

เนื้อหา

วงจรซีเควนเชียล

Sequential Process

Application ทาง Digital นั้นจะใช้กับ Process มากมาย เช่น การบวก, การนับ, การเปรียบเทียบ, การเข้ารหัส, การถอดรหัส, การสร้างและตรวจจับ sequence, ฯลฯ ซึ่งบาง process จะเป็นแบบ combination เท่านั้น โดย O/P ของมัน ณ เวลาใดๆ จะขึ้นอยู่กับ I/P ของมัน ณ เวลานั้น เช่น encoding, decoding, Multiplexer, Demultiplexer บาง process จะเป็นแบบ sequential เท่านั้น เนื่องจาก O/P ของมัน ณ เวลาใด ๆ นอกจากจะขึ้นอยู่กับ I/P ยังขึ้นอยู่กับสถานะของวงจร ณ เวลานั้นด้วย เช่น counting , sequence generation, sequence detection ยังมีบาง process ที่เรียกว่า iterative process ที่สามารถเป็นได้ทั้งแบบ combination และ sequential เพราะเป็น process ที่สามารถหา O/P ได้ในเวลาเดียวโดยป้อน I/P เข้าไปทั้งหมด หรืออาจเป็น process ที่สามารถหา O/P โดยการป้อน I/P ทีละส่วนและกระทำ operation ของ process ซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง เช่น addition, multiplication Sequential Process คือ Process ที่มีการทำงานเป็นลำดับ โดยจะใช้สถานะ (State) เป็นตัวจัดลำดับ ณ เวลาใด ๆ process จะอยู่ที่ State ใด State หนึ่ง การทำงานของ Process จะขึ้นอยู่กับ State ณ เวลานั้นและ I/P ที่เข้ามา เมื่อเปลี่ยนช่วงเวลา Process จะเปลี่ยนไปอยู่ที่ State อื่น ซึ่งจะเป็น State ใดขึ้นอยู่กับ I/P เช่นกัน

ตัวอย่าง 1 พิจารณา Process ที่มี I/P เข้ามาเป็นลำดับ เป็นจำนวน n บิต แล้วหาว่า I/P นั้น มีจำนวนบิตที่เป็น “1” เป็นจำนวนคู่หรือไม่

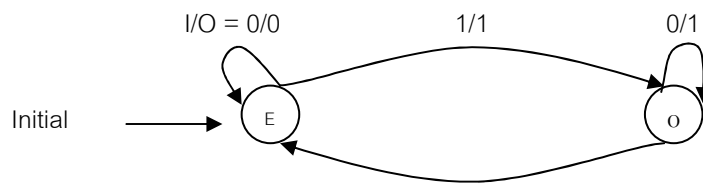
- Process จะมี 2 State คือ State ที่มี ‘1’ เป็นจำนวนคู่ แทนด้วย E (even) และ State ที่มี ‘1’ เป็นจำนวนคี่ แทนด้วย O (Odd)

- O/P ของ Process จะเป็น Parity Bit คือ ถ้า I/P มี ‘1’ เป็นจำนวนคู่ จะมี Parity Bit เป็น ‘0’ แต่ถ้า I/P มี ‘1’ เป็นจำนวนคี่ จะมี Parity Bit เป็น ‘1’

- Sequential Process สามารถแสดงการทำงานโดยใช้ State table และ State Diagram สำหรับ Process ในตัวอย่างที่ 1 นี้ จะมี State table ดังตารางที่ 1 และ State ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 State table ของ process การหา Even Parity

Present State	Next State		Output	
	Input 0	Input 1	Input 0	Input 1
E	E	O	0	1
O	O	E	1	0



รูปที่ 1 State Diagram ของ process การหา Even Parity

Sequential Process ประกอบด้วย

- State
Present State (PS) เป็น State ณ เวลาปัจจุบัน
Next State (NS) เป็น State ณ ช่วงเวลาถัดไป
- I/P
- Next State Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Present State และ I/P
- O/P Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Present State และ I/P

บาง Process O/P ขึ้นอยู่กับ Present State เพียงอย่างเดียว เรียกว่า Process แบบ Moore

Process ที่ O/P ขึ้นอยู่กับทั้ง Present State และ I/P เรียกว่า Process แบบ Mealy

State Table & State Diagram

State Table และ State Diagram จะใช้สำหรับอธิบายการทำงาน ของ Sequential Process มีลักษณะดังนี้

