

Prvi kolokvij iz Industrijske elektronike I (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.

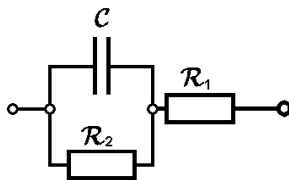
Odgovor: »Element, ki izkazuje kapacitivnost«, je napačen, ker elementa, ki izkazuje samo kapacitivnost ni, medtem ko kapacitivnost izkazujejo tudi upori, žice, tranzistorji in na sploh vsi elementi.

1. Potrebujemo upor z ozko toleranco upornosti 0,01 %. Iz predala vzamemo sto uporov s toleranco 1 %, jih izmerimo in ugotovimo, da se trem od njih dejanska vrednost upornosti ne razlikuje od nominalne za več kot 0,01 %. Ali lahko te upore uporabimo enako, kot če bi imeli deklarirano toleranco 0,01 %.

Ne. Upori s širšo toleranco imajo tudi večje povratne (temperatura, ...) in nepovratne (staranje, spajkanje, ...) spremembe upornosti, zato je majhna dejanska toleranca teh uporov samo kratkotrajna.

2. Kako sta definirani spodnja in zgornja frekvenčna meja realnega kondenzatorja? Katere lastnosti kondenzatorja ju določajo? Kaj ti meji povesta načrtovalcu vezij? Kako se kondenzatorji obnašajo izven teh frekvenčnih mej?

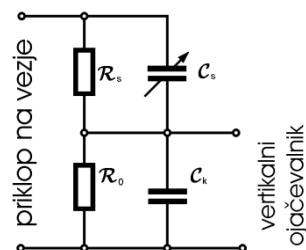
Nadomestno vezje kondenzatorja in frekvenčni meji: spodnja $f_{sp} = \frac{1}{2\pi R_2 C}$, zgornja $f_{zg} = \frac{1}{2\pi R_1 C}$.



- A. Spodnja frekvenčna meja je definirana kot tista frekvenca, pri kateri postane paralelna upornost R_2 manjša od impedance kondenzatorja. Pri zgornji frekvenčni meji postane upornost R_1 večja od impedance kondenzatorja.
- B. Spodnjo frekvenčno mejo določa kapacitivnost in upornost R_2 , zgornjo pa kapacitivnost in upornost R_1 .
- C. Ti meji povesta, okvirno v katerih mejah je možno kondenzator smatrati kot pretežno kapacitiven; od desetkratne spodnje frekvenčne meje do desetine zgornje frekvenčne meje, dejansko uporabno območje diktira zahtevana toleranca konkretne aplikacije.
- D. Mnogo pod spodnjo frekvenčno mejo se kondenzator obnaša kot upor R_2 , mnogo nad zgornjo frekvenčno mejo pa kot upor R_1 (glede na nadomestno vezje, ki ni popolno; v resnici dobi kondenzator pri visokih frekvencah induktivni značaj).
3. Katere so glavne razlike med elektrolitskimi in neelektrolitskimi kondenzatorji?
- A. So polarizirani (napačna polarizacija uniči dielektrik in lahko povzroči eksplozijo).
- B. Velike kapacitivnosti (daleč največje na enoto volumna).
- C. Ogromni prečni tokovi (daleč večji od ostalih tipov kondenzatorjev).
- D. Ogromne tolerance (tudi od -20 % do +100 %).
- E. Najnižje zgornje frekvenčne meje.

4. Zakaj uporabljamo sondo 10X? Kakšno je nadomestno vezje osciloscopa s to sondo? Zakaj jo moramo frekvenčno kompenzirati in kaj se zgodi, če je ne? Kako izvedemo njeno frekvenčno kompenzacijo?

- A. Da dvignemo notranjo upornost osciloscopa z 1 MΩ na 10 MΩ.
 B. Nadomestno vezje – bistvo: notranja upornost osciloscopa 1 MΩ in dodatni upor 9 MΩ sta vezana zaporedno, kar da notranjo upornost 10 MΩ; ti dve upornosti tvorita napetostni delilnik. Vhodna kapacitivnost osciloscopa in kapacitivnost koaksialnega kabla sta vezani vzporedno k notranji upornosti osciloscopa. Dobljeni napetostni delilnik ni frekvenčno kompenziran, zato sonda vsebuje še kondenzator C_s .



- C. Sondo frekvenčno kompenziramo, da imajo vse harmonske komponente signala isto delilno razmerje 1:10.
 D. Če ne izvedemo frekvenčne kompenzacije, so različne harmonske komponente različno dušene in fazno premaknjene, zato se oblika signala na zaslonu spremeni, kar vodi v napačne meritve.
 E. Sondo priklopimo na kakovosten vir pravokotnih pulzov okvirne frekvence 1 kHz in nastavimo kondenzator C_s na tako vrednost, da je signal na zaslonu osciloscopa čim bolj podoben pravokotnim pulzom.

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

- A. Breme je krmiljenj 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.

