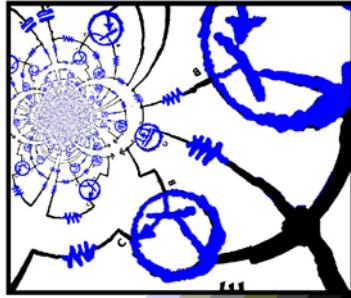




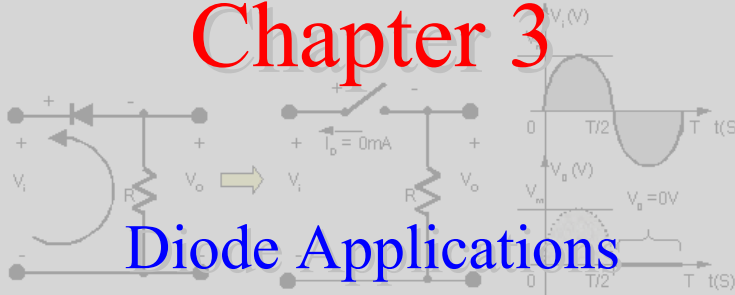
Basic Electronics

03



Chapter 3

Diode Applications





เนื้อหา : การวิเคราะห์เส้นโหลด การประมาณไดโอด ไดโอดใน
วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทางดิจิทัล วงจรเรียงกระแส วงจรขลิบสัญญาณ วงจรแคลมป์
สัญญาณ วงจรทวีแรงดัน ซีเนอร์ไดโอด



บทนำ

การวิเคราะห์วงจรไดโอด จะนิยมใช้วงจรสมมูล (Equivalent Circuit) เพื่อให้การวิเคราะห์กระทำได้ง่าย

โดยทั่วไปวงจรสมมูลแบบ Ideal และ Simplify ก็เพียงพอเนื่องจากยังคงให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับไดโอดจริง

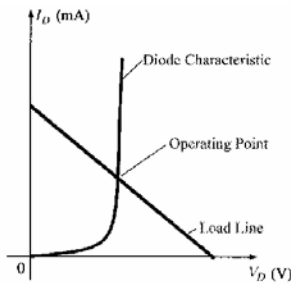
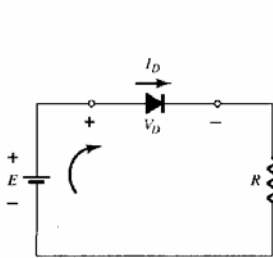
เราสามารถใช้กราฟลักษณะสมบัติ (Characteristic) ของไดโอดจริง ที่ได้จากโรงงานผู้ผลิต มาวิเคราะห์เพื่อหาผลลัพธ์ได้เช่นเดียวกัน โดยวิธีทางกราฟ ซึ่งจะได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า แต่ยุ่งยากกว่า



การวิเคราะห์เส้นโหลด (LOAD-LINE ANALYSIS)

การวิเคราะห์เชิงกราฟฟิก (Graphic Approach)

การวิเคราะห์เชิงกราฟฟิกเพื่อหาจุดทำงาน (Point of Operation) หรือ จุดสงบ (Quiescent Point) ของวงจร จะได้กราฟลักษณะสมบัติของวงจรดังรูป (b)



กราฟลักษณะสมบัติของ วงจร จะประกอบด้วย กราฟสองเส้น คือ

1. Diode Characteristic
2. Load Line

จุดตัดของสองเส้นคือ Operating Point

(a) วงจร ไดโอดแบบอนุกรม (b) ลักษณะสมบัติของวงจร



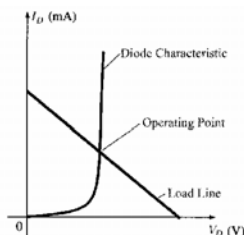
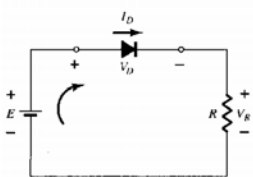
เส้นกราฟ Diode Characteristic ได้มาจากข้อมูลใน Data Sheet ของไดโอดเบอร์นั้น ๆ จากโรงงานผู้ผลิต เส้น Load line หาได้โดยพิจารณาจากวงจร

การวาดเส้น Load Line

โดยใช้ KVL $E = V_D + I_D R$

1. หาจุดตัดในแนวแกน X (V_D) เมื่อ $I_D = 0 \rightarrow V_D = E$
2. หาจุดตัดในแนวแกน Y (I_D) เมื่อ $V_D = 0 \rightarrow I_D = E/R$

3. ลากเส้นตรงระหว่างจุดตัด



จุดตัดของสองกราฟคือ จุดทำงาน (Operating Point) ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อม (V_{Dq}) ไดโอด และกระแสที่ไหลผ่าน (I_{Dq})

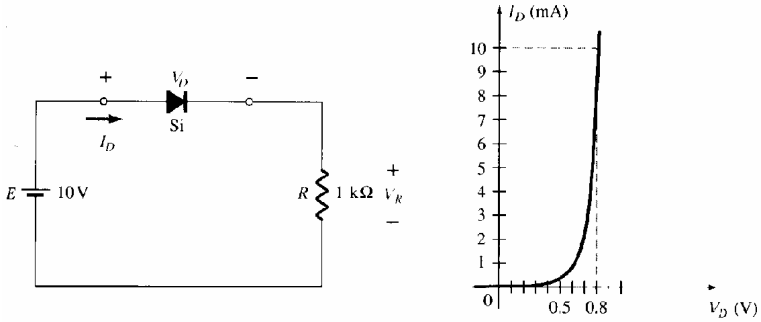


ตัวอย่างที่ 1

วงจรดังรูป (a) มีลักษณะสมบัติของไดโอดดังรูป (b) จงหา

(a) V_{DQ} และ I_{DQ}

(b) V_R



วิธีทำ

(a) หาจุดตัดของเส้นโหลดที่ แกน X และ Y
ที่ $V_D = 0V$

$$I_D = E/R = 10V/1k\Omega = 10 \text{ mA}$$

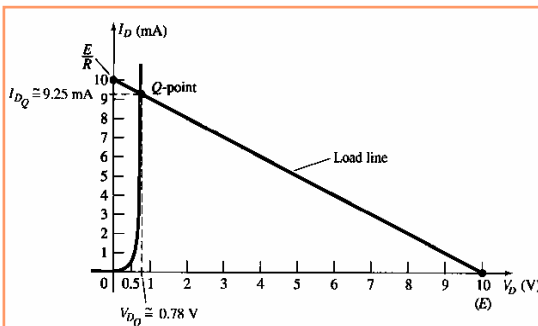
ที่ $I_D = 0A$

$$V_D = E = 10 \text{ V}$$

วาดเส้นโหลดลงในกราฟ
ลักษณะสมบัติของ ไดโอด
จุดตัดคือ Q-point ดังนี้

$$V_{Dq} = 0.78 \text{ V}$$

$$I_{dq} = 9.25 \text{ mA}$$



(b) หา V_R

$$\begin{aligned} V_R &= I_D R \\ &= 9.25 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega \\ &= 9.25 \text{ V} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2

เช่นเดียวกับ ตัวอย่างที่ 1 แต่เปลี่ยนค่า $R = 2 \text{ k}\Omega$.

จุดตัดบนแกน X : $I_D = E/R = 10\text{V}/2\text{k}\Omega = 5 \text{ mA}$

จุดตัดบนแกน Y : $V_D = E = 10 \text{ V}$

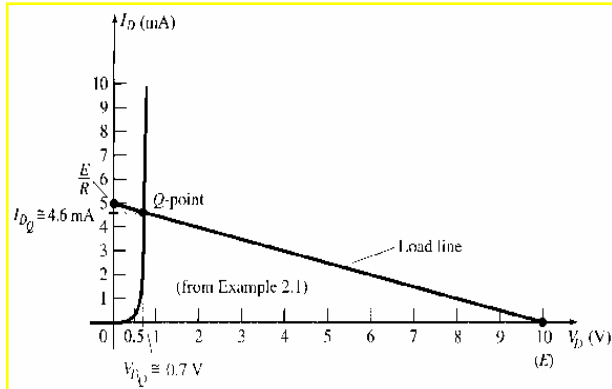
(a) Q-point

$$V_{DQ} = 0.7 \text{ V}$$

$$I_{DQ} = 4.6 \text{ mA}$$

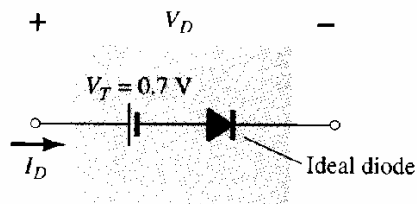
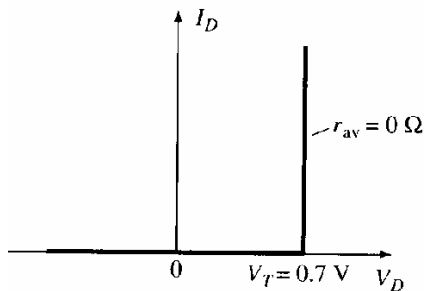
(b) V_R

$$\begin{aligned} V_R &= I_{DQ}R \\ &= 4.6\text{mA} \times 2 \text{ k}\Omega \\ &= 9.2 \text{ V} \end{aligned}$$



