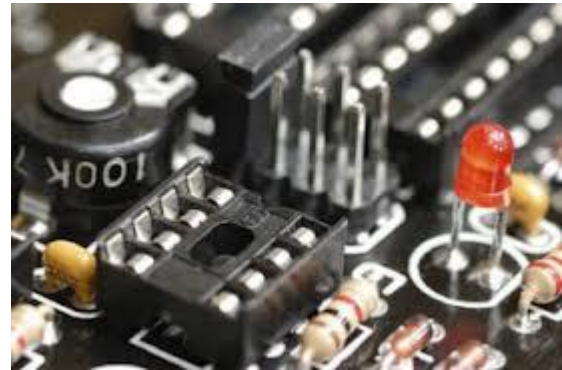


บทที่ 7

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



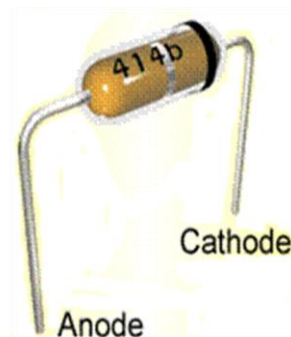
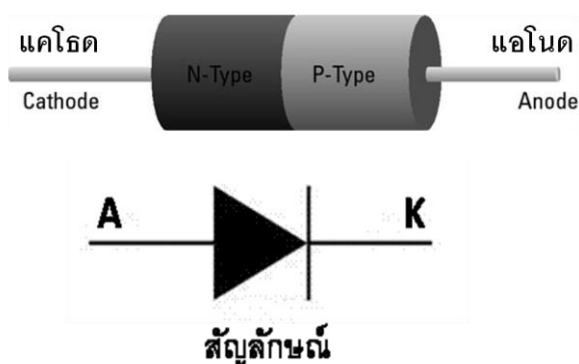
วัตถุประสงค์

1. อธิบายการทำงานของไดโอดได้
2. อธิบายการทำงานของไดโอดเปล่งแสง(LED)ได้
3. อธิบายการทำงานของซีเนอร์ไดโอดได้
4. อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ในย่านคัตออฟ แอ็กทีฟ และอิ่มตัวได้
5. คำนวณวงจรทรานซิสเตอร์เบื้องต้นได้

7-1 ไดโอด (Diode)

รอยต่อ พี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำซิลิคอน ได้พัฒนามาเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า ไดโอด ไดโอดมี 2 ขั้ว ขั้วที่ขึ้นสารชนิดพี เรียกว่า แอโนด Anode : (A) และ ขั้วที่ขึ้นสารชนิดเอ็นเรียกว่า แคโทด (Cathode: K) สัญลักษณ์ของไดโอดเปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำ 1 รอยต่อ (พี-เอ็น) แสดงในรูปที่ 7-1

ดังนั้น แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด เมื่อไดโอดนำกระแสจึงเท่ากับ 0.6V นั่นคือแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ พี-เอ็น นั่นเอง



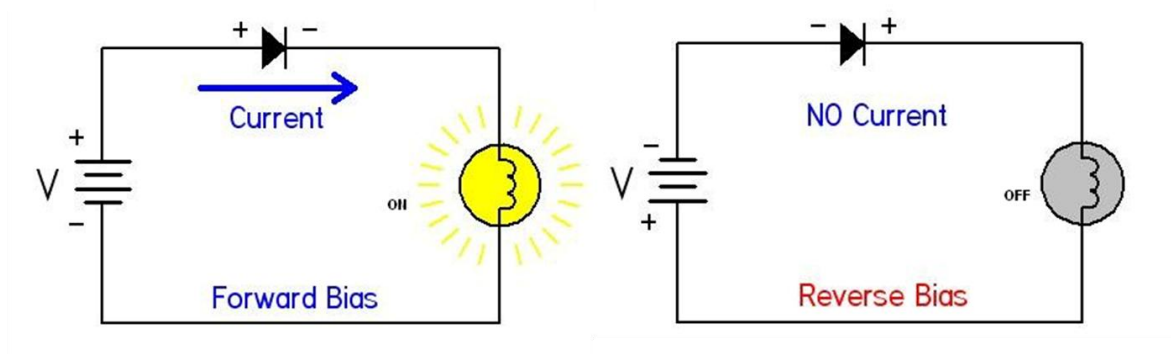
รูปที่ 7-1 ไดโอด
7-1-1 คุณสมบัติของไดโอด

1. เมื่อได้รับไบแอสกลับ

ไดโอดจะไม่นำกระแส

2. เมื่อได้รับไบแอสตรง ที่แรงดันมากกว่า 0.6V ไดโอดจะนำกระแสได้

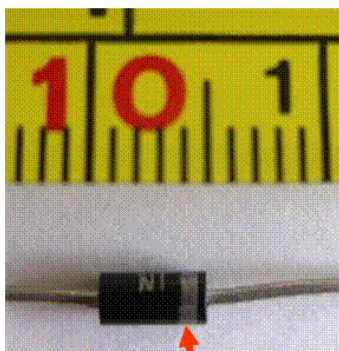
3. โดยปกติในรวมไดโอดจะต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสเพื่อป้องกันไดโอดเสมอ



ก.ไบแอสตรง

ข.ไบแอสกลับ

รูปที่ 7-2 การไบแอสไดโอด

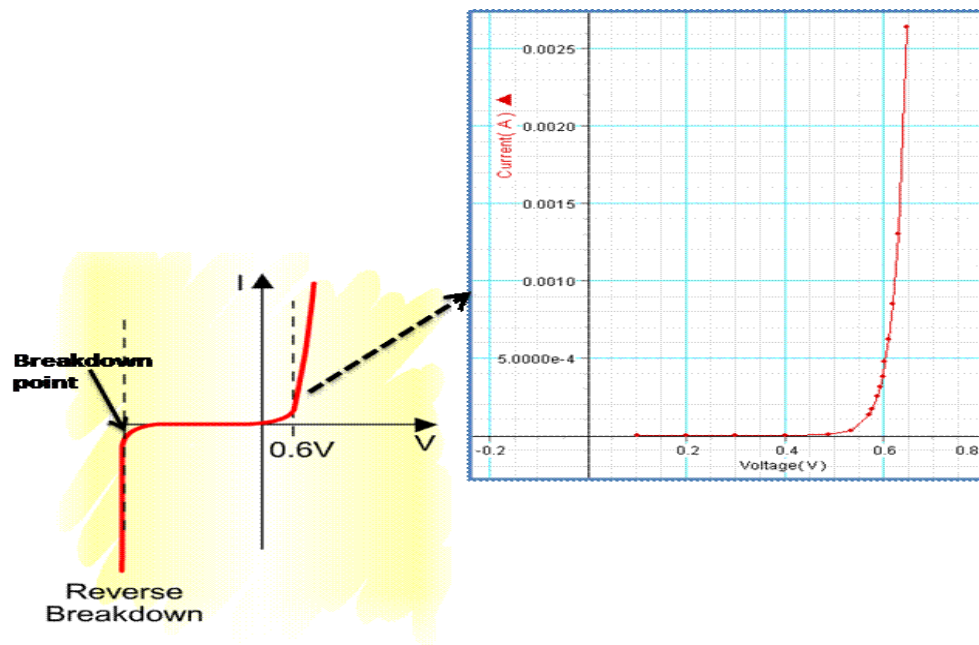


ลักษณะของไดโอดแสดงในรูปที่ 7-3 ที่ตัวถังไดโอดขนาดเล็กจะมีแถบสีเงิน ซึ่งแสดงว่าเป็นขั้วแคโทด (K) อีกขั้วหนึ่งของมันจึงเป็นขั้วแอโนด (A) โดยปกติไดโอดจะใช้ในวงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) เพื่อแปลงกระแสไฟสลับให้เป็นกระแสไฟตรง

