

## บทที่ 8 วงจรมับ COUNTER

### วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาจบบทนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายวงจรมับแบบต่างๆ ได้แก่ วงจรมับแบบระลอกคลื่น แบบขนาน แบบนับขึ้น แบบนับลง วงจรมับโมดูลัส เป็นต้น
2. ออกแบบวงจรมับ
3. เขียนรูปคลื่นสำหรับวงจรมับ

## 8.1 ความนำ

วงจรมัลติไวยเบรเตอร์มีประโยชน์มากมายในคอมพิวเตอร์ ไบสเตเบิลมัลติไวยเบรเตอร์เป็นวงจรที่มีประโยชน์ที่สุด ใช้ในวงจรรนับ (counter) รีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล (shift register) อะสเตเบิลมัลติไวยเบรเตอร์ จัดหาสัญญาณคล็อกเพื่อทำให้วงจรรนับ รีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล และส่วนอื่น ๆ ของคอมพิวเตอร์ทำงาน โมโนสเตเบิลมัลติไวยเบรเตอร์ใช้ในการสร้างรูปสัญญาณเพื่อให้มีช่วงเวลาหน่วงตามที่ต้องการ หรือขยายความกว้างของพัลส์ที่แคบเกินไป หรือหดพัลส์ที่กว้างเกินไป

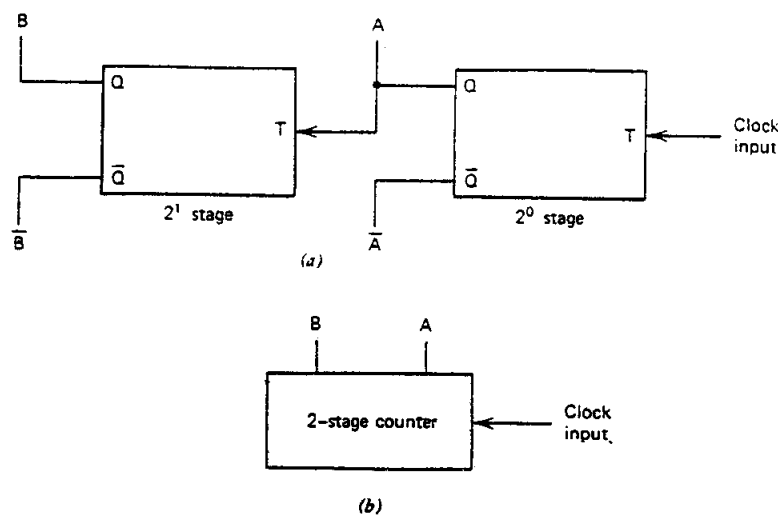
ในบทนี้จะกล่าวถึงวงจรรนับชนิดต่าง ๆ

## 8.2 วงจรรนับเลขฐานสองแบบระลอกคลื่น Binary Ripple Counters

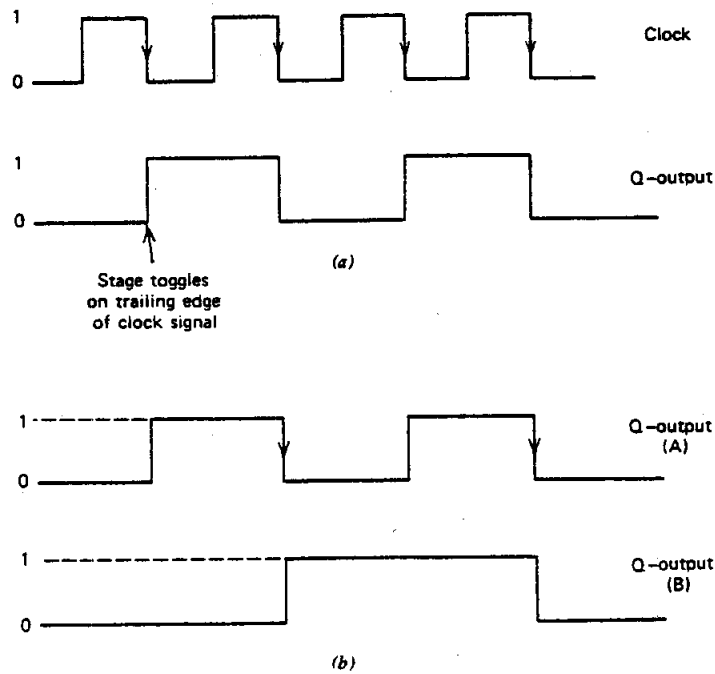
วงจรรนับเลขฐานสองสร้างขึ้นโดยใช้ไบสเตเบิลมัลติไวยเบรเตอร์ แต่ละอินพุตที่เข้าสู่วงจรรนับ ทำให้มีการนับขึ้นหรือนับลง วงจรรนับแบบนี้อินพุตเข้าไปที่ละอัน เรียกว่าวงจรรนับแบบระลอกคลื่น

### 8.2.1 วงจรรนับแบบนับขึ้น (Count-Up Counter)

วงจรรนับพื้นฐานในรูป 8.1 ใช้ T ฟลิปฟลอป 2 ตัว แต่ละคล็อกพัลส์ที่เข้าสู่อินพุต T จะไปทริกเกอร์ฟลิปฟลอป เอ้าท์พุท Q และ  $\bar{Q}$  มีตรรกตรงข้ามกันเสมอ ถ้า Q เป็นตรรก 1 (เซ็ท),  $\bar{Q}$  จะเป็นตรรก 0 ถ้า Q เป็นตรรก 0,  $\bar{Q}$  จะเป็นตรรก 1 (รีเซ็ท)



รูป 8.1 วงจรรนับเลขฐานสองแบบ 2 ภาค (two-stage)



