

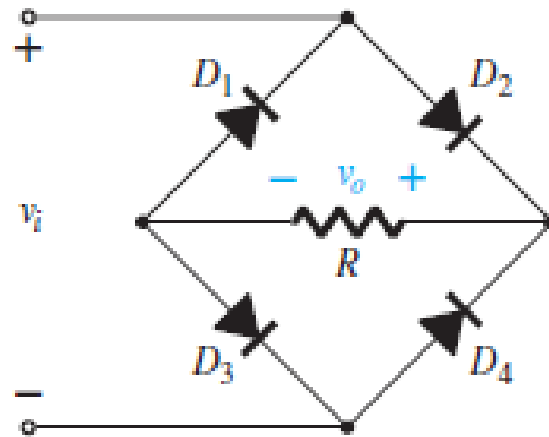
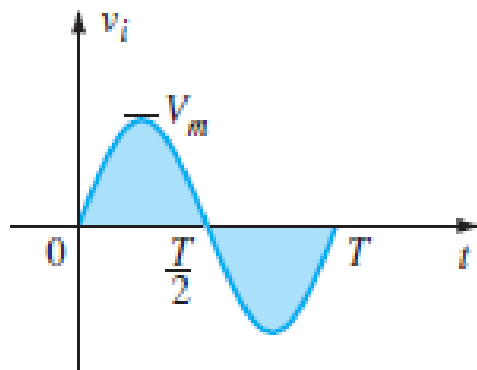
Elektronički Elementi i Sklopovi

Sadržaj predavanja:

1. Punovalni ispravljač
2. Rezni sklopovi
3. Pritezni sklopovi

Elektronički Elementi i Sklopovi

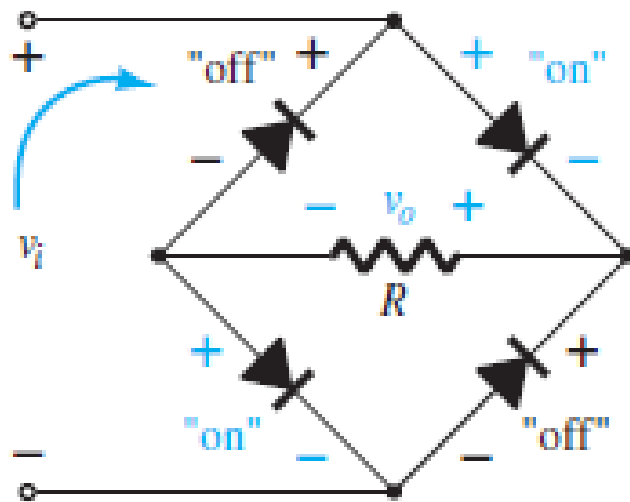
Najčešći sklop punovalnog ispravljača se može realizirati pomoću 4 diode i otpornika:



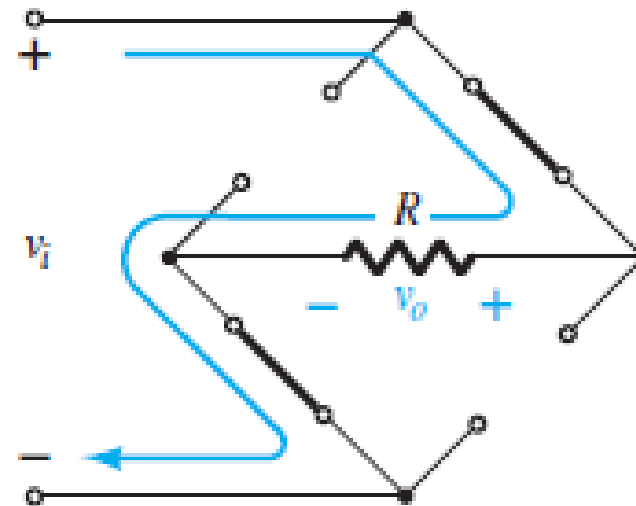
Na slici je ulazni signal sinusoidalnog oblika (označen oznakom v_i) dok je izlaz napon na otporu R , kojega označujemo simbolom v_o (eng. *output voltage*).

Elektronički Elementi i Sklopovi

Za poluperiod $0 < t < \frac{T}{2}$ diode D_2 i D_3 su propusno polarizirane kao što je prikazano na slici:



Za pozitivne poluperiode napona v_i , diode D_2 i D_3 su propusno polarizirane (dok su diode D_1 i D_4 nepropusno polarizirane)

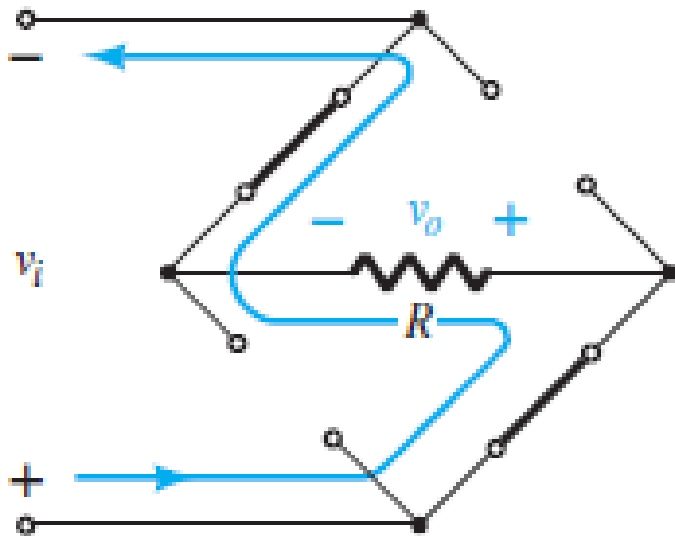


Smijer struja i modeliranje pomoću modela idealne diode za pozitivnu poluperiodu v_i (kada je $0 < t < \frac{T}{2}$)

Elektronički Elementi i Sklopovi

Ako nadomjestimo diode D_1, D_2, D_3, D_4 idealnim diodama tada izlazni napon v_o prati ulazni napon v_i (za pozitivnu poluperiodu).

Za analizu negativne poluperiode ulaznog signala (kada $\frac{T}{2} < t < T$) možemo se opet poslužiti nadomjesnim sklopom idealne diode:



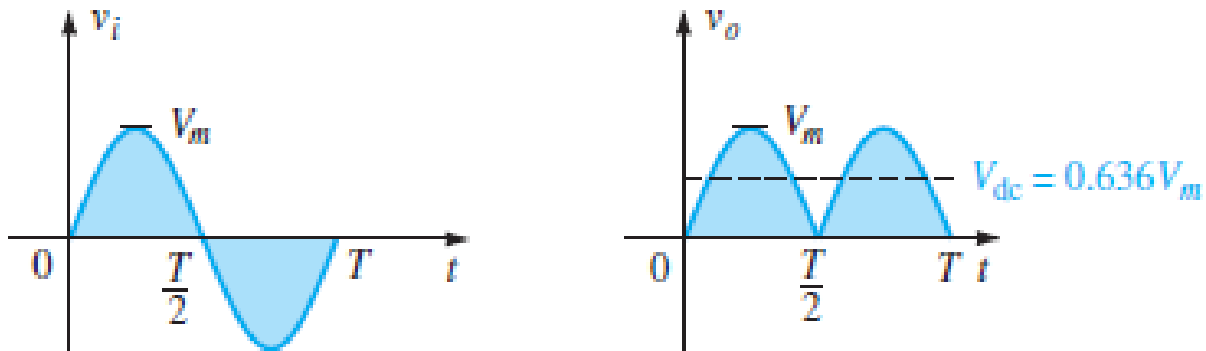
Za negativnu poluperiodu (kada $\frac{T}{2} < t < T$) diode D_1 i D_4 su propusno polarizirane a diode D_2 i D_3 su nepropusno polarizirane.

