

Elektronički Elementi i Sklopovi

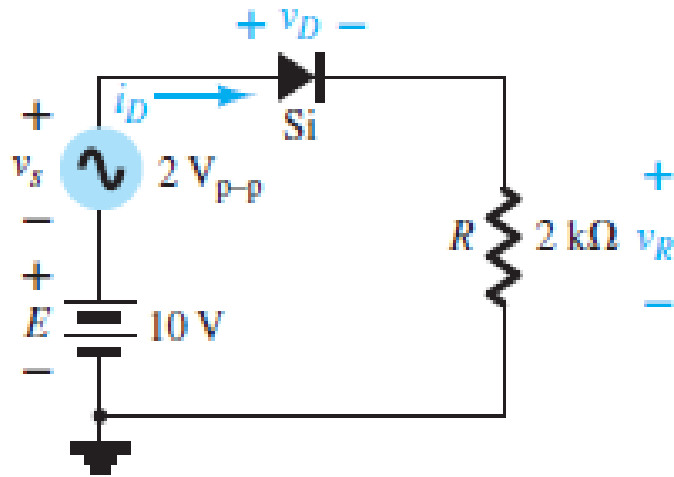
Sadržaj predavanja:

1. Mreže sa kombiniranim DC i AC izvorima
2. Sklopovi sa Zenner diodama
3. Zennerov regulator

Elektronički Elementi i Sklopovi

Dosadašnja analiza je bila koncentrirana na DC analizu, tj. smatralo se da su elementi električne mreže takvi da možemo koristiti određene jednostavne aproksimacije i DC analizu (bez obzira što je pobuda bila sinusoidalni ili pravokutni signal).

Najjednostavnija električna mreža koja se sastoji od AC i DC izvora dana je na slici:

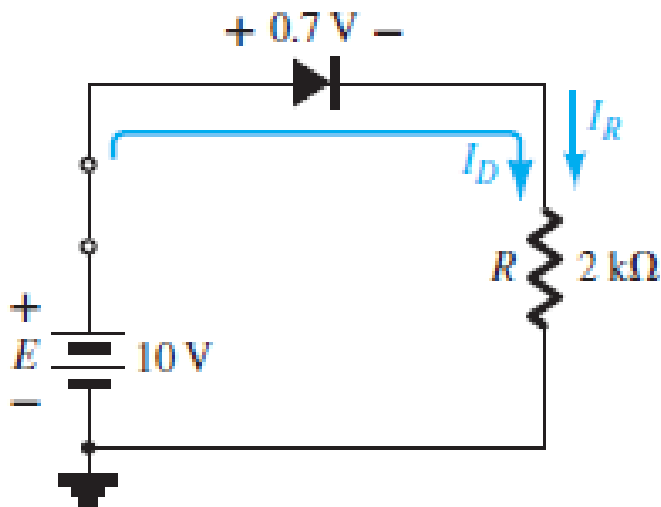


Elektronički Elementi i Sklopovi

Da bi se našao odziv mreže sa AC i DC izvorima možemo koristiti teorem superpozicije:

Odziv bilo koje mreže koja sadrži AC i DC izvore se može naći tako što ćemo naći odziv mreže na AC pobudu i DC pobudu zasebno i onda kombinirati rezultate.

Ako provodimo DC analizu sklopa sa prethodne slike tada možemo AC izvor kratko spojiti:



Elektronički Elementi i Sklopovi

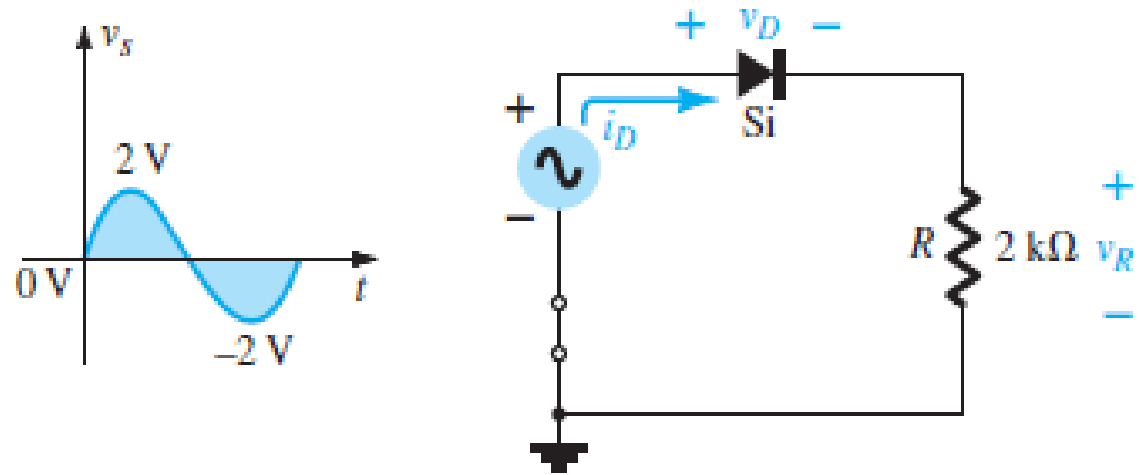
Koristeći jednostavan model silicijeve diode može se izračunati napon V_R na otporu R :

$$(1) V_R = E - V_D = 10V - 0.7V = 9.3V$$

Struja I_D koja teče kroz diodu jednaka je struji I_R kroz otpor R :

$$(2) I_D = I_R = \frac{9.3V}{2 \text{ k}\Omega} = 4.65 \text{ mA}$$

Za AC analizu, kratko spojimo DC izvor:

