

VI Padovi napona

56. Na razvodni orman treba da se priključi monofazni termički prijemnik (elektrootporni izvor toplote) nominalne snage $P_n=2500W$. Odrediti nominalnu struju osigurača i presek provodnika tipa PP, ako će se on, kao jedini, položiti na zid ispod maltera (toplotne otpornosti $1.5K \cdot m/W$), ako ukupan pad napona na provodnicima između transformatorske stanice i tog razvodnog ormara iznosi 3%, i ako je dužina strujnog kola prijemnika $l=20m$. Temperatura okoline ne prelazi $25^{\circ}C$.

Rešenje

Elektrootporni izvori toplote su jedini prijemnici čiji je stepen iskorišćenja (faktor korisnog dejstva) jednak jedinici (nema gubitaka prilikom pretvaranja električne energije u toplotu). Kod njih se u procesu pretvaranja električne energije u unutrašnju energiju prijemnika ne javlja reaktivna energija ($Q=0$, odnosno $\cos\varphi=1$). Zbog toga je nominalna struja ovakvih prijemnika određena formulom

$$I_n = \frac{P_n}{U_n}$$

U posmatranom slučaju je

$$I_n = 2500W / 220V = 11.4A,$$

pa se usvaja osigurač sa običnim (brzim) topljivim umetkom od 16A.

Sada se na osnovu struje od 16A, koju topljivi umetak može trajno da podnese, i na osnovu temperaturnog korekcionog faktora $k(25^{\circ}C)=1.06$ (tabela P11.1), može odrediti termička struja ovog strujnog kola

$$I_t = 16A / 1.06 = 15.1A.$$

Pošto opisani način polaganja provodnika (monofaznog strujnog kola) odgovara referentnom načinu polaganja C (slika P11.20), iz tabele P11.4 se dobija da je dovoljno da presek provodnika iznosi $S=1.5mm^2$ ($15.1A < 19.5A$). Međutim, u našoj projektantskoj i izvođačkoj praksi provodnici preseka $1.5mm^2$ koriste se uglavnom za strujna kola osvetljenja, tako da će se usvojiti provodnik tipa PP-Y $3 \times 2.5mm^2$. Treba još proveriti da li izabrani provodnik zadovoljava i propisima definisane zahteve s obzirom na pad napona.

Procentualni pad napona za monofazne prijemnike izračunava se po formuli

$$\Delta u(\%) = 200 \frac{Il \cos \varphi (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U_n} = 200 \frac{Pl(r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U_n^2},$$

u kojoj su:

I – struja,

P – aktivna snaga,

$\cos \varphi$ - faktor snage,

r (x) – podužna aktivna (reaktivna) otpornost provodnika,

l – dužina provodnika, i

U_n - nominalan fazni napon.

Kako je $\operatorname{tg} \varphi = 0$ ($\cos \varphi = 1$) i $r = 1/(\sigma \cdot S)$ (specifična provodnost za bakar iznosi $\sigma = 56 \text{ Sm/mm}^2$), to je u posmatranom slučaju

$$\Delta u(\%) = 200 \frac{P_n l}{\sigma \cdot S \cdot U_n^2} = 200 \cdot \frac{2500 \cdot 20}{56 \cdot 2.5 \cdot 220^2} = 1.48\%.$$

Po propisima, dozvoljeni pad napona između tačke napajanja električne instalacije i prijemnika iznosi:

- 1) za strujno kolo osvetljenja 3%, a za strujna kola ostalih prijemnika 5%, ako se električna instalacija napaja iz niskonaponske mreže, i
- 2) za strujno kolo osvetljenja 5%, a za strujna kola ostalih prijemnika 8%, ako se električna instalacija napaja neposredno iz transformatorske stanice priključene na visoki napon.

