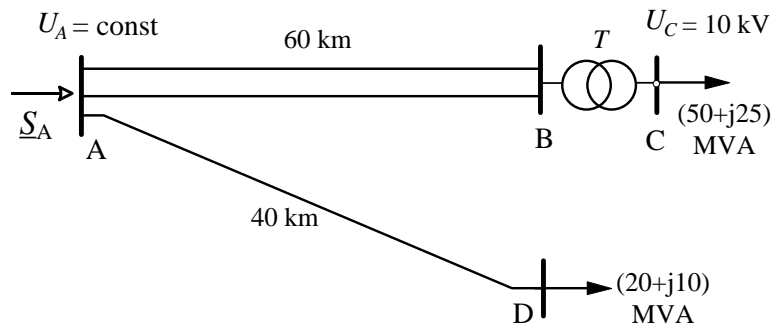


ПИСМЕН ИСПИТ ПО ПРЕДМЕТОТ „ЕЛЕКТРИЧНИ МРЕЖИ“

1. Задача. На сликата 1 е дадена една електрична мрежа со номинални напони 110 kV и 10 kV, прикажани се и должините на водовите и моќностите на потрошувачите. Познат е напонот кај потрошувачите во јазолот C ($U_C = 10$ kV). Притоа трансформаторот T работи со својот номинален преносен однос. Параметрите на водовите се: $z=(r+jx)=(0,13+j0,4) \Omega/\text{km}$, $b=2,7 \mu\text{S}/\text{km}$. Да се пресметаат:

- напонот во јазолот B – на примарната страна трансформаторот и загубите на активна и реактивна моќност во трансформаторот ΔP_T и ΔQ_T ;
- напонот во напојната точка A и моќноста на почетокот на паралелните водови A-B, \underline{S}_{A-B} ;
- приближните вредности на напонот U_D и моќноста \underline{S}_{A-D} на почетокот на водот A-D и моќноста \underline{S}_A што мрежата ја влече од напојната точка

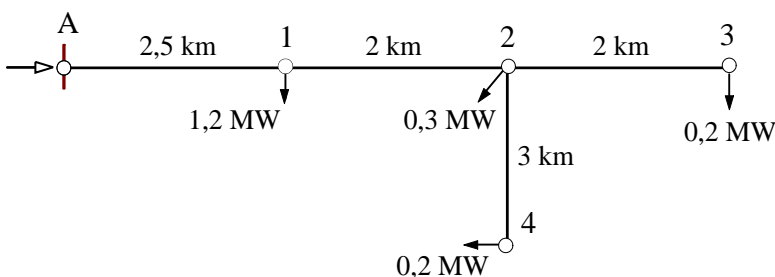


Слика 1.

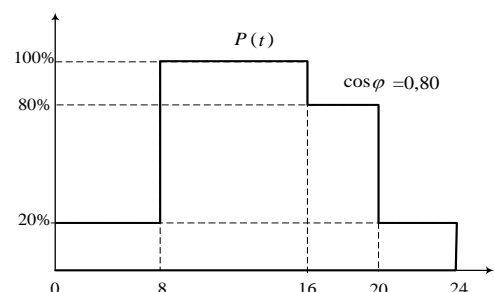
Податоци за T: $S_n = 63$ MVA; 110/10,5 kV/kV; $u_k\% = 11\%$; $i_0\% = 0,6\%$; $\Delta P_{Cun} = 250$ kW; $\Delta P_{Fe} = 50$ kW.

Забелешка: При решавањето на задачата да не се вршат занемарувања на капацитивноста на водовите и попречните компоненти на падот на напонот.

2. Задача. На сликата 2.1 е даден еден извод од 10 kV радијална дистрибутивна мрежа, дадени се должините на водовите и максималните активни моќности на потрошувачите. Сите потрошувачи се од ист тип и имаат дијаграм на оптоварување даден на слика 2.2 и фактор на моќност $\cos \varphi = 0,85$, кој е константен во текот на времето.



Слика 2.1



Слика 2.2

- Да се одреди главната магистрала на мрежата и да се изврши димензионирање на мрежата според критериумот на константен пресек (податоците за расположивите пресеци на спроводниците се дадени во табела 2.1);
- Да се пресметаат загубите на моќност во мрежата во максималниот режим на работа и потоа да се пресметаат дневните загуби на енергија, сметајќи дека на сите делници во мрежата се поставени спроводници од типот Al/Fe 95/15 .

