บทที่ 4

ฮาร์ดแวร์ของเครื่องควบคุมเชิงเลขชนิดโปรแกรมได้

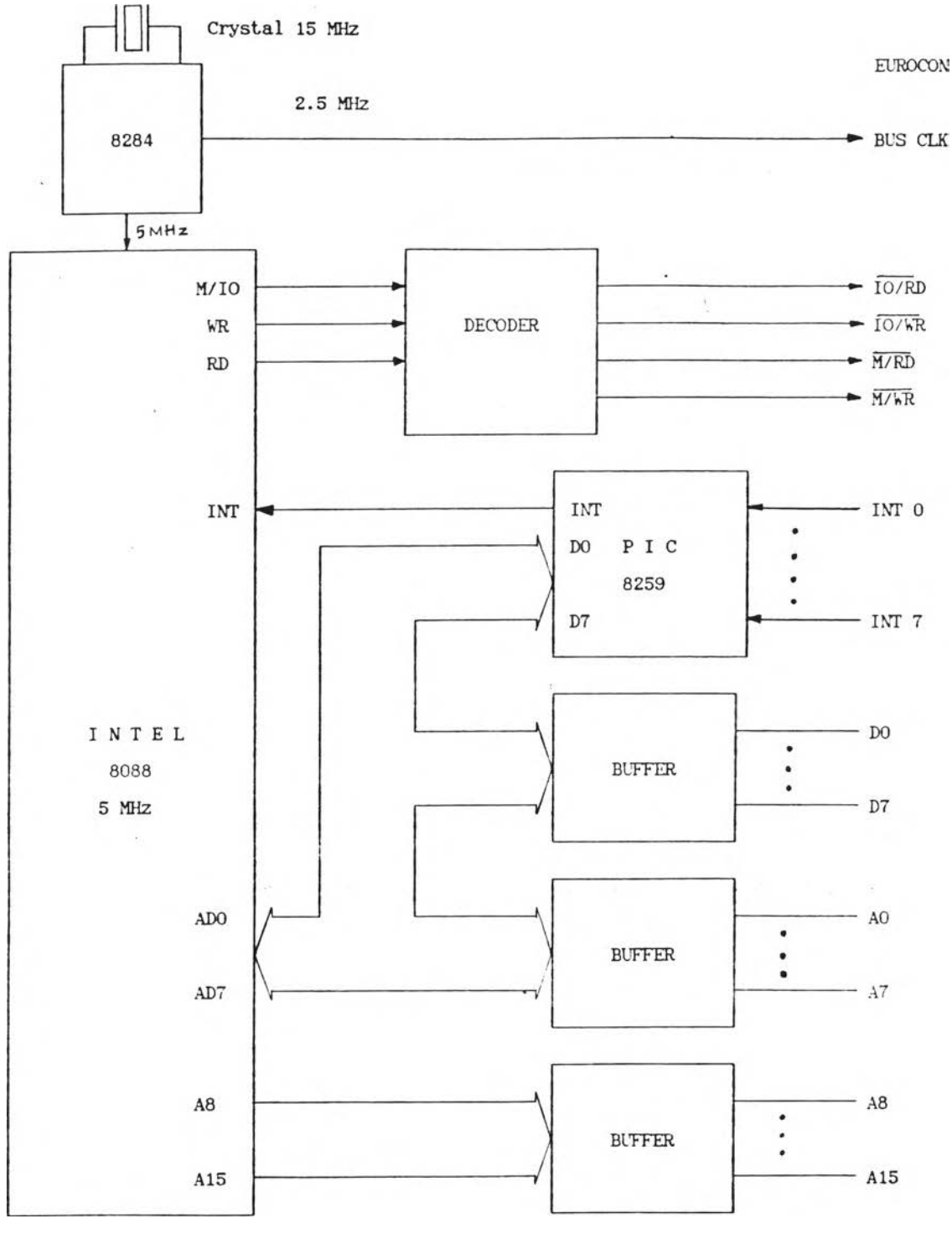
ฮาร์ดแวร์ของเครื่องควบคุมเชิงเลขชนิดโปรแกรมได้ สามารถแบ่งเป็นส่วนใหญ่ๆได้ 4 ส่วนคือ ส่วนประมวลผลกลาง, ส่วนหน่วยความจำ, ส่วนตั้งเวลาและการสื่อสารแบบอนุกรม, ส่วนอินพุทและเอาท์พุท ในแต่ละส่วนมีลักษณะเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 100x160 มิลลิเมตร ยกเว้นส่วนแสดงผลและแป้นพิมพ์ และจะเชื่อมโยงกันผ่านทางบัส EUROCON* ขนาด 64 ขา รายละเอียดในแต่ละส่วนมีดังนี้

4.1 ส่วนประมวลผลกลาง

ส่วนประมวลผลกลางประกอบด้วย (ดูรูปที่ 4.1) CPU Intel 8088 ทำงานด้วยความเร็ว 5 เมกกะเฮิร์ท, Clock Generator 8284 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับระบบ โดยรับสัญญาณเข้าจากคริสตอลความถี่ 15 เมกกะเฮิร์ท และสร้างสัญญาณนาฬิกาความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ท สำหรับจ่ายให้กับซีพียู และความถี่ 2.5 เมกกะเฮิร์ท สำหรับวงจรส่วนต่างๆ ที่ต้องการใช้สัญญาณนาฬิกา เช่น ส่วนตั้งเวลา เป็นต้น, Programmable Interrupt Control 8259 จัดการเกี่ยวกับอินเตอร์รัพจากวงจรภายนอกได้จำนวน 8 จุด (INT 0-7) โดยจะส่ง Interrupt vector ออกมาที่บัสข้อมูลเพื่อให้ซีพียูนำค่าไปคำนวณหาตำแหน่งของหน่วยความจำที่เก็บตำแหน่งของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพ สำหรับวิธีการจัดลำดับการบริการของสัญญาณอินเตอร์รัพทั้ง 8 จุด ขึ้นกับการโปรแกรมกำหนดการทำงานของ 8259 (รายละเอียดจะกล่าวในบทที่ 5) สำหรับสัญญาณการควบคุมที่ใช้ในการอ่านเขียนหน่วยความจำและอุปกรณ์อินพุทเอาท์พุท จะมีตัวถอดรหัส 74LS138 ช่วยในการถอดรหัส โดยนำสัญญาณจากซีพียู คือ $\overline{IO/M}$, $\overline{RD}$, $\overline{WR}$ มาถอดรหัสเพื่อแยกสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการอ่านเขียนหน่วยความจำ และอุปกรณ์อินพุทเอาท์พุท ($\overline{IO/RD}$, $\overline{IO/WR}$, $\overline{M/RD}$, $\overline{M/WR}$)

