

Vujo Drndarević
Nenad Jovičić
Vladimir Rajović

ELEMENTI ELEKTRONIKE

zbirka zadataka

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
AKADEMSKA MISAO
Beograd, 2014.

Vujo Drndarević, Nenad Jovičić, Vladimir Rajović

ELEMENTI ELEKTRONIKE
zbirka zadataka

Recenzenti

Doc. dr Jelena Popović Božović
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Doc. dr Ivan Popović
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Odlukom Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, koja je doneta na 768. sednici 5.11.2013. godine, odobreno je štampanje ovog udžbenika

Izdaje i štampa

AKADEMSKA MISAO
Primorska 21, Beograd

Tiraž

200 primeraka

ISBN 978-86-7466-525-1

Napomena: fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način ili ponovno objavljivanje ove knjige - u celini ili u delovima - nije dozvoljeno bez prethodne izričite saglasnosti i pismenog odobrenja autora i izdavača

Predgovor

Ova zbirka rešenih zadataka namenjena je prvenstveno studentima Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu koji slušaju predmet Elementi elektronike. Knjiga je nastala kao rezultat višegodišnjeg angažovanja autora u izvođenju nastave iz ovog predmeta.

Zbirka zadataka je podeljena u devet poglavlja. U prvom poglavlju su sadržani zadaci u kojima se analiziraju diodna kola. Drugo i treće poglavlje posvećena su rešavanju zadataka sa bipolarnim tranzistorima i tranzistorima sa efektom polja. U ovim poglavljima najveći broj zadatak odnosi se na analizu jednostepenih tranzistorskih pojačavača. Četvrto poglavlje sadrži veći broj rešenih zadataka iz oblasti diferencijalnih pojačavača. U petom poglavlju obrađeni su zadaci sa idealnim i realnim operacionim pojačavačima, dok su u šestom poglavlju rešavani zadaci sa komparatorima koji su realizovani korišćenjem idealnog operacionog pojačavača.

Sedmo, osmo i deveto poglavlje sadrže veći broj zadataka iz digitalne elektronike. U sedmom poglavlju analizirana su logička kola sa bipolarnim i MOS tranzistorima. Osmo poglavlje posvećeno je rešavanju zadataka iz oblasti kombinacionih mreža. U poslednjem, devetom poglavlju rešavani su zadaci iz oblasti sekvencijalnih mreža, pri čemu se najveći broj zadataka u ovom poglavlju odnosi na analizu i sintezu brojača.

Sadržaj zbirke skoro u potpunosti pokriva materiju koja se kroz zadatke vežba u okviru predmeta Elementi elektronike. Na početku svakog poglavlja urađeno je nekoliko lakših uvodnih zadataka, nakon čega slede zadaci koji su se uglavnom pojavljivali na kolokvijumima ili završnim ispitima na predmetu Elementi elektronike.

Iz iskustva je poznato da se u tekstovima ove vrste pojavi određeni broj formalnih, a ponekad i suštinskih grešaka, i pored velike pažnje koja se poklanja da do toga ne dođe. Stoga će autori sa zahvalnošću primiti primedbe i sugestije čitalaca.

Beograd, oktobar 2014. godine

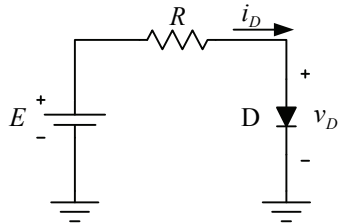
Autori

Sadržaj

1	Diode	1
2	Bipolarni tranzistori	28
3	Tranzistori sa efektom polja	65
4	Diferencijalni pojačavači	92
5	Operacioni pojačavači	107
6	Komparatori	141
7	Logička kola	155
8	Kombinacione mreže	170
9	Sekvencijalne mreže	219
	Literatura	247

1 Diode

1.1 Za diodno kolo sa slike 1.1.1 korišćenjem grafičke metode odrediti napon diode V_D i struju diode I_D . Poznato je: $E=3\text{ V}$ i $R=1\text{ k}\Omega$. Parametri diode su $I_s=0.1\text{ pA}$ i $V_T=26\text{ mV}$.



Slika 1.1.1

Rešenje

Struja koja teče u diodnom kolu sa slike 1.1.1 data je izrazom

$$i_D = \frac{E - v_D}{R} = -\frac{v_D}{R} + \frac{E}{R},$$

koji predstavlja jednačinu radne prave.

