ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ภาคการศึกษาที่.....ปีการศึกษา.....
รหัสวิชา 010113026 ชื่อวิชา Digital Laboratory ตอนเรียน ..... หมายเลขโต๊ะ.....
รหัสนักศึกษา..... ชื่อ-นามสกุล.....
อาจารย์ผู้สอน.....เวลาที่ทำการทดลอง ..... วันที่.....

การทดลองที่ 9

State Machines and it's Applications

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการทำงานของวงจรลอจิกเกทได้
2. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้วงจรและอุปกรณ์ดิจิทัลเพื่อออกแบบระบบงานที่ซับซ้อนได้
3. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้การออกแบบระบบงานดิจิตัลด้วยเทคนิคทาง state diagram ได้

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง พร้อมติดตั้งโปรแกรม Quartus II เวอร์ชั่น 8.0 (Student Edition) ขึ้นไป
2. บอร์ดทดลอง Cyclone3-Lab01 1 บอร์ด
3. สาย J-TAG 1 เส้น ใช้รุ่น USB-Blaster (สำหรับเครื่อง Notebook) หรือรุ่น Byte-Blaster (สำหรับเครื่อง PC)
4. บอร์ดแสดงผล 7-segment (**รุ่นแป้นพิมพ์ Keypad สีขาว**)

การทดลอง

A1 บทนำ: แนวทางการออกระบบงาน

ในการทดลองนี้จะสร้างระบบงานชื่อ "**เครื่องจำหน่ายเครื่องดื่มแบบหยอดเหรียญ Vending Machine**" ซึ่งจะเป็นตัวอย่างการนำเทคนิคการออกแบบ state diagram มาช่วยในการออกแบบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจการทำงานของเครื่อง Vending Machine ให้เข้าใจพฤติกรรรมของมันอย่างถูกต้องก่อน แล้วค่อยเริ่มต้นลงมือทำการออกแบบ หากทำตามขั้นตอนนี้แล้วจะช่วยให้ได้เห็นประโยชน์ที่ชัดเจนของแนวทางการออกแบบด้วยเทคนิค state diagram ได้เป็นอย่างดี

การทำงานของเครื่อง Vending Machine:

การทำงานของเครื่อง Vending Machine

1 **มีเฉพาะเครื่องดื่มแบบกระป๋อง** ราคากระป๋องละ 15 บาท เมื่อเหรียญครบตามราคาจะปล่อยสินค้าให้ทันที
2 **เหรียญที่รับ** เฉพาะเหรียญ 5 บาท (Nikel ใช้อักษรย่อ N)
และเหรียญ 10 บาท (Dime ใช้อักษรย่อ D)
3 **ไม่ทอนเงิน** หากหยอดเหรียญเกินราคาที่ขาย เช่น 10 บาท 2 เหรียญ จะปล่อยสินค้าให้ 1 กระป๋อง และรอรับเงินเพิ่มอีก 10 บาทเพื่อให้ครบ 15 บาท สำหรับการขายเพิ่มอีก 1 กระป๋อง
4 **มีตัวเลขแสดงจำนวนเงิน**ที่ใส่เข้าไปหากเงินยังไม่ถึง 15 บาท แต่ถ้าเกิน 15 บาทจะแสดงเงินที่เหลืออยู่หลังจากหักราคาขายสินค้าไปแล้ว

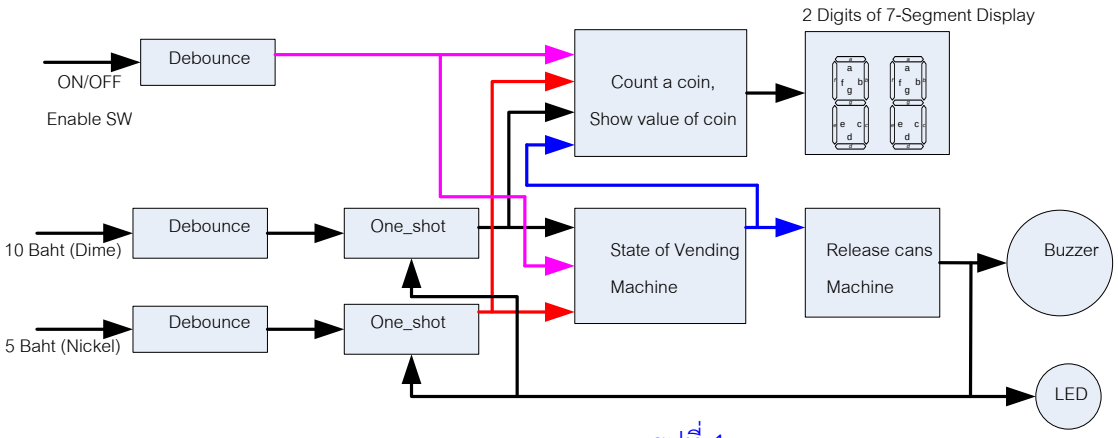
5 **มีการป้องกันการกินเหรียญ** ในช่วงที่ปล่อยกระป๋องน้ำเครื่องจะ**ไม่รับเหรียญเพิ่ม**จนกว่าจะสิ้นสุดขั้นตอนการปล่อยกระป๋อง (จะมีไฟสัญญาณกระพริบเตือน พร้อมส่งเสียงบี๊บราวๆ 2 วินาที)

A2 เตรียมการออกแบบ: โครงสร้างของเครื่อง Vending Machine

เราจำเป็นจะต้องจินตนาการกลไกของบอร์ดทดลองเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นเครื่อง Vending Machine ดังนี้

