต้านทานเมื่อสวิทช์ปิดสูง และเมื่อสวิทช์เปิดจะมีความต้านทานไม่สูงมากนัก มีกระแสรั่ว (leak current) และกระแสนี้จะไหลมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนั้นยังไม่ทนทานต่อแรงดันขาเข้าสูง ๆ อีกด้วย

ในการออกแบบครั้งนี้ได้เลือกรีเลย์เป็นสวิทช์ รีเลย์ที่เลือกใช้ เป็นรีดรีเลย์ (reed Relay) ซึ่งสามารถทำงานได้เร็วกว่ารีเลย์ธรรมดา และความทนทานของรีเลย์ชนิดนี้จะดีกว่าแบบธรรมดา รีดรีเลย์ที่เลือกใช้เป็นของบริษัท OMRON มีคุณสมบัติดังนี้

- ชนิดของหน้าสัมผัส 2 A
- ความเร็วในการทำงาน (operating time) 1 ms
- อายุในการใช้งาน 100 ล้านครั้ง
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่หน้าสัมผัส 3μV

เมื่อประกอบรีเลย์ลงในบอร์ดอินพุท หนึ่งบอร์ดใช้รีเลย์จำนวน 11 ตัว สมมติให้ 1 รอบของการสแกนหัววัด เท่ากับ 10 วินาที อายุการใช้งานของบอร์ดจะเท่ากับ

$$\frac{100 \times 10^6 \times 10 \text{ วินาที}}{11 \times 3600 \times 24} = 1052 \text{ วัน}$$

ถ้าจำนวนรีเลย์เพิ่มมากขึ้น โอกาสที่รีเลย์จะเสียจะมีมากขึ้น ดังนั้นการใช้รีเลย์จึงเหมาะกับวงจรมัลติเพลกเซอร์ ซึ่งมีจำนวนหัววัดไม่มากนัก

บอร์ดอินพุทที่ ทดลองสร้างขึ้นมานี้ สามารถต่อกับหัววัดได้ 10 หัว เมื่อต้องการต่อหัววัดมากขึ้นก็ให้เพิ่มบอร์ดอินพุทเข้าไปในระบบอีก วงจรของบอร์ดอินพุท จะประกอบด้วย รีเลย์มัลติ เพลกเซอร์ บริดจ์ วงจรขยาย และวงจรถอดรหัสสวิทช์ รูปวงจรในรายละเอียดให้ดูที่ภาคผนวก (ก).

สำหรับวงจรถอดรหัสสวิทช์นั้น รหัสสวิทช์ที่ส่งมาจากไมโครคอมพิวเตอร์จะมีทั้งหมด 8 บิท 4 บิทบนสำหรับกำหนดบอร์ดอินพุท 4 บิทล่าง สำหรับกำหนดเบอร์สวิทช์ในบอร์ดเพื่อเลือกหัววัด การถอดรหัสสวิทช์ก็แยกการถอดรหัส โดย 4 บิทจะเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ (comparater) เพื่อเปรียบเทียบกับเบอร์ของบอร์ดอินพุทที่สามารถเซทได้จากดิพสวิทช์ (dip switch) บนบอร์ด แต่ละบอร์ดจะมีเบอร์แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการเซทดิพสวิทช์นี้ เพื่อให้ทุกบอร์ดมีวงจรที่เหมือนกันทุกประการ และสามารถสับเปลี่ยนการใช้งานแทนกันได้ เมื่อบอร์ดได้เกิดขัดข้อง

3.6.2 วงจร A/D Converter

วงจรนี้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกที่ได้จากวงจรวัด (0-2 V) ไปเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อส่งเข้าไมโครคอมพิวเตอร์ วงจร A/D converter มีหลายชนิด เช่น แบบ dual slope แบบ pulse width modulation แบบ successive approximation เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบต่าง ๆ แล้ว แบบที่เหมาะสมกับการใช้งานในกรณีนี้คือ แบบ dual slope ซึ่งจะเป็นประเภท integrate สัญญาณ หรือเฉลี่ยขนาดของแรงดันที่วัดเสียก่อน จึงทำให้ค่าที่วัดได้แม่นยำ และมีเสถียรภาพดี ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนอื่น ๆ แบบ dual slope อาจจะมีข้อเสียตรงใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนาน และเวลายังขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณเข้าอีกด้วย

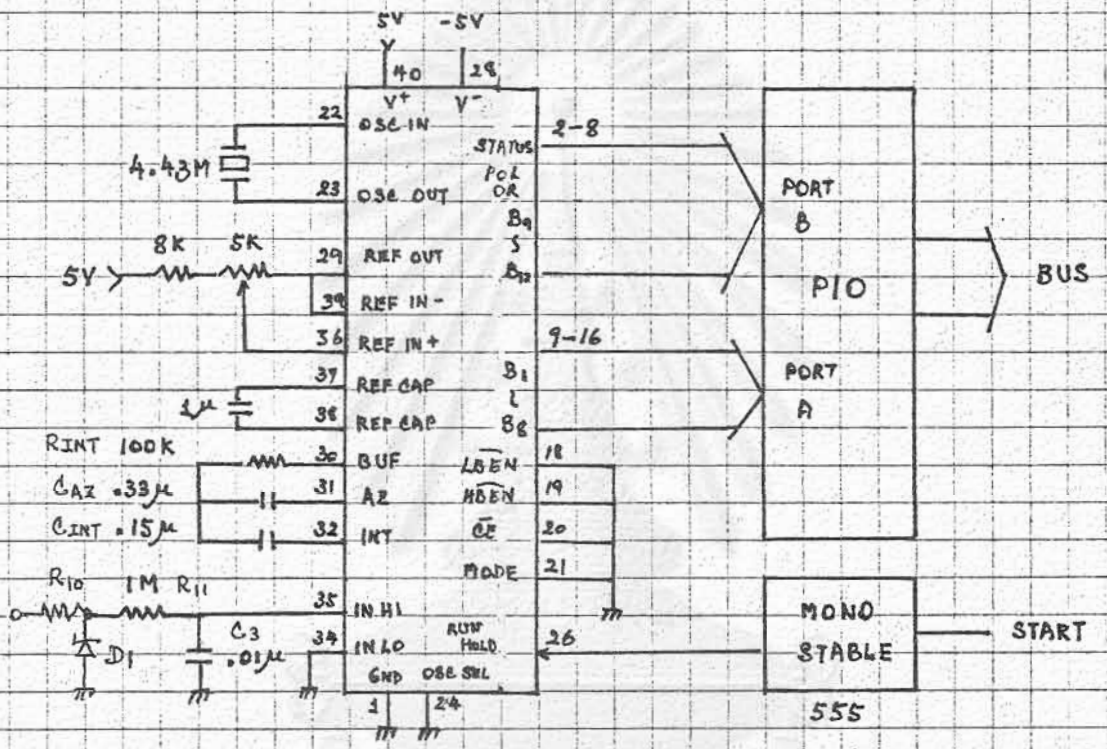
ปัจจุบันมีบริษัทที่ผลิต วงจร A/D converter ในรูป LSI ขึ้นหลายบริษัท มีตั้งแต่ขนาด 8 บิท ถึง 16 บิท ทำให้สะดวกในการประกอบวงจรมาก สำหรับ A/D converter ที่จะใช้กับเครื่องที่ออกแบบนี้ จะเลือกขนาด 12 บิท เพราะจะให้ความแม่นยำในการแปลงสัญญาณ ถึง 0.025 % ซึ่งเป็นการเพียงพอต่อความแม่นยำของระบบที่ต้องการ

การเลือกใช้ไอซี A/D converter ได้เลือกเบอร์ ICL7109 ของบริษัท Intersil เพราะหาซื้อได้ง่ายและใช้อุปกรณ์ภายนอกน้อยชิ้น ทั้งยังมีความแม่นยำในการแปลงสัญญาณสูง มีคุณสมบัติพิเศษ คือ

- มีความแม่นยำสูง ผิดพลาด $\pm$ 0.2 count
- มีความต้านทานขาเข้าสูง กระแสอินพุทเพียง 1 pA
- Zero reading drift 1 $\mu V/^{\circ}C$
- เชื่อมต่อกับระบบไมโครคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

วงจร A/D converter โดยใช้ไอซีเบอร์ ICL7109 แสดงในรูป 3.13 สัญญาณเข้ามีขนาด 0-2 V วงจรภาคอินพุทประกอบด้วย R_{10} และ D_1 เป็นวงจรป้องกันแรงดันขาเข้าเกิน R_{11} และ C_3 เป็นวงจรกรองผ่านต่ำ การเลือกอุปกรณ์ภายนอกเพื่อกำหนดการทำงานภายใน โดยให้ทำงานอยู่ในช่วงที่เป็นเชิงเส้น ออกแบบตามข้อแนะนำของผู้ผลิต จะได้ R_{INT} = 100 kΩ , C_{INT} = 0.15 μF (ใช้ชนิด poly propylene) C_{AZ} = 0.33 μF

สำหรับสัญญาณนาฬิกาในวงจรได้มาจากการต่อผลึกควิสตอลค่า4.43 MHz เข้ากับไอซีที่อัตรานี้ จะทำให้เกิดการสุ่มตัวอย่างมาวัดอย่างต่ำ 10 ครั้งต่อ 1 วินาที



รูป 3.13 วงจร A/D Converter

3.6.3 วงจรไมโครคอมพิวเตอร์

วงจรไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ใน เครื่องนี้ ได้เลือกใช้วงจรไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว ของบริษัท MPF-I เพราะมีราคาถูก หาซื้อได้ภายในประเทศ มีองค์ประกอบวงจรที่ต้องการครบ และมีซอฟท์แวร์บางส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องได้ เช่น การสแกนคีย์ การแสดงผล การหน่วงเวลา เป็นต้น

MPF-I มีคุณสมบัติ ดังนี้

- CPU Z-80 1.8 MHz
- ROM 2716/2732 2 kB หรือ 4 kB
- RAM 6116 2 kB
- มีซอกเกตสำหรับเพิ่ม ROM หรือ RAM
- มี 32 ปุ่มกด เพื่อป้อนคำสั่ง
- แสดงผลด้วย 7-Segment LED จำนวน 6 หลัก
- มี PIO และ CTC ให้บนบอร์ด สามารถนำมาใช้งานได้
- มีซอกเกตสำหรับต่อบัส เพื่อขยายระบบได้

รายละเอียดวงจรของ MPF-I แสดงที่ภาคผนวก 3.1

3.6.4 วงจรแสดงผลและแป้นกดข้อมูล

วงจรแสดงผลและแป้นกดข้อมูล ในบอร์ด MPF-I มีขนาดเล็กไปและไม่สดวกในการใช้งาน นอกจากนั้นวิธีการแสดงผลยังเป็นแบบมัลติเพลกสัญญาณ โดยใช้ซอฟท์แวร์ ทำให้ CPU ต้องคอยสแกนปุ่มกดและหน่วยแสดงผลอยู่ตลอดเวลา ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในกรณีของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมินี้ จึงได้ทำการออกแบบวงจรแสดงผลและแป้นกดข้อมูลใหม่ โดยแยกเป็นบอร์ดต่างหาก หน่วยแสดงผลเป็น แบบ 7-segment LED ขนาด 45 มม. สามารถมองได้ชัดเจนจากที่ไกล จำนวนปุ่มกดมีเพียง 24 ปุ่ม โดยเป็นปุ่มตัวเลข 10 ปุ่ม และคีย์ฟังก์ชั่น 14 ปุ่ม ซึ่งพอเหมาะสำหรับการใช้งานในเครื่อง รายละเอียดวงจรแสดงในภาคผนวก 3.1 สิ่งที่เปลี่ยนแปลงจากวงจรแสดงผลเดิมในบอร์ด MPF-I คือภาคขับ 7-segment LED ได้เพิ่ม 8 bit latch (74LS374) ต่อ LED 1 ตัว เพื่อใช้ในการจำข้อมูล

การแสดงผล เมื่อ CPU ต้องการแสดงผล จะส่ง segment data ผ่านออกมาทางพอร์ท B ของ 8255 และเก็บไว้ใน 8 bit latch แต่ละตัว เมื่อ CPU ส่งข้อมูลเสร็จ ก็ไปทำงานอื่นต่อไป โดยไม่ต้องพะวงเรื่องการแสดงผลอีก วงจรแสดงผลและแป้นกดข้อมูลที่ได้ออกแบบขึ้นใหม่นี้ สามารถใช้กับซอฟท์แวร์เดิมของ MPF-I ได้โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนใด ๆ

3.6.5 วงจร UART

UART (universal asynchroneous receiver transmitter) เป็น LSI ที่ใช้ในการติดต่อกับข้อมูลกับอุปกรณ์อื่น ๆ แบบอนุกรม เราใช้ UART ในการติดต่อข้อมูลกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่น โดยรับส่งแบบอนุกรม ผ่านทางบัส RS-232C UART ใช้ไอซีเบอร์ 8251 มีรายละเอียดวงจรแสดงในภาคผนวก 3.1 อัตราในการส่งข้อมูล กำหนดเป็น 2400 บิท/วินาที สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดอัตราในการส่ง รับมาจาก CTC ในบอร์ด MPF-I รูปแบบในการส่ง คือ 8 บิทข้อมูล even parity และ 2 stop bit การต่อกับบัส RS-232C ซึ่งมีระดับแรงดันไฟ $\pm$ 12 V ใช้ต่อผ่านไอซี 1488 และ 1489

3.6.6 วงจรอินเตอร์เฟสกับนาฬิกาและเครื่องพิมพ์

LSI ที่เป็นนาฬิกามีอยู่หลายเบอร์ ได้เลือก LSI เบอร์ MSM 5832 ของบริษัท OKI ประเทศญี่ปุ่น เพราะต้องการวงจรภายนอกน้อยมาก สามารถบอกวัน เดือน ปี เวลา ชั่วโมง นาทีและวินาที ได้โดยละเอียด นอกจากนั้นยังต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ได้ง่ายอีกด้วย MSM 5832 จะรับส่งข้อมูลทางขั้ว D_0 - D_3 ซึ่งเป็นบัสสองทิศทาง ข้อมูลที่รับจะเป็นรหัส BCD เมื่อต้องการเซทวันที่และเวลาจะส่งข้อมูลเข้าไป พร้อมกับส่งสัญญาณควบคุมอื่น ๆ เช่น HOLD WRITE เมื่อต้องการอ่านวันที่และเวลา ก็อ่านข้อมูลจาก LSI โดยข้อมูลจะอยู่ในแอดเดรสต่าง ๆ การอินเตอร์เฟสกับ MSM 5832 ใช้ PIA 8255 ใช้บิท 0 ถึง 4 ของ พอร์ท C ในการรับส่งข้อมูล และพอร์ท B ในการควบคุมการเขียนและการอ่าน (ดูภาคผนวก 3.1)

ส่วนการอินเตอร์เฟสกับเครื่องพิมพ์นั้น ใช้ 8255 ตัวเดียวกัน ใช้พอร์ท A ส่งข้อมูล 8 บิทที่ต้องการจะพิมพ์ออกไปสู่เครื่องพิมพ์ สำหรับสัญญาณ STROBE ที่ใช้กำหนดจังหวะของข้อมูล จะส่งออกทางพอร์ท C และสัญญาณ BUSY จาก

เครื่องพิมพ์ จะต่อเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ ผ่านทางพอร์ท C เช่นเดียวกัน

3.7 การประกอบวงจรและทดลอง

เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้ทดลองสร้างขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย แผงวงจรหลักจำนวน 4 แผง คือ

1. บอร์ดอินพุท ประกอบด้วย สวิทช์มัลติเพลกเซอร์ วงจรถอดรหัสสวิทช์บริดจ์และวงจรวัด บอร์ดอินพุทที่สร้างขึ้นเพื่อทดลองนี้ ได้ทำเฉพาะบอร์ดอินพุทสำหรับหัววัดแบบกระเปาะความต้านทาน สำหรับบอร์ดอินพุทสำหรับหัววัดที่เป็นเทอร์โมคับเปิ้ล จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน จะแตกต่างตรงวงจรวัด และวงจรชดเชย จุดอ้างอิง

