

บทที่ 8
วงจรม้วน
COUNTER

วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาจบบทนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายวงจรม้วนแบบต่างๆ ได้แก่ วงจรม้วนแบบระลอกคลื่น แบบขนาน แบบ
นับขึ้น แบบนับลง วงจรม้วนโมดูลัส เป็นต้น
2. ออกแบบวงจรม้วน
3. เขียนรูปคลื่นสำหรับวงจรม้วน

8.1 ความนำ

วงจรมัลติไวเบอร์เตอร์มีประโยชน์มากมายในคอมพิวเตอร์ ไบสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์เป็นวงจรที่มีประโยชน์ที่สุด ใช้ในวงจรนับ (counter) รีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล (shift register) อะสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์จัดหาสัญญาณคล็อกเพื่อทำให้วงจรนับ รีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล และส่วนอื่นๆ ของคอมพิวเตอร์ทำงาน ไมโนสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์ใช้ในการสร้างรูปสัญญาณเพื่อให้มีช่วงเวลาหน่วงตามที่ต้องการ หรือขยายความกว้างของพัลส์ที่แคบเกินไป หรือหดพัลส์ที่กว้างเกินไป

ในบทนี้จะกล่าวถึงวงจรนับชนิดต่างๆ

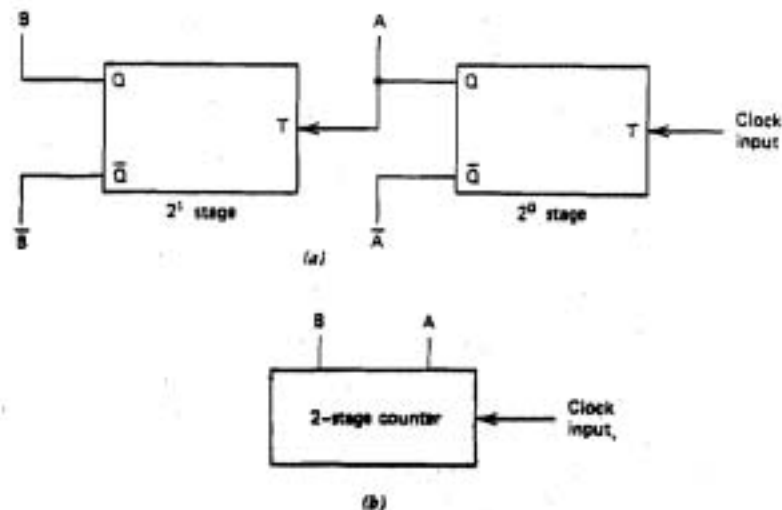
8.2 วงจรนับเลขฐานสองแบบระลอกคลื่น

Binary Ripple Counters

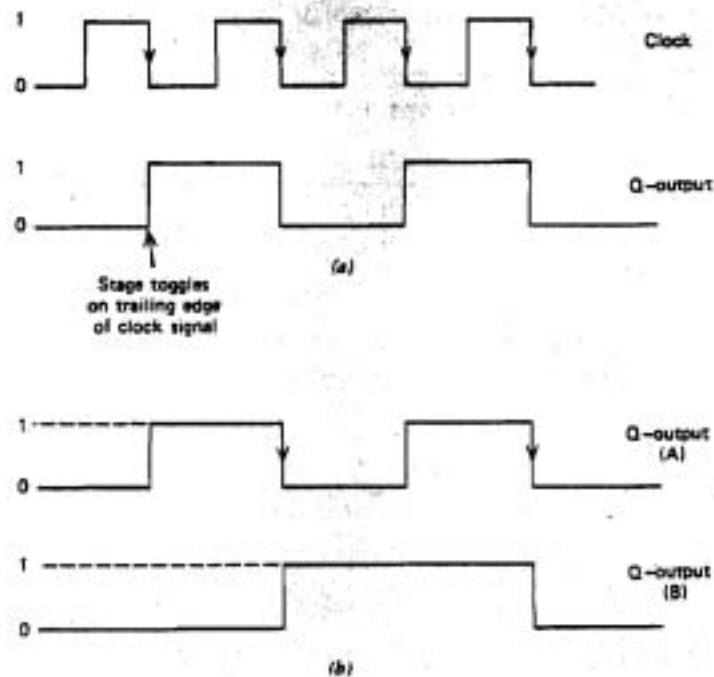
วงจรนับเลขฐานสองสร้างขึ้นโดยใช้ไบสเตเบิลมัลติไวเบอร์เตอร์ แต่ละอินพุตที่เข้าสู่วงจรนับ ทำให้มีการนับขึ้นหรือนับลง วงจรนับแบบนี้อินพุตเข้าไปที่ละอัน เรียกว่าวงจรนับแบบระลอกคลื่น

8.2.1 วงจรนับแบบนับขึ้น (Count-Up Counter)

วงจรนับพื้นฐานในรูป 8.1 ใช้ T ฟลิปฟลอป 2 ตัว แต่ละคล็อกพัลส์ที่เข้าสู่อินพุต T จะไปทริกเกอร์ฟลิปฟลอป เอาท์พุต Q และ $\bar{Q}$ มีตรรกตรงข้ามกันเสมอ ถ้า Q เป็นตรรก 1 (เชิง), $\bar{Q}$ จะเป็นตรรก 0 ถ้า Q เป็นตรรก 0, $\bar{Q}$ จะเป็นตรรก 1 (รีเชิง)



รูป 8.1 วงจรนับเลขฐานสองแบบ 2 ภาค (two-stage)



รูป 8.2 อาการทริกเกอร์ของวงจรรัน

คล็อกอินพุตทำให้ฟลิปฟล็อปทริกเกอร์หรือเปลี่ยนสถานะหนึ่งครั้งต่อหนึ่งคล็อกพัลส์ รูป 8.2 (a) แสดงสัญญาณคล็อกอินพุต และเอาต์พุต Q ให้สังเกตว่าฟลิปฟล็อปจะทริกเกอร์ที่ขอบลบ หรือเรียกว่าขอบตาม (trailing) ของสัญญาณคล็อก คือเมื่อสัญญาณมีตรรกเปลี่ยนจาก 1 ไป 0 จากรูป 8.1 จะเห็นว่าเอาต์พุต Q ของฟลิปฟล็อปตัวที่ 1 (A; เรียกว่าฟลิปฟล็อปตัวที่ 2^0) เป็นอินพุตเพื่อไปทริกเกอร์ฟลิปฟล็อปตัวที่ 2 (B; เรียกว่าฟลิปฟล็อปตัวที่ 2^1) ฟลิปฟล็อปตัวที่ 2 จะเปลี่ยนสถานะเมื่อเอาต์พุต Q ของฟลิปฟล็อปตัวที่ 1 เปลี่ยนจากตรรก 1 ไปสู่ตรรก 0 ดังเห็นได้จากรูป 8.2 (b) เครื่องหมายลูกศรที่ปรากฏอยู่ที่รูปคลื่นของฟลิปฟล็อป A เพื่อแสดงว่าฟลิปฟล็อป B จะทริกเกอร์ที่ขอบตามของคล็อกพัลส์ วงจรรันฟลิปฟล็อป A จะนับเลขฐานสองที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด และฟลิปฟล็อป B นับเลขฐานสองนัยสำคัญมากที่สุด ตารางแสดงการนับคล็อกพัลส์ที่เป็นอินพุต คือตาราง 8.1

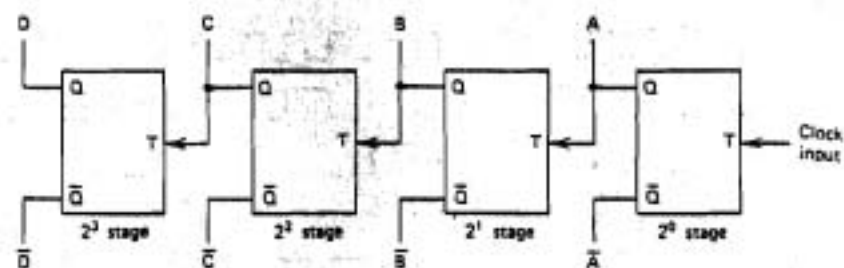
ตาราง 8.1 ตารางการนับสำหรับวงจรมีเลขฐานสองแบบ 2 ภาค

