

บทที่ 8

อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น

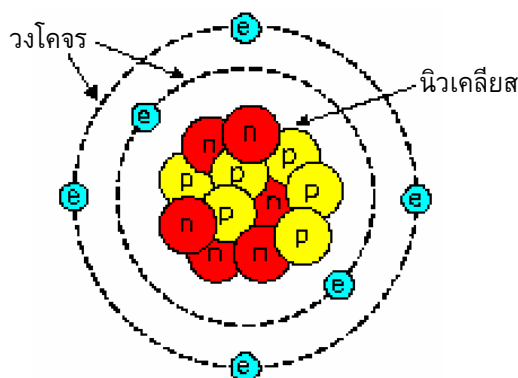


ประดิษฐ์กรรมที่นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน 3 ท่านได้นำมาแสดง เมื่อวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2491 นั้นมีขนาดไม่ยาวไปกว่าเมล็ดถั่วเขียวแต่ว่ามันได้สร้างความตื่นตาตื่นใจให้กับโลกวิทยาศาสตร์มากกว่าก้อนทองคำ นั่นคือทรานซิสเตอร์ (Transistor) อันเป็นผลผลิตจากการศึกษาค้นคว้า และทดลองเป็นเวลากว่า 8 ปี เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นใหม่เอี่ยมสำหรับควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสิ่งค้นพบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์แทนหลอดสุญญากาศในด้านต่างๆ หลายร้อยอย่าง และเป็นการเปิดยุคใหม่ของวิชาอิเล็กทรอนิกส์ [อ่านต่อครับ](#) 🌟

บทนี้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยเน้นที่อุปกรณ์แอ็กทีฟ (Active element) ที่เป็นไดโอด (Diode) ทรานซิสเตอร์ (Transistor) และวงจรรวม (Integrate Circuit, IC) ทั้งหมดที่กล่าวถึงสร้างจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Device) ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติระหว่างฉนวนกับตัวนำไฟฟ้า และนำมาประยุกต์ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์เป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2448 ปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างแพร่หลาย

8-1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับธาตุ

ธาตุประกอบด้วยอนุภาค 3 ชนิด คือ นิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอน อนุภาคนิวตรอนและโปรตอนอยู่รวมกันที่แกนกลาง ซึ่งเรียกว่า "นิวเคลียส" ส่วนอนุภาคอิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรรอบนิวเคลียส ดังรูป 8-1



รูป 8-1 ธาตุมีนิวตรอนและโปรตอนอยู่รวมกันที่นิวเคลียส ส่วนอิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรรอบนิวเคลียส



จำนวนโปรตอนรวมกับนิวตรอนเรียกว่า “เลขมวล” (mass number, A) ส่วนจำนวนโปรตอน เรียกว่า “เลขอะตอม” (atomic number, Z) สัญลักษณ์ของธาตุเขียนได้เป็น ${}_Z\text{X}^A$ สามารถบอกชนิดของธาตุได้ด้วยเลขอะตอม เช่น ธาตุที่มี Z = 1 คือ ไฮโดรเจน (${}_1\text{H}^1$), ธาตุที่มี Z = 2 คือ ฮีเลียม (${}_2\text{He}^4$) และ ธาตุที่มี Z = 3 คือ ลิเทียม (${}_3\text{Li}^7$) เป็นต้น อิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรมีจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดจากวงในสุดออกมาเป็น 2, 8, 18, 32, 64, ... อิเล็กตรอนในวงโคจรสุดท้ายมีได้สูงสุด 8 ตัว วงโคจรสุดท้ายของธาตุ เรียกว่า “วงโคจรวาเลนซ์” (valance orbit) อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรนี้ เรียกว่า “อิเล็กตรอนวาเลนซ์” (valance electron) ธาตุต่างๆ สามารถนำมาเรียงเป็นตารางธาตุ (periodic table) ดังที่จะเห็นต่อไปในการทดลองเสมือนจริงเรื่องตารางธาตุ พิจารณาตารางธาตุ ธาตุหมู่ที่ 1 ถึง 3 คือ โลหะ (metallic) ธาตุหมู่ที่ 5 ถึง 7 คือ อโลหะ (non-metallic) ธาตุหมู่ที่ 8 คือ ธาตุเฉื่อย (inert) ที่น่าสนใจ คือธาตุหมู่ที่ 4 หรือสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ระหว่างโลหะและอโลหะ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของธาตุหมู่นี้ก็เป็นฉนวนที่เกือบจะนำไฟฟ้า

การทดลองเสมือนจริง

1	2											13	14	15	16	17	18
1A	2A											3A	4A	5A	6A	7A	8A
1 H	2 He											3 B	4 C	5 N	6 O	7 F	8 Ne
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 9B	10 10B	11 11B	12 12B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	114 Uuq	116 Uuh	118 Uuo			
		6 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
		7 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

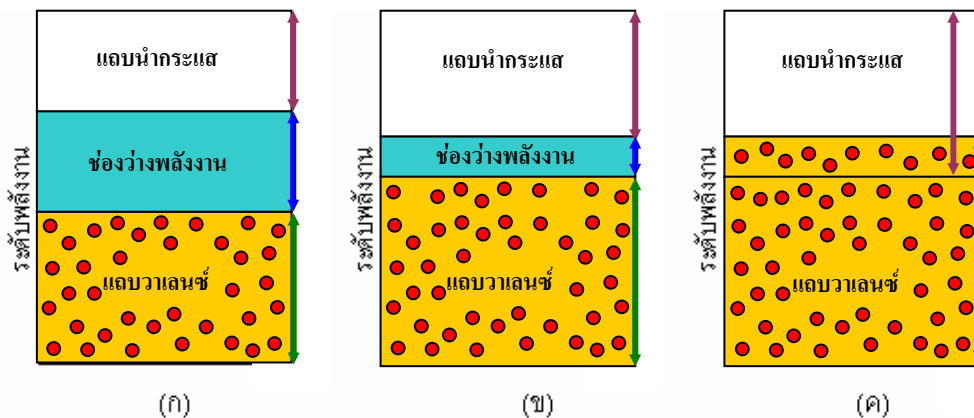
ธาตุ คือ สารบริสุทธิ์ที่ประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน มีสถานะต่างๆ ทั้งของแข็ง ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากธาตุต่าง ๆ ในปัจจุบันนี้มีจำนวนมากกว่า 105 ธาตุ แต่ละธาตุมีสมบัติแตกต่างกันเป็นส่วนใหญ่ [คลิกที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#) 🌟



อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น-3

อาจจำแนกธาตุจากคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยพิจารณาจากความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า อาจเรียกดธาตุว่าผลึกสถานะของแข็ง เนื่องจากพิจารณาเฉพาะธาตุในสถานะของแข็ง ตัวนำมีการยึดตัวกันระหว่างอะตอมด้วยพันธะโลหะ (metallic bond) ซึ่งเป็นพันธะที่ไม่แข็งแรงนัก ดังนั้นตัวนำจึงมีอิเล็กตรอนอิสระ⁽¹⁾ เป็นจำนวนมากการใช้พลังงานกระตุ้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าได้อย่างง่ายดาย⁽²⁾ ในทางตรงข้าม ฉนวนมีการยึดตัวกันระหว่างอะตอมด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalence bond) ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงมาก ดังนั้นฉนวนจึงมีอิเล็กตรอนอิสระเป็นจำนวนน้อย และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี

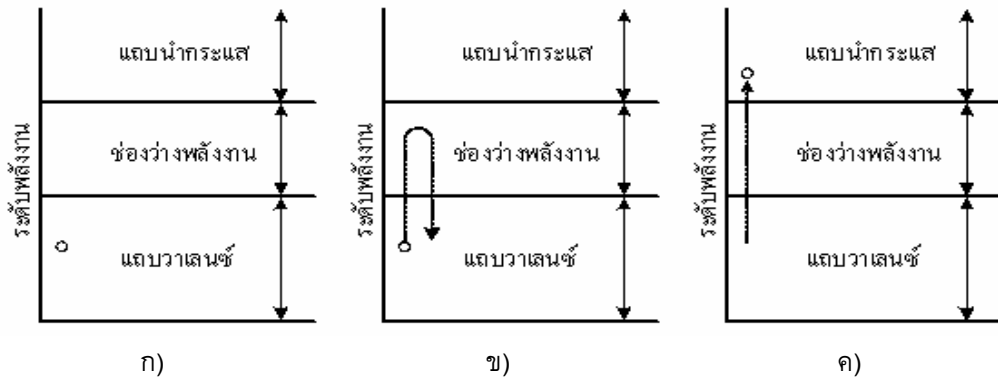
คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของผลึกสถานะของแข็งอาจพิจารณาได้จากแบบจำลองระดับพลังงาน เรียกว่า “ทฤษฎีแถบพลังงาน” โดยแบ่งแถบพลังงานเป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 เป็นแถบพลังงานต่ำ เรียกว่า “แถบวาเลนซ์” (valance band) อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในแถบพลังงานนี้ คืออิเล็กตรอนยึดเหนี่ยว⁽³⁾ ซึ่งถูกยึดไว้โดยอะตอมใดๆ ดังนั้นอิเล็กตรอน ณ แถบพลังงานนี้จึงมีพลังงานศักย์ยึดเหนี่ยวสูง แต่มีพลังงานจลน์น้อย ถัดจากแถบวาเลนซ์คือ “แถบช่องว่างพลังงาน” (energy gap band) ช่องว่างนี้ คือที่ว่างระหว่างวงโคจรวาเลนซ์กับภายนอกอะตอม เนื่องจากอิเล็กตรอนหนึ่งวงรอบอะตอมเป็นวงโคจร และอิเล็กตรอนต้องอยู่ ณ วงโคจรใดๆ ดังนั้นอิเล็กตรอนใดๆ จึงไม่สามารถเข้ามาอยู่ภายในแถบช่องว่างพลังงานได้ แถบพลังงานช่วงที่ 3 เป็นแถบพลังงานสูง เรียกว่า “แถบนำกระแส” (conduction band) อิเล็กตรอนที่อยู่ ณ แถบพลังงานนี้เป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานมากพอที่จะหลุดออกมาจากการยึดเหนี่ยวของอะตอม และกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ดังนั้นอิเล็กตรอน ณ แถบพลังงานนี้จึงมีพลังงานศักย์ยึดเหนี่ยวต่ำมาก และมีพลังงานจลน์สูง การกระตุ้นด้วยพลังงานอีกเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ แถบพลังงานของฉนวน สารกึ่งตัวนำ และตัวนำ เป็นดังรูป 8-2



รูป 8-2 ก) แถบพลังงานของฉนวน
ข) แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ
ค) แถบพลังงานของตัวนำ

(1) อิเล็กตรอนอิสระ (free electron) คือ อิเล็กตรอนที่ไม่ถูกยึดเหนี่ยวไว้โดยอะตอมใดๆ และมีอิสระในการเคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นเพียงเล็กน้อย
(2) กระแสไฟฟ้าเกิดจากการไหลของกลุ่มอิเล็กตรอนอิสระผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา
(3) อิเล็กตรอนยึดเหนี่ยว (bond electron) คือ อิเล็กตรอนที่ถูกยึดเหนี่ยวไว้ในวงโคจรรอบอะตอมใดๆ





รูป 8-3 ก) ฉนวนที่มี 1 อิเล็กตรอน

ข) พลังงานที่จ่ายให้อิเล็กตรอนไม่มากพอที่จะข้ามช่องว่างพลังงาน

ค) พลังงานที่จ่ายให้อิเล็กตรอนมากพอที่จะข้ามช่องว่างพลังงาน

พิจารณารูป 8-3 ก) สมมติให้ฉนวนมี 1 อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ ถ้าใส่พลังงานให้อิเล็กตรอนดังกล่าว อิเล็กตรอนก็จะเปลี่ยนระดับพลังงาน ถ้าพลังงานไม่เพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนข้ามช่องว่างพลังงาน อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับออกสู่สิ่งแวดล้อม อาจอยู่ในรูปของแสง ความร้อน ฯลฯ แล้วกลับเข้ามาสู่ระดับพลังงานเดิม ดังรูป 8-3 ข) ในกรณีนี้ไม่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า รูป 8-3 ค) อิเล็กตรอนได้รับพลังงานมากพอที่จะข้ามช่องว่างพลังงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนจึงเปลี่ยนระดับพลังงานเข้าไปสู่แถบนำกระแส และเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ในกรณีแถบช่องว่างพลังงานของฉนวนกว้างมาก การทำให้ฉนวนเกิดการนำกระแสไฟฟ้าจึงต้องใช้พลังงานสูงมาก เช่น อากาศต้องใช้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 30 kV ถึง 50 kV จึงทำให้เกิดการนำกระแสในช่วงระยะทาง 1 cm ในวัตถุแข็ง แรงดันพังทลาย (breakdown voltage) จะเป็นตัวการทำให้ฉนวนเกิดการนำกระแสและฉนวนจะสูญเสียสภาพดั้งเดิมของของแข็งไปเมื่อเลิกนำกระแสแล้ว ถ้าแรงดันพังทลายเกิดขึ้นในลูกถ้วยที่รองรับสายส่งไฟฟ้าตามเสา ก็ต้องเปลี่ยนลูกถ้วยนั้น เนื่องจากลูกถ้วยสูญเสียสภาพไปแล้วนั่นเอง ในกรณีนี้มักเกิดขึ้นเมื่อมีฟ้าผ่าใกล้ๆ เสาไฟฟ้า เมื่อย้อนกลับไปยังรูป 8-2 ข) คือแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำมีอะตอมยึดกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำจึงใกล้เคียงกับฉนวน ในสภาวะที่ยังไม่ถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน อิเล็กตรอนอยู่ที่แถบวาเลนซ์ในสภาวะปกติสารกึ่งตัวนำจึงไม่นำไฟฟ้า หรือมีสภาพเป็นฉนวน ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำแคบมากประมาณ 1–3 eV การกระตุ้นด้วยพลังงานเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปสู่แถบนำกระแสได้ และเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำแปรตามอุณหภูมิ อุณหภูมิสูง ช่องว่างพลังงานจะแคบลง ตาราง 8-1 แสดงช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำบางชนิด ณ อุณหภูมิ 0 K และ 300 K

ตาราง 8-1 ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำบางชนิด ที่อุณหภูมิ 0 K และ 300 K

สารกึ่งตัวนำ	ช่องว่างพลังงาน (0 K) (eV)	ช่องว่างพลังงาน (300 K) (eV)
Ge	0.7437	0.6630
Si	1.1700	0.1250
GaAs	1.5190	0.4220



และ รูป 8-2 ค) คือ แถบพลังงานของตัวนำ แถบวาเลนซ์ และแถบนำกระแสเหลื่อมล้ำกัน และไม่มีช่องว่างพลังงาน ดังนั้น อิเล็กตรอนบางส่วนของแถบวาเลนซ์จึงเป็นอิเล็กตรอนในแถบนำกระแสด้วย อิเล็กตรอนกลุ่มนี้พร้อมที่จะเคลื่อนที่เมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานเพียงเล็กน้อย ตัวนำจึงนำกระแสไฟฟ้าได้ง่าย

8-2 วัสดุสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Device)

สารกึ่งตัวนำเป็นสิ่งประดิษฐ์สถานะของแข็ง (solid state device) ทำขึ้นจากสารที่เป็นเฟสของแข็ง ปัจจุบัน สารกึ่งตัวนำมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้พลังงานน้อย มีประสิทธิภาพสูง และเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง สารกึ่งตัวนำมีหลายประเภท แต่ละประเภทก่อให้เกิดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสารกึ่งตัวนำแต่ละประเภทก็มีหลักการทํางานคล้ายกัน หลักการพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำ คือการทำให้เกิดพาหะทางไฟฟ้า 2 ชนิด คือ โฮล (hole) และอิเล็กตรอน (electron) เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในผลึกของสารกึ่งตัวนำ

8-2-1 ประเภทของสารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุเดี่ยว (element semiconductor)
2. สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบ (compound semiconductor)
3. สารกึ่งตัวนำประเภทอัลลอยด์ (alloy semiconductor)

1. สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุเดี่ยว

สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุเดี่ยว คือสารกึ่งตัวนำที่อยู่ในธาตุหมู่ 4 เช่น คาร์บอน (C), ซิลิกอน (Si), เยอรมันเนียม (Ge), ดีบุก (Sn) และตะกั่ว (Pb) เป็นต้น ธาตุเหล่านี้มีอิเล็กตรอนในวงโคจรวาเลนซ์เท่ากัน จำนวน 4 อิเล็กตรอน ดังนั้นสารกึ่งตัวนำจะเสถียรภาพก็ต่อเมื่อมีอิเล็กตรอนอีก 4 ตัวเข้ามาอยู่ในวงโคจรดังกล่าว สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุเดี่ยวที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน คือซิลิกอน เนื่องจากได้หาง่ายเพราะเป็นส่วนหนึ่งของทรายที่มีอยู่ทั่วไป สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุเดี่ยวเป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างวงจรรวม

2. สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบ

สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบเกิดจากสารประกอบของ 2 ธาตุ สารกึ่งตัวนำประเภทนี้มีคุณสมบัติพิเศษในการดูดกลืน หรือปลดปล่อยแสง จึงนิยมสร้างเป็น “อุปกรณ์แสง” (optic-devices) เช่น ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diode, LED) หรือไดโอดเลเซอร์ (laser diode) เป็นต้น กลุ่มย่อยของสารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบมีดังนี้

สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบกลุ่ม 2-6 เป็นธาตุประกอบที่เกิดจากธาตุหมู่ 2 และ 6 เช่น แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride, CdTe) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เป็นต้น

สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบกลุ่ม 3-5 เป็นธาตุประกอบที่เกิดจากธาตุหมู่ 3 และ 5 เช่น อะลูมิเนียมอาเซไนด์ (Aluminium Arsenide, AlAs) และแกลเลียมไนไตรด์ (Gallium Nitride, GaN) เป็นต้น

สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบกลุ่ม 4-4 เป็นธาตุประกอบที่เกิดจากธาตุ 2 ธาตุในหมู่ 4 เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide, SiC) เป็นต้น

สารกึ่งตัวนำประเภทธาตุประกอบกลุ่ม 4-6 เป็นธาตุประกอบที่เกิดจากธาตุ 2 ธาตุในหมู่ 4 และ 6 เช่น ลีดซีลีไนด์ (Lead Selenide, PbSe) และลีดเทลลูไรด์ (Lead Telluride, PbTe) เป็นต้น

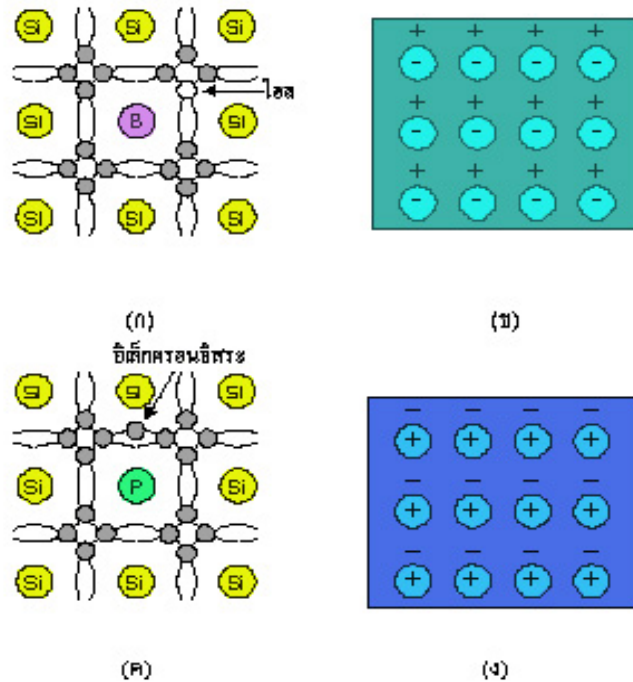
3. สารกึ่งตัวนำประเภทอัลลอยด์

สารกึ่งตัวนำประเภทอัลลอยด์เกิดจากอัลลอยด์ของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น อัลลอยด์ของอะลูมิเนียม แกลเลียม สารหนู และพลวง เป็น $Al_aGa_{1-a}As_bSb_{1-b}$ โดย a และ b มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เช่น $Al_{0.4}Ga_{0.6}As_{0.3}Sb_{0.7}$ หมายความว่า อัลลอยด์นี้ประกอบด้วยอะลูมิเนียม 4 อะตอม แกลเลียม 6 อะตอม สารหนู 3 อะตอม และพลวง 7 อะตอม สารกึ่งตัวนำประเภทอัลลอยด์อื่น เช่น $Si_{1-a}Ge_a$, $GaAs_{1-a}P_a$, $GaIn_{1-a}As$ และ $GaIn_{1-a}As_{1-b}P_b$ เป็นต้น



8-3 การสร้างพาหะบนสารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น ซิลิกอน (Silicon, Si) และเยอรมันเนียม (Germanium, Ge) มีอิเล็กตรอนในวงโคจรสุดท้ายเท่ากับ 4 จับตัวกันเป็นผลึกโดยใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน



รูป 8-4 ก) สารกึ่งตัวนำชนิด P

ข) ภาพเสมือนสารกึ่งตัวนำชนิด P

ค) สารกึ่งตัวนำชนิด N

ง) ภาพเสมือนสารกึ่งตัวนำชนิด N

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำมาเจือปนกับโลหะ เช่น โบรอน (Boron, B) ซึ่งมีอิเล็กตรอนในวงโคจรสุดท้าย เท่ากับ 3 ส่งผลให้อิเล็กตรอนในบางวงโคจรมีไม่ครบ 8 ตัว ตำแหน่งที่อิเล็กตรอนหายไป เรียกว่า “โฮล” (hole) มีลักษณะเสมือนเป็นประจุบวก สารผสมนี้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-Type Semiconductor) ดังรูป 8-4 ก) สามารถทำเป็นภาพเสมือนของสารกึ่งตัวนำชนิด P ดังรูป 8-4 ข) ซึ่งเครื่องหมาย + หมายถึง โฮล วงกลมที่มีเครื่องหมายลบอยู่ภายใน คืออะตอมที่มีโฮลอยู่โดยรอบ ถ้าโฮลสูญหายไปอะตอมจะมีศักย์เป็นลบ

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำมาเจือปนกับโลหะ เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) ซึ่งมีอิเล็กตรอนในวงโคจรสุดท้ายเท่ากับ 5 เนื่องจากมีอิเล็กตรอนมากกว่าที่จะจับคู่ในวงโคจรสุดท้ายส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ สารผสมนี้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-Type Semiconductor) ดังรูป 8-4 ค) สามารถทำเป็นภาพเสมือนของสารกึ่งตัวนำชนิด N ดังรูป 8-4 ง) ซึ่งเครื่องหมาย - หมายถึง อิเล็กตรอนอิสระ วงกลมที่มีเครื่องหมายบวกอยู่ภายใน คืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่โดยรอบ ถ้าอิเล็กตรอนอิสระสูญหายไปอะตอมจะมีศักย์เป็นบวก



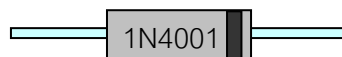
บทความออนไลน์



มนุษย์อวกาศบนพื้นฐพี มนุษย์บางกลุ่มสวมชุดป้องกันร่างกายคล้ายมนุษย์อวกาศมาก คนกลุ่มนี้ทำงานอยู่ในโรงงานสารกึ่งตัวนำที่มีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 2.5 พันล้านเหรียญ
[อ่านต่อครับ](#) 🌞

8-4 ไดโอดแบบรอยต่อ P-N (P-N Junction Diode)

ไดโอดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีรูปร่างดังรูป 8-5 ก) ด้านที่มีแถบสี คือด้านที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N และสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ดังรูป 8-5 ข)



ก)

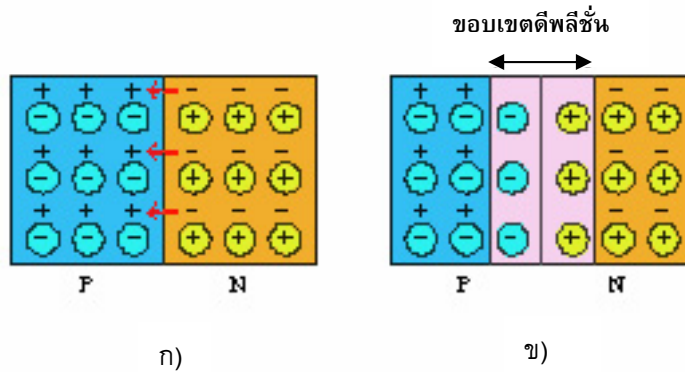


ข)

รูป 8-5 ก) ภาพจริงของไดโอดซึ่งมีเบอร์อยู่ด้านข้าง ข) สัญลักษณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ของไดโอด

ไดโอดแบบรอยต่อ P-N สร้างจากการนำเอาสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N มาประกบกัน ซึ่งโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณรอยต่อจะรวมตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม มีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า เรียกว่า “ขอบเขตดีพลีชัน” (depletion region) ดังรูป 8-6 ขอบเขตดีพลีชันมีความต่างศักย์มากพอที่จะกั้นไม่ให้อิเล็กตรอนอิสระ และโฮลทั้งสองด้านไหลเข้ามารวมกัน ณ อุณหภูมิ 25 °C ไดโอดชนิดที่เป็นสารเยอรมันเนียมมีความต่างศักย์ที่รอยต่อ 0.2 V ขณะที่ไดโอดชนิดที่เป็นสารซิลิกอนมีความต่างศักย์ที่รอยต่อ 0.7 V ไดโอดมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า 2 ประการ คือ ไบอัสตรง (forward bias) และ ไบอัสกลับ (reverse bias)

