10301112 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

บทที่ 4: ตัวดำเนินการทางดิจิทัล และวงจร

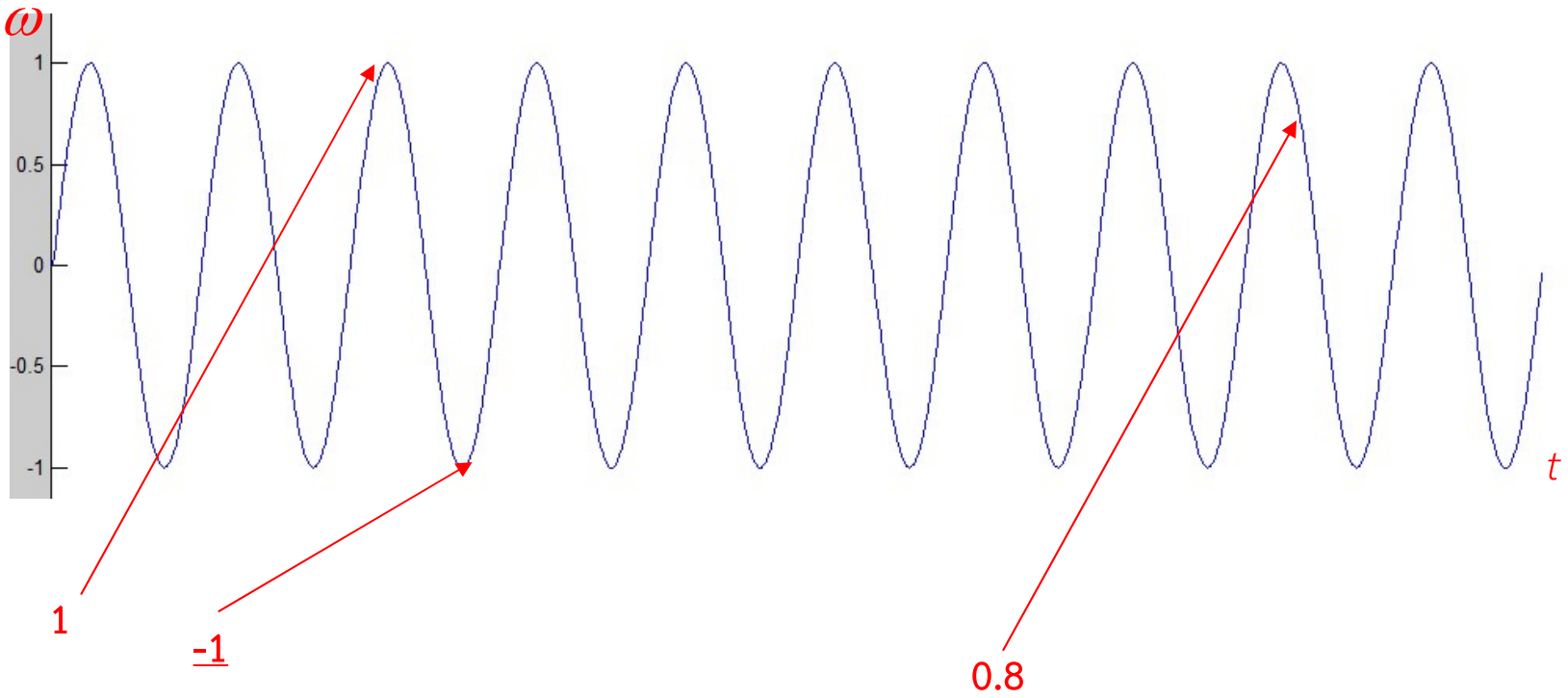
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณ เขื่อนแก้ว

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

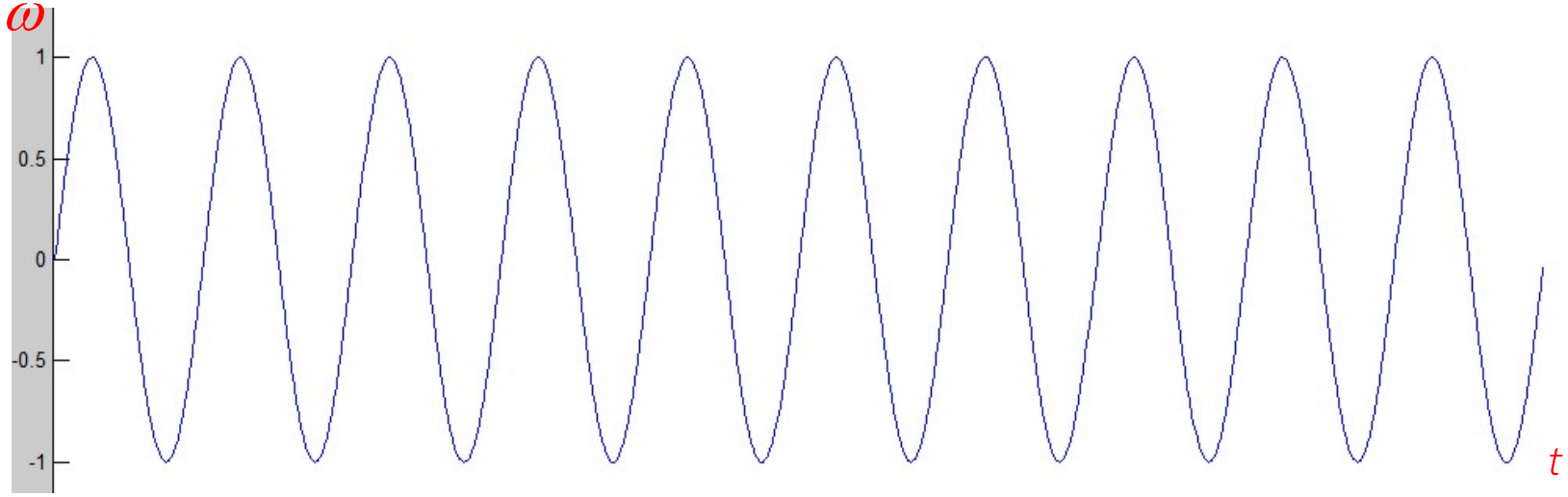
สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

เป็นการแทนค่าของสัญญาณอย่างง่าย โดยจะแทนค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของข้อมูล มีความต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่มีค่าสูงจะแทนด้วยแรงดันสูง และข้อมูลที่มีค่าต่ำ จะแทนด้วยแรงดันต่ำ เป็นต้น

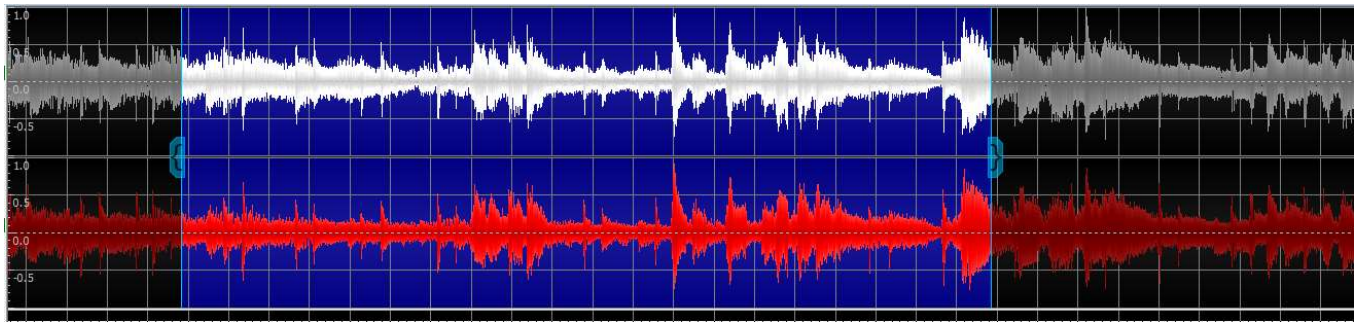


สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

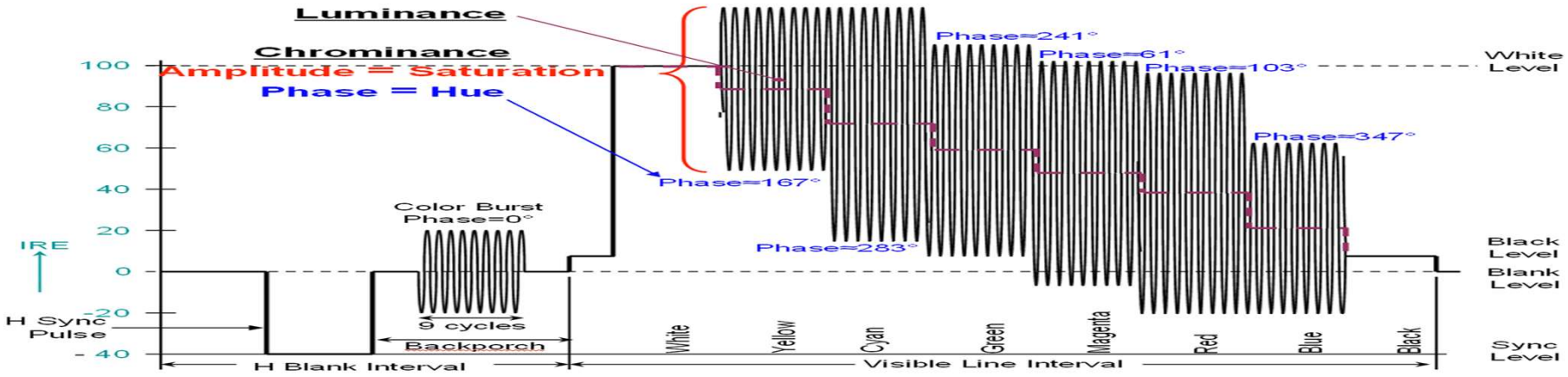
ข้อดี: ใช้งานง่าย วงจรไม่ซับซ้อน ใช้พื้นที่ในการบันทึกน้อย

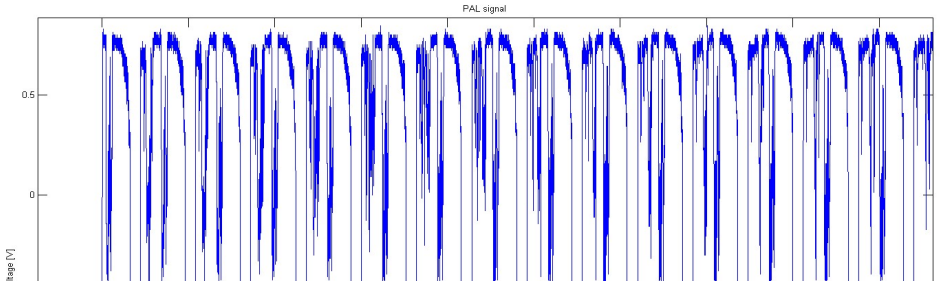


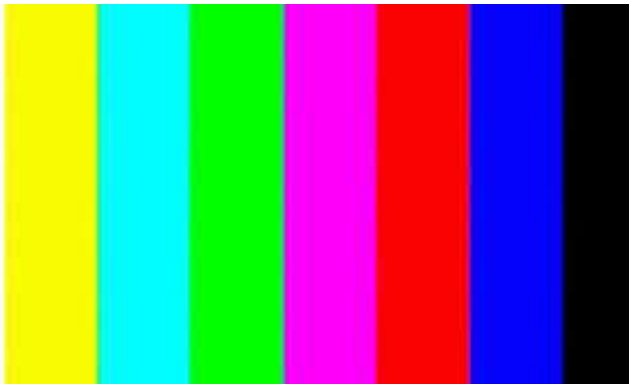
ตัวอย่างสัญญาณแอนะล็อกในทางไฟฟ้า (Electrical Analog Signal)

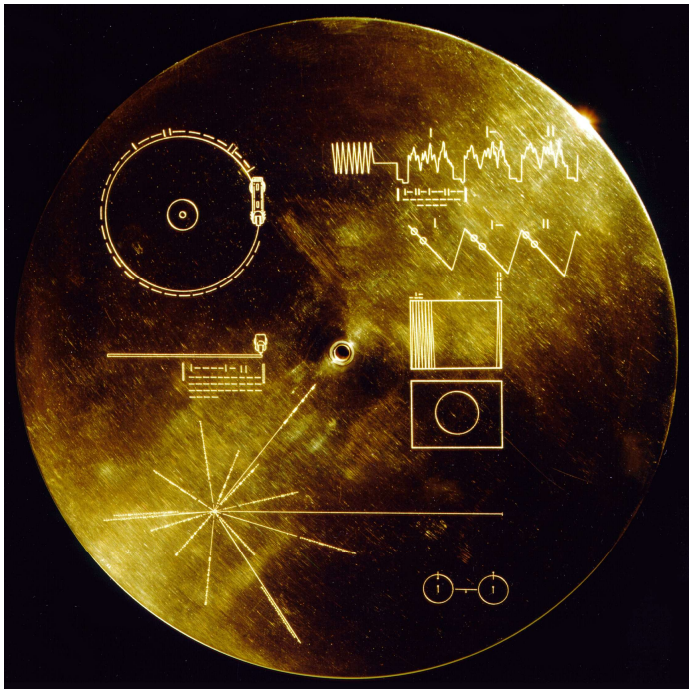


ตัวอย่างสัญญาณแอนะล็อกในทางไฟฟ้า (Electrical Analog Signal)



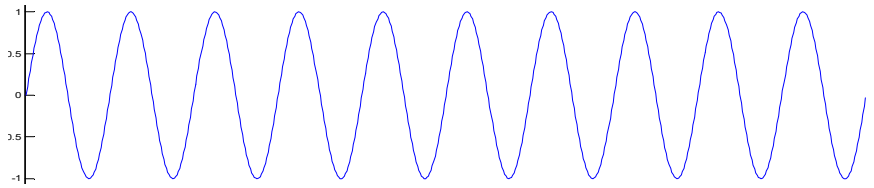




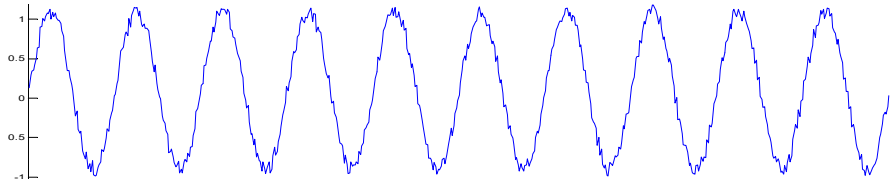


สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

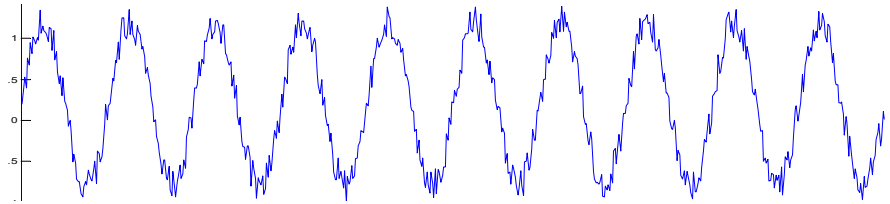
ข้อเสีย: ไม่ทนต่อสัญญาณรบกวน



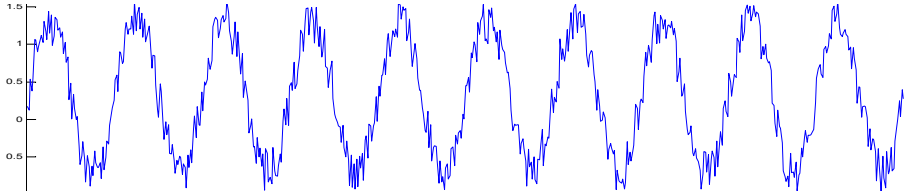
ไม่มีสัญญาณรบกวน



มีสัญญาณรบกวน 20%



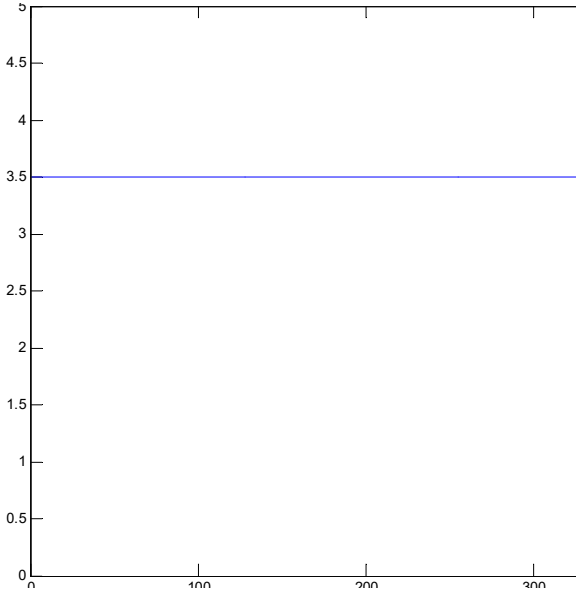
มีสัญญาณรบกวน 40%

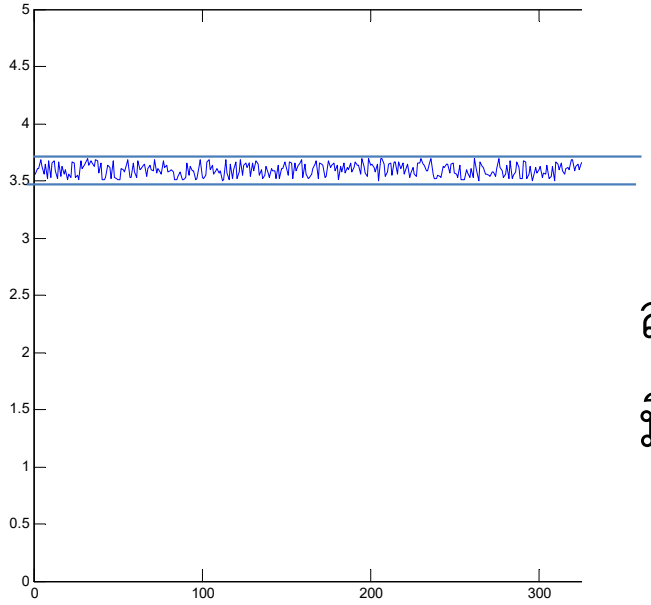


มีสัญญาณรบกวน 60%

สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

สัญญาณแอนะล็อกจะแทนข้อมูลได้ละเอียดที่สุดเท่าใด ?





สัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 V

มีสัญญาณรบกวน ±0.2 V

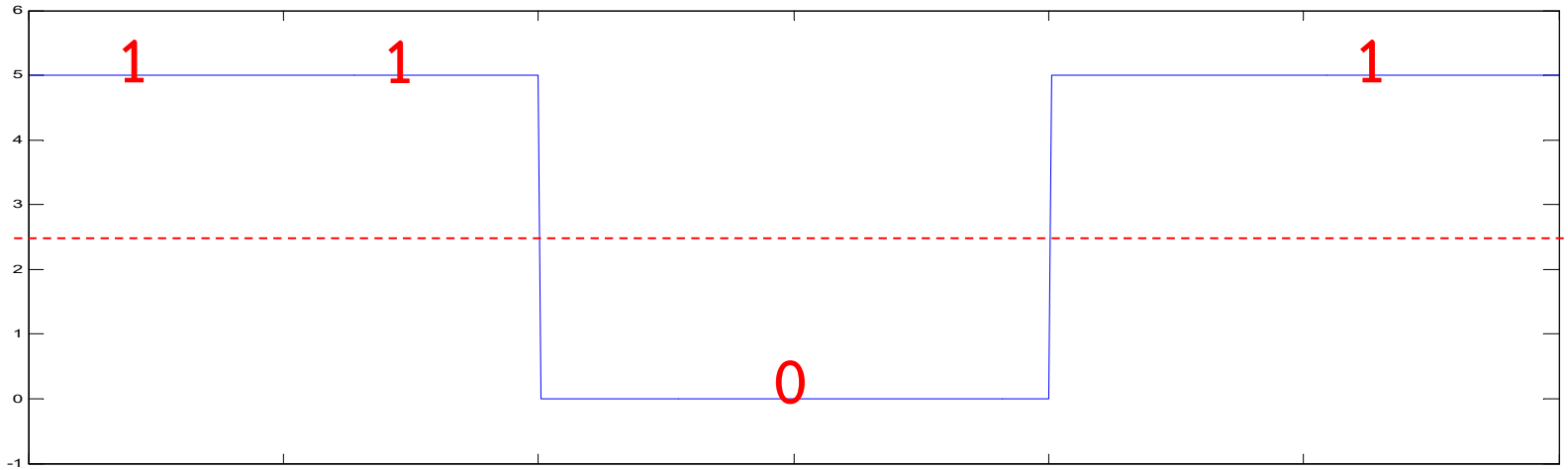
สัญญาณนี้สามารถแทนข้อมูลได้ไม่เกิน $\frac{5}{0.2} = 25$ รูปแบบ

ความละเอียดในการแทนสัญญาณถูกจำกัดด้วยปริมาณของสัญญาณรบกวน

สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

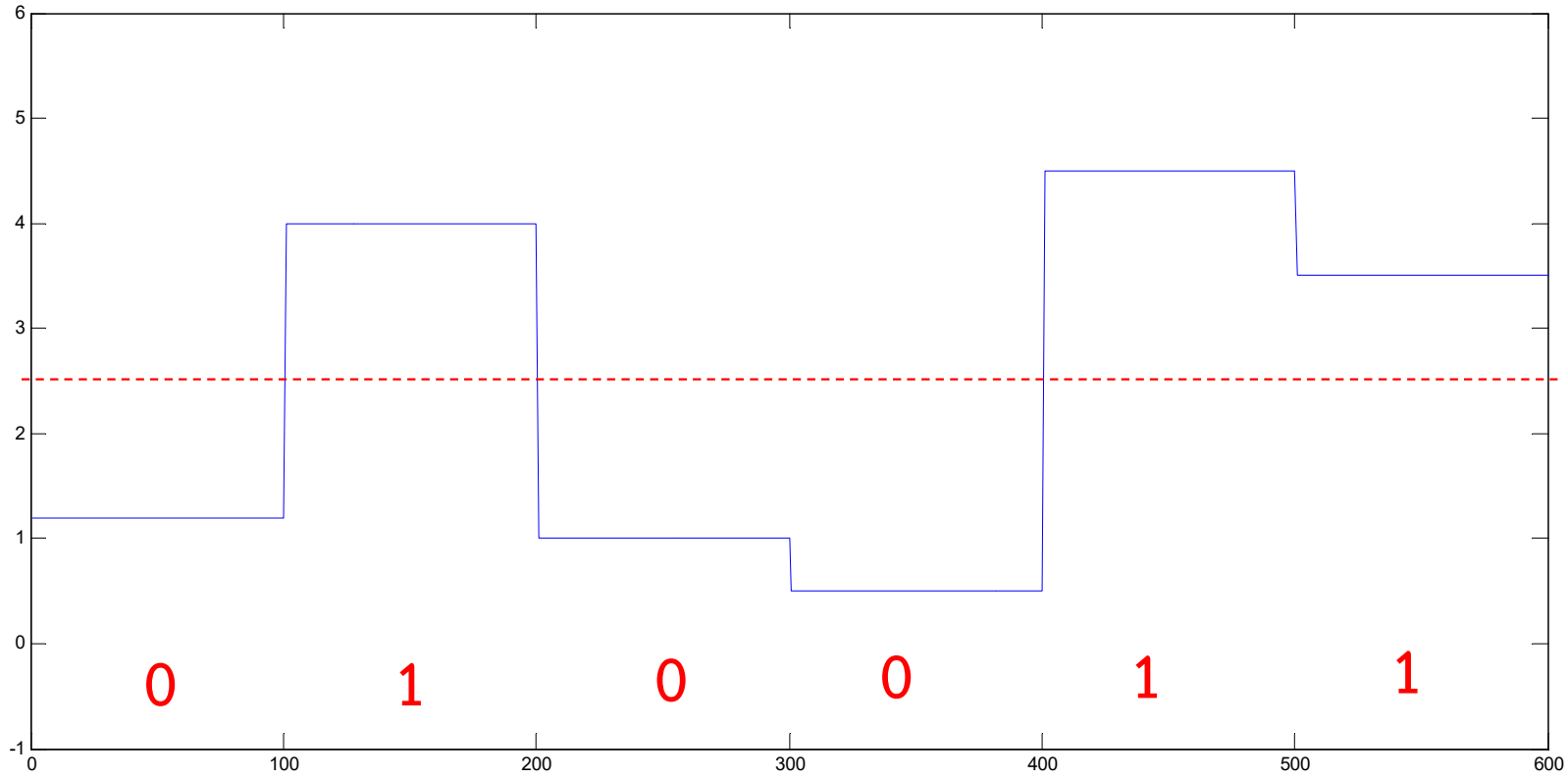
เป็นการแทนค่าของสัญญาณ โดยจะแทนค่าเป็นจำนวนตัวเลข แทนค่าของข้อมูล โดยใช้ตัวเลขเพียง 2 ค่าคือ “0” และ “1” เท่านั้น ระดับของสัญญาณจะถูกแบ่งเป็นช่วงอย่างชัดเจน ไม่มีความต่อเนื่อง

มักนิยมแทน “0” และ “1” ด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่มีระดับความแรงแตกต่างกันอย่างมาก ตัวอย่างเช่น 0 - 2.5 V แทน “0” และ >2.5 – 5V แทน “1”เป็นต้น



สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

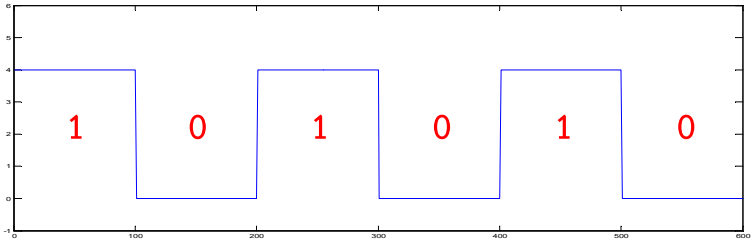
ข้อดี: ทนทานต่อสัญญาณรบกวน



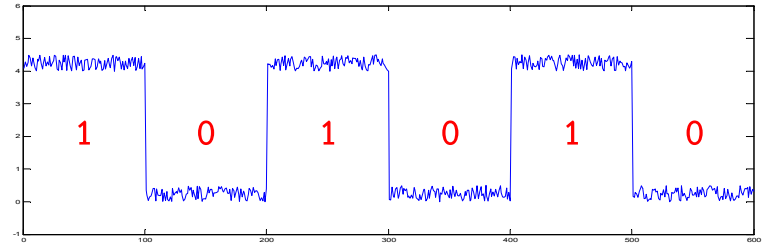
สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

ข้อดี: มีความแม่นยำ

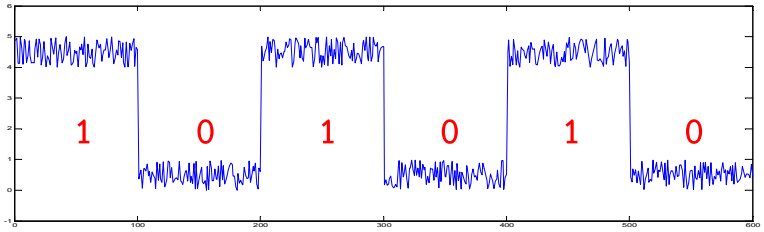
สามารถสร้างใหม่ได้ทุกครั้ง จึงทำสำเนาได้ไม่จำกัด



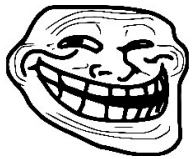
ไม่มีสัญญาณรบกวน

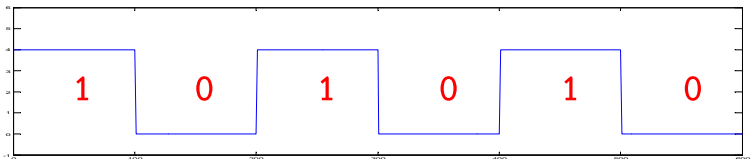


มีสัญญาณรบกวน 0.5V



มีสัญญาณรบกวน 1 V





สามารถทำซ้ำได้เหมือนเดิม

สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

สัญญาณดิจิทัลจะแทนข้อมูลได้ละเอียดที่สุดเท่าใด ?

โดยทฤษฎีแล้ว ความละเอียดในการแทนข้อมูลนั้นไม่มีข้อจำกัด เนื่องจากสามารถกำหนดได้เองในการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

1) สุ่ม (Sampling)

2) แบ่งนับ (Quantization)

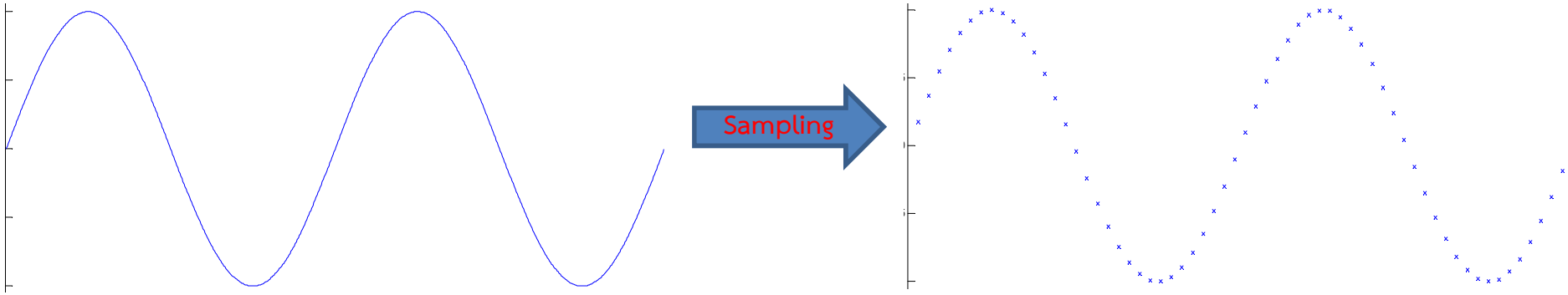
3) เข้ารหัส (Coding)

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

1) สุ่ม (Sampling)

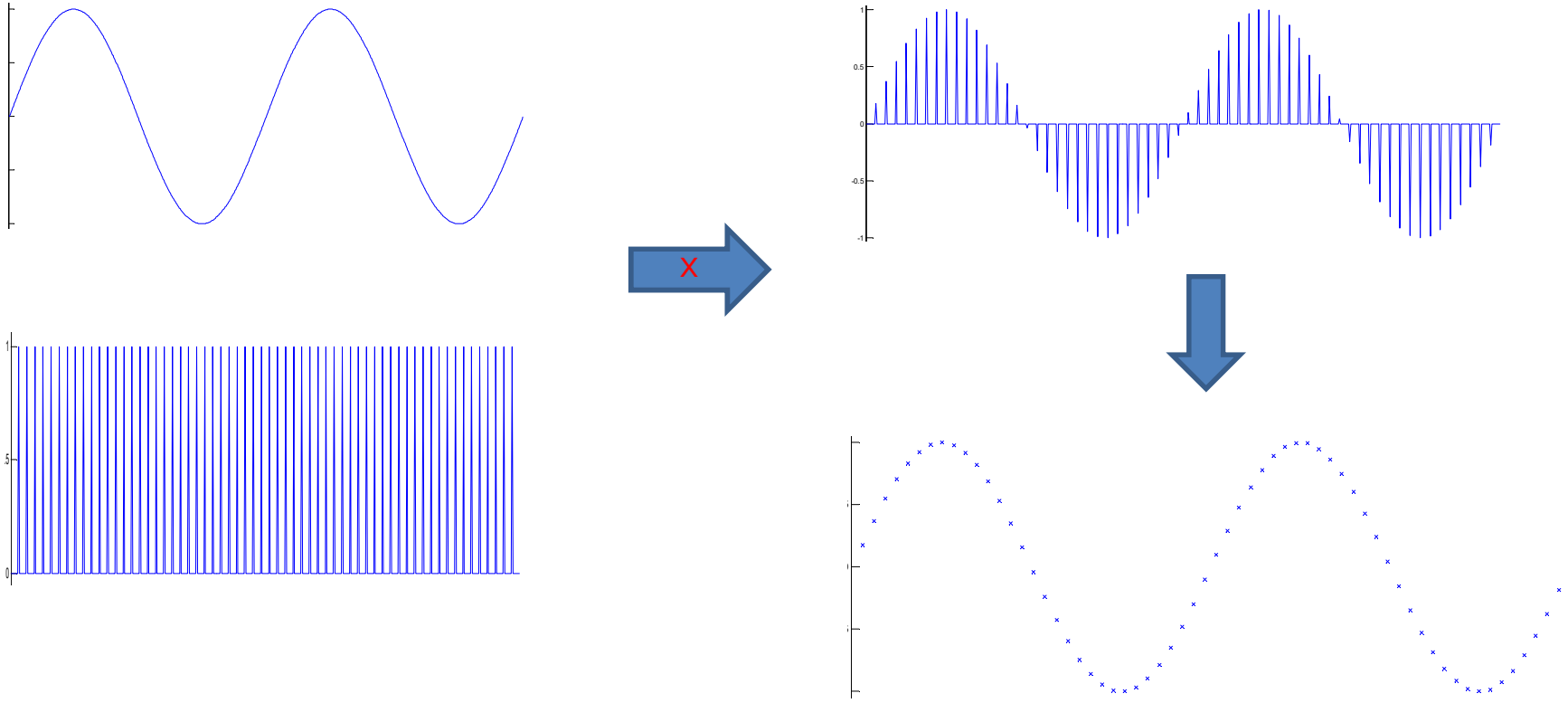
การสุ่มคือการเลือกหยิบสัญญาณขึ้นมาในหน่วยเวลาที่กำหนด ตัวอย่างเช่น สุ่มหยิบสัญญาณขึ้นมา 1 ตัวอย่างในทุกๆ 1 วินาที มักนิยมระบุเป็นความถี่ Fs

ตัวอย่างเช่น Fs= 100 Hz หมายถึง ใน 1 วินาทีให้ทำการสุ่มหยิบสัญญาณมาจำนวน 100 ตัวอย่าง

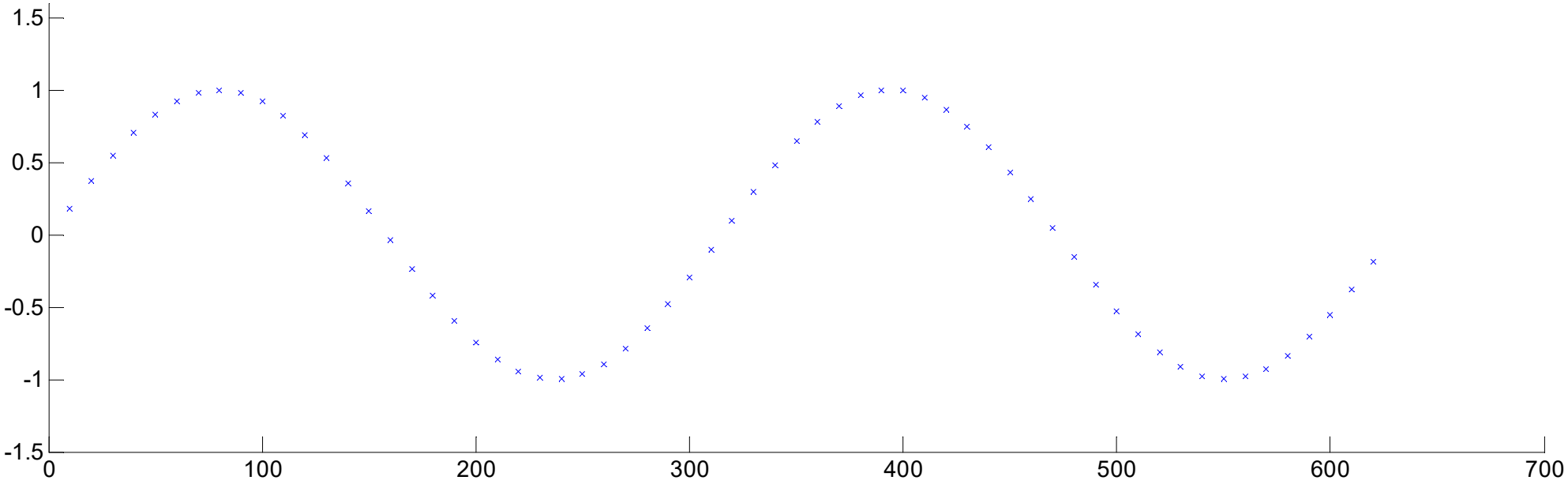


การสุ่มแบบ Pulse Code Modulation (PCM)

เป็นการสุ่มสัญญาณโดยสร้างสัญญาณ Pulse ที่มีความถี่คงนี่
แล้วนำเอาสัญญาณนั้นไปคูณกับ สัญญาณที่ต้องการสุ่ม