รูป 8.2 อาการทริกเกอร์ของวงจรรนับ

คล็อกอินพุตทำให้ฟลิปฟลอปทริกเกอร์หรือเปลี่ยนสถานะหนึ่งครั้งต่อหนึ่งคล็อกพัลส์ รูป 8.2 (a) แสดงสัญญาณคล็อกอินพุต และเอาต์พุต Q ให้สังเกตว่าฟลิปฟลอปจะทริกเกอร์ที่ขอบลบ หรือเรียกว่าขอบตาม (trailing) ของสัญญาณคล็อก คือเมื่อสัญญาณมีตรรกเปลี่ยนจาก 1 ไป 0 จากรูป 8.1 จะเห็นว่าเอาต์พุต Q ของฟลิปฟลอปตัวที่ 1 (A; เรียกว่าฟลิปฟลอปตัวที่  $2^0$ ) เป็นอินพุตเพื่อไปทริกเกอร์ฟลิปฟลอปตัวที่ 2 (B; เรียกว่าฟลิปฟลอปตัวที่  $2^1$ ) ฟลิปฟลอปตัวที่ 2 จะเปลี่ยนสถานะเมื่อเอาต์พุต Q ของฟลิปฟลอปตัวที่ 1 เปลี่ยนจากตรรก 1 ไปสู่ตรรก 0 ดังเห็นได้จากรูป 8.2 (b) เครื่องหมายลูกศรที่ปรากฏอยู่ที่รูปคลื่นของฟลิปฟลอป A เพื่อแสดงว่าฟลิปฟลอป B จะทริกเกอร์ที่ขอบตามของคล็อกพัลส์ วงจรรนับฟลิปฟลอป A จะนับเลขฐานสองที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด และฟลิปฟลอป B นับเลขฐานสองนัยสำคัญมากที่สุด ตารางแสดงการนับคล็อกพัลส์ที่เป็นอินพุต คือตาราง 8.1

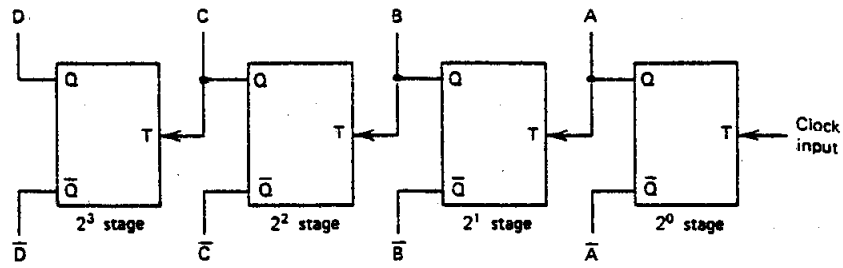
ตาราง 8.1 ตารางการนับสำหรับวงจรมับเลขฐานสองแบบ 2 ภาค

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

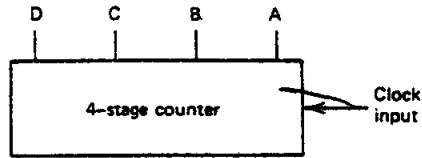
วงจรมับในรูป 8.1 นั้น ใช้ฟลิปฟลอป 2 ตัว (วงจรมับ 2 ภาค) สามารถนับเลขฐานสองได้ 4 ค่า เราอาจขยายจำนวนนับจากหลักการนี้ไปสู่จำนวนนับอื่น ๆ เช่น วงจรมับ 4 ภาคในรูป 8.3 โดยการต่อเอาต์พุต Q ของฟลิปฟลอปแต่ละภาคให้เป็นทริกเกอร์อินพุตแก่ฟลิปฟลอปในภาคถัดไป สำหรับวงจรมับ 4 ภาคนั้น รอบการนับจะซ้ำเต็มทุก ๆ 16 คล็อกพัลส์ โดยทั่วไปจะมีจำนวนนับ  $2^n$  ค่า เมื่อใช้ฟลิปฟลอป n ตัว (หรือจัดเป็นวงจรมับ n ภาค)

วงจรมับ 4 ภาคในรูป 8.3 มีตารางการนับดังตาราง 8.2 ลูกศรที่ปรากฏในตารางเพื่อแสดงว่าการเปลี่ยนจากตรรกะ 1 สู่ 0 มีผลเป็นทริกเกอร์ไปยังฟลิปฟลอปถัดไป 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 สถานะฐานสองของวงจรมับสามารถอ่านได้เท่ากับจำนวนพัลส์อินพุต หลังจากที่วงจรมับไปถึงค่า 1111 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของการนับโดยใช้ 4 ภาค อินพุตพัลส์ตัวต่อไปจะทำให้วงจรมับกลับไปนับค่าเริ่มต้น คือ 0000 ของรอบการนับใหม่

ลำดับของการนับดังกล่าวเป็นการนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงเรียกว่า “วงจรมับแบบนับขึ้น” รูปคลื่นเอาต์พุตสำหรับแต่ละภาคแสดงดังรูป 8.4 วงจรมับแบบนี้เรียกว่า “วงจรมับแบบระลอกคลื่น” ด้วยเหตุผลที่การเปลี่ยนแปลงสถานะของฟลิปฟลอปแต่ละภาคจากลำดับต่ำกว่าไปสู่ลำดับสูงกว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการนับ นั่นคือฟลิปฟลอปในภาคที่  $2^0$  จะทริกเกอร์ฟลิปฟลอปในภาคที่  $2^1$ , ซึ่งไปทริกเกอร์ภาคที่  $2^2$ , ฯลฯ



(a)

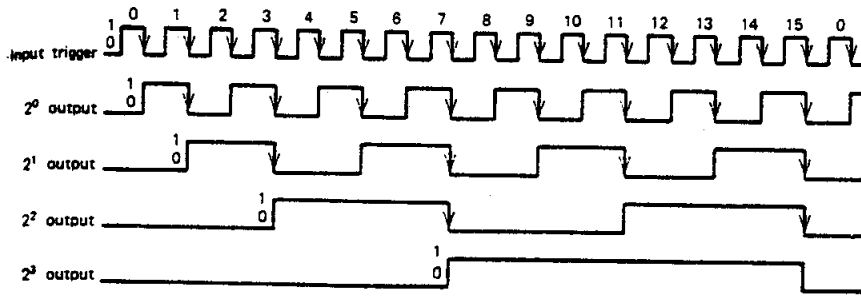


(b)