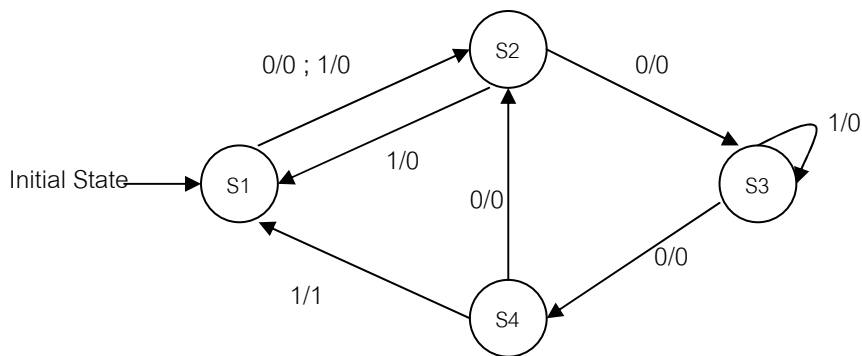
State Table เป็นลักษณะของตาราง แต่ละแถวจะเป็น Present State มีจำนวนแถวเท่ากับจำนวน State ในแนวคอลัมน์จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็น Next State ส่วนที่สองเป็น O/P ซึ่งแต่ละส่วนจะมีที่คอลัมน์ขึ้นอยู่กับจำนวนเงื่อนไขของ I/P

ตัวอย่างของ State table แสดงให้เห็นดังตารางที่ 2 process นี้จะมีจำนวน 4 State คือ S1, S2, S3, S4 จึงมี 4 แถว และมี I/P 1 I/P คือ I จึงมี 2 เงื่อนไขคือ I=0 และ I=1

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง State Table

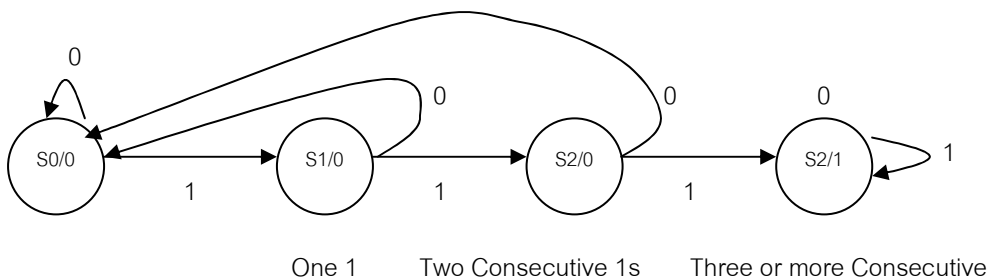
Present State	Next State		Output	
	I		I	
	0	1	0	1
S1	S2	S2	0	0
S2	S3	S1	0	0
S3	S4	S3	0	0
S4	S2	S1	0	1

State Diagram เป็นลักษณะของรูปภาพ State จะแทนด้วยวงกลม ภายในวงกลมเขียนชื่อ State ไว้ การเชื่อมโยงระหว่าง State ใช้เส้นที่มีหัวลูกศรกำกับ แต่ละเส้นคือเส้นทางจาก Present State ไปยัง Next State ถ้าเป็น Process แบบ Mealy ที่แต่ละเส้น จะกำกับด้วย Input/Output รูปที่ 2 จะแสดงตัวอย่าง State Diagram ของ Process แบบ Mealy ซึ่งเป็น Process เดียวกับ ใน StateTable ในตารางที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่าง State Diagram ของ Process แบบ Mealy

ถ้าเป็น Process แบบ Moore ที่แต่ละเส้นจะกำกับด้วย I/P เท่านั้น เนื่องจาก O/P ขึ้นอยู่กับ State เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ค่าของ O/P จึงเข้าไปอยู่ในวงกลมของ State ดังตัวอย่างในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่าง State Diagram ของ Process แบบ Moore

ตัวอย่าง 2 พิจารณา Process ของการบวกตัวเลข Binary 2 จำนวน

Column		I	=	3 2 1 0	
PS	C	=		1 1 1 0	Carry-in
I/P	X	=		0 1 0 1	
<u>I/P</u>	<u>Y</u>	=		<u>0 0 1 1</u>	
O/P	S	=		1 0 0 0	Sum
NS	C _N	=		0 1 1 1	Carry-Out

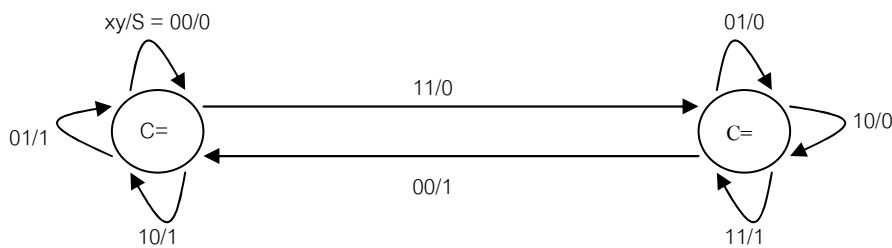
เราสามารถสร้างเป็น Sequential Process ได้โดยใช้ Carry (C) เป็น State ของ Process ซึ่งจะเป็นเงื่อนไขร่วมกับ I/P X, Y เพื่อกำหนด Next State และ O/P ของวงจรได้ในการบวกแต่ละบิต (ci , xi, yi) จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Binary Addition Table