- **ใช้** SW6 (สวิทช์เลื่อน) ทำหน้าที่เป็นสวิทช์**ปิดเปิดเครื่อง** (ควบคุมที่ขาสัญญาณ Enable)
- **ใช้** PB2 (สวิทช์กดติดปล่อยดับ) ทำหน้าที่แทนการ**หยอดเหรียญ 5 บาท** 1 เหรียญต่อการกดหนึ่งครั้ง
- **ใช้** PB3 (สวิทช์กดติดปล่อยดับ) ทำหน้าที่แทนการ**หยอดเหรียญ 10 บาท** 1 เหรียญต่อการกดหนึ่งครั้ง
- **ใช้** 7 Segment 2 หลัก แสดงจำนวนเงิน ซึ่ง**ควรจะมีตัวเลขเพียง 5, 10, 15, 20** บาทเท่านั้น
- **ใช้บัซเซอร์** & LED0 ส่ง**เสียง** & ส่ง**แสงไฟกระพริบ** แทนการปล่อยกระป๋องน้ำดื่ม

A3 แยกงานใหญ่ๆ ออกให้เป็นงานย่อยๆ: จากงานข้างต้นเมื่อนำมาแยกเป็นงานย่อยๆ จะได้โครงสร้างโดยรวมของระบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1

แต่ละระบบงานย่อยมีหน้าที่ทำอะไรบ้าง :

1. Debounce เนื่องจากเราใช้สวิทช์แทนการหยอดเหรียญ จำเป็นจะต้องป้องกันสวิทช์ทำงานผิดพลาด (เราได้ทำเตรียมไว้แล้วในการทดลองที่ 8)
2. 7-Segment วงจรแสดงผลตัวเลข (เราได้ทำเตรียมไว้แล้วในการทดลองที่ 8)
3. Buzzer และ LED เป็นอุปกรณ์ที่มีบนบอร์ดทดลอง ใช้ส่งเสียง และส่งแสง
4. One_Shot เนื่องจากธรรมชาติของการหยอดเหรียญ แต่ละคนอาจจะหยอดช้า เร็ว ต่างกัน และต้องหยอดทีละ 1 เหรียญ จำเป็นจะต้องสร้างวงจรตรวจจับพฤติกรรมนี้โดยปราศจากข้อจำกัดด้านเวลา

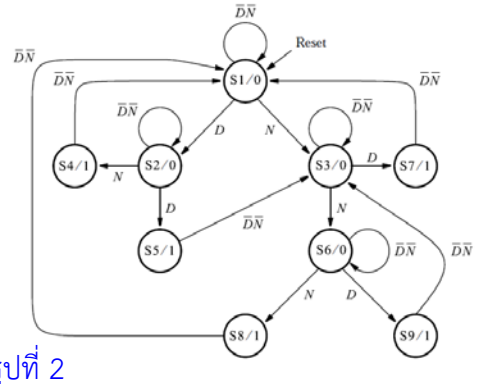
   การทำงานของ One_Shot จะทำงานโดยคอยตรวจดูว่าสวิทช์มีการถูกกดหรือไม่

   ถ้าสวิทช์ถูกกด มันจะปล่อยเอ้าท์พุทเปลี่ยนจาก '0' ไปเป็น '1' (เกิดขอบขาขึ้น**เพียง 1 ขอบ**) แล้วรอจนถึงหนึ่งคาบของสัญญาณนาฬิกาก็จะเปลี่ยนกลับไปเป็น '0' เหมือนเดิม

   โดยที่ไม่สนใจว่าสวิทช์จะถูกกดนานเท่าใดก่อนที่จะปล่อย **(อย่างไรก็กด 1 ครั้งเท่ากัน)**

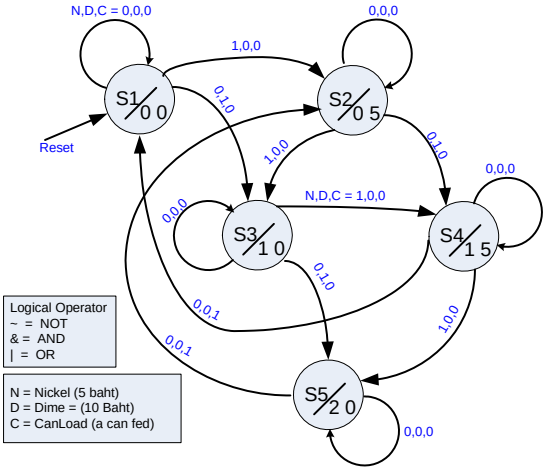
5. State of Vending Machine ระบบงาน (วงจร) ส่วนนี้จะทำงานตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ในหน้าแรก (หัวข้อ A1) เมื่อเขียนเป็นแผนผังลำดับขั้นตอนหรือ state diagram จะได้ดังรูปที่ 2

Example : ถ้าไม่มีการหยอดเหรียญ ระบบจะรออยู่ที่สเตท S1
ที่ S1 ถ้าใส่เหรียญ10 ระบบจะไปที่ S2 แต่ถ้าใส่เหรียญ5 ระบบจะไปที่S3
ที่ S3 ถ้ามีการใส่เหรียญ10 (จะได้ครบ15) ระบบจะไปที่ S7 ปล่อยกระป๋อง
และกระโดดต่อไปที่ S1 เมื่อปล่อยกระป๋องเสร็จ
ที่ S3 ถ้ามีการใส่เหรียญ5 (เงินยังไม่ครบ) ระบบจะไปที่ S6 รอเงินเพิ่มอีก ...