Naše tumačenje ovih zahteva je da se situacija 1 odnosi na manje stambene objekte, administrativne zgrade, poslovne i prodajne centre i druge objekte koji nemaju sopstvenu transformatorsku stanicu. Maksimalno dozvoljeni padovi napona se tada odnose na deonicu prijemnik – priključno mesto (mesto priključka objekta na javnu distributivnu mrežu). Situacija 2 se odnosi na industrijske objekte, veće stambene zgrade i ostale objekte koji imaju sopstvenu TS. Maksimalno dozvoljeni padovi napona se tada odnose na deonicu prijemnik – TS. Ostaje nejasno zbog čega je u slučaju strujnih kola osvetljenja dozvoljeni pad napona u distributivnom delu niskonaponske mreže 2%, a u slučaju strujnih kola ostalih prijemnika 3%.

Kako je u posmatranom slučaju ukupan pad napona između prijemnika i TS

$$1.48\% + 3\% = 4.48\%,$$

odnosno kako je on manji od dozvoljenih 8%, izabrani provodnik zadovoljava i sa aspekta pada napona.

57. Na razvodnu tablu u stanu treba priključiti trofazni termički prijemnik nominalne snage $P_n = 6000\text{W}$. Odrediti nominalnu struju osigurača i presek provodnika (tipa PP) ovog strujnog kola, ako ono sa još 8 drugih strujnih kola obrazuje jedan sloj na zidu ispod maltera (toplotne otpornosti $2\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$), ako ukupan pad napona od priključnog mesta zgrade do posmatrane razvodne table iznosi 2.1%, i ako je dužina strujnog kola prijemnika $l = 15\text{m}$. Temperatura okoline ide do 25°C .

Rešenje

Pošto nominalna struja prijemnika iznosi

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_{ln}} = \frac{6000\text{W}}{\sqrt{3} \cdot 380\text{V}} = 9.1\text{A},$$

u razvodnoj tabli će se postaviti tri osigurača sa običnim topljivim umetcima od 10A.

Kako je $k(25^\circ\text{C}) = 1.06$ i $k(9) = 0.70$ (tabela P11.8), to je

$$I_t = \frac{10\text{A}}{1.06 \cdot 0.70} = 13.5\text{A}.$$

Ovoj termičkoj struji odgovara presek $S = 1.5\text{mm}^2$ (način polaganja C (videti sliku P11.20), tabela P11.6 ($13.5\text{A} < 17.5\text{A}$)). Međutim, iz razloga navedenih u rešenju prethodnog zadatka usvaja se provodnik PP-Y $5 \times 2.5\text{mm}^2$.

Da su provodnici bili položeni u obliku snopa (a ne u obliku jednog sloja), termička struja bi iznosila 18.9A (faktor $k(9)$ bi tada bio jednak 0.50 – tabela P11.8). Pošto ovoj struji odgovara presek $S = 2.5\text{mm}^2$ (tabela P11.6), jasno je da usvajanjem ovog preseka projektanti ostavljaju mogućnost da se polaganje provodnika izvede i na ovakav, termički nepovoljniji način.

Treba još izvršiti proveru električne instalacije na pad napona, koji se za trofazne prijemnike određuje po formuli

$$\Delta u(\%) = 100 \frac{\sqrt{3} I l \cos \varphi (r + x \operatorname{tg} \varphi)}{U_{\text{ln}}} = 100 \frac{P l (r + x \operatorname{tg} \varphi)}{U_{\text{ln}}^2}$$

(U_{ln} je nominalan linijski napon).

U posmatranom slučaju je $\operatorname{tg} \varphi = 0$, tako da je

$$\Delta u(\%) = 100 \frac{P_n l}{\sigma S U_{\text{ln}}^2} = 100 \frac{6000 \cdot 15}{56 \cdot 2.5 \cdot 380^2} = 0.45\%$$

