

У П Р А Ж Н Е Н И Е № 1

I. Тема: Моделиране на режимните и схемните параметри на ЕЕС в координатните системи - ABC, 120, $\alpha\beta 0$ и dq0.

II. Цел на упражнението: Придобиване на умения за компютърно изчисляване на режимните и схемните параметри на ЕЕС в най-често използваните координатни системи за формиране на математичните описания на ЕЕС.

III. Задачи за изпълнение.

1. **Задача 1.** За трифазен потребител на електрическа енергия с известен закон на изменение на фазните токове и напрежения в координатната система ABC да се изчислят:

а.) ефективните стойности на фазните токове и напрежения в координатните системи 120 и $\alpha\beta 0$;

б.) трифазната привидна мощност на потребителя чрез токовете и напреженията в координатните системи ABC, 120 и $\alpha\beta 0$.

2. **Задача 2.** Да се изчислят ефективните стойности на фазните напрежения в координатната система ABC при известни същите в координатната система 120.

3. **Задача 3.** Да се изчислят елементите на матрицата на импеданса в координатната система 120 по известни същите в координатната система ABC при условие, че елемента е:

а.) със схемна симетрия;

б.) със схемна несиметрия.

4. **Задача 4.** Да се изчислят и представят графично моментните стойности на напреженията и токовете в координатната система dq0 при известни закони на изменение на същите във фазната координатна система ABC. Изчисленията да се проведат за различни ъглови скорости на въртене на координатната система dq - ω_{dq} и различни стойности на началния ъгъл на отчитане на положението на координатната система dq - γ_0 .

IV. Кратка теоретична постановка.

Математичните описания на трифазната ЕЕС съставени чрез реалните фазни параметри (токове, напрежения и съпротивления) се наричат математични описания във фазната координатна система ABC. За компактност на записа на математичните описания на ЕЕС същите се

представят в матрична форма. Във фазната координатна система ABC токовете, напреженията и съпротивленията се представят чрез матриците:

$$U = \begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix}; I = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}; Z = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{AA} & \dot{Z}_{AB} & \dot{Z}_{AC} \\ \dot{Z}_{BA} & \dot{Z}_{BB} & \dot{Z}_{BC} \\ \dot{Z}_{CA} & \dot{Z}_{CB} & \dot{Z}_{CC} \end{bmatrix};$$

Неизбежното съществуване на взаимни проводимости между фазните тоководи на съставните елементи на ЕЕС усложнява математичните описания във фазните координати от една страна, а от друга страна за въртящите се машини същото е с променливи коефициенти. Това създава числени затруднения при решаването на математичните описания в тези координати. За преодоляване на тези затруднения се въвежда преобразуване на координатите (смяна на променливите). Прилагат се линейни преобразувания на координатите, което от математична гледна точка се свежда до матрично умножение с квадратна трансформационна матрица. В ЕЕС фазните координати се преобразуват най-често в следните координатни системи:

- система на Фортеско - 120 (симетрична координатна система);
- система на Кларк - $\alpha\beta 0$;
- система на Парк - $dq 0$.

Матриците на токовете, напреженията, съпротивленията, трансформацията и уравненията на преобразуванията за различните координатни системи са:

- за симетричната координатна система 120:

$$U_S = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_0 \end{bmatrix}; I_S = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_0 \end{bmatrix}; Z_S = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} & \dot{Z}_{10} \\ \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} & \dot{Z}_{20} \\ \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} & \dot{Z}_{00} \end{bmatrix}; S = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; S^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$U_S = S \cdot U; \quad I_S = S \cdot I; \quad Z_S = S \cdot Z \cdot S^{-1}; \quad a = 1 \cdot e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2};$$

- за координатната система на Кларк $\alpha\beta 0$:

$$U_K = \begin{bmatrix} \dot{U}_\alpha \\ \dot{U}_\beta \\ \dot{U}_0 \end{bmatrix}; I_K = \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix}; Z_K = \begin{bmatrix} \dot{Z}_\alpha & \dot{Z}_{\alpha\beta} & \dot{Z}_{\alpha 0} \\ \dot{Z}_{\beta\alpha} & \dot{Z}_\beta & \dot{Z}_{\beta 0} \\ \dot{Z}_{0\alpha} & \dot{Z}_{0\beta} & \dot{Z}_0 \end{bmatrix}; K = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & -\sqrt{3} & \sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$U_K = K \cdot U; \quad I_K = K \cdot I; \quad Z_K = K \cdot Z \cdot K^{-1};$$

