

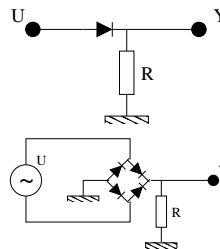
April 12, 2012

22.februar 2012

- Določi tok skozi 5 V baterijo, ko vežemo dva $1\text{k}\Omega$ upornika
 - a) zaporedno ali
 - b) vzporedno.
- Določi nadomestno upornost para upornikov z upornostjo R , ki ju vežemo
 - a) zaporedno, oziroma
 - b) vzporedno.
- Notranjo upornost in gonilno napetost baterije določimo tako, da nanjo najprej priključimo upor $R_1=1\ \Omega$, nato pa še upor $R_2=2\ \Omega$. V prvem primeru je tok $I_1=3\ \text{A}$, v drugem pa $I_2=2\ \text{A}$. Kolikšna je notranja upornost in kolikšna je gonilna napetost baterije?
- Theveninov izrek: Kakšna je notranja upornost in gonilna napetost izvora napetosti, ki ga dobimo kot delilnik napetost s 5 V (idealne) baterije, na katero sta vezana upora 3 in 2 $\text{k}\Omega$?
- \times Kakšna je notranja upornost in gonilna napetost atenuatorja π , ki ga dobimo, ko vanj sestavimo 47 Ω , 10 $\text{k}\Omega$ in 82 Ω upore, izvor napetosti pa ima gonilno napetost X in notranjo upornost 50 Ω !

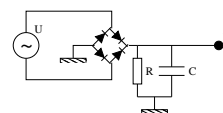
23. februar 2012

- Določi napetost preko diode, ko teče preko nje tok 1, 10 oziroma 100 mA v prevodni smeri.
- Skiciraj napetost $Y(t)$. Vhod $U(t)=u(t)$ je sinusno nihanje z amplitudo 15 V.
- Diodni most. Skiciraj napetost $Y(t)$. Vhod $U(t)=u(t)$ je sinusna izmenična napetost z amplitudo 15 V.
- Kakš se spreminja napetost na kondenzatorju, ki je vezan na napetostni izvor zaporedno z uporom R , ko vključimo napetostni izvor?

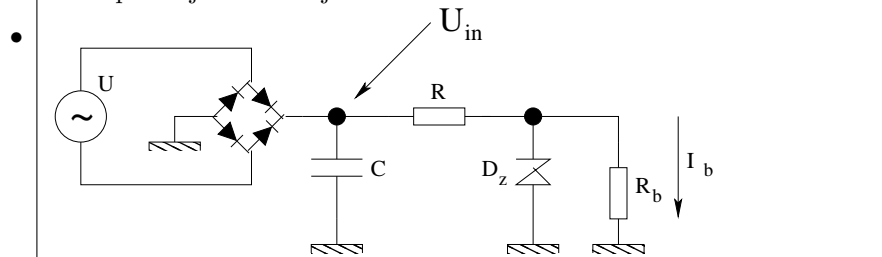


29. februar 2012

- Kako se spreminja napetost na kondenzatorju, ki vzporedno z uporom vezan na napetostni izvor, ko izvor izključimo?
- Diodni most s kondenzatorjem. Skiciraj napetost $Y(t)$. Vhod $U(t)=u(t)$ je še vedno sinusna izmenična napetost z amplitudo 15 V. Kakšen kondenzator moramo vzeti, če hočemo da je $Y(t)$ vedno nad 12 V? Upor $R=1\text{ k}\Omega$, frekvenca izmenične napetosti je 50 Hz.



Pred breme dodamo vzporedno vezano Zenerjevo diodo z napetostjo $U_Z=10\text{ V}$. Če naj bo tok skozi diodo vsaj $I_{Z,\min}=10\text{ mA}$ - kakšen je največ lahko predupor R med kondenzatorjem in bremenom? Na bremenu teče tok med 0 in $I_{b,\max}=100\text{ mA}$, kondenzator pa nam zgladi napetost U_{in} v območje med 20 in 25 V. Kakšna bo v najslabšem primeru moč, ki se porablja na Zenerjevi diodi?



