

**Prvi kolokvij iz Elektronike z digitalno tehniko (27. 11. 2008)**

Odgovori na vprašanja morajo biti utemeljeni, da je razvidno vaše razumevanje problematike.

Neutemeljeni, drugače pa pravilni odgovori, prispevajo 0 % h končni oceni.

Izjema so vprašanja, kjer se zahteva definicija ali dejstvo, kar se ne da utemeljiti.

---

Vprašanje, ki zahteva utemeljitev: Ali žica, ki povezuje usmernikovi sponki, predstavlja idealen kratek stik?

Odgovor: Ne. Vsaka žica izkazuje določeno notranjo upornost, zato idealnega kratkega stika ni mogoče narediti.

Odgovor »NE« je pravilen, vendar ni utemeljen, zato je sam zase vreden 0 %.

---

Vprašanje brez utemeljitve: Kaj je kondenzator? Odgovor: Element, ki izkazuje pretežno kapacitivnost.

Odgovor: »Element, ki izkazuje kapacitivnost«, je napačen, ker elementa, ki izkazuje samo kapacitivnost ni, medtem ko kapacitivnost izkazujejo tudi upori, žice, tranzistorji in na sploh vsi elementi.

---

**1. Kdaj je breme krmiljeno napetostno in kdaj tokovno? Kaj pomeni, da je breme krmiljeno napetostno ali tokovno?**

A. Breme je krmiljeno napetostno (tokovno), ko je bremenska impedanca mnogo večja (manjša) od notranje impedance vira. V bistvu breme tvori s Theveninovo notranjo upornostjo vira napetostni delilnik (*z Nortonovo notranjo upornostjo tokovni delilnik, kar nismo obravnavali*). Utemeljitev je nekakšna kompilacija tega za napetostno krmiljenje...

$$u_B = R_B \cdot i_B = \left( \frac{R_B}{R_B + r_T} \right) \cdot u_T \quad (1b.5)$$

Ko je  $R_B$  mnogo večji od  $r_T$ , lahko člen  $r_T$  v imenovalcu ulomka zanemarimo, s čimer dobimo naslednjo enačbo.

$$u_B = \left( \frac{R_B}{R_B + r_T} \right) \cdot u_T \approx u_T \quad (R_B \gg r_T) \quad (1b.6)$$

...ali tega za tokovno krmiljenje.

$$u_B = \left( \frac{R_B}{R_B + r_T} \right) \cdot u_T \approx \frac{R_B}{r_T} \cdot u_T = \left( \frac{u_T}{r_T} \right) \cdot R_B \quad (R_B \ll r_T) \quad (1b.8)$$

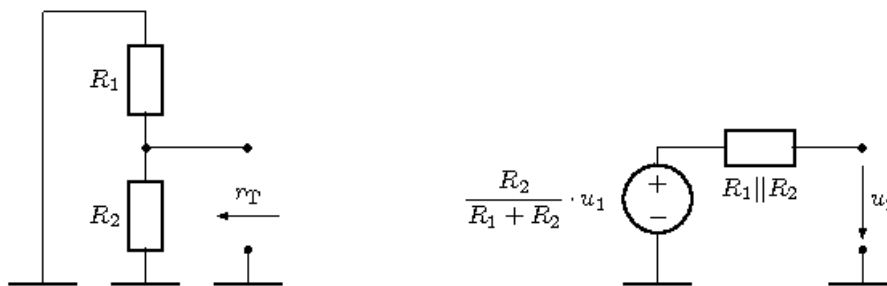
Poenostavimo še enačbo 1b.4, da dobimo naslednji zapis.

$$i_B = \frac{u_T}{\cancel{R_B} + r_T} \approx \frac{u_T}{r_T} \quad (R_B \ll r_T) \quad (1b.9)$$

B. Tip krmiljenja pove, katere veličine breme ne more določati, ker mu je vsiljena od zunaj. Ko je breme krmiljeno napetostno, se napetost na njegovih sponkah procentualno malo spreminja kljub procentualno velikim spremembam bremenske upornosti (enačba 1b.6). Pri tokovnem krmiljenju se tok preko bremena procentualno malo spreminja kljub procentualno velikim spremembam bremenske upornosti (enačba 1b.9).