รูป 8.3 วงจรนับ 4 ภาด

ตาราง 8.2 ตารางการนับของวงจรถับ 4 ภาด

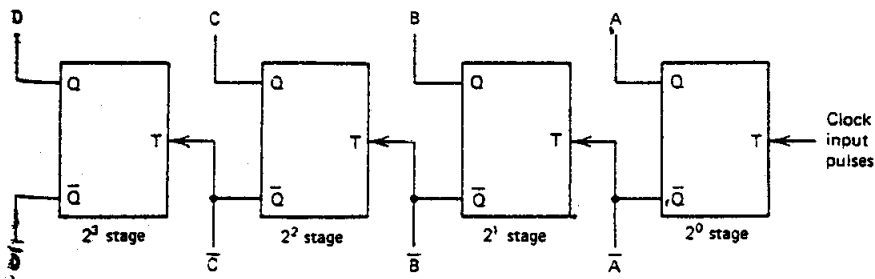
Input Pulses	2 <sup>3</sup> Output (D)	2 <sup>2</sup> Output (C)	2 <sup>1</sup> Output (B)	2 <sup>0</sup> Output (A)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
16 (or 0)	0	0	0	0



รูป 8.4 รูปคลื่นของวงจรรนับ 4 ภาค แบบนับขึ้น

### 8.2.2 วงจรรนับแบบนับลง (Count-Down Counter)

โดยการต่อเอาท์พุท  $\bar{Q}$  ของฟลิปฟลอปแต่ละภาคให้เป็นทริกเกอร์อินพุทแก่ภาคต่อไป ให้ผลเป็นวงจรรนับแบบนับลง (นับถอยหลัง) เอาท์พุทที่ได้ยังคงเอามาจากเอาท์พุท Q ของวงจรรนับแบบนี้ ซึ่งเห็นได้จากรูป 8.5 และตาราง 8.3



รูป 8.5 วงจรรนับ 4 ภาค แบบนับลง

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 Q ของฟลิปฟลอปทุก ๆ ภาค มีตรรก 0) อินพุตพัลส์ตัวที่ 1 ทำให้ฟลิปฟลอป A ทริกเกอร์จาก 0 เป็น 1 ทริกเกอร์พัลส์สู่ฟลิปฟลอป B มาจากเอาต์พุต  $\bar{Q}$  ของฟลิปฟลอป A ซึ่งเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ที่ขณะนี้ จึงทำให้ฟลิปฟลอป B ถูกทริกเกอร์เช่นกัน เอาต์พุต  $\bar{Q}$  ของฟลิปฟลอป B เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 จึงไปทริกเกอร์ฟลิปฟลอป C ซึ่ง  $\bar{Q}$  ของ C ไปทริกเกอร์ฟลิปฟลอป D ในทำนองเดียวกัน ทำให้ได้นับเป็น 1111 ดังตาราง 8.3 อินพุตพัลส์ตัวต่อไปจะทริกเกอร์ฟลิปฟลอป A เนื่องจากสัญญาณ  $\bar{A}$  (ซึ่งใช้ทริกเกอร์ฟลิปฟลอป B) ขณะนี้เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ดังนั้น ฟลิปฟลอป B C และ D จะยังคงเดิมไม่มีการเปลี่ยนสถานะในคล็อกพัลส์ตัวที่ 2 นี้ การนับจึงเป็น 1110 การนับจะนับถอยหลังลงเรื่อย ๆ ทีละ 1 เมื่ออินพุตพัลส์เข้ามาเรื่อย ๆ

จะเห็นว่าโดยการให้เอาต์พุต Q เป็นทริกเกอร์อินพุตแก่ฟลิปฟลอปตัวถัด ๆ ไปในวงจรรนับแบบระลอกคลื่น โดยให้ฟลิปฟลอปถูกทริกเกอร์ที่ขอบตามของพัลส์ จะได้ผลเป็นวงจรรนับแบบนับขึ้น แต่ถ้าให้เอาต์พุต  $\bar{Q}$  เป็นทริกเกอร์แก่ฟลิปฟลอปถัด ๆ ไป จะได้ผลเป็นวงจรรนับแบบนับลง สำหรับฟลิปฟลอปซึ่งทริกเกอร์ที่ขอบบวกหรือขอบนำ (leading edge) จะทำงานตรงข้ามกับแบบนี้

วงจรรนับสามารถใช้เป็นตัวดำเนินการเลขคณิตแบบง่าย คือทำการบวกเมื่อใช้เป็นวงจรรนับแบบนับขึ้น และทำการลบเมื่อเป็นวงจรรนับแบบนับลง เช่น วงจรรนับ 6 ภาค สามารถนับถึง 111111 หรือ 63 ในเลขฐานสิบ ถ้าวงจรรนับถูกรีเซท 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  $2^n$  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) การสร้างวงจรรนับโมดูลัสอาศัยหลักการป้อนกลับพัลส์เพื่อให้วงจรรนับเดินหน้าข้ามค่านับบางค่าไป หรือรีเซ็ตหลังจากที่ได้ค่านับตามที่ต้องการแล้ว และการใช้วงจรรนับเพื่อให้มีการนับตามลำดับที่ต้องการ วิธีการเหล่านี้จะได้กล่าวต่อไป

#### 8.3.1 วงจรรนับชนิดป้อนกลับ (Feedback Counters)

สำหรับค่านับที่ต้องการจะต้องใช้จำนวนฟลิปฟลอปเพื่อทำให้มีการนับค่าได้มากกว่าค่านับที่ต้องการ และการป้อนกลับทำให้มีการนับข้ามค่านับบางค่าไป ตัวอย่างเช่น การนับ 6 ต้องใช้ฟลิปฟลอป 3 ตัวในวงจรรนับ (ซึ่งนับได้เต็มที่  $2^3$  หรือ 8 ค่า) โดยมีการป้อนกลับเพื่อนับข้ามค่าไป 2 ค่า เอา 2 ลบออกจาก 8 ได้ผลเป็นค่านับ 6 ค่า วงจรรนับ 3 ภาคจะรีเซ็ตเป็นค่า 0 หลังจาก 8 พัลส์ และเริ่มรอบการนับใหม่ วงจรรนับแบ่งด้วย 6 (divide by 6 counter) จะกลับสู่ค่า 0 หลังจาก 6 พัลส์ และซ้ำรอบการนับใหม่