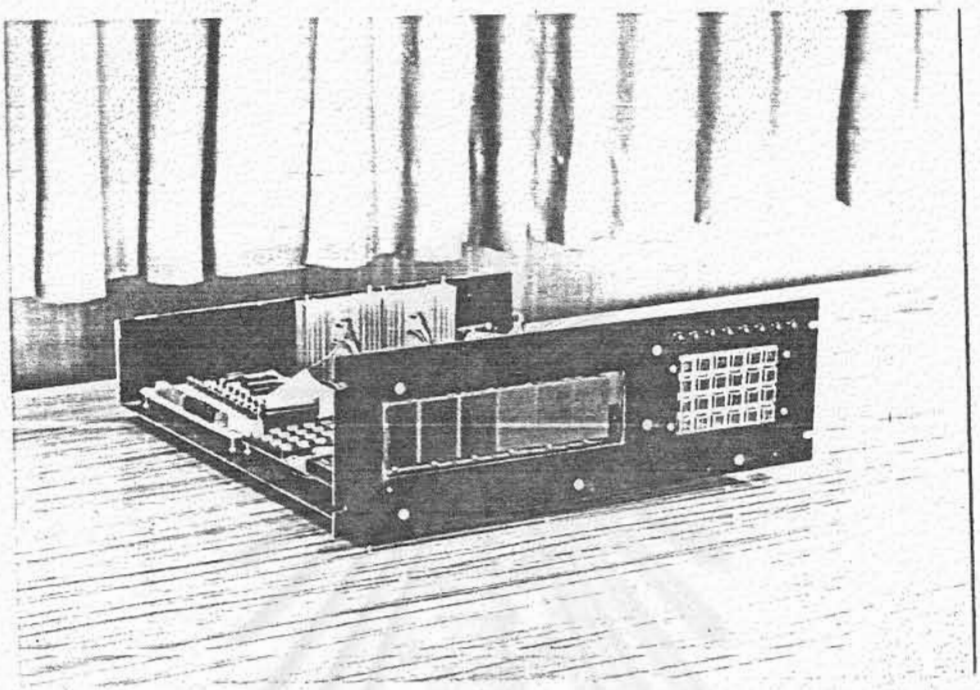
2. บอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ ใช้บอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ MPF-I ซึ่งนำมาดัดแปลงเล็กน้อย ได้แก่การต่อสายสัญญาณการถอดรหัส I/O address มาที่ซอกเกตเพื่อนำไปใช้งาน การต่อแหล่งจ่ายไฟ 5 V 1 A เข้าเลี้ยงไอซีโดยไม่ผ่าน IC regulator บนบอร์ด การต่อแบตเตอรี่แบบ NiCd เข้าเลี้ยง RAM เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล เมื่อไฟดับกระทันหัน

3. บอร์ด A/D converter และวงจร I/O ต่าง ๆ เป็นบอร์ดที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในงานหลายงาน ภายในบอร์ดจะประกอบด้วย วงจรที่สำคัญหลายวงจร คือ วงจร 12 bit A/D converter วงจรอินเตอร์เฟส เครื่องพิมพ์ วงจรนาฬิกา วงจร UART และวงจรควบคุม มัลติเพลกเซอร์ บอร์ดนี้จะเชื่อมต่อกับบอร์ด MPF-I โดยสายริบบอน 40 เส้น (ribbon cable) 2 สาย

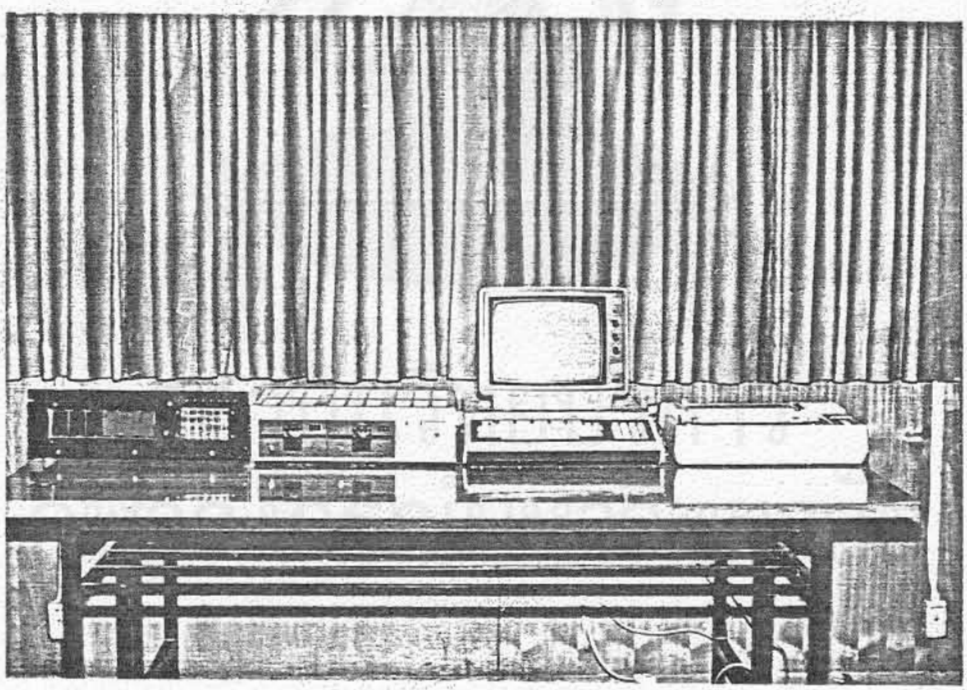
4. บอร์ดแสดงผลและแป้นกดข้อมูล เป็นบอร์ดที่พัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้แทนหน่วยแสดงผลข้อมูลและแป้นกดข้อมูลของบอร์ด MPF-I ซึ่งมีขนาดเล็กและลักษณะวงจรไม่เหมาะกับการใช้งานในโครงการ บอร์ดนี้จะมีหน่วยแสดงผลด้วย LED ขนาดใหญ่ และลดจำนวนแป้นกดข้อมูลลงเท่าที่จำเป็นต้องใช้ บอร์ดนี้จะเชื่อมต่อกับบอร์ด MPF-I ด้วย สายริบบอน 40 เส้น โดยต่อเชื่อมที่ซอกเกตไอซี 8255 บนบอร์ด MPF-I ถอด 8255 มาใส่บนบอร์ดแสดงผล

รูป 3.14 เป็นรูปถ่ายของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ทดลองสร้างขึ้น

รูป 3.15 เป็นรูปถ่ายของเครื่องพร้อมกับเครื่องพิมพ์ และเครื่องไมโคร-



รูปที่ 3.14 เป็นรูปถ่ายของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ทดลองสร้างขึ้น



รูปที่ 3.15 เป็นรูปถ่ายของเครื่องพร้อมกับเครื่องพิมพ์และเครื่องไมโคร-คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ ที่ใช้ติดต่อรับส่งข้อมูลกับเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่สร้างขึ้น

การทดสอบและปรับแต่งวงจรมีขั้นตอนดังนี้

1. ทดสอบวงจรวัดอุณหภูมิในบอร์ดอินพุท

ต่อ decade resistance box ความแม่นยำ 0.01 % เข้าแทนหัววัดชนิดกระเปาะความต้านทาน แปรค่าจาก 100 Ω ถึง 177.13 Ω เพื่อปรับ zero และ span ของวงจร และวัดสัญญาณออกของวงจร เทียบกับค่าความต้านทาน การต่อความต้านทาน ใช้วิธีต่อแบบสามสายให้เหมือนกับกระเปาะความต้านทาน การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจเช็คการทำงานของวงจรวัด ความแม่นยำ และความเป็นเชิงเส้นของวงจรวัด

2. ทดสอบลักษณะทางอุณหภูมิของวงจรวัด

ต่อวงจรเหมือนในข้อ 1 นำเอาบอร์ดอินพุทใส่ในเตาอบที่อุณหภูมิห้อง ตั้งค่าความต้านทานคงที่ วัดดูแรงดันขาออกของวงจรวัด เพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 50°C ในขณะเดียวกันวัดดูการเปลี่ยนแปลงในแรงดันขาออกของวงจรวัดนั้น การทดลองนี้มีจุดประสงค์จะตรวจเช็ค การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (temperature drift) ของวงจรวัด ปรากฏว่าวงจรวัด มี drift 120 ppm/°C ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้

3. ทดสอบวงจร A/D converter

ป้อนแรงดัน 0-2 V เข้าที่วงจร A/D converter เขียนโปรแกรมทดสอบง่าย ๆ เพื่ออ่านค่าจาก A/D converter ปรับ full scale ของ A/D converter ได้อ่านค่า 4095 เมื่อแรงดันขาเข้าเท่ากับ 2 V ตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรโดยการแปรแรงดันขาเข้า จาก 0-2 V จากนั้นทดสอบลักษณะสมบัติทางอุณหภูมิของวงจร ผลของการทดสอบปรากฏว่าได้ตามข้อกำหนดที่ผู้ผลิตบอกมา นอกจากนั้นยังเขียนโปรแกรมง่าย ๆ เพื่อตรวจเช็คเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ปรากฏว่าได้ 90 mS ต่อการแปลงสัญญาณหนึ่งรอบ

4. ทดสอบเพื่อหาเวลาการปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์

เมื่อออกคำสั่งให้รีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์จะปิดสนิทหลังจากการออกคำสั่งโดยมีเวลาหน่วงเล็กน้อย การทดสอบทำโดยเชื่อมต่อบอร์ดทั้งหมด

เข้าด้วยกัน เขียนโปรแกรมง่าย ๆ ให้สั่งรีเลย์ทำงาน หน่วงเวลาเล็กน้อย แล้วสั่งวงจร A/D ทำงานลองแปรค่าเวลาหน่วงนี้และบันทึกผลที่วัดได้ เวลาหน่วงถ้าเกินค่า ๆ หนึ่งการแสดงผลจะไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่ารีเลย์ใช้เวลาในการปิดหน้าสัมผัสเท่ากับเวลาหน่วงนั้น ลองทดลองกับรีเลย์ทุกตัว เพื่อดูค่าเวลาหน่วงที่ถูกต้อง ผลการทดลองปรากฏว่า เวลาหน่วงมีค่าเท่ากับ 10ms มากกว่าข้อกำหนดที่ผู้ผลิตบอกมาถึง 10 เท่า

5. ทดสอบวงจรอินเตอร์เฟสต่าง ๆ

เขียนโปรแกรมง่าย ๆ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมมัลติ-เพลกเซอร์ วงจรอินเตอร์เฟสเครื่องพิมพ์ วงจรนาฬิกา ลองต่อบัส RS-232C เข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ แล้วลองเขียนโปรแกรมรับส่งข้อมูลระหว่างกัน เป็นการทดสอบวงจร UART อัตราในการส่งข้อมูลได้ตั้งไว้คงที่ ที่ 2400 บิทต่อวินาที สำหรับวงจรอื่น ๆ เช่น วงจรแสดงผล และแป้นกดข้อมูล ก็ใช้วิธีการเขียนโปรแกรมง่าย ๆ ขึ้น แล้วตรวจเช็คการทำงานว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่ ได้ทดสอบและแก้ไขวงจรจนวงจรทั้งหมดทำงานถูกต้อง

ขั้นตอนการทดสอบวงจร ปรับแต่งและแก้ไขนี้เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลามากในการวิจัยนี้ หลายวงจรต้องออกแบบใหม่เพื่อให้ทำงานอย่างถูกต้องตามที่วางข้อกำหนดไว้ เมื่อวงจรทุกวงจรทำงานถูกต้อง ขั้นตอนต่อไป คือการพัฒนาโปรแกรมควบคุมเพื่อให้เครื่องทำงานตามจุดประสงค์

6. การพัฒนาซอฟท์แวร์

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาซอฟท์แวร์ของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ คือ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ Apple II ซึ่งประกอบด้วย CPU,Keyboard CRT Monitor 5¼"disc drive จำนวน 2 เครื่อง และเครื่องพิมพ์ สำหรับซอฟท์แวร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรมคือ SC Z-80 MACRO Assembler วิธีการพัฒนา คือ การพิมพ์โปรแกรมซึ่งเขียนด้วยภาษา Z-80 Assembly เข้าที่เครื่อง Apple II จากนั้นใช้ SC MACRO Assembler แปลโปรแกรมนั้นเป็นรหัสไบนารี่ซึ่งเป็นภาษาเครื่อง (machine language) ของ Z-80 ถ่ายรหัสไบนารี่นั้นเข้าไปในเครื่องโปรแกรม EPROM ได้ EPROM

ซึ่งภายในบรรจุโปรแกรมควบคุม จากนั้นนำไปเปลี่ยนใส่ในบอร์ด MPF-I ของเครื่อง แล้วลองทดลองดูถ้ามีข้อผิดพลาดก็ทำการแก้ไขหรือเพิ่มเติมโปรแกรม โดยใช้แป้นกดข้อมูลของ MPF-I

โปรแกรมควบคุมที่เขียนขึ้นมานี้ ได้เขียนเฉพาะส่วนที่สำคัญ เพื่อให้เครื่องทำงานได้ในหน้าที่จำเป็นเท่านั้น การพัฒนาโปรแกรมต้องอาศัยเวลาและต้องมีการพัฒนาไปอีก เพื่อให้ได้โปรแกรมที่สมบูรณ์ และมีความสามารถในการทำงานสูงขึ้น โปรแกรมจะเป็นสิ่งที่กำหนดความสามารถของเครื่อง โปรแกรมที่มีรายละเอียดมากจะเพิ่มความสามารถของเครื่องมากขึ้น การวิจัยและพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิยังต้องทำต่อไป ในเรื่องของการพัฒนาซอฟท์แวร์นี้

3.8 โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง

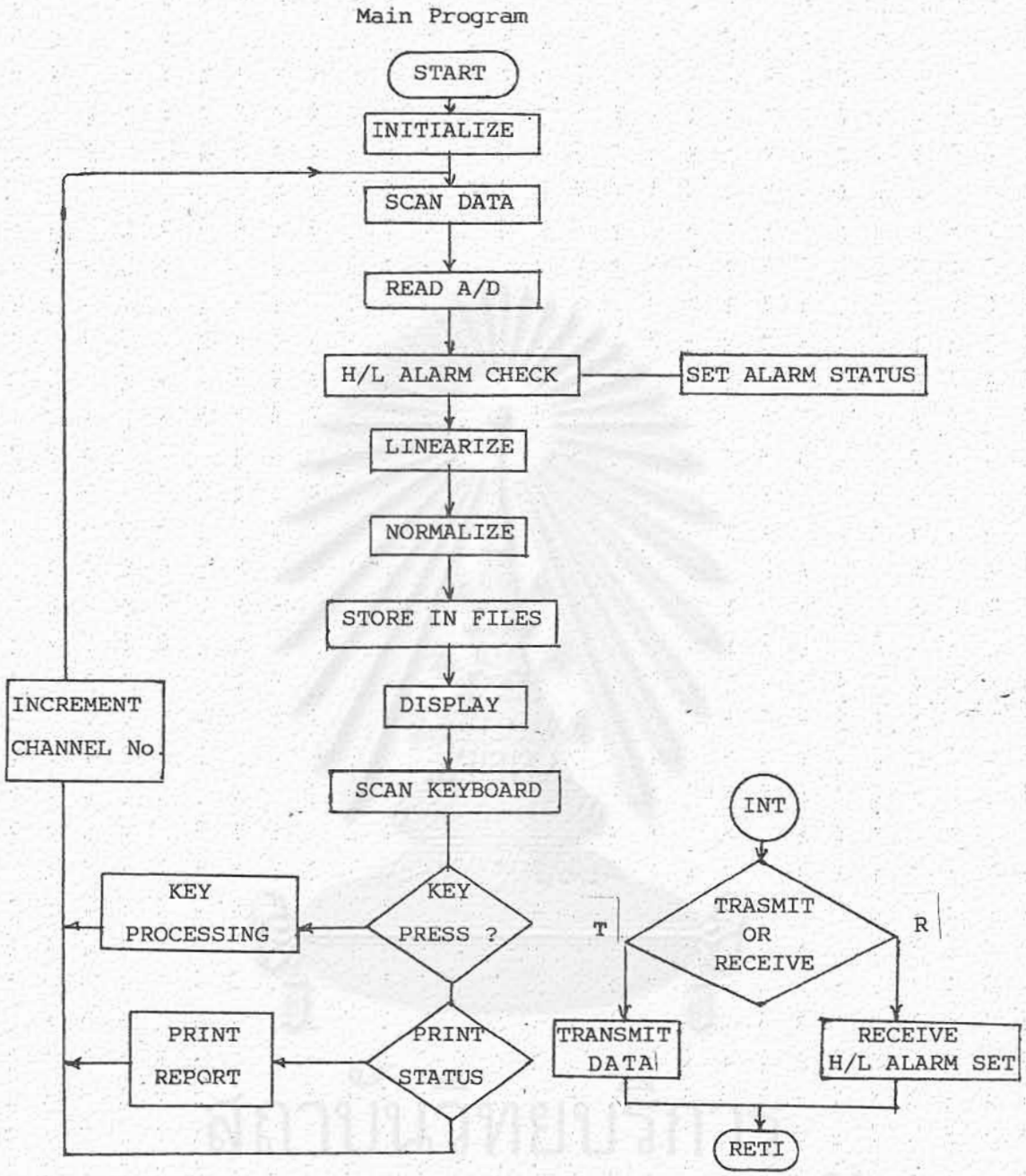
ฟังก์ชั่นของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิจะถูกกำหนดโดยโปรแกรมควบคุม โปรแกรมควบคุมนี้จะถูกเขียนด้วยภาษาเครื่อง (machine language) และอัดเก็บไว้ใน EPROM ซึ่งเป็นหน่วยความจำสำคัญของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ โปรแกรมควบคุมที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมินี้ จะมีโปรแกรมสำคัญของระบบเท่าที่จำเป็นเท่านั้น สำหรับในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงโฟลท์ชาร์ทของโปรแกรม memory map I/O map และหน้าที่ของโปรแกรมย่อยต่าง ๆ สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ให้ไปดูในภาคผนวก (ข)