---

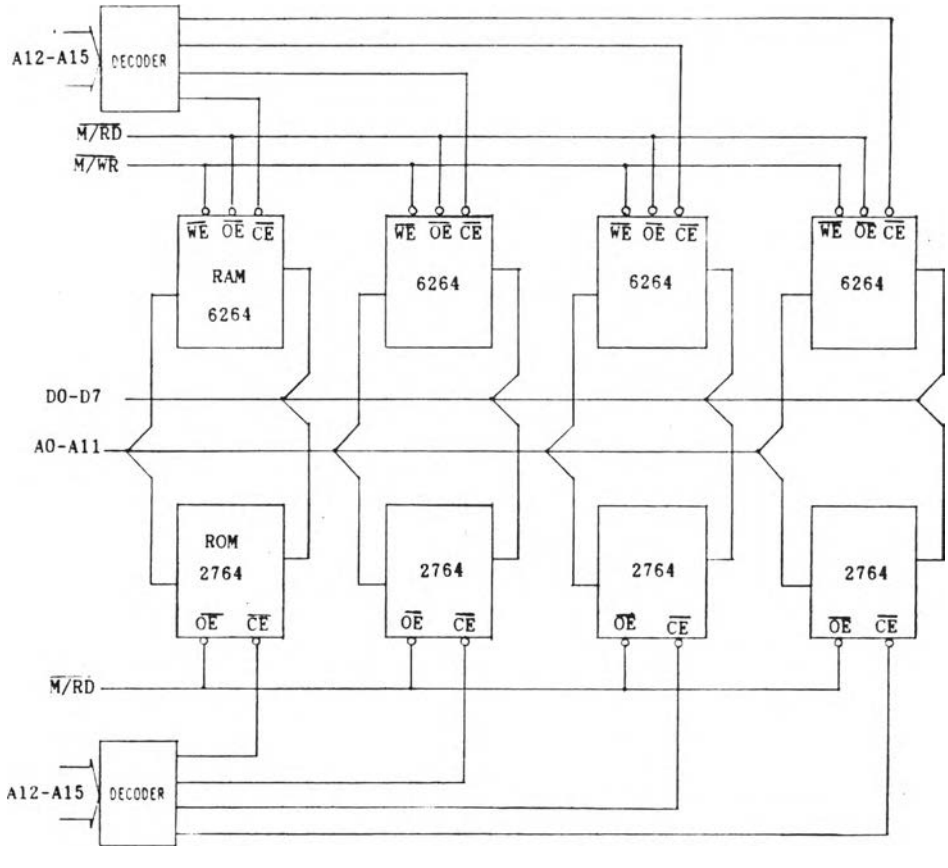
* รายละเอียดดูใน ภาคผนวก ข.



รูปที่ 4.1 บล็อคไดอะแกรมของวงจรส่วนประมวลผลกลาง

4.2 ส่วนหน่วยความจำ

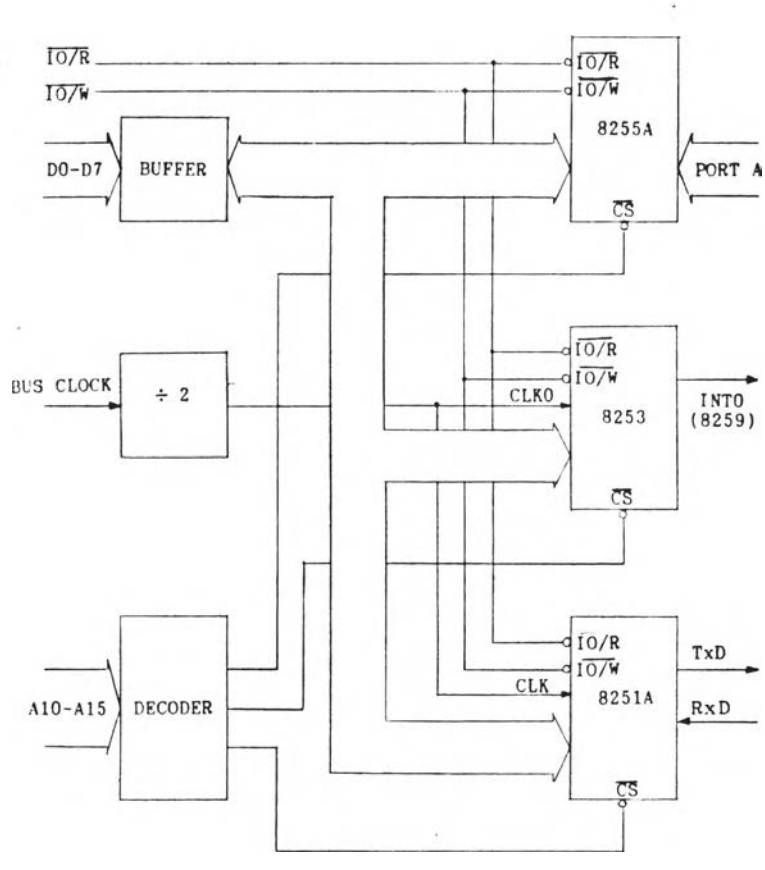
ส่วนหน่วยความจำถูกออกแบบให้มีความจุสูงสุดถึง 64 กิโลไบท์ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำประเภท RAM ใช้ 6264 ที่ตำแหน่ง 0000H-7999H และหน่วยความจำประเภท ROM ใช้ 2764 ที่ตำแหน่ง 8000H-FFFFH สาเหตุของการจัดตำแหน่งของ ROM ที่ตำแหน่งสูงและ RAM ที่ตำแหน่งต่ำ เพราะลักษณะการทำงานของ ซีพียู Intel 8088 เมื่อรับสัญญาณ RESET จะอ่านคำสั่งที่ตำแหน่ง FFF0H เพื่อทำงานโดยหน่วยความจำจากตำแหน่ง FFF0H ถึง FFFFH จะเก็บคำสั่งการกำหนดค่าเริ่มต้นและคำสั่งกระโดดไปยังจุดเริ่มต้นของโปรแกรมจัดการระบบ สำหรับหน่วยความจำ RAM ใน 1 กิโลไบท์แรก จะถูกจองไว้สำหรับเก็บค่าตัวชี้ตำแหน่งของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ชนิดต่างๆ โดยการอินเตอร์รัพมี 256 ชนิด แต่ละค่าตัวชี้ใช้หน่วยความจำขนาด 4 ไบท์ โดยเก็บค่าของ Segment และ Offset ที่ใช้ชี้ตำแหน่งโปรแกรม สำหรับการถอดรหัสเพื่อเลือกตำแหน่งของหน่วยความจำ จะใช้ 74LS138 บล็อคไดอะแกรมของวงจรส่วนหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 บล็อคไดอะแกรมของวงจรส่วนหน่วยความจำ

4.3 ส่วนตั้งเวลาและการสื่อสาร

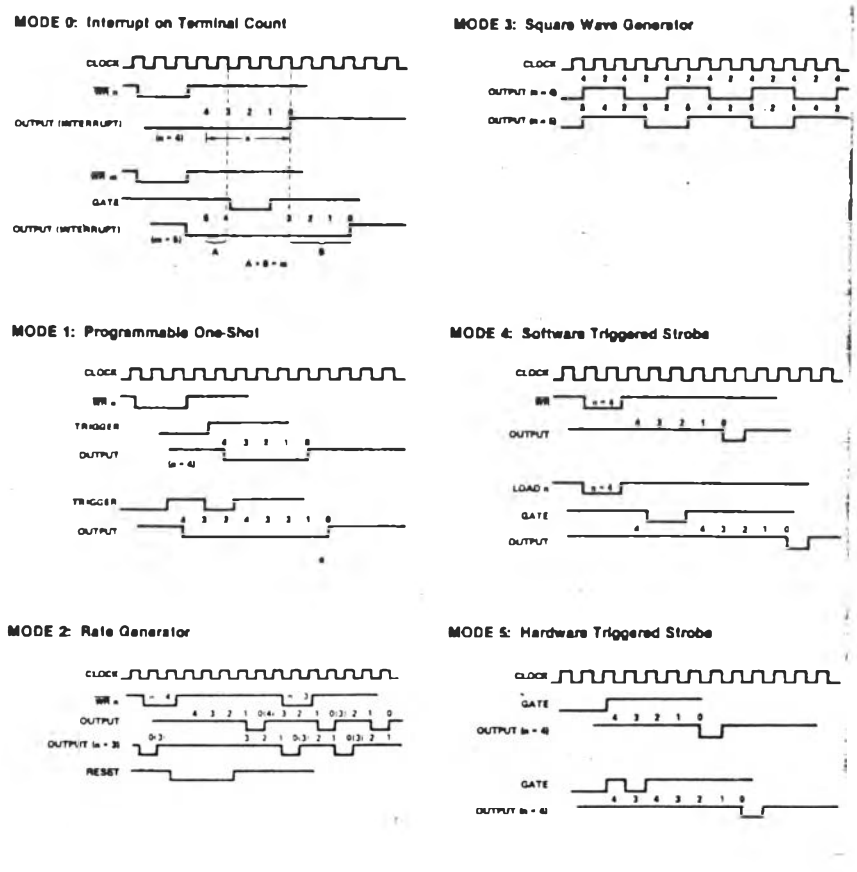
ส่วนตั้งเวลาและการสื่อสารแบบอนุกรม ประกอบด้วยไอซีหลัก 3 ตัว คือ 8253 (Programmable Interval Timer), 8255A (Programmable Peripheral Interface), 8251A USART บล็อคไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 4.3 รายละเอียดการทำงานของแต่ละไอซีมีดังนี้