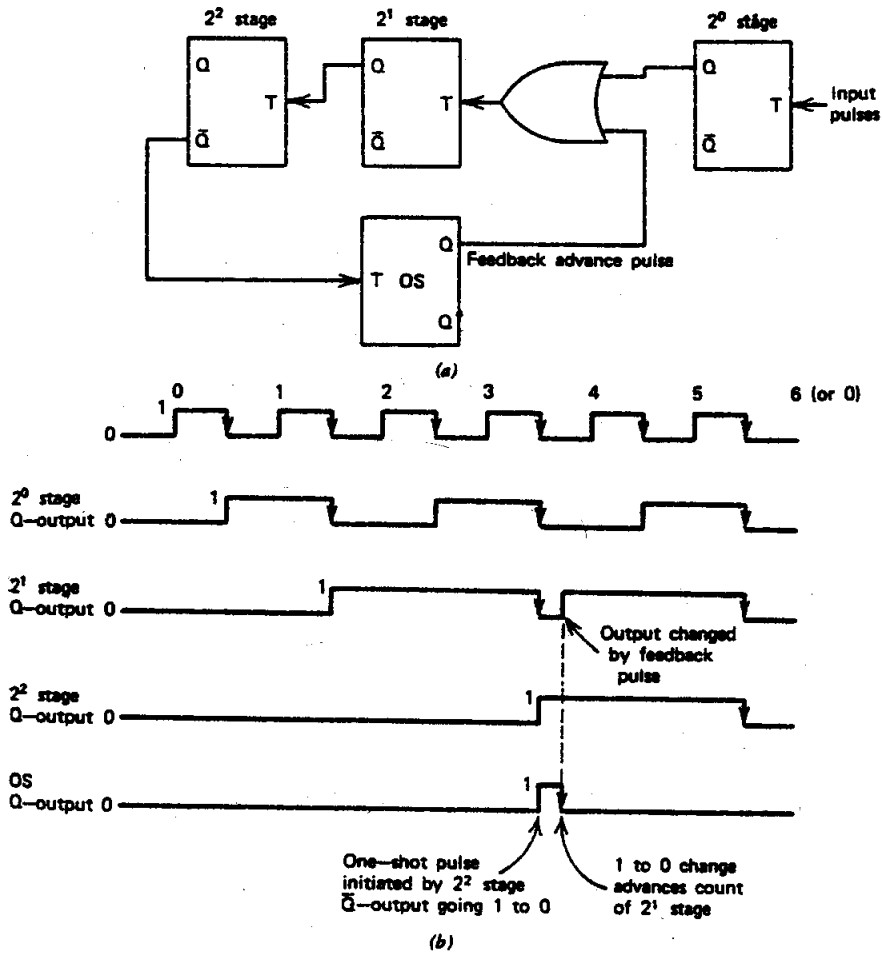
โดยทั่วไปจำนวนฟลิปฟลอปที่ใช้มีค่านับ  $2^n$  ค่าซึ่งมากกว่าจำนวนนับที่ต้องการ (N) และจำนวนค่านับที่ข้ามไปด้วยการป้อนกลับ คำนวณจากการเอา N ไปลบ :

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

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

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





รูป 8.6 วงจรนับ Mod-6 ใช้พัลส์ป้อนกลับเพื่อให้นับข้ามค่า

วงจรรนับโมดูลัส บางตำราใช้โมดูลอ (modulo) ในรูป 8.6 คือวงจรรนับโมดูลัส - 6 บางวงจรรนับแบ่งด้วย 6 วิธีการป้อนกลับเพื่อข้ามค่านับเนื่องจากแต่ละพัลส์ที่เข้าสู่อินพุทของภาคที่ 2<sup>1</sup> จะนับค่าสูงขึ้น 2 ค่า การป้อนกลับไปยังอินพุทของฟลิปฟลอปภาคที่ 2<sup>1</sup> ทำให้นับค่าข้ามไป 2 ค่าที่ต้องการ ค่านับจะเดินหน้าไป 4 เมื่อบังการซิงเกิลช็อตหรือวันช็อต (one-shot) ถูกทริกเกอร์ด้วยเอาต์พุท Q-bar ของฟลิปฟลอปภาคที่ 2<sup>2</sup> ซึ่งเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 รูปคลื่นดังรูป 8.6 (b) แสดงพัลส์ป้อนกลับซึ่งไปทริกเกอร์ภาคที่ 2<sup>1</sup> ทำให้นับขึ้นหน้าไป 2 ตาราง 8.4 แสดงลำดับการนับโดยมีการชำระรอบใหม่หลังจากที่อินพุทพัลส์เข้าไป 6 ตัว

ตาราง 8.4 ตารางการนับสำหรับวงจรรนับแบ่งด้วย 6

อินพุตพัลส์	เอาต์พุต Q ของภาคที่ 2 <sup>2</sup>	เอาต์พุต Q ของภาคที่ 2 <sup>1</sup>	เอาต์พุต Q ของภาคที่ 2 <sup>0</sup>
0	0	0	0
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

} 1 รอบการนับ

วงจรรนับโมดูลัสใช้การป้อนกลับที่กล่าวมาแล้ว มีข้อเสียบางประการได้แก่

1. วงจรรนับต้องใช้วันช็อต (one-shot) เพื่อจัดพัลส์ซึ่งมีความกว้างน้อยกว่าช่วงความกว้างของคล็อกที่อัตราคล็อกสูงสุด พัลส์จากวันช็อตนี้อาจจะให้มีช่วงสั้นเกินไปเพราะต้องให้วงจรรนับมีเวลาพอเพียงหลังจากการนับเพิ่มขึ้นไปยังค่านับซึ่งเป็นผลจากพัลส์ป้อนกลับ เช่น พัลส์ป้อนกลับนั้นไปทริกเกอร์วงจร 1  $\mu\text{sec}$  หลังจากพัลส์เริ่มต้น ดังนั้นวงจรรนับต้องสามารถทำงานด้วยความถี่ 1 MHz ( $1/1 \mu\text{sec} = 1 \text{ MHz}$ ) จึงหวนเวลาเช่นนี้และการที่จะต้องหาวงจรรวันช็อตเป็นปัญหาที่ต้องคำนึง

