

CS121 Digital Logic and Smart Device

Chapter 3

Digital Circuit



By Dr. Paween Khoenkaw
Computer Science MJU

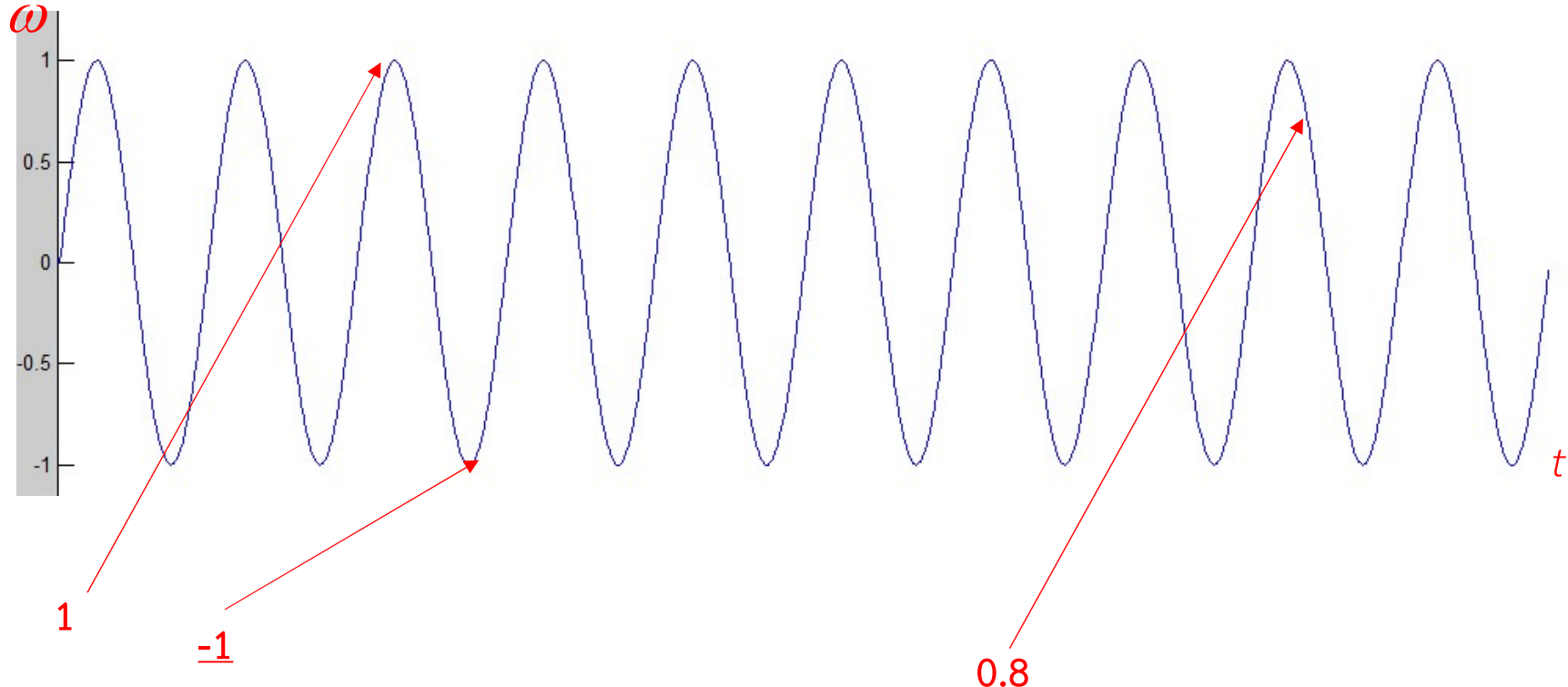


- สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)
- ตัวดำเนินการทางดิจิทัล(Digital Operator)
- วงจรเชิงจัดหมู่ (Combination Circuit)



สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

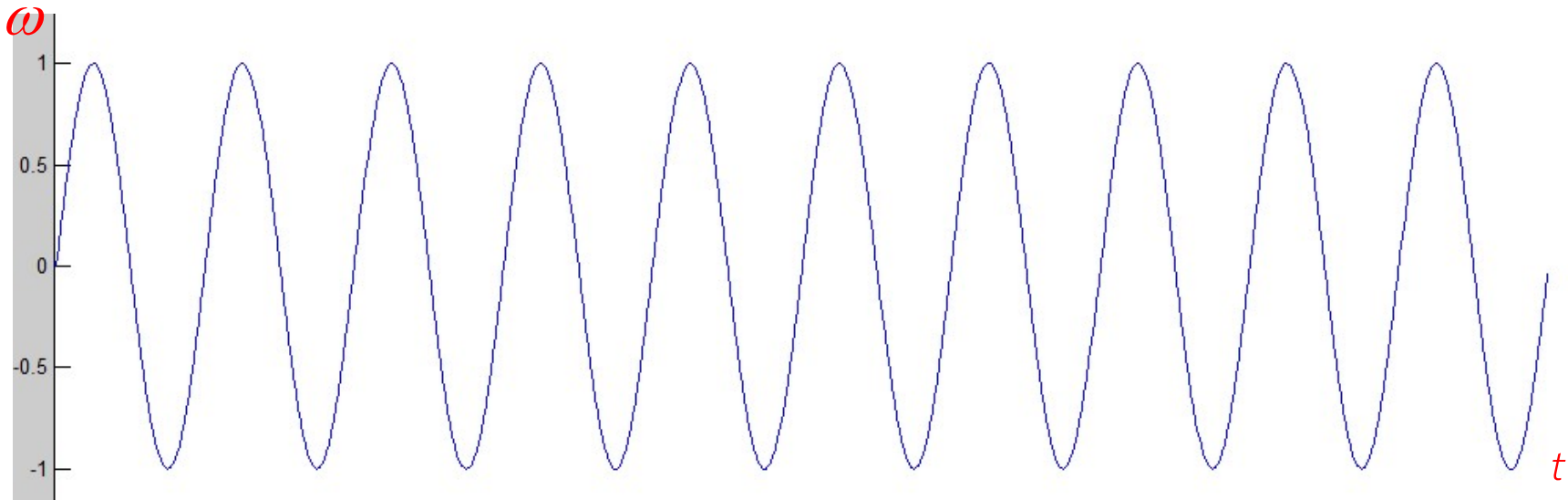
เป็นการแทนค่าของสัญญาณอย่างง่าย โดยจะแทนค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของข้อมูล มีความต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่มีค่าสูงจะแทนด้วยแรงดันสูง และข้อมูลที่มีค่าต่ำ จะแทนด้วยแรงดันต่ำ เป็นต้น



สัญญาณดิจิทัล

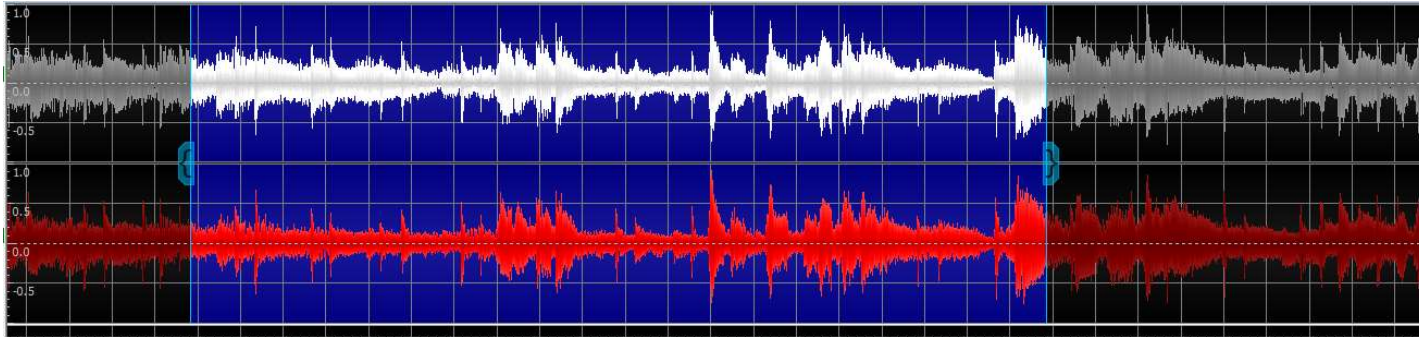
สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

ข้อดี: ใช้งานง่าย วงจรไม่ซับซ้อน ใช้พื้นที่ในการบันทึกน้อย



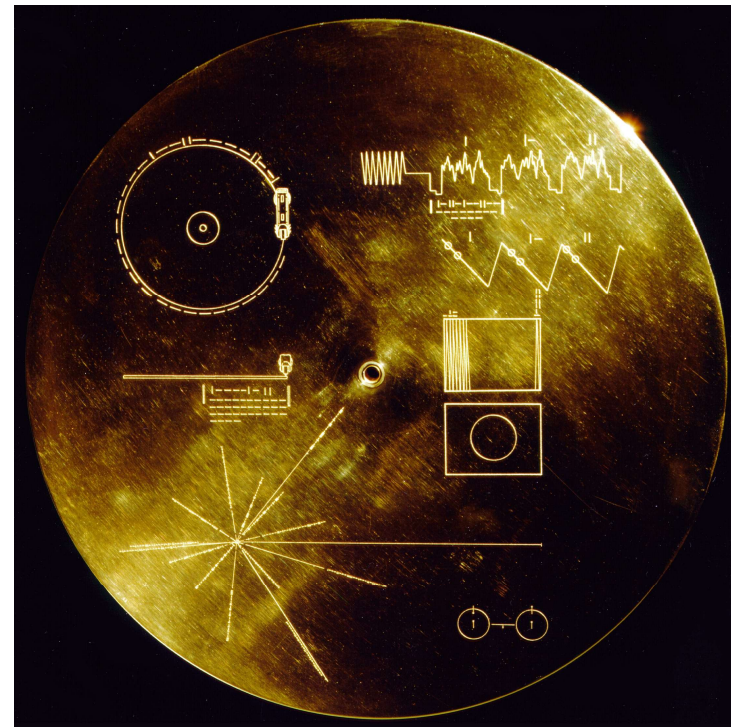
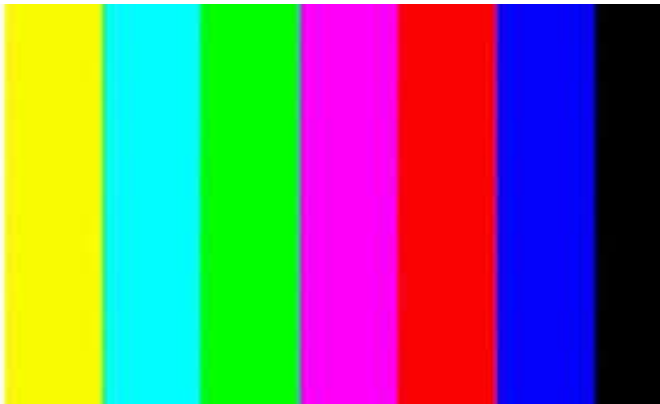
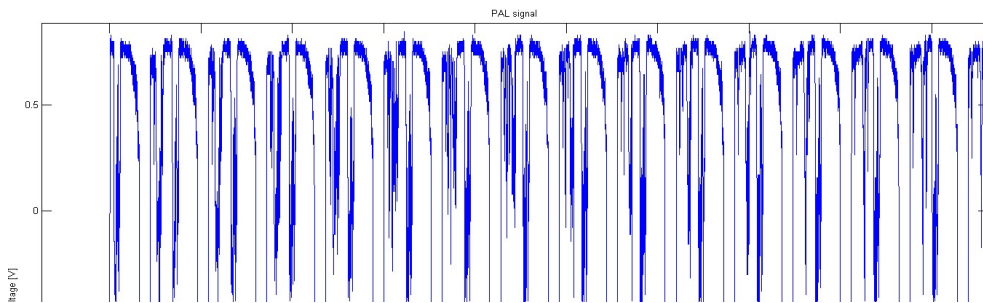
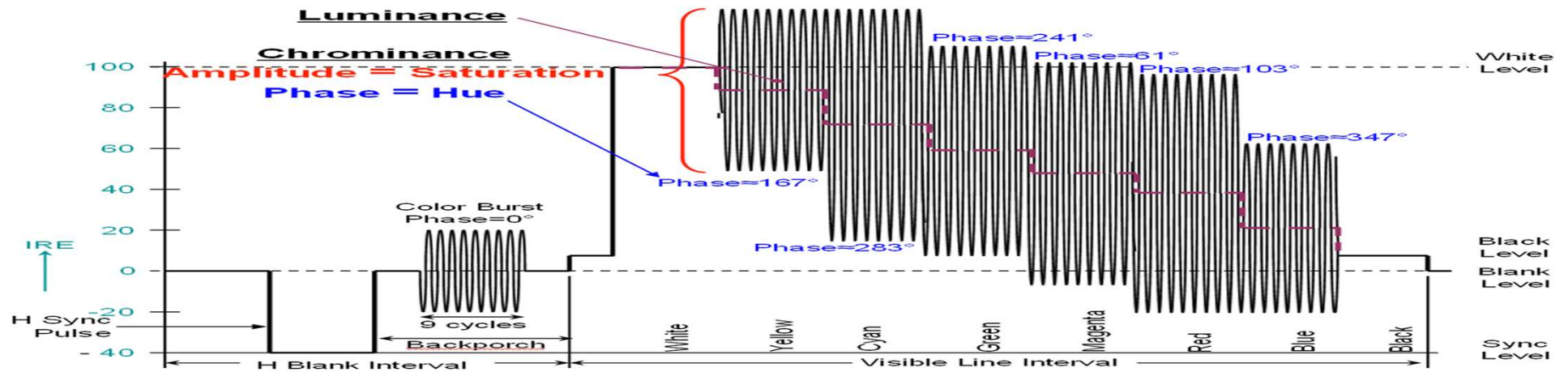
สัญญาณดิจิทัล

ตัวอย่างสัญญาณแอนะล็อกในทางไฟฟ้า (Electrical Analog Signal)



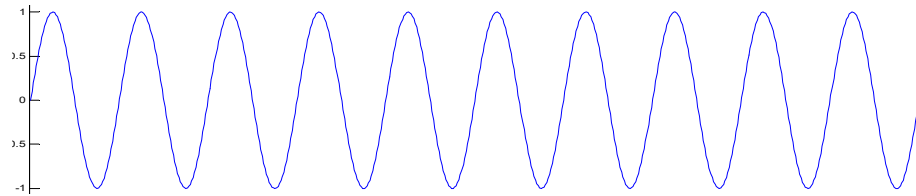
สัญญาณดิจิทัล

ตัวอย่างสัญญาณแอนะล็อกในทางไฟฟ้า (Electrical Analog Signal)

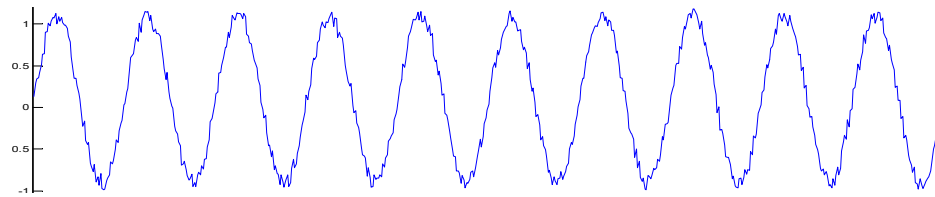


สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

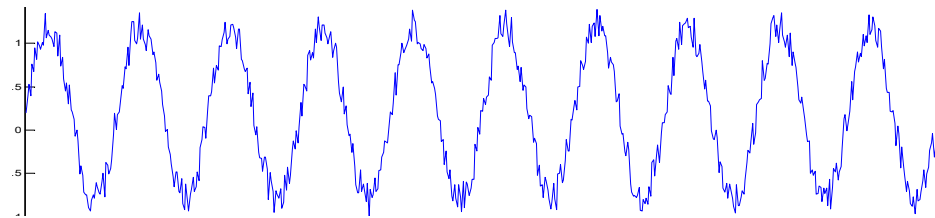
ข้อเสีย: ไม่ทนต่อสัญญาณรบกวน



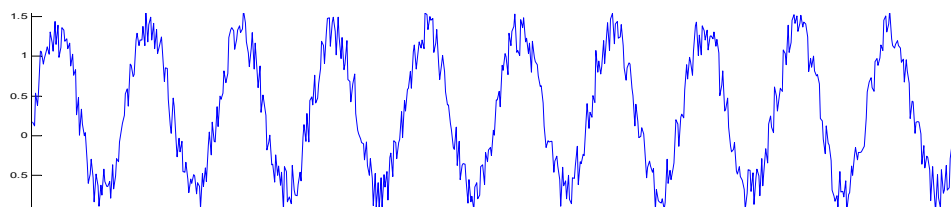
ไม่มีสัญญาณรบกวน



มีสัญญาณรบกวน 20%



มีสัญญาณรบกวน 40%

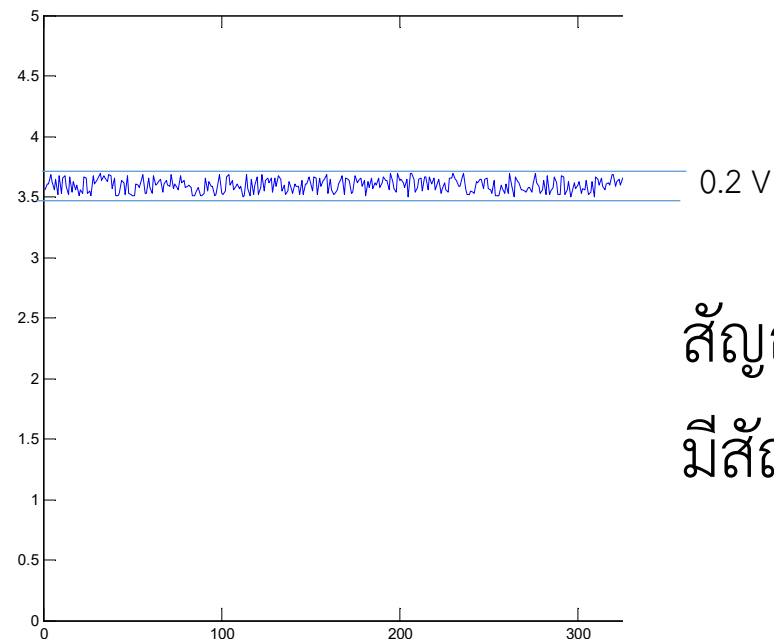
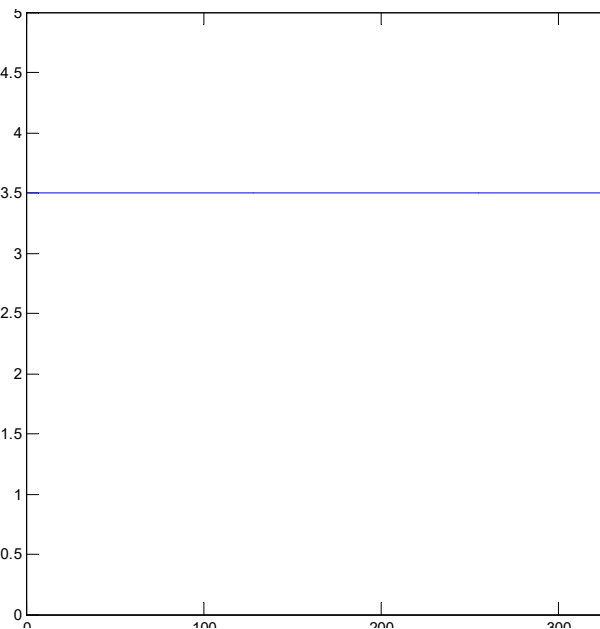


มีสัญญาณรบกวน 60%

สัญญาณดิจิทัล

สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)

สัญญาณแอนะล็อกจะแทนข้อมูลได้ละเอียดที่สุดเท่าใด ?



สัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 V

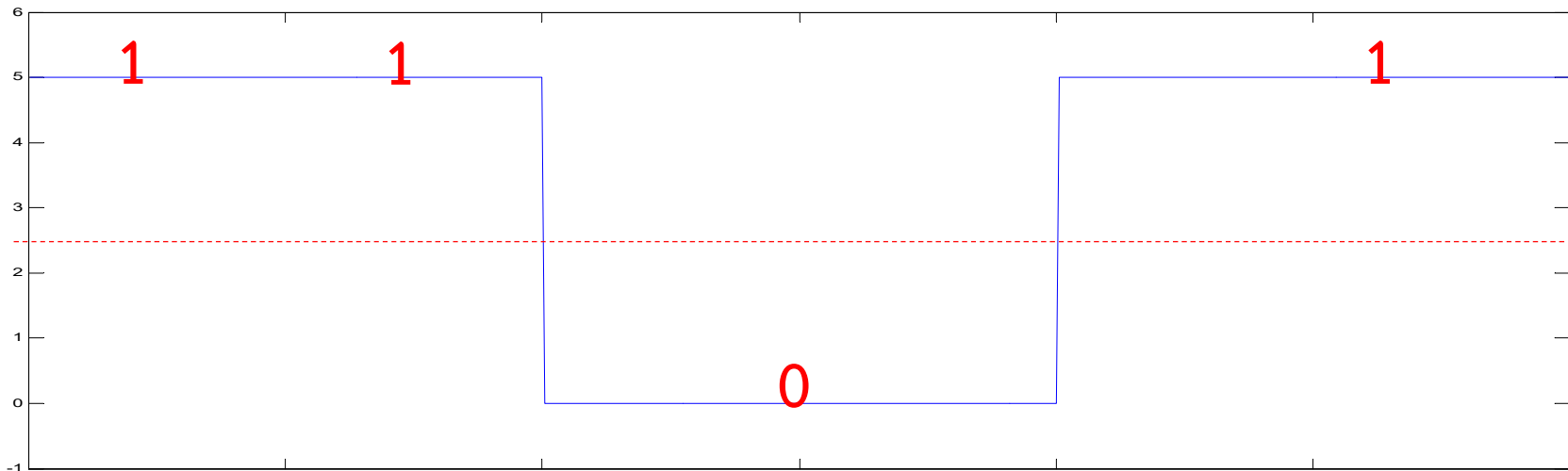
มีสัญญาณรบกวน ± 0.2 V

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

ความละเอียดในการแทนสัญญาณถูกจำกัดด้วยปริมาณของสัญญาณรบกวน

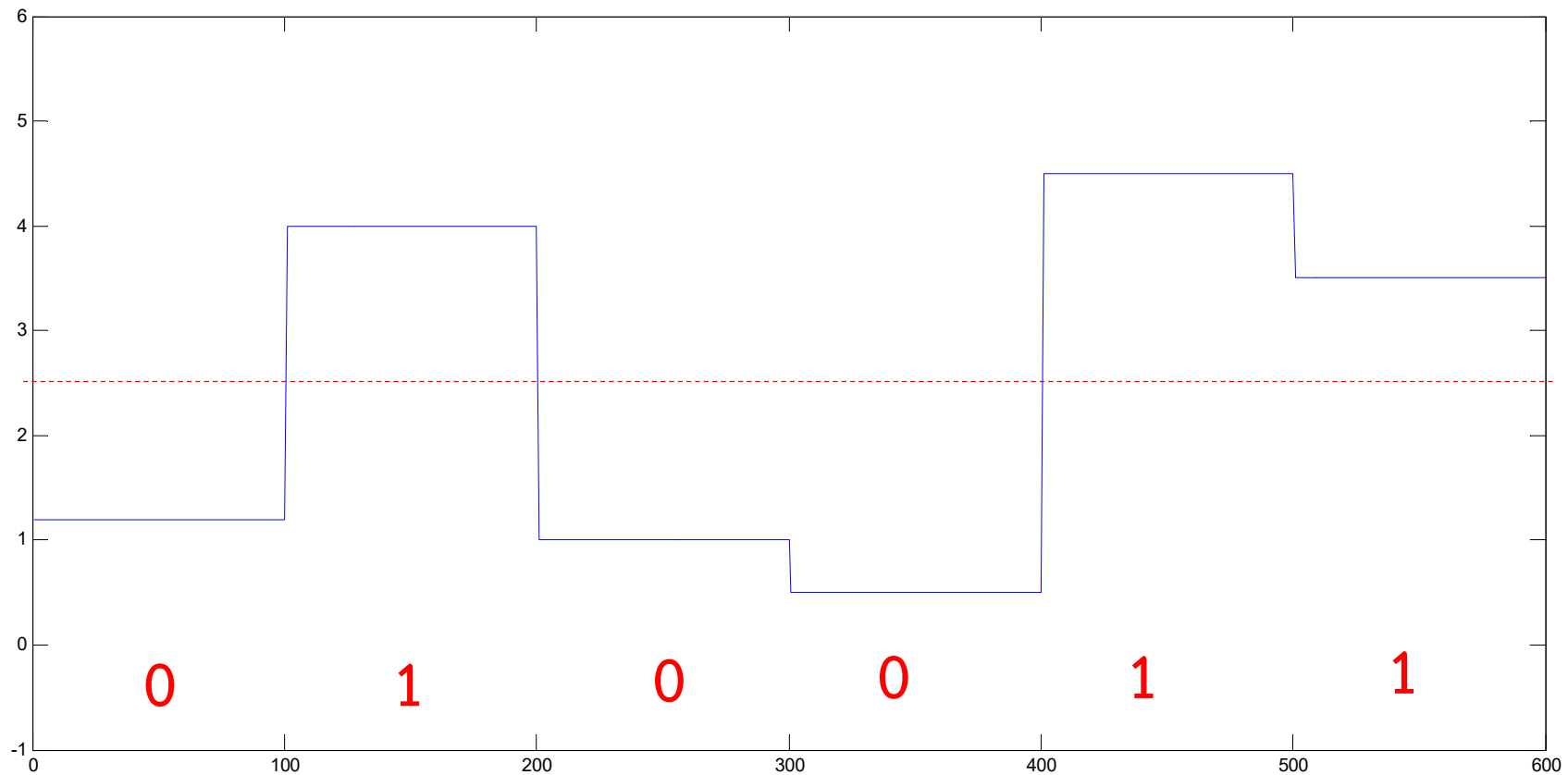
สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

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

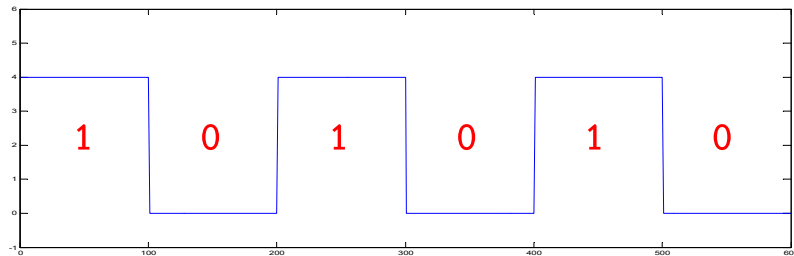


สัญญาณดิจิทัล

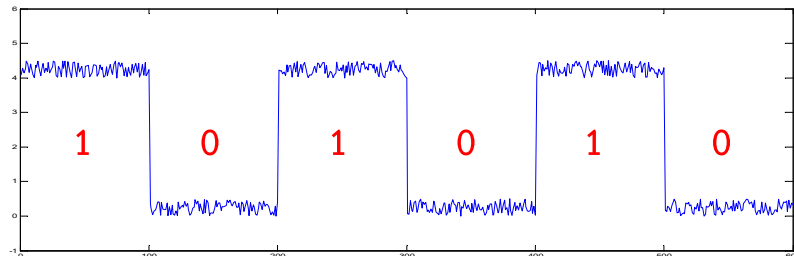
สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

ข้อดี: มีความแม่นยำ

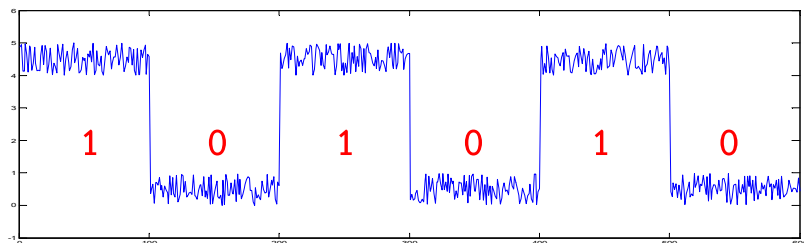
สามารถสร้างใหม่ได้ทุกครั้ง จึงทำสำเนาได้ไม่จำกัด



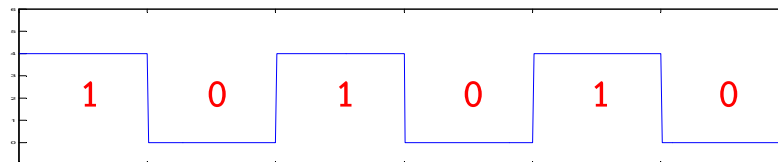
ไม่มีสัญญาณรบกวน



มีสัญญาณรบกวน 0.5V



มีสัญญาณรบกวน 1 V



สามารถทำซ้ำได้เหมือนเดิม

สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

สัญญาณดิจิทัลจะแทนข้อมูลได้ละเอียดที่สุดเท่าใด ?

โดยทฤษฎีแล้ว ความละเอียดในการแทนข้อมูลนั้นไม่มีข้อจำกัด
เนื่องจากสามารถกำหนดได้เองในการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อก
ไปเป็นดิจิทัล

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

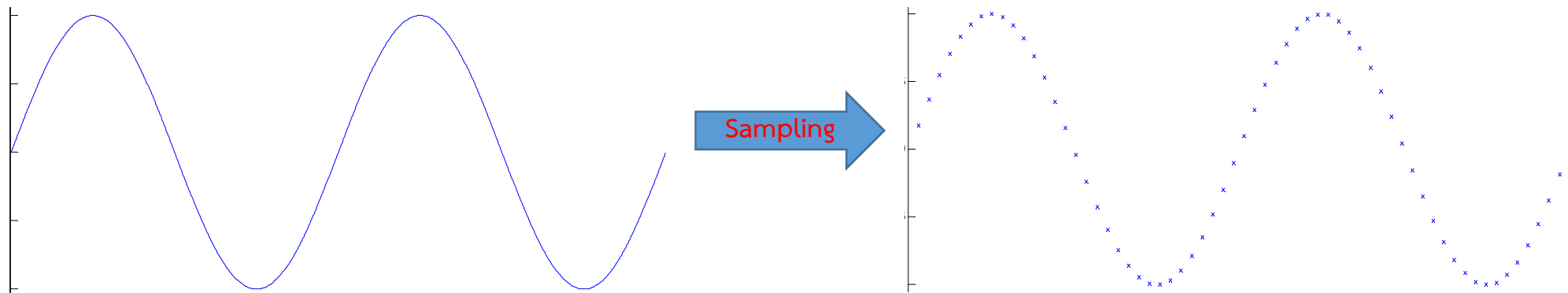
- 1) สุ่ม (Sampling)
- 2) แบ่งนับ (Quantization)
- 3) เข้ารหัส (Coding)

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

1) สุ่ม (Sampling)

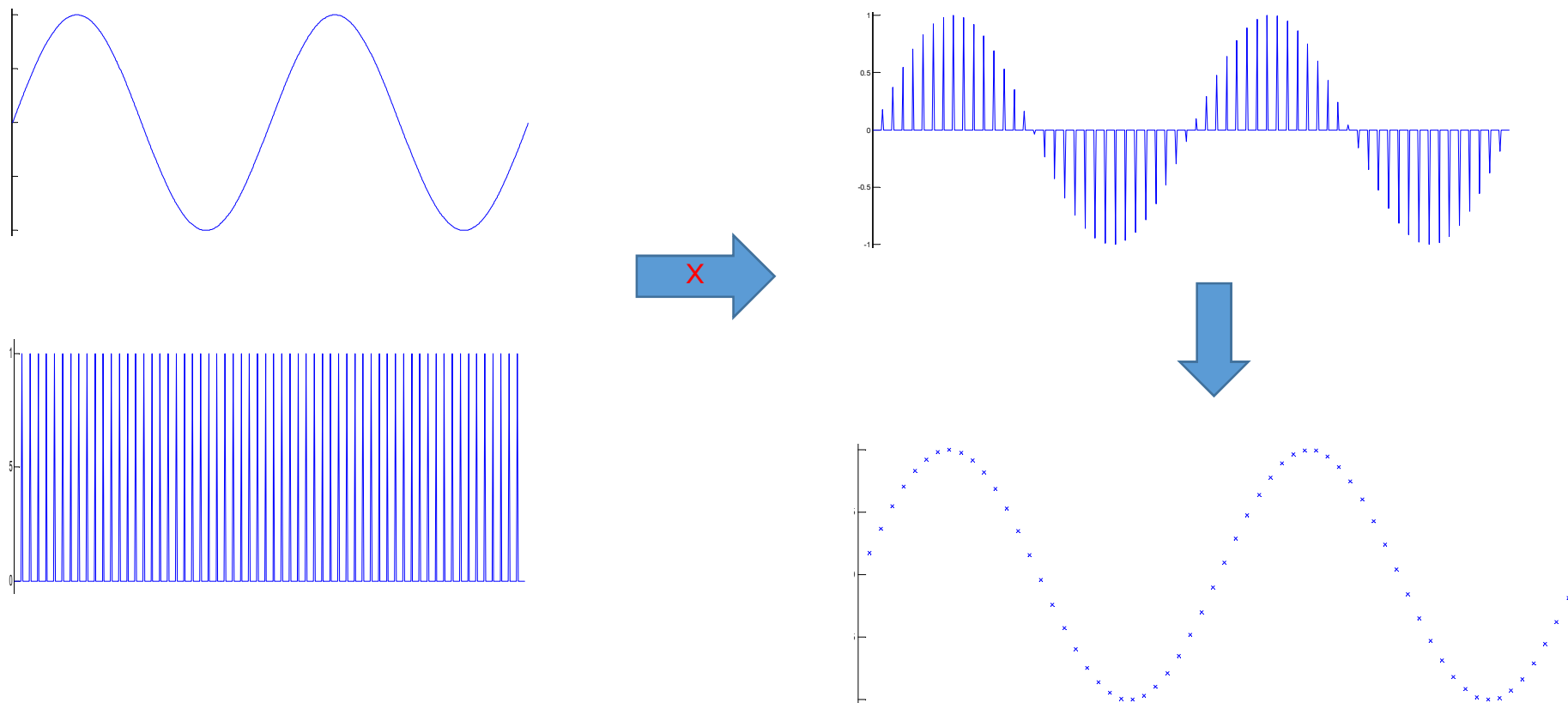
การสุ่มคือการเลือกหยิบสัญญาณขึ้นมาในหน่วยเวลาที่กำหนด ตัวอย่างเช่น สุ่มหยิบสัญญาณขึ้นมา 1 ตัวอย่างในทุกๆ 1 วินาที มักนิยมระบุเป็นความถี่ F_s

ตัวอย่างเช่น $F_s = 100$ Hz หมายถึง ใน 1 วินาทีให้ทำการสุ่มหยิบสัญญาณมาจำนวน 100 ตัวอย่าง

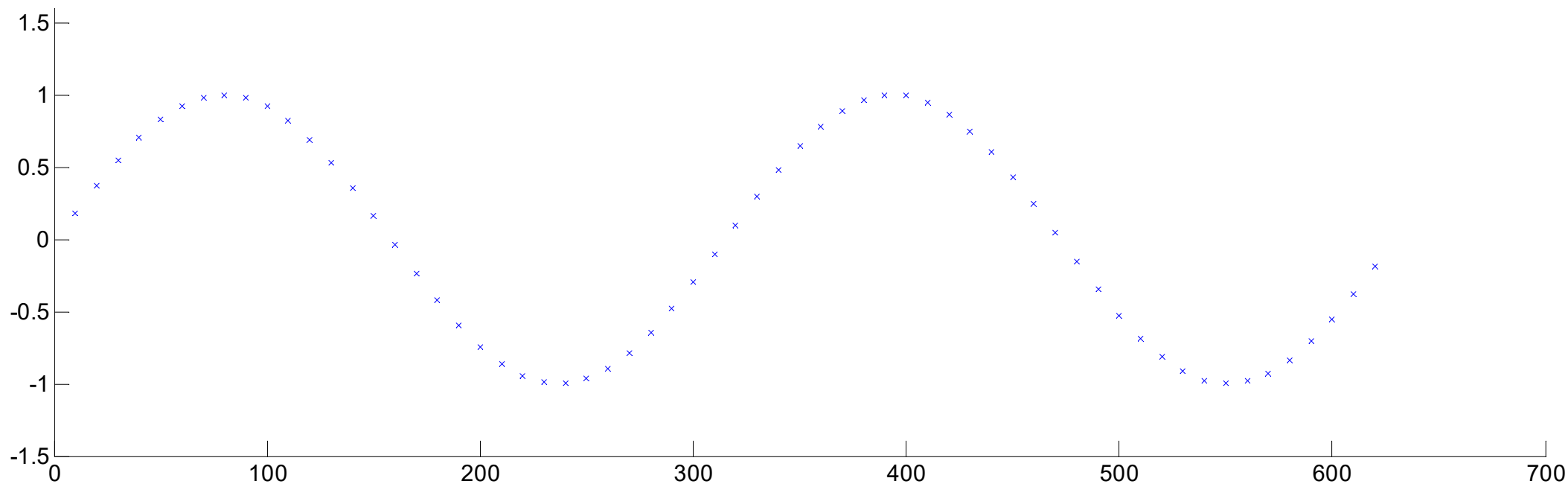


การสุ่มแบบ Pulse Code Modulation (PCM)

เป็นการสุ่มสัญญาณโดยสร้างสัญญาณ Pulse ที่มีความถี่คงนี้
แล้วนำเอาสัญญาณนั้นไปคูณกับ สัญญาณที่ต้องการสุ่ม



สัญญาณที่ได้จากการสุ่มจะเป็นสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่อง (Discreet Signal)



สัญญาณที่ได้ในขั้นตอนนี้ยังเป็นแบบแอนะล็อกอยู่

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

2) การแบ่งนับ (Quantization)

การแบ่งนับคือการแทนขนาดของสัญญาณด้วยตัวเลข รหัส หรือสัญลักษณ์
ความละเอียดของการแบ่งนับจะขึ้นอยู่กับจำนวนของบิต (Binary digit)

