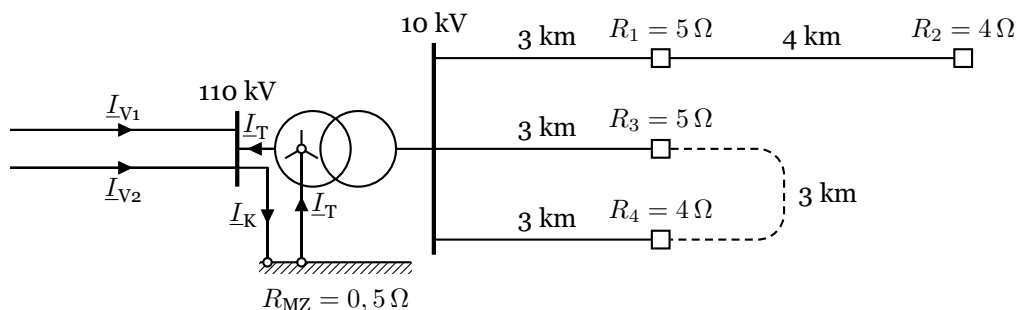


ЗАЗЕМЈУВАЧИ И ЗАЗЕМЈУВАЧКИ СИСТЕМИ ВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИТЕ МРЕЖИ

Задачата се состои од повеќе делови, при што поените се дадени на левата маргина. На крајот од секој дел во загради е даден резултатот. Тој служи за проверка на решението, но слободно може да се користи во наредните делови доколку е тоа потребно. Времето за решавање е 2 часа. Вкупниот број на поени е 100.

1. Во една трансформаторска станица 110/10 kV/kV инсталиран е трансформатор чии намотки на 110 kV се поврзани во ѕвезда и се директно заземјени. Таа се напојува од два 110 kV вода со заштитни јажиња, додека на 10 kV од неа се напојуваат 3 кабелски изводи. Познати се следните податоци:

- Надземните водови за 110 kV имаат $\underline{Z}_{v1,v} = 3 \cdot e^{j5^\circ} = (2,99 + j0,26) \Omega$ и $\underline{r}_f = 0,7 \cdot e^{j10^\circ} = (0,69 + j0,12)$.
- Отпорноста на распростирање на мрежестиот заземјувач е $R_{MZ} = 0,5 \Omega$.
- Сите кабелски изводи се изведени со кабел од типот ХНР (со изолиран метален плашт) со надолжна импеданција $\underline{z} = (0,5 + j1) \Omega/\text{km}$, а нивните должини се прикажани на сликата. Трансформаторските станици 10/0,4 kV/kV кои се напојуваат со изводите се означени со квадратчиња. Отпорностите на нивните заземјувачи се означени на сликата.



Разгледуваме 2 случаја со куси врски:

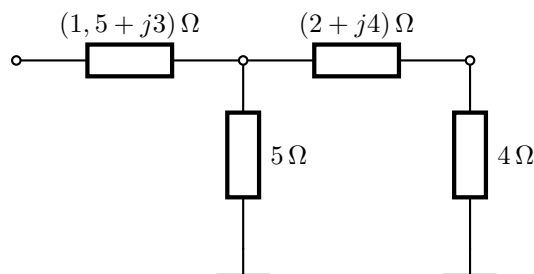
1. Во 110 kV постојка настанала еднофазна куса врска чија струја изнесува $\underline{I}_K = 10 \text{ kA}$. Познати се и струите на грешка што течат во водовите и во трансформаторот: $\underline{I}_{V1} = 5 \text{ kA}$, $\underline{I}_{V2} = 3 \text{ kA}$ и $\underline{I}_T = 2 \text{ kA}$.
2. Во трансформаторската станица означена со R_4 настанал земјоспој со струја $\underline{I}_Z = 50 \text{ A}$. Во овој случај да се занемарат индуцираните напони/струии поради меѓусебната спрега на фазните спроводници и плаштот на каблите.