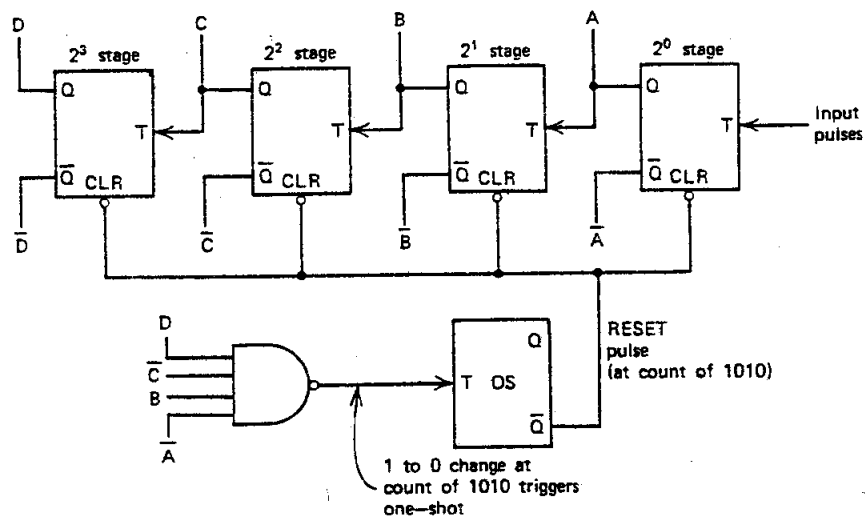
2. ลำดับการนับเลขฐานสองอาจไม่สอดคล้องเสมอไปกับค่านับเลขฐานสิบของอินพุตพัลส์ในระหว่างรอบ เมื่อพัลส์ป้อนกลับซึ่งจะไปทำให้การนับข้ามค่าที่สอดคล้องกันเกิดหายไป

### 8.3.2 วงจรรนับซึ่งรีเซ็ตสำหรับค่านับที่เทียบเท่าในเลขฐานสอง (Counter Reset For Binary Equivalent Count)

วิธีการอันหนึ่งในการแก้ไขข้อบกพร่องข้อที่สองของวงจรรนับโมดูลัสชนิดป้อนกลับก็คือการใช้การถอดรหัสตรรกและการรีเซ็ต แบบนี้ค่านับจะเพิ่มขึ้นตามลำดับเลขฐานสอง และจะรีเซ็ตหลังจากที่ถึงค่านับที่ต้องการแล้ว โดยการถอดรหัสด้วยเกต

วงจรรีเซ็ต Mod-10 ในรูป 8.7 มีค่านับในเลขฐานสองเทียบเท่าจำนวนนับในอินพุตพัลส์เสมอ วงจรรีเซ็ตใช้วงจรรีเซ็ตแบบระลอกคลื่นซึ่งนับค่าได้ถึง 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) แนนเกทจะถอดรหัสค่านับ = 0 เพื่อให้เปลี่ยนแปลงระดับที่เวลานั้น เพื่อเป็นทริกเกอร์แกว้นช้อต ซึ่งมีผลต่อทุกๆ ฟลิปฟลอป ดังนั้นพัลส์หลังจากนับที่ 9 แล้วจึงมีผลทำให้วงจรรีเซ็ตกลับไปเริ่มนับค่า 0 ใหม่ (รีเซ็ต) เริ่มรอบการนับใหม่



รูป 8.7 วงจรรีเซ็ตใช้การรีเซ็ต

ตาราง 8.5 ตารางการนับสำหรับวงจรมัลติเพล็กซ์ในรูป 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
↓	↓	↓	↓	↓
0	0	0	0	0

จะเห็นจากตาราง 8.5 ว่า ค่านับจาก 9 (1001) ไปยัง 10 (1010) จะเกิดขึ้นชั่วขณะก่อนที่จะรีเซ็ตไปเป็น 0 (0000) แนนเกทจะให้เอาท์พุทเป็น 1 จนกระทั่งค่านับถึงค่า 10 ค่านับ 10 จะถูกถอดรหัสโดยใช้อินพุตตรรกะซึ่งเป็น 1 หมดที่ค่านับ 10 เมื่อค่านับเป็น 10 แนนเกทจะมีเอาท์พุทเป็นตรรกะ 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 แต่ทุกฟลิปฟลอปรีเซ็ตเพื่อเป็นหลักประกันว่ารอบการนับใหม่เริ่มต้น และด้วยค่านับ 0000

วงจรมัลติเพล็กซ์การนับมีข้อเสีย 2 ประการ คือ

1. ค่านับที่มากขึ้นจะเกิดชั่วขณะก่อนที่จะไปสู่สถานะรีเซ็ต
2. วงจรต้องใช้วันช็อต และต้องจัดจังหวะเวลาของช่วงกว้างของพัลส์ให้เหมาะสม

เป็นไปได้ที่จะสร้างวงจรมัลติเพล็กซ์โดยไม่ต้องใช้วันช็อต และจากค่านับสุดท้ายสามารถไปรีเซ็ตฟลิปฟลอปได้โดยตรง

### 8.3.3 วงจรรนับชนิดรีเซ็ตโดยตรง (Direct Reset Counter)

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างสำหรับวงจรรนับชนิดรีเซ็ตโดยตรง

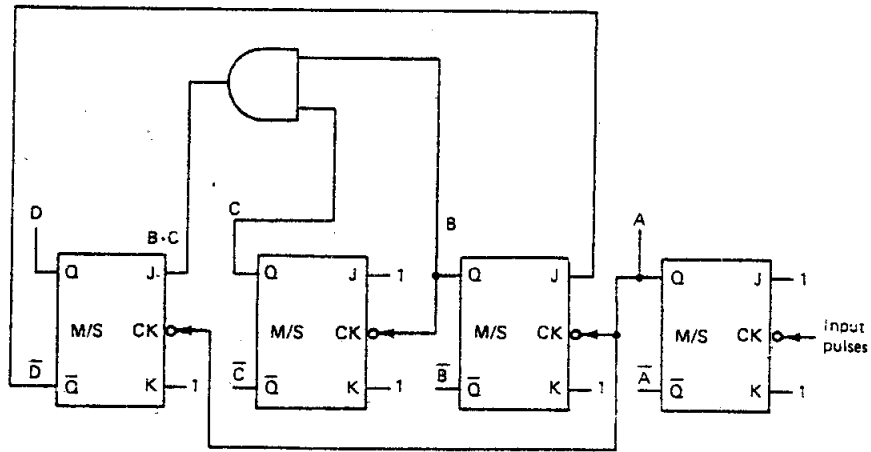
วงจรรนับสิบ (Mod-10 or Decade Counter) มีตารางการนับค่าดังข้างล่างนี้