3.8.1 โฟลท์ชาร์ท

รูป 3.16 แสดงโฟลท์ชาร์ทของโปรแกรมหลัก (mainprogram) ซึ่งอธิบายขั้นตอนการทำงานของเครื่องทีละขั้นตอน เมื่อเปิดเครื่องครั้งแรกจะเข้าสู่ภาคแรกของโปรแกรม ได้แก่การเซทค่าเริ่มแรกต่าง ๆ ให้กับวงจรต่าง ๆ (intialijation) จากนั้นจึงจะเข้าสู่โปรแกรมการทำงานหลักที่วนเป็นวงรอบ เริ่มต้นจากการสแกนข้อมูล (scan data) เลือกเบอร์ช่องอ่านข้อมูลการวัดจากวงจรแปลงสัญญาณ (read A/D) นำข้อมูลดิบที่อ่านได้นี้เข้ามาเปรียบเทียบกับค่า high/low alarm ที่กำหนดไว้ (H/L alarm check) ถ้าข้อมูลไม่อยู่ในช่องที่กำหนดให้ส่งสัญญาณออกไปที่หน่วยเตือนภัย และเซทสถานะว่าเกิด alarm ได้

(set alarm status) จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณตามกรรมวิธีการทำเป็นเชิงเส้น (lineari ation) และการแปลงหน่วยออกมาเป็นองศาเซลเซียส (normalization) ผลจากการคำนวณนี้จะเป็นข้อมูลที่พร้อมจะนำไปใช้งาน ขั้นตอนต่อไปคือการนำเอาข้อมูลนี้ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำตามรูปแบบที่กำหนด (store data in files) ต่อไปก็ไปแสดงผลที่หน่วยแสดงผลตามคำสั่งที่กดตามปุ่มกด (display data) ก่อนจะจบการทำงานในวงรอบ จะต้องทำการตรวจสอบว่ามีการกดปุ่มที่แป้นกดข้อมุลหรือไม่ และจะต้องมีการพิมพ์รายงานออกที่เครื่องหรือไม่ ถ้ามีการกดปุ่มจะอ่านรหัสของปุ่มนั้น และทำงานตามที่ปุ่มนั้นต้องการ (key processing) และถ้ามีการพิมพ์จะส่งข้อมูลออกไปทางเครื่องพิมพ์เพื่อพิมพ์รายงานนั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.16 โฟลชาร์ทของโปรแกรมควบคุม

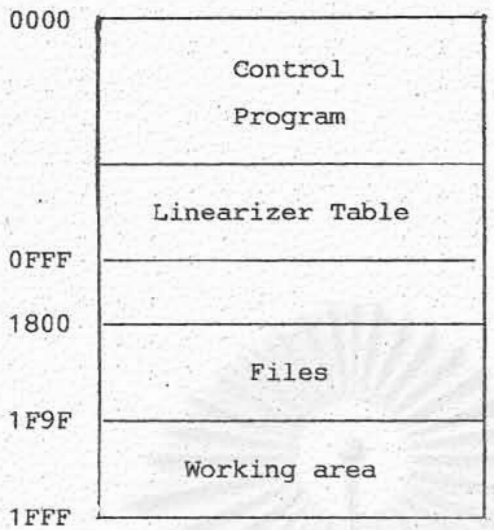
ในกรณีที่มีการติดต่อจากไมโครคอมพิวเตอร์ UART จะอินเตอร์รัพท์ CPU ทำให้ CPU กระโดดมาทำงานที่อินเตอร์รัพท์โปรแกรม ซึ่งได้แก่โปรแกรมที่จัดการเรื่องการรับส่งข้อมูลกับไมโครคอมพิวเตอร์ภายนอก ข้อมูลที่ติดต่อได้แก่ การส่งข้อมูลของจุดวัดทุกจุด หรือรับข้อมูลการเซทค่า High/Low alarm จากไมโครคอมพิวเตอร์

การทำงานแต่ละขั้นตอนนี้ได้เขียนโปรแกรมย่อยไว้ในลักษณะของโมดุล (module) ซึ่งสะดวกในการใช้งาน และแก้ไขโปรแกรมในภายหลัง

3.8.2 Memory map และ I/O map

รูป 3.17 เป็น memory map ของโปรแกรมควบคุม โปรแกรมควบคุมจะเก็บไว้ใน EPROM เริ่มต้นจากแอดเดรส 0000H จนถึง IFFFH ส่วนท้ายของโปรแกรมจะเป็นตารางข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการทำเป็นเชิงเส้นสำหรับหัววัดชนิดต่าง ๆ สำหรับครั้งนี้ได้จัดเตรียมตารางสำหรับหัววัดชนิดกระเปาะความต้านทานเท่านั้น การเก็บข้อมูลชั่วคราวจะเก็บไว้ใน RAM ตามแอดเดรสที่แสดงในรูป เนื้อที่ส่วนใหญ่จะใช้เป็นไฟล์สำหรับเก็บข้อมูลที่วัดได้ และเนื้อที่บางส่วนจะเป็นเนื้อที่ใช้งานของโปรแกรมควบคุม (working area) ได้แก่การเก็บสถานะ เก็บข้อมูลการพิมพ์ ข้อมูลการแสดงผล ข้อมูลการกดปุ่ม และสแตค (stack) ของโปรแกรม เป็นต้น

รูป 3.18 เป็น I/O map ของระบบ วงจรรายรอบต่าง ๆ เช่น PIA CTC PIO UART จะมีแอดเดรสของตนเอง เมื่อ CPU ต้องการจะติดต่อจะต้องติดต่อโดยการส่งสัญญาณออกมาที่แอดเดรสที่ถูกต้อง จากรูปเห็นว่าถ้าต้องการแสดงผลที่หน่วยแสดงผลจะต้องส่งข้อมูลออกไปที่พอร์ท B และ C ของ PIA ซึ่งมีแอดเดรส 01H และ 02H ตามลำดับ ถ้าต้องการส่งข้อมูลออกไปที่เครื่องพิมพ์ จะต้องส่งข้อมูลออกทางพอร์ท A ของ PIA ซึ่งมีแอดเดรส CSH เป็นต้น



รูป 3.17 Memory map ของระบบ

I/O address	detail	device
00 01 02 03	Port A Key board data in Port B 7 segment data out to display Port C digit select and keyboard scan Control	8255
40	CTCO Clock divider for UART	CTC
80 81 82 83	PIO DA Low byte data from A/D PIO DB High byte data from A/D PIO CA PIO CB	PIO
CO	Start A/D	555
C4 C5	Control UART data	8251
C8 C9 CA CB	Port A data to printer Port B Clock control Port C data to clock and printer control Control	8255
CC CD CE CF	Port A Switch code Port B alarm Port C not use Control	8255

รูป 3.18 I/O map ของระบบ

3.9 การประยุกต์ใช้เป็นระบบวัดและบันทึกข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรม

เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมานี้ครั้งแรก ใช้ทดลองในห้องวิจัย ต่อมาได้ปรับปรุงระบบเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นระบบวัดและบันทึกข้อมูล ควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์ และเพื่อใช้ทดลองและทดสอบสมรรถนะของเครื่อง

ที่โรงงานเหยิ่น โพลิเอสเตอร์ ซึ่งเป็นโรงงานผลิตในสังเคราะห์ ใช้เป็นวัตถุดิบในการทอผ้า มีระบบวัดและบันทึกข้อมูลระบบเก่าอยู่ระบบหนึ่ง เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Yokogawa Electric Work รุ่น DSM-100 มีความสามารถในการสแกนข้อมูลถึง 200 จุดวัด ซึ่งประกอบด้วยจุดวัดอุณหภูมิ ความดัน ความถี่และสัญญาณเปิด ปิดของตัวตรวจวัดต่าง ๆ [13] ระบบวัดและบันทึกนี้เป็นระบบเก่าที่มีความสามารถเพียงวัดและพิมพ์ข้อมูลออกมาที่เครื่องพิมพ์เท่านั้น ในขณะทำการทดลองระบบนี้ไม่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง จึงได้ทำการนำเอาเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้ทดลองสร้างขึ้นเข้าไปติดตั้งใช้งานแทน โดยใช้อุปกรณ์บางส่วนของระบบเก่า คือ ส่วนที่เป็นหัววัด ส่วนที่เป็นสวิทช์ และส่วนที่เป็นวงจรวัด ส่วนที่เครื่องวัดและบันทึกเข้าไปทำงานแทนได้แก่ส่วนที่เป็นการควบคุมการสแกน การอ่านข้อมูลและระบบไมโครคอมพิวเตอร์ รูป 3.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบใหม่ทั้งหมด ส่วนที่เป็น switch select เป็นวงจรใหม่ที่ทำขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของกลุ่ม สวิทช์เดิมของระบบที่แตกต่างจากระบบที่เคยออกไปได้ สำหรับ group switch select ก็ได้จากการนำเอาบอร์อินพุทมาแก้ไขเพื่อใช้งานแทน องค์ประกอบของระบบที่เหลือจะเหมือนเดิม สำหรับโปรแกรมควบคุมได้จัดเขียนใหม่เพื่อให้หมาะกับระบบที่กำลังควบคุมอยู่[14]

เนื่องจากข้อมูลในการวัดมีมากถึง 200 จุด เวลาในการสแกนข้อมูลหนึ่งรอบจึงนานถึง 30 วินาที ข้อมูลแต่ละจุดจะมีหน่วยแตกต่างกัน มีการเซทค่า high/low alarm แตกต่างกัน ทำให้การเขียนโปรแกรมควบคุมซ้ำซ้อน และหน่วยความจำภายในไม่พอ จึงทำการต่อเชื่อมระบบวัดและบันทึกข้อมูลนี้กับไมโครคอมพิวเตอร์ ข้อมูลการวัดทุกจุดจะถูกส่งเข้าไปในไมโครคอมพิวเตอร์อยู่ตลอดเวลา เมื่อข้อมูล

รูป 3.19 บล็อกไดแกรม ระบบจัดแสดงมัลติมีเดียในโรงงาน.

มาถึงไมโครคอมพิวเตอร์จะมีโปรแกรมที่จะนำข้อมูลมาแสดงผลบนจอภาพบ้าง นำข้อมูลออกมาพิมพ์รายงานบ้าง นำข้อมูลเก็บใช้ในจานแม่เหล็กบ้าง และนำข้อมูลมาทำการคำนวณเพื่อให้ได้ผลที่จะใช้ในการวิเคราะห์โปรเซส(15)

ข้อดีของระบบวัดและบันทึกข้อมูลควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์ คือ

1. การสแกนข้อมูลใช้เครื่องวัดและบันทึก การประมวลผลข้อมูลใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นการแบ่งแยกหน้าที่กัน และมีการสื่อสารข้อมูล
2. การเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลข้อมูล โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถเขียนด้วนภาษาชั้นสูง เช่นภาษา Basic ทำให้ง่ายต่อการพัฒนา
3. สามารถเขียนโปรแกรม และเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมประมวลผลข้อมูลได้ง่าย ทำให้ฟังก์ชั่นของทั้งระบบสามารถขยายได้มากขึ้นไปอีก
4. การสื่อสารข้อมูลระหว่างสองระบบไม่ได้ทำอยู่ตลอดเวลา ในช่วงไม่ใช้งานสามารถนำไมโครคอมพิวเตอร์ไปใช้ในงานอื่นได้

3.10 บทสรุปและการวิจัยขั้นตอนต่อไป

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองสร้างเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิจากหัววัดชนิดกระเปาะความต้านทานได้พร้อมกันหลายจุดสูงสุดถึง 160 หัววัด ความแม่นยำของระบบ คือ 0.1 % ของค่าสูงสุด ภายในควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ควบคุมการสแกนหัววัดโดยการควบคุมกลุ่มสวิทช์ที่เป็นวัดรีเลย์ ค่าวัดจะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขขนาด 12 บิท ในระบบไมโครคอมพิวเตอร์มีวงจรอินเตอร์เฟสกับวงจรรายรอบต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องพิมพ์ นาฬิกา บัส RS-232C หน่วยแสดงผล แป้นกดข้อมูล และหน่วยเตือนภัย ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมควบคุมให้ระบบจนทำให้ระบบมีฟังก์ชั่นตามที่ต้องการ ได้ทำการดัดแปลงเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมินี้ เพื่อนำไปติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง เพื่อใช้งานเป็นระบบวัดและบันทึกข้อมูลเป็นการทดสอบสมรรถนะของระบบ

เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมายังมีจุดที่เป็นปัญหา จะต้องแก้ไขและทำการปรับปรุงเพื่อให้สมรรถนะการทำงานให้ดีขึ้นอีก ดังนี้

1. วงจรมัลติเพลกเซอร์ซึ่งเป็นรีดรีเลย์จะมีข้อเสียตรงความเร็วในการทำงานช้า และอายุการใช้งานสั้น ควรทำการศึกษาอะนาลอกสวิทช์ ซึ่งได้รับการพัฒนาอย่างมากในปัจจุบันเข้าใช้งานแทน เพื่อแก้ปัญหาซึ่งเป็นจุดอ่อนของรีดรีเลย์ อะนาลอกสวิทช์จะมีขนาดเล็กและมีความเร็วในการทำงานสูง จะทำให้แก้ปัญหาเรื่องความล่าช้าในการสแกนข้อมูลของระบบได้

2. ออกแบบวงจรขยายในภาควงจรวัดใหม่ ให้เป็นวงจรขยายแบบโปรแกรมอัตราขยายได้ (programmable gain amplifier) เพื่อให้สามารถต่อกับหัววัดและสัญญาณวัดได้หลายชนิดพร้อม ๆ กัน โดยให้ทางไมโครคอมพิวเตอร์ส่งรหัสควบคุมอัตราขยายของวงจรขยายอีกทีหนึ่ง ถ้าเป็นระบบเช่นนี้จะเป็นการลดองค์ประกอบวงจรลง ในระบบจะมีวงจรขยายสำหรับสัญญาณเข้าเพียงวงจรเดียวใช้ร่วมกัน การชดเชยออฟเซทของวงจรขยายสามารถทำโดยใช้ซอฟท์แวร์ช่วยได้

3. พัฒนาซอฟท์แวร์ หรือโปรแกรมควบคุมของระบบให้มีฟังก์ชั่นเพิ่มขึ้นไปอีก เช่น การกำหนดชนิดของหัววัด การกำหนดช่วงของการวัดของแต่ละหัววัด การแยกชนิดของเทอร์โมคับเปิ้ล ซึ่งต้องใช้ตารางข้อมูลการทำเป็นเชิงเส้นต่างกัน ความสามารถในการเซทช่วงเวลาในการพิมพ์รายงานโดยเลือกพิมพ์เฉพาะบางหัววัด ควรคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิจากค่าวัดในช่วงเวลาก่อนหน้านี้ เป็นต้น

3.11 เอกสารอ้างอิง

1. WG.Andrew "Applied Instrumentation in the Process Industries" Vol.1 Gulf publishing Company 1974.

2. Transistor Technique editorial staff "Sensor I Interfacing Vol.1" C.Q.Publishing 1982 (Japanese)

3. กฤษดา วิศวธีรานนท์, ยืน ภู่สุวรรณ "ไมโครโปรเซสเซอร์" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2526

4. "Digital Recorder Catalog" CHINO Japan 1982

5. "Fluke Catalog" FIUKE USA 1983

6. อนุกรรมการโครงการเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม "Process Instrumentation Theory and Practice Vol.1 Measurement"

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2526

7. National Semiconductor "Linear data book" 1982

8. OMRON "Automation parts catalog" 1982

9. INTERSIL "Intersil data book" 1982

10. Multitech Industrial Corporation "Micro-Professor MPF-I user's and experiment manual" 1981

11. Intel Corp "Component data catalog" 1979

12. OKI DENKI "OKI LSI data book" 1982

13. Yokogawa Electric Work "Instruction Manual for Type DSH-1000 Digital Scanning Monitor" INSM05-178IE

14. เกรียงศักดิ์ แซ่กัง รายงานโครงการเรื่อง "ระบบวัดและบันทึกข้อมูลควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527

