

Elektronički Elementi i Sklopovi

Sadržaj predavanja:

1. Teoretski zadaci sa diodama
2. Analiza linije tereta
3. Elektronički sklopovi sa diodama
4. „I” i „ILI” vrata
5. Poluvalni ispravljač

Teoretski zadaci o diodama

24. Izračunati statički i dinamički otpor za diodu iz zadatka 18 (na 25°C) pri struji propusne polarizacije od 10mA. Usporediti rezultate!

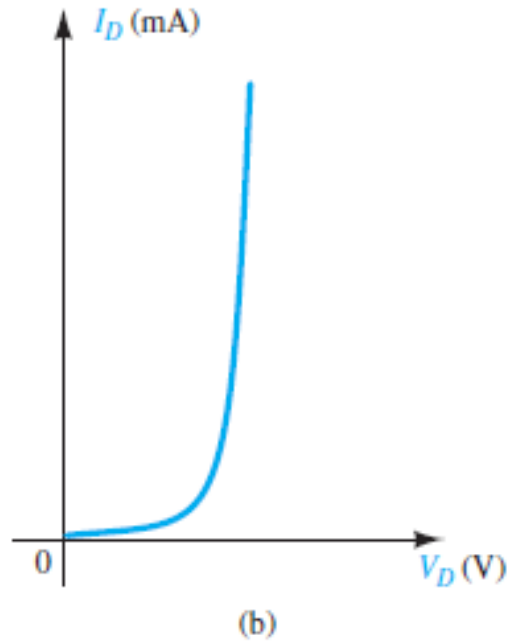
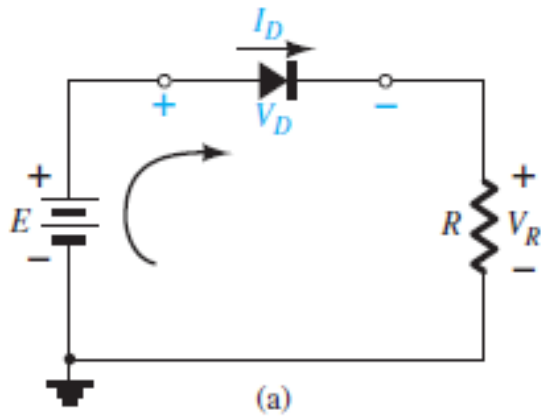
25. Za struju od 10mA izračunati dinamički otpor diode koristeći jednadžbu (8). Zatim treba odrediti dinamički otpor iz karakteristike na slici iz zadatka 18 (na 25°C) pod pretpostavkom da je AC struja na diodi sinusoidalnog oblika $I_D = 10mA + 5mA \sin(\omega t)$. Usporediti dobivene dinamičke otpore i objasniti razliku.

26. Izračunati dinamički otpor diode za struje $I_D = 1mA$ i $I_D = 15mA$ (na 25°C) . Zaključite što se generalno događa sa dinamičkim otporom diode ako struja propusne polarizacije raste.

27. Kapacitet diode je 8pF kad napon nije narinut na diodu. Napon koljena diode je $V_K = 0.7V$ i faktor $n = \frac{1}{2}$. Koliki je kapacitet osiromašenog sloja ako je dioda reverzno polarizirana naponom od -5V ?

28. Odrediti temperaturni koeficijent nominalne 5V Zenner diode (nominalne vrijednosti su na 25°C) ako Zennerov napon padne na 4.8V na temperaturi 100°C.

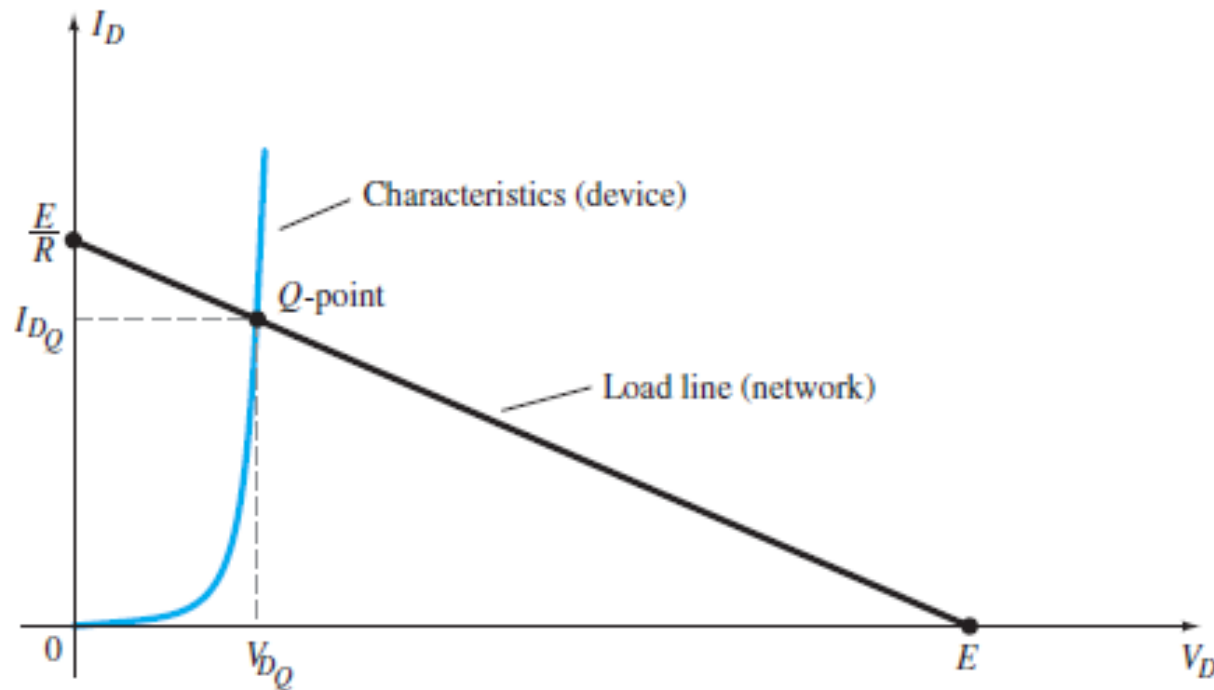
Analiza linije tereta



Analiza linije terete započinje karakteristikom diode i analizom parametara električne mreže.

Rješenje sklopa na slici podrazumijeva računanje struja i napona koji zadovoljavaju karakteristiku diode i koji zadovoljavaju jednačbe dobivene pomoću analize električne mreže.

Analiza linije tereta



Ravnu liniju na slici nazivamo još i *linijom tereta*.

Sjecište linije tereta sa vertikalnom osi je definirano omjerom $\frac{E}{R}$.

Sjecište linije tereta sa horizontalnim teretom je definirano naponom E u sklopu na prethodnoj slici.

Linija tereta definira i radnu točku Q budući da je radna točka sjecište linije tereta i karakteristike diode.