2. Kakšno Theveninovo nadomestno vezje ima napetostni delilnik? Kateri dve protislovni zahtevi moramo upoštevati pri načrtovanju delilnikov. Kako ti zahtevi vplivata na izbiro absolutnih upornosti uporov?

A. Parametri Theveninovega nadomestnega vezja:

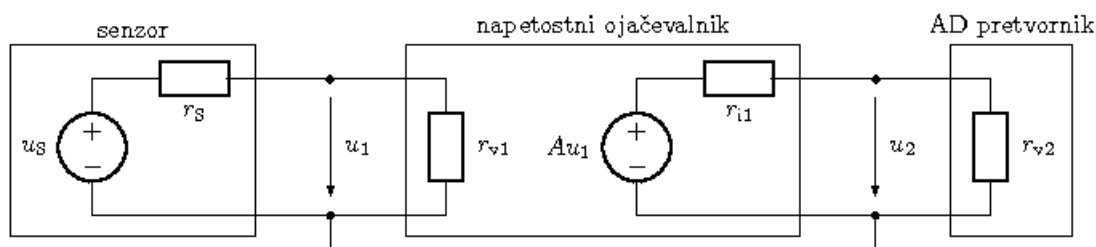


B. Želimo čim manjša upora, da je notranja upornost delilnika čim manjša in s tem breme bolj napetostno krmiljeno. Želimo čim večja upora, da so delilnikove jouske izgube čim manjše.

C. Pravilna izbira sta tako velika upora, da sesedanje izhodne napetosti ni znatno manjše od diktiranega sesedanja s toleranco konkretne aplikacije.

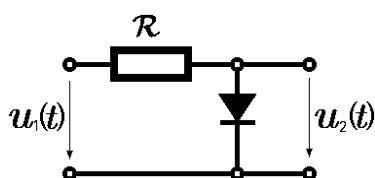
3. Zakaj pri elektroniki v avtomatiki težimo k temu, da imajo ojačevalniki in ostali sklopi čim večjo vhodno notranjo upornost in čim manjšo izhodno notranjo upornost?

Ko dva sklopa povežemo med sabo, tvori vhodna notranja upornost drugega sklopa  $r_{v2}$  parazitni napetostni delilnik z izhodno notranjo upornostjo prvega sklopa  $r_{i1}$ . Delilno razmerje nastalega delilnika je  $\frac{r_{v2}}{r_{i1} + r_{v2}}$ . Ker želimo, da tak delilnik zaduši čim manj signala, si prizadevamo, da je njegovo delilno razmerje čim bližje 1. Temu se tembolj približamo, ko je upornost  $r_{v2}$  čim večja v primerjavi z upornostjo  $r_{i1}$ .



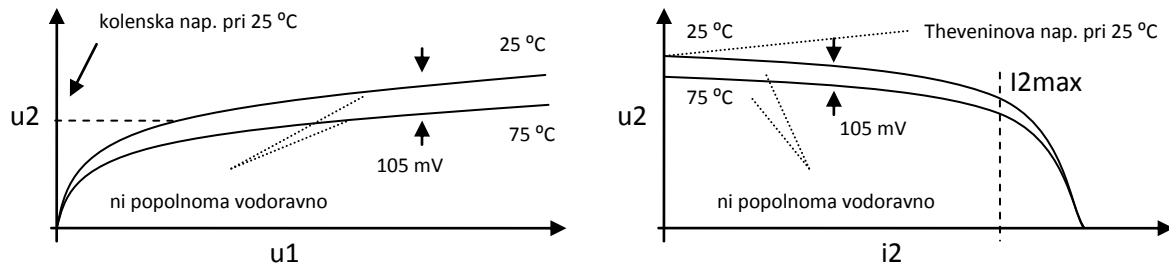
4. Razložite delovanje napetostnega omejitnika. Skicirajte odvisnost njegove izhodne napetosti od vhodne. Skicirajte odvisnost izhodne napetosti od bremenskega toka. Na obeh grafih nakažite dva poteka karakteristik, enega pri temperaturi diode 25 °C in drugega pri 75 °C (s kratkim stavkom utemeljite prikazano razliko).