รูปที่ 2

6. Count, Show value of Coins ระบบงานนี้จะทำการตรวจนับเหรียญที่ถูกใส่เข้ามา ในทางปฏิบัติจะได้จำนวนเป็น 0, 5, 10, 15, 20 บาท (ไม่เกิน 20 บาทเพราะเครื่องจะจ่ายกระป๋องให้ทันที) **ดังนั้นการเพิ่มหรือลดของจำนวนเงินจึงมีรูปแบบที่ตายตัว ทำให้เราสามารถใช้ state diagram มาทำงานแทนวงจร Adder ได้ ซึ่งจะง่ายและสะดวกกว่ามาก** ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3

7. Release cans Machine เป็นระบบงานปล่อยกระป๋อง (ส่งเสียง & แสง) แต่ในชีวิตจริงเนื่องจาก**เป็นกลไกทางกล** จะใช้เวลานานหลายวินาทีกว่าจะปล่อยกระป๋องเสร็จ ทำให้ระบบต้องหยุดรับเหรียญเพิ่ม ระบบนี้จึงต้องส่งสัญญาณไปสั่งงดรับเหรียญ (ให้ One_shot หยุดทำงาน) ไว้ชั่วครู่เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในการทำงานไม่สัมพันธ์กันของระบบรับเหรียญกับระบบปล่อยกระป๋อง

การทดลอง

ขั้นที่ 1 เตรียมนำอุปกรณ์ที่เคยสร้างไว้จากการทดลอง 7 – 8 มาใช้งาน

คำสั่งการทดลอง

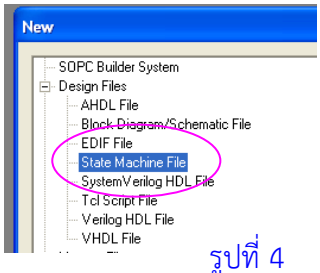
1. ให้สร้างโฟลเดอร์สำหรับเก็บงานขึ้นใหม่เพื่อเก็บงานในการทดลองนี้ชื่อ "Lab09_State"
2. นำวงจรต่างๆที่เคยสร้างไว้ในการทดลองที่ 5-8 (ทำการ copy ไฟล์ ดังรายชื่อด้านล่าง) มาไว้ในโฟลเดอร์ที่สร้างขึ้นใหม่นี้
   - ก) Debounce.qpf และ Debounce.bdf
   - ข) AsynchronousCounter.qpf และ AsynchronousCounter.bdf
   - ค) VHD_7SEGM.qpf และ VHD_7SEGM.vhd (ให้ใช้เวอร์ชั่นที่ปรับแก้ในการทดลองที่ 8)
   - ง) ClockDivider.qpf และ ClockDivider.bdf
3. ให้ทำการเปิดโปรเจคไฟล์ตามข้อ 2 มาทำการ**คอมไพล์และสร้าง symbol file** ใหม่ทั้งหมด
4. ให้**ปิดโปรเจค**ที่ดำเนินการในขั้นตอนที่ 2-3 ก่อนที่จะทำงานต่อไป

ขั้นที่ 2 สร้างระบบ State of Vending Machine เพิ่มขึ้นมาใช้งาน

5. สร้างอุปกรณ์ State_Deve (ชื่อย่อของระบบงาน State of Vending Machines) โดยดำเนินการดังนี้

5.1 สร้างโปรเจคชื่อ "State_Deve" ขึ้นมาและให้เก็บไว้ในโฟลเดอร์เดิม ใช้ชิพ EP3C10E144C8

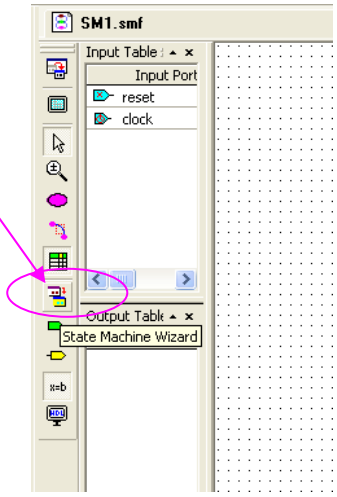
5.2 เปิดไฟล์สำหรับเก็บแผนภาพ state diagram โดยไปที่เมนู File >> New เลือก State Machine file ดังรูปที่ 4 จะปรากฏหน้าต่าง Editor ว่างๆ ของไฟล์ชื่อ SM1.smf ขึ้นมาพร้อมแถบเครื่องมือด้านซ้ายของหน้าต่าง



รูปที่ 4

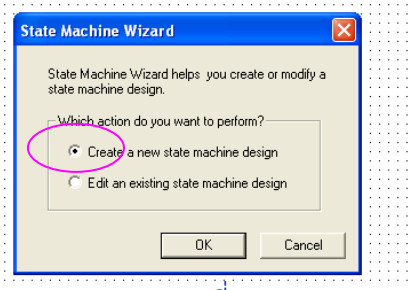
5.3 ให้เลือกใช้เครื่องมือเป็น State Machine Wizard ในรูปที่ 5

เราจะเริ่มด้วยการเขียน state table เป็นลำดับแรกแล้วจึงให้โปรแกรมทำการคอมไพล์เป็น state diagram ในภายหลัง

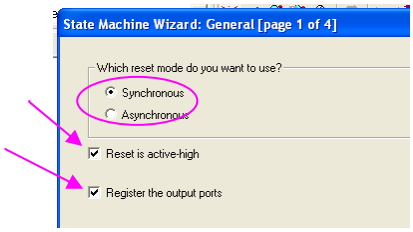


รูปที่ 5

เมื่อเลือก State Machine Wizard แล้วจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ยืนยันการออกแบบ ดังรูปที่ 6a



รูปที่ 6a



รูปที่ 6b

เมื่อเลือก Create a ... จะปรากฏหน้าต่าง [Page 1 of 4] สำหรับกำหนดคุณสมบัติทั่วไปดังรูปที่ 6b

- Synchronous กำหนดให้วงจรเปลี่ยน state โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกา
- Reset in Active High กำหนดให้มีขาไว้สำหรับรีเซ็ต และทำการรีเซ็ตด้วยค่าลอจิก '1'
- Register the output port กำหนดให้สัญญาณเอ้าท์พุทออกจากตัวรีจิสเตอร์