C _i	x _i	y _i		C _{i+1}	S _i
0	0	0		0	0
0	0	1		0	1
0	1	0		0	1
0	1	1		1	0
1	0	0		0	1
1	0	1		1	0
1	1	0		1	0
1	1	1		1	1

จากตารางที่ 3 หากนำมาเป็น Sequential Process โดยให้ Carry เป็น State (Carry in = PS, Carry out = NS) และ xi, yi เป็น I/P จะสามารถเขียน State Table และ State Diagram ได้ดัง รูปที่ 4

Present State C	Next State C	Output S
	Input xy	Input xy
0	00 01 11 10	00 01 11 10
1	0 0 1 0	0 1 0 1
	0 1 1 1	1 0 1 0



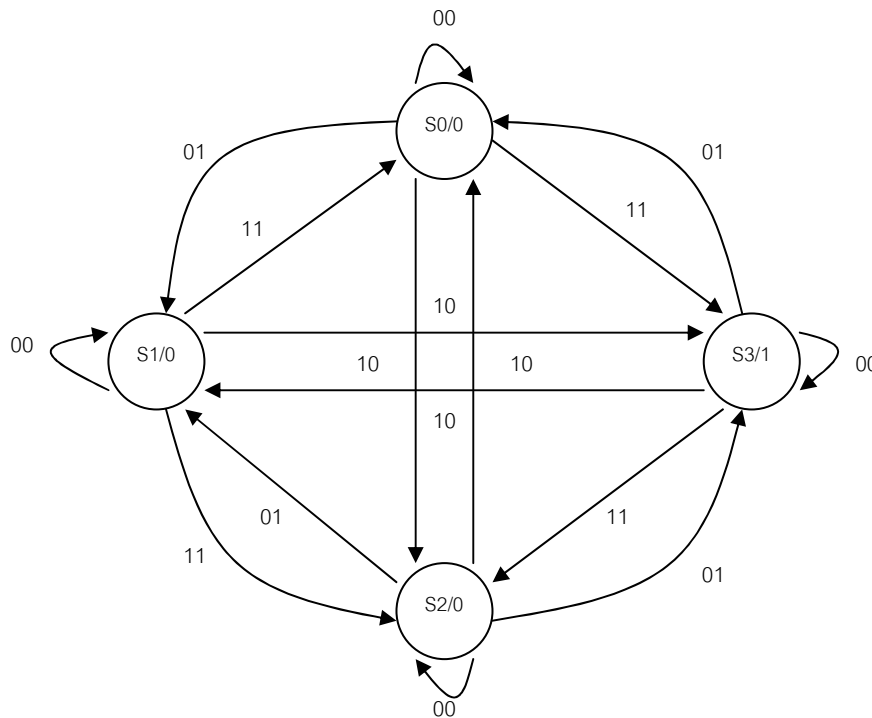
รูปที่ 4 Serial Addition Process a) State Diagram b) State Diagram

ตัวอย่าง 3 พิจารณา process ของ modulo - 4 addition ของตัวเลขขนาด 2 บิตที่เข้ามาแบบลำดับ (Sequence) และให้ O/P เป็น 1 เมื่อผลบวกเป็น 11

ตารางที่ 4 แสดง State Table ของวงจร โดย Process นี้จะกำหนดให้ เป็นการบวกกันระหว่าง Present State (AB) และ I/P (x1x2) โดย Next State เป็น ผลบวก (Present State จะเป็นผลบวก ณ เวลาปัจจุบัน และ Next State จะเป็นผลบวก ณ เวลาถัดไป) และ Stat Diagram จะเป็นดังรูปที่ 5

ตารางที่ 4 State Table ของ Modulo – 4 Addition

Present state AB	Next State $A_N B_N$				Output Z
	Input x1x2				
	00	01	11	10	
00	00	01	11	10	0
01	01	10	00	11	0
11	11	00	10	01	1
10	10	11	01	00	0



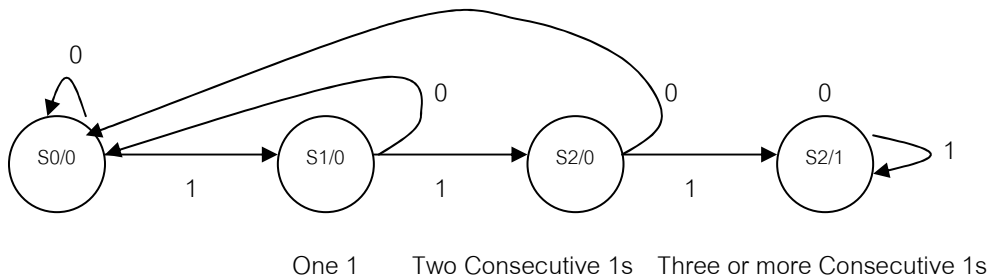
รูปที่ 5 State diagram ของ Modulo – 4 Addition