รูปที่ 7-3 ลักษณะของไดโอด

7-1-2 กราฟคุณสมบัติของไดโอด

กราฟคุณสมบัติของไดโอด เป็นคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงและไบแอสกลับ เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดได้ และจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเท่ากับ 0.6V เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับ จะมีกระแสรั่วไหลผ่านไดโอดได้จำนวนน้อยมาก (น้อยกว่าไมโครแอมป์) (หรือ $\frac{1}{1,000,000}$ A) และถ้าไดโอดได้รับไบแอสกลับที่แรงดันสูงมาก ๆ จะมีกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลทะลุผ่านไดโอด ไดโอดจะพังเสียหาย ที่จุดเบรกดาวน์ (Breakdown point) กราฟคุณลักษณะของไดโอดแสดงในรูปที่ 7-4



รูปที่

7-4 กราฟคุณสมบัติทางกระแสและแรงดัน (VI Curve) ของไดโอด

7-1-3 ดาต้าชีท ของไดโอด (Diode Data Sheet)

ดาต้าชีท จะแสดงข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการเลือกใช้งานไดโอดได้อย่างถูกต้อง ซึ่งควรอ่านและเข้าใจในตัวเลยที่สำคัญ 4 ค่า คือ

1. แรงดันตกคร่อมเมื่อนำกระแส (Forward Voltage Drop)
2. กระแสเฉลี่ยเมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรง (Average forward Current)
3. กระแสไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Current)
4. แรงดันเบรกดาวน์ (Breakdown Voltage)

ตัวอย่างการอ่านค่าไดโอดจากดาต้าชีท แสดงในรูปที่ 7-5



1N4001 - 1N4007

1.0A RECTIFIER

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

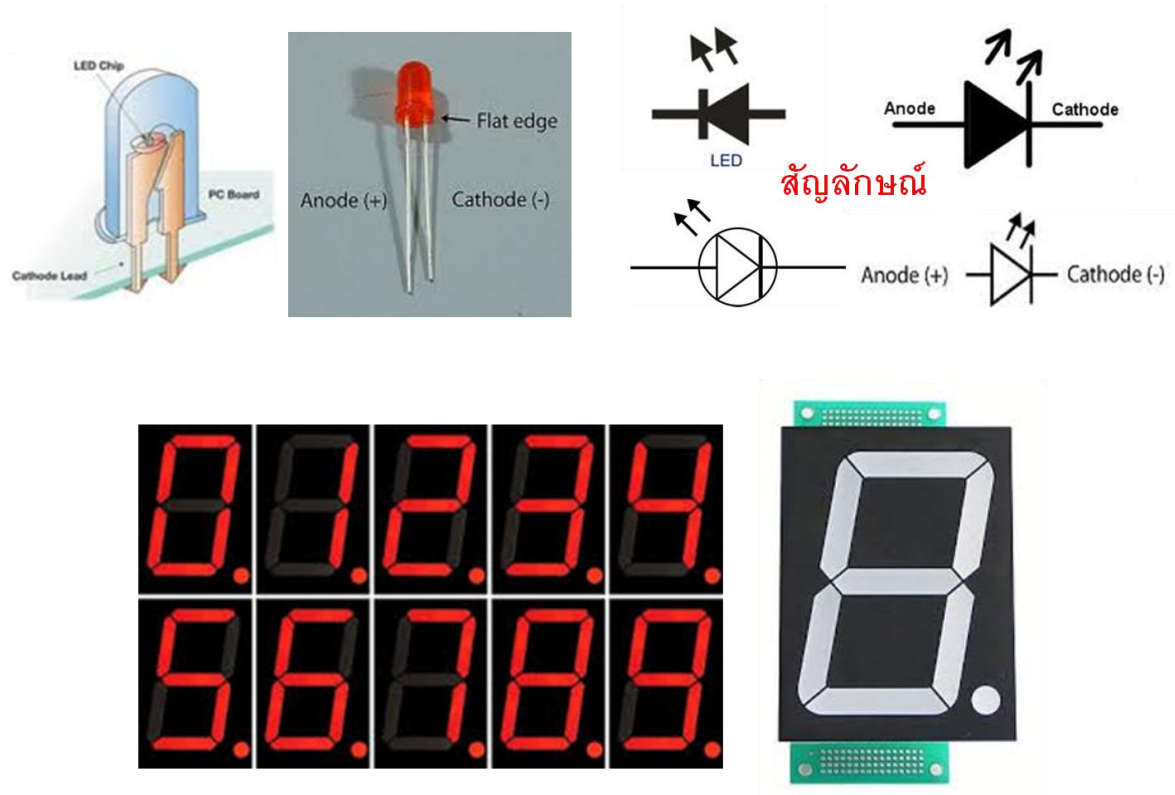
Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}								
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	V_R								
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ $T_A = 25^{\circ}C$	I_O	1.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	30							A
Forward Voltage @ $I_F = 1.0A$	V_{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @ $T_A = 25^{\circ}C$	I_{RM}	5.0							μA
at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = 100^{\circ}C$		50							
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_J	15				8			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	100							K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T_A	+150							$^{\circ}C$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +150							$^{\circ}C$

Notes: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

รูปที่ 7-5 คาต้าชีทของไดโอด เบอร์ 1N4001-1N4007

7-2 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting diode: LED)

ไดโอดบางชนิดเมื่อได้รับไบแอสตรง หรือเมื่อนำกระแส จะเปล่งแสงได้ เราเรียกว่า ไดโอดเปล่งแสง หรือ แอล.อี.ดี. (LED) ลักษณะของแอล.อี.ดี. แสดงในรูปที่ 7-6 ลักษณะของมันจะมีขายาว ๆ และตัวหลอดเป็นพลาสติก จะมีสีชัดเจน เช่น สีแดง สีเขียว สีเหลือง เป็นต้น ในอดีต แอล.อี.ดี. ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นตัวแสดงผลการทำงาน หรือตัวเลขดิจิทัล แต่ในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีการผลิตหลอดแอล.อี.ดี. ก้าวไปไกลมาก เพราะนักวิจัยสามารถพัฒนาให้ หลอดแอล.อี.ดี. ให้แสงสว่างได้สูงมาก แต่กินกำลังไฟฟ้าน้อยมากและให้ความร้อนต่ำกว่าหลอดไฟฟ้าชนิดอื่น จึงนิยมนำมาใช้เป็นหลอดไฟฟ้า ในบ้าน แทนหลอดตะเกียบ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดฮาโลเจน ที่กินไฟฟ้ามากและให้ความร้อนสูง อย่างไรก็ตามหลอดแอล.อี.ดี. ยังคงมีราคาสูงกว่าหลอดชนิดอื่น แต่ก็มีอายุการใช้งานนานกว่า 5-7 เท่า



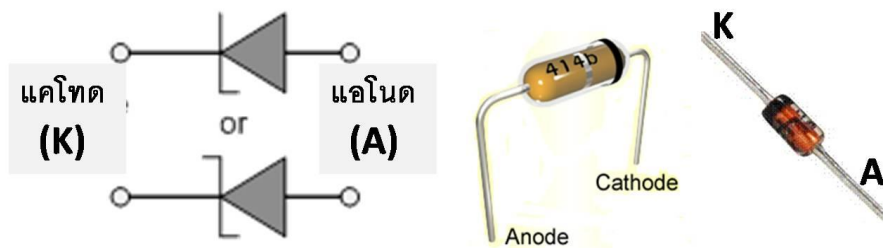
รูปที่ 7-6 ลักษณะของ ไดโอดเปล่งแสง และตัวเลขดิจิทัลแบบ LED



