บทที่ 3

ไอซีดิจิตอล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. พีชคณิตของบูลเลียน

พีชคณิตของบูลเลียน[6] (Boolean algebra) ประกอบด้วยตัวเลขเพียงสองตัวเท่านั้น คือ "0" กับ "1" ซึ่งอาจแทนด้วยเหตุการณ์ที่เป็นเท็จหรือเป็นจริง ทางด้านอิเลคทรอนิคส์อาจนำเอาแรงดันสองระดับมาแทนค่าในทางลอจิก (logic)สองตัวนี้ได้ เช่นระดับแรงดัน $+V_{CC}$ ใช้แทนเป็นลอจิก "1" และค่าแรงดันที่ประมาณ 0 โวลท์ เป็นลอจิก "0"

1.1 กฎดูออลิตี[7] (duality principle) ถ้ามีนิพจน์ A (เช่น A เป็น $\bar{x} + y + XZ$) สามารถหาดูออลิตีของ A ได้ โดยแทนตัวกระทำ + ทุกตัว ใน A ด้วยตัวกระทำ . และตัวกระทำ .ทุกตัวด้วยตัวกระทำ + และเปลี่ยน 0 ทุกตัวใน A เป็น 1 และ 1 ทุกตัวใน A เป็น 0 ดังนั้นถ้า $A = \bar{x} + y + XZ$ จะได้ดูออลิตีของ $A = \bar{x}y(X + Z)$

หลักการดูออลิตีกล่าวว่า "ถ้านิพจน์ A เท่ากับนิพจน์ B แล้ว ดูออลิตีของนิพจน์ A ย่อมเท่ากับ ดูออลิตีของนิพจน์ B เสมอ" ประโยชน์ของหลักการนี้คือ ทำให้การพิสูจน์สูตรรวดเร็วขึ้น เช่น ถ้าพิสูจน์ได้ว่า $A(B + C) = AB + AC$ จะสรุปได้ว่า $A + BC = (A + B)(A + C)$ เป็นต้น

1.2 ทฤษฎีเดอมอร์แกน[6] (De Morgan's theorem) เป็นทฤษฎีที่นำเอาคอมพลีเมนต์ (complement) มาใช้กับนิพจน์ เพื่อให้นิพจน์จัดอยู่ในรูปที่ง่าย สะดวกในการสร้างเป็นวงจร

$$\overline{X_1 + X_2 + \dots X_n} = \bar{X}_1\bar{X}_2 \dots \bar{X}_n \qquad (3.1)$$

$$\overline{X_1X_2X_3 \dots X_n} = \bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots \bar{X}_n \qquad (3.2)$$

1.3 สรุปสูตรและกฎที่สำคัญ[8]

$$A + 0 = A \qquad A + 1 = 1 \qquad (3.3)$$

$$A.1 = A \qquad A.0 = 0 \qquad (3.4)$$

$$\bar{I} = 0 \qquad \bar{0} = 1 \qquad (3.5)$$

$$A + A = A \qquad A.A = A \qquad (3.6)$$

$$A + \bar{A} = 1 \qquad A.\bar{A} = 0 \qquad (3.7)$$

2. ชนิดของไอซี

ไอซี (IC) เป็นการเรียกคำย่อของอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิคส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีชื่อเต็มว่า อินทริเกรตเต็ดเซอร์กิท (integrated circuit) กราฟ[7] (Graf) ได้ให้คำนิยามของคำว่าไอซีไว้ว่า "เป็นวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ ที่เชื่อมต่อถึงกันโดยอุปกรณ์ทุกตัววางอยู่บนแผ่นสารกึ่งตัวนำอันเดียวกัน" การแบ่งชนิดของไอซี โดยพิจารณาจากการทำงานของไอซีที่ให้ผลลัพธ์ออกมา เช่น เอาท์พุท (output) ของ ออปเปอเรชั่นนัล แอมปลิฟายเออร์ (operational amplifier) สามารถเป็นไปได้ที่จะมีค่าแรงดันตามที่ต้องการ แต่อยู่ในระดับขอบเขตของแรงดันไฟเสี้ยง หรือให้เอาท์พุทเป็นลักษณะสัญญาณที่ต่อเนื่องเปลี่ยนแปลงกับเวลาเรียกไอซีชนิดนี้ว่า อนาลอก (analog) ไอซี หรือ ลิเนียร์ (linear) ไอซี ไอซีจำพวกนี้ได้แก่ ไอซีจำพวกออป-แอมป์ ไอซีวงจรขยาย ไอซีวงจรตั้งเวลา ไอซีวงจรเปรียบเทียบ เป็นต้น ไอซีอีกประเภทหนึ่งที่มีสัญญาณการทำงานอยู่ที่แรงดันเพียงสองระดับที่แน่นอนคงที่เท่านั้น เช่น ที่ระดับแรงดันประมาณ 0.4 โวลต์ กับ ระดับแรงดันประมาณ 4.5 โวลต์ นั้นคือ เอาท์พุทของไอซีจะมีค่าระดับแรงดันเพียงสองระดับ หรือสองสถานะ คือ เปิด (on) กับปิด (off) เรียกไอซีชนิดนี้ว่าดิจิตอล (digital)ไอซี ไอซีจำพวกนี้ได้แก่ ไอซีเกท (gate) วงจรนับ วงจรฟลิบฟลอบ (flip flop) เป็นต้น

3. ไอซีทีทีแอล

ไอซีทีทีแอล[7,8] (TTL) เป็นไอซีที่มีส่วนประกอบด้วยกลุ่มของทรานซิสเตอร์(Transistor) ไดโอด (diode) และตัวต้านทาน ที่ต่อร่วมกันทำหน้าที่เป็นวงจรเกทเบื้องต้น ต้องการแรงดันไปเลี้ยง 5 โวลต์ ให้แรงดันเอาท์พุท เมื่อแสดงลอจิก "0" ประมาณ 0.2 โวลต์ และลอจิก "1" ประมาณ 3.0 โวลต์

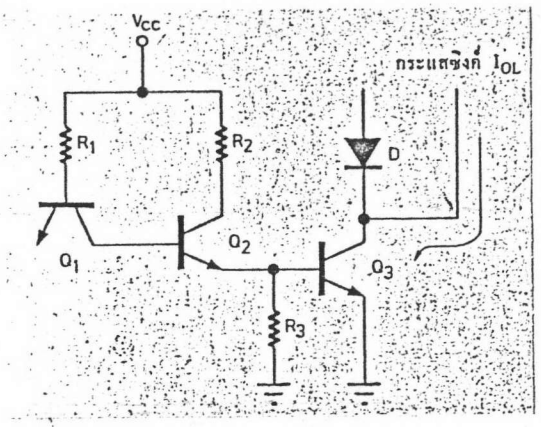
3.1 ลักษณะของวงจรทางด้านเอาท์พุท ในไอซีแต่ละตัวส่วนที่จะต้องระวังในการนำไอซีต่อ

เข้ากับวงจรภายนอกคือ แรงดันและกระแส ในกรณีแรงดันไอซีชนิดนี้จะทนแรงดันได้ไม่เกิน 5.5 โวลต์ หรือถ้านำเอาขั้วขา V_{CC} ต่อกับกราวนด์ (ground) แล้วนำเอาขั้วขากราวนด์ต่อกับ V_{CC} ไอซีนี้จะเสียหายทันที ในเรื่องกระแสต้องทราบค่ากระแสสูงสุดที่ไอซีทนได้โดยไม่เกิดการเสียหาย กระแสในส่วนของไอซีจะแตกต่างกันในสภาวะที่ไอซีทำงาน เช่น ในขณะที่เอาท์พุทของไอซีอยู่ที่ระดับสูงหรือลอจิก "1" ไอซีจะทนกระแสได้ค่าหนึ่ง และถ้าให้ไอซีทำงานให้เอาท์พุทอยู่ที่ระดับต่ำ ก็จะทนกระแสได้อีกค่าหนึ่ง ถ้าพิจารณาในแง่กระแสไหลเข้าตัวไอซี และกระแสไหลออกจากตัวไอซี ตามรูปที่ 3.1 ก. ทรานซิสเตอร์ที่เอาท์พุททั้งสองตัว (Q_3 และQ_4) นี้ออกแบบมาให้ต่อเชื่อมกับไอซีทีทีแอลได้ถึง 10 อินพุท หรือกล่าวได้ว่ามีแฟนเอาท์ (fan out) เท่ากับ 10 ทรานซิสเตอร์ Q_3 เป็นส่วนของวงจรส่วนล่างที่จะเป็นตัวรับกระแสในขณะที่เอาท์พุทอยู่ในสภาวะลอจิก "0" โดยรับกระแสซิงค์ (sink current) จากภายนอก $I_{SINK} = I_{oL}$ ผ่านทรานซิสเตอร์ Q_3 แรงดันเอาท์พุทที่แสดงลอจิก "0" คือแรงดันที่คร่อมระหว่างคอลเลคเตอร์ (collector) กับอิมิตเตอร์ (emitter) ของทรานซิสเตอร์ Q_3 ในขณะอิ่มตัว (saturated) โดยปกติความสัมพันธ์ของกระแสซิงค์ I_{oL} กับแรงดันลอจิก "0" จะมีความสัมพันธ์กันโดยเมื่อกระแสซิงค์เพิ่มขึ้น แรงดันลอจิก "0" ก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนถึงค่า ๆ หนึ่งแรงดันลอจิก "0" จะเพิ่มขึ้นสูงมาก คือในช่วงที่แรงดันลอจิก "0" เกินกว่าค่าแรงดันประมาณ 0.8 โวลต์ นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของกระแสซิงค์ยังขึ้นกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดัน V_{oL} ก็พลอยสูงขึ้นตาม และให้ค่ากระแสซิงค์ได้เพิ่มขึ้น แรงดันไฟเลี้ยงก็มีผลต่อความสัมพันธ์ของกระแสซิงค์อยู่มาก เพราะถ้าให้แรงดันไฟเลี้ยงมีค่าสูง กระแสซิงค์ก็จะมีค่าสูงตามด้วย