Analiza linije tereta

Za sklop na slici pomoću Kirchhoffovih zakona može se napisati jednačina:

$$(1) +E - V_D - V_R = 0$$

Budući da je napon na otporu V_R jednak $V_R = I_D R$ može se napisati:

$$(2) E = V_D + I_D R$$

Jednačina (2) je jednačina pravca te sadrži dvije nepoznanice I_D i V_D . Pravac (2) je lako nacrtati ako postavimo da je $V_D = 0$ (sjecište sa vertikalnom osi) i I_D (sjecište sa horizontalnom osi). Tako iz (2) proizlazi:

$$(3) I_D = \left. \frac{E}{R} \right|_{V_D=0}$$

Analiza linije tereta

Sjecište sa horizontalnom osi se dobije iz (2) postavljajući da je $I_D = 0$:

$$(4) V_D = E|_{I_D=0A}$$

Kao što je spomenuto, sjecište linije tereta i strujno naponske karakteristike diode definira radnu točku. Statička radna točka Q nije ništa drugo nego rješenje nelinearnog sustava jednažbi:

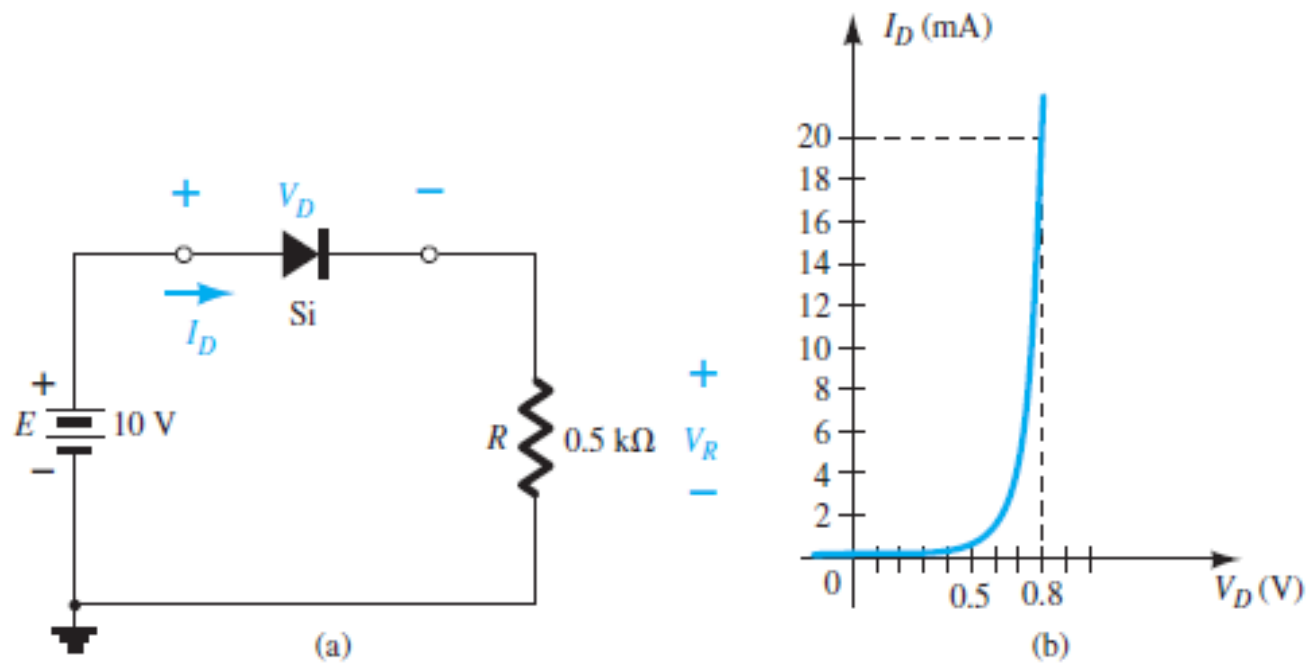
$$(5) I_D = \frac{E}{R} - \frac{V_D}{R}$$

$$(6) I_D = I_S(e^{V_D/nV_T} - 1)$$

Da bi se riješio sustav dan jednažbama (5) i (6) treba koristiti tehnike rješavanja nelinearnog sustava jednažbi. Jedna od metoda rješavanja je grafička metoda koja nam daje statičku radnu točku Q kao rješenje.

Analiza linije tereta

PRIMJER 1: Za diodu spojenu u seriju kao na slici treba naći napon V_{DQ} i struju I_{DQ} (dakle struju i napon u radnoj točki) te napon na otporu R .



Analiza linije tereta

Rješenje:

Pomoću jednadžbi (3) i (4) dobiju se dvije točke na liniji tereta:

$$(7) I_D = \frac{E}{R} \Big|_{V_D=0} = \frac{10V}{0.5 k\Omega} = 20 mA$$

$$(8) V_D = E \Big|_{I_D=0A} = 10V$$

Iz karakteristike diode na prethodnoj slici mogu se grafički pronaći napon V_{DQ} i struja I_{DQ} kao:

$$(9) V_{DQ} \cong 0.78V$$

$$(10) I_{DQ} \cong 18.5 mA$$

Napon na otporu R iznosi:

$$(11) V_R = E - V_{DQ} = 9.22 V$$

Analiza linije tereta

Linija tereta je određena samo električnom mrežom dok je strujno naponska karakteristika određena poluvodičkim uređajem.

Primjerice ako promjenimo model kojim predstavljamo poluvodički uređaj, linija tereta se neće promijeniti.

U praksi, jednom kada se odredi DC radna točka (ili statička radna točka Q) tada diodu možemo zamijeniti ekvivalentnim statičkim otporom. Takav model vrijedi naravno samo za DC analizu (dok AC analizu ne vrijedi).

Analiza linije tereta

PRIMJER 2: Za diodu iz primjera 1 napon V_{DQ} i struju I_{DQ} (dakle struju i napon u radnoj točki) te napon na otporu R pod uvjetom da je dioda predstavljena modelom jednostavnog ekvivalentnog kruga.

Rješenje:

Liniju tereta možemo precrtati iz primjera 1 jer ona ostaje nepromjenjena. S obzirom da je dioda zamjenjena modelom jednostavnog ekvivalentnog kruga napon V_{DQ} i struja I_{DQ} iznosi:

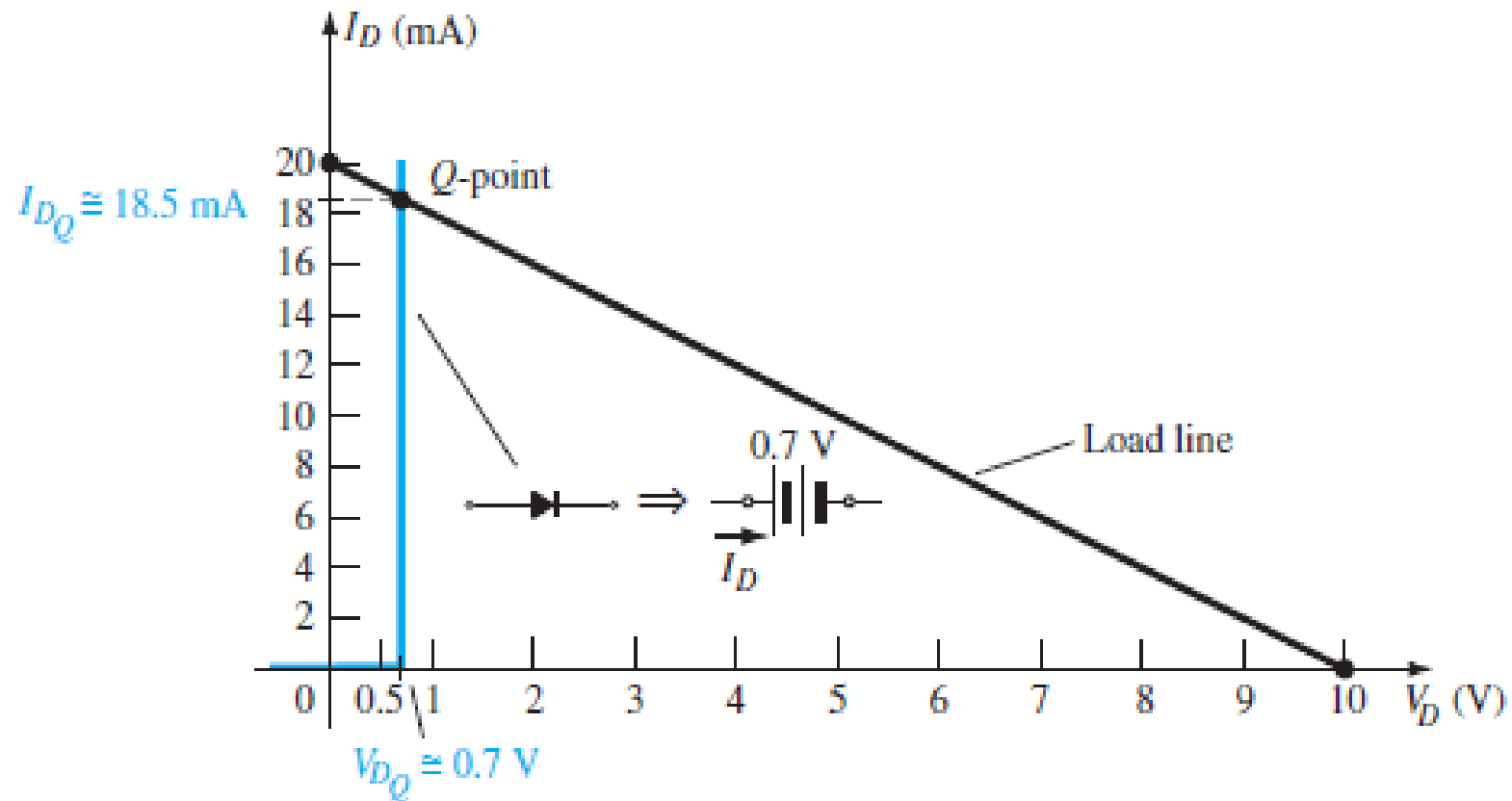
$$(12) V_{DQ} = 0.7 V$$

$$(13) I_{DQ} = 18.5 \text{ mA}$$

Statički otpor diode je:

$$(14) R_D = \frac{0.7 V}{12 \text{ mA}} = 37.84 \Omega$$

Analiza linije tereta



Analiza linije tereta

PRIMJER 3: Za diodu iz primjera 1 napon V_{DQ} i struju I_{DQ} (dakle struju i napon u radnoj točki) te napon na otporu R pod uvjetom da je dioda predstavljena modelom idealne diode.

Rješenje:

Kao i u primjeru 3, liniju tereta možemo precrtati iz primjera 1. U tom slučaju su napon V_{DQ} i struja I_{DQ} :

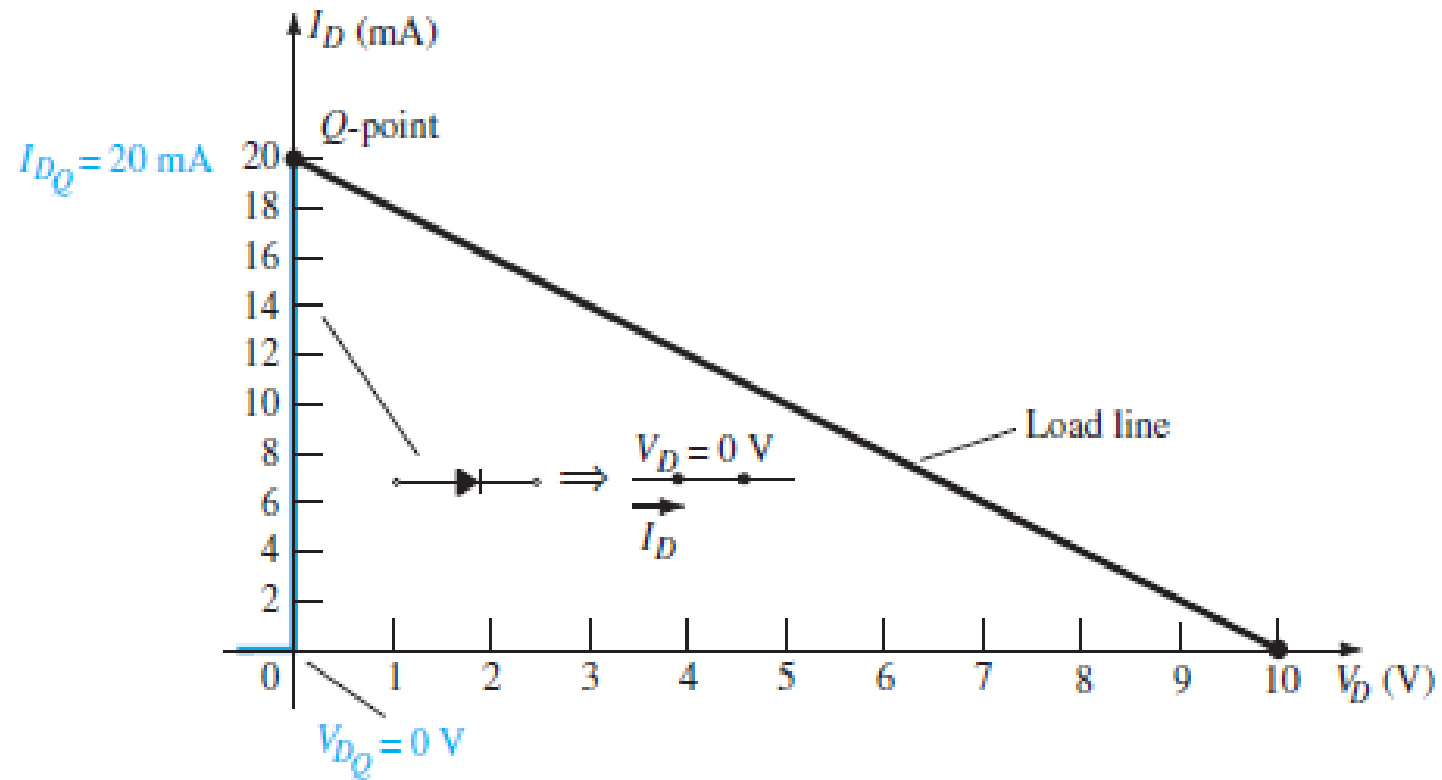
$$(12) V_{DQ} = 0 V$$

$$(13) I_{DQ} = 20 \text{ mA}$$

Statički otpor modela idealne diode je:

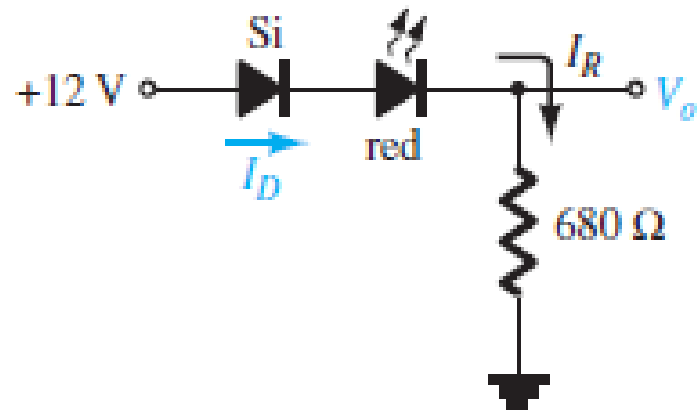
$$(14) R_D = \frac{0 V}{20 \text{ mA}} = 0 \Omega$$

Analiza linije tereta



Sklopovi s diodama

PRIMJER 4: Za sklop na slici treba odrediti napon V_0 te struju kroz otpor I_R .



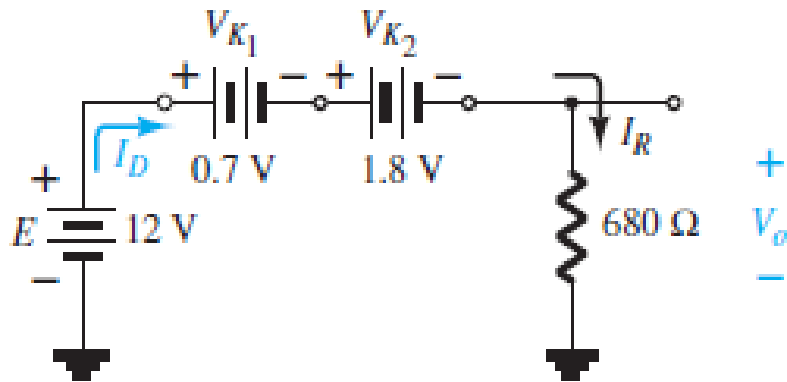
Sklopovi s diodama

Rješenje: napon V_0 je jednak razlici ulaznog napona $E = 12V$ i dva napona koljena V_{K1} i V_{K2} :

$$(15) V_0 = E - V_{K1} - V_{K2} = 12V - 0.7V - 1.8V = 12V - 2.5V = 9.5V$$

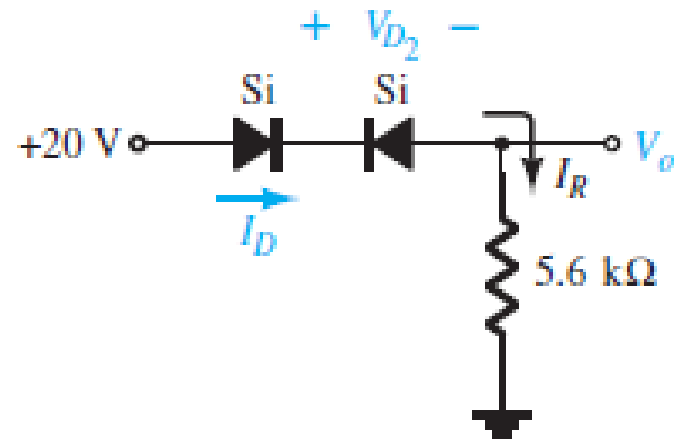
Struja kroz otpor R (i kroz obje diode) jest:

$$(16) I_R = \frac{V_0}{R} = \frac{9.5V}{680\Omega} = 13.97mA$$



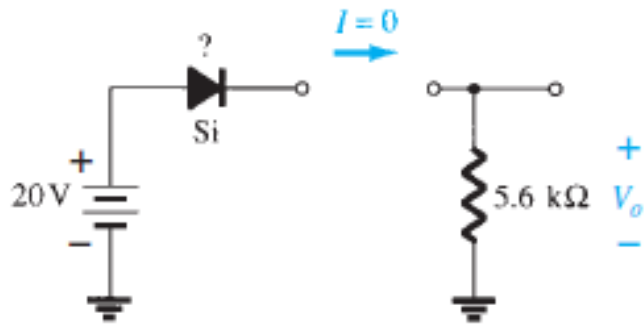
Sklopovi s diodama

PRIMJER 4: Za sklop na slici treba naći struju I_D te napone V_{D_2} i V_o .



Sklopovi s diodama

Rješenje: pomoću nadomjesne sheme idealne diode možemo zaključiti da će struja I_D kroz reverzno polariziranu diodu uvijek biti 0.



Dakle možemo reći da je struja I_D :

$$(17) I_D = 0$$

Sklopovi s diodama

Pitanje je što se događa sa propusno polariziranom diodom?

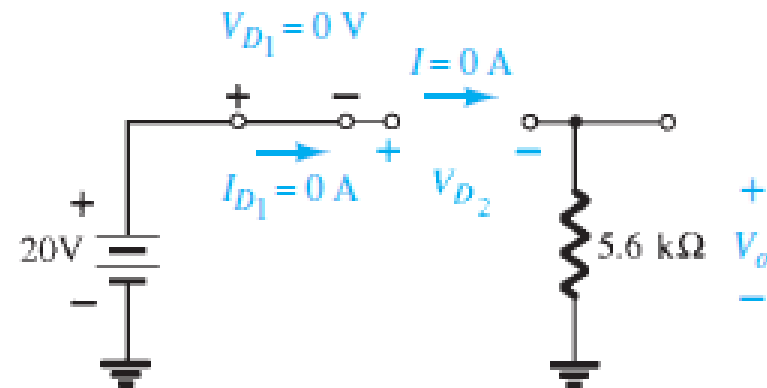
Iz karakteristike diode znamo da ako je struja kroz diodu jednaka 0 onda je i napon na diodi jednak 0:

$$(18) V_{D_1} = 0$$

Pošto nepropusno polariziranu diodu možemo zamijeniti otvorenim krugom imamo da je napon $V_{D_2} = E$.