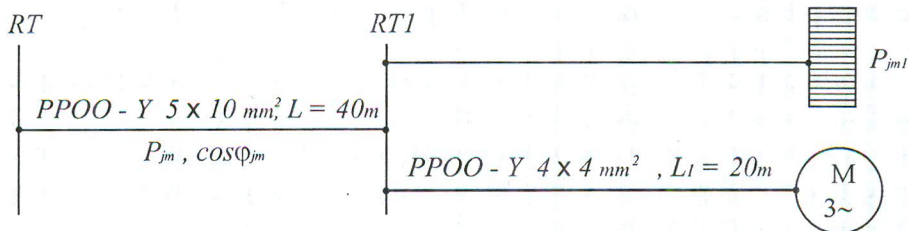
Kako ukupan pad napona od prijemnika do priključnog mesta iznosi

$$0.45\% + 2.1\% = 2.55\%,$$

što je manje od dozvoljenih 5%, izabrani provodnik zadovoljava i sa aspekta pada napona.

58. Trofazni asinhroni motor sa kratkospojenim rotorom, čiji su podaci: $P_n = 7 \text{ kW}$, $U_n = 380 \text{ V}$, $\eta_n = 0.70$, $\cos \varphi_n = 0.80$, $I_p / I_n = 7$ i $\cos \varphi_p = 0.50$, kablom PPOO-Y $4 \times 4 \text{ mm}^2$ ($r_1 = 4.7 \Omega / \text{km}$, $x_1 = 0.107 \Omega / \text{km}$), dužine $L_1 = 20 \text{ m}$, napaja se iz razvodne table RT1, iz koje se, sem njega, napajaju i termički prijemnici trofazne jednovremeno maksimalne snage $P_{jml} = 12 \text{ kW}$. Razvodna tabla RT1 se napaja iz glavne razvodne table RT, kablom PPOO - Y $5 \times 10 \text{ mm}^2$ ($r = 1.84 \Omega / \text{km}$, $x = 0.094 \Omega / \text{km}$), dužine $L = 40 \text{ m}$. Proveriti da li su ovi kablovi dobro izabrani, ako se zna da najveći dozvoljeni pad napona od motora do RT u nominalnom režimu rada motora iznosi 4%, a pri njegovom polasku 7%.

Rešenje



U nominalnom režimu rada motora, uz pretpostavku da termički prijemnici tada rade sa jednovremeno maksimalnim opterećenjem, aktivna snaga, reaktivna snaga i faktor snage RT1 iznose:

$$P_{jm} = \frac{P_n}{\eta_n} + P_{jm1} = \frac{7}{0.7} + 12 = 22 \text{ kW}$$

$$Q_{jm} = Q_n = \frac{P_n}{\eta_n} \operatorname{tg} \varphi_n = \frac{7}{0.7} \cdot 0.75 = 7.5 \text{ kVar}$$

$$\cos \varphi_{jm} = \frac{P_{jm}}{\sqrt{P_{jm}^2 + Q_{jm}^2}} = \frac{22}{\sqrt{22^2 + 7.5^2}} = 0.95.$$

U ovom režimu rada motora, pad napona između motora i RT iznosi:

$$\begin{aligned} \Delta u_{nM-RT} &= \Delta u_{nM-RT1} + \Delta u_{nRT1-RT} = \\ &= 100 \cdot \frac{\frac{P_n}{\eta_n} \cdot L_1 (r_1 + x_1 \operatorname{tg} \varphi_n)}{U_n^2} + 100 \frac{P_{jm} L (r + x \operatorname{tg} \varphi_{jm})}{U_n^2} = \\ &= 100 \cdot \frac{\frac{7000}{0.7} \cdot 20 (4.7 + 0.107 \cdot 0.75) \cdot 10^{-3}}{380^2} + \\ &+ 100 \frac{22000 \cdot 40 (1.84 + 0.094 \cdot 0.329) \cdot 10^{-3}}{380^2} = \\ &= 0.66\% + 1.14\% = 1.80\% < 4\%. \end{aligned}$$

