บทที่ 5

การสร้างเครื่องควบคุม และการทดสอบ

การสร้างเครื่อง PC สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนที่สำคัญได้ 2 อย่างคือ การสร้างฮาร์ดแวร์ และการพัฒนาซอฟท์แวร์

5.1 การสร้างฮาร์ดแวร์

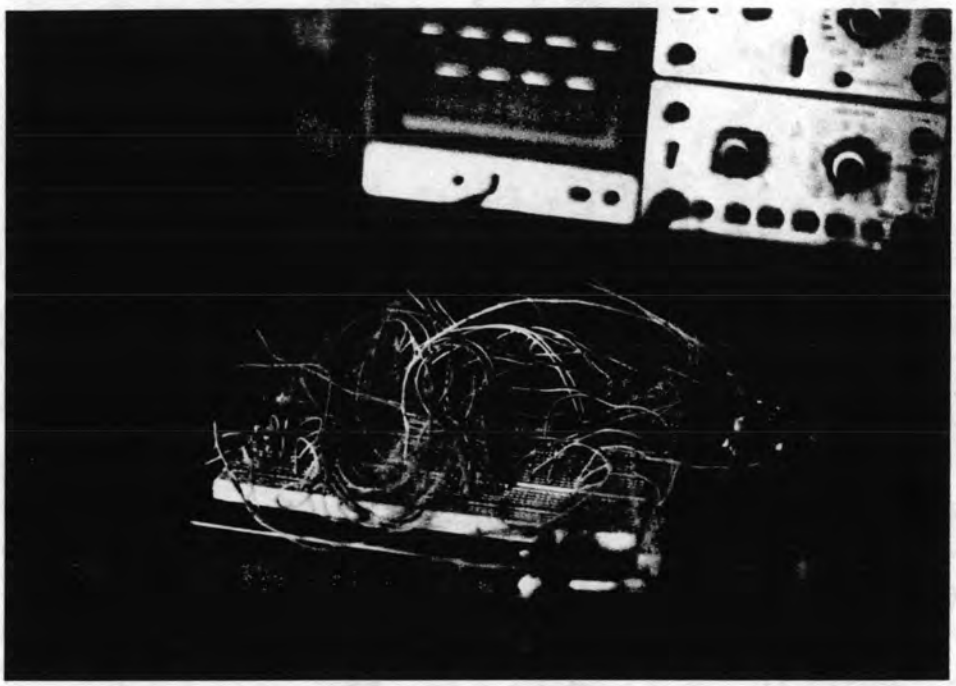
การสร้างฮาร์ดแวร์ของเครื่อง PC ก็เหมือนวงจรอีเลคทรอนิคส์อื่น ๆ คือ ต้องมีการทดลองวงจรมีการแก้ไขปรับปรุงวงจรเพื่อให้มีเสถียรภาพดีที่สุด

การสร้างฮาร์ดแวร์ของเครื่อง PC ที่ออกแบบนี้เริ่มจากการออกแบบวงจรต่าง ๆ ในกระดาษก่อน โดยเริ่มทำวงจรส่วนที่สำคัญก่อนคือ โมดูลประมวลผล โมดูลแสดงผล และคีย์บอร์ด และตามด้วยโมดูลอินพุท/เอาท์พุทต่าง ๆ การออกแบบนี้จะต้องตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ว่าสามารถทำงานร่วมกันได้ เช่น ความเร็ว, ระดับของสัญญาณต่าง ๆ

5.1.1 การทดลองฮาร์ดแวร์

จากวงจรที่ออกแบบแล้วควรมีการทดลองก่อนที่จะนำไปสร้างวงจรจริง เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรสามารถทำงานได้ถูกต้อง ถ้ามีวงจรส่วนใดทำงานผิดพลาดจะได้แก้ไขให้ถูกต้องเสียก่อน การทดลองฮาร์ดแวร์ของเครื่อง PC ที่ออกแบบนี้จะใช้การทดลองในแผ่นโฟโต้บอร์ด โดยเลือกทดลองวงจรเฉพาะส่วนที่ยุ่งยาก หรือวงจรที่อาจมีปัญหาในการทำงาน สำหรับวงจรพื้นฐานหรือวงจรที่เคยใช้งานมาแล้ว บางส่วนอาจนำไปออกแบบวงจรจริงเลยได้

การทดลองวงจรฮาร์ดแวร์นี้ไม่อาจทดลองพร้อมกันได้ทั้งหมด เนื่องจากวงจรทั้งระบบมีขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถทำได้โดยทดลองวงจรส่วนที่สำคัญแล้วนำไปสร้างวงจรจริง แล้วจึงทดลองวงจรส่วนอื่นโดยต่อเชื่อมกับวงจรที่สร้างเสร็จแล้ว