สัญญาณที่ได้จากการสุ่มจะเป็นสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่อง (Discreet Signal)



สัญญาณที่ได้ในขั้นตอนนี้ยังเป็นแบบแอนะล็อกอยู่

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

2) การแบ่งนับ (Quantization)

การแบ่งนับคือการแทนขนาดของสัญญาณด้วยตัวเลข รหัส หรือสัญลักษณ์ ความละเอียดของการแบ่งนับจะขึ้นอยู่กับจำนวนของบิต (Binary digit)

$$v = \left\lfloor \frac{v_i}{v_{ref}} \times (2^{bits} - 1) \right\rfloor$$

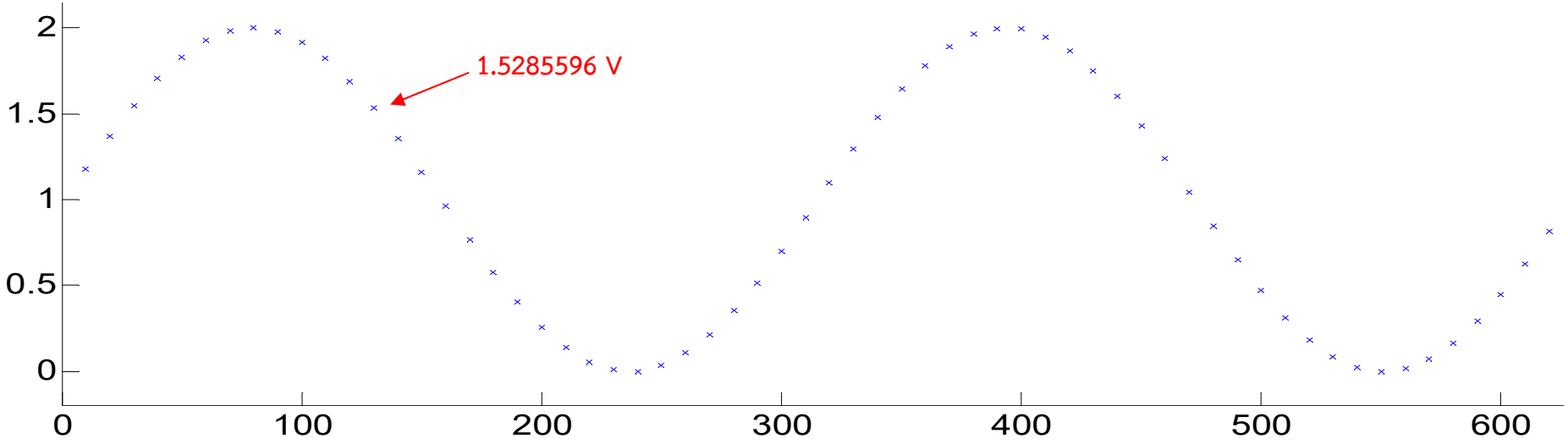
v คือ ค่าตัวเลขของสัญญาณไฟฟ้า

v_i คือ แรงดันที่รับเข้ามา

v_{ref} คือ แรงดันอ้างอิงสูงสุดและ

$bits$ คือ ความละเอียดของการแปลง หรือจำนวนบิตในการเข้ารหัส

การแบ่งนับ (Quantization)



$$v = \left\lfloor \frac{v_i}{v_{ref}} \times (2^{bits} - 1) \right\rfloor$$

v คือ ค่าตัวเลขของสัญญาณไฟฟ้า

v_i = 1.5285596

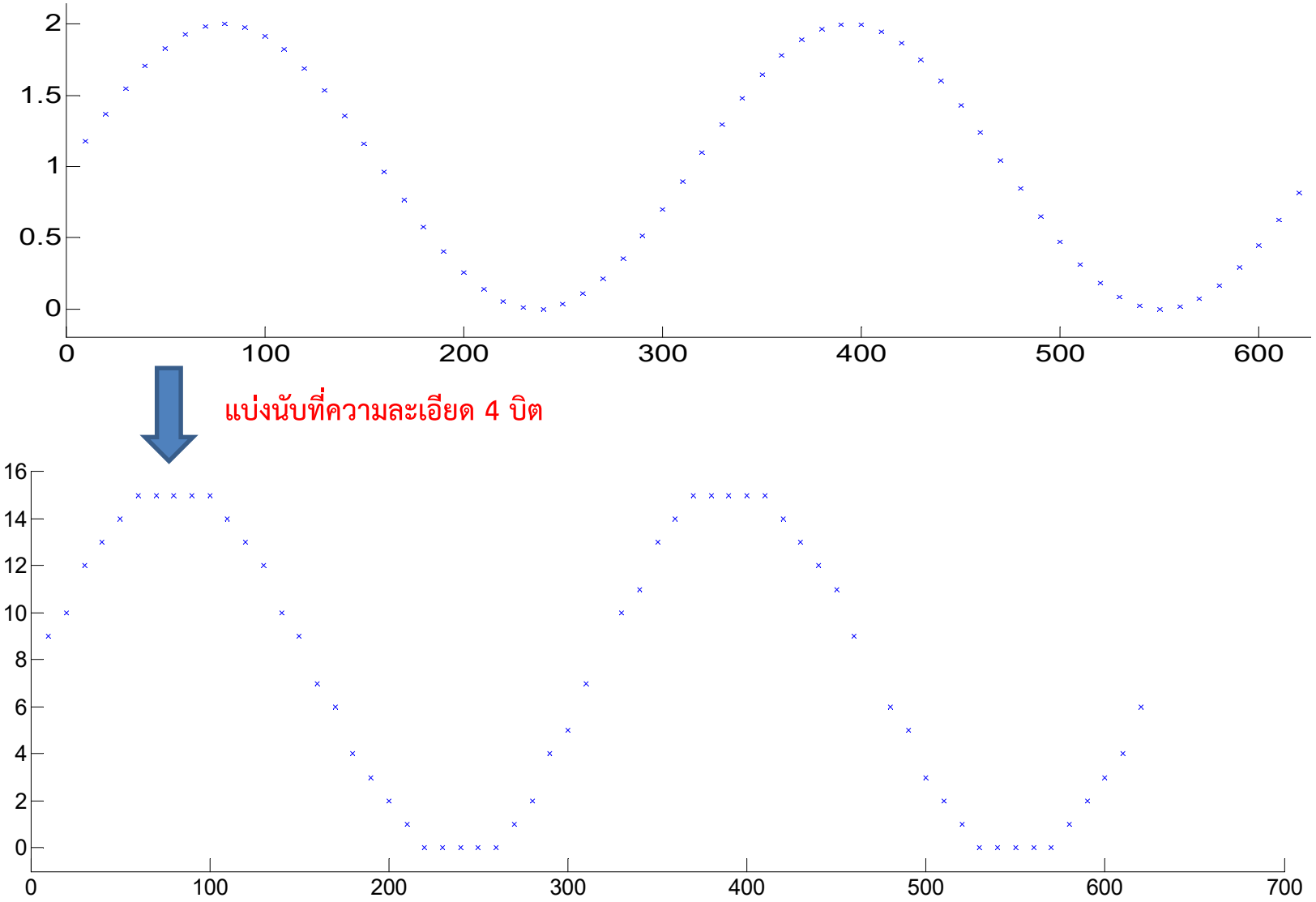
v_{ref} = 2

$bits$ = 4

$$v = \left\lfloor \frac{1.528559}{2} \times 2^4 - 1 \right\rfloor$$

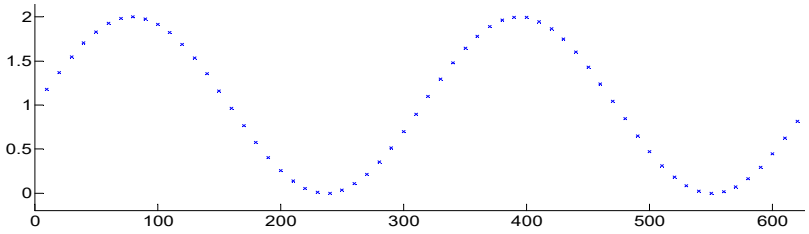
$$v = \lfloor 11.4642 \rfloor = 11$$

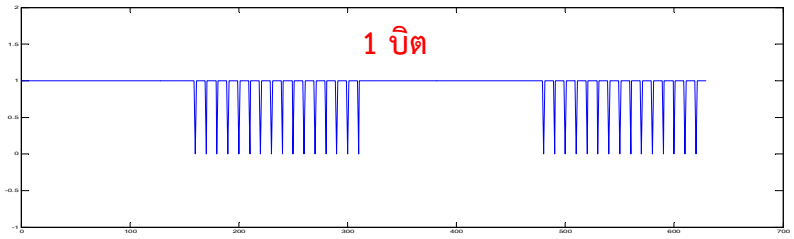
การแบ่งนับ (Quantization)

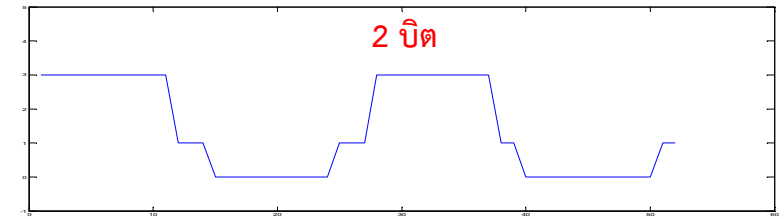


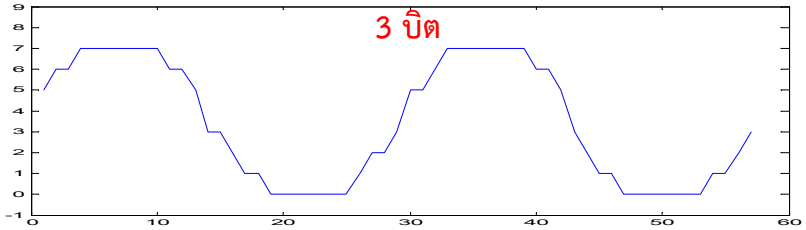
สัญญาณดิจิทัล

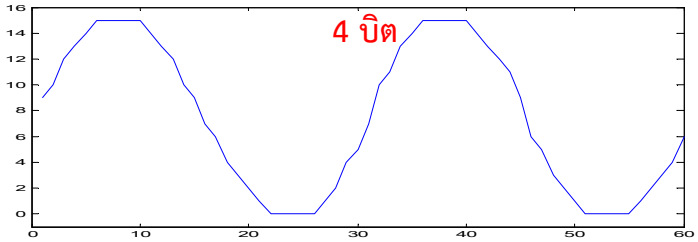
การแบ่งนับ (Quantization)

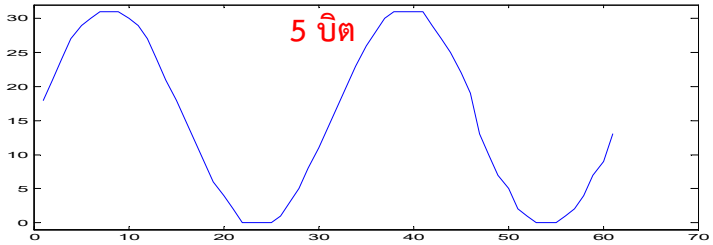


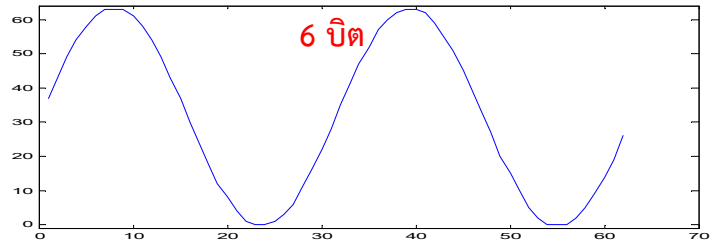


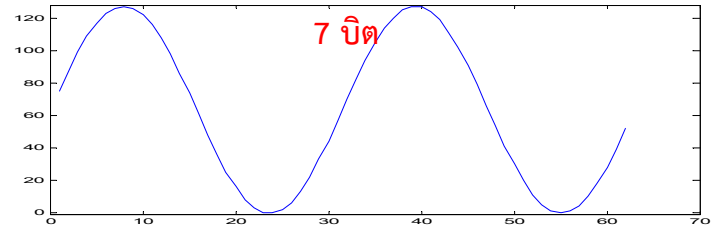




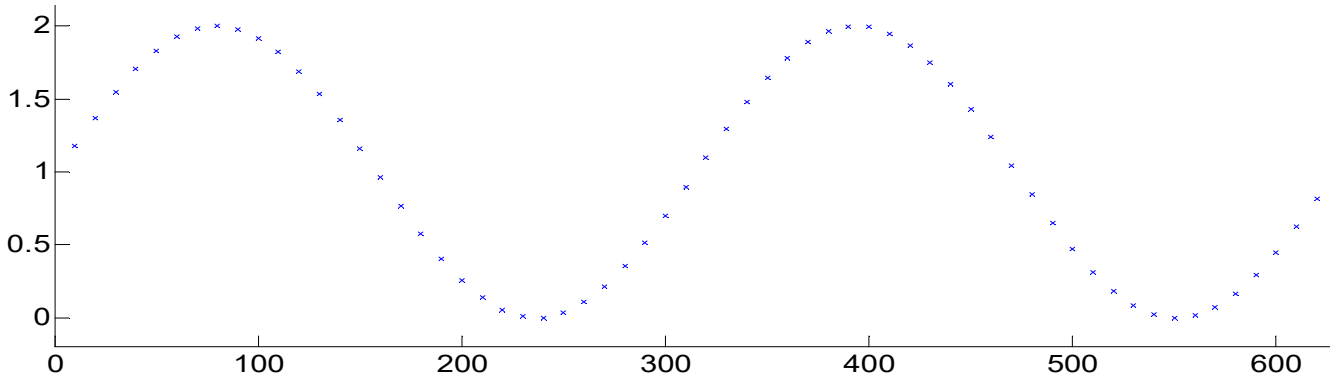








การแบ่งนับ (Quantization)



ข้อมูลที่ได้จากการแบ่งนับนั้นเป็นข้อมูลตัวเลข เป็นดิจิทัลแล้ว
แต่การจะนำข้อมูลนี้ไปใช้งาน ต้องทำการเข้ารหัสก่อน

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

3) เข้ารหัส (Coding)

การเข้ารหัสคือการเปลี่ยนข้อมูลตัวเลขให้อยู่ในรูปแบบของชุดเลขฐานสอง
ซึ่งมีหลายรูปแบบ โดยที่นิยมใช้คือรหัสแบบ เลขฐานสอง (Natural Binary Code) , Binary Coded Decimal (BCD) และรหัสแบบเกรย์ Gray Code

เลขฐาน 10	เลขฐานสอง	BCD	Gray
0	0000	0000 0000	0000
1	0001	0000 0001	0001
2	0010	0000 0010	0011
3	0011	0000 0011	0010
4	0100	0000 0100	0100
5	0101	0000 0101	0101
6	0110	0000 0110	0110
7	0111	0000 0111	0111
8	1000	0000 1000	1000
9	1001	0000 1001	1001

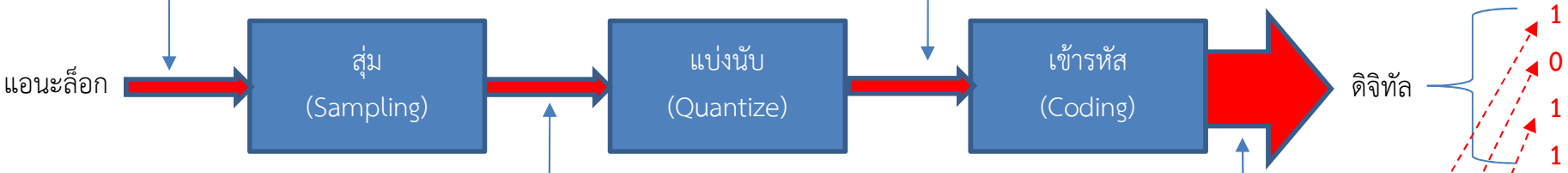
เลขฐาน 10	เลขฐานสอง	BCD	Gray
10	1010	0001 0000	1010
11	1011	0001 0001	1011
12	1100	0001 0010	1100
13	1101	0001 0011	1101
14	1110	0001 0100	1110
15	1111	0001 0101	1111