Да се одреди:

- (25 п.) а) Влезната импеданција на кабелските изводи. $\{\underline{Z}_{v1,1} = (4,496 + j3,732) \Omega$; $\underline{Z}_{v1,2} = (6,5 + j3) \Omega$; $\underline{Z}_{v1,3} = (5,5 + j3) \Omega\}$.

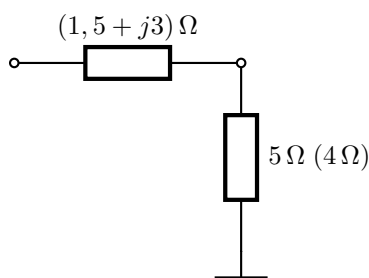
Решение:

Прв кабелски извод



$$\begin{aligned} Z_1 &= (2 + j4) + 4 = (6 + j4) \Omega \\ Y_{e1} &= \frac{1}{6 + j4} + \frac{1}{5} = (0,315 - j0,077) \text{ S} \\ Z_{e1} &= \frac{1}{0,315 - j0,077} = (2,996 + j0,732) \Omega \\ Z_{vl,1} &= (2,996 + j0,732) + (1,5 + j3) = (4,496 + j3,732) \Omega \end{aligned}$$

Втор и трет кабелски извод



$$\begin{aligned} Z_{vl,2} &= (1,5 + j3) + 5 = (6,5 + j3) \Omega \\ Z_{vl,3} &= (1,5 + j3) + 4 = (5,5 + j3) \Omega \end{aligned}$$

- (25 п.) б) Еквивалентата импеданција на заземјувачкиот систем кај 110 kV постројка и ефективните вредности на напонот и струјата на мрежестиот заземјувач (куса врска бр. 1). $\{Z_e = (0,331 + j0,031) \Omega; U_{MZ} = 1,818 \text{ kV}; I_{MZ} = 3,636 \text{ kA}\}$.

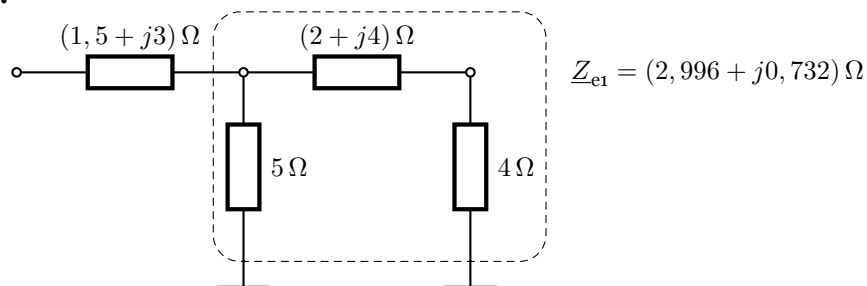
Решение:

$$\begin{aligned} Z_e &= \frac{1}{\frac{2}{Z_{vl,V}} + \frac{1}{Z_{vl,1}} + \frac{1}{Z_{vl,2}} + \frac{1}{Z_{vl,3}} + \frac{1}{R_{MZ}}} \\ &= \frac{1}{\frac{2}{2,99 + j0,26} + \frac{1}{4,496 + j3,732} + \frac{1}{6,5 + j3} + \frac{1}{5,5 + j3} + \frac{1}{0,5}} = (0,323 + j0,032) \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= r_f \cdot (I_{V1} + I_{V2}) = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ kA} \\ U_{MZ} &= Z_e \cdot I_e = \sqrt{0,323^2 + 0,032^2} \cdot 5,6 = 1,818 \text{ kV} \\ I_{MZ} &= \frac{U_{MZ}}{R_{MZ1}} = \frac{1,818}{0,5} = 3,636 \text{ kA} \end{aligned}$$

- (25 п.) в) Коэффициентот на изнесен потенцијал за трансформаторската станица R_1 . $\{k = 0,475 - j0,231; |k| = 0,528\}$

Решение:

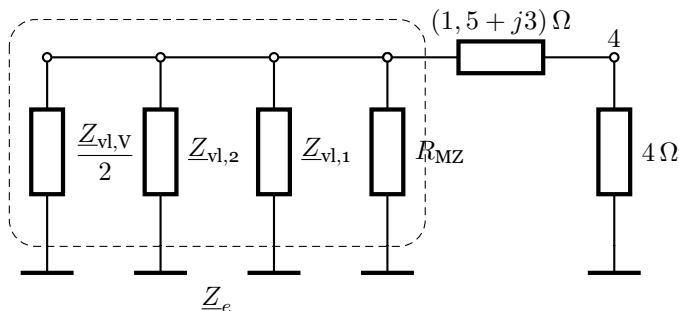


$$\underline{k} = \frac{\underline{Z}_{e1}}{1,5 + j3 + \underline{Z}_{e1}} = \frac{2,996 + j0,732}{1,5 + j3 + 2,996 + j0,732} = 0,475 - j0,231$$

$$k = \sqrt{0,475^2 + 0,231^2} = 0,528$$

- (25 п.) г) Еквивалентата импеданција на заземјувачкиот систем кај трансформаторската станица R_4 и ефективните вредности на напонот и струјата на нејзиниот заземјувач (куса врска бр. 2). $\{\underline{Z}_{e4} = (1,840 + j1,119) \Omega; U_4 = 107,680 \text{ V}; I_4 = 26,919 \text{ A}\}$.

Решение:



$$\underline{Z}_e = \frac{1}{\frac{2}{\underline{Z}_{vl,V}} + \frac{1}{\underline{Z}_{vl,1}} + \frac{1}{\underline{Z}_{vl,2}} + \frac{1}{R_{MZ}}}$$

$$= \frac{1}{\frac{2}{2,99 + j0,26} + \frac{1}{4,496 + j3,732} + \frac{1}{6,5 + j3} + \frac{1}{0,5}} = (0,340 + j0,026) \Omega$$

$$\underline{Z}_{e4} = \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_e + 1,5 + j3} + \frac{1}{4}} = \frac{1}{\frac{1}{1,840 + j3,026} + \frac{1}{4}} = (1,840 + j1,119) \Omega$$

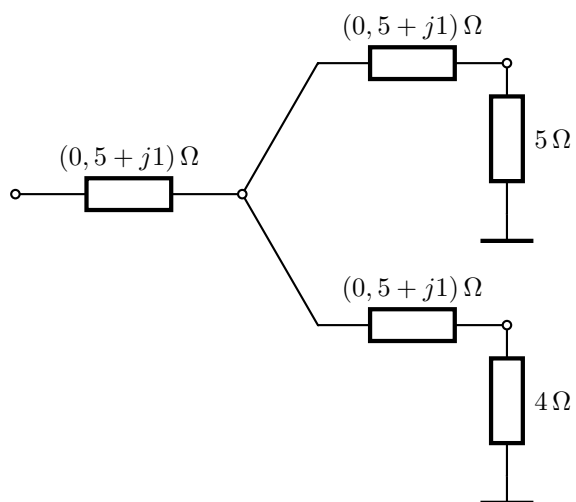
$$U_4 = Z_{e4} \cdot I_Z = \sqrt{1,840^2 + 1,119^2} \cdot 50 = 107,680 \text{ V}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{107,680}{4} = 26,919 \text{ A}$$

- (20 п. бонус) д) Во системот се додава уште еден кабел, од истиот тип, со должина од 3 km помеѓу трансформаторските станици R_3 и R_4 (на сликата е прикажан со испрекинатата линија). Да се определи заедничката влезна импеданција на вториот и третиот кабелски извод. $\{\underline{Z}_{23,vl} = (2,976 + j1,505) \Omega\}$.

Решение:

Триаголникот составен од двата кабелски изводи и новиот кабел може да се претвори во звезда со краци со должина од 1 km. Со тоа еквивалентното коло го има следниот изглед



$$Z_{23, \text{vl}} = \frac{1}{\frac{1}{0,5 + j1 + 5} + \frac{1}{0,5 + j1 + 4}} + 0,5 + j1 = (2,976 + j1,505) \Omega$$