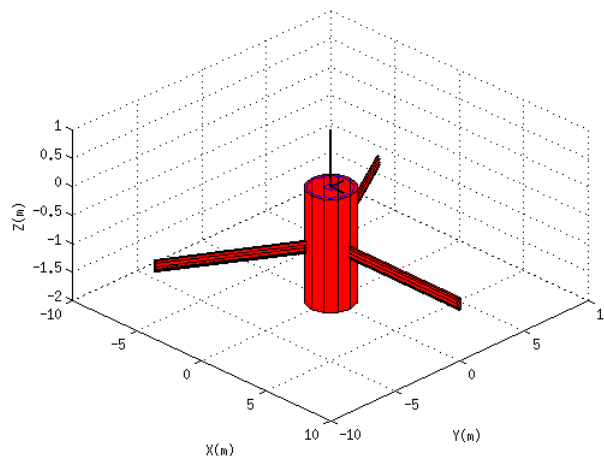
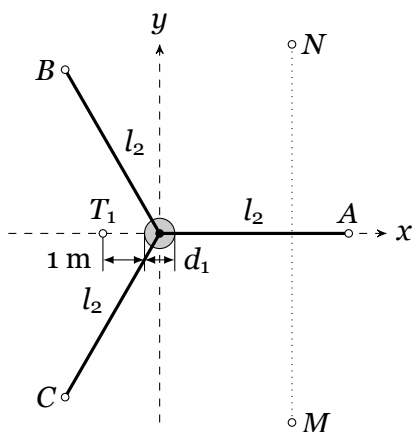


ЗАЗЕМЈУВАЧИ И ЗАЗЕМЈУВАЧКИ СИСТЕМИ ВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИТЕ МРЕЖИ

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. Еден армирано-бетонски столб од надземен вод е поставен во тло со специфична отпорност $\rho = 180 \Omega\text{m}$. Должината на делот од столбот закопан во земјата изнесува $l_1 = 2 \text{ m}$ и тој може да се еквивалентира со метален цилиндер со пречник $d_1 = 30 \text{ cm}$. Столбот е заземјен со 3 поцинкувани ленти закопани на длабочина $h = 1 \text{ m}$. Лентите формираат симетрична ѕвезда, нивната должина е $l_2 = 10 \text{ m}$ и тие се со димензии $30 \times 4 \text{ mm}$ ($d_2 = 22 \text{ mm}$). Во заземјувачот се инјектира струја на грешка $I_Z = 240 \text{ A}$.



За заземјувачот се познати матриците

$$r = \begin{bmatrix} 47,0 & 9,1 & 9,1 & 9,1 \\ 9,1 & 23,8 & 4,1 & 4,1 \\ 9,1 & 4,1 & 23,8 & 4,1 \\ 9,1 & 4,1 & 4,1 & 23,8 \end{bmatrix} \Omega; \quad y = \begin{bmatrix} 25 & -7 & -7 & -7 \\ -7 & 46 & -4 & -4 \\ -7 & -4 & 46 & -4 \\ -7 & -4 & -4 & 46 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3} \text{ S},$$

во кои првата редица и колона се однесуваат на делот од столбот закопан во земјата. Да се одреди:

- (20 п.) а) Отпорноста на распространување R_Z и напонот на заземјувачот U_Z .
($R_Z = 10,309 \Omega$; $U_Z = 2474,227 \text{ V}$).

Решение:

$$R_Z = \frac{1}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 y_{ij}} = \frac{1}{(25 + 3 \cdot 46 - 6 \cdot 7 - 6 \cdot 4) \cdot 10^{-3}} = 10,309 \Omega$$

$$U_Z = R_Z \cdot I_Z = 10,309 \cdot 240 = 2474,227 \text{ V}$$

- (20 п.) б) Струите на одведување во земјата од одделните електроди на заземјувачот. ($I_1 = 9,897 \text{ A}$; $I_2 = I_3 = I_4 = 76,701 \text{ A}$).

