Расчетно-графическая работа состоит из 3-х разделов

1 Составить вектор задающих токов в узлах.
2 Составить матрицу сопротивлений ветвей.

---

3 Выполнить расчет установившегося режима электрической схемы указанным в задании методом.

Баланс мощностей:
1 Нагрузки представить в виде мощностей.
2 На основании полученных токов в ветвях и напряжений в узлах получить мощности начала и конца ветви и соответственно потери мощности в сети.
3 Проанализировать уровни напряжения на участках сети и уточнить фактические напряжения в узлах нагрузки с учетом коэффициента трансформации.
4 Полученные в результате расчета токи ветвей и напряжения узлов нанести на граф сети. Уточнить направления ветвей по результатам расчета.

Для задания 2 (аварийное отключение ЛЭП):
1 Изменить схему в соответствии с заданием.
2 Составить матрицу коэффициентов распределения дерева для разомкнутой сети.
3 Выполнить расчет послеаварийного режима методом на основе матрицы коэффициентов распределения дерева.
4 Проанализировать полученные результаты

Определение мощностей в энергосистеме

1. Получение диагональной матрицы токов в ветвях

$$I_v := \begin{pmatrix} -4.337\cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.179\cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.982\cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.355\cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.621\cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.821\cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.17\cdot 10^3 \end{pmatrix} A$$

2. Матрица напряжений в узлах, включая базисное напряжение

$$U_{y\Sigma} := \begin{pmatrix} 2.43\times 10^5 \\ 2.543\times 10^5 \\ 2.614\times 10^5 \\ 2.593\times 10^5 \\ 2.435\times 10^5 \\ 2.2\times 10^5 \end{pmatrix} B$$

3. Матрица потерь мощности в ветвях

$$\boxed{\Delta S = I_v * M_\Sigma^T * U_{y\Sigma}}$$

$$\Delta S := I_v \cdot M_\Sigma{}^T \cdot U_{y\Sigma} = \begin{pmatrix} 101.9 \times 10^6 \\ 73.1 \times 10^6 \\ 31.3 \times 10^6 \\ 25.4 \times 10^6 \\ 11.5 \times 10^6 \\ 9.3 \times 10^6 \\ 357 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ВА}$$

4. Матрица распределения напряжений в ветвях

$$M_{\Sigma}^{T} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} U_6 - U_5 \\ U_6 - U_1 \\ U_5 - U_4 \\ U_5 - U_2 \\ U_2 - U_3 \\ U_2 - U_1 \\ U_4 - U_3 \end{pmatrix} B$$

$U_1 := 2.43 \cdot 10^5$ B

$U_2 := 2.543 \cdot 10^5$ B

$U_3 := 2.614 \cdot 10^5$ B

$U_4 := 2.593 \cdot 10^5$ B

$U_5 := 2.435 \cdot 10^5$ B

$U_6 := 2.2 \cdot 10^5$ B

5. Выделение массива положительных и отрицательных значений напряжений в узлах

V_1 – положительные напряжения;

V_2 – отрицательные напряжения.

$$M_{\Sigma}^{T} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} U_6 - U_5 \\ U_6 - U_1 \\ U_5 - U_4 \\ U_5 - U_2 \\ U_2 - U_3 \\ U_2 - U_1 \\ U_4 - U_3 \end{pmatrix} B$$

$$V_1 := \begin{pmatrix} U_6 \\ U_6 \\ U_5 \\ U_5 \\ U_2 \\ U_2 \\ U_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.2 \times 10^5 \\ 2.2 \times 10^5 \\ 2.435 \times 10^5 \\ 2.435 \times 10^5 \\ 2.543 \times 10^5 \\ 2.543 \times 10^5 \\ 2.593 \times 10^5 \end{pmatrix} B \qquad V_2 := \begin{pmatrix} -U_5 \\ -U_1 \\ -U_4 \\ -U_2 \\ -U_3 \\ -U_1 \\ -U_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.435 \times 10^5 \\ -2.43 \times 10^5 \\ -2.593 \times 10^5 \\ -2.543 \times 10^5 \\ -2.614 \times 10^5 \\ -2.43 \times 10^5 \\ -2.614 \times 10^5 \end{pmatrix} B$$