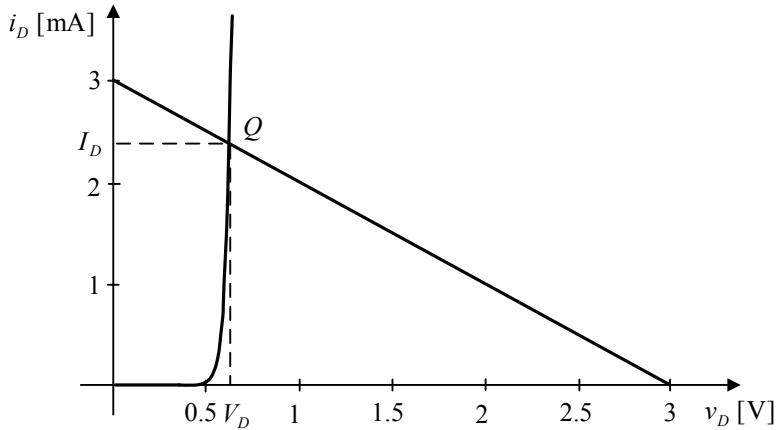
Statička strujno-naponska karakteristika direktno polarisane diode data je izrazom

$$i_D = I_s e^{v_D/V_T}.$$

Za crtanje statičke strujno-naponske karakteristike diode izračunate su vrednosti struje koja teče kroz diodu za različite vrednosti napona diode, i rezultati su dati u sledećoj tabeli

	v_D (V)	i_D (mA)
1	0.40	0.00048
2	0.50	0.0225
3	0.55	0.153
4	0.60	1.05
5	0.65	7.2
6	0.70	49.2

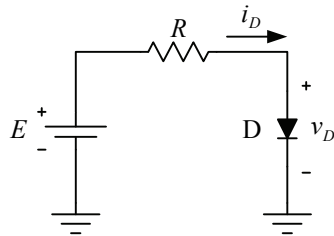
Napon na diodi V_D i struja koja teče kroz diodu I_D dobijaju se u preseku grafika dve funkcije: strujno-naponske karakteristike diode i radne prave (slika 1.1.2).



Slika 1.1.2

Sa slike 1.1.2 se mogu odrediti približne vrednosti struje i napona: $I_D=2.38$ mA, $V_D=0.62$ V.

1.2 Izračunati vrednost struje i_D u kolu sa slike 1.2.1 sa tačnošću boljom od 1% koristeći iterativan numerički postupak. Poznato je: $E=1.6$ V, $R=2$ k Ω , $V_T=kT/q=26$ mV, $I_S=0,1$ pA.



Slika 1.2.1

Rešenje

U kolu sa slike 1.2.1 je

$$i_D = \frac{E - v_D}{R}.$$

Struja i_D istovremeno teče kroz diodu, te je

$$i_D = I_S e^{\frac{v_D}{V_T}},$$

odnosno

$$\frac{E - v_D}{R} = I_S e^{\frac{v_D}{V_T}}.$$

Logaritmovanjem izraza na levoj i desnoj strani prethodne jednačine dobija se

$$\ln\left(\frac{E - v_D}{RI_S}\right) = \frac{v_D}{V_T},$$

čijim rešavanjem se dobija transcendentna jednačina

$$v_D = V_T \ln\left(\frac{E - v_D}{RI_S}\right).$$

Analitičko rešavanje transcendentne jednačine nije moguće, te se pristupa iterativnom numeričkom postupku. U tom slučaju jednačina se transformiše u diferencnu jednačinu

$$v_{D(n+1)} = V_T \ln \left(\frac{E - v_{Dn}}{R I_S} \right).$$

Ako se pretpostavi da je početna vrednost napona diode $v_{D0}=0.6$ V, korišćenjem gornje jednačine izračunava se novo približno rešenje

$$v_{D1} = 26 \text{ V} \ln \left(\frac{1.6 - 0.6}{2 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-12}} \right) = 26 \text{ V} \ln(5 \cdot 10^9) = 0.58 \text{ V}.$$

Zamenom ovog rešenja $v_{D1}=0.58$ V u gornju jednačinu dolazi se do približnog rešenja

$$v_{D2} = 26 \text{ V} \ln \left(\frac{1.6 - 0.58}{2 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-12}} \right) = 26 \text{ V} \ln(5.1 \cdot 10^9) = 0.581 \text{ V},$$

koje se od prethodnog razlikuje za 0.001 V, što je manje od 1%.