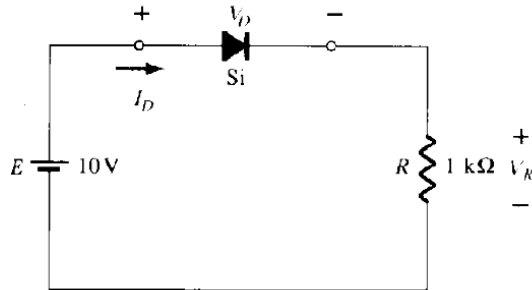
การวิเคราะห์วงจรไดโอด โดยใช้วงจรสมมูลอย่างง่าย

การวิเคราะห์วงจรโดยใช้กราฟจริงจะยุ่งยากในการได้กราฟของไดโอดแต่ละตัว ซึ่งเราสามารถทำให้ทำได้โดยใช้กราฟวงจรมูลอย่างง่าย (Simplified Equivalent Circuit)



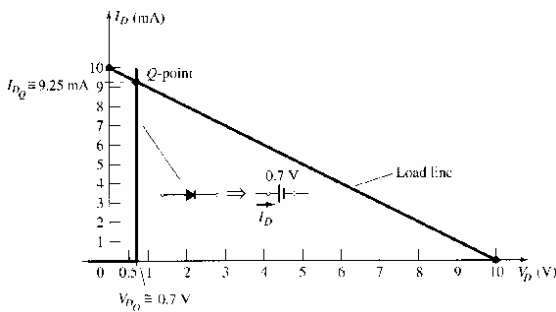
ตัวอย่างที่ 3

จากตัวอย่างที่ 1 ให้หาจุดทำงานของวงจรโดยใช้แบบจำลองวงจรสมมูลอย่างง่าย (Simplified Equivalent Circuit) ของ Si ไดโอด



วิธีทำ

1. วาดกราฟ Simplified Equivalent Circuit เป็นเส้นตรง ตั้งฉากกับแกน X ที่ $V_D = 0.7V$ และ $I_D = 0mA$ เมื่อ $V_D < 0.7V$
2. ลากเส้นตรง Load Line โดยหาจุดตัดแกน X,Y เหมือน ตัวอย่างที่ 1
3. จุดทำงาน คือจุดตัดของเส้นทั้งสอง



ดังนั้น Q-Point คือ

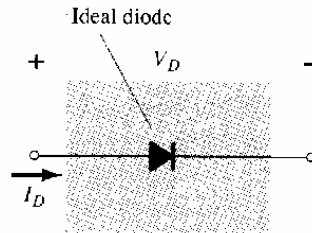
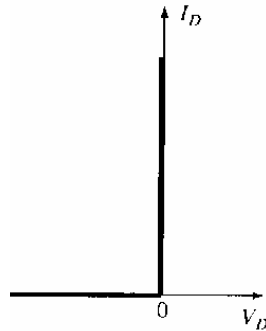
$$I_{DQ} = 9.25mA$$

$$V_{DQ} = 0.7V$$



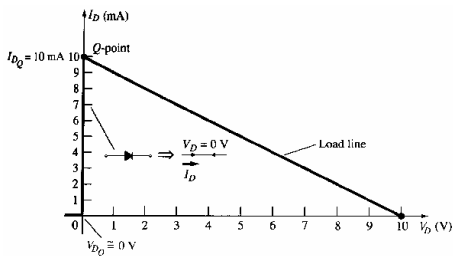
การวิเคราะห์วงจรไดโอด โดยใช้แบบจำลองไดโอดอุดมคติ

ในหลายกรณีการวิเคราะห์วงจร ก็นิยมใช้แบบจำลองไดโอดอุดมคติ (Ideal Diode Model) ถ้าระดับแรงดันในวงจรมีค่าสูง เนื่องจากไม่มีผลกระทบของความผิดพลาดจากน้ก



ตัวอย่างที่ 4

เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1 ให้หาจุดทำงาน โดยใช้ Ideal Diode Model



วิธีทำ

1. วาดกราฟ Ideal Diode Model เป็นเส้นตรง ตั้งฉากกับแกน X ที่ $V_D = 0 \text{ V}$ และ $I_D = 0 \text{ mA}$ เมื่อ $V_D < 0 \text{ V}$
2. ลากเส้นตรง Load Line โดยหาจุดตัดแกน X, Y เหมือน ตัวอย่างที่ 1
3. จุดทำงาน คือจุดตัดของเส้นทั้งสอง

ดังนั้น Q-Point คือ

$$I_{Dq} = 10 \text{ mA}$$

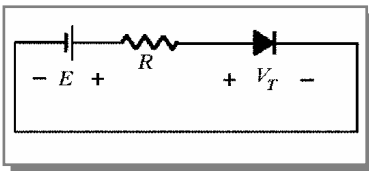
$$V_{Dq} = 0 \text{ V}$$



การวิเคราะห์วงจรโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์

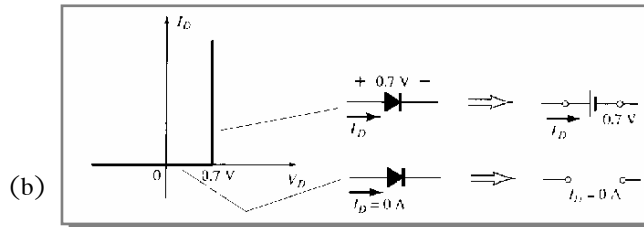
ประมาณไดโอด (DIODE APPROXIMATIONS)

ในการวิเคราะห์โดยวิธีการคำนวณ จะใช้การประมาณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงความจริงในระดับที่ยอมรับได้



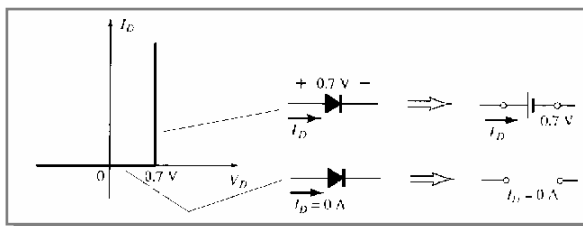
(a)

วงจรรุ่นกรมไดโอดดังรูป (a) ถ้า $R \gg r_{ac}$ จะสามารถใช้กราฟไดโอดดังรูป (b) ได้

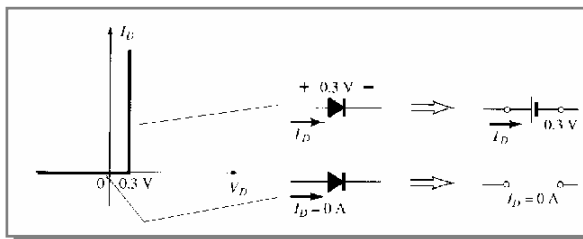


(b)

การประมาณไดโอดแบบ ซิลิกอนและเจอร์มันเนียม



เมื่อไดโอด ON
จะเปรียบเป็น
แหล่งจ่ายแรงดันขนาด
0.7 V (Si) หรือ 0.3
V (Ge)



เมื่อไดโอด OFF
จะเปรียบเสมือนวงจร
เปิด (Open Circuit)

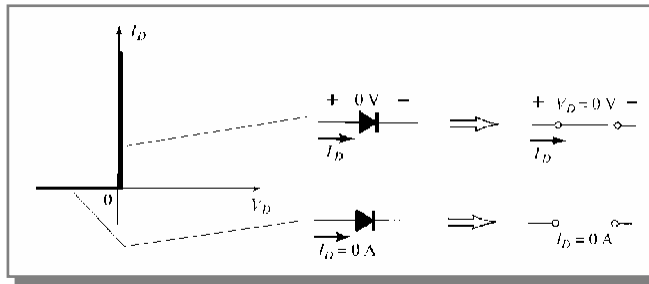
การประมาณไดโอดแบบอุดมคติ

เมื่อไดโอด ON

จะเปรียบเสมือนเป็นวงจรปิด (Close Circuit)

เมื่อไดโอด OFF

จะเปรียบเสมือนวงจรเปิด (Open Circuit)



ข้อพิจารณาในการวิเคราะห์วงจรไดโอด

* แรงดันเทรชโฮลด์ (Threshold, V_T) คือ ระดับแรงดันไบแอส
เดิหน้า ที่ทำให้ไดโอด ON โดยที่ Ge มี $V_T \cong 0.3 \text{ V}$ และ Si มี
 $V_T \cong 0.7 \text{ V}$

* เมื่อไดโอด ON แล้วแรงดันคร่อมไดโอด จะคงที่เท่ากับ V_T แม้
จะมีการเพิ่มแหล่งจ่ายแรงดันในวงจร

* เมื่อไดโอด ON สามารถเขียนแทนไดโอดได้ด้วย แหล่งจ่าย
แรงดัน V_T โดยขั้วบวกอยู่ที่ขาแอนโนดของไดโอด