อินพุตพัลส์	เอาต์พุตของ 2^1 (B)	เอาต์พุตของ 2^0 (A)
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1
4 (หรือ 0)	0	0

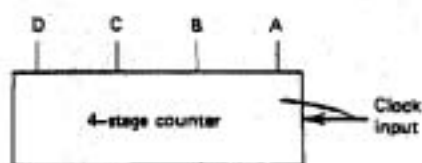
วงจรมีในรูป 8.1 นั้น ใช้ฟลิปฟล็อป 2 ตัว (วงจรมี 2 ภาค) สามารถนับเลขฐานสองได้ 4 ค่า เราอาจขยายจำนวนนับจากหลักการนี้ไปสู่จำนวนนับอื่นๆ เช่น วงจรมี 4 ภาค ในรูป 8.3 โดยการต่อเอาต์พุต Q ของฟลิปฟล็อปแต่ละภาคให้เป็นทริกเกอร์อินพุตแก่ฟลิปฟล็อปในภาคถัดไป สำหรับวงจรมี 4 ภาคนั้น รอบการนับจะซ้ำเดิมทุกๆ 16 คล็อกพัลส์ โดยทั่วไปจะมีจำนวนนับ 2^n ค่า เมื่อใช้ฟลิปฟล็อป n ตัว (หรือจัดเป็นวงจรมี n ภาค)

วงจรมี 4 ภาคในรูป 8.3 มีตารางการนับดังตาราง 8.2 ลูกศรที่ปรากฏในตารางเพื่อแสดงว่าการเปลี่ยนจากตรรกะ 1 สู่ 0 มีผลเป็นทริกเกอร์ไปยังฟลิปฟล็อปถัดไป จากตารางนี้สังเกตดูจะเห็นว่าทริกเกอร์ของภาคที่ 2^0 จะเกิดขึ้นทุกคล็อกพัลส์ ภาคที่ 2^1 ทริกเกอร์ทุก 2 คล็อกพัลส์ ภาคที่ 2^2 ทริกเกอร์ทุก 4 พัลส์ เป็นต้น เหตุการณ์เช่นนี้เป็นการบอกเป็นนัยว่าน้ำหนักของเอาต์พุตที่สอดคล้องกันจะเป็นเช่นใด เช่น เอาต์พุตของภาคที่ 2^3 เป็นตัวพิจารณา ค่า 8 เอาต์พุตที่ 2^2 พิจารณา ค่าที่ 4 เอาต์พุตของภาค 2^1 ให้ค่า 2 เอาต์พุต 2^0 ให้ค่า 1 สถานะฐานสองของวงจรมีสามารถอ่านได้เท่ากับจำนวนพัลส์อินพุต หลังจากที่ยังจรมีไปถึงค่า 1111 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของการนับโดยใช้ 4 ภาค อินพุตพัลส์ตัวต่อไปจะทำให้วงจรมีกลับไปนับค่าเริ่มต้น คือ 0000 ของรอบการนับใหม่

ลำดับของการนับดังกล่าวเป็นการนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงเรียกว่า "วงจรมีแบบนับขึ้น" รูปคลื่นเอาต์พุตสำหรับแต่ละภาคแสดงดังรูป 8.4 วงจรมีแบบนี้เรียกว่า "วงจรมีแบบระลอกคลื่น" ด้วยเหตุผลที่การเปลี่ยนแปลงสถานะของฟลิปฟล็อปแต่ละภาคจากลำดับต่ำลงไปสู่ลำดับสูงกว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการนับ นั่นคือฟลิปฟล็อปในภาคที่ 2^0 จะทริกเกอร์ฟลิปฟล็อปในภาคที่ 2^1 , ซึ่งไปทริกเกอร์ภาคที่ 2^2 , ฯลฯ



(a)

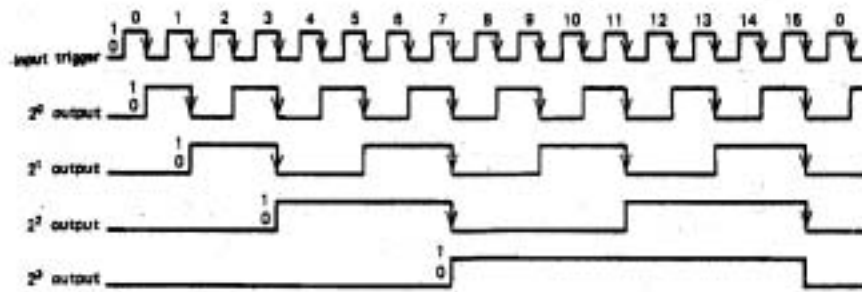


(b)

รูป 8.3 วงจรนับ 4 ภาค

ตาราง 8.2 ตารางการนับของวงจรนับ 4 ภาค

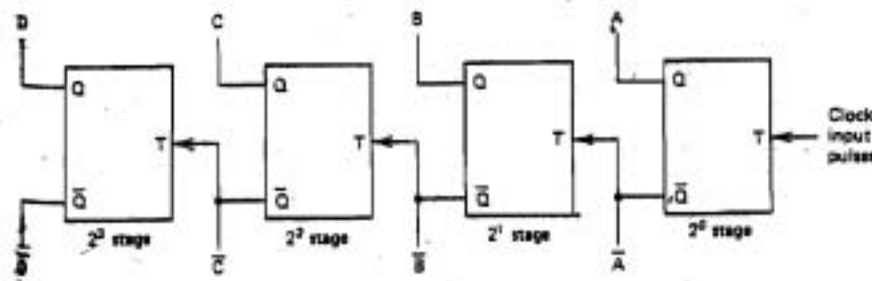
Input Pulses	2^3 Output (D)	2^2 Output (C)	2^1 Output (B)	2^0 Output (A)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
16 (or 0)	0	0	0	0



รูป 8.4 รูปคลื่นของวงจรนับ 4 ภาควิธีแบบนับขึ้น

8.2.2 วงจรนับแบบนับลง (Count-Down Counter)

โดยการต่อเอาต์พุต $\bar{Q}$ ของฟลิปฟล็อปแต่ละภาควิธีให้เป็นทริกเกอร์อินพุตแก่ภาควิธีต่อไป ให้ผลเป็นวงจรนับแบบนับลง (นับถอยหลัง) เอาต์พุตที่ได้ยังคงเอามาจากเอาต์พุต Q ของวงจรนับแบบนี้ ซึ่งเห็นได้จากรูป 8.5 และตาราง 8.3



รูป 8.5 วงจรนับ 4 ภาควิธีแบบนับลง

ตาราง 8.3 ตารางนับของวงจรรนับ 4 ภาค แบบนับลง

อินพุตพัลส์	D	C	B	A	เปรียบเทียบค่าเลขฐานสิบ
0	0	0	0	0	0 (หรือ 16)
1	1	1	1	1	15
2	1	1	1	0	14
3	1	1	0	1	13
4	1	1	0	0	12
5	1	0	1	1	11
6	1	0	1	0	10
7	1	0	0	1	9
8	1	0	0	0	8
9	0	1	1	1	7
10	0	1	1	0	6
11	0	1	0	1	5
12	0	1	0	0	4
13	0	0	1	1	3
14	0	0	1	0	2
15	0	0	0	1	1
16	0	0	0	0	0 หรือ 16
	1	1	1	1	15

