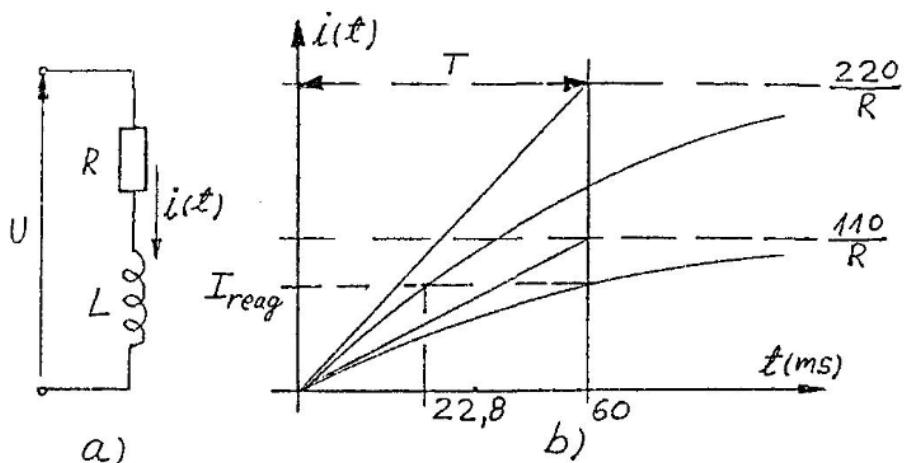


1.

Vremenska konstanta namotaja elektromagnetskog releja za jednosmernu struju, nominalnog napona 110V, je $T=60\text{ms}$. Kada se relaj priključi na nominalni napon reaguje za 60ms. Posle kog vremena će reagovati ako se priključi na 220V (naravno da na ovom naponu ne sme ostati trajno vezan). Pri proračunu zanemariti vreme mehaničkog kretanja kotve.

Rešenje



Ekvivalentna šema elektromagnetskog relaja (sl.1a) je jednostavno redno $R-L$ kolo u kome se trenutna vrednost struje menja po eksponencijalnom zakonu:

$$i(t) = \frac{U}{R}(1 - e^{-t/T}),$$

gde je: $T = \frac{L}{R}$.

sl.1 a) ekvivalentna šema releja; b) vremenska promena struje kroz relaj
pri ulaznim naponima od 110V i 220V

Kako se zna vreme reagovanja relaja pri naponu od 110V može se odrediti struja reagovanja. Pri naponu od 220V struja reagovanja se uspostavlja brže. Novo vreme reagovanja relaja može se odrediti polazeći od sledeće jednakosti:

$$I_{reag} = \frac{110}{R}(1 - e^{-60/T}) = \frac{220}{R}(1 - e^{-t_r/T}), \text{ odakle sledi:}$$

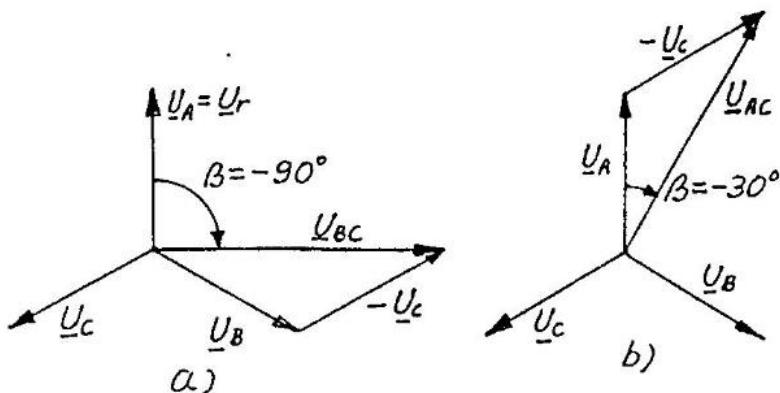
$$1 - e^{-1} = 2(1 - e^{-t_r/T}) \text{ ili } e^{-t_r/T} = 1 - \frac{e-1}{2e} = \frac{e+1}{2e}. \text{ Elementarnim operacijama dolazi se do}$$

$$-\frac{t_r}{T} = \ln \frac{e+1}{2e}, \text{ odnosno vreme reagovanja je: } t_r = T \cdot \ln \frac{2e}{e+1} = 22,8\text{ms}.$$

2. Elektromehanički indukcioni usmereni relej čija je prividna snaga data izrazom $S=U_1 \cos(60^\circ - \phi)$ upotrebljen je za zaštitu voda sa argumentom petlje kvara od 80° . Izabrati najpovoljniju "spregu" tako da se postigne maksimalna osetljivost releja.