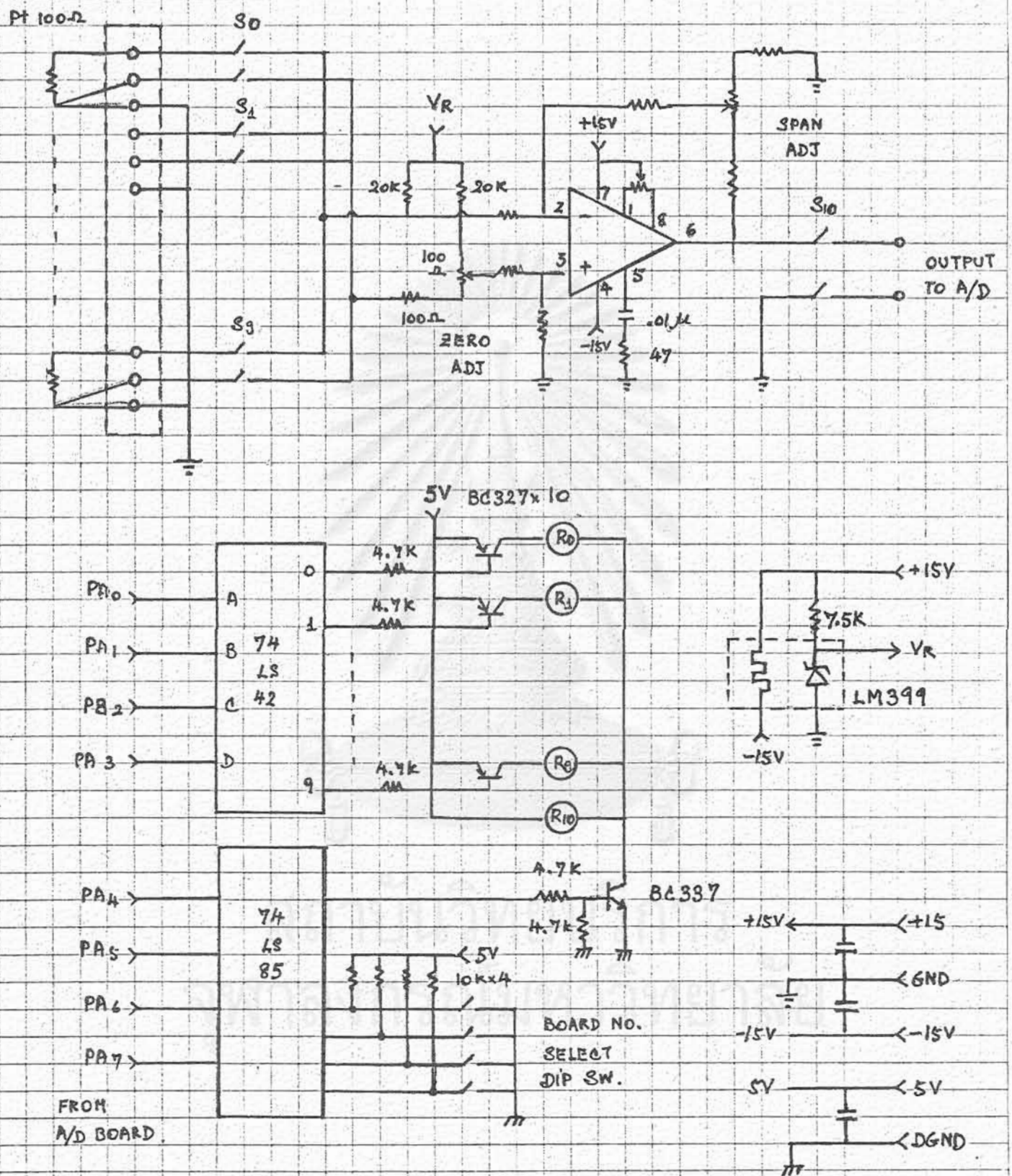
15. เรวัตร์ ลี้ภัยสมบูรณ์ รายงานโครงการเรื่อง "การเขียนโปรแกรมสำหรับระบบวัดและบันทึกข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรม" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

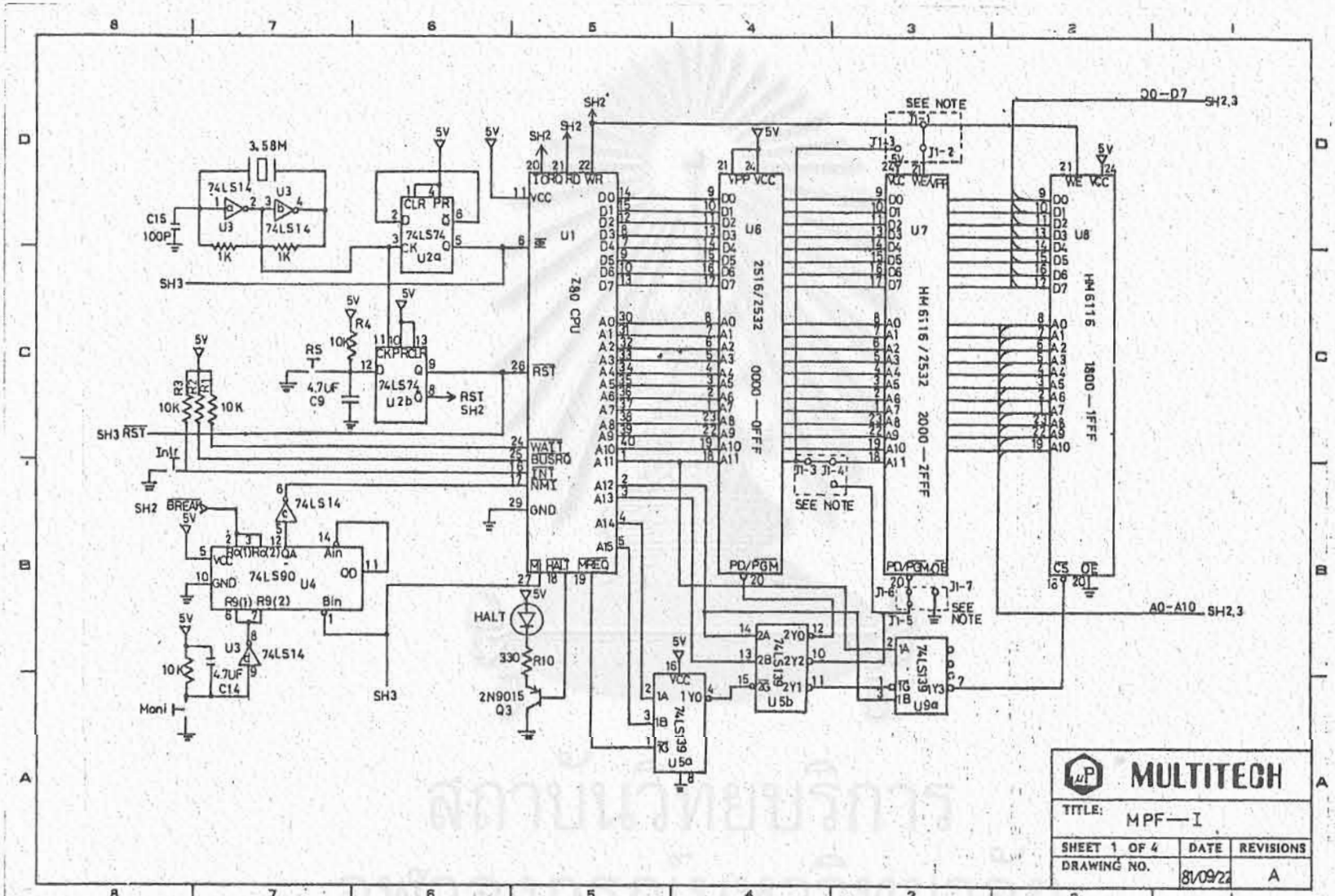
ภาคผนวกที่ 3.1

CIRCUIT DIAGRAM

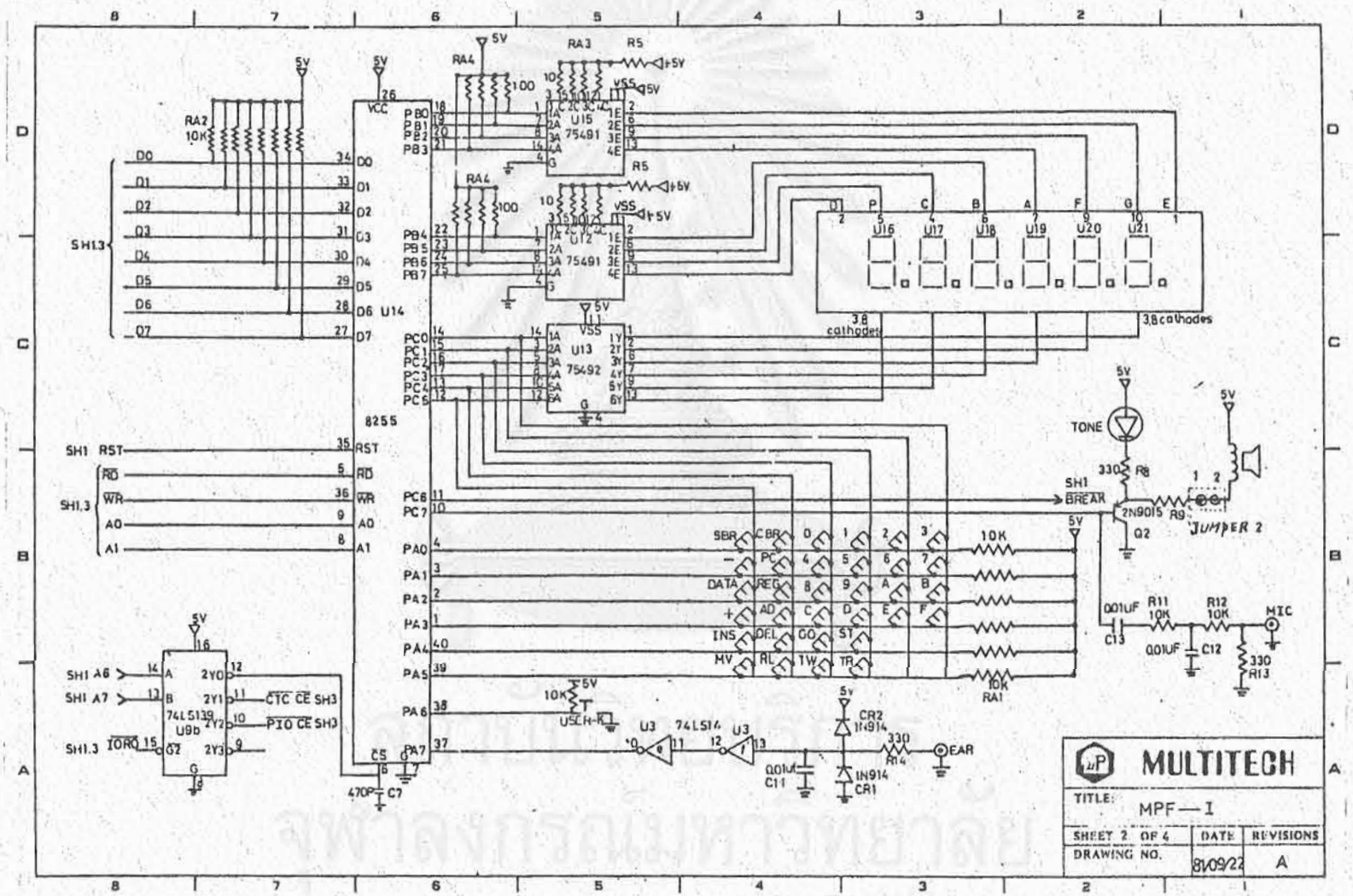
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

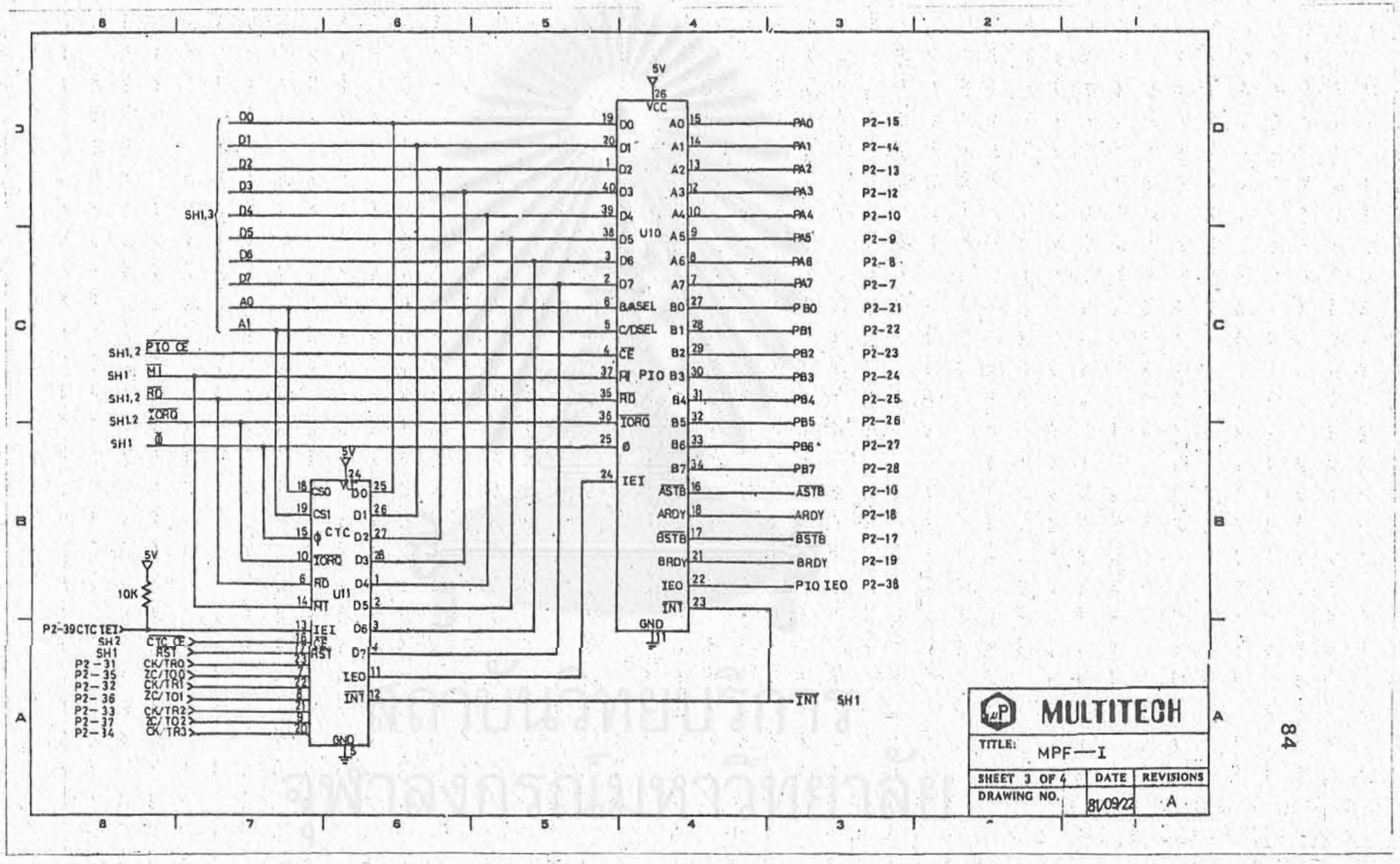


INPUT BOARD CIRCUIT.