ตัวอย่างที่ 4 พิจารณา Process ที่รับ I/P เป็น Sequence ของ 0 และ 1 และ Process จะให้ O/P เป็น 1 เมื่อ มี I/P เป็น 1 มา 3 ตัวติดกันขึ้นไป ถ้าเป็น Process แบบ Moore จะสามารถเขียน State Table ได้ดังตารางที่ 5

และเขียน State Diagram ได้ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 5 State Table ของ Moore 111 Sequence Detector

Present State	Next State		Output
	I		
	0	1	
S0	S0	S1	0
S1	S0	S2	0
S2	S0	S3	0
S3	S0	S3	1



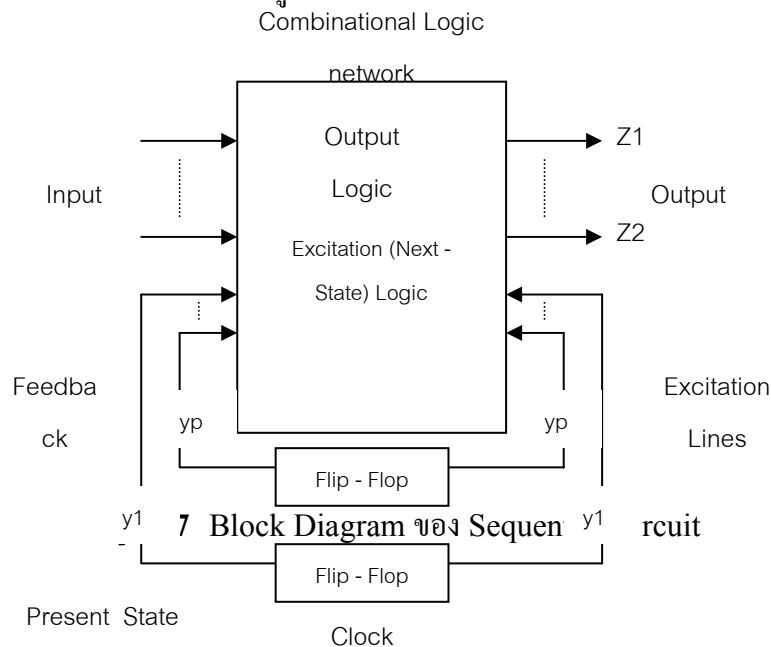
รูปที่ 6 State Diagram ของ Moore 111 Sequence Detector

Sequential machine หรือ Sequential Circuit

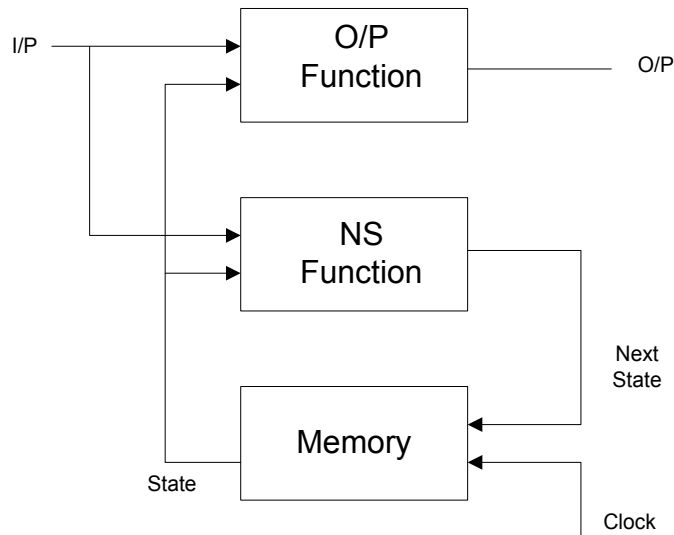
Sequential machine หรือ Sequential Circuit เป็นวงจรที่มีการทำงานเป็น Sequential Process นั่นคือ ประกอบด้วย

- State ของวงจร
 Present State (PS) เป็น State ณ เวลาปัจจุบันของวงจร
 Next State (NS) เป็น State ณ ช่วงเวลาถัดไป
- I/P ของวงจร
- Next State Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Present State และ I/P
- O/P Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Present State และ I/P
 ถ้า O/P ขึ้นอยู่กับ Present State เพียงอย่างเดียว เรียกว่า Moore Machine
 ถ้า O/P ขึ้นอยู่กับทั้ง Present State และ I/P เรียกว่า Mealy Machine