Pri polasku motora (opet uz pretpostavku o jednovremeno maksimalnom opterećenju termičkih prijemnika), imamo da je:

$$I_p = 7I_n = 7 \cdot \frac{7000/0.7}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.8} = 133 \text{ A}$$

$$P_{jmp} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot U_n \cdot \cos \varphi_p + P_{jm1} = \sqrt{3} \cdot 133 \cdot 380 \cdot 0.5 + 12000 = 55769 \text{ W}$$

$$Q_{jmp} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot U_n \cdot \sin \varphi_p = \sqrt{3} \cdot 133 \cdot 380 \cdot 0.866 = 75808 \text{ Var}$$

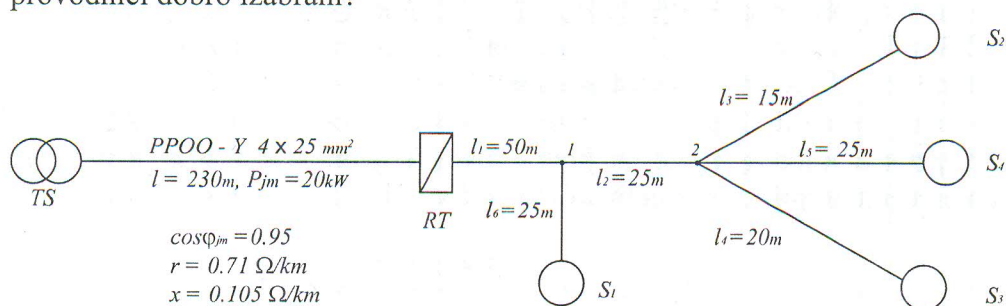
$$\cos \varphi_{jmp} = \frac{P_{jmp}}{\sqrt{P_{jmp}^2 + Q_{jmp}^2}} = \frac{55769}{\sqrt{55769^2 + 75808^2}} = 0.59.$$

Pri polasku motora pad napona između motora i RT iznosi:

$$\begin{aligned} \Delta u_{pM-RT} &= \Delta u_{pM-RT1} + \Delta u_{pRT1-RT} = \\ &= 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L_1 \cos \varphi_p (r_1 + x_1 \operatorname{tg} \varphi_p)}{U_n} + 100 \cdot \frac{P_{jMP} \cdot L \cdot (r + x \operatorname{tg} \varphi_{jMP})}{U_n^2} = \\ &= 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 133 \cdot 20 \cdot 0.5 (4.7 + 0.107 \cdot 1.732) \cdot 10^{-3}}{380} + \\ &+ 100 \cdot \frac{55769 \cdot 40 \cdot (1.84 + 0.094 \cdot 1.368) \cdot 10^{-3}}{380^2} = \\ &= 2.96\% + 3.04\% = 6\% < 7\%. \end{aligned}$$

Dakle, posmatrani kablovi su sa aspekta pada napona dobro izabrani.

59. Na jedno strujno kolo priključene su četiri svetiljke sa živinim izvorom visokog pritiska snage 250W (kao na slici). Ovo strujno kolo se napaja iz razvodne table RT (provodnicima tipa PP-Y 3x2.5mm²). Razvodna tabla RT se napaja iz transformatorske stanice, kablom tipa PPOO-Y 4x25mm². Izračunati pad napona za najkritičniju svetiljku. Da li su provodnici dobro izabrani?



Rešenje

Vidi se da je s obzirom na pad napona najkritičnija svetiljka S₄ (l₅>l₃,l₄). Kako aktivna snaga balasta živinog izvora visokog pritiska snage 250W iznosi 27W, ukupna aktivna snaga izvora sa predspojnom spravom iznosi P_i=277W.