- Kakšna bo časovna slika signala z amplitudo 10 V, ko ga peljemo skozi varovalni diodi, priključeni na +5 oziroma -5 V?

14. marec 2012

- Določi dinamično upornost diode, vezane zaporedno z uporom $50\ \Omega$, za majhne signale, naložene na nosilno napetost 0.1 oziroma 1 V! (To je enako kot iskanje amplitude sinusnega dela signala po prehodu skozi vezje)
- Izberi varovalni upor, da bo tok skozi diodo, ki jo napajamo s 3 V baterijo, pod 20 mA!
- Izrazi razmerje med vhodno in izhodno napetostjo v decibelih za napetostni merilnik z $R_1=1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$, $R_2=10\text{ k}\Omega$!
- Pokaži frekvenčno odvisnost razmerja med amplitudo izhodnega in vhodnega signala za RC vezje! Načrtaj odvisnost razmerja v decibelih od logaritma produkta frekvence signala in RC konstante $t=10\log_{10}(\omega RC)$! Pojasni tehnični izraz -20 dB na dekada!
- Naredi enako še za CR vezje!

15. marec 2012

- In še za kombinacijo vezij CR-RC! Pri kateri frekvenci bo imelo to vezje najmanjšo slabitev?
- Primerjaj log-log sliko (decibeli napram logaritmu ωRC) CR-RC vezja in RLC, R vezan zaporedno, L in C pa vzporedno proti zemlji, gledamo napetost za uporom napram zemlji!

22. marec 2012

- Identificiraj kontakte tranzistorja in diode; za tranzistor določi tudi njegov tip!
- Poveži tranzistorje na sliki s kontakti na bateriji, tako da bo skozi tranzistor tek tok!
- Kako bodo naslednje napake vplivale na tok skozi tranzistor (pnp, R_B , R_C):
 - R_B pregori, torej ne prevaja več toka
 - R_C pregori
 - Imamo nam kratek stik preko R_B (recimo, zaradi napake pri lotanju)
 - Imamo kratek stik preko R_C .

29. marec 2012

- Napetost na bazi npn tranzistorja spreminjamo od 0 do $U_+=15$ V. Upor $R_C=1$ k Ω , upor $R_E=1$ k Ω . Kakšna bo napetost na kolektorju, kakšna na emitorju in kakšen tok bo tek skozi tranzistor?

Kakšna bo notranja (Theveninova) upornost emitorskega sledilca. Upoštevaj:

- - Samo notranjo upornost izvora na bazi!
 - Tako upornost izvora na bazi kot upornost izvora, na katerega je priključen tranzistor!

Samo izvor (U_X, R_X) na bazi:

$$U_{TH} = (U_X - 0.7) \cdot \left(1 - \beta \frac{R_X}{R_E}\right),$$

$$I_{TH} = \frac{U_X - 0.7}{R_X}$$

$$R_{TH} = \frac{R_X}{\beta}$$

Še izvor (U_+ , $R_+=R_C$) za tranzistor:

$$U_{TH} \text{ enaka, če } U_+ - R_C I_C > U_X - 0,7 \rightarrow \frac{R_C}{R_E} < \frac{U_+ - U_X + 0,7}{U_X - 0,7}$$

$$I_{TH} \text{ enak, če } U_+ - R_C \beta I_B > U_E \sim 0 \rightarrow \frac{R_C}{R_X} < \frac{1}{\beta} \frac{U_+}{U_X - 0,7}$$

Lahko pa se zgodi, da ima izvor U_+ večjo notranjo upornost kot R_X/β ; takrat bo šel tranzistor v nasičenje, ko bomo računali Theveninov tok:

$$I_{TH} = \frac{U_+}{R_C} + \frac{U_X - 0,7}{R_X};$$

$$R_{TH} = \frac{R_C R_X (U_X - 0,7)}{R_X U_+ + R_C (U_X - 0,7)}$$

Ločimo dva primera; $R_X/\beta < R_C < R_X$. Takrat bomo zanemarili člen v imenovalcu ulomka za R_{TH} in je upornost izvora povezana z R_C namesto z R_X :

$$R_{TH} = \frac{R_C (U_X - 0,7)}{U_+} \left(1 - \frac{R_C (U_X - 0,7)}{R_X U_+} \right)$$