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

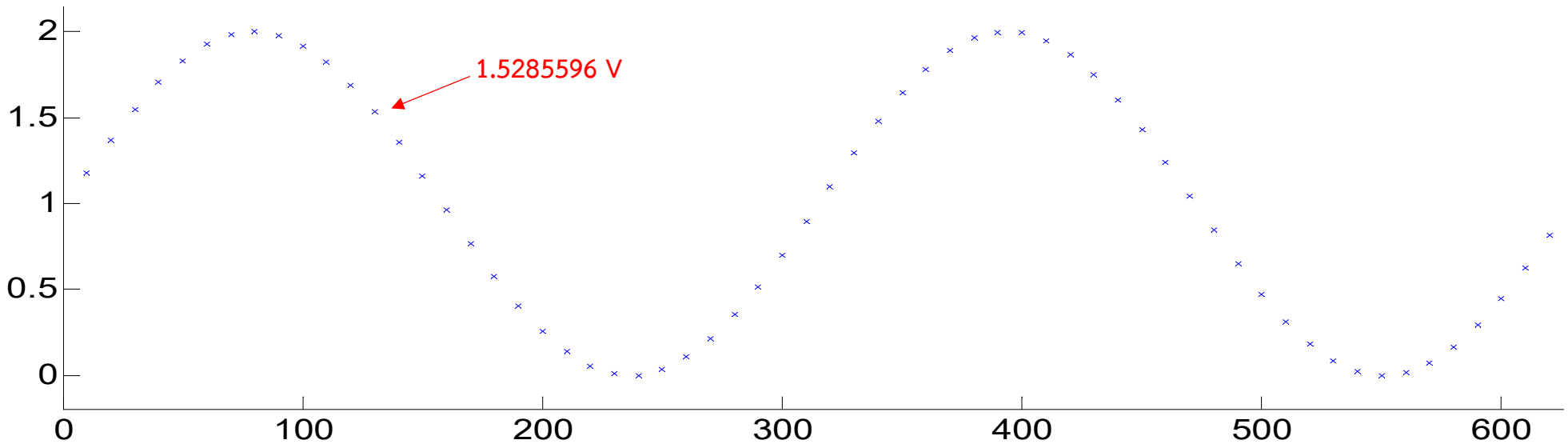
v คือ ค่าตัวเลขของสัญญาณไฟฟ้า

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

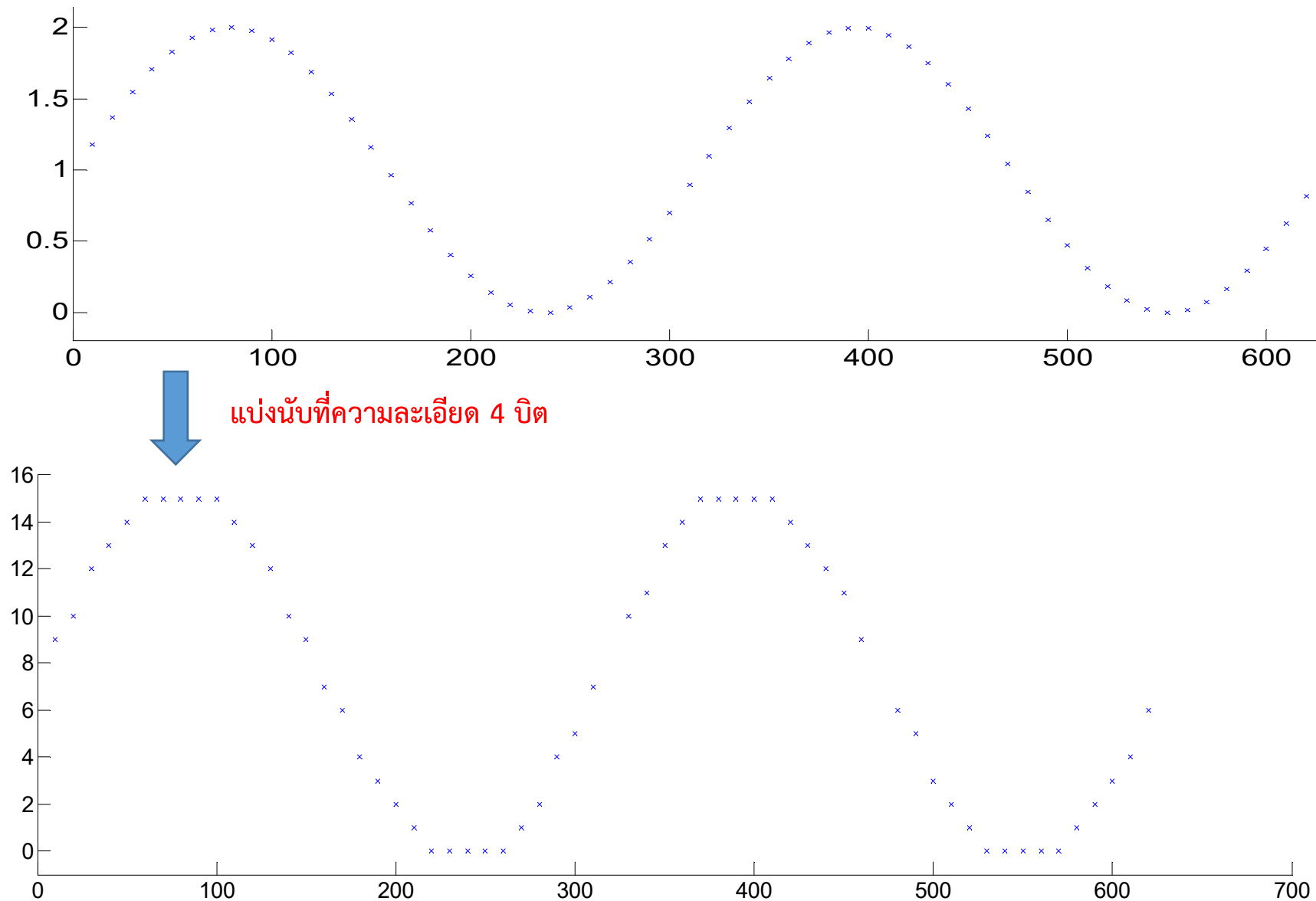
v_{ref} = 2

$bits$ = 4

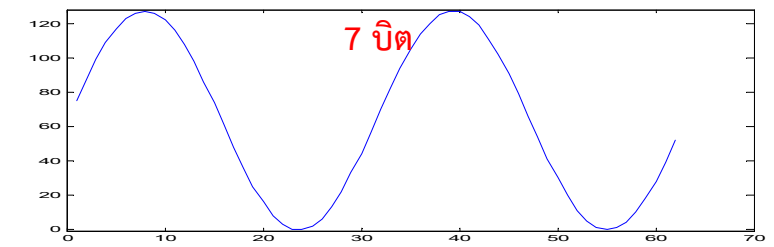
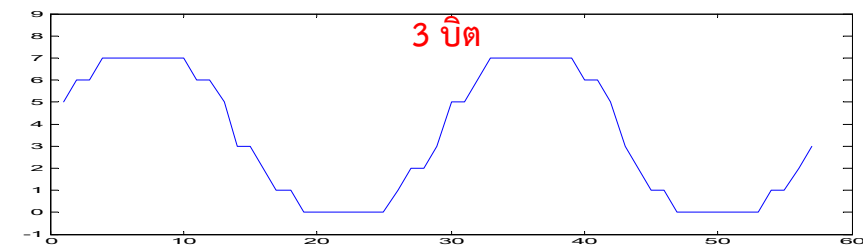
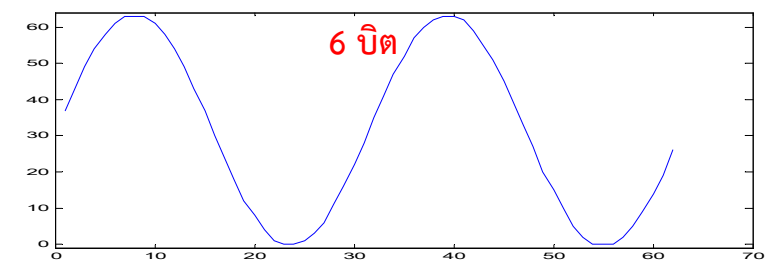
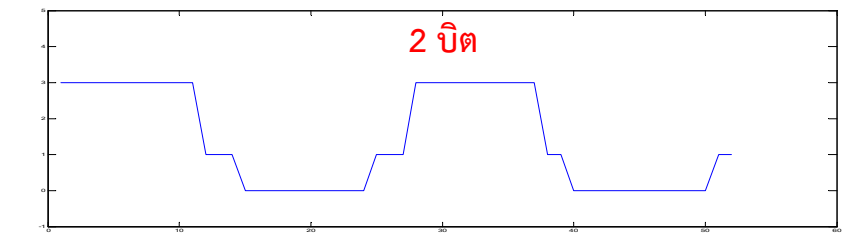
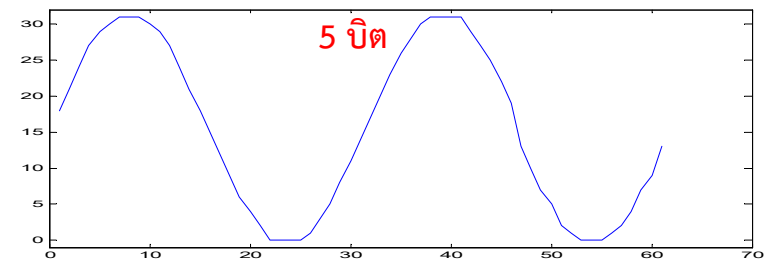
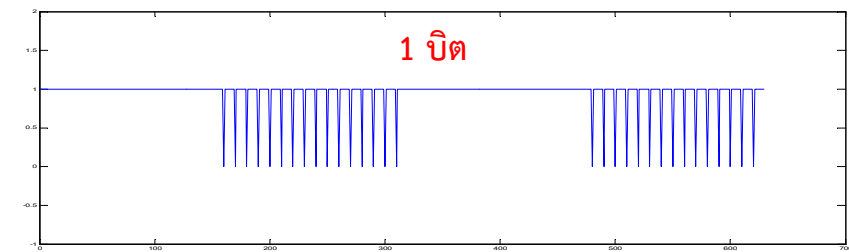
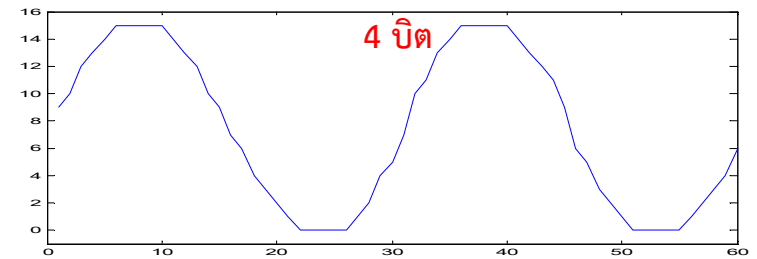
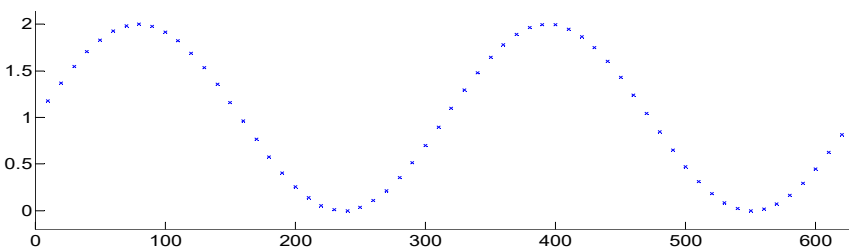
$$v = \left\lfloor \frac{1.528559}{2} \times 2^4 - 1 \right\rfloor$$

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

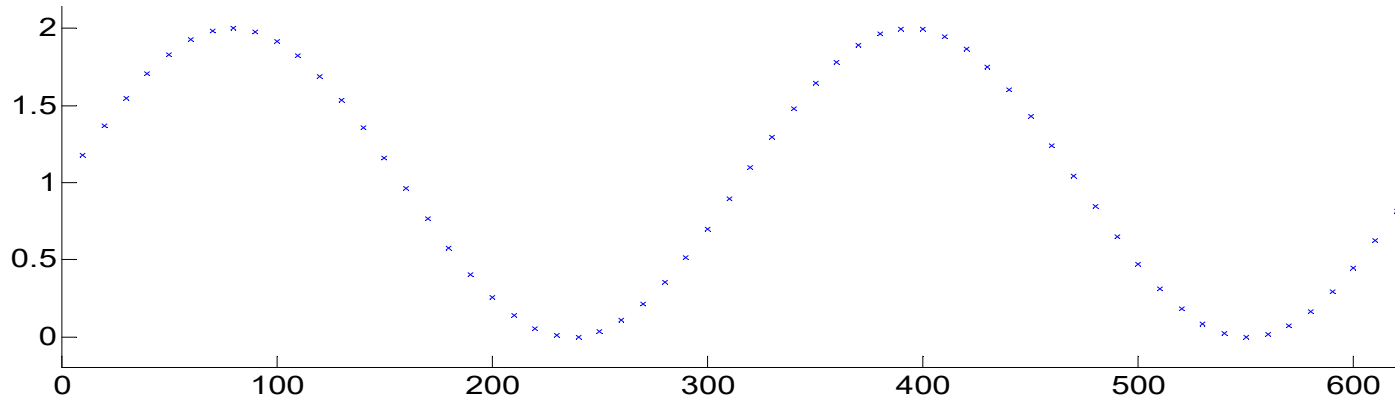
การแบ่งนัย (Quantization)



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

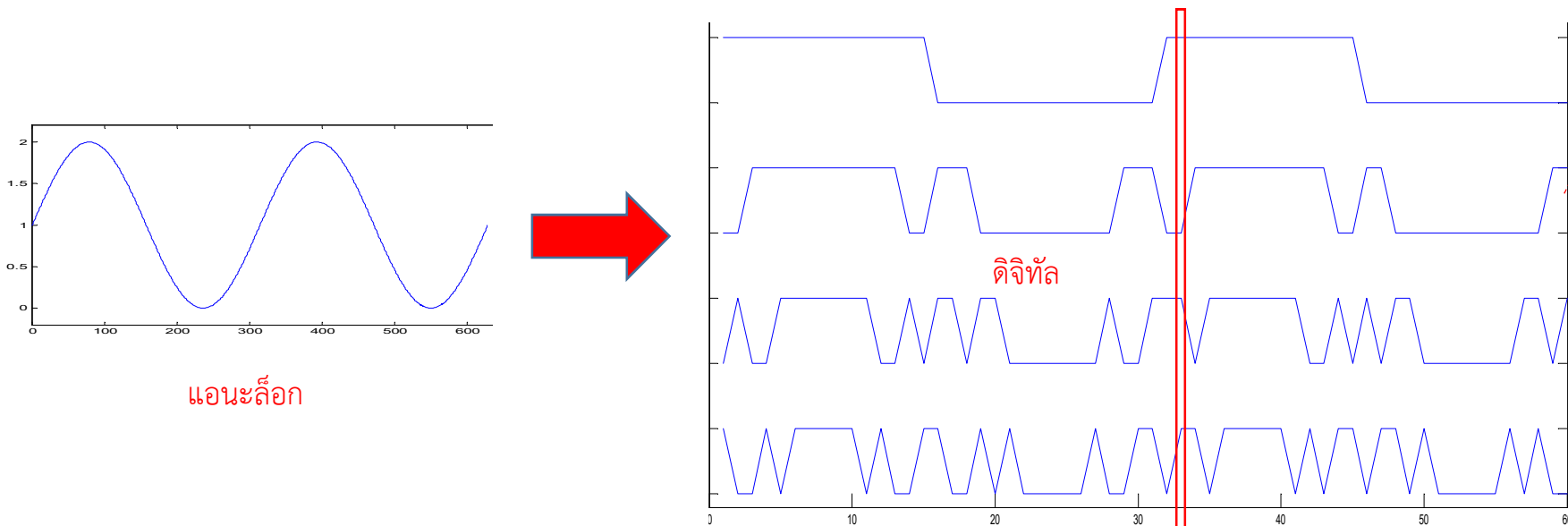
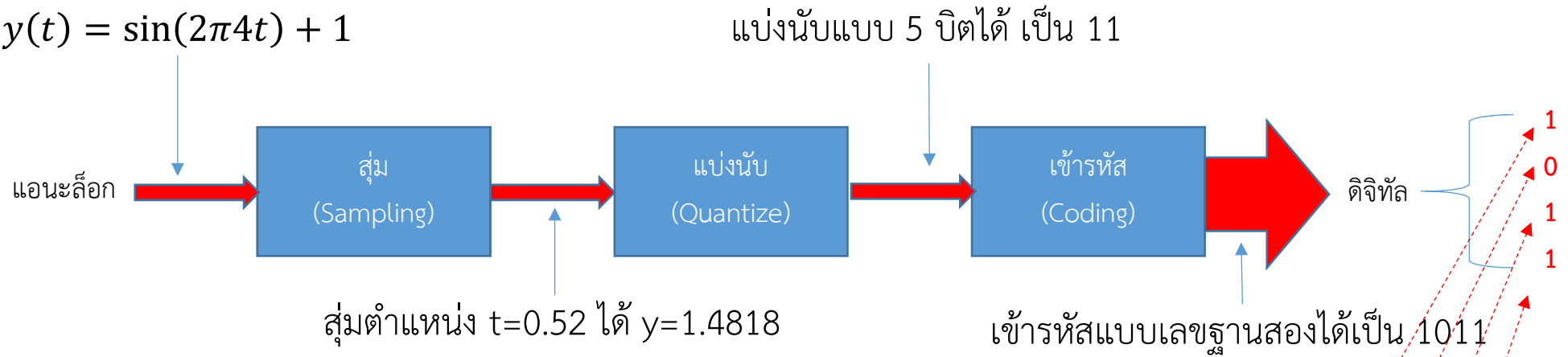
เลขฐาน 10	เลขฐานสอง	BCD	Gray
0	0000	0000 0000	0000
1	0001	0000 0001	0001
2	0010	0000 0010	0011
3	0011	0000 0011	0010
4	0100	0000 0100	0100
5	0101	0000 0101	0101
6	0110	0000 0110	0110
7	0111	0000 0111	0111
8	1000	0000 1000	1000
9	1001	0000 1001	1001

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

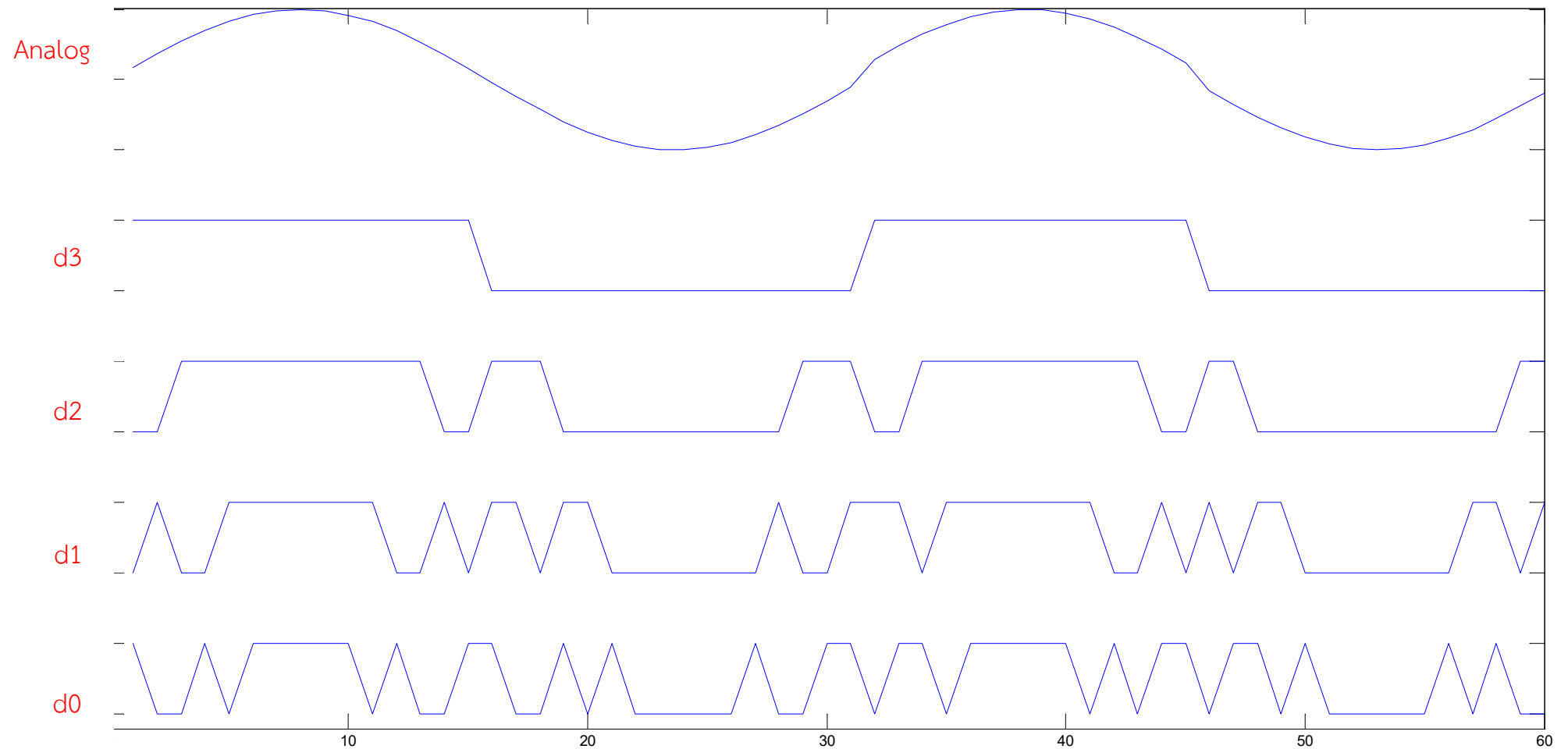
วิชานี้จะใช้รหัสแบบเลขฐานสอง และรหัสแบบเกรย์

การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล

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



การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล



สัญญาณติจิตัล

ข้อเสีย: สัญญาณเอนะลือกที่แปลงเป็นติจิตัลแล้วจะไม่เหมือนเดิม
วงจรมีความซับซ้อน
การประมวลผลมีความซับซ้อน
ต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บสูงขึ้น