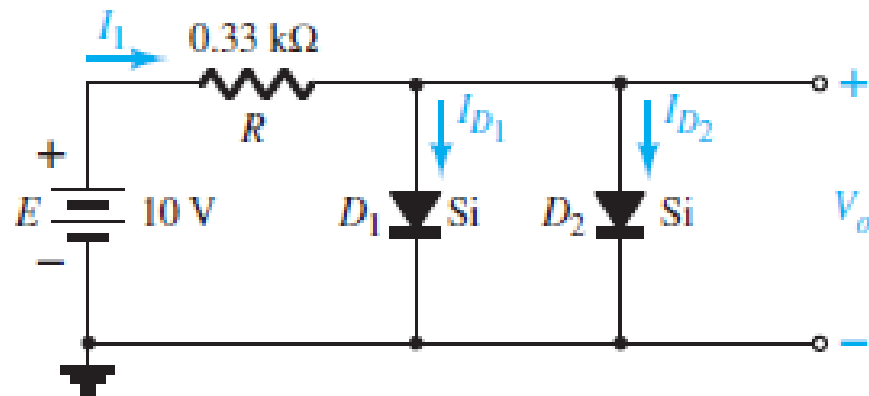
$$(19) V_{D_2} = E$$

Pomoću Kirchoffovih zakona također možemo zaključiti da je napon $V_0 = 0$.



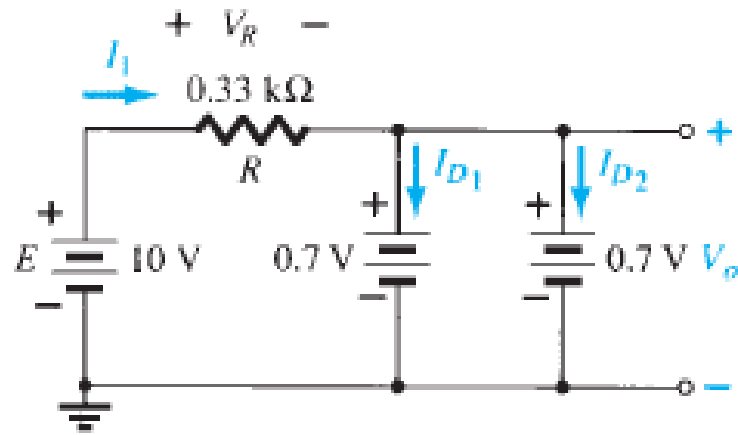
Sklopovi s diodama

PRIMJER 5: Za sklop na slici treba odrediti napon V_0 te struje I_1 , I_{D_1} i I_{D_2} .



Sklopovi s diodama

Rješenje: sklop na prethodnoj slici možemo nadomjestiti nadomjesnom shemom:



Iz nadomjesne sheme je vidljivo da je napon V_0 :

$$(20) V_0 = 0.7 V$$

Struja I_1 se odredi iz razlike padova napona E i V_0 :

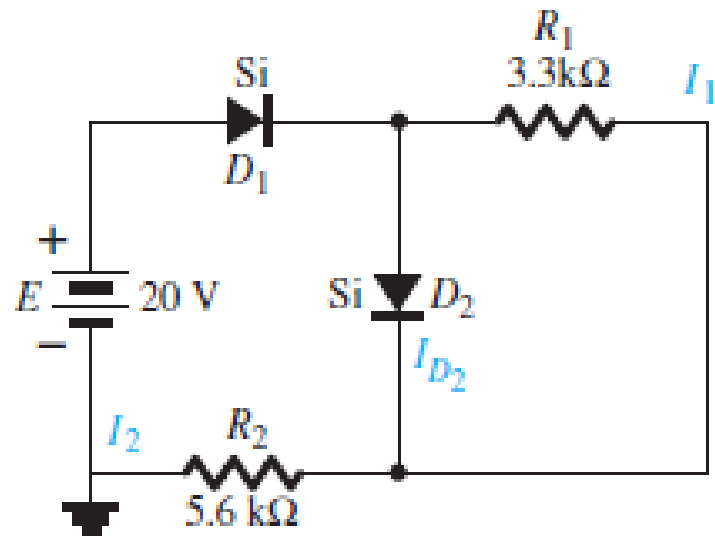
$$(21) I_1 = \frac{V_R}{R} = \frac{E - V_0}{R} = \frac{10V - 0.7V}{0.33 k\Omega} = 28.18 mA$$

Pošto u zadatku nije rečeno da su to dvije različite diode treba podrazumijevati da su to dvije iste diode. Zbog toga je struja kroz svaku od dioda jednaka, tj., $I_{D_1} = I_{D_2}$. Dakle iz Kirchhoffovog zakona slijedi:

$$(22) I_{D_1} = I_{D_2} = I_1/2 = 14.09 mA$$

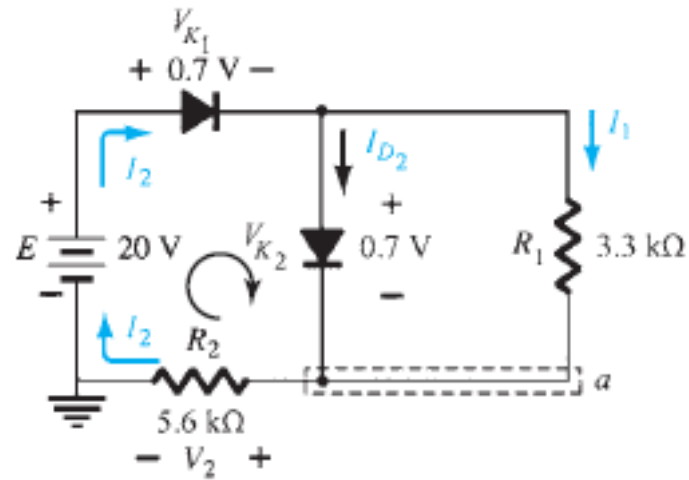
Sklopovi s diodama

PRIMJER 6: Za sklop na slici treba odrediti struje I_1, I_2 i I_{D_2} .



Sklopovi s diodama

Rješenje: sklop na prethodnoj slici možemo nadomjestiti nadomjesnom shemom:



Treba primjetiti da je narinuti napon E takav da obe diode vode i da su obje na naponu koljena V_K . Struja I_2 se odredi iz Kirchhoffovog zakona:

$$(22) I_2 = \frac{E - V_{K1} - V_{K2}}{R} = \frac{20V - 0.7V - 0.7V}{5.6 \text{ k}\Omega} = \frac{18.6 \text{ V}}{5.6 \text{ k}\Omega} = 3.32 \text{ mA}$$

Sklopovi s diodama

Napon na otporu R_1 je jednak naponu na diode 2 (tj. naponu koljena V_{K2}) pa se može odrediti struja I_1 kao:

$$(23) I_1 = \frac{V_{K2}}{R_1} = \frac{0.7 V}{3.3 k\Omega} = 0.212 mA$$

Struja I_{D1} se opet odredi iz Kirchhoffovih zakona:

$$(24) I_{D1} = I_2 - I_1 = 3.32 mA - 0.212 mA \cong 3.11 mA$$

Sklopovi s diodama

Pomoću dioda se mogu i realizirati „I” i „ILI” vrata. Kod ovih vrata imamo dva ulaza X_1 i X_2 te jedan izlaz Y .