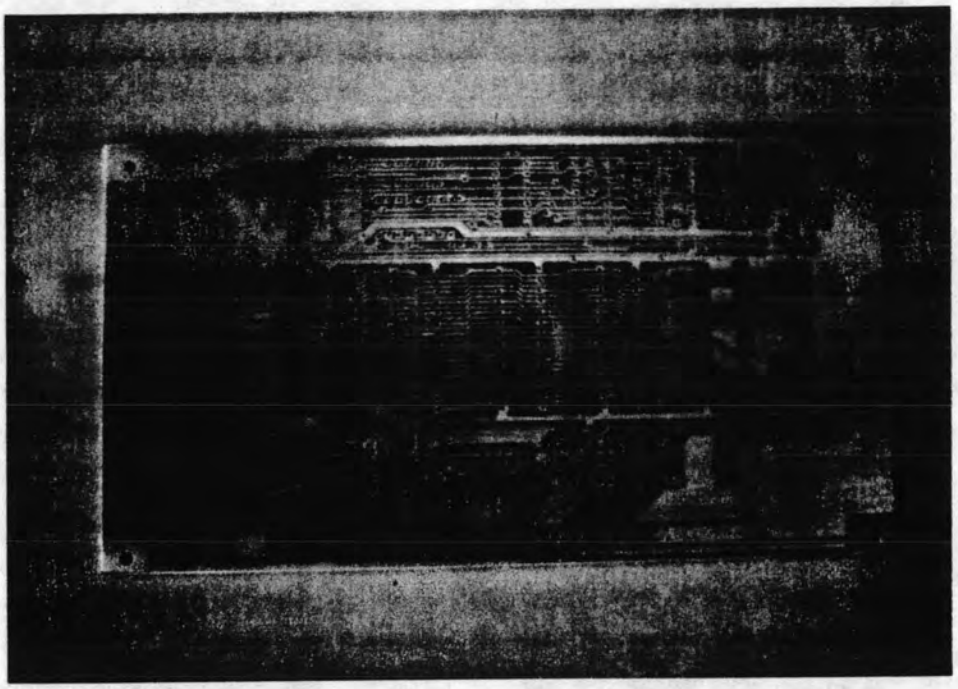


รูปที่ 5.1 แสดงรูปวงจรที่ทดลองฮาร์ดแวร์

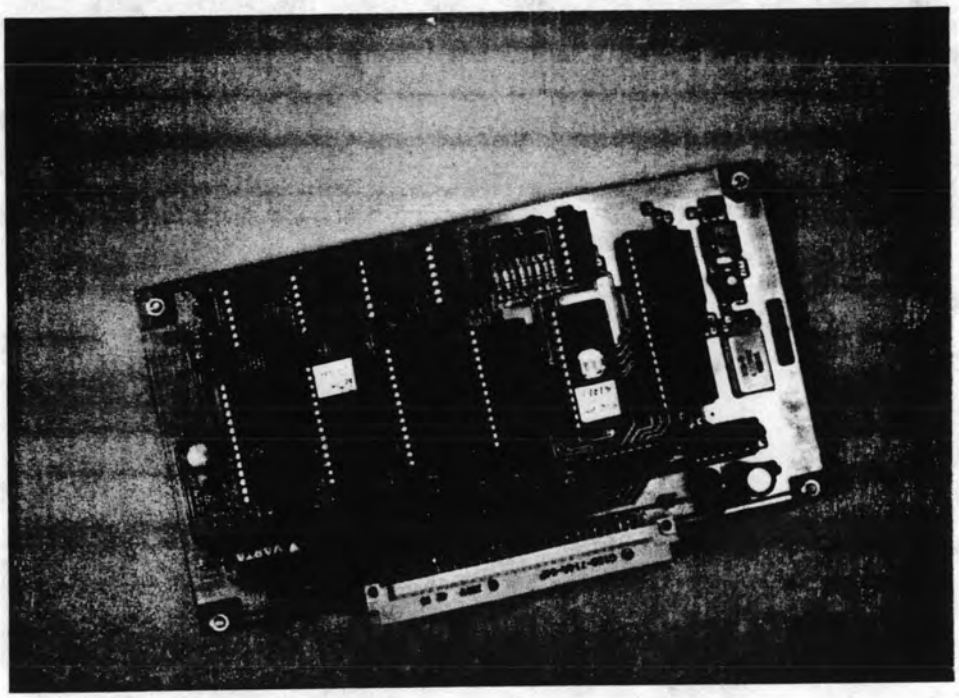
5.1.2 การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์

เมื่อทดลองการทำงานของฮาร์ดแวร์ที่ทดลองจนเครื่องสามารถทำงานได้ถูกต้องแล้ว ขั้นต่อไปคือการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งานของเครื่องด้วย เนื่องจากเครื่อง PC จะต้องใช้งานสำหรับการควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมเช่นนั้น ต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวนเป็นสำคัญ การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์นั้นจะต้องพยายามให้ป้องกันการรบกวนจากสัญญาณภายนอกให้มากที่สุด เช่น การจัดกลุ่มของอุปกรณ์ที่ติดต่อสัญญาณภายนอก กับกลุ่มอุปกรณ์ในการประมวลผลต้องพยายามให้แยกกัน การทำ Ground plane เพื่อช่วยลดการเหนี่ยวนำของสัญญาณรบกวน หรือการต่อคาปาซิเตอร์คับปลิ้งสัญญาณรบกวนต้องพยายามต่อให้ใกล้กับตัวอุปกรณ์ การวางตำแหน่งของอุปกรณ์พยายามให้สายสัญญาณต่าง ๆ สั้นที่สุด

การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่อง PC ที่สร้างนี้ จะใช้ซอฟท์แวร์ Smart work ช่วยในการออกแบบ ซึ่งทำให้การแก้ไขปรับปรุงต่าง ๆ ทำได้สะดวกรวดเร็ว



รูปที่ 5.2 แสดงแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบ



รูปที่ 5.3 แสดงแผ่นวงจรพิมพ์ที่ประกอบวงจรแล้ว

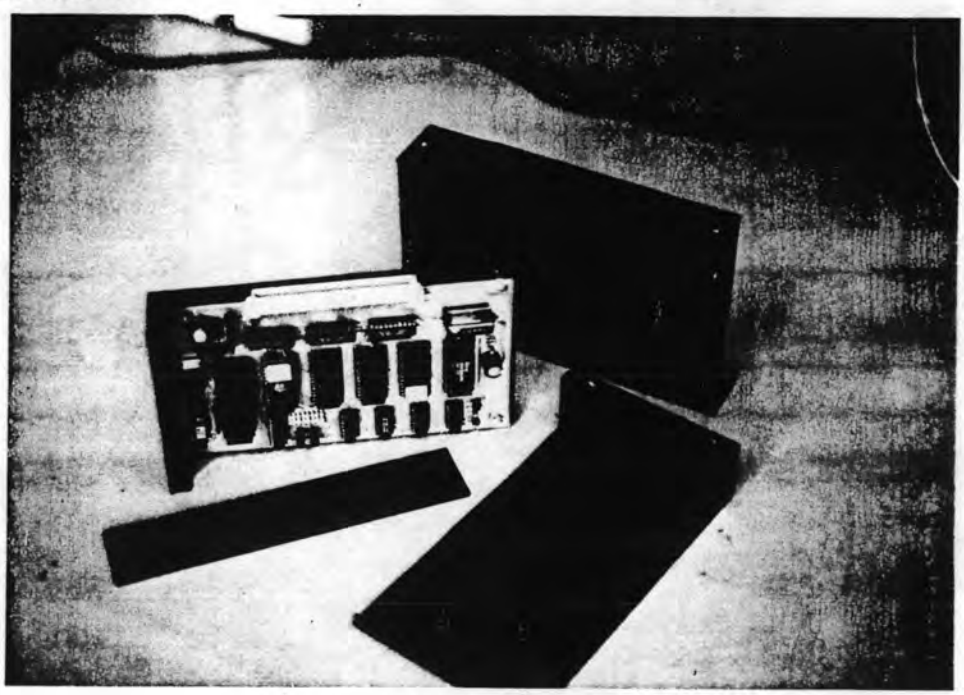
5.1.3 การประกอบวงจร และทดสอบ

เมื่อออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์เสร็จแล้วก็นำไปทำแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับประกอบวงจร โดยก่อนที่จะประกอบวงจรจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วย เช่น มีสายสัญญาณขาด หรือมีส่วนของวงจรที่ต่อกัน (Short) หรือไม่ ถ้ามีก็แก้ไขปรับปรุงให้เรียบร้อย การประกอบวงจรควรเลือกอุปกรณ์ที่คุณภาพ และต้องแน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ใส่ลงไปนั้นสามารถทำงานได้ การประกอบวงจรนั้นก็เป็นส่วนที่สำคัญต่อเสถียรภาพของเครื่องด้วย ต้องให้ความระมัดระวังด้วย เช่น ถ้ามีการบัดกรีไม่ดี (หลวม) เวลานำไปใช้งานอาจมีปัญหาทำงานได้บ้างไม่ได้บ้าง

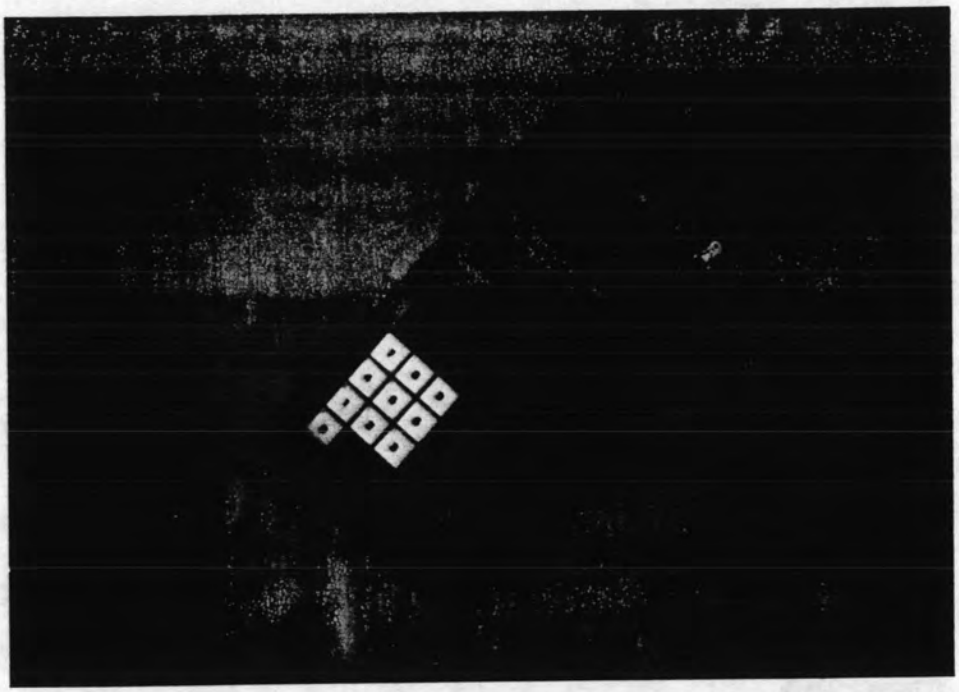
หลังจากที่ประกอบวงจรเสร็จแล้ว ก็ต้องมีการทดสอบว่าวงจรนั้นสามารถทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งจะทดสอบโดยใช้อิมูเลเตอร์ต่อกับวงจรที่สร้าง และส่งคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM ไปยังอิมูเลเตอร์ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรส่วนต่าง ๆ ว่าทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ บางครั้งการทดสอบฮาร์ดแวร์บางส่วนจำเป็นต้องเขียนซอฟท์แวร์ขึ้นมา เพื่อช่วยในการทดสอบด้วย เช่น การอินเตอร์รัพท์