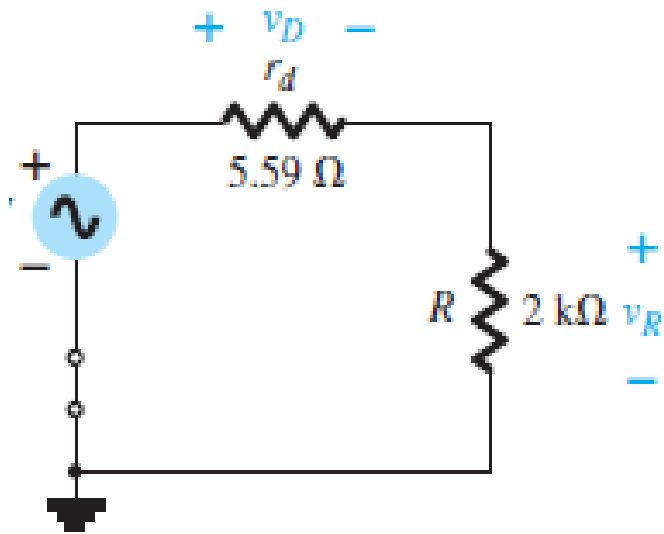


Elektronički Elementi i Sklopovi

Kod AC analize diodu zamijenimo dinamičkim otporom r_d :

$$(3) r_d = \frac{26 \text{ mV}}{I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{4.65 \text{ mA}} = 5.59 \Omega$$

Za AC analizu (kada se dioda zamijeni dinamičkim otporom) dobije se sklop na slici:



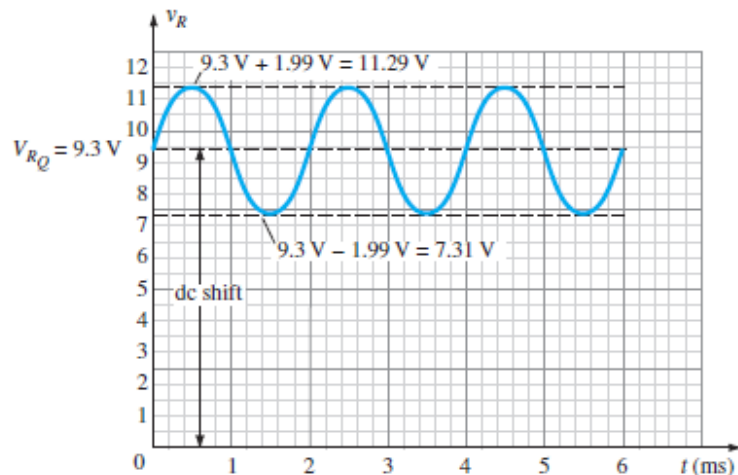
Elektronički Elementi i Sklopovi

Budući da je AC izvor sinusoidalan pogodno je izračunati vršne vrijednosti napona na diodi i otporu R :

$$(4) V_{R_{peak}} = \frac{2 \text{ k}\Omega \cdot 2V}{2 \text{ k}\Omega + 5.59\Omega} \cong 1.99V$$

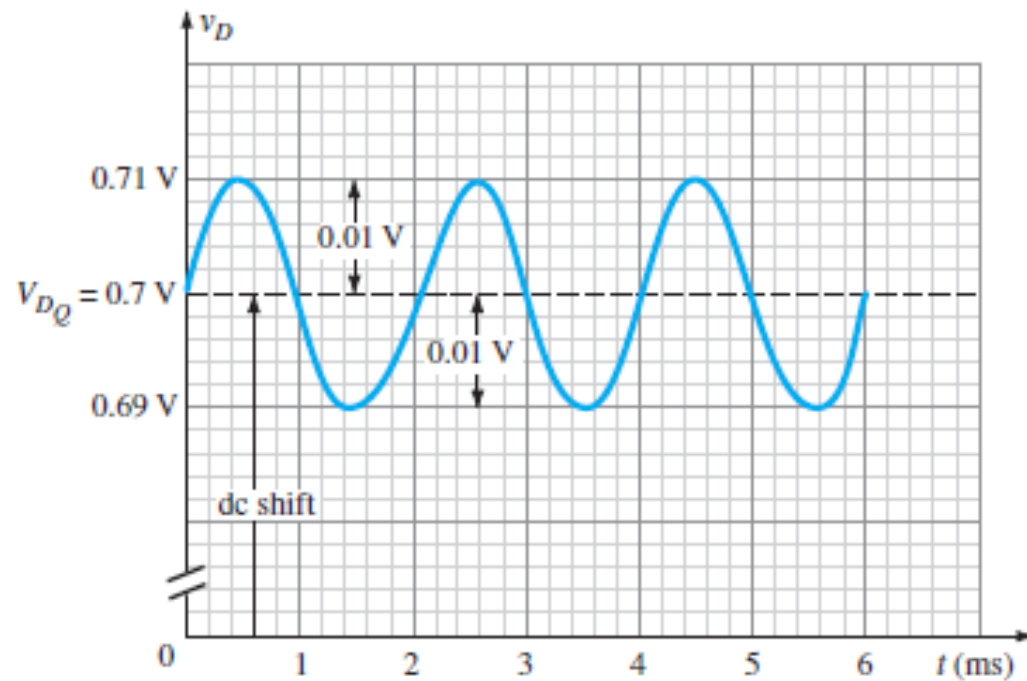
$$(5) V_{D_{peak}} = V_{S_{peak}} - V_{R_{peak}} = 2V - 1.99V = 0.01V = 10 \text{ mV}$$