Vezje napetostnega omejitnika:



- A. Ko je vhodna napetost manjša od kolenske (prebojne pri Zener diodah v zaporni smeri) napetosti diode, teče preko obeh elementov zanemarljiv tok, ki povzroča zanemarljiv padec napetosti na uporu, zato je izhodna napetost enaka vhodni. Ko vhodna napetost preseže kolensko/prebojno napetost diode, relativno majhno povečanje napetosti na diodi povzroči relativno veliko spremembo toka na njej, zato izhodna napetost praktično ne narašča z nadaljnjim večanjem vhodne napetosti, saj povečanje vhodne napetosti doprinese zgolj k večanju padca napetosti na uporu.

B. Skice karakteristik, ki so še posebej jasne, ko označimo vse bistvene značilnosti.



C. S povišanjem temperature kristala se diodna karakteristika pomakne za okvirno 2,1 mV v levo. Ker se napetost na diodi pri istem toku niža (in ker ostane v prvem približku tok preko upora enak), ima to isti učinek, kot da ima dioda ustrezno nižjo kolensko napetost, kar tudi pomeni nižjo Theveninovo napetost dobljenega napetostnega vira.

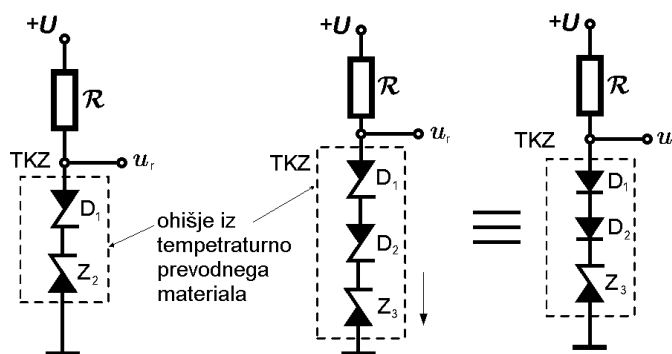
5. Kaj se zgodi, če dajalnik temenske napetosti sestavimo z Zener diodo? V katerih primerih bo deloval pravilno in v katerih ne?

Zener diodo obrnimo tako kot navadno diodo. V tem primeru ima dioda rahlo višjo kolensko napetost (0,8 V namesto 0,6 V), za kolikor se poveča napaka merjenja temenske napetosti. Dioda ima pri dajalniku temenske napetosti vlogo, da kondenzator odklopi, ko je vhodna napetost manjša od napetosti na kondenzatorju. Zener dioda te vloge ne opravi v primeru, da je vhodna napetost od izhodne manjša vsaj za vrednost prebojne napetosti, kar diodo odpre, zato se kondenzator sprazni na vrednosti  $u_1 - U_{\text{prebojna}}$ , kar pomeni napako v delovanju.

Če Zener diodo obrnemo v drugo smer, bo izmerjena temenska napetost za iznos  $U_{\text{prebojna}}$  manjša od resnične temenske napetost, kar je napaka, ki bi jo s pravo izbiro diod zmanjšali na 0,6 V. Še večji problem je, da čim je vhodna napetost za 0,8 V manjša od napetosti na kondenzatorju, dioda prevaja in sprazni kondenzator, ki s tem pozabi rezultat meritve.

6. Kako izvedemo temperaturno kompenzacijo prebojne napetosti Zener diode?

Tu izkoristimo dejstvo, da ima dioda v prevodni smeri negativen temperaturni koeficient, Zenerjeva dioda s plazovnim prebojem pa pozitivnega. Kompensacijo izvedemo tako, da Zener diodo z nasprotnim temperaturnim koeficientom od temperaturnega koeficienta navadne diode v prevodni smeri in navadno diodo povežemo zaporedno. Poskrbeti moramo, da se obe diodi segrevata in ohlajata hkrati, kar dosežemo tako, da ju zalijemo tesno skupaj v ohišje iz temperaturno prevodnega materiala, ali ju proizvedemo na v istem integriranem vezju eno zraven druge. Druga možnost je kombinacija Zenerjeve diode z dvakrat večjim temperaturnim koeficientom od diodnega temperaturnega koeficienta v prevodni smeri in dodatek dveh navadnih diod.