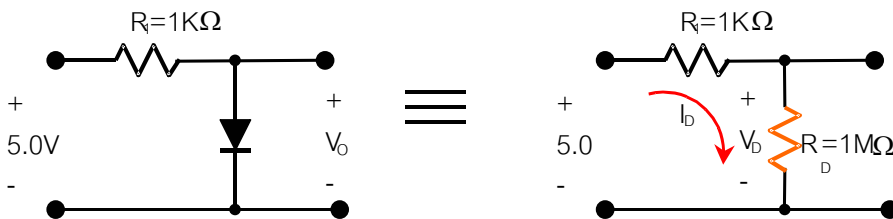


การพิจารณาสถานะของไดโอดในวงจร

1. แทนที่ตำแหน่งไดโอดด้วย ความต้านทานที่สูงมากๆ
2. กำหนดว่าตำแหน่งไดโอดมีกระแสไหลทิศทางใดและแรงดันคร่อมมีค่าเท่าใดโดยที่
 - i. ถ้ากระแสไหล Forward และ แรงดันคร่อมมากกว่า 0.7 Volt ถือว่า ไดโอด **ON**
 - ii. ถ้ากระแสไหล Forward และ แรงดันคร่อมน้อยกว่า 0.7 Volt หรือ กระแสไหล Reverse ถือว่า ไดโอด **OFF**
3. แทนที่ตำแหน่งไดโอดด้วย
 - i. แหล่งจ่ายแรงดัน 0.7 โวลท์ ถ้าไดโอด **ON**
 - ii. Open Circuit ถ้าไดโอด **OFF**



ตัวอย่าง a



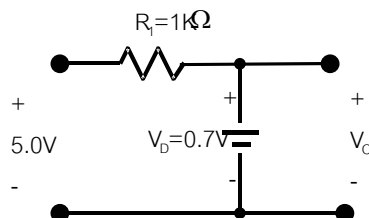
พิสูจน์การ ON

กระแส I_D Forward

แรงดัน $V_D = 5\text{V} > 0.7\text{V}$

นั่นคือ

ไดโอด **ON**



ตัวอย่าง b



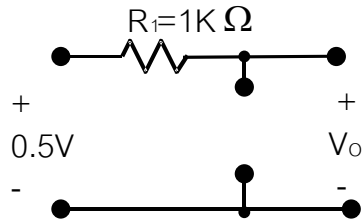
พิกัดการ ON

กระแส I_D Forward

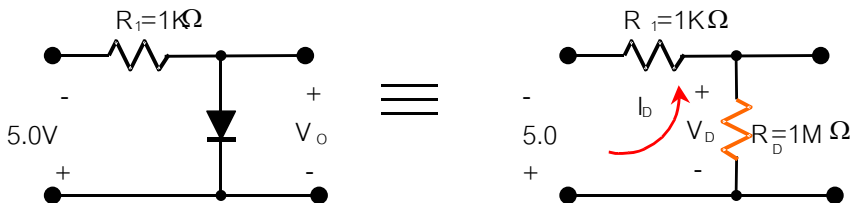
แรงดัน $V_D = 0.5\text{ V} < 0.7\text{ V}$

นั่นคือ

Diode **OFF**



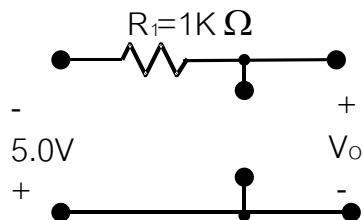
ตัวอย่าง c



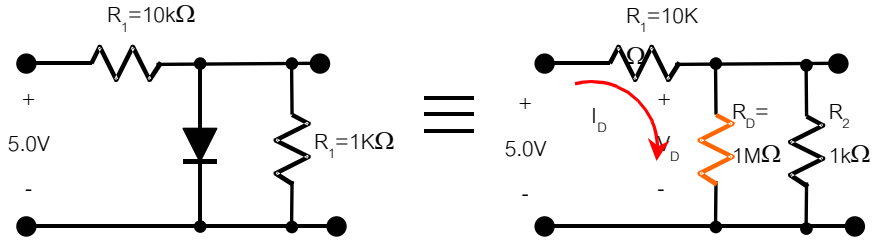
กระแส I_D Reverse

แรงดัน $V_D = -5.0\text{ V}$

Diode **OFF**

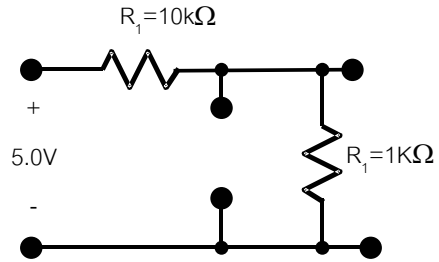


ตัวอย่าง ๔



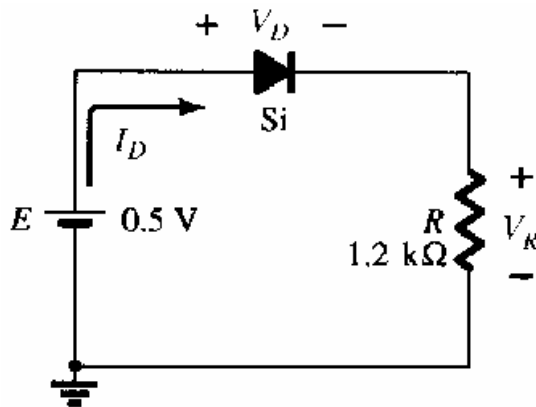
กระแส I_D Forward
 แรงดัน V_D
 จาก $R' = 1\text{M}\Omega // 1\text{k}\Omega \cong 1\text{k}\Omega$
 $V_D = 5.0\text{V} \times (R' / (R_1 + R'))$
 $= 5.0 \times (1\text{k}\Omega / 11\text{k}\Omega)$

ไดโอด **OFF**



ตัวอย่างที่ 5

สำหรับวงจรอนุกรมของไดโอดดังรูป จงหา V_D , V_R , และ I_D



วิธีทำ

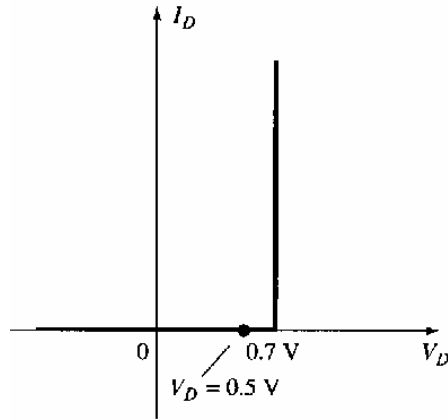
เนื่องจากระดับแรงดัน 0.5V น้อยกว่าแรงดันเทอร์สโวลต์ของไดโอดแบบซิลิกอน ทำให้ไดโอด ไม่ ON

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_D &= 0 \text{ A} \\ V_R &= I_D R \\ &= (0 \text{ A}) 1.2 \text{ k}\Omega \\ &= 0 \text{ V} \end{aligned}$$

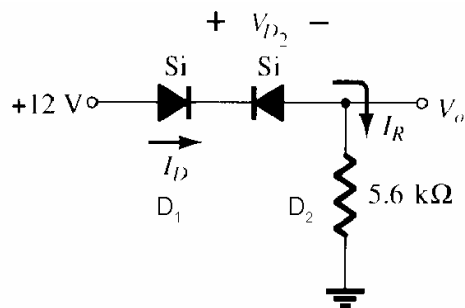
แรงดันคร่อมไดโอด

$$\begin{aligned} V_D &= E \\ &= 0.5 \text{ V} \end{aligned}$$



ตัวอย่างที่ 6

จงคำนวณหา I_{D1} , V_{D2} , และ V_o สำหรับวงจรในรูป



วิธีทำ

ไดโอด D_2 จะ OFF เนื่องจากถูกไบแอสย้อนกลับ

ดังนั้น

$$I_{D1} = 0 \text{ A}$$

และ

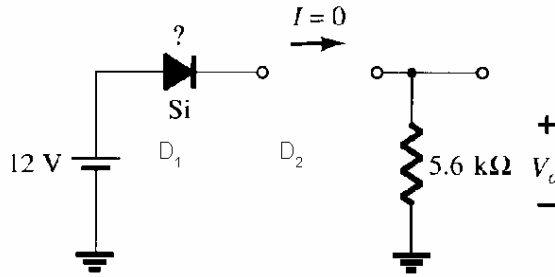
$$\begin{aligned} V_o &= I_D R \\ &= 0 \text{ V} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} V_{D2} &= E - V_{D1} - V_o \\ &= 12 \text{ V} - 0 - 0 \\ &= 12 \text{ V} \end{aligned}$$

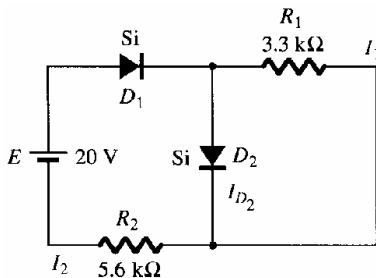
ดังนั้น

$$V_{D1} = 0 \text{ V}$$



ตัวอย่างที่ 7

จงคำนวณหากระแส I_1 , I_2 , และ I_{D2} ของวงจรในรูป



วิธีทำ

แหล่งจ่ายแรงดันต่อให้ลักษณะทำให้ ไดโอด ไบแอสเดิหน้า

และแรงดันคล่อม D_2 มากพอที่ทำให้ D_2 ON ดังนั้น D_1 และ D_2 ON



จาก KVL

$$E = V_2 + V_{T1} + V_{T2}$$

ดังนั้น

$$V_2 = 20 - 0.7 - 0.7 \text{ V} = 18.6 \text{ V}$$

และ

$$I_2 = V_2 / R_2 = 18.6 \text{ V} / 5.6 \text{ k}\Omega = \mathbf{3.32 \text{ mA}}$$

และ

$$I_1 = V_{T2} / R_1 = 0.7 \text{ V} / 3.3 \text{ k}\Omega = 0.212 \text{ mA}$$

และ

$$I_{D2} = I_2 - I_1 = 3.32 \text{ mA} - 0.212 \text{ mA} = \mathbf{3.108 \text{ mA}}$$

