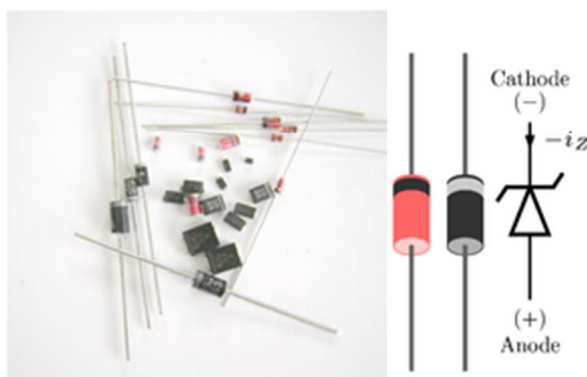


THE ZENER DIODE

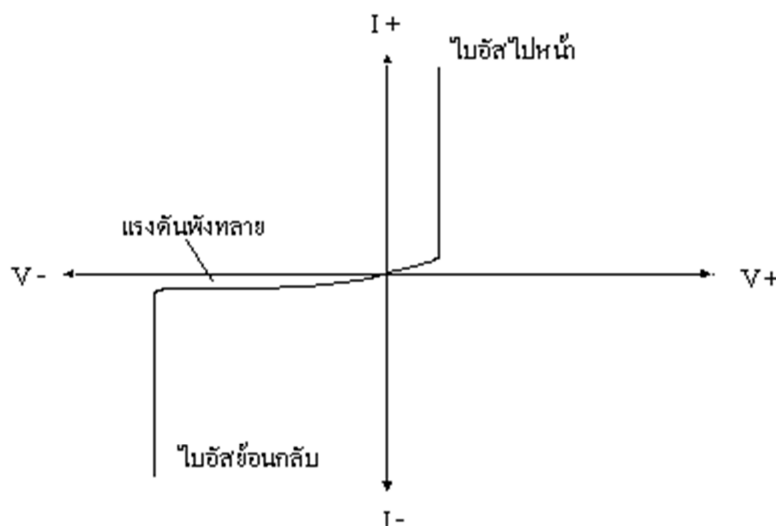
ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเหมือนไดโอด คือประกอบขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำ 2 ตอน ชนิด P และ N ขาแอโนด (A) และขาแคโทด (K) เช่นเดียวกับไดโอด ความแตกต่างของซีเนอร์ไดโอดที่แตกต่างไปจากไดโอดธรรมดาตรงขบวนการผลิตซีเนอร์ไดโอด การเติมสารเจือปนลงไป ในธาตุซิลิกอนมีจำนวนน้อยและจำนวนมากกว่าปรกติ พร้อมกับขบวนการผลิตเฉพาะ จึงได้ซีเนอร์ไดโอดขึ้นมาใช้งาน

ซีเนอร์ไดโอดจะนำไปใช้งานในช่วงไบอัสกลับที่ค่าเบรคดาวน์ ที่เรียกว่า ซีเนอร์ เบรคดาวน์ (Zener Breakdown) ซึ่งมักจะเรียกว่าแรงดันซีเนอร์เบรคดาวน์ (Zener Breakdown Voltage) เป็นค่าแรงดันที่ตัวซีเนอร์ไดโอดทำการควบคุมให้คงที่ตลอดเวลา



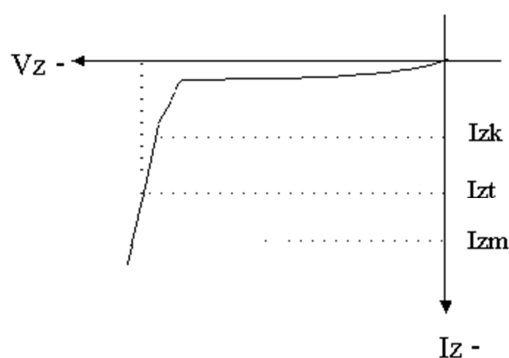
โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด



กราฟลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด

การพังทลายของซีเนอร์ การพังทลายของซีเนอร์ไดโอดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การพังทลายแบบอะวาเลนซ์ (Avalanche) คือเมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับแรงดันสูงสุดจนทำให้มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านไดโอดจำนวนมากทำให้รอยต่อของไดโอดทะลุและใช้งานไม่ได้ การพังทลายอีกแบบหนึ่งคือ การพังทลายแบบซีเนอร์ เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นกับแรงดันไบอัสกลับค่าต่ำๆ ซึ่งกำหนดได้จากการได้ปัสสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตซีเนอร์ไดโอด การพังทลายแบบซีเนอร์นี้จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่ง ซึ่งต้องจำกัดไม่ให้เกินค่าพิกัดสูงสุดและจะเกิดสถานะที่แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดมีค่าคงที่เรียกว่าแรงดันซีเนอร์ คุณสมบัติข้อนี้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงให้คงที่ได้

คุณลักษณะของการพังทลาย จากกราฟคุณสมบัติทางไฟฟ้าขอแรงดันและกระแสดังรูป V_Z เป็นแรงดันเบรกดาวน์หรือแรงดันซีเนอร์ ในการพังทลายของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบอัสกลับ เมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันซีเนอร์จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมากขึ้น ที่จุดเอียงของกราฟจะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดเท่ากับ I_Z (knee current) ซึ่งเป็นกระแสบริเวณเส้นโค้งดังรูปด้านบน และถ้าซีเนอร์ไดโอดได้รับแรงดันย้อนกลับสูงขึ้นอีก กระแสจะเพิ่มขึ้นแต่แรงดันซีเนอร์จะคงที่ แต่ถ้าเพิ่มกระแสเกินกว่าค่ากระแสซีเนอร์สูงสุด I_{Zm} (maximum current) แรงดันซีเนอร์จะไม่คงที่และชำรุดได้

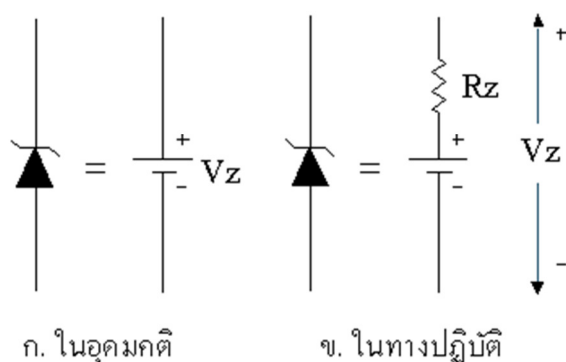


กราฟแสดงลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบอัสกลับ

ดังนั้นการนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้งานในการควบคุมให้แรงดันไฟตรงคงที่นั้น จึงต้องออกแบบวงจรควบคุมให้มีความเหมาะสมให้กระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดอยู่ระหว่างค่ากระแสบริเวณเส้นโค้ง I_{ZK} ถึงค่ากระแสสูงสุด I_{ZM} สำหรับกระแส I_z หมายถึง ค่ากระแสทดสอบที่แรงดันซีเนอร์ซึ่งเป็นค่ากระแสตามค่าที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ในตารางคุณสมบัติของซีเนอร์ที่ใช้งานทั่วไป

วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด เนื่องจากซีเนอร์ไดโอดมีคุณสมบัติรักษาแรงดันคงที่เมื่อได้รับไบอัสกลับ ในทางอุดมคติ ซีเนอร์ไดโอดจึงมีวงจรเทียบเท่าหรือวงจรสมมูลเป็นแบตเตอรี่ที่มีขนาดแรงดันไฟตรงเท่ากับแรงดันซีเนอร์ไดโอด V_Z (Zener Voltage) โดยมีขั้วบวกของ V_Z อยู่ที่ขาแคโทดและขั้วลบอยู่ที่ขาแอนโนด ดังรูป ก. แต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าความต้านทานภายในรอยต่อ (R_Z) ของซีเนอร์ไดโอดอยู่ด้วย วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอดในทางปฏิบัติจึงเป็นดังรูป ข. ซึ่งค่าความต้านทานภายในของซีเนอร์ไดโอดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