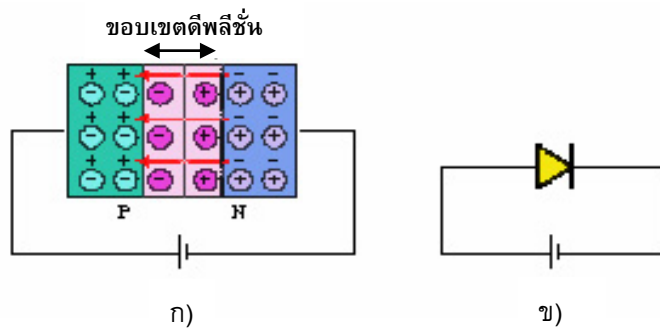




ก) อิเล็กตรอนไหลข้ามรอยต่อ
ข) เกิดขอบเขตดีพลีชันที่รอยต่อ

8-4-1 ไบอัสตรง

ต่อขั้วบวกและลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ากับขั้ว P และ N ของไดโอด ตามลำดับ ดังรูป 8-7 ส่งผลทำให้อิเล็กตรอนอิสระทางด้านขั้ว N ถูกขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าผลักข้ามรอยต่อดีพลีชันไปยังด้านขั้ว P ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า รูป 8-9 แสดงกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของการไบอัสตรง ซึ่งเป็นรูปพาราโบลา จุดเปลี่ยนโค้งของกราฟพาราโบลา (knee point) ตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่รอยต่อพอดิ ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดๆ หนึ่ง ไดโอดจะทนอัตรากำลังไฟฟ้าไม่ไหวทำให้เกิดการไหม้ จุดนี้เรียกว่า "burnout point" ไดโอดจะเกิดการเสียหาย

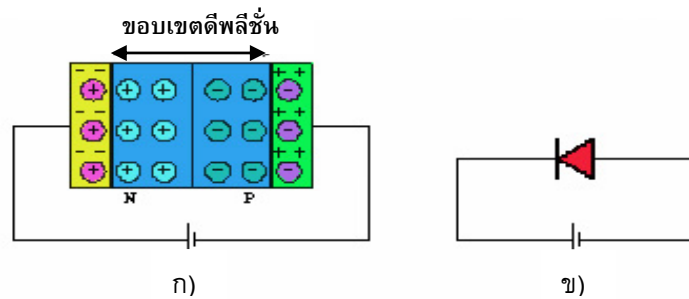


ก) ภาพเสมือนของการไบอัสตรง
ข) การต่อวงจรไบอัสตรง

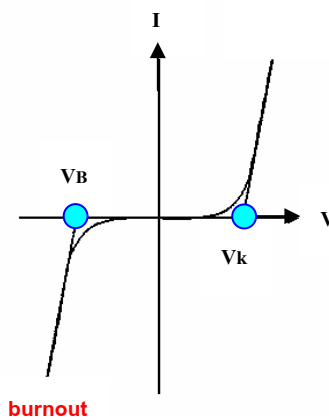
8-4-2 ไบอัสกลับ

ต่อขั้วบวกและลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ากับขั้ว N และ P ของไดโอดตามลำดับ ดังรูป 8-8 ผลก็คืออิเล็กตรอนอิสระทางด้านขั้ว N จะถูกขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าดึงดูด ในขณะที่เดียวกันโฮลทางด้านขั้ว P ก็จะถูกขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าดึงดูดเช่นกัน ดังนั้นขอบเขตดีพลีชันจึงกว้างมากขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดได้น้อยลง ถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าไปเรื่อยๆ จนถึงจุดๆ หนึ่ง กระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลอย่างทันทีทันใด จุดนี้เรียกว่า "breakdown voltage point" ถ้าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นไปอีกจนถึงจุดๆ หนึ่ง ไดโอดจะไหม้เพราะทนอัตรากำลังไฟฟ้าไม่ไหว จุดนี้เรียกว่า "burnout point" ไดโอดจะเกิดการเสียหาย





รูป 8-8 ก) ภาพเสมือนของการไบอัสกลับ
ข) การต่อวงจรไบอัสกลับ



รูป 8-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของไดโอด

8-5 วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

(Rectifier Circuit)

วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “วงจรเรียงกระแส” ซึ่งมี 3 ประเภทด้วยกัน คือ

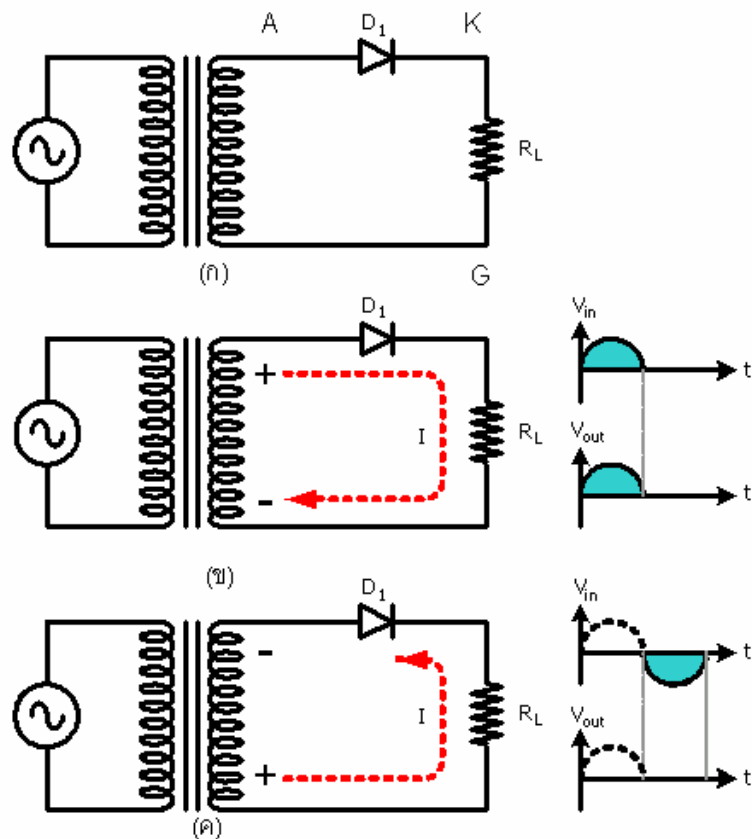
1. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier)
2. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-Wave Rectifier)
3. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)

8-5-1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น คือวงจรดังรูป 8-10 ก) ถ้าพิจารณารูป 8-10 ข) ถ้าอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งบวก กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้ว + ผ่านไดโอด D_1 แบบไบอัสตรงไปยังขั้วลบ ดังนั้นทำให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ R_L ได้ ถ้าพิจารณารูป 8-10 ค) ถ้าอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งลบ กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้ว + ผ่านไดโอด D_1 แบบไบอัสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลไปยังขั้วลบ ดังนั้นทำให้ไม่



สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ R_L ได้ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุตเป็น 0.47 เท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูป 8-10 ก) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

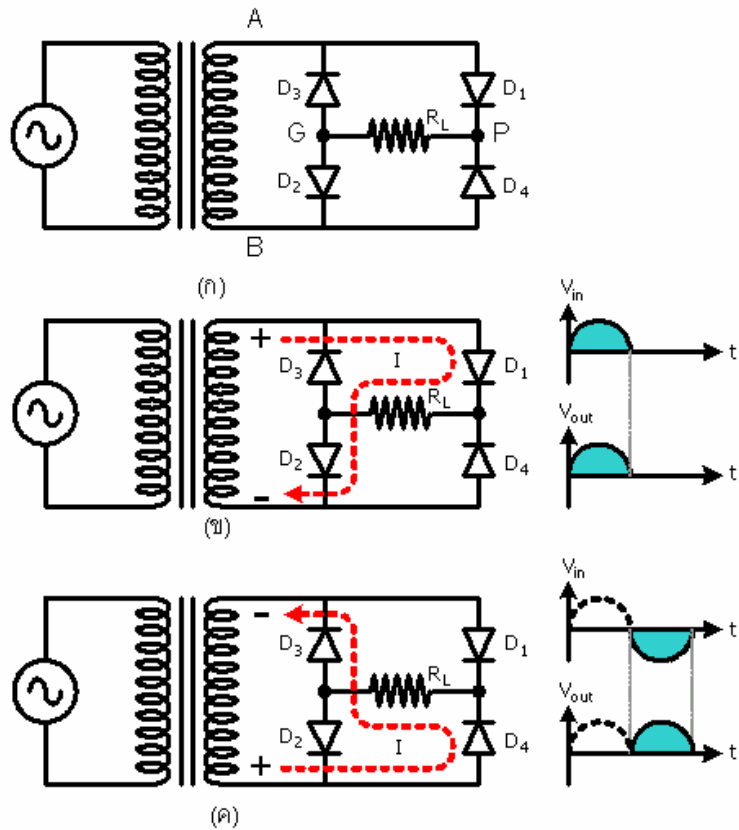
ข) การไหลของกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งบวก