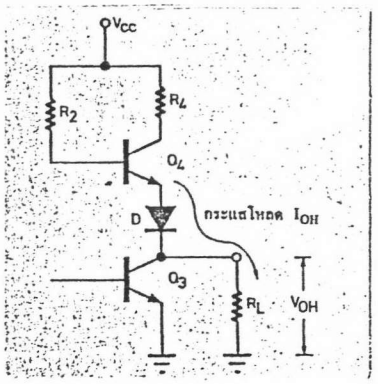
ในขณะที่เอาท์พุทแสดงลอจิก "1" การทำงานของวงจรเอาท์พุท ตามรูปที่ 3.1 ข. ทรานซิสเตอร์ Q_4 จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว มีกระแสซอร์ส (source current) จากแรงดัน V_{CC} ผ่านตัวต้านทาน R_4 ทรานซิสเตอร์ Q_4 ไดโอด D และไปยังตัวต้านทานโหลด (load)R_L กระแสส่วนนี้จะถูกกำจัดด้วยตัวต้านทาน R_4 โดยมีค่าประมาณเท่ากับ

$$I_{OH} = \frac{1}{R_L + R_4} \{V_{CC} - V_{CE}(Q_4) - V(D)\} \qquad (3.8)$$

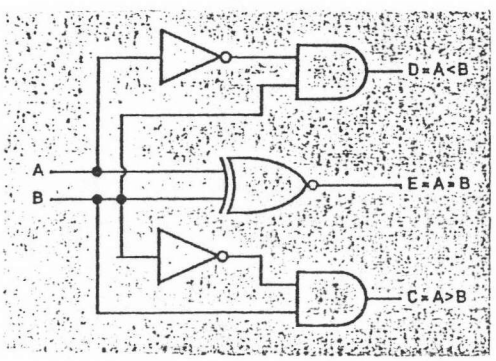
สำหรับค่ากระแสลัดวงจร I_{oS} เมื่อเอาท์พุทอยู่ในสภาวะลอจิก "1" ทรานซิสเตอร์ Q_4 จะอยู่



รูปที่ 3.1 ก. แสดงการไหลของกระแสที่เอาท์พุทขณะแสดงลอจิก "0"



รูปที่ 3.1 ข. แสดงการไหลของกระแสซอร์สที่เอาท์พุท



รูปที่ 3.2 วงจรเปรียบเทียบตัวเลข 1 บิท

ในสภาวะอิ่มตัว และเมื่อสัดวงจรเอาท์พุทลงกราวนด์หรือให้โหลด R_L เป็นศูนย์ ค่ากระแสที่ทดสอบนี้คือกระแสซอร์สสูงสุด โดยปกติค่ากระแสสัดวงจรนี้จะมีค่าไม่ต่ำกว่า 18 มิลลิแอมแปร์ และไม่มากกว่า 55 มิลลิแอมแปร์ ถ้ากระแสสัดวงจรนี้มีค่ามากเกินไปไอซีก็จะเสียหายได้ แต่ถ้ามีค่าน้อยหรือต่ำเกินไปก็จะทำให้การเปลี่ยนระดับของสัญญาณที่เอาท์พุทช้าลง

3.2 <u>หลักการออกแบบวงจรทีทีแอล</u>[8] เพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างถูกต้องและการทำงานของไอซีจะให้ผลดีที่สุด จะต้องยึดถือหลักการออกแบบวงจรทีทีแอลดังนี้

1. ตรวจสอบแฟนเอาท์ที่จะต่อเข้าที่เอาท์พุท ของทุก ๆ เอาท์พุท ถ้าใช้ไอซีซีรีส์ 7400 เป็นโหลดไม่ควรจะใช้เกินกว่า 5 อินพุทหรือ 5 แฟนเอาท์ ถ้าใช้ไอซีซีรีส์ 5400 เป็นโหลดไม่ควรจะเกิน 2 อินพุท หรือ 2 แฟนเอาท์

2. ตรวจสอบระบบทั้งหมดเพื่อประกันได้ว่าข้อมูลที่ได้มาถูกต้อง ใช้ได้กับไอซีซีรีส์กำลังงานต่ำ หรือ 54/74L หรือไอซีซีรีส์ชอทกี้ (Schottky) ค่าที่ได้บางครั้งอาจจะอยู่ในช่วงวิกฤติสำหรับไอซีซีรีส์ 54/74L หรือ 54/74 S

3. ในการที่โหลดเป็นตัวเก็บประจุที่มีค่ามากกว่า 100 - 150 พิโคฟารัด ควรเลือกใช้ไอซี 54/74 ธรรมดา

3.3 <u>การเชื่อมต่อระหว่างไอซีทีทีแอลกับไอซีทีทีแอล</u>[8] ไอซีทีทีแอล สามารถต่อได้โดยตรงกับไอซีทีทีแอล แต่ยังมีขอบเขตการจำกัดจำนวนอินพุท หรือเอาท์พุทที่ต่อถึงกันนั้นด้วย โดยคำนึงถึงแฟนอินและแฟนเอาท์ (fan in and fan out) ในความหมายของคำว่าแฟนอินหมายถึงจำนวนโหลดที่จะนำมาต่อเข้าทางด้านอินพุท ซึ่งกระแสซอร์สทางด้านอินพุทมีค่าสูงสุดได้ประมาณ 1.6 มิลลิแอมแปร์ โดยปกติแล้วจำนวนเอาท์พุทของเกทอื่นที่จะนำมาต่อเข้าทางอินพุทแต่ละขาของไอซีนั้นจะต่อได้เพียงหนึ่งเท่านั้น หมายความว่าไอซีเกทนั้นมีแฟนอินเท่ากับ 1 ส่วนคำว่าแฟนเอาท์หมายถึงความสามารถของไอซีที่สามารถจ่ายกระแสซอร์ส หรือรับกระแสซิงค์จากไอซี หรือเกทอื่น ๆ ได้สูงสุดจำนวนเท่าไร เช่น ไอซีทีทีแอลสามารถให้กระแสซิงค์ได้สูงสุดประมาณ 16 มิลลิแอมแปร์ ก็จะต่อได้ 10 ตัวหรือมีแฟนเอาท์เท่ากับ 10

3.4 <u>การเชื่อมต่อระหว่างไอซีทีทีแอลกับวงจรภายนอก</u>[8] ถ้าพิจารณาที่อินพุทของทีทีแอลจะพบว่าไอซีซีรีส์นี้ให้กระแสซิงค์ได้สูงสุด 1.6 มิลลิแอมแปร์ ที่แรงดัน 0.8 โวลต์ และในขณะที่อินพุท

อยู่ในสภาวะ "1" ถึงจะมีกระแสซอร์สเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นกระแสรั่วไหลแต่แรงดันจะต้องมีค่ามากกว่า 2.4 โวลต์ ดังนั้นการที่จะต่อวงจรเข้ากับอินพุทของไอซีทีทีแอลจึงต้องพิจารณาถึงข้อนี้ด้วย การเปลี่ยนจากลอจิก "1" มายังลอจิก "0" หรือจากลอจิก "0" มายังลอจิก "1" ต้องใช้ตัวทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับ (drive) อินพุท และควรจะมีช่วงเวลาขาขึ้น (rise time) ขาลง (fall time) สั้นมาก ๆ และไม่ควรใช้สวิตช์ทางกล (mechanical switch) เพราะจะทำให้เกิดพัลส์แฉกแหลม ๆ และมีเวลาช่วงชั้นนานทำให้เอาท์พุทได้สัญญาณลอจิกที่ผิดไปได้ สำหรับกรณีที่ใช้ไอซีทีทีแอลขับให้หลอดไฟแอลอีดี (LED) สว่างได้โดยตรงโดยใช้กระแสซิงค์ที่เอาท์พุท แต่เพื่อความปลอดภัยทั้งของหลอดไฟแอลอีดี และไอซี ควรมีตัวต้านทานอนุกรมอยู่ด้วยเพื่อเป็นการจำกัดกระแส ตัวต้านทานที่ใช้จะอยู่ในค่าประมาณ 200 - 1000 โอห์ม จากการสังเกตพบว่าหลอดไฟแอลอีดี จะสว่างได้ต่อเมื่อเอาท์พุทอยู่ในสภาวะต่ำหรือลอจิก "0" แต่ถ้าหากให้หลอดไฟแอลอีดีสว่างเมื่อเอาท์พุทอยู่ที่ลอจิก "1" โดยการต่อทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับกระแส

3.5 <u>การต่อขาอินพุทของเกทที่ไม่ได้ใช้</u>[8] ในการออกแบบวงจรทั่วไปสิ่งที่ต้องการคือการเปลี่ยนสภาวะของลอจิกเป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีสัญญาณรบกวนต่ำ ดังนั้นโอกาสที่สัญญาณรบกวนอาจจะเข้ามารบกวนทางด้านอินพุทที่ไม่ใช้ สำหรับเกทชนิด AND และ NAND ควรต่อขาอินพุทที่ไม่ได้ใช้เข้ากับแรงดันที่มากกว่า 2.7 โวลต์ แต่ต้องไม่เกิน 5.5 โวลต์ ซึ่งอาจมีวิธีกระทำกับอินพุทที่ไม่ใช้ได้ดังนี้

1. ต่อเข้ากับแรงดันไฟเลี้ยงที่มีค่าประมาณ 2.7 ถึง 3.5 โวลต์

2. ต่อเข้ากับอินพุทที่ใช้งาน ถ้าหากว่าจำนวนแฟนเอาท์ของเกทที่อยู่ข้างหน้าไม่เกินการรวมอินพุทจะทำให้เกิดโหลดสูงสุดที่ลอจิก "1" และจะไม่โหลดที่ลอจิก "0"

3. ต่อขาอินพุทที่ไม่ใช้กับแรงดันไฟเลี้ยงโดยผ่านตัวต้านทาน มีค่าประมาณ 1 กิโลโอห์ม

เพื่อป้องกันการเกิดการกระเพื่อมของแรงดันไฟเสี้ยงเนื่องมาจากเกทเปลี่ยนสภาวะของลอจิก

4. ต่อขาอินพุทที่ไม่ใช้เข้ากับขาเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ (inverter) ที่มีอินพุทกราวนด์

4. วงจรคอมไบเนชั่น

วงจรคอมไบเนชั่น[7,9] (combination circuit) เป็นวงจรที่ประกอบด้วยอินพุทตั้งแต่2อินพุทขึ้นไป และเอาท์พุทนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับลักษณะต่าง ๆทางลอจิกที่อินพุท วงจรคอมไบเนชั่นจะประกอบด้วยวงจรเกทต่าง ๆ ที่ประกอบกันอยู่ เอาท์พุทที่ได้จึงขึ้นอยู่กับเกทต่าง ๆ ที่ประกอบกันมาเป็นระบบ ลักษณะที่เด่นชัดของวงจรคอมไบเนชั่นอีกประการหนึ่งคือ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาท์พุทด้วยตารางตรรก นอกจากนี้วงจรคอมไบเนชั่นจะไม่ขึ้นกับเวลา แต่จะขึ้นอยู่กับลอจิกที่อินพุทอย่างเดียวเท่านั้น

4.1 วงจรเปรียบเทียบตัวเลขทางด้านดิจิตอล[9] (digital comparator) สมมุติว่ามีตัวเลขไบนารีสองตัวคือ A และ B วงจรเปรียบเทียบตัวเลขทางด้านดิจิตอลจะทำให้ทราบว่าระหว่างตัวเลข A กับ B ค่าของตัวเลขทั้งสองตัวว่าตัวใดมากกว่า เท่ากัน หรือน้อยกว่า สมมุติให้ A และ B ต่างก็เป็นตัวเลขเพียงบิท (bit)เดียว

กรณีที่ A = B เอาท์พุทจะได้จากวงจรเอ็กซ์คลูซีฟ-นอร์ (exclusive-NOR) เกท เขียนเป็นสมการบูลเลียนได้

$$E = \overline{A\bar{B} + \bar{A}B}$$

$$= \overline{A \oplus B} = \begin{cases} 1 & \text{กรณีที่ } A=B \\ 0 & \text{กรณีที่ } A\neq B \end{cases} \qquad (3.9)$$

เครื่องหมาย $\oplus$ จะแทน เอ็กซ์คลูซีฟ-ออร์ (exclusive-OR) เกท

พิจารณากรณี A > B จะพบว่า A > Bมีกรณีเดียว คือ A เป็นลอจิก "1" B เป็นลอจิก "0" ถ้าเอาท์พุท C เป็นลอจิก "1" จะแทนว่า A > B ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของ A, B และ C ดังนี้

$$C = A\bar{B} \qquad (3.10)$$

ลองตรวจสอบสมการ (3.10) พบว่าเมื่อ A > B หรือ A = 1 และ B = 0 จะได้ C = 1 แต่ถ้า A = B หรือ A < B จะให้ผลลัพธ์ C = 0

ในทำนองเดียวกันกรณีที่ A < B จะได้เอาท์พุท D เป็น "1" หรือเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$D = \bar{A}B \tag{3.11}$$

วงจรที่ใช้ในการตรวจสอบค่า A และ B โดย A และ B เป็นตัวเลขเพียงบิทเดียว ดังรูปที่ 3.2

กรณีเพิ่มจำนวนบิทของตัวเลข A และB ขึ้นไป โดยสมมุติให้เป็นตัวเลข 4 บิท กรณีที่ A = B จะเกิดขึ้นได้เมื่อ

$$A_3 = B_3 \text{ และ } A_2 = B_2 \text{ และ } A_1 = B_1 \text{ และ } A_0 = B_0$$

ถ้าให้ E_1 เป็นผลลัพธ์ของ $A_1 = B_1$ จะเขียนผลลัพธ์ทั้งหมดได้เป็น

$$E = E_1E_2E_3E_4 \tag{3.12}$$

หรือกล่าวได้ว่าการเท่ากันของเอาท์พุท E จะเป็นจริงได้ ก็จากผลเท่ากันของ E_1 และ E_2 และ E_3 และ E_4 ต้องเป็นจริงหรือต้องเป็น AND กัน พิจารณาเมื่อ A > B ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เมื่อ

กรณีที่ 1 เมื่อ $A_3 > B_3$ (A_3 และB_3 เป็นตัวเลขหลักที่มีน้ำหนักมากที่สุด)

กรณีที่ 2 เมื่อ $A_3 = B_3$ และ $A_2 > B_2$

กรณีที่ 3 เมื่อ $A_3 = B_3$ และ $A_2 = B_2$ และ $A_1 > B_1$

กรณีที่ 4 เมื่อ $A_3 = B_3$ และ $A_2 = B_2$ และ $A_1 = B_1$ และ $A_o > B_o$

จากทั้งสี่กรณีนี้ เหตุการณ์หนึ่งเหตุการณ์ใดเกิดขึ้นก็จะเป็นจริง ดังนั้น เราจึงเขียนเป็นสมการบูลเลียนได้เป็น

$$C = A_3\bar{B}_3 + E_3A_2\bar{B}_2 + E_3E_2A_1\bar{B}_1 + E_3E_2E_1A_o\bar{B}_o \tag{3.13}$$

ในทำนองเดียวกัน กรณีที่ A < B จะได้สมการบูลเลียนเป็น

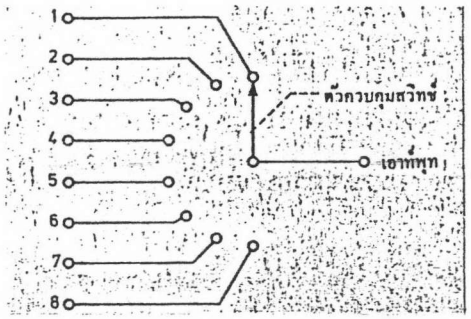
$$D = \bar{A}_3B_3 + E_3\bar{A}_2B_2 + E_3E_2\bar{A}_1B_1 + E_3E_2E_1\bar{A}_oB_0 \tag{3.14}$$

4.2 ตัวเลือกข้อมูล [7] (data selector) ในวงจรทางไฟฟ้าที่มีการทำงานในการเลือกข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งของหลาย ๆ ข้อมูลให้ไปปรากฏที่เอาท์พุทได้ การทำงานจึงเสมือนเป็นสวิตช์เลือกสายใดสายหนึ่งจากอินพุท หรือเป็นการเปลี่ยนข้อมูล ("0" เป็น "1") จากแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรมได้โดยคำสั่งควบคุมที่ทำหน้าที่ควบคุมคือสามารถเลือกให้ได้เอาท์พุทที่ขึ้นกับอินพุทใดอินพุทหนึ่งได้