แต่ในโลกปัจจุบัน นี่คืข้อเสียที่เรายอมรับได้ (Compromise)



ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

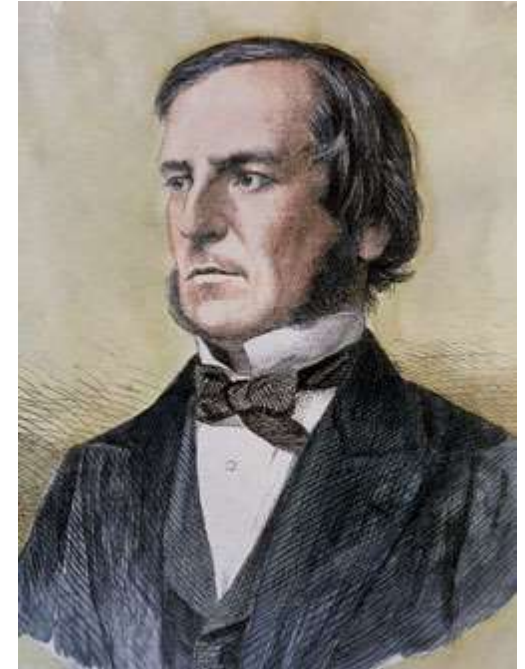
การดำเนินการทางดิจิทัลจะใช้หลักของพีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra)

0 = เท็จ (F)

1 = จริง (T)

Born 2 November 1815
[Lincoln, Lincolnshire, England](#)

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



George Boole



Born April 30, 1916
[Petoskey, Michigan, United States](#)

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

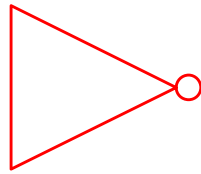
Claude Elwood Shannon

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

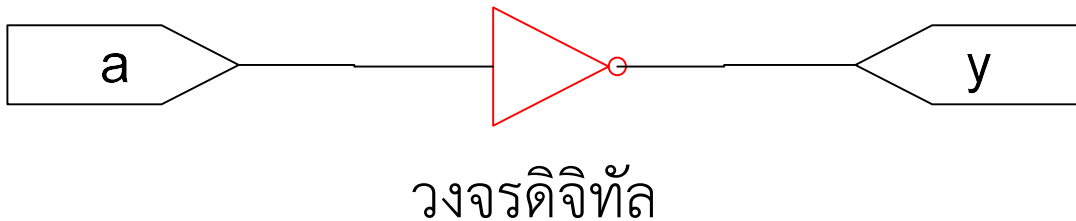
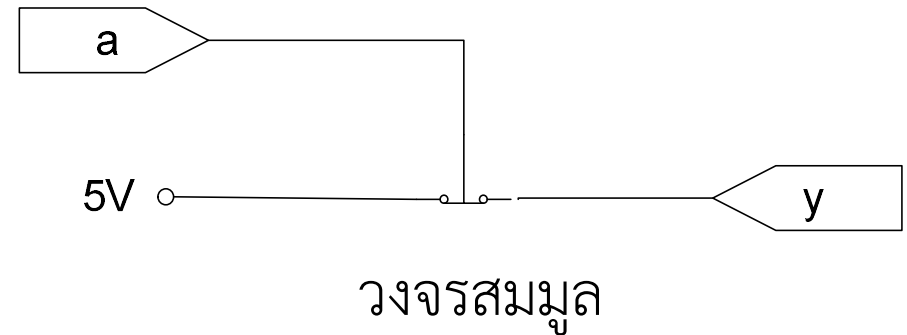
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง
ในทางไฟฟ้านิยมเรียกว่า ประตู (Logic Gate)

1) นิเสธ , Invertor , NOT, Negation

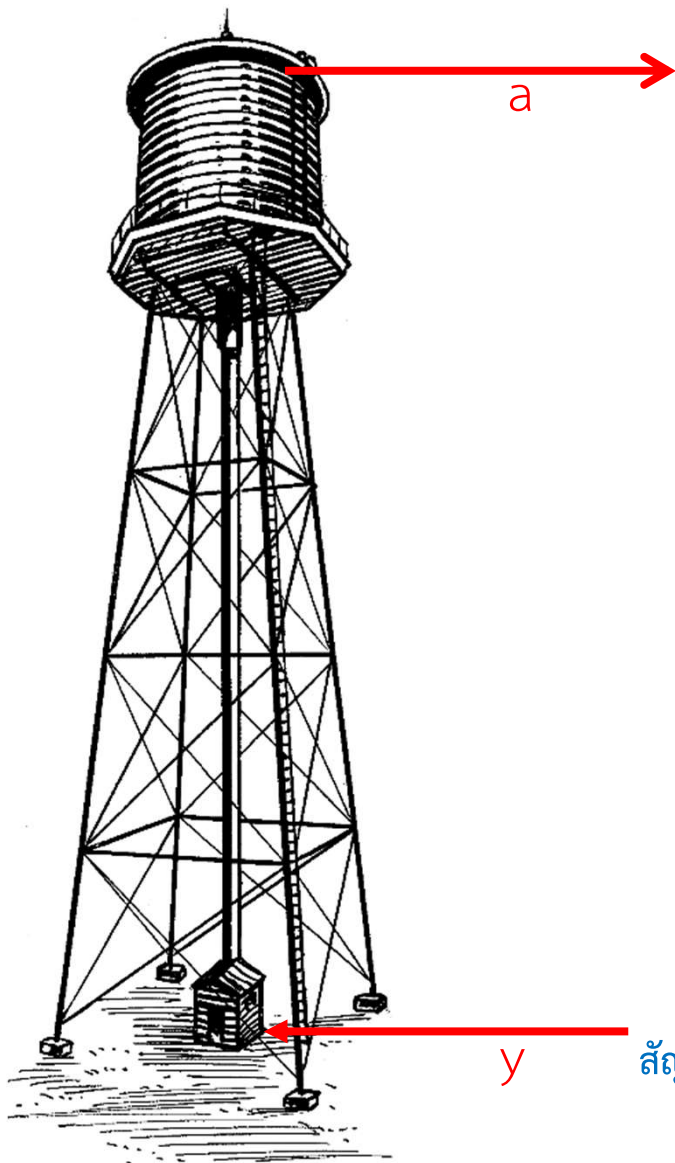
$$y = \bar{a}$$



a	y
0	1
1	0



ตัวอย่างวงจรปั้มน้ำอัตโนมัติ



เซ็นเซอร์ระดับน้ำ 0 = น้ำแห้ง , 1 = น้ำเต็มถัง

- 1) นิยาม Input และ Output
Input คือ a , Output คือ y
- 2) ออกแบบตารางค่าความจริง

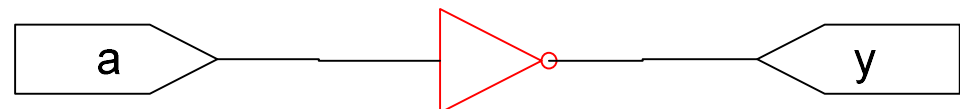
ตารางค่าความจริง

a	y
0	1
1	0

- 3) ตั้งสมการบูลีน

$$y = \bar{a}$$

- 4) ออกแบบวงจร



สัญญาณควบคุมปั้มน้ำ 0 = ปิดปั้มน้ำ , 1 = เปิดปั้มน้ำ

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

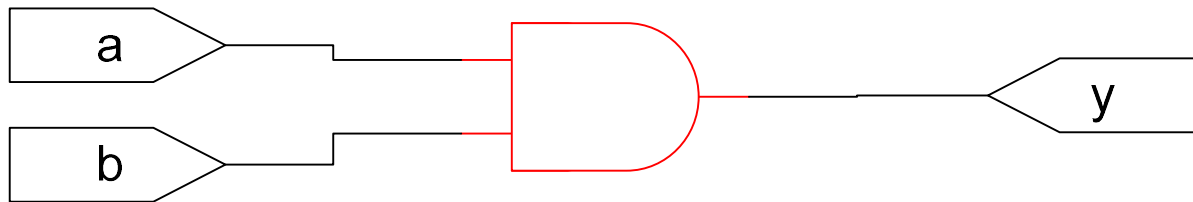
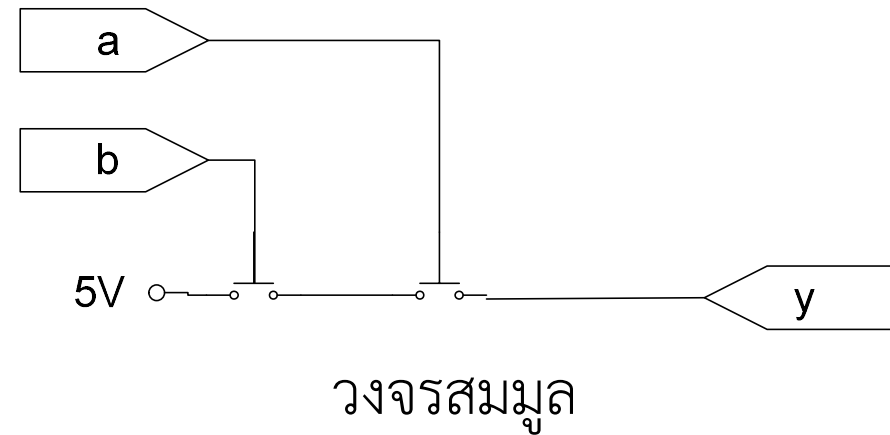
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

2) และ , And, Conjunction

$$y = a \wedge b$$



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



วงจรดิจิทัล

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

ตัวอย่างวงจรเตือนคาดเข็มขัดนิรภัย



a = เซ็นเซอร์ล้อยหมุน 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

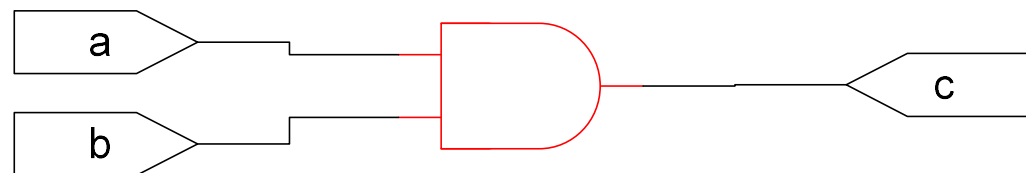
ตารางค่าความจริง

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

3) ตั้งสมการบูลีน

$$c = a \wedge b$$

4) ออกแบบวงจร

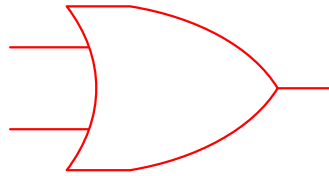


ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

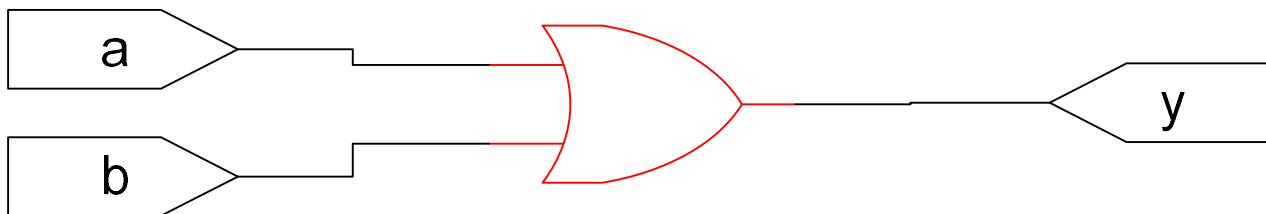
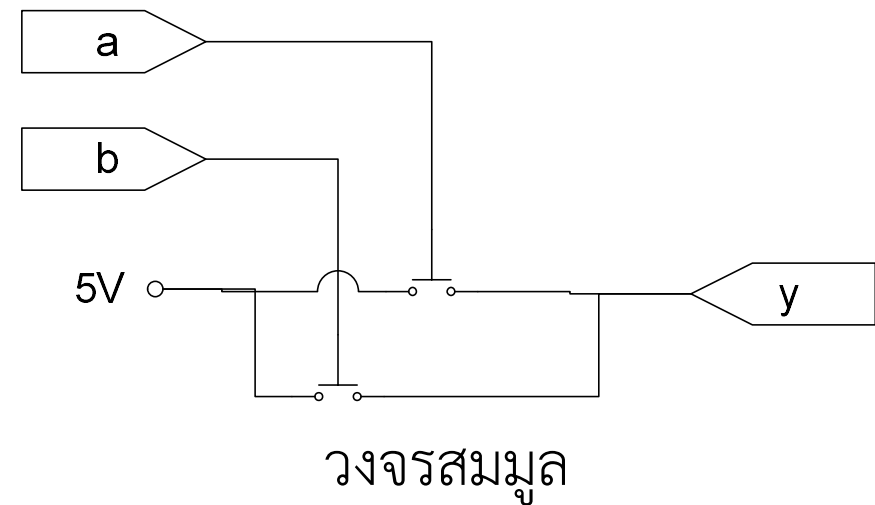
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

3) หรือ , Or, Disjunction

$$y = a \vee b$$



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



วงจรดิจิทัล

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

ตัวอย่างวงจรเตือนไฟไหม้

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

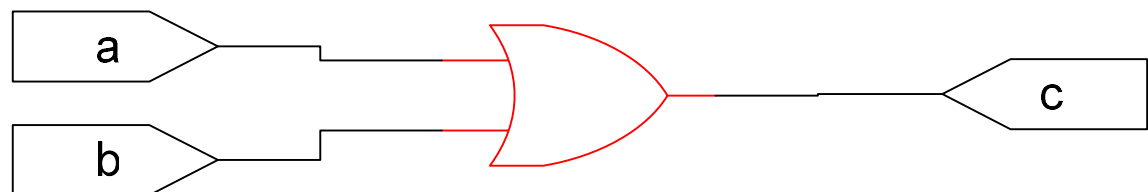
a= เซ็นเซอร์ควันไฟห้องนอน 0 = ไม่มีควัน, 1= มีควัน

b= เซ็นเซอร์ควันไฟห้องรับแขก 0 = ไม่มีควัน, 1= มีควัน

3) ตั้งสมการบูลีน

$$c = a \vee b$$

4) ออกแบบวงจร



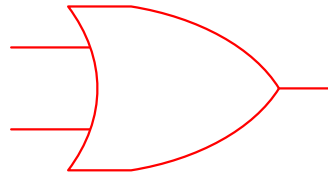
c= กระดิ่ง 0 = ปิด, 1= เปิด

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

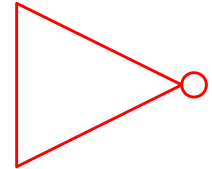
ตัวกระทำทางดิจิทัลที่สำคัญจะมีเพียง 3 ชนิด



AND



OR



NOT

ก็สามารถสร้างวงจรดิจิทัลได้ทุกวงจรในโลก

แต่เพื่อความสะดวกในการออกแบบวงจร และเพื่อลด logic gate จึงได้มีการรวม ตัวกระทำหลักเข้าด้วยกัน สร้างเป็นตัวกระทำชนิดใหม่
ขึ้นมา ตัวอย่างเช่น...

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

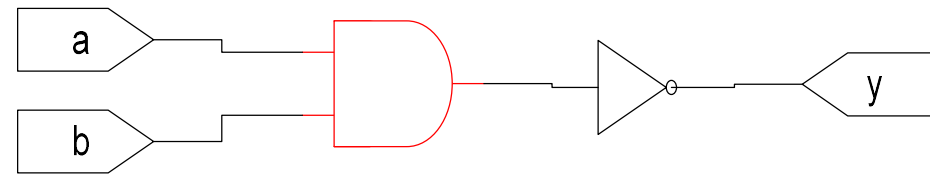
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

4) NAND

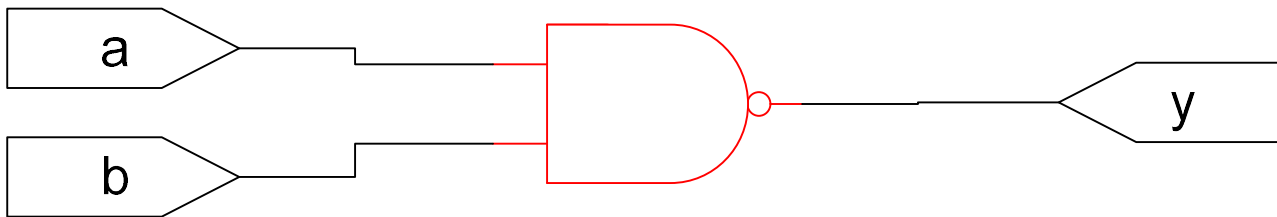
$$y = \overline{a \wedge b}$$



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



วงจรสมมูล



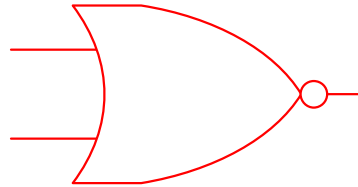
วงจรดิจิทัล

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

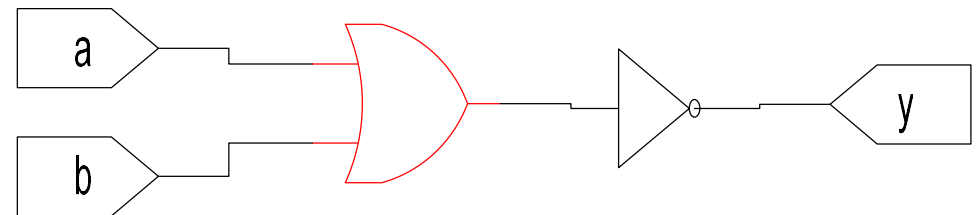
ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

5) NOR

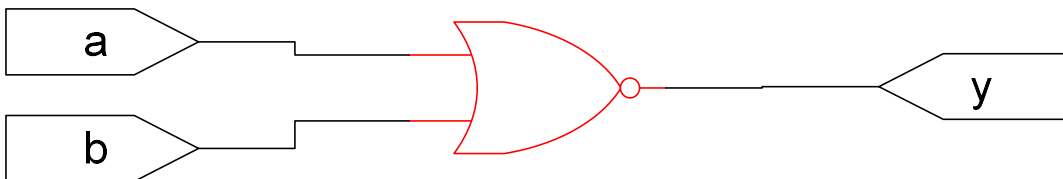
$$y = \overline{a \vee b}$$



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



วงจรสมมูล



วงจรดิจิทัล

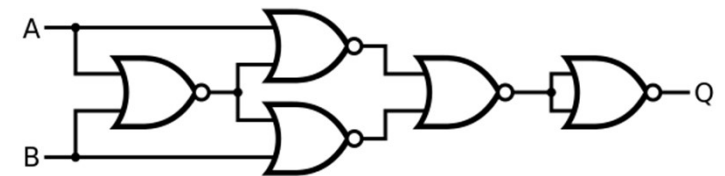
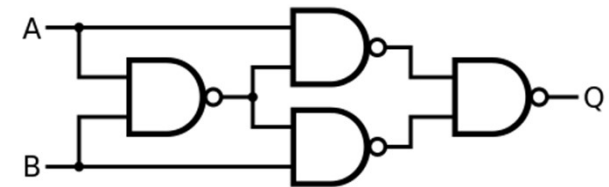
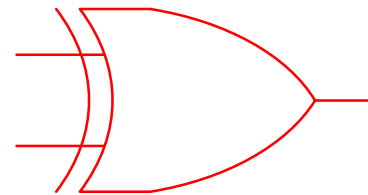
ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

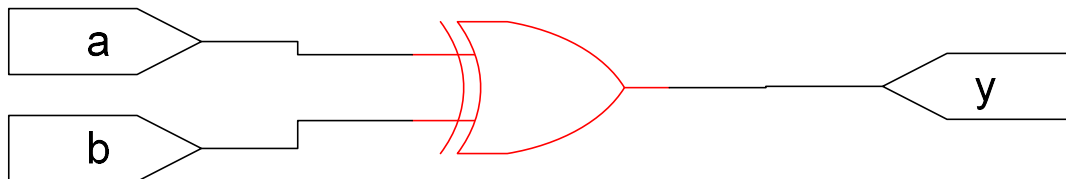
6) XOR (Exclusive OR)