เมื่อประกอบวงจรต่าง ๆ ของเครื่อง PC เสร็จแล้วงานขั้นต่อไปคือ การพัฒนาซอฟท์แวร์โปรแกรมควบคุม ซึ่งจะใช้อิมูเลเตอร์ในการพัฒนาและทดลองโปรแกรมส่วนต่าง ๆ หลังจากที่พัฒนาโปรแกรมเสร็จแล้ว จะต้องนำโปรแกรมไปอัดลงหน่วยความจำ EPROM แล้วจึงนำไปประกอบกับเครื่องให้สมบูรณ์

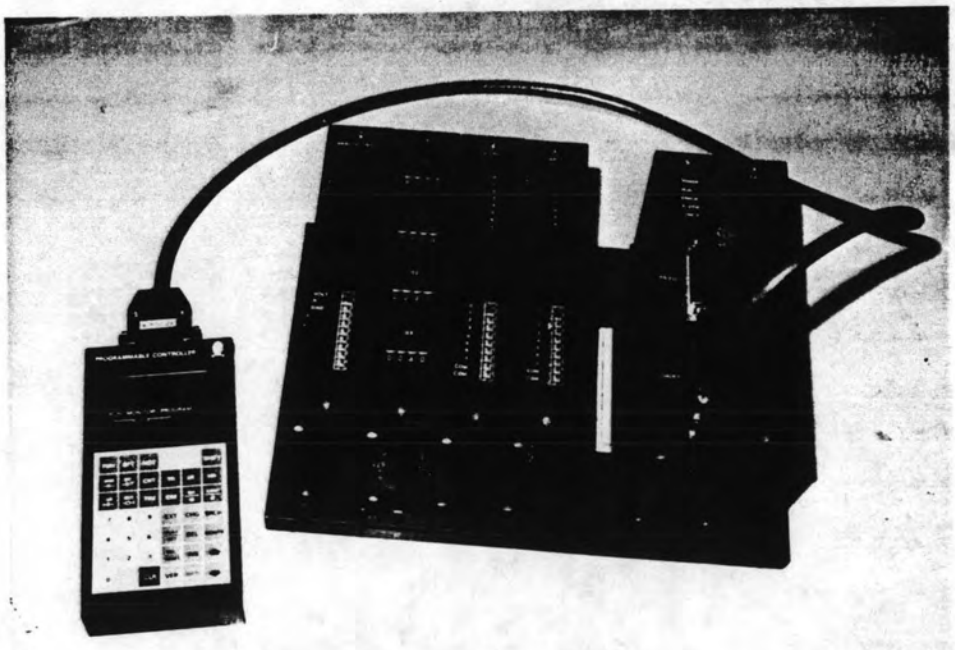
หลังจากนั้นก็ประกอบฮาร์ดแวร์ส่วนต่าง ๆ ลงกล่องที่ออกแบบไว้แล้ว นำไปทดสอบการใช้งานต่อไป



รูปที่ 5.4 แสดงวงจรที่ประกอบเป็นโมดูล



รูปที่ 5.5 แสดงรูปตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ



รูปที่ 5.6 แสดงเครื่อง PC ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

5.2 การพัฒนาซอฟท์แวร์

การพัฒนาซอฟท์แวร์โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง PC แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

5.2.1 การเขียนโปรแกรม

เป็นการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้ที่ใช้ควบคุมเครื่อง มีขั้นตอนคือ

1. ออกแบบโปรแกรม และเขียนโฟล์วชาร์ทในกระดาษ

2. เขียน และป้อนโปรแกรมควบคุมภาษาแอสเซมบลี้โดยใช้โปรแกรม Text editor ช่วย ซึ่งก็จะได้เป็น Text file โมดูลต่าง ๆ เก็บไว้

3. คอมพายล์โปรแกรม Text file ที่มีนามสกุล .SRC ให้เป็น Object program โดยโปรแกรม Z80ASM ในการคอมพายล์ ซึ่งถ้ามี Error เกิดขึ้นก็กับไปแก้ไขในขั้นตอนที่ 2 ใหม่

4. ลิ๊งค์ (Link) Object program ต่าง ๆ ที่ได้ให้ต่อกันเป็น FILE.ASM โดยใช้โปรแกรม LODZ80

5.2.2 การทดสอบโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่อง ไม่สามารถเขียนโปรแกรมครั้งเดียวทั้งหมดได้ จะต้องมีการเขียนเป็นส่วน ๆ และทดสอบการทำงานว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้กลับไปแก้ไข ถ้าถูกต้องแล้วก็เขียนโปรแกรมส่วนต่อไป หลังจากที่เขียนได้ทั้งหมดแล้วก็นำส่วนต่าง ๆ มาเชื่อมต่อกัน แล้วทดสอบการทำงานทั้งหมดอีกครั้ง

การทดสอบการทำงานของโปรแกรมจะใช้เครื่องอิมูเลเตอร์ช่วยในการทดสอบ โดยส่งคำสั่งทดสอบต่าง ๆ ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM ไปยังอิมูเลเตอร์ แล้วดูสถานะการทำงานต่าง ๆ ว่าโปรแกรมควบคุมทำงานถูกต้องหรือไม่ การใช้อิมูเลเตอร์นี้ทำให้สามารถแก้ไข และตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมได้เป็นอย่างดี การทดสอบการทำงานของโปรแกรมควบคุมแล้วพบข้อผิดพลาดจะต้องกลับไปขั้นตอนการเขียนโปรแกรมแล้วแก้ไขโปรแกรมใหม่ ซึ่งบางครั้งการแก้ไขอาจต้องเขียนโฟลว์ชาร์ทใหม่เลย

5.3 การทดสอบเครื่อง

การทดสอบการทำงานของเครื่อง จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือการทดสอบว่าเครื่องทำงานตามคำสั่งและฟังก์ชั่นต่าง ๆ ที่ออกแบบไว้ได้ถูกต้อง หรือไม่ และการนำเครื่องไปใช้

ควบคุมจริง ซึ่งใช้ทดสอบกับระบบสายพานลำเลียง

5.3.1 การทดสอบคำสั่งต่าง ๆ

การทดสอบคำสั่งต่าง ๆ ของเครื่องว่าทำงานถูกต้องหรือไม่ ก็จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นบันไดสำหรับทดลองการทำงานของแต่ละคำสั่ง และป้อนโปรแกรมเข้าไปแล้วลองให้เครื่องทำงานโหมดทำงาน (RUN) ว่าเครื่องทำงานถูกต้องตามต้องการหรือไม่ การทดลองนี้จะทำกับทุก ๆ คำสั่ง

ผลการทดสอบ คำสั่งทุกคำสั่งสามารถทำงานได้ถูกต้อง

ในการทดสอบคำสั่งต่าง ๆ นั้นบางครั้งต้องมีการสร้างสัญญาณและข้อมูลอินพุทด้วย ซึ่งในการทดสอบจะใช้สวิทช์โยกในการป้อนสัญญาณอินพุท และใช้โมดูลกำหนดค่าตัวเลข ช่วยในการป้อนข้อมูลตัวเลข