Primjenjujući princip superpozicije za napon na otporu dobije se ukupni napon V_R :



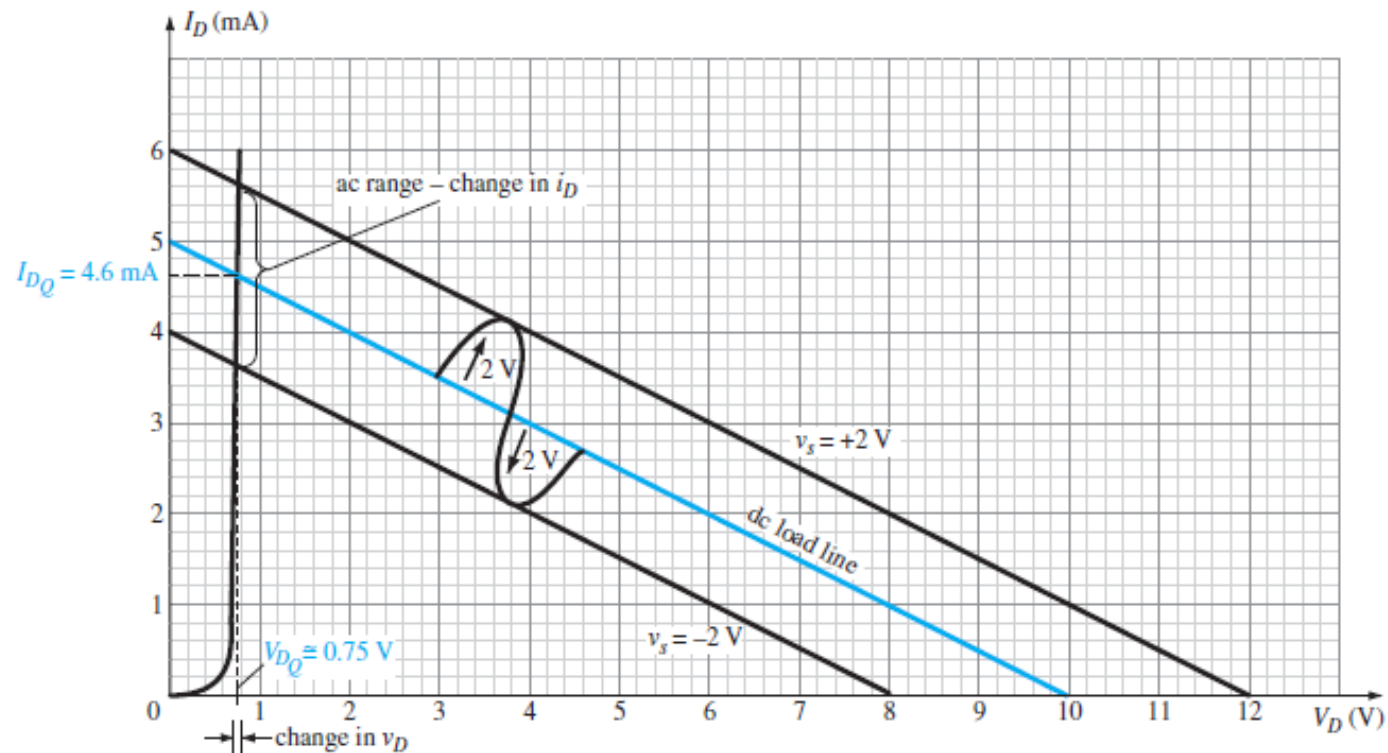
Elektronički Elementi i Sklopovi

Primjenom principa superpozicije dobije se i napon na diodi V_D :



Elektronički Elementi i Sklopovi

Osim primjenom principa superpozicije, naponi na otporu i diodi u sklopu koji sadrži AC i DC izvore mogu se izračunati pomoću karakteristike diode i linije tereta.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Vršne vrijednosti napona zbroja AC i DC izvora su 12V i 8V. Za te vrijednosti napona možemo crtati linije tereta gdje su vrijednost E/R (vertikalna os) 6 mA i 4mA. Na taj način se mogu nacrtati dvije linije tereta na prethodnoj slici.