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



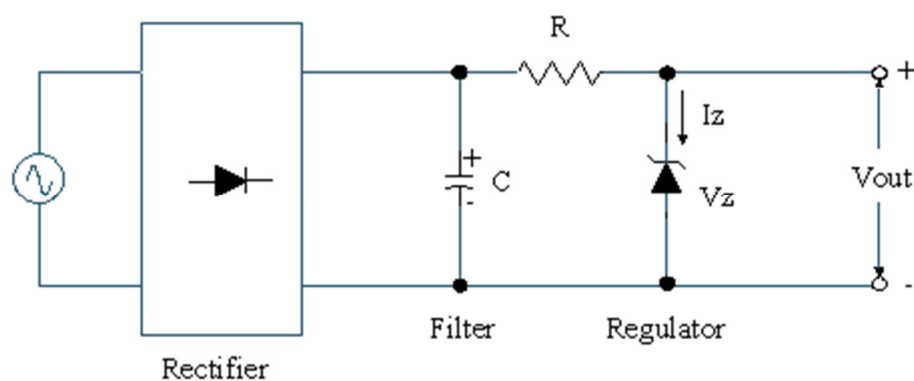
วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด

ตารางคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด การที่จะนำซีเนอร์ไดโอดมาใช้งานจำเป็นจะต้องทราบพิกัดต่างๆ ของซีเนอร์ไดโอดเช่น แรงดันซีเนอร์, อัตราทนกำลังไฟสูงสุด ซึ่งสามารถศึกษาได้จากคู่มือดังแสดงในตาราง

เบอร์	VBR (V)	IS (mA)	VRWM (V)	IR (μ A)	IRMS (mA)	VRMS (V)
1N6267A	6.8	10	5.8	1000	143	10.5
1N6268A	7.5	10	6.4	500	132	11.3
1N6269A	8.2	10	6.02	200	124	12.1
1N6270A	9.1	1	6.78	50	112	13.4
1N6271A	10	1	8.55	10	103	14.5
1N6272A	11	1	9.4	5	96	15.6
1N6273A	12	1	10.2	5	90	16.7
1N6274A	13	1	11.1	5	82	18.2
1N6275A	15	1	12.8	5	71	21.2

V_{BR} (V)	หมายถึง	แรงดัน Breakdown Voltage
I_S (A)	หมายถึง	กระแสที่ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดขณะที่มี R_s
V_{RWM} (V)	หมายถึง	แรงดันย้อนกลับสูงสุด
I_R (μ A)	หมายถึง	กระแสรั่วไหลสูงสุด
I_{RMS} (A)	หมายถึง	กระแสไหลย้อนกลับไม่คงที่
V_{RMS} (V)	หมายถึง	แรงดันย้อนกลับสูงสุด

การใช้งานซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดนำไปใช้งานหลายอย่างเช่น วงจรคลิป์ (Clipping Circuit) วงจรรักษาแรงดันให้คงที่ (Voltage Regulator Circuit) โดยเฉพาะในวงจรรักษาแรงดันให้คงที่ ดังรูป ในการต่อใช้งานทุกครั้งจะต้องมีความต้านทานต่ออนุกรมเสมอ เพื่อป้องกันกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอด (I_Z) เกินค่าพิกัดซึ่งจะทำให้ชำรุดได้และตัวต้านทานที่ใช้จะต้องมีการคำนวณหาค่าความต้านทานที่เหมาะสม วงจรจึงจะทำงานได้ดี