รูปที่ 4.3 บล็อคไดอะแกรมส่วนตั้งเวลาและการสื่อสาร

(1) 8253 โครงสร้างภายในประกอบด้วยตัวนับขนาด 16 บิท ที่โปรแกรมการทำงานได้ 3 ตัว ใช้กับสัญญาณอินพุทที่ความถี่ไม่เกิน 2.6 MHz (ขนาดความถี่ไม่เกิน 2 MHz สำหรับ 8253-5) การทำงานของ 8253 มีได้หลาย mode แสดงได้ ดังรูปที่ 4.4 นำมาใช้งานร่วมกับ PIC 8259 ในการตั้งเวลาการสุ่มข้อมูล โดยใช้ตัวนับตัวที่ 0 ของ 8253 ทำงานใน mode 3 (สร้างสัญญาณจัตุรัส) รับสัญญาณความถี่ 1.25 MHz ซึ่งมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความถี่ของ bus clock บนบัส EUROCON เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาซึ่งมีค่าคาบเวลาเท่ากับ 50 ms.

ส่งไปอินเตอร์รัพท์ซีพียู นอกจากนั้นสัญญาณนี้จะใช้กับฟังก์ชัน TIMER สำหรับตัวตัวนับอีก 2 ตัว ถูกจองไว้สำหรับวงจรส่วนต่างๆ ของระบบ



รูปที่ 4.4 โหมดการทำงานแบบต่างๆของ 8253

(2) 8255A โครงสร้างภายในประกอบด้วยพอร์ทแบบขนาน (Parallel Port) 3 ชุด ที่สามารถโปรแกรมเลือกแต่ละพอร์ทให้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทได้ ในวงจรนี้ใช้พอร์ท A เพียงพอร์ทเดียวทำหน้าที่เป็นอินพุทเก็บสถานะของการทำงาน เช่น ค่าการเปรียบเทียบสัญญาณจาก DAC กับสัญญาณอินพุทแบบต่อเนื่อง ใช้ร่วมกับโปรแกรมเพื่อหาค่าเชิงเลขที่ถูกต้องของสัญญาณอินพุท, เก็บสถานะสวิทช์ที่ให้เลือกรูปแบบในการคำนวณของโปรแกรม PID เป็นแบบ Direct หรือ Inverse, เก็บสถานะการเลือกอ่านโปรแกรมกำหนดรูปแบบบน ROM หรือ RAM เป็นต้น ความหมายของแต่ละบิทในพอร์ท A ของ 8255A แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

บิทที่	ความหมาย
0	ผลการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่าง DAC กับ สัญญาณเข้า
1	กำหนด PID ลูปแรก แบบ DIRECT หรือ REVERSE
2	กำหนด PID ลูปสอง แบบ DIRECT หรือ REVERSE
3	กำหนดอ่านโปรแกรมบน ROM หรือ RAM
4-7	ไม่ถูกใช้งาน

(3) 8251A ใช้สื่อสารกับไมโครคอมพิวเตอร์ ส่วนนี้ไม่อยู่ในขอบเขตของวิทยานิพนธ์ แต่ใส่ไว้เพื่อขยายความสามารถของตัวควบคุมเชิงเลขในอนาคต

ตำแหน่งและหน้าที่ของพอร์ทบนบอร์ด แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2

ตำแหน่งพอร์ท	หน้าที่พอร์ท
C000	อ่านเขียนข้อมูลบน 8251A
C001	อ่านสถานะหรือเขียนคำสั่งควบคุมบน 8251A
C800	อ่านเขียนข้อมูลบน TIMER 0 ของ 8253
C801	อ่านเขียนข้อมูลบน TIMER 1 ของ 8253
C802	อ่านเขียนข้อมูลบน TIMER 2 ของ 8253
C803	อ่านสถานะหรือเขียนคำสั่งควบคุมบน 8253
CC00	อ่านหรือเขียนข้อมูลที่พอร์ท A ของ 8255A
CC01	อ่านหรือเขียนข้อมูลที่พอร์ท B ของ 8255A
CC02	อ่านหรือเขียนข้อมูลที่พอร์ท C ของ 8255A
CC03	เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของ 8255A

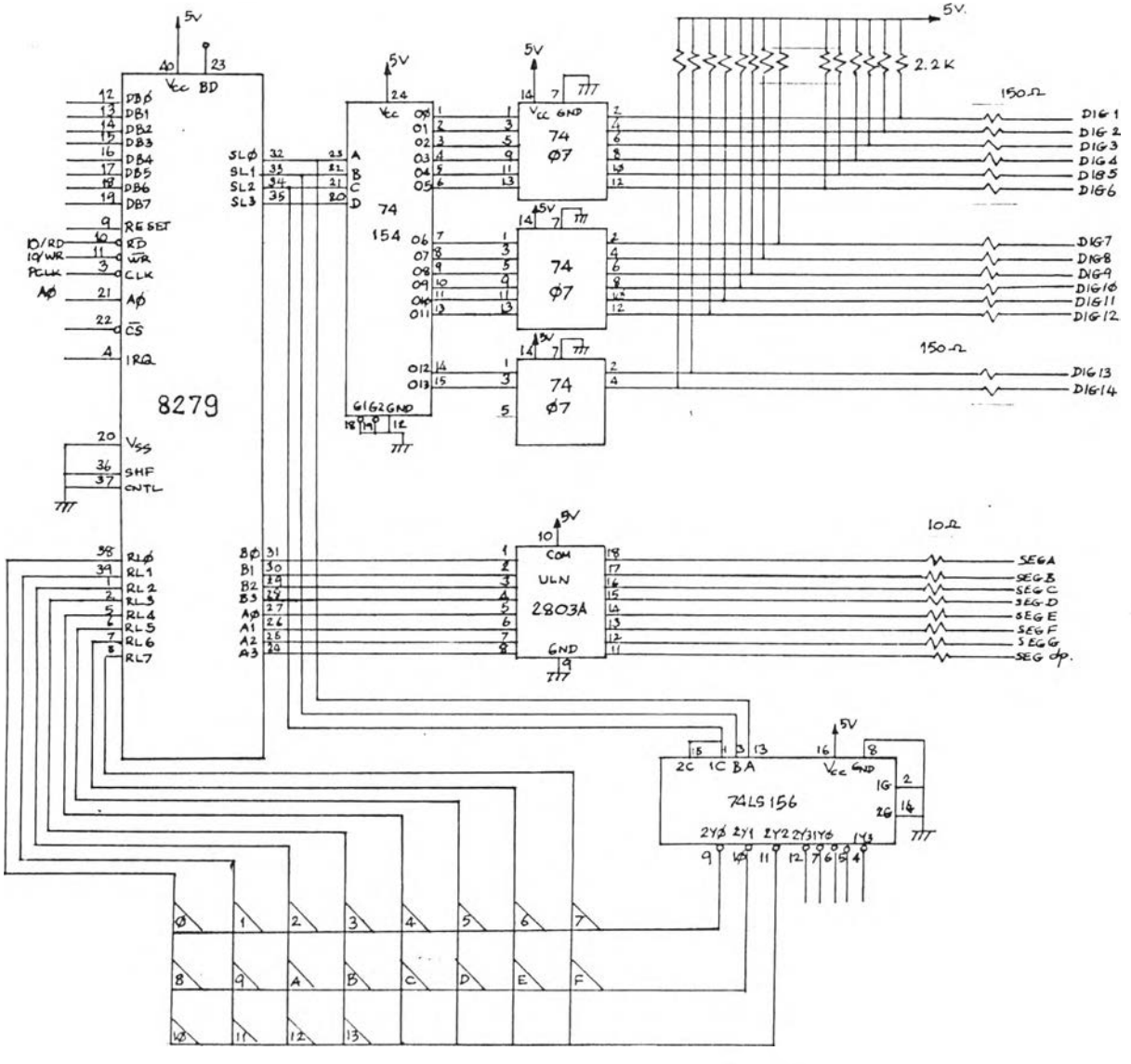
4.4 ส่วนแสดงผลและแป้นพิมพ์ (Display & Keyboard Interface)