Sa prethodne slike se može odrediti i struja u statičkoj radnoj točki:

$$(6) I_{DQ} = 4.6 \text{ mA}$$

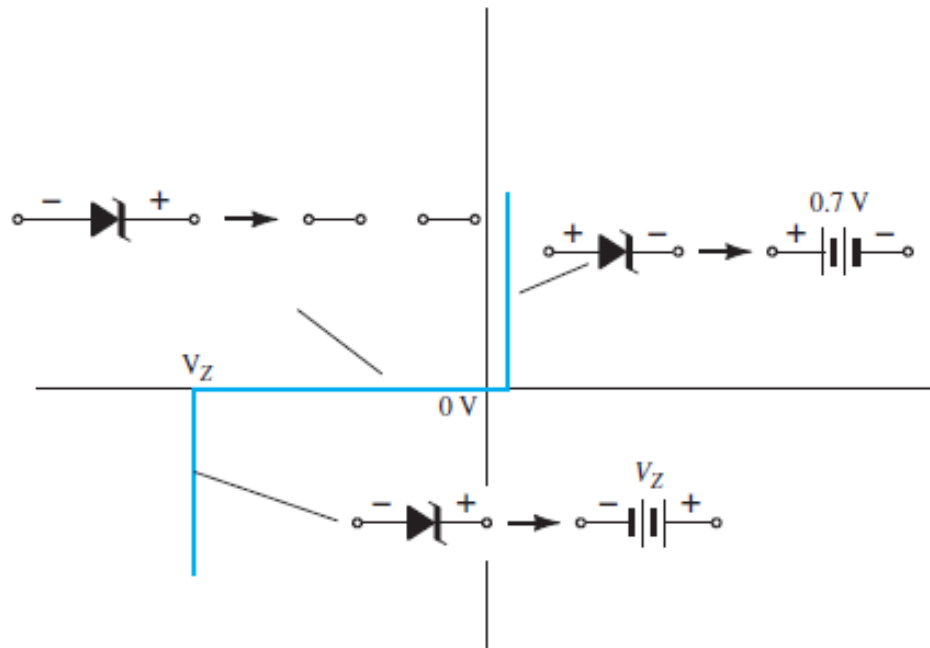
Iz struje u statičkoj radnoj točki može se naći i dinamički otpor:

$$(7) r_d = \frac{26 \text{ mV}}{4.6 \text{ mA}} = 5.65 \Omega$$

Vrijednost dinamičkog otpora dobivena u (7) je približno jednaka vrijednosti dinamičkog otpora dobivenog u izrazu (2).

Elektronički Elementi i Sklopovi

Analiza sklopova sa Zenner diodama je dosta slična analizi sklopova sa običnim diodama. Prvo se mora utvrditi stanje Zenner diode (propusna polarizacija, Zennerovo područje, nepropusna polarizacija, itd...) te se zatim mora primjeniti adekvatni model.

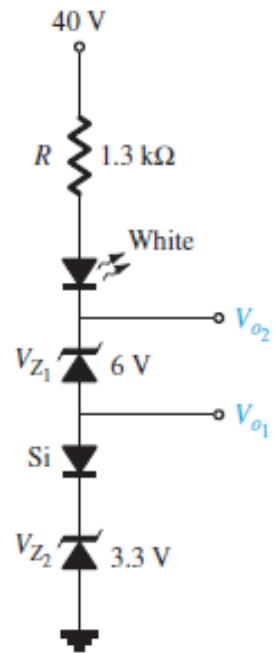


Jedno od najvažnijih područja primjene Zennerovih dioda su regulacijski sklopovi.

Regulacijski sklopovi su takvi sklopovi čija je zadaća da izlazni napon bude konstantan.

Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 1. Treba odrediti referentne napone V_{D_1} i V_{D_2} za mrežu na slici. Bijela LED dioda je indikacija da je ulazni napon prisutan (power on). Također, treba izračunati struju kroz bijelu LED diodu. Kolika je absorbirana snaga na bijeloj LED diodi a kolika na Zenner diodi?



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje: da bi se odredilo stanje dioda, prvo treba provjeriti da li je napajanje dovoljno da sve serijske povezane diode budu uključene.

Pad napona na bijeloj LED diodi je 4V dok je ukupni pad napona na Zenner diodama 9.3V (3.3V + 6V).

Pad napona na propusno polariziranoj Si diodi je 0.7V.

Vidljivo je da je napon od +40V na ulazu dovoljan da sve diode budu „uključene”.

S obzirom na električnu mrežu na slici, Zenner diode se nalaze u Zennerovom području.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Izlazni napon V_{o_1} kombinacije 3.3V Zenner diode i Si diode:

$$(8) V_{o_1} = V_{Z_2} + V_K = 3.3V + 0.7V = 4V$$

Treba primjetiti da se napon od 4V postiže kombinacijom Si diode i 3.3V Zenner diode.

