

Липецкий государственный технический университет

Факультет автоматизации и информатики

Кафедра электрооборудования

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

по электротехнике и электронике

Студент

Станиславчук С.М.

Группа

АС-21-1

к.т.н. доцент

Шачнев О.Я.

Липецк, 2023 г.

Задание кафедры

Для схемы (рисунок 1), параметры которой приведены в таблице 1, считая, что коммутатор К замкнут:

1. Определить действующие и мгновенные значения токов во всех ветвях схемы методом непосредственного применения законов Кирхгофа.
2. Построить векторно-топографическую диаграмму.
3. Проверить энергетический баланс мощностей и определить режимы работы всех источников электрической энергии. Определить погрешность.
4. Определить показания вольтметров, включенных параллельно конденсаторам «C1» и «C2», а также катушке индуктивности «L1».
5. Определить показание амперметра, расположенного последовательно с эдс e_1 .

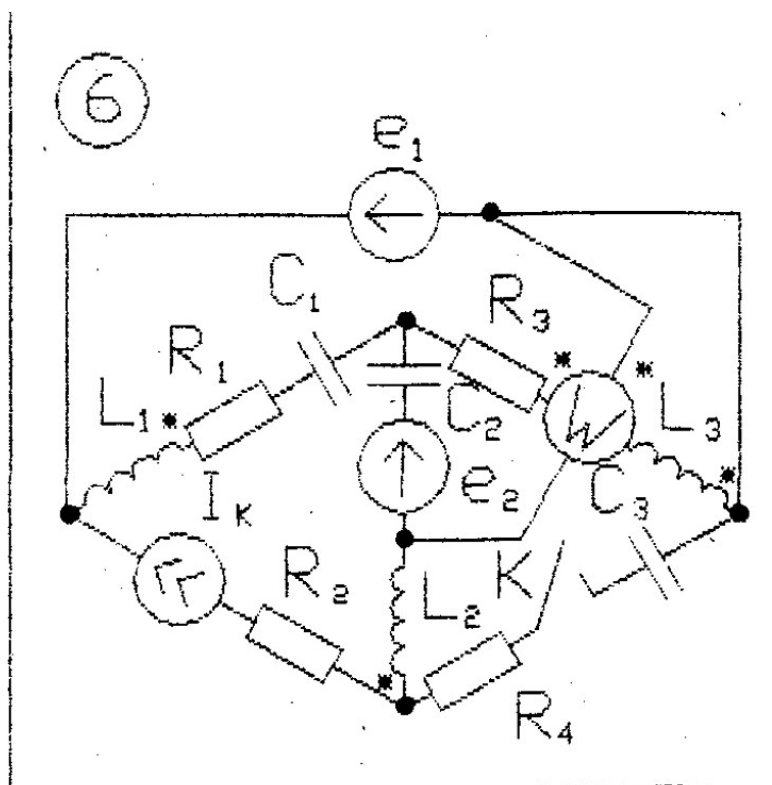


Рисунок 1 – Исходная схема

Таблица 1 - Исходные данные к индивидуальному заданию

E_{1m}	E_{2m}	I_{km}	ψ_1	ψ_2	ψ_k	f	R_1	R_2	R_3	R_4	L_1	L_2	L_3	C_1	C_2	C_3
В	А		град			Гц	Ом				мГн			мкФ		
90	50	9	-70	45	-50	50	11	5	10	7	35	70	20	100	70	200
													0			

1. Определить действующие и мгновенные значения токов во всех ветвях схемы методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

1.1 Определение сопротивлений электрической цепи и перевод значений источников ЭДС и тока в комплексную форму.