Diode Applications 29

ไดโอดในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทางดิจิทัล

เกตแบบออร์ (OR GATES)

ตารางความจริงของ OR gate

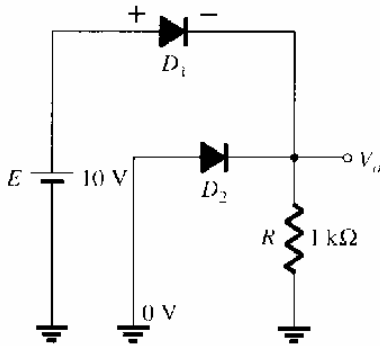
Input 1	Input 2	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

จากวงจร Output จะได้เป็น 1 ถ้า Input ใด Input หนึ่ง เป็น 1

Diode Applications 30

ตัวอย่างที่ 8

จงหาแรงดันเอาต์พุต V_o และกระแสที่ไหลผ่าน I สำหรับวงจรในรูป



วิธีทำ

ไดโอด D_1 จะ ON เนื่องจากมี
กระแสไหลจากแหล่งจ่าย E ผ่าน
 R ลงกราวด์
ไดโอด D_2 OFF

หมายเหตุ วงจรนี้เป็นการต่อให้ *Input1* เป็น 1, *Input2* เป็น 0
โดยที่ Logic 1 ประมาณ 10V และ Logic 0 ประมาณ 0 โวลต์



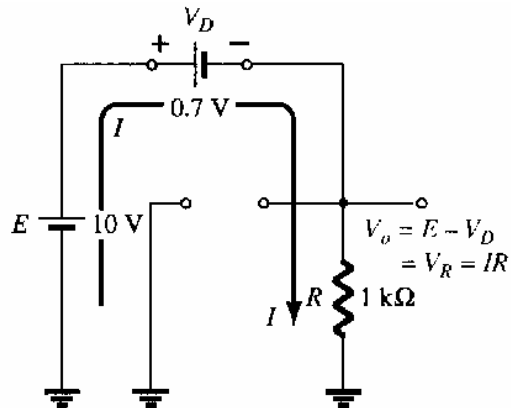
ดังนั้นที่เอาต์พุต

$$\begin{aligned} V_o &= E - V_D \\ &= 10 - 0.7 \\ &= 9.3 \text{ V} \end{aligned}$$

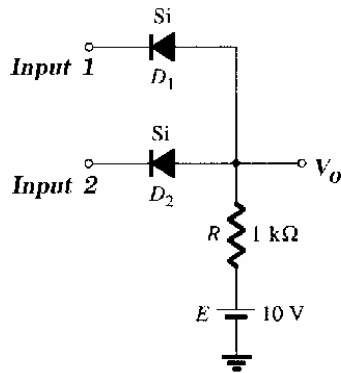
นั่นคือ V_o มีลอจิกเป็น 1

และ

$$\begin{aligned} I &= V_o / R \\ &= 9.3\text{V} / 1\text{k}\Omega \\ &= 9.3\text{mA} \end{aligned}$$



เกตแบบแอนด์ (AND GATE)



ตารางความจริง AND gate

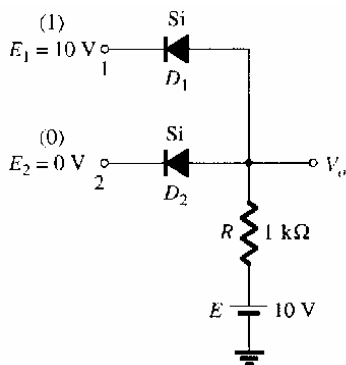
Input1	Input2	Output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

จากวงจร Output จะได้เป็น 0 ถ้า Input ใด Input หนึ่ง เป็น 0



ตัวอย่างที่ 9

จงหา V_o สำหรับเกตแบบ AND ของรูป ดังรูป



วิธีทำ

จากวงจร

ไดโอด D_1 OFF

ไดโอด D_2 ON

หมายเหตุ วงจรนี้เป็นการต่อให้ Input1 เป็น 1, Input2 เป็น 0 โดยที่ Logic 1 ประมาณ 10V และ Logic 0 ประมาณ 0 โวลท์



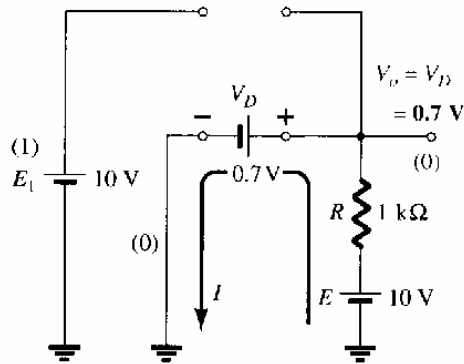
ที่เอาต์พุต

$$V_o = 0.7$$

นั่นคือ V_o มีลอจิกเป็น 0

และ

$$\begin{aligned} I &= (E - V_o) / R \\ &= 9.3\text{V} / 1\text{k}\Omega \\ &= 9.3\text{mA} \end{aligned}$$



วงจรเรียงกระแส (RECTIFIER)

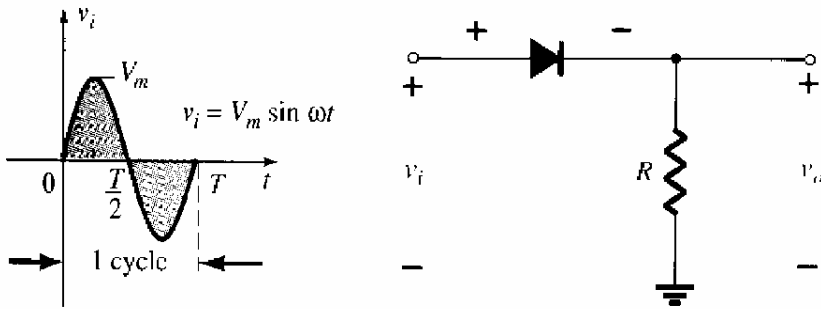
เป็นวงจรที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยเอาต์พุตที่ได้จะเป็นสัญญาณ DC มีลักษณะเป็นช่วงๆ เรียกว่ากระแสตรงแบบพัลส์ (Pulsating DC)

แยกออกเป็น

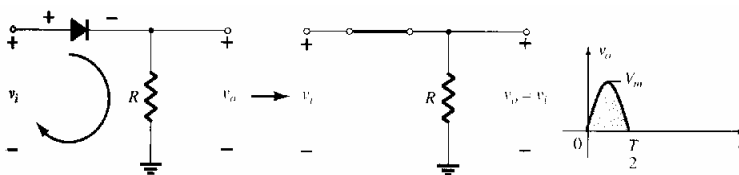
1. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (HALF-WAVE RECTIFIER)
2. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (FULL-WAVE RECTIFIER)



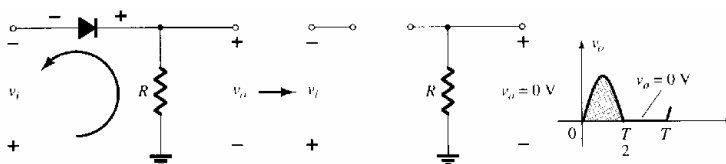
วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier)



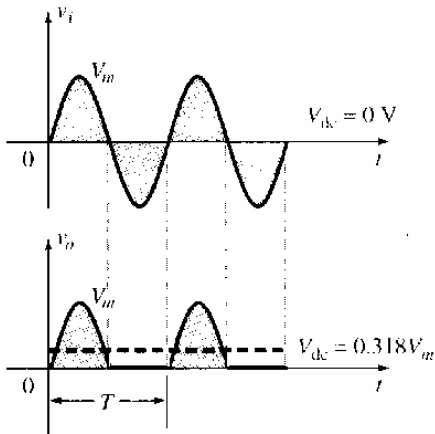
ช่วงนำกระแส ($t = 0 \rightarrow T/2$)



ช่วงไม่นำกระแส ($t = T/2 \rightarrow T$)



สัญญาณเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

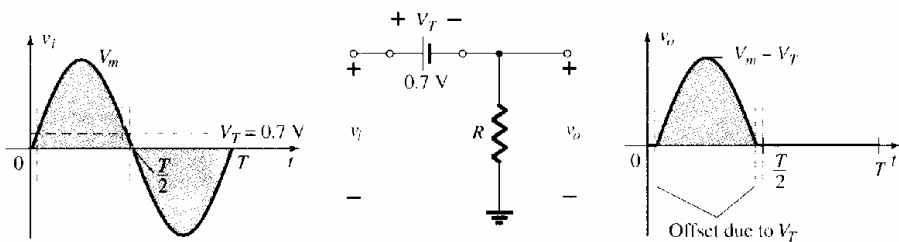


ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตคือ
การอินทิเกรต V_o ซึ่งเท่ากับ

$$V_{dc} = 0.318 V_m$$



ผลกระทบของแรงดันเทรสโวลต์



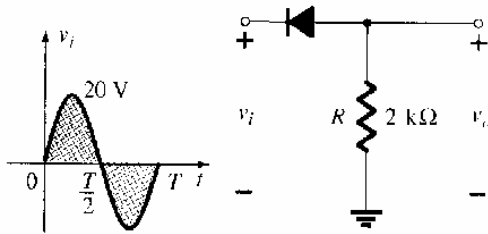
เมื่อคิดค่าแรงดันเทรสโวลต์ของไดโอด V_T จะทำให้ค่าเฉลี่ย
ของแรงดันเอาต์พุต เท่ากับ

$$V_{DC} = 0.318 (V_m - V_T)$$



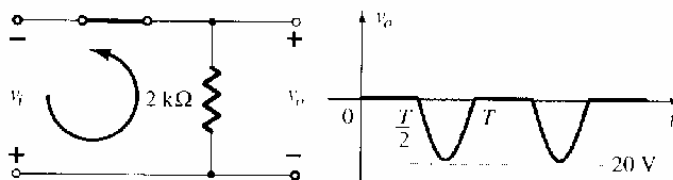
ตัวอย่างที่ 10

จงวาดเอาต์พุต V_o และคำนวณระดับแรงดัน DC ของ
เอาต์พุตสำหรับวงจรในรูป



วิธีทำ

$$\begin{aligned} V_{\text{DC}} &= -0.318V_o \\ &= -0.318(20\text{ V}) \\ &= -6.36\text{ V} \end{aligned}$$