Решение:

$$I = y \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot U_Z = \begin{bmatrix} 25 & -7 & -7 & -7 \\ 46 & -7 & -4 & -4 \\ 46 & -7 & -4 & -4 \\ 46 & -7 & -4 & -4 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3} \cdot 2474,227 = \begin{bmatrix} 9,897 \\ 76,701 \\ 76,701 \\ 76,701 \end{bmatrix} \text{ A}.$$

- (25 п.) в) Напонот на допир во точката T_1 на површината на земјата која се наоѓа на оддалеченост од 1 m од работ на столбот (види слика). Да се земе предвид и пречникот на столбот. ($U_d = 397,3$ V).

Решение:

Точката T_1 ги има следните координати $T_1(-1.15, 0, 0)$. Делот од столбот закопан во земјата се наоѓа помеѓу точки со следните координати $O(0, 0, 0)$ и $O_1(0, 0, -2)$. Сите ленти почнуваат во точката $O_2(0, 0, -1)$, а завршуваат во точките $A(10, 0, -1)$, $B(-5, 5\sqrt{3}, -1)$ и $C(-5, -5\sqrt{3}, -1)$.

Потенцијал од делот од столбот закопан во земјата

$$r_1 = \sqrt{(0 - (-1.15))^2 + (0 - 0)^2 + (0 - 0)^2} = 1,15 \text{ m}$$

$$r_2 = \sqrt{(0 - (-1.15))^2 + (0 - 0)^2 + (-2 - 0)^2} = 2,307 \text{ m}$$

$$\varphi_1 = \frac{\rho \cdot I_1}{4\pi l_1} \ln \frac{r_1 + r_2 + l_1}{r_1 + r_2 - l_1} = \frac{180 \cdot 9,897}{4\pi \cdot 2} \ln \frac{1,15 + 2,307 + 2}{1,15 + 2,307 - 2} = 93,601 \text{ V}$$

Потенцијал од лентата O_2A

$$r_1 = \sqrt{(0 - (-1.15))^2 + (0 - 0)^2 + (-1 - 0)^2} = 1,524 \text{ m}$$

$$r_2 = \sqrt{(10 - (-1.15))^2 + (0 - 0)^2 + (-1 - 0)^2} = 11,195 \text{ m}$$

$$\varphi_2 = \frac{\rho \cdot I_2}{4\pi l_2} \ln \frac{r_1 + r_2 + l_2}{r_1 + r_2 - l_2} = \frac{180 \cdot 76,701}{4\pi \cdot 10} \ln \frac{1,524 + 11,195 + 10}{1,524 + 11,195 - 10} = 233,239 \text{ V}$$

Потенцијал од лентата O_2B

$$r_1 = \sqrt{(0 - (-1.15))^2 + (0 - 0)^2 + (-1 - 0)^2} = 1,524 \text{ m}$$

$$r_2 = \sqrt{(-5 - (-1.15))^2 + (5\sqrt{3} - 0)^2 + (-1 - 0)^2} = 9,53 \text{ m}$$

$$\varphi_3 = \frac{\rho \cdot I_3}{4\pi l_2} \ln \frac{r_1 + r_2 + l_2}{r_1 + r_2 - l_2} = \frac{180 \cdot 76,701}{4\pi \cdot 2} \ln \frac{1,524 + 9,53 + 2}{1,524 + 9,53 - 2} = 328,994 \text{ V}$$

Вкупен потенцијал

$$\varphi = 2 \cdot \varphi_1 + 2 \cdot \varphi_2 + 4 \cdot \varphi_3 = 2 \cdot 93,601 + 2 \cdot 233,239 + 4 \cdot 328,994 = 1969,656 \text{ V}$$

$$U_d = \frac{U_z - \varphi}{1 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \rho} = \frac{2474,227 - 1969,656}{1 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 180} = 397,3 \text{ V}$$

- (15 п.) г) Да се пресмета веројатноста за смртен исход за човек кој е изложен на напон на допир во точката T_1 ако времето на реагирање на заштитата е 0,4 секунди. Отпорноста на човекот изнесува 1000 Ω . ($p = 0,5$).