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

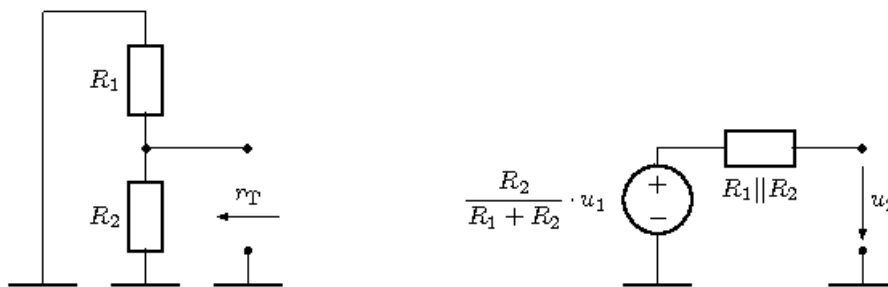
Poenostavimo še enačbo 1b.4, da dobimo naslednji zapis.

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

- 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).

6. 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:

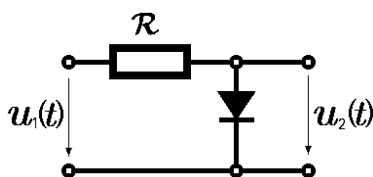


B. Želimo čim manjša upora, da je notranja upornost delilnika čim manjša in s tem breme bolj napetostno krmiljeno. Želimo čim večja upora, da so delilnikove joulske izgube čim manjše.

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

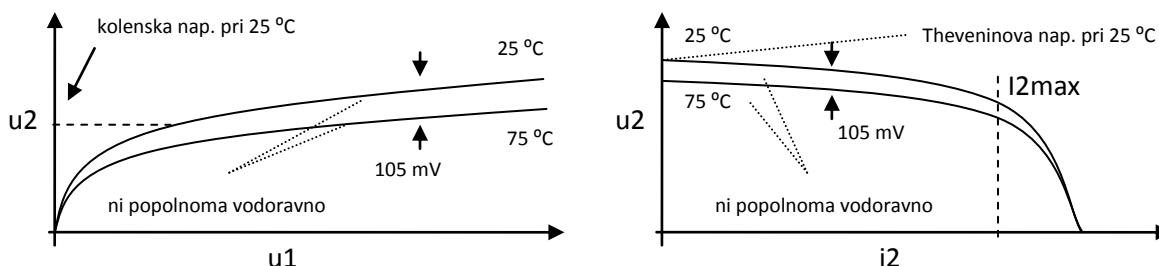
7. Razložite delovanje napetostnega omejitnika. Skicirajte odvisnost njegove izhodne napetosti od vhodne. Skicirajte odvisnost izhodne napetosti od bremenskega toka. Na obeh grafih nakažite dva poteka karakteristik, enega pri temperaturi diode 25 °C in drugega pri 75 °C (s kratkim stavkom utemeljite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

8. Ali se dinamična upornost diode večja ali manjša z večanjem toka preko diode? Ali se dinamična upornost diode večja ali manjša z večanjem temperature pri istem toku?

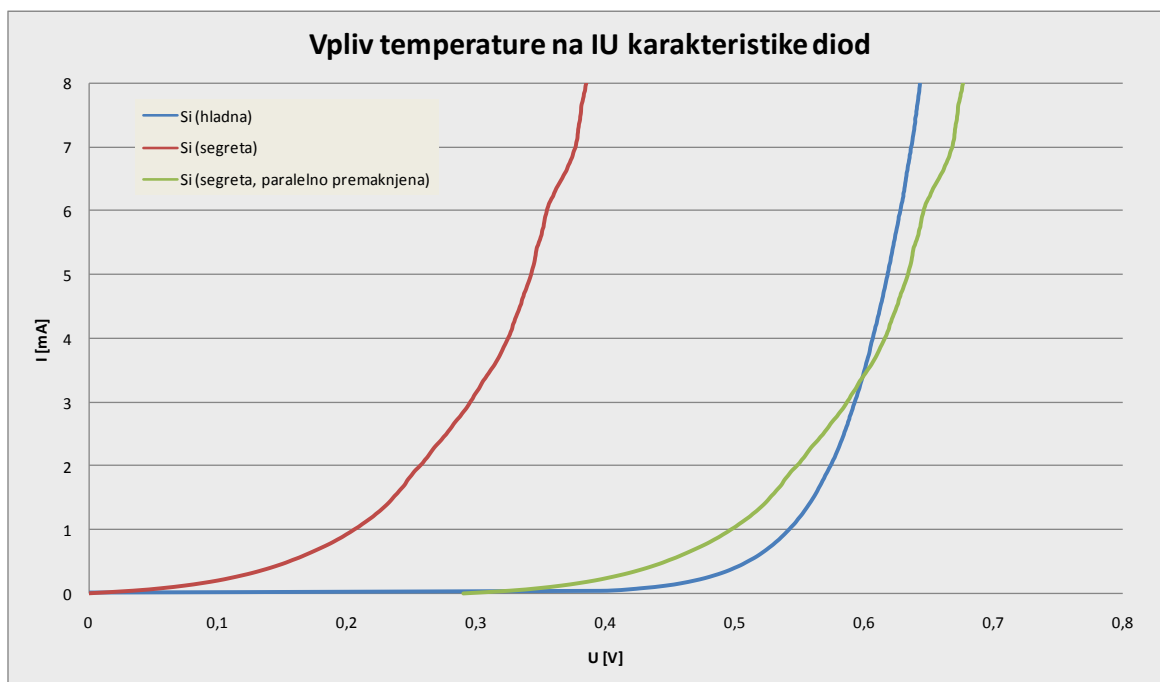
Na predavanjih smo izpeljali enačbo dinamične upornosti diode: $r_D = \frac{U_T}{I}$.