ส่วนแสดงผลและแป้นพิมพ์ออกแบบไว้เพื่อการแสดงผล และการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ โดยจำแนกการทำงานเป็น 2 ส่วนแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจัดการเกี่ยวกับ ค่าตัวแปรโปรเซส ตัวแปรควบคุม ค่าเป้าหมาย และโหมดการทำงานของระบบ โดยแสดงค่าทั้งแบบ Bar Graph และแบบ LED 7 ส่วน ส่วนที่สองจัดการเกี่ยวกับ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุม เช่น ค่า Proportional Band, Integral Time, Derivative Time ในส่วนนี้แสดงผลโดยใช้ไอซีที่มีส่วนแสดงผลเป็นแบบ 16 Segments

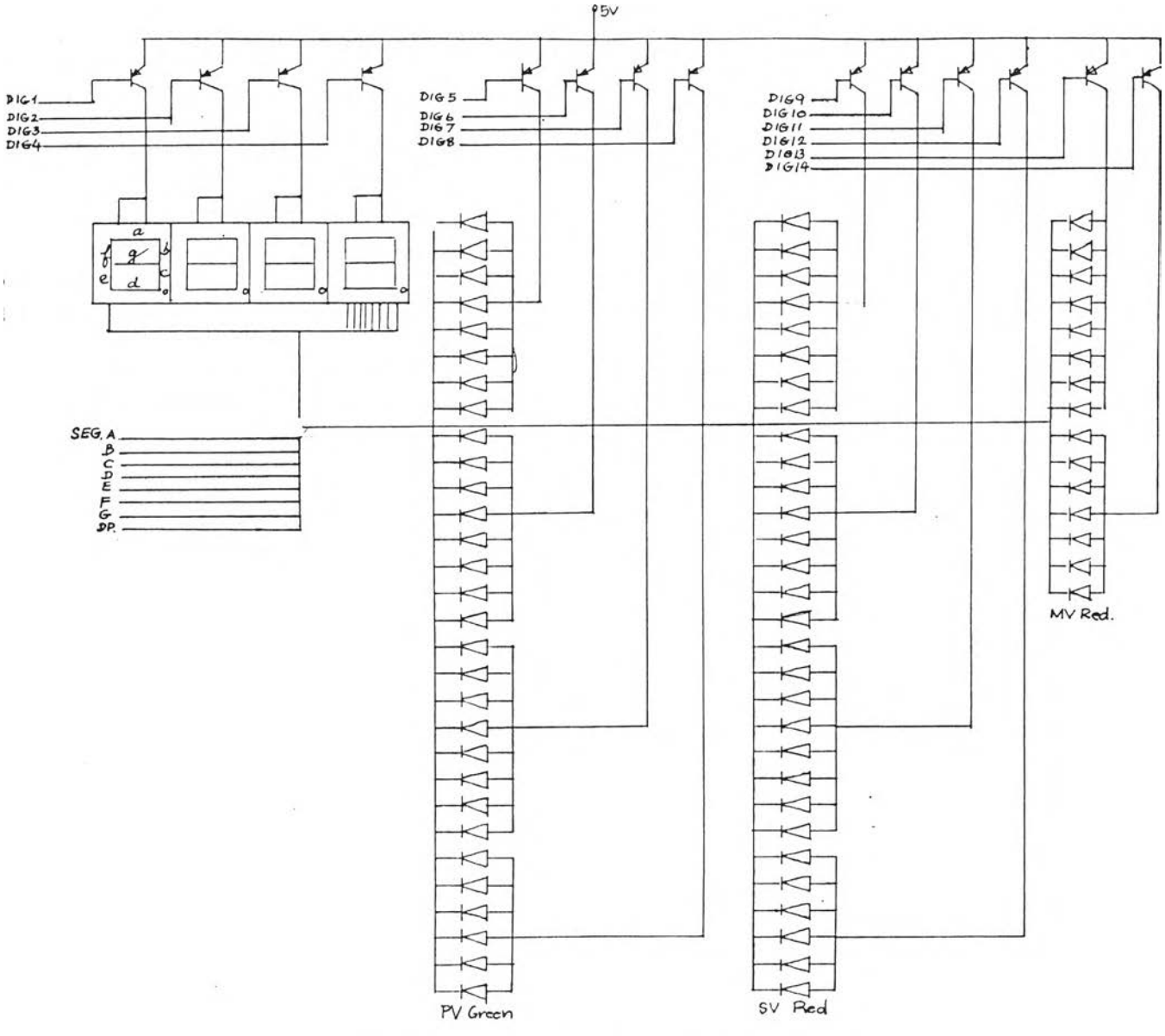
วงจรในรูปที่ 4.5,4.6 และ 4.7 เป็นวงจรของส่วนแสดงผลและแป้นพิมพ์ ใช้ไอซี 8279 Programmable Keyboard/Display Interface ทำหน้าที่สแกนอ่านค่าคีย์บอร์ดจำนวน 14 ตัว และสแกนส่วนแสดงผล 16 ตัว แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแสดงผลด้วย LED 7 ส่วน สำหรับ 4 ตัวแรก เพื่อแสดงค่าตัวแปรของระบบเป็นตัวเลข สำหรับอีกส่วนแสดงผลเป็น Bar Graph โดยใช้ตัวที่ 5-8 สำหรับแสดงผลค่าตัวแปรโปรเซส, ตัวที่ 9-12 แสดงค่าเป้าหมาย และตัวที่ 13-14 แสดงค่าตัวแปรควบคุมระบบ