- за координатната система на Парк $dq 0$:

$$U_{\bar{i}} = \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix}; I_{\bar{i}} = \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix}; L_{\bar{i}} = \begin{bmatrix} L_d & L_{dq} & L_{d0} \\ L_{qd} & L_q & L_{q0} \\ L_{0d} & L_{0q} & L_0 \end{bmatrix};$$

$$\ddot{\mathbf{i}} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\gamma(t)) & \cos(\gamma(t)-120^\circ) & \cos(\gamma(t)+120^\circ) \\ \sin(\gamma(t)) & \sin(\gamma(t)-120^\circ) & \sin(\gamma(t)+120^\circ) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}; \quad \gamma(t) = \omega_{dq} \cdot t + \gamma_0.$$

$$\mathbf{U}_{II} = \mathbf{\Pi} \cdot \mathbf{U}; \quad \mathbf{I}_{II} = \mathbf{\Pi} \cdot \mathbf{I}; \quad \mathbf{L}_{II} = \mathbf{\Pi} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{\Pi}^{-1};$$

- за преобразуване към фазната координатната система ABC:

$$\mathbf{U} = \mathbf{S}^{-1} \cdot \mathbf{U}_S; \quad \mathbf{I} = \mathbf{S}^{-1} \cdot \mathbf{I}_S; \quad \mathbf{Z} = \mathbf{S}^{-1} \cdot \mathbf{Z}_S \cdot \mathbf{S};$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{K}^{-1} \cdot \mathbf{U}_K; \quad \mathbf{I} = \mathbf{K}^{-1} \cdot \mathbf{I}_K; \quad \mathbf{Z} = \mathbf{K}^{-1} \cdot \mathbf{Z}_K \cdot \mathbf{K};$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{\Pi}^{-1} \cdot \mathbf{U}_{II}; \quad \mathbf{I} = \mathbf{\Pi}^{-1} \cdot \mathbf{I}_{II}; \quad \mathbf{L} = \mathbf{\Pi}^{-1} \cdot \mathbf{L}_{II} \cdot \mathbf{\Pi};$$

- за трифазната привидна мощност на потребителя чрез токовете и напреженията в координатните системи ABC, 120 и $\alpha\beta 0$:

$$\dot{\mathbf{S}} = \dot{U}_A \cdot \hat{I}_A + \dot{U}_B \cdot \hat{I}_B + \dot{U}_C \cdot \hat{I}_C;$$

$$\dot{\mathbf{S}} = 3 \cdot (\dot{U}_1 \cdot \hat{I}_1 + \dot{U}_2 \cdot \hat{I}_2 + \dot{U}_0 \cdot \hat{I}_0);$$

$$\dot{\mathbf{S}} = \frac{3}{2} \cdot (\dot{U}_\alpha \cdot \hat{I}_\alpha + \dot{U}_\beta \cdot \hat{I}_\beta) + 3 \cdot \dot{U}_0 \cdot \hat{I}_0;$$

- за елемент със схемна симетрия:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \dot{Z} & \dot{Z}_M & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z} & \dot{Z}_M \\ \dot{Z}_M & \dot{Z}_M & \dot{Z} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Z}_S = \begin{bmatrix} \dot{Z}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Z}_K = \begin{bmatrix} \dot{Z}_\alpha & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_\beta & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{L}_{\dot{\mathbf{i}}} = \begin{bmatrix} L_d & 0 & 0 \\ 0 & L_q & 0 \\ 0 & 0 & L_0 \end{bmatrix};$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_\alpha = Z_\beta = Z - Z_M;$$

$$Z_0 = Z + 2 \cdot Z_M.$$

V. Изходни данни.

V.1. Базови данни.

- за зад. 1

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6,2 \overset{0^\circ}{\text{---}} \\ 5,7 \overset{-115^\circ}{\text{---}} \\ 6,1 \overset{150^\circ}{\text{---}} \end{bmatrix} \text{ kV};$$

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} \dot{i}_A \\ \dot{i}_B \\ \dot{i}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,2 \overset{-40^\circ}{\text{---}} \\ 1,0 \overset{-140^\circ}{\text{---}} \\ 1,05 \overset{112^\circ}{\text{---}} \end{bmatrix} \text{ kA};$$

- за зад. 2

$$\mathbf{U}_S = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 66,2 \overset{0^\circ}{\text{---}} \\ 12 \overset{170^\circ}{\text{---}} \\ 18 \overset{175^\circ}{\text{---}} \end{bmatrix} \text{ kV};$$

- за зад. 3

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{AA} & \dot{Z}_{AB} & \dot{Z}_{AC} \\ \dot{Z}_{BA} & \dot{Z}_{BB} & \dot{Z}_{BC} \\ \dot{Z}_{CA} & \dot{Z}_{CB} & \dot{Z}_{CC} \end{bmatrix};$$

- за подусловие а.

$$Z_{AA}=Z_{BB}=Z_{CC}=Z;$$

$$Z=4+j13 \Omega ;$$

$$Z_{AB}=Z_{AC}=Z_{BA}=Z_{CA}=Z_{BC}=Z_{CB}=Z_M ;$$

$$Z_M=2+j4 \Omega ;$$

- за подусловие б.