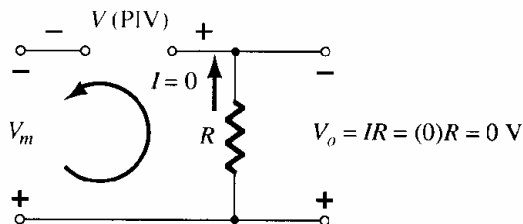
แรงดันย้อนกลับค้ำยอด (Peak Inverse Voltage, PIV)

บางครั้งเรียกว่า peak reverse voltage, PRV หมายถึง อัตราพิกัดแรงดันย้อนกลับสูงสุดที่ไดโอดสามารถจะทนได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไดโอดแต่ละตัว

การพิจารณาว่า ไดโอดในวงจรจะรับภาระแรงดันย้อนกลับเท่าไร ต้องพิจารณาเมื่อ ไดโอด OFF และมีแรงดันย้อนกลับสูงสุด



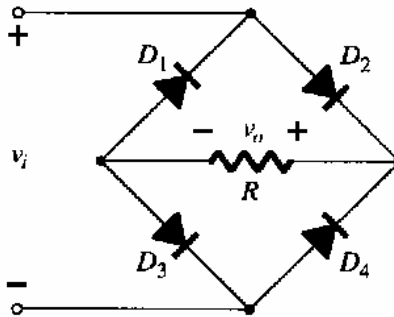
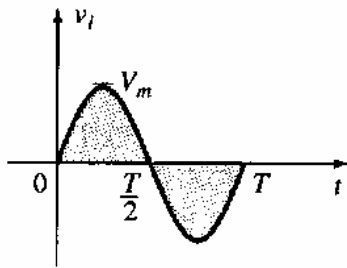
วงจร Halfwave Rectifier ดังรูป ไดโอดจะมีเงื่อนไขแรงดันย้อนกลับสูงสุดเท่ากับ V_m



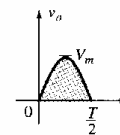
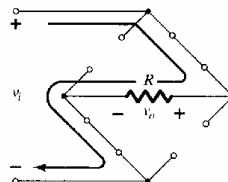
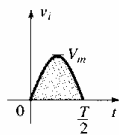
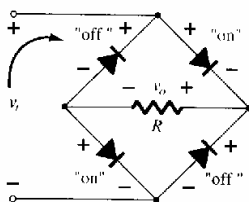
ดังนั้นต้องเลือกใช้ ไดโอดที่มีค่า **PIV** ณ์ V_m



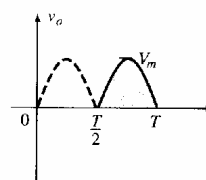
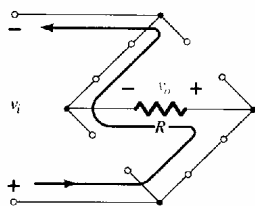
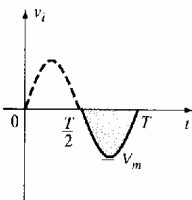
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (BRIDGED FULL-WAVE RECTIFIER)



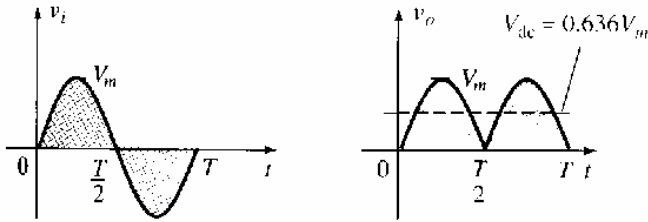
ช่วงเวลา ($t = 0 \rightarrow T/2$) v_i เป็นบวก



ช่วงเวลา ($t = T/2 \rightarrow T$) v_i เป็นลบ



สัญญาณเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์



ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตคือ การอินทิเกรต V_o ซึ่งเท่ากับ

$$V_{DC} = 2(0.318)V_m$$

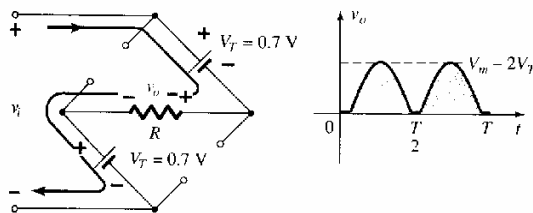
หรือ

$$V_{DC} = 0.636V_m$$



ผลกระทบของแรงดันเทรสถอร์สโวลต์

ผลกระทบจะเป็นสองเท่า เนื่องจากกระแสไฟไหลผ่านการไบแอสเดินหน้าไดโอด 2 ตัว



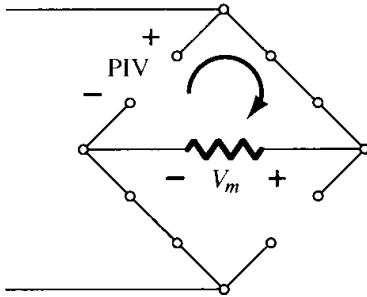
เมื่อคิดค่าแรงดันเทรสถอร์สโวลต์ของไดโอด V_T จะทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{DC} = 0.636(V_m - 2V_T)$$



แรงดันย้อนกลับค้ำยอด (Peak Inverse Voltage, PIV)

เช่นเดียวกันการพิจารณาว่า ไดโอดในวงจร แบบบลิทซ์ จะรับภาระแรงดันย้อนกลับเท่าไร ต้องพิจารณาเมื่อ ไดโอด OFF และมีแรงดันย้อนกลับสูงสุด



จากรูปจะมีแรงดันย้อนกลับคร่อม Diode มากที่สุดคือแรงดันคล่อม $V_R = V_m$

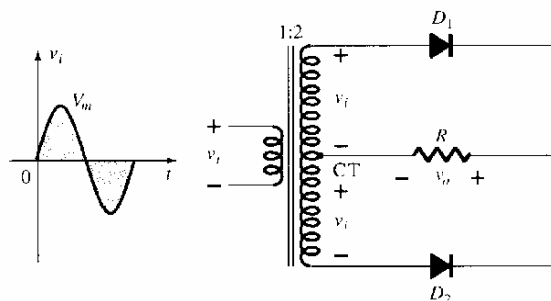
ดังนั้นต้องเลือกใช้ ไดโอดที่มีค่า

PIV ฌ V_m

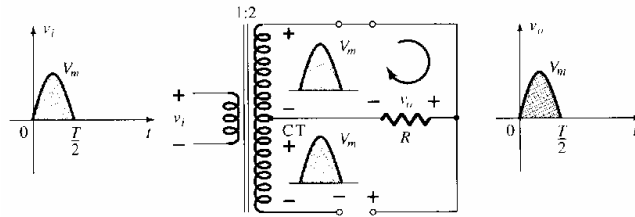


วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงเซ็นเตอร์แท็ป (Center-Tapped Transformer Full-wave Rectifier)

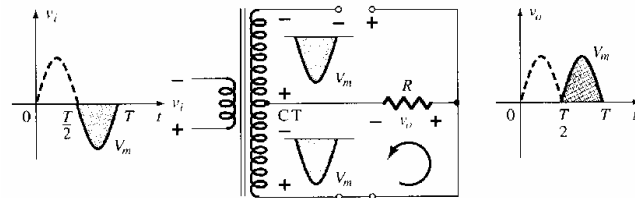
หม้อแปลงแบบเซ็นเตอร์แท็ป (CT) จะมี ขั้วที่ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil) 3 ขั้ว โดยขั้วหนึ่งจะต่อมาจากตรงกลางของขดลวด



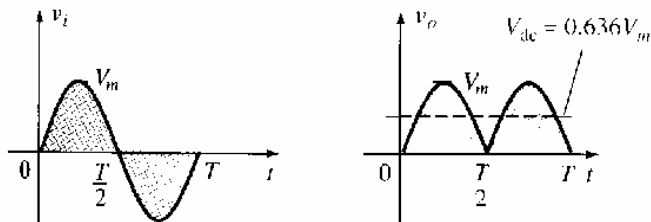
ช่วงเวลา ($t = 0 \rightarrow T/2$) v_i เป็นบวก



ช่วงเวลา ($t = T/2 \rightarrow T$) v_i เป็นลบ



สัญญาณเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นของวงจรหม้อแปลงเซ็นเตอร์แทป