Iz slike je vidljivo da je izlazni napon v_o za negativnu poluperiodu isti kao i za pozitivnu poluperiodu.

Dakle postiže se efekt ispravljanja ulaznog napona v_i .

Elektronički Elementi i Sklopovi

Kod nadomjesnog sklopa idealne diode, forme izlaznog i ulaznog signala za punovalni ispravljač su kao na slici:



Prosječni izlazni napon V_{dc} se može izračunati iz formule:

$$(1) V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Za idealnu diodu izlazni signal poluvalnog ispravljača v_o se može predstaviti jednačbom:

$$(2) v_o(t) = v_m |\sin(\omega t)|$$

Kutna frekvencija ω ovisi o periodu T izlaznog signala:

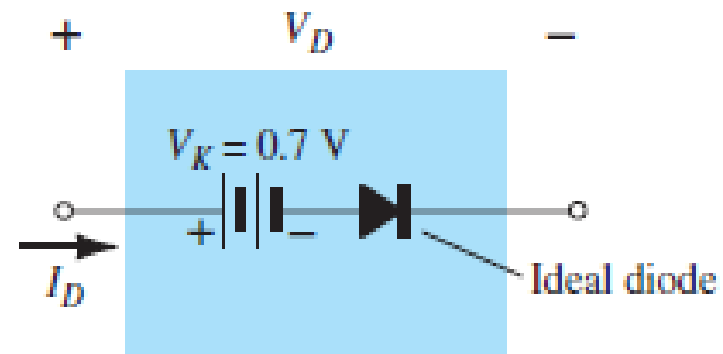
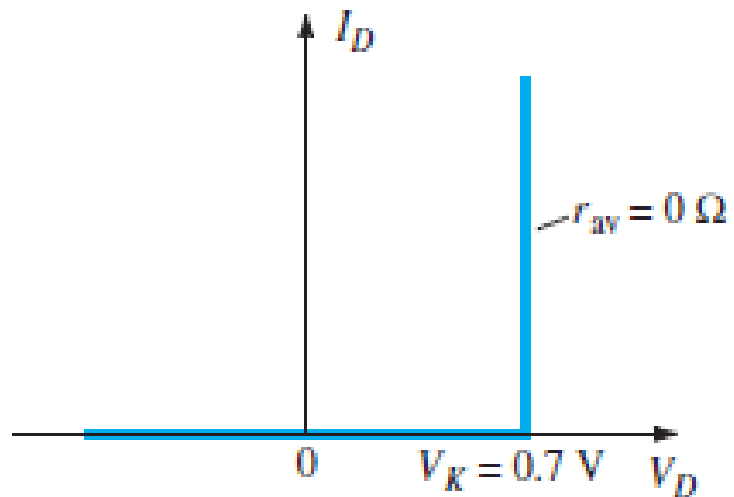
$$(3) \omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T}$$

Uvrštavajući (2) i (3) u (1) te integriranjem dobije se srednja vrijednost V_{dc} izlaznog napona:

$$(4) V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v_m |\sin(\omega t)| dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} v_m \sin(\omega t) dt = -\frac{2}{\omega T} v_m \cos(\omega t) \Big|_{t=0}^{t=T/2}$$
$$= -\frac{2v_m}{\omega T} [\cos(\pi) - \cos(0)] = -\frac{2v_m}{\omega T} (-2) = -\frac{2v_m}{2\pi \frac{1}{T} T} (-2) = \frac{2v_m}{\pi} = 0.636 v_m$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Osim pomoću idealnog modela diode, punovalni ispravljač se može analizirati pomoću jednostavnog modela diode.



Jednostavni model silicijeve diode ($V_K = 0.7 \text{ V}$)

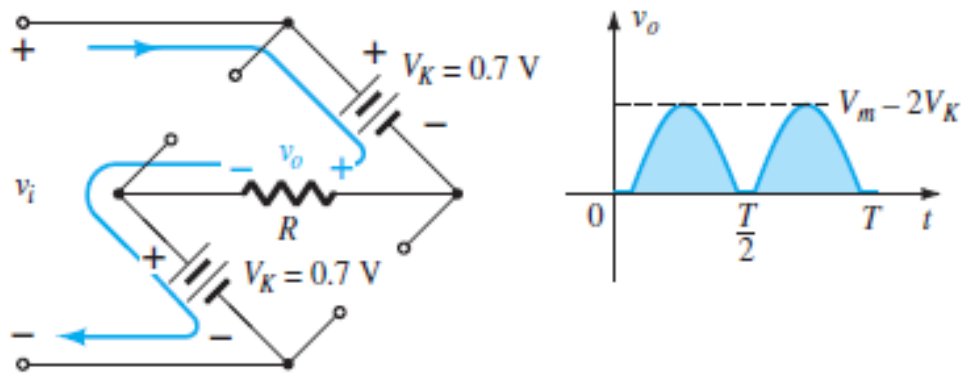
Elektronički Elementi i Sklopovi

Ako koristimo jednostavni model diode onda se pomoću Kirchhoffovih zakona može pisati (za pozitivnu poluperiodu):

$$(5) v_i - V_K - v_0 - V_K = 0$$

Iz jednadžbe (5) jednostavnom manipulacijom slijedi:

$$(6) v_0 = v_i - 2V_K$$



Iz (6) je vidljivo da je amplituda izlaznog signala umanjena za 2 napona koljena V_K .

Elektronički Elementi i Sklopovi

Kombinirajući izraze (4) i (6) može se dobiti izraz za srednju vrijednost izlaznog napona ako koristimo jednostavni model diode:

$$(7) V_{dc} = 0.636(V_m - 2V_K)$$

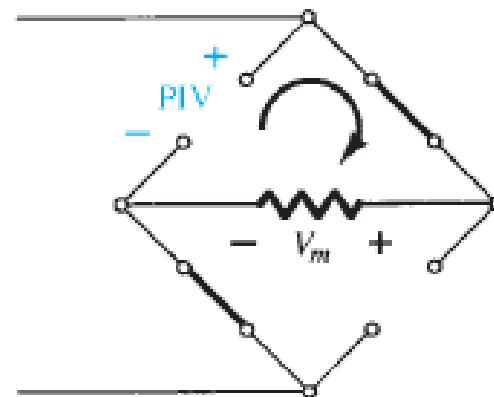
Iz (7) se može zaključiti da je idealna dioda dobra aproksimacija ako je $V_m \gg 2V_K$.

Također treba imati u vidu da amplituda ulaznog signala V_m ne može biti beskonačna. Ona najviše ovisi o PIV (eng. *peak inverse voltage*) parametru diode.

Ako je $V_m > PIV$ tada dolazi do proboja diode.

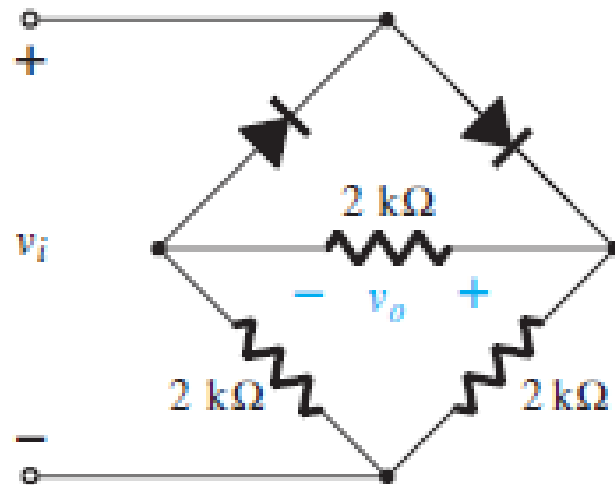
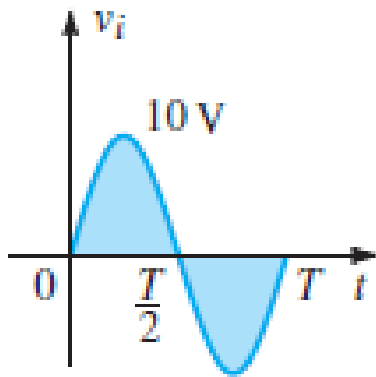
Za punovalni ispravljač uvijek mora biti ispunjeno:

$$(8) V_m \geq PIV$$



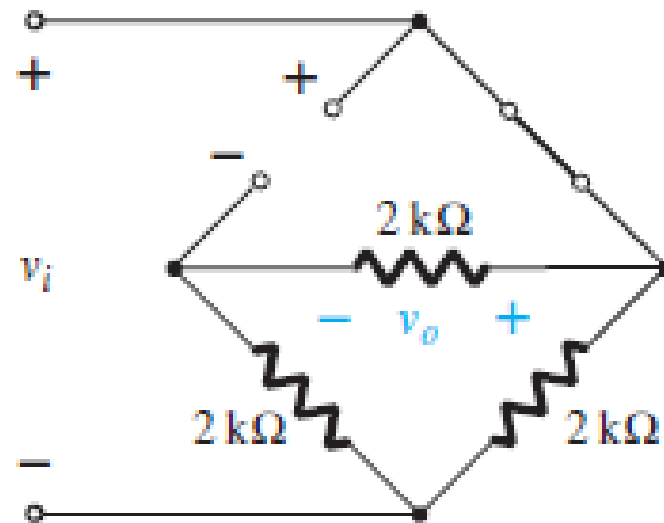
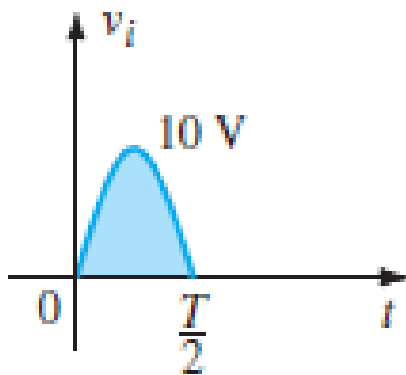
Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 1. Za električnu mrežu na slici treba odrediti oblik izlaznog signala ako je ulazni signal v_i kao na slici. Treba izračunati prosječni izlazni napon kao i potreban PIV. (koristiti nadomjesni model idealne diode).



Elektronički Elementi i Sklopovi

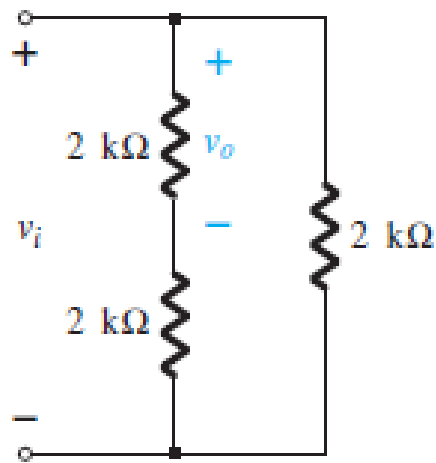
Rješenje: za poluperiodu $0 < t < \frac{T}{2}$, sklop na slici se može nadomjestiti modelom idealne diode kao na slici:



Kod modela idealne diode, propusno polarizirana dioda se zamijeni kratkim spojem dok se nepropusno polarizirana dioda zamijeni otvorenim krugom.

Elektronički Elementi i Sklopovi

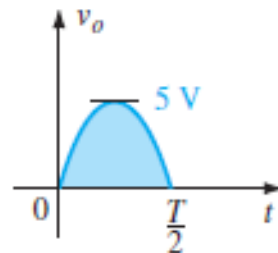
Električna mreža na prethodnoj slici (pozitivna poluperioda ulaznog signala) se može nadomjestiti sljedećim sklopom:



Sa slike je vidljivo da je izlazni napon v_o jednak polovici ulaznog napona v_i (naponsko dijelilo). Dakle imamo da je za pozitivnu poluperiodu:

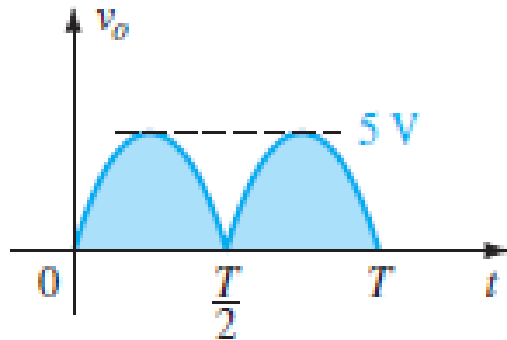
$$(9) v_o = \frac{1}{2} v_i$$

Zbog toga je izlazni signal za pozitivnu poluperiodu kao na slici:



Elektronički Elementi i Sklopovi

Analiza za negativnu poluperiodu je slična jedino što je izlazni napon pozitivan (zbog smijera struja). Dakle, skica izlaznog signala je:



Srednja vrijednost izlaznog napona v_o se može izračunati iz izraza (4) uvrštavajući da je $v_m = 5V$:

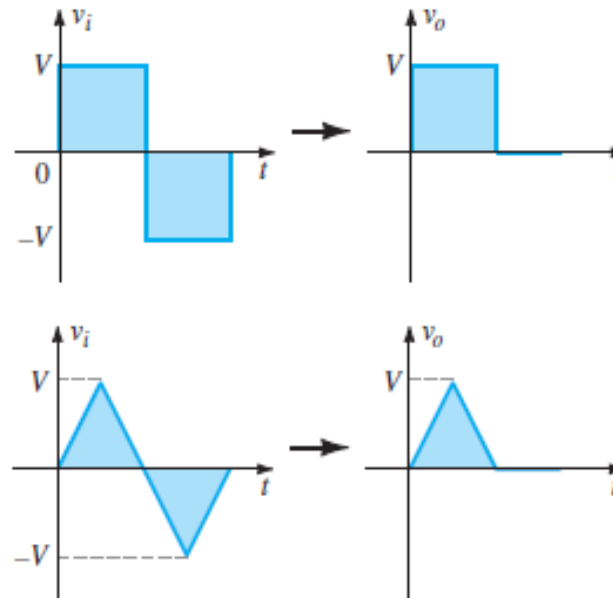
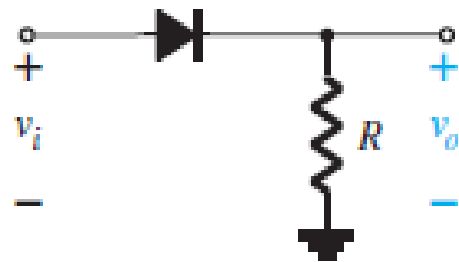
$$(10) V_{dc} = 0.636 v_m = 0.636 \cdot 5V = 3.18 V$$

Potrebni PIV se može naći iz skice sa otvorenim krugom. Maksimalni napon na otporu između dvije diode je 5V, što znači da reverzno polarizirana dioda mora moći podnijeti -5V bez proboja. Dakle $PIV = 5V$.

Elektronički Elementi i Sklopovi

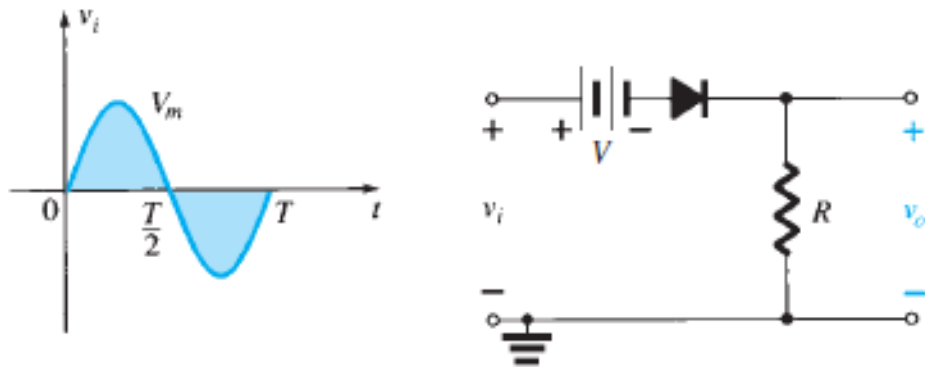
Rezni sklopovi su takvi sklopovi koji odrežu dio karakteristike ulaznog signala dok ostali dio karakteristike ostane nepromjenjen.