วิชานี้จะใช้รหัสแบบเลขฐานสอง และรหัสแบบเกรย์

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

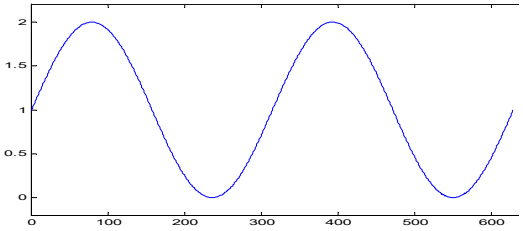
$y(t) = \sin(2\pi 4t) + 1$

แบ่งนับแบบ 5 บิตได้ เป็น 11

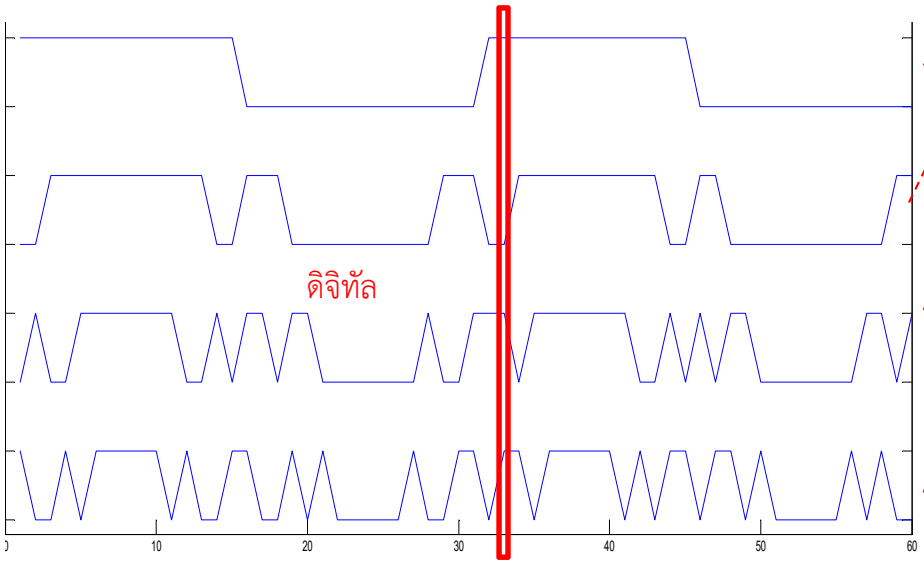


สุ่มตำแหน่ง t=0.52 ได้ y=1.4818

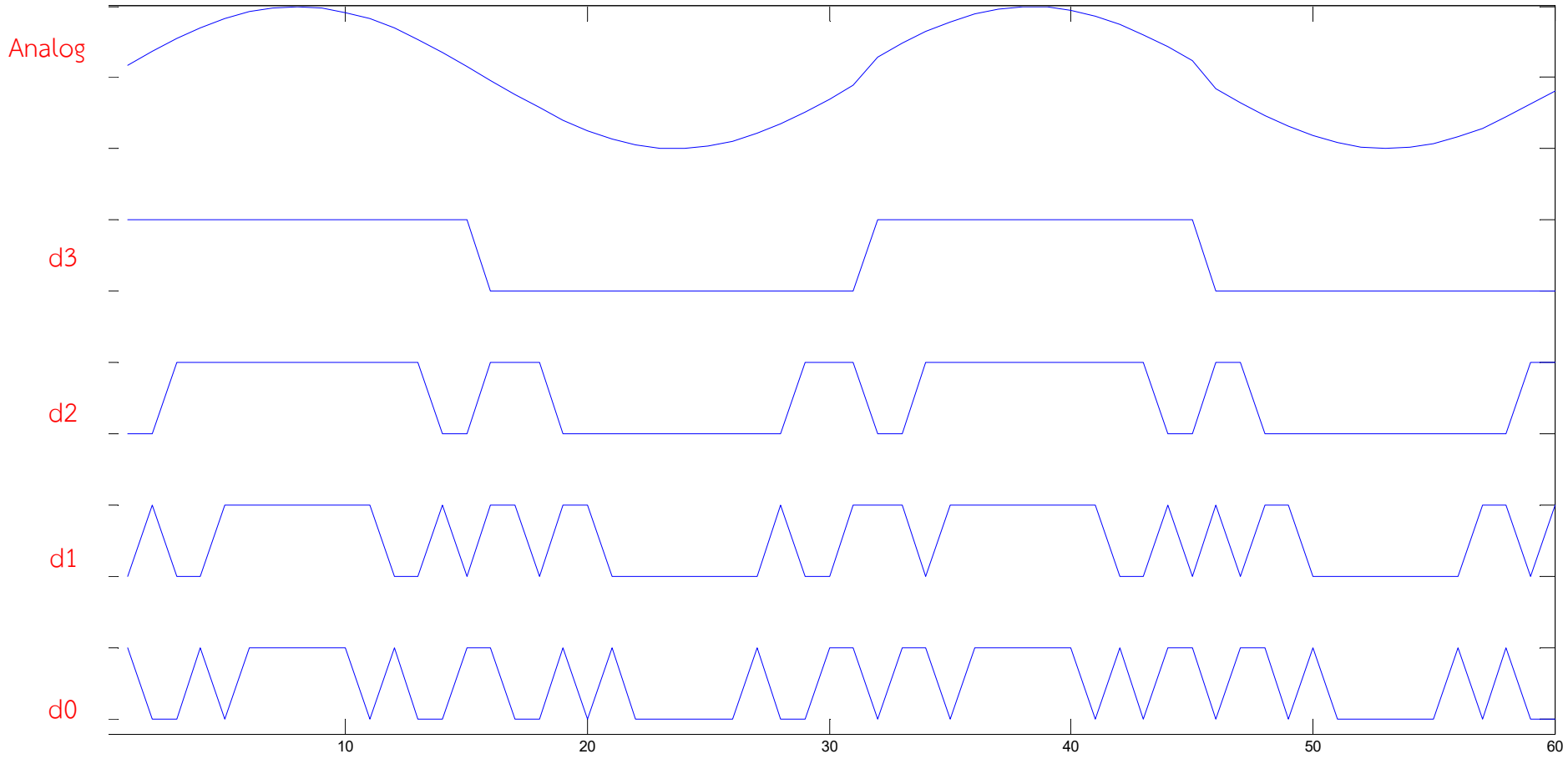
เข้ารหัสแบบเลขฐานสองได้เป็น 1011



แอนะล็อก



การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล



สัญญาณดิจิทัล

ข้อเสีย: สัญญาณแอนะล็อกที่แปลงเป็นดิจิทัลแล้วจะไม่เหมือนเดิม

วงจรมีความซับซ้อน

การประมวลผลมีความซับซ้อน

ต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บสูงขึ้น

แต่ในโลกปัจจุบัน นี่คือข้อเสียที่เรายอมรับได้ (Compromise)

หัวข้อ

- ตัวดำเนินการทางดิจิทัล
- วงจรเชิงจัดกลุ่ม

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

การดำเนินการทางดิจิทัลจะใช้หลักของพีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra)

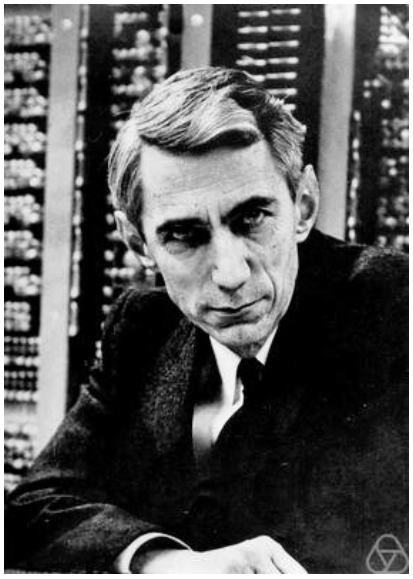
0 = เท็จ (F)

1 = จริง (T)

George Boole

Born 2 November 1815
Lincoln, Lincolnshire, England

Died 8 December 1864 (aged 49)
Ballintemple, Cork, Ireland



Claude Elwood Shannon

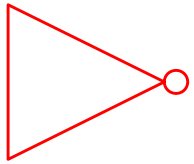
Born April 30, 1916
Petoskey, Michigan, United States

Died February 24, 2001 (aged 84)
Medford, Massachusetts, United States

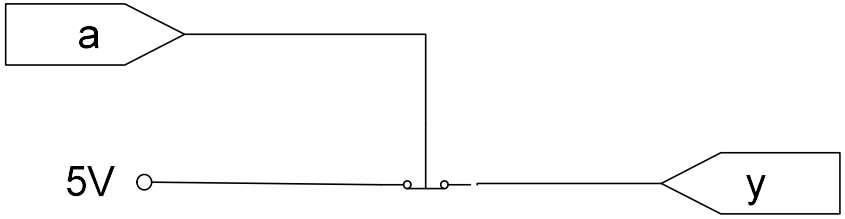
ตัวกระทำทาง ดิจิทัลและตารางค่าความจริง ในทางไฟฟ้านิยมเรียกว่า ประตู (Logic Gate)

1) นิเสธ , Invertor , NOT, Negation

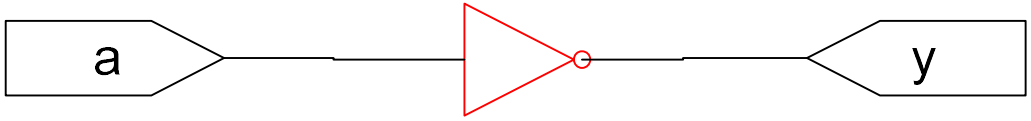
$$y = \bar{a}$$



a	y
0	1
1	0

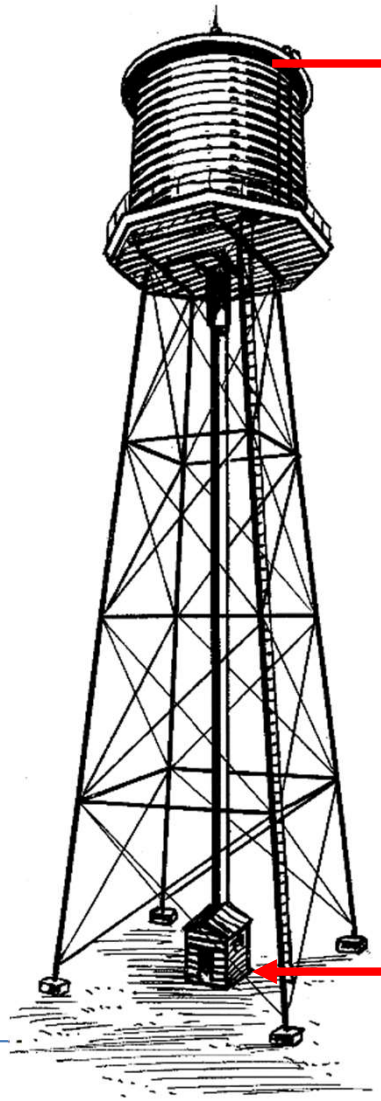


วงจรสมมูล



วงจรดิจิทัล

ตัวอย่างวงจรปั๊มน้ำอัตโนมัติ



เซ็นเซอร์ระดับน้ำ 0 =น้ำแห้ง , 1= น้ำเต็มถัง

1) นิยาม Input และ Output

Input คือ a , Output คือ y

2) ออกแบบตารางค่าความจริง

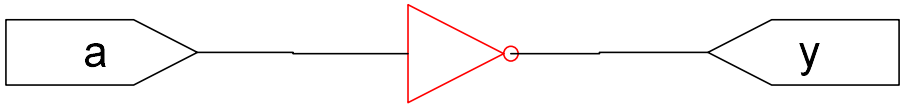
ตารางค่าความจริง

a	y
0	1
1	0

3) ตั้งสมการบูลีน

$$y = \bar{a}$$

4) ออกแบบวงจร



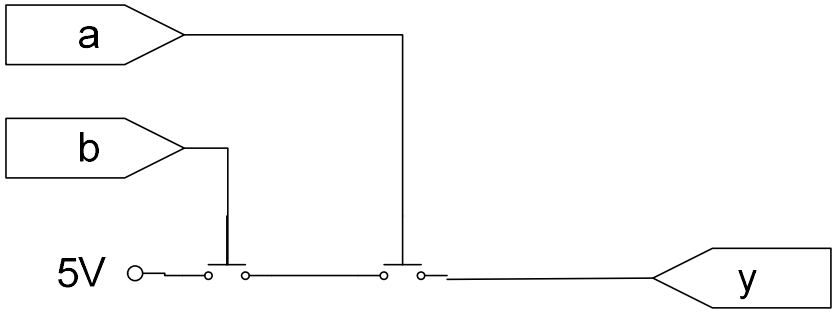
สัญญาณควบคุมปั๊ม 0 = ปิดปั๊ม , 1 = เปิดปั๊ม

ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

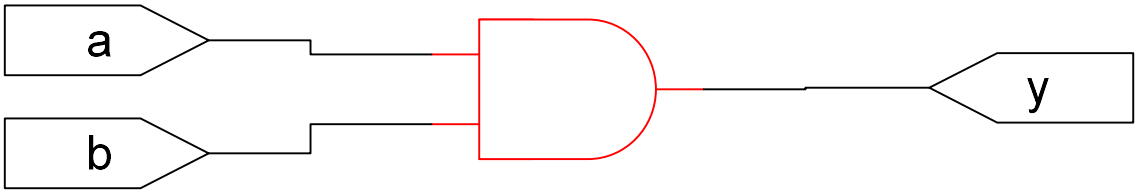
2) และ , And, Conjunction

$$y = a \wedge b$$

a	b	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



วงจรสมมูล



วงจรดิจิทัล

ตัวอย่างวงจรเตือนคาดเข็มขัดนิรภัย

a= เซ็นเซอร์ล้อหมุน 0 = ล้อไม่หมุน, 1= ล้อหมุน

b= เซ็นเซอร์เข็มขัดนิรภัย 0 = คาด, 1= ไม่คาด

c= ไฟเตือน 0 = หลอดดับ, 1= หลอดติด

1) นิยาม Input และ Output

Input คือ a, b ; Output คือ c

2) ออกแบบตารางค่าความจริง

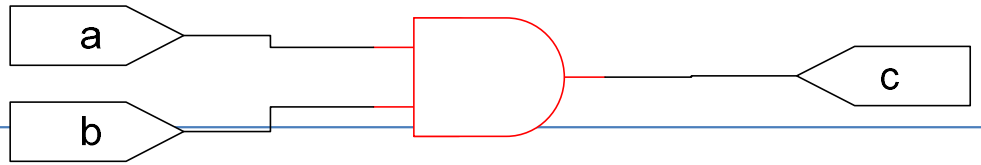
ตารางค่าความจริง

a	b	c
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

3) ตั้งสมการบูลีน

$$c = a \wedge b$$

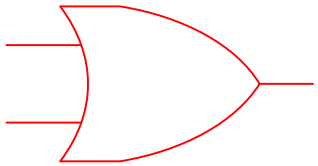
4) ออกแบบวงจร



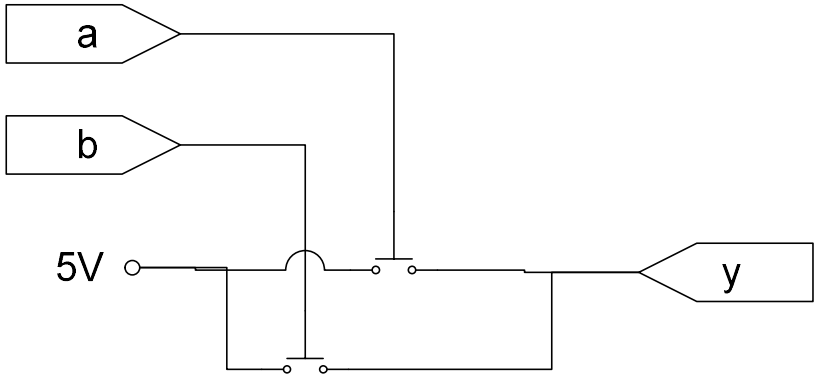
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

3) หรือ , Or, Disjunction

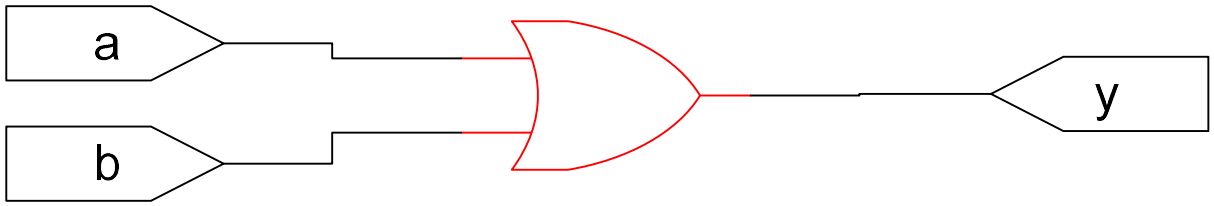
$$y = a \vee b$$



a	b	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



วงจรสมมูล



วงจรดิจิทัล

ตัวอย่างวงจรเตือนไฟไหม้

a= เซ็นเซอร์ควันไฟห้องนอน 0 = ไม่มีควัน, 1= มีควัน

b= เซ็นเซอร์ควันไฟห้องรับแขก 0 = ไม่มีควัน, 1= มีควัน

c= กระดิ่ง 0 = ปิด, 1= เปิด

1) นิยาม Input และ Output

Input คือ a, b ; Output คือ c

2) ออกแบบตารางค่าความจริง

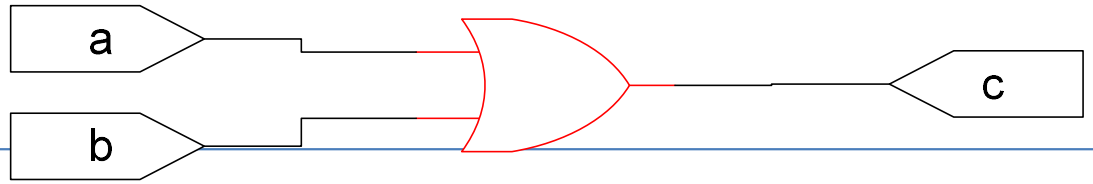
ตารางค่าความจริง

a	b	c
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3) ตั้งสมการบูลีน

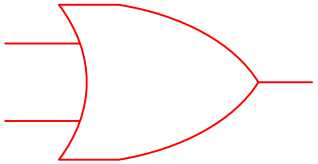
$$c = a \vee b$$

4) ออกแบบวงจร

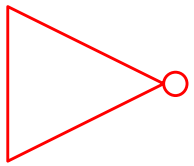


ตัวกระทำทางดิจิทัลที่สำคัญจะมีเพียง 3 ชนิด

AND



OR



NOT

ก็สามารถสร้างวงจรดิจิทัลได้ทุกวงจรในโลก

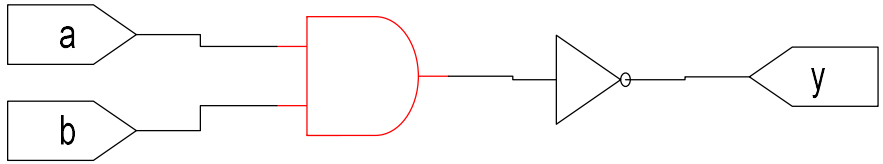
แต่เพื่อความสะดวกในการออกแบบวงจร และเพื่อลด logic gate จึงได้มีการรวม ตัวกระทำหลักเข้าด้วยกัน สร้างเป็นตัวกระทำชนิดใหม่ขึ้นมา ตัวอย่างเช่น...

ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

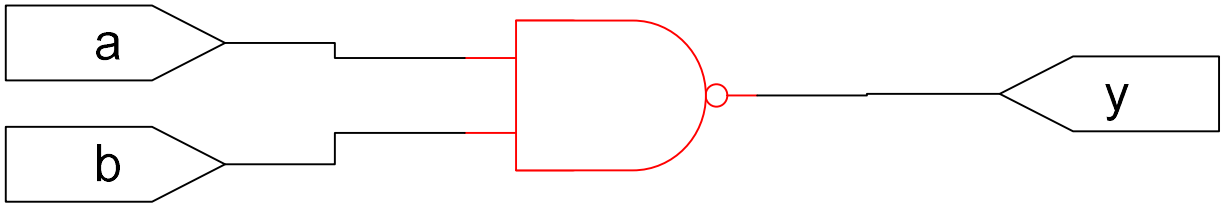
4) NAND

$$y = \overline{a \wedge b}$$

a	b	y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



วงจรสมมูล

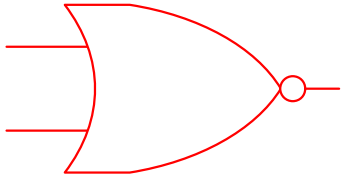


วงจรดิจิทัล

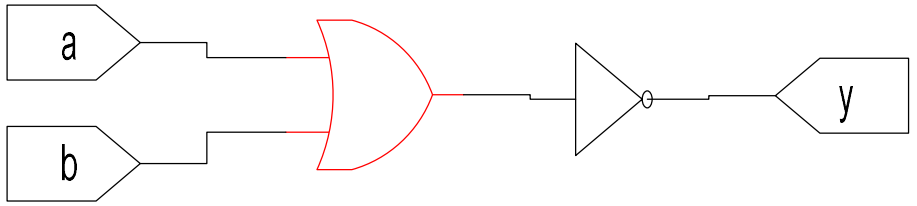
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

5) NOR

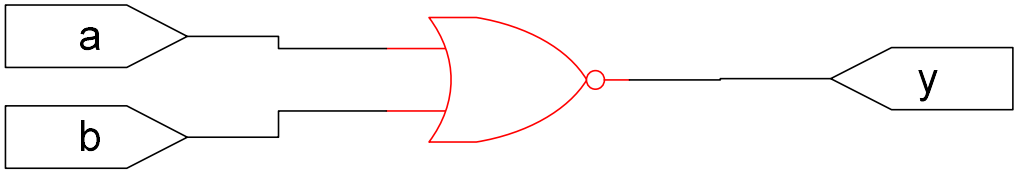
$$y = \overline{a \vee b}$$



a	b	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



วงจรสมมูล



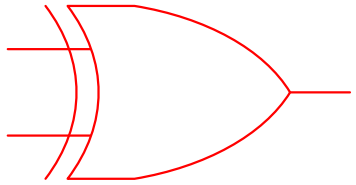
วงจรดิจิทัล

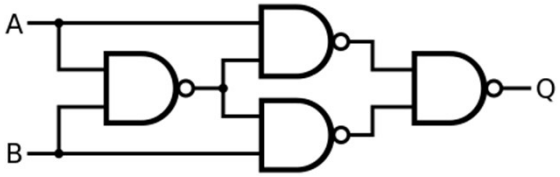
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

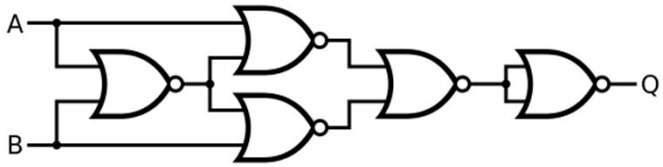
6) XOR (Exclusive OR)

$$y = a \oplus b = (a \wedge \bar{b}) \vee (\bar{a} \wedge b) = (a \vee b) \wedge (\bar{a} \vee \bar{b})$$

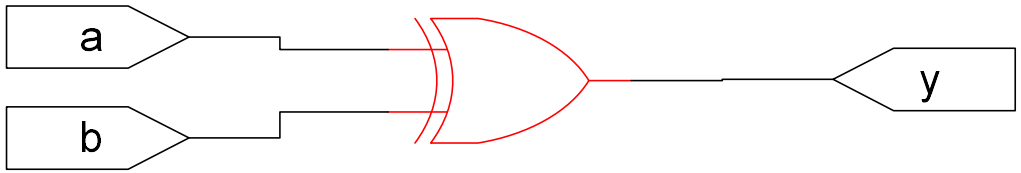
a	b	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0







วงจรสมมูล



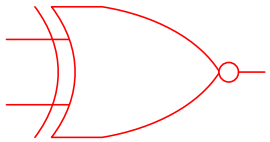
วงจรดิจิทัล

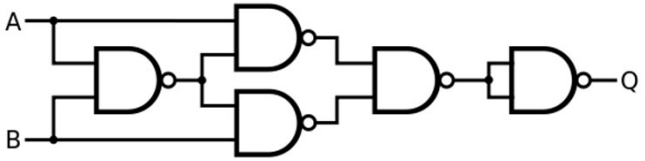
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

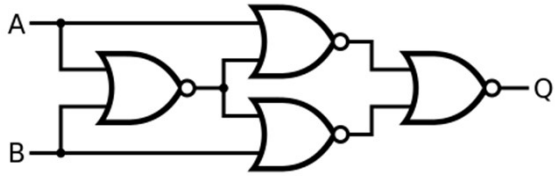
7) XNOR (Exclusive NOR)

$$y = a \odot b = (a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b})$$

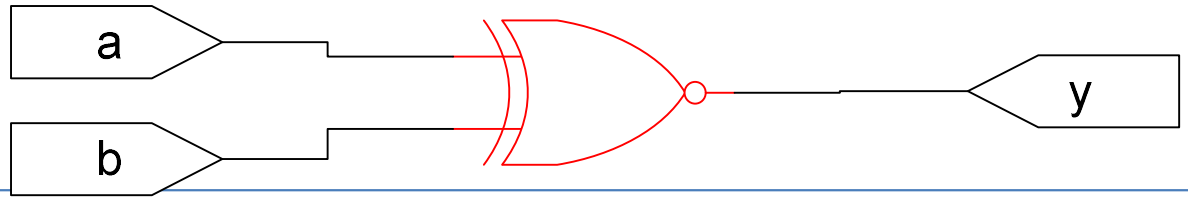
a	b	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1







วงจรสมมูล



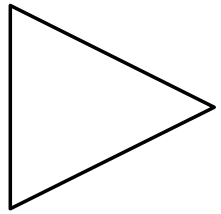
วงจรดิจิทัล

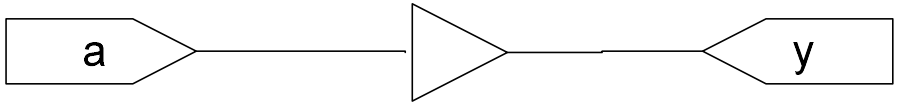
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

8) Buffer

$$y = a$$

a	Y
0	0
1	1

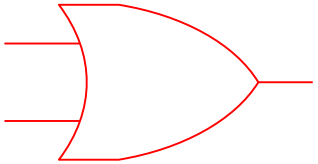




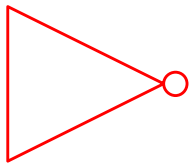
วงจรดิจิทัล

ตัวกระทำทางดิจิทัล

AND

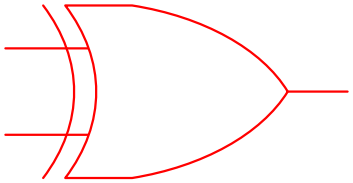


OR

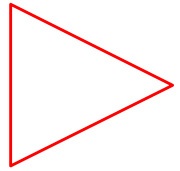


NOT

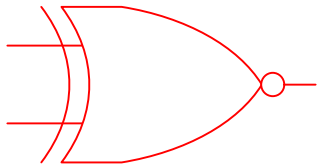
NAND



XOR



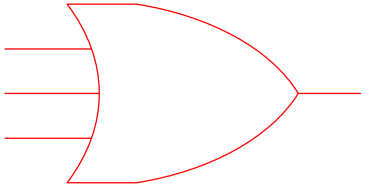
BUFFER

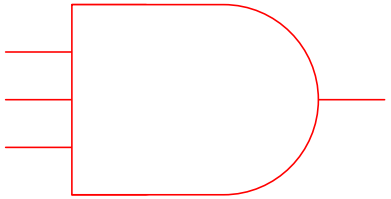


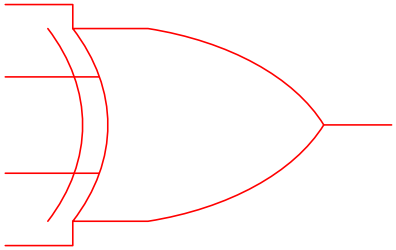
XNOR

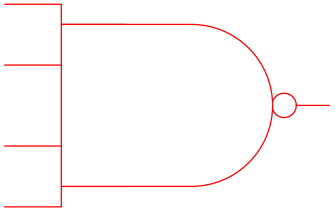
ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

นอกจาก NOT และ BUFFER แล้ว ตัวกระทำอื่นๆสามารถมี Input มากกว่า 2 ได้

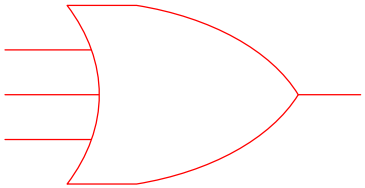






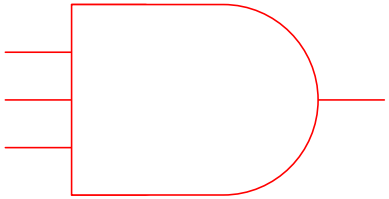


ทางไฟฟ้าจะใช้สัญลักษณ์ที่แตกต่างไปจากบูลีน



$$y = a \vee b = a + b$$

อ่านว่า a or b หรือ a บวก b หรือ sum

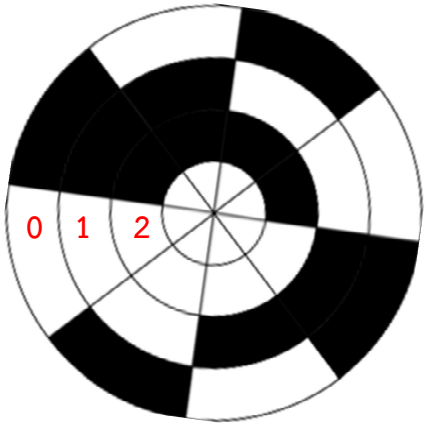


$$y = a \wedge b = a \cdot b = ab$$

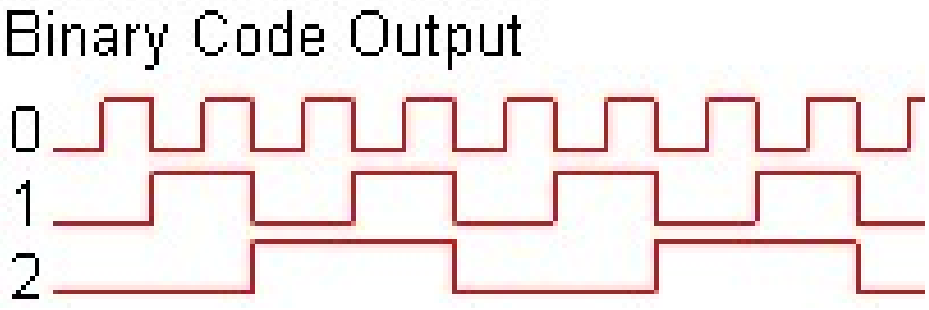
อ่านว่า a and b หรือ a dot b หรือ product

!!! ถ้าไปค้นใน google อาจจะเจอทุกรูปแบบ ห้ามงง !!!

Binary Rotary Encoder เป็นอุปกรณ์ป้อนข้อมูลแบบหมุน คล้ายๆ กับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ output จะเป็นเลขฐานสอง



จานเข้ารหัสชนิด 3 บิต

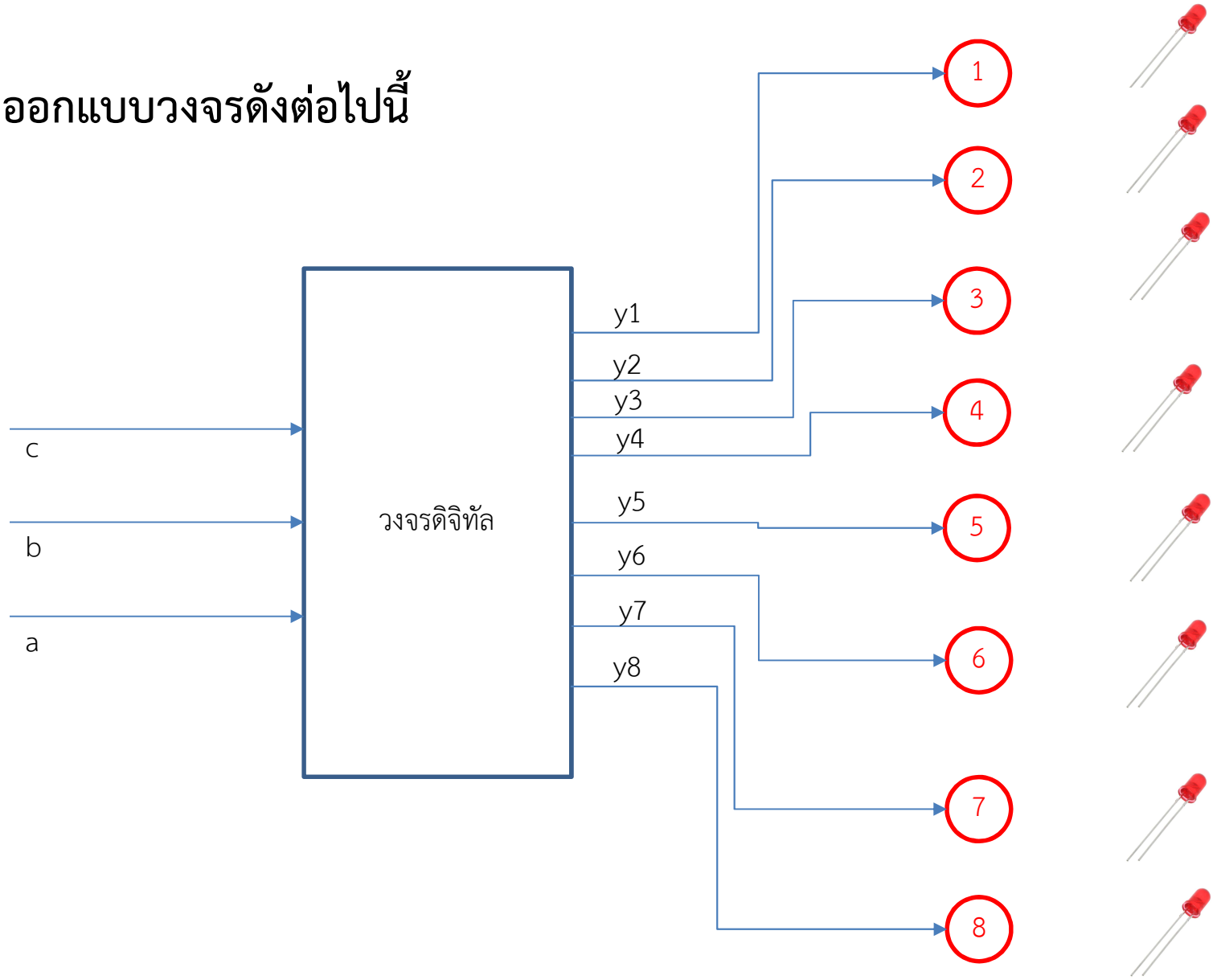


OUTPUT

เลขฐาน 10	เลขฐานสอง
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

ตำแหน่ง	c-b-a
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

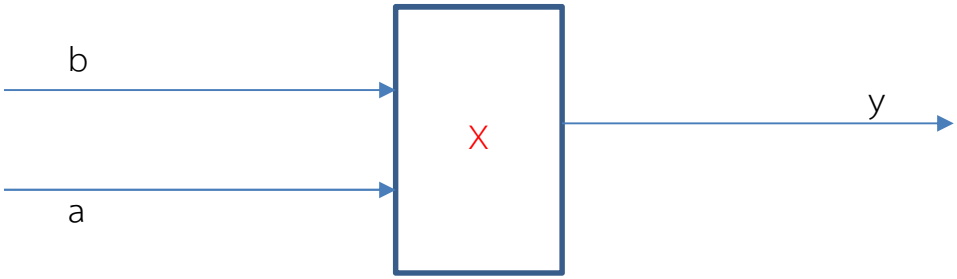


วงจรเชิงจัดหมู่ (Combination Logic Circuit)

คือการนำวงจรที่สร้างจาก AND หรือ OR มารวมกันเพื่อให้ได้ output ตามที่ต้องการ

สร้างได้ 2 วิธีคือ

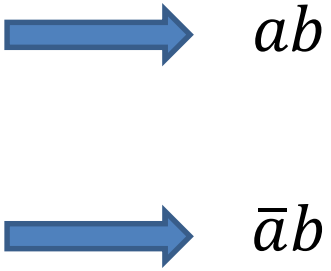
- **Sum of product (ผลรวมของผลคูณ)**
- **Product of sum (ผลคูณของผลรวม)**



Input		Output
b	a	y
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0

ตัวอย่างการออกแบบวงจรที่ทำงานตามตารางค่าความจริง

Input		Output
a	b	y
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0



$\overline{ab}$

$\bar{a}b$

Sum of product (ผลรวมของผลคูณ)

ทุก output ที่มีค่า 1 ให้นำ input ทั้งหมดมา and กัน โดยที่ input ใดมีค่าเป็น 0 ให้ใส่ NOT

โดยให้ทำทีละเหตุการณ์ แล้วนำวงจรทั้งหมดมา OR กัน

$$y = \overline{ab} + \bar{a}b$$

Sum of product (ผลรวมของผลคูณ)

Input		Output
a	b	y
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0

ทดลองตรวจสอบคำตอบ $y = \overline{ab} + \bar{a}b$

Input		Output
a	b	y
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0

$\bar{a} + b$

$\bar{a} + \bar{b}$

Product of sum (ผลคูณของผลรวม)

ทุก output ที่มีค่า 0 ให้นำ input ทั้งหมดมา or กัน โดยที่ input ใดมีค่าเป็น 1 ให้ใส่ NOT โดยให้ทำทีละเหตุการณ์ แล้วนำวงจรทั้งหมดมา AND กัน

$$y = (\bar{a} + b)(\bar{a} + \bar{b})$$

Input		Output
a	b	y
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0

ทดลองตรวจสอบคำตอบ

Product of sum (ผลคูณของผลรวม)

$$y = (\bar{a} + b)(\bar{a} + \bar{b})$$

วงจรเชิงจัดหมู่ (Combination Logic Circuit)