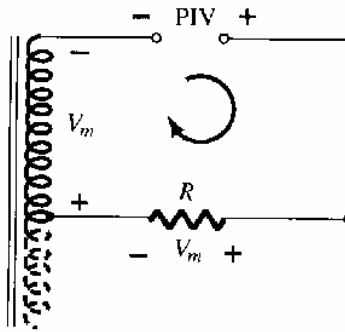


ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุตจะเหมือนกับการใช้วงจรบริดจ์

$$V_{DC} = 0.636V_m$$

แรงดันย้อนกลับค้ำยอด (Peak Inverse Voltage, PIV)

ในขณะที่ไดโอด OFF แรงดันคร่อมไดโอด จะเท่ากับแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ (Primary Coil) ของหม้อแปลง บวกกับแรงดันที่คร่อมตัวต้านทาน R



ดังนั้นต้องเลือกใช้ ไดโอดที่มีค่า

$$PIV \geq 2V_m$$



วงจรลิมิตสัญญาณ (CLIPPER CIRCUIT)

เป็นวงจรที่ตัดสัญญาณบางส่วนออกไปโดยไม่ทำให้สัญญาณที่เหลือมีการบิดเบือน

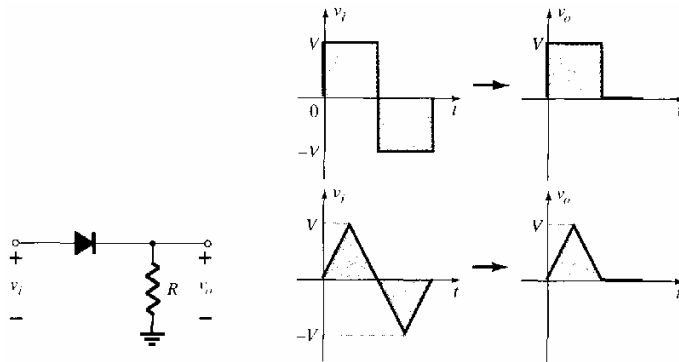
แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

วงจรลิมิตสัญญาณแบบอนุกรม (Series Clipper Circuit)

วงจรลิมิตสัญญาณแบบขนาน (Parallel Clipper)



วงจรขลิบสัญญาณแบบอนุกรม (Series Clipper Circuit)

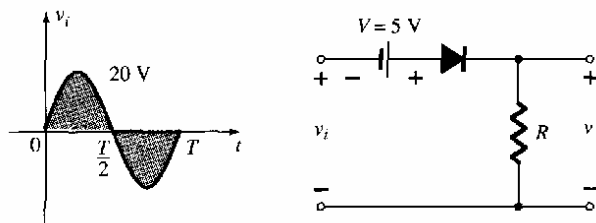


วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นถือเป็นวงจรขลิบสัญญาณอย่างง่าย



ตัวอย่างที่ 11

จากรูปวงจรปัดคลื่นของเอาต์พุต โดยใช้ Ideal Diode

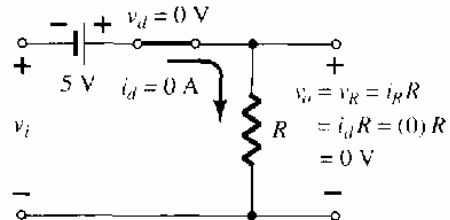
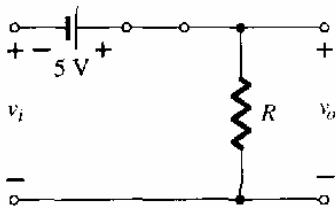


วิธีทำ

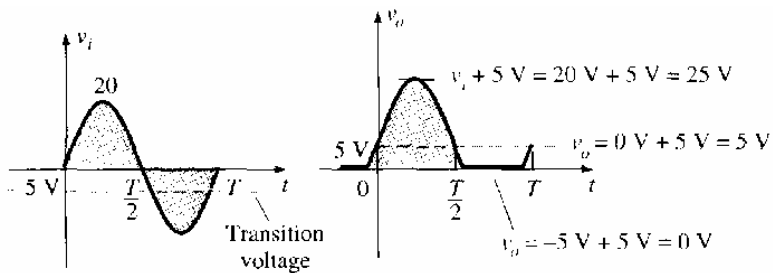
จุดที่ทำให้สัญญาณเริ่มขลิบคือจุดที่ $v_D = 0V$. และ $i = 0mA$
 ดังนั้นเมื่อ $v_i = -V$ จึงถือเป็นแรงดันขีดเริ่มขลิบสัญญาณ

โดยที่

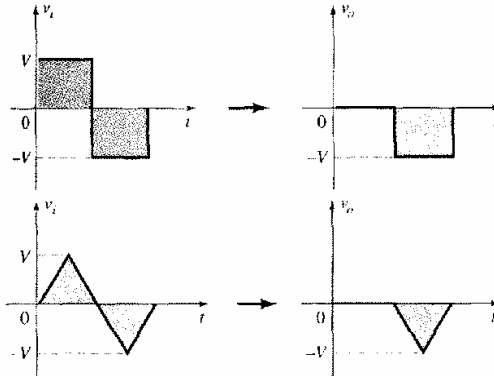
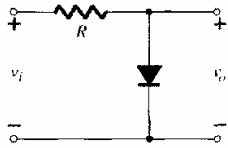
ไดโอดจะ ON เมื่อ $v_i > -V$ และไดโอดจะเริ่ม OFF เมื่อ $v_i < -V$



รูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจร

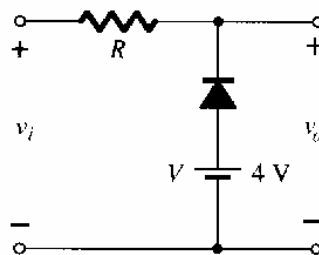
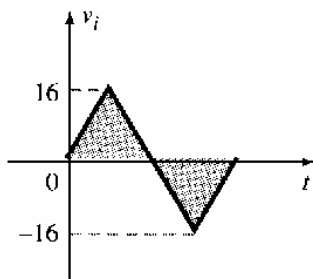


วงจรถลิบสัญญาณแบบขนาน (Parallel Clipper Circuit)



ตัวอย่างที่ 12

จงหา v_o ของวงจรถลิบโดยใช้ Ideal Diode



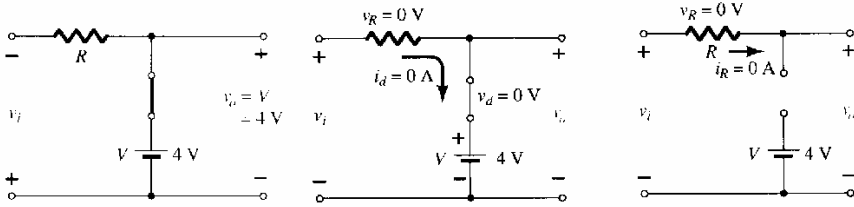
วิธีทำ

จุดขีดเริ่มขลิบจะเป็นจุดที่ $i_d = 0$ และ $v_d = 0$ พอดี ด้วยการแทนค่าไดโอด ด้วยสวิตช์ ON และกระแส $i_d = 0$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} v_i &= v_R + v_D + V = 0 + 0 + V \\ &= V \end{aligned}$$

นั่นคือแรงดันขีดเริ่มขลิบจะอยู่ที่ $v_i = V$



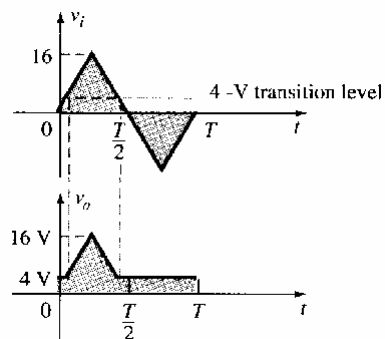
ดังนั้น

เมื่อ $v_i > V$ จะทำให้ไดโอด OFF โดยที่

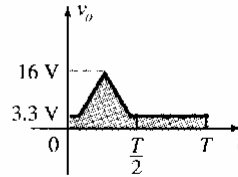
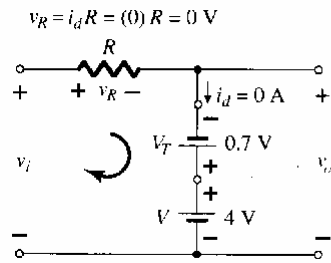
$$V_o = V_i$$

เมื่อ $v_i < V$ จะทำให้ไดโอด ON โดยที่

$$V_o = V_d$$



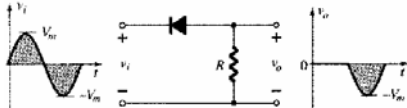
ผลกระทบของแรงดันเทรสถิต



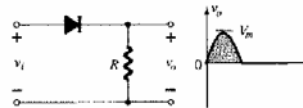
ตารางสรุปวงจรลิมิตสัญญาณ

Simple Series Clippers (Ideal Diodes)

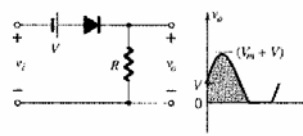
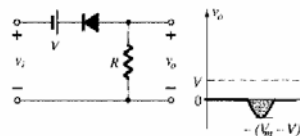
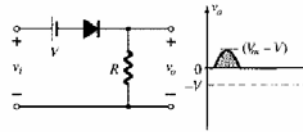
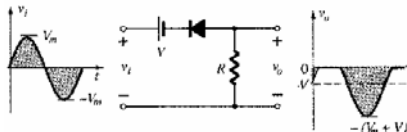
POSITIVE