SINGLE BOARD MICROCOMPUTER CIRCUIT


MULTITECH
TITLE: MPF — I
SHEET 2 OF 4
DRAWING NO.
DATE
8/09/22
REVISIONS
A
8255
U14
U15 75491
U12 75491
U13 75492
U16 U17 U18 U19 U20 U21
3.8 cathodes
RA1 10K
RA2 10K
RA3 R5
RA4 100
TONE
JUMPER 2
MIC
EAR
2N9015 Q2
IN914 CR1
IN914 CR2
74LS139 U9b
74LS14 U3
USER-R
470P C7
0.01uF C11
0.01uF C12
0.01uF C13
R8 330
R9
R11 10K
R12 10K
R13 330
R14 330

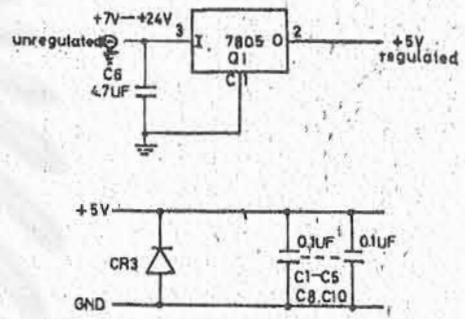

MULTITECH
TITLE: MPF—I
SHEET 3 OF 4
DRAWING NO.
DATE
81/09/22
REVISIONS
A
U10
U11
PIO
CTC
10K
5V
GND
INT SH1
PIO IEO P2-38
P2-39 CTC IEI

P1 PIN FUNCTION

PIN NO	SIGNAL	PIN NO	SIGNAL
1	A11	21	A10
2	A12	22	A9
3	A13	23	A8
4	A14	24	A7
5	A15	25	A6
6	$\overline{M1}$	26	A5
7	D4	27	A4
8	D3	28	A3
9	D5	29	A2
10	D6	30	A1
11	NC	31	A0
12	D2	32	GND
13	D7	33	$\overline{RFSH}$
14	D0	34	$\overline{MT}$
15	D1	35	$\overline{RESET}$
16	$\overline{INT}$	36	$\overline{BUSRQ}$
17	$\overline{NMI}$	37	$\overline{WAIT}$
18	$\overline{HALT}$	38	$\overline{BUSAK}$
19	$\overline{MREQ}$	39	$\overline{WR}$
20	$\overline{IORQ}$	40	$\overline{RD}$

P2 PIN FUNCTION

PIN NO	SIGNAL	PIN NO	SIGNAL
1	NC	21	PB0
2	NC	22	PB1
3	NC	23	PB2
4	NC	24	PB3
5	NC	25	PB4
6	NC	26	PB5
7	PA7	27	PB6
8	PA8	28	PB7
9	PA5	29	NC
10	PA4	30	GND
11	GND	31	CK/TR0
12	PA3	32	CK/TR1
13	PA2	33	CK/TR2
14	PA1	34	CK/TR3
15	PA0	35	ZC/TO0
16	$\overline{ASTB}$	36	ZC/TO1
17	$\overline{BSTB}$	37	ZC/TO2
18	ARDY	38	PIO IEO
19	BRDY	39	CTC IEI
20	NC	40	NC



NOTE: 1. U7 is optional, it may be 2516, 2716, 2532, 2732, 6116

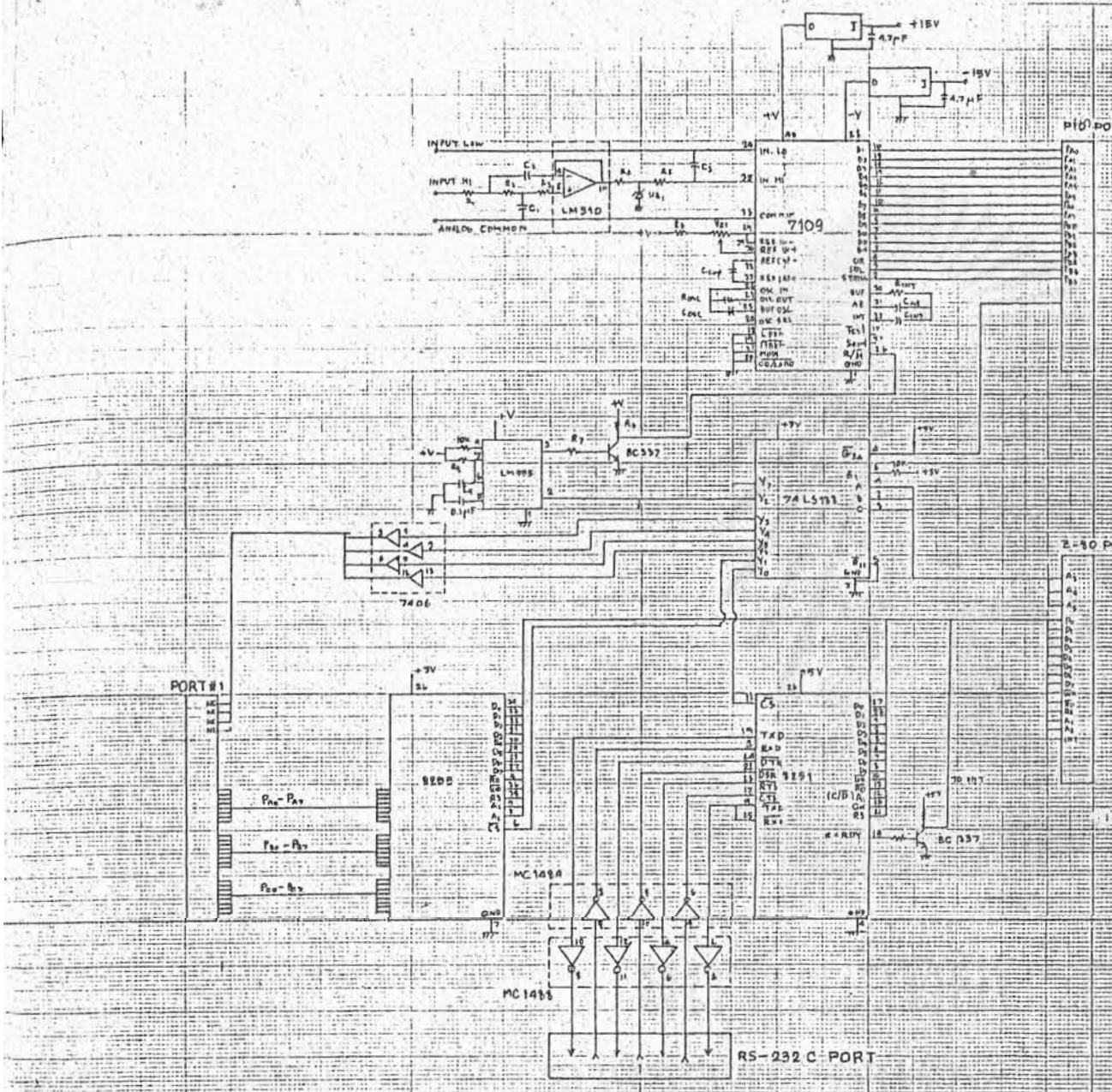
2. Jumper 1 is used for selecting certain memory type

Memory Type	Memory Address	Cuts	Jumpers
2516 2716	2000-27FF	NIL	NIL
2532	2000-2FFF	NIL	NIL
2732	2000-2FFF	PIN1 TO PIN2	PIN2 TO PIN3
		PIN3 TO PIN4	PIN4 TO PIN5
		PIN5 TO PIN6	PIN6 TO PIN7
6116	2000-27FF	PIN3 TO PIN4	PIN4 TO PIN5

MULTITECH

TITLE: PF—I		
SHEET 4 OF 4	DATE	REVISIONS
DRAWING NO.	81/09/22	A

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รายละเอียด

1. รายละเอียดของ PORT ต่างๆ เป็นดังนี้

ตำแหน่งของขา	PIO PORT	Z-80 PORT	PORT#1	ตำแหน่งของขา	PIO PORT	Z-80 PORT	PORT#1
1	NC	A_{11}	PA_4	21	PB_0	A_{10}	PA_3
2	NC	A_{12}	PA_5	22	PB_1	A_8	PA_2
3	NC	A_{13}	PA_6	23	PB_2	A_9	PA_1
4	NC	A_{14}	PA_7	24	PB_3	A_7	PA_0
5	NC	A_{15}	NC	25	PB_4	A_6	NC SEL3
6	NC	ϕ	CTC/IEO	26	PB_5	A_5	NC SEL2
7	PA_3	D_6	PIO/IEO	27	PB_6	A_4	NC SEL1
8	PA_2	D_5	ZC/TO2	28	PB_7	A_3	NC A
9	PA_1	D_4	ZC/TO1	29	INC	A_2	NC B
10	PA_0	D_3	ZC/TO0	30	GND	A_1	PC7
11	GND	NC	CK/TR3	31	CK/TR0	A_0	PC6
12	PA_3	D_2	CK/TR2	32	CK/TR1	GND	PC5
13	PA_4	D_1	CK/TR1	33	CK/TR2	$\overline{RFSA}$	PC4
14	PA_5	D_0	CK/TR0	34	CK/TR3	$\overline{M_1}$	PC0
15	PA_6	D_1	NC	35	ZC/TO0	$\overline{RESET}$	PC1
16	$\overline{ASTB}$	$\overline{INT}$	PB_7	36	ZC/TO1	$\overline{BUSRQ}$	PC2
17	$\overline{DSTB}$	$\overline{NMI}$	PB_6	37	ZC/TO2	$\overline{WAIT}$	PC3
18	ARDY	$\overline{HALT}$	PB_5	38	PIO IEO	$\overline{BUSAK}$	PB0
19	BRDY	$\overline{MREQ}$	PB_4	39	CTC IEI	$\overline{WR}$	PB_1
20	NC	$\overline{IORQ}$	PB_3	40	NC	$\overline{RD}$	PB_2

2. For cut off freq = 10 Hz ให้ $R_1 = R_2 = 10K$; $C_1 = 0.1\mu F$; $C_2 = 2C_1$

$R_3 = 1M\Omega$; $R_4 = 2.2K\Omega$, $C_3 = 0.01\mu F$

$R_5 = 10\ K$ (L/F ; GAIN = 1)

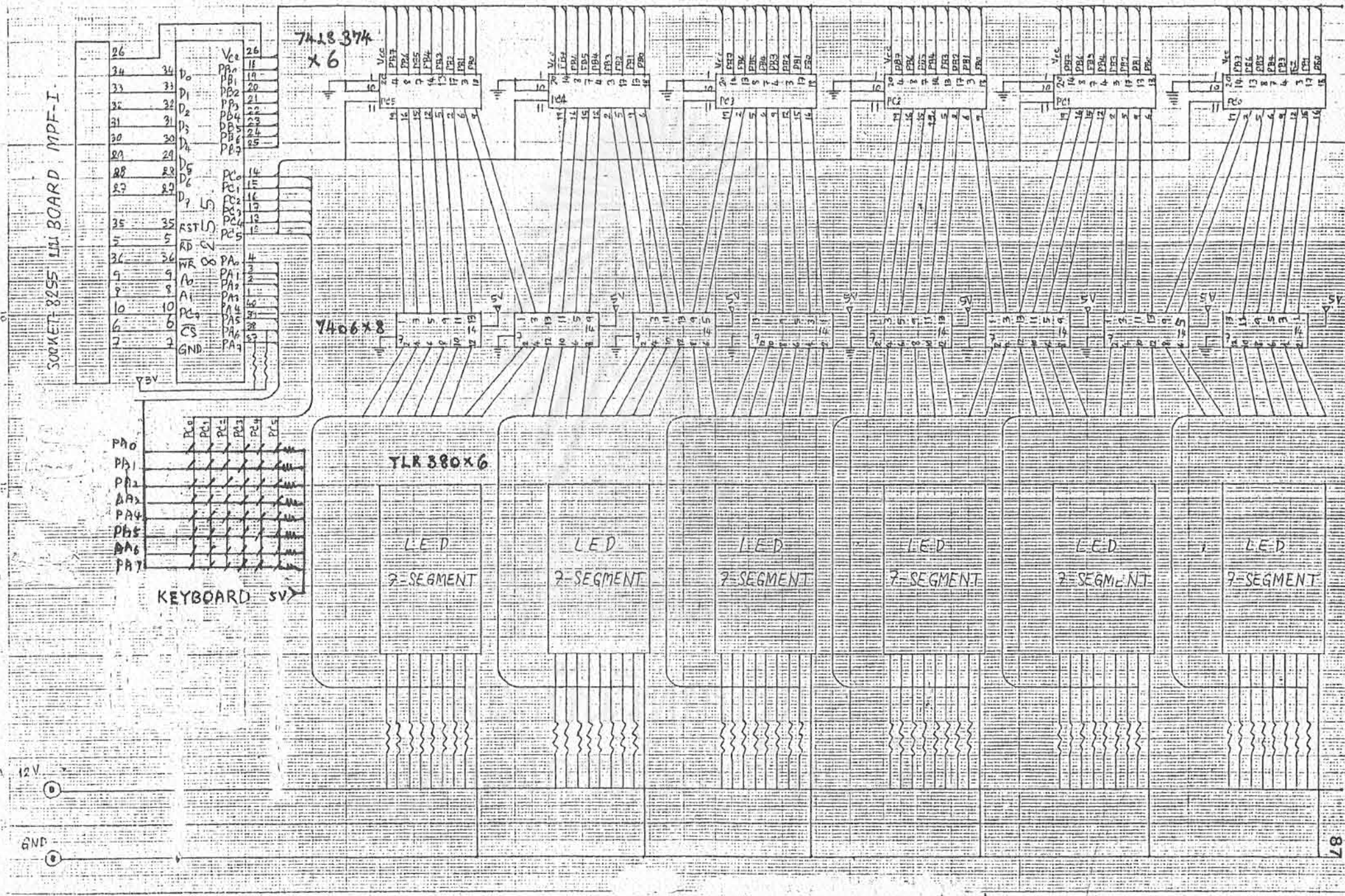
3. Port A ของ 8255 ต่อเข้า INPUT SW DECODER

Port B ของ 8255 ต่อเข้ากับ GROUP SW DECODER

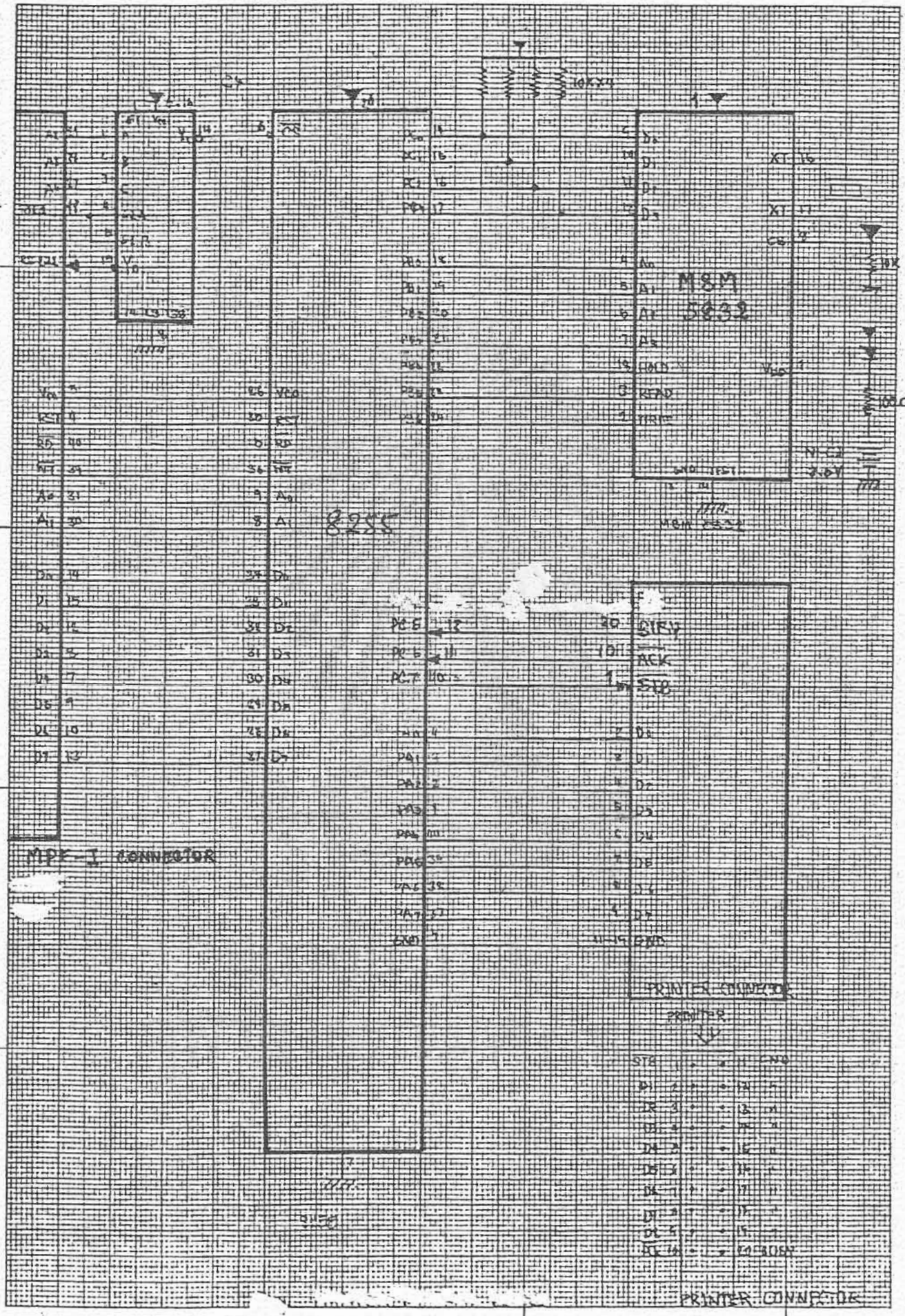
4. ใช้ 4 ขา 74LS 138 ต่อเทียบ IC 74LS 139 (U96) ใน board ของ MPPI โดยต่อเข้ากับ PIO Port

รายละเอียดของ การต่อ A/D (L7109), L/F, INPUT CONTROL (74LS138, 8255), RS-232C INTERFACE (8251)

LEE PAPIERS CANSON - FRANCE



DISPLAY AND KEYBOARD CIRCUIT.