Izlazni napon V_{o_2} se može izračunati tako što se naponu V_{D_1} pridoda napon V_{Z_1} Zennerove diode od 6V:

$$(9) V_{o_2} = V_{o_1} + V_{Z_1} = 4V + 6V = 10V$$

Da bi se izračunala struja kroz bijeli led treba izračunati pad napona V_R na otporu R :

$$(10) V_R = 40V - V_{o_2} - V_{LED} = 40V - 10V - 4V = 26V$$

gdje je $V_{LED} = 4V$ pad napona na bijeloj LED diodi.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Struja I_{LED} kroz bijeli LED se može izračunati iz pada napona V_R na otporu R :

$$(11) I_{LED} = I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{26V}{1.3k\Omega} = 20mA$$

Iz (11) vidljivo je da struja I_{LED} dovoljno velika da bijeli LED može svijetliti odgovarajućim intenzitetom.

Snaga koju troši sklop na slici jednaka je produktu napona napajanja i struje napajanja I_S koja teče kroz sklop:

$$(12) P_S = E I_S = E I_R = 40V \cdot 20mA = 800mW$$

Snaga disipirana na LED diodi je:

$$(13) P_{LED} = V_{LED} I_{LED} = 4V \cdot 20mA = 80mW$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

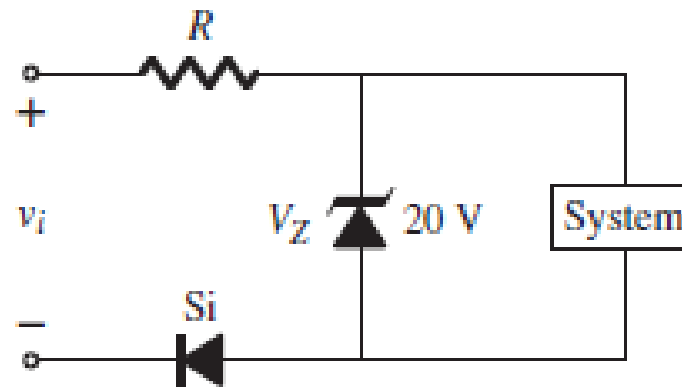
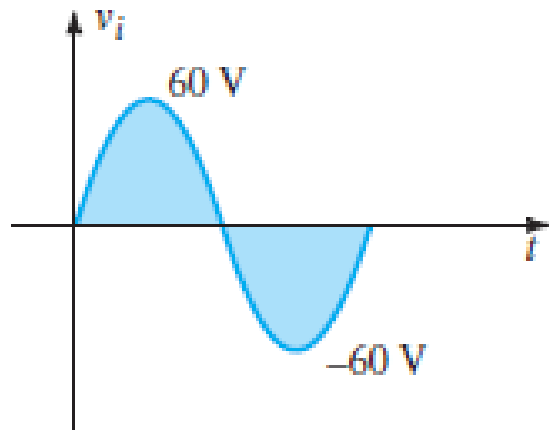
Snaga P_Z disipirana na 6V Zenner diodi:

$$(14) P_Z = V_Z I_Z = 6V \cdot 20 mA = 120 mW$$

Snaga disipirana na 6V Zenner diodi veća je od snage disipirane na bijeloj LED diodi za 40 mW.

Elektronički Elementi i Sklopovi

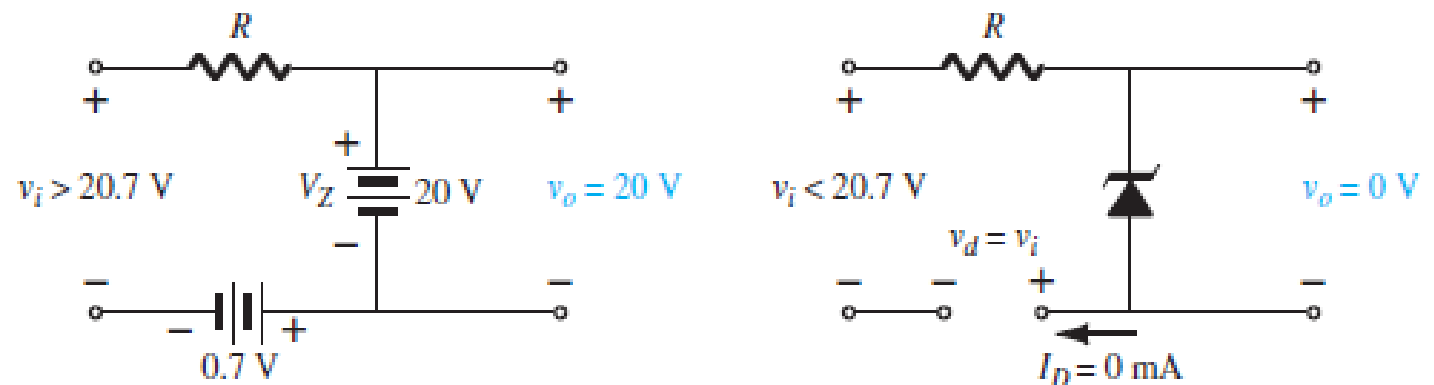
PRIMJER 2. Sklop na slici treba limitirati izlazni napon na 20V za vrijeme pozitivne poluperiode ulaznog signala te treba limitirati izlazni napon na 0V za vrijeme negativne poluperiode ulaznog signala. Treba skicirati oblik izlaznog napona (system). Pretpostavka je da system ima vrlo veliki ulazni otpor te ne mijenja funkcioniranje sklopa.