วงจร Sequential สามารถสร้างขึ้นได้โดยใช้อุปกรณ์หน่วยความจำ (Memory : Flip-Flop) ซึ่งสามารถเก็บค่าไว้ในตัวมันจนกว่าจะมีการเปลี่ยนช่วงเวลา (Clock) ร่วมกับวงจร Combination โดยอุปกรณ์หน่วยความจำจะใช้เป็น State และวงจร Combination จะใช้เป็นตัวกำหนด Next State และ O/P ดังรูปที่ 4



เนื่องจากส่วนของ Combination แบ่งเป็น 2 ฟังก์ชันคือ Next State Function และ O/P Function ดังนั้น เราสามารถเขียน Block Diagram ของวงจร Sequential ได้อีกแบบหนึ่งดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 Block Diagram ของ Sequential Circuit

วงจร Sequential แบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบ Synchronous และ แบบ Asynchronous สำหรับวงจรแบบ Synchronous นั้น อุปกรณ์หน่วยความจำ (Flip-Flop) ทุกตัวจะเข้าจังหวะกันคือทำงานพร้อมกัน ซึ่งเข้าจังหวะโดย Clock ของระบบ ส่วนวงจรแบบ Asynchronous นั้นการทำงานของอุปกรณ์จะไม่เข้าจังหวะกันซึ่งสามารถดูตัวอย่างได้จากวงจรนับแบบ Synchronous และ Asynchronous

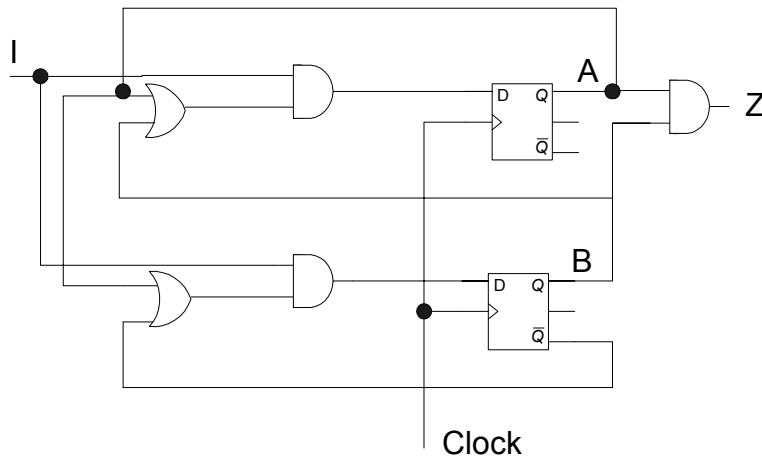
Analysis of General Synchronous Sequential Logic Circuit

การวิเคราะห์วงจร Synchronous Sequential นั้น มีจุดประสงค์เพื่อหา Process การทำงานของวงจร ว่า วงจรทำงานอย่างไร มีการเปลี่ยนแปลงของ State อะไรบ้าง และ O/P ของแต่ละ State มีค่าเป็นอย่างไร นั่นคือการวิเคราะห์จาก Logic diagram ของวงจร ออกมาเป็น State Diagram และ State Table นั้นเอง

วิธีการ

1. หา Switching Function ของ NS Function และ O/P Function
2. นำ Switching Function ของ NS Function ไปแทนใน Characteristic Equation ของ Flip-Flop ตัวที่ใช้ในวงจร
3. สร้าง NS Map โดยดูจาก NS Function
4. เขียน Transition Table โดยดูจาก NS Map
5. กำหนดตัวอักษรแทน State หนึ่ง ๆ แล้วเขียนแทนใน Transition Table จะได้ State Table
6. เขียน State Diagram

ตัวอย่าง 1 วิเคราะห์วงจร sequential ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 Logic Diagram ตัวอย่างที่ 1

Step 1: หา Switching Function

NS Function : $DA = A I + B I$
 $DB = A I + \bar{B} I$
 O/P Function : $Z = A B$

Step 2 : แทน Switching Function ใน Characteristic Equation ของ Flip-Flop

D Flip-Flop : $Q_{N+1} = D$
 จะได้ $A_N = DA = AI + BI$
 $B_N = DB = AI + \bar{B}I$

Step 3 : เขียน NS Map ได้ดังรูปที่ 10

		I	
		0	1
AB	00	0	0
	01	0	1
	11	0	1
	10	0	1

		I	
		0	1
AB	00	0	1
	01	0	0
	11	0	1
	10	0	1

รูปที่ 10 NS Map ของตัวอย่างที่ 1

Step 4 : เขียน Transition Table ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 Transition Table ของตัวอย่างที่ 1