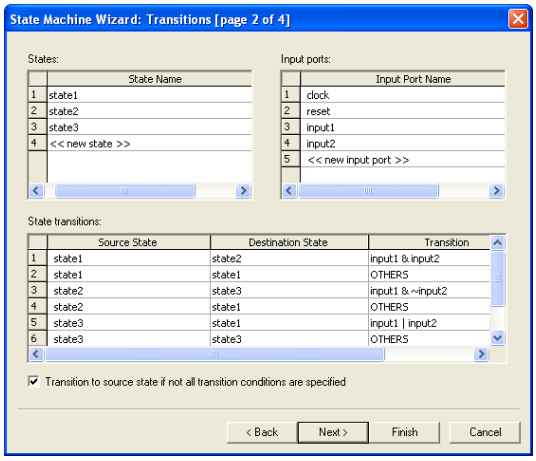
กดปุ่ม Next เพื่อทำขั้นต่อไป

5.4 ที่หน้าต่าง [Page 2 of 4] จะเป็นการกำหนด ส่วนประกอบของ state ดังรูปที่ 7 ซึ่งประกอบด้วย

- **ชื่อ State** และจำนวนของ State
- **สัญญาณอินพุท**ที่ใช้ ควบคุมการเปลี่ยน state
- **ตารางแสดง state table** และเงื่อนไขการเปลี่ยน state (State Transition)

หมายเหตุ เครื่องหมายของ Operator หรือตัวกระทำทางลอจิกพื้นฐานสำหรับใช้ในการเขียน state มีอยู่ 4 ตัวเท่านั้นคือ

~	NOT
&	AND
|	OR
OTHERS	-----



รูปที่ 7

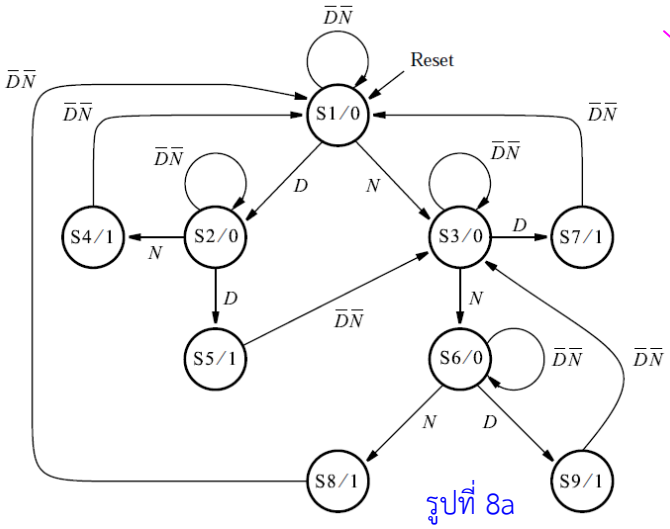
5.5 ให้เขียน(ปรับแก้) ชื่อ ของ state ในตาราง [Page 2 of 4]

ให้มีจำนวน state = 9 state ชื่อ S1... S9 ตามลำดับดังรูปที่ 8b ด้วยการปรับแก้ตามรูปที่ 8c โดยเปลี่ยนชื่อ(กดดับเบิ้ลคลิ๊ก) จากเดิม State 1 แก้เป็น S1 (ตามตาราง state table ในรูปที่ 8b)

State 2 แก้เป็น S2

...

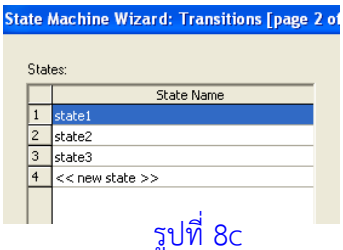
State 9 แก้เป็น S9



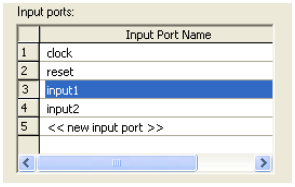
รูปที่ 8a

Present state	Next state DN = 00	01	10	11	Output z
S1	S1	S3	S2	–	0
S2	S2	S4	S5	–	0
S3	S3	S6	S7	–	0
S4	S1	–	–	–	1
S5	S3	–	–	–	1
S6	S6	S8	S9	–	0
S7	S1	–	–	–	1
S8	S1	–	–	–	1
S9	S3	–	–	–	1

รูปที่ 8b



รูปที่ 8c



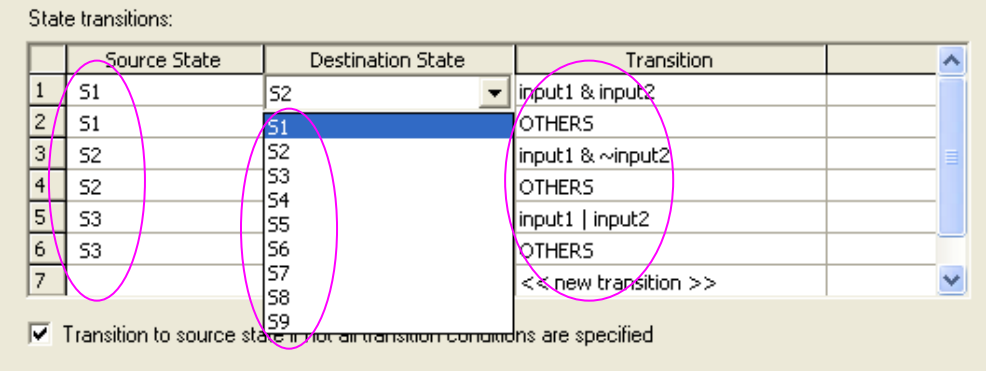
รูปที่ 8d

จากนั้นกำหนดอินพุทพอร์ทในรูปที่ 8d ที่จะทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนของ state โดยใช้

เปลี่ยนชื่อพอร์ทจาก input1 (ของเดิม) เป็น D (ตามตาราง state table ของเรา)