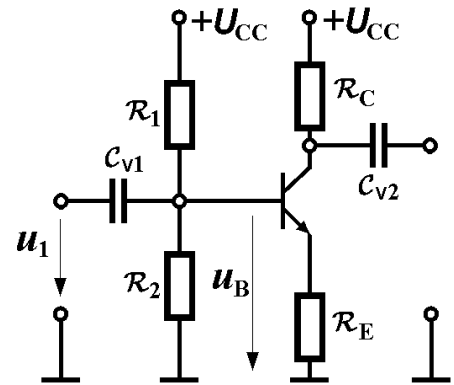
**7. Skicirajte tranzistorski napetostni ojačevalnik (tip tranzistorja izberite sami) in razložite njegovo delovanje.**

Eno od možnosti prikazuje naslednja slika. Tranzistor skupaj z uporabo  $R_E$  tvori napetostno krmiljen tokovni vir, ki bremenu v kolektorski veji vsiljuje tok  $i_C = \frac{u_B - 0,6V}{R_E}$ . Ta tok povzroča na upor  $R_C$  padec  $R_C i_C$ . Če

se napetost  $u_B$  spremeni za  $\Delta u_B$ , se tok  $i_C$  spremeni za  $\Delta i_C = \frac{\Delta u_B}{R_E}$ .

Napetost na levi sponki kondenzatorja  $C_{v2}$  je  $U_{CC} - R_C i_C$ , zato je sprememba te napetosti pri spremembi  $\Delta u_B$  enaka  $-R_C \Delta i_C =$

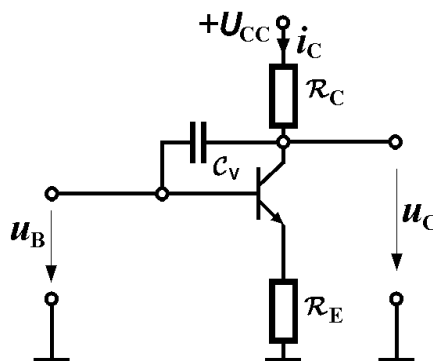
$-R_C \frac{\Delta u_B}{R_E} = -\frac{R_C}{R_E} \Delta u_B$ . Ojačenje ojačevalnika je torej  $-\frac{R_C}{R_E}$ .



Pri ojačevanju majhnih signalov poskrbi vhodni delilnik, da je tranzistor stalno odprt, sicer signali, manjši od 0,6 V sploh ne bi odprli tranzistorja, zato signalov mikrofona, CD ROM-a, ... brez prednapetosti ne bi mogli ojačevati. Kondenzator  $C_{v1}$  blokira enosmerno komponento, zato generator vhodnega signala ne čuti in ni moten zaradi enosmerne delilnikove prednapetosti. Prav tako enosmerna komponenta vira (navadno 0 V) ne spreminja delovne točke tranzistorja, ki jo določata napetostni delilnik in upor  $R_E$ . Signalne frekvence, ki so mnogo višje od mejne frekvence  $CR$  člena, ki ga tvorita  $C_{v1}$  in vhodna notranja upornost ojačevalnika, prehajajo na bazo tranzistorja neovirane.

**8. Kaj je Mullerjeva kapacitivnost? Zakaj ta pojav nastane? Kako vpliva na delovanje vezij?**

A. Mullerjeva kapacitivnost je pojav, pri katerem se kapacitivnost med vhomom in izhodom napetostnega ojačevalnika  $C_v$  na vhodu ojačevalnika pojavi kot za faktor napetostnega ojačenja večja  $C_v$ , vezana na maso.