เริ่มแรกโดยการรีเซ็ตวงจรรนับ (เอาต์พุต 0 ของฟลิปฟล็อปทุก ๆ ภาค มีตรรก 0) อินพุตพัลส์ตัวที่ 1 ทำให้ฟลิปฟล็อป A ทริกเกอร์จาก 0 เป็น 1 ทริกเกอร์พัลส์สู่ฟลิปฟล็อป B มาจากเอาต์พุต $\bar{Q}$ ของฟลิปฟล็อป A ซึ่งเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ที่ขณะนี้ จึงทำให้ฟลิปฟล็อป B ถูกทริกเกอร์เช่นกัน เอาต์พุต $\bar{Q}$ ของฟลิปฟล็อป B เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 จึงไปทริกเกอร์ฟลิปฟล็อป C ซึ่ง $\bar{Q}$ ของ C ไปทริกเกอร์ฟลิปฟล็อป D ในทำนองเดียวกัน ทำให้ได้นับเป็น 1111 ดังตาราง 8.3 อินพุตพัลส์ตัวต่อไปจะทริกเกอร์ฟลิปฟล็อป A เนื่องจากสัญญาณ $\bar{A}$ (ซึ่งใช้ทริกเกอร์ฟลิปฟล็อป B) ขณะนี้เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ดังนั้น ฟลิปฟล็อป B C และ D จะยังคงเดิมไม่มีการเปลี่ยนสถานะในคล็อกพัลส์ตัวที่ 2 นี้ การนับจึงเป็น 1110 การนับจะนับถอยหลังลงเรื่อยๆ ทีละ 1 เมื่ออินพุตพัลส์เข้ามาเรื่อยๆ

จะเห็นว่าโดยการให้เอาต์พุต 0 เป็นทริกเกอร์อินพุตแก่ฟลิปฟล็อปตัวถัดๆ ไปในวงจรรนับแบบระลอกคลื่น โดยให้ฟลิปฟล็อปถูกทริกเกอร์ที่ขอบตามของพัลส์ จะได้ผลเป็นวงจรรนับแบบนับขึ้น แต่ถ้าให้เอาต์พุต $\bar{Q}$ เป็นทริกเกอร์แก่ฟลิปฟล็อปถัดๆ ไป จะได้ผลเป็นวงจรรนับแบบนับลง สำหรับฟลิปฟล็อปซึ่งทริกเกอร์ที่ขอบบวกหรือขอบนำ (leading edge) จะทำงานตรงข้ามกับแบบนี้

วงจรรนับสามารถใช้เป็นตัวดำเนินการเลขคณิตแบบง่าย คือทำการบวกเมื่อใช้เป็นวงจรรนับแบบนับขึ้น และทำการลบเมื่อเป็นวงจรรนับแบบนับลง เช่น วงจรรนับ 6 ภาคว สามารถนับถึง 111111 หรือ 63 ในเลขฐานสิบ ถ้าวงจรรนับถูกรีเซ็ต จากนั้นมีพัลส์ 9 ตัวเข้ามา มันจะนับค่าได้เป็น 001001 (หรือ 9) ต่อจากนั้นถ้ามีพัลส์เข้ามาอีก 9 ตัว (วงจรรนับก็จะนับต่อไปจากเดิมอีก 9 จึงได้ 010010 (หรือ 18) วงจรรนับนี้จึงทำหน้าที่เป็นวงจรรบวก (adder หรือ accumulator) สำหรับขบวนพัลส์

8.3 วงจรรนับโมดูลัส Modulus Counter

วงจรรนับที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 8.2 จัดให้มีการนับในแบบผลคูณของ 2ⁿ คือ 4, 8, 16 ฯลฯ อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่เราต้องสามารถสร้างวงจรรนับที่นับค่าเท่าไรก็ได้ วงจรรนับที่นับซ้ำรอบทุก ๆ 10 พัลส์ เรียกว่าวงจรรนับสิบ (decade counter) หรือวงจรรนับฐานสิบ (base-10 counter) หรือวงจรรนับโมดูลัส-10 (modulus 10 counter or Mod-10 counter) การสร้างวงจรรนับโมดูลัสอาศัยหลักการป้อนกลับพัลส์เพื่อให้วงจรรนับวนซ้ำนับบางค่าไป หรือรีเซ็ตหลังจากที่ได้คำนวณตามที่ต้องการแล้ว และการใช้วงจรรนับเพื่อให้มีการนับตามลำดับที่ต้องการ วิธีการเหล่านี้จะได้กล่าวต่อไป

8.3.1 วงจรรนับชนิดป้อนกลับ (Feedback Counters)

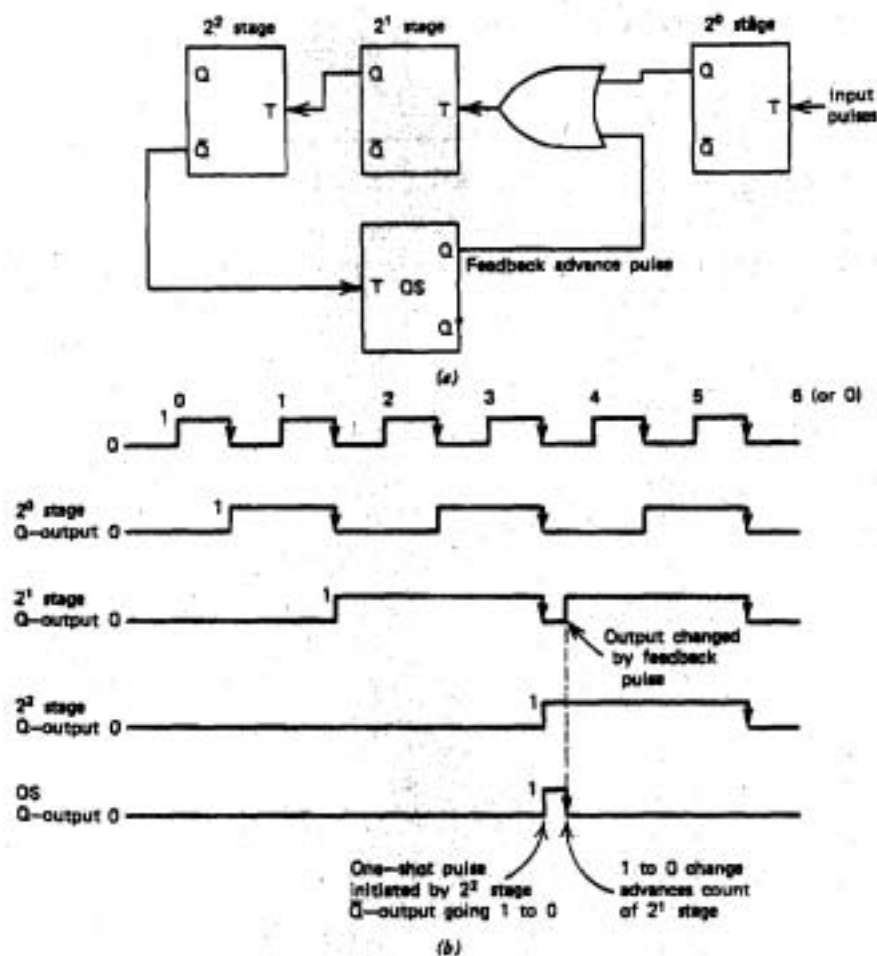
สำหรับค่านับที่ต้องการจะต้องใช้จำนวนฟลิปฟล็อปเพื่อให้มีการนับค่าได้มากกว่าค่านับที่ต้องการ และการป้อนกลับทำให้มีการนับข้ามค่าบางค่าไป ตัวอย่างเช่น การนับ 6 ต้องใช้ฟลิปฟล็อป 3 ตัวในวงจรรนับ (ซึ่งนับได้เต็มที่ 2³ หรือ 8 ค่า) โดยมีการป้อนกลับเพื่อนับข้ามค่าไป 2 ค่า เอา 2 ลบออกจาก 8 ได้ผลเป็นค่านับ 6 ค่า วงจรรนับ 3 ภาควจะรีเซ็ตเป็นค่า 0 หลังจาก 8 พัลส์ และเริ่มรอบการนับใหม่ วงจรรนับแบ่งด้วย 6 (divide by 6 counter) จะกลับสู่ค่า 0 หลังจาก 6 พัลส์ และซ้ำรอบการนับใหม่