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

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



วงจรสมมูล



วงจรดิจิทัล

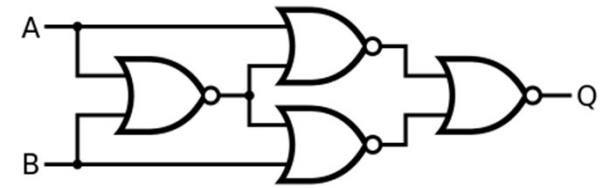
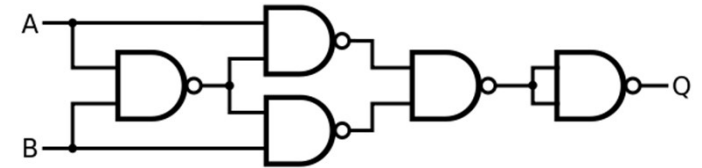
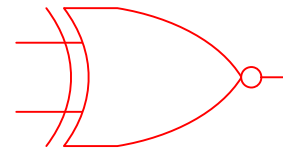
ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

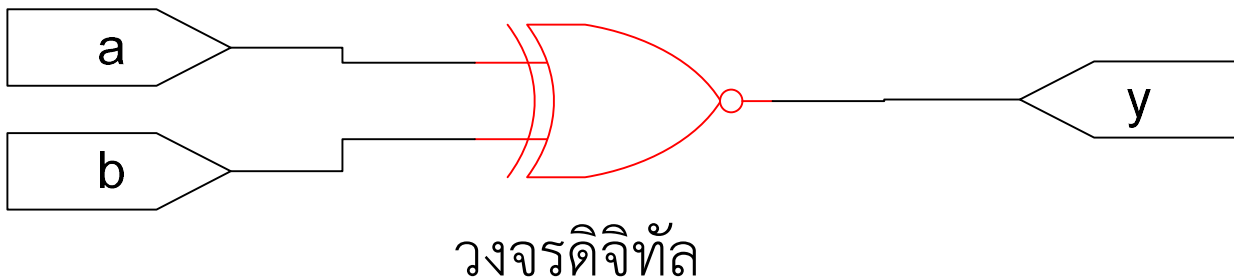
7) XNOR (Exclusive NOR)

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

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



วงจรสมมูล



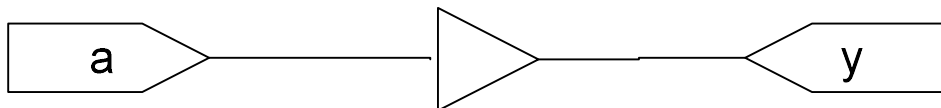
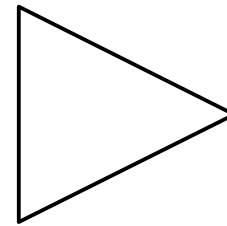
ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

ตัวกระทำทางดิจิทัลและตารางค่าความจริง

8) Buffer

$$y = a$$

a	Y
0	0
1	1



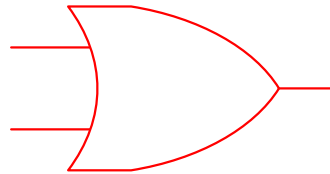
วงจรดิจิทัล

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

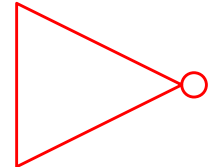
ตัวกระทำทางดิจิทัล



AND



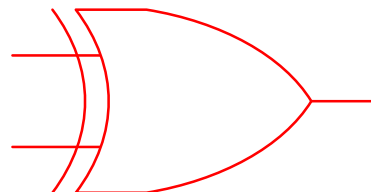
OR



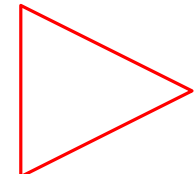
NOT



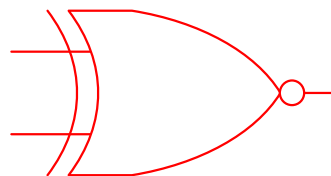
NAND



XOR



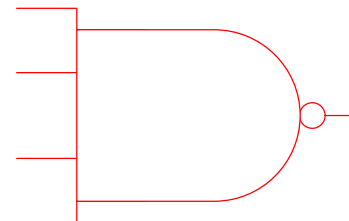
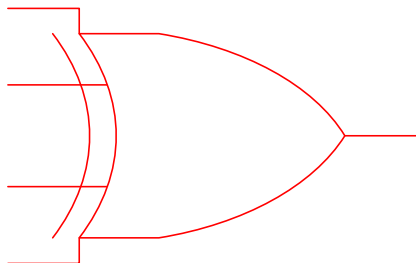
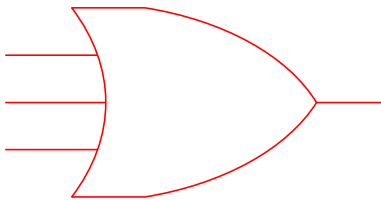
BUFFER



XNOR

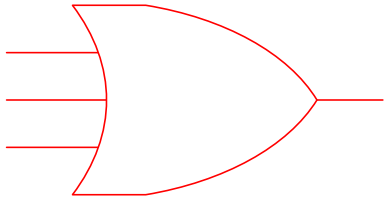
ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

นอกจาก NOT และ BUFFER แล้ว ตัวกระทำอื่นๆสามารถมี Input มากกว่า 2 ได้



ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

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 !!!

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

TTL (Transistor-transistor Logic)

TTL คือวงจรรวม (IC) ที่ทำงานเป็นตัวดำเนินการทางดิจิทัล ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยทรานซิสเตอร์แบบ BJT และตัวต้านทาน

โดยทั่วไปจะทำงานที่ไฟเลี้ยง 5 V

นิยาม แรงดันช่วง 0 V ถึง 0.8V ถือว่าเป็น “0” หรือ False หรือ Low

แรงดันช่วง 2 V ถึง 5 V ถือว่าเป็น “1” หรือ True หรือ High

แรงดันในช่วง 0.8 V ถึง 2.0 V ไม่นิยามเพราะมีความน่าจะเป็น 0 หรือ 1 เท่าๆกัน

วงจรรวมชนิดนี้มีรหัสขึ้นต้นด้วย 74 XX และตามด้วยตัวเลข

โดยตัวเลขแต่ละเบอร์จะหมายถึง ตัวดำเนินการชนิดต่างๆ

ตัวอย่างเช่น 74LS00 คือรหัสของ NAND gate

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

TTL (Transistor-transistor Logic)

IC ตระกูล 74LSXX จะมาในบรรจุภัณฑ์ 2 รูปแบบคือ

1 แบบ dual in-line packages (DIPs)

2 แบบ surface-mount packages (SMP)



DIP

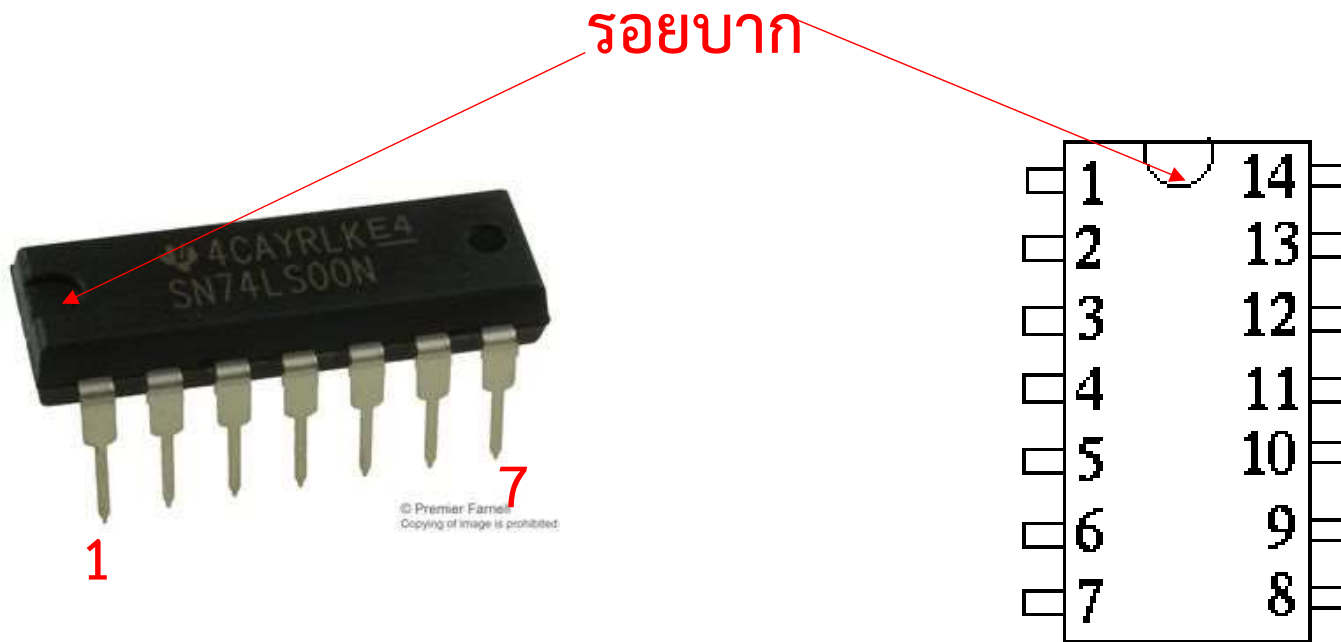


SMP, SMD

ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

TTL (Transistor-transistor Logic)

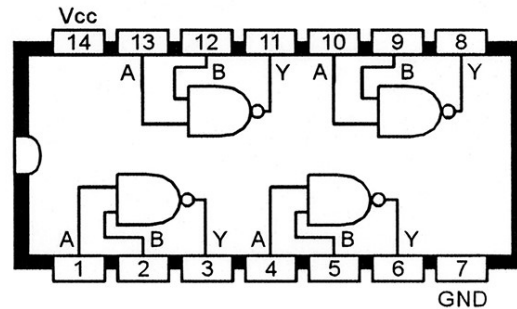
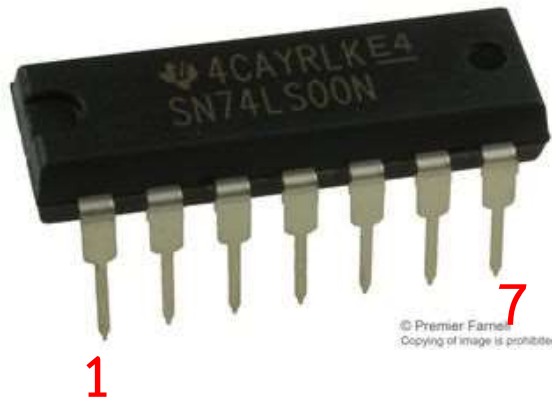
การดูตำแหน่ง pin หรือ ขา ของชิพให้สังเกตรอยบาก แล้วเริ่มนับทวนเข็มนาฬิกาดังภาพ



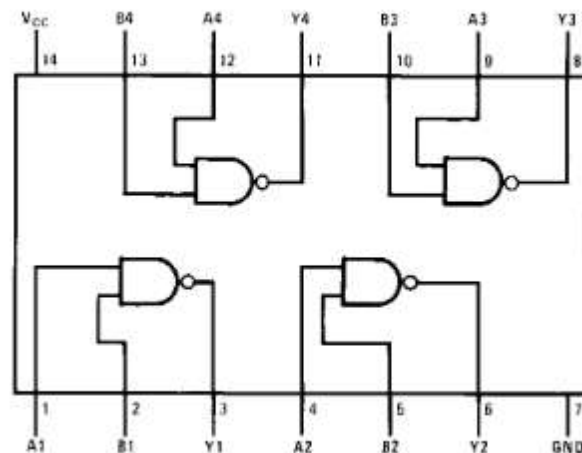
ตัวดำเนินการทางดิจิทัล

TTL (Transistor-transistor Logic)

ความหมายของแต่ละ pin นั้นจะแตกต่างกันในแต่ละเบอร์ ให้ศึกษาการใช้งานจากคู่มือ หรือ datasheet ตัวอย่างเช่น เบอร์ 74LS00 จะเป็นดังนี้



Connection Diagram



Function Table

$$Y = \overline{AB}$$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

TTL (Transistor-transistor Logic)

Logic

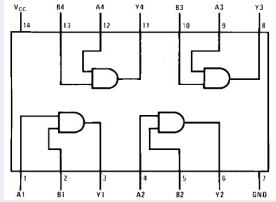
 Quad NAND gate [74HC00]	 Quad NOR gate [74HC02]	 Quad AND gate [74HC08]	 Quad OR gate [74HC32]	 Quad XOR gate [74HC86]	 Hex Inverter [74HC04]
 Inverting Schmitt Trigger [74HC14]	 Quad NAND Schmitt Trigger [74HC132]	 Triple 3-Input NAND gate [74HC10]	 Triple 3-Input AND gate [74HC11]	 Triple 3-Input NOR gate [74HC27]	 Dual 4-Input NAND gate [74HC20]
 Dual 4-Input AND gate [74HC21]	 Dual J-K Flip-Flop [74HC73]	 Dual D Flip-Flop [74HC74]	 4-Bit Binary Counter [74HC93]	 8-Bit Shift Register [74HC595]	 Johnson Decade Counter [74HC4017]
 7-Segment Decoder [CD4511]					

การบ้าน 2

ให้ทำการสืบค้นข้อมูลของ IC TTL ในส่วนของ ฟังก์ชัน และวงจรเสมือนภายใน ของวงจร รวมที่มีรหัสดังต่อไปนี้ โดยให้สรุปออกมาเป็นตาราง

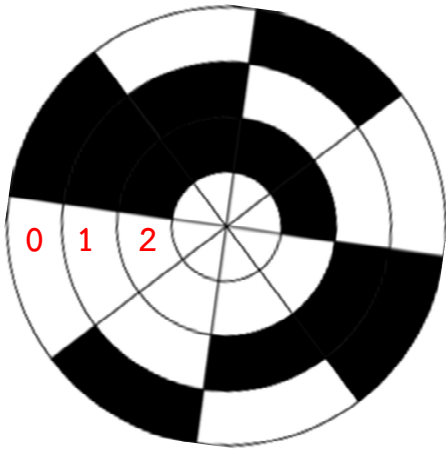
74HC00	74HC02	74HC04	74HC08	74HC10
74HC11	74HC20	74HC21	74HC27	74HC32
74HC86				

ตัวอย่างเช่น 74LS08

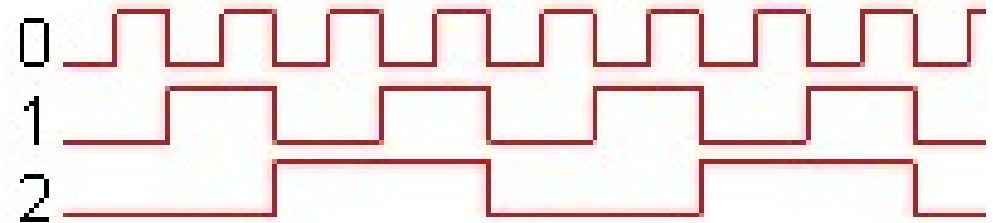
รหัส	ฟังก์ชัน	วงจรเสมือน
....	...	...
74LS08	And gate แบบ 2 input จำนวน 4 ตัว	

ให้เขียนคำตอบลงในกระดาษขนาด A4 ในแนวตั้งเท่านั้น และเขียนชื่อ รหัส และหมู่เรียนบนมุมบนขวา

Binary Rotary Encoder เป็นอุปกรณ์แปลงข้อมูลแบบหมุน คล้ายๆ กับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ output จะเป็นเลขฐานสอง



Binary Code Output



งานเข้ารหัสชนิด 3 บิต

OUTPUT

เลขฐาน 10	เลขฐานสอง
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111

เลขฐาน 10	เลขฐานสอง
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

วงจรเชิงจัดหมู่

วงจรกระดิ่งร้านกาแฟ: คุณได้รับมอบหมายให้ออกแบบวงจรสัญญาณเรียกลูกค้าจากโต๊ะต่างๆ ไปรับกาแฟ เมื่อกาแฟชงเสร็จแล้ว กำหนดให้ร้านกาแฟมี 4 โต๊ะ

ฝั่งลูกค้า



ร้านกาแฟ



กระดิ่งของแต่ละโต๊ะ

L1, L2,, L4
0=ไม่ส่งเสียง, 1=ส่งเสียง

ฝั่งคนขาย



หมุนเพื่อเลือกโต๊ะ

d0, d1
เป็นเลขฐานสองโดย
d0 เป็นบิตต่ำสุด



กดเพื่อให้กระดิ่งดัง

b
ไม่กดปุ่ม=0, กดปุ่ม=1

วงจรเชิงจัดหมู่

ฟังลูกค้า



ร้านกาแฟ



กระดิ่งของแต่ละโต๊ะ

L1, L2,, L8
0=ไม่ส่งเสียง, 1=ส่งเสียง

ฟังคนขาย



หมุนเพื่อเลือกโต๊ะ

d0, d1, d2
เป็นเลขฐานสองโดย
d0 เป็นบิตต่ำสุด



กดเพื่อให้กระดิ่งดัง

b
ไม่กดปุ่ม=0, กดปุ่ม=1

วิเคราะห์ Input และ Output

Input: d1, d0, b

Output: L1, L2, L3, L4

วงจรเชิงจัดหมู่

Input: d1, d0, b

Output: L1, L2, L3, L4

ออกแบบตารางค่าความจริง โดยแยกทำของ output ทีละตัว

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0

ตรงกับตารางค่าความจริงของ Logic gate ตัวไหนหรือเปล่า ?