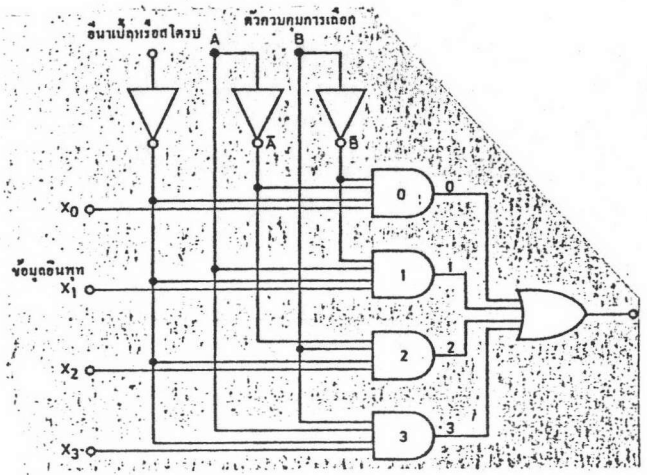
การทำงานของตัวเลือกข้อมูลสามารถเปรียบเทียบกับการทำงานของสวิตช์เลือกได้ ดังรูป 3.3 ก. ถ้าต้องการให้ได้ข้อมูลที่เอาท์พุทเป็นของอินพุทตำแหน่งที่ 5 ก็จะสั่งตัวควบคุมให้ส่งสวิตช์มาสัมผัสกับหน้าสัมผัสของอินพุทตำแหน่งที่ 5 ตัวเลือกข้อมูลที่เป็นไอซีก็เช่นเดียวกัน แต่ต่างกันเล็กน้อยในลักษณะการทำงาน สวิตช์เลือกจะหมุนจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งไล่ไปจนถึงตำแหน่งที่ต้องการ เช่นหมุนจากตำแหน่ง 1 - 2 - 3 - 4-5 เป็นต้น แต่สำหรับตัวเลือกข้อมูลที่เป็นไอซี ไม่จำเป็นต้องเป็นเช่นนั้น เพียงแต่บอกผ่านตัวควบคุมโดยส่งสัญญาณรหัสเข้าทางขาควบคุมตำแหน่งหรือแอดเดรสเอาท์พุทกับอินพุทก็เสมือนเชื่อมกันในตำแหน่งที่ต้องการโดยต่อถึงกันทางไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ

4.2.1 การใช้งานตัวเลือกข้อมูล ไอซีที่เป็นตัวเลือกข้อมูลจากอินพุทใดอินพุทหนึ่ง ดังรูปที่ 3.3 ข. มีการทำงานดังนี้

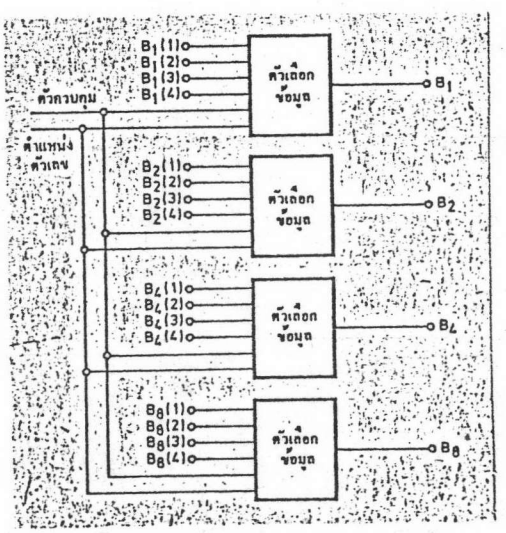
สมมุติ X_0 X_1 X_2 และ X_3 เป็นข้อมูลสี่บิต โดยแต่ละข้อมูลจะเป็นลอจิก "0" หรือ "1" ข้อมูลที่อินพุทจะไปปรากฏที่เอาท์พุทได้จะต้องขึ้นอยู่กับ อีนาเบิ้ล (enable) และตัวควบคุมการเลือกหรือแอดเดรส เมื่อพิจารณาจากวงจร ถ้าให้ A = 0 และ B = 0 จะเป็นได้ว่า AND เกท ตัวที่ 0 จะมีอินพุท 2 อินพุท เป็นลอจิก "1" อยู่ โดยที่ AND เกทตัวอื่น ๆ อย่างน้อยที่สุดจะต้องมีอยู่อินพุทหนึ่งที่เป็นลอจิก "0" และถ้าให้อีนาเบิ้ลหรือสโตรบ (strobe) เป็นลอจิก "0" อินพุทที่ AND เกทที่ต่อโดยตรงกับขาสโตรบโดยผ่านทางอินเวอร์เตอร์จะเป็นลอจิก "1" ดังนั้นอินพุท X_0 จะไปปรากฏที่เอาท์พุทของ AND เกท ตัวที่ 0 ส่วน AND เกทตัวอื่นจะให้เอาท์พุทเป็นลอจิก "0" หมด เมื่อเอาเอาท์พุทจากทุก ๆ AND เกทมาผ่าน OR เกทอีกครั้ง จะได้เอาท์พุท Y ซึ่งก็คือ X_0 นั่นเอง และทำนองเดียวกันถ้า A เป็นลอจิก "0" และ B เป็นลอจิก "1" และขาอีนาเบิ้ลเป็น "0" เอาท์พุท Y ก็จะได้เป็น X_3 และถ้า A เป็นลอจิก "1" B เป็นลอจิก "0" เอาท์พุท Y ก็จะตาม X_1 เป็นต้น



รูปที่ 3.3 ก. สวิทช์เลือกที่มีการทำงานเหมือนตัวเลือกข้อมูล



รูปที่ 3.3 ข. วงจรเลือกข้อมูล 4 อินพุท 1 เอาท์พุท

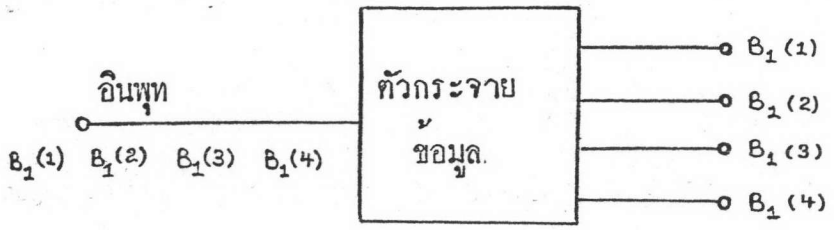


รูปที่ 3.4 แสดงการมัลติเพลกซ์สัญญาณ

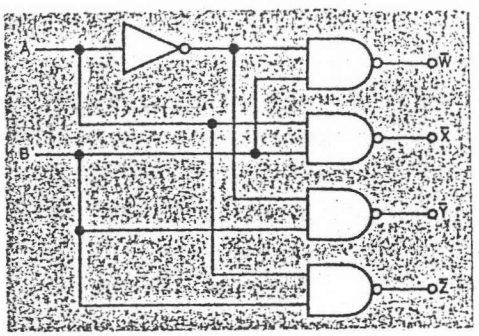
4.3 <u>การมัลติเพลกซ์</u> [7] (multiplexer) สมมุติว่าต้องการจะส่งตัวเลขฐานสิบจำนวนสี่หลักในลักษณะรหัสบีซีดี (BCD) นั่นคือในหนึ่งหลักจะต้องประกอบด้วยสายลอจิกถึง 4 สาย ซึ่งแทนหลัก 1 - 2 - 4 - 8 ตามลำดับ ดังนั้นถ้าตัวเลข 4 หลักก็หมายถึงต้องใช้สายถึง 16 สาย และสายกราวนด์อีก 1 สาย ครั้นถ้าต้องการส่งตัวเลข 10 หลักก็ต้องใช้สายเพิ่มขึ้นเป็น 41 สาย ดังนั้นเทคนิคทางด้านมัลติเพลกซ์จึงมีความสำคัญและใช้ประโยชน์ได้มาก เพราะสามารถลดจำนวนสายลงเพื่อการประหยัด

ในการส่งข้อมูลแบบมัลติเพลกซ์ จากที่ยกตัวอย่างมาแล้วนั้น จะใช้จำนวนสายส่งข้อมูลได้เพียง 4 สายและกราวนด์อีก 1 สายเท่านั้น ไม่ว่าจะมีตัวเลขกี่หลักก็ตามโดยหลักการทั่วไปคือ การส่งตัวเลขทีละหลักในแถวที่แตกต่างกันนั่นเอง คือไม่พร้อมกัน เช่น ในเวลา 1 มิลลิวินาทีแรกส่งตัวเลขหลักแรก ในเวลา 1 มิลลิวินาทีต่อมาส่งตัวเลขตัวที่ 2 ในทำนองเดียวกัน เวลาต่อมา ส่งตัวเลขที่ 3, 4 ... จนครบ เมื่อส่งครบหมดทุกตัวแล้วจึงค่อยมาเริ่มต้นตัวแรกใหม่อีกครั้งวนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป ถ้าส่งด้วยความถี่สูงไปยังภาคแสดง เช่นภาคแสดงของเครื่องคิดเลข จะเห็นเครื่องคิดเลขติดสว่างทุกตัวเลขพร้อมกัน แต่ในความเป็นจริงแล้วตัวเลขจะติดสลับกันเรียงทีละตัวอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 3.4 เป็นตัวอย่างการนำเอาตัวเลือกข้อมูลมาทำการมัลติเพลกซ์ตัวเลขรหัสบีซีดีสี่หลักเพื่อส่งออกไปเพียง 4 สายเท่านั้น ถ้าที่แอดเดรสมีค่าลอจิกเป็น 00 เอาท์พุททั้งสี่ก็จะได้เป็น $B_1(1)$, $B_2(1)$, $B_4(1)$ และ $B_8(1)$ แต่ถ้าแอดเดรสตัวควบคุมเป็น 01 เอาท์พุทก็จะได้ $B_1(2)$, $B_2(2)$, $B_4(2)$ และ $B_8(2)$ และถ้าแอดเดรสตัวควบคุมเป็น 10 และ 11 เอาท์พุทก็จะได้ตัวใหม่เป็นตัวที่สามและตัวที่สี่ตามลำดับ ดังนั้นถ้าจะส่งเอาท์พุทโดยการควบคุมตำแหน่งที่ลอจิกแตกต่างกัน ในเวลาต่างกันก็สามารถส่งตัวเลขทั้งสี่ไปได้

