

## บทที่ 3

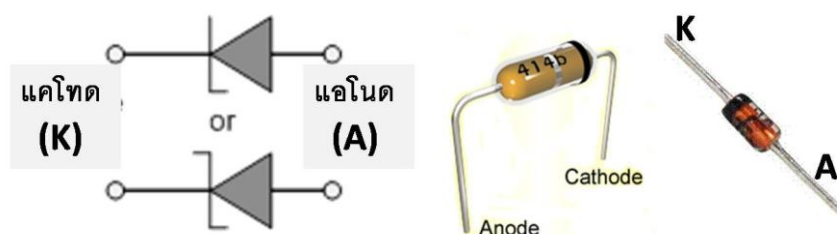
### ซีเนอร์ไดโอด

#### วัตถุประสงค์

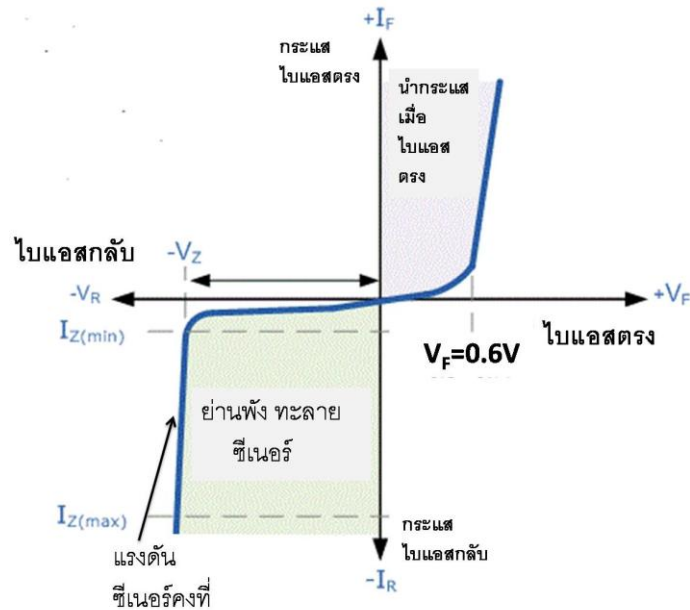
1. บอกลักษณะ และคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดได้
2. อธิบายกราฟคุณลักษณะทางกระแส และแรงดันของซีเนอร์ไดโอดได้
3. อ่านข้อมูลพื้นฐานจาก คาต้าชีท ของซีเนอร์ไดโอดได้
4. บอกการนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้งานได้

#### 3.1 ซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอด เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สร้างให้มีการทำงานแตกต่างจากไดโอดเรียงกระแสทั่วไป กล่าวคือ เมื่อให้ไบแอสตรงกับซีเนอร์ไดโอดจะมีความทำงานที่เหมือนกับไดโอดทั่วไป คือ นำกระแสได้และมีแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดขณะๆ ได้รับไบแอสตรงเท่ากับ 0.6V และเมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับไบแอสกลับถึงค่าแรงดันที่กำหนดไว้ (กำหนดค่าแรงดันขึ้นในกระบวนการสร้างซีเนอร์ไดโอด เช่น 2.2V 5.1 V 6 V 10 V 12 V ฯลฯ) ซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแสได้และจะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันคงที่ เท่ากับค่าแรงดันที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิต สัญลักษณ์และกราฟลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอดดังรูป 3-1 (ก) และ (ข)



รูปที่ 3-1(ก) แสดงสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด



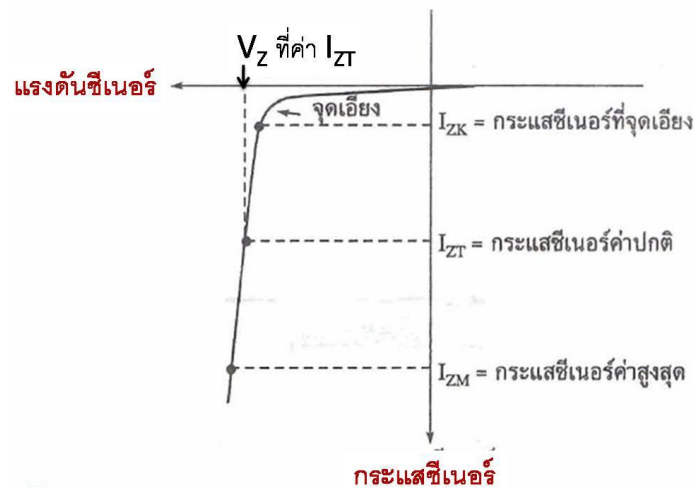
รูปที่ 3-1 (ข) กราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและ แรงดันของซีเนอร์ไดโอด