การทำงานของส่วนสแกนค่าแป้นพิมพ์ (ดูรูปที่ 4.5) เริ่มจาก 8279 ส่งสัญญาณจาก SL0-SL3 ผ่านตัวถอดรหัส 2 ออก 4 ไอซีเบอร์ 74LS156 เพื่อเลือกแถวของแป้นพิมพ์ที่ต้องการสแกนอ่าน ตัวแป้นพิมพ์ต่ออยู่ระหว่างขา SL0-SL3 กับ RL0-RL7 ของ 8279 เมื่อแป้นพิมพ์ถูกกด 8279 จะอ่านค่าลอจิคของ RL0-RL7 ถ้ามีค่า "0" 8279 จะคอยเพื่อ debounce 10.3 ms. ถ้ายังคงมีค่า "0" 8279 จะทำการแปลงรหัสเขียนลงบน RAM ส่วนคีย์บอร์ด

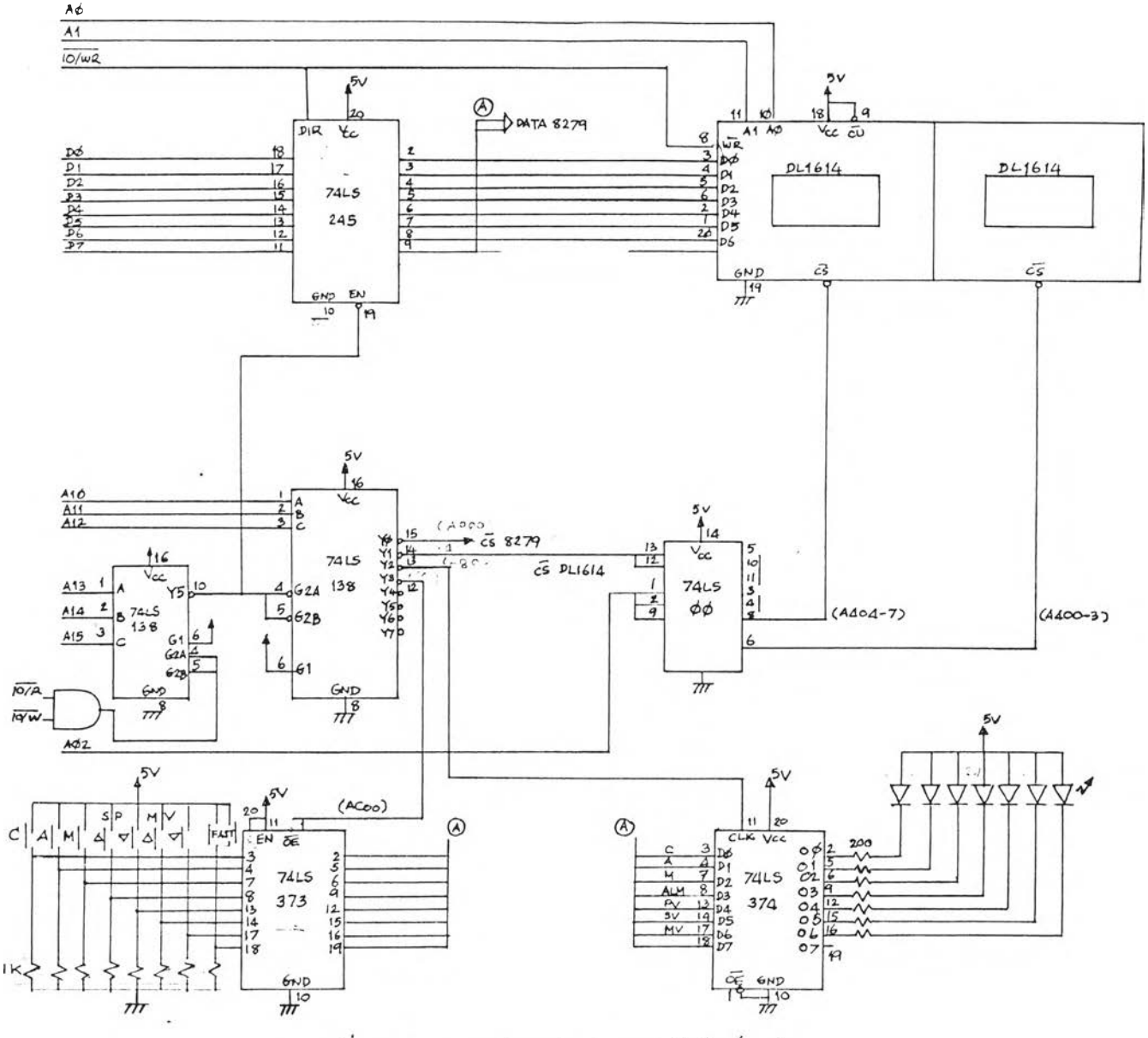
การทำงานของส่วนแสดงผลมีรายละเอียดสำคัญดังต่อไปนี้ จากรูปที่ 4.6 ส่วนแสดงผลทุกตัวเป็นแบบอาโนดร่วม (common-anode) โดยแต่ละตัวมีทรานซิสเตอร์สวิทช์ PNP ต่ออยู่ระหว่างขั้วอาโนดกับ 5 โวลท์ และในส่วนของ LED และ Bar Graph ในแต่ละ Segment จะต่อกับ บัส Segment เดียวกัน เพราะการแสดงผลของ 8279 เป็นแบบมัลติเพล็ก ซึ่งในการแสดงผลแต่ละครั้งจะมีเพียงตัวเดียวที่ถูกเลือกให้แสดงผล โดยรับสัญญาณลอจิก "0" เพื่อใช้ขับทรานซิสเตอร์เลือกตัวแสดงผล มาจากตัวถอดรหัส 4 ออก 16 ไอซีเบอร์ 74154 อินพุทของ 74154 มาจากขา SL0-SL3 ของ 8279 โดย 8279 จะให้สัญญาณที่ขา SL0-SL3 วนเป็นรอบจาก 0000 ถึง 1111 โดยเพิ่มค่าทีละหนึ่ง ทำให้ 74154 สร้างสัญญาณเลือกตัวแสดงผลทีละตัวจนครบ บัสของ Segment ส่วนแสดงผล (ดูรูปที่ 4.6) ต่อกับขา A3-A0 และ B3-B0 ของ 8279 การทำงานจะเริ่มจาก 8279 ส่งข้อไปเลือก Segment ที่ต้องการให้สว่างเพียงตัว



รูปที่ 4.5 วงจรส่วนแสดงผลและแป้นพิมพ์



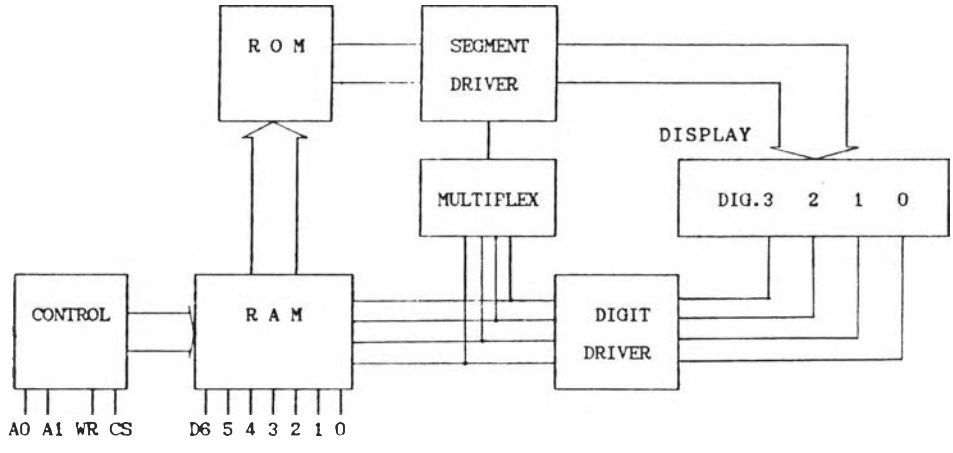
รูปที่ 4.6 วงจรส่วนแสดงผลและแป้นพิมพ์ (ต่อ)



