

OSNOVI ELEKTRONIKE
 ODSEK ZA SOFTVERSKO INŽENJERSTVO
Domaći zadatak 2
 ŠKOLSKA GODINA 2021/2022.

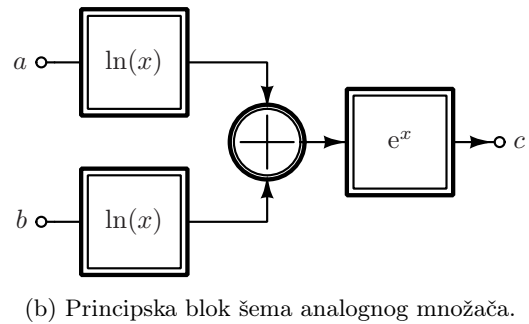
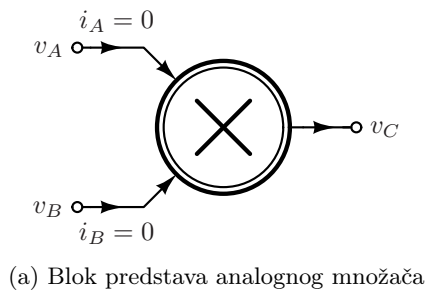
Merenje srednje (aktivne) snage je temeljni element u postupku administriranja transfera električne energije. Standardni merači transfera električne energije su bazirani na *mix-signal* elektronici gde glavnu matematičku obradu obavlja namenski procesor – *Energy Metering IC*. Ipak, u ekstremnijim uslovima rada, digitalna elektronika može biti kompromitovana, pa se pribegava čisto analognim rešenjima, koja mogu da budu čak i neelektrična.

U ovom domaćem zadatku imaćete priliku da uradite projekat analogne računске jedinice koja računa aktivnu snagu.

Cilj domaćeg zadatka je analiza rada jednog sistema za merenje aktivne snage prijemnika u kolu prostoperiodične struje. U prvom delu zadatka biće ispitani ključni element za rad datog sistema, a u drugom će biti ilustrovan i ispitani rad sistema u celosti.

1. Naponski množač (100 poena)

Naponski (*analogni*) množač je kolo sa dva ulaza i jednim izlazom (Slika 1a). Trenutna vrednost izlaznog napona **srazmerna** je proizvodu trenutnih vrednosti ulaznih napona, $v_C = \frac{v_A \cdot v_B}{V_0}$. Trenutne vrednosti struja ulaznih priključaka jednake su nuli $i_A = i_B = 0$. Jedan način realizacije ovog kola, koji će biti obrađen u ovom zadatku, jeste primenom algebarskog identiteta $ab = e^{\ln a + \ln b}$.



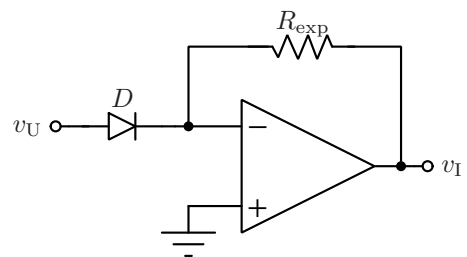
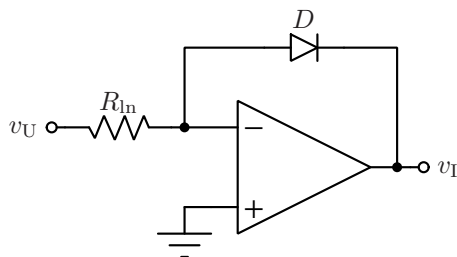
Slika 1: Uz uvođenje analognog množača.

Na osnovu toga, potrebno je realizovati blokove koji računaju ekponencijalnu funkciju i funkciju prirodnog logaritma ulaznog napona. Elektronski element koji ispoljava ekponencijalnu vezu napona i struje jeste poluprovodnička dioda čija je karakteristika data izrazom $i_D \approx I_S \left(\exp \left(\frac{v_D}{V_t} \right) - 1 \right)$. Ukoliko je dioda direktno polarisana, onda je $v_D \gg V_t$ odakle se ima aproksimativno

$$i_D \approx I_S \exp \left(\frac{v_D}{V_t} \right) \tag{1}$$

Korišćenjem idealnog operacionog pojačavača moguće je ovu vezu struje i napona iskoristiti za projektovanje kola čiji su izlazi srazmerni ekponencijalnoj funkciji ulaznog napona, odnosno odgovarajućem logaritmu.

ZADATAK



Slika 2: Uz zadatak.