### 3-2 คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

การพังทลายของซีเนอร์ (Zener Breakdown) การพังทลายของไดโอดแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ การพังทลายแบบอะวาแลนซ์ หมายความว่า เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับที่แรงดันสูงมากๆจะทำให้มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านไดโอดจำนวนมาก ทำให้รอยต่อของไดโอดทะลุและใช้งานไม่ได้ อีก การพังทลายอีกแบบหนึ่ง คือ การพังทลายแบบซีเนอร์ เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นกับแรงดันไบแอสกลับค่าต่ำ ๆ ซึ่งกำหนดได้จากการโดปสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างเป็นซีเนอร์ไดโอด การพังทลายแบบซีเนอร์นี้จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่ง ซึ่งต้องรักษาไม่ให้เกิดค่าพิกัดสูงสุด และจะทำให้เกิดสถานะที่แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดมีค่าคงที่เรียกว่า แรงดันซีเนอร์ คุณสมบัติข้อนี้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปสร้างเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าแรงดันคงที่ได้ ซีเนอร์ไดโอดที่มีชื่ออยู่ในทั่วไป มีขนาดแรงดันซีเนอร์ตั้งแต่ 1.8 V ถึง 200 V

คุณสมบัติของการพังทลาย (Breakdown Characteristics) เมื่อพิจารณาจากกราฟลักษณะสมบัติโดยเฉพาะการพังทลายของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบแอสกลับ ดังรูป 3-1 (ข) เมื่อเพิ่มแรงดันไบแอสกลับจนถึงค่าแรงดันซีเนอร์ ( $V_Z$ ) จะเกิดกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมากขึ้น ที่จุดเอียงของกราฟ จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดเท่ากับ  $I_{ZK}$  และถ้าซีเนอร์

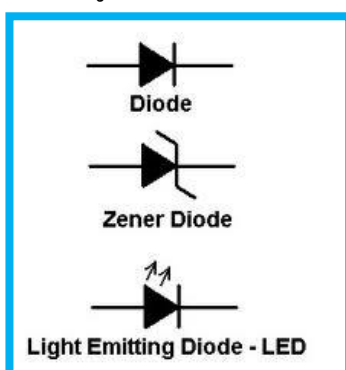
ไดโอดได้รับแรงดันสูงขึ้นอีกกระแสจะเพิ่มขึ้น แต่แรงดันซีเนอร์จะคงที่ แต่ถ้าเพิ่มกระแสเกินกว่าค่ากระแสซีเนอร์สูงสุด ( $I_{ZM}$ ) แรงดันซีเนอร์ จะไม่คงที่



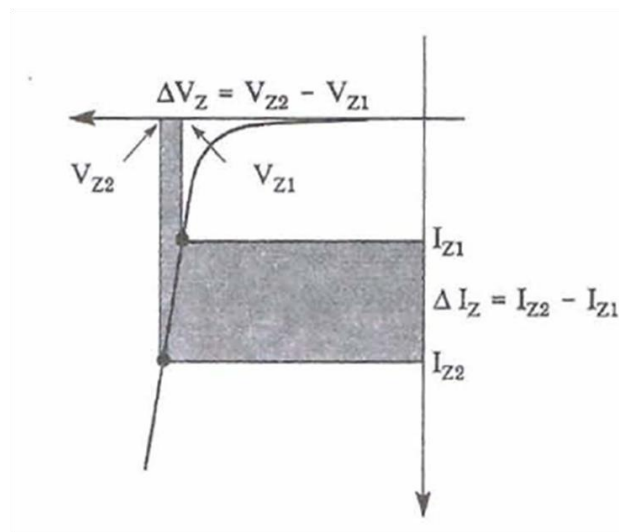
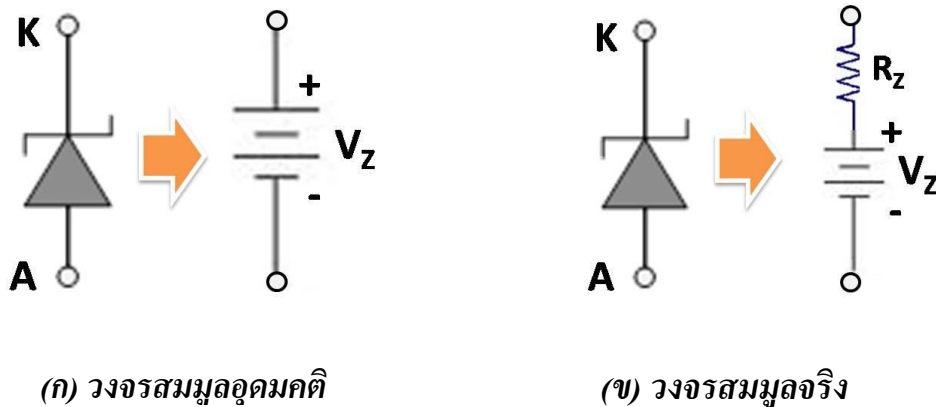
รูป 3-2 กราฟคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบแอสกลับ

ดังนั้นการนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้ในการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ โดยใช้ค่าแรงดัน ซีเนอร์นั้น จึงต้องออกแบบวงจรควบคุมให้มีกระแสผ่านซีเนอร์ไดโอดช่วงระหว่างค่ากระแส  $I_{ZK}$  ถึงค่า  $I_{ZM}$  สำหรับกระแส  $I_{ZT}$  หมายถึง ค่ากระแสทดสอบค่าแรงดันซีเนอร์ ซึ่งเป็นค่ากระแสที่พิกัดของแรงดันซีเนอร์ตามค่าที่ผู้ผลิตกำหนด

วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด เนื่องจากซีเนอร์ไดโอดมีคุณสมบัติจ่ายแรงดันคงที่เมื่อได้รับไบแอสกลับ ดังนั้นในทางอุดมคติ ซีเนอร์ไดโอดจึงมีวงจรเทียบเท่า หรือวงจรสมมูลเป็นแบตเตอรี่ ที่มีขนาดแรงดันไฟตรงเท่ากับ  $V_Z$  โดยมีขั้วบวกของ  $V_Z$  อยู่ที่ขั้วแคโทด และขั้วลบของ  $V_Z$  อยู่ที่แอโนด ดังรูป 3-3 (ก) แต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าความต้านทานภายในรอยต่อของซีเนอร์ไดโอดอยู่ด้วย ( $R_Z$ ) ดังนั้นวงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอดในทางปฏิบัติจึงเป็นดังรูป 3-3 (ข) ซึ่งค่าความต้านทานของซีเนอร์ไดโอด ( $R_Z$ ) นี้มีค่าเท่ากับสมการ



$$R_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$



(ค) การหาค่าความต้านทานซีเนอร์

รูป 3-3 วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอดและการหาค่าความต้านทานภายในของซีเนอร์ไดโอด

ตัวอย่าง 3-1 จากรูปที่ 3-3 (ค) ถ้าค่าแรงดัน  $\Delta V_Z = 60 \text{ mV}$  และค่ากระแส  $\Delta I_Z = 3 \text{ mA}$

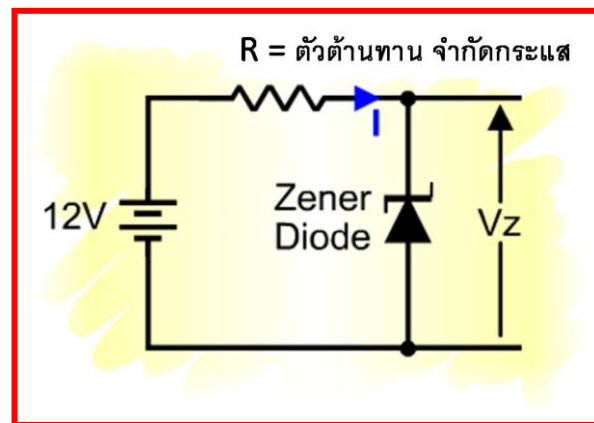
จงคำนวณหาค่าความต้านทานของซีเนอร์ไดโอด ( $R_Z$ )

วิธีทำ จากสมการ

$$R_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \frac{60 \text{ mV}}{3 \text{ mA}} = 20 \Omega$$

ตอบ ความต้านทานของซีเนอร์ไดโอด ( $R_Z$ ) คือ  $20 \Omega$

**ตัวอย่าง 3-2** จงคำนวณค่าของตัวต้านทาน (R) ที่ต่ออนุกรมกับซีเนอร์ไดโอด 6.2 V พิกัดกำลังไฟฟ้า 500 mW และต่อกับแบตเตอรี่ 12 V