Do sada smo upoznali jedan od reznih sklopova – poluvalni ispravljač.



Elektronički Elementi i Sklopovi

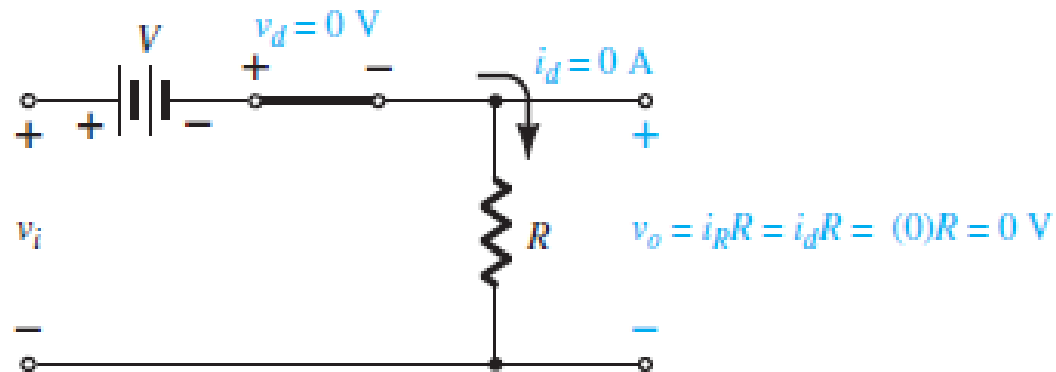
Ako poluvalnom ispravljaču u seriju dodamo naponski izvor V tada moramo provesti posebnu analizu ovakvog sklopa. Sklop na slici je također rezni sklop.



U sklopu na slici treba uočiti da dioda počinje voditi kada je $v_i > V$. U prvoj aproksimaciji, ovaj sklop analiziramo pomoću modela idealne diode.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Za model idealne diode, ako dioda vodi tada diodu možemo zamijeniti kratkim spojem:



U tom slučaju je ulazni napon v_i veći od napona naponskog izvora V :

$$(11) v_i > V$$

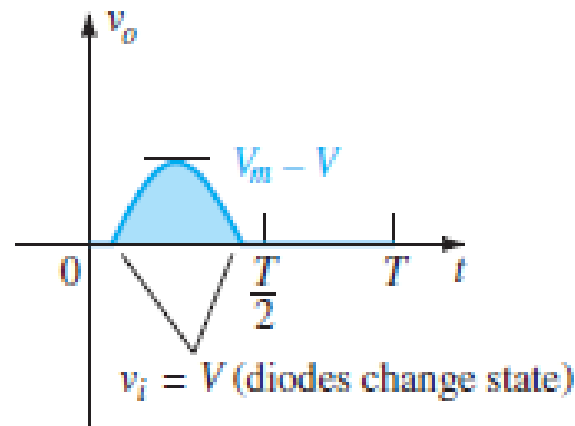
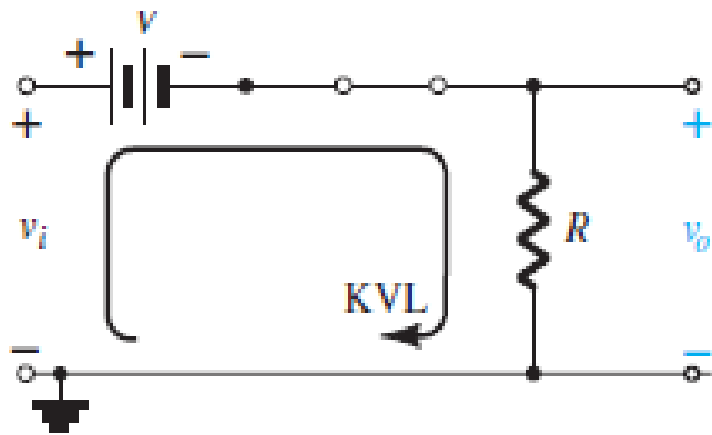
Elektronički Elementi i Sklopovi

Ako je $v_i > V$ (dioda je u području propusne polarizacije) tada se uz pomoć Kirchhoffovog zakona za napone dobije da je izlazni napon v_o :

$$(12) v_o = v_i - V$$

Ako dioda ne vodi tada je izlazni napon v_o :

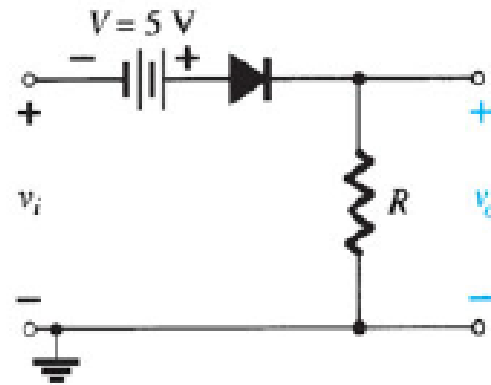
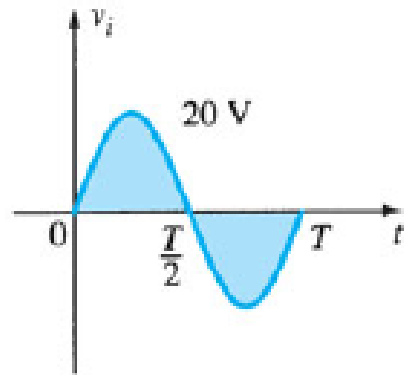
$$(13) v_o = 0$$



Oblik izlaznog signala za rezni sklop.

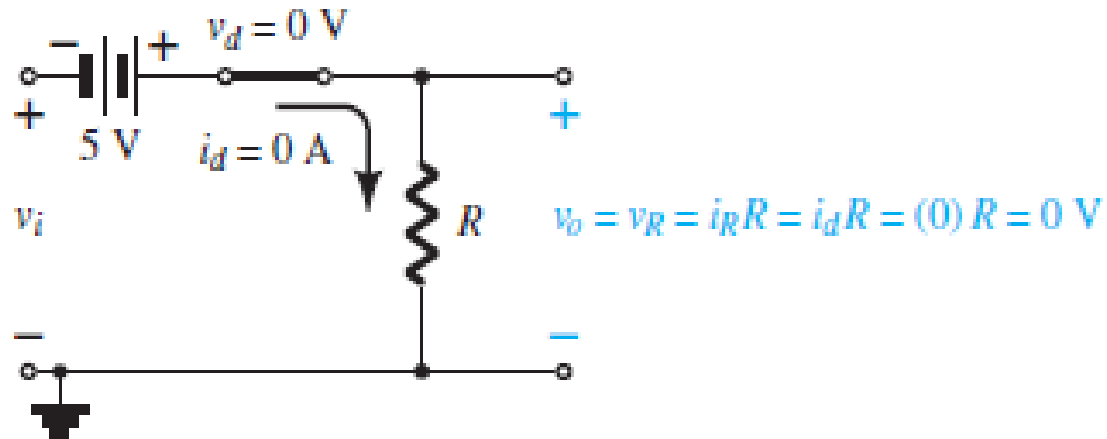
Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 2. Za mrežu na slici skicirati izlazni signal ako je ulazni signal sinusoidalan i amplitude 20V. Koristiti nadomjesni model idealne diode za analizu mreže.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje: prvo što treba primjetiti da je izlazni napon v_o napon na otporu R . Ako koristimo nadomjesni model idealne diode tada za propusno polariziranu diodu možemo crtati slijedeću električnu shemu:



Ako dioda vodi tada uporabom Kirchhoffovog zakona za napone pišemo:

$$(14) v_i + V = v_o$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

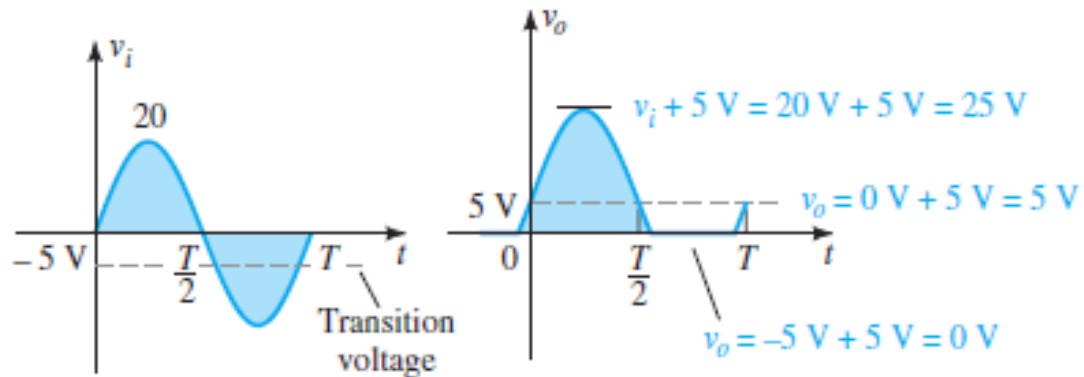
Idealna dioda počinje voditi kada je napon na idealnoj diodi 0V. Da bi našli vodljivo područje sklopa iz zadatka postavimo da je $v_0 = 0V$. Uvrštavajući $v_0 = 0V$ u jednadžbu (14) dobije se:

$$(15) v_i + V = 0$$

Dakle, dioda je u vodljivom području za sve ulazne napone v_i za koje vrijedi:

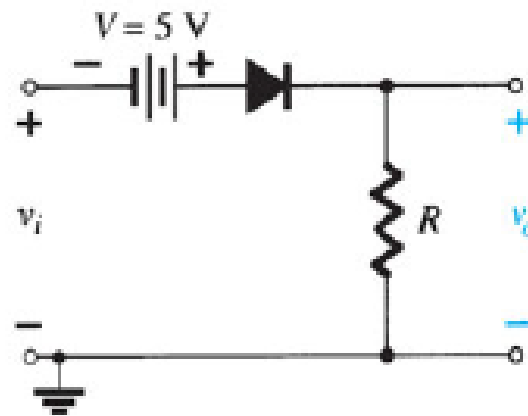
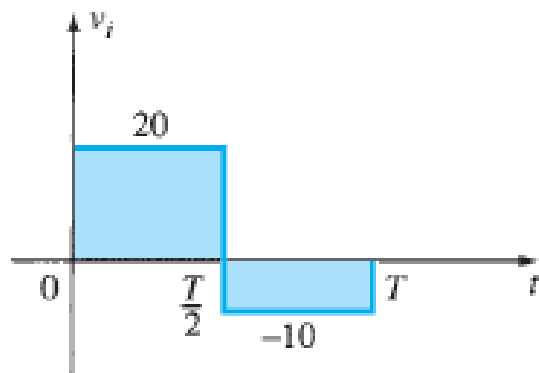
$$(16) v_i > -5V$$

Kada dioda vodi ulazni napon je uvećan za 5V što je vidljivo iz jednadžbe (14). Zbog toga je forma izlaznog napona kao na slici:



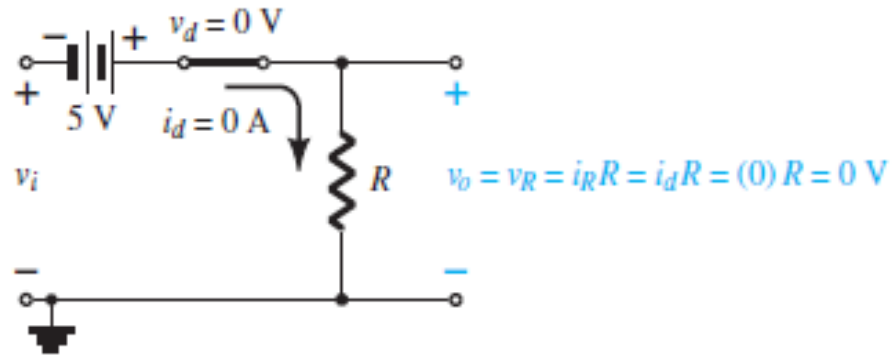
Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 3. Za sklop na slici treba skicirati izlazni signal ako je ulazni signal pravokutnog oblika kao na slici. Koristiti model idealne diode.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje: slično kao i u prethodnom primjeru (za model idealne diode) kada dioda vodi, diodu možemo nadomjestiti kratkim spojem:

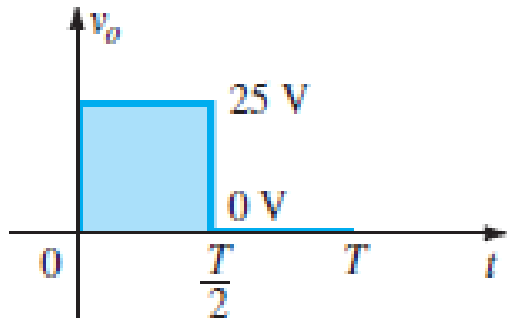


U tom slučaju (kada dioda vodi) imamo da je izlazni napon jednak ulaznom uvećanom za 5V:

$$(17) v_i + 5V = v_o$$

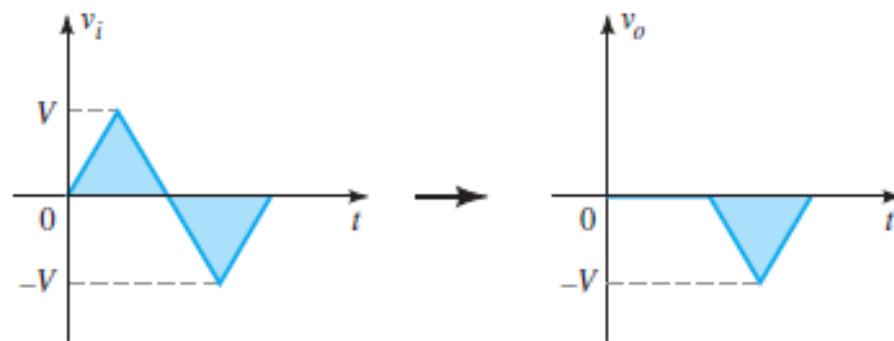
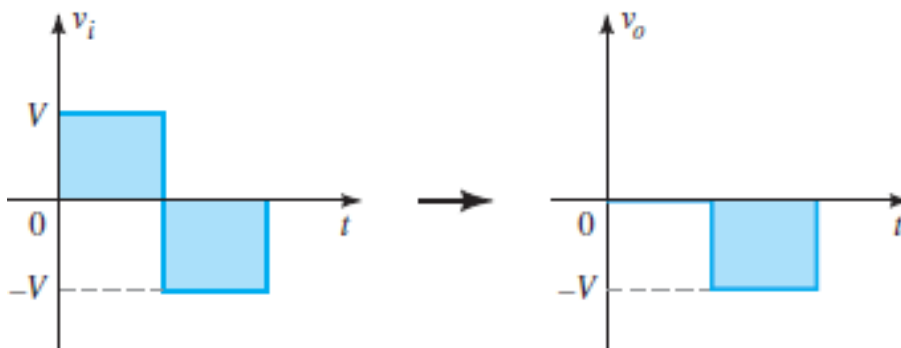
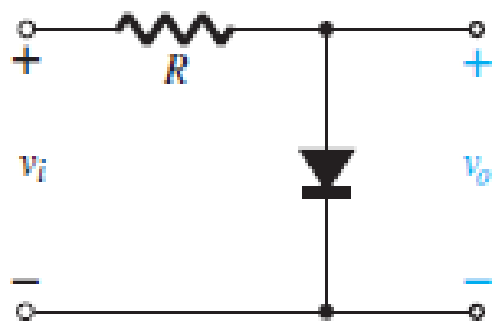
Elektronički Elementi i Sklopovi