- (i) [15+15] U kolima sa slike (2) poznati su $R_{in} = 100 \text{ M}\Omega$, $R_{exp} = 100 \Omega$, operacioni pojačavači su idealni, a diode su opisane aproksimacijom datom izrazom (1) gde su¹ $I_S = 10 \text{ fA}$ i $V_t = 25 \text{ mV}$. Odrediti analitički oblik statičkih prenosnih karakteristika oba kola, $v_I^{(a)} = v_I^{(a)}(v_U^{(a)})$ i $v_I^{(b)} = v_I^{(b)}(v_U^{(b)})$.
- (ii) [15+15] U programskom paketu PSpice simulirati kola iz prethodne tačke. Opseg ulaznog napona za kolo koje određuje logaritama treba da bude $0,5 \text{ V} < v_U^{(ln)} < 1,5 \text{ V}$, a za kolo koje određuje eksponencijalnu funkciju treba da bude $0,3 \text{ V} < v_U^{(exp)} < 0,7 \text{ V}$. Nacrtati odgovarajuće grafike statičkih prenosnih karakteristika prenosnih karakteristika, $v_I = v_I(v_U)$.

Model diode: Za diode koristiti model **Dbreak**. Model je potrebno prilagoditi tako da nema rednu otpornost. Selektovati diodu kursorom miša, potom odabrati meni *Edit* a iz njega opciju *Model*. U dobijenom prozoru pritisnuti dugme *Edit Instance Model (Text)*... a u dobijenom polju za unos teksta izmeniti **Rs=0.1** u **Rs=0** i pritisnuti dugme *Ok*. Tu diodu iskopirati na svim mestima gde je potrebna.

Za oba kola koristiti *DC sweep* analizu.

Napomena: PSpice nije *case-sensitive*, da biste uneli otpornost $100 \text{ M}\Omega$ potrebno je da ukucate **100meg** a ne **100M** (koji bi bio protumačen kao $100 \text{ m}\Omega$).

- (iii) [10] Na osnovu principa sa slike 1b korišćenjem kola iz prethodne tačke projektovati naponski množač koristeći jedan dodatni sumator sa operacionim pojačavačem. Izračunati parametar V_0 tako dobijenog naponskog množača.
- (iv) [30] Simulirati projektovani naponski množač iz prošle tačke. Slobodno odabrati ulazne napone tako da se ilustruje ispravnost rada kola. Ispravnost kola pokazati na nekoliko primera.

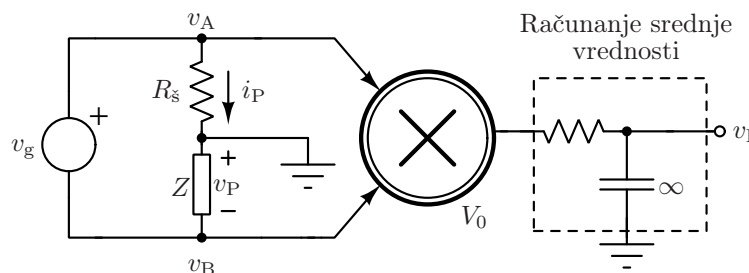
Konfigurisanje simulatora: Za ovu tačku, **i naredni zadatak**, Koristiti *Transient* analizu. Tom prilikom, **neophodno je** da se analiza podesi na sledeći način: Iz menija *Analysis* odabrati opciju *Setup*.... Zatim, čekirati *Transient* opciju i pritisnuti istoimeno dugme. **Čekirati** opciju *Skip initial transient solution*. Pritisnuti dugme *Ok*.

2. Merenje aktivne snage (100 poena)

Trenutna snaga koju prima prijemnik u kolu prostoperiodične struje, na kome postoji napon $v_P(t)$ a u kome je uspostavljena struja $i_P(t)$, prema usklađenim referentnim smerovima, data je njihovim proizvodom $p_P = v_P \cdot i_P$. Aktivna snaga računa se kao srednja vrednost trenutne snage na jednom periodu $P_P = \overline{p_P} = \overline{v_P \cdot i_P}$. Idejna šema kola za računanje aktivne snage data je na slici 3. Otpornost R_s predstavlja otpornost šanta koja se koristi da bi se struja prijemnika pretvorila u napon koji se dalje koristi. Obično je $R_s \ll |Z|$ da bi gubici na šantu bili što manji. Sa slike se neposredno vidi da su naponi $v_A = i_P R_s$ i $v_B = -v_P$. Odavde se ima da je izlaz množača

$$v_C = -\frac{v_P i_P R_s}{V_0} = -\frac{p_P R_s}{V_0}. \text{ Odakle se konačno kolom za usrednjavanje (uokvireno isprekidano) iznalazi da je}$$