วิธีทำ (1) กระแสซีเนอร์สูงสุด ( $I_{ZM}$ ) คือ

$$I_{ZM} = \frac{P}{E} = \frac{500mW}{6.2V}$$

$$\therefore I_{ZM} = 80.6 \text{ mA}$$

(2) แรงดันตกคร่อม R คือ

$$V_R = 12 \text{ V} - 6.2 \text{ V} = 5.8 \text{ V}$$

(3) เพื่อให้กระแสถูกจำกัดที่ 80.6 mA ดังนั้น ค่า R สูงสุดที่ควรจะเป็น คือ

$$R = \frac{E}{I} = \frac{5.8V}{80.0mA}$$

$$\therefore R = 72.0 \Omega$$



### 3-3 ค่าตัวชี้ของซีเนอร์ไดโอด

การอ่านค่าคุณสมบัติที่สำคัญของซีเนอร์ไดโอดจากค่าตัวชี้ 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 <sup>(3)</sup>		Maximum Zener Impedance <sup>(1)</sup>			Reverse leakage current		Surge current	Maximum regulator current <sup>(2)</sup>
	V <sub>Znom</sub>	I <sub>ZT</sub>	r <sub>ZT</sub>	r <sub>ZK</sub> at I <sub>ZK</sub>		I <sub>R</sub> at V <sub>R</sub>		at T <sub>A</sub> = 25 °C I <sub>R</sub> mA	I <sub>ZM</sub> mA
				Ω	Ω	mA	μA		
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

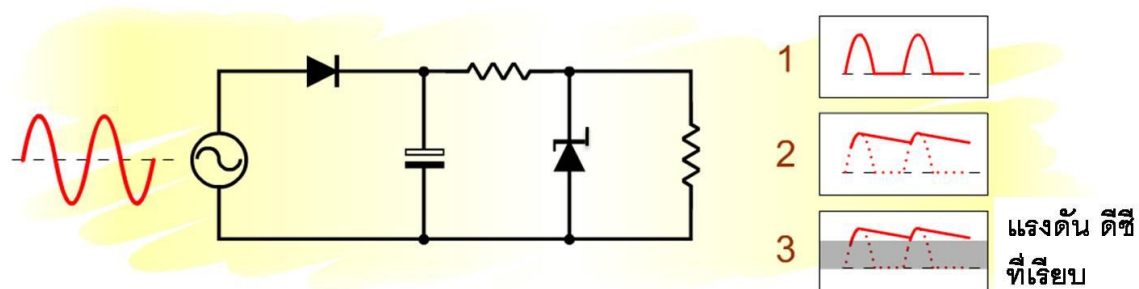
รูป 3-4 ค่าตัวชี้ของ ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4728...1N4740

จากค่าตัวชี้ของซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N4737 จะอ่านค่าคุณสมบัติที่สำคัญได้ ดังนี้ คือ

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

### 3-4 การนำไปใช้งาน

ซีเนอร์ไดโอด สามารถคุมค่าแรงดันให้คงที่ได้ เพราะคุณสมบัติของ  $V_Z$  ที่มีค่าคงที่ เมื่อได้รับไบแอสกลับนั่นเอง ดังนั้นซีเนอร์ไดโอดจึงนำไปใช้ในการต่อขนานกับเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อควบคุมค่าแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ การต่อซีเนอร์ไดโอดเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงง่าย ๆ ทำได้ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย

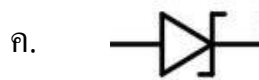
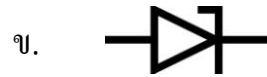
จากรูป 3-5 (1) คือ เอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ซึ่งเป็นคลื่นไซน์ครึ่งไซ้ที่เกิดที่ไม่ราบเรียบ จุดที่ (2) คือ รูปคลื่นของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ที่มีตัวกรองแรงดัน (C) ทำให้แรงดันเอาต์พุตเรียบกว่า จุดที่ (1) แต่จุดที่ (3) คือ แรงดัน คีซี เอาต์พุตที่เรียบขึ้นอีก เพราะใช้ซีเนอร์ไดโอดต่อขนานกับโหลด