โดยทั่วไปจำนวนฟลิปฟล็อปที่ใช้มีค่า 2ⁿ ค่าซึ่งมากกว่าจำนวนนับที่ต้องการ (N) และจำนวนค่าที่ข้ามไปด้วยการป้อนกลับ คำนวณจากการเอา N ไปลบ :

$$\text{จำนวนพัลส์ที่ป้อนกลับเพื่อนับข้ามค่าไป} = 2^n - N$$

เช่น วงจรรนับหารด้วย 24 (N = 24) เราต้องใช้วงจรรนับ 5 ภาคว (n = 5) และมีการนับข้ามค่าไป :

$$\text{จำนวนพัลส์ที่ป้อนกลับเพื่อนับข้ามค่าไป} = 2^5 - 24 = 32 - 24 = 8$$



รูป 8.6 วงจรนับ Mod-6 ใช้พัลส์ป้อนกลับเพื่อให้นับข้ามค่า

วงจรนับโมดูลัส บางครั้งใช้โมดูลัส (modulo) ในรูป 8.6 คือวงจรนับโมดูลัส - 6 บางวงจรนับแบ่งด้วย 6 วิธีการป้อนกลับเพื่อข้ามค่านับเนื่องจากแต่ละพัลส์ที่เข้าสู่อินพุตของภาคที่ 2^1 จะนับค่าสูงขึ้น 2 ค่า การป้อนกลับไปยังอินพุตของฟลิปฟล็อปภาคที่ 2^1 ทำให้นับค่าข้ามไป 2 ค่าที่ต้องการ คำนับจะเดินหน้าไป 4 เมื่อวงจรซิงเกิลช็อตหรือวันช็อต (one-shot) ถูกทริกเกอร์ด้วยเอาต์พุต $\bar{Q}$ ของฟลิปฟล็อปภาคที่ 2^2 ซึ่งเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 รูปคลื่นดังรูป 8.6 (b) แสดงพัลส์ป้อนกลับซึ่งไปทริกเกอร์ภาคที่ 2^1 ทำให้นับขึ้นหน้าไป 2 ตาราง 8.4 แสดงลำดับการนับโดยมีการซ้ำรอบใหม่หลังจากที่อินพุตพัลส์เข้าไป 6 ตัว

ตาราง 8.4 ตารางการนับสำหรับวงจรมอดุส 6

อินพุตพัลส์	เอาต์พุต Q ของภาคที่ 2 ²	เอาต์พุต Q ของภาคที่ 2 ¹	เอาต์พุต Q ของภาคที่ 2 ⁰	
0	0	0	0	} 1 รอบการนับ
1	0	0	1	
2	0	1	0	
3	0	1	1	
4	1	0	0	
เนื่องจากพัลส์ป้อนกลับ	1	1	0	
5	1	1	1	
6 (หรือ 0)	0	0	0	

วงจรมอดุสไม่ดูลัสใช้การป้อนกลับที่กล่าวมาแล้ว มีข้อเสียบางประการได้แก่

1. วงจรมอดุสต้องใช้วันช็อต (one-shot) เพื่อจัดพัลส์ซึ่งมีความกว้างน้อยกว่าช่วงความกว้างของคล็อกที่อัตราคล็อกสูงสุด พัลส์จากวันช็อตนี้อาจจะทำให้มีช่วงสั้นเกินไปเพราะต้องให้วงจรมอดุสมีเวลาพอเพียงหลังจากการนับเพิ่มขึ้นไปยังค่านับซึ่งเป็นผลจากพัลส์ป้อนกลับ เช่น พัลส์ป้อนกลับนั้นไปทริกเกอร์วงจร 1 μsec หลังจากพัลส์เริ่มต้น ดังนั้นวงจรมอดุสสามารถทำงานด้วยความถี่ 1 MHz ($1/1 \mu\text{sec} = 1 \text{ MHz}$) จังหวะเวลาเช่นนี้และการที่จะต้องหาวงจรมอดุสเป็นปัญหาที่ต้องคำนึง

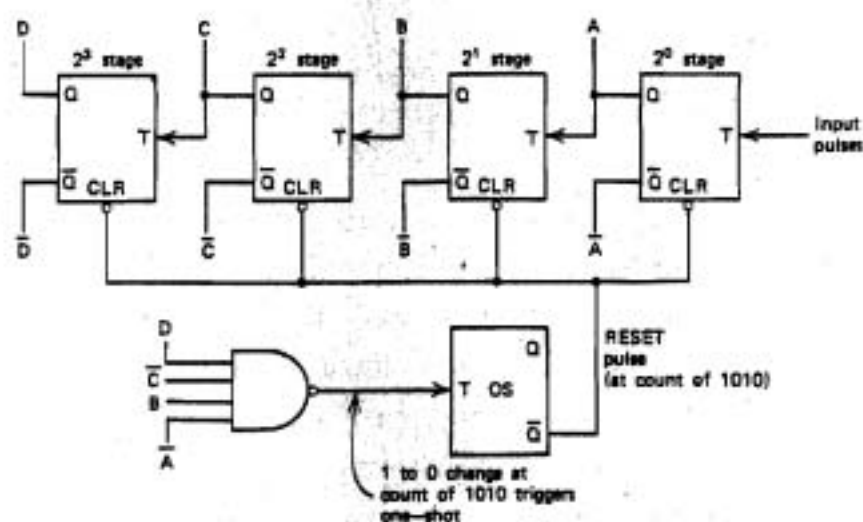
2. ลำดับการนับเลขฐานสองอาจไม่สอดคล้องเสมอไปกับค่านับเลขฐานสิบของอินพุตพัลส์ ในระหว่างรอบ เมื่อพัลส์ป้อนกลับซึ่งจะไปทำให้การนับข้ามค่าที่สอดคล้องกันเกิดหายไป

8.3.2 วงจรมอดุสซึ่งรีเซ็ตสำหรับค่านับที่เทียบเท่าในเลขฐานสอง (Counter Reset For Binary Equivalent Count)

วิธีการอันหนึ่งในการแก้ไขข้อบกพร่องข้อที่สองของวงจรมอดุสชนิดป้อนกลับก็คือการใช้การถอดรหัสตรรกและการรีเซ็ต แบบนี้ค่านับจะเพิ่มขึ้นตามลำดับเลขฐานสอง และจะรีเซ็ตหลังจากที่ถึงค่านับที่ต้องการแล้ว โดยการถอดรหัสด้วยเกท

วงจรรีเซ็ต Mod-10 ในรูป 8.7 มีค่านับในเลขฐานสองเทียบเท่ากับจำนวนนับในอินพุตพัลส์เสมอ วงจรนี้ใช้วงจรรีเซ็ตแบบระลอกคลื่นซึ่งนับค่าได้ถึง 16 ค่า แล้วนำมาดัดแปลงให้การนับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 9 แล้วจึงรีเซ็ตให้เริ่มนับค่า 0 ในรอบใหม่ วิธีการมีดังนี้

1. ด้วยการรีเซ็ตวงจรรีเซ็ต (ค่านับ = 0000) วงจรรีเซ็ตพร้อมที่จะเริ่มรอบการนับใหม่
2. อินพุตพัลส์ทำให้วงจรรีเซ็ตนับค่าสูงขึ้นตามลำดับเลขฐานสองจนถึงนับที่ 9 (ค่านับ = 1001)
3. พัลส์นับต่อไปจะเพิ่มค่านับเป็น 10 (ค่านับ = 1010) แทนที่จะถอยหลังค่านับ = 0 เพื่อให้เปลี่ยนแปลงระดับที่เวลานั้น เพื่อเป็นทริกเกอร์แก่วัฏจักรรีเซ็ต ซึ่งมีผลต่อทุกๆ ฟลิปฟล็อป ดังนั้นพัลส์หลังจากนับที่ 9 แล้วจึงมีผลทำให้วงจรรีเซ็ตกลับไปเริ่มนับค่า 0 ใหม่ (รีเซ็ต) เริ่มรอบการนับใหม่