การทดลอง

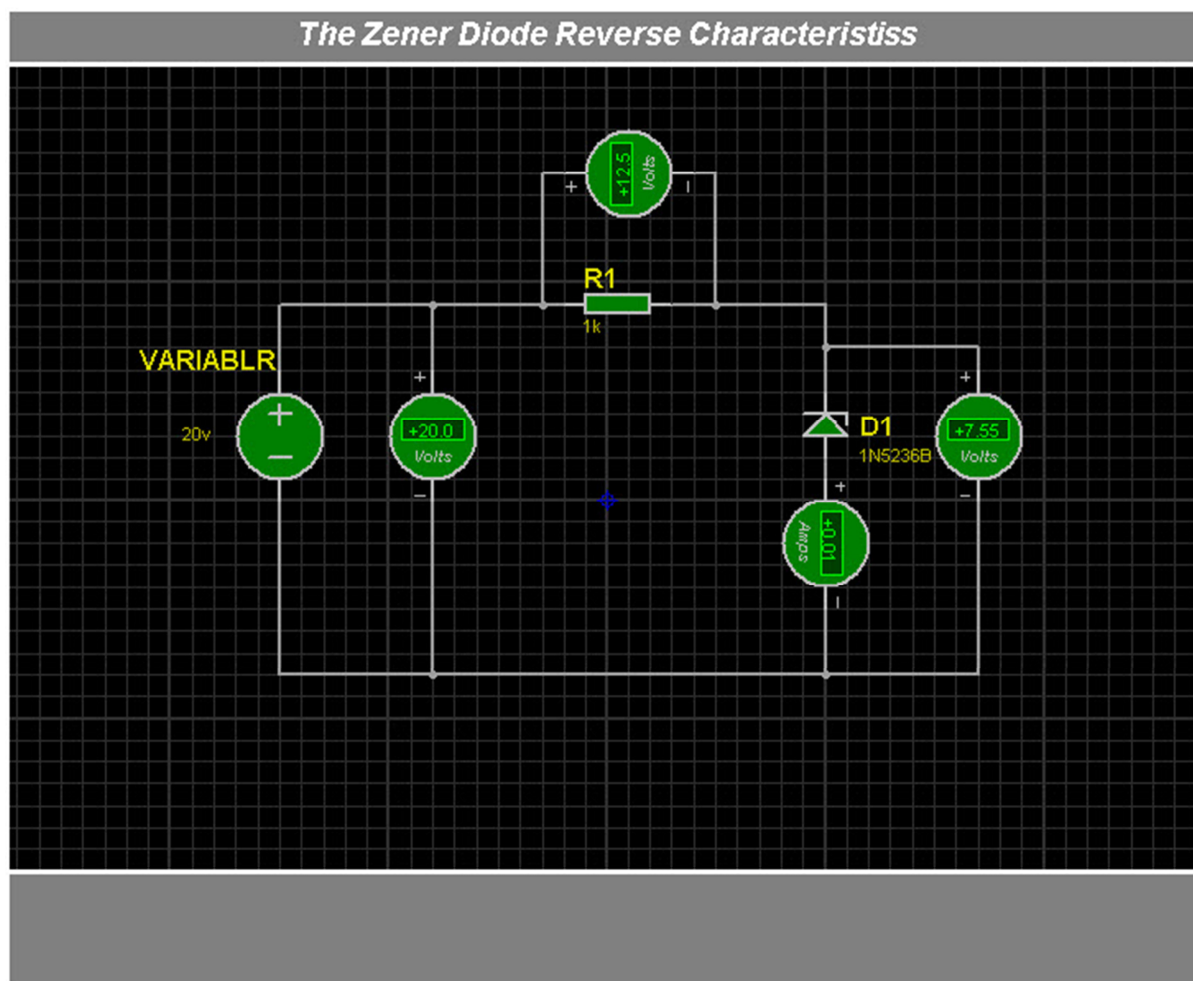
การทดลองที่ 1 วงจรการทำงานของซีเนอร์ไดโอดในลักษณะการป้อนกลับ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มัลติมิเตอร์	4 เครื่อง
2. แหล่งจ่ายไฟสำหรับทดลอง	1 เครื่อง
3. แฉงสำหรับทดลอง	1 ชุด
4. ตัวต้านทาน 1 k Ω	1 ตัว
5. ซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N5236B	1 ตัว