วงจรเชิงจัดหมู่

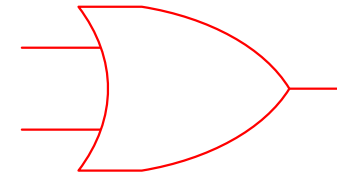
ถ้าไม่มี เราสามารถแบ่ง วงจรรอกเป็นส่วนย่อย แล้วนำเอาคำตอบแต่ละส่วนมารวมกันเป็นคำตอบของวงจรได้ วิธีการนี้เรียกว่า การรวมของวงจร หรือ วงจรเชิงจัดหมู่(combination)

ลองสังเกตตารางค่าความจริงของ AND และ OR



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

มีเพียงเหตุการณ์เดียวที่จะเกิด 1



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

มีเพียงเหตุการณ์เดียวที่จะเกิด 0

วงจรเชิงจัดหมู่

Input: d1, d0, b

Output: L1, L2, L3, L4

ออกแบบตารางค่าความจริง โดยแยกทำของ output ทีละตัว

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0

วงจรนี้มี 8 เหตุการณ์ (มี input ที่เกิดขึ้นได้ 8 แบบ)

มี 7 เหตุการณ์ที่ทำให้เกิด 0

มี 1 เหตุการณ์ที่ทำให้เกิด 1

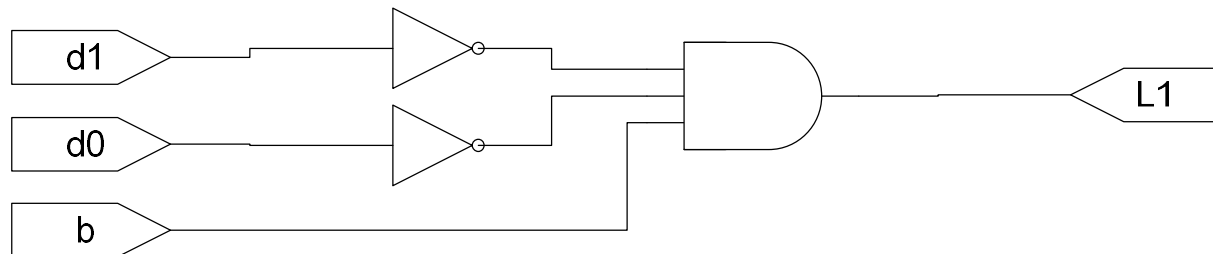
คล้าย ตารางค่าความจริงของ AND gate

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0

- 1) ตั้งสมการแบบ And gate $L1 = d1 \cdot d0 \cdot b$
- 2) Input ตัวไหนมีค่าเป็น 0 ให้ใส่ NOT $L1 = \overline{d1} \cdot \overline{d0} \cdot b$

ตอบ

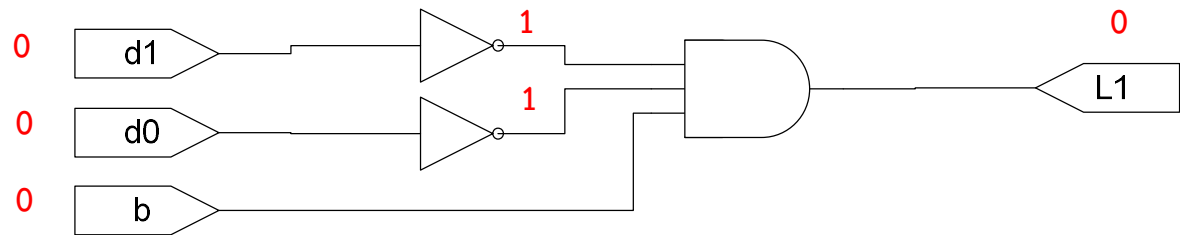


วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0



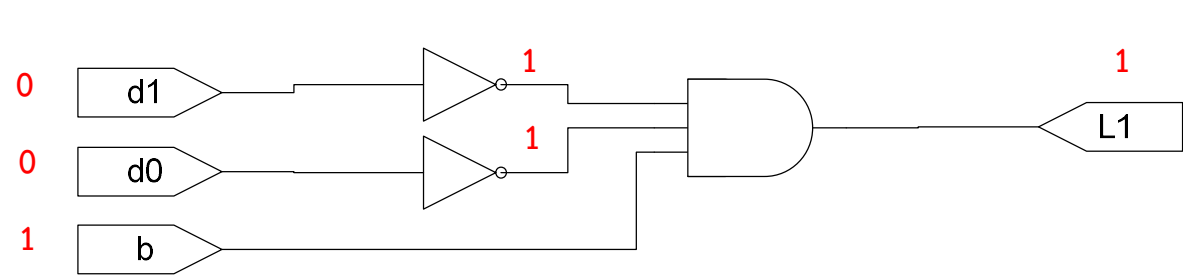
ตรวจคำตอบ



วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0

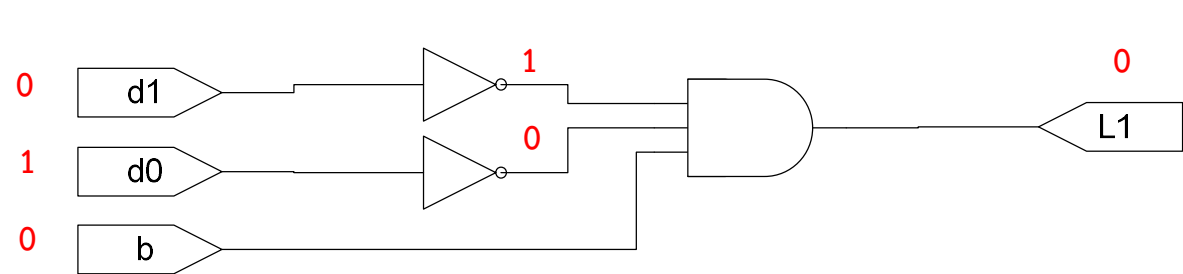
ตรวจคำตอบ



วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0

ตรวจคำตอบ

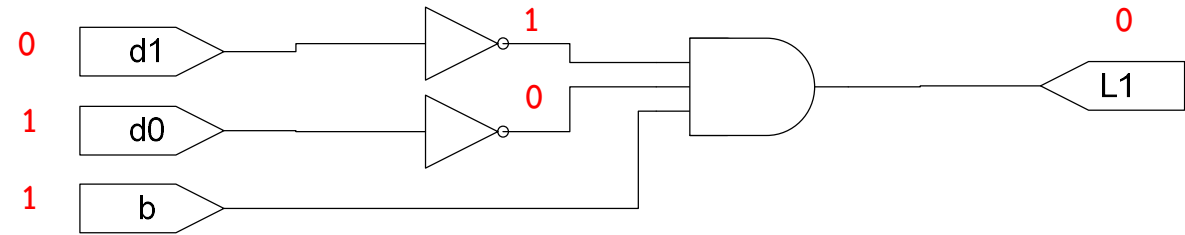


วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0



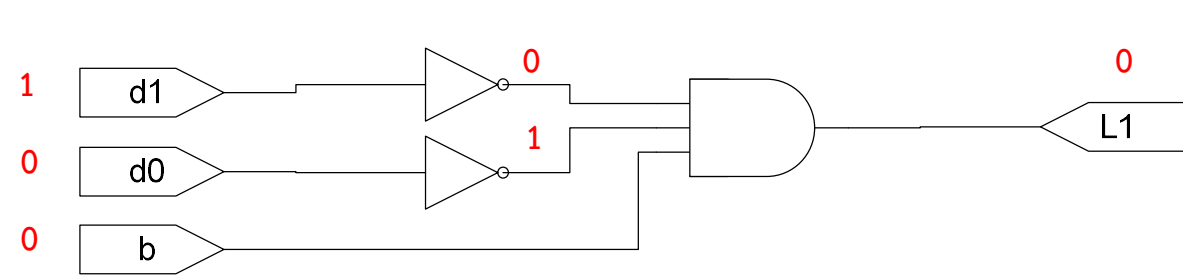
ตรวจคำตอบ



วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0

ตรวจคำตอบ

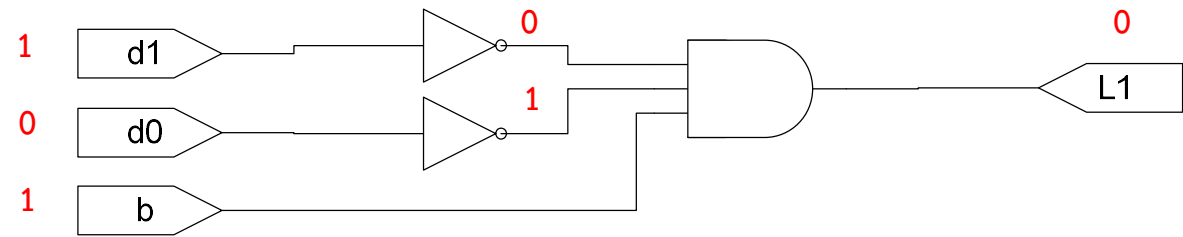


วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0

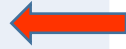


ตรวจคำตอบ

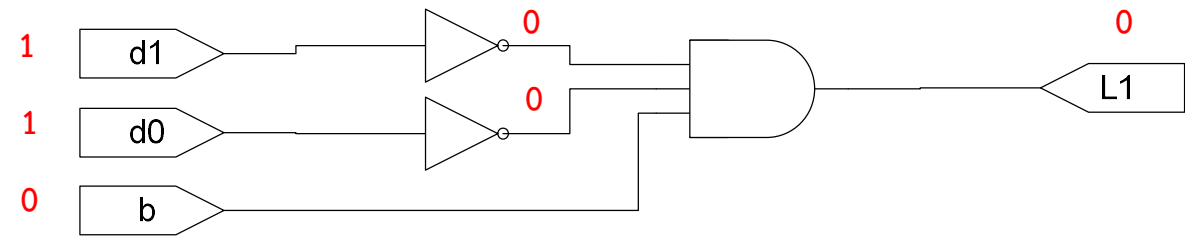


วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0



ตรวจคำตอบ

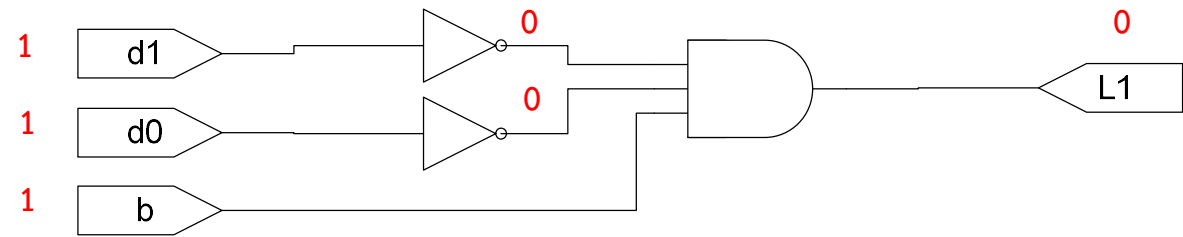


วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT
ความหมาย	d1	d0	b	L1
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0



ตรวจคำตอบ



วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT				OUTPUT			
ความหมาย	d1	d0	b	L1	L2	L3	L4
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : ไม่กด	0	0	0	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 0, ปุ่ม : กด	0	0	1	1	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : ไม่กด	0	1	0	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 1, ปุ่ม : กด	0	1	1	0	1	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : ไม่กด	1	0	0	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 2, ปุ่ม : กด	1	0	1	0	0	1	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : ไม่กด	1	1	0	0	0	0	0
เลือกตำแหน่ง 3, ปุ่ม : กด	1	1	1	0	0	0	1

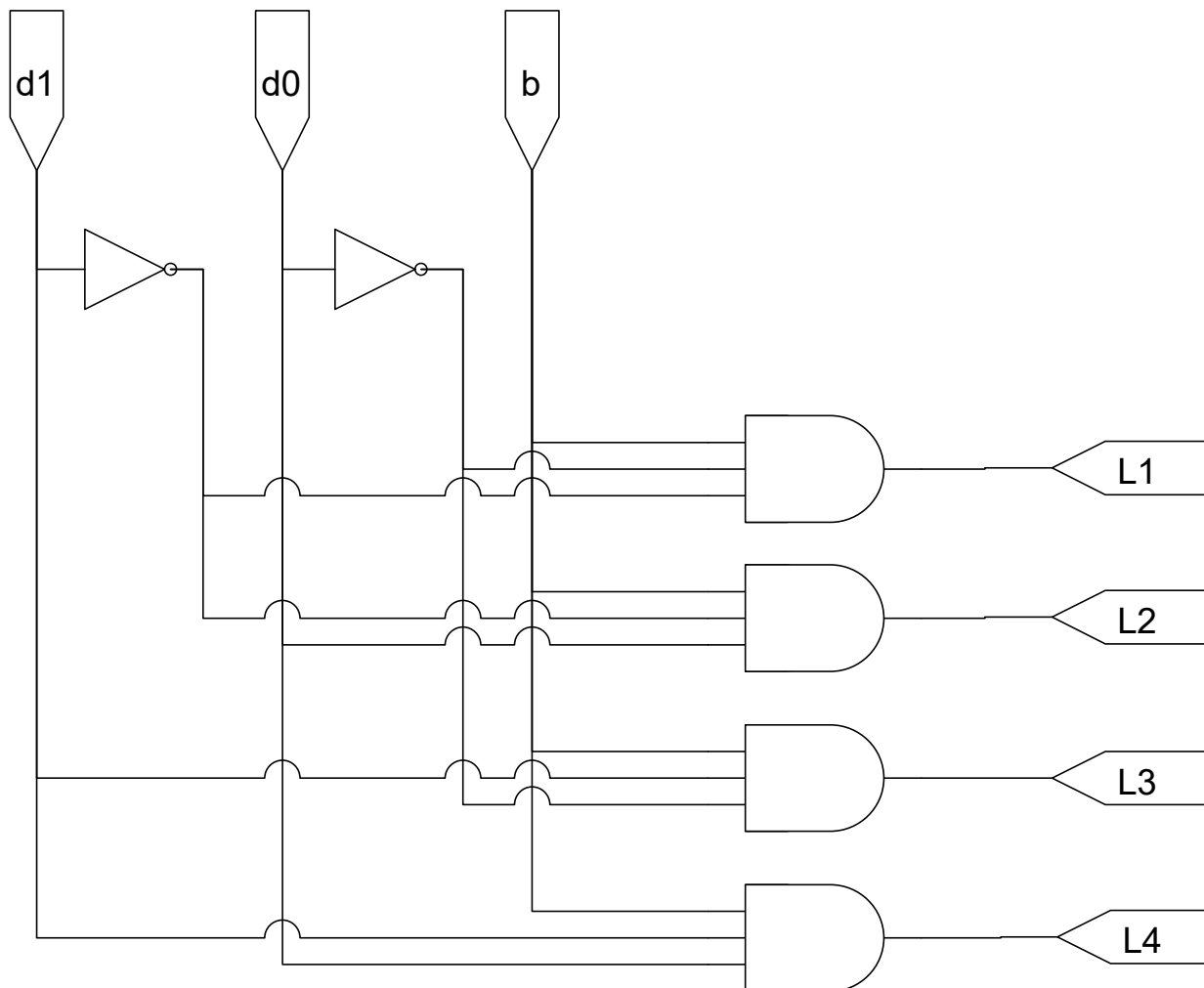
$$L1 = \overline{d1} \cdot \overline{d0} \cdot b$$

$$L2 = \overline{d1} \cdot d0 \cdot b$$

$$L3 = d1 \cdot \overline{d0} \cdot b$$

$$L4 = d1 \cdot d0 \cdot b$$

วงจรเชิงจัดหมู่



$$L1 = \overline{d1} \cdot \overline{d0} \cdot b$$

$$L2 = \overline{d1} \cdot d0 \cdot b$$

$$L3 = d1 \cdot \overline{d0} \cdot b$$

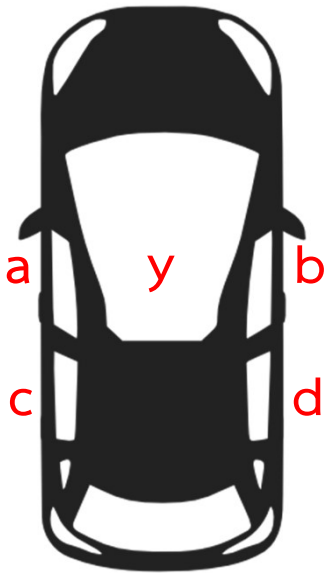
$$L4 = d0 \cdot d0 \cdot b$$

วงจรเชิงจัดหมู่

ไฟห้องโดยสาร : เมื่อผู้โดยสารเปิดประตูรถ ไฟในห้องโดยสารจะเปิดเองโดยอัตโนมัติ และจะปิดเองเมื่อปิดประตูทุกบาน

Input: a,b,c,d

Output: y



a,b,c,d คือเซ็นเซอร์ประตูรถ

0= ประตูปิด, 1=ประตูเปิด

y คือไฟห้องโดยสาร

0= ปิดไฟ, 1=เปิดไฟ

	INPUT				OUTPUT
#	d	c	b	A	y
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
A	1	0	1	0	1
B	1	0	1	1	1
C	1	1	0	0	1
D	1	1	0	1	1
E	1	1	1	0	1
F	1	1	1	1	0

มีเหตุการณ์ที่ทำให้เกิด 1 = 15

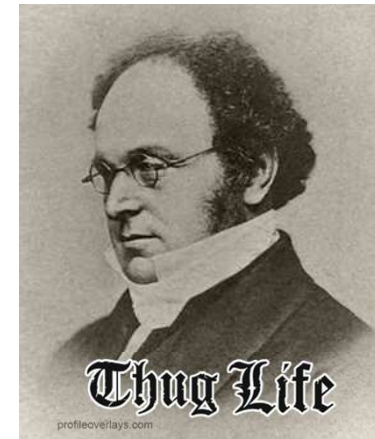
มีเหตุการณ์ที่ทำให้เกิด 0 = 1

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT					OUTPUT
#	d	c	b	A	y
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
A	1	0	1	0	1
B	1	0	1	1	1
C	1	1	0	0	1
D	1	1	0	1	1
E	1	1	1	0	1
F	1	1	1	1	0

การสร้างวงจรที่ทำให้เกิด “0” จะตรงข้ามกับการสร้างวงจรที่ทำให้เกิด “1”
คือ หาก Input เป็น “1” ให้ใส่ NOT แต่ถ้า Input เป็น “0” ก็ไม่ต้องใส่
และเปลี่ยนไปใช้ OR แทน

$$y = \bar{d} + \bar{c} + \bar{b} + \bar{a}$$



Augustus De Morgan (1806-1871)

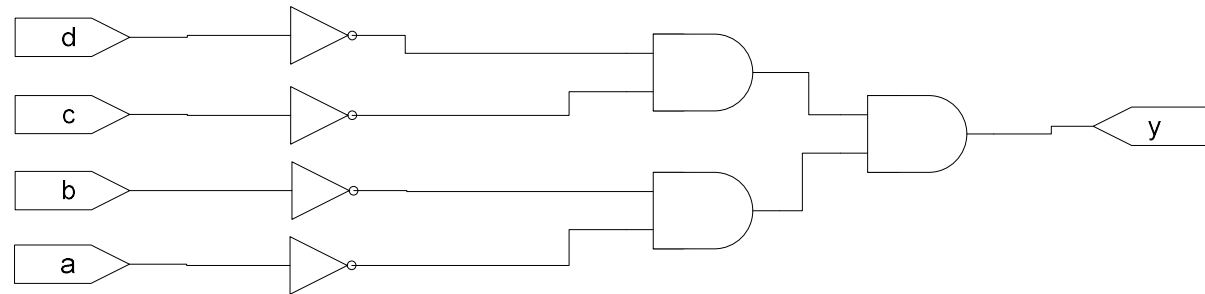
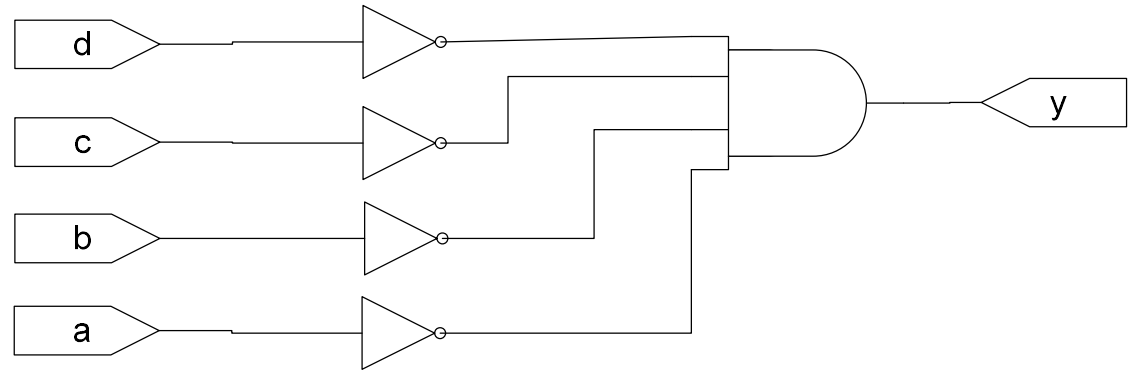
De Morgan's laws

$$\overline{A \wedge B} = \bar{A} \vee \bar{B}$$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT					OUTPUT
#	d	c	b	A	y
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
A	1	0	1	0	1
B	1	0	1	1	1
C	1	1	0	0	1
D	1	1	0	1	1
E	1	1	1	0	1
F	1	1	1	1	0

$$y = \bar{d} + \bar{c} + \bar{b} + \bar{a}$$



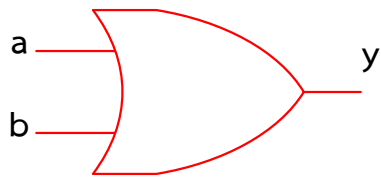
วงจรเชิงจัดหมู่



วงจรที่สร้างด้วย AND จะทำงานเหมือนฟังก์ชัน MIN เพราะ AND จะให้คำตอบเป็นค่า input ตัวที่น้อยที่สุด

$$y = \min(a, b)$$

วิธีการออกแบบวงจรในลักษณะนี้ จึงนิยมเรียกว่า “Minterm”



วงจรที่สร้างด้วย OR จะทำงานเหมือนฟังก์ชัน MAX เพราะ OR จะให้คำตอบเป็นค่า input ตัวที่มากที่สุด

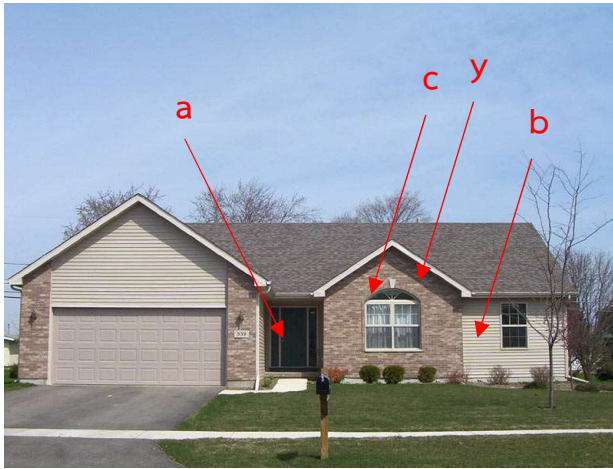
$$y = \max(a, b)$$

วิธีการออกแบบวงจรในลักษณะนี้ จึงนิยมเรียกว่า “Maxterm”