ถ้าการทดสอบ ถ้าพบข้อผิดพลาดก็ต้องแก้ไขโปรแกรมในส่วนของคำสั่งที่ทำงานผิดพลาด ซึ่งถ้าการหาข้อผิดพลาดยุ่งยากซับซ้อน ก็อาจนำอีมูเลเตอร์มาช่วยหาโดยให้ทำงานเป็นสเต็ป (Step) แล้วดูค่ารีจิสเตอร์ต่าง ๆ เพื่อหาตำแหน่งที่ผิดพลาดและแก้ไขต่อไป

5.3.2 การทดสอบเวลาในการทำงานของคำสั่ง

การหาเวลาในการทำงานของแต่ละคำสั่งต่าง ๆ สามารถหาได้ 2 วิธีคือ

1. โดยวิธีคำนวณ
2. โดยการวัดจากการทำงานจริงของเครื่อง

ในการหาเวลาการทำงานของคำสั่งต่อไปนี้ จะเป็นการหาเวลาการทำงานของคำสั่งเบื้องต้นเท่านั้นเพราะคำสั่งเหล่านี้จะใช้ในการเขียนโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่

เวลาในการทำงานของคำสั่งขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกา (Clock) ของซีพียูที่ทำงานด้วย สำหรับเครื่องที่ออกแบบนี้ใช้สัญญาณนาฬิกาขนาด 4 MHz ในการทำงานของซีพียู ดังนี้จะใช้เป็นฐานเวลานี้ในการคำนวณความเร็วการทำงานของคำสั่งต่าง ๆ

1. การหาเวลาทำงานของคำสั่งโดยการคำนวณ

คำสั่ง LD	Assembly program	Execute clock
	SRL A	8
	LD HL, xxxx	10
	OR (HL)	7
	รวม	25 Clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน	6.25 μsec

คำสั่ง LD NOT	Assembly program	Execute clock
	SRL A	8
	LD HL, xxxx	10
	OR (HL)	7
	XOR C	4
	รวม	29 Clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน	7.25 μsec

คำสั่ง OR	Assembly program	Execute program
	LD HL, xxxx	10
	OR (HL)	7
	รวม	17 Clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน	4.25 μsec

คำสั่ง OR NOT	Assembly program	Execute program
	LD B, A	4
	LD A, xxxx	13
	XOR C	4
	OR B	4
	รวม	25 Clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน	6.25 μsec

คำสั่ง AND	Assembly program		Execute program
	LD	B, A	4
	LD	A, xxxx	13
	OR	7FH	7
	AND	B	4
		รวม	28 Clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน		7 μsec

คำสั่ง AND NOT	Assembly program		Execute clock
	LD	B, A	4
	LD	A, xxxx	13
	XOR	C	4
	OR	7FH	7
	AND	B	4
		รวม	82 Clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน		8 μsec

คำสั่ง AND LD	Assembly program		Execute clock
	ADD	A, A	4
	JR	C, 02	7/12
	AND	7FH	7
		รวม	18/23 clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน		4.5/5.75 μsec

คำสั่ง OR LD	Assembly program		Execute clock
	ADD	A, A	4
	JR	NC, 01	7/12
	OR	C	4
		รวม	15/20 clocks
	ใช้เวลาในการทำงาน		3.75/5 μsec

คำสั่ง OUT	Assembly program	Execute clock
	AND C	4
	LD (xxxx), A	13
	รวม	17 clocks

ใช้เวลาในการทำงาน 4.25 μsec

คำสั่ง OUT NOT	Assembly program	Execute clock
	AND C	4
	XOR C	4
	LD (xxxx), A	13
	XOR C	4
	รวม	25 clocks

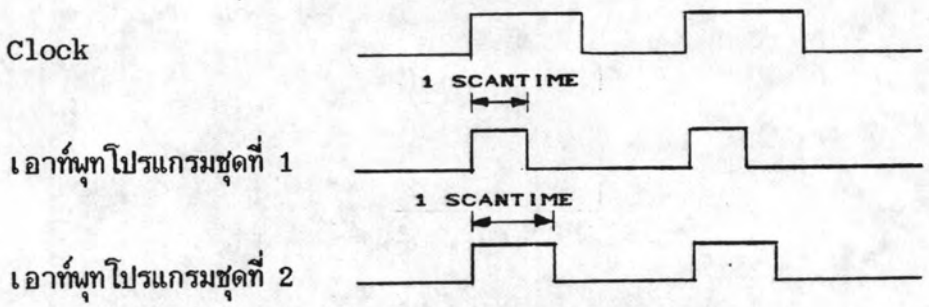
ใช้เวลาในการทำงาน 6.25 μsec

คำสั่ง	เวลาที่ใช้ทำงาน (μSEC)
LD	6.25
LD NOT	7.25
OR	4.25
OR NOT	6.25
AND	7.0
AND NOT	8.0
AND LD	4.5/5.75
OR LD	3.75/5
OUT	4.25
OUT NOT	6.25
เฉลี่ย	5.7

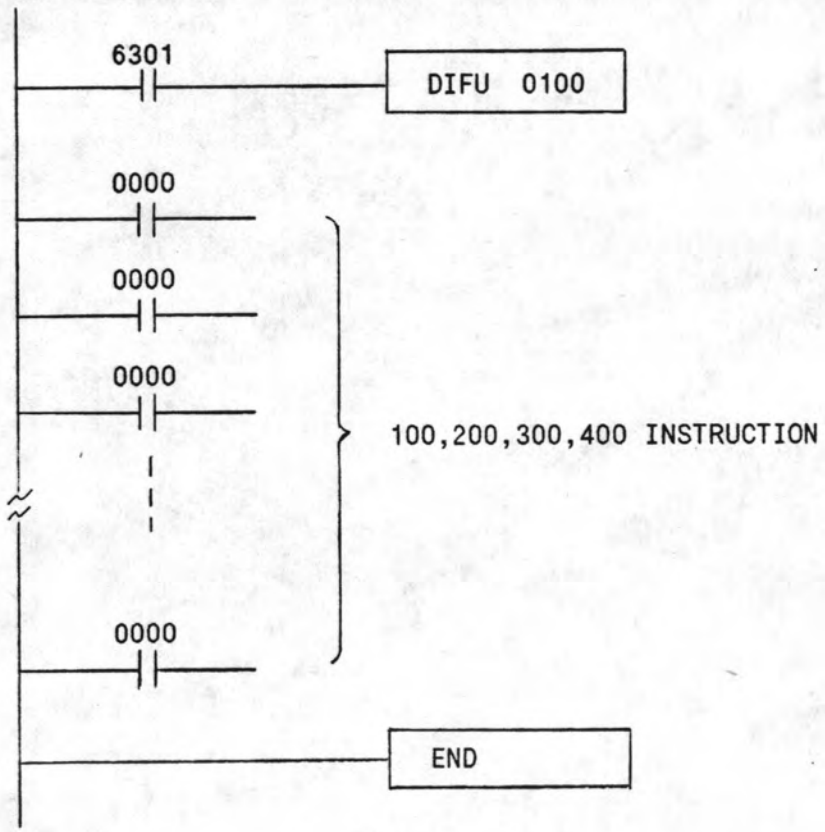
ตาราง 5.1 แสดงเวลาการทำงานของคำสั่งเบื้องต้น

2. การหาเวลาการทำงานของคำสั่ง โดยการวัดจากเครื่องจริง

การหาเวลาในการทำงานของคำสั่งโดยการวัด ถ้าวัดโดยตรงจะมีความยุ่งยาก จึงต้องมีการดัดแปลงวิธีวัด โดยจะใช้วิธีหาค่าความแตกต่างของเวลาในการทำงานหนึ่งรอบ (1 scand time) ของโปรแกรมสองชุดที่มีขนาดแตกต่างกัน