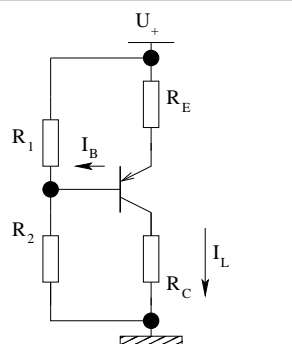
Lahko pa se nam zgodi še $R_C > R_X$, takrat nam emitorski sledilec ne pomaga, saj bo notranji upor kar R_X :

$$R_{TH} = R_X \left(1 - \frac{R_X U_+}{R_X U_+ + R_C (U_X - 0,7)} \right)$$

5. april 2012

Tokovni izvor:

Določi R_1 in R_2 v delilniku napetosti za bazo, da bo skozi porabnik (R_C) tekel tok 1 mA, $U_+=15$ V in $R_E=1$ k Ω . Pri izbiri R_1 in R_2 pazi, da bo bazni tok dovolj majhen v primerjavi s tokom skozi R_1 in R_2 ! Določi največjo upornost, pri kateri tokovni izvor še vedno deluje!



Iz drugega stavka bomo sklepali, da je tok skozi bazo, I_B majhen. Potem bo napetost na bazi določena iz napetostnega delilnika R_1 in R_2 :

$$U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_+$$

Tok skozi breme bo $I_L=I_C=I_E-I_B$; ob majhnem I_B bo $I_L=I_E$ in zaradi Ohmovega zakona:

$$I_E = \frac{U_+ - (U_B + 0,7)}{R_E} \rightarrow U_B = U_+ - R_E I_L - 0,7 = 13,3 \text{ V}$$

Lahko izberemo poljuben par R_1 in R_2 , tako da bomo zadostili prvi enačbi. Ena izbira bi bila $R_2=1,33 \text{ M}\Omega$, $R_1=170 \text{ k}\Omega$. Takrat teče skozi R_1 tok

$$I_1 = \frac{U_+ - U_B}{R_1} = 0,01 \text{ mA},$$

tok skozi bazo pa je $I_B=I_C/\beta \sim 0,01 \text{ mA}$, in ni več majhen v primerjavi z I_1 , zato enačba z delilnikom napetosti ne velja več! Lahko sicer izračunamo U_B tudi z upoštevanjem I_B , no lahko pa izberemo take upore R_1 in R_2 , da bo $I_1 \gg I_B$. Že red velikosti *manjša* upora, $R_2=133 \text{ k}\Omega$ in $R_1=17 \text{ k}\Omega$ bosta dala

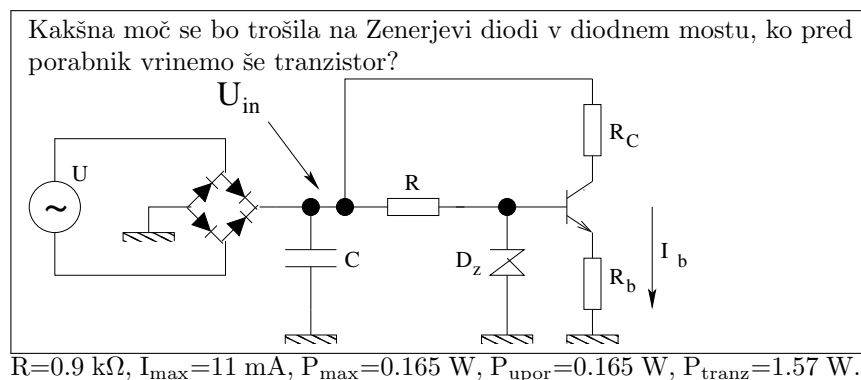
$$I_1 (R_1 = 17 \text{ k}\Omega) = 0.1 \text{ mA}$$

