

Utvrđivanje gradiva mreža izmjenične struje pomoću pitanjima navođenog sveobuhvatnog primjera zadatka

Uvod – važnost postavljanja pitanja (sebi i drugima)

Svakom zadatku i problemu (u životu) treba pristupati postavljajući si pitanja, počevši od pitanja: „Što se zapravo od mene traži? Što želim postići?“. Kada se na to pitanje odgovori točno onda će se sama od sebe početi nametati daljnja prava pitanja koja čovjeka navode kroz rješavanje zadatka, a to je već više od pola rješenja. Jer jednom kada se postavi pravo pitanje na njega je, uz dovoljno vremena i pristupa materijalima (knjigama, bilježnicama, internetu itd.), u pravilu jednostavno pronaći odgovor, čak i ako ne znaš odmah, „iz glave“.

Druga važna stvar koja se dobiva takvim pristupom problemima (zadacima) jest razbijanje naizgled velikog i složenog problema na puno manjih i jednostavnijih problema - koraka. Jer bilo kojem ozbiljnom problemu u životu u pravilu nitko ne zna rješenje unaprijed, čim ga vidi, niti za njega postoji jednostavna formula u koju se nešto samo može uvrstiti. Štoviše, sve probleme takvog tipa, za koje postoji gotova „formula“ i poznat način rješavanja, računala i strojevi mogu riješiti puno brže i točnije nego bilo koji čovjek. Takvi problemi, moglo bi se reći, nisu ni vrijedni trošenja vlastitog, ljudskog vremena na njih. No svaki pravi, ozbiljni, složeni problem može se razbiti, rastaviti na jednostavnije korake koje znaš provesti. Takav postupak zove se **analiza**, a takvo razmišljanje **analitičko razmišljanje**, i ono se treba učiti i trenirati, kao i sve druge sposobnosti.

Razvijanje analitičkog razmišljanja je ono što ti omogućuje upotrijebiti puni kapacitet vlastitog intelekta, to je jedna od stvari koje nas ljude čine pametnijima od drugih životinja, bez toga smo jednostavni kao strojevi. Za razvijanje sposobnosti analitičkog razmišljanja potrebno je **strpljenje, trud i samokontrola**, jer jedan od osnovnih poriva svih ljudi je što brže dolaženje do rješenja problema s minimalno uloženog truda i energije – nitko se ne želi nepotrebno mučiti i svi žele jednostavna i brza rješenja. No takva rješenja (i „problemi“ koji imaju takva rješenja) su u pravilu bezvrijedna, a za sve što će imati bilo kakvu vrijednost, tebi ili drugima, potrebno je uložiti trud. Ali uz taj trud dolazi i nagrada – u najmanju ruku osjećaj ponosa i uspjeha, a često kasnije u životu i materijalna i/ili društvena korist.

Postoji još jedan psihološki aspekt zbog kojega ljudi bježe od kompleksnih problema pa traže jednostavna (tuđa) rješenja i jednostavnije probleme, a to je strah od neuspjeha. Strah od toga da će ispasti glupi i nesposobni. Pa zato radije prepisuju od drugih i koriste tuđa gotova rješenja makar bila i kriva, jer barem znaju da nisu sami u tome. To je razumljiv i prirodan refleks, ali na taj način nemoguće je napredovati kao osoba pa se zapravo time osuđuješ na neukost i nesposobnost. Za postizanje bilo čega vrijednoga u životu potrebna je hrabrost i određena mjera rizika, bar privremeno i kratkotrajno izlaženje van sigurne i ugodne zone.

Jedna od osnovnih funkcija škole je da pruži takvo okruženje da se vi, učenici, osjećate slobodni reći i napraviti što god mislite i želite, a da vas mi, profesori, usmjeravamo i kažemo vam što o tome mislimo bez da vas osuđujemo i rugamo vam se. Zato će meni uvijek puno

više vrijediti da ste vi nešto, bilo što, sami pokušali pa da ste pitali mene kada i ako ste negdje zapeli. Jer samo ako se riješite tog srama, da pitate one koji više znaju i mogu vam pomoći, i riskirate ispast glupi, možete napredovati. Dakle – **razmišljajte svojom glavom i bez srama pitajte mene kada i ako negdje zapnete** :) Sretno!

