



*Национальный исследовательский университет ИТМО  
(Университет ИТМО)*

*Факультет систем управления и робототехники*

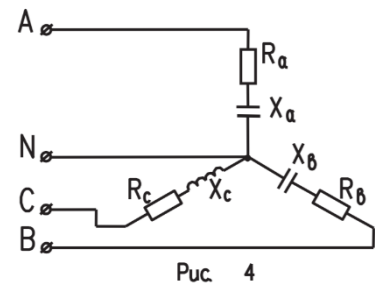
**Дисциплина: Электротехника  
Отчет по контрольной работе №5.**

Студент:  
*Евстигнеев Дмитрий*  
Группа: *R3242*  
Преподаватель:  
*Горишков К.С.*

Санкт-Петербург  
2021

## Задача.

Номера											
Варианта	Рисунок	U, В	R <sub>a</sub> , Ом	R <sub>b</sub> , Ом	R <sub>c</sub> , Ом	X <sub>a</sub> , Ом	X <sub>b</sub> , Ом	X <sub>c</sub> , Ом	R <sub>ав</sub> , Ом	R <sub>вс</sub> , Ом	R <sub>са</sub> , Ом
4	4	127	16,8	8	8	14,2	6	4	-	-	-



## Решение.

Для наглядности сделаю векторную иллюстрацию полученной схемы (рис. 1)

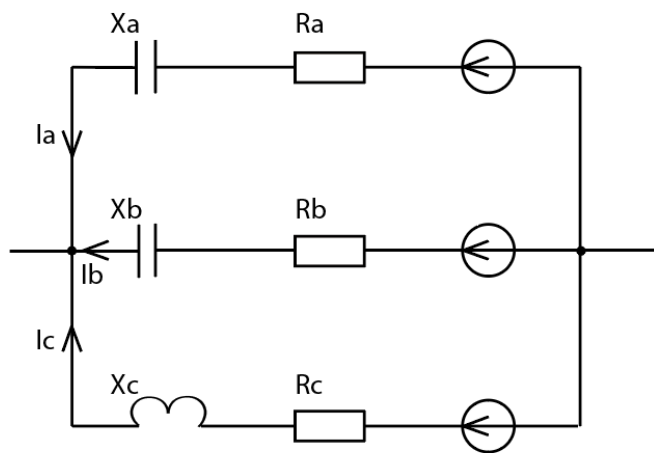


Рисунок 1. Схема, нарисованная в Adobe Illustrator

Проведем расчеты:

$$\begin{aligned}
 U &= 127 \\
 R_a &= 16,8 \text{ Ом} \\
 R_b &= 8 \text{ Ом} \\
 R_c &= 8 \text{ Ом} \\
 X_a &= 14,2 \text{ Ом} \\
 X_b &= 6 \text{ Ом} \\
 X_c &= 4 \text{ Ом} \\
 \omega &= 50 \text{ Гц}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{cases}
 I_a + I_b + I_c = 0 \\
 Z_a I_a - Z_b I_b = E_a - E_b \\
 Z_b I_b - Z_c I_c = E_b - E_c
 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ Z_a - Z_b & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & -Z_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ E_a - E_b \\ E_b - E_c \end{bmatrix}$$

$$\Delta := \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ Z_a - Z_b & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & -Z_c \end{vmatrix} = 328,4 - 276,8 \cdot i$$

$$\Delta_a := \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ E_a - E_b - Z_b & 0 & 0 \\ E_b - E_c & Z_b & -Z_c \end{vmatrix} = 4147,8523 - 381 \cdot i$$

$$\Delta_b := \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ Z_a & E_a - E_b & 0 \\ 0 & E_b - E_c & -Z_c \end{vmatrix} = 1159,6395 + 3813,3854 \cdot i$$

$$\Delta_c := \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ Z_a - Z_b & E_a - E_b & 0 \\ 0 & Z_b & E_b - E_c \end{vmatrix} = -5307,4918 - 3432,3854 \cdot i$$