ค) การไหลของกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งลบ

8-5-2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น คือวงจรดังรูป 8-11 ก) ถ้าพิจารณารูป 8-11 ข) ถ้าอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งบวก กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้ว + ผ่านไดโอด D_1 แบบไบอัสตรงไปยังกราวด์ ขณะที่กระแสไฟฟ้าไม่สามารถผ่านไดโอด D_2 ได้ เนื่องจากเป็นไบอัสกลับ ดังนั้นทำให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ R_L ได้ ด้านขวาของตัวต้านทาน R_L เป็นแรงดันไฟฟ้าบวก เมื่อเทียบกับทางด้านซ้าย ถ้าพิจารณารูป 8-11 ค) ถ้าอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งลบ กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้ว + ผ่านไดโอด D_2 แบบไบอัสตรงไปยังกราวด์ ขณะที่กระแสไฟฟ้าไม่สามารถผ่านไดโอด D_1 ได้ เนื่องจากเป็นไบอัสกลับ ดังนั้นทำให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ R_L ได้ ด้านขวาของตัวต้านทาน R_L เป็นแรงดันไฟฟ้าบวก เมื่อเทียบกับทางด้านซ้ายเช่นเดียวกัน สรุปได้ดังนี้คือ ไม่ว่าขั้วของไฟฟ้ากระแสสลับจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม ทางด้านขวาของตัวต้านทาน R_L จะเป็นบวกเสมอ เมื่อเทียบกับทางด้านซ้าย ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก R_L จึงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุตเป็น 0.25 เท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



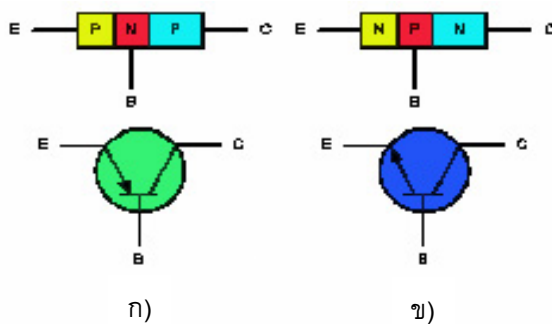


รูป 8-12 ก) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

- ข) การไหลของกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งบวก
- ค) การไหลของกระแสไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งลบ

8-6 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

ทรานซิสเตอร์เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้น มาประกบกัน ส่วนประกบด้านนอกทั้ง 2 ด้านทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกัน เรียกว่า “อิมิตเตอร์” (Emitter, E) และ “คอลเล็กเตอร์” (Collector, C) ส่วนกลางทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดตรงข้าม เรียกว่า “เบส” (Base, B) การประกบกันของสารกึ่งตัวนำทำได้โดยการโด๊ป (dope) สารกึ่งตัวนำที่ขา E มีความหนาของการโด๊ปน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำที่ขา C ของทรานซิสเตอร์ ดังนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของขา E และ C จึงไม่เท่ากัน ทรานซิสเตอร์มี 2 ชนิด ดังรูป 8-13



รูป 8-13 ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



8-7 การต่อวงจรทรานซิสเตอร์

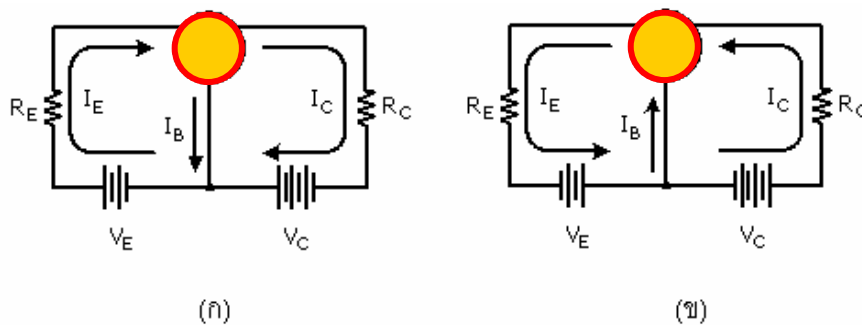
การต่อวงจรทรานซิสเตอร์ทำได้ 3 แบบ คือ

1. วงจรเบสร่วม (Common Base Circuit)
2. วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common Collector Circuit)
3. วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter Circuit)

8-7-1 วงจรเบสร่วม

รูป 8-14 เป็นการต่อวงจรทรานซิสเตอร์แบบเบสร่วม ถ้าพิจารณารูป 8-14 ก) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แรงดันไฟฟ้า V_E ไบอัสตรงระหว่างขา E และ B อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่ขา B วิ่งข้ามรอยต่อ P-N ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่ขา E ในทางกลับกัน โหลดจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่ขา E วิ่งข้ามรอยต่อ P-N ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่ขา B เกิดกระแสไฟฟ้าอิมิตเตอร์ I_E ในขณะเดียวกันแรงดันไฟฟ้า V_C ซึ่งสูงกว่าแรงดันไฟฟ้า V_E ไบอัสกลับระหว่างขา B และขา C ดังนั้นจึงมีโฮลบางส่วนถูกผลักดันให้ข้ามรอยต่อ P-N ไปยังขาคอลเล็กเตอร์ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าคอลเล็กเตอร์ I_C โดย

$$I_E - I_C = I_B \quad (8-1)$$



รูป 8-14 ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต่อเป็นวงจรเบสร่วม

ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่อเป็นวงจรเบสร่วม

ทรานซิสเตอร์ที่มีคุณภาพสูงจะมีกระแสไฟฟ้า I_B น้อยมาก อัตราขยายกระแสของวงจรทรานซิสเตอร์แบบเบสร่วมคือ

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad (8-2)$$

แทน $I_C = I_E - I_B$ จากสมการ (8-1) ลงในสมการ (8-2) จะได้

$$\alpha = \frac{I_E - I_B}{I_E} = 1 - \frac{I_B}{I_E} \quad (8-3)$$

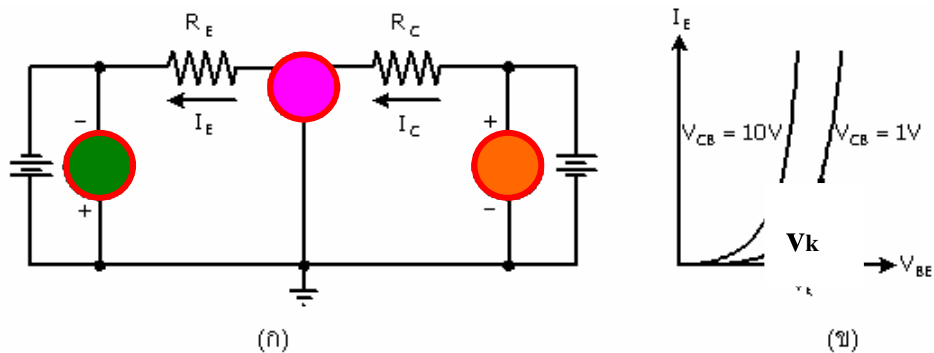
เนื่องจากกระแสไฟฟ้า I_B มีค่าน้อยมาก ดังนั้น α จึงมีค่าเกือบเท่ากับ 1 ในทางปฏิบัติ α มีค่าระหว่าง 0.9 ถึง 1 ทรานซิสเตอร์ที่มี α ใกล้เคียง 1 เป็นทรานซิสเตอร์ที่มีคุณภาพสูง อัตราขยายแรงดันแบบเบสร่วม คือ

$$A_V = \frac{V_C}{V_E} = \frac{I_C R_C}{I_E R_E} = \alpha \frac{R_C}{R_E} \quad (8-4)$$



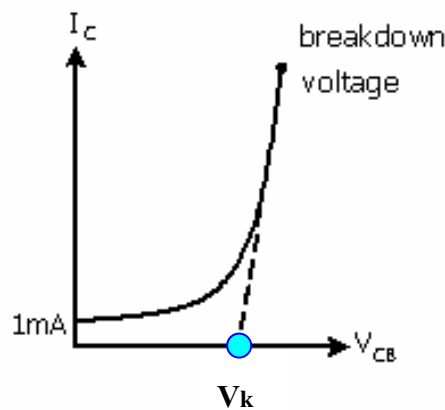
ถ้าพิจารณารูป 8-14 ข) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แรงดันไฟฟ้า V_E ไบอัสตรงระหว่างขา B และ E อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่ขา E วิ่งข้ามรอยต่อ P-N ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่ขา B ในทางกลับกัน โหลดจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่ขา B วิ่งข้ามรอยต่อ P-N ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่ขา E เกิดกระแสไฟฟ้า อิมิตเตอร์ I_E ในขณะเดียวกัน แรงดันไฟฟ้า V_C ซึ่งสูงกว่าแรงดันไฟฟ้า V_E ไบอัสกลับระหว่างขา C และ ขา B ดังนั้นจึงมีโวลต์บางส่วนถูกผลักดันให้ข้ามรอยต่อ P-N จากขาคอลเล็กเตอร์ไปยังขาเบส เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า คอลเล็กเตอร์ I_C จะเห็นได้ว่าวงจรทรานซิสเตอร์แบบเบสร่วมที่ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และ NPN มีพฤติกรรม เช่นเดียวกัน แต่ใช้แรงดันไฟฟ้าเลี้ยววงจร กลับหัวซึ่งกันและกัน ดังนั้นสมการ (8-1) ถึง (8-4) สามารถใช้ได้กับวงจร ทรานซิสเตอร์แบบเบสร่วมชนิด NPN เช่นเดียวกัน