Naputci i savjeti za rješavanje

Zadatak treba početi rješavati tako da se u bilježnicu ili na kakav drugi papir prvo precrta shema električnog kruga i sve zadane vrijednosti. Zatim se treba označiti podzadatak koji se rješava (npr. „a“) i potom zadatak rješavati prateći po redu pitanja koja se nalaze ispod ovog odjeljka, pišući odgovore uz oznaku pitanja na koje se odgovara (vidi primjer ispod).

$$\begin{aligned} \text{a) I.a. } U &= \frac{35.35}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1.235 \cdot 360}{2\pi} = \boxed{25 / 70.7 \text{ V}} \\ \text{I.c. } \omega &= 2\pi f = 2 \cdot 500 \cdot \pi = 1000\pi = \boxed{3142 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \\ \text{I.d. } X_L &= \omega \cdot L_j = 3142 \cdot 420 \cdot 10^{-3} j = \boxed{1319 j \, \Omega} \\ X_C &= \frac{1}{\omega C_j} = \frac{1}{3142 \cdot 210 \cdot 10^{-6}} (-j) = \boxed{-1516 j \, \Omega} \end{aligned}$$

Pitanja koja se nalaze ispod ovog odjeljka služe da ti pokažu primjer kako se postavljanjem pravih pitanja jedan komplicirani zadatak/problem razbija na puno malih jednostavnih koraka koji logički slijede jedan iza drugoga. Svaki od tih malih koraka trebao/trebala bi znati riješiti pomoću gradiva koje smo radili na satu, dakle ili iz glave ili uz pomoć bilježnice ili knjige ili drugih materijala (Googleajte, snađite se). Taj niz pitanja je jedan primjer kako proces analitičkog razmišljanja, odnosno rješavanja jednog ovakvog zadatka, može i otprilike treba izgledati u glavi svakoga od nas. Svakako to nije jedini način, jedini mogući niz pitanja/koraka, ali za ovaj put drži se njega i probaj nešto iz toga naučiti.

Nužne vještine da bi se na taj način zadatci mogli rješavati su **strpljenje i ponavljanje**. Nužno je, dakle, da svaki zadatak i svako (pod)pitanje pročitaš pažljivo i, ako zapneš, čitaš ga ponovno i ponovno sve dok ti ne sine što bi se moglo ili trebalo učiniti (isto vrijedi i za ovaj tekst koji sada čitate). Ako dođeš do kraja malo duže rečenice i nisi više sigurna/siguran što je točno pisalo, što se od tebe tražilo, pročitaj ju ponovno, polakše. Kada riješiš jedan podzadatak ili pitanje, vrati se na originalni tekst zadatka da se podsjetiš što bi trebalo dalje, što je ono što je konačni cilj zadatka, jer to se tijekom rješavanja (dužih) podzadataka može izgubiti iz vida.

Potrebno je biti strpljiv, miran, provjeravati i ponavljati radnje. Ako se umoriš od sjedenja ili izgubiš koncentraciju ili osjetiš bilo što takvo – **ustani se, prošeći, malo razgibaj, udahni svježeg zraka, odi popiti čašu vode**. Ako ti se počne spavati, a znaš da si dovoljno

spavao/spavala, provjeri da u tvom radnom prostoru ima dovoljno kisika (otvoreni prozor u sobi). Ako te uhvati nagli umor probaj se razgibati i popiti čašu vode, to se zna dogoditi kada padne tlak od dehidracije. Sve su to važne stvari, jer mozak i tijelo su povezani.

Također, jednako kao što sposobnost da sad ovaj čas napraviš 100 sklekova ili otrčiš 10 kilometara zahtijeva trening tijela, i bez tog treninga i forme to ne bi, ni uz najbolju volju, mogla/mogao napraviti, tako i ovakav način razmišljanja zahtijeva trening mozga i nemoj očekivati da možeš sjesti i raditi ovo 5 sati u komadu, samo zato što si tako odlučio/odlučila ili isplanirao/isplanirala. Zato, napravi koliko možeš odjednom (dok ne osjetiš umor, zamor, dekoncentraciju) pa radi nešto drugo i vraćaj se na ovo i završavaj to malo po malo, kroz više dana, svaki put čitajući (pod)zadatke ponovno i prisjećajući se što trebaš napraviti i gdje si zadnji put stala/stao.

I konačno, piši samo odgovore u koje si siguran/sigurna. Jer si našao/našla da to negdje piše, jer si razmislio/razmislila o tome i znaš da je tako. Ako nisi sigurna/siguran, ako sumnjaš, onda pitaj, provjeri! **Ovo nije igra pogađanja!** Problemi u životu se ne rješavaju pogađanjem i držanjem figa u nadi da je dobro. Takav rizik nije prihvatljiv niti u svakodnevnom životu niti u ijednom poslu, a pogotovo u bilo čemu u vezi zrakoplova. Također, iako ja inače ne stavljam naglasak na pogreške u računu, važno je ponekad u životu i da možeš biti siguran/sigurna da ono što si napravio/napravila je 100% točno, pogotovo u područjima kao što je zrakoplovstvo. Tako da ću u ovom slučaju priznavati kao točne samo odgovore koji su i računski, brojčano točni, a ne samo „logički“ ispravni. Pa imaj to na umu dok rješavaš.