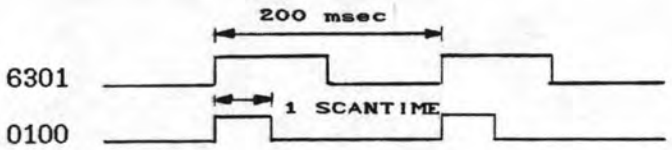


โปรแกรมขั้นบันไดที่จะใช้ทดสอบจะแสดงในรูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นการวัดการทำงานของคำสั่ง LD ถ้าต้องการวัดคำสั่งอื่นก็เปลี่ยนจากคำสั่ง LD เป็นคำสั่งอื่นแทนก็สามารถวัดได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.7 แสดงวงจรขั้นบันไดที่ใช้ทดสอบวัดเวลาการทำงาน

รีเลย์ 6301 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 0.2 วินาที ของเครื่อง
รีเลย์ 0100 เป็นรีเลย์เอาท์พุทพอร์ทของเครื่อง



การวัดเวลาการทำงานของรีเลย์เอาท์พุท 0100 แสดงในตารางที่ 5.2

จำนวนของคำสั่ง	เวลาของเอาท์พุท 0100 (msec)
100	1.07
200	1.69
300	2.32
400	2.95

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการวัดเวลาทำงานของคำสั่ง

จากตารางที่ 5.2 คำนวณหาเวลาของคำสั่ง LD ดังนี้

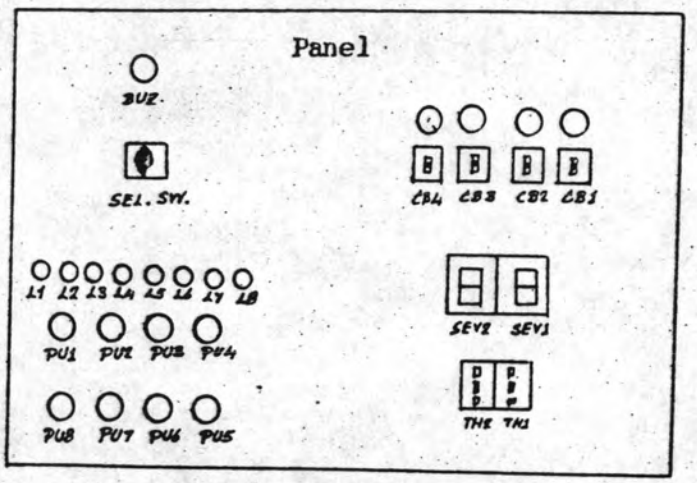
คำสั่ง LD จำนวน 100 คำสั่งใช้เวลาทำงาน = 1.69 - 1.07 = 0.62 msec

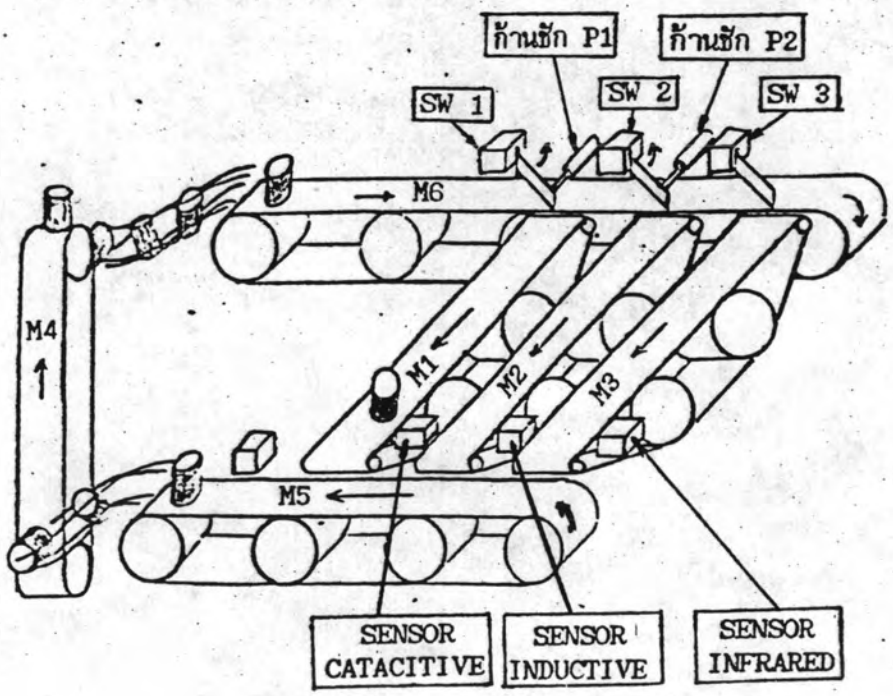
ดังนั้นคำสั่ง LD หนึ่งคำสั่งจะใช้เวลาทำงาน 6.2 μsec

จะเห็นว่าค่าเวลาการทำงานของคำสั่ง LD จากการวัด และจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงสำหรับการวัดของคำสั่งอื่นๆ ก็สามารถใช้วิธีเดียวกันได้ ซึ่งก็จะต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณ

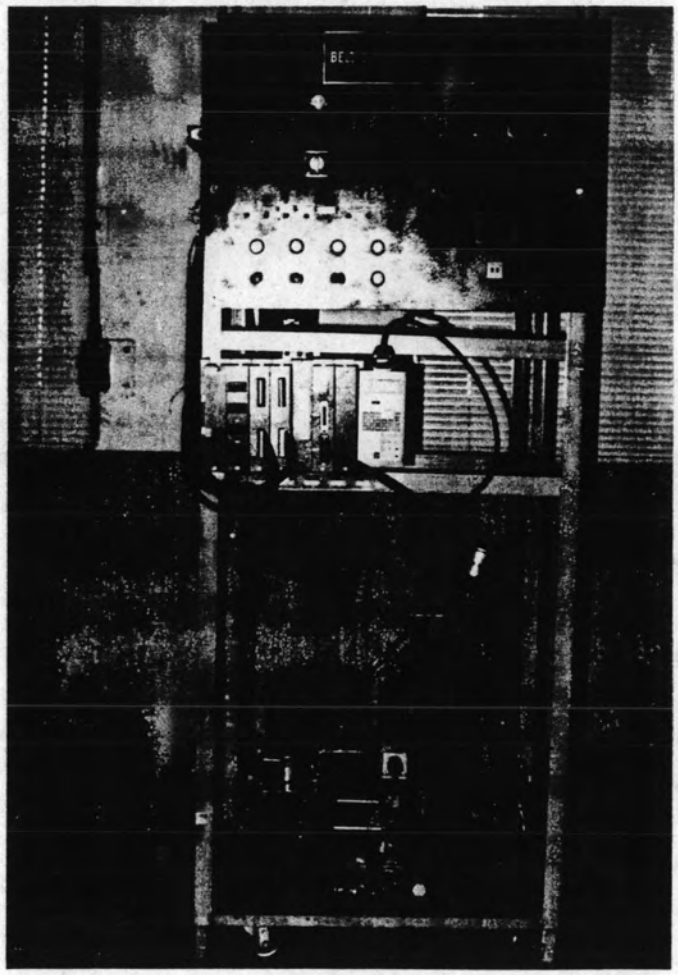
5.3.3 การทดสอบกับระบบจำลอง

ระบบจำลองที่เป็นชุดทดสอบของเครื่อง PC นี้ จะเป็นระบบจำลองของสายพานลำเลียง ระบบจำลองนี้มีลักษณะเป็นสายพานลำเลียงกระป๋องให้เคลื่อนเป็นวงรอบ โดยมีการเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง ระบบลำเลียงนี้สามารถเลือกช่องทางเคลื่อนที่ของกระป๋องได้ 3 ช่องทาง ซึ่งการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของกระป๋องจะใช้ก้านชักซึ่งบังคับด้วยลม สายพานทั้งหมดจะมี 6 สายพาน ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่โดยมอเตอร์ 6 ตัว ในระบบจะมีอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของกระป๋อง ได้แก่ ลิมิตสวิทช์, ตัวตรวจจับชนิดแสงอินฟาเรด, ตัวตรวจจับแบบความจุ (Capacitive) และตัวตรวจจับแบบอินดัคแตนซ์ (Inductive) และมีแผงควบคุมประกอบด้วย สวิทช์และตัวแสดงผลต่าง ๆ ลักษณะของอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ของระบบจำลองแสดงในรูปที่ 5.8