$$v_I = -\frac{R_s}{V_0} P_P.$$

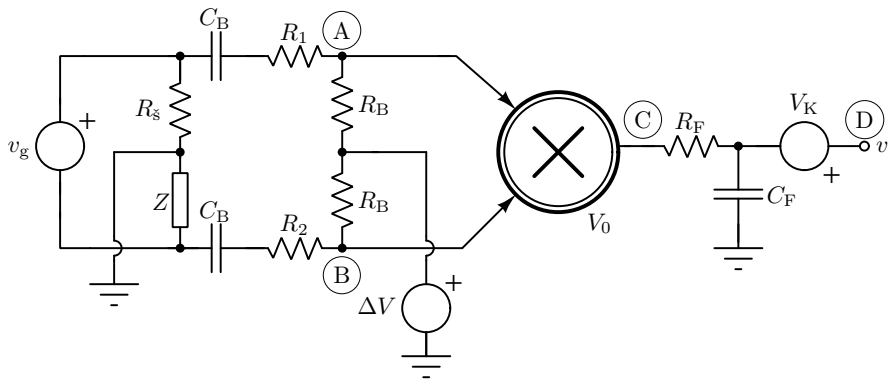


Slika 3: Principalska šema kola za merenje aktivne snage linearnog prijemnika.

Ovako predstavljena idejna šema mora se iz praktičnih razloga dopuniti dodatnim kolima — slika 4.

Budući da kola iz prethodne tačke ne rade ispravno za negativne ulazne napone (jer diode treba da budu direktno polarisane), potrebno je pomeriti oba ulazna napona za isti iznos od ΔV pomoću naponskog izvora (odnosno, obaviti polarizaciju). Na taj način su ulazi u množač $v_A = i_P R_s + \Delta V$ i $v_B = -v_P + \Delta V$, tako da se na izlazu množača nakon usrednjavanja nalazi $\bar{v}_C = \frac{1}{V_0} (i_P R_s + \Delta V)(-v_P + \Delta V) \approx -\frac{R_s}{V_0} P_P + \frac{\Delta V^2}{V_0}$. Da bi se precizno podesila nula izlaznog napona (odnosno, obavila kalibracija), potrebno je tu dodatnu komponentu napona ukloniti pomoću rednog naponskog izvora $V_K \approx -\frac{\Delta V^2}{V_0}$.

¹Parametar V_t je dat kao aproksimativna vrednost za teorijski račun. PSpice koristi precizniju vrednost koju ne treba da podešavate. Teorijski i simulirani rezultati neće biti identični, treba da bude odgovarajući oblik funkcije ali vrednosti mogu i odstupati.



Slika 4: Kompletirana šema za merenje aktivne snage linearnog prijemnika.

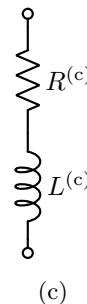
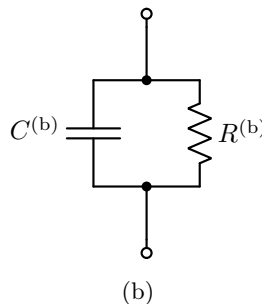
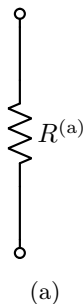
Dodatno, kola u množaču su u prethodnoj tački projektovana da rade za napone reda 100 mV dok je su ulazni naponi množača određeni naponom i strujom prijemnika pomnoženom otpornošću šanta usled čega ih je potrebno skalirati. Ukoliko pretpostavimo da je napon prijemnika reda veličine 100 V onda je jasno da taj napon treba podeliti sa 1000 da bi se ostvario optimalan red veličine. Ako je struja prijemnika reda veličine 1 A, ukoliko odaberimo otpornost šanta od $R_s = 0,1 \Omega$, onda je strujni ulaz reda veličine 100 mV što jeste odgovarajuće. Ova dva skaliranja obavljaju se kapacitivno spregnutim otpornim razdelnicima R_1-R_B i R_2-R_B . Konačno je izmerena snaga data kao:

$$v_I = -\frac{R_B}{R_1 + R_B} \cdot \frac{R_B}{R_2 + R_B} \cdot \frac{P_p R_s}{V_0} \quad (2)$$

ZADATAK

U kolu sa slike 4 je poznato $R_s = 0,1 \Omega$, $R_1 = 9 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_B = 1 \text{ k}\Omega$, $V_0 = 1 \text{ V}$, $\Delta V = 1 \text{ V}$, $C_B = 100 \mu\text{F}$, $C_F = 1 \text{ mF}$ i $R_F = 10 \text{ k}\Omega$, a kao naponski množač treba upotrebiti kolo projektovano u prethodnom delu zadatka i naslediti njegov parametar V_0 . Naponski generator je prostoperiodičan, efektivne vrednosti $V_{g,\text{eff}} = 240 \text{ V}$ i učestanosti $f = 50 \text{ Hz}$.