Elektronički Elementi i Sklopovi

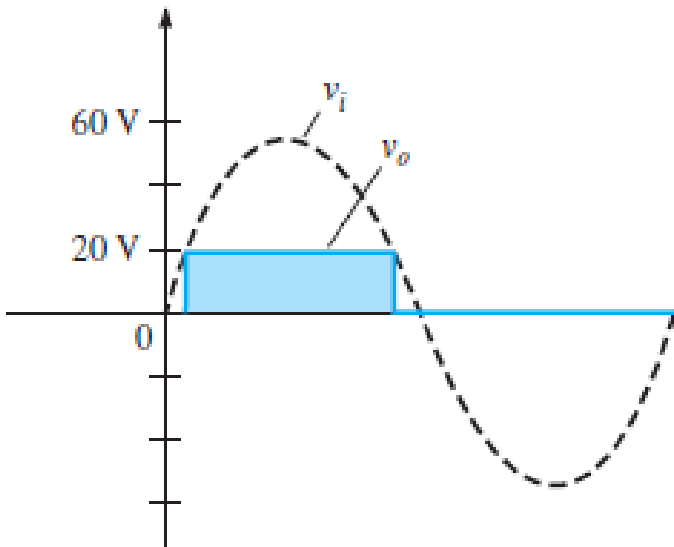
Rješenje: za pozitivne poluperiode ulaznog signala iznosa manjeg od 20V Zenner diodu možemo zamijeniti otvorenim krugom. Kad ulazni napon dosegne 20V tada se Zenner dioda nalazi u Zennerovom području. Daljnje povećanje napona će se odraziti samo na napon na otporu R , dok će napon na Zenner diodi ostati isti.

Za negativne poluperiode signala, silicijeva dioda je reverzno polarizirana te se može zamijeniti otvorenim krugom. U tom slučaju struja ne teče kroz otpor R te je pad napona na otporu R i na Zenner diodi jednak nuli.



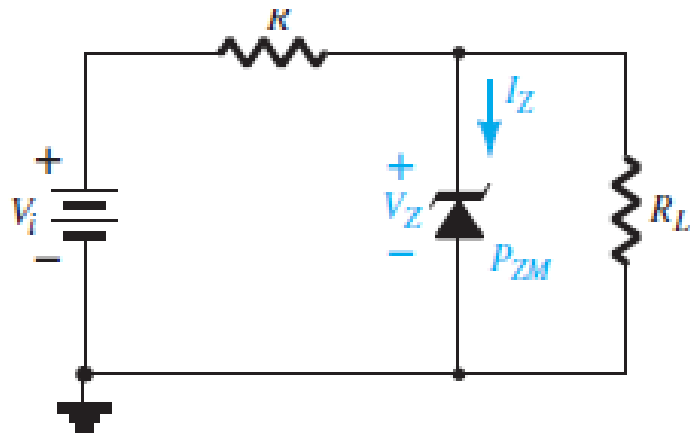
Elektronički Elementi i Sklopovi

Rezultirajuća karakteristika je označena plavom bojom na slici:



Elektronički Elementi i Sklopovi

Najjednostavnija vrsta Zennerovog regulatora je kada ulazni napon smatramo fiksnim, isto kao i teret.

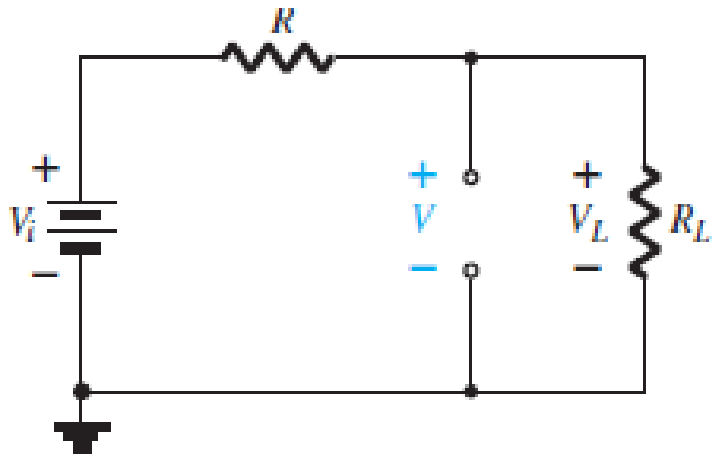


Analiza regulatora se može provesti u dva osnovna koraka.