สร้างวงจรตาม logic “1” คือ Minterm สร้างวงจรตาม logic “0” คือ Maxterm

วงจรเชิงจัดหมู่

วงจรเปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติ: เมื่ออากาศร้อนเกิน 25°C และมีคนอยู่ในอาคาร เครื่องปรับอากาศจะทำงานโดยอัตโนมัติ และหยุดทำงานเอง เมื่อไม่มีใครอยู่ในอาคาร



Input: a,b,c

Output: y

a,b= ตรวจจับคน 0 = ไม่มีคน, 1= มีคน
c= เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 0 = เย็นกว่า 25°C,
1 = 25°C หรือร้อนกว่า



y= เครื่องปรับอากาศ 0 = ปิด, 1= เปิด

INPUT			OUTPUT
c	b	a	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

5

3

ให้ออกแบบวงจรที่ละเหตุการณ์แล้วนำมารวมกัน (combination)

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT			OUTPUT
c	b	a	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

หลักการจัดหมู่วงจร หรือรวมวงจร

Minterm : จะรวมโดยใช้ OR เรียกว่า Sum of product
ตัวอย่างเช่น $y = (\dots\dots\dots) + (\dots\dots\dots) + (\dots\dots\dots) + (\dots\dots\dots)$

Maxterm : จะรวมโดยใช้ AND เรียกว่า Product of sum
ตัวอย่างเช่น $y = (\dots+\dots) \bullet (\dots+\dots) \bullet (\dots+\dots) \bullet (\dots+\dots)$

วิธีการทั้ง 2 จะตรงกันข้ามกัน ตามกฎของ De Morgan

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT			OUTPUT
c	b	a	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

หลักการจัดหมู่วงจร หรือรวมวงจร

Minterm

$$y' = c \cdot \bar{b} \cdot a$$

$$y'' = c \cdot b \cdot \bar{a}$$

$$y''' = c \cdot b \cdot a$$

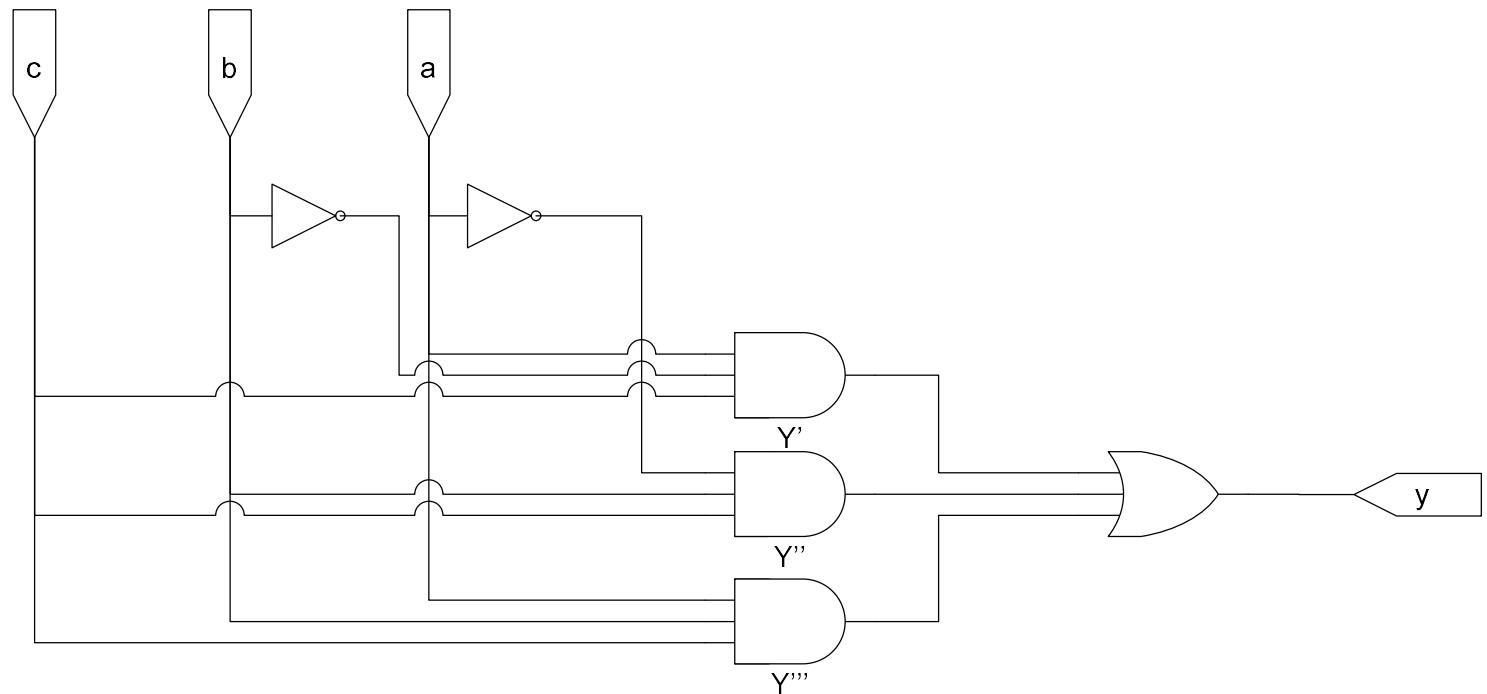
รวมวงจรด้วย Sum of product

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

วงจรเชิงจัดหมู่

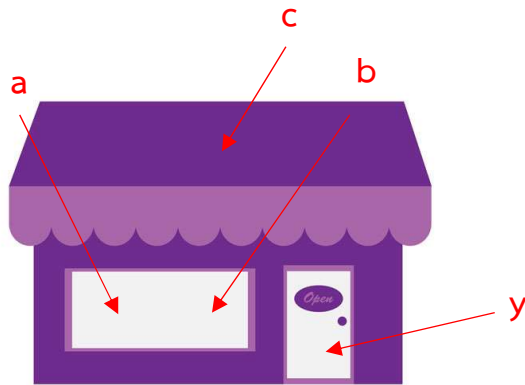
INPUT			OUTPUT
c	b	a	y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

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



วงจรเชิงจัดหมู่

ประตูอัตโนมัติ: ประตูอัตโนมัติจะปลดล็อกเองในเวลากลางวันที่มีคนอยู่ในร้าน ส่วนเวลา
กลางคืนจะไม่เปิด



Input: a,b,c

Output: y

a,b= ตรวจจับคน 0 = ไม่มีคน, 1= มีคน

c= เซ็นเซอร์วัดแสง 0 = กลางคืน, 1= กลางวัน



c= ประตู 0 = unlock , 1= lock

INPUT			OUTPUT
c	b	A	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT			OUTPUT
c	b	A	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

หลักการจัดหมู่วงจร หรือรวมวงจร

Maxterm

$$y' = \bar{c} + b + \bar{a}$$

$$y'' = \bar{c} + \bar{b} + a$$

$$y''' = \bar{c} + \bar{b} + \bar{a}$$

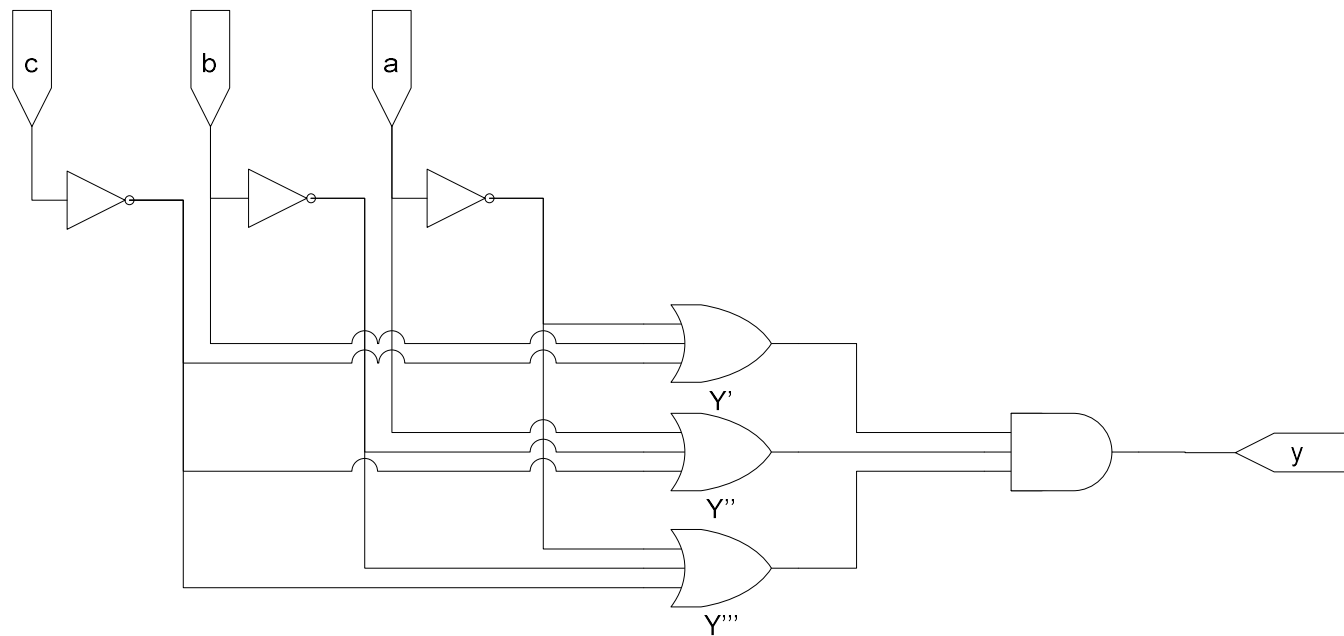
รวมวงจรด้วย Product of sum

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

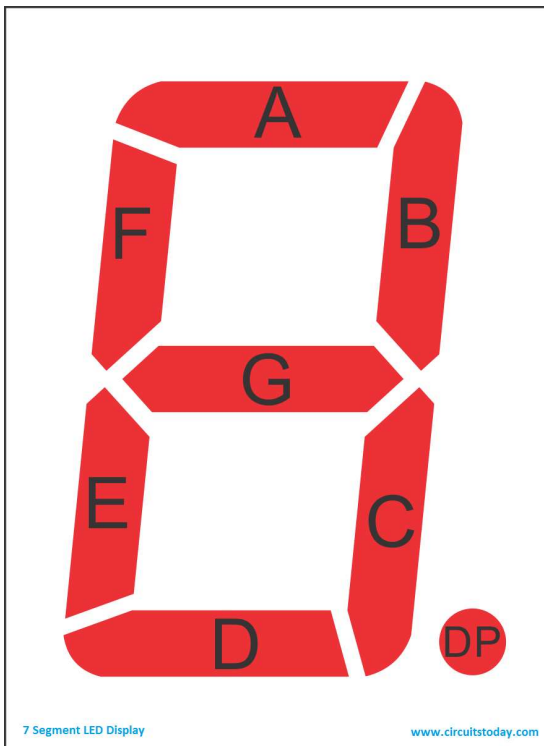
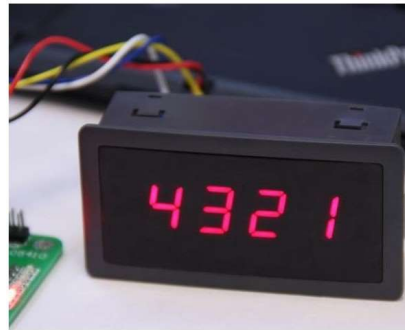
วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT			OUTPUT
c	b	A	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

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

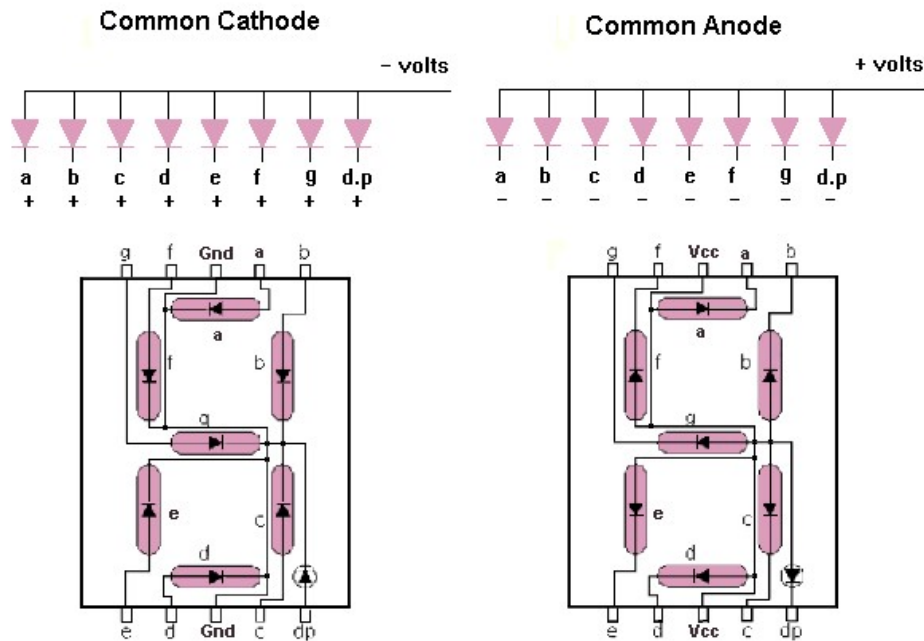


หลอด LED แสดงผลแบบ 7 ส่วน



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

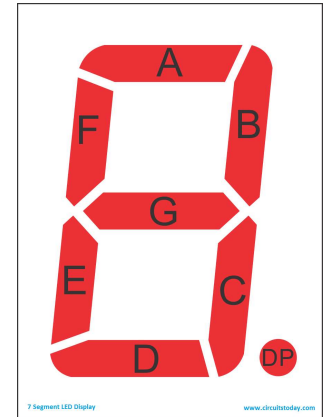
- ต่อขา common เข้า VCC
- จ่าย 0 ติด, จ่าย 1 ดับ

การอ้างตำแหน่งขาและ segment จะเหมือนกันทั้ง 2 แบบ

วงจรเชิงจัดหมู่

วงจรแปลงเลขฐาน 2 ขนาด 2 บิต เป็นฐาน 10 และแสดงผลด้วยหลอด LED แบบ 7 ส่วน

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1



วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

Maxterm: $a = d1 + \overline{d0}$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

$$a = d1 + \overline{d0}$$

Constant: $b = 1$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

$$a = d1 + \overline{d0}$$

$$b = 1$$

Maxterm: $c = \overline{d1} + d0$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

$$a = d1 + \overline{d0}$$

$$b = 1$$

$$c = \overline{d1} + d0$$

Maxterm: $d = a$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

$$a = d1 + \overline{d0}$$

$$b = 1$$

$$c = \overline{d1} + d0$$

$$d = a$$

$$\text{Minterm: } e = \overline{d1d0} + d1\overline{d0}$$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

$$a = d1 + \overline{d0}$$

$$b = 1$$

$$c = \overline{d1} + d0$$

$$d = a$$

$$e = \overline{d1d0} + d1\overline{d0}$$

$$\text{Minterm: } f = \overline{d1d0}$$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

$$a = d1 + \overline{d0}$$

$$b = 1$$

$$c = \overline{d1} + d0$$

$$d = a$$

$$e = \overline{d1d0} + d1\overline{d0}$$

$$f = \overline{d1d0}$$

Minterm: $g = d1\overline{d0} + d1d0$

วงจรเชิงจัดหมู่

INPUT		OUTPUT						
d1	d0	a	b	c	d	e	f	G
0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1