Rešenje

Maksimalna osetljivost releja postiže se kada je: $S=S_{\max}$, to jest kada je ugao pod kosinusom minimalan. Tip "sprege" bira se tako da se postigne pravilno reagovanje releja (problemi bliskih kvarova, ili kada je $\cos\phi$ jako mali). Releju se dovodi međufazni napon (on uvek preostaje, sem kod tropolnog kratkog spoja). Za relej instalisan u fazi A kao ulazni napon moguće je izabrati međufazne napone U_{AC} ili U_{BC} (tako zvana sprega 30° ili 90°). Fazorski dijagrami ovih sprega prikazani su na sl.2a i 2b.



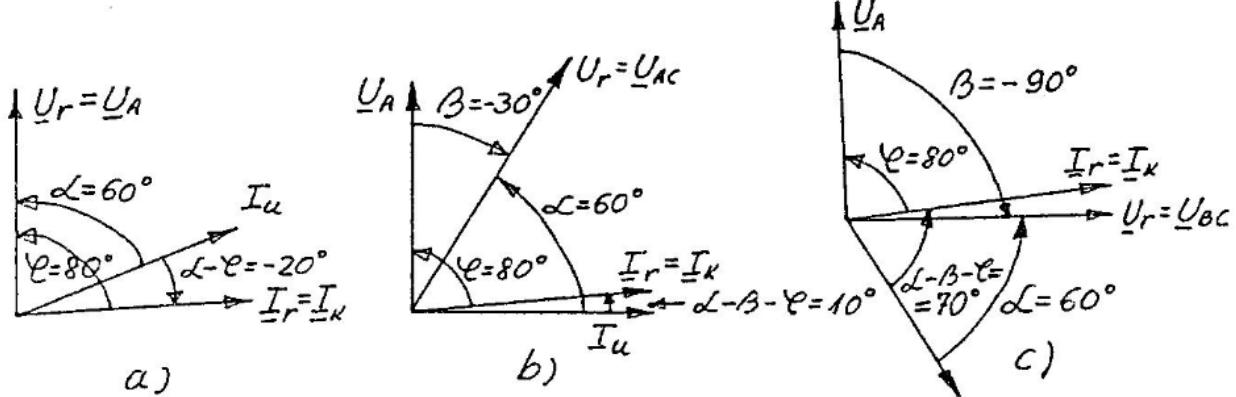
Sl.2 Fazorski dijagrami a) "sprege 90° " i b) "sprege 30° "

Unutrašnja struja releja I_u koja potiče od primjenjenog napona kasni za njim za ugao $\alpha=60^\circ$. Struja kvara I_k kasni iza napona U_A za 80° . Ukoliko se releju dovede napon U_A , odnosno ako se primeni sprega " 0° " (što se inače normalno ne radi), argument kosinusne funkcije bi bio: $\cos(\alpha-\phi)=\cos(60^\circ-80^\circ)=-\cos(-20^\circ)=\cos(20^\circ)$. Ovaj slučaj prikazan je na fazorskom dijagramu sa Sl.3a.

Ako bi se primenila "sprega 30° " kosinusna funkcija bi imala sledeći argument: $\cos(\alpha-\beta-\phi)=\cos(60^\circ+30^\circ-80^\circ)=\cos(10^\circ)$, gde je $\beta=-30^\circ$ fazni pomeraj između napona faze u kojoj je relej instalisan i napona koji se usmerenom releju dovodi. Ovaj slučaj prikazan je na fazorskom dijagramu sa sl.3b.