รูปที่ 5.8 แสดงอุปกรณ์ของระบบจำลองสายพานลำเลียง



รูปที่ 5.9 แสดงระบบจำลองสายลำเลียงที่เครื่องทดสอบ

5.3.3.1 ส่วนประกอบของระบบจำลองสายพานลำเลียง

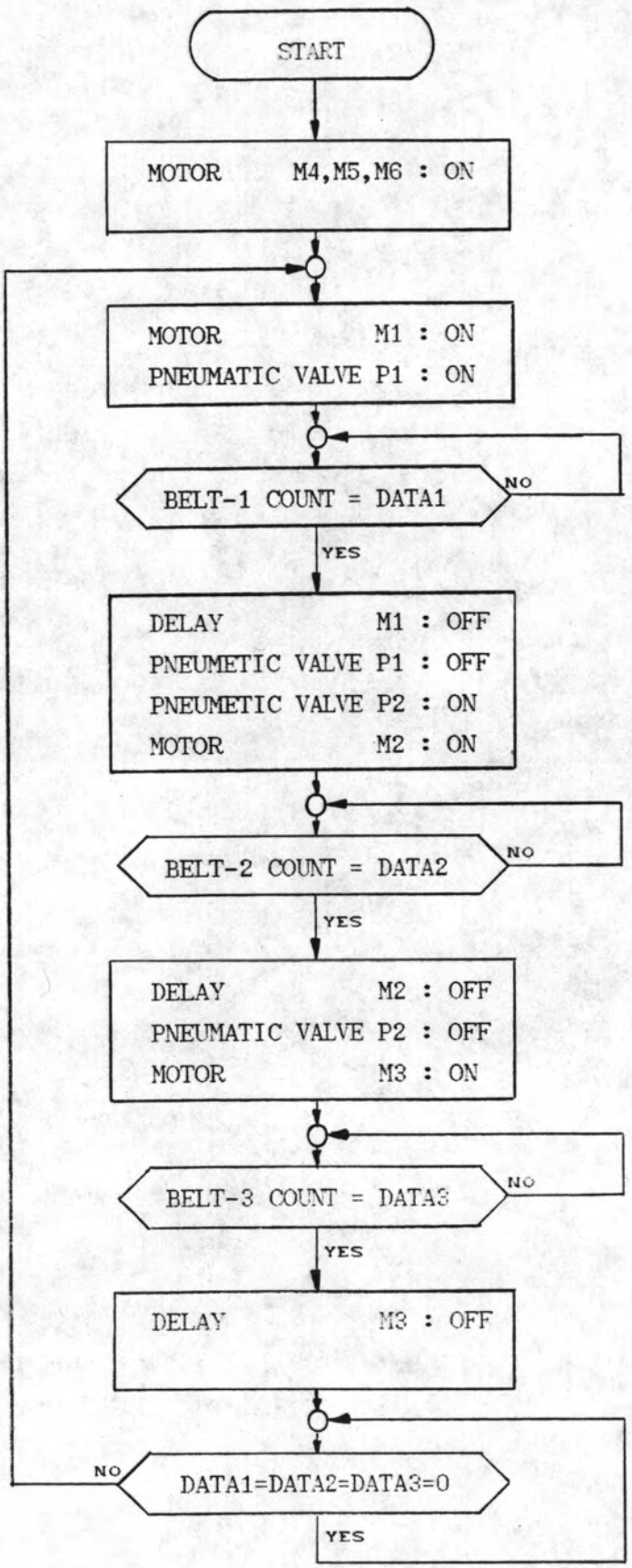
ส่วนประกอบของระบบจำลองสายพานลำเลียงมีดังนี้

1. โครงเหล็กขนาด 75 x 100 x 180 ซม. พร้อมล้อเลื่อนและหูยก
2. อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดลอง
   - 2.1 สายพานแนวดิ่งพร้อมมอเตอร์ขับเคลื่อน จำนวน 1 ชุด
   - 2.2 สายพานแนวนอนพร้อมมอเตอร์ขับเคลื่อน จำนวน 5 ชุด
   - 2.3 ก้านชักเปลี่ยนทิศทางกระป๋องพร้อมรีเลย์ลม (Pneumatic Relay) จำนวน 2 ชุด
   - 2.4 ตัวตรวจจับ (Sensor) ชนิดไม่สัมผัส
     - 2.4.1 แบบใช้แสงอินฟาเรด (Infrared) จำนวน 1 ชุด
     - 2.4.2 แบบเปลี่ยนแปลงความจุ (Capacitive) จำนวน 1 ชุด
     - 2.4.3 แบบเปลี่ยนแปลงอินดัคแตนซ์ (Inductive) จำนวน 1 ชุด
   - 2.5 ตัวตรวจจับ (Sensor) แบบสัมผัส : Proximity Switches จำนวน 4 ตัว
   - 2.6 Selector Switch จำนวน 1 ตัว
   - 2.7 Pushbutton Switches จำนวน 8 ตัว
   - 2.8 Thumbwheel Switches จำนวน 2 ตัว
   - 2.9 Light Emitting Diodes จำนวน 8 ตัว
   - 2.10 7 - Segment Displays จำนวน 2 ชุด
   - 2.11 Buzzer จำนวน 1 ตัว
   - 2.12 Relay Contactors พร้อมฐานรอง จำนวน 8 ชุด
3. อุปกรณ์สำหรับแหล่งจ่ายไฟ (220 โวลท์ 50 เฮิร์ท)
   - 3.1 Fuse พร้อม Fuse Holders จำนวน 4 ชุด
   - 3.2 Circuit Breakers จำนวน 4 ตัว
   - 3.3 Pilot Lamps จำนวน 4 ตัว
   - 3.4 หม้อแปลง 220/110 โวลท์ จำนวน 3 ตัว

5.3.3.2 โปรแกรมทดสอบระบบจำลอง

เครื่อง PC ที่ใช้ทดสอบจะประกอบด้วย โมดูลอินพุท โมดูลเอาท์พุทและโมดูลกำหนดค่าตัวเลข การทดสอบต้องการควบคุมการเคลื่อนที่ของกระป๋องว่าจะใช้สายพานที่ 1 หรือ 2 หรือ 3 โดยให้ผู้ใช้กำหนดจำนวนกระป๋องที่ต้องการให้ผ่านในแต่ละสายพานได้ ซึ่งจะใช้โมดูลกำหนดค่าตัวเลขเป็นตัวกำหนดจำนวนกระป๋อง โดยเริ่มต้นให้กระป๋องเคลื่อนที่ผ่านสายพานที่ 1 ก่อน เมื่อครบแล้วจึงไปเคลื่อนที่ผ่านสายพานที่ 2 และเมื่อครบจำนวนที่กำหนดของสายพานที่ 2 ก็ให้เคลื่อนที่สายพานที่ 3 และนับจนครบจำนวนที่กำหนด ก็ให้เคลื่อนที่ผ่านสายพานที่ 1 ใหม่ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนกระป๋องของแต่ละสายพาน ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานได้