รูปที่ 4.7 วงจรส่วนแสดงผลและแป้นพิมพ์ (ต่อ)

แสดงผลที่ถูกเลือก โดยข้อมูลถูกส่งผ่านทางบัฟเฟอร์ ULN2803A ข้อมูลที่ส่งนี้ถูกนำมาจากหน่วยความจำ RAM ส่วนแสดงผลจำนวน 16 ไบท์ ภายใน 8279

สำหรับส่วนแสดงผล 16 Segments ใช้ไอซีเบอร์ DL1416 (4 Digit LED Intelligent Displays) โครงสร้างภายในแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 ทำงานโดยรับสัญญาณควบคุมจาก A0,A1,IO/WR,CS และรับข้อมูลจากบัสข้อมูล เพื่อเขียนข้อมูลลงบน RAM ภายใน DL1416 จากนั้น DL1416 จะนำค่าใน RAM ไปถอดรหัสเพื่อแสดงผลบน LED 16 segments โดยการถอดรหัสเพื่อหาตัวอักษร จะใช้การถอดรหัสแบบ ASCII 7 บิท



รูปที่ 4.8 โครงสร้างภายใน DL1416

วงจรส่วนแสดงผลสถานะการทำงานของระบบ (ดูรูปที่ 4.7) เช่น แสดงโหมดของการควบคุม (AUTO, MANUAL, CASCADE) ใช้ LED ต่อผ่าน Latch 74LS374 สำหรับวงจรแป้นพิมพ์ที่เหลือคือ แป้นพิมพ์กดเลือกโหมดการควบคุม, เปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย และค่าสัญญาณควบคุมโปรเซส ใช้สวิทช์ต่อผ่าน Latch 74LS373

สำหรับการถอดรหัสหาค่าตำแหน่งพอร์ทต่างๆบนบอร์ดนี้ (ดูรูปที่ 4.7) ใช้ตัวถอดรหัส 74LS138 โดยตำแหน่งและหน้าที่ของพอร์ท แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

ตำแหน่งพอร์ท	หน้าที่พอร์ท
A000	อ่าน/เขียน 8279 RAM แสดงผล หรือ อ่าน 8279 FIFO
A001	อ่านสถานะของ 8279 หรือ เขียนคำสั่งบน 8279
A400-A407	เขียนข้อมูลบน DL1416 เพื่อแสดงผลจากตำแหน่ง 0-7
A800	เขียนข้อมูลบน 74LS374 เพื่อขับ LED
AC00	อ่านข้อมูลจาก keyboard ผ่าน 74LS373

ฮาร์ดแวร์ของวงจรแสดงผลและแป้นพิมพ์ ประกอบด้วยบอร์ดวงจร 3 บอร์ด คือ

(1) บอร์ดขนาด 100x160 mm. ใช้เชื่อมต่อกับบัส EUROCON เพื่อดึงสัญญาณที่จำเป็นบางส่วนมาใช้กับวงจรแสดงผลและแป้นพิมพ์

(2) บอร์ดแสดงผลด้านข้าง ส่วนแสดงผลเป็นแบบ LED 16 segments

(3) บอร์ดแสดงผลด้านหน้า ส่วนแสดงผลเป็นแบบ LED 7 segments และ bar graph

การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างบอร์ดที่ 1 และ 2 ใช้ connector ขนาด 24 ขา รายละเอียดแสดงได้ ดังรูปที่ 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5 V.	BCLK	IO/R	A0	A2	A11	A13	A15	D1	D3	D5	D7
GND	RES	IO/W	A1	A3	A12	A14	D0	D2	D4	D6	RES
24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13

รูปที่ 4.9 รายละเอียดของ Connector ขนาด 24 ขา

BCLK : สัญญาณนาฬิกาความถี่ 2.5 MHz จากบัส EUROCON

IO/R, IO/W : สัญญาณควบคุมการอ่านเขียนอินพุทเอาท์พุท

A0-A15 : Address Bus

D0-D7 : Data Bus

RES : ไม่ได้ใช้งาน

การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างบอร์ดที่ 2 และ 3 ใช้ connector ขนาด 36 ขา รายละเอียดแสดงได้ ดังรูปที่ 4.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
5 V.	Sel1	RL2	D0	D2	D4	D6	SgA	SgC	SgE	SgG	Dg1	Dg3	Dg5	Dg7	Dg9	Dg11	Dg13
GND	Sel2	RL4	D1	D3	D5	D7	SgB	SgD	SgF	DP	Dg2	Dg4	Dg6	Dg8	Dg10	Dg12	Dg14
36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19