- (i) [10+10+10] Parametri pasivnih mreža sa slike 5 su $R^{(a)} = 10 \Omega$, $R^{(b)} = 50 \Omega$, $R^{(c)} = 10 \Omega$, $C^{(b)} = \frac{50}{\pi} \mu\text{F}$ i $L^{(c)} = \frac{1}{\pi} \text{ H}$. Svaka od mreža, priključuje se na mesto impedanse Z na slici 4. Računskim putem, izračunati teorijsku vrednost aktivne snage prijemnika u sva tri slučaja. **U potpunosti zanemariti struje kondenzatora C_B .**

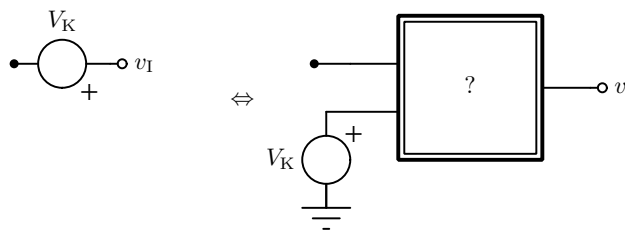
Slika 5: Uz zadatak, impedansa Z .

- (ii) [40] Opisani sistem za merenje aktivne snage simulirati u programskom paketu PSpice za tri različita prijemnika iz prethodne tačke. Podesiti vrednost generatora V_K tako da u odsustvu napona generatora v_g , odnosno kada je aktivna snaga koju sistem meri ravna nuli, bude izlazni napon jednak nuli. Nacrtati vremenske dijagrame napona u tačkama A, B, C i D obeleženim na šemi na intervalu od dve periode pobudnog napona. Na osnovu opisa sistema izračunati snagu prijemnika na osnovu merenja u tački D. Tabelarno uporediti rezultate dobijene ovim sistemom i računski dobijene rezultate iz prethodne tačke.

Napomene: Ukoliko generator V_K nije priključen ni na šta sa desne strane PSpice će prijaviti grešku. Potrebno je sa desne strane tog generatora povezati veliki otpornik (npr. 100 M Ω) ka masi.

Dodatno, usled velikih kapacitivnosti u kolu potrebno je pustiti *Transient* analizu da traje barem 100 sekundi da bi se uspostavilo stacionarno stanje.

- (iii) [10] Modifikovati deo kola desno od kondenzatora C_F , na način po izboru, tako da se jedan kraj generatora V_K bude uzemljen, kao što je ilustrovano na slici 6.



Slika 6: Uz tačku (iii).

- (iv) [20] Modifikovati kolo, po izboru, tako da napon na izlazu bude brojno jednak aktivnoj snazi u kilovatima. **Po potrebi izmeniti ostale parametre kola.** Funkcionalnost pokazati na primeru rezistivnog prijemnika čija je aktivna snaga 1 kW.

3. Uputstvo

Rešenja zadataka (tekstualna objašnjenja, jednačine, slike, listing programa itd) predati **u formi izveštaja u PDF formatu** (rukom pisani i potom skenirani izveštaji neće biti prihvaćeni, kao ni izveštaji koji nisu predati u traženom formatu). Prva strana izveštaja treba da sadrži ime, prezime, br indeksa kandidata kao i broj domaćeg zadatka. Jednačine kucati u *EQ* editoru ili sličnom editoru za jednačine. Grafike crtati pomoću Excel programa ili nekog drugog računarskog alata. Tamo gde je to traženo, rezultate prikazati tabelarno. Na mestima gde nije jednoznačno kako treba rešiti zadatak, **usvojiti razumnu pretpostavku** i nastaviti sa rešavanjem zadatka.

Ukoliko se traži računarska simulacija, slike šema, **kao i rezultate simulacija**, koje se simuliraju importovati u izveštaj, a **sve fajlove koje generiše PSpice fajlove sa markiranim rezultatima** poslati zajedno sa izveštajem. Sve fajlove koji se šalju, a to su samo jedan PDF i nekoliko .sch fajlova komprimovati i poslati kao jedan komprimovani fajl

Drugi domaći zadatak se vrednuje sa maksimalno 200 poena od čega 100 poena predstavlja **bonus!** Bonus poenima se mogu nadoknaditi i poeni sa drugih domaćih zadataka (pri čemu se u slučaju da zbir poena na svim domaćim zadacima premašuje 300, taj broj poena odseca na 300).

Izveštaj poslati na **obe** adrese milan@el.etf.rs i djokicd@etf.rs najkasnije **do utorka 04.01.2022. u 23:59h.**

Subject treba da bude **OE_SI_DRUGI_DOMACI.**

Naziv pdf fajla treba da budu u formi **Ime_prezime_godina_brojIndeksa.**

Naziv komprimovanog fajla treba da bude u formi **Ime_prezime_godina_brojIndeksa.**

Svaka uočena saradnja, ili nedozvoljena aktivnost, kažnjavaće se oduzimanjem SVIH poena sa SVIH domaćih zadataka.