Skozi upor R_C bo tekla tok 1 mA, dokler bo $U_C < U_E$ (pnp!). Upornik:

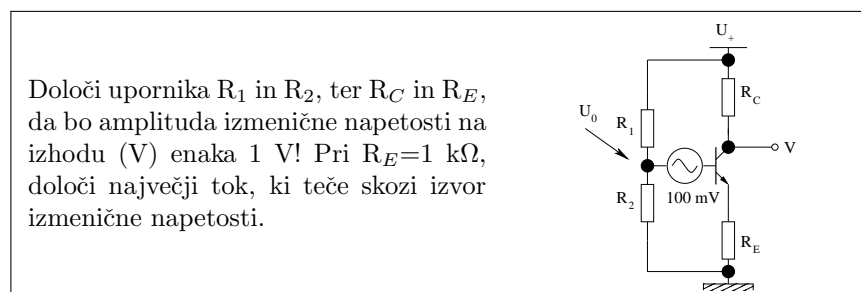
$$R_C = \frac{U_E}{I_L} = 14 \text{ k}\Omega$$

bo *največji*, pri katerem bo to še veljalo. Za upore, večje od mejnega, bo tranzistor v nasičenju, ob predpostavki $R_1, R_2 \ll R_C, R_E$ (malce ostreje kot prej!), bo

$$I_L = \frac{U_B + 0,7}{R_C}$$



12. april 2012



Če je tok skozi bazo dovolj majhen, bo U_0 kar napetost napetostnega delilnika:

$$U_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_+$$

Levi konec napetostnega izvora bo tako na dobro določeni napetosti, desnega pa bo izvor premikal; veljalo bo:

$$U_B = U_0 + U_x \sin \omega t$$

kjer je U_X amplituda napetostnega izvora, 100 mV, ω pa je njegova krožna frekvenca. Potencial U_B je sestavljen iz časovno neodvisnega dela, premika U_0 , ki mu včasih rečemo tudi *delovna napetost*, in časovno spremenljivega dela, signala. Potem bo:

$$U_E = U_B - 0,7 = U_0 - 0,7 + U_X \sin \omega t$$

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{U_0 - 0,7}{R_E} + \frac{U_X}{R_E} \sin \omega t$$

Ob majhnem I_B bo $I_C \approx I_E$:

$$I_C = \frac{U_0 - 0,7}{R_E} + \frac{U_X}{R_E} \sin \omega t$$

$$U_C = U_+ - R_C I_C$$

$$= U_+ - \frac{R_C}{R_E} (U_0 - 0,7) - \frac{R_C}{R_E} U_X \sin \omega t$$

Napetost na izhodu $V=U_C$ bo torej:

$$V = V_0 + V_X \sin(\omega t - \delta)$$

z delovno napetostjo:

$$V_0 = U_+ - \frac{R_C}{R_E} (U_0 - 0,7),$$

in amplitudo signala:

$$V_X = \frac{R_C}{R_E} U_X$$

Negativni znak pred časovno odvisnim delom predelamo v fazni zamik $\delta=\pi$. Hkrati rečemo, da je ojačevalec s skupnim emitorjem invertirajoči ojačevalec.

Nazaj k nalogi. Iz pogoja $V_X=1$ V bo:

$$\frac{R_C}{R_E} = \frac{V_X}{U_X} = 10$$

da pa bodo veljale predpostavke (predvsem tista o majhnem baznem

toku), pa mora veljati:

$$\begin{aligned}
 U_C &> U_E \\
 V_0 + V_X \sin(\omega t - \delta) &> U_0 - 0,7 + U_X \sin \omega t \\
 \min\left(V_0 + V_X \sin(\omega t - \delta)\right) &> \max\left(U_0 - 0,7 + U_X \sin \omega t\right) \\
 V_0 - V_X &> U_0 - 0,7 + U_X \\
 U_+ - \frac{R_C}{R_E}(U_0 - 0,7) - \frac{R_C}{R_E}U_X - U_X &> U_0 - 0,7 \\
 U_+ - 11U_X &> 11(U_0 - 0,7) \\
 U_0 &< \frac{U_+}{11} - U_X + 0,7 = 1,97 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Seveda mora veljati tudi:

$$\begin{aligned}
 U_C &< U_+ \\
 \max\left(V_0 + V_X \sin(\omega t - \delta)\right) &< U_+ \\
 V_0 + V_X &< U_+ \\
 U_+ - \frac{R_C}{R_E}(U_0 - 0,7) + \frac{R_C}{R_E}U_X &< U_+ \\
 U_0 - 0,7 &> U_X \\
 U_0 &> U_X + 0,7 = 0,8 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Torej lahko za U_0 izberemo poljubno napetost med 0,8 V in 1,97 V. Izberemo povprečje, vendar s tem ne izključujemo pravilnosti katerekoli vrednosti v tem intervalu. Ob $U_0=1,4$ V pa bo:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1,4}{15}.$$

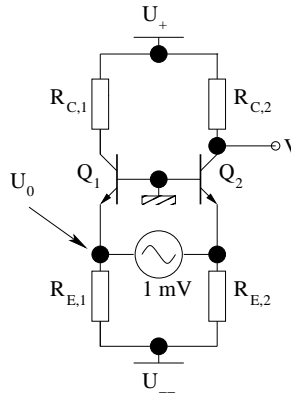
Recimo, da izberemo $R_E=1$ k Ω . Potem bo:

$$\begin{aligned}
 R_C &= 10 \text{ k}\Omega & R_C &= \frac{R_C}{R_E} 1 \text{ k}\Omega \\
 R_1 &= 13,6 \text{ k}\Omega & R_1 &\approx 10R_E \\
 R_2 &= 1,4 \text{ k}\Omega & \frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{1,4}{15} \\
 I_E &= 0,7 \pm 0,1 \text{ mA} & I_E &= \frac{U_E}{R_E} = \frac{U_0 - 0,7}{R_E} \pm \frac{U_X}{R_E} \\
 I_2 &= 1 \text{ mA} & & \\
 I_B &= 0,007 \pm 0,001 \text{ mA} & I_B &= I_E/\beta
 \end{aligned}$$

Tok skozi napetostni izvor izmenične napetosti bo tako vedno manjši od 0,008 mA.

**Ebers-Moll model tranzistorja;
ojačevalec s skupno bazo**

Določi upore $R_{C,1,2}$ in $R_{E,1,2}$, da bo amplituda sinusnega nihanja na izhodu 100 mV. Kako se amplituda spremeni, če se tranzistor ogreje za 20° C ? Vzemimo, da sta napetosti $U_+, U_- = \pm 15 \text{ V}$!



Napetosti na bazah tranzistorjev Q_1 in Q_2 sta enaki, obe sta 0 V napram zemlji. Zato bo $U_0 = -0,7 \text{ V}$. Poskrbimo, da bo tok skozi $Q_1 \gg$ tok skozi Q_2 . Potem bo tok na povezavi, ki gre skozi izvor izmenične napetosti majhen in bo levi krak izvora zasidran na U_0 , desni krak pa bo nihal okrog njega z amplitudo $U_X = 1 \text{ mV}$. Napetost na emitorju Q_2 bo tako:

$$U_{E,2} = U_0 + U_X \sin \omega t$$

Po Ebers-Mollu bo emitorski tok skozi desni tranzistor $I_{E,2}$ povezan z napetostjo med bazo in emitorjem:

$$I_{E,2} = I_{ES,2} \left(e^{\frac{U_{BE,2}}{U_T}} - 1 \right)$$

Kot pri diodi, je saturiran tok $I_{ES,2}$ reda velikosti fA-pA, in ob $U_{BE} \sim 0,7 \text{ V}$ velja:

$$\frac{U_{BE,2}}{U_T} \gg 1 \quad \rightarrow \quad I_{E,2} = I_{ES,2} e^{\frac{U_{BE,2}}{U_T}}$$