6. Определение потерь мощности

$$\boxed{S_1 = I_v * V_1,}$$

$$S_1 := I_v \cdot V_1 = \begin{pmatrix} -9.5414 \times 10^8 \\ -6.9938 \times 10^8 \\ -4.8262 \times 10^8 \\ -5.7344 \times 10^8 \\ -4.1222 \times 10^8 \\ 2.0878 \times 10^8 \\ -4.4081 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{BA}$$

$$\boxed{S_2 = I_v * V_2}$$

$$S_2 := I_v \cdot V_2 = \begin{pmatrix} 1.0561 \times 10^9 \\ 7.725 \times 10^8 \\ 5.1393 \times 10^8 \\ 5.9888 \times 10^8 \\ 4.2373 \times 10^8 \\ -1.995 \times 10^8 \\ 4.4438 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{BA}$$

7. Выделение массива с положительными и отрицательными элементами потерь мощности

S_n – с положительными элементами;

S_k – с отрицательными элементами

$$S_n := \begin{pmatrix} 1056.1 \times 10^6 \\ 772.5 \times 10^6 \\ 514 \times 10^6 \\ 598.8 \times 10^6 \\ 423.7 \times 10^6 \\ 208.8 \times 10^6 \\ 44.4 \times 10^6 \end{pmatrix} \text{BA} \qquad S_k := \begin{pmatrix} -954 \times 10^6 \\ -699.5 \times 10^6 \\ -482.7 \times 10^6 \\ -573.4 \times 10^6 \\ -412.2 \times 10^6 \\ -199.5 \cdot 10^6 \\ -44.1 \times 10^6 \end{pmatrix} \text{BA}$$

8. Проверка правильности расчета потерь мощности

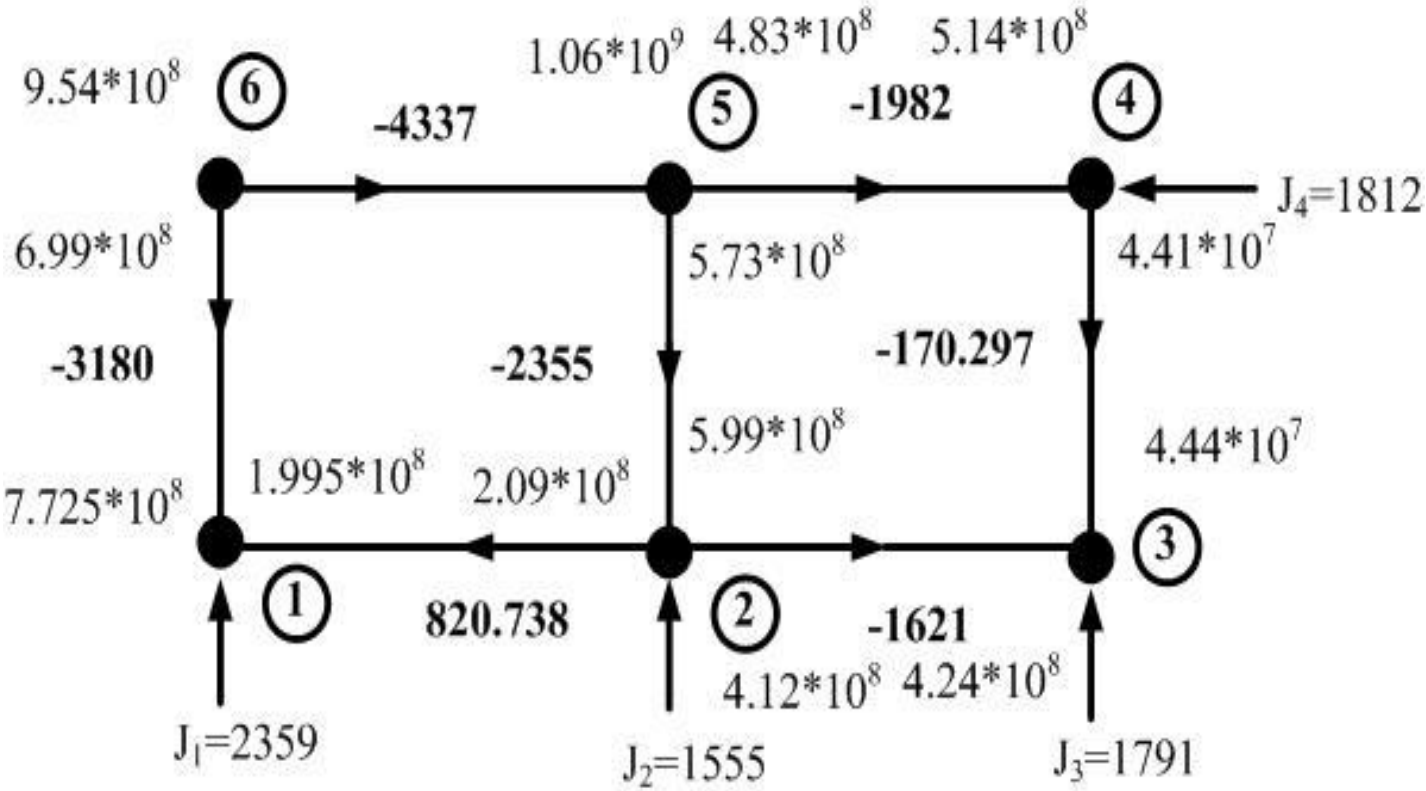
$$\boxed{S_n + S_k - \Delta S \leq \varepsilon}$$