รูปที่ 4.10 รายละเอียดของ Connector ขนาด 36 ขา

Sel 1 : สัญญาณเลือกเอาท์พุทที่ 74LS374

Sel 2 : สัญญาณเลือกอินพุทของ 74LS373

RL2,4 : สัญญาณจากขา RL2,4 ของ 8279

D0-D7 : Data Bus

Sg A-F : Segment ของ LED 7 ส่วน

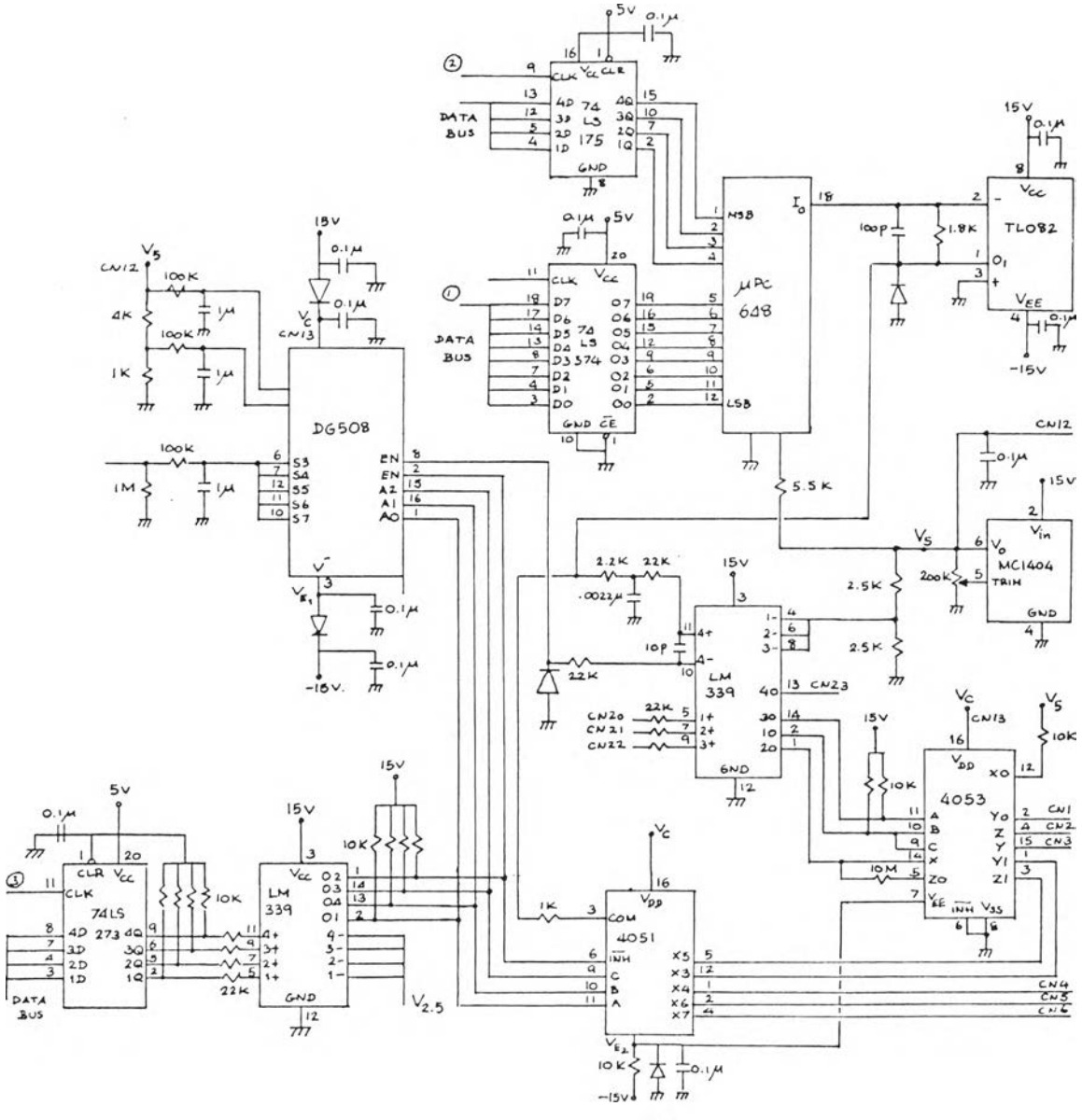
Dg 1-14 : ตำแหน่งของส่วนแสดงผลของ 8279

4.5 ส่วนอินพุทและเอาท์พุท

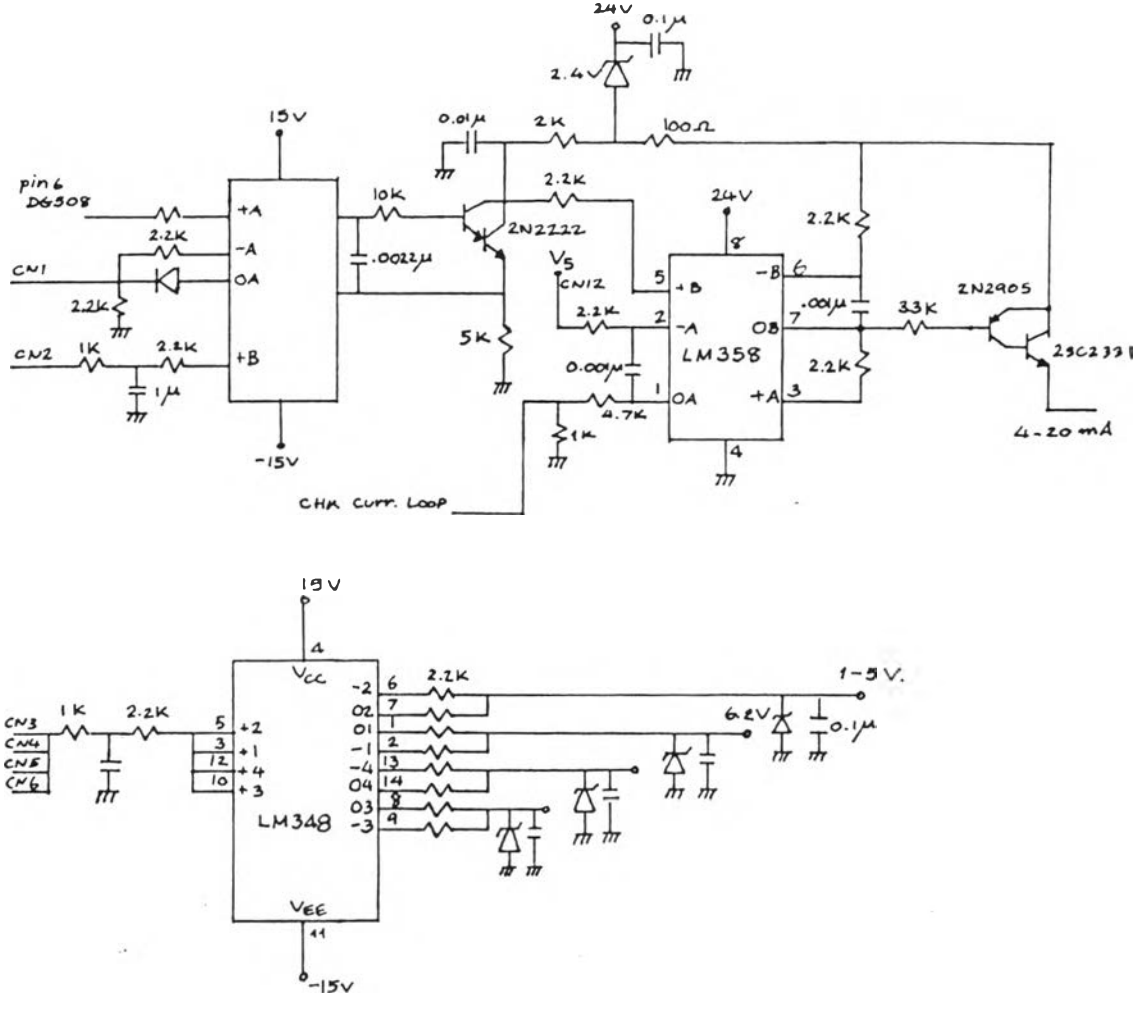
ส่วนอินพุทและเอาท์พุท วงจรแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนติดต่อกับสัญญาณอนาลอค และสัญญาณดิจิตอล

(1) ส่วนสัญญาณอนาลอค ใช้ติดต่อกับสัญญาณอนาลอคภายนอก ซึ่งสัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณแรงดันมาตรฐาน 1-5 V_{dc} สำหรับสัญญาณขาออกเป็นทั้งสัญญาณแรงดัน 1-5 V_{dc} และสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA_{dc} (ดูรูปที่ 4.11) วงจรประกอบด้วย DG508 8-Channel Analog Multiplexer ทำหน้าที่เลือกสัญญาณเข้าจากภายนอกทั้งหมด 5 ช่องสัญญาณ ส่วนทางด้านเอาท์พุทใช้ไอซี 4051 8-Channel Analog Switch เลือกช่องสัญญาณออก โดยการเลือกช่องสัญญาณของทั้ง DG508 และ 4051 ทำได้โดยการเขียนข้อมูล 4 บิท ผ่าน 74LS273 แบ่งเป็น 3 บิท เพื่อเลือกช่องสัญญาณ และอีก 1 บิท เพื่อเลือก Analog Switch (DG508 และ 4051 จะทำงานไม่พร้อมกัน เนื่องจากสัญญาณ Enable ของ DG508 มีลอจิค "1" ส่วน 4051 มีลอจิค "0") ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลที่เขียนผ่าน 74LS273 (พอร์ทที่ B400) เพื่อเลือกช่องสัญญาณอินพุทเอาท์พุท