รูป 8.7 วงจรรีเซ็ตใช้การรีเซ็ต

ตาราง 8.5 ตารางการนับสำหรับวงจรมีสิบในรูป 8.7

อินพุตพัลส์	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	0	0	0	0

จะเห็นจากตาราง 8.5 ว่า คำนับจาก 9 (1001) ไปยัง 10 (1010) จะเกิดขึ้นชั่วขณะก่อนที่จะรีเซ็ตไปเป็น 0 (0000) แนนเกทจะให้เอาต์พุตเป็น 1 จนกระทั่งคำนับถึงค่า 10 คำนับ 10 จะถูกถอดรหัสโดยใช้อินพุตตรรกะซึ่งเป็น 1 หมดที่คำนับ 10 เมื่อคำนับเป็น 10 แนนเกทจะมีเอาต์พุตเป็นตรรกะ 0 คือตรรกะเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 จึงเป็นทริกเกอร์ให้กับวันช็อต ซึ่งก็จะผลิตพัลส์แคบๆ ไปรีเซ็ตฟลิปฟลอปทุกตัว เราใช้สัญญาณจาก $\bar{Q}$ เพราะค่าตรรกะปกติของมันเป็นค่าสูง แล้วลงสู่ตรรกะค่าต่ำในระหว่างคาบเวลาของวันช็อต กรณีนี้ฟลิปฟลอปถูกรีเซ็ตด้วยระดับสัญญาณค่าต่ำ (active-low clearing) พัลส์ของวันช็อตต้องยาวพอเพียงที่จะรีเซ็ตฟลิปฟลอปตัวที่ช้าที่สุด ซึ่งที่เวลาเช่นนี้ ฟลิปฟลอปภาคที่ 2^1 และ 2^3 เท่านั้นที่ถูกรีเซ็ต แต่ทุกฟลิปฟลอปถูกรีเซ็ตเพื่อเป็นหลักประกันว่ารอบการนับใหม่เริ่มต้น และด้วยคำนับ 0000

วงจรมีสิบชนิดรีเซ็ตการนับมีข้อเสีย 2 ประการ คือ

1. คำนับที่มากขึ้นจะเกิดชั่วขณะก่อนที่จะไปสู่สถานะรีเซ็ต
2. วงจรต้องใช้วันช็อต และต้องจัดจังหวะเวลาของช่วงกว้างของพัลส์ให้เหมาะสม

เป็นไปได้ที่จะสร้างวงจรมีสิบซึ่งไม่ต้องใช้วันช็อต และจากคำนับสุดท้ายสามารถไปรีเซ็ตฟลิปฟลอปได้โดยตรง

8.3.3 วงจรมับชนิดรีเซ็ตโดยตรง (Direct Reset Counter)

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างสำหรับวงจรมับชนิดรีเซ็ตโดยตรง

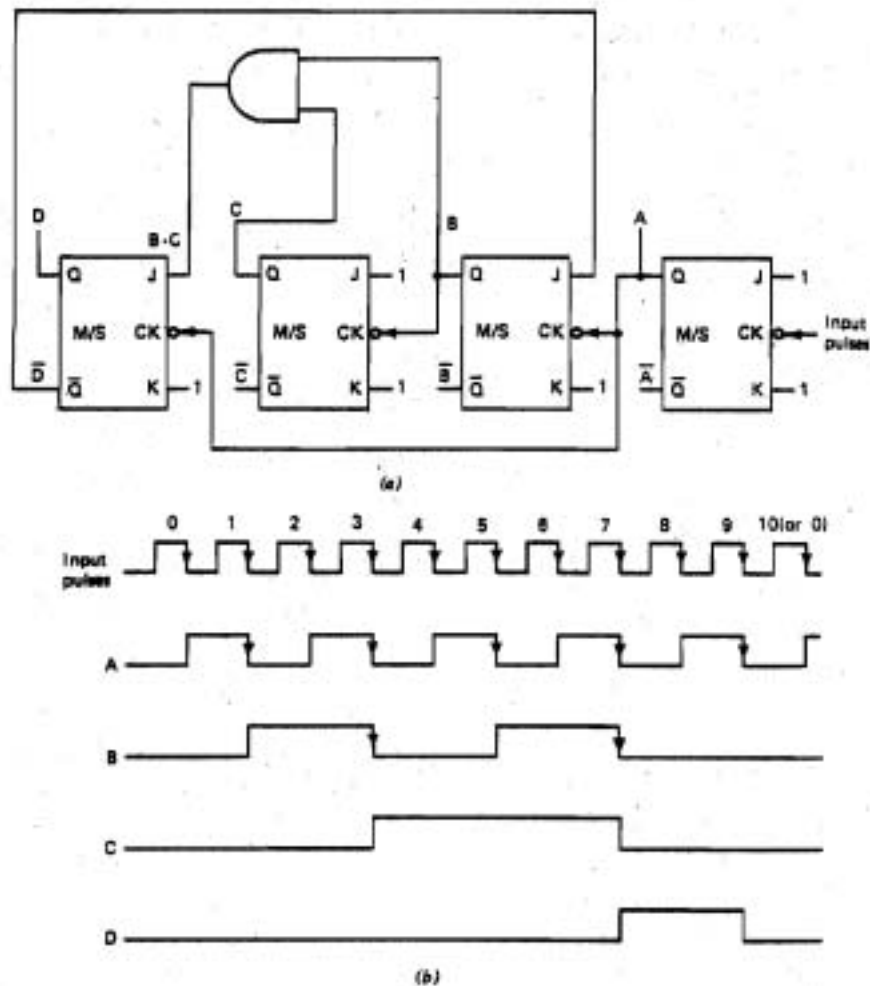
วงจรมับสิบ (Mod-10 or Decade Counter) มีตารางการนับค่าดังข้างล่างนี้

ตาราง 8.6 ตารางการนับของวงจรมับสิบ

ค่านับ	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10 (หรือ 0)	0	0	0	0

จากตาราง 8.6 จะเห็นว่าทริกเกอร์ที่ต้องการไปสู่อินพุตของฟลิปฟล็อปแต่ละตัวมีรายละเอียดดังนี้

1. ฟลิปฟล็อป A ถูกทริกเกอร์ทุกอินพุตพัลส์
2. ฟลิปฟล็อป B ถูกทริกเกอร์เมื่อ A เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ยกเว้นเมื่อ D เป็นตรรก 1, เมื่อ B ยังคงอยู่ที่รีเซ็ต
3. ฟลิปฟล็อป C ถูกทริกเกอร์ทุกครั้งที่ B เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0
4. ฟลิปฟล็อป D รีเซ็ตทุกครั้งที่ A เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ยกเว้นเมื่อ B และ C เป็นตรรก 1 ทั้งคู่