Решение:

$$I = \frac{397,3}{1000} = 397,3 \text{ mA}$$

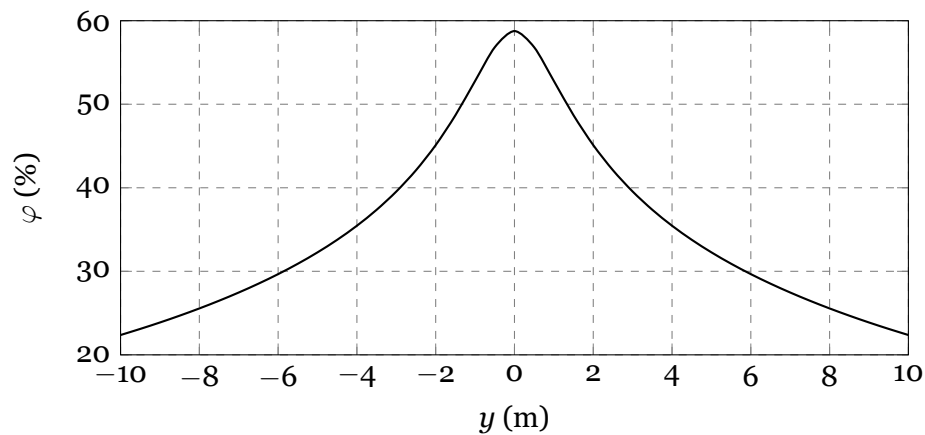
$$I_{F50} = \frac{0,16}{0,4} = 400 \text{ mA}$$

$$x = \frac{1}{0,18} \log \frac{I}{I_{F50}} = \frac{1}{0,18} \log \frac{397,3}{400} = -0,0163$$

$$p = F(x) = 0,5$$

- (20 п.) д) Најголемиот напон на чекор ако е позната промената на потенцијалот на

површината на земјата по правецот $M - N$, при што координатите на точките се $M(7, -10)$ и $N(7, 10)$. Кривата на промена на потенцијалот е прикажана на следната слика, а бројните вредности се дадени во следната табела. ($U_c = 96,352 \text{ V}$).



$y \text{ (m)}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\varphi \text{ (%)}$	58,8	56,8	52,8	48,7	45,1	42,1	39,5	37,4	35,5	33,8	32,3
$y \text{ (m)}$	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	
$\varphi \text{ (%)}$	30,9	29,7	28,5	27,5	26,5	25,6	24,7	23,9	23,1	22,4	

Решение:

$$\varphi_1 = 58,8 - 52,8 = 6 \%$$

$$\varphi_2 = 56,8 - 48,7 = 8,1 \%$$

$$\varphi_3 = 52,8 - 45,1 = 7,7 \%$$

$$\varphi_4 = 48,7 - 42,1 = 6,6 \%$$

$$E_c = \frac{8,1}{100} \cdot U_Z = \frac{8,1}{100} \cdot 2474,227 = 200,412 \text{ V}$$

$$U_c = \frac{E_c}{1 + 6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho} = \frac{200,412}{1 + 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180} = 96,352 \text{ V}$$

(15 п. бонус)

г) Да се пресмета напонот на заземјувачот во случајот кога заземјувачот би имал само една лента наместо три. ($U_Z = 4800 \text{ V}$)

Решение:

$$r = \begin{bmatrix} 47,0 & 9,1 \\ 9,1 & 23,8 \end{bmatrix} \Omega; \quad y = r^{-1} = \begin{bmatrix} 0,023 & -0,009 \\ -0,009 & 0,045 \end{bmatrix} \text{ S},$$

$$R_Z = \frac{1}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 y_{ij}} = \frac{1}{(23 + 45 - 2 \cdot 9) \cdot 10^{-3}} = 20 \Omega$$

$$U_Z = R_Z \cdot I_Z = 20 \cdot 240 = 4800 \text{ V}$$