$$I_a := \frac{\Delta_a}{\Delta} = 7,9561 + 5,5458 \cdot i$$

$$I_b := \frac{\Delta_b}{\Delta} = -3,6577 + 8,529 \cdot i$$

$$I_c := \frac{\Delta_c}{\Delta} = -4,2984 - 14,0748 \cdot i$$

$$I_{ac} := \frac{\left( X_a + X_c + X_a \cdot \frac{X_c}{X_b} \right)}{\omega} = 0,5533$$

$$C_{ab} := \frac{1}{\left( X_a + X_b + X_a \cdot \frac{X_b}{X_c} \right) \cdot \omega} = 0,0005$$

$$C_{bc} := \frac{1}{\left( X_b + X_c + X_b \cdot \frac{X_c}{X_a} \right) \cdot \omega} = 0,0017$$

$$P_a := i_a^2 \cdot R_a = 1580,1242$$

$$P_b := i_b^2 \cdot R_b = 688,9844$$

$$P_c := i_c^2 \cdot R_c = 1732,6119$$

$$Q_{Ca} := \frac{i_a^2}{(-\omega) \cdot C_a} \cdot i = -1335,5812 \cdot i$$

$$Q_{Cb} := (-X_b) \cdot i_b^2 \cdot i = -516,7383 \cdot i$$

$$Q_{Lc} := X_c \cdot i_c^2 \cdot i = 866,306 \cdot i$$

$$S := P_a + P_b + P_c + Q_{Ca} + Q_{Cb} + Q_{Lc} = 4001,7206 - 986,0136 \cdot i$$

Теперь рассмотрим треугольную цепь:

Для наглядности сделаю векторную иллюстрацию полученной схемы (рис. 2)

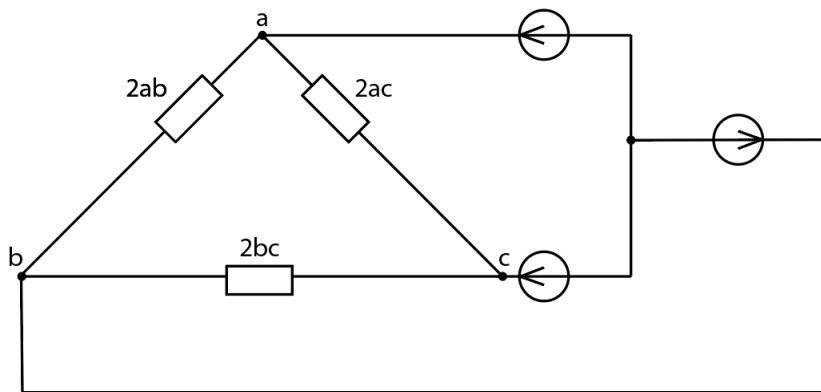


Рисунок 2. Схема, нарисованная в Adobe Illustrator

$$\begin{cases} I_a + I_{ab} - I_{ac} = 0 \\ I_c + I_{ca} - I_{bc} = 0 \\ I_b + I_{bc} - I_{ab} = 0 \\ Z_{ac} I_{ac} = E_a - E_c \\ Z_{ab} I_{ab} + Z_{ac} I_{ac} + Z_{bc} I_{bc} = 0 \\ Z_{bc} I_{bc} = E_c - E_b \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ab} & Z_{bc} & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{bc} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ E_a - E_c \\ 0 \\ E_c - E_b \end{bmatrix}$$

$$\Delta' := \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ab} & Z_{bc} & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{bc} & 0 \end{vmatrix} = -13858,5372 + 37807,746 \cdot i$$

$$\Delta'_{a'} := \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ E_a - E_c & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ab} & Z_{bc} & Z_{ac} \\ E_c - E_b & 0 & 0 & 0 & Z_{bc} & 0 \end{vmatrix}$$

$$\Delta'_{b'} := \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & E_a - E_c & 0 & 0 & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ab} & Z_{bc} & Z_{ac} \\ 0 & E_c - E_b & 0 & 0 & Z_{bc} & 0 \end{vmatrix}$$