Iz enačbe je razvidno, da je upornost r_D obratnosorazmerna s tokom preko diode in premosorazmerna s temperaturo ($U_T = \frac{kT}{q}$).

Opomba: odgovor, da se upornost r_D ne spreminja s temperaturo je **samo tokrat** priznan polovično (2,5 % namesto 5 %), ker ponavadi res razmišljamo v približku, kot da se karakteristika paralelno premakne. V resnici je premik odvisen od toka preko diode, zato v knjigah dostikrat preberemo, da je temperaturni koeficient diode med $-2,1$ mV/K in $-2,4$ mV/K, ali kaj podobnega. To je potrebno na predavanjih v bodoče dodatno poudariti.

Premik karakteristike ne more biti povsem paralelen, saj bi s tem del karakteristike pri majhnih prevodnih napetostih zlezal v drugi kvadrant, kar pomeni da bi pri negativni napetosti na diodi tekel preko nje pozitivni tok, s čimer bi dioda postala vir energije ($P=U \cdot I$, poraba bi postala negativna), kar je fizikalno nemogoče.

Da premik karakteristike ni povsem paralelen, se prepričamo, če analiziramo meritve diod, ki smo jih izvedli med predavanji oziroma na vajah. Čisti premik karakteristike segrete diode preko karakteristike hladne diode prikazuje naslednji graf, kjer vidimo, da se z večanjem temperature strmina manjša.



9. Kaj se zgodi, če dajalnik temenske napetosti zgradimo z Zener diodo? Ali je za dajalnik temenske napetosti bolje, da uporabljamo elektrolitski ali navaden kondenzator? Kaj je dielektrična absorpcija in kako vpliva na delovanje dajalnika temenske napetosti?

A. 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_{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.

- B. Boljši je navaden kondenzator. Elektrolitski kondenzator ima prevelik prečni tok, zato hitro pozablja temensko vrednost napetosti. Poleg tega se tak kondenzator že pri relativno nizkih frekvencah obnaša kot tuljava, zato kratkotrajnih napetostnih konic (mnogo višjih harmonskih komponent) ne moremo opazovati. Tudi velikih kapacitivnosti ponavadi ne potrebujemo, da (ponovno) izhodna napetost lahko sledi hipnim spremembam vhodne napetosti. Pri velikih kapacitivnostih tvori kondenzator skupaj s Theveninovo notranjo upornostjo vira in dinamično upornostjo diode preveliko časovno konstanto (glej naslednjo nalogo ☺).
- C. Dielektrična absorpcija povzroča, da se kondenzator po relativno hitrih spremembah napetosti, ki jim sledi odklop kondenzatorja iz vezja, sam prične nabijati ali prazniti v kontra smeri spremembe. Torej, če je kondenzator dolgo časa nabit na neko napetost, nato pa ga vežemo v kratek stik in spraznimo ter nato odklopimo iz vezja, prične na sponkah kondenzatorja napetost naraščati. Podobno, če je kondenzator dolgo časa izprazen in ga kratkotrajno nabijemo na neko napetost, nato pa odklopimo, se prične na sponkah kondenzatorja napetost manjšati (dodaten učinek poleg praznjenja preko paralelne upornosti).

Pri dajalniku temenske napetosti dioda polni kondenzator samo v časovnih intervalih, ko je vhodna napetost višja od napetosti na kondenzatorju (+kolenske napetosti diode). Ti intervali so tipično kratki, sledi pa jim dolgo obdobje, ko je dioda zaprta in je kondenzator efektivno odklopljen od signalnega vira. Zaradi tega je vezje podvrženo učinku, opisanem v prejšnjem odstavku.

10. Kateri trije dejavniki vplivajo na maksimalno hitrost polnjenja kondenzatorja pri dajalniku temenske napetosti? Namig: to je povezano z RC časovno konstanto, ki vedno določa hitrost polnjenja kondenzatorja. Odgovor na vprašanje boste dobili, če ugotovite, kaj vpliva na to časovno konstanto. Na začetku vprašanja piše: trije dejavniki.

Vsota Theveninove notranje upornosti signalnega vira in dinamična upornost diode (vprašanje 8), ki sta vezani zaporedno, tvorita skupno Theveninovo notranjo upornost, ki jo čuti kondenzator. Časovna konstanta polnjenja in praznjenja je zato: $\tau = (R_{\text{signalni_vir}} + r_{\text{Ddioda}})C$. Trije dejavniki so tri veličine, ki nastopajo v tej enačbi.