เปลี่ยนชื่อพอร์ทจาก input2 (ของเดิม) เป็น N (ตามตาราง state table ของเรา)

5.6 เปลี่ยนค่าในตาราง state transition ของรูปที่ 9 โดยเปลี่ยนไปใช้ข้อมูลจากรูปที่ 8b **ทั้งชื่อของ state** , **เงื่อนไขการเปลี่ยน state** (state transition) จนครบทุก state ก็กด Next เพื่อไปหน้าต่าง [Page 3 of 4]

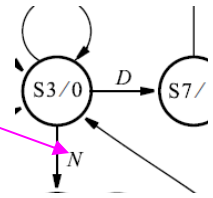


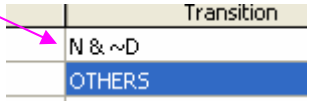
รูปที่ 9

ข้อแนะนำในการเขียน State Transition ใน [Page 2 of 4]

ก) จากรูปที่ 8a จะมีบาง transition ที่มี exciting input เพียงตัวแปรเดียวเช่น N ในรูปนี้ความหมายคือ N = '1' และไม่มีการกล่าวถึง D เลย แต่เราจะต้องเขียนให้ครบทั้งสองอินพุทโดยแสดงเป็นนิพจน์ที่มีครบทั้งสองตัวแปรคือ D และ N โดยเขียนเป็น

N & ~D





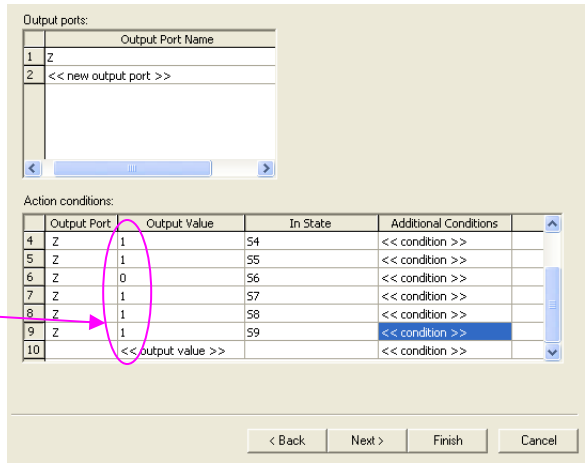
การเขียนเช่นนี้จะหมายความว่า N= '1' ตรงตามการกำหนดจาก state diagram ส่วน D ในที่นี้กำหนดเป็น ~D ซึ่งมีค่าเป็น D='0' นั่นเอง

ข) ในบางกรณี ที่มี เงื่อนไขอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดังในเงื่อนไขที่มีค่าเดียว เราสามารถใช้คำว่า OTHERS แทนการบอกว่าเป็นเงื่อนไขอื่นๆ ที่มีไม่น้อยกว่าหนึ่งเงื่อนไข มาเป็นเงื่อนไขทางเลือกก็ได้

6. กำหนดค่าของเอ้าท์พุท [Page 3 of 4] ดังรูปที่ 10 โดยชื่อของพอร์ทเอ้าท์พุทให้ใช้ชื่อเป็น Z และกำหนดค่าของ Z ที่จะได้ที่ state ต่างๆ (นำค่ามาจากรูปที่ 8b)

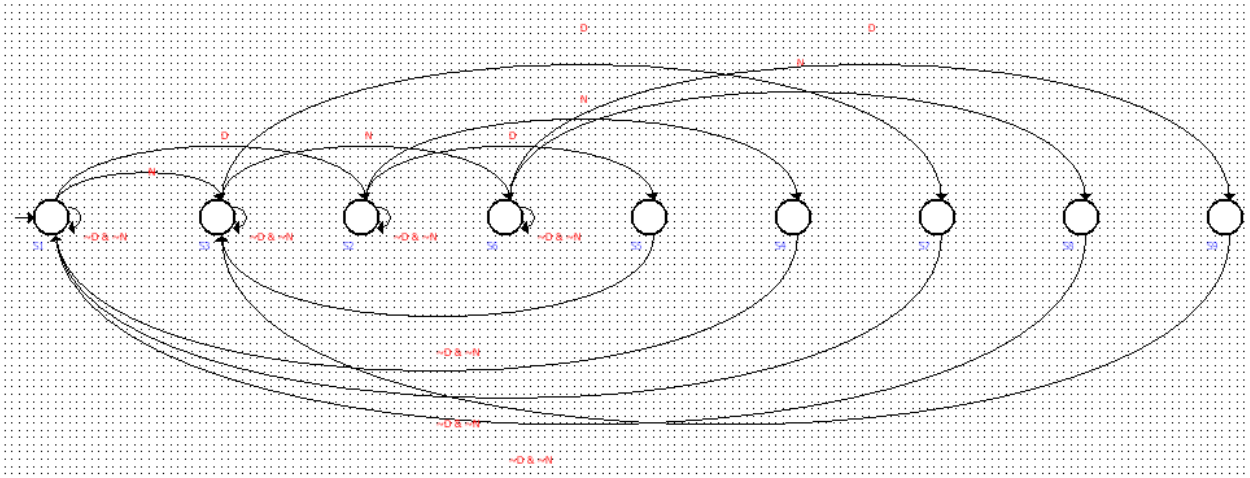
ปรับแก้ให้ถูกต้องตามตารางในรูปที่ 8b

เมื่อปรับแก้จนเสร็จแล้วก็จะปรากฏหน้าต่างสรุปรายละเอียดทั้งหมดที่ได้ทำไป [Page 4 of 4] ให้เราตรวจสอบอีกรอบ จากนั้นก็ดำเนินการต่อไป