คือการนำวงจรที่สร้างจาก AND หรือ OR มารวมกันเพื่อให้ได้ output ตามที่ต้องการ

สร้างได้ 2 วิธีคือ

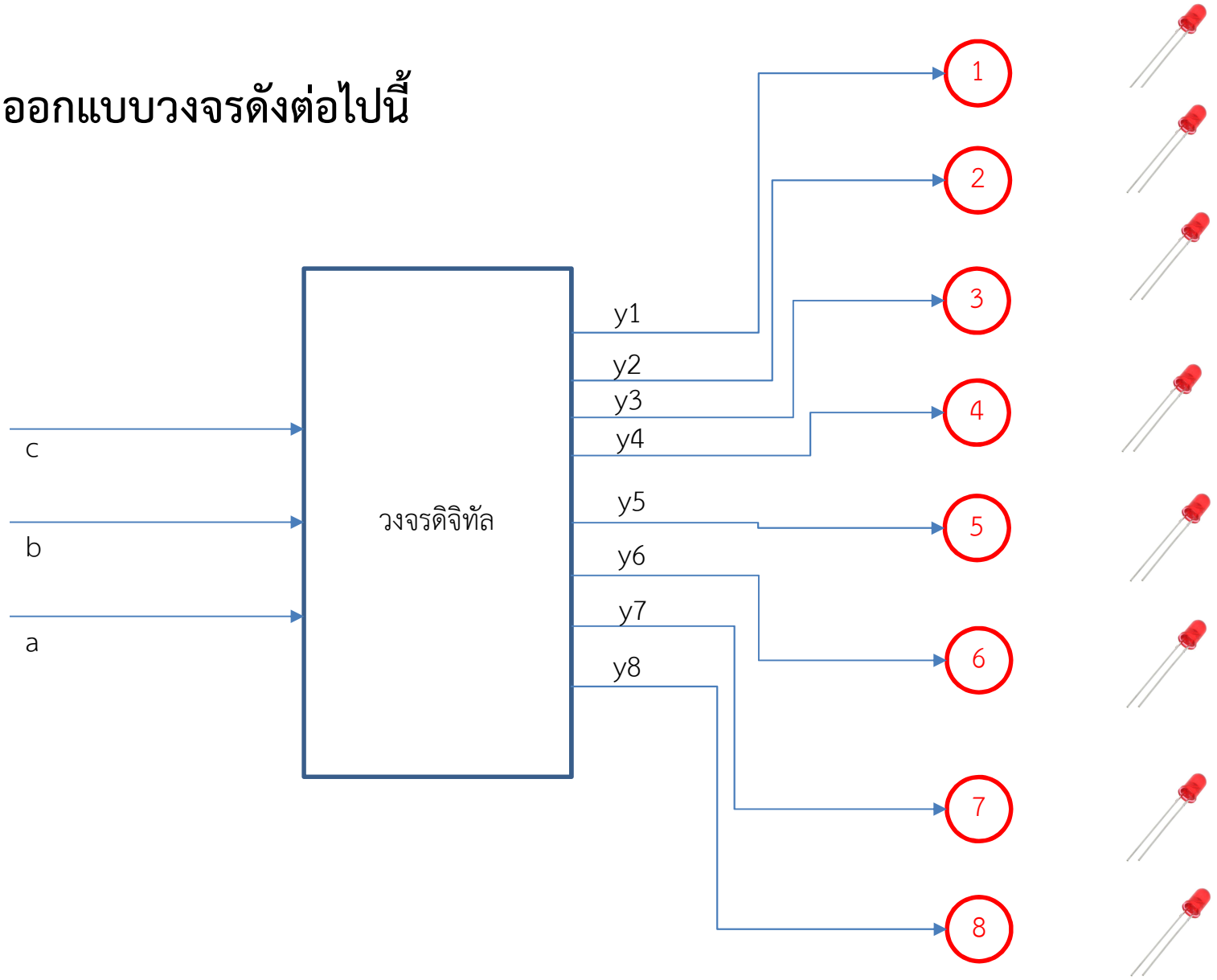
- **Sum of product (ผลรวมของผลคูณ)**
- **Product of sum (ผลคูณของผลรวม)**

แต่ละวิธีจะได้วงจรที่แตกต่างกัน แต่จะใช้วิธีไหนก็ได้ output ของวงจรจะเหมือนกัน

ใน 1 วงจรให้เลือกเพียงวิธีเดียว จะทำทั้ง 2 แบบปนกันไม่ได้

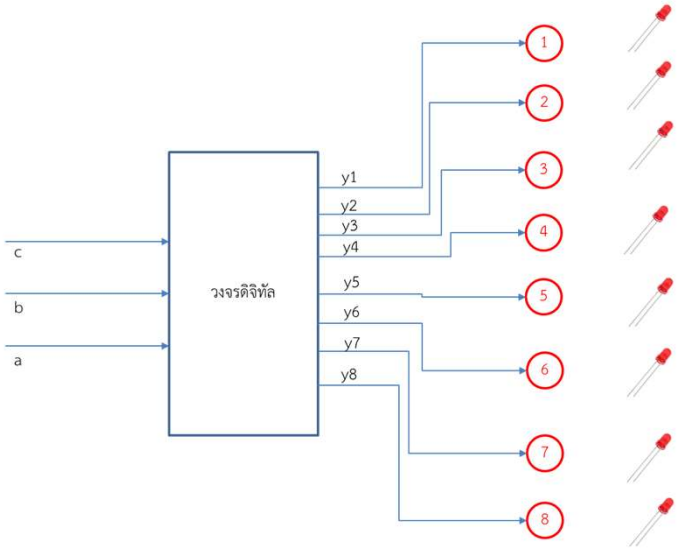
จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

ตำแหน่ง	c-b-a
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111



จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

ตำแหน่ง	c-b-a
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111



Input คือ c,b,a

Output คือ y1,y2,y3,y4,y8,y6,y7,y8

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

กล่องนี้มี output หลายตัว

วิธีการออกแบบ จะพิจารณาให้

Output 1 ตัว คือ 1 วงจร

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y1 = \overline{cba}$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

$$y4 = \bar{c}ba$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

$$y4 = \bar{c}ba$$

$$y5 = c\overline{ba}$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

$$y4 = \bar{c}ba$$

$$y5 = c\overline{ba}$$

$$y6 = c\bar{b}a$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y7 = cb\bar{a}$$

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

$$y4 = \bar{c}ba$$

$$y5 = c\overline{ba}$$

$$y6 = c\bar{b}a$$

$$y7 = cb\bar{a}$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

$$y4 = \bar{c}ba$$

$$y5 = c\overline{ba}$$

$$y6 = c\bar{b}a$$

$$y7 = cb\bar{a}$$

$$y8 = cba$$

$$y8 = cba$$

จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

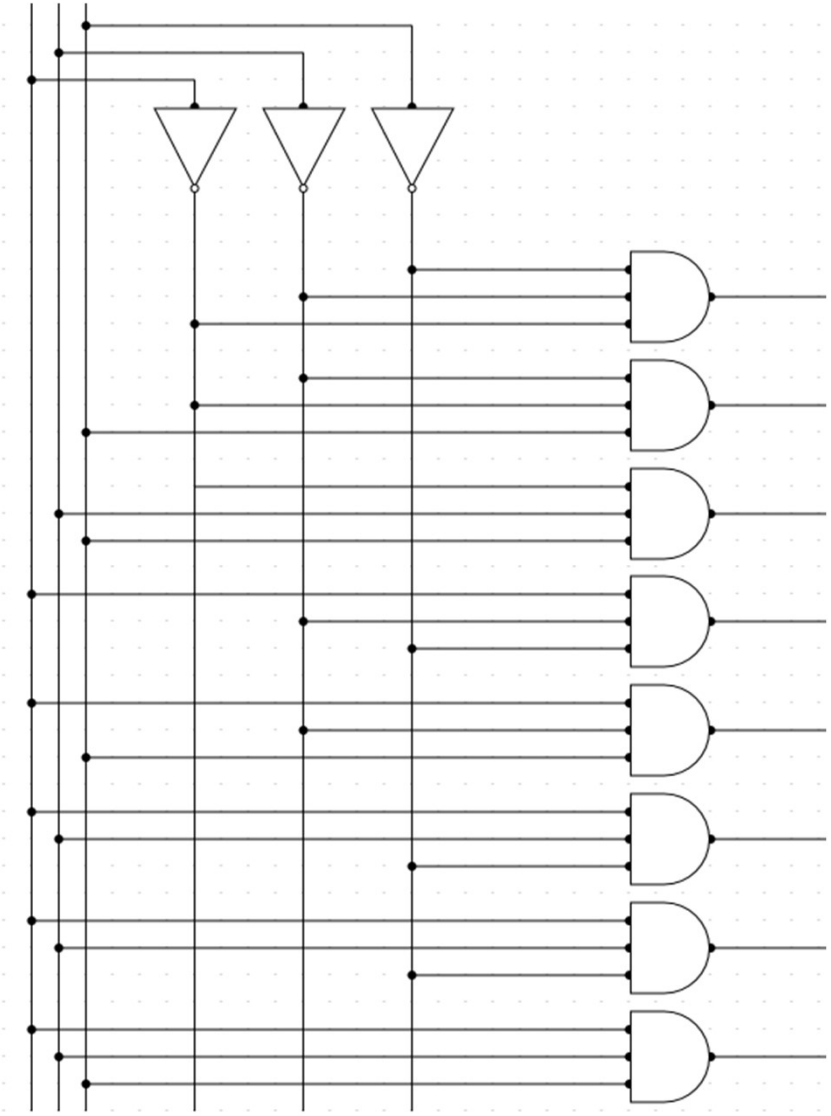
$$y4 = \bar{c}ba$$

$$y5 = c\overline{ba}$$

$$y6 = c\bar{b}a$$

$$y7 = cb\bar{a}$$

$$y8 = cba$$



จงออกแบบวงจรดังต่อไปนี้

$$y1 = \overline{cba}$$

$$y2 = \overline{cb}a$$

$$y3 = \bar{c}b\bar{a}$$

$$y4 = \bar{c}ba$$

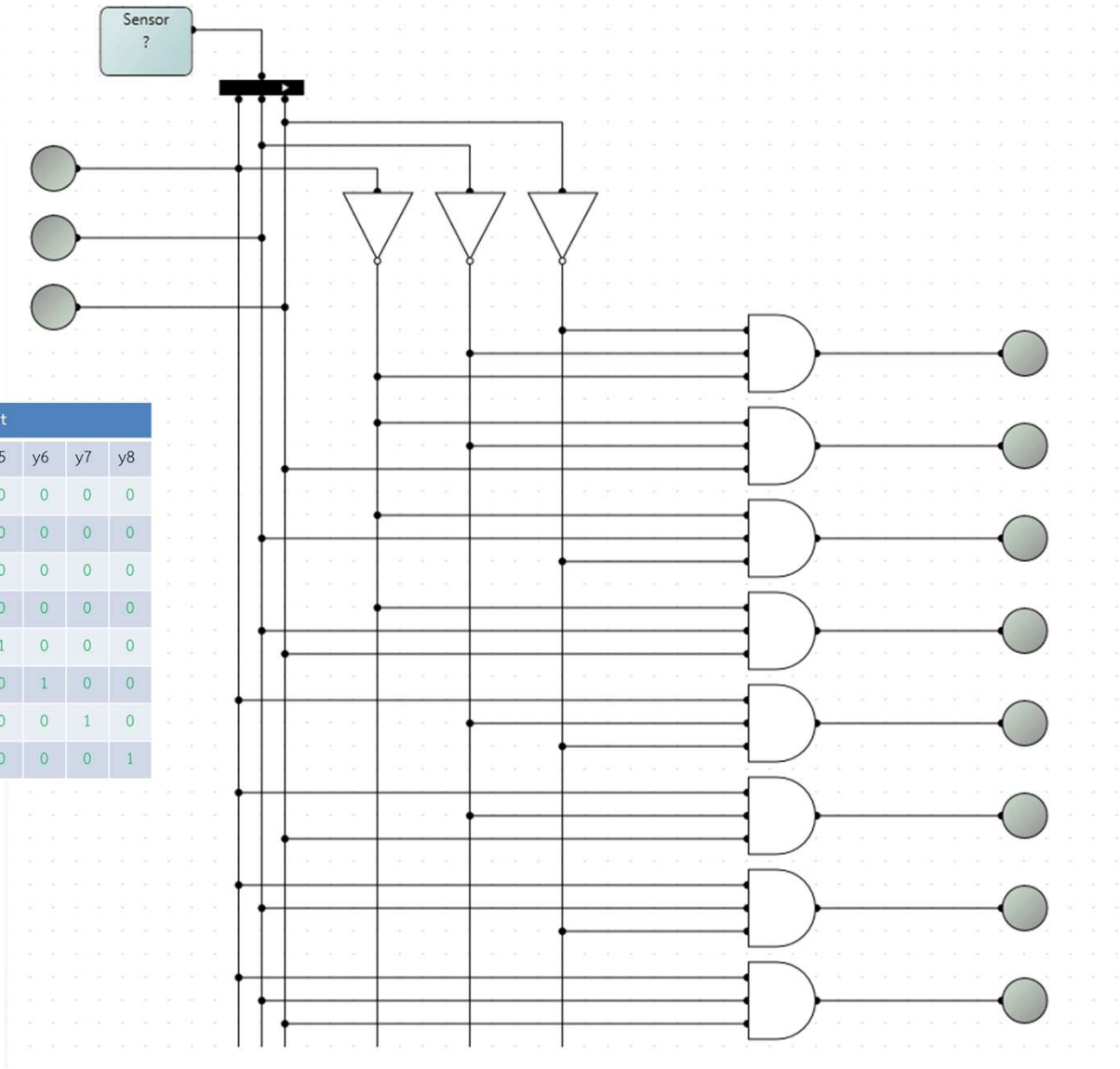
$$y5 = c\overline{ba}$$

$$y6 = c\bar{b}a$$

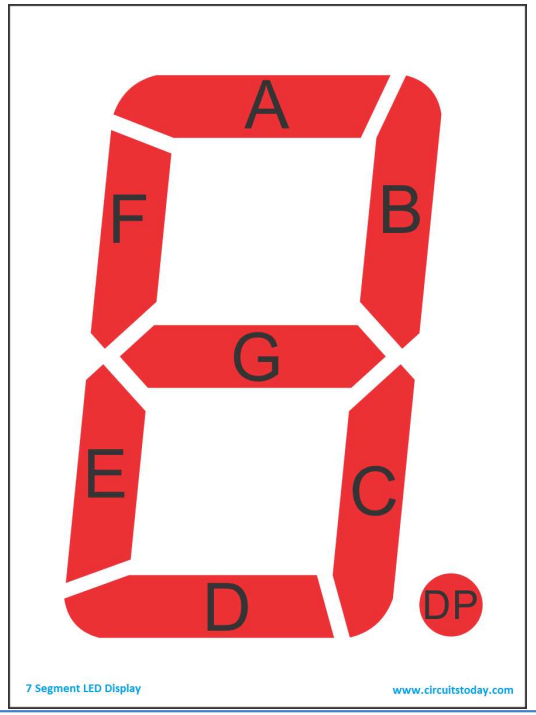
$$y7 = cb\bar{a}$$

$$y8 = cba$$

Input			Output							
c	b	a	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1



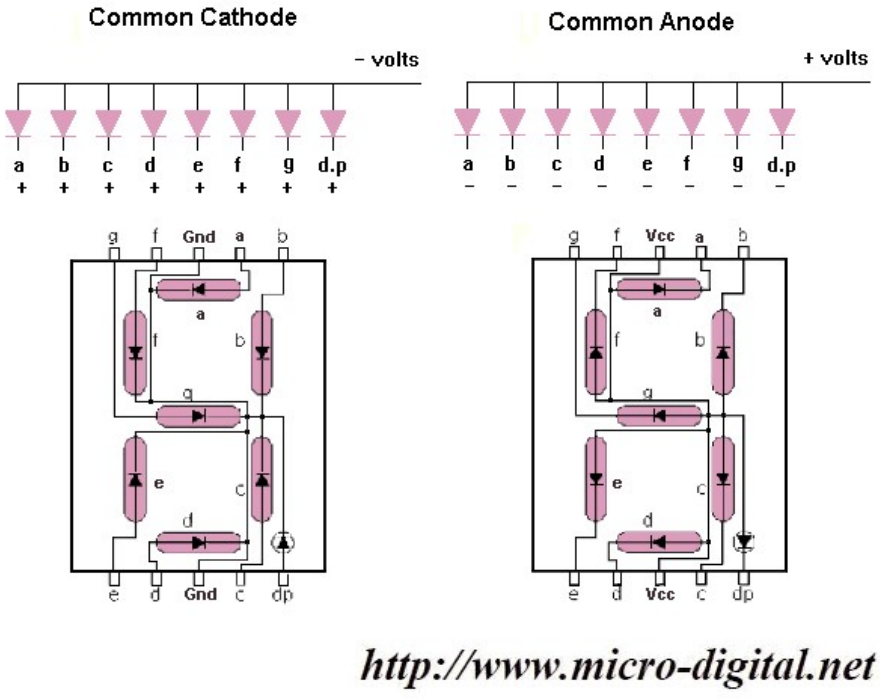
หลอด LED แสดงผลแบบ 7 ส่วน



เป็นอุปกรณ์แสดงตัวเลขที่สร้างขึ้นมาจากหลอด LED จำนวน 7 หลอด ซึ่งอาจมีหลอดที่ 8 สำหรับแสดงจุดทศนิยม

มีการนิยามตำแหน่งแต่ละส่วนเป็น a,b,c,d,e,f ,g และ dp ดังภาพ

หลอด LED แสดงผลแบบ 7 ส่วน



http://www.micro-digital.net

7 Segment LED มีอยู่ 2 แบบคือ

Common Cathode

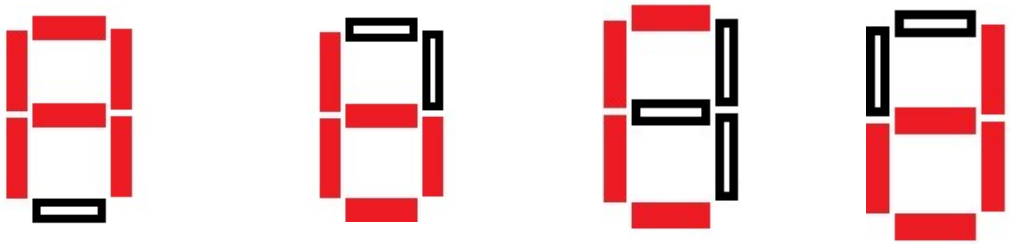
- ต่อขา common ลง ground
- จ่าย 1 ติด, จ่าย 0 ดับ