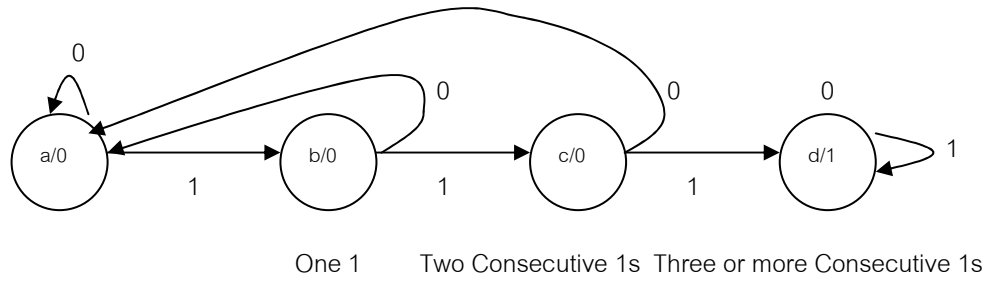
Present State AB	Next State		Output Z
	I		
	0 AB	1 AB	
00	00	01	0
01	00	10	0
11	00	11	1
10	00	11	0

Step 5 : กำหนด a = 00, b = 01, c = 10, d = 11 จะได้ State Table ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 State Table

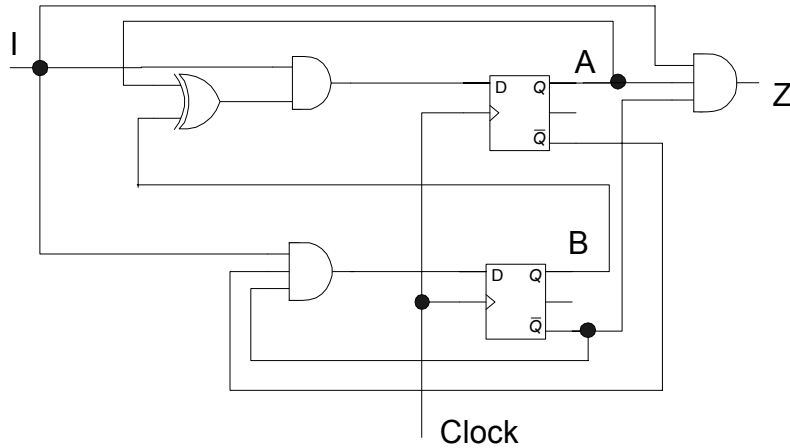
Present State AB	Next State		Output Z
	I		
	0 AB	1 AB	
a	a	b	0
b	a	c	0
d	a	d	1
c	a	d	0

Step 6 : เขียน State Diagram ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 State Diagram

ตัวอย่าง 2 วิเคราะห์วงจร sequential ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 Logic Diagram ตัวอย่างที่ 2

Step 1: หา Switching Function

NS Function : $DA = (A \oplus B)I = A\bar{B}I + \bar{A}BI$
 $DB = \bar{A}\bar{B}I$
 O/P Function : $Z = A\bar{B}I$

Step 2 : แทน Switching Function ใน Characteristic Equation ของ Flip-Flop

D Flip-Flop : $Q_{N+1} = D$
 จะได้ $A_N = DA = A\bar{B}I + \bar{A}BI$
 $B_N = DB = \bar{A}\bar{B}I$

Step 3 : เขียน NS Map ได้ดังรูปที่ 13

		I	
		0	1
AB	00	0	0
	01	0	1
	11	0	0
	10	0	1

		I	
		0	1
AB	00	0	1
	01	0	0
	11	0	0
	10	0	0

รูปที่ 13 NS Map ของตัวอย่างที่ 2

Step 4 : เขียน Transition Table ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 Transition Table ของตัวอย่างที่ 2

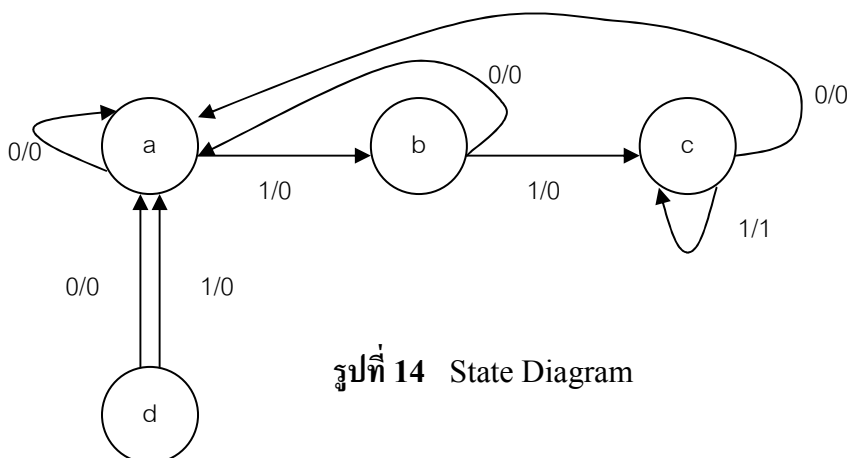
Present State AB	Next State $A_N B_N$		Output Z	
	I		I	
	0	1	0	1
00	00	01	0	0
01	00	10	0	0
11	00	00	0	0
10	00	10	0	1