Ako se primeni "sprega 90° " biće: $\cos(\alpha-\beta-\phi)=\cos(60^\circ+90^\circ-80^\circ)=\cos(70^\circ)$. U ovom slučaju $\beta=-90^\circ$. Ovaj slučaj prikazan je na fazorskom dijagramu sa sl.3c.

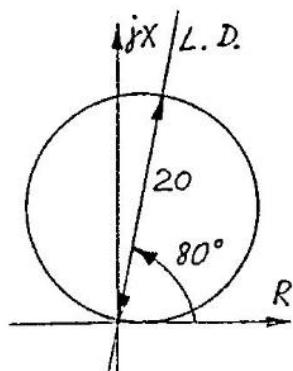
Prema tome najpovoljnija je sprega 30° jer je tada argument kosinusne funkcije najmanji, što se vidi na sl.3b.



S1.3 Fazorski dijagrami napona i struja koje se dovode releju a) pri sprezi 0° ; b) pri "sprezi 30° " i c) pri "sprezi 90° "; \underline{U}_r , \underline{I}_r napon i struja koji se dovode releju; \underline{I}_k - struja kvara; I_u - unutrašnja struja releja koja potiče od napona \underline{U}_r .

- 3) Odrediti električne veličine \underline{V}_I i \underline{V}_{II} koje treba uvesti u amplitudni komparator da bi se dobio distantni relej sa kružnom karakteristikom prečnika 20Ω kao na sl.4.

Rešenje



Tražena karakteristika se dobija ako se koeficijenti k_1 i k_4 usvoje da budu realni a koeficijent k_3 jednak nuli.

$$\text{Tada su: } \underline{V}_I = k_1 \underline{U}_r + k_2 \underline{I}_r \text{ i } \underline{V}_{II} = k_4 \underline{I}_r$$

Karakteristika releta se dobija izjednačavanjem modula

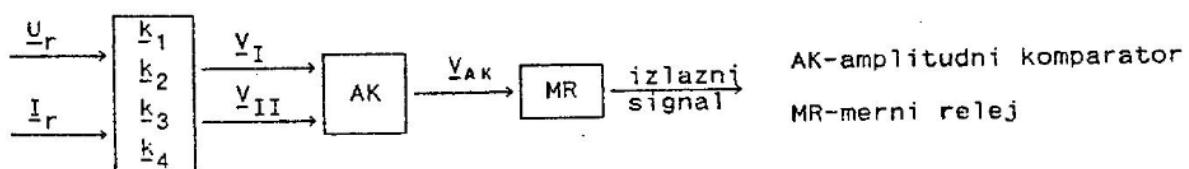
$$|\underline{V}_I| = |\underline{V}_{II}|, \text{ odnosno: } |k_1 \underline{U}_r + k_2 \underline{I}_r| = |k_4 \underline{I}_r| \sqrt{\frac{1}{k_1^2}}, \text{ ili}$$

$$|\underline{Z} + \frac{k_2}{k_1} \underline{I}_r| = \frac{k_4}{k_1}, \text{ gde je: } \underline{Z} = \frac{\underline{U}_r}{\underline{I}_r}. \text{ Uvodeći smene: } \underline{Z} = R + jX,$$

S1.4 Zadata karakteristika distan-
tog releta

$$\frac{k_2}{k_1} = -(R_1 + jX_1) \text{ i } \frac{k_4}{k_1} = c, \text{ prethodni izraz postaje:}$$

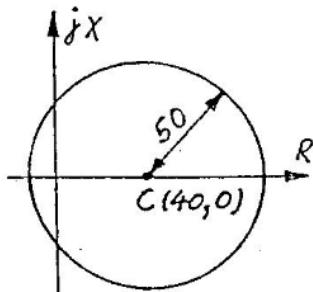
$(R - R_1)^2 + (X - X_1)^2 = c^2$, gde su: (R_1) i (X_1) koordinate centra kruga a (c) poluprečnik. Jedan od koeficijenata $k_{1,2,3,4}$ je proizvoljan, pa se usvaja $k_1 = 1$. Tada su: $R_1 = 10 \cos 80^\circ = 1,736$, $X_1 = 10 \sin 80^\circ = 9,848$, $c = 10$, $k_4 = k_1 c = 10$ i $k_2 = -(1,736 + j9,848)$. Konačno rešenje je: $\underline{V}_I = \underline{U}_r - (1,736 + j9,848) \underline{I}_r$ i $\underline{V}_{II} = 10 \underline{I}_r$.