$$S_n + S_k - \Delta S = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

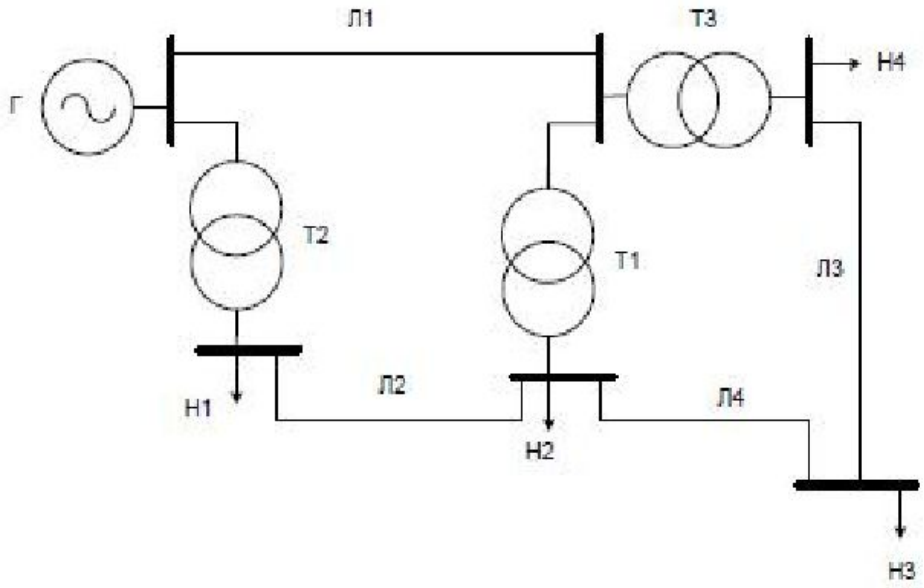
9. Определение суммарных потерь мощности

$$\boxed{\Delta S_{\Sigma} = n^T * \Delta S}$$

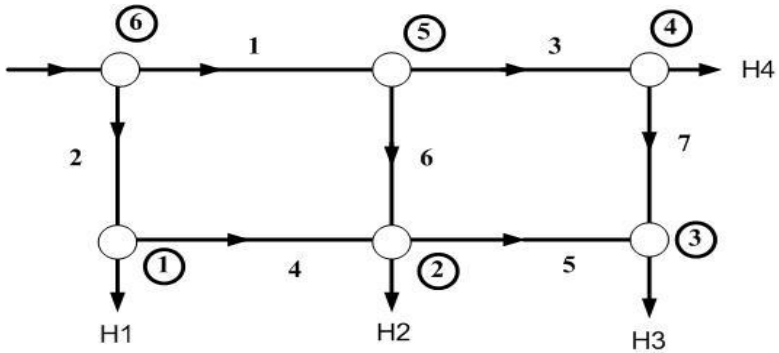
$$n := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \qquad \Delta S_{\Sigma} := n^T \Delta S = 2.529 \times 10^8 \text{ ВА}$$