รูปที่ 10

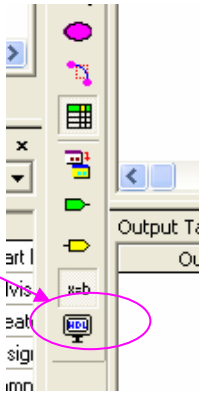
7. เมื่อเสร็จครบทุกขั้นตอนแล้ว หากไม่มีขั้นตอนใดผิดพลาด โปรแกรมก็จะทำการสร้างรูปแผนภาพของ state Diagram ขึ้นมาให้ดังแสดงในรูปที่ 11 ทำการบันทึกไฟล์เพื่อเตรียมทำขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 11

หมายเหตุ: รูปที่ปรากฏอยู่นี้อาจจะไม่ตรงกับรูปที่ น.ศ. ทำในห้องปฏิบัติการ

8. ทำการ**แปลงไฟล์ของ state diagram** ที่ได้จากในขั้นตอนที่ 7 ให้เป็นไฟล์แบบ **ภาษา VHDL** โดยไปที่แถบเครื่องมือด้านซ้ายของหน้าต่าง และเลือกปุ่ม Generate VHDL File ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12

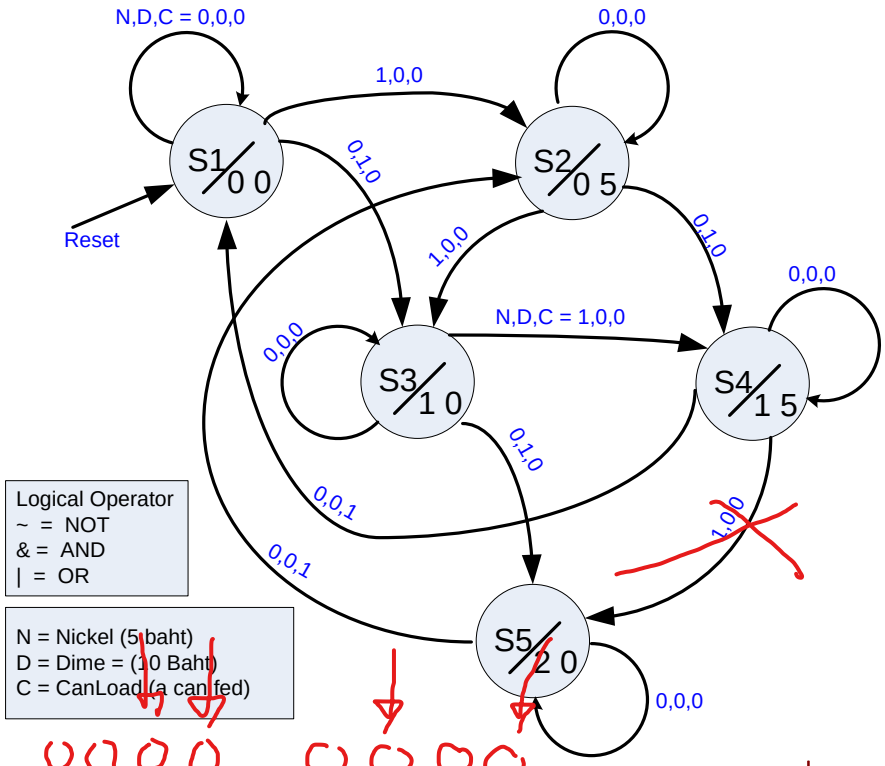
เมื่อได้ไฟล์แบบ VHDL แล้วให้**ทำการคอมไพล์**ตามปกติ และทำการสร้าง symbol file ของวงจรขึ้นมา เพื่อเตรียมไว้ใช้ในขั้นตอนถัดไป

9. ทำการปิดโปรเจคที่สร้างมาในขั้นตอนที่ 5- 8 ก่อนที่จะดำเนินการต่อไป

ขั้นที่ 3 สร้างระบบ Count_Unit และระบบ Count8to1 เพิ่มขึ้นมาใช้งาน

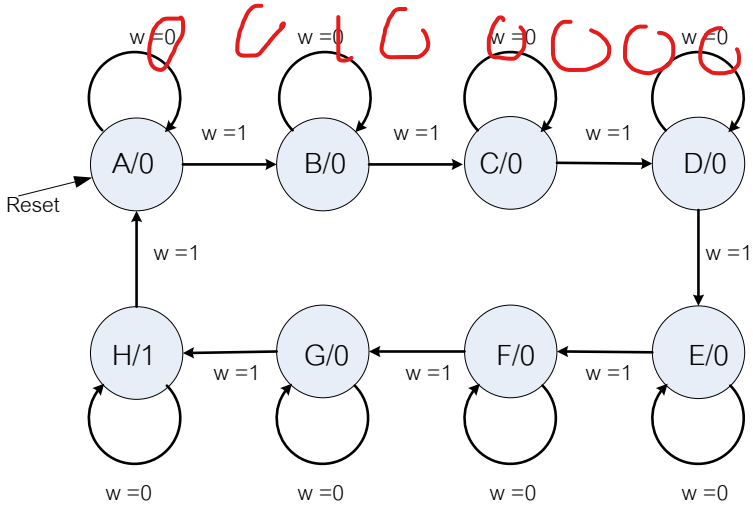
10. ให้ใช้วิธีในขั้นตอนที่ 5 – 9 มาทำการสร้างอุปกรณ์ดังต่อไปนี้
    - ระบบงาน Count_Unit ดัง state diagram ในรูปที่ 13
    - ระบบงาน Count8to1 (อยู่ภายในระบบงาน Hold5Sec อีกชั้นหนึ่ง) ดัง state diagram ในรูปที่ 14

      (ให้ศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือเรียน วิชาดิจิทัล : Fundamentals of Digital logic with VHDL Design 3rd, Stephen Brown, Z. Vranesic)