ในการทดลองประกอบวงจรดังรูป 8-15 ก) ได้ผลการทดลองดังรูป 8-15 ข) เริ่มแรกกระแสไฟฟ้า อิมิตเตอร์ I_E น้อยมาก จนกระทั่งถึงจุด knee คือจุดแรงดันไฟฟ้า V_k กราฟชันมากเช่นเดียวกับกราฟที่ได้จาก ไดโอดแรงดันไฟฟ้า V_k เท่ากับ 0.2 V เมื่อทรานซิสเตอร์สร้างจากสารเยอรมันเนียม และเท่ากับ 0.7 V เมื่อ ทรานซิสเตอร์สร้างขึ้นจากสารซิลิกอน สำหรับวงจรเบสร่วมกระแสไฟฟ้าคอลเล็กเตอร์เกือบเท่ากับกระแสไฟฟ้า อิมิตเตอร์ ดังรูป 8-16 ถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขอบเขตพังทลาย (breakdown region) กระแสไฟฟ้า คอลเล็กเตอร์ I_C จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทรานซิสเตอร์เสียหาย ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ที่จุดต่ำกว่าขอบเขต พังทลาย



รูป 8-15 ก) วงจรเบสร่วม

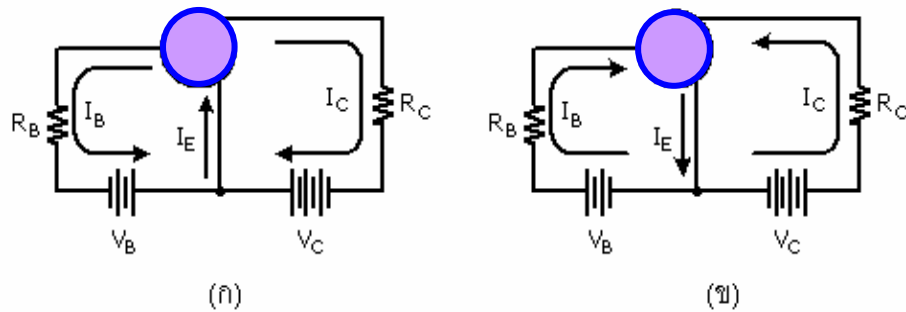
ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_E และ V_{BE}



รูป 8-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_C และ V_{CB}



8-7-2 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม



รูป 8-17 ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต่อเป็นวงจรอิมิตเตอร์ร่วม
ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่อเป็นวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

รูป 8-17 เป็นการต่อวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม ถ้าพิจารณารูป 8-17 ก) เป็นการต่อวงจรด้วย ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แรงดันไฟฟ้า V_B ไบอัสตรงระหว่างขา E และ B เกิดกระแสไฟฟ้า I_E ที่ขาอิมิตเตอร์ ขณะเดียวกัน แรงดันไฟฟ้า V_C ซึ่งสูงกว่าแรงดันไฟฟ้า V_B ไบอัสกลับระหว่างขา B และ ขา C ดังนั้นจึงมีโวลตจส่วนถูกผลักดันให้ข้ามรอยต่อ P-N ไปยังขาคอลเล็กเตอร์ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าคอลเล็กเตอร์ I_C จะเห็นได้ว่า I_C และ I_B ผลักดันให้ I_E มีค่าสูง และเนื่องจาก V_C ซึ่งสูงกว่า V_B ดังนั้น I_B จึงมีค่าต่ำมาก ดังนั้นเราจะได้ ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าดังนี้คือ

$$I_E - I_C = I_B \quad (8-5)$$

สมการ (8-5) มีลักษณะเช่นเดียวกับสมการ (8-1) และสมการนี้จะจริงในการต่อวงจรแบบคอลเล็กเตอร์ร่วมด้วย เช่นเดียวกัน อัตราขยายกระแสของวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมคือ

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (8-6)$$

แทนค่า $I_B = I_E - I_C$ จากสมการ (8-5) ลงในสมการ (8-6) จะได้

$$\beta = \frac{I_C}{I_E - I_C} \quad (8-7)$$

เมื่อกลับเศษส่วนของสมการ (8-7) จะได้

$$\frac{1}{\beta} = \frac{I_E - I_C}{I_C} = \frac{I_E}{I_C} - 1 = \frac{1}{\alpha} - 1 = \frac{1 - \alpha}{\alpha}$$

ดังนั้นเมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (8-8)$$



เนื่องจาก α มีค่าระหว่าง 0.9 ถึง 1.0 ดังนั้น $1-\alpha$ ในสมการ (8-8) มีค่าน้อยมากจึงทำให้ β มีค่าสูงมาก ทรานซิสเตอร์ที่มีขายในท้องตลาดมีค่าอัตราขยายกระแส β ประมาณ 20-200 เท่า ส่วนอัตราขยายแรงดันแบบ อิมิตเตอร์ร่วม คือ

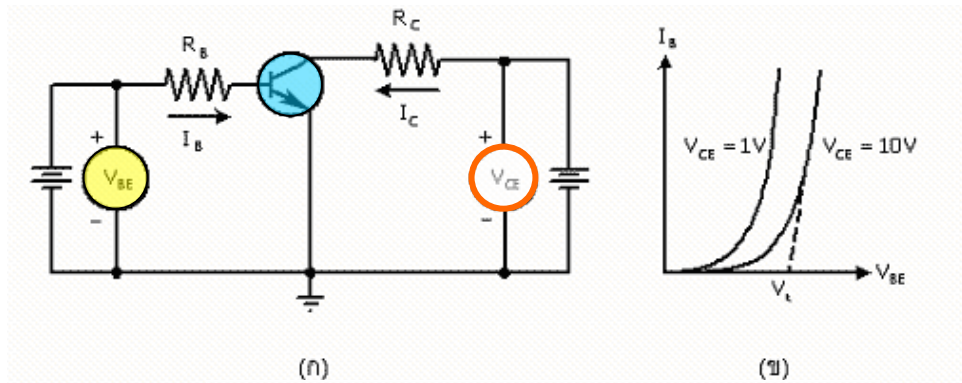
$$A_v = \frac{V_C}{V_B} = \frac{I_C R_C}{I_B R_B} = \beta \frac{R_C}{R_B} \quad (8-9)$$

เมื่อย้อนกลับไปยังสมการ (8-8) สามารถเขียนได้ใหม่ ดังนี้คือ

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} \quad (8-10)$$

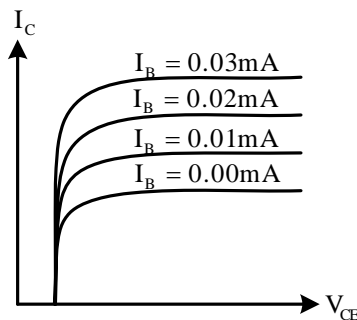
รูป 8-17 ข) เป็นการต่อวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมด้วยทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ซึ่งมีพฤติกรรม เช่นเดียวกับวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมที่ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แต่ใช้แรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจรกลับขั้ว ซึ่งกันและกัน ดังนั้นสมการ (8-5) ถึง (8-9) สามารถใช้ได้กับวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมชนิด NPN เช่นเดียวกัน

เมื่อทำการทดลองโดยต่อวงจรดังรูป 8-18 ก) จากพาหะของอิมิตเตอร์ไปถึงคอลเล็กเตอร์จนเกือบหมด มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ไปยังเบส ถ้ากระแสไฟฟ้าที่เบสเปลี่ยนแปลง กระแสไฟฟ้าที่คอลเล็กเตอร์ก็เปลี่ยนไปด้วย ดังรูป 8-18 ข) เมื่อกระแสไฟฟ้า I_B เป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้า I_C ก็ยังคงไหลอยู่ เนื่องจากกระแส reverse ของ คอลเล็กเตอร์ไดโอด ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูป 8-19



รูป 8-18 ก) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม

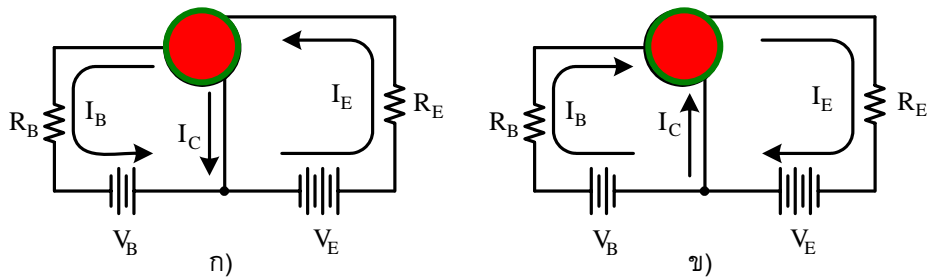
ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_C และ V_{BE}



รูป 8-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_C และ V_{CE}



8-7-3 วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม



รูป 8-20 ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต่อเป็นวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม
ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่อเป็นวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม

รูป 8-20 เป็นการต่อวงจรทรานซิสเตอร์แบบคอลเล็กเตอร์ร่วม อัตราขยายกระแสของวงจรทรานซิสเตอร์แบบคอลเล็กเตอร์ร่วม คือ

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} \quad (8-11)$$

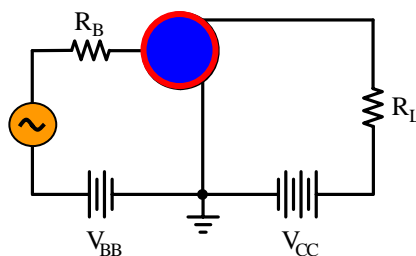
โดยที่

$$\gamma = 1 + \beta = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (8-12)$$

อัตราขยายแรงดันแบบคอลเล็กเตอร์ร่วม คือ

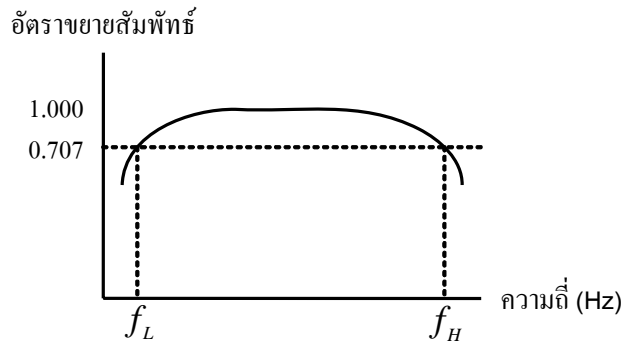
$$A_V = \frac{V_E}{V_B} = \frac{I_E R_E}{I_B R_B} = (1 + \beta) \frac{R_E}{R_B} \quad (8-13)$$

วงจรทรานซิสเตอร์แบบคอลเล็กเตอร์ร่วมไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน การต่อวงจรทรานซิสเตอร์มักนิยมใช้วงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม หรือวงจรทรานซิสเตอร์แบบเบสร่วม ถ้าพิจารณาจากรูป 8-14, 8-17 และ 8-20 ในรูป 8-14 กระแสไฟฟ้า I_E และ I_C มีการวน Loop ในทิศเดียวกัน รูป 8-17 กระแสไฟฟ้า I_B และ I_C มีการวน Loop สวนทิศกัน และ รูป 8-20 กระแสไฟฟ้า I_E และ I_B มีการวน Loop ในทิศเดียวกัน ดังนั้นการใช้วงจรทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า วงจรทรานซิสเตอร์แบบเบสร่วม และแบบคอลเล็กเตอร์ร่วม จึงมีเฟสของเอาต์พุตเช่นเดียวกับเฟสของอินพุต ในขณะที่วงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมมีเฟสของเอาต์พุตตรงข้ามกับเฟสของอินพุต ตัวอย่างการนำวงจรทรานซิสเตอร์ไปใช้เป็นวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าเป็นดังรูป 8-21



รูป 8-21 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าแบบอิมิตเตอร์ร่วม





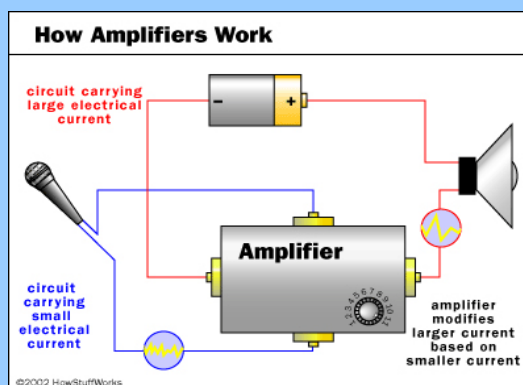
รูป 8-22 ความถี่ตอบสนองของวงจรขยายแรงดัน

จากรูป 8-22 จะเห็นได้ว่า วงจรขยายไม่สามารถขยายสัญญาณเกินกว่าความถี่สูงสุด ความถี่ในช่วงกลางสามารถขยายได้สูงดังรูป ในขณะที่ความถี่ต่ำ และความถี่สูงมีอัตราขยายลดลง ถ้าอัตราขยายสัมพัทธ์ คืออัตราส่วนของอัตราขยายที่ย่านความถี่ใดๆ ต่ออัตราขยายที่ย่านความถี่กลาง อัตราขยายสัมพัทธ์ที่ย่านความถี่กลางจึงเป็น 1 เสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่ามีค่าเท่ากับ 0 dB สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{dB} = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (8-14)$$

ที่ 0 dB การขยายสัญญาณที่เอาท์พุทไม่ผิดเพี้ยนไปจากอินพุท ถ้า dB มีค่าเป็น + แสดงว่าสัญญาณที่เอาท์พุทผิดเพี้ยนไปจากอินพุท ค่าความถี่ตอบสนองต่ำ f_L และค่าความถี่ตอบสนองสูง f_H อยู่ที่อัตราขยายสัมพัทธ์ 0.707 หรือมีค่าเท่ากับ -3 dB ช่วงความถี่กว้างระหว่าง f_L และ f_H เรียกว่า แบนวิดท์ของการขยาย (band width of amplifier) เครื่องขยายเสียงที่ดีต้องมีความถี่ $f_L = 20 \text{ Hz}$ และ $f_H = 20 \text{ kHz}$ จึงสามารถครอบคลุมย่านความถี่ที่มนุษย์สามารถรับฟังได้

การทดลองเสมือนจริง

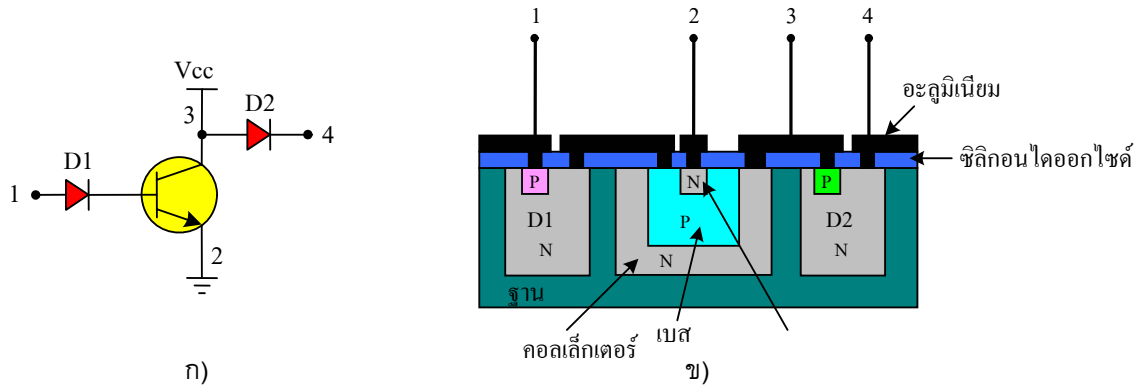


สำหรับเครื่องขยายเสียงต่างๆ ไป มักจะมีภาคขยายสัญญาณ ก่อนจะเข้าเครื่องขยายเสียง เราเรียกภาคนี้อันว่า ภาค Pre-amplifier ซึ่งจะทำงานเหมือนกับภาค Amplifier ทุกประการ เพียงแต่สัญญาณขยายอ่อนกว่า เพื่อไม่ให้ขยายสัญญาณผิดเพี้ยน [คลิกที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)

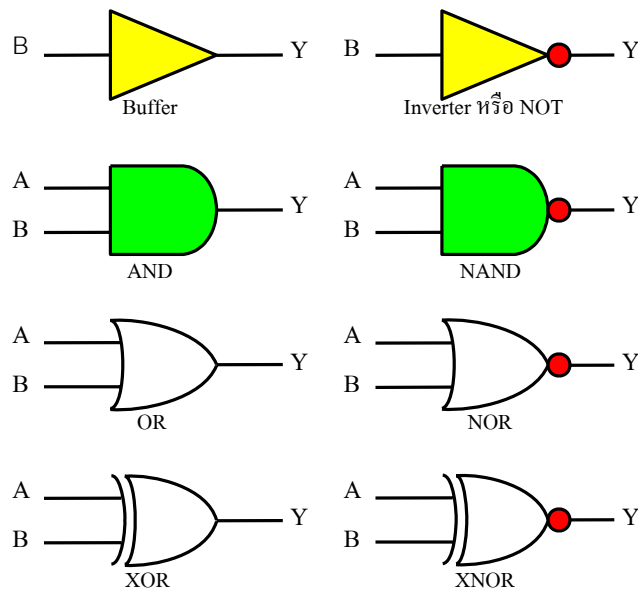


8-8 วงจรรวมเบื้องต้น

วงจรรวม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไอซี (IC) สร้างขึ้นจากผลึกเดี่ยวของซิลิกอน และจัดรูปให้เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์หลายๆ ตัว ส่วนดีของวงจรรวมก็คือ มีขนาดเล็ก กินกระแสต่ำ และมีความน่าเชื่อถือสูง สมมติว่าต้องการสร้าง IC เป็นวงจรรวมอินเวอร์เตอร์ดังรูป 8-23 ก) สามารถแยกเป็นส่วนประกอบต่างๆ ให้ภาพชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูป 8-23 ข) ปกติแล้วไอซีอินเวอร์เตอร์ เช่น 74LS04 มีอินเวอร์เตอร์อยู่ 6 ชุดในตัวถึงเดียวกัน รูป 8-23 เป็นเพียงการยกตัวอย่างอินเวอร์เตอร์เพียงชุดเดียวเท่านั้น