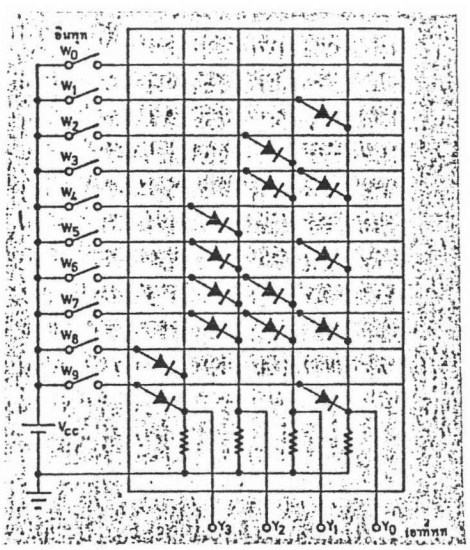
4.4 <u>ตัวกระจายข้อมูล</u> [7,9] (data distributer) การทำงานของตัวกระจายข้อมูลมีลักษณะตรงข้ามกับตัวเลือกข้อมูล ทั้งนี้เพราะส่วนของอินพุทจะป้อนเข้ามามีเพียงอินพุทเดียว แต่จะมีเอาท์พุทหลายเอาท์พุทขึ้นอยู่กับว่าจะเอาข้อมูลออกที่เอาท์พุทตัวใด ลักษณะแบบนี้จึงใช้เป็นตัวดีมัลติเพลกซ์ (demultiplex) หรือเป็นตัวรับข้อมูลที่มัลติเพลกซ์ของหลายข้อมูลแล้วแยกออกมา เช่นตัวเลขที่มัลติเพลกซ์ 4 หลัก สมมุติว่าอินพุทที่เข้ามานั้นเป็นรหัสของ B_1 แต่เพียงอย่างเดียวแต่เป็น B_1 ของเลขทั้งสี่หลักที่สลับกันตัวกระจายข้อมูลจะเป็นตัวกระจายตัวเลขของแต่ละหลัก



รูปที่ 3.5 แสดงการทำงานของตัวกระจายข้อมูล



รูปที่ 3.6 วงจรถอดรหัสแบบเบื้องต้น



รูปที่ 3.7 วงจรเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ไดโอด

ออกได้ ดังรูปที่ 3.5 ตัวกระจายข้อมูลทำงานได้โดยตัวควบคุมที่เรียกว่าแอดเดรส์ คือเมื่อมี ข้อมูล (0 หรือ 1) เกิดขึ้นที่อินพุทและถ้าเอาท์พุทมีทั้งหมด 4 เส้น ดังนั้นตัวควบคุมหรือแอดเดรส์ จะมีด้วยกัน 2 เส้น และถ้าแอดเดรส์อยู่ที่ 00 ข้อมูลอินพุทจะปรากฏที่เอาพุทตัวที่ 1 ถ้า 01 จะเป็นตัวที่ 2 ถ้า 10 จะเป็นตัวที่ 3 และถ้า 11 จะเป็นตัวที่ 4

4.5 <u>ตัวถอดรหัส์</u> [7,9] (decoder) ในวงจรดิจิตอลทั่วไป การที่จะป้อนข้อมูลให้วงจรทำงานหรือรับผลสัพธ์จากวงจรจะต้องอยู่ในลักษณะที่ตีความหมายได้โดยง่าย เช่น แป้นกดของเครื่องคิดเลข หรือตัวเลขแส์ดงผลของนาฬิกา เป็นต้น แต่โดยทั่วไปข้อมูลต่าง ๆ ที่วงจรจะรับรู้และทำงานได้ตามต้องการนั้นจะต้องเป็นเลขไบนารี หรือ ลอจิก "0" และ "1" เท่านั้น ส์ภาวะลอจิก "0" ก็คือระดับแรงดัน มีค่าอยู่ในส์ภาวะต่ำ ส่วนส์ภาวะลอจิก "1" ก็คือระดับแรงดันอยู่ในส์ภาวะสูง เนื่องจากข้อมูลทางดิจิตอลที่เป็นเลขไบนารียากต่อการเข้าใจหรือตีความหมาย ดังนั้นจำต้องมีวงจรเปลี่ยนข้อมูลเลขไบนารีให้เป็นข้อมูลอย่างอื่นที่เราทราบความหมายได้ง่าย ลักษณะของวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงข้อมูลนี้เรียกว่าตัวถอดรหัส์

นอกจากนี้ตัวถอดรหัส์ยังรวมความหมายของวงจรที่ประกอบด้วยอินพุทเป็นค่าทางไบนารีที่ประกอบด้วยตัวเลขไบนารี N ตัว ซึ่งก็ย่อมจะให้ค่าได้ถึง 2^N ค่า ถ้าต้องการทราบว่าอินพุทนั้นเป็นลักษณะของค่าใด เช่น ต้องการทราบว่าอินพุทที่เข้ามา 1 ค่า ที่มี 2 อินพุท นั้น ค่าต่าง ๆ ทางดิจิตอลจะปรากฏออกมาที่เป็นไปได้ คือ 00 , 01 , 10 และ 11 รวมทั้งหมด 2^2 หรือ 4 ค่า ดังนั้นถ้าต้องการจะถอดรหัส์ว่า อินพุท ที่เข้ามานั้นเป็นอะไร ก็ส์ามารถส์ร้างวงจรให้แยกรหัส์ของอินพุทในแต่ละค่าวงจรที่ทำหน้าที่เช่นนี้ ดังรูปที่ 3.6 เป็นวงจรถอดรหัส์ของส์องอินพุท A,B เช่นถ้า A เป็นลอจิก "0" Bเป็นลอจิก "0" จะได้เอาท์พุทที่ $\bar{W}$ เป็นลอจิก "0" โดยที่เอาท์พุทอื่นเป็นลอจิก "1" หมด และถ้า A เป็นลอจิก "0" Bเป็นลอจิก "1" เอาท์พุทจะได้ลอจิก "0" ที่ $\bar{X}$ และที่อื่น ๆ จะเป็นลอจิก "1" หมด ในทำนองเดียวกัน ถ้า A และ B เป็นลอจิก "1" และ "0" เอาท์พุทก็จะเป็น "0" ที่ $\bar{Y}$ และถ้า A และ B เป็นลอจิก "1" และ "1" เอาท์พุทก็จะเป็น "0" ที่ $\bar{Z}$ โดยที่ค่าอื่น ๆ นอกจากนี้เป็น 0 หมด

4.6 <u>การเปลี่ยนเลขฐานสิบให้เป็นเลขไบนารี</u>[7,9] วงจรที่เปลี่ยนเลขฐาน 10 ให้เป็นเลข BCD เพื่อใช้ในวงจรดิจิตอล เรียกว่า เอ็นโค๊ดเดอร์ (encoder) ในวงจรดีโค๊ดเดอร์

ซึ่งเป็นวงจรถอดรหัสที่เป็นรหัส "0" หรือ "1" ของอินพุทโดยให้เอาท์พุทตามรหัสของอินพุท ส่วนวงจรเอ็นโค๊ดเดอร์ มีลักษณะการทำงานตรงกันข้ามกับวงจรถอดรหัส พิจารณาตัวอย่างวงจรเอ็นโค๊ดเดอร์ แป้นกดเครื่องคิดเลข ดังรูปที่ 3.7 เมื่อกดสวิตช์ตามแป้นที่กำหนด เอาท์พุท Y_o ถึง Y_3 ก็จะให้รหัสไบนารีที่แตกต่างกันตามการกดที่แป้นนั้น ในวงจรใช้ไดโอดต่อเรียงกันเพื่อโปรแกรม (program) รหัสตามสวิตช์ที่กด เมื่อสวิตช์ตัวหนึ่งตัวใดสับลง เช่น สวิตช์ W_3 สับลง กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี (battery) จะไหลผ่านสวิตช์ W_3 และผ่านไดโอดสองตัวที่ต่อเอาท์พุทมายัง Y_o และ Y_1 ดังนั้นที่ Y_o และ Y_1 จึงมีแรงดัน $V_{CC} - V_D$ ส่วนเอาท์พุท Y_3 และ Y_2 จะไม่มีค่าคือ เป็นลอจิก "0"