Ako je ulazni napon manji od -5V , što proizlazi iz jednadžbe (17), dioda ne vodi i može se zamijeniti otvorenim krugom. Zbog toga je izlazni napon v_o kao na slici:



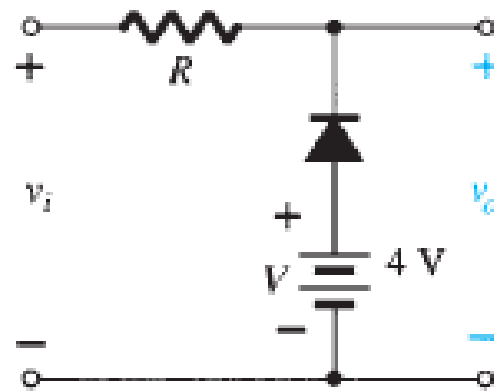
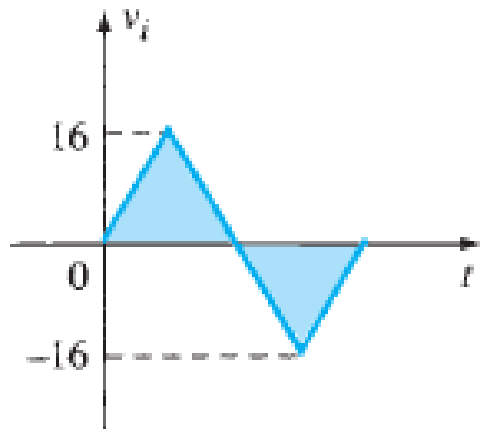
Elektronički Elementi i Sklopovi

Ako je dioda u paralelnoj kombinaciji, tj. ako je izlazni napon v_o mjereno na diodi, analiza je vrlo slična kao kada je dioda spojena u seriju.



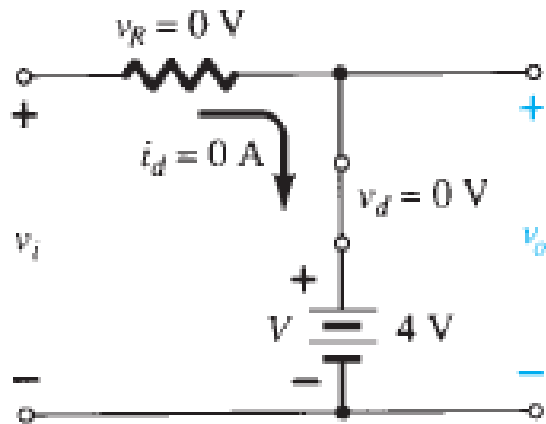
Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 3. Za sklop na slici treba skicirati izlazni signal ako je ulazni signal pravokutnog oblika kao na slici. Koristiti model idealne diode.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje: ako dioda vodi, tada se zbog modela idealne diode, dioda zamijeni kratkim spojem.



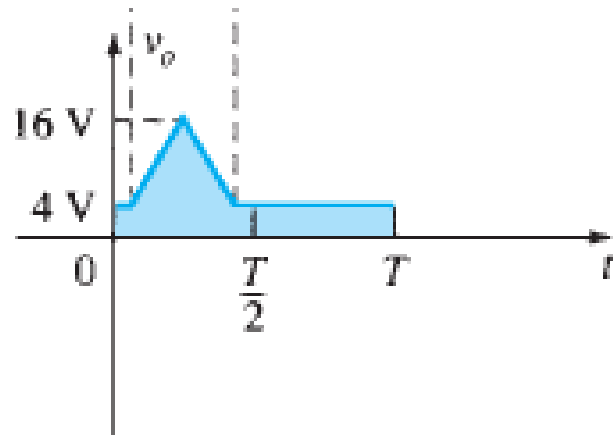
Da se utvrdi područje tranzicije (iz vodljivog u nevodljivo stanje) možemo uzeti u obzir trenutak kada dioda počinje voditi. Iz slike je vidljivo da je to u trenutku kada je:

$$(18) v_i = 4V$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

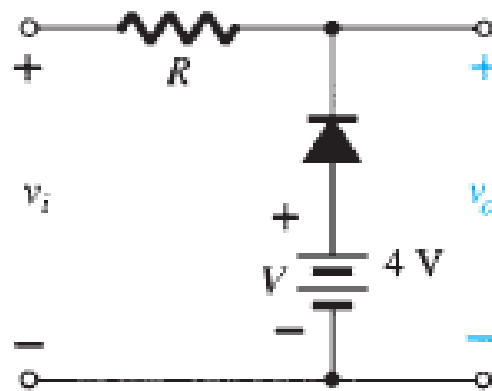
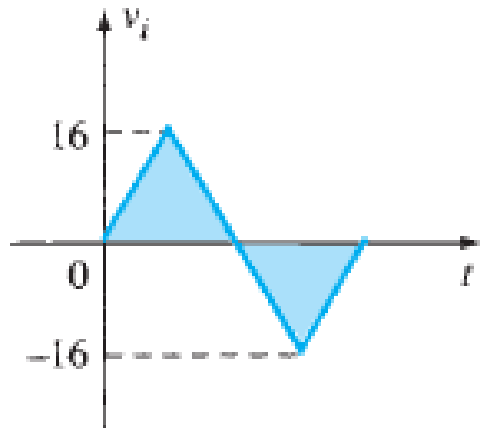
Ako je ulazni napon v_i manji od 4V tada je izlazni napon jednak 4V (zbog naponskog izvora).

Ako je ulazni napon v_i veći od 4V tada dioda ne vodi te je izlazni napon v_o jednak ulaznom (za model idealne diode). Zbog toga je izlazni napon kao na slici:



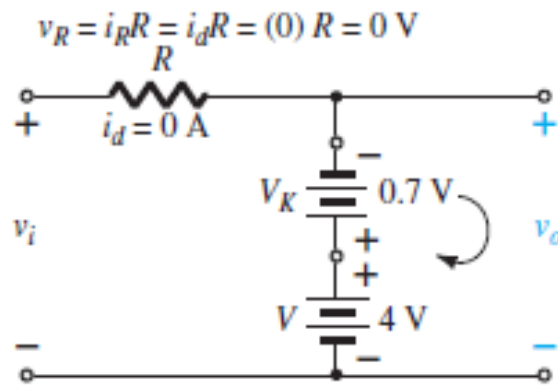
Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 3. Za sklop na slici treba skicirati izlazni signal ako je ulazni signal pravokutnog oblika kao na slici. Koristiti nadomjesni model silicijeve diode sa naponom koljena $V_K = 0.7V$.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje: ako dioda vodi, tada u slučaju jednostavnog modela silicijeve diode sa naponom koljena $V_K = 0.7V$ možemo crtati slijedeći nadomjesni sklop:



Prvo što treba odrediti je tranzicijski nivo, tj. naponski nivo kada dioda prelazi iz vodljivog u nevodljivo stanje i obrnuto.