การทำงานเมื่อกดปุ่ม START มอเตอร์ M4, M5, M6 จะทำงานพร้อมกัน หลังจากนั้นมอเตอร์ M1 และก้านชัก P1 จะทำงาน หลังจากนั้นจะนับกระป๋องที่ผ่านสายพานที่ 1 โดยใช้ SW1 เมื่อนับครบจำนวนแล้ว ก้านชัก P1 จะ OFF มอเตอร์ M2 และก้านชัก P2 จะทำงาน สายพานที่ 1 จะหยุดทำงานเมื่อกระป๋องผ่านตัวตรวจจับ Capacitive ไปแล้ว 2 วินาที เมื่อ P2 และ M2 ทำงานแล้วกระป๋องจะเคลื่อนที่ผ่านสายพานที่ 2 และจะนับจำนวนกระป๋องที่ผ่านโดยใช้ SW2 เมื่อนับครบ P2 จะ OFF มอเตอร์ M3 จะทำงาน สายพานที่ 2 จะหยุดทำงานหลังจากกระป๋องที่นับครบได้ผ่านตัวตรวจจับ Inductive เป็นเวลา 2 วินาทีแล้ว เมื่อกระป๋องเคลื่อนที่ผ่านสายพานที่ 3 SW3 จะนับกระป๋องที่ผ่านสายพานที่ 3 เมื่อนับครบจะกลับไปเริ่มที่สายพาน 1 ซ้ำใหม่ไปเรื่อย ๆ สายพานที่ 3 จะหยุดหลังจากกระป๋องใบที่นับครบผ่านตัวตรวจจับอินฟราเรดเป็นเวลา 2 วินาทีแล้ว เมื่อต้องการให้ระบบหยุดทำงานจะต้องกดปุ่ม STOP เท่านั้น



รูปที่ 5.10 แสดงโฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมทดสอบระบบจำลอง

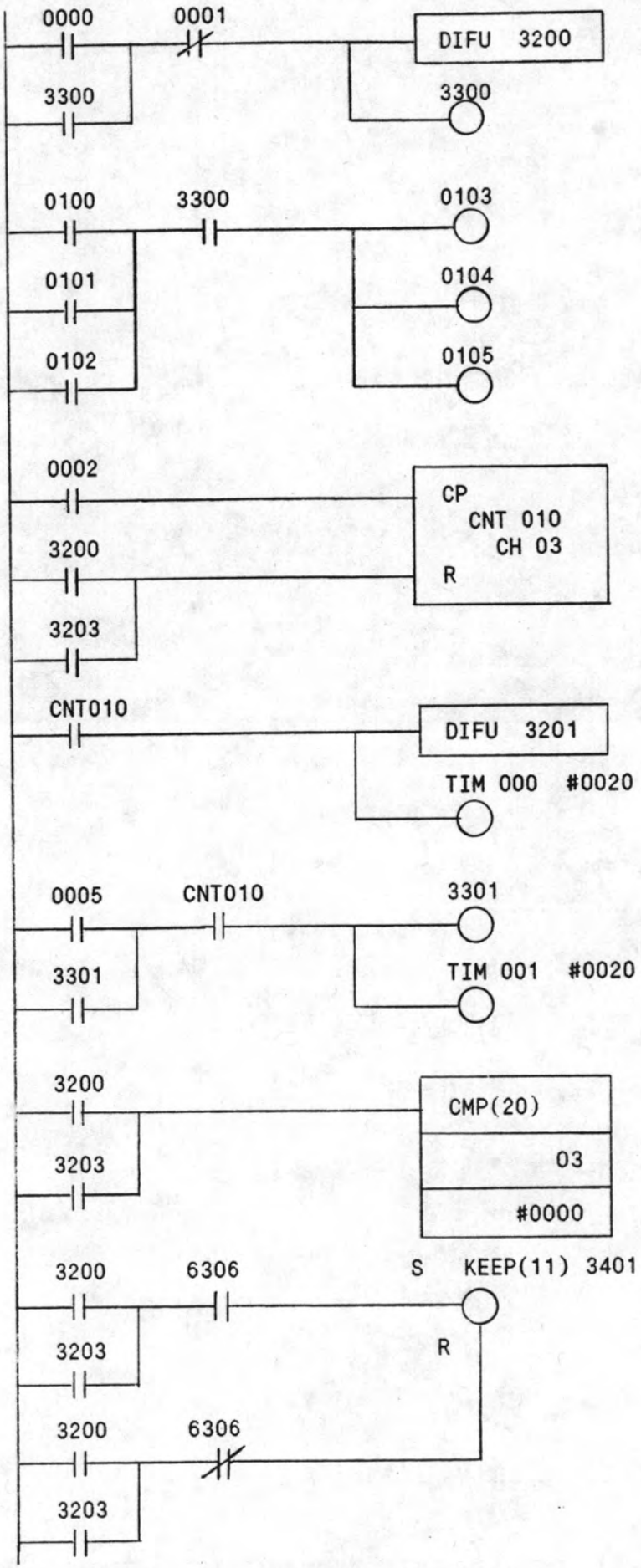
5.3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดเบอร์อินพุท/เอาท์พุทพอร์ทของอุปกรณ์ต่าง ๆ

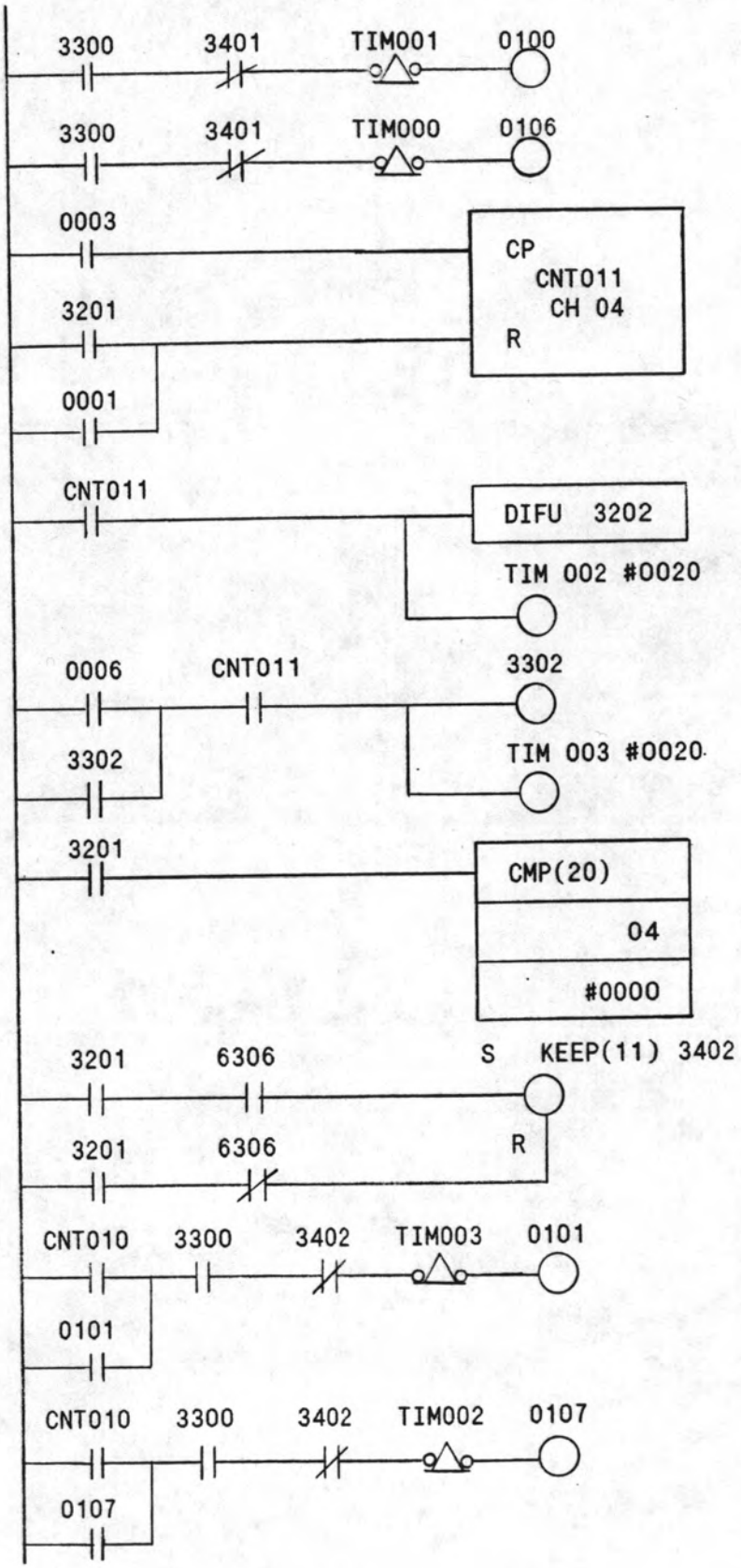
อินพุท :	START	0000
	STOP	0001
	SW1	0002
	SW2	0003
	SW3	0004
	SENSOR CAPACITIVE	0005
	SENSOR INDUCTIVE	0006
	SENSOR INFRARED	0007
เอาท์พุท :	MOTOR 1	0100
	MOTOR 2	0101
	MOTOR 3	0102
	MOTOR 4	0103
	MOTOR 5	0104
	MOTOR 6	0105
	ก้านชัก P1	0106
	ก้านชัก P2	0107