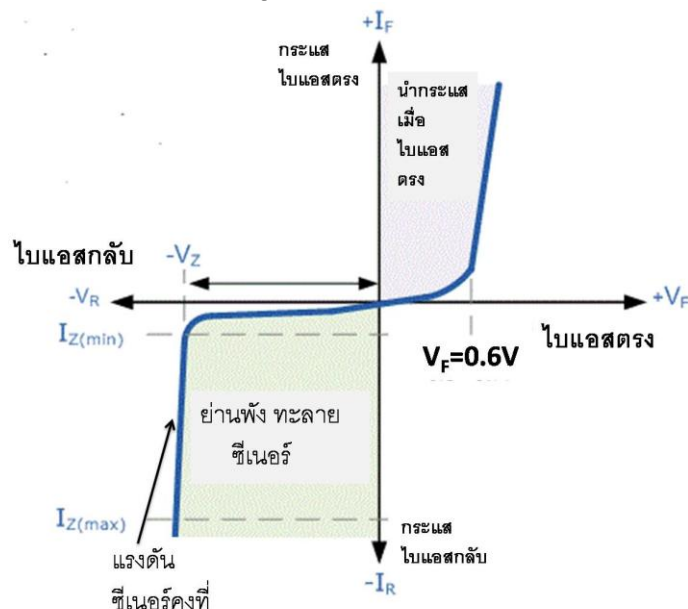
รูปที่ 7-7 ลักษณะของ ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง และหลอด LED

7-3 ซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอด เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สร้างให้มีความทำงานแตกต่างจากไดโอดเรียงกระแสทั่วไป กล่าวคือ เมื่อให้ไบแอสตรงกับซีเนอร์ไดโอดจะมีความทำงานที่เหมือนกับไดโอดทั่วไป คือ นำกระแสได้และมีแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดขณะได้รับไบแอสตรงเท่ากับ 0.6V และเมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับไบแอสกลับถึงค่าแรงดันที่กำหนดไว้ (กำหนดค่าแรงดันขึ้นในกระบวนการสร้างซีเนอร์ไดโอด เช่น $2.2, 5.1, 6, 10, 12\text{ V}$ ฯลฯ) ซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแสได้และจะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันคงที่เท่ากับค่าแรงดันที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิต สัญลักษณ์และกราฟลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอดดังรูป 7-8 (ก) และ (ข)



รูปที่ 7-8 ก) แสดงสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด



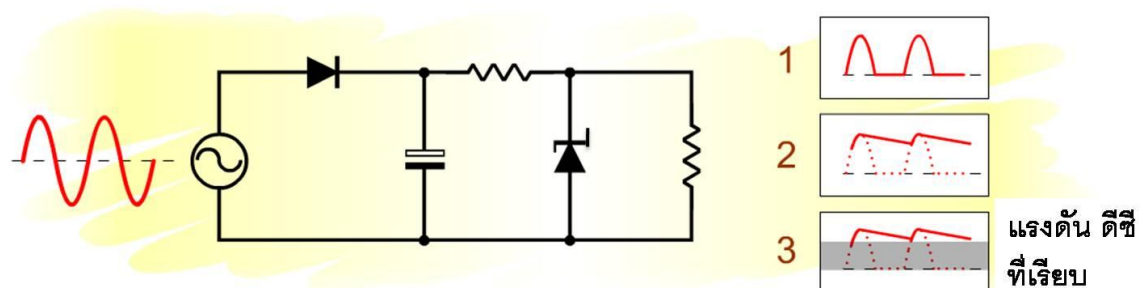
รูปที่ 7-8 ข) กราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

7-3-1 คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด จากกราฟลักษณะสมบัติ รูปที่ 7-8 (ข) ซีเนอร์ไดโอดทำงานในย่านการพังทลายแบบซีเนอร์ เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นกับ

แรงดันไบแอสกลับค่าต่ำ ๆ ซึ่งกำหนดได้จากการโอบสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างเป็นซีเนอร์ไดโอด การพังทลายแบบซีเนอร์นี้จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่ง ซึ่งต้องรักษาไม่ให้เกิดค่าพิกัดสูงสุด และจะทำให้เกิดสภาวะที่แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดมีค่าคงที่เรียกว่า แรงดันซีเนอร์ คุณสมบัติข้อนี้สามารถนำ**ซีเนอร์ไดโอดไปสร้างเป็น วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าแรงดันคงที่ได้** ซีเนอร์ไดโอดที่มีใช้อยู่ในทั่วไป มีขนาดแรงดันซีเนอร์ตั้งแต่ 1.8 V ถึง 200 V

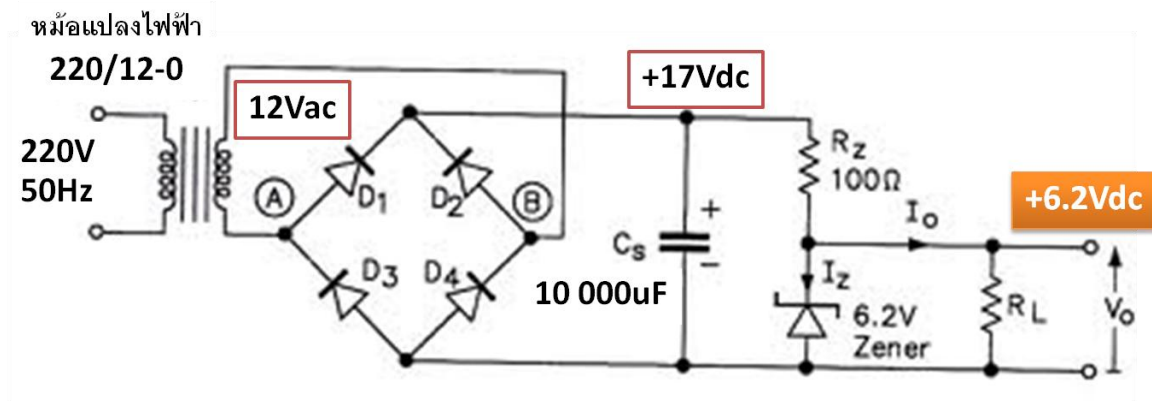
7-3-2 วงจรควบคุมแรงดันด้วยซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอด สามารถคุมค่าแรงดันให้คงที่ได้ เพราะคุณสมบัติของ V_Z ที่มีค่าคงที่ เมื่อได้รับไบแอสกลับนั่นเอง ดังนั้นซีเนอร์ไดโอดจึงนำไปใช้ในการต่อขนานกับเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อควบคุมค่าแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ การต่อซีเนอร์ไดโอดเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงง่าย ๆ ทำได้ดังรูปที่ 7-9



รูปที่ 7-9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย

จากรูป 7-9 (1) คือ เอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ซึ่งเป็นคลื่นไซน์ครึ่งไซเคิลที่ไม่ราบเรียบ จุดที่ (2) คือ รูปคลื่นของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นที่มีตัวกรองแรงดัน (C) ทำให้แรงดันเอาต์พุตเรียบกว่า จุดที่ (1) แต่จุดที่ (3) คือแรงดัน ดีซี เอาต์พุตที่เรียบขึ้นอีก เพราะใช้ซีเนอร์ไดโอดต่อขนานกับโหลด



รูปที่ 7-10 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ซีเนอร์ไดโอด

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดที่ใช้งานจริง ประกอบไปด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงดัน จาก 220V เป็น 12V และแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากจุด A ไปสู่จุด B ได้แรงดันไฟตรงที่ 17V โดยมีตัวเก็บประจุ C_s ทำหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบและมีค่าสูงสุด เอาต์พุตของวงจรได้แรงดันไฟตรงที่ถูกคุมค่าให้เท่ากับ 6.2V ซึ่งเท่ากับค่าของแรงดันซีเนอร์ไดโอด

7-3-3 ตารางค่าของซีเนอร์ไดโอด

การอ่านค่าคุณสมบัติที่สำคัญของซีเนอร์ไดโอดจากตารางค่า นั้น ควรพิจารณาประเด็นสำคัญต่อไปนี้

1. แรงดันซีเนอร์ (V_{ZT}) หรือ V_{Znom}
2. กระแสซีเนอร์สูงสุด (I_{ZM})
3. กำลังไฟสูงสุด (P_{ZM}) ($I_{Zm} \times V_Z$)
4. กระแสซีเนอร์ (I_{ZT})