Pošto se za provodnike preseka do 16mm² (podužna) reaktansa može zanemariti (ref. 8), pad napona na provodniku između svetiljke S₄ i tačke 2 na šemi iznosi

$$\Delta u_1 = 200 \frac{P_i l_5}{\sigma S_1 U_n^2} = 200 \cdot \frac{277 \cdot 25}{56 \cdot 2.5 \cdot 220^2} = 0.21\%.$$

Pad napona na provodniku između tačaka 1 i 2 iznosi

$$\Delta u_2 = 200 \frac{3P_i l_2}{\sigma S_1 U_n^2} = 0.62\%,$$

dok je pad napona na provodniku između tačke 1 i razvodne table RT

$$\Delta u_3 = 200 \frac{4P_i l_1}{\sigma S_1 U_n^2} = 1.65\%.$$

Pad napona od razvodne table RT do TS iznosi

$$\begin{aligned} \Delta u_4 &= 100 \frac{P_{jm} l (r + x \operatorname{tg} \varphi_{jm})}{U_n^2} = \\ &= 100 \cdot \frac{20000 \cdot 0.23 \cdot (0.71 + 0.105 \cdot 0.329)}{380^2} = 2.37\%, \end{aligned}$$

tako da je vrednost ukupnog pada napona od najkritičnije svetiljke (S_4) do TS jednaka $\Delta u = 4.85\% < 5\%$.

Dakle, može da se zaključi da su sa aspekta pada napona provodnici ove električne instalacije dobro izabrani.

60. Strujno kolo jednog trofaznog asinhronog motora sa kratkospojenim rotorom izvedeno je kablom kod koga je $r=10x$. Kompenzacija reaktivne energije motora izvršena je tako da je $\cos \varphi_e \approx 1$. Koliko će se procentualno povećati pad napona na ovom kablom ako se isključe kondenzatori pomoću kojih je izvršena kompenzacija (motor radi u nominalnom režimu, sa faktorom snage $\cos \varphi_n = 0.8$)?

Rešenje

$$\Delta u_{s.k.} = \Delta u_{sa.komp.} = \frac{P_n l (r + x \operatorname{tg} \varphi_e)}{U_n^2} = \frac{P_n l r}{U_n^2} \quad (\operatorname{tg} \varphi_e = 0)$$

$$\Delta u_{b.k.} = \Delta u_{bez.komp.} = \frac{P_n l (r + x \operatorname{tg} \varphi_n)}{U_n^2} = \frac{P_n l r (1 + 0.1 \operatorname{tg} \varphi_n)}{U_n^2}$$

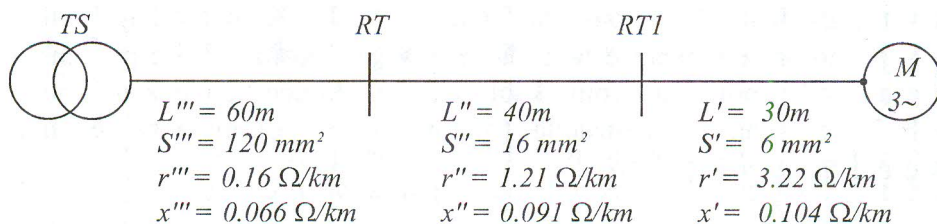
$$100 \cdot \frac{\Delta u_{b.k.} - \Delta u_{s.k.}}{\Delta u_{s.k.}} = 100 \cdot \frac{1 + 0.1 \operatorname{tg} \varphi_n - 1}{1} = 100 \cdot 0.1 \operatorname{tg} \varphi_n = 10 \cdot 0.75 = 7.5\%$$

61. Razvodna tabla RT1 napaja jedan trofazni asinhroni motor sa kratkospojenim rotorom ($P_n=8\text{kW}$, $\eta_n=0.77$, $\cos\varphi_n=0.80$) i grupu termičkih prijelnika, jednovremeno maksimalne snage $P_{jml}=18\text{kW}$. Motor se napaja kablom PPOO-Y 4x6mm², dužine 30m. Razvodna tabla RT1 napaja se iz razvodne table RT kablom PPOO-Y 4x16mm², dužine 40m. Pored razvodne table RT1, razvodna tabla RT napaja i druge razvodne table, čija jednovremeno maksimalna snaga, koja se ima pri maksimalnom opterećenju RT1, iznosi $P_{jm2}=82\text{kW}$, a odgovara joj faktor snage $\cos\varphi_2=0.90$. Razvodna tabla RT napaja se iz transformatorske stanice kablom PP41-Y 4x120mm², dužine 60m. Podužne aktivne i reaktivne otpornosti navedenih kablova date su u sledećoj tabeli:

S(mm ²)	6	16	120
r(Ω/km)	3.22	1.21	0.16
x(Ω/km)	0.104	0.091	0.066

Izračunati ukupan pad napona na provodnicima između motora i TS, koji se ima pri nominalnom radu motora.