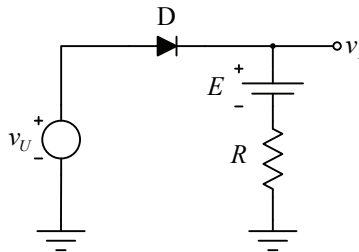
Struja i_D koja teče u kolu sa slike 1.2.1 ima vrednost

$$i_D = \frac{E - v_{D2}}{R} = \frac{1.6 - 0.581}{2} = 0.51 \text{ mA}.$$

1.3 a) Odrediti i grafički predstaviti karakteristiku prenosa $v_I=f(v_U)$ diodnog kola sa slike 1.3.1.

Poznato je: $-5 \text{ V} \leq v_U \leq +5 \text{ V}$, $R=2 \text{ k}\Omega$, $E=2 \text{ V}$. Smatrati da je dioda idealna i da je $V_D=0 \text{ V}$.

b) Ako je na ulazu kola sa slike 1.3.1 doveden signal $v_U(t)$ sinusoidalnog talasnog oblika amplitude $V_m=5 \text{ V}$ nacrtati talasni oblik napona na izlazu $v_I(t)$.



Slika 1.3.1

Rešenje

a) Sa slike 1.3.1 se vidi da dioda D neće provoditi ako je ulazni napon v_U manji od napona E , te je tada

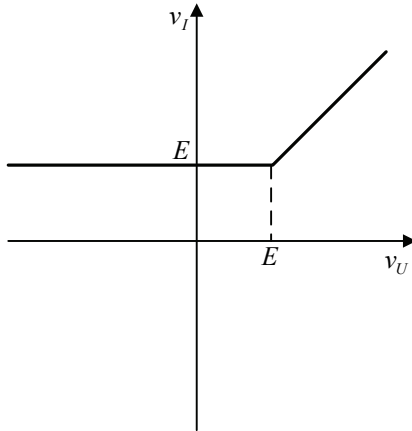
$$v_I = E.$$

Ako je ulazni napon v_U veći od napona E dioda provodi te je

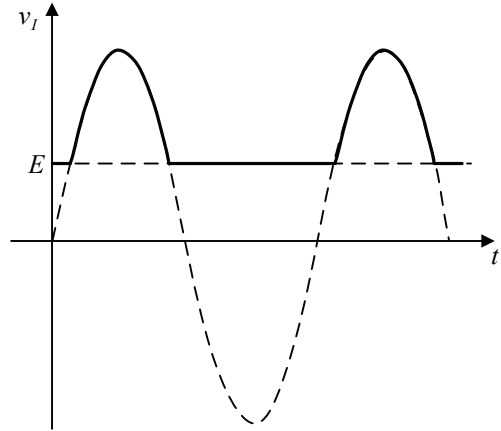
$$v_I = v_U.$$

Karakteristika prenosa kola je prikazana na slici 1.3.2.

b) Talasni oblik napona na izlazu kola sa slike 1.3.1 prikazan je na slici 1.3.3.



Slika 1.3.2

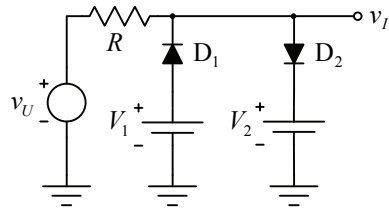


Slika 1.3.3

1.4 a) Za diodno kolo sa slike 1.4.1 odrediti i grafički predstaviti zavisnost $v_I = f(v_U)$.

b) Ako je na ulaz kola sa slike 1.4.1 doveden signal $v_U(t)$ sinusoidalnog talasnog oblika amplitude $V_m = 15$ V nacrtati talasni oblik napona na izlazu $v_I(t)$.

Poznato je: $V_1 = 5$ V, $V_2 = 10$ V, $R = 1$ k Ω , $V_D = 0.7$ V.



Slika 1.4.1

Rešenje

a) Kada obe diode ne provode kroz otpornik R ne teče struja i izlazni napon je jednak ulaznom

$$v_I = v_U.$$

Kada provodi dioda D_1 izlazni napon je

$$v_I = v_{I1} = V_1 - V_D = 4.3 \text{ V}$$

Kada provodi dioda D_2 izlazni napon je

$$v_I = v_{I2} = V_2 + V_D = 10.7 \text{ V}$$

Dioda D_1 počinje da provodi kada ulazni napon opadne na vrednost

$$v_{U1} = v_{I1} = 4.3 \text{ V}$$

Dioda D_2 počinje da provodi kada ulazni napon dostigne vrednost

$$v_{U2} = v_{I2} = 10.7 \text{ V}$$

Karakteristika prenosa kola je prikazana na slici 1.4.2.

b) Talasni oblik napona na izlazu kola sa slike 1.4.1 je prikazan na slici 1.4.3.