ตาราง 8.6 ตารางการนับของวงจรรนับสิบ

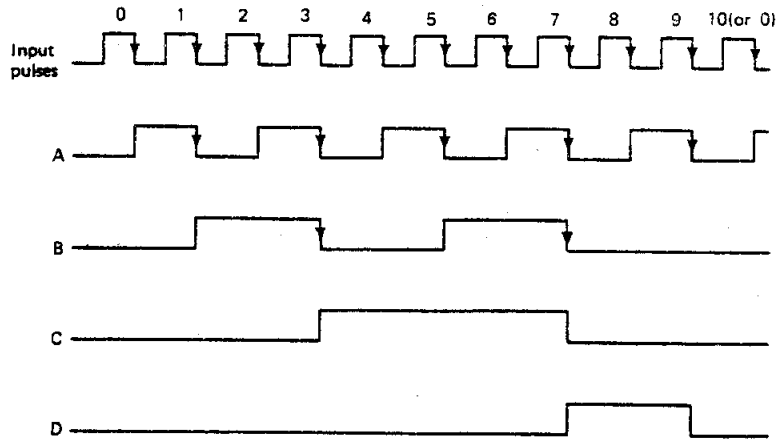
ค่านับ	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10 (หรือ 0)	0	0	0	0

จากตาราง 8.6 จะเห็นว่าทริกเกอร์ที่ต้องการไปสู่อินพุทของฟลิปฟลอปแต่ละตัวมีรายละเอียดดังนี้

1. ฟลิปฟลอป A ถูกทริกเกอร์ทุกอินพุทพัลส์
2. ฟลิปฟลอป B ถูกทริกเกอร์เมื่อ A เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ยกเว้นเมื่อ D เป็นตรรกะ 1, เมื่อ B ยังคงอยู่ที่รีเซ็ต
3. ฟลิปฟลอป C ถูกทริกเกอร์ทุกครั้งที่ B เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0
4. ฟลิปฟลอป D รีเซ็ตทุกครั้งที่ A เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ยกเว้นเมื่อ B และ C เป็นตรรกะ 1 ทั้งคู่



(a)



(b)

รูป 8.8 วงจรนับสิบใช้ M/S JK ฟลิปฟลอป

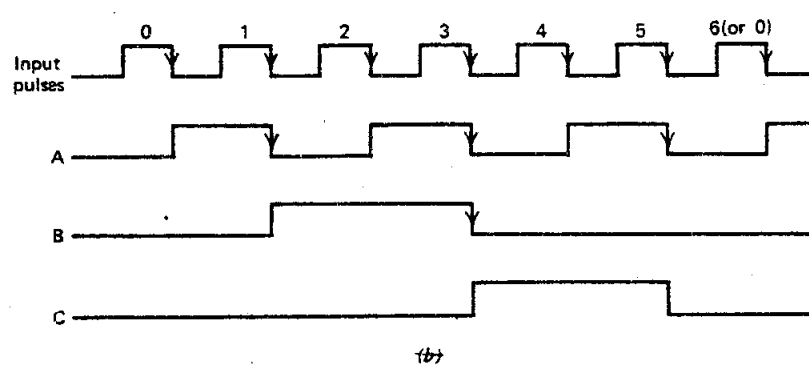
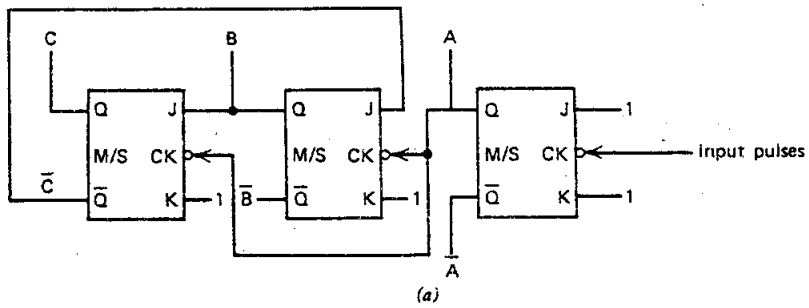
การออกแบบวงจรนับสิบซึ่งนับค่าดังตาราง 8.6 ต้องใช้สัญญาณของฟลิปฟลอป A ไปทริกเกอร์ฟลิปฟลอป D นำสังเกตว่า จากนับที่ 9 ไปนับที่ 10 (หรือ 0) มีเพียงฟลิปฟลอป A เปลี่ยนสถานะ (ฟลิปฟลอป D เปลี่ยนสถานะด้วยสัญญาณทริกเกอร์จาก A) ดังนั้นจึงไม่มีทางเลือกสัญญาณทริกเกอร์สำหรับฟลิปฟลอป D ที่นอกเหนือไปจากนี้ จึงมีวงจรดังรูป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

วงจรรนับหก (Mod-6 Counter) มีตารางการนับดังข้างล่างนี้

ตาราง 8.7 ตารางการนับของวงจรรนับ Mod-6

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
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
6 (หรือ 0)	0	0	0

จากตารางการนับ จะเห็นว่า A เป็นคอมพลิเมนต์ในแต่ละอินพุตพัลส์ B ทริกเกอร์ ทุกครั้งที่ A เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ยกเว้นเมื่อ C เป็น 1 ซึ่ง B คงสถานะไว้เพื่อ ฟลิปฟลอป C คงสถานะไว้เช่นกันทุกครั้งที่ A เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ยกเว้นเมื่อ B เป็น 1 ข้อมูลเหล่านี้ใช้ในการ ออกแบบวงจรรนับ Mod-6 โดยใช้ JK ฟลิปฟลอปดังรูป 8.9 (a) โดยมีรูปคลื่นดังรูป 8.9 (b)



รูป 8.9 วงจรรนับ Mod-6 ใช้ M/S JK ฟลิปฟลอป

วงจรรนับ 7 (Moe-7 Counter) มีตารางการนับดังตาราง 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