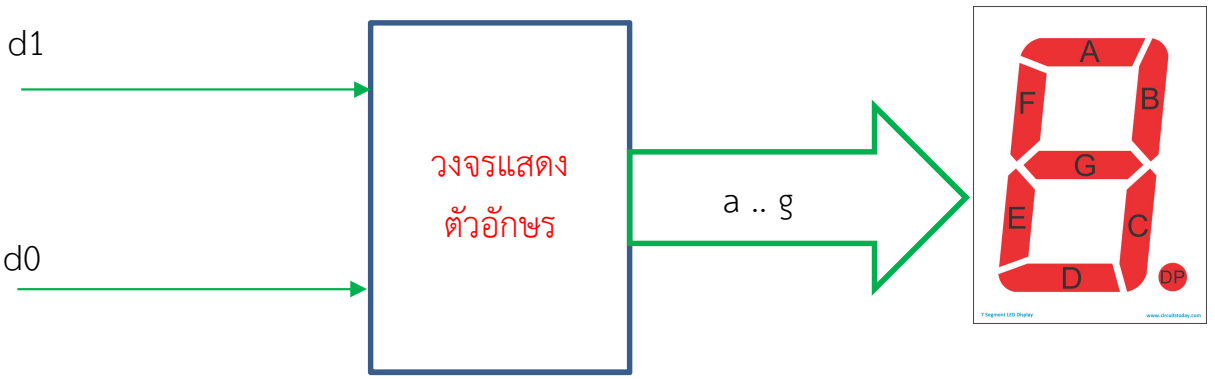
Common Anode

- ต่อขา common เข้า VCC
- จ่าย 0 ติด, จ่าย 1 ดับ

การอ้างตำแหน่งขาและ segment จะเหมือนกันทั้ง 2 แบบ

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน
กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

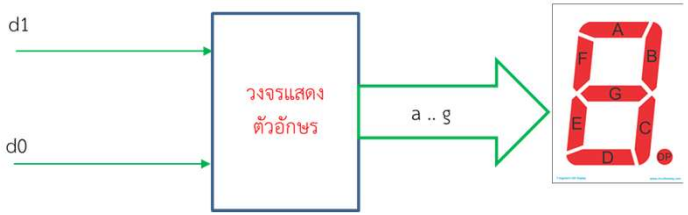




ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน

กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1



ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน
กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1

a = !d1!d0 + d1!d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน
กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1

a = !d1!d0 + d1!d0

b = !d1!d0 + d1d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน

กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1

a = !d1!d0 + d1!d0

b = !d1!d0 + d1d0

c = !d1!d0 + !d1d0 + d1d0

c = !d1+d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน

กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1

a = !d1!d0 + d1!d0

b = !d1!d0 + d1d0

c = !d1+d0

d = !d1d0 + d1!d0 + d1d0

d = !d1+!d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน

กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1

a = !d1!d0 + d1!d0

b = !d1!d0 + d1d0

c = !d1+d0

d = !d1+!d0

e = 1

e = d0+!d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน

กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1

f = !d1+!d0

a = !d1!d0 + d1!d0

b = !d1!d0 + d1d0

c = !d1+d0

d = !d1+!d0

e = d0+!d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน

กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1

g = !d1+d0

a = !d1!d0 + d1!d0

b = !d1!d0 + d1d0

c = !d1+d0

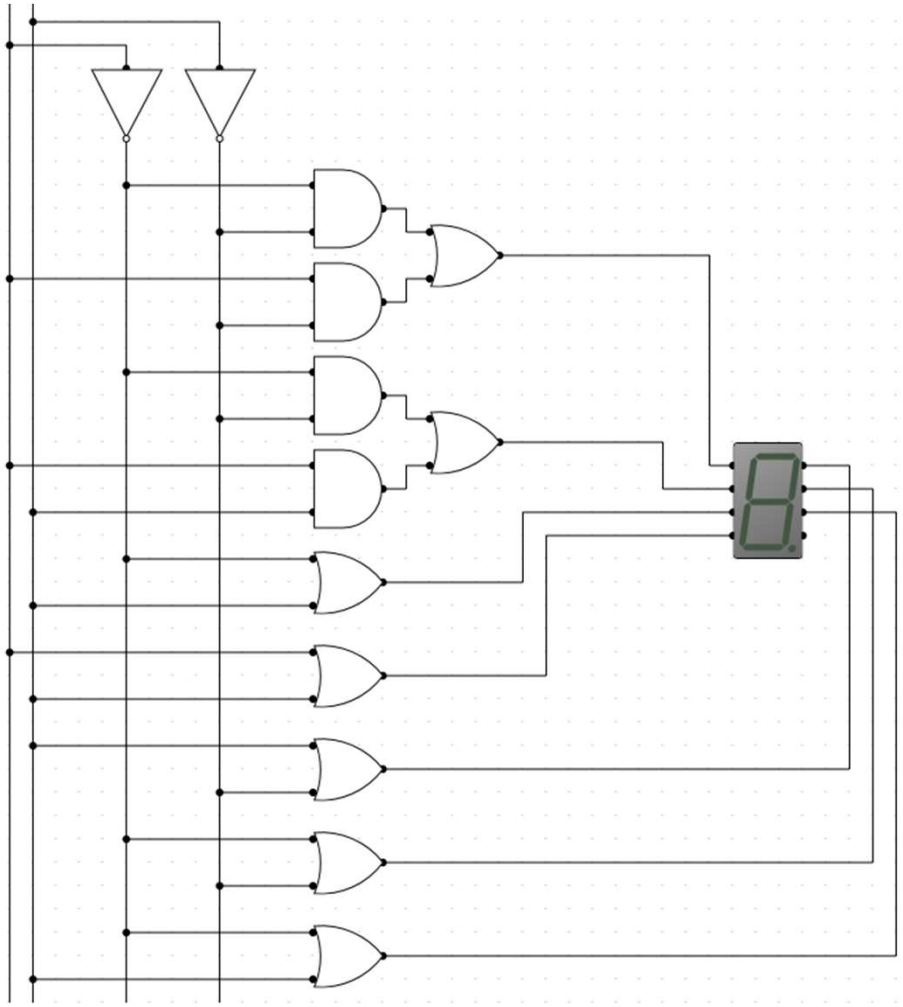
d = !d1+!d0

e = d0+!d0

f = !d1+!d0

g = !d1+d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน
กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d



a = !d1!d0 + d1!d0

b = !d1!d0 + d1d0

c = !d1+d0

d = !d1+!d0

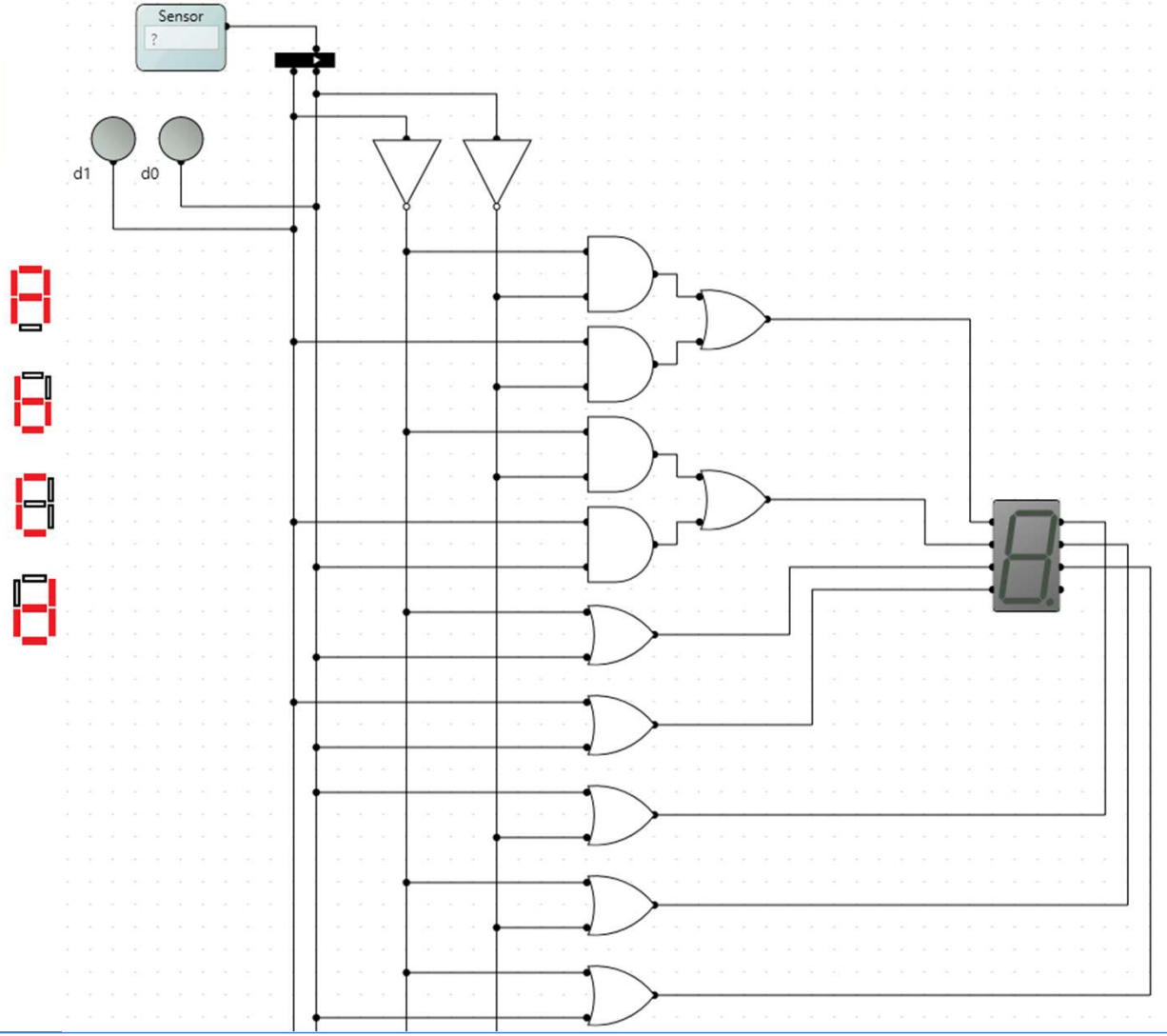
e = d0+!d0

f = !d1+!d0

g = !d1+d0

ออกแบบวงจรแสดงเกรดสินค้าด้วยหลอดแอลอีดีแบบ 7 ส่วน
กำหนดให้ input มีจำนวน 2 บิต และแสดงตัวอักษร 4 แบบ คือ A, b, C, d

Input		OUTPUT							
d1	d0		a	b	c	d	E	f	G
0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	1	B	0	0	1	1	1	1	1
1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
1	1	D	0	1	1	1	1	0	1



ออกแบบวงจรบวกเลขขนาด 1 บิตแบบคิดตัวทด

- กฎการบวก (ไม่มีตัวทด)

0. 1 + 1 = 0 ทด 1
1. 1 + 0 = 1
2. 0 + 1 = 1
3. 0 + 0 = 0

- กฎการบวก (มีตัวทด)

0. 1 + 1 = 1 ทด 1
1. 1 + 0 = 0 ทด 1
2. 0 + 1 = 0 ทด 1
3. 0 + 0 = 1

Input			Output	
ตัวทด (ci)	ตัวตั้ง (a)	ตัวบวก (b)	คำตอบ (y)	ตัวทด (co)
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

ออกแบบวงจรบวกเลขขนาด 1 บิตแบบคิดตัวทด

Input			Output	
ตัวทด (ci)	ตัวตั้ง (a)	ตัวบวก (b)	คำตอบ (y)	ตัวทด (co)
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

ออกแบบวงจรทีละ output
โดยเริ่มจาก y ก่อน

!ci !a b

!ci a !b

ci !a !b

ci a b

$$y = (!ci\ !a\ b) + (!ci\ a\ !b) + (ci\ !a\ !b) + (ci\ a\ b)$$

ออกแบบวงจรบวกเลขขนาด 1 บิตแบบคิดตัวทด

Input			Output	
ตัวทด (ci)	ตัวตั้ง (a)	ตัวบวก (b)	คำตอบ (y)	ตัวทด (co)
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

ออกแบบวงจรทีละ output
จากนั้นออกแบบวงจร co

!ci a b

ci !a b

ci a !b

ci a b

co = (!ci a b) + (ci !a b) + (ci a !b) + (ci a b)

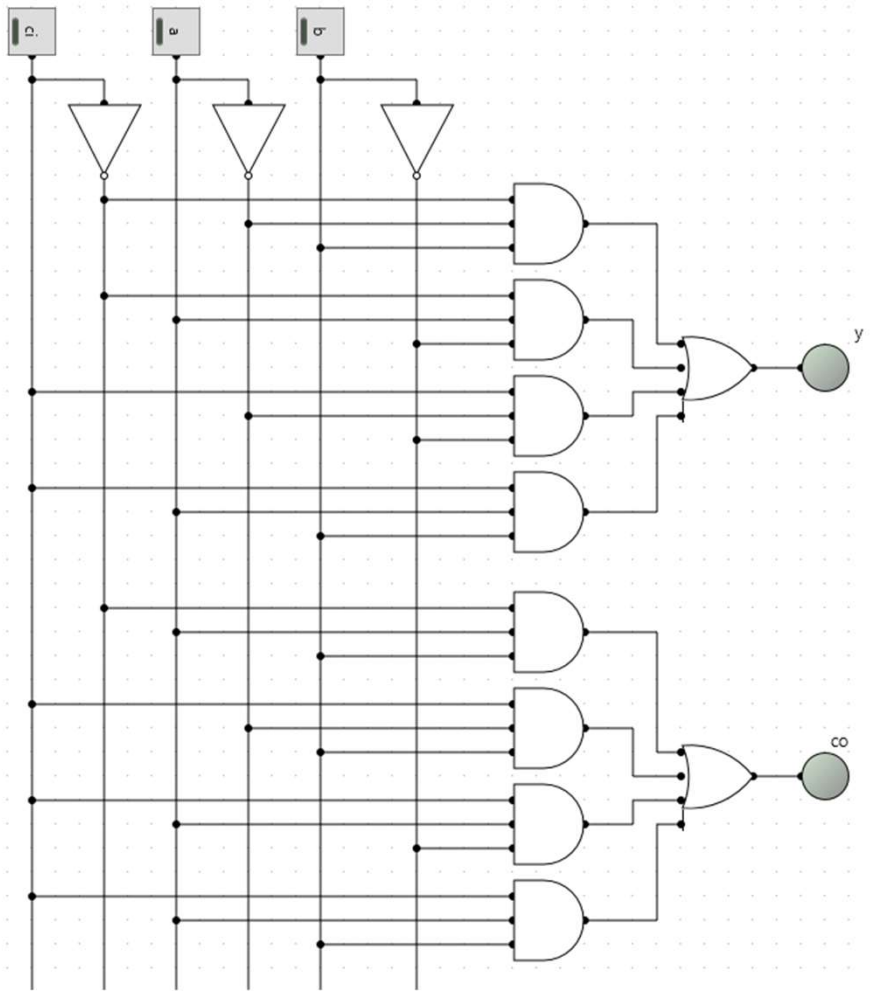
ออกแบบวงจรบวกเลขขนาด 1 บิตแบบคิดตัวทด

Input			Output	
ตัวทด (ci)	ตัวตั้ง (a)	ตัวบวก (b)	คำตอบ (y)	ตัวทด (co)
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

ออกแบบวงจรทีละ output
จากนั้นออกแบบวงจร co

y = (!ci !a b) + (!ci a !b) + (ci !a !b) + (ci a b)

co = (!ci a b) + (ci !a b) + (ci a !b) + (ci a b)



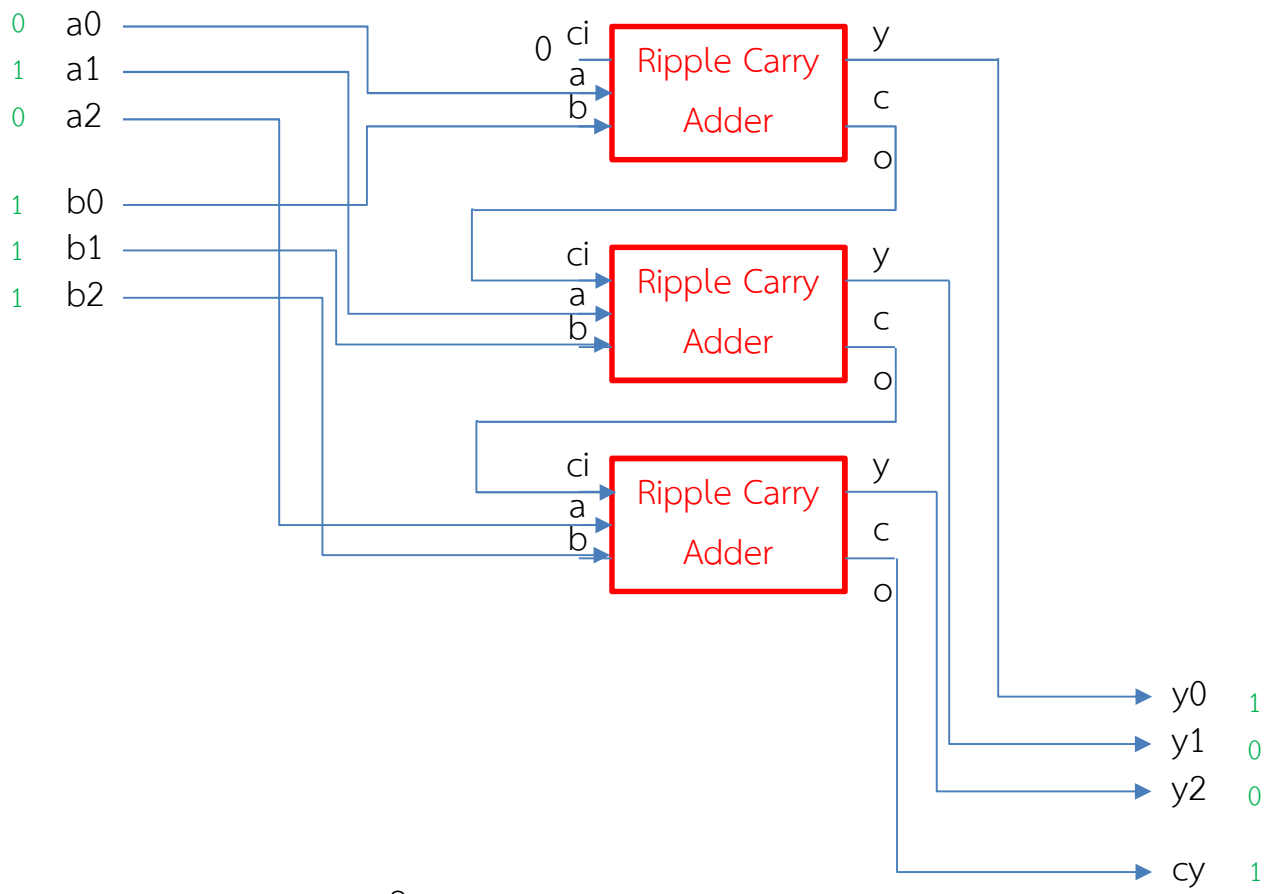
ออกแบบวงจรบวกเลขขนาด 1 บิตแบบคิดตัวทด

Input			Output	
ตัวทด (ci)	ตัวตั้ง (a)	ตัวบวก (b)	คำตอบ (y)	ตัวทด (co)
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