4

Odrediti veličine V_I i V_{II} koje uvođenjem u amplitudni komparator daju distantski relaj sa karakteristikom datom na sl.5.

Rešenje



Kao i u prethodnom zadatku, koeficijenti se biraju na sledeći način: $k_1 = k_1$, $k_3 = 0$, $k_4 = k_4$, pa su: $V_I = k_1 U_r + k_2 I_r$ i $V_{II} = k_4 I_r$. Karakteristika se dobija iz uslova: $|V_I| = |V_{II}|$, odnosno, $|k_1 U_r + k_2 I_r| = |k_4 I_r|$, $|Z + \frac{k_2}{k_1} I_r| = \frac{k_4}{k_1} I_r$.

Sl.5 Zadatak ka distantskog relaja

$$Z = R + jX ; \frac{k_2}{k_1} = -(R_1 + jX_1) ; \frac{k_4}{k_1} = c$$

$$|R + jX - R_1 - jX_1| = c, |(R - R_1) + j(X - X_1)| = c, (R - R_1)^2 + (X - X_1)^2 = c^2.$$

Sa slike se vidi da su: $R_1 = 40$, $X_1 = 0$ i $c = 50$. Usvaja se: $k_1 = 1$, te su:

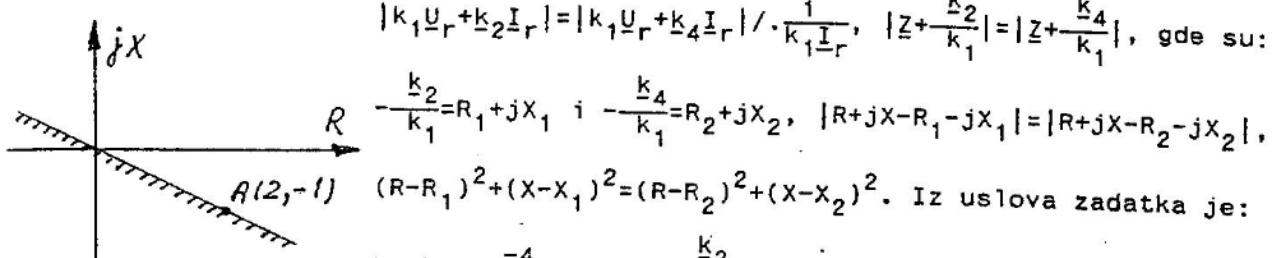
$$k_2 = -(R_1 + jX_1), k_1 = -40 \text{ i } k_4 = ck_1 = 50. \text{ Konačno je: } V_I = U_r - 40I_r \text{ i } V_{II} = 50I_r.$$

5.

Odrediti ulazne veličine y_I i y_{II} koje treba uvesti u amplitudni komparator da bi se dobio usmereni relej sa karakteristikom kao na s1.6. Usvojiti sledeće koeficijente i njihove odnose: $k_1=k_3=10^{-4}$ i $k_2/k_1=(1+j0)\Omega$.

Rešenje

Koeficijenti $k_1=k_3=k_1$ treba da budu realni.



$$k_2=k_1=10^{-4}, \text{ te je } \frac{k_2}{k_1}=-1=R_1+jX_1, \text{ odnosno } R_1=-1 \text{ i } X_1=0$$

s1.6 Zadata k_{ka}
usmerenog releja

$$R(R_1R_2)+X(X_1-X_2)+\frac{R_2^2-R_1^2}{2}+\frac{X_2^2-X_1^2}{2}=0. \text{ Dobijena je opšta jednačina prave amplitudnog komparatora. Iz uslova zadatka}$$

jednačina karakteristike je $R/2+X=0$. Zamenom R_1 i X_1 u jednačinu komparatora sledi: $R(-1-R_2)-XX_2+(R_2^2-1)/2+X_2^2/2=0$.