9.54*10^8
6
-4337
1.06*10^9
4.83*10^8
5.14*10^8
5
-1982
4
J4=1812
6.99*10^8
5.73*10^8
4.41*10^7
-3180
-2355
-170.297
5.99*10^8
4.44*10^7
7.725*10^8
1.995*10^8
2.09*10^8
3
1
820.738
2
-1621
4.12*10^8
4.24*10^8
J1=2359
J2=1555
J3=1791

Аварийное отключение



аварийно отключены Т1 и Л3



Желательно, ЛЭП и трансформаторы которые будут отключены нумеровать последними

1. Определяем параметры схемы замещения
2. Получаем матрицу сопротивления ветвей схема

$$Z_V = \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_7 \end{bmatrix}; \quad Z_v = \begin{bmatrix} 5{,}418 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7{,}218 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7{,}96 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13{,}812 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4{,}402 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4{,}581 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 12{,}586 \end{bmatrix}$$

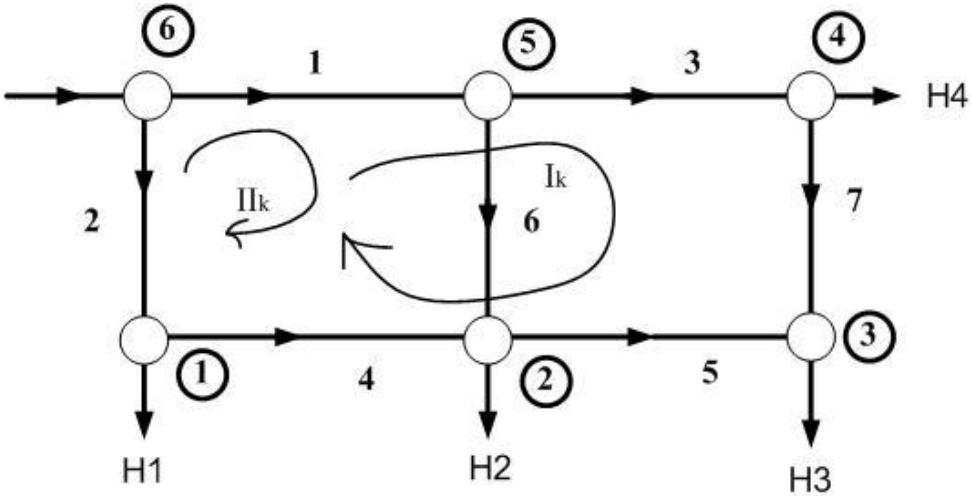
$$Z_{vd} = \begin{bmatrix} 5{,}418 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7{,}218 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7{,}96 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13{,}812 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4{,}402 \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad J = \begin{bmatrix} 2.359 * 10^3 \\ 1.555 * 10^3 \\ 1.791 * 10^3 \\ 1.812 * 10^3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Первая матрица соединений

$$M_{\Sigma} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & +1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 & 0 & 0 & +1 & 0 \\ +1 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Вторая матрица соединений



$$N = \begin{bmatrix} +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & 0 & +1 \\ +1 & -1 & 0 & -1 & 0 & +1 & 0 \end{bmatrix}$$

рис.3 – Граф с направлением контуров

Расчет установившегося режима системы методом контурных токов

- Из первой матрицы соединений исключается базисный узел

$$M = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & +1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 & 0 & 0 & +1 & 0 \end{bmatrix}$$

- Из матрицы М выделяется матрица дерево

$$M_d = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & +1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & +1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Из матрицы М выделяется матрица хорд

$$M_h = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & +1 \\ +1 & 0 \end{bmatrix}$$

- Матрица коэффициентов распределения для разомкнутой системы

$$C_d = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Проверка правильности получения матрицы коэффициентов распределения $C_d * M_d = E,$