Табела 2.1. Податоци за подолжните параметри на СН надземни водови

Al/Fe	16/2.5	25/4	35/6	50/8	70/12	95/15
$r, (\Omega/\text{km})$	2,042	1,313	0,911	0,647	0,447	0,331
$x, (\Omega/\text{km})$	0,406	0,391	0,380	0,370	0,357	0,348
$I_d, (\text{A})$	90	125	145	170	235	290
$S_d, (\text{kVA})$	1559	2165	2511	2944	4070	5023

1а) 20%; **1б)** 20%; **1в)** 20% **2.а)** 25%; **2.б)** 15%; *Време:* 120 мин.

РЕШЕНИЈА НА ЗАДАЧИТЕ

1. Задача.

а) Параметри на еден трансформатор: $Z_T^{10} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{11}{100} \cdot \frac{10,5^2}{63} = 0,1925 \Omega$;

$$R_T^{10} = \Delta P_{Cum} \cdot \frac{U_n^2}{S_n^2} = 0,25 \cdot \frac{10,5^2}{63^2} = 0,0069 \Omega; X_T^{10} = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 0,1924 \Omega; \underline{U}_C = U_C e^{j0} = 10 \text{ kV}$$

$$\text{Пад на напон во TR: } \Delta U_d = \frac{P_C \cdot R_T + Q_C \cdot X_T}{U_C} = \frac{50 \cdot 0,0069 + 25 \cdot 0,1924}{10} = 0,5155 \text{ kV};$$

$$\Delta U_q = \frac{P_C \cdot X_T - Q_C \cdot R_T}{U_C} = \frac{50 \cdot 0,1924 - 25 \cdot 0,0069}{10} = 0,9448 \text{ kV};$$

$$\text{Напон во јазол B: } \underline{U}'_B = \underline{U}_C + \Delta U_d + j\Delta U_q = 10,5155 + j0,9448 = 10,558e^{j5,1^\circ} \text{ kV}$$

$$\text{Сведување на напонот во јазол B на 110 kV: } U_B = U'_B \frac{110}{10,5} = 110,608 \text{ kV}$$

$$\text{Загуби на моќност во TR: } \alpha = \frac{S_P}{S_n} = \frac{\sqrt{50^2 + 25^2}}{63} = 0,887; \Delta P_T = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cum} \cdot \alpha^2 = 246,8 \text{ kW} = 0,247 \text{ MW};$$

$$\Delta Q_T = S_n \cdot \left(\frac{i_o \%}{100} + \frac{u_k \%}{100} \cdot \alpha^2 \right) = 5,832 \text{ Mvar}$$

б) Моќност на крајот од водот А-В: $P_B = P_C + \Delta P_T = 50,247 \text{ MW}; Q_B = Q_C + \Delta Q_T = 30,832 \text{ Mvar};$

Моќност на крајот од секој од водовите: $P_B / 2 = 25,124 \text{ MW}; Q_B / 2 = 15,416 \text{ Mvar}$

Параметри на еден вод: $R_V = r \cdot l = 7,8 \Omega; X_V = x \cdot l = 24 \Omega; B_V / 2 = b \cdot l / 2 = 81 \mu S;$

$$\underline{U}_B = U_B e^{j0} = 110,608 \text{ kV}; Q_{C2} = B_V / 2 \cdot U_B^2 = 0,991 \text{ Mvar}; \underline{S}'' = P_B / 2 + j(Q_B / 2 - Q_{C2}) = (25,124 + j14,425) \text{ MVA}$$

$$\text{Пад на напон во водот: } \Delta U_d = \frac{P'' \cdot R_V + Q'' \cdot X_V}{U_B} = \frac{25,124 \cdot 7,8 + 14,425 \cdot 24}{110,608} = 4,902 \text{ kV};$$

$$\Delta U_q = \frac{P'' \cdot X_V - Q'' \cdot R_V}{U_B} = \frac{25,124 \cdot 24 - 14,425 \cdot 7,8}{110,608} = 4,434 \text{ kV}$$

$$\text{Напон во јазол A: } \underline{U}_A = \underline{U}_B + \Delta U_d + j\Delta U_q = 115,510 + j4,434 = 115,595e^{j2,2^\circ} \text{ kV}$$

$$\text{Ако } \underline{U}_A = U_A e^{j0} = 115,595 \text{ kV} \Rightarrow \underline{U}_B = 110,608e^{-j2,2^\circ} \text{ kV}; \underline{U}_C = 10e^{j7,3^\circ} \text{ kV}$$