วิธีการทดลอง

1. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ ต่อวงจรตามรูป
2. ป้อนไฟ 0-20VDC
3. ต่อมัลติมิเตอร์ตามรูปเพื่อวัดค่ากระแส และแรงดัน
4. บันทึกผลการทดลอง



การทดลองที่ 1 วงจรการทำงานของซีเนอร์ไดโอดในลักษณะการป้อนกลับ

ผลการทดลองที่ 1

Vs (V)	I _L (mA)	All readings are for V _d just equal to the Zener voltage
7.48	0	
12	100.8	
14	146.5	
16	191.2	
18	237	
20	288.5	

ตารางที่ได้จากการคำนวณ

VS (V)	V _r (V)	V _d = V _s - V _r (V)	$I_d = V_r \frac{V_r}{1000}$ (mA)	P _d = V _d x I _d (mW)
0	0	0	0	0
2	0	2	0	0
4	0	4	0	0
6	0	6	0	0
6.5	0	6.5	0	0
7.0	0	7	0	0
7.5	0.2	7.3	0.2	1.46
8.0	0.8	7.2	0.8	5.76
8.5	1.25	7.25	1.25	9.0625
9.0	1.75	7.25	1.75	12.6875
10.0	2.8	7.2	2.8	20.16
15.0	7.6	7.4	7.6	56.24
20.0	12.6	7.4	12.6	93.24

สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลอง เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้วงจรตามค่าต่างๆที่กำหนดให้ ตัวซีเนอร์ไดโอดจะเริ่มนำกระแสและรักษาระดับแรงดันที่ $V_s = 7.5\text{VDC}$ เนื่องจากคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดเบอร์นี้มีแรงดันซีเนอร์ที่ 7.5 V จึงเริ่มนำกระแสตั้งแต่จุดนี้เป็นต้นไปเมื่อป้อน V_s เกินแรงดันของซีเนอร์แรงดันจะไปตกคร่อมที่ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมแทน ดังนั้นแรงดันที่ตัวซีเนอร์ไดโอดจึงมีค่าคงที่โดยประมาณ 7.5 V ตามคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอดซึ่งสามารถนำไปทำเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้