Ako ovaj zadatak riješiš točno cijeli od početka do kraja tako da ti je odgovor na svako pitanje jasan i da sve razumiješ odakle je došlo i zašto je tako, i da bi mogao takav postupak provesti ponovno, samostalno, s nekim sličnim zadatkom (a svi su oni slični), onda možeš skoro pa smatrati da si s ovim predmetom gotov.

Zadatak:

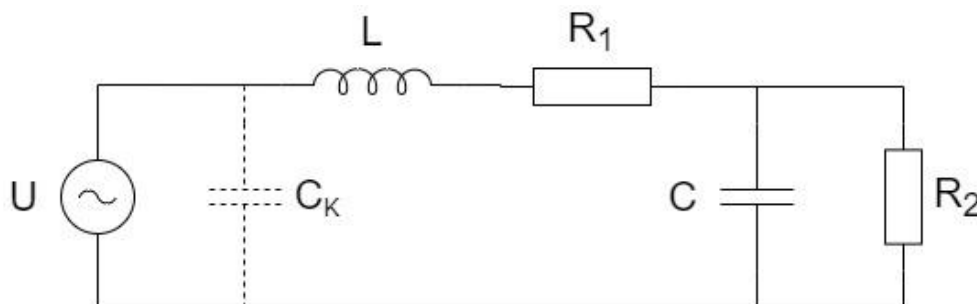
$$R_1 = 500 \, \Omega$$

$$R_2 = 1.5 \, \text{k}\Omega$$

$$L = 420 \, \text{mH}$$

$$C = 210 \, \text{nF}$$

$$U(t) = 35.35 \cdot \sin(\omega \cdot t + 1.234) \, [\text{V}]$$



a) Izračunaj ukupnu impedanciju (Z_{uk}), sve struje (I_{uk} , I_C , I_{R2}) i sve snage (S_{uk} , P_{uk} , Q_{uk} , P_{R1} , P_{R2} , Q_L , Q_C) u električnom krugu sa skice (bez kondenzatora C_K), ako izvor stvara struju frekvencije $f = 500 \, \text{Hz}$;

b) Ako se krugu sa slike paralelno doda kondenzator C_K (crtkano na slici), koliki treba biti njegov kapacitet da bi ukupna snaga koju daje izvor U (pri $f = 500 \, \text{Hz}$) postala čisto djelatna (realna)? Koliki je faktor snage u tom slučaju, a koliki je bio prije nego je dodan ovaj dodatni kondenzator?

c) Ako je iznos kapaciteta kondenzatora C_K za 20% manji od vrijednosti koja je dobivena u b) zadatku, koliki je onda faktor snage? Što zaključuješ iz toga, je li bitna velika preciznost iznosa tog dodatnog, kompenzirajućeg kondenzatora?

d) Pronađi rezonantnu frekvenciju f_{rez} kruga sa slike (bez kondenzatora C_K).

Pitanja za rješavanje zadatka

Podzadatak a)

I. Prije ikakvih pitanja trebam napraviti pripremu za računanje – sve u kompleksne brojeve!

a. Napon zapiši kao kompleksni broj (*fazni kut u stupnjevima, molim, ali kao decimalni broj, bez minuta i sekundi*)

b. Za impedancije zavojnice i kondenzatora potrebna je kutna frekvencija (ω). Kolika je ona? (*formula i račun*)

c. Kolike su impedancije zavojnice Z_L i kondenzatora Z_C , kao kompleksni brojevi? (*formule i računi*)

II. OK, sad kad je sve pripremljeno, što me pita... Kolika je ukupna impedancija kruga (Z_{uk})? Za to mi je potrebno skužiti kako su elementi spojeni...

a. Kako je zavojnica L spojena s R_1 – serijski ili paralelno? (*odgovori i izračunaj taj spoj*)

- b.** Kako je kondenzator C spojen s R_2 – serijski ili paralelno? (*odgovori i izračunaj taj spoj*)
- c.** Zašto se treba prvo izračunati ekvivalentnu impedanciju spoja C i R_2 prije nego se ona može dalje spajati s L i R_1 ?
- d.** Ukupna impedancija (Z_{uk}) se dobije iz spojeva (L, R_1) i (C, R_2). Kakav je taj spoj – serijski ili paralelan? (*odgovori i izračunaj Z_{uk}*)