$$\text{Загуба на моќност: } \Delta \underline{S}_{ZV} = \frac{P''^2 + Q''^2}{U_B^2} \cdot (R_V + jX_V) = (0,535 + j1,646) \text{ MVA}; Q_{C1} = B_V / 2 \cdot U_A^2 = 1,082 \text{ Mvar}$$

$$\text{Моќност на почетокот на водот А-В: } \underline{S}_{A-A-B} = \underline{S}_B + \Delta \underline{S}_{ZV} - jQ_{C2} - jQ_{C1} = (25,659 + j14,989) \text{ MVA}$$

в) $R_V = r \cdot l = 5,2 \Omega; X_V = x \cdot l = 16 \Omega; B_V / 2 = b \cdot l / 2 = 54 \mu S$

Претпоставуваме дека $\underline{U}_D = U_D e^{j0} = U_n = 110 \text{ kV}$ и според тоа пресметуваме Q_{C2} и падови на напон:

Прва итерација:

$$Q_{C2} = B_V / 2 \cdot U_D^2 = 0,653 \text{ Mvar}; \underline{S}'' = P_D + j(Q_D - Q_{C2}) = (20 + j9,347) \text{ MVA}$$

$$\Delta U_d = \frac{P'' \cdot R_V + Q'' \cdot X_V}{U_D} = \frac{20 \cdot 5,2 + 9,347 \cdot 16}{110} = 2,305 \text{ kV}; \Delta U_q = \frac{P'' \cdot X_V - Q'' \cdot R_V}{U_D} = \frac{20 \cdot 16 - 9,347 \cdot 5,2}{110} = 2,467 \text{ kV}$$

Со пресметаните падови на напон пресметуваме уточнета вредност на U_D :

$$U_D^{нова} = \sqrt{U_A^2 - \Delta U_q^2} - \Delta U_d = 113,264 \text{ kV}$$

Втора итерација:

$$Q_{C2} = B_V / 2 \cdot U_D^2 = 0,693 \text{ Mvar}; \underline{S}'' = P_D + j(Q_D - Q_{C2}) = (20 + j9,307) \text{ MVA}$$

$$\Delta U_d = \frac{P'' \cdot R_V + Q'' \cdot X_V}{U_D} = \frac{20 \cdot 5,2 + 9,307 \cdot 16}{113,264} = 2,233 \text{ kV}; \Delta U_q = \frac{P'' \cdot X_V - Q'' \cdot R_V}{U_D} = \frac{20 \cdot 16 - 9,307 \cdot 5,2}{113,264} = 2,398 \text{ kV}$$

$$U_D^{ново} = \sqrt{U_A^2 - \Delta U_q^2} - \Delta U_d = 113,337 \text{ kV} - \text{ја усвојуваме оваа вредност}$$

$$Q_{C2} = B_V / 2 \cdot U_D^2 = 0,694 \text{ Mvar}; \underline{S}'' = P_D + j(Q_D - Q_{C2}) = (20 + j9,306) \text{ MVA}$$

$$\text{Загуба на моќност: } \Delta \underline{S}_{ZV} = \frac{P''^2 + Q''^2}{U_D^2} \cdot (R_V + jX_V) = (0,197 + j0,606) \text{ MVA}; Q_{C1} = B_V / 2 \cdot U_A^2 = 0,722 \text{ Mvar}$$

$$\text{Моќност на почетокот на водот A-D; } \underline{S}_{A-A-D} = \underline{S}_D + \Delta \underline{S}_{ZV} - jQ_{C2} - jQ_{C1} = (20,197 + j9,190) \text{ MVA}$$

$$\text{Моќност во напојна точка: } \underline{S}_A = 2 \cdot \underline{S}_{A-A-B} + \underline{S}_{A-A-D} = (71,515 + j39,168) \text{ MVA}$$

Задача 2.