4.7 <u>รอม</u>[9] (ROM) สมมุติว่าต้องการแปลงรหัสไบนารีให้เป็นรหัสอีกอย่างหนึ่ง โดยที่มีอินพุทจำนวน M อินพุท ($X_o \ldots X_{M-1}$) และมีเอาท์พุท N เอาท์พุท ($Y_o \ldots Y_{N-1}$) เมื่อป้อนรหัสไบนารีเข้าทางอินพุท เอาท์พุทที่ได้ก็จะให้รหัสอย่างหนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาท์พุทจึงเสมือนกับว่าเป็นหน่วยความจำชนิดหนึ่งที่เก็บข้อมูลไว้ภายในแล้ว เมื่อป้อนอินพุทเข้ามาอย่างหนึ่ง เอาท์พุทที่เก็บไว้ภายในจึงปรากฏออกมา ดังนั้นจึงเรียกวงจรชนิดนี้ว่า รอม ซึ่งเป็นคำย่อของคำว่า read only memory ไอซีรอมมีการใช้กันมาก แต่ในบางครั้งมักจะไม่เรียกรอม แต่เรียกเป็นตัวถอดรหัสแทน เช่น วงจรเปลี่ยนรหัสไบนารีเป็นรหัสภาคแสดงเจ็ดส่วน เพื่อใช้ขับภาคแสดงในลักษณะตัวเลขที่สามารถอ่านได้ทันที

5. <u>ระบบซีเควียนเชียล</u>

ในระบบซีเควียนเชียล[9] (sequential system) ที่ใช้ทางด้านดิจิตอลนั้นมีข้อแตกต่างกับวงจรในระบบคอมไบเนชั่น และที่เด่นชัดที่สุดก็คือ วงจรซีเควียนเชียลจะต้องมีการทำงานที่ขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกาหรือเวลานั่นคือ ทุกครั้งของการทำงานของวงจรซีเควียนเชียลจะขึ้นอยู่กับการทริก (triggered) ด้วยพัลส์ (pulse) โดยปกติการทำงานของวงจรเหล่านี้จะอาศัยฟลิบฟลอบเป็นสำคัญ

5.1 <u>ฟลิบฟลอบ</u>[6,8] อุปกรณ์ที่สำคัญและใช้กันมากอย่างหนึ่ง นอกจากวงจรเกทเบื้องต้นแล้วได้แก่ฟลิบฟลอบ ทั้งนี้เพราะฟลิบฟลอบเป็นเสมือนตัวเก็บเลขไบนารี โดยฟลิบฟลอบหนึ่งตัวสามารถเก็บตัวเลขได้ 1 บิท นอกจากชื่อฟลิบฟลอบแล้วยังมีชื่อเรียกเป็นอย่างอื่นได้อีก เช่น

i 17005693

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

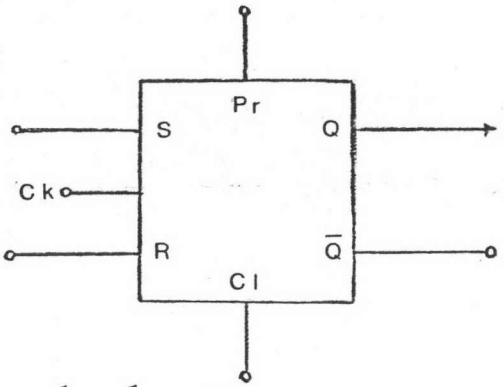
ไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์แลทช์ (bistable multivibrator latch) เป็นต้น

5.1.1 เอส-อาร์ฟลิบฟลอบ[6] (S - R flip flop) เป็นฟลิบฟลอบที่ทำงานภายใต้การควบคุมของสัญญาณนาฬิกา สัญญลักษณ์ที่ใช้เขียนแทนวงจรฟลิบฟลอบแสดงดังรูปที่ 3.8 อินพุท S และ R คือ เซทและรีเซท (set and reset) เป็นอินพุทที่ใช้สำหรับควบคุมสถานะของเอาท์พุท แต่การทำงานของวงจรยังต้องขึ้นกับสัญญาณนาฬิกาอีกด้วย

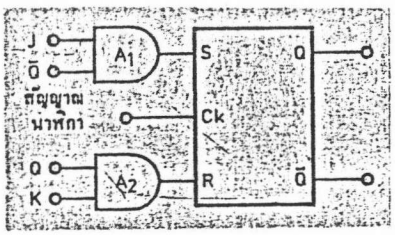
การทำงานของฟลิบฟลอบมีได้สองแบบตามลักษณะของสัญญาณนาฬิกา คือ สัญญาณนาฬิกาจะเป็นตัวทริกการทำงานซึ่งอาจจะทริกทางด้านขอบพัลส์ขาขึ้น (leading edge) หรือด้านขอบพัลส์ขาลง (tailing edge) นั่นคือ เมื่อสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจากลอจิก "0" ไป ลอจิก "1" หรือจาก ลอจิก "1" ไปลอจิก "0" นั่นเอง โดยปกติเอส-อาร์ฟลิบฟลอบอาจมีขาอินพุทเพิ่มขึ้นอีกสองขาคือ พรีเซท (preset) และเคลียร์ (clear) ซึ่งขาอินพุททั้งสองจะควบคุมการทำงานโดยไม่เกี่ยวข้องกับสัญญาณนาฬิกาเลย ในภาวะปกติอินพุททั้งสองนี้จะต้องอยู่ในสภาวะลอจิก "1" และถ้าหากขาอินพุทเคลียร์อยู่ในสภาวะลอจิก "0" มันจะทำให้เอาท์พุท Q อยู่ในสภาวะลอจิก "0" ในทำนองเดียวกันถ้าหากขาอินพุทรีเซทอยู่ในสภาวะ "0" จะทำให้เอาท์พุทอยู่ในสภาวะลอจิก "1"

5.1.2 เอส-อาร์ มาสเตอร์ สเลฟฟลิบฟลอบ[6] (S - R master - slave flip - flop) เมื่อนำฟลิบฟลอบสองตัวมารวมกันเป็นฟลิบฟลอบตัวเดียว การทำงานของฟลิบฟลอบแบบนี้จะอาศัยการเปลี่ยนสภาวะของสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจากลอจิก "1" ไปเป็นลอจิก "0" โดยขณะแรกลอจิกของสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจาก "0" ไปเป็น "1" จะทำให้มีการเปลี่ยนข้อมูล Q หรือเก็บข้อมูลไว้ในฟลิบฟลอบตัวแรก และในขณะการเปลี่ยนสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจากลอจิก "1" ไปเป็นลอจิก "0" ฟลิบฟลอบตัวหลังจะทำการเปลี่ยนเอาท์พุท

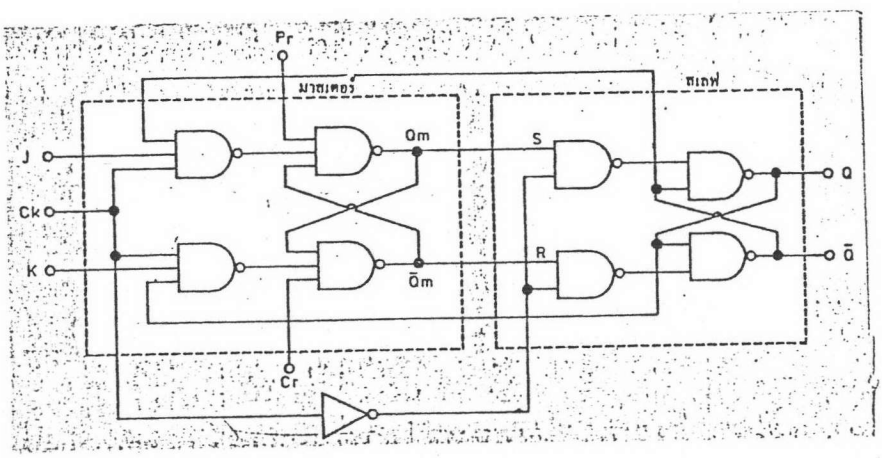
5.1.3 คอมพลีเมนท์ ฟลิบฟลอบ[6] (complement flip - flop) ฟลิบฟลอบชนิดนี้มีอินพุทเพียงอินพุทเดียว พัลส์ที่ป้อนเข้าที่อินพุททำให้เอาท์พุทของวงจรเปลี่ยนสถานะ ถ้าเดิมมีสถานะเป็นลอจิก "1" ก็จะเปลี่ยนเป็นลอจิก "0" หรือถ้าเดิมเป็นลอจิก "0" ก็จะเปลี่ยนเป็นลอจิก "1" สรุปคือฟลิบฟลอบแบบนี้จะเปลี่ยนสถานะที่เอาท์พุททุก ๆ ครั้งที่อินพุทเปลี่ยนสถานะสองครั้ง



รูปที่ 3.8 สัญญลักษณ์ อาร์ เอสฟลิปฟลอบ



รูปที่ 3.9 โครงสร้างของ เจ เคฟลิบฟลอบ



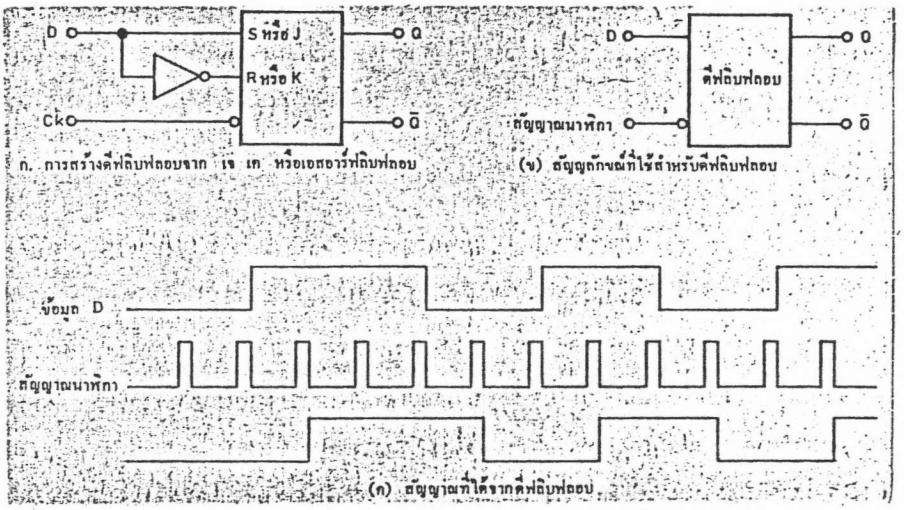
รูปที่ 3.10 วงจร เจ เคมาส เตอร์ส เลฟฟลิบฟลอบ