Funkcioniranje „I” i „ILI” vrata se može predstaviti pomoću tablice istine:

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

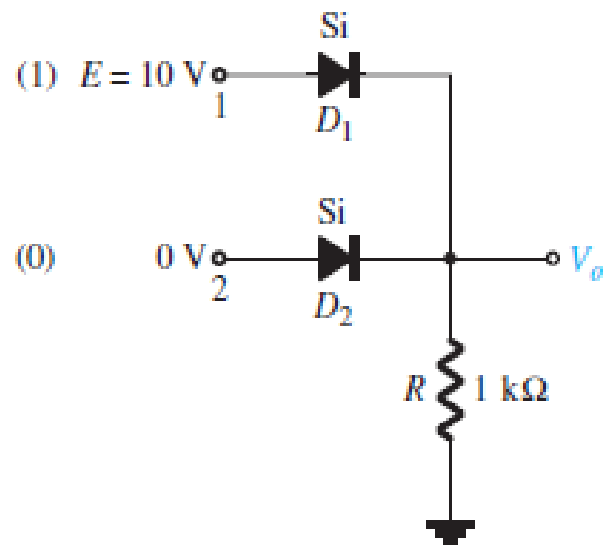
Tablica istine za „I” vrata

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tablica istine za „ILI” vrata

Kod „I” i „ILI” vrata stanje 1 je određeno određenim naponskim nivoima koji su veći od naponskih nivoa za stanje 0 (pozitivna logika). Također postoji i negativna logika.

Sklopovi s diodama



Na slici su „OR” vrata sa ulazom $X_1 = 1$ i $X_2 = 0$. Stanje “1” na izlazu je kada je napon na izlazu u rasponu od 8V-10V (za ovaj prikazani sklop). Stanje “0” na izlazu je kada je napon na izlazu u rasponu od 0V-1V.

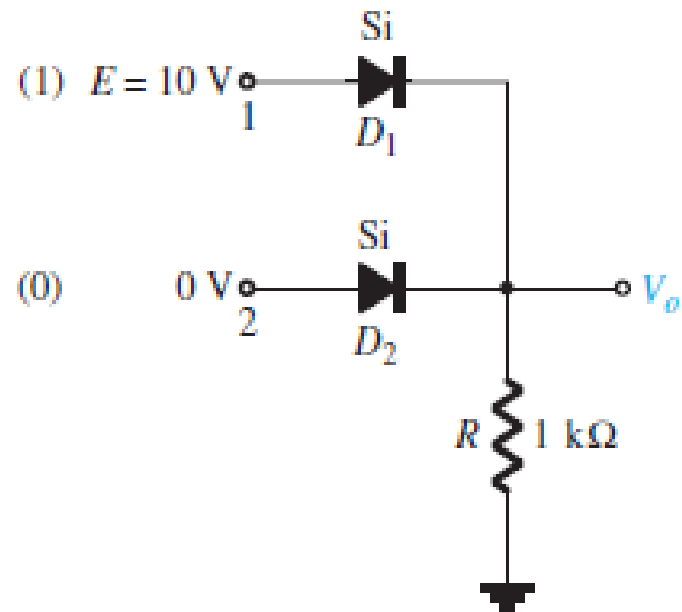
Stanje “1” na ulazu je kada je napon na ulazu 10V i stanje „0” na ulazu je kada je napon na ulazu oko 0V.

Treba razlikovati naponske nivoe stanja „0” i „1” na ulazu i naponske nivoe stanja „0” i „1” na izlazu.

Iako su naponski nivoi ulaznih i izlaznih stanja specifični za ovaj sklop, isti princip je i kod TTL i CMOS logike.

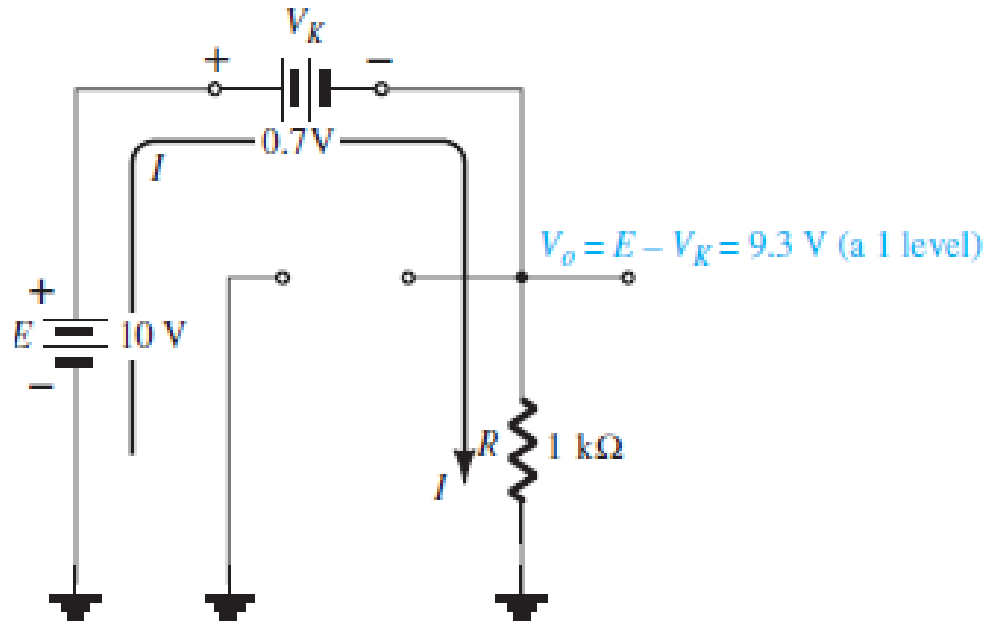
Sklopovi s diodama

PRIMJER 7: Za sklop na slici („|L|” vrata) treba odrediti napon V_0 na izlazu:



Sklopovi s diodama

Rješenje: prvo treba primjetiti da je na diodu 1 narinut napon od 10V dok je napon na diodi 2 jednak 0V. U tom slučaju shema na slici iz zadatka se može zamijeniti nadomjesnom shemom:



Napon V_0 na izlazu je dakle jednak razlici potencijala:

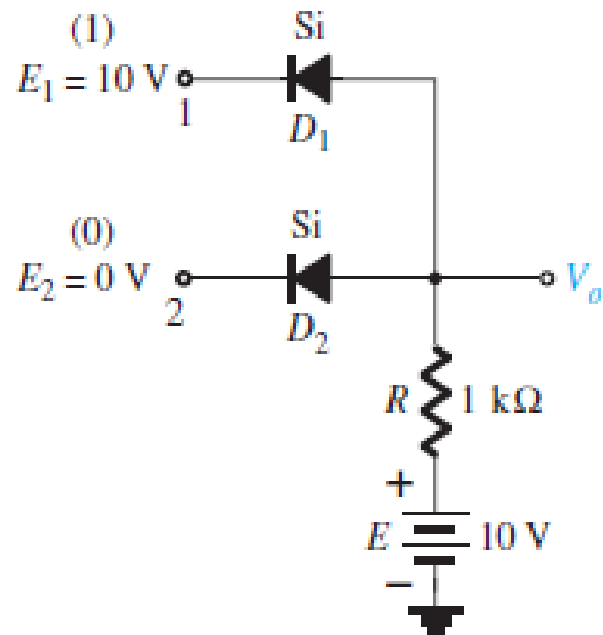
$$(24) V_0 = E - V_K = 10V - 0.7V = 9.3V$$