III. Što dalje... Aha, struje.

- a.** Kolika je ukupna struja I_{uk} koja izlazi iz izvora, ako znaš ukupni napon i ukupnu impedanciju? Napiši ju kao kompleksni broj i kao izmjeničnu veličinu – funkciju vremena. (*formula i račun*)
- b.** Kako izračunati struje kroz C i R_2 ? Koja veličina ti treba? Što je isto u obje grane paralelnog spoja? (*odgovori*)
- c.** A kako to izračunati... Gdje se sve napon „troši“ od izvora do čvora paralelnog spoja C i R_2 ? Koliki su ti naponi (U_L i U_{R1})? (*odgovori i izračunaj*)
- d.** Koliko je napona onda „preostalo“ za paralelni spoj (U_{RC})? (*formula i račun*)
- e.** Pada li ti na pamet neki drugi, kraći način za izračun napona U_{RC} iz već izračunatih veličina? Kako bi se to izračunalo? (*hint: ekvivalentni/zamjenski spoj za C i R_2*)
- f.** Zašto si ono računao/la taj napon... Aha da, struje! Kolike su struje I_C i I_{R2} ? (*izračunaj*)

IV. I što još hoće... Ah da, snage!

- a.** Kolika je ukupna (prividna) snaga S_{uk} cijelog kruga, ako znaš ukupni napon i struju izvora? (*formula i račun, pazi na jedinice!*)
- b.** Kolika su ukupna djelatna (radna, aktivna) snaga P_{uk} i jalova (reaktivna) snaga Q_{uk} ? (*izračunaj, pazi na jedinice!*)
- c.** Kako bi izračunao/izračunala ukupnu snagu pomoću napona i impedancije? (*formula i račun – provjera*)
- d.** Kako bi izračunala/izračunao ukupnu snagu pomoću struje i impedancije? (*formula i račun – provjera*)
- e.** Kolika je snaga svakog pojedinog elementa (P_{R1} , P_{R2} , Q_L , Q_C)? (*formule i račun; hint: već si izračunao/izračunala sve impedancije i struje*)

Podzadatak b)

Dodavanje kondenzatora... Kakve to ima veze sa snagom? Aha, kužim, snaga kondenzatora će biti čisto jalova, dakle imaginarna „prema dolje“, pa kada se to zbroji sa već postojećom snagom to će joj smanjiti imaginarni dio i učiniti ju realnijom. Znači treba mi snaga tog kondenzatora u ovisnosti o njegovom kapacitetu...

- I. Ako se na bilo koji izvor priključi jedan kondenzator (ili bilo koji element) paralelno ostatku kruga, koliki će biti napon na njemu? (*odgovori; hint: kako su žice spojene u odnosu na izvor?*)
- II. Kolika je impedancija Z_{Ck} tog kondenzatora u ovisnosti o njegovom kapacitetu C_k , koji još nije određen? (*napiši formulu*)
- III. Ali ako su poznati napon na kondenzatoru i njegova impedancija onda se iz toga može izračunati sve ostalo... Napiši formulu za snagu tog kondenzatora Q_{Ck} u ovisnosti o impedanciji Z_{Ck} , odnosno kapacitetu C_k , koji još nije određen!
- IV. Dodavanjem kondenzatora C_k u strujni krug, snage svih ostalih elemenata, izračunate u „a“, neće se promijeniti. Zašto je to tako? (*odgovori*)
- V. Kolika je onda ukupna snaga strujnog kruga nakon što se doda C_k ? U njoj samo jedna stvar neće biti određena – kapacitet kondenzatora C_k . (*napiši izraz s C_k kao nepoznanicom*)
- VI. Ako želiš da ukupna snaga bude čisto djelatna (realna) onda se što mora izjednačiti s 0? To će dati jednadžbu s kapacitetom C_k kao nepoznanicom. Riješi tu jednadžbu i to je odgovor na pitanje koliki mora biti kapacitet kondenzatora C_k da bi snaga bila skroz realna, zar ne?
- VII. Koja je definicija/formula za faktor snage? Ako je snaga čisto realna ($S = P$), koliki je onda faktor snage? (*formula, račun i odgovor*)
- VIII. Koliki je onda bio faktor snage prije dodavanja C_k , dok snaga nije bila čisto realna?

Podzadatak c)

Faktor snage... Aha, znači slično što i u prošlom podzadatku, ali mi je iznos kapaciteta poznat.