$$Z_{AA}=ZZ;$$

$$Z_{AB}=Z_{AC}=Z_{BA}=Z_{CA}=Z_{MM} ;$$

$$Z=4+j13 \Omega ;$$

$$ZZ=1+j0,5 \Omega ;$$

$$Z_{BB}=Z_{CC}=Z;$$

$$Z_{BC}=Z_{CB}=Z_M ;$$

$$Z_M=2+j4 \Omega ;$$

$$Z_{MM}=0,8+j2 \Omega ;$$

- за зад. 4

- честота на мрежата - $f_M=50 \text{ Hz}$ ($\omega_0=2\cdot\pi\cdot f_M$);

- ъглова скорост на въртене на координатната система dq - ω_{dq}

$$\omega_{dq}=2\cdot\pi\cdot f_{dq}, \quad f_{dq}=50 \text{ Hz};$$

- ъгъл на отчитане на положението на координатната система dq - γ_0

$$\gamma_0=10^\circ ;$$

$$u = \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot 110 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) \\ \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot 110 \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t - 120^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) \\ \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot 110 \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t + 120^\circ \cdot \frac{\pi}{180}\right) \end{bmatrix} \text{ kV}; \quad i = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \cdot e^{\frac{-t}{0,05}} \\ -5 \cdot e^{\frac{-t}{0,05}} \\ -5 \cdot e^{\frac{-t}{0,05}} \end{bmatrix} \text{ kA};$$

- време за наблюдение $t_k=0,06 \text{ s}$.

V.2. Формиране на индивидуалното задание.

Изхожда се от базовите данни, които се коригират съответно:

- за зад. 1

$$U := U \cdot K_U; \quad K_U = \left(1 + \frac{2 - N_{\text{лаб.гр.}}}{10}\right) \cdot \left(1 + \frac{2 - N_{\text{комп.}}}{10}\right);$$

$$I := I \cdot K_I; \quad K_I = K_U;$$

- за зад. 2

$$U_S := U_S \cdot K_S; \quad K_S = K_U;$$

- за зад. 3

$$Z := Z \cdot K_Z; \quad K_Z = \left(1 - \frac{2 - N_{\text{лаб.гр.}}}{10}\right) \cdot \left(1 - \frac{4 - N_{\text{комп.}}}{10}\right);$$

- за зад. 4

$$u := u \cdot K_U; \quad i := i \cdot K_I; \quad K_f = K_U; \quad K_\gamma = K_Z;$$

където $N_{\text{лаб.гр.}}$ е номерът на лабораторната група;

$N_{\text{комп.}}$ - номерът на компютъра.

VI. Указания за реда на изпълнението.

Изчисленията от упражнението се провеждат посредством персонален компютър при използване на програмната система MATLAB6.5 чрез два М-файла – “MEES_1_123.m” и “MEES_1_4.m” намиращи се в работната поддиректория (..\MEES\LU_01).

VI.1. Формиране на индивидуалното задание.

VI.2. Изпълнение на зад. 1, зад. 2 и зад. 3 в следния ред:

1. Стартиране на MEES_1_123.m;
2. Въвеждане на коригиращите коефициенти в съответствие с индивидуалното задание;
3. Провеждане на необходимите изчисления за зад. 1, зад. 2 и зад. 3.

Документират се резултатите за:

- за зад. 1 - U , U_S , U_K , I , I_S , I_K , S ;
- за зад. 2 - U_S и U ;
- за зад. 3 - Z и Z_S .

VI.3. Изпълнение на зад. 4.

VI.3.1. Варианти за изчисляване.

Изчисленията е необходимо да се проведат при следните условия:

- а.) $f_{dq}=\text{var} := f_{dq}(1; K_f; 10 \cdot K_f); \quad \gamma_0=\text{const} := 0;$
- б.) $f_{dq}=\text{const} := f_{dq} \cdot 1; \quad \gamma_0=\text{var} := (0^\circ; 45^\circ; \gamma_0 \cdot K_f) .$

VI.3.2. Провеждане на необходимите изчисления.

За всеки отделен случай процедурата е следната:

1. Стартиране на MEES_1_4.m;
2. Въвеждане на коригиращите коефициенти в съответствие с индивидуалното задание;
3. Провеждане на изчислението;
4. Визуализиране и оценяване на резултатите;
5. Документиране на максималните стойности за напреженията в координатните системи ABC и dq0.

VI.4. Оформяне на протокола.

VII. Времетраене на изпълнението - 4 часа.

VIII. Съдържание на протокола.

1. Тема.

2. Решение на задачите. За всяка от задачите се оформят:

- изходни данни;
- резултати от изчисленията;
- анализ и изводи.