NEGATIVE

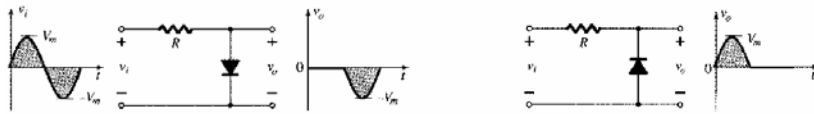


Biased Series Clippers (Ideal Diodes)

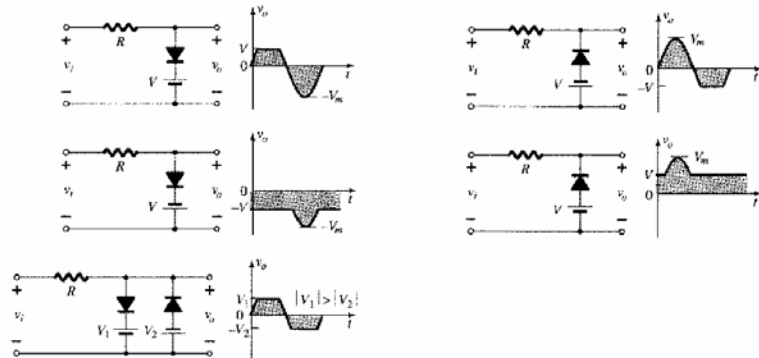


ตารางสรุปวงจรลบบัญญาณ (ต่อ)

Simple Parallel Clippers (Ideal Diodes)



Biased Parallel Clippers (Ideal Diodes)



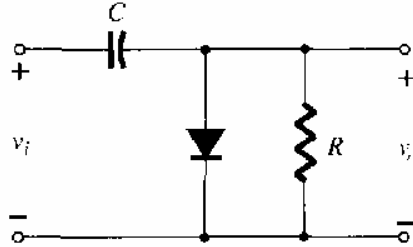
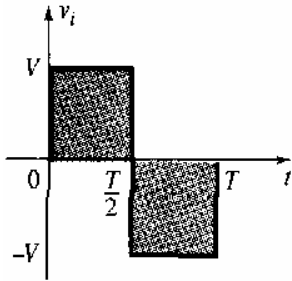
วงจรแคลมป์ (CLAMPER)

ทำหน้าที่ยกหรือลดระดับสัญญาณอินพุต โดยวงจรจะประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ, ไดโอด และตัวต้านทาน

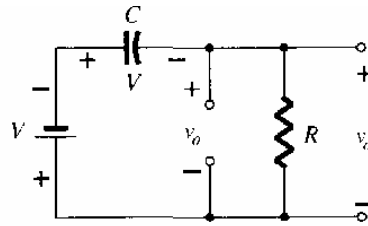
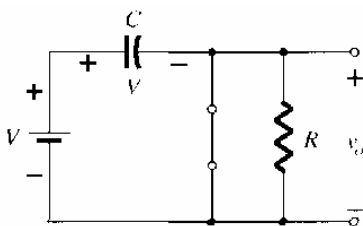


ตัวอย่างที่ 13

วงจรแคลมป์สัญญาณแบบพื้นฐาน



วิธีทำ



ในช่วงครึ่งคลื่นบวก ($t = 0 \rightarrow T/2$)

C จะถูก Charge ประจุ ผ่าน D จนมีระดับแรงดันเท่ากับ V

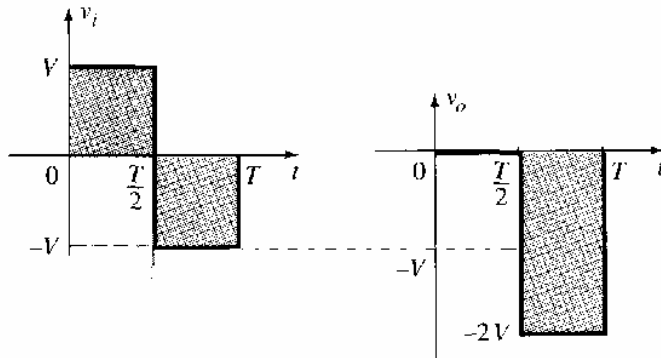
ในช่วงครึ่งคลื่นลบ ($t = T/2 \rightarrow T$)

C จะถูกเป็นเสมือนแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ขนาด V ให้แหล่งจ่ายแรงดันในวงจร จะมี v_i ต่ออนุกรมกับ V

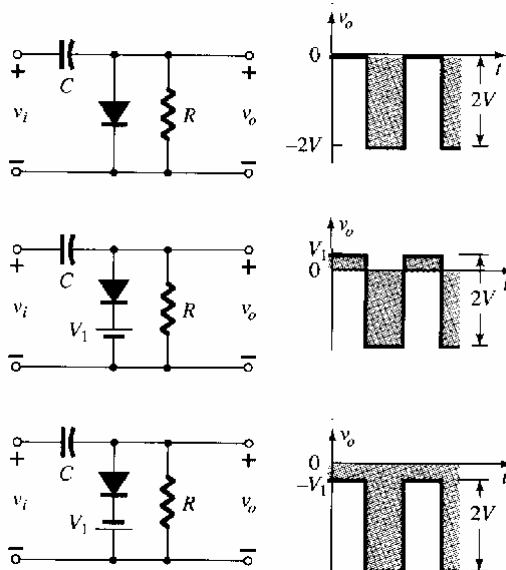
ดังนั้น แรงดันคล่อม R ในช่วงนี้จะเท่ากับ $-2V$



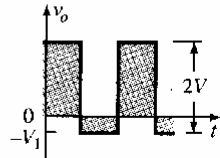
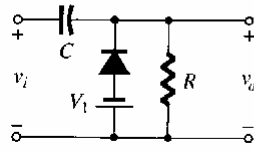
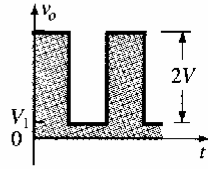
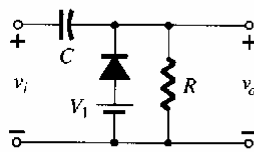
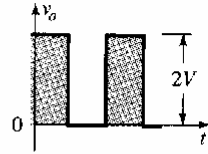
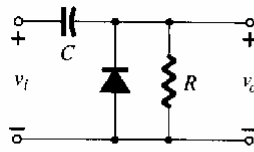
อินพุตและเอาต์พุตที่ได้



สกรุปวงจรแคลมป์



สรุปวงจรแคลมป์ (ต่อ)



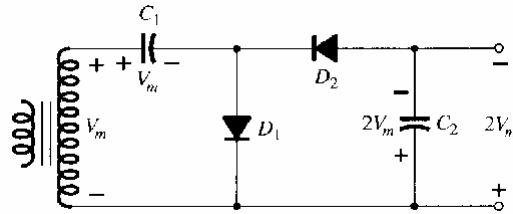
วงจรทวีแรงดัน (Voltage-Multiplier Circuits)

สามารถเพิ่มระดับยอดสัญญาณให้เป็น 2 เท่า, 3 เท่า, 4 เท่า หรือหลายๆ เท่าได้



วงจรทวีคูณแรงดัน (Voltage Doubler)

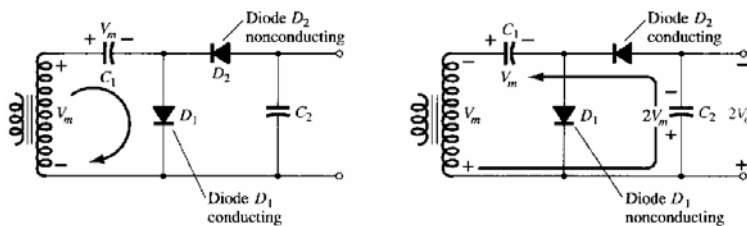
ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันอินพุต ให้ได้เอาต์พุตที่มีค่าสูงสุดเป็นสองเท่า



อินพุตของวงจรทวีคูณแรงดันในที่นี้คือ แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ จะเป็น สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ V_i มีค่าสูงสุด $= V_m$



หลักการทำงาน



ในช่วงเวลา $t = 0 - T/2$

เมื่อ D_1 ON, C_1 จะถูก Charge ประจุผ่าน D_1 จน มีแรงดันตกคร่อมสูงสุด $= V_m$

ในช่วงเวลา $t = T/2 - T$

C_1 จะเป็นเสมือนแหล่งจ่ายแรงดันขนาด V_m ดังนั้น C_2 จะถูก Charge ประจุ ด้วยแรงดันขนาด $V_m + V_i$ ซึ่งที่ค่าสูงสุด แรงดันคร่อม $C_2 = 2V_m$



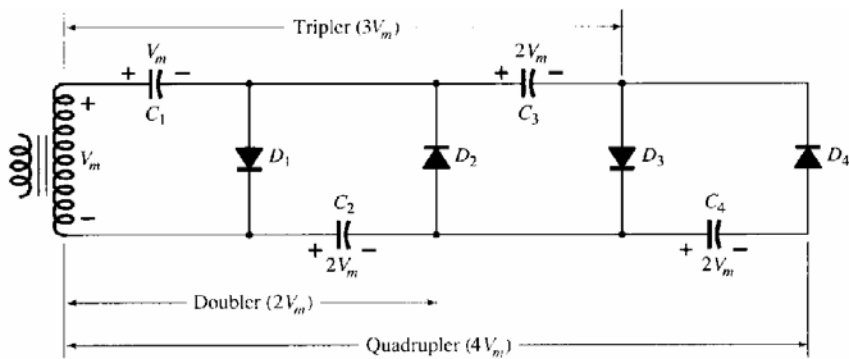
นั่นคือเมื่อเวลาผ่านไป 1 คาบ แรงดันที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ $2V_m$