1. Treba odrediti stanje na Zenner diodi tako što ćemo Zenner diodu ukloniti iz mreže te ćemo izračunati napone za otvoreni krug.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Kada se ukloni Zenner dioda tada imamo jednostavno naponsko djelilo:



Napon na teretu R_L može se izračunati iz izraza:

$$(15) V = V_L = \frac{R_L v_i}{R + R_L}$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Za jednostavni Zennerov regulator može se primjetiti:

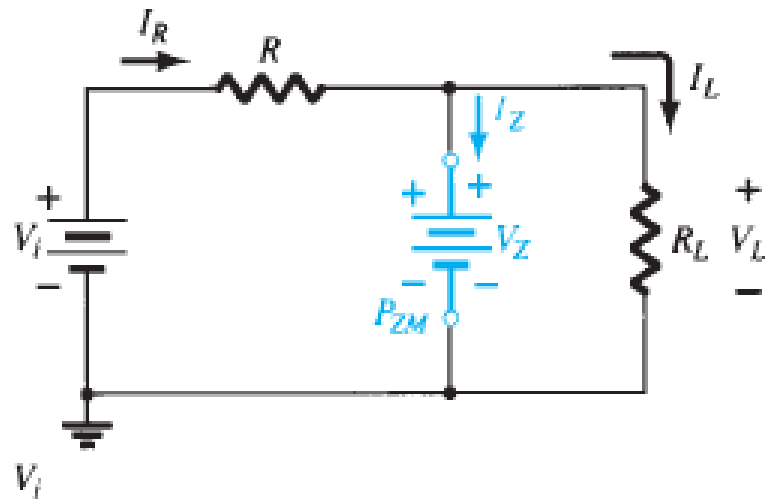
(a) ako je $V \geq V_Z$, Zennerova dioda je uključena i može se zamijeniti odgovarajućim nadomjesnim sklopom

(b) ako je $V < V_Z$ Zennerova dioda je isključena te se može nadomjestiti otvorenim krugom

2. Zennerova dioda se zamijeni odgovarajućim nadomjesnim modelom te se izračunaju odgovarajuće nepoznate veličine.

Za jednostavni Zennerov regulator, ako je Zenner dioda uključena možemo nacrtati odgovarajuću nadomjesnu shemu:

Elektronički Elementi i Sklopovi



Uporabom Kirchhoffovog zakona za struje dobije se:

$$(16) I_R = I_Z + I_L$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Iz jednadžbe (16) dobije se izraz za struju kroz Zenner diodu:

$$(17) I_Z = I_R - I_L$$

gdje je I_L struja kroz teret R_L te se može naći iz izraza:

$$(18) I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

Struja kroz otpor R dobije se pomoću jednadžbe:

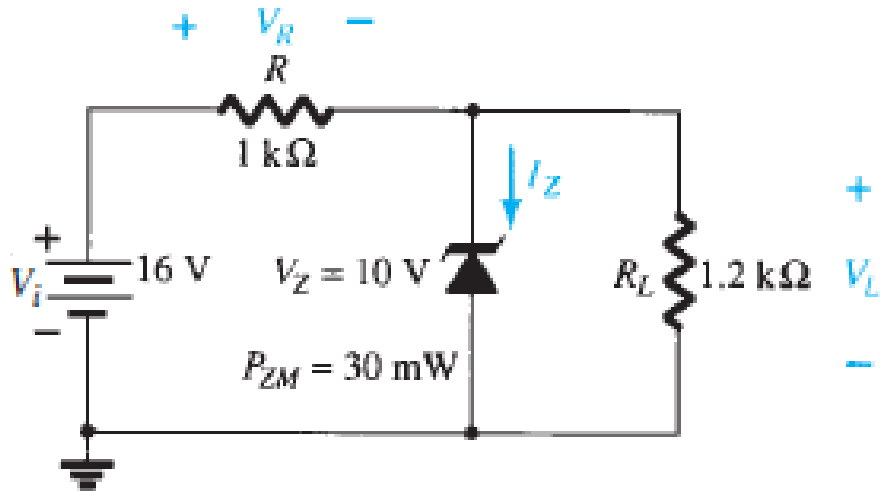
$$(19) I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_i - V_L}{R}$$

Snaga disipirana na Zenner diodi:

$$(20) P_Z = V_Z I_Z$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 3. Za sklop sa slike treba izračunati V_L , V_R , I_Z i P_Z . Ponoviti zadatak ako je $R = 3 \text{ k}\Omega$. Provjeriti da li je disipirana snaga na Zenner diodi veća od maksimalne dopuštene!