B. Ko se vhodna napetost spremeni za  $\Delta u_B$ , se izhodna napetost spremeni za  $\Delta u_C = A \cdot \Delta u_B$ . S tem se tudi napetost leve sponke kondenzatorja spremeni za  $\Delta u_B$ , desne sponke pa za  $A \cdot \Delta u_B$ , tako je celotna sprememba napetosti na kondenzatorju enaka  $\Delta u_B - A \cdot \Delta u_B$ . Ker je obravnavani ojačevalnik invertirajoči, enačbo napišemo kot  $\Delta u_B + |A| \cdot \Delta u_B = (1 + |A|) \cdot \Delta u_B$ . Da se vhodna napetost lahko spremeni za  $\Delta u_B$ , je potrebno kondenzatorju  $C_v$  dovesti dovolj toka, da se njegova napetost spremeni za  $(1 + |A|) \cdot \Delta u_B$ .

Predpostavimo, da ves ta tok priteže iz signalnega vira. To je običajno res, saj je bazna sponka tranzistorja napetostno krmiljena, kar pomeni, da je Theveninova notranja upornost signalnega vira mnogo manjša od notranje upornosti bazne sponke tranzistorja, zato večina toka teče, kjer je upornost najmanjša, oziroma iz signalnega vira.

S stališča signalnega vira se kondenzator  $C_v$  obnaša kot kapacitivnost  $(1 + |A|) \cdot C_v$  proti masi, saj moramo za njegovo polnjenje in praznjenje dovajati  $(1 + |A|)$ -krat večji tok, kot bi ga morali dovajati kondenzatorju  $C_v$ , vezanemu na maso.

C. Mullerjeva kapacitivnost tvori s Theveninovo notranjo upornostjo signalnega vira parazitni RC člen, ki manjša zgornjo frekvenčno mejo signalne prenosne poti. Alternativno gledanje je, da pojav manjša vhodno admitanco vezja, s čimer bolj bremeni signalni vir, ozroma povzroča večje frekvenčno odvisno sesedanje vhodne napetosti.

**9. Pod kakšnimi pogoji se kolektorska oziroma ponorska veja tranzistorja obnaša kot tokovni vir?**

Pod pogojem, da je bipolarni (FET) tranzistor v aktivnem področju (področju nasičenja). To je takrat, ko je napetost  $u_{CE}$  ( $u_{DS}$ ) po absolutni vrednosti večja od  $U_{CE\_SAT}$  ( $U_{DS\_SAT}$ ) in prave polaritete (pozitivna za npn bipolarne tranzistorje in n-kanalne FET tranzistorje). Poleg tega mora biti napetost  $u_{BE}$  ( $u_{GS}$ ) pozitivna pri npn bipolarnih tranzistorjih in n-kanalnih FET tranzistorjih, negativna pa pri ostalih.

**10. Katere so ključne lastnosti diferencialnega ojačevalnika? Kaj je CMRR? Zakaj je ta sklop ključen za elektroniko v avtomatiki (dva razloga).**

- A. Diferencialni ojačevalnik v idealu ojačuje samo razliko obeh napetosti na vhodu, ne pa njunih absolutnih vrednosti. Ojačuje tudi enosmerno komponento signala, ker ne potrebuje kapacitivne sklopitve. Če se tranzistorja hkrati segrevata in ohlajata (nahajata se skupaj v integriranem vezju ali v temperaturno prevodnem ohišju), se učinek segrevanja med sabo izničuje.
- B. CMRR (ang.: common mode rejection ratio) je razmerje med protifaznim in sofaznim ojačenjem. Protifazno ojačenje je definirano kot sprememba razlike izhodnih napetosti deljeno sprememba razlike vhodnih napetosti. Sofazno ojačenje je definirano kot sprememba povprečne vrednosti izhodne napetosti pri sofazni spremembi na vhodu.
- C. Ker ojačuje tudi enosmerno komponento. Ker relativno velik CMRR manjša lezenje, s čimer je ojačevanje signalov manj podvrženo temperaturnim vplivom.