- I. Koliko je 20% manje od kapaciteta izračunatog u prošlom podzadatku? Mogao/mogla bi to možda nazvati/označiti sa C_k' ...
- II. Sada bi trebao/trebala izračunati snagu tog „novog“ C_k' kondenzatora, što nije teško jer poznaješ napon na njemu (sva „sreća“ da je spojen paralelno).

- III. Sad kada imaš sve snage (svih pojedinih elemenata) možeš samo ubaciti ukupnu realnu i novu ukupnu jalovu u definiciju faktora snage... I to je to!
- IV. I, što zaključuješ? Je li jako važno da je iznos kompenzirajućeg kondenzatora jako precizan? Objasni zašto ili zašto ne.

Podzadatak d)

Rezonantna frekvencija... Koji je ono uvjet rezonancije? Nešto je nula...

- I. U rezonanciji ukupna impedancija (Z_{uk}) je u potpunosti – realna ili imaginarna? A to znači da što mora biti jednako 0? (*odgovori*)
- II. O čemu ovisi ukupna impedancija, dakle s promjenom čega se mijenja, ako su parametri svih elemenata (dakle svi induktiviteti, kapaciteti i otpori) zadani i fiksni? (*odgovori*)
- III. Sada trebaš napisati izraz za ukupnu impedanciju (Z_{uk}) zadanog kruga kao u a) podzadatku, ali kako frekvencija, pa dakle i ω , nije poznata Z_L i Z_C se ne mogu izračunati kao brojevi nego se umjesto njih trebaju uvrstiti formule. Napiši, dakle, izraz/formulu za Z_{uk} i svedi ju na zbroj potpuno realnog i potpuno imaginarnog dijela. (*napomena: podsjeti se matematike s kompleksnim brojevima, ima tu malo više posla*)
- IV. Koji dio izraza za Z_{uk} sada treba izjednačiti s nulom, što se zahtijeva da je nula u rezonanciji? Kada se to napravi dobije se jednadžba s jednom nepoznanicom – kutnom frekvencijom ω . Riješi tu jednadžbu (dakle presloži algebarski izraz tako da dobiješ $\omega =$ <broj>)! To rješenje je kutna frekvencija rezonancije ω_{rez} , jer smo krenuli od uvjeta rezonancije.
- V. Kolika je onda rezonantna frekvencija f_{rez} ? (*formula i račun*)
- VI. (*bonus*) Probaj provesti isti postupak za slučaj kada bi bilo $R_1 = 1500 \Omega$ i $R_2 = 500 \Omega$. Kolika bi u tom slučaju bila rezonantna frekvencija, i zašto? (*napomene: frekvencija naravno ne može biti negativna; u matematici se općenito ne smije dijeliti s 0*)

Rješenja:

a)

$$U = 25 \angle 70.7^\circ \text{ V}$$

$$\omega = 3142 \text{ rad/s}$$

$$X_L = 1319j \, \Omega$$

$$X_C = -1516j \, \Omega$$

$$Z_1 = 500 + 1319j = 1411 \angle 69.2^\circ$$

$$Z_2 = 1066 \angle -44.7^\circ = 757.8 - 750.0j$$

$$Z_{uk} = 1257.8 + 569.5j = 1381 \angle 24.4^\circ$$

$$I_{uk} = 18.1 \angle 46.3^\circ \text{ mA} \rightarrow i(t) = 25.6 \sin(3142t + 0.808) \text{ [mA]}$$

$$U_C = U_{R2} = 19.3 \angle 1.6^\circ = 19.29 + 0.55j$$

$$I_C = 12.73 \angle 91.6^\circ \text{ mA}$$

$$I_{R2} = 12.87 \angle 1.6^\circ \text{ mA}$$

$$S_{uk} = 452.5 \angle 24.4^\circ \text{ mVA}$$

$$P_{uk} = 412.2 \text{ mW}$$

$$Q_{uk} = 186.6 \text{ mVAr}$$

$$P_{R1} = 163.9 \text{ mW}$$

$$P_{R2} = 248.4 \text{ mW}$$

$$Q_L = 432.4 \text{ mVAr}$$

$$Q_C = -245.8 \text{ mVAr}$$

b)

$$C_k = 95.09 \text{ nF}$$

$$F.S. \text{ prije} = 0.911 = 91.1 \%$$

d)

$$C_k' = 76.07 \text{ nF}$$

$$Q_{uk}' = 37.3 \text{ mVAr}$$

$$S_{uk}' = 413.9 \angle 5.2^\circ \text{ mVA}$$

$$F.S. = 0.996 = 99.6\%$$

d)

$$\omega_{rez} = 1122.4 \text{ rad/s} \rightarrow f_{rez} = 178.6 \text{ Hz}$$