Rešenje



$$P'_{jm} = 8/0.77 = 10.4kW$$

$$\cos \varphi_n = 0.80$$

$$Q_n = P'_{jm} \cdot \operatorname{tg} \varphi_n = 10.4 \cdot 0.75 = 7.8kVAr$$

$$P''_{jm} = P'_{jm} + P_{jm1} = 10.4 + 18 = 28.4kW$$

$$\cos \varphi'' = \frac{P''_{jm}}{\sqrt{P''_{jm}{}^2 + Q_n^2}} = \frac{28.4}{\sqrt{28.4^2 + 7.8^2}} = 0.964$$

$$\operatorname{tg} \varphi'' = 0.275$$

$$P'''_{jm} = P''_{jm} + P_{jm2} = 28.4 + 82 = 110.4kW$$

$$Q'''_{jm} = Q_n + Q_{jm2} = Q_n + P_{jm2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 7.8 + 82 \cdot 0.484 = 47.5kVAr$$

$$\cos \varphi''' = \frac{P'''_{jm}}{\sqrt{P'''_{jm}{}^2 + Q'''_{jm}{}^2}} = \frac{110.4}{\sqrt{110.4^2 + 47.5^2}} = 0.919$$

$$\operatorname{tg} \varphi''' = 0.43$$

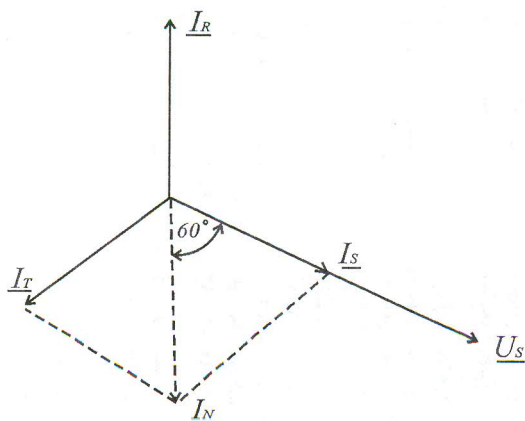
$$\begin{aligned} \Delta u(\%) &= \frac{100}{U_n^2} (P'_{jm} L'(r' + x' \operatorname{tg} \varphi_n) + P''_{jm} L''(r'' + x'' \operatorname{tg} \varphi'') + P'''_{jm} L'''(r''' + x''' \operatorname{tg} \varphi''')) = \\ &= \frac{100}{380^2} (10400 \cdot 0.03 \cdot (3.22 + 0.104 \cdot 0.75) + 28400 \cdot 0.04 \cdot (1.21 + 0.091 \cdot 0.275) + \\ &+ 110400 \cdot 0.06 \cdot (0.16 + 0.066 \cdot 0.43)) = 2.55\% \end{aligned}$$

62. U jednom trenutku, dok su u stanu bili uključeni samo monofazni prijemnici, koji su bili tako raspoređeni po fazama da je njihovo opterećenje bilo približno ravnomerno, na kابلu koji napaja objekat došlo je do prekida faze R. Znajući da su prijemnici priključeni na preostale dve faze ostali uključeni, i da je pre prekida faze R pad napona između razvodne table RT u stanu i protočnog bojlera, priključenog na fazu S, iznosio 0.8%, a između RT i merno - razvodnog ormara, koje povezuje provodnik $4 \times P \ 1 \times 6 \text{mm}^2 + P\text{-}Y \ 1 \times 6 \text{mm}^2$, 0.7%, izračunati padove napona na ovim deonicama posle prekida faze R.