5.1.4 เจเค ฟลิบฟลอบ[6,7] (J-K flip - flop) โครงสร้างของเจเคฟลิบฟลอบก็คือ เอสอาร์ฟลิบฟลอบที่เพิ่ม AND เกท A_1 และ A_2 ดังรูปที่ 3.9 โดยอินพุทของ AND เกทแต่ละเกทจะมีอยู่สองอินพุท โดยเกท A_1 จะมีอินพุท J และการป้อนกลับจาก $\bar{Q}$ มาเป็นอินพุทด้วย ส่วนเกท A_2 มีอินพุท K และการป้อนกลับจากเอาท์พุท Q มาเป็นอินพุทของเกท A_2 นั่นคือ $S = J.\bar{Q}$ และ $R = K.Q$ การทำงานของวงจรยังขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกา หรือกล่าวได้ว่าเอาท์พุทจะเปลี่ยนสถานะได้จะต้องขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกา

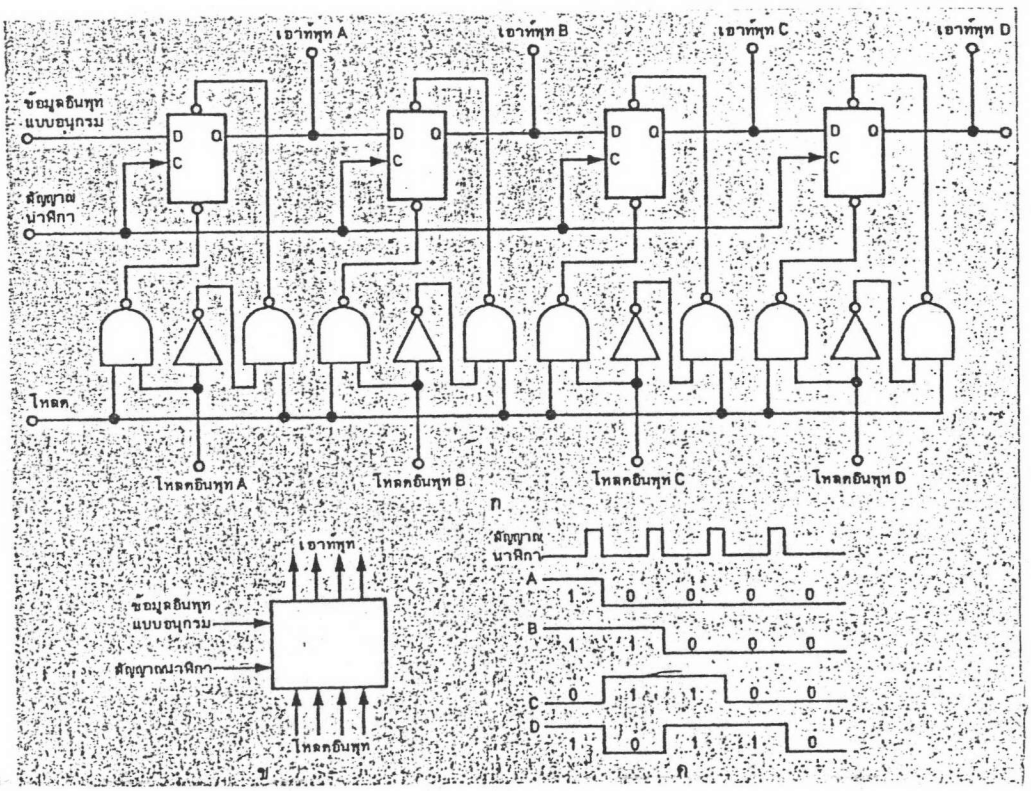
5.1.5 เจเค มาสเตอร์สเลฟ ฟลิบฟลอบ[7] (J-K master - slave flip - flop) ตามรูปที่ 3.10 เป็นรูปวงจรที่ประกอบเป็นเจเคมาสเตอร์สเลฟ ฟลิบฟลอบ มี NAND เกทที่ต่อป้อนกลับจากเอาท์พุทของตัวสเลฟมายังอินพุทของตัวมาสเตอร์ เมื่อสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้ามายังตัวมาสเตอร์ ตัวมาสเตอร์จะทำงานตามลักษณะของเจเคฟลิบฟลอบและแยกออกจากตัวสเลฟ เพราะสัญญาณนาฬิกาจะผ่านอินเวอร์เตอร์ ทำให้ส่วนของสเลฟไม่ทำงาน ถ้าขา $\overline{Pr} = 1$, $Cr = 1$ และ $Ck = 1$ และเนื่องจากตัวสเลฟยังไม่ทำงาน อินพุทที่มาจากการป้อนกลับจากเอาท์พุท Q และ $\bar{Q}$ ของตัวสเลฟจึงยังไม่ทำงาน เอาท์พุทของตัวมาสเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามอินพุท ครั้นเมื่อสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจากลอจิก "1" ไปเป็นลอจิก "0" วงจรสเลฟจะทำงานโดยการรับเอาข้อมูลจากเอาท์พุทของตัวมาสเตอร์ส่งไปเป็นเอาท์พุทของตัวสเลฟและตัวมาสเตอร์จะไม่มีผลต่อสัญญาณเข้าที่อินพุท ดังนั้นเอาท์พุท Q และ $\bar{Q}$ จะเปลี่ยนแปลงในขณะที่สัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนแปลงระดับจากลอจิก "1" มาเป็นลอจิก "0"

5.1.6 ดี ฟลิบฟลอบ[6] (D - flip - flop) เมื่อต้องการหน่วงสัญญาณดิจิตอลไปหนึ่งช่วงสัญญาณนาฬิกา วงจรดีฟลิบฟลอบมีลักษณะสำคัญที่ให้คุณสมบัติการหน่วงสัญญาณได้ตัววงจรของดีฟลิบฟลอบได้ดัดแปลงเพิ่มเติมมาจากเจเคฟลิบฟลอบ หรือเอสอาร์ ฟลิบฟลอบ นั่นเอง

ลักษณะพิเศษของดีฟลิบฟลอบก็คือการหน่วงเวลาสัญญาณดิจิตอลไปหนึ่งพัลส์ ดังรูปที่ 3.11 ถ้าพิจารณาจากวงจร กรณีที่ $D = 0$ ขา $S = 0$ และ R เป็นลอจิก "1" ดังนั้นเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเป็นพัลส์ป้อนเข้ามา ครั้นหลังจากพัลส์นาฬิกาไปแล้วข้อมูล Q จะเท่ากับ D คือเป็นลอจิก "0" ($S = 0$, $R = 1$ หรือ $J = 0$, $K = 1$) ในทำนองเดียวกันถ้า D เป็นลอจิก "1" และพัลส์ตัวใหม่ผ่านไป ข้อมูลที่ Q ก็จะเป็น "1" ตาม



รูปที่ 3.11 การทำงานของดีฟลิปฟลอบ



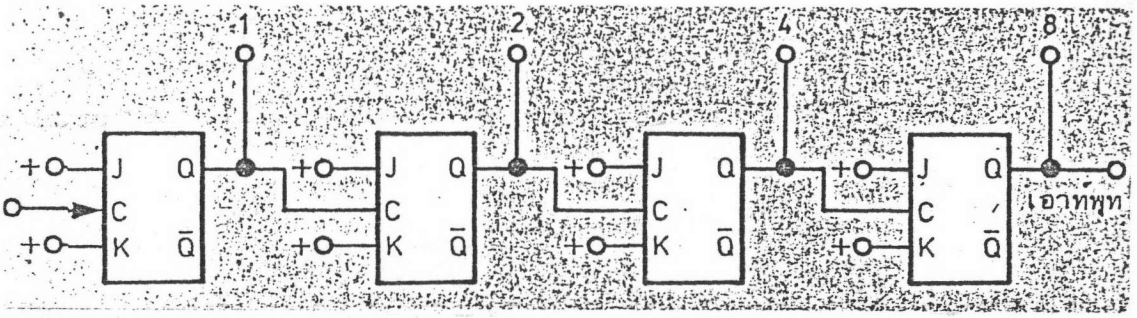
รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของชิฟท์รีจิสเตอร์