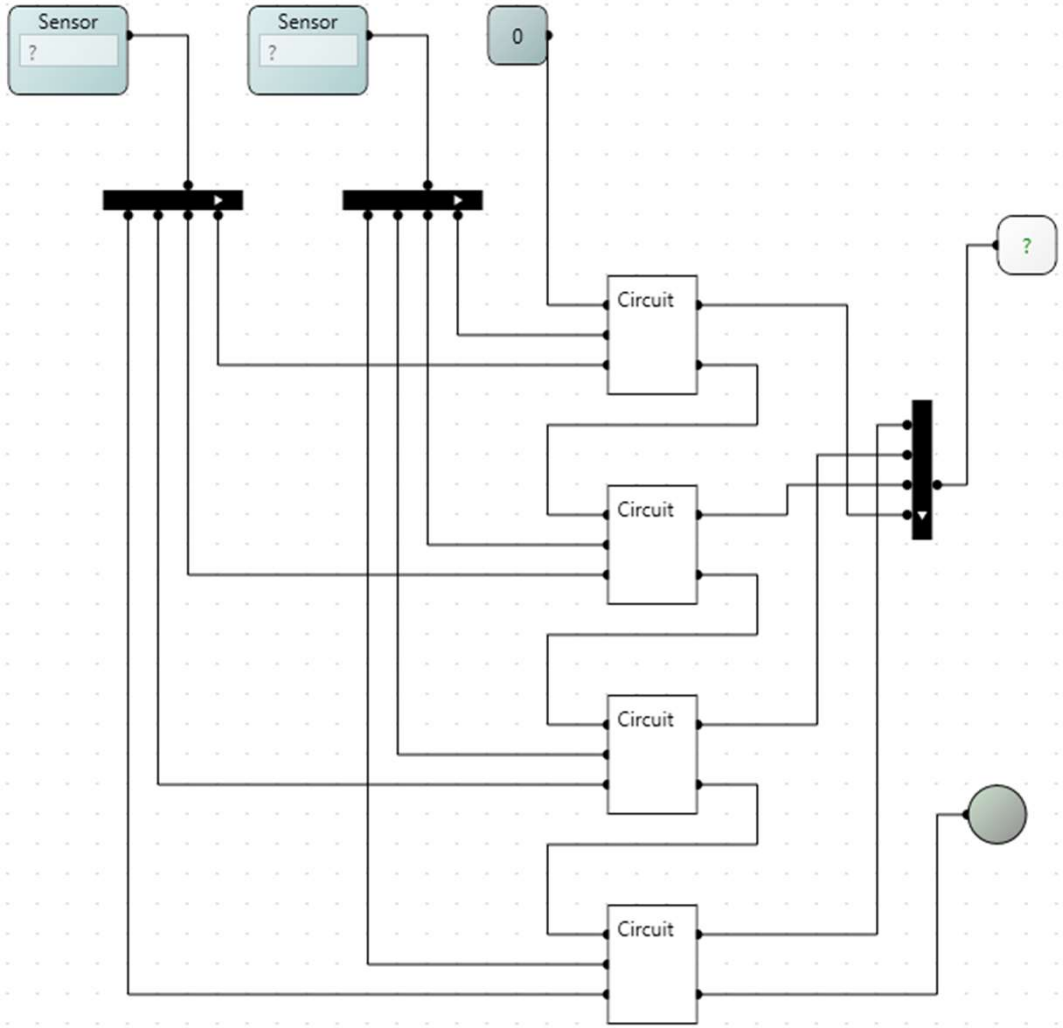
y = (!ci !a b) + (!ci a !b) + (ci !a !b) + (ci a b)

co = (!ci a b) + (ci !a b) + (ci a !b) + (ci a b)

Input			Output	
ตัวทด (ci)	ตัวตั้ง (a)	ตัวบวก (b)	คำตอบ (y)	ตัวทด (co)
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1



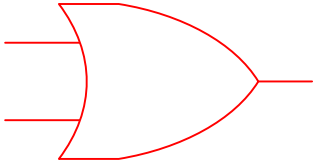
วงจรบวกเลข 3 บิตแบบ Ripple Carry Adder



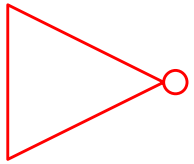
วงจรบวกเลข 3 บิตแบบ Ripple Carry Adder

ตัวกระทำทางดิจิทัล

AND

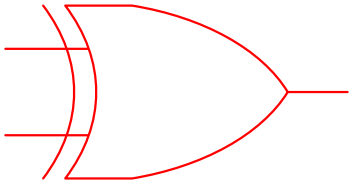


OR

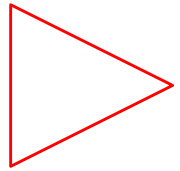


NOT

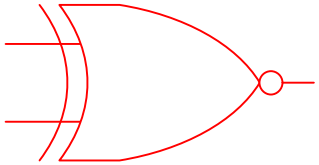
NAND



XOR



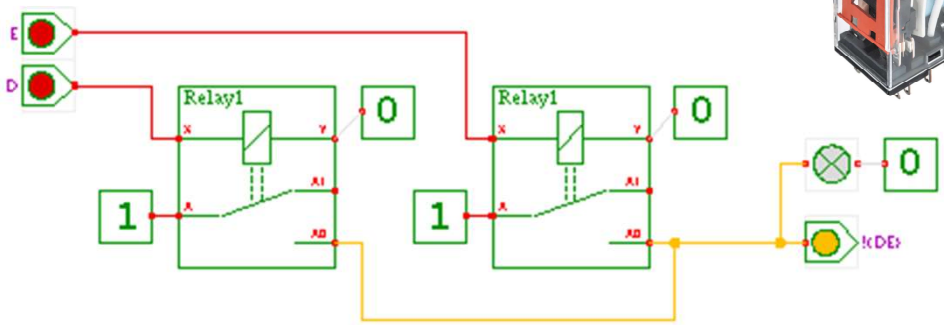
BUFFER

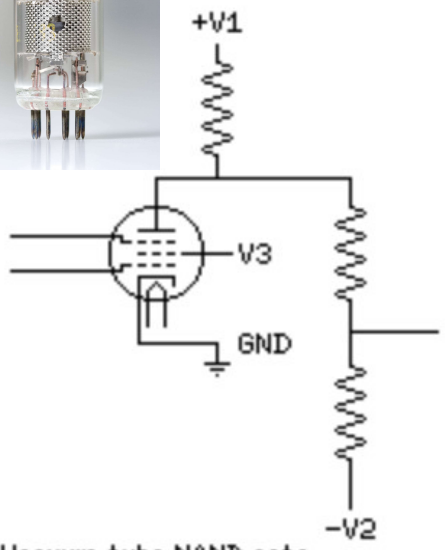


XNOR

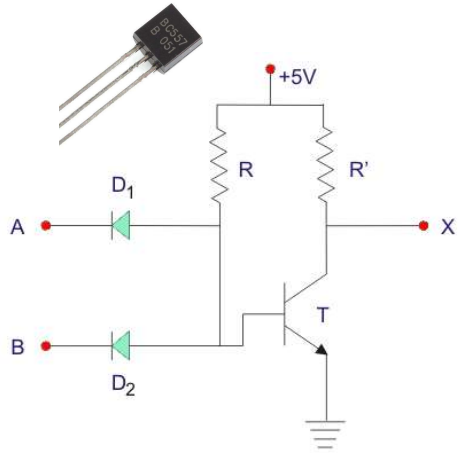
สัญลักษณ์เหล่านี้เป็นเพลงแนวคิด (Abstraction) เท่านั้น
การจะสร้างเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานได้จริง สัญลักษณ์แต่ละตัวจะต้องถูกนำไปแปลงเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ซึ่งอาจสร้างจาก รีเลย์ ทรานซิสเตอร์ มอสเฟ็ด หรือวงจรรวม เป็นต้น

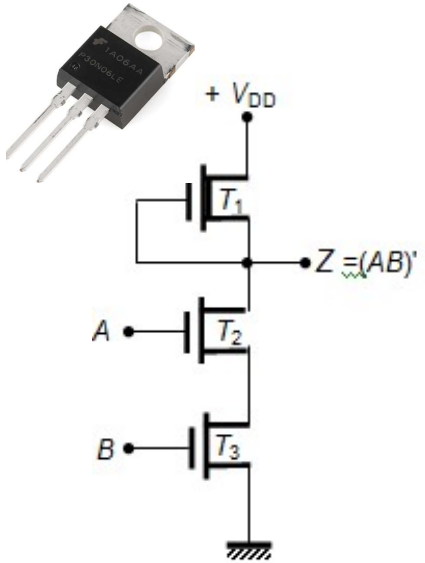
ตัวอย่างการสร้าง NAND Gate

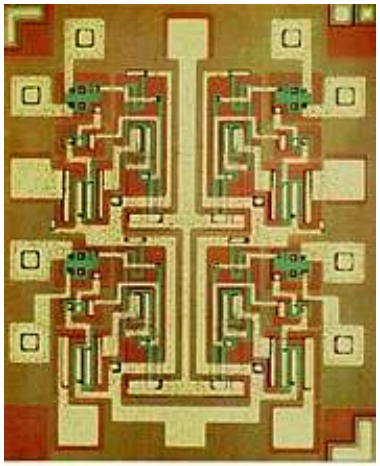




Vacuum tube NAND gate



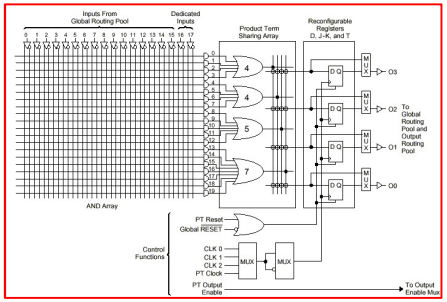


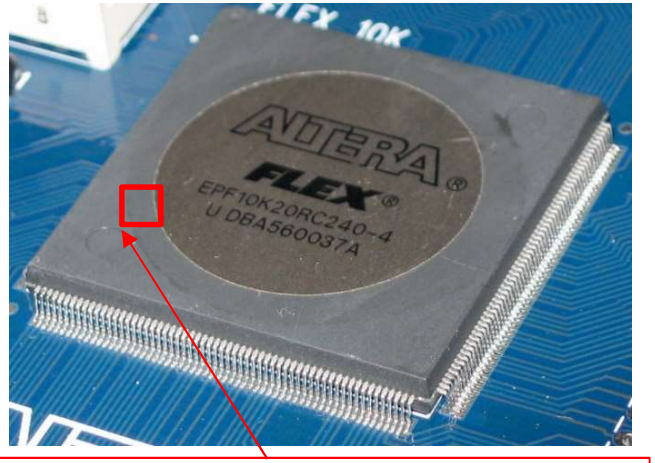


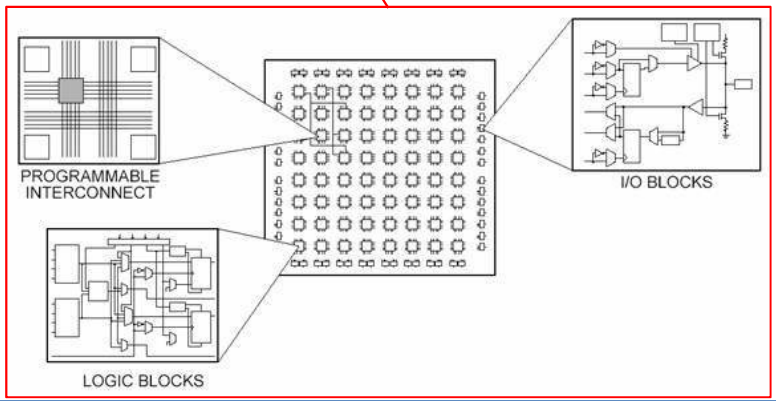
ปัจจุบันนี้ การสร้างวงจรดิจิทัล นิยมใช้อุปกรณ์ FPGA (field-programmable gate array)
ภายใน FPGA จะมี Logic gate อยู่จำนวนมาก สามารถโปรแกรมการเชื่อมต่อภายในให้เป็นวงจรตามที่ต้องการได้
มีทั้งแบบที่ โปรแกรมได้ครั้งเดียว และโปรแกรมได้หลายครั้ง
การโปรแกรมวงจรวงไปในชิพ จะใช้วิธีวาดวงจร Logic ลงไปเอง
หรือจะโปรแกรมคุณสมบัติหรือลักษณะการทำงานของวงจรด้วยภาษา HDL
แล้วคอมไฟล์ออกมาเป็นวงจรดิจิทัลก็สามารถทำได้

A simple AND gate in VHDL would look something like

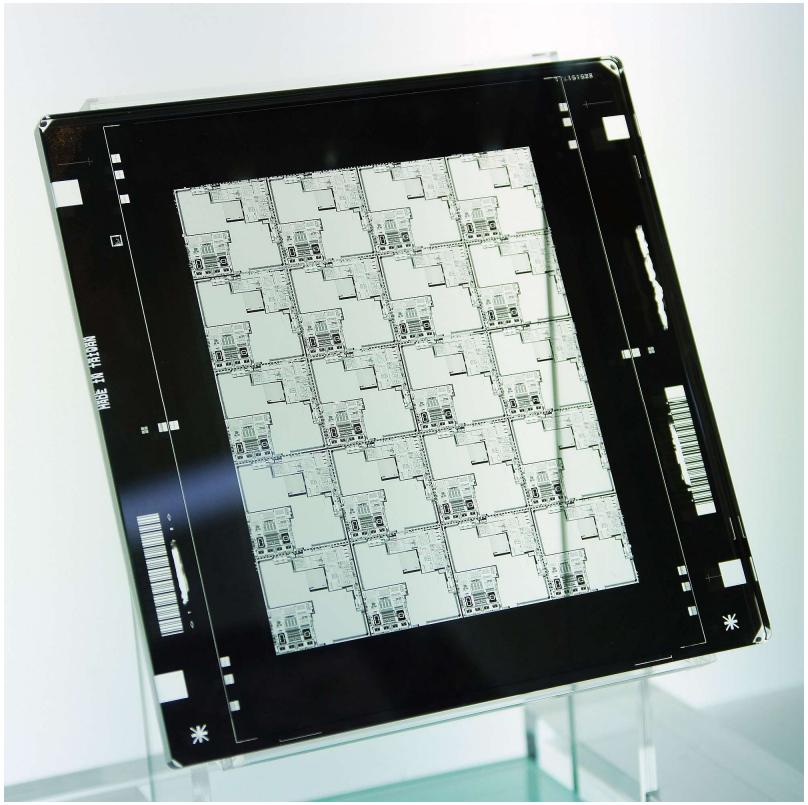
```vhdl
-- (this is a VHDL comment)
/*
    this is a block comment (VHDL-2008)
*/
-- import std_logic from the IEEE library
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;

-- this is the entity
entity ANDGATE is
  port (
    I1 : in std_logic;
    I2 : in std_logic;
    O  : out std_logic);
end entity ANDGATE;

-- this is the architecture
architecture RTL of ANDGATE is
begin
  O <= I1 and I2;
end architecture RTL;
```

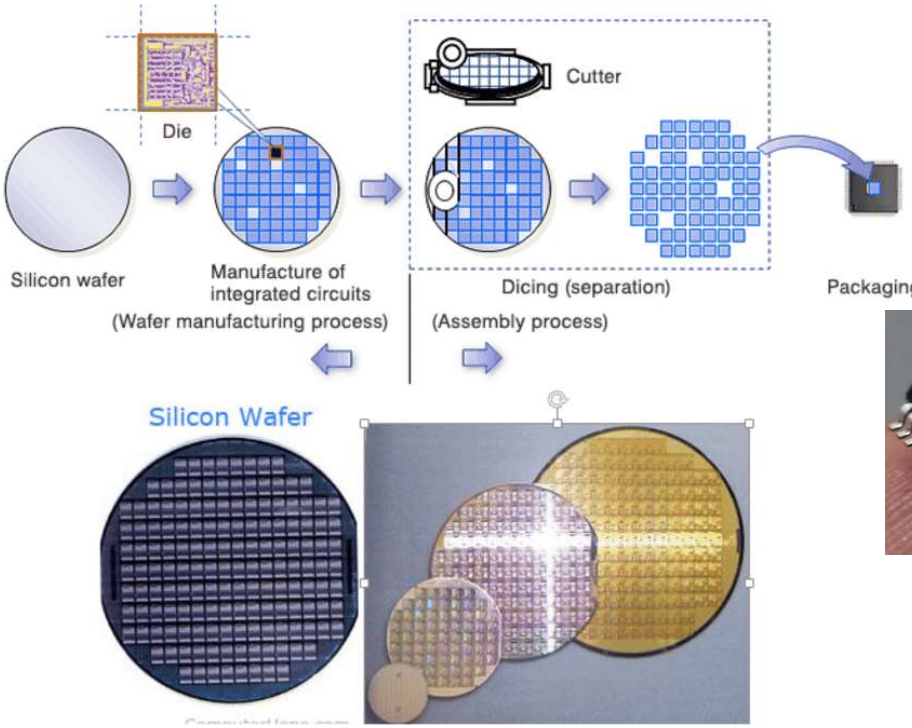


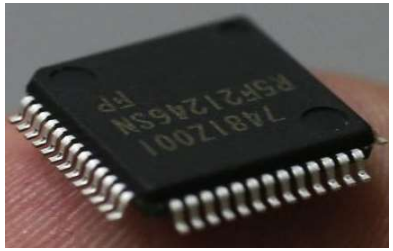




หากต้องการผลิตเป็นจำนวนมาก ก็สามารถนำ code ไปสร้างเป็น photomask เพื่อเป็นต้นแบบในการผลิตวงจรรวม







สรุป

- ตัวดำเนินการทางดิจิทัล
- วงจรเชิงจัดกลุ่ม