$$\Delta'_{c'} := \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & E_a - E_c & 0 & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ab} & Z_{bc} & Z_{ac} \\ 0 & 0 & E_c - E_b & 0 & Z_{bc} & 0 \end{vmatrix}$$

$$\Delta'_{ab} := \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E_a - E_c & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{bc} & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & E_c - E_b & Z_{bc} & 0 \end{vmatrix} =$$

$$\Delta'_{bc} := \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E_a - E_c & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ab} & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E_c - E_b & 0 \end{vmatrix} =$$

$$\Delta'_{ac} := \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_a - E_c \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ab} & Z_{bc} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{bc} & E_c - E_b \end{vmatrix} =$$

$$\Delta'a := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ Ea - Ec & 0 & 0 & 0 & 0 & Zac \\ 0 & 0 & 0 & Zab & Zbc & Zac \\ Ec - Eb & 0 & 0 & 0 & Zbc & 0 \end{bmatrix} = -3,1993 \cdot 10^5 + 2,2394 \cdot 10^5 \cdot i$$

$$\Delta'b := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & Ea - Ec & 0 & 0 & 0 & Zac \\ 0 & 0 & 0 & Zab & Zbc & Zac \\ 0 & Ec - Eb & 0 & 0 & Zbc & 0 \end{bmatrix} = -2,7177 \cdot 10^5 - 2,5649 \cdot 10^5 \cdot i$$

$$\Delta'c := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & Ea - Ec & 0 & 0 & Zac \\ 0 & 0 & 0 & Zab & Zbc & Zac \\ 0 & 0 & Ec - Eb & 0 & Zbc & 0 \end{bmatrix} = 5,9171 \cdot 10^5 + 32545,1514 \cdot i$$

$$\Delta'ab := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Ea - Ec & 0 & Zac \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Zbc & Zac \\ 0 & 0 & 0 & Ec - Eb & Zbc & 0 \end{bmatrix} = 1,5439 \cdot 10^5 - 1,0095 \cdot 10^5 \cdot i$$

$$\Delta'bc := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Ea - Ec & Zac \\ 0 & 0 & 0 & Zab & 0 & Zac \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Ec - Eb & 0 \end{bmatrix} = 4,2616 \cdot 10^5 + 1,5554 \cdot 10^5 \cdot i$$

$$\Delta'ac := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Ea - Ec \\ 0 & 0 & 0 & Zab & Zbc & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Zbc & Ec - Eb \end{bmatrix} = -1,6554 \cdot 10^5 + 1,23 \cdot 10^5 \cdot i$$

$$I'a := \frac{\Delta'a}{\Delta'} = 7,9561 + 5,5458 \cdot i$$

$$I'b := \frac{\Delta'b}{\Delta'} = -3,6577 + 8,529 \cdot i$$

$$I'c := \frac{\Delta'c}{\Delta'} = -4,2984 - 14,0748 \cdot i$$

$$i'a := |I'a| = 9,6982$$

$$i'b := |I'b| = 9,2803$$

$$i'c := |I'c| = 14,7165$$

$$i'ab := |I'ab| = 4,5809$$

$$i'bc := |I'bc| = 11,2662$$

$$i'ac := |I'ac| = 5,1216$$

$$Se' := Ea \cdot (7,9561 - 5,5458 \cdot i) + Eb \cdot (-3,6577 - 8,529 \cdot i) + Ec \cdot (-4,2984 + 14,0748 \cdot i) = 4001,7211 - 986,0074 \cdot i$$

$$Q'ab := Zab \cdot i'ab^2 = 398,7115 - 925,4304 \cdot i$$

$$Q'bc := Zbc \cdot i'bc^2 = 2478,2229 + 3,4205 \cdot i$$

$$Q'ac := Zac \cdot i'ac^2 = 1124,7862 - 64,0037 \cdot i$$

$$S' := Q'ab + Q'bc + Q'ac = 4001,7206 - 986,0136 \cdot i$$

Баланс сошёлся

Построим и проведем симуляцию в утилите LTSpice