Расчет индуктивных и емкостных сопротивлений.

$$X_{C_1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_1} = \frac{1}{314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 31,847 \text{ Ом}$$

$$X_{C_2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_2} = \frac{1}{314 \cdot 70 \cdot 10^{-6}} = 45,496 \text{ Ом}$$

$$X_{C_3} = \frac{1}{\omega \cdot C_3} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_3} = \frac{1}{314 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = 15,924 \text{ Ом}$$

$$X_{L_1} = \omega \cdot L_1 = 2\pi \cdot f \cdot L_1 = 314 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 10,99 \text{ Ом}$$

$$X_{L_2} = \omega \cdot L_2 = 2\pi \cdot f \cdot L_2 = 314 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 21,98 \text{ Ом}$$

$$X_{L_3} = \omega \cdot L_3 = 2\pi \cdot f \cdot L_3 = 314 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 62,8 \text{ Ом}$$

Перейдем от амплитудных значений ЭДС и токов к комплексным:

$$\underline{E}_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_1} = \frac{90}{\sqrt{2}} e^{-70j} = \frac{90}{\sqrt{2}} \cdot (\cos(-70^\circ) + j\sin(-70^\circ)) = -28.44 - 56.98j \text{ В}$$

$$\underline{E}_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_2} = \frac{50}{\sqrt{2}} \cdot e^{45j} = \frac{50}{\sqrt{2}} \cdot (\cos(45^\circ) + j\sin(45^\circ)) = -20.92 + 28.49j, \text{ В}$$

$$\underline{I}_k = \frac{I_{km}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_k} = \frac{9}{\sqrt{2}} \cdot e^{-50j} = \frac{9}{\sqrt{2}} \cdot (\cos(-50^\circ) + j\sin(-50^\circ)) = 5.99 + 2.14j, \text{ А}$$

Для того чтобы перейти к расчетной схеме заменим элементы исходной схемы в соответствии с методом расчета синусоидальных цепей их

комплексными значениями, составим мнемосхему, рисунок 2.

Заземлим узел 1, тогда:

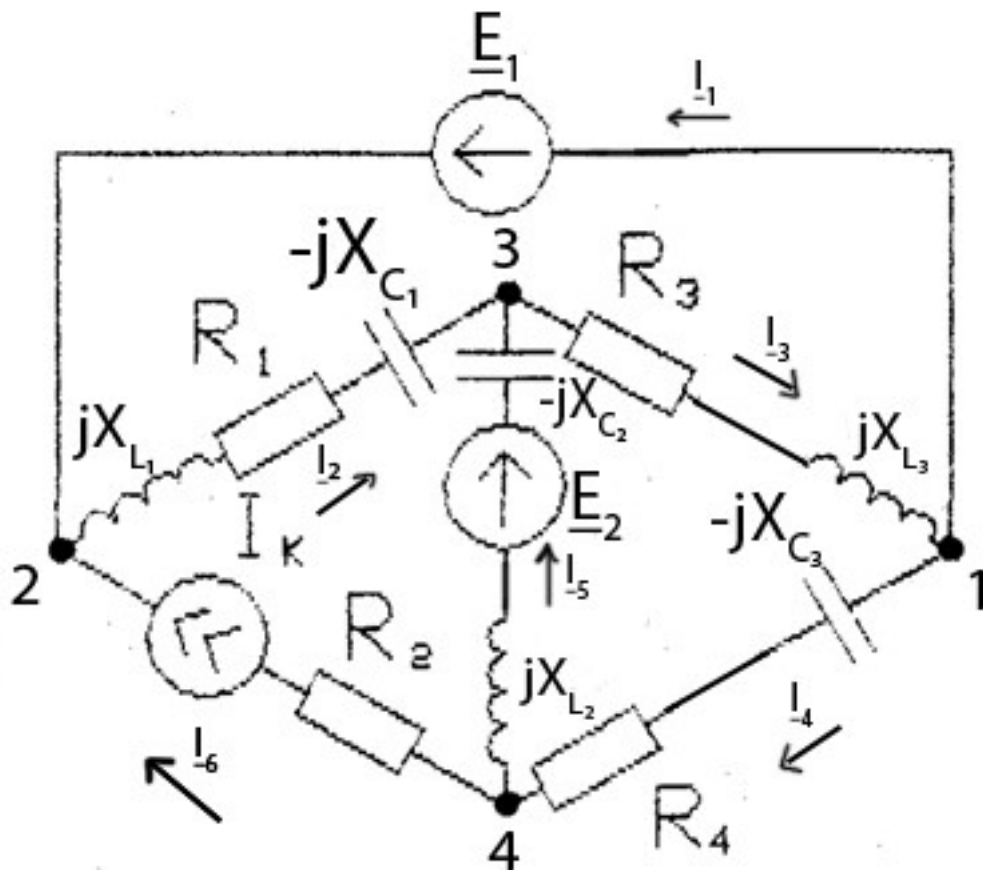


Рисунок 2 – Мнемосхема

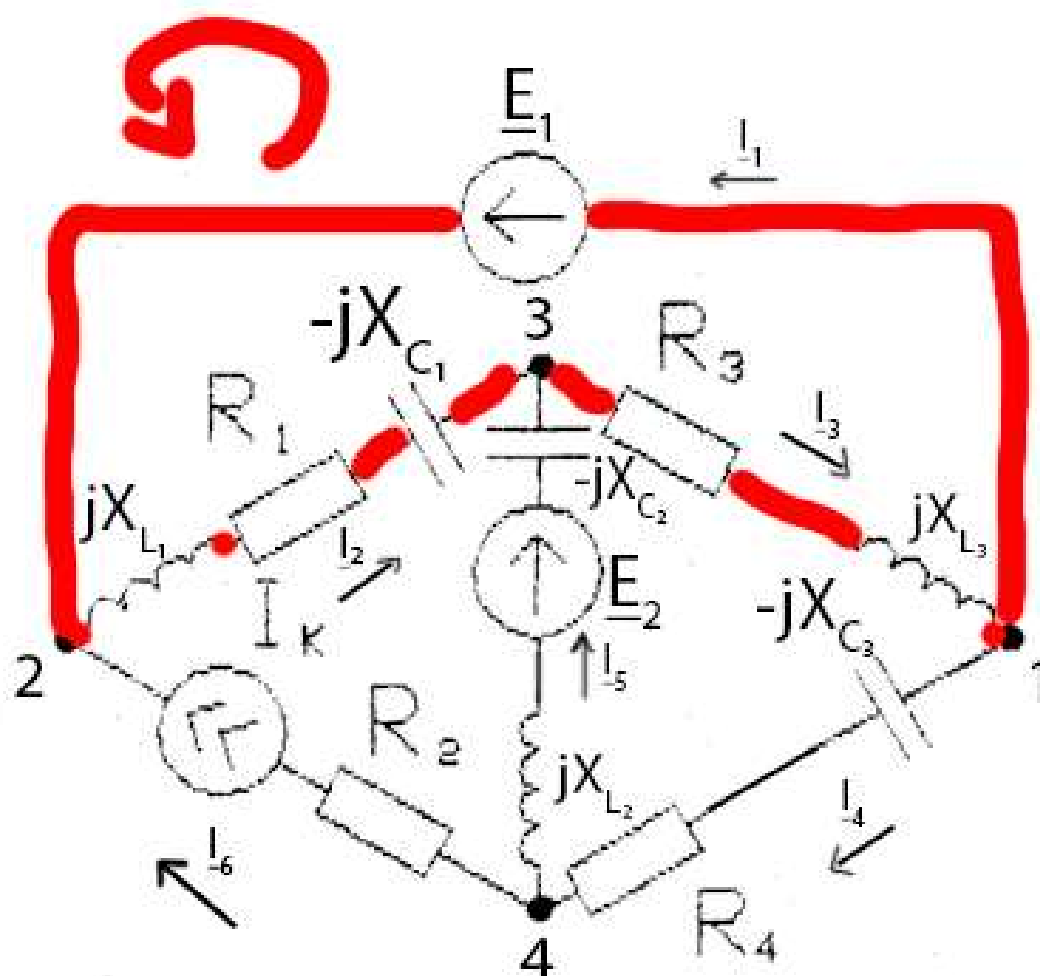
1.2 Расчет токов в цепи

По I-му закону будет N-1 уравнений, т.е 3.

$$\begin{cases} I_3 - I_1 - I_4 = 0 \text{ (1ый узел)} \\ I_6 - I_2 + I_1 = 0 \text{ (2ой узел)} \\ I_2 + I_5 - I_3 = 0 \text{ (3ий узел)} \end{cases}$$