รูปที่ 13

ระบบงานชื่อ Count_Unit



Present State	Next state		Output CY
	W =0	W =1	
A	A	B	0
B	B	C	0
C	C	D	0
D	D	E	0
E	E	F	0
F	F	G	0
G	G	H	0
H	H	A	1

รูปที่ 14

ระบบงานชื่อ Count8to1

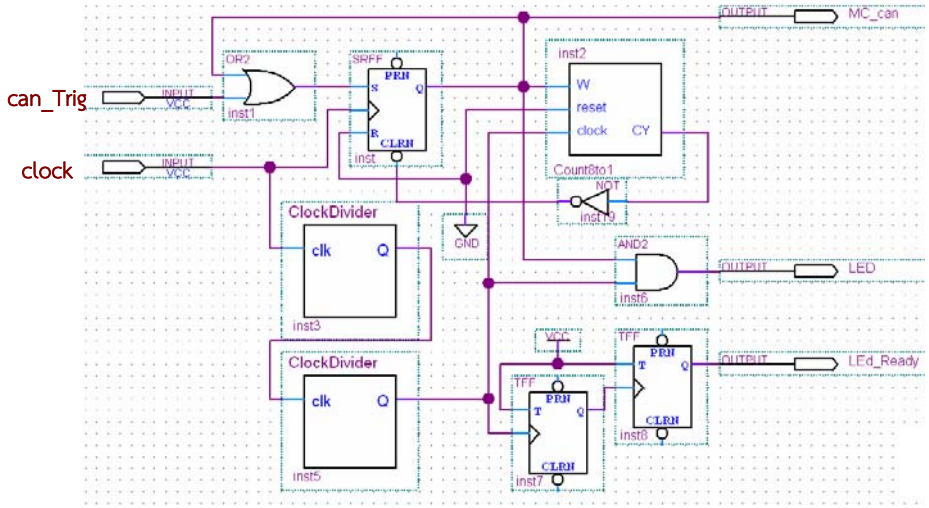
ขั้นที่ 4 สร้างระบบ One_Shot และ Hold5Sec เพิ่มขึ้นมาใช้งาน

11. ทำการปิดโปรเจคที่สร้างมาในขั้นตอนที่ 10 ก่อนที่จะดำเนินการต่อไป
12. สร้างอุปกรณ์ระบบ One_Shot ด้วยภาษา VHDL ดังในรูปที่ 15 และสร้าง symbol file ของวงจรขึ้นมาเพื่อเตรียมไว้ใช้ในขั้นถัดไป

```
1  LIBRARY ieee ;
2  USE ieee.std_logic_1164.all ;
3
4
5  ENTITY One_Shot IS
6      PORT (  Clock, SW, Enable    : IN    STD_LOGIC ;
7              Q_Shot               : OUT   STD_LOGIC ) ;
8  END One_Shot ;
9
10 ARCHITECTURE Behavior OF One_Shot IS
11     SIGNAL Temp : STD_LOGIC ;
12     SIGNAL Status : STD_LOGIC  ;
13
14 BEGIN
15     PROCESS ( Clock, Temp, Status )
16     BEGIN
17         IF Enable = '0' THEN
18             Temp   <= '0' ;
19             Status <= '0';
20         ELSIF (Clock'EVENT AND Clock = '1') THEN
21             IF SW = '1'  THEN
22                 IF Temp = '1' THEN
23                     Status <= '0';
24                 ELSE
25                     Status <= '1';
26                     Temp   <= '1';
27                 END IF;
28             ELSE
29                 Status <= '0';
30                 Temp   <= '0';
31             END IF ;
32         END IF ;
33     END PROCESS ;
34     Q_Shot <= Status ;
35 END Behavior ;
```

รูปที่ 15

13. ทำการปิดโปรเจคที่สร้างมาในขั้นตอนที่ 12 ก่อนที่จะดำเนินการต่อไป
14. สร้างอุปกรณ์ระบบ Hold5Sec ดังในรูปที่ 16 และสร้าง symbol file ขึ้นมาเพื่อเตรียมไว้ใช้ในขั้นถัดไป