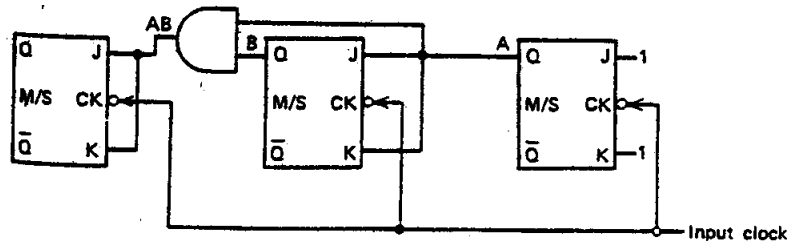
จากตาราง 8.8 จะได้ความจริงดังนี้

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





และ B สูงทั้งคู่ ที่ค่านับ 111 นั้น การปรากฏของคล็อกพัลส์จะทำให้ฟลิปฟลอปทุกตัวทริกเกอร์พร้อมกัน



รูป 8.11 วงจรนับ 8 แบบขนาน

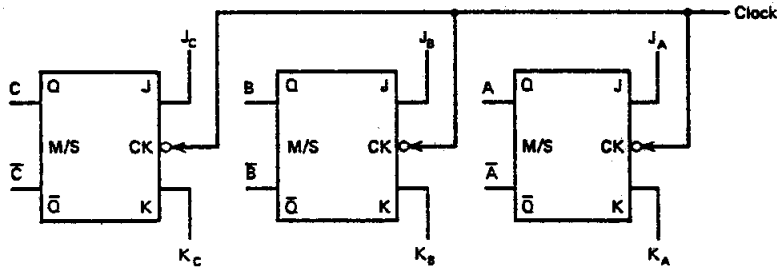
### 8.4.1 การออกแบบวงจรนับ 6 แบบขนาน

วิธีการออกแบบวงจรนับ กระทำดังนี้

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

C	B	A	คล็อก
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 ตารางการนับดังข้างบนนี้ต้องใช้ฟลิปฟลอป 3 ตัว ในวงจรนับที่ออกแบบนี้



รูป 8.12 รูปเบื้องต้นของวงจรนับ 6 แบบขนานที่จะออกแบบ

ขั้นที่ 2 เขียนวงจรเบื้องต้นที่สามารถนับค่าทั้ง 6 ที่ต้องการได้ดังรูป 8.12

ขั้นที่ 3 เขียนตารางซึ่งประกอบด้วยสถานะปัจจุบัน สถานะอนาคตและอินพุทของฟลิปฟลอป สมมติวงจรมันนี้เราเลือก JK ฟลิปฟลอป จากบทที่ 7 เรามีตารางเอ็กซ์ไซเตชันของ JK ฟลิปฟลอปดังนี้

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

จึงเขียนตารางในขั้นที่ 3 ของการออกแบบได้ดังนี้

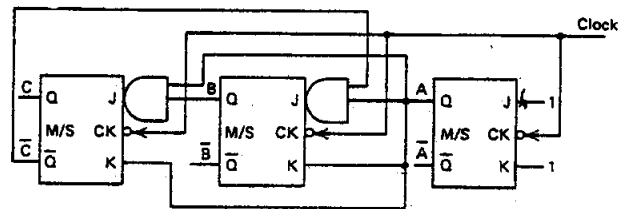
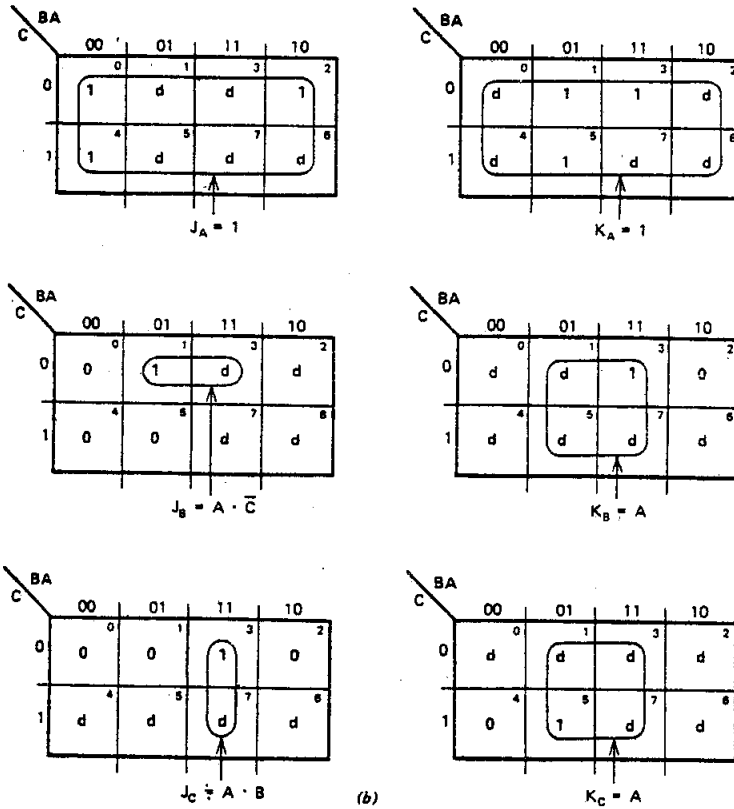
สถานะปัจจุบัน			สถานะอนาคต			อินพุทของฟลิปฟลอป					
						FF <sub>C</sub>		FF <sub>B</sub>		FF <sub>A</sub>	
C(t)	B(t)	A(t)	C(t+1)	B(t+1)	A(t+1)	J <sub>C</sub> (t)	K <sub>C</sub> (t)	J <sub>B</sub> (t)	K <sub>B</sub> (t)	J <sub>A</sub> (t)	K <sub>A</sub> (t)
0	0	0	0	0	1	0	d	0	d	1	d
0	0	1	0	1	0	0	d	1	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 ใช้คาร์นอร์จเม็พเพื่อลดรูป แล้วเขียนสมการบูลีนของอินพุทของฟลิปฟลอปได้  
 ดังรูป 8.13 (b)

ขั้นที่ 5 เขียนวงจรนับแบบขนาน ซึ่งนับ 6 ค่าตามที่ต้องการได้ดังรูป 8.13 (c)

C	B	A	Clock
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

(a)