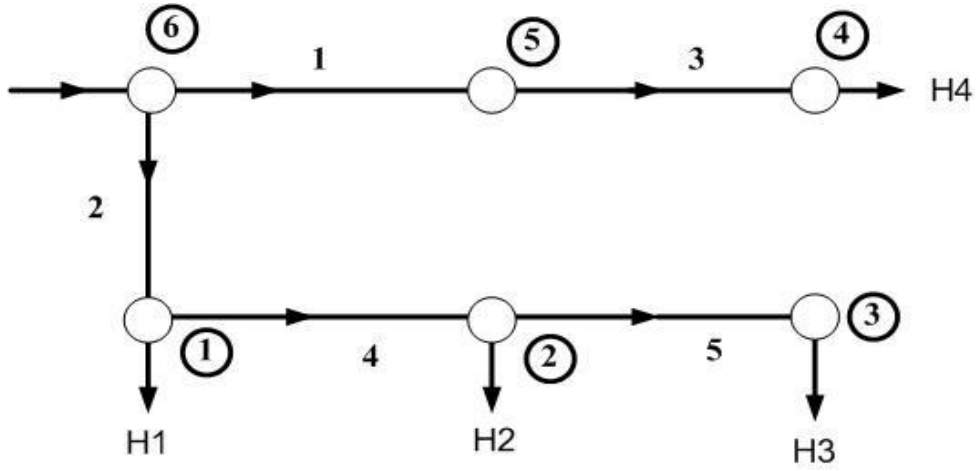


рис.4 – Разомкнутый граф

Матрица контурных сопротивлений

$$\boxed{Z_k = N * Z_v * N^T}$$

Матрица контурных проводимостей

$$\boxed{Y_k = Z_k^{-1}}$$

Определение контурного тока

$$\boxed{I_k = -Z_k^{-1} * N_d * Z_{vd} * C_d * J}$$

Определение токов в ветвях, возникающих под действием ЭДС

$$\boxed{I_v = N^T * I_k}$$

Токи в ветвях дерева, определяемые задающими токами в узлах

$$\boxed{I_{vd} = C_d * J}$$

Токи в ветвях

$$\boxed{I = N_d^T * I_k + C_d * J}$$

Матрица узловых напряжений

$$\boxed{U_\Delta = C_d^T * Z_{vd} * I}$$

Напряжение в узлах

$$\boxed{U_y = U_\Delta + n * U_b},$$

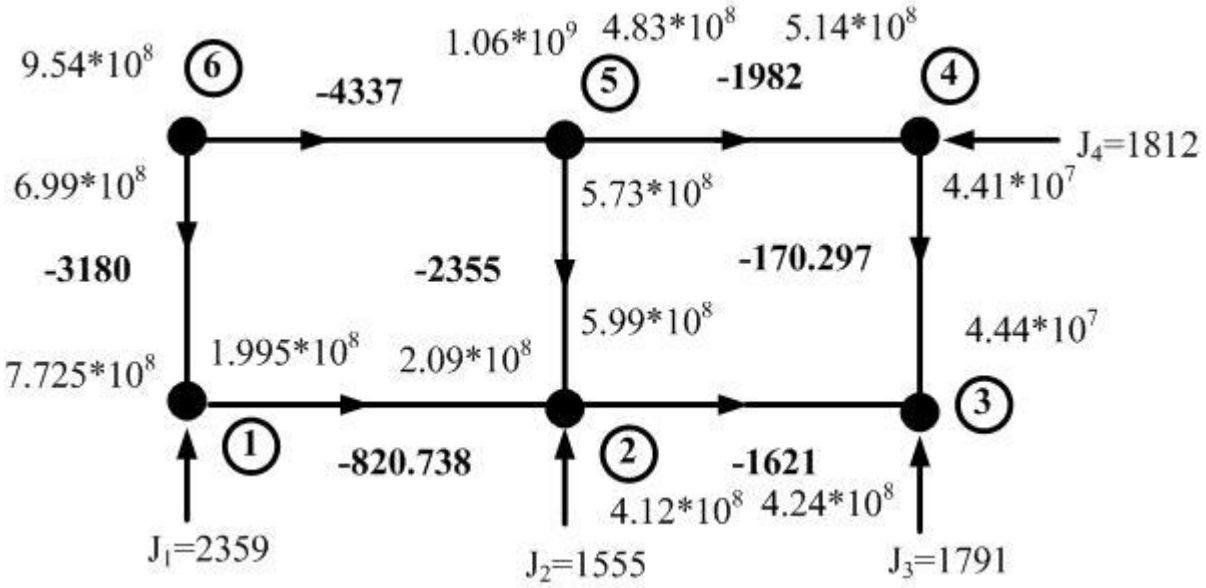


рис.5 - **Граф сети с полученными данными**