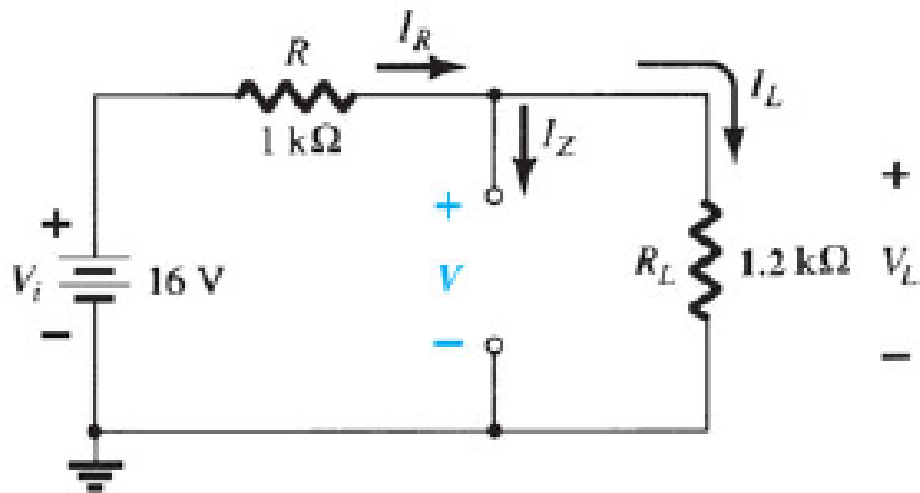


Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje: po prethodno opisanoj proceduri Zennerovu diodu uklonimo iz sklopa te izračunamo napon:

$$(21) V = \frac{R_L V_i}{R + R_L} = \frac{1.2 \text{ k}\Omega \cdot 16 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega} = 8.73 \text{ V}$$

Budući da je napon $V = 8.73 \text{ V}$ Zennerova dioda je isključena.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Tražene veličine proračunamo kao:

$$(22) V_L = V = 8.73 V$$

$$(23) V_R = V_i - V_L = 16V - 8.73V = 7.27V$$

$$(24) I_Z = 0 A$$

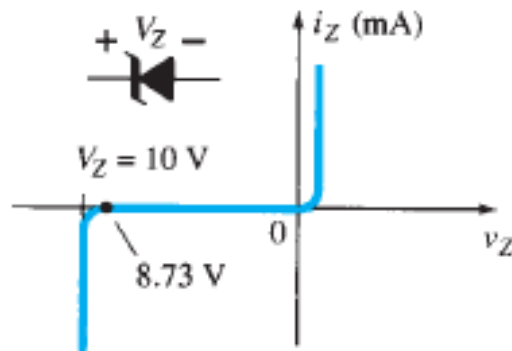
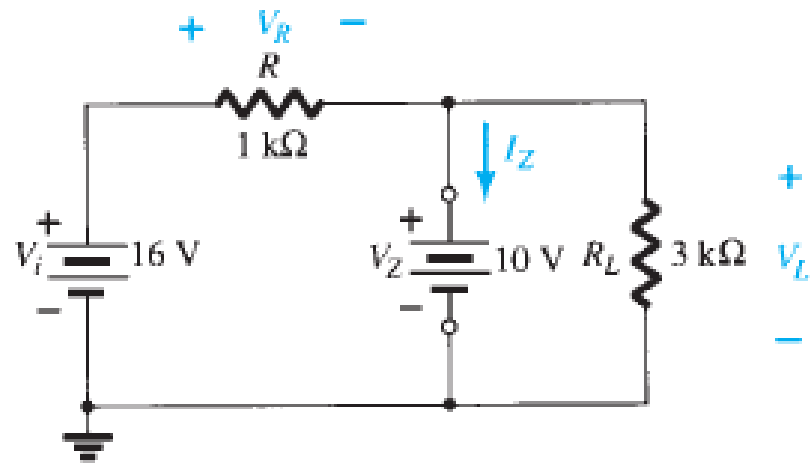
$$(25) P_Z = V_Z I_Z = V_Z \cdot 0A = 0 W$$

U slučaju kada je otpor $R = 3 k\Omega$ ponovimo analiz tako što ćemo isključiti Zenner diodu iz sklopa:

$$(27) V = \frac{R_L V_i}{R + R_L} = \frac{3 k\Omega \cdot 16 V}{1 k\Omega + 3 k\Omega} = 12 V$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Budući da je $V > V_Z$ Zennerova dioda je „uključena”, tj. nalazi se u Zennerovom području. Zbog toga Zennerovu diodu treba nadomjestiti naponskim izvorom:



Elektronički Elementi i Sklopovi

U tom slučaju tražene veličine su:

$$(28) V_L = V_Z = 10 V$$

$$(29) V_R = V_i - V_L = 16V - 10V = 6V$$

$$(30) I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10 V}{3 k\Omega} = 3.33 mA$$

$$(31) I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{6V}{1 k\Omega} = 6 mA$$

$$(32) I_Z = I_R - I_L = 6 mA - 3.33 mA = 2.67 mA$$

Snaga P_Z disipirana na Zenner diodi:

$$(33) P_Z = V_Z I_Z = 10V \cdot 2.67mA = 26.7 mW$$

Snaga disipirana na Zenner diodi je manja od maksimalne dopuštene disipirane snage.