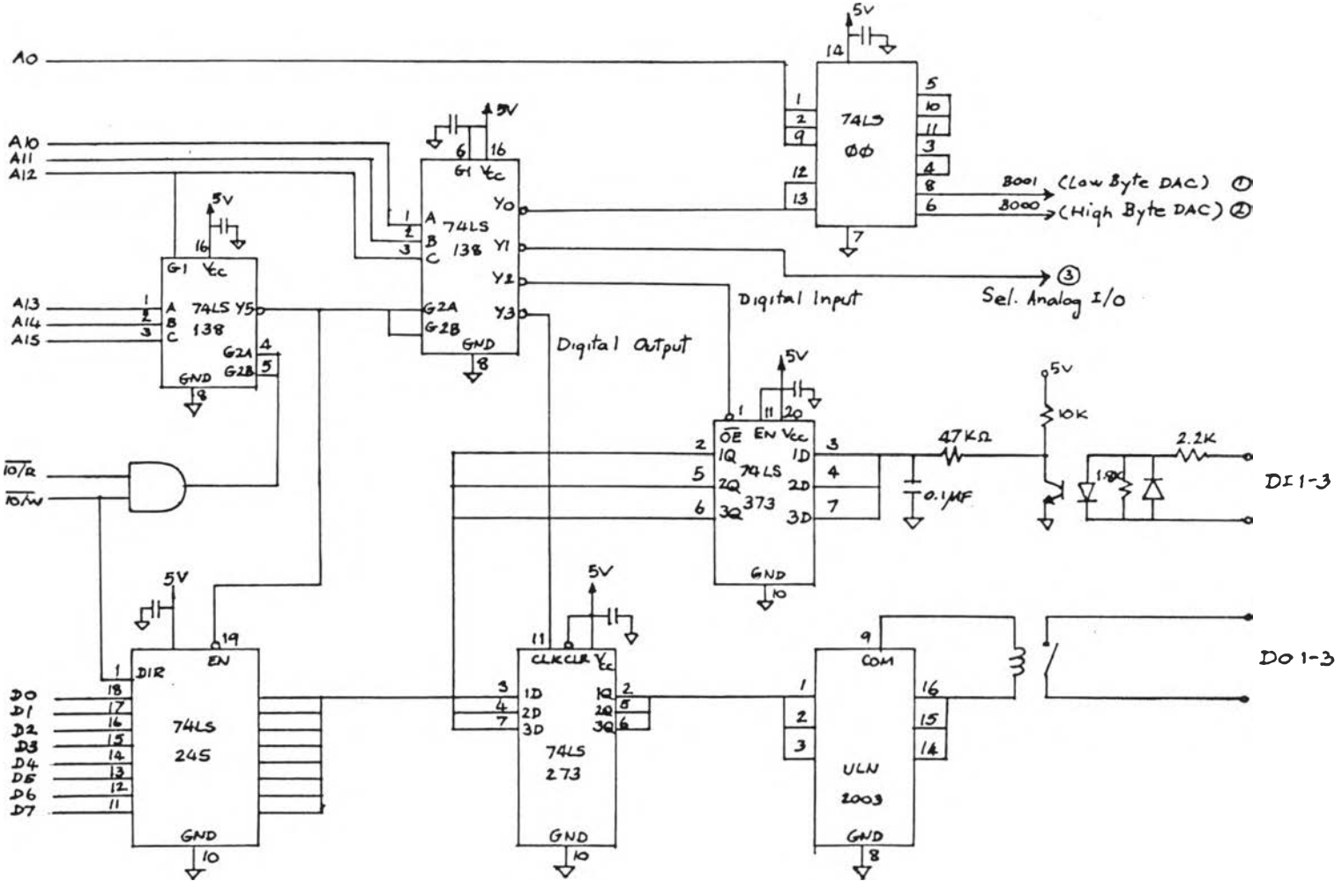
I 17494938X



รูปที่ 4.11 วงจรส่วนอินพุทเอาท์พุท



รูปที่ 4.11 วงจรส่วนอินพุทเอาท์พุท (ต่อ)

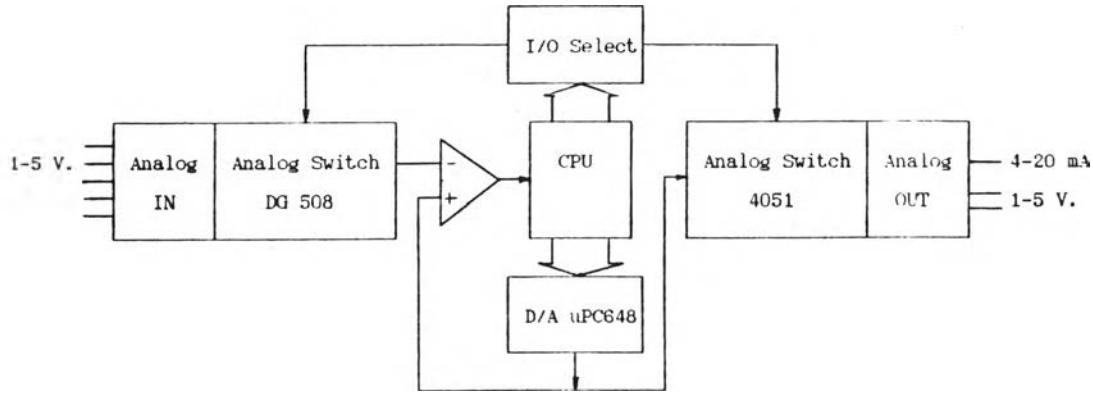


รูปที่ 4.11 วงจรส่วนอินพุทเอาท์พุท (ต่อ)

ตารางที่ 4.4

อินพุท	ข้อมูลพอร์ท B400	เอาท์พุท	ข้อมูลพอร์ท B400
1	0A	1	05
2	0B	2	09
3	06	3	04
4	07	4	0C
5	0E		

การแปลงค่าไปกลับระหว่างสัญญาณอนาลอค กับสัญญาณดิจิตอล (ดูรูปที่ 4.12) ใช้ไอซี uPC648 12 bit DAC การทำงานในกรณีที่เปลี่ยนค่าสัญญาณอนาลอคเป็นดิจิตอล วงจรจะทำงานแบบ Sucessive Approximation ADC คือวงจรจะทำงานร่วมกับโปรแกรม โดยโปรแกรมส่งค่าดิจิตอลมาที่ 74LS374 สำหรับ low byte และที่ 74LS175 สำหรับ high byte ผ่านเข้า DAC ได้สัญญาณอนาลอคมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทจาก DG508 เพื่อหาค่าดิจิตอลที่เหมาะสม สำหรับการทำงานในกรณีที่เปลี่ยนค่าสัญญาณดิจิตอลเป็นเอนาลอค วงจรสามารถส่งค่าดิจิตอลผ่าน DAC ออกทาง 4051 ได้ทันที



รูปที่ 4.12 บล็อคไดอะแกรมแสดงการแปลงสัญญาณอนาลอค/ดิจิตอลและดิจิตอล/อนาลอค

การถอดรหัสหาค่าตำแหน่งของพอร์ทต่างๆบนอินพุทเอาท์พุทบอร์ด ใช้ตัวถอดรหัส 74LS138 ตำแหน่งและหน้าที่พอร์ทแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

ตำแหน่งพอร์ท	หน้าที่พอร์ท
B000	เขียนข้อมูล D0-D7 ให้ DAC
B001	เขียนข้อมูล D8-D11 ให้ DAC
B400	เขียนข้อมูลเลือกช่องสัญญาณอนาลอคเข้าหรือออก
B800	อ่านข้อมูลสัญญาณเข้าแบบดิจิตอล
BC00	เขียนข้อมูลขับรีเลย์

(2) **ส่วนสัญญาณดิจิตอล** (ดูรูปที่ 4.11) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- อินพุท ใช้อินเตอร์เฟสกับสวิทช์ ปุ่มกด และ sensor ของอุปกรณ์ภายนอก โดยรับสัญญาณผ่าน Opto-couple เบอร์ TLP-521-4

- เอาท์พุท ใช้อินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ภายนอกที่ต้องการควบคุม วงจรประกอบด้วย รีเลย์ทำงานที่ 5 V_{dc} หน้าสัมผัสทนกระแสไฟฟ้าได้ 0.5 A โดยมีบัฟเฟอร์ ULN2003 เป็นตัวขับรีเลย์