PRINTER AND REAL TIME CLOCK INTERFACE

ภาคผนวกที่ 3.2

PROGRAM LISTING

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
2000                    0001            ORG     2000H
                        0002 ;
        (2790)          0003 UNDER      EQU     2790H
        (2796)          0004 OVER       EQU     2796H
        (2760)          0005 POINT      EQU     2760H
        (1F00)          0006 RES        EQU     1F00H
        (1F04)          0007 DATA       EQU     1F04H
        (0027)          0008 DIV        EQU     0027H
        (1F0B)          0009 OUTB       EQU     1F0BH
        (1F08)          0010 BCDO       EQU     1F08H
        (0624)          0011 SCAN1      EQU     0624H
                        0012 ;***********************************************
                        0013 ;Main program for 'Microprocessor Based
                        0014 ;Thermometer'
                        0015 ;***********************************************
2000    CD4420          0016 START      CALL    READ
2003    CD5320          0017            CALL    CHECK
2006    CA3B20          0018            JP      Z,SOM
2009    3E0F            0019            LD      A,0FH
200B    A4              0020            AND     H
200C    47              0021            LD      B,A
200D    4D              0022            LD      C,L
200E    CD6C20          0023            CALL    SELECT
2011    CD8720          0024            CALL    MULT
2014    CDFA20          0025            CALL    DIVIS
2017    CD2421          0026            CALL    SUBT
201A    CD3621          0027            CALL    BCD
201D    3A0A1F          0028            LD      A,(1F0AH)
2020    21091F          0029            LD      HL,1F09H
2023    ED67            0030            RRD
2025    2B              0031            DEC     HL
2026    ED67            0032            RRD
2028    CD5D21          0033            CALL    DIS
202B    DD7E03          0034            LD      A,(IX+3)
202E    F640            0035            OR      40H
2030    DD7703          0036            LD      (IX+3),A
2033    DD36008D        0037            LD      (IX+0),8DH
2037    DD36011E        0038            LD      (IX+1),1EH
203B    CD2406          0039 SOM        CALL    SCAN1
203E    CD2406          0040            CALL    SCAN1
2041    C30020          0041            JP      START
                        0042 ;***********************************************
                        0043 ;READ read data from A/D through port A & B
                        0044 ;then store in HL
                        0045 ;
2044    3E4F            0046 READ       LD      A,4FH
2046    D383            0047            OUT     83H,A
2048    D382            0048            OUT     82H,A
204A    0E81            0049            LD      C,81H
204C    ED68            0050            IN      L,(C)
204E    0E80            0051            LD      C,80H
2050    ED60            0052            IN      H,(C)
2052    C9              0053            RET
                        0054 ;***********************************************
                        0055 ;CHECK  set zero  flag  for overflow  or
```

```
                        0056 ;underflow data
                        0057 ;
2053  CB6C              0058 CHECK   BIT     5,H
2055  2006              0059         JR      NZ,STAT
2057  DD219027          0060         LD      IX,UNDER
205B  180D              0061         JR      DAT
205D  CB64              0062 STAT    BIT     4,H
205F  2806              0063         JR      Z,OFF
2061  DD219627          0064         LD      IX,OVER
2065  1803              0065         JR      DAT
2067  C6FF              0066 OFF     ADD     A,0FFH
2069  C9                0067         RET
206A  AF                0068 DAT     XOR     A
206B  C9                0069         RET
                        0070 ;**********************************************
                        0071 ;SELECT select data and send to DIVIS and SUBT
                        0072 ;
206C  DD216027          0073 SELECT  LD      IX,POINT
2070  1E00              0074         LD      E,0
2072  DD6601            0075 ROV     LD      H,(IX+1)
2075  DD6E00            0076         LD      L,(IX+0)
2078  ED42              0077         SBC     HL,BC
207A  F28520            0078         JP      P,REE
207D  1C                0079         INC     E
207E  1C                0080         INC     E
207F  DD23              0081         INC     IX
2081  DD23              0082         INC     IX
2083  18ED              0083         JR      ROV
2085  D9                0084 REE     EXX
2086  C9                0085         RET
                        0086 ;**********************************************
                        0087 ;MULT multiply data in HL by 10,000 then store
                        0088 ;result in RES
                        0089 ;
2087  FD21001F          0090 MULT    LD      IY,RES
208B  AF                0091         XOR     A
208C  0604              0092         LD      B,4H
208E  FD7700            0093 LOOP1   LD      (IY),A
2091  FD23              0094         INC     IY
2093  10F9              0095         DJNZ    LOOP1
2095  DD21041F          0096         LD      IX,DATA
2099  32061F            0097         LD      (DATA+2),A
209C  32071F            0098         LD      (DATA+3),A
209F  ED43041F          0099         LD      (DATA),BC
20A3  0604              0100         LD      B,04H
20A5  CDCE20            0101 LOOP2   CALL    ROTATE
20A8  10FB              0102         DJNZ    LOOP2
20AA  CDE320            0103         CALL    ADDC
20AD  0604              0104         LD      B,04H
20AF  CDCE20            0105 LOOP3   CALL    ROTATE
20B2  10FB              0106         DJNZ    LOOP3
20B4  CDE320            0107         CALL    ADDC
20B7  CDCE20            0108         CALL    ROTATE
20BA  CDE320            0109         CALL    ADDC
20BD  CDCE20            0110         CALL    ROTATE
```

```
20C0  CDE320    0111          CALL    ADDC
20C3  0603      0112          LD      B,03H
20C5  CDCE20    0113 LOOP4    CALL    ROTATE
20C8  10FB      0114          DJNZ    LOOP4
20CA  CDE320    0115          CALL    ADDC
20CD  C9        0116          RET
20CE  DD2A041F  0117 ROTATE   LD      IX,(DATA)
20D2  DDCB0026  0118 ROT      SLA     (IX+0)
20D6  DDCB0116  0119          RL      (IX+1)
20DA  DDCB0216  0120          RL      (IX+2)
20DE  DDCB0316  0121          RL      (IX+3)
20E2  C9        0122          RET
                0123          ;
20E3  AF        0124 ADDC     XOR     A
20E4  FD21001F  0125          LD      IY,RES
20E8  0604      0126          LD      B,04H
20EA  FD7E00    0127 MON      LD      A,(IY)
20ED  DD8E00    0128          ADC     A,(IX)
20F0  FD7700    0129          LD      (IY),A
20F3  FD23      0130          INC     IY
20F5  DD23      0131          INC     IX
20F7  10F1      0132          DJNZ    MON
20F9  C9        0133          RET
                0134 ;*************************************************
                0135 ;DIVIS  divide  data in RES by the content of
                0136 ;memory pointed by H and E
                0137 ;
20FA  D9        0138 DIVIS    EXX
20FB  7B        0139          LD      A,E
20FC  08        0140          EX      AF,AF'
20FD  DD21001F  0141          LD      IX,RES
2101  2627      0142          LD      H,DIV
2103  6B        0143          LD      L,E
2104  4E        0144          LD      C,(HL)
2105  23        0145          INC     HL
2106  46        0146          LD      B,(HL)
2107  210000    0147          LD      HL,00H
210A  1E20      0148          LD      E,20H
210C  CDD220    0149 LOP      CALL    ROT
210F  CB15      0150          RL      L
2111  CB14      0151          RL      H
2113  E5        0152          PUSH    HL
2114  ED42      0153          SBC     HL,BC
2116  3807      0154          JR      C,DIP
2118  F1        0155          POP     AF
2119  DDCB00C6  0156          SET     0,(IX+0)
211D  1801      0157          JR      OPP
211F  E1        0158 DIP      POP     HL
2120  1D        0159 OPP      DEC     E
2121  20E9      0160          JR      NZ,LOP
2123  C9        0161          RET
                0162 ;*************************************************
                0163 ;SUBT  subtrac  RES by the content  of memory
                0164 ;point by HL
2124  08        0165 SUBT     EX      AF,AF'
```

```
2125  C630        0166          ADD     30H
2127  6F          0167          LD      L,A
2128  2627        0168          LD      H,27H
212A  4E          0169          LD      C,(HL)
212B  23          0170          INC     HL
212C  46          0171          LD      B,(HL)
212D  2A001F      0172          LD      HL,(RES)
2130  ED42        0173          SBC     HL,BC
2132  22001F      0174          LD      (RES),HL
2135  C9          0175          RET
                  0176          ;
                  0177 ;*************************************************
                  0178 ;BCD  convert 3 bytes binary data in RES to 3
                  0179 ;bytes BCD data and store in BCDO
                  0180 ;
2136  110303      0181 BCD      LD      DE,0303H
2139  AF          0182 CLEAR    XOR     A
213A  43          0183          LD      B,E
213B  21081F      0184          LD      HL,BCDO
213E  77          0185 CLR      LD      (HL),A
213F  23          0186          INC     HL
2140  10FC        0187          DJNZ    CLR
                  0188 ;Caculate bit number
2142  7A          0189          LD      A,D
2143  87          0190          ADD     A,A
2144  87          0191          ADD     A,A
2145  87          0192          ADD     A,A
2146  4F          0193          LD      C,A
                  0194 ;Shift bynary data left
2147  2E00        0195 LOOP     LD      L,0
2149  42          0196          LD      B,D
214A  CB16        0197 SHLB     RL      (HL)
214C  23          0198          INC     HL
214D  10FB        0199          DJNZ    SHLB
                  0200 ;Add carry and double BCD data
214F  2E08        0201          LD      L,8H
2151  43          0202          LD      B,E
2152  7E          0203 BCDADJ   LD      A,(HL)
2153  8F          0204          ADC     A,A
2154  27          0205          DAA
2155  77          0206          LD      (HL),A
2156  23          0207          INC     HL
2157  10F9        0208          DJNZ    BCDADJ
2159  0D          0209          DEC     C
215A  20EB        0210          JR      NZ,LOOP
215C  C9          0211          RET
                  0212          ;
                  0213 ;*************************************************
                  0214 ;DIS change 3 bytes binary number in BCDO to
                  0215 ;display format store in OUTB
                  0216 ;
215D  AF          0217 DIS      XOR     A
215E  DD210B1F    0218          LD      IX,OUTB
2162  11081F      0219          LD      DE,BCDO
2165  0602        0220          LD      B,02H
```

```
2167  1A          0221 ALOOP   LD      A,(DE)
2168  F5          0222         PUSH    AF
2169  CD8421      0223         CALL    SUB1
216C  DD7705      0224         LD      (IX+5),A
216F  F1          0225         POP     AF
2170  E60F        0226         AND     0FH
2172  CD8A21      0227         CALL    SUB2
2175  DD7704      0228         LD      (IX+4),A
2178  1B          0229         DEC     DE
2179  DD2B        0230         DEC     IX
217B  DD2B        0231         DEC     IX
217D  10E8        0232         DJNZ    ALOOP
217F  DD210B1F    0233         LD      IX,OUTB
2183  C9          0234         RET
2184  E6F0        0235 SUB1    AND     0F0H
2186  1F          0236         RRA
2187  1F          0237         RRA
2188  1F          0238         RRA
2189  1F          0239         RRA
218A  2607        0240 SUB2    LD      H,07H
218C  F6F0        0241         OR      0F0H
218E  6F          0242         LD      L,A
218F  7E          0243         LD      A,(HL)
2190  C9          0244         RET
                  0245         ;
                  0246 ;*************************************************
                  0247 ;Main program for testing and calibration
                  0248 ;
2191  CD4420      0249 START2  CALL    READ
2194  CD5320      0250         CALL    CHECK
2197  CAAD21      0251         JP      Z,ROME
219A  3E0F        0252         LD      A,0FH
219C  A4          0253         AND     H
219D  47          0254         LD      B,A
219E  4D          0255         LD      C,L
219F  ED43001F    0256         LD      (RES),BC
21A3  AF          0257         XOR     A
21A4  32021F      0258         LD      (RES+2),A
21A7  CD3621      0259         CALL    BCD
21AA  CD5D21      0260         CALL    DIS
21AD  CD2406      0261 ROME    CALL    SCAN1
21B0  18DF        0262         JR      START2
                  0263 ;
                  0264 ;
                  0265 ;
                  0266 ;*************************************************
                  0267 ;DIVISOR
                  0268 ;
21B2              0269         ORG     2700H
2700  3E08        0270         DW      2110,2110,2100,2080,2080,2060
      3E08                              2060
      3408
      2008
      2008
      0C08
```

```
                0C08
      270E      F807          0271          DW      2040,2050,2020,2020,2010,2000
                0208                                1990
                E407
                E407
                DA07
                D007
                C607
      271C      BC07          0272          DW      1980,1980,1960,1960,1940,1940
                BC07
                A807
                A807
                9407
                9407
                              0273 ;
                              0274 ;*******************************************
                              0275 ;SUBTRACTOR
                              0276 ;
      2728                    0277          ORG     2730H
      2730      0000          0278          DW      000,000,009,038,038,087,087,156
                0000                                117
                0900
                2600
                2600
                5700
                5700
                9C00
                7500
      2742      FC00          0279          DW      252,252,308,370,437,510,510,678
                FC00                                678
                3401
                7201
                B501
                FE01
                FE01
                A602
                A602
      2754      6703          0280          DW      871,871
                6703
                              0281 ;
                              0282 ;*******************************************
                              ;POINT
                              0283 ;
      2758                    0284          ORG     2760H
      2760      D300          0285          DW      211,422,632,840,1048,1254,1460
                A601                                1664
                7802
                4903
                1804
                E604
                B405
                8006
      2770      4D07          0286          DW      1869,2071,2273,2474,2674,2873
                1708                                3071
                E108
```

```
                AA09
                720A
                390B
                FF0B
277E            C50C            0287            DW      3269,3465,3661,3855,4049
                890D
                4D0E
                0F0F
                D10F
                                0288 ;
                                0289 ;*********************************************
                                0290 ;Display pattern for under range
                                0291 ;
2788                            0292            ORG     2790H
2790            0C160000        0293            DB      0CH,16H,00H,00H,00H,00H
                0000
                                0294 ;
                                0295 ;*********************************************
                                0296 ;Display pattern for over range
                                0297 ;
2796            0C1E0000        0298            DB      0CH,1EH,00H,00H,00H,00H
                0000
                                0299            ;

Errors                          0
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                1000 ;--------------------------------
                1010 ; MAIN PROGRAM
                1020 ;--------------------------------
                1030 MAIN     .OR   2000H
                1040 TARGET   .TA   4000H
                1050 LOAD     .IN   TOTEL PROGRAM
                1060 ;--------------------------------
                1070 ; SCAN OUT TO INPUT SWITCH
                1080 ;--------------------------------
2000- 2A 00 00  1090 SOIS     LD    HL,(BCD)
2003- 7D        1100          LD    A,L
2004- C6 11     1110          ADD   A,11H
2006- D3 00     1120          OUT   (PRT.A),A
2008- D3 00     1130          OUT   (SEL.2),A
200A- 7C        1140          LD    A,H
200B- 87        1150          ADD   A,A
200C- D3 00     1160          OUT   (PRT.A),A
200E- D3 00     1170          OUT   (SEL.1),A
2010- C9        1180          RET
                1190 ;--------------------------------
                1200 ; SCAN OUT TO GROUP SWITCH
                1210 ;--------------------------------
2011- 21 00 00  1220 SOGW     LD    HL,FORMAT
2014- ED 4B 00
2017- 00        1230          LD    BC,(HEX)
2018- 09        1240          ADD   HL,BC
2019- 7E        1250          LD    A,(HL)
201A- D3 00     1260          OUT   (PRT.B),A
201C- D3 00     1270          OUT   (SEL.3),A
201E- C9        1280          RET
                1290 ;--------------------------------
                1300 ; SCAN OUT TO TRIG NE555
                1310 ;--------------------------------
201F- D3 00     1320 SOTN     OUT   (SEL.4),A
2021- C9        1330          RET
                1340 ;--------------------------------
                1350 ; DELAY FOR ANALOG TO DIGITAL
                1360 ;--------------------------------
2022- CD 00 00  1370 DFAD     CALL  DELAY
2025- DB 00     1380          IN    A,(PIO.B)
2027- A7        1390          AND   A,A0H
2028- 28 F8     1400          JR    Z,DFAD
202A- C9        1410          RET
                1420 ;--------------------------------
                1430 ; INPUT SCAN DATA
                1440 ;--------------------------------
202B- DB 00     1450 ISDA     IN    A,(PIO.B)
202D- 67        1460          LD    H,A
202E- DB 00     1470          IN    A,(PIO.A)
2030- 6F        1480          LD    L,A
2031- 29        1490          ADD   HL,HL
2032- 29        1500          ADD   HL,HL
2033- 7C        1510          LD    A,H
2034- E6 3F     1520          AND   3FH
2036- 32 00 00  1530          LD    (DAT.1),A
2039- 32 00 00  1540          LD    (DAT.3),A
203C- 6F        1550          LD    L,A
203D- CB 0F     1560          RRC   A
203F- CB 0F     1570          RRC   A
2041- 32 00 00  1580          LD    (DAT.2),A
2044- 32 00 00  1590          LD    (DAT.4),A
2047- C9        1600          RET
                1610 ;--------------------------------
                1620 ; CHECK DATA TO HIGH ALARM
                1630 ;--------------------------------
2048- FD 21 00
204B- 00        1640 CDTH     LD    IY,HIGHER
204C- ED 4B 00
204F- 00        1650          LD    BC,(HEX)
2050- FD 09     1660          ADD   IY,BC
2052- FD 09     1670          ADD   IY,BC
2054- FD 66 00  1680          LD    H,(IY+0H)
2057- FD 6E 01  1690          LD    L,(IY+1H)
205A- 3A 00 00  1700          LD    A,(DAT.1)
205D- 57        1710          LD    D,A
205E- 3A 00 00  1720          LD    A,(DAT.2)
2061- 6F        1730          LD    L,A
2062- AF        1740          XOR   A,A
2063- ED 52     1750          SBC   HL,DE
2065- C9        1760          RET   NC
2066- 21 00 00  1770          LD    HL,DAT.3
2069- CB F6     1780          SET   6,(HL)
206B- C9        1790          RET
                1800 ;--------------------------------
                1810 ; CHECK DATA TO LOW ALARM
                1820 ;--------------------------------
206C- FD 21 00
206F- 00        1830 CDTL     LD    IY,LOWER
```