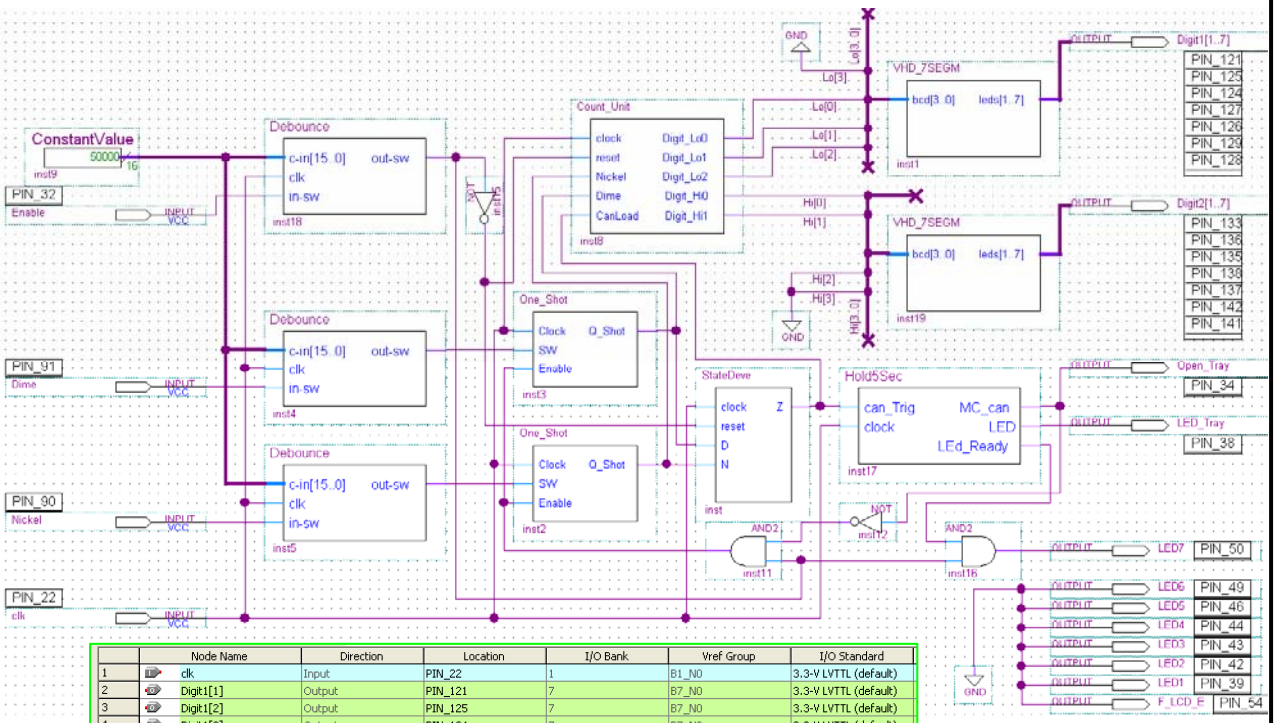
รูปที่ 16

ขั้นที่ 5 ประกอบงานทุกส่วนเข้าเป็นระบบของ Vending Machine ที่สมบูรณ์

15. ทำการปิดโปรเจคที่สร้างมาในขั้นตอนที่ 14 ก่อนที่จะดำเนินการต่อไป
16. สร้างโปรเจคชื่อ "VendingMC" ขึ้นมาและให้เก็บไว้ในโฟลเดอร์เดียวกันกับโปรเจคที่สร้างตอนก่อนหน้า
    a) จากนั้นสร้างวงจรทดลองดังรูปที่ 17 ให้ใช้ชิพเบอร์ EP3C10E144C8 และทำการคอมไพล์

b) กำหนดขา PIN ตามรูป **คอมไพล์ซ้ำอีกรอบ** และทำการโปรแกรม configuration ลงบอร์ดทดลอง

17. ทำการทดสอบการทำงานของระบบ



	Node Name	Direction	Location	I/O Bank	Vref Group	I/O Standard
1	clk	Input	PIN_22	1	B1_N0	3.3-V LVTTL (default)
2	Digit1[1]	Output	PIN_121	7	B7_N0	3.3-V LVTTL (default)
3	Digit1[2]	Output	PIN_125	7	B7_N0	3.3-V LVTTL (default)
4	Digit1[3]	Output	PIN_124	7	B7_N0	3.3-V LVTTL (default)
5	Digit1[4]	Output	PIN_127	7	B7_N0	3.3-V LVTTL (default)
6	Digit1[5]	Output	PIN_126	7	B7_N0	3.3-V LVTTL (default)
7	Digit1[6]	Output	PIN_129	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
8	Digit1[7]	Output	PIN_128	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
9	Digit2[1]	Output	PIN_133	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
10	Digit2[2]	Output	PIN_136	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
11	Digit2[3]	Output	PIN_135	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
12	Digit2[4]	Output	PIN_138	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
13	Digit2[5]	Output	PIN_137	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
14	Digit2[6]	Output	PIN_142	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
15	Digit2[7]	Output	PIN_141	8	B8_N0	3.3-V LVTTL (default)
16	Dime	Input	PIN_91	6	B6_N0	3.3-V LVTTL (default)
17	Enable	Input	PIN_32	2	B2_N0	3.3-V LVTTL (default)
18	F_LCD_E	Output	PIN_54	4	B4_N0	3.3-V LVTTL (default)
19	LED1	Output	PIN_39	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
20	LED2	Output	PIN_42	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
21	LED3	Output	PIN_43	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
22	LED4	Output	PIN_44	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
23	LED5	Output	PIN_46	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
24	LED6	Output	PIN_49	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
25	LED7	Output	PIN_50	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
26	LED_Tray	Output	PIN_38	3	B3_N0	3.3-V LVTTL (default)
27	Nickel	Input	PIN_90	6	B6_N0	3.3-V LVTTL (default)
28	Open_Tray	Output	PIN_34	2	B2_N0	3.3-V LVTTL (default)

รูปที่ 17

งานมอบหมายท้ายการทดลอง

(ให้เขียนลงบนกระดาษ A4 ส่งในคราวถัดไป)

1. ทำการทดสอบการทำงานของระบบให้เข้าใจอย่างลึกซึ้ง (โดยอาศัยแนวคิดจากการออกแบบ, หัวข้อ A1 –A3) เมื่อมีความเข้าใจระบบอย่างดีแล้วให้ น.ศ. อธิบายวิธีการทดสอบอย่างเป็นขั้นตอน จนทำให้อาจารย์ผู้ตรวจสามารถสัมผัสได้ว่า น.ศ.มีความรู้จริงในงานที่ทำมาทั้งหมดนี้ โดยเขียนเป็นรายงานส่งหลังทำการทดลองเสร็จสิ้น
2. ระบบในรูปที่ 8a , รูปที่ 13 , และรูปที่ 14 สามารถที่จะออกแบบโดยวิธีอื่นๆ โดยที่ไม่ใช้วิธีการทำ Finite State Machine ได้หรือไม่ ? ถ้าได้ จะต้องทำอย่างไร ทำรายงานส่งด้วย? ถ้าไม่ได้ ให้อธิบายสาเหตุ ทั้งนี้ น.ศ. จะต้องอธิบายจน**ทำให้อาจารย์ผู้ตรวจสามารถสัมผัสได้ว่า** น.ศ.มีความรู้จริงในงานที่ทำมาทั้งหมดนี้

ประโยค ... ทำให้อาจารย์ผู้ตรวจสามารถสัมผัสได้ว่า ... Cr. NCH , : established in 2014