Struja I koja teče kroz diodu i otpor R se može naći iz izraza:

$$(25) I = \frac{E - V_K}{R} = \frac{10V - 0.7V}{1\text{ k}\Omega} = 9.3\text{ mA}$$

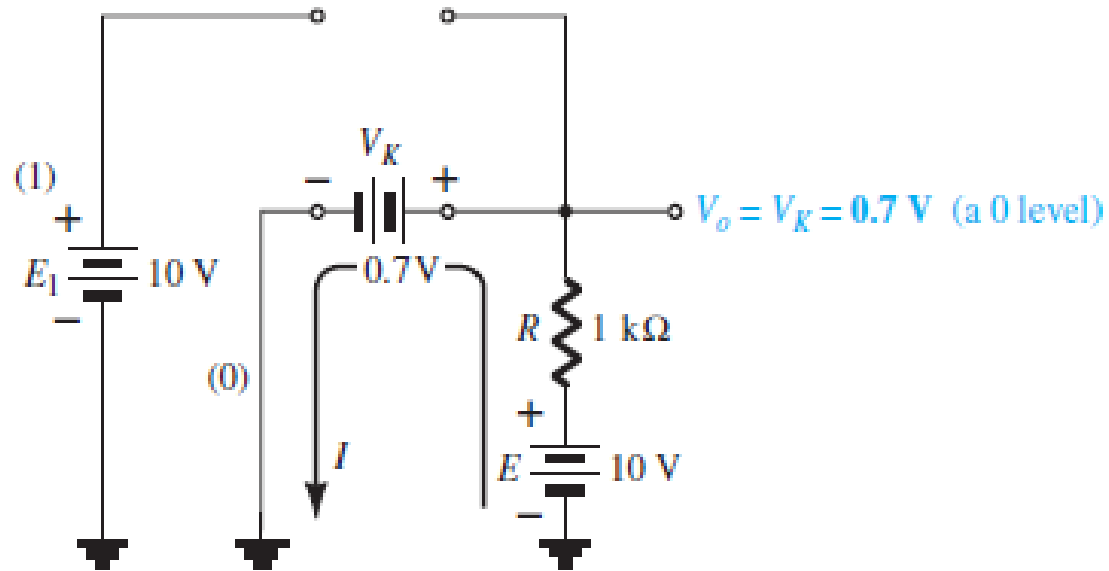
Sklopovi s diodama

PRIMJER 8: Za sklop na slici („I” vrata) treba odrediti napon V_0 na izlazu:



Sklopovi s diodama

Rješenje: kao i u prethodnom primjeru, prvo treba primjetiti da je na diodu 1 narinut napon od 10V dok je napon na diodi 2 jednak 0V. Zbog toga možemo sklop sa slike nadomjestiti nadomjesnom shemom:



Dakle dioda 2, vodi i ona se nalazi na naponu koljena V_{K_2} :

$$(26) V_{K_2} = 0.7V$$

Razlika potencijala na otporu R iznosi:

$$(27) V_R = E - V_{K_2} = 10V - 0.7V = 9.3V$$

Sklopovi s diodama

Napon V_0 na izlazu "1" vrata je 0.7V što odgovara logičkoj nuli.

Slično je i ako zamijenimo napone 1 i 2 na ulazu „1” vrata iz primjera, napon na izlazu "1" vrata je opet 0.7V što predstavlja logičku 0.

U slučaju da oba napona na ulazu „1” vrata iznose 10V tada obe diode možemo predstaviti otvornim krugom (jer kroz njih ne teče struja).

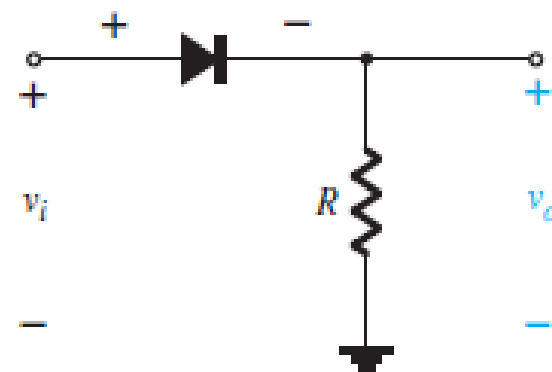
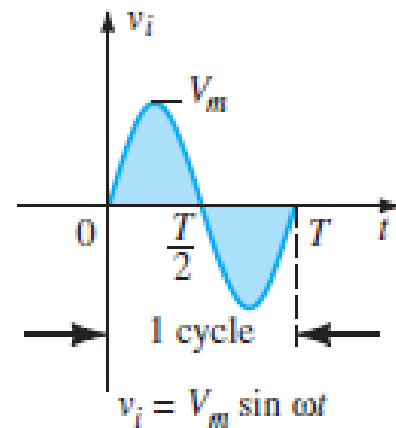
U tom slučaju napon V_0 na izlazu "1" vrata je jednak 10V što odgovara logičkom nivou „1” (i odgovara tablici istine).

Sklopovi s diodama

Do sada smo sklopove s diodama kao poluvodičkim elementom promatrali sa DC stanovišta (statički).

Ako pretpostavimo da je signal na diodi funkcija vremena t tada se način analiziranja sklopa mijenja.

Najjednostavniji poluvalni ispravljač se može prikazati električnom mrežom na slici:



Sklopovi s diodama

Kroz vrijeme $0 < t < \frac{T}{2}$ napon v_i je takav da je dioda propusno polarizirana.

Ako koristimo nadomjesnu shemu idealne diode diodu možemo u tom slučaju zamijeniti kratkim spojem.

Pod uvjetom da je dioda zamijenjena kratkim spojem vidljivo je da napon na izlazu v_o slijedi napon na izlazu v_i u vremenu $0 < t < \frac{T}{2}$.

Također u vremenu $\frac{T}{2} < t < T$ napon v_i je takav da je dioda nepropusno polarizirana.

Tada diodu možemo zamijeniti otvorenim krugom. U tom slučaju kroz otpor R ne teče nikakva struja te je izlazni napon $v_o = 0$.

Ova razmatranja vrijede samo u slučaju da smo diodu zamjenili nadomjesnim modelom idealne diode. Međutim, ovakva razmatranja su korisna za shvaćanje rada sklopa u prvoj aproksimaciji.