```
2070- ED 4B 00
2073- 00        1780          LD    BC,(HEX)
2074- FD 09     1790          ADD   IY,BC
2076- FD 09     1800          ADD   IY,BC
2078- FD 56 00  1810          LD    D,(IY+0H)
207B- FD 5E 01  1820          LD    E,(IY+1H)
207E- 3A 00 00  1830          LD    A,(DAT.1)
2081- 67        1840          LD    H,A
2082- 3A 00 00  1850          LD    A,(DAT.2)
2085- 5F        1860          LD    E,A
2086- AF        1870          XOR   A,A
2087- ED 52     1880          SBC   HL,DE
2089- C9        1890          RET   NC
208A- 21 00 00  1900          LD    HL,DAT.4
208D- CB F6     1910          SET   6,(HL)
208F- C9        1920          RET
                1930 *--------------------------------
                1940 * SAVE DATA TO STORE AREA
                1950 *--------------------------------
2090- FD 21 00
2093- 00        1960 SDTS     LD    IY,STORE
2094- ED 4B 00
2097- 00        1970          LD    BC,(HEX)
2098- FD 09     1980          ADD   IY,BC
209A- FD 09     1990          ADD   IY,BC
209C- 3A 00 00  2000          LD    A,(DAT.3)
209F- FD 77 00  2010          LD    (IY+0H),A
20A2- 3A 00 00  2020          LD    A,(DAT.4)
20A5- FD 77 01  2030          LD    (IY+1H),A
20A8- C9        2040          RET
                2050 *--------------------------------
                2060 * UP SCAN COUNTER
                2070 *--------------------------------
20A9- 21 00 00  2080 USCT     LD    HL,HEX
20AC- 34        2090          INC   (HL)
20AD- 7E        2100          LD    A,(HL)
20AE- D6 C8     2110          SUB   200
20B0- 28 0F     2120          JR    Z,CSCT
20B2- 2A 00 00  2130          LD    HL,(BCD)
20B5- 7D        2140          LD    A,L
20B6- C6 01     2150          ADD   A,1H
20B8- 27        2160          DAA
20B9- 6F        2170          LD    L,A
20BA- 30 01     2180          JR    NC,NOCY
20BC- 24        2190          INC   H
20BD- 22 00 00  2200 NOCY     LD    (BCD),HL
20C0- C9        2210          RET
                2220 *--------------------------------
                2230 * CLEAR SCAN COUNTER
                2240 *--------------------------------
20C1- 21 00 00  2250 CSCT     LD    HL,0H
20C4- 22 00 00  2260          LD    (BCD),HL
20C7- 22 00 00  2270          LD    (HEX),HL
20CA- C9        2280          RET
                2290 *--------------------------------
                2300 * INIT HIGH ALARM
                2310 *--------------------------------
20CB- 01 3F C8  2320 INHA     LD    BC,0C83FH
20CE- 21 00 00  2330          LD    HL,HIGHER
20D1- 71        2340 LOP1     LD    (HL),C
20D2- 23        2350          INC   HL
20D3- 71        2360          LD    (HL),C
20D4- 23        2370          INC   HL
20D5- 10 FA     2380          DJNZ  LOP1
20D7- C9        2390          RET
                2400 *--------------------------------
                2410 * INIT LOW ALARM
                2420 *--------------------------------
20D8- 01 00 C8  2430 INLA     LD    BC,0C800H
20DB- 21 00 00  2440          LD    HL,LOWER
20DE- 71        2450 LOP2     LD    (HL),C
20DF- 23        2460          INC   HL
20E0- 71        2470          LD    (HL),C
20E1- 23        2480          INC   HL
20E2- 10 FA     2490          DJNZ  LOP2
20E4- C9        2500          RET
                2510 *--------------------------------
                2520 * MPF-I SCAN
                2530 *--------------------------------
20E5- 0E 00     2540 SCAN     LD    C,00
20E7- 1E FE     2550          LD    E,0FEH
20E9- 26 06     2560          LD    H,6
20EB- 3E FF     2570          LD    A,0FFH
20ED- D3 01     2580          OUT   (SEG7),A
20EF- 7B        2590 KCOL     LD    A,E
20F0- D3 02     2600          OUT   (DIGIT),A
20F2- 06 06     2610          LD    B,6
20F4- DB 00     2620          IN    A,(KIN)
20F6- 57        2630          LD    D,A
20F7- CB 1A     2640 KROW     RR    D
```

```
20F9- 38 02     2650          JR    C,NOKEY
20FB- 79        2660          LD    A,C
20FC- 08        2670          EX    AF,AF'
20FD- 0C        2680 NOKEY    INC   C
20FE- 10 F7     2690          DJNZ  KROW
2100- CB 03     2700          RLC   E
2102- 25        2710          DEC   H
2103- 20 EA     2720          JR    NZ,KCOL
2105- CD 10 21  2730          CALL  SETDISP
2108- 11 FA FF  2740          LD    DE,-6
210B- DD 19     2750          ADD   IX,DE
210D- D9        2760          EXX
210E- 08        2770          EX    AF,AF'
210F- C9        2780          RET
2110- 3E C0     2790 SETDISP  LD    A,0C0H
2112- D3 02     2800          OUT   (DIGIT),A
2114- 0E 00     2810          LD    C,00
2116- 1E 01     2820          LD    E,01H
2118- 26 06     2830          LD    H,06
211A- DD 7E 00  2840 NXDISP   LD    A,(IX+0)
211D- 2F        2850          CPL
211E- D3 01     2860          OUT   (SEG7),A
2120- 7B        2870          LD    A,E
2121- F6 C0     2880          OR    0C0H
2123- D3 02     2890          OUT   (DIGIT),A
2125- 3E C0     2900          LD    A,0C0H
2127- D3 02     2910          OUT   (DIGIT),A
2129- DD 23     2920          INC   IX
212B- CB 03     2930          RLC   E
212D- 25        2940          DEC   H
212E- 20 EA     2950          JR    NZ,NXDISP
                2960
2130- C9        2970          RET
0001-           2980 SEG7     .EQ   01H
0002-           2990 DIGIT    .EQ   02H
0000-           3000 KIN      .EQ   00H
                3010 ;--------------------------------
                3020 ; CHECK KEY REJECT TRANSIAN
                3030 ;--------------------------------
2131- 21 00 00  3040 CKRT     LD    HL,LAST
2134- 4E        3050          LD    C,(HL)
2135- 3A 00 00  3060          LD    A,(NOW)
2138- 77        3070          LD    (HL),A
2139- 21 00 00  3080          LD    HL,READY
213C- CB 3E     3090          SRL   (HL)
213E- B9        3100          CP    C
213F- C9        3110          RET   Z
2140- 36 10     3120          LD    (HL),10H
2142- C9        3130          RET
                3140 ;--------------------------------
                3150 ; CHECK FOR NEW KEY PRESS
                3160 ;--------------------------------
2143- 11 00 00  3170 CKNP     LD    DE,SIGNAL
2146- 3E 24     3180          LD    A,24H
2148- 12        3190          LD    (DE),A
2149- 3A 00 00  3200          LD    A,(READY)
214C- B7        3210          OR    A
214D- C9        3220          RET   NZ
214E- 21 00 00  3230          LD    HL,PAST
2151- 4E        3240          LD    C,(HL)
2152- 3A 00 00  3250          LD    A,(NOW)
2155- 77        3260          LD    (HL),A
2156- 4F        3270          LD    C,A
2157- FE 24     3280          CP    24H
2159- C9        3290          RET   NZ
215A- 12        3300          LD    (DE),A
215B- C9        3310          RET
                3320 ;--------------------------------
                3330 ; CHANGE KEY SIGNAL TO CODE
                3340 ;--------------------------------
215C- FD 21 00
215F- 00        3350 CSTC     LD    IY,TABLE
2160- ED 4B 00
2163- 00        3360          LD    BC,(SIGNAL)
2164- FD 09     3370          ADD   IY,BC
2166- FD 09     3380          ADD   IY,BC
2168- FD 66 00  3390          LD    H,(IY+0H)
216B- FD 6E 01  3400          LD    L,(IY+1H)
216E- 22 00 00  3410          LD    (CODE),HL
2171- C9        3420          RET
                3430 ;--------------------------------
                3440 ; IDENTIFY FOR KEY CODE
                3450 ;--------------------------------
2172- 2A 00 00  3460 IDKC     LD    HL,(CODE)
2175- CB 7C     3470          BIT   7,H
2177- 20 01     3480          JR    NZ,NUMB
2179- E9        3490          JP    (HL)
217A- 7C        3500 NUMB     LD    A,H
217B- E6 0F     3510          AND   0FH
```

```
217D- 32 00 00  3520          LD    (NUMBER),A
2180- 18 74     3530          JR    RTNU
                3540 *--------------------------------
                3550 * CHANGE DACIMAL TO BINARY
                3560 *--------------------------------
2182- 21 00 00  3570 CBTB     LD    HL,0H
2185- 3E 03     3580          LD    A,3H
2187- 29        3590 LOP3     ADD   HL,HL
2188- 44        3600          LD    B,H
2189- 55        3610          LD    D,L
218A- 29        3620          ADD   HL,HL
218B- 29        3630          ADD   HL,HL
218C- 09        3640          ADD   HL,BC
218D- EB        3650          EX    DE,HL
218E- 4E        3660          LD    C,(HL)
218F- 06 00     3670          LD    B,0H
2191- EB        3680          EX    DE,HL
2192- 09        3690          ADD   HL,BC
2193- 13        3700          INC   DE
2194- 3D        3710          DEC   A
2195- 20 F0     3720          JR    NZ,LOP3
2197- C9        3730          RET
                3740 *--------------------------------
                3750 * CHANGE BINARY TO DACIMAL
                3760 *--------------------------------
2198- 01 64 00  3770 CBTD     LD    BC,100
219B- AF        3780          XOR   A
219C- 3C        3790 LOP4     INC   A
219D- ED 42     3800          SBC   HL,BC
219F- 30 FB     3810          JR    NC,LOP4
21A1- 09        3820          ADD   HL,BC
21A2- 3D        3830          DEC   A
21A3- 12        3840          LD    (DE),A
21A4- 13        3850          INC   DE
21A5- 01 0A 00  3860          LD    BC,10
21A8- 3C        3870 LOP5     INC   A
21A9- ED 42     3880          SBC   HL,BC
21AB- 30 FB     3890          JR    NC,LOP5
21AD- 09        3900          ADD   HL,BC
21AE- 3D        3910          DEC   A
21AF- 12        3920          LD    (DE),A
21B0- 13        3930          INC   DE
21B1- 7D        3940          LD    A,L
21B2- 12        3950          LD    (DE),A
21B3- C9        3960          RET
                3970 *--------------------------------
                3980 * IDENTIFY DISPLAY MODE
                3990 *--------------------------------
21B4- 3A 00 00  4000 IDDM     LD    A,(STATUS)
21B7- FD 21 00
21BA- 00        4010          LD    IY,LOWER
21BB- CB 0F     4020          RRC   A
21BD- 38 11     4030          JR    C,MDFD
21BF- FD 21 00
21C2- 00        4040          LD    IY,HIGHER
21C3- CB 0F     4050          RRC   A
21C5- 38 09     4060          JR    C,MDFD
21C7- FD 21 00
21CA- 00        4070          LD    IY,STORE
21CB- CB 0F     4080          RRC   A
21CD- 38 01     4090          JR    C,MDFD
21CF- C9        4100          RET
                4110 *--------------------------------
                4120 * MOVE DATA FOR DISPLAY
                4130 *--------------------------------
21D0- ED 4B 00
21D3- 00        4140 MDFD     LD    BC,(CHANAL)
21D4- FD 09     4150          ADD   IY,BC
21D6- FD 09     4160          ADD   IY,BC
21D8- FD 66 00  4170          LD    H,(IY+0H)
21DB- FD 7E 01  4180          LD    A,(IY+1H)
21DE- CB 07     4190          RLC   A
21E0- CB 07     4200          RLC   A
21E2- CB 1C     4210          RR    H
21E4- CB 1F     4220          RR    A
21E6- CB 1C     4230          RR    H
21E8- CB 1F     4240          RR    A
21EA- 6F        4250          LD    L,A
21EB- 7C        4260          LD    A,H
21EC- E6 3F     4270          AND   3FH
21EE- 67        4280          LD    H,A
21EF- 11 00 00  4290          LD    DE,VALUE.
21F2- CD 98 21  4300          CALL  CBTD
21F5- C9        4310          RET
                4320 *--------------------------------
                4330 * RESPONCE TO NUMERIC KEY
                4340 *--------------------------------
21F6- 21 03 00  4350 RTNU     LD    HL,VALUE.+3
21F9- 06 03     4360          LD    B,3H
21FB- 3A 00 00  4370          LD    A,(NUMBER)
```