Tranzicijski naponski nivo možemo odrediti uporabom jednostavnog modela silicijeve diode i korištenjem Kirchhoffovog zakona za napone:

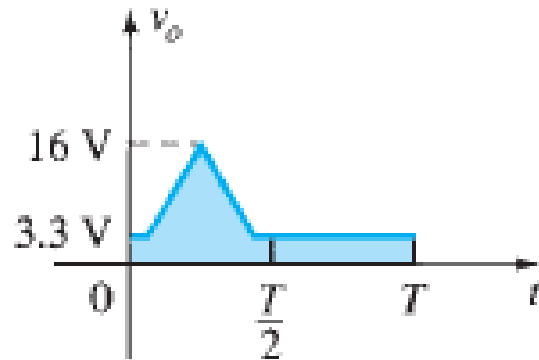
$$(19) v_i = 4V - 0.7V = 3.3V$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Dakle ako je ulazni napon v_i veći od 3.3V tada dioda ne vodi te izlazni napon prati ulazni napon.

Ako je ulazni napon v_i manji od 3.3V tada dioda provede i na njoj je napon koljena $V_K = 0.7V$ (za jednostavni model silicijeve diode).

Zbog toga je karakteristika izlaznog signala kao na slici:

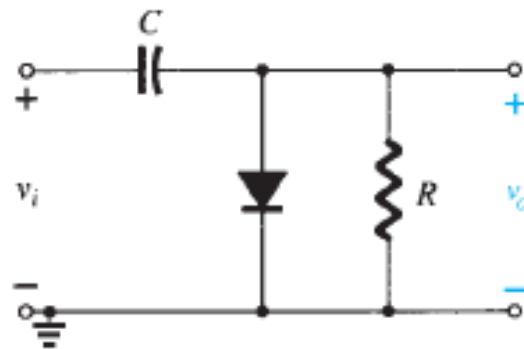
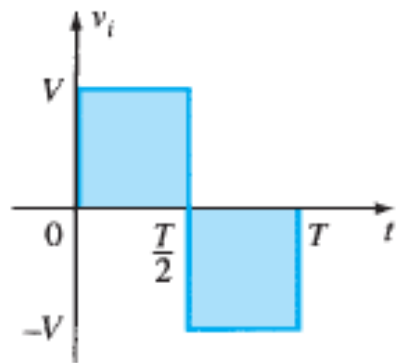


Elektronički Elementi i Sklopovi

Pomoću diode, otpornika i kondenzatora može se realizirati i pritezni sklop.

Pritezni sklop je sklop koji se sastoji od diode, otpornika i kondenzatora kojemu je zadatak da pomakne DC nivo ulaznog signala bez da mijenja naponski oblik (formu) ulaznog signala.

Iznost otpora R i kapaciteta C u priteznom sklopu mora biti takav da je vremenska konstanta $\tau = RC$ dovoljno velika da se kondenzator C ne može bitnije isprazniti u vremenu kada dioda ne vodi.



Jednostavan pritezni sklop.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Iz prethodne slike vidi se i druga bitna značajka priteznog sklopa:

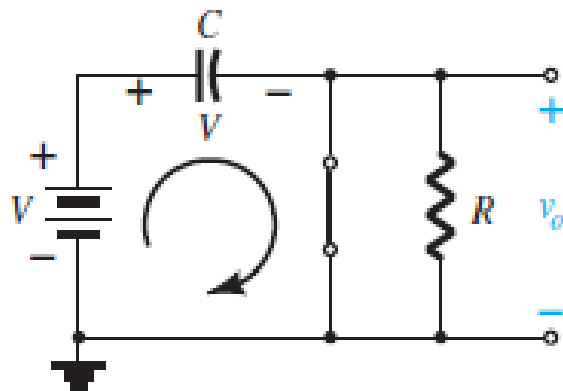
Pritezni sklop ima kondenzator spojen direktno na ulaz te je otpor paralelan izlaznom signalu. Dioda je također paralelna otporu, tj. izlaznom signalu.

Analizu priteznog sklopa možemo provesti u nekoliko uobičajenih koraka koristeći jednostavne aproksimacije:

1. U prvoj aproksimaciji koristimo nadomjesni sklop idealne diode. Pretpostavimo da dioda vodi te je zamijenimo kratkim spojem.
2. U vremenskom periodu kada dioda provodi pretpostavljamo da se kondenzator trenutno napuni do naponskog nivoa koji je određen okolnom električnom mrežom.
3. Pretpostavlja se da kada dioda ne vodi da je kondenzator na naponskom nivou utvrđenom u prethodnom koraku.

Elektronički Elementi i Sklopovi

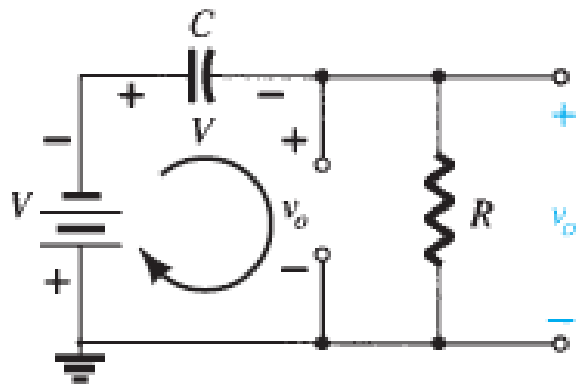
Kada dioda vodi tada se pritezni sklop (zbog modela idealne diode) može nadomjestiti slijedećom električnom shemom:



Zbog pretpostavke (2) tj. Zbog aproksimacije da se kondenzator trenutno napuni, vidimo da je naponski nivo na kondenzatoru V . Zbog toga, i zbog toga što je dioda prikazana kratkim spojem (idealna dioda) izlazni naponski nivo $v_o = 0$ kada dioda vodi.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Na ulazu je bio pravokutni naponski signal. Možemo uzeti kada ulazni napon v_i promjeni polaritet, da je dioda ne vodi. Za model idealne diode pritezni sklop se može nadomjestiti sklopom na slici:



Zbog pretpostavke (3) napon na kondenzatoru je V u periodu kada dioda ne vodi. Ta pretpostavka je približno ispunjena ako je vremenska konstanta $\tau = RC \geq 5T$.

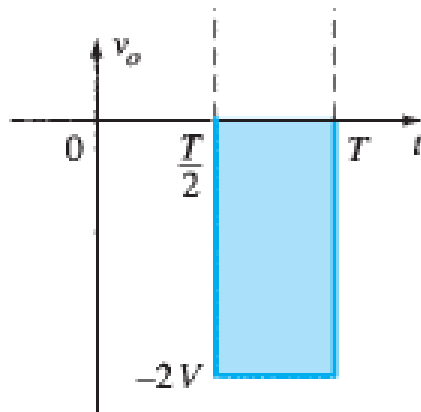
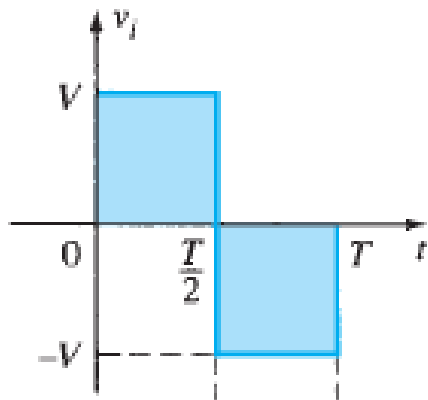
Elektronički Elementi i Sklopovi