Step 5 : กำหนด $a = 00, b = 01, c = 10, d = 11$ จะได้ State Table ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 State Table

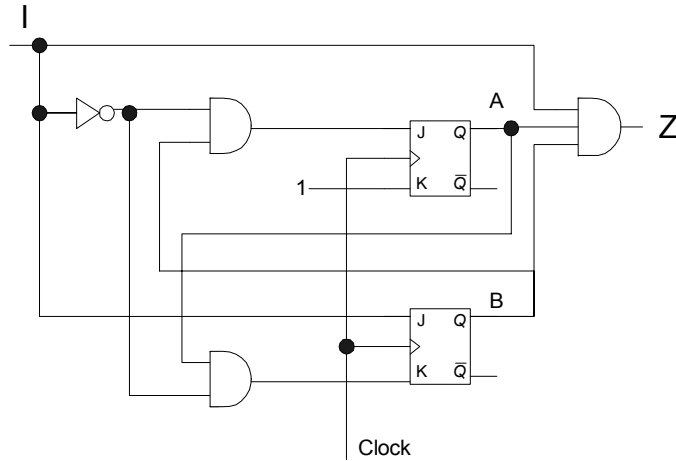
Present State	Next State		Output	
	I		I	
	0	1	0	1
a	a	b	0	0
b	a	c	0	0
d	a	a	0	0
c	a	c	0	1

Step 6 : เขียน State Diagram ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 State Diagram

ตัวอย่าง 3 วิเคราะห์วงจร sequential ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 Logic Diagram ตัวอย่างที่ 3

Step 1: หา Switching Function

NS Function : $J_A = \bar{B} I$

$J_B = I$

$K_A = 1$

$K_B = A I$

O/P Function : $Z = A B I$

Step 2 : แทน Switching Function ใน Characteristic Equation ของ Flip-Flop

JK Flip-Flop : $Q_{N+1} = J \bar{Q} + \bar{K} Q$

จะได้ $A_N = B \bar{I} \bar{A} + 0 A = \bar{A} B \bar{I}$

$B_N = I \bar{B} + (\bar{A} \bar{I}) B = \bar{A} B + I$

Step 3 : เขียน NS Map ได้ดังรูปที่ 16

		I	
		0	1
AB	00	0	0
	01	1	0
	11	0	0
	10	0	0

		I	
		0	1
AB	00	0	1
	01	1	1
	11	0	1
	10	0	1

รูปที่ 16 NS Map ของตัวอย่างที่ 3

Step 4 : เขียน Transition Table ได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 Transition Table ของตัวอย่างที่ 3

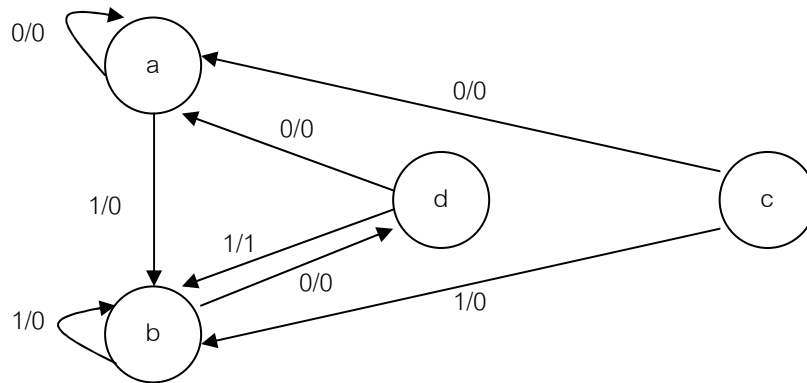
Present State	Next State $A_N B_N$		Output Z	
	I = 0	I = 1	I = 0	i = 1
00	00	01	0	0
01	11	01	0	0
11	00	01	0	1
10	00	01	0	0

Step 5 : กำหนด $a = 00, b = 01, c = 10, d = 11$ จะได้ State Table ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 State Table