รูป 8.8 วงจรรนับสิบใช้ M/S JK ฟลิปฟลอป

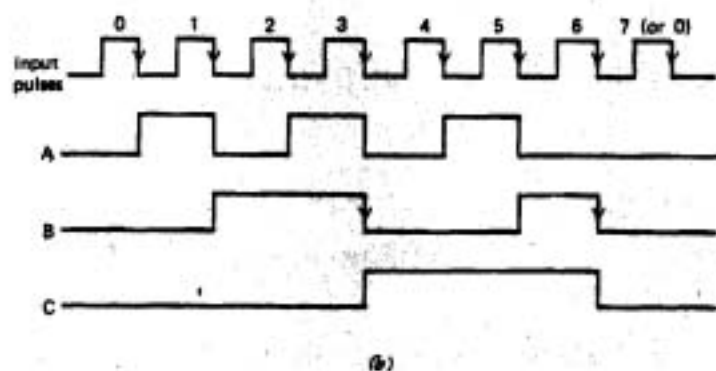
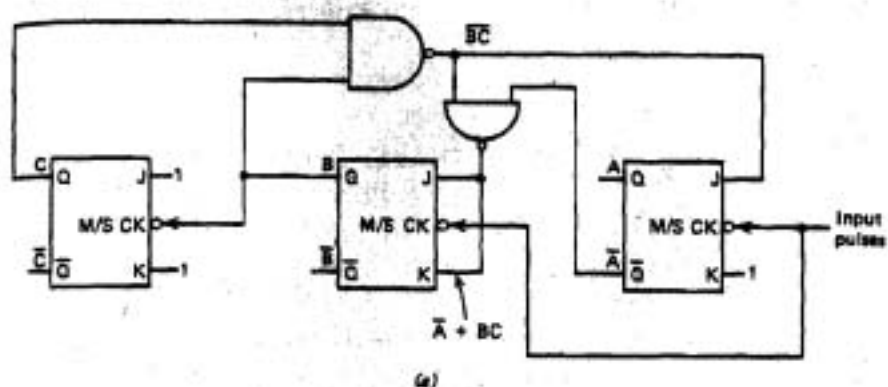
การออกแบบวงจรรนับสิบซึ่งนับค่าดังตาราง 8.6 ต้องใช้สัญญาณของฟลิปฟลอป A ไปทริกเกอร์ฟลิปฟลอป D นำสังเกตว่า จากนับที่ 9 ไปนับที่ 10 (หรือ 0) มีเพียงฟลิปฟลอป A เปลี่ยนสถานะ (ฟลิปฟลอป D เปลี่ยนสถานะด้วยสัญญาณทริกเกอร์จาก A) ดังนั้นจึงไม่มีทางเลือกสัญญาณทริกเกอร์สำหรับฟลิปฟลอป D ที่นอกเหนือไปจากนี้ จึงมีวงจรดังรูป 8.8

ตาราง 8.8 ตารางการนับของวงจรรนับ Mod-7

ค่านับ	C	B	A
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7 (หรือ 0)	0	0	0

จากตาราง 8.8 จะได้ความจริงดังนี้

1. ฟลิปฟลอป A ทริกเกอร์ด้วยแต่ละอินพุตพัลส์ ยกเว้นเมื่อ C และ B เป็น 1 ทั้งคู่
 2. ฟลิปฟลอป B ทริกเกอร์เมื่อ A เป็นตรรก 1 หรือเมื่อ BC เป็นตรรก 1 นั่นคือ $A + BC$ เป็นตรรก 1
 3. ฟลิปฟลอป C ทริกเกอร์ทุกครั้งที่ B เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0
- วงจรรนับ Mod-7 และรูปคลื่นแสดงอยู่ในรูป 8.10



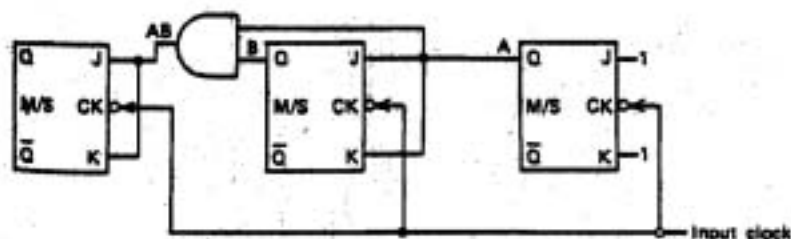
รูป 8.10 วงจรนับ Mod-7

8.4 วงจรนับแบบซิงโครนัส หรือแบบขนาน หรือแบบคล็อก Synchronous or Parallel or Clocked Counter

วงจรนับแบบขนานเป็นวงจรนับที่ทุก ๆ ฟลิปฟลอปถูกทริกเกอร์พร้อมกัน อากำรผลลัพธ์ของแต่ละฟลิปฟลอปขึ้นอยู่กับเกตต์ซิงโครนัส (gating input or synchronous input) ของแต่ละฟลิปฟลอปตามลำดับ วงจรนับแบบนี้เป็นที่นิยมกันมาก เพราะเกตต์มีขนาดเล็ก อยู่ในรูปของไอซี มีราคาถูกและวงจรนับแบบนี้ทำงานเร็วกว่าแบบระลอกคลื่น เนื่องจากฟลิปฟลอปในอันดับภาคที่สูงขึ้นไม่ต้องรอให้ฟลิปฟลอปในอันดับภาคที่ต่ำกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะก่อนอย่างไรในแบบระลอกคลื่น

วงจรนับแบบขนาน Mod 8 ดังรูป 8.11 ฟลิปฟลอป A ทริกเกอร์ทุก ๆ คล็อกพัลส์ ฟลิปฟลอป B ทริกเกอร์ด้วยคล็อกพัลส์เมื่อ A สูง และฟลิปฟลอป C ทริกเกอร์เมื่อทั้ง A

และ B สูงทั้งคู่ ที่ค่านับ 111 นั้น การปรากฏของคัลล์พัลส์จะทำให้ฟลิปฟล็อปทุกตัวทริกเกอร์พร้อมกัน



รูป 8.11 วงจรนับ 8 แบบขนาน

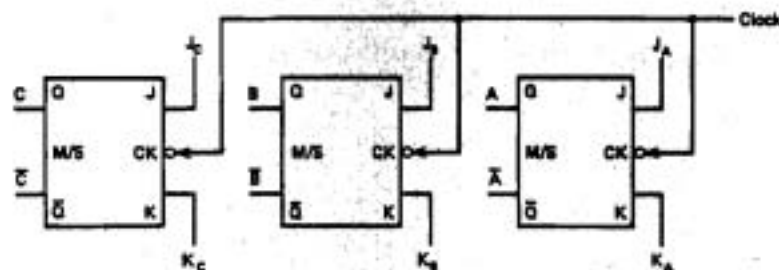
8.4.1 การออกแบบวงจรนับ 6 แบบขนาน

วิธีการออกแบบวงจรนับ กระทำดังนี้

1. เขียนตารางการนับ
 2. เขียนวงจรนับคร่าว ๆ เพื่อแสดงอินพุตและการจัดรูปวงจรให้สามารถนับค่าตามที่ต้องการได้
 3. เขียนตารางซึ่งประกอบด้วยสถานะปัจจุบัน สถานะอนาคต และอินพุตของฟลิปฟล็อปที่เลือกใช้
 4. เขียนสมการบูลีนโดยใช้คาร์นอร์จแม็พช่วยในการลดรูป
 5. เขียนวงจรจากสมการบูลีน
- สมมติว่าค่านับทั้ง 6 ของวงจรนับแบบขนานที่ต้องการออกแบบเป็นดังนี้

C	B	A	คัลล์ค
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
0	0	0	0

ขั้นที่ 1 ตารางการนับดังข้างบนนี้ต้องใช้ฟลิปฟล็อป 3 ตัว ในวงจรนับที่ออกแบบนี้



รูป 8.12 รูปเบื้องต้นของวงจรนับ 6 แบบขนานที่จะออกแบบ

ขั้นที่ 2 เขียนวงจรเบื้องต้นที่สามารถนับค่าทั้ง 6 ที่ต้องการได้ดังรูป 8.12

ขั้นที่ 3 เขียนตารางซึ่งประกอบด้วยสถานะปัจจุบัน สถานะอนาคตและอินพุตของฟลิปฟล็อป สมมติวงจรนับนี้เราเลือก JK ฟลิปฟล็อป จากบทที่ 7 เรามีตารางเอ็กซีไซเตชันของ JK ฟลิปฟล็อปดังนี้