Budući da je izlazni napon v_o napon na otporu R , uporabom Kirchhoffovog zakona za napone možemo pisati:

$$(20) -V - V - v_o = 0$$

Iz jednadžbe (20) proizlazi da je izlazni napon v_o u periodu kada dioda ne vodi:

$$(21) v_o = -2V$$

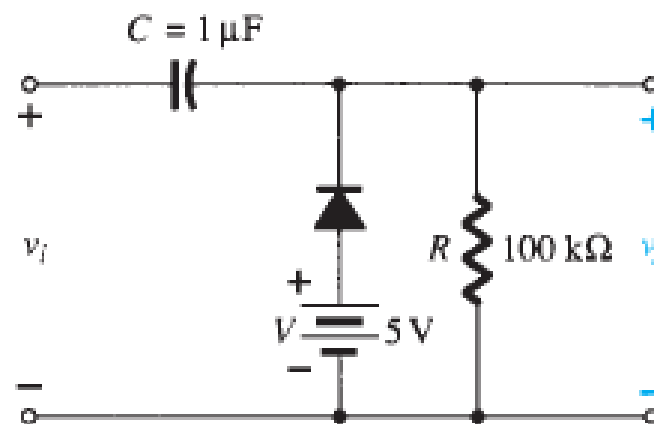
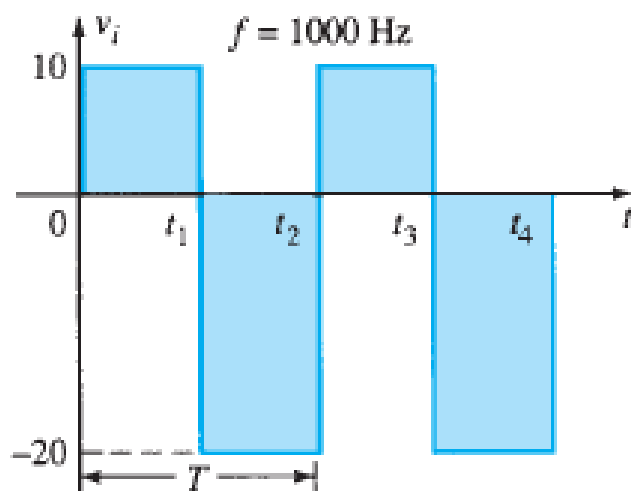


Skica ulaznog i izlaznog napona za pritezni sklop.

Izlazni naponski oblik je jednak ulaznom, sa tom razlikom da je izlazni napon pomaknut za $-5V$ DC.

Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 5. Za sklop na slici treba skicirati izlazni signal ako je ulazni signal pravokutnog oblika kao na slici. Koristiti model idealne diode.



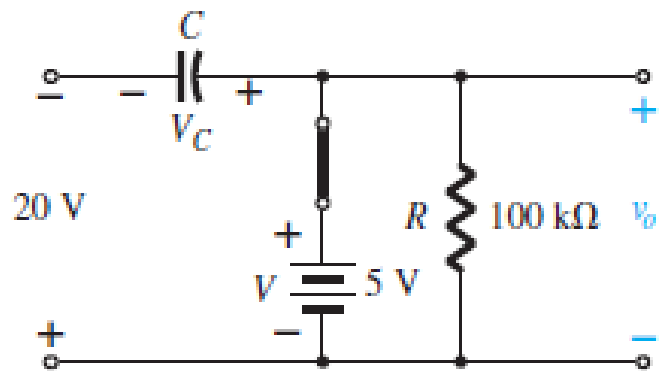
Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje: prvo treba primjetiti da je frekvencija $f = 1000 \text{ Hz}$, što znači da je period $T = 1 \text{ ms}$. Vremenska konstanta sklopa τ se može izračunati kao:

$$(22) \tau = RC = 100 \text{ k}\Omega \cdot 1 \mu\text{F} = 100 \text{ ms}$$

što znači da vremenska konstanta τ ispunjava uvjet $\tau = RC \geq 5T$.

Za negativne poluperiode ulaznog signala može se pretpostaviti da dioda vodi te možemo koristiti nadomjesni sklop na slici:



Elektronički Elementi i Sklopovi

Kada dioda vodi, uporabom drugog Kirchhoffovog zakona možemo pisati jednadžbu:

$$(23) -20V + V_C - 5V = 0$$

Dakle napon na koji se nabije kondenzator C iznosi:

$$(24) V_C = 25 V$$

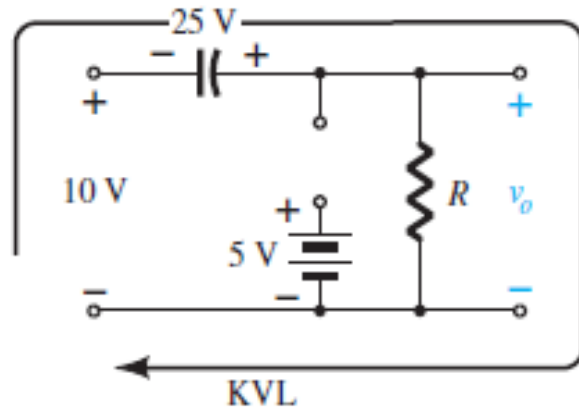
Za ovaj slučaj može se izračunati i izlazni napon:

$$(25) V_o = 5 V$$

Kada dioda ne vodi, zbog modela idealne diode, diodu možemo zamijeniti otvorenim krugom. Međutim smatramo da je kondenzator nabijen na napon $V_C = 25 V$.

Elektronički Elementi i Sklopovi

Nadomjesni sklop vremenskom periodu kada dioda ne vodi:



Uporabom Kirchhoffovog zakona za napone možemo izračunati izlazni napon v_o kada dioda ne vodi:

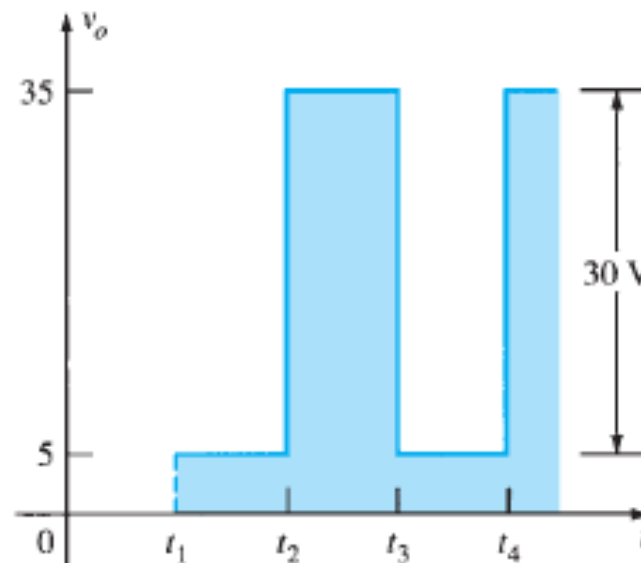
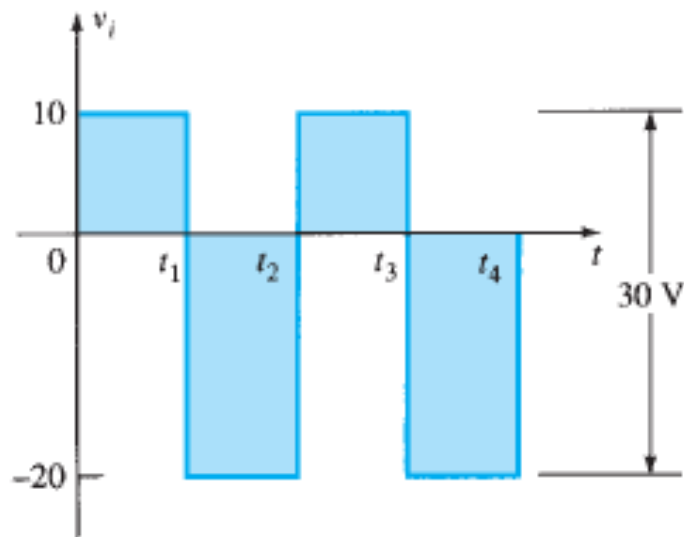
$$(26) +10V + 25V - v_o = 0$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Iz jednadžbe (26) proizlazi da je izlazni napon v_o za vrijeme me kada dioda ne vodi:

$$(27) v_o = 35V$$

Dakle naponski oblik izlaznog napona v_o je kao na slici:



Iz slike je vidljivo da je pritezni sklop zadržao istu naponsku formu ali je promijenio DC nivo!