Poglejmo, kako je z $U_{BE,2}$:

$$U_{BE,2} = U_{B,2} - U_{E,2} = 0 - U_0 - U_X \sin \omega t$$

Torej bo tok nekaj takega:

$$I_{E,2} = I_{ES,2} e^{-\frac{U_0}{U_T}} e^{-\frac{U_X}{U_T} \sin \omega t}$$

Funkcija $\exp(A \sin \omega t)$ je dokaj zlobna zadeva, no k sreči je konstanta A dovolj majhna, da lahko uporabimo Taylorjevo vrsto:

$$e^x = 1 + x + \mathcal{O}(x^2),$$

torej:

$$I_{E,2} = I_{ES,2} e^{-\frac{U_0}{U_T}} \left(1 - \frac{U_X}{U_T} \sin \omega t \right) = I_{E,2,0} + \Delta I_{E,2} \quad (1)$$

Za lažjo ponazoritev si lahko mislimo, da bo dodaten tok $\Delta I_{E,2}$ nastal kot posledica povečanja padca napetosti na virtualnem, dinamičnem uporu r_E med bazo in emitorjem, ki ga upoštevamo le za majhne signale naložene vrh konstantne napetosti U_0 :

$$\Delta I_{E,2} = \frac{\Delta U_{BE,2}}{r_E} \quad (2)$$

pri čemer je v našem primeru:

$$\Delta U_{BE,2} = U_{BE,2} - (-U_0) = -U_X \sin \omega t$$

in iz primerjave izrazov v (1) in definicije r_E (2) dobimo:

$$\Delta I_{E,2} = -I_{E,2,0} \frac{U_X}{U_T} \sin \omega t \quad \rightarrow \quad r_E = \frac{\Delta U_{BE,2}}{\Delta I_{E,2}} = \frac{U_T}{I_{E,2,0}}$$

kjer je $I_{E,2,0}$ kar tok, ki teče skozi Q_2 , če imamo namesto izvora izmenične napetosti kar kratkostično povezavo med emitorjema Q_1 in Q_2 . Na izhodu V , ki je $U_{C,2}$, bo napetost:

$$\begin{aligned} V = U_{C,2} &= U_+ - R_{C,2} I_{C,2} = U_+ - R_{C,2} I_{E,2} = U_+ - R_{C,2} I_{E,2,0} - R_{C,2} \Delta I_{E,2} \\ &= U_{C,2,0} - \frac{R_{C,2}}{r_E} \Delta U_{BE,2} \\ &= U_{C,2,0} + \frac{R_{C,2}}{r_E} U_X \sin \omega t \end{aligned}$$

Da bo torej amplituda 100 mV, bo moral biti $R_{C,2}$:

$$R_{C,2} = 100 r_E = 100 \frac{U_T}{I_{E,2,0}}$$

Denimo, da je $I_{E,2,0} = 1$ mA. Potem bo veljalo za $R_{E,2}$:

$$I_{E,2,0} = \frac{U_0 - U_-}{R_{E,2}} \quad \rightarrow \quad R_{E,2} = \frac{14,3 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 14,3 \text{ k}\Omega$$

Ob $U_T = 0,025$ V pri 300 K,

$$R_{C,2} = 100 \frac{0,025 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

Preverimo še $U_{C,2,0}$:

$$U_{C,2,0} = U_+ - R_{C,2} I_{E,2,0} = 15 \text{ V} - 2,5 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mA} = 12,5 \text{ V}$$

kar postavlja tranzistor v pravilno območje delovanja ($U_{C,2} > U_{E,2}$), tako da vse zgornje trditve držijo.

Preprosta rešitev, ki ne upošteva premika U_0 zaradi hkratnega gretja obeh tranzistorjev! Ko segrejemo tranzistor za 20° C, bo r_E zrasel za 10%. Ker se $R_{C,2}$ ne spreminja s temperaturo, bo tudi ojačanje manjše za taistih 10 %!