1N 4728 ... 1N 4764 SILICON PLANAR POWER ZENER DIODES

Type	Zener Voltage range ³⁾		Maximum Zener Impedance ¹⁾			Reverse leakage current		Surge current	Maximum regulator current ²⁾
	V _{znom}	I _{ZT}	r _{zT}	r _{zk} at I _{zk}		I _R at V _R		at T _A = 25 °C	
	V	mA	Ω	Ω	mA	μA	V	I _R mA	I _{ZM} mA
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	150	1	1375	275
1N4729	3.6	69	10	400	1.0	100	1	1260	252
1N4730	3.9	64	9	400	1.0	100	1	1190	234
1N4731	4.3	58	9	400	1.0	50	1	1070	217
1N4732	4.7	53	8	500	1.0	10	1	970	193
1N4733	5.1	49	7	550	1.0	10	1	890	178
1N4734	5.6	45	5	600	1.0	10	2	810	162
1N4735	6.2	41	2	700	1.0	10	3	730	146
1N4736	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4	660	133
1N4737	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5	605	121
1N4738	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6	550	110
1N4739	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7	500	100
1N4740	10	25	7	700	0.25	10	7.6	454	91

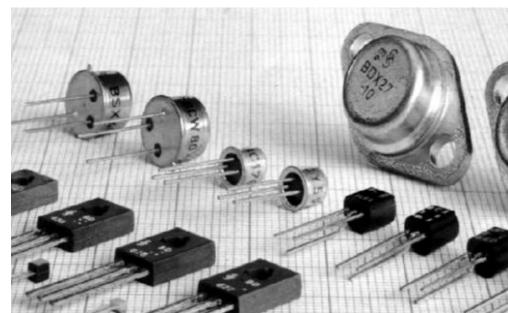
รูปที่ 7-11 คาต้าชีทของ ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4728...1N4740

จากคาต้าชีทของซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N4737 จะอ่านค่าคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้ คือ

- (1) แรงดันซีเนอร์ (V_{Znom}) = 7.5 V
- (2) กระแสซีเนอร์ (V_{ZT}) = 34 mA
- (3) กระแสซีเนอร์สูงสุด (I_{ZM}) = 121 mA
- (4) กำลังไฟสูงสุด (P_{ZM}) = 121 mA x 7.5V = 907.5 mW

7-3 ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ ถูกค้นพบครั้งแรกโดย คณะทำงานของห้องปฏิบัติการของบริษัท เบล เทเลโฟน ในปี พ.ศ. 2490 เป็นทรานซิสเตอร์ ชนิดสองรอยต่อ นับได้ว่าเป็นการเปิดโลกของ วิศวกรรมการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ครั้งสำคัญของโลก ทรานซิสเตอร์ชนิดสอง รอยต่อเรียกว่า BJT (Bipolar junction Transistor) ทรานซิสเตอร์เหล่านี้ถูกนำไปใช้ งานอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรขยายในเครื่องรับวิทยุและเครื่องโทรทัศน์ หรือนำไปใช้ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เช่น เปิด-ปิดรีเลย์เพื่อควบคุมอุปกรณ์



ไฟฟ้าอื่น ๆ เป็นต้น กลุ่มผู้ค้นพบทรานซิสเตอร์ตัวแรกของโลก ประกอบด้วย John Bardeen, Walter Brattain, and William Shockley.

รูปที่ 7-12 ทรานซิสเตอร์ตัวแรกของโลกที่
Bell Laboratory, New Jersey ในปี พ.ศ.
2490

ที่มา: Historical materials are
courtesy of AT&T Bell Laboratory



7-4-1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ หรือ BJT นี้ ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นต่อกัน โดย จำนวน 3 ชั้น ทำให้เกิด รอยต่อขึ้น จำนวน 2 รอยต่อ การสร้างทรานซิสเตอร์จึงสร้างได้ 2 ชนิด คือชนิดที่มี สารชนิดเอ็น 2 ชั้น หรือเรียกว่า ชนิด NPN และชนิดที่มีสารชนิดพี 2 ชั้น หรือเรียกว่า ชนิด PNP โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ดังรูป 4.2 (ก) และชนิด PNP ดัง รูป 4.2 (ข)



รูป 7-13 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ NPN/PNP

วิธีการจำแนกชนิดของทรานซิสเตอร์ ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Link ต่อไปนี้

<http://www.youtube.com/watch?v=Tjh1GIP6R6Q&list=PL9C7184A7DDEEF271>

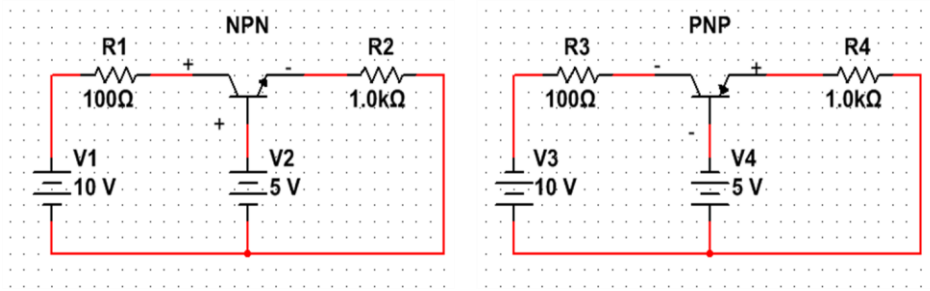


7-4-2 การทำงานของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และชนิด PNP เมื่อนำไปใช้งานไม่ว่าจะใช้ใน วงจรขยายสัญญาณ หรือทำงานเป็นสวิตช์ จะต้องทำการไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ ทำงานได้ โดยใช้หลักการไบแอส ดังนี้

1. ไบแอสตรงให้กับรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส

2. ไบแอสกลับให้กับรอยต่อระหว่างคอลเลกเตอร์กับเบส

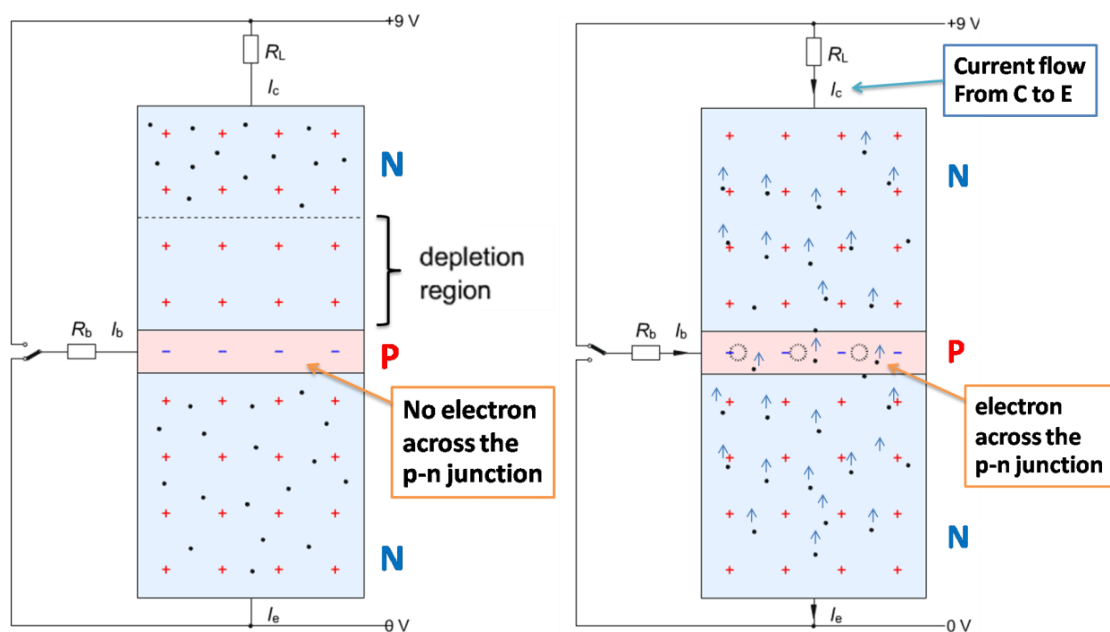


(ก) วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN (ข) วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 7-14 การไบแอสทรานซิสเตอร์