а) Избор на главна магистрала:

$$\Sigma_3 = 1,9 \cdot 2,5 + 0,7 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 = 6,55 \text{ MW} \cdot \text{km}$$

$$\Sigma_4 = 1,9 \cdot 2,5 + 0,7 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 = 6,75 \text{ MW} \cdot \text{km} \text{ главна магистрала } \omega_4 = \{1, 2, 4\}$$

Димензионирање на главна магистрала:

$$\Delta U_r = \frac{x_{sr}}{U_n} \sum_{i \in \omega_4} Q_{\Sigma i} l_i = \frac{x_{sr}}{U_n} \tan \varphi \cdot \sum_{i \in \omega_4} P_{\Sigma i} l_i = \frac{0,375}{10} \cdot 0,6197 \cdot 6,75 = 0,157 \text{ kV};$$

$$\Delta U_{a \text{ doz}} = \Delta U_{\text{doz}} - \Delta U_r = 500 - 157 = 343 \text{ V}; A \geq \frac{1000 \cdot \Sigma_4}{\kappa \cdot U_n \cdot \Delta U_{a \text{ doz}}} = \frac{1000 \cdot 6750}{32 \cdot 10 \cdot 343} = 61,5 \text{ mm}^2$$

Се избира $A=70 \text{ mm}^2$, $r=0,447 \text{ } \Omega/\text{km}$, $x=0,357 \text{ } \Omega/\text{km}$. Проверка:

$$\Delta U = \frac{\Sigma_4}{U_n} (r + x \cdot \tan \varphi) = 0,451 \text{ kV} < \Delta U_{\text{doz}} = 0,5 \text{ kV};$$

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma 1}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,9 / 0,85}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,129 \text{ kA} < I_d = 0,235 \text{ kA}$$

Димензионирање на отцеп 2-3:

$$\Delta U_{A-2} = \frac{P_{\Sigma 1} \cdot l_{A-1} + P_{\Sigma 2} \cdot l_{1-2}}{U_n} (r + x \cdot \tan \varphi) = 0,411 \text{ kV}; \Delta U_{1 \text{ ost}} = \Delta U_{\text{doz}} - \Delta U_{A-1} = 500 - 411 = 89 \text{ V};$$

$$\Delta U_{1r} = \frac{x_{sr}}{U_n} \cdot P_{\Sigma 2} \cdot \tan \varphi \cdot l_{1-2} = \frac{0,375}{10} \cdot 0,2 \cdot 0,6197 \cdot 2 = 0,009 \text{ kV};$$

$$\Delta U_{1a \text{ doz}} = \Delta U_{1 \text{ ost}} - \Delta U_{1r} = 0,080 \text{ kV} = 80 \text{ V}$$

$$A \geq \frac{1000 \cdot P_{\Sigma 3} \cdot l_{2-3}}{\kappa \cdot U_n \cdot \Delta U_{1a \text{ doz}}} = \frac{1000 \cdot 0,2 \cdot 2 \cdot 1000}{32 \cdot 10 \cdot 80} = 15,6 \text{ mm}^2$$

Се избира $A=16 \text{ mm}^2$, $r=2,042 \text{ } \Omega/\text{km}$, $x=0,406 \text{ } \Omega/\text{km}$. Проверка:

$$\Delta U = \frac{P_{\Sigma 3} \cdot l_{2-3}}{U_n} (r + x \cdot \tan \varphi) = 0,091 \text{ kV} > \Delta U_{1 \text{ ost}} = 0,089 \text{ kV};$$

Пресекот од 16 mm^2 не задоволува затоа се избира пресек од 25 mm^2 :

$$r=1,313 \text{ } \Omega/\text{km}, x=0,391 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma 1}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{0,2 / 0,85}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,014 \text{ kA} < I_d = 0,125 \text{ kA}$$

б) Загуби на моќност во максимален режим:

$$\Delta P_M = \frac{\sum_i S_{\Sigma i}^2 \cdot l_i}{U_n^2} r_{95 \text{ mm}^2} = \frac{\sum_i P_{\Sigma i}^2 \cdot l_i}{\cos^2 \varphi \cdot U_n^2} r_{95 \text{ mm}^2} = \frac{(1,9^2 \cdot 2,5 + 0,7^2 \cdot 2 + 0,2^2 \cdot 2 + 0,2^2 \cdot 3)}{0,85^2 \cdot 10^2} \cdot 0,331 = 0,0468 \text{ MW}$$

Загуби на енергија:

$$\tau = \sum_{i=1}^n \frac{S_i^2}{S_M^2} \cdot \Delta t_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{P_M} \right)^2 \cdot \Delta t_i = (0,2^2 \cdot 12 + 1^2 \cdot 8 + 0,8^2 \cdot 4) = 11,04 \text{ h}$$

$$\Delta W = \Delta P_M \cdot \tau = 46,8 \cdot 11,04 = 516,146 \text{ kWh/den}$$