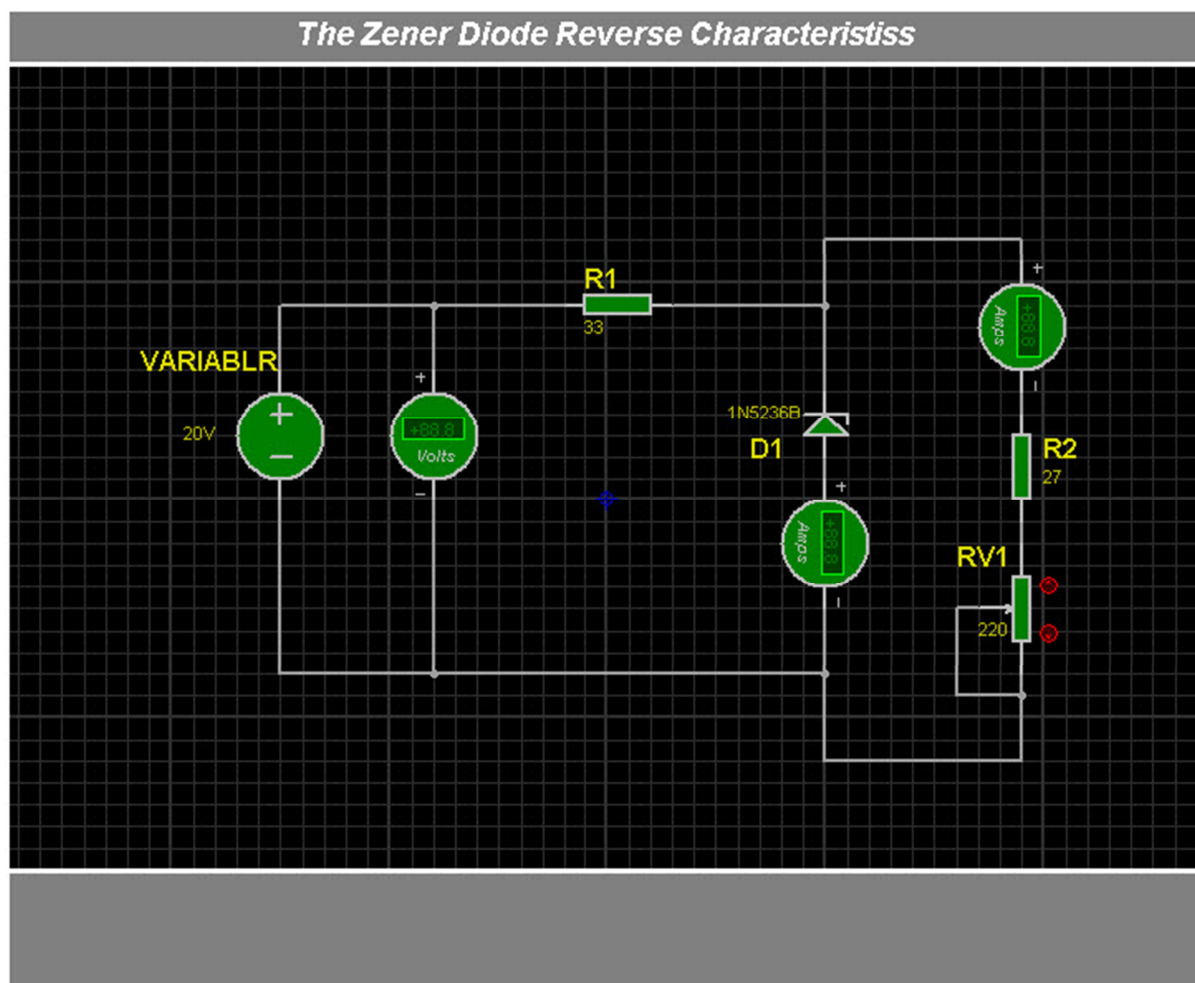
การทดลองที่ 2 วงจรซีเนอร์เร็กูเลเตอร์

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1. มัลติมิเตอร์ | 3 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟสำหรับทดลอง | 1 เครื่อง |
| 3. แฉงสำหรับทดลอง | 1 ชุด |
| 4. ตัวต้านทาน $33\Omega, 27\Omega$ | 2 ตัว (ค่าละ 1 ตัว) |
| 5. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 220Ω | 1 ตัว |
| 6. ซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N5236B | 1 ตัว |

วิธีทดลอง

1. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ ต่อวงจรตามรูป
2. ป้อนไฟ 0-15 VDC
3. ต่อมัลติมิเตอร์ตามรูปเพื่อวัดค่ากระแส และแรงดัน
4. บันทึกผลการทดลอง



การทดลองที่ 2 วงจรซีเนอร์เรกกูเรเตอร์

ผลการทดลองที่ 2

Vs (V)	I₁ (mA)	
20	127	All readings are for Id just equal to 200mA
19	108	
18	89	
17	72	
16	53	
15	33	

สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลอง เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้วงจรตามค่าต่างๆที่กำหนดให้ ตัวเซ็นเซอร์ไดโอด จะมีแรงดันตกคร่อมตัวเซ็นเซอร์ไดโอดคงที่ 7.5 V และมีโหลดเป็นตัวต้านทาน 27 Ω ซึ่งมี VR ปรับค่าได้เป็นตัวปรับเพื่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันที่ตกคร่อม ตัวต้านทาน 27 Ω