การใช้งานของดี ฟลิบฟลอบในวงจรแลทช์ (latch) ข้อมูลบางครั้งอาจจะเปลี่ยนแปลงเช่น วงจรที่ใช้วัดแรงดันแล่ดงผลเป็นตัวเลขซึ่งค่าที่วัดได้เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่บางครั้งอาจจะต้องให้การแล่ดงมาค้างอยู่ การคงค่าที่เอาท์พุทจะคงค่าอยู่หลังจากที่มีพัลส์ป้อนเข้าทางขา Ck โดยเมื่อผ่านพัลส์นี้ไปแล้ว ถ้าแม้ว่าจะป้อนค่าเข้ามาใหม่ที่อินพุท เอาท์พุทจะคงค่าไม่เปลี่ยนแปลง ครั้นมีพัลส์เข้ามาใหม่ทางขา Ck ข้อมูล Q ก็จะเปลี่ยนตามอินพุท D อีกครั้ง ลักษณะของวงจรชนิดนี้เรียกว่าวงจรแลทช์

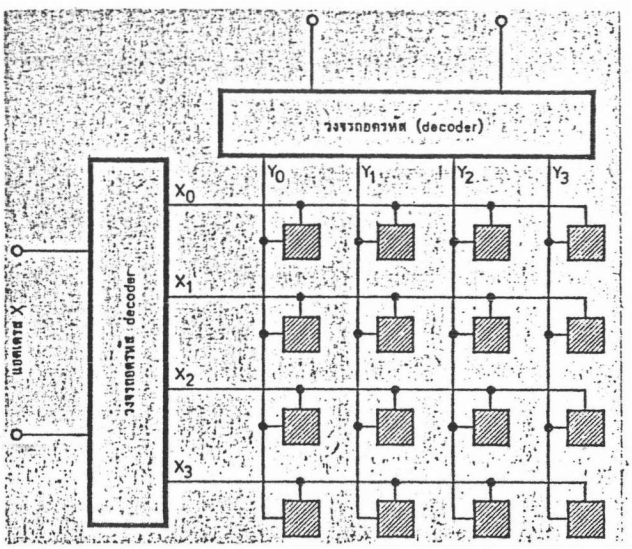
5.2 <u>ชิฟท์รีจิล่เตอร์</u>[6,8] (shift register) วงจรรีจิล่เตอร์ที่ล่ามารถเลื่อนข้อมูลได้เรียกว่า ชิฟท์รีจิล่เตอร์ ดังรูปที่ 3.12 ก. ลักษณะของวงจรล่ามารถเลื่อนข้อมูลไปทางขวาได้ครั้งละ 1 บิท ล่ำหรับรูปที่ 3.12 ข. แล่ดงสัญญลักษณ์ที่ใช้แทนชิฟท์รีจิล่เตอร์ โดยปกติวงจรชิฟท์รีจิล่เตอร์จะประกอบด้วยวงจรฟลิบฟลอบเช่นกัน ข้อมูลที่จะโหลดเข้าไปไว้ในรีจิล่เตอร์ ตอนแรกล่ามารถนำเข้าได้ทางขา พรีเซท หลังจากนั้น ถ้าสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้ามาหนึ่งพัลส์ ข้อมูลก็จะเลื่อนไปทางขวา 1 บิท ในรูปที่ 3.12 ค. เป็นไดอะแกรมเวลาของการทำงานเมื่อชิฟท์รีจิล่เตอร์มีข้อมูลเก็บไว้ในตอนแรก คือ 1101 และเมื่อป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่อินพุท ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทเมื่อมีพัลส์ผ่านไปทีละพัลส์ โดยข้อมูลจะค่อย ๆ เลื่อนไปทีละ 1 บิท การทำงานโดยการเลื่อนข้อมูลไปทีละหนึ่งบิทจะเกิดขึ้นขณะที่สัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนล่ถานะจากลอจิก "1" ไปเป็นลอจิก "0"

5.3 <u>วงจรนับเลขไบนารี</u>[6,8] วงจรนับเป็นวงจรรีจิล่เตอร์ที่ประกอบด้วยฟลิบฟลอบซึ่งล่ามารถเก็บเลขไบนารีได้ แต่วงจรนับมีข้อแตกต่างคือ เมื่อมีสัญญาณพัลส์เข้ามาที่อินพุทตัววงจรนับจะเพิ่มค่าขึ้นทีละหนึ่ง ถ้าเป็นวงจรนับชนิด 4 บิท ก็จะเริ่มตั้งแต่ค่า 0000 จนถึง 1111 แล้วกลับมาเป็น 0000 ใหม่อีก เพราะไม่มีหลักทดต่อไป วงจรนับเลขไบนารีอาจจะได้รับการออกแบบโดยใช้ฟลิบฟลอบแยกเป็นตัว ๆ ดังรูปที่ 3.13 หรือใช้วงจรไอซีที่เป็นวงจรนับโดยตรง ถ้ามีพัลส์ k พัลส์เข้าที่อินพุท ค่าของตัวเลขที่เอาท์พุทเมื่อนับจากศูนย์มาก็จะแล่ดงค่า k ซึ่งเป็นเลขไบนารี โดยปกติลักษณะของการนับจะนับเมื่อมีการเปลี่ยนล่ถานะของสัญญาณนาฬิกา โดยปกติจะให้สัญญาณพัลส์ทริกการทำงาน เมื่อเปลี่ยนล่ถานะจากลอจิก "1" มาเป็นลอจิก "0" หรือเรียกว่า ขอบพัลส์ขาลง

5.4 <u>วงจรนับลิบ</u>[6,8] โดยปกติตัวเลขที่เข้าใจกันทั่ว ๆ ไปคือ ตัวเลขฐานลิบ



รูปที่ 3.13 วงจรนับเลขไบนารี



รูปที่ 3.14 การนำเอาวงจรถอดรหัสมาใช้ในแรม
และการจัดตำแหน่งเซลหน่วยความจำ

แต่ระบบตัวเลขที่ใช้ในทางดิจิตอลเป็นตัวเลขฐานสอง ดังนั้นจึงต้องมีลักษณะวงจรนับที่โปรแกรมการนับให้นับได้ถึงสิบ ดังนั้นตัววงจรนับต้องสามารถพรีเซทตัวเองให้วงจรสามารถนับเป็นรหัสบีซีดี ลักษณะของการนับแบบนี้จึงต้องมีการป้อนกลับมาเคลียร์เอาท์พุทเมื่อนับถึงสิบหรือเมื่อนับ 0, 1, ...9 หลังจาก 9 แล้ว วงจรนับต้องแสดงค่าเป็น 0 วงจรนับชนิดนี้จึงต้องมีเอาท์พุท 4 ตัว ที่แสดงตัวเลขเป็นรหัสไบนารีบีซีดี

6. หน่วยความจำ

"แรม" (RAM) เป็นคำย่อของคำว่า แรนดัม แอกเซส เมโมรี (random access memory) หมายถึงหน่วยความจำอย่างหนึ่งที่สามารถเรียกข้อมูลที่ตำแหน่งใด ๆ ออกมาแสดงผลได้โดยไม่ต้องเรียงลำดับตำแหน่ง ดังนั้น การเรียกข้อมูลที่ทุกข้อมูลมีโอกาสเท่ากัน ซึ่งผิดกับชิฟท์รีจิสเตอร์ที่การเรียกข้อมูลนั้นจะต้องเรียกเรียงกันออกมา ช่วงเวลาในการนำข้อมูลเข้าไปไว้ยังตำแหน่งต่าง ๆ ของแรมจึงเป็นช่วงเวลาที่มีค่าเท่าเสมอกันทุกตำแหน่ง

6.1 โวลาไทล์และนอนโวลาไทล์[10] (volatile and non - volatile) โวลาไทล์ มีความหมายที่เกี่ยวข้องกับหน่วยความจำที่ทำงานขึ้นกับแรงดันไฟเลี้ยงในวงจร ถ้าแรงดันไฟเลี้ยงหายไป ข้อมูลที่หน่วยความจำเก็บไว้จะหายไปหมดสิ้น ส่วนหน่วยความจำชนิดนอนโวลาไทล์ ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่ขึ้นกับแรงดันไฟเลี้ยงวงจร ถ้าไฟเลี้ยงหายไป ข้อมูลที่เก็บไว้ก็ยังไม่หายไป

6.2 โครงสร้างของแรม[7] แรมที่เก็บข้อมูลได้นั้นมีวงจรพื้นฐานเป็นวงจรฟลิบฟลอบเมื่อนำมาประกอบเป็นหน่วยความจำขนาดใหญ่จะอาศัยโครงสร้างลักษณะตาราง ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งเป็นแรมที่มีหน่วยความจำขนาด 16 เซล (cell) ถ้าต้องการอ่านหรือเขียนแต่ละเซลก็กำหนดตำแหน่งด้วยสัญลักษณะของแถวและคอลัมน์ (column) ให้ X เป็นแถว และ Y เป็นคอลัมน์ เซลที่ 1 จึงมีแอดเดรสที่กำหนดด้วยแถว X_0 และคอลัมน์ Y_0 ถ้าเป็นเซลเลขที่ 11 ก็กำหนดด้วยแถว X_2 และคอลัมน์ Y_2 การกำหนดตำแหน่งด้วยแถวและคอลัมน์เป็นวิธีที่ดี แต่ถ้าแรมมีขนาดใหญ่ขึ้น จะต้องใช้ X และ Y เป็นจำนวนมาก จึงต้องอาศัยวงจรถอดรหัสมาช่วยในการลดขาแอดเดรสลง