Sklopovi s diodama

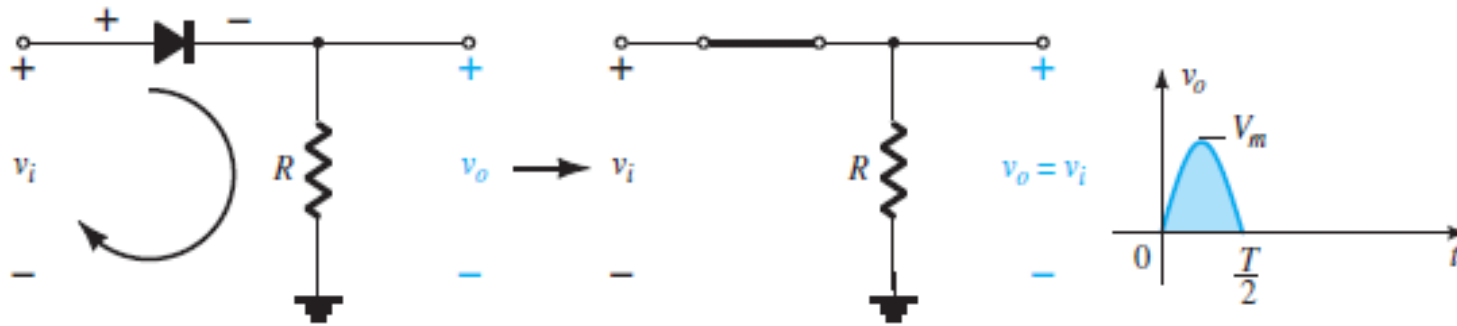
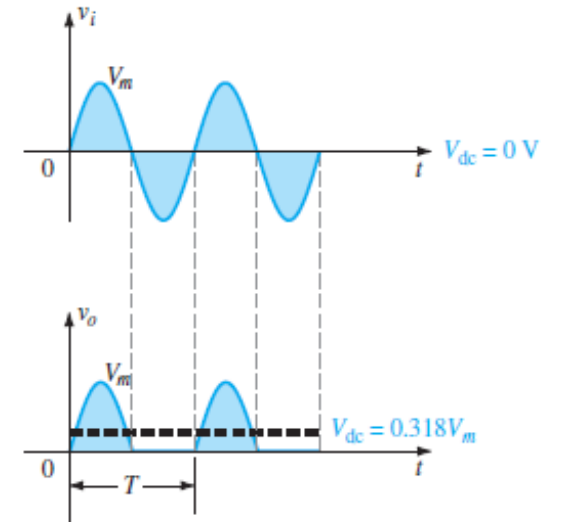
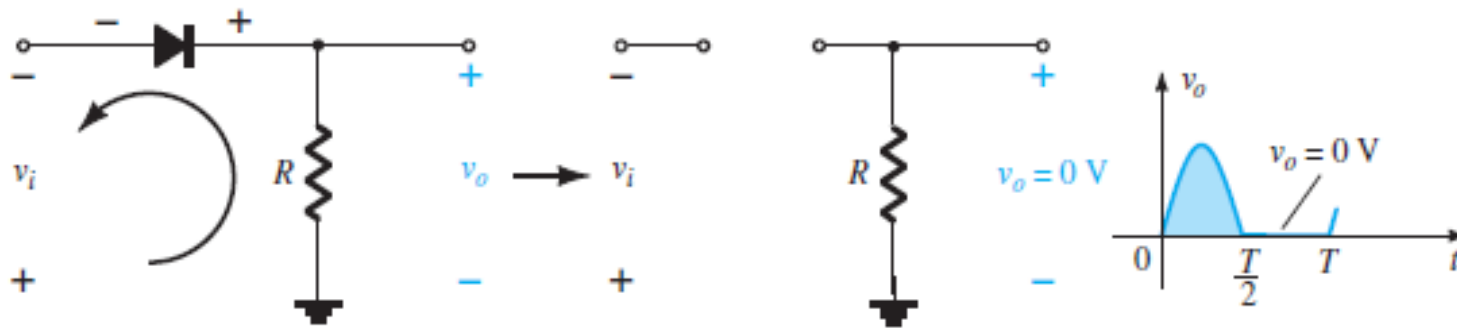


FIG. 2.45
Conduction region ($0 \rightarrow T/2$).



Sklopovi s diodama

Prosječni napon na izlazu u slučaju sinusoidalne pobude amplitude V_m te u slučaju da koristimo ekvivalentnu shemu idealne diode se može naći iz izraza:

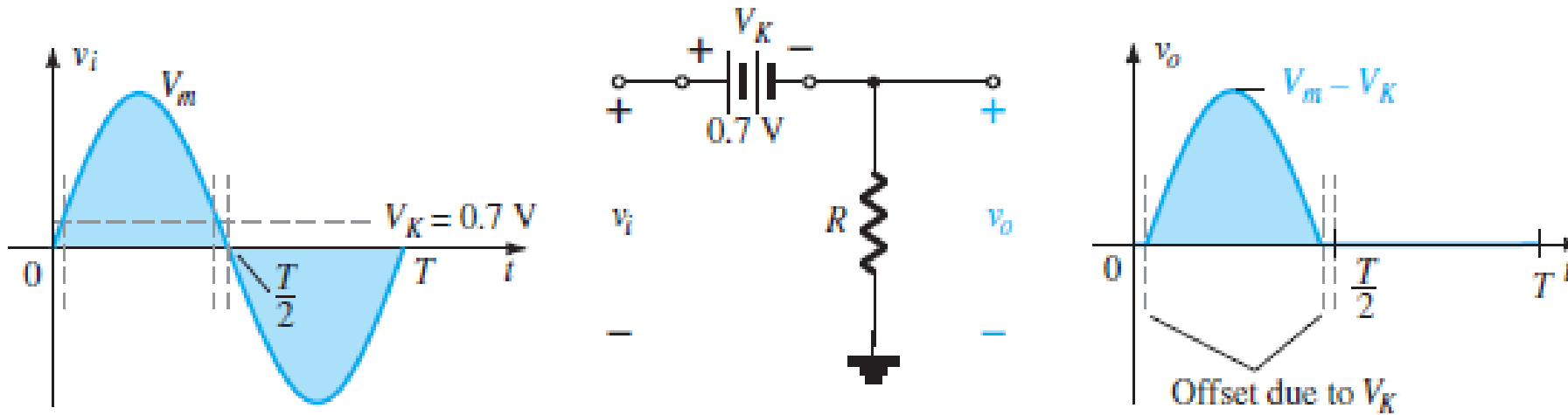
$$(28) V_{dc} = 0.318 V_m$$

Jednostavni nadomjesni sklop diode s naponom koljena $V_k = 0.7V$ je bolja aproksimacija od idealne diode.

Za jednostavni nadomjesni sklop diode, kroz vrijeme $0 < t < \frac{T}{2}$ napon v_i je takav da je dioda propusno polarizirana samo kada je $v_i \geq 0.7V$.

U svim ostalim slučajevima dioda je neporopusno polarizirana.

Sklopovi s diodama



Efekt korištenja jednostavnog nadomjesnog sklopa diode za poluvalni ispravljač.