2. ออกแบบวงจรควบคุม (Ladder diagram) สำหรับการทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.11
3. แปลงวงจรขั้นบันไดให้เป็นโปรแกรมนีมอนิค แล้วป้อนโปรแกรมลงในเครื่องโปรแกรมนีมอนิค นี้แสดงในรูปที่ 5.12
4. ต่อสาย อินพุท/เอาท์พุทต่าง ๆ เข้าเครื่อง PC
5. ทดสอบการทำงานต่าง ๆ ว่าถูกต้องหรือไม่

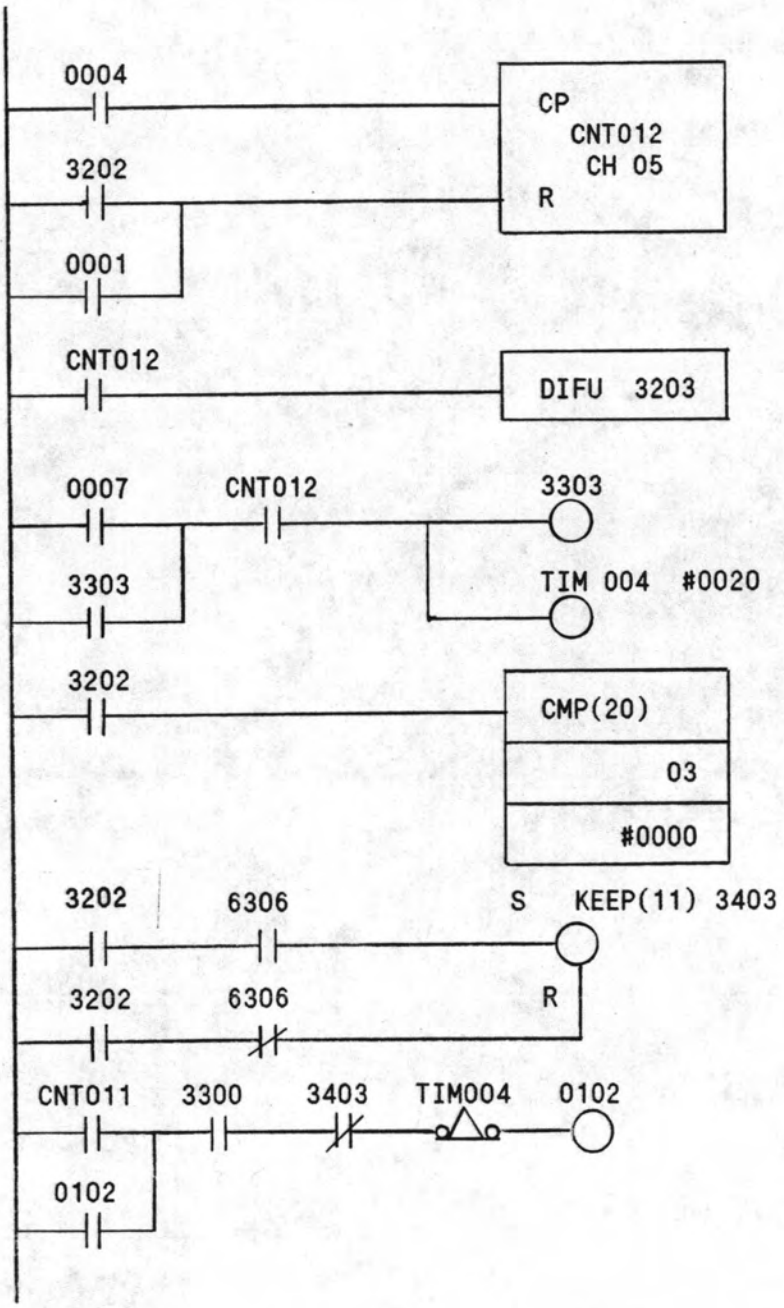
ผลการทดสอบ เครื่อง PC สามารถควบคุมการทำงานของระบบจำลองสายพานลำเลียงได้ถูกต้องตามโปรแกรมขั้นบันไดทุกประการ



รูปที่ 5.11 แสดงวงจรขั้นบันไดที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 5.11 แสดงวงจรขั้นบันไดที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)



รูปที่ 5.11 แสดงวงจรขั้นบันไดที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)

STEP	OPCODE	OPERAND
0000	LD	0000
0001	OR	3300
0002	AND NOT	0001
0003	DIFU(13)	3200
0004	OUT	3300
0005	LD	0100
0006	OR	0101
0007	OR	0102
0008	AND	3300
0009	OUT	0103
0010	OUT	0104
0011	OUT	0105
0012	LD	0002
0013	LD	3200
0014	OR	3203
0015	CNT	010
	-	CH 03
0016	LD	CNT 010
0017	DIFU(13)	3201
0018	TIM	000
	-	#0020
0019	LD	0005
0020	OR	3301
0021	AND	CNT 010
0022	OUT	3301
0023	TIM	001
	-	#0020
0024	LD	3200
0025	OR	3203
0026	CMP(20)	-
	-	03
	-	#0000
0027	LD	3200
0028	OR	3203
0029	AND	6306
0030	LD	3200

รูปที่ 5.12 แสดงคำสั่งโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

0031	OR	3203
0032	AND NOT	6306
0033	KEEP(11)	3401
0034	LD	3300
0035	AND NOT	3401
0036	AND NOT	TIM 001
0037	OUT	0100
0038	LD	3300
0039	AND NOT	3401
0040	AND NOT	TIM 000
0041	OUT	0106
0042	LD	0003
0043	LD	3201
0044	OR	0001
0045	CNT	011
	-	CH 04
0046	LD	CNT 011
0047	DIFU(13)	3202
0048	TIM	002
	-	#0020
0049	LD	0006
0050	OR	3302
0051	AND	CNT 011
0052	OUT	3302
0053	TIM	003
	-	#0020
0054	LD	3201
0055	CMP(20)	-
	-	04
	-	#0000
0056	LD	3201
0057	AND	6306
0058	LD	3201
0059	AND NOT	6306
0060	KEEP(11)	3402
0061	LD	CNT 010
0062	OR	0101
0063	AND	3300

รูปที่ 5.12 แสดงคำสั่งโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ(ต่อ)

0064	AND NOT	3402
0065	AND NOT	TIM 003
0066	OUT	0101
0067	LD	CNT 010
0068	OR	0107
0069	AND	3300
0070	AND NOT	3402
0071	AND NOT	TIM 002
0072	OUT	0107
0073	LD	0004
0074	LD	3202
0075	OR	0001
0076	CNT	012
	-	CH 05
0077	LD	CNT 012
0078	DIFU(13)	3203
0079	LD	0007
0080	OR	3303
0081	AND	CNT 012
0082	OUT	3303
0083	TIM	004
	-	#0020
0084	LD	3202
0085	CMP(20)	-
	-	05
	-	#0000
0086	LD	3202
0087	AND	6306
0088	LD	3202
0089	AND NOT	6306
0090	KEEP(11)	3403
0091	LD	CNT 011
0092	OR	0102
0093	AND	3300
0094	AND NOT	3403
0095	AND NOT	TIM 004
0096	OUT	0102
0097	END(01)	-

รูปที่ 5.12 แสดงคำสั่งโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ(ต่อ)