```
21FE- 4E        4380 LOP6    LD    C,(HL)
21FF- 77        4390         LD    (HL),A
2200- 79        4400         LD    A,C
2201- 2B        4410         DEC   HL
2202- 10 FA     4420         DJNZ  LOP6
2204- 11 00 00  4430         LD    DE,VALUE.
2207- CD 82 21  4440         CALL  CDTB
220A- 22 00 00  4450         LD    (VALUE),HL
220D- 21 00 00  4460         LD    HL,STATUS
2210- 7E        4470         LD    A,(HL)
2211- E6 F8     4480         AND   0F8H
2213- 77        4490         LD    (HL),A
2214- C9        4500         RET
                4510 ;--------------------------------
                4520 ; RESPONCE TO CHANAL SET
                4530 ;--------------------------------
2215- 11 00 00  4540 RSHK    LD    DE,CHANAL
2218- 21 00 00  4550         LD    HL,VALUE
221B- 01 05 00  4560         LD    BC,5H
221E- ED B0     4570         LDIR
2220- C9        4580         RET
                4590 ;--------------------------------
                4600 ; RESPONCE TO DISPLAY DATA
                4610 ;--------------------------------
2221- 21 00 00  4620 RDDT    LD    HL,STATUS
2224- 7E        4630         LD    A,(HL)
2225- E6 F8     4640         AND   0F8H
2227- F6 04     4650         OR    4H
2229- 77        4660         LD    (HL),A
222A- C9        4670         RET
0000-           1070 BCD     .EQ   0000H
0000-           1080 HEX     .EQ   0000H
0000-           1090 DAT.1   .EQ   0000H
0000-           1100 DAT.2   .EQ   0000H
0000-           1110 DAT.3   .EQ   0000H
0000-           1120 DAT.4   .EQ   0000H
0000-           1130 STORE   .EQ   0000H
0000-           1140 HIGHER  .EQ   0000H
0000-           1150 LOWER   .EQ   0000H
0000-           1160 FORMAT  .EQ   0000H
0000-           1170 SEL.1   .EQ   0000H
0000-           1180 SEL.2   .EQ   0000H
0000-           1190 SEL.3   .EQ   0000H
0000-           1200 SEL.4   .EQ   0000H
0000-           1210 PRT.A   .EQ   0000H
0000-           1220 PRT.B   .EQ   0000H
                             .EQ   0000H
0000-           1230 PRT.C   .EQ   0000H
0000-           1240 PIO.A   .EQ   0000H
0000-           1250 PIO.B   .EQ   0000H
0000-           1260 LAST    .EQ   0000H
0000-           1270 NOW     .EQ   0000H
0000-           1280 READY   .EQ   0000H
0000-           1290 PAST    .EQ   0000H
0000-           1300 SIGNAL  .EQ   0000H
0000-           1310 TABLE   .EQ   0000H
0000-           1320 CODE    .EQ   0000H
0000-           1330 NUMBER  .EQ   0000H
0000-           1340 STATUS  .EQ   0000H
0000-           1350 CHANAL  .EQ   0000H
0000-           1360 CHANAL. .EQ   0000H
0000-           1370 VALUE   .EQ   0000H
0000-           1380 VALUE.  .EQ   0000H
0000-           1390 DELAY   .EQ   0000H
```

SYMBOL TABLE

0000- BCD
2198- CBTD
2182- CDTB
2048- CDTH
206C- CDTL
0000- CHANAL
0000- CHANAL.
2143- CKNP
2131- CKRT
0000- CODE
20C1- CSCT
215C- CSTC
0000- DAT.1
0000- DAT.2
0000- DAT.3
0000- DAT.4
0000- DELAY
2022- DFAD
0002- DIGIT
0000- FORMAT
0000- HEX
0000- HIGHER
2184- IDDM
2172- IDKC
20CB- INHA
2088- INL4
202B- ISDA
20EF- KCOL
0000- KIN
20F7- KROW
0000- LAST
2000- LOAD
20D1- LOP1
20DE- LOP2
2187- LOP3
219C- LOP4
21A8- LOP5
21FE- LOP6
0000- LOWER
F800- MAIN
21D0- MDFD
20B0- NDCY
20FD- NOKEY
0000- NOW
217A- NUMB
0000- NUMBER
211A- NXDISP
0000- PAST
0000- PIO.A
0000- PIO.B
0000- PRT.A
0000- PRT.B
0000- PRT.C
2221- RDDT
0000- READY
2215- RSHK
21F6- RTNU
20E5- SCAN
2090- SDTS
0001- SEG7
0000- SEL.1
0000- SEL.2
0000- SEL.3
0000- SEL.4
2110- SETDISP
0000- SIGNAL
2011- SDSW
2000- SOIS
201F- SOTN
0000- STATUS
0000- STORE
0000- TABLE
2000- TARGET
20A9- USCT
0000- VALUE
0000- VALUE.

0000 ERRORS IN ASSEMBLY

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
:PR#1
:ASM
```

```
                        1000 *--------------------------------
                        1010 *
                        1020 *              PRINTER
                        1030 *
                        1040 *--------------------------------
                        1050            .OR   0000H
                        1060            .TA   800H
0000- F3                1070 PRT        DI
0001- CD 67 01          1080            CALL  RDCLK
0004- FD 21 48
0007- 1C                1090            LD    IY,TBF+11
0008- 21 4C 1C          1100            LD    HL,TBFPRT
000B- 06 0D             1110            LD    B,0DH
000D- FD 7E 00          1120 LL         LD    A,(IY+0)
0010- C6 30             1130            ADD   A,30H
0012- 77                1140            LD    (HL),A
0013- 78                1150            LD    A,B
0014- FE 0B             1160            CP    0BH
0016- 20 07             1170            JR    NZ,C2
0018- 3E 2F             1180 C1         LD    A,2FH
001A- 77                1190            LD    (HL),A
001B- FD 23             1200            INC   IY
001D- 18 0D             1210            JR    CON
001F- FE 08             1220 C2         CP    08H
0021- 28 F5             1230            JR    Z,C1
0023- FE 03             1240            CP    03H
0025- 20 05             1250            JR    NZ,CON
0027- 3E 3A             1260            LD    A,3AH
0029- 77                1270            LD    (HL),A
002A- FD 23             1280            INC   IY
002C- FD 2B             1290 CON        DEC   IY
002E- 23                1300            INC   HL
002F- 10 DC             1310            DJNZ  LL
0031- 06 05             1320            LD    B,5H
0033- 21 59 1C          1330            LD    HL,WHPRT
0036- FD 21 06
0039- 1C                1340            LD    IY,WH
003A- FD 7E 00          1350 SEDT       LD    A,(IY+0)
003D- E6 0F             1360            AND   0FH
003F- C6 30             1370            ADD   A,30H
0041- 77                1380            LD    (HL),A
0042- 78                1390            LD    A,B
0043- E6 01             1400            AND   01H
0045- FE 01             1410            CP    01H
0047- 28 10             1420            JR    Z,CONT1
0049- FD 7E 00          1430            LD    A,(IY+0)
004C- E6 F0             1440            AND   0F0H
004E- CB 07             1450            RLC   A
0050- CB 07             1460            RLC   A
0052- CB 07             1470            RLC   A
0054- CB 07             1480            RLC   A
0056- 77                1490            LD    (HL),A
0057- FD 2B             1500            DEC   IY
0059- FD 23             1510 CONT1      INC   IY
005B- 23                1520            INC   HL
005C- 10 DC             1530            DJNZ  SEDT
005E- 3E AF             1540 PRINTER    LD    A,0AFH
0060- D3 C7             1550            OUT   (0C7H),A
0062- 3E 06             1560            LD    A,06H
0064- D3 C7             1570            OUT   (0C7H),A
0066- 21 90 26          1580            LD    HL,DATB
0069- 06 1C             1590            LD    B,1CH
006B- CD 9F 00          1600            CALL  SDPT
006E- E5                1610            PUSH  HL
006F- 21 4C 1C          1620            LD    HL,TBFPRT
0072- 06 08             1630            LD    B,08H
0074- CD 9F 00          1640            CALL  SDPT
0077- E1                1650            POP   HL
0078- 06 06             1660            LD    B,06H
007A- CD 9F 00          1670            CALL  SDPT
007D- E5                1680            PUSH  HL
007E- 2A 54 1C          1690            LD    HL,(TBFPRT+8)
0081- 06 05             1700            LD    B,05H
0083- CD 9F 00          1710            CALL  SDPT
0086- E1                1720            POP   HL
```

```
0087- 06 04             1730            LD    B,04H
0089- CD 9F 00          1740            CALL  SDPT
008C- E5                1750            PUSH  HL
008D- 21 59 1C          1760            LD    HL,WHPRT
0090- 06 05             1770            LD    B,05H
0092- CD 9F 00          1780            CALL  SDPT
0095- E1                1790            POP   HL
0096- 06 2C             1800            LD    B,2CH
0098- CD 9F 00          1810            CALL  SDPT
009B- FB                1820            EI
009C- C3 0E 22          1830            JP    LOOP
009F- 7E                1840 SDPT       LD    A,(HL)
00A0- D3 C4             1850            OUT   (0C4H),A
00A2- DB C6             1860 CHKACK     IN    A,(0C6H)
00A4- E6 20             1870            AND   20H
00A6- 20 FA             1880            JR    NZ,CHKACK
00A8- 23                1890            INC   HL
00A9- 10 F4             1900            DJNZ  SDPT
00AB- C9                1910            RET
1C4C-                   1920 TBFPRT     .EQ   1C4CH
1C59-                   1930 WHPRT      .EQ   1C59H
2690-                   1940 DATB       .EQ   2690H
1C40-                   1950 TBF        .EQ   1C40H
```

```
                1960 *------------------------------
                1970 *
                1980 *        SET CLOCK
                1990 *
                2000 *------------------------------
006C- F3        2010 SET1     DI
006D- FD 21 4B
0080- 1C        2020          LD    IY,TBF+11
0081- 21 E7 26  2030          LD    HL,TBL
0084- CD D5 00  2040          CALL  INKEY
0087- 21 ED 26  2050          LD    HL,TBL+5
008A- CD D5 00  2060          CALL  INKEY
008D- 21 F1 26  2070          LD    HL,TBL+10
0090- CD D5 00  2080          CALL  INKEY
0093- 21 F6 26  2090          LD    HL,TBL+15
0096- CD D5 00  2100          CALL  INKEY
0099- 21 FB 26  2110          LD    HL,TBL+20
009C- CD D5 00  2120          CALL  INKEY
009F- CD 9B 01  2130          CALL  WRCK
00D2- C3 32 01  2140          JP    DPTM
00D5- 11 0F 1C  2150 INKEY    LD    DE,DISPLAY
00D8- 01 05 00  2160          LD    BC,0005H
00DB- ED B0     2170          LDIR
00DD- 06 03     2180          LD    B,3H
00DF- DD 21 0F
00E2- 1C        2190 INKEY1   LD    IX,DISPLAY
00E3- CD CF 01  2200          CALL  SCAN
00E6- 30 07     2210          JR    NC,MKT
00E8- 3E FF     2220          LD    A,0FFH
00EA- 32 60 1C  2230          LD    (KEYC),A
00ED- 18 F0     2240          JR    INKEY1
00EF- 57        2250 MKT      LD    D,A
00F0- 3A 60 1C  2260          LD    A,(KEYC)
00F3- BA        2270          CP    D
00F4- 28 E9     2280          JR    Z,INKEY1
00F6- 7A        2290          LD    A,D
00F7- 32 60 1C  2300          LD    (KEYC),A
00FA- 21 7A 26  2310          LD    HL,TABLE1
00FD- 85        2320          ADD   A,L
00FE- 6F        2330          LD    L,A
00FF- 7C        2340          LD    A,H
0100- CE 00     2350          ADC   A,0
0102- 67        2360          LD    H,A
0103- 7E        2370          LD    A,(HL)
0104- FE FF     2380          CP    0FFH
0106- 28 07     2390          JR    Z,INKEY1
0108- FE 0A     2400          CP    0AH
010A- 28 A0     2410          JR    Z,SET1
010C- FE 0D     2420          CP    0DH
010E- CA CE 22  2430          JP    Z,LOOP
0111- FD 77 00  2440          LD    (IY+0),A
0114- 78        2450          LD    A,B
0115- FE 02     2460          CP    02H
0117- 28 0E     2470          JR    Z,BIT2
0119- FE 01     2480          CP    01H
011B- C8        2490          RET Z
011C- 7E        2500          LD    A,(HL)
011D- CD 14 24  2510          CALL  HEX7
0120- 32 10 1C  2520          LD    (DISPLAY+1),A
0123- FD 2B     2530          DEC   IY
0125- 10 BB     2540          DJNZ  INKEY1
0127- 7E        2550 BIT2     LD    A,(HL)
0128- CD 14 24  2560          CALL  HEX7
012B- 32 0F 1C  2570          LD    (DISPLAY),A
012E- FD 2B     2580          DEC   IY

0130- 10 AD     2590          DJNZ  INKEY1
0132- CD 67 01  2600 DPTM     CALL  RDCLK
0135- FD 2A 41
0138- 1C        2610          LD    IY,(TBF+1)
0139- DD 26 0F
013C- 1C        2620          LD    IX,(DISPLAY)
013D- 06 05     2630          LD    B,5
013F- FD 7E 00  2640 DBF      LD    A,(IY+0)
0142- CD 14 24  2650          CALL  HEX7
0145- DD 77 00  2660          LD    (IX+0),A
0148- DD 23     2670          INC   IX
014A- FD 23     2680          INC   IY
014C- 10 F1     2690          DJNZ  DBF
014E- DD 21 0F
0151- 1C        2700          LD    IY,DISPLAY
0152- CD CF 01  2710          CALL  SCAN
0155- 38 DB     2720          JR    C,DPTM
0157- FE 0F     2730          CP    0FH
0159- 28 08     2740          JR    Z,LOOP1
015B- FE 08     2750          CP    08H
015D- CA AC 00  2760          JP    Z,SET1
0160- C3 32 01  2770          JP    DPTM
0163- FB        2780 LOOP1    EI
0164- C3 CE 22  2790          JP    LOOP
0167- 3E 81     2800 RDCLK    LD    A,81H
0169- D3 C7     2810          OUT   (0C7H),A
016B- FD 21 40
016E- 1C        2820          LD    IY,TBF
016F- 0E 00     2830          LD    C,0
0171- 79        2840 READ     LD    A,C
0172- FE 06     2850          CP    06H
0174- 20 01     2860          JR    NZ,CONT
0176- 0C        2870          INC   C
0177- 3E 20     2880 CONT     LD    A,20H
0179- B1        2890          OR    C
017A- D3 C6     2900          OUT   (0C6H),A
017C- 06 C9     2910          LD    B,0C9H
017E- 10 FE     2920 DELAY    DJNZ  DELAY
0180- DB C6     2930          IN    A,(0C6H)
0182- E6 0F     2940          AND   0FH
0184- FD 77 00  2950          LD    (IY+0),A
0187- 79        2960          LD    A,C
0188- FE 05     2970          CP    05H
018A- 20 07     2980          JR    NZ,CHK1
018C- DB C6     2990          IN    A,(0C6H)
018E- E6 03     3000          AND   03H
0190- FD 77 00  3010          LD    (IY+0),A
0193- 0C        3020 CHK1     INC   C
0194- FD 23     3030          INC   IY
0196- 79        3040          LD    A,C
0197- B8        3050          CP    B
0198- 20 D7     3060          JR    NZ,READ
019A- C9        3070          RET
019B- 3E B0     3080 WRCK     LD    A,B0H
019D- D3 C7     3090          OUT   (0C7H),A
019F- FD 21 40
01A2- 1C        3100          LD    IY,TBF
01A3- 0E 00     3110          LD    C,0
01A5- 79        3120 WRITE    LD    A,C
01A6- FE 06     3130          CP    06H
01A8- 20 01     3140          JR    NZ,CONT1
01AA- 0C        3150          INC   C
01AB- FD 7E 00  3160 CONT1    LD    A,(IY+0)
01AE- D3 C6     3170          OUT   (0C6H),A
01B0- 79        3180          LD    A,C
01B1- FE 05     3190          CP    05H
01B3- 20 09     3200          JR    NZ,CHK2
01B5- FD 7E 00  3210          LD    A,(IY+0)
01B8- E6 03     3220          AND   03H
01BA- F6 08     3230          OR    08H
01BC- D3 C6     3240          OUT   (0C6H),A
01BE- 3E 40     3250 CHK2     LD    A,40H
01C0- B1        3260          OR    C
01C1- D3 C6     3270          OUT   (0C6H),A
01C3- 06 C9     3280          LD    B,0C9H
01C5- 10 FE     3290 DELAY1   DJNZ  DELAY1
01C7- 0C        3300          INC   C
01C8- FD 23     3310          INC   IY
01CA- 79        3320          LD    A,C
01CB- B8        3330          CP    B
01CC- 20 D7     3340          JR    NZ,WRITE
01CE- C9        3350          RET
26E7-           3360 TBL      .EQ   26E7H
267A-           3370 TABLE1   .EQ   267AH
1C0F-           3380 DISPLAY  .EQ   1C0FH
22CE-           3390 LOOP     .EQ   22CEH
2414-           3400 HEX7     .EQ   2414H
1C60-           3410 KEYC     .EQ   1C60H
```

```
                        3420 ;-------------------------------
                        3430 ;
                        3440 ;              SCAN
                        3450 ;
                        3460 ;-------------------------------
01CF- 37                3470 SCAN       SCF
01D0- 08                3480            EX      AF,AF'
01D1- D9                3490            EXX
01D2- 0E 00             3500            LD      C,00
01D4- 1E FE             3510            LD      E,0FEH
01D6- 26 06             3520            LD      H,6
01D8- 3E FF             3530            LD      A,0FFH
01DA- D3 01             3540            OUT     (SEG7),A
01DC- 7B                3550 KCOL       LD      A,E
01DD- D3 02             3560            OUT     (DIGIT),A
01DF- 06 06             3570            LD      B,6
01E1- DB 00             3580            IN      A,(PIN)
01E3- 57                3590            LD      D,A
01E4- CB 1A             3600 KROW       RR      D
01E6- 38 02             3610            JR      C,NOKEY
01E8- 79                3620            LD      A,C
01E9- 08                3630            EX      AF,AF'
01EA- 0C                3640 NOKEY      INC     C
01EB- 10 F7             3650            DJNZ    KROW
01ED- CB 03             3660            RLC     E
01EF- 25                3670            DEC     H
01F0- 20 EA             3680            JR      NZ,KCOL
01F2- CD FD 01          3690            CALL    SETDISP
01F5- 11 FA FF          3700            LD      DE,-6
01F8- DD 19             3710            ADD     IY,DE
01FA- D9                3720            EXX
01FB- 08                3730            EX      AF,AF'
01FC- C9                3740            RET
01FD- 3E C0             3750 SETDISP    LD      A,0C0H
01FF- D3 02             3760            OUT     (DIGIT),A
0201- 0E 00             3770            LD      C,00
0203- 1E 01             3780            LD      E,01H
0205- 26 06             3790            LD      H,06
0207- DD 7E 00          3800 NXDISP     LD      A,(IX+0)
020A- 2F                3810            CPL
020B- D3 01             3820            OUT     (SEG7),A
020D- 7B                3830            LD      A,E
020E- F6 C0             3840            OR      0C0H
0210- D3 02             3850            OUT     (DIGIT),A
0212- 3E C0             3860            LD      A,0C0H
0214- D3 02             3870            OUT     (DIGIT),A
0216- DD 23             3880            INC     IX
0218- CB 03             3890            RLC     E
021A- 25                3900            DEC     H
021B- 20 EA             3910            JR      NZ,NXDISP
021D- 26 06             3920            LD      H,06
021F- 06 C9             3930 M10SEC     LD      B,COLDEL
0221- 10 FE             3940 M1.5SEC    DJNZ    M1.5SEC
0223- 25                3950            DEC     H
0224- 20 F9             3960            JR      NZ,M10SEC
0226- C9                3970            RET
0001-                   3980 SEG7       .EQ     01H
0002-                   3990 DIGIT      .EQ     02H
0000-                   4000 KIN        .EQ     00H
00C9-                   4010 COLDEL     .EQ     0C9H
1C06-                   4020 WH         .EQ     1C06H
```

SYMBOL TABLE

```
0127- BIT2
0018- C1
001F- C2
0193- CHK1
01BE- CHK2
00A2- CHKACK
00C9- COLDEL
002C- CON
0177- CONT
01AB- CONT1
0059- CONTI
2690- DATB
013F- DBF
017E- DELAY
0125- DELAY1
0002- DIGIT
1C0F- DISPLAY
0132- DPTM
2414- HEX7
00D5- INKEY
00DF- INKEY1
01DC- KCOL
1C60- KEYC
0000- KIN
01E4- KROW
000D- LL
22CE- LOOP
0163- LOOP1
0221- M1.5SEC
021F- M10SEC
00EF- MAT
01EA- NOKEY
0207- NXDISP
005E- PRINTER
0000- PRT
0167- RDCLK
0171- READ
01CF- SCAN
009F- SDPT
003A- SEDT
0001- SEG7
00AC- SET1
01FD- SETDISP
267A- TABLE1
1C40- TBF
1C4C- TBFPRT
26E7- TBL
1C06- WH
1C59- WHPRT
019B- WRCK
01A5- WRITE

0000 ERRORS IN ASSEMBLY
```