รูป 8-23 ก) วงจรรวมอินเวอร์เตอร์
ข) การแพร่สารกึ่งตัวนำภายในตัวถังไอซี



รูป 8-24 สัญลักษณ์ของเกตพื้นฐาน



จากรูป 8-24 สามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางพีชคณิตดังนี้

$$Y = \text{Buffer } B$$

$$Y = \text{NOT } B$$

$$Y = A \text{ AND } B$$

$$Y = A \text{ NAND } B$$

$$Y = A \text{ OR } B$$

$$Y = A \text{ NOR } B$$

$$Y = A \text{ XOR } B$$

$$Y = A \text{ XNOR } B$$

$$Y = B$$

$$Y = \overline{B}$$

$$Y = A \bullet B$$

$$Y = \overline{A \bullet B}$$

$$Y = A + B$$

$$Y = \overline{A + B}$$

$$Y = A \oplus B$$

$$Y = \overline{A \oplus B}$$

สัญลักษณ์ทางพีชคณิตคือ

เมื่อเห็นภาพสัญลักษณ์ของเกตพื้นฐาน และเข้าใจสัญลักษณ์ทางพีชคณิตดีแล้ว ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น หลังจากนั้นจะแสดงให้เห็นถึงสถานะลอจิกของแต่ละเกต ดังตาราง 8-1

ตาราง 8-1 แสดงสถานะลอจิกของแต่ละเกต

B	Y=Buffer B
0	0
1	1

B	Y=NOT B
0	1
1	0

A	B	Y=A AND B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	Y=A NAND B
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A	B	Y=A OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

A	B	Y=A NOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

A	B	Y=A XOR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A	B	Y=A XNOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1





ไอซีแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ TTL และ CMOS โดย TTL เป็นไอซีชนิดทรานซิสเตอร์ ดังรูป 8-23 ส่วน CMOS เป็นไอซีชนิดตัวเก็บประจุไฟฟ้า ไอซีประเภท TTL เป็นไอซีที่สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง แต่จะกินกระแสไฟฟ้ามก และทำงานได้ที่แรงดัน 5 V เท่านั้น ปกติ TTL สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงสุดประมาณ 42 MHz ส่วนไอซีประเภท CMOS จะกินกระแสไฟฟ้าต่ำ และมีช่วงแรงดันไฟฟ้าในการใช้งานกว้างตั้งแต่ 3 V ถึง 15 V แต่ทำงานได้ที่ความถี่สูงไม่สูงนัก ปกติ CMOS สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงสุดประมาณ 30 MHz เกตพื้นฐานของไอซีมีสัญลักษณ์ดังรูป 8-24 ถ้ากำหนดให้แรงดันไฟฟ้า 5 V คือลอจิก 1 และแรงดันไฟฟ้า 0 V คือลอจิก 0 เมื่อกำหนดให้ A และ B คืออินพุต และ Y คือเอาต์พุต สถานะลอจิกของแต่ละเกตจะเป็นดังตาราง 8-1 การศึกษาสถานะลอจิก เพื่อนำเราไปสู่พื้นฐานของคอมพิวเตอร์ที่ใช้เลขฐาน 2 คือ 0 กับ 1 หรือสภาวะเปิดกับปิด ที่ใช้อยู่ในไอซี ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

บทความออนไลน์



ประวัติและวิวัฒนาการคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ยุคเริ่มแรก ได้แก่เครื่องจักรกล หรือสิ่งประดิษฐ์ขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณ โดยที่ยังไม่มีการนำวงจรรีเลย์ทรอนิกส์เข้ามาใช้ประโยชน์ สิ่งที่ George Boole คิดค้นขึ้นนับว่ามีประโยชน์ต่อระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันเนื่องจากการยากที่จะใช้กระแสไฟฟ้า ซึ่งมีเพียง 2 สภาวะ คือ เปิดกับปิด แทนเลขฐานสิบซึ่งมีอยู่ถึง 10 ตัว คือ 0 ถึง 9 แต่เป็นการง่ายกว่าถ้าเราแทนด้วยเลขฐานสอง คือ 0 กับ 1 จึงถือว่าสิ่งนี้เป็นรากฐานที่สำคัญของการออกแบบวงจรระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน [อ่านต่อครับ](#)  [คลิกวิดีโอใ้กำเนิดคอมพิวเตอร์](#) 



บรรยายลงในกระดานฟลิคส์ราชมงคล



ภาพทรานซิสเตอร์ตัวแรกของโลก ซึ่งใช้สารกึ่งตัวนำเป็นวัสดุในการทำ ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกประเภทล้วนใช้ส่วนประกอบของทรานซิสเตอร์ [อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ลงในกระดานฟลิคส์ราชมงคล](#) 🔴 [คลิกดูวิดีโอการค้นพบทรานซิสเตอร์](#) 🔴



ทดสอบก่อนและหลังเรียน

วิธีทำ ให้ ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้น เมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ที่

เรื่องอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น

[คลิกเข้าสู่การทดสอบก่อนและหลังเรียนครับ](#) 🌟

แบบฝึกหัดเรื่องอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น

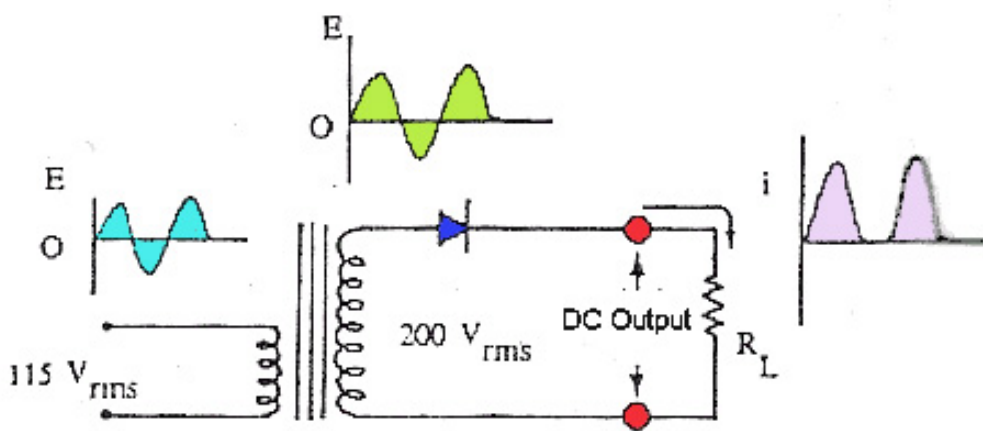
1. จงอธิบายคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของผลึกสถานะของแข็ง โดยใช้ทฤษฎีแถบพลังงาน
2. สารกึ่งตัวนำแบ่งเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง จงยกตัวอย่างประกอบ
3. พาทะบนสารกึ่งตัวนำมีกี่ชนิด จงอธิบายวิธีสร้างพาทะบนสารกึ่งตัวนำ
4. จงอธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดชนิดรอยต่อ N-P คือ ไบอัสตรง (Forward Bias) และ ไบอัสกลับ (Reverse Bias)
5. จงเขียนวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แบบอิมิตเตอร์ร่วม
6. จงเขียนวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แบบอิมิตเตอร์ร่วม
7. จงอธิบายความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าระหว่าง Output และ Input ของการขยายสัญญาณชนิดเบสร่วม
8. วงจรขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์ชนิดที่ให้ Power Gain สูงสุดเป็นเช่นนั้นเพราะอะไร



9. วงจรเรกติไฟเออร์ต่างๆ ใช้กับหม้อแปลงไฟที่มีขดลวดทุติยภูมิ มีปุ่ม 100-0-100 (มีปุ่มกลางแบ่งไฟออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ $100V_{rms}$) สมมติไม่มี load rectifier หม้อแปลงเป็นแบบอุดมคติ จงบอกค่าความต่างศักย์เอาต์พุตสูงสุด (Maximum Output Voltage) ของเรกติไฟเออร์ต่อไปนี้ที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองกระแส

- ก) แบบครึ่งคลื่น [ตอบ 280 V]
- ข) แบบเต็มคลื่น [ตอบ 140 V]
- ค) แบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [ตอบ 280 V]

10. วงจรเรกติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่นดังรูป จงหาค่า Peak Voltage, Peak Forward Current Rating และ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Rectification Efficiency) ถ้ากำหนด $R_L = 10 \Omega$



หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