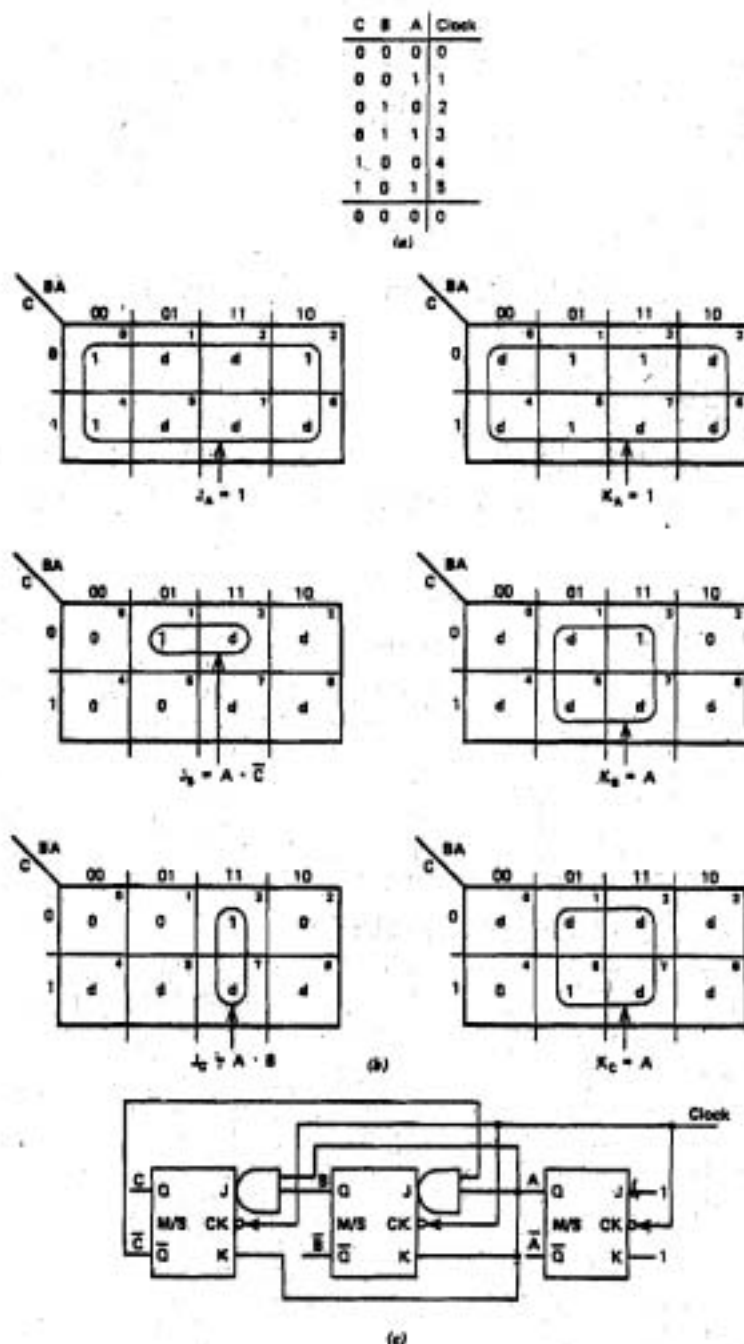
สถานะปัจจุบัน $Q(t)$	สถานะอนาคต $Q(t + 1)$	อินพุต	
		$J(t)$	$K(t)$
0	0	0	d
0	1	1	d
1	0	d	1
1	1	d	0

จึงเขียนตารางในขั้นที่ 3 ของการออกแบบได้ดังนี้

สถานะปัจจุบัน $C(t) \quad B(t) \quad A(t)$			สถานะอนาคต $C(t+1) \quad B(t+1) \quad A(t+1)$			อินพุตของฟลิปฟล็อป					
						FF _C		FF _B		FF _A	
						$J_C(t)$	$K_C(t)$	$J_B(t)$	$K_B(t)$	$J_A(t)$	$K_A(t)$
0	0	0	0	0	1	0	d	0	d	1	d
0	0	1	0	1	0	0	d	1	d	d	1
0	1	0	0	1	1	0	d	d	0	1	d
0	1	1	1	0	0	1	d	d	1	d	1
1	0	0	1	0	1	d	0	0	d	1	d
1	0	1	0	0	0	d	1	0	d	d	1
1	1	0	d	d	d	d	d	d	d	d	d
1	1	1	d	d	d	d	d	d	d	d	d

ขั้นที่ 4 ใช้คาร์นอร์จแม็พเพื่อลดรูป แล้วเขียนสมการบูลีนของอินพุตของฟลิปฟล็อปได้
ดังรูป 8.13 (b)

ขั้นที่ 5 เขียนวงจรนับแบบขนาน ซึ่งนับ 6 ค่าตามที่ต้องการได้ดังรูป 8.13 (c)