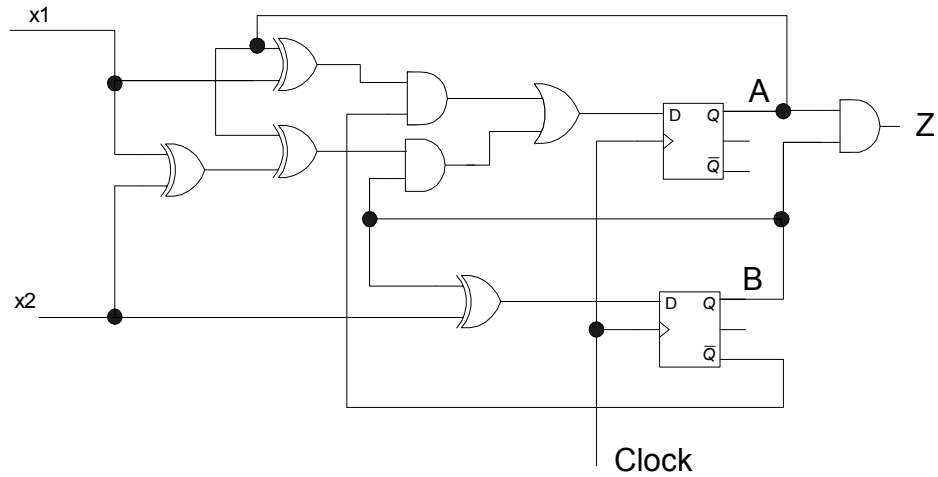
Present State	Next State		Output	
	I = 0	I = 1	I = 0	I = 1
a	a	b	0	0
b	d	b	0	0
d	a	b	0	1
c	a	b	0	0

Step 6 : เขียน State Diagram ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 State Diagram

ตัวอย่าง 4 วิเคราะห์วงจร sequential ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 Logic Diagram ตัวอย่างที่ 4

Step 1: หา Switching Function

NS Function : $DA = \bar{B}(A \oplus x1) + B(A \oplus (x1 \oplus x2))$
 $DB = B \oplus x2$
 O/P Function : $Z = A B$

Step 2 : แทน Switching Function ใน Characteristic Equation ของ Flip-Flop

D Flip-Flop : $Q_{N+1} = D$
 จะได้ $A_N = DA = \bar{B}(A \oplus x1) + B(A \oplus (x1 \oplus x2))$
 $B_N = DB = B \oplus x2$

Step 3 : เขียน NS Map ได้ดังรูปที่ 18

A+		X1X2			
		00	01	11	10
AB	00	0	0	1	1
	01	0	1	0	1
	11	0	1	1	0
	10	0	1	0	0

B+		X1X2			
		00	01	11	10
AB	00	0	1	1	0
	01	0	0	0	1
	11	0	0	0	1
	10	0	1	1	0

รูปที่ 18 NS Map ของตัวอย่างที่ 4

Step 4 : เขียน Transition Table ได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 Transition Table ของตัวอย่าง 4

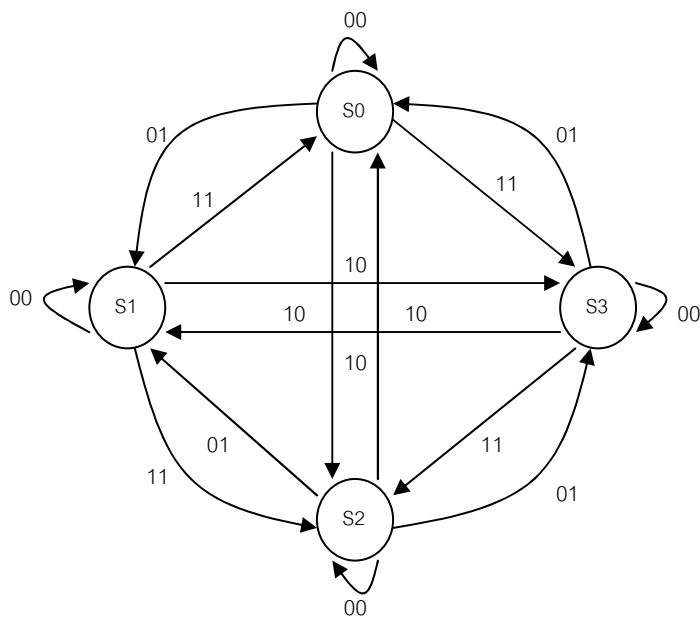
Present State	Next State $A_N B_N$	Output Z
	X1x2 00 01 11 10	
00	00 01 11 10	0
01	01 10 00 11	0
11	11 00 10 01	1
10	10 11 01 00	0

Step 5 : กำหนด $a = 00, b = 01, c = 10, d = 11$ จะได้ State Table ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 State Table

Present State	Next State	Output Z
	X1x2 00 01 11 10	
A	a b d c	0
b	b c a d	0
d	d a c b	1
c	c d b a	0

Step 6 : เขียน State Diagram ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 State Diagram