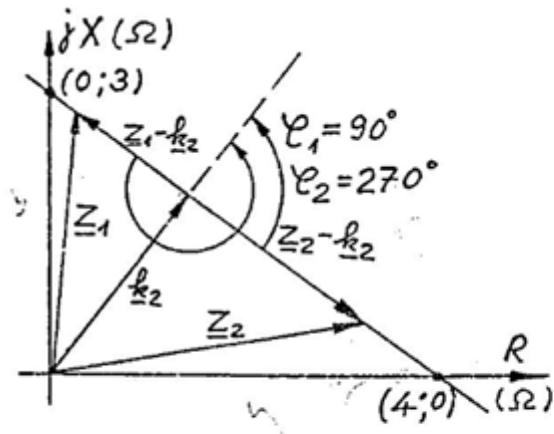
Poređenjem uokvirenih izraza slijedi jednačina: $X_2/(1+R_2)=2$ i $R_2^2-1+X_2^2=0$. Eliminisanjem (X_2) iz ovog sistema jednačina dobija se kvadratna jednačina: $5R_2^2+8R_2+3=0$ čija su rešenja: $R_{21}=-1$ i $R_{22}=-0,6$. Njima odgovaraju rešenja: $X_{21}=0$ i $X_{22}=0,8$. Kako je $X_1=0$, mora X_2 biti različito od nule, pa se uzima par rešenja: $R_2=-0,6$ i $X_2=0,8$. Prema tome nepoznati koeficijent k_4 je: $k_4=-k_1(R_2+jX_2)=-10^{-4}(-0,6+j0,8)=10^{-4}(0,6-j0,8)\Omega$. Ulazne veličine su:

$$y_I=10^{-4}(U_r+I_r) \text{ i } y_{II}=10^{-4}U_r+10^{-4}(0,6-j0,8)I_r$$

6.

Odrediti veličine V_I i V_{II} koje uvođenjem u fazni komparator sa graničnim uglovima $+90^\circ$ i $+270^\circ$ daju distantski relaj sa pravolinijskom karakteristikom reagovanja kao na sl. 7. Odrediti uslov reagovanja relaja ako se traži da oblast reagovanja bude poluravan koja sadrži koordinatni početak.

Rešenje



Pravolinijska k-ka se dobija ako se usvoje koeficijenti: $k_1=0$, $k_4=-k_2$ i $k_3=1$. Tada će ulazne veličine komparatora biti:

$$V_I=k_2 I_r \quad i \quad V_{II}=U_r - k_2 I_r.$$

Karakteristika zadatog distantskog relaja definisana je sledećim jednačinama:

S1.7 Zadata pravolinijska karakteristika distantskog relaja

$$\arg\left[\frac{V_I}{V_{II}}\right] = \arg\left[\frac{k_2 I_r}{U_r - k_2 I_r}\right] = \varphi_1 = \arg\left[\frac{k_2}{Z - k_2}\right] = 90^\circ \quad i \quad \varphi_2 = \arg\left[\frac{k_2}{Z - k_2}\right] = 270^\circ.$$

Vektor k_2 mora biti normalan na karakteristiku reagovanja relaja koja mora prolaziti kroz njegov vrh, kao što je pokazano na sl. 7. S obzirom da su presečne tačke karakteristike sa R i X-osom poznate mogu se napisati sledeći izrazi: $\cos\theta_1=4/5$, $\theta_1=36,87^\circ$. Modul koeficijenta k_2 je $|k_2|=3\cos\theta_1=2,4\Omega$, dok mu je kompleksna vrednost: $k_2=k_2[90^\circ-\theta_1]=2,4[53,13^\circ]=(1,44+j1,92)\Omega$.

Konačno rešenje je: $V_I=(1,44+j1,92)I_r \quad i \quad V_{II}=U_r -(1,44+j1,92)I_r$.