รูป 8.13 วงจรรนับ 6 แบบขนาน (a) ตารางการนับ (b) คาร์นอร์จแม็พ (c) แผนภาพวงจรตรรก

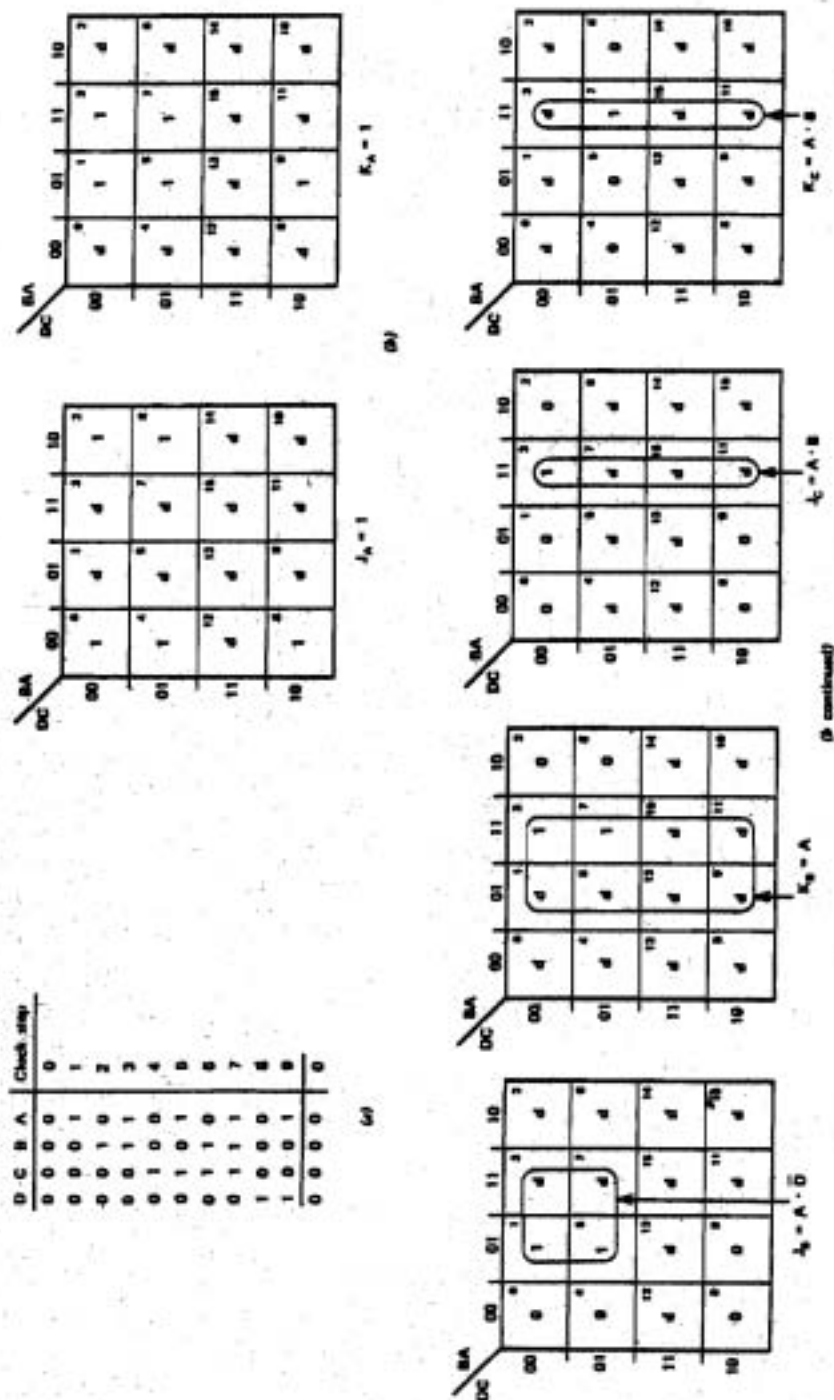
8.4.2 การออกแบบวงจรนับ 10 แบบขนาน

วงจรนับ 10 แบบขนาน (parallel mod-10 (decade) counter) ซึ่งเป็นที่นิยมอาจสร้างโดยใช้ฟลิปฟล็อป 4 ตัว จัดให้ได้จำนวน 10 ค่าที่ต้องการดังนี้ คือ

D	C	B	A	คล็อก
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
0	0	0	0	0

ขั้นตอนการออกแบบกระทำได้ดังที่กล่าวไว้แล้ว ในที่สุดจะได้ตารางซึ่งประกอบด้วยสถานะปัจจุบัน สถานะอนาคต และอินพุตของฟลิปฟล็อปที่เลือกใช้ ซึ่งในที่นี้ใช้ JK ฟลิปฟล็อป จากนั้นลดรูปฟังก์ชันอินพุตของ JK ฟลิปฟล็อปโดยวิธีคาร์นอร์จแม็พได้ดังรูป 8.14 (b) แล้วเขียนวงจรดังรูป 8.14 (c)

สถานะปัจจุบัน D(t) C(t) B(t) A(t)	สถานะอนาคต D(t+1) C(t+1) B(t+1) A(t+1)	อินพุตของฟลิปฟล็อป							
		$J_D(t) K_D(t)$		$J_C(t) K_C(t)$		$J_B(t) K_B(t)$		$J_A(t) K_A(t)$	
0 0 0 0	0 0 0 1	0 d	0 d	0 d	0 d	1 d	1 d	1 d	1 d
0 0 0 1	0 0 1 0	0 d	0 d	1 d	1 d	d 0	d 0	d 1	d 1
0 0 1 0	0 0 1 1	0 d	0 d	d 0	d 0	1 d	1 d	1 d	1 d
0 0 1 1	0 1 0 0	0 d	1 d	d 1	d 1	d 0	d 0	d 1	d 1
0 1 0 0	0 1 0 1	0 d	d 0	0 d	0 d	1 d	1 d	1 d	1 d
0 1 0 1	0 1 1 0	0 d	d 0	1 d	1 d	d 0	d 0	d 1	d 1
0 1 1 0	0 1 1 1	0 d	d 0	d 0	d 0	d 0	d 0	d 1	d 1
0 1 1 1	1 0 0 0	1 d	d 1	d 1	d 1	d 1	d 1	d 1	d 1
1 0 0 0	1 0 0 1	d 0	0 d	0 d	0 d	1 d	1 d	1 d	1 d
1 0 0 1	0 0 0 0	d 1	0 d	0 d	0 d	d 0	d 0	d 1	d 1



รูป 8.14 วงจรมัลติเพลกซ์ (a) ตารางความจริง (b) การ์ดแผนที่ (c) แผนภาพวงจรมัลติเพลกซ์

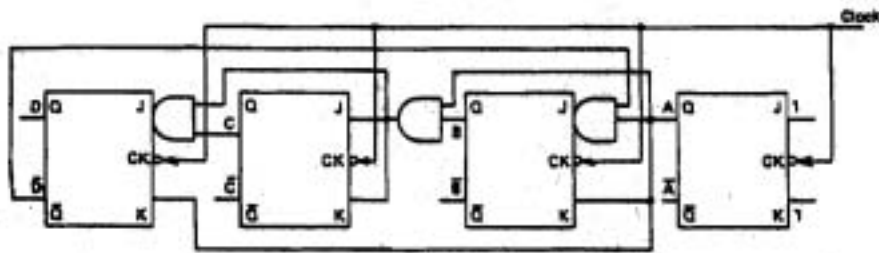
DC \ BA	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	0
11	d	d	d	d
10	d	d	d	d

$$J_3 = A \cdot B \cdot C$$

(continued)

DC \ BA	00	01	11	10
00	d	d	d	d
01	d	d	d	d
11	d	d	d	d
10	0	1	d	d

$$K_3 = A$$



(e)

Fig. 8.14 (f)

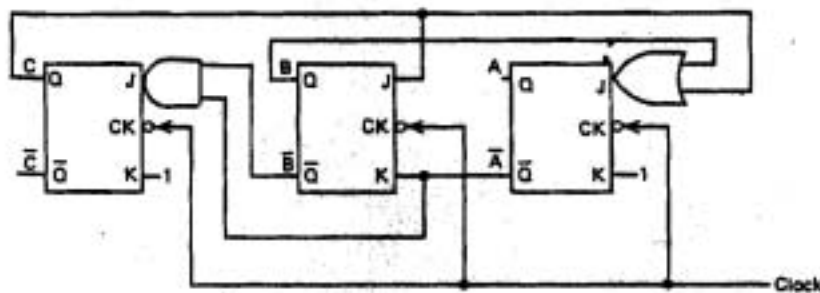
สรุป

วงจรมีเป็นวงจรมีเคาน์เตอร์ชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปสามารถนับค่าได้ 2^n ค่า เมื่อใช้ฟลิปฟล็อป n ตัว จัดวงจรมีนั้น วงจรมีโมดูลัสนับค่าตามที่เรต้องการ โดยข้ามบางค่าไป วงจรมีแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ วงจรมีแบบระลอกคลื่น และแบบขนาน

วงจรมีแบบระลอกคลื่น อินพุตพัลส์เข้าไปที่ลatches วงจรมีแบบขนาน อินพุตพัลส์เข้าไปที่ทริกเกอร์ฟลิปฟล็อปพร้อม ๆ กัน

แบบฝึกหัด

- 8.1 จงเขียนรูปคลื่นของวงจรนับ 4 ภาคแบบนับลง
- 8.2 จงออกแบบวงจรนับ 8 โดยใช้ D ฟลิปฟลอป
- 8.3 จงออกแบบวงจรนับซึ่งนับค่าตามลำดับข้างล่างนี้ โดยใช้ SR ฟลิปฟลอป
 $000 \rightarrow 100 \rightarrow 110 \rightarrow 001 \rightarrow 101$
- 8.4 จงออกแบบวงจรนับ 5 แบบขนาน ซึ่งนับค่าในเลขฐานสองที่เทียบเท่ากับเลขฐานสิบ คือ 0, 1, 2, 3, 4 โดยใช้ JK ฟลิปฟลอป
- 8.5 จงเขียนตารางการนับของวงจรนับในรูป 8.15



รูป 8.15 โจทย์แบบฝึกหัดข้อ 8.5

- 8.6 สามารถสร้างวงจรนับ 7 ได้กี่แบบ อะไรบ้าง
- 8.7 ข้อความที่ว่า "วงจรนับสามารถใช้เป็นตัวดำเนินการลบได้" หมายความว่าอย่างไร จงอธิบายและยกตัวอย่างประกอบ
- 8.8 จงออกแบบวงจรนับเลขฐานสองขนาด 3 บิต ที่นับข้ามค่า 5 และ 7
- 8.9 จงเขียนรูปคลื่นของวงจรนับ 12 ชนิดรีเซ็ตโดยตรง