เมื่อพิจารณาไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ดังรูป 7-14(ก) จะเห็นว่าทำการไบแอสตรงให้กับรอยต่ออิมิตเตอร์-เบส โดยให้แรงดันบวกกับเบส (เพราะเบสเป็น P) และให้แรงดันลบกับอิมิตเตอร์ (เพราะอิมิตเตอร์เป็น N) เช่นเดียวกันจะต้องให้ไบแอสกลับกับรอยต่อคอลเลกเตอร์-เบส โดยให้แรงดันบวกกับ คอลเลกเตอร์ (เพราะคอลเลกเตอร์เป็น N) และให้แรงดันลบกับเบส (เพราะเบสเป็น P) คือ การไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ที่ถูกต้องตามเงื่อนไข 2 ข้อที่กำหนดไว้

การไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ก็กระทำเช่นเดียวกันดังรูป 7-14 (ข) จะขอยกตัวอย่างโครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์เพียงชนิดเดียว คือ ชนิด NPN เพื่อให้เห็นปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และ โฮล ระหว่างรอยต่อต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์เมื่อได้รับไบแอส ดังรูป 7-15 (ก), (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 7-15 แสดงการไหลของกระแสไฟฟ้าภายในรอยต่อของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เมื่อได้รับไบแอส

พิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในรูป 4.5 (ข) เมื่อให้ไบแอสตรงกับรอยต่อเบสและอิมิตเตอร์ จะทำให้บริเวณปลดพาหะที่รอยต่อ B-E แคลง และที่รอยต่อระหว่างคอลเล็กเตอร์กับเบสได้ไบแอสกลับ จะทำให้บริเวณปลดพาหะที่รอยต่อ B-C มีความกว้างมากขึ้น จึงเกิดกระแสจำนวนเล็กน้อยไหลข้ามรอยต่อ B-E กระแสนี้เรียกว่ากระแสเบส (I_B) เป็นผลให้มีอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งเคลื่อนที่อยู่ในรอยต่อ B-E ในขณะเดียวกันที่คอลเล็กเตอร์บริเวณรอยต่อ B-C จะมีประจุพาหะบวกอยู่เป็นจำนวนมาก จะพยายามดึงดูดอิเล็กตรอนที่เบสข้ามรอยต่อ B-C ทำให้เกิดกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) ไหลเป็นจำนวนมากและไหลออกจากคอลเล็กเตอร์มารวมกับกระแสเบส (I_E) เป็นไปตามสมการ (7.1)

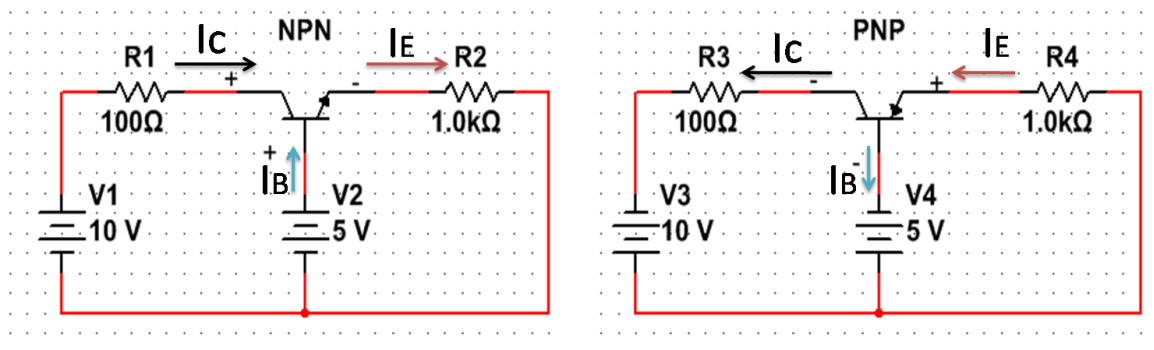
$$I_E = I_C + I_B \quad \text{..... (7.1)}$$

โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์ ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Link ต่อไปนี้

<http://www.youtube.com/watch?v=9CrcRabTQ0s>



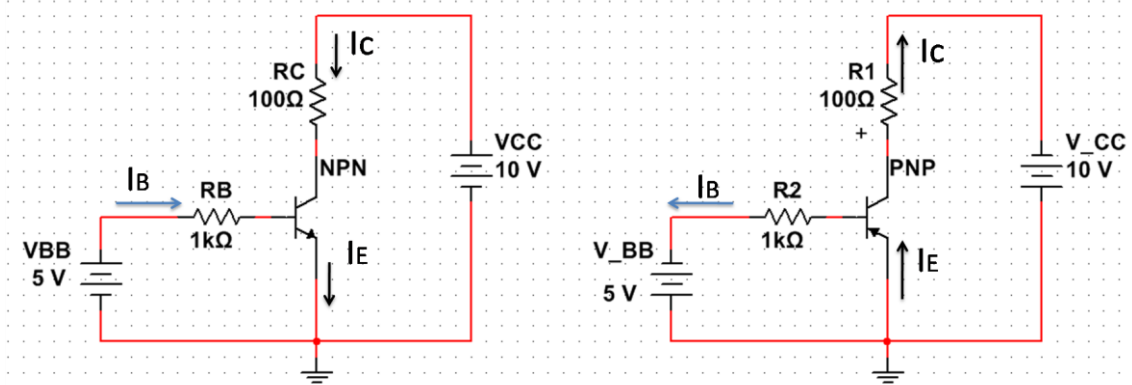
เมื่อนำทิศทางการไหลของกระแสระหว่างรอยต่อต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP (กระแสนิยมจะมีทิศทางตรงข้ามกับกระแสอิเล็กตรอนที่อธิบายในรูป 7-15 (ก) และ (ข) สามารถเขียนได้ดังรูป 7-16



รูปที่ 7-16 แสดงโมเดลของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP และทิศทางของกระแส I_E , I_C , I_B ที่เกิดจากการไบแอสที่ถูกต้อง

7-4-3 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม

วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter Circuit หรือ CE) เป็นการต่อชุดอิมิตเตอร์ลงกับจุดดิน ดังรูป 7-17 (ก) สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และรูป 7-17 (ข) สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP การไบแอสวงจรรอิมิตเตอร์ร่วมก็เช่นเดียวกับวงจรเบสร่วม คือ ไบแอสอินพุตด้วยไบแอสตรงเบสไบแอสเอาต์พุตด้วยไบแอสกลับ โดยแหล่งจ่ายแรงดันอินพุตไบแอส คือ V_{BB} และแหล่งจ่ายแรงดันเอาต์พุตไบแอส คือ V_{CC}

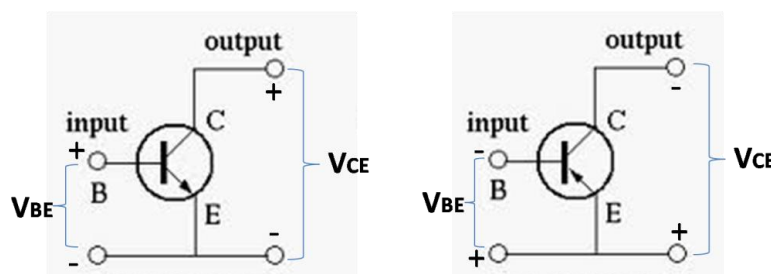


(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 7-17 แสดงวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ในวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

ดังนั้นลักษณะการเกิดชั่วแรงดันตกคร่อมที่ขา B C และ E รวมทั้งทิศทางการไหลของกระแสอินพุต (I_B) และกระแสเอาต์พุต (I_C) ดังรูป 7-18 (ก) สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม และรูป 7-18 (ข) สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม



(ก) NPN

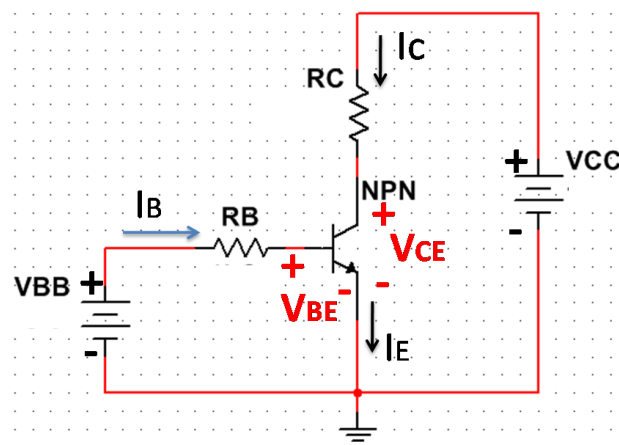
(ข) PNP

รูปที่ 7-18 แสดงชั่วแรงดันอินพุต เอาต์พุต และกระแสอินพุตและเอาต์พุตในวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

ค่าเบตาหรือ β หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) กับกระแสเบส (I_B) หรืออัตราส่วนระหว่างกระแสเอาต์พุต กับอินพุต เรียกว่าอัตราขยายกระแส (Current gain) ดังสมการ 7.2 ทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปจะมีค่า β อยู่ระหว่าง 20-200 หรือมากกว่า จากคู่มือของทรานซิสเตอร์อาจเรียกค่า β ว่า h_{fe}

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad \text{..... (7.2)}$$

การวิเคราะห์วงจรไฟตรง วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์เมื่อวิเคราะห์แบบไฟตรง ดังรูป 7-19 พารามิเตอร์สำคัญที่ต้องพิจารณาคือ กระแส I_B , I_E , I_C และแรงดัน V_{BE} , V_{CB} และ V_{CE}



รูปที่ 7-19 แสดงการไบแอสทรานซิสเตอร์ NPN การกำหนดกระแสและแรงดัน

การกำหนดชื่อแหล่งจ่ายไบแอส นิยมกำหนด V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายไบแอสตรงระหว่างเบสและอิมิตเตอร์ สำหรับ V_{CC} นิยมกำหนดเป็นแหล่งจ่ายไบแอสกลับให้กับรอยต่อคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์ จากรูป 7-19 จะเห็นว่า เมื่อเบสและอิมิตเตอร์ได้รับไบแอสตรงจะเกิดแรงดันตกคร่อมรอยต่อดังนี้

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V} \quad \text{.....(7-3)}$$

แรงดันตกคร่อม R_B คือ

$$V_{RB} = V_{BB} - V_{BE}$$

และ $V_{RB} = I_B R_B$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad I_B R_B &= V_{BB} - V_{BE} \\ \text{หรือ} \quad I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad \text{.....(7-4)} \end{aligned}$$

จากสมการ (7-1) หาค่า I_C ได้จาก

$$I_C = \beta I_B$$

ดังนั้นแรงดันตกคร่อม R_C คือ

$$V_{RC} = I_C R_C$$

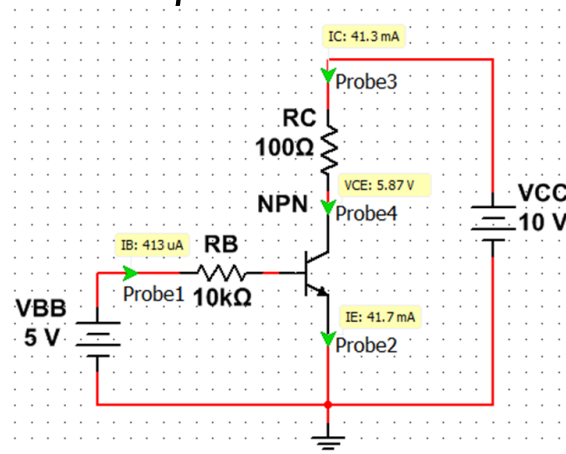
แรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์ คือ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad \text{....(7-5)}$$

แรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส คือ

$$V_{CB} = V_{CC} - V_{BE} \quad \text{....(7-6)}$$

ตัวอย่าง 7-1 จากวงจรในรูปต่อไปนี้จงหาค่าของ I_B , I_C , I_E , V_{CE} และ V_{CB} ถ้าทรานซิสเตอร์ในวงจรมีค่า $\beta = 100$ $\alpha = 0.99$



วิธีทำ

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \\ &= \frac{5V - 0.7V}{10k\Omega} = 430\mu A \\ I_C &= \beta \cdot I_B \\ &= (100)(430\mu A) = 43\text{ mA} \\ I_E &= \frac{I_C}{\alpha} \end{aligned}$$

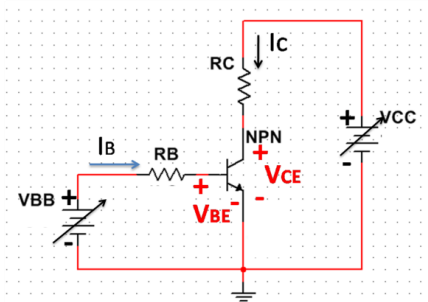
$$\begin{aligned}
 &= \frac{43\text{mA}}{0.99} = 43.43 \text{ mA} \\
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= 10\text{V} - (43\text{mA})(100\Omega) \\
 &= 10\text{V} - 4.3\text{V} = 5.7\text{V} \\
 V_{CB} &= V_{CE} - V_{BE} \\
 &= 5.7\text{V} - 0.7\text{V} = 5\text{V}
 \end{aligned}$$

ตอบ $I_B = 430 \mu\text{A}$, $I_C = \text{mA}$, $I_E = 43.43 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.7\text{V}$, $V_{CB} = 5\text{V}$

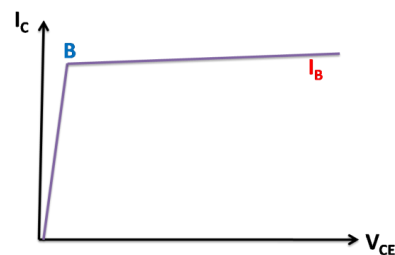
4.3.2 คุณสมบัติทางเอาต์พุตของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

กราฟนี้จะแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่คอลเล็กเตอร์โดยที่มีกระแสเบส เป็นตัวควบคุมตามความสัมพันธ์ของสมการที่สภาวะ **แอ็คทีฟ (Active region) คือ สภาวะขยายสัญญาณ** $I_C = \beta I_B$

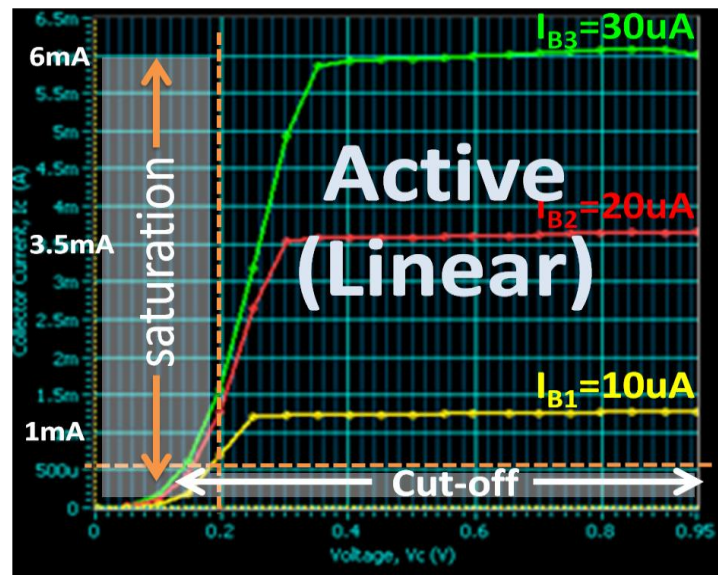
พิจารณาจากวงจรในรูป 7-20 (ก) ให้แหล่งจ่าย V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายปรับค่าได้ไบแอสตรงให้กับรอยต่อ B และ E การปรับค่าของกระแส I_B ถ้าปรับค่าของกระแส I_B ให้มีค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่ง $I_B > 0$ และค่อย ๆ ปรับค่าแรงดัน V_{CC} เพิ่มมากขึ้นจาก 0 V จะปรากฏว่า I_C ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด B ในรูป 7-20 (ข) และ(ค) ค่า กระแสไฟฟ้าคงที่และเป็นไปตามสมการ $I_C = \beta I_B$