หมายเหตุ

แรงดันเอาต์พุตจะเป็นแรงดัน DC ซึ่งกระแสที่จะถูกนำไปใช้งานจะเป็นประจุที่อยู่ใน C_2



วงจรทวีแรงดันหลายเท่า



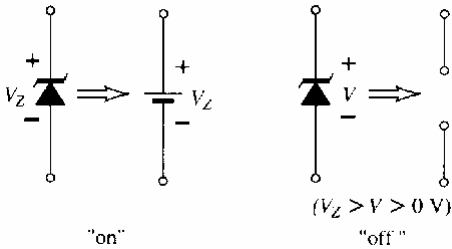
วงจรดังรูปนี้จะเลือกใช้แรงดันเอาต์พุตได้ ตั้งแต่ $2V_m$, $3V_m$ จนถึง $4V_m$



ซีเนอร์ไดโอด (ZENER DIODES)

เมื่อต่อวงจรแบบ Forward Bias ซีเนอร์ไดโอด จะมีลักษณะเหมือนไดโอดปกติคือนำกระแสได้

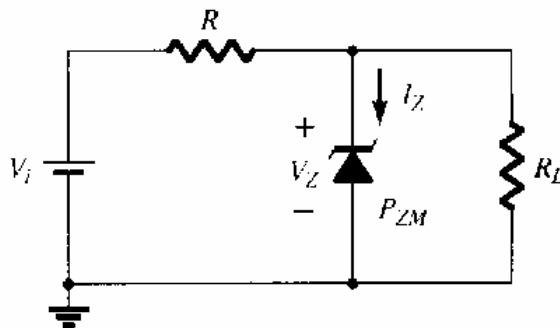
แต่เมื่อต่อแรงดันให้ Reverse Bias ซีเนอร์จะไม่นำกระแสจนเมื่อ แรงดันที่คร่อมมีค่า มากกว่า V_Z ก็จะกลับมานำกระแสอีกครั้ง



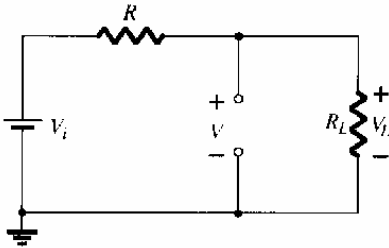
การใช้งาน ซีเนอร์จะต่อแบบ Reverse Bias

โดยในรูปจะแสดงสถานะ ON และ สถานะ OFF ของซีเนอร์

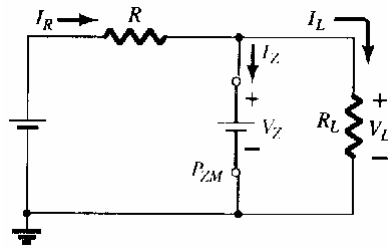
วงจรซีเนอร์ไดโอด



การวิเคราะห์วงจร ซีเนอร์ จะแทนซีเนอร์ด้วยวงจรสมมูลคือ เป็น Open Circuit ถ้า ซีเนอร์ OFF และแทนด้วย แหล่งจ่ายแรงดันขนาด V_Z ถ้า ซีเนอร์ ON



(a) การแทนที่ซีเนอร์เมื่อ OFF



(b) การแทนที่ซีเนอร์เมื่อ ON



การวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบการ ON หรือ OFF ของซีเนอร์ในวงจร

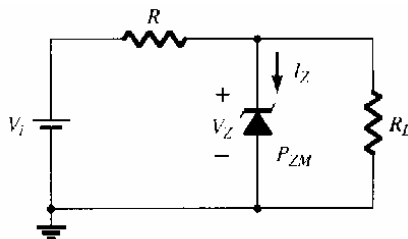
การตรวจสอบสถานะของซีเนอร์ โดย

1. แทนที่ซีเนอร์ด้วยตัวต้านทานที่มีค่าสูงมาก ๆ หรือการ Open Circuit
2. คำนวณเพื่อหาแรงดันคร่อมตำแหน่งนั้น

ถ้าแรงดันมีค่ามากกว่า V_Z แสดงว่า ซีเนอร์ ON

ถ้าแรงดันมีค่าน้อยกว่า V_Z แสดงว่า ซีเนอร์ OFF

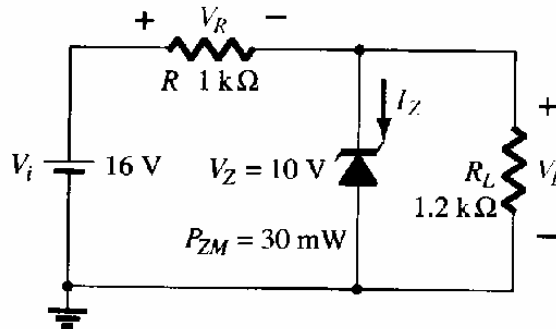
3. เมื่อทราบสถานะแล้วก็ให้แทนซีเนอร์ด้วยวงจรสมมูลตามสถานะที่เป็น (Open หรือ V_Z)



ตัวอย่างที่ 14

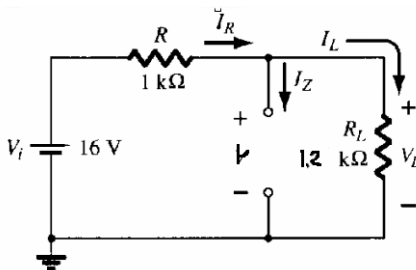
วงจรดังรูป เมื่อ $V_Z = 10\text{V}$, $V_i = 16\text{V}$, $R_L = 1.2\text{ k}\Omega$, และ $R = 1\text{ k}\Omega$
 ซีเนอร์ไดโอดมีอัตราการทนกำลังสูงสุด $P_{ZM} = 30\text{ mW}$

- (a) หา V_L , V_R , I_Z , และ P_Z
 (b) เช่นเดียวกันกับ เมื่อเปลี่ยน R_L เป็น $3\text{ k}\Omega$.



วิธีทำ

- (a) ตรวจสอบว่า ซีเนอร์ ON หรือไม่ โดยแทนที่ตำแหน่ง ซีเนอร์ด้วย Open Circuit แล้วหา V



$$V = \frac{(1.2\text{ k}\Omega)}{(1.2\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega)} (16\text{V})$$

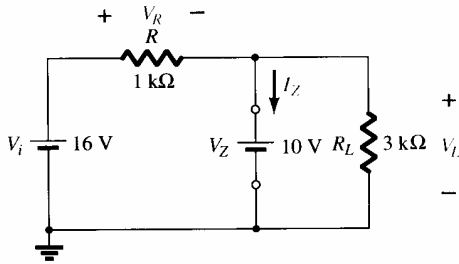
$$= 8.73\text{ V}$$

จะเห็นว่า มีค่าต่ำกว่า V_Z จึงทำให้ ซีเนอร์ OFF

* การคำนวณค่าต่างกวีเคราะห์เหมือนไม่มี ซีเนอร์อยู่ ได้

$$V_L = 8.73\text{V}, \quad V_R = 7.27\text{V}, \quad I_Z = 0\text{A}, \quad \text{และ} \quad P_Z = 0\text{ W}$$

(b) เมื่อ $R_L = 3k$ ตรวจสอบการ ON ของซีเนอร์



$$V = (3 \text{ k}\Omega) \times (16 \text{ V}) \\ (3 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) \\ = 12 \text{ V}$$

จะเห็นว่า มีค่าสูงกว่า V_Z จึงทำให้ ซีเนอร์ ON

แทนที่ซีเนอร์ด้วย แหล่งจ่ายแรงดัน 10 V



เมื่อแทนที่ซีเนอร์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน 10 V
ดังนั้น

$$V_L = V_Z \\ = 10 \text{ V}$$

และ

$$V_R = 6 \text{ V} \\ I_Z = 2.67 \text{ mA}$$

Power Dissipation

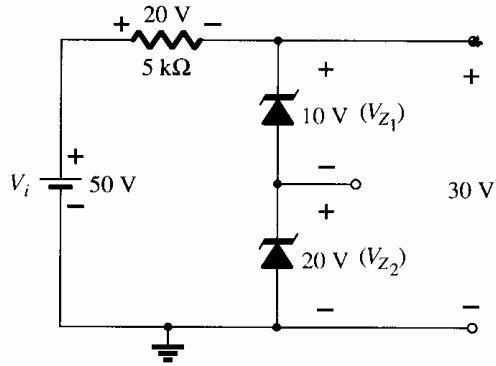
$$P_Z = V_Z I_Z \\ = (10 \text{ V})(2.67 \text{ mA}) \\ = 26.7 \text{ mW}$$



การอนุกรมซีเนอร์ไดโอด (Series Zeners)

แรงดันคร่อมซีเนอร์ที่ต่ออนุกรมกันจะมีค่าเท่ากับดังรูป

$$V_Z = V_{Z1} + V_{Z2}$$



จบ