รูป 8.13 วงจรนับ 6 แบบขนาน (a) ตารางการนับ (b) คาร์นอร์จเม็พ (c) แผนภาพวงจรตรรก

### 8.4.2 การออกแบบวงจรนับ 10 แบบขนาน

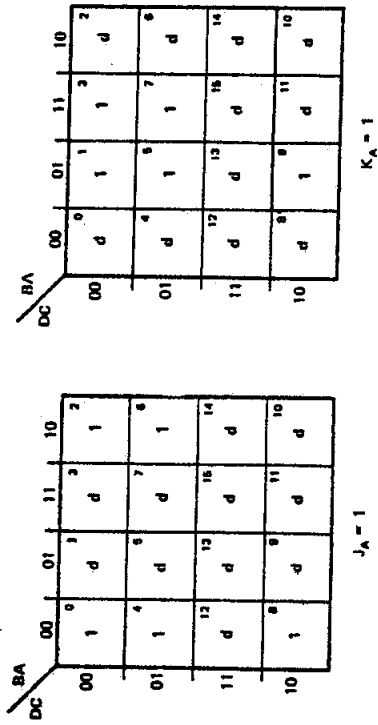
วงจรนับ 10 แบบขนาน (parallel mod-10 (decade) counter) ซึ่งเป็นที่นิยมอาจสร้างโดยใช้ฟลิปฟลอป 4 ตัว จัดให้ได้ค่านับ 10 ค่าที่ต้องการดังนี้ คือ

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

ขั้นตอนการออกแบบกระทำดังที่กล่าวไว้แล้ว ในที่สุดจะได้ตารางซึ่งประกอบด้วยสถานะปัจจุบัน สถานะอนาคต และอินพุทของฟลิปฟลอปที่เลือกใช้ ซึ่งในที่นี้ใช้ JK ฟลิปฟลอป จากนั้นลดรูปฟังก์ชันอินพุทของ JK ฟลิปฟลอปโดยวิธีคาร์นอร์จเม็ฟได้ดังรูป 8.14 (b) แล้วเขียนวงจรดังรูป 8.14 (c)

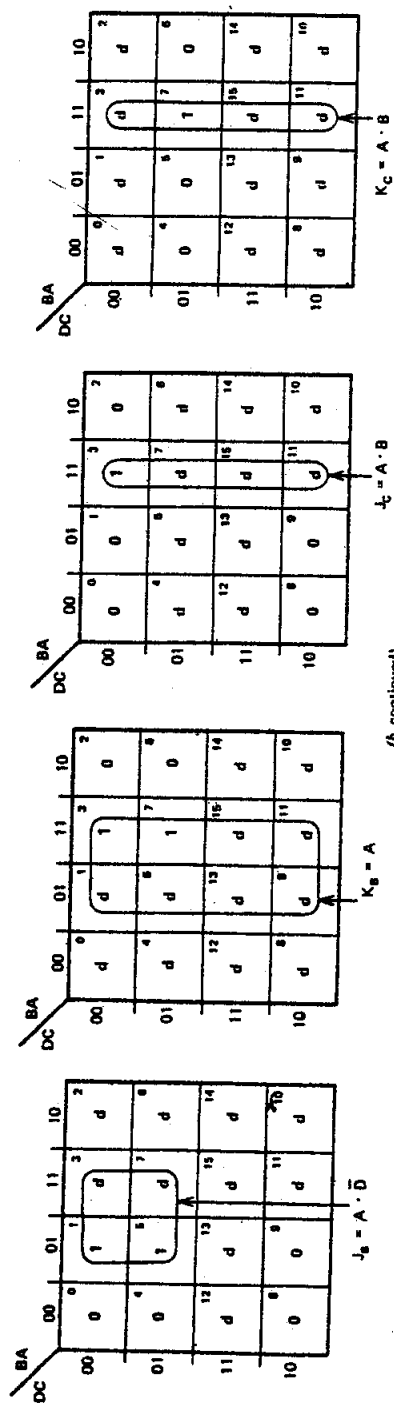
สถานะปัจจุบัน D(t)C(t)B(t)A(t)	สถานะอนาคต D(t+1)C(t+1)B(t+1)A(t+1)	อินพุทของฟลิปฟลอป			
		$J_D(t)K_D(t)$	$J_C(t)K_C(t)$	$J_B(t)K_B(t)$	$J_A(t)K_A(t)$
0 0 0 0	0 0 0 1	0 d	0 d	0 d	1 d
0 0 0 1	0 0 1 0	0 d	0 d	1 d	d 1
0 0 1 0	0 0 1 1	0 d	0 d	d 0	1 d
0 0 1 1	0 1 0 0	0 d	1 d	d 1	d 1
0 1 0 0	0 1 0 1	0 d	d 0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

D	C	B	A	Clock step
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



(a)

(b)



(b continued)

รูป 8.14 วงจรนับ 10 แบบขนาน (a) ตารางการนับ (b) การ์ตูนอิมพี (c) แผนภาพวงจรถรก

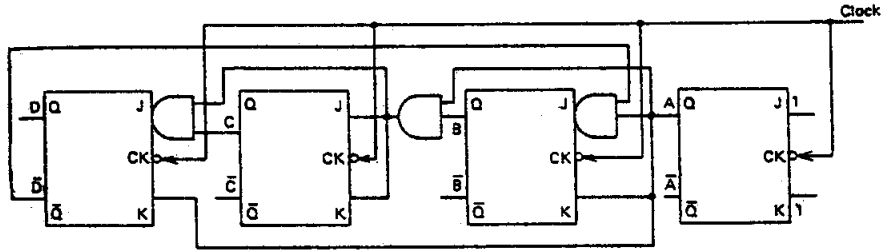
DC \ BA	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	0
11	d	d	d	d
10	d	d	d	d

$$J_D = A \cdot B \cdot C$$

(b 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

$$K_D = A$$



(c)

រូប 8.14 (តប)

## สรุป

วงจรมอดูเลชันเป็นวงจรมอดูเลชันเชิงเส้นชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปสามารถมอดูเลชันได้ 2" ค่า เมื่อใช้ฟิลลิปฟลอบ n ตัว จัดวงจรมอดูเลชันนั้น วงจรมอดูเลชันโมดูลัสนับค่าตามที่เรากำลังต้องการ โดยข้ามบางค่าไป วงจรมอดูเลชันแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ วงจรมอดูเลชันแบบระลอกคลื่น และแบบขนาน

วงจรมอดูเลชันแบบระลอกคลื่น อินพุตพัลส์เข้าไปที่ละพัลส์ วงจรมอดูเลชันแบบขนาน อินพุตพัลส์เข้าไปที่ทรานซิสเตอร์ฟิลลิปฟลอบพร้อมๆ กัน