(ก) วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



(ข) กราฟแสดง I_C เมื่อ I_B มีค่าคงที่

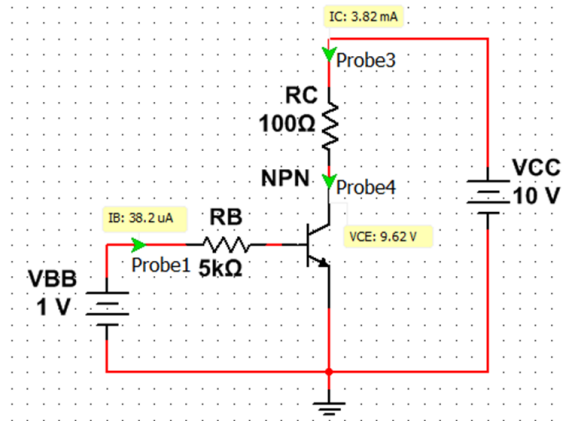


(ค) กราฟแสดงคุณลักษณะทางเอาต์พุตของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

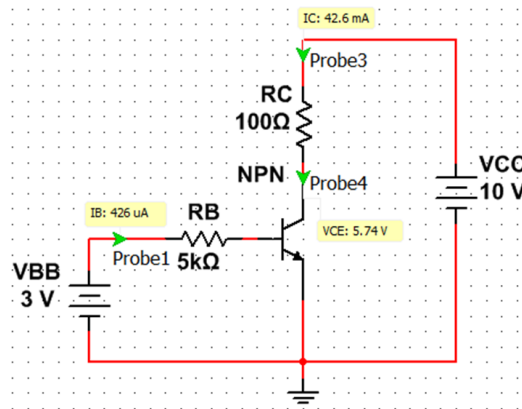
รูปที่ 7-20 แสดงการหากราฟคุณลักษณะทางเอาต์พุตของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

ย่านคัตออฟ (Cut-off region) คือย่านที่ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน (Open Circuit) หรือคัตออฟเพราะไม่มีกระแสเบส หรือให้ $I_B = 0$ นั่นคือจะไม่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหล ไปสู่อิมิตเตอร์ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าจะเกิดกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์ไปสู่อิมิตเตอร์เรียกว่า I_{CEO} ซึ่งมีค่าน้อยมาก (ปกติจะมีปริมาณเป็น μA เท่านั้น) พิจารณาจากรูป 7-20(ค)

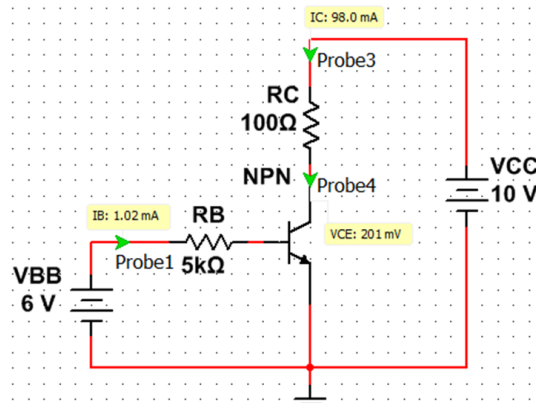
ย่านอิ่มตัว (Saturation Region) หมายถึง สภาวะที่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่านอิมิตเตอร์ จนทำให้แรงดันตกคร่อมรอยต่อระหว่าง C กับ E มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งน้อยมาก เรียกว่าแรงดันอิ่มตัว $V_{CE(sat)}$ **ในกรณีซิลิคอนทรานซิสเตอร์ ค่าแรงดันจุดอิ่มตัวระหว่างรอยต่อ C กับ E คือ $V_{CE(sat)} \leq 0.2V$** พิจารณาจากรูปที่ 7-21 (ก),(ข) และ (ค) เมื่อเพิ่มกระแสเบสทางอินพุต กระแสคอลเลกเตอร์จะเพิ่มขึ้น แต่แรงดัน V_{CE} จะลดลง จะกระทั่งกระแสเบส (I_B) เพิ่มขึ้นจุดหนึ่ง แรงดัน V_{CE} จะมีค่าคงที่ ที่จุดอิ่มตัว และค่ากระแส I_C จะมีค่าคงที่ที่ค่าจำกัดตามค่าความต้านทานที่ต่ออยู่กับคอลเลกเตอร์ เมื่อนำมาเขียนเส้นแสดงลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์ จะได้ดังรูป 4-13(ง) บริเวณที่แรเงา คือ บริเวณจุดอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.2V (กรณีซิลิคอนทรานซิสเตอร์) หรือต่ำกว่า



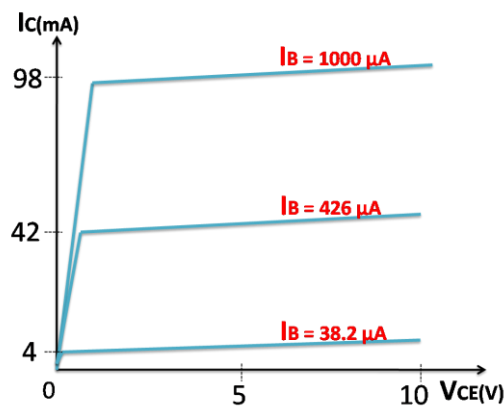
(ก) กระแสเบส $38.2 \mu\text{A}$ ต่ำมาก **ทรานซิสเตอร์ทำงานย่านคัตออฟ** $V_{CE} \approx V_{CC} = 9.62\text{V}$



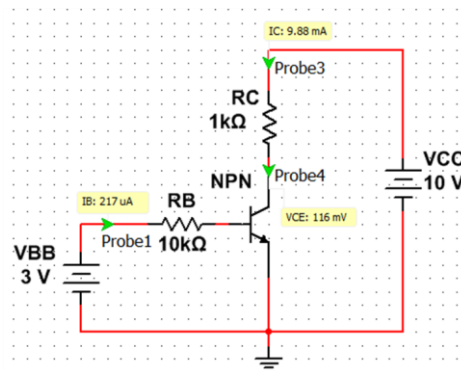
(ข) กระแสเบสเพิ่มขึ้นเท่ากับ $426 \mu\text{A}$ ทรานซิสเตอร์เริ่มทำงาน กระแสคอลเลกเตอร์เพิ่มขึ้น 42.6mA แรงดัน V_{CE} ลดลง, $V_{CE} = 5.74\text{V}$ **ทรานซิสเตอร์ทำงานย่านแอคทีฟ**



(ค) **ทรานซิสเตอร์ทำงานที่จุดอิ่มตัว** V_{CE} จะคงที่ที่ 0.2V เมื่อปรับ $V_{BB} = 6\text{V}$
จะทำให้ $I_B = 1.02 \text{ mA}$, $I_C = 98\text{mA}$



(ง) กราฟคุณลักษณะทางกระแสไฟฟ้าของวงจรอิมิตเตอร์ร่วมที่สภาวะต่าง ๆ
รูปที่ 7-21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแส I_C , I_B และแรงดัน V_{CE} ของ
ทรานซิสเตอร์ในสภาวะต่างๆ และเส้นแสดงลักษณะสมบัติของคอลเลกเตอร์
ตัวอย่าง 4-2 จากวงจรทรานซิสเตอร์ในรูปต่อไปนี้จะคำนวณหาค่า $I_{C(sat)}$ และ I_B เมื่อ
กำหนดให้ $V_{CE(sat)}$ เท่ากับ $0.2V$



วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 I_{C(sat)} &= \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} \\
 &= \frac{10V - 0.2V}{1K\Omega} \\
 &= \frac{9.8V}{1K\Omega} = 9.8mA \\
 I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \\
 &= \frac{3V - 0.7V}{10K\Omega} \\
 &= \frac{2.3V}{10K\Omega} = 0.23mA
 \end{aligned}$$

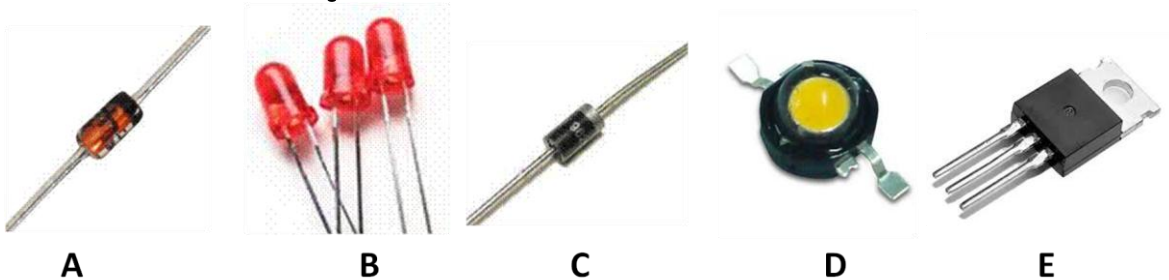
ตอบ ค่า $I_{C(sat)} = 9.8mA$ และ $I_B = 0.23mA$

แบบฝึกหัดบทที่ 7 เรื่อง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

- ข้อใดกล่าวถึงไดโอดไม่ถูกต้อง
 - มีแรงดันตกคร่อมรอยต่อ 6.0V
 - มีขั้ว 2 ขั้ว คือ บวก / ลบ
 - มีขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด / แคโทด
 - มีราคาถูก
- การไบแอสตรง ให้กับไดโอด หมายถึงข้อใด
 - ให้แรงดัน + กับขั้ว A และแรงดัน - กับขั้ว K
 - ให้แรงดัน - กับขั้ว A และแรงดัน + กับขั้ว K
 - ให้แรงดัน + กับขั้ว K และแรงดัน - กับขั้ว A
 - ให้แรงดัน + กับขั้ว P และแรงดัน - กับขั้ว N

รูปต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 3-6



- ข้อใดคือไดโอดเปล่งแสง
 - A
 - B
 - C
 - E
- ข้อใดคือซีเนอร์ไดโอด
 - A
 - B
 - C
 - E
- ข้อใดคือทรานซิสเตอร์
 - A
 - B
 - C
 - E
- ข้อใดคือไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง
 - A
 - C
 - D
 - E

รูปต่อไปนี้จะตอบคำถามข้อ 7-8

1N 4728 ... 1N 4764

SILICON PLANAR POWER ZENER DIODES

Type	Zener Voltage range ³⁾		Maximum Zener Impedance ¹⁾			Reverse leakage current		Surge current	Maximum regulator current ²⁾
	V _{znom}	I _{zt}	r _{zt}	r _{zk} at I _{zk}		I _R at V _R		at T _A = 25 °C	
	V	mA	Ω	Ω	mA	μA	V	I _R mA	I _{zm} mA
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	150	1	1375	275
1N4729	3.6	69	10	400	1.0	100	1	1260	252
1N4730	3.9	64	9	400	1.0	100	1	1190	234
1N4731	4.3	58	9	400	1.0	50	1	1070	217
1N4732	4.7	53	8	500	1.0	10	1	970	193
1N4733	5.1	49	7	550	1.0	10	1	890	178
1N4734	5.6	45	5	600	1.0	10	2	810	162
1N4735	6.2	41	2	700	1.0	10	3	730	146

7. ซีเนอร์ไดโอด 5.1V คือข้อใด

ก. 1N4733 ข. 1N4728 ค. 1N4730 ง. 1N4736

8. ซีเนอร์ไดโอด 1N4733 มีค่ากระแสซีเนอร์เท่ากับข้อใด

ก. 149mA ข. 49mA ค. 53mA ง. 178mA

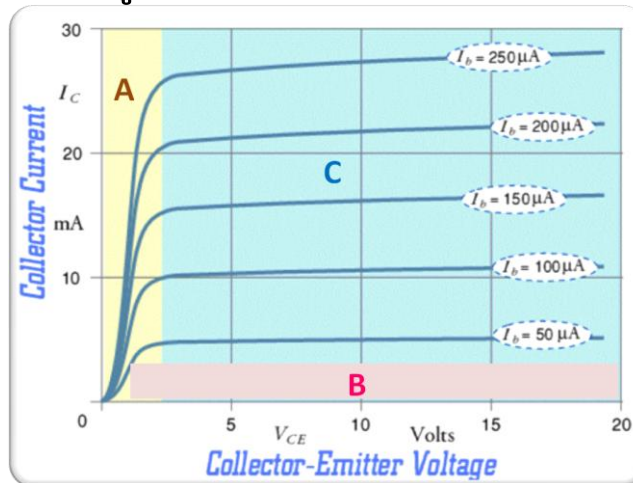
9. เมื่อ I_B = 100μA ค่ากระแส I_C จะเท่ากับข้อใด

ก. 19mA ข. 17mA ค. 15mA ง. 10mA

10. ค่า β ของทรานซิสเตอร์เท่ากับข้อใด

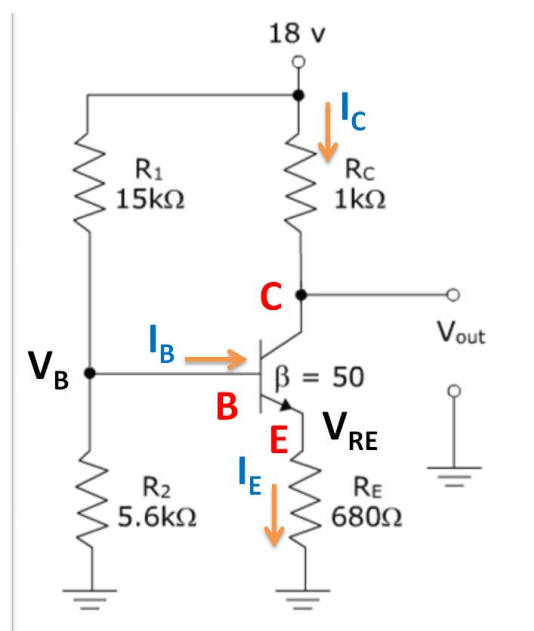
ก. 200 ข. 250 ค. 100 ง. 150

รูปต่อไปนี้จะใช้ตอบคำถามข้อ 9-12



11. เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านอิ่มตัว ตรงกับข้อใด
ก. ย่าน A ข. ย่าน B ค. ย่าน C
12. เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านแอ็กทีฟ ตรงกับข้อใด
ก. ย่าน A ข. ย่าน B ค. ย่าน C
13. เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านอิ่มตัว แรงดัน $V_{CE} = ?$
ก. มากกว่า 0.2V ข. น้อยกว่า 0.2V
ค. มากกว่า 0.7V ง. เท่ากับ 0.6V

รูปต่อไปนี้จะใช้ตอบคำถามข้อ 14-18



14. ค่าแรงดัน $V_B = ?$

ก. 5.89V

ข. 6.17V

ค. 0.7V

ง. 4.89V

15. ค่าแรงดัน $V_{RE} = ?$

ก. 7.64V

ข. 6.17V

ค. 4.19V

ง. 4.89V

16. ค่ากระแส $I_C = ?$

ก. 6.17mA

ข. 4.67mA

ค. 4.19mA

ง. 12.45mA

17. ค่ากระแส $I_B = ?$

ก. 67 μ A

ข. 123 μ A

ค. 412 μ A

ง. 145 μ A

18. ค่าแรงดัน $V_{CE} = ?$

ก. 7.64V

ข. 6.17V

ค. 4.19V

ง. 4.89V