Rešenje

Pad napona između razvodne table u stanu i protočnog bojlera ostao je isti (0.8%), dok se pad napona između MRO i RT povećao za 50% (iznosi 1.05%). Naime, posle prekida faze R, u nultom provodniku usponskog voda

uspostavljena je struja istog intenziteta sa onom koja “protiče” kroz fazne provodnike, ali fazno pomerena za ugao od 60° u odnosu na napon (struju) faze S (kao na slici), pa je pad napona na nultom provodniku (6mm^2) jednak polovini pada napona na faznom (takođe 6mm^2).



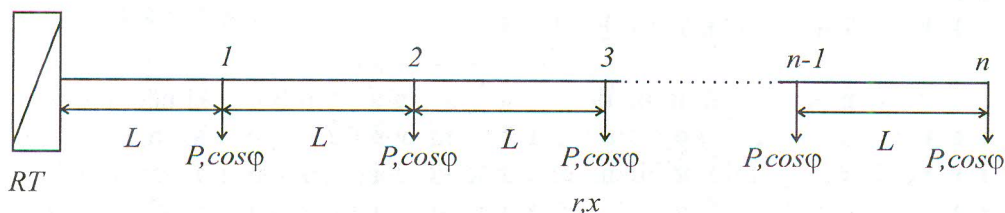
$$I_N = I_S \quad i \quad \cos \varphi = 0.5$$

$$\Delta u_N (\%) = 100 \cdot \frac{I_N \cdot l \cdot r \cos \varphi}{U_n}$$

$$\Delta u_S (\%) = 100 \cdot \frac{I_S \cdot l \cdot r}{U_n}$$

$$\Delta u = \Delta u_S + \Delta u_N = 1.5 \Delta u_S$$

63. a) Izvesti formulu za pad napona od RT do najudaljenije od n svetiljki monofaznog strujnog kola prikazanog na slici.



b) Izračunati procentualno odstupanje približne vrednosti pada napona, izračunate pod pretpostavkom da je ukupna snaga svih izvora svetlosti skoncentrisana u tački koja je na polovini rastojanja od RT do n-te svetiljke, od vrednosti pada napona izračunate primenom tačne formule.

c) Korišćenjem formule izvedene pod a), izračunati pad napona za slučaj: $n=15$, $P=277\text{W}$, $\cos \varphi=0.65$, $L=36\text{m}$, $S=35\text{mm}^2$ ($r=0.52\Omega/\text{km}$, $x=0.10\Omega/\text{km}$).

Rešenje

a)

$$\Delta u(\%) = 200 \frac{(nP + (n-1)P + \dots + 1 \cdot P) \cdot L \cdot (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U^2} =$$

$$= 200 \frac{\frac{n(n+1)}{2} PL \cdot (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U^2} = 100 \frac{n(n+1) PL (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U^2}$$

b)

$$\Delta u_{pr}(\%) = 200 \cdot \frac{\frac{nL}{2} \cdot nP (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U^2} = 100 \frac{n^2 PL (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U^2}$$

$$g(\%) = 100 \frac{\Delta u_{pr} - \Delta u}{\Delta u} = 100 \frac{n^2 - n(n+1)}{n(n+1)} = -\frac{100}{n+1}$$

c)

$$\Delta u(\%) = \frac{100 \cdot 15 \cdot 16 \cdot 277 \cdot 0.036 \cdot (0.52 + 0.10 \cdot 1.169)}{220^2} = 3.15\%$$

64. Izvesti formule za pad napona od RT do svake od dve najudaljenije svetiljke (koje se nalaze na poslednjem, n-tom stubu) za dvofazno strujno kolo prikazano na slici, izrađeno od provodnika preseka 10mm^2 . Na svakom stubu je jedna svetiljka priključena na jednu, a druga na drugu fazu. Fazni i nulti provodnici su istog preseka (podužne otpornosti r).