$$a = d1 + \overline{d0}$$

$$b = 1$$

$$c = \overline{d1} + d0$$

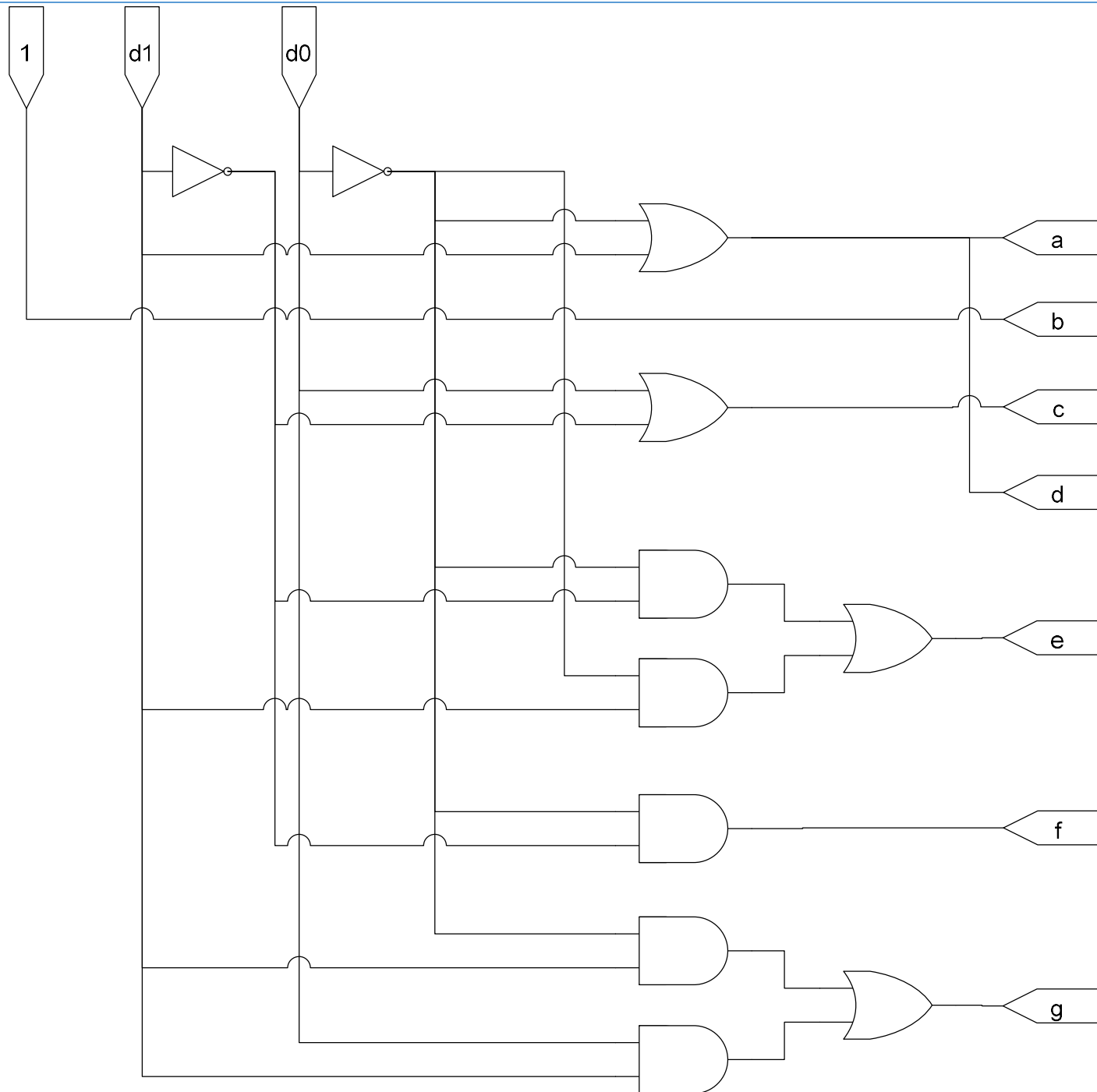
$$d = a$$

$$e = \overline{d1d0} + d1\overline{d0}$$

$$f = \overline{d1d0}$$

$$g = d1\overline{d0} + d1d0$$

วงจรเชิงจัดหมู่



$$a = d1 + \overline{d0}$$

$$b = 1$$

$$c = \overline{d1} + d0$$

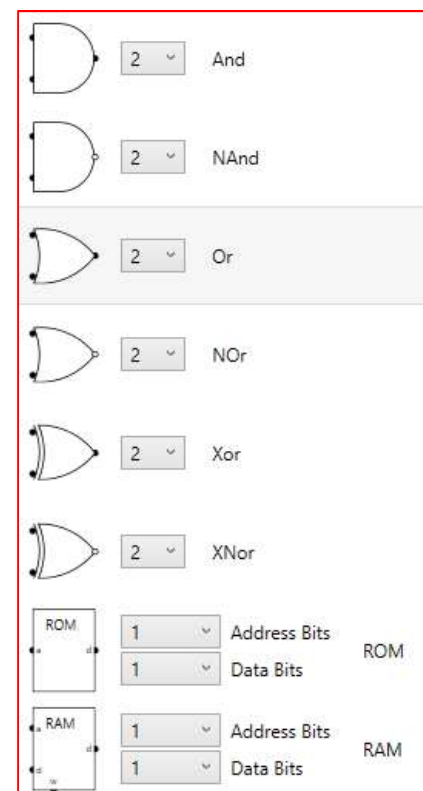
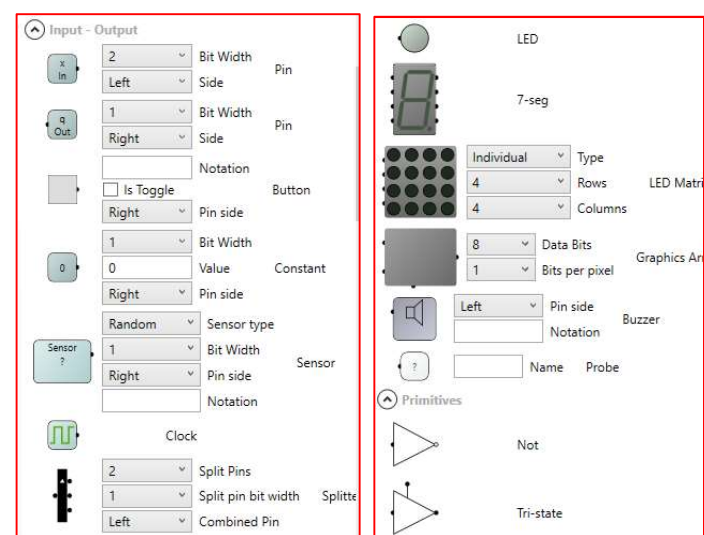
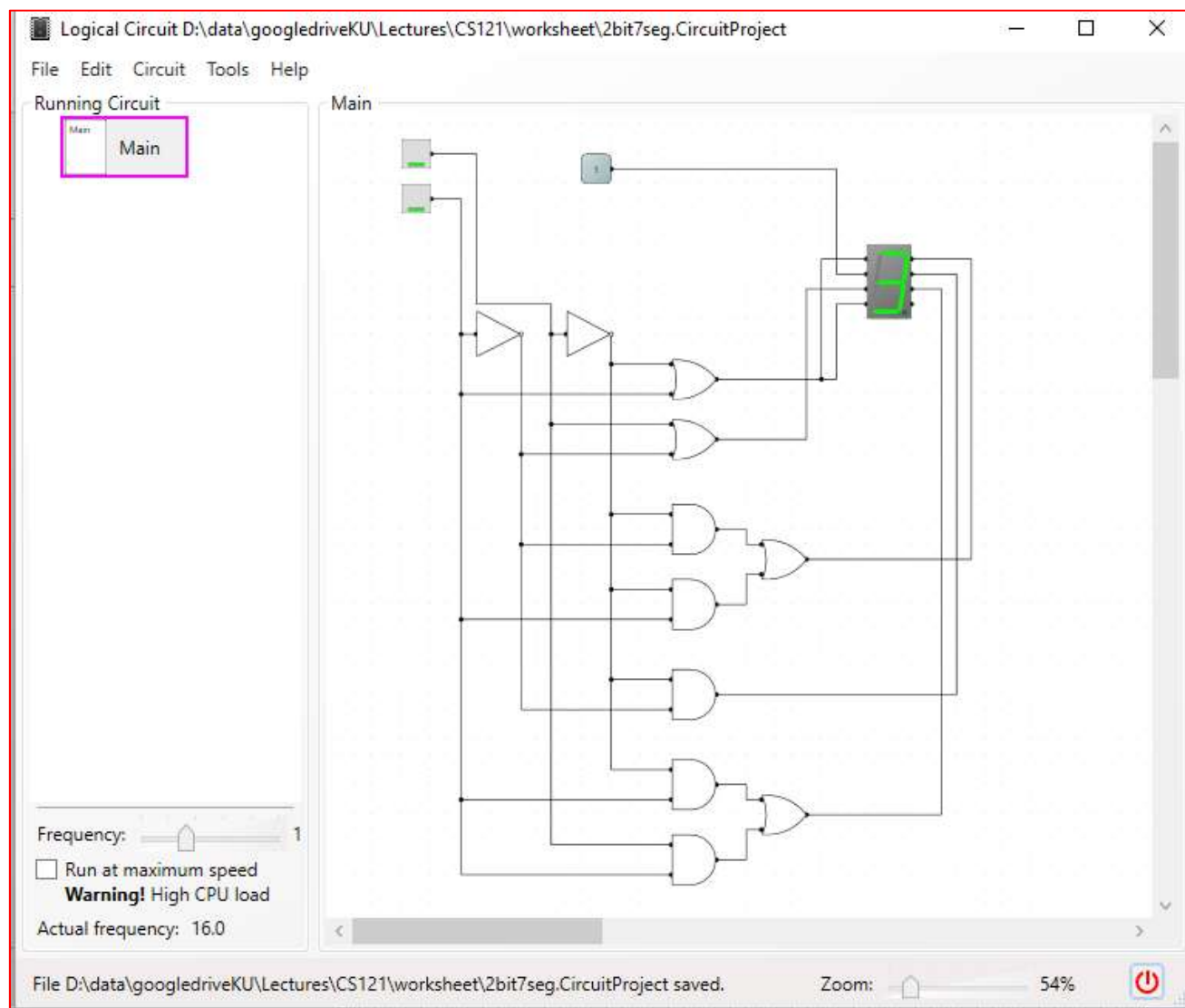
$$d = a$$

$$e = \overline{d1d0} + d1\overline{d0}$$

$$f = \overline{d1d0}$$

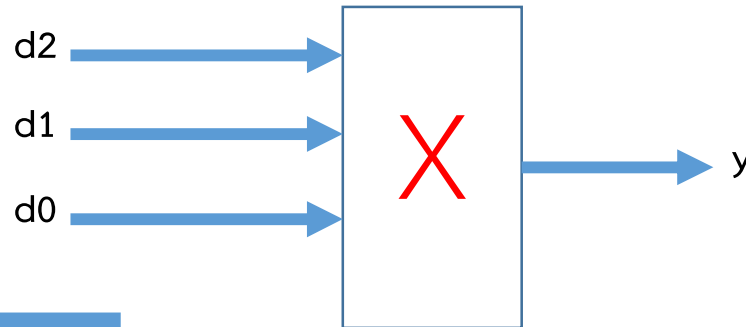
$$g = d1\overline{d0} + d1d0$$

วงจรเชิงจัดหมู่



วงจรเชิงจัดหมู่

วงจรตรวจสอบเลขคู่: กำหนดให้ข้อมูลขาเข้าเป็นเลขฐาน 2 ขนาด 3 บิต หลังจากตรวจสอบแล้วหากพบว่าเป็นเลขคู่ ให้ตอบ “1” แต่หากเป็นเลขคี่ให้ตอบ “0”



Input: d2,d1,d0

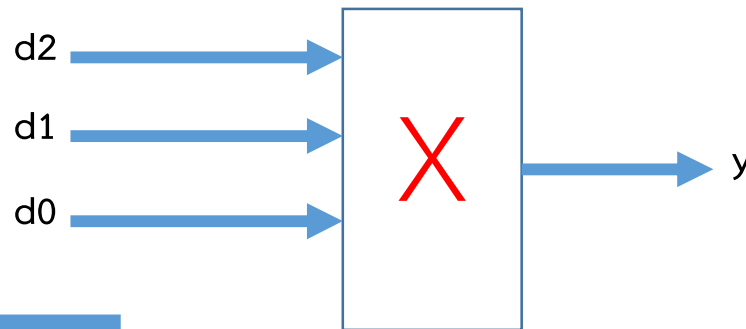
Output: y

INPUT			OUTPUT
d2	d1	d0	y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

จะใช้ Minterm หรือ Maxterm ?

วงจรเชิงจัดหมู่

วงจรตรวจสอบเลขคู่: กำหนดให้ข้อมูลขาเข้าเป็นเลขฐาน 2 ขนาด 3 บิต หลังจากตรวจสอบแล้วหากพบว่าเป็นเลขคู่ ให้ตอบ “1” แต่หากเป็นเลขคี่ให้ตอบ “0”



Input: d2,d1,d0

Output: y

Minterm

INPUT			OUTPUT
d2	d1	d0	y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

$$y' = \overline{d2d1d0}$$

$$y'' = \overline{d2}d1\overline{d0}$$

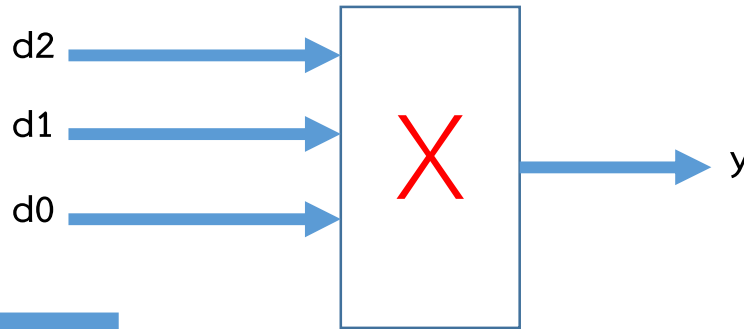
$$y''' = d2\overline{d1}d0$$

$$y'''' = d2d1\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d1d0} + \overline{d2}d1\overline{d0} + d2\overline{d1}d0 + d2d1\overline{d0}$$

วงจรเชิงจัดหมู่

วงจรตรวจสอบเลขคู่: กำหนดให้ข้อมูลขาเข้าเป็นเลขฐาน 2 ขนาด 3 บิต หลังจากตรวจสอบแล้วหากพบว่าเป็นเลขคู่ ให้ตอบ “1” แต่หากเป็นเลขคี่ให้ตอบ “0”



Input: d2,d1,d0

Output: y

INPUT			OUTPUT
d2	d1	d0	y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

$$y = \overline{d2d1d0} + \overline{d2d1}d0 + d2\overline{d1d0} + d2d1\overline{d0}$$

แต่ดูด้วยตา ก็รู้ว่า..

$$y = \overline{d0}$$

ก็ได้คำตอบเหมือนกัน

วงจรเชิงจัดหมู่

Associativity of $\vee$:	$x \vee (y \vee z) = (x \vee y) \vee z$
Associativity of $\wedge$:	$x \wedge (y \wedge z) = (x \wedge y) \wedge z$
Commutativity of $\vee$:	$x \vee y = y \vee x$
Commutativity of $\wedge$:	$x \wedge y = y \wedge x$
Distributivity of $\wedge$ over $\vee$:	$x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$
Identity for $\vee$:	$x \vee 0 = x$
Identity for $\wedge$:	$x \wedge 1 = x$
Annihilator for $\wedge$:	$x \wedge 0 = 0$

Annihilator for $\vee$:	$x \vee 1 = 1$
Idempotence of $\vee$:	$x \vee x = x$
Idempotence of $\wedge$:	$x \wedge x = x$
Absorption 1:	$x \wedge (x \vee y) = x$
Absorption 2:	$x \vee (x \wedge y) = x$
Distributivity of $\vee$ over $\wedge$:	$x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z)$

$$\begin{aligned}(-x)(-y) &= xy \\ (-x) + (-y) &= -(x + y)\end{aligned}$$

De Morgan 1	$\neg x \wedge \neg y = \neg(x \vee y)$
De Morgan 2	$\neg x \vee \neg y = \neg(x \wedge y)$

Complementation 1	$x \wedge \neg x = 0$
Complementation 2	$x \vee \neg x = 1$

Double negation	$\neg(\neg x) = x$
-----------------	--------------------

$$y = \overline{d2d1d0} + \overline{d2d1d0} + d2\overline{d1d0} + d2d1\overline{d0}$$

Associativity of $\vee$: $x \vee (y \vee z) = (x \vee y) \vee z$

Associativity of $\wedge$: $x \wedge (y \wedge z) = (x \wedge y) \wedge z$

Commutativity of $\vee$: $x \vee y = y \vee x$

Commutativity of $\wedge$: $x \wedge y = y \wedge x$

Distributivity of $\wedge$ over $\vee$: $x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$

Identity for $\vee$: $x \vee 0 = x$

Identity for $\wedge$: $x \wedge 1 = x$

Annihilator for $\wedge$: $x \wedge 0 = 0$

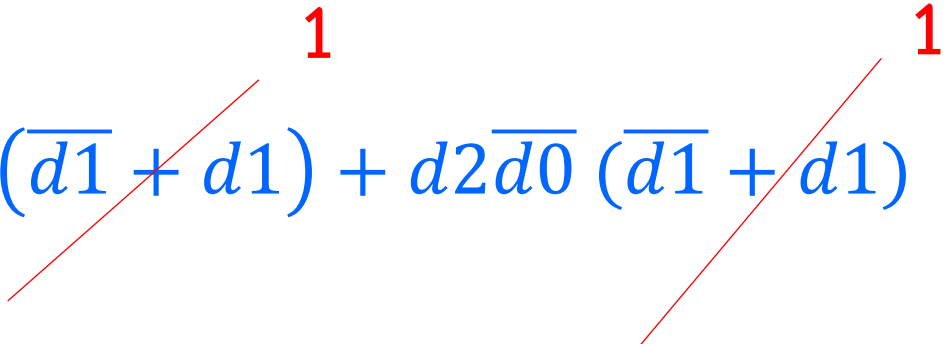
$$y = \overline{d2d0} (\overline{d1} + d1) + d2\overline{d0} (\overline{d1} + d1)$$

$$y = \overline{d2d1d0} + \overline{d2d1d0} + d2\overline{d1d0} + d2d1\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d0} (\overline{d1} + d1) + d2\overline{d0} (\overline{d1} + d1)$$

Complementation 1 $x \wedge \neg x = 0$

Complementation 2 $x \vee \neg x = 1$

$$y = \overline{d2d0} (\overline{d1} + d1) + d2\overline{d0} (\overline{d1} + d1)$$


$$y = \overline{d2d0} (1) + d2\overline{d0} (1)$$

$$y = \overline{d2d1d0} + \overline{d2d1d0} + d2\overline{d1d0} + d2d1\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d0} (\overline{d1} + d1) + d2\overline{d0} (\overline{d1} + d1)$$

$$y = \overline{d2d0} (1) + d2\overline{d0} (1)$$

Associativity of $\vee$: $x \vee (y \vee z) = (x \vee y) \vee z$

Associativity of $\wedge$: $x \wedge (y \wedge z) = (x \wedge y) \wedge z$

Commutativity of $\vee$: $x \vee y = y \vee x$

Commutativity of $\wedge$: $x \wedge y = y \wedge x$

Distributivity of $\wedge$ over $\vee$: $x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$

Identity for $\vee$: $x \vee 0 = x$

Identity for $\wedge$: $x \wedge 1 = x$

Annihilator for $\wedge$: $x \wedge 0 = 0$

$$y = \overline{d2d0} + d2\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d1d0} + \overline{d2d1d0} + d2\overline{d1d0} + d2d1\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d0} (\overline{d1} + d1) + d2\overline{d0} (\overline{d1} + d1)$$

$$y = \overline{d2d0} (1) + d2\overline{d0} (1)$$

$$y = \overline{d2d0} + d2\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d0} + d2\overline{d0}$$

Associativity of $\vee$:

$$x \vee (y \vee z) = (x \vee y) \vee z$$

Associativity of $\wedge$:

$$x \wedge (y \wedge z) = (x \wedge y) \wedge z$$

Commutativity of $\vee$:

$$x \vee y = y \vee x$$

Commutativity of $\wedge$:

$$x \wedge y = y \wedge x$$

Distributivity of $\wedge$ over $\vee$:

$$x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$$

Identity for $\vee$:

$$x \vee 0 = x$$

Identity for $\wedge$:

$$x \wedge 1 = x$$

Annihilator for $\wedge$:

$$x \wedge 0 = 0$$

$$y = \overline{d0}(\overline{d2} + d2)$$

วงจรเชิงจัดหมู่

$$y = \overline{d2d1d0} + \overline{d2d1d0} + d2\overline{d1d0} + d2d1\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d0} (\overline{d1} + d1) + d2\overline{d0} (\overline{d1} + d1)$$

$$y = \overline{d2d0} (1) + d2\overline{d0} (1)$$

$$y = \overline{d2d0} + d2\overline{d0}$$

$$y = \overline{d2d0} + d2\overline{d0}$$

$$y = \overline{d0}(\overline{d2} + d2)$$

$$y = \overline{d0}(1)$$

ตอบ $y = \overline{d0}$

นักคณิตศาสตร์ สามารถใช้พีชคณิตบูลีน เข้ามาช่วยลดความซ้ำซ้อนของสมการ(วงจรลงได้)

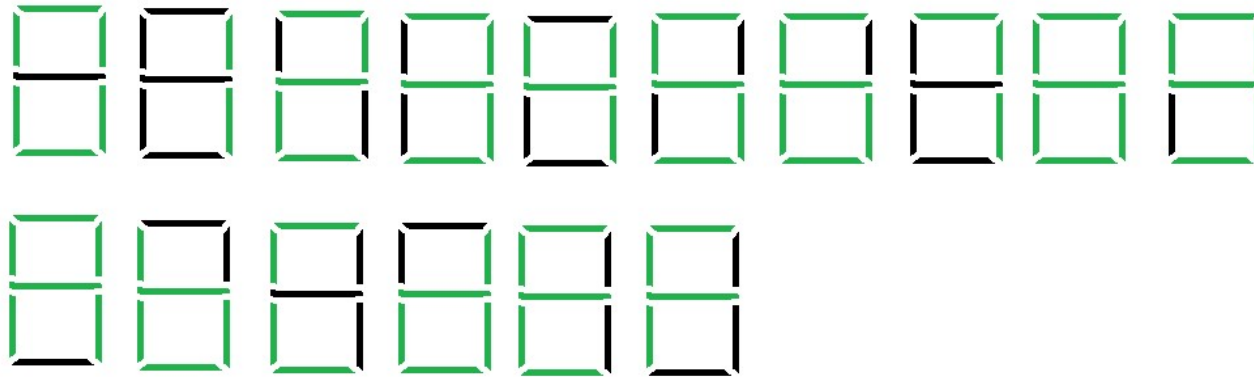
ขั้นตอนการลดรูปสมการแบบนี้ เขียนเป็น Algorithm ได้ยากมาก

วิศวกรจะนิยมใช้เทคนิคการปรับเป็น Canonical form ซึ่งวิธีการมีขั้นตอนที่ชัดเจนกว่า

วิธีการก็มี Algorithm ที่ชัดเจน และเข้าใจได้ง่าย

การบ้าน 3

ให้ทำการออกแบบวงจรแปลงเลขฐาน 2 ขนาด 4 บิต ให้เป็นเลขฐาน 16 ด้วยหลอด LED แบบ 7 ส่วนซึ่งมีรูปแบบการแสดงผลดังนี้ (สีเขียวหมายถึงหลอดติด)



โดยคำตอบจะต้องประกอบด้วย ตารางค่าความจริง สมการของวงจร และวงจรดิจิทัล

ให้เขียนวงจรดิจิทัลบนกระดาษ A4 จำนวน 1 หน้า ในแนวนอน ด้วยดินสอ 2B ลายเส้นคมชัด

กำหนดให้วาง TITLE BLOCK ลงบนมุมล่างขวาของกระดาษโดยมีรูปแบบดังนี้

คพ 121 ตรรกศาสตร์เชิงดิจิทัลและอุปกรณ์อัจฉริยะ			
การบ้านที่:	เขียนโดย:		
วันที่: / /	รหัสนักศึกษา:	กลุ่ม:	หน้า: /