## แบบฝึกหัด เรื่อง ซีเนอร์ไดโอด

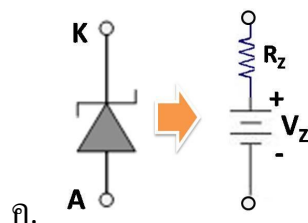
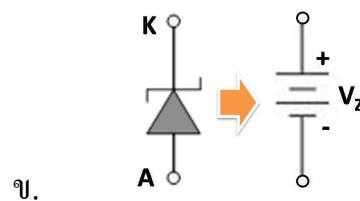
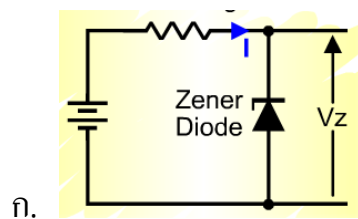
จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว

1. สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอดคือข้อใด



ง. ถูกทุกข้อ

2. วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอดคือข้อใด



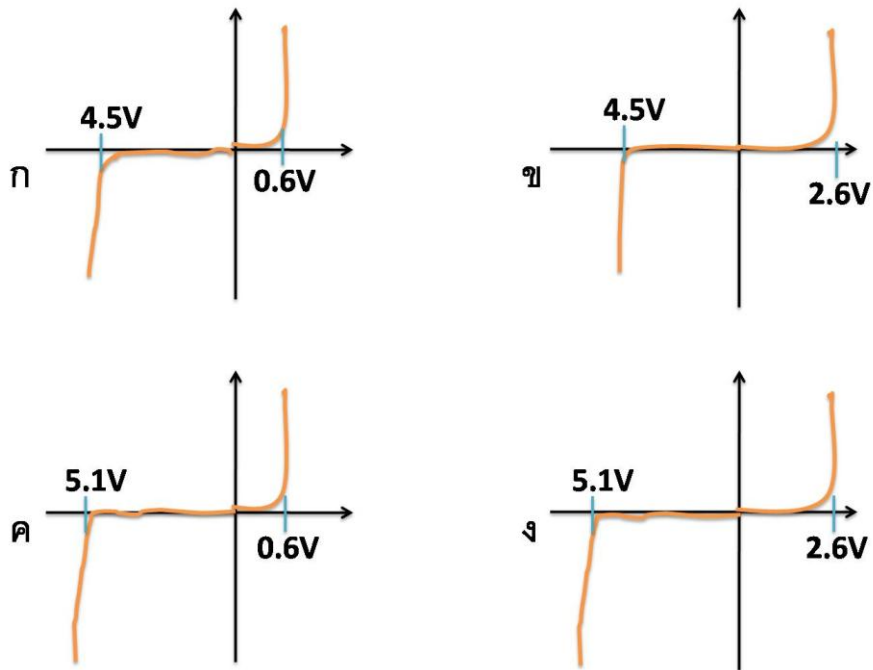
ง. ข้อ ข และ ค ถูกต้อง

3. ซีเนอร์ไดโอดมีแรงดันซีเนอร์ในช่วงการทำงานในข้อใด

- ก. นำกระแสเมื่อได้รับไบแอสตรง
- ข. ไม่นำกระแส เมื่อได้รับไบแอสตรง
- ค. นำกระแสในย่านพังทะลายซีเนอร์
- ง. ไม่นำกระแสในย่านไบแอสกลับ



4. ข้อใดคือกราฟคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด ขนาด 5.1V



5. “เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับที่แรงดันสูงมาก จนกระทั่งมีกระแสไหลย้อนกลับได้ และรอยต่อของไดโอดทะลุ” ข้อความนี้กล่าวถึงข้อใด

- ก. การพังทลายแบบซีเนอร์
- ข. การพังทะลายแบบไบอัสกลับ
- ค. การพังทะลายแบบอะวาลานซ์
- ง. การพังทลายแบบวาลานซ์

6. กระแสซีเนอร์ไดโอดในข้อใดที่มีค่าต่ำที่สุด

- ก.  $I_{ZT}$
- ข.  $I_{ZM}$
- ค.  $I_{ZN}$
- ง.  $I_{ZK}$



9. จากค่าตัวชี้ของซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4728 ค่า  $V_{ZT}$  มีค่าเท่าใด

- ก. 4.3V      ข. 3.9V      ค. 3.6V      ง. 3.3V

10. จากค่าตัวชี้ของซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4730 ค่า  $I_{ZM}$  มีค่าเท่าใด

- ก. 1190mA      ข. 234 mA      ค. 217mA      ง. 135mA

11. จากค่าตัวชี้ของซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4740 ค่า  $I_{ZT}$  มีค่าเท่าใด

- ก. 25mA      ข. 28 mA      ค. 21mA      ง. 34mA

12. จากวงจรต่อไปนี้ รูปคลื่น  $V_o$  คือข้อใด