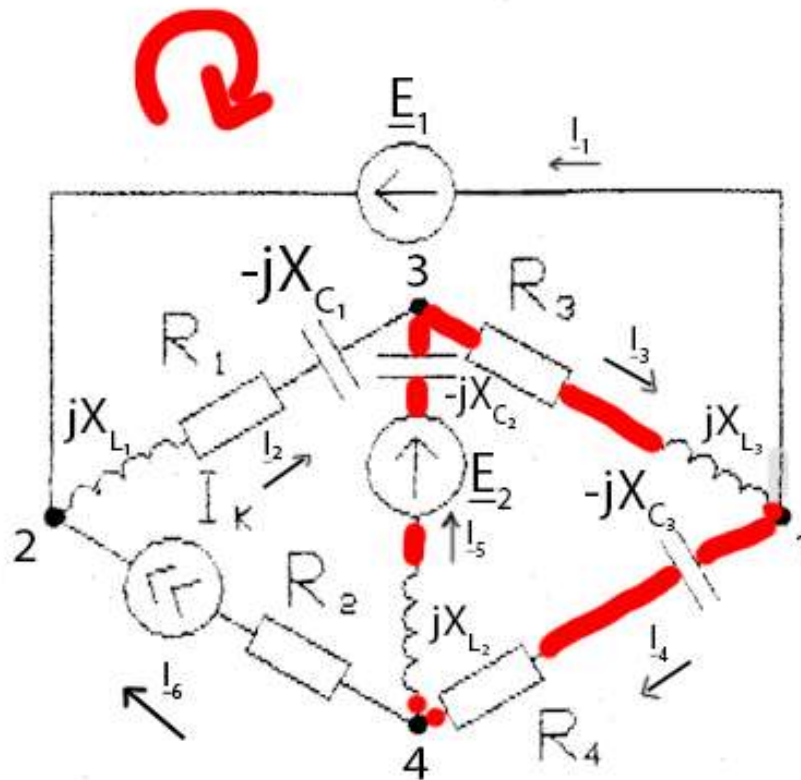
По II-му закону будет $M-N+1-M_i$ уравнений, т.е 2.

1ый контур:



$$\begin{cases} I_2(jXL_1 + R_1 - jX_{c1}) + I_3(R_3 + jXL_3) = E_1 \\ \end{cases}$$

2ой контур:



$$\begin{cases} I_2(jX_{L1} + R_1 - jX_{C1}) + I_3(R_3 + jX_{L3}) = E_1 \\ I_5(jX_{L2} - jX_{C2}) + I_3(R_3 + jX_{L3}) + I_4(-jX_{C3} + R_4) = E_2 \end{cases}$$

Итого (1ый + 2ой закон Кирхгофа):

$$\begin{cases} I_3 - I_1 - I_4 = 0 \\ I_6 - I_2 + I_1 = 0 \\ I_2 + I_5 - I_3 = 0 \\ I_2(jX_{L1} + R_1 - jX_{C1}) + I_3(R_3 + jX_{L3}) = E_1 \\ I_5(jX_{L2} - jX_{C2}) + I_3(R_3 + jX_{L3}) + I_4(-jX_{C3} + R_4) = E_2 \end{cases}$$

Решив данную систему, найдем действующие значения токов во всех ветвях схемы.

python-программа для решения системы:

```
import sympy as sp

# Define symbolic variables
I1, I2, I3, I4, I5 = sp.symbols('I1 I2 I3 I4 I5', complex=True)

# Define equations
eq1 = I3 - I1 - I4
eq2 = I6_IK - I2 + I1
```

```

eq3 = I2 + I5 - I3
eq4 = I2 * (XL1 + R1 - XC1) + I3 * (R3 + XL3) - E1
eq5 = I5 * (XL2 - XC2) + I3 * (R3 + XL3) + I4 * (-XC3 + R4) - E2

# Solve the system of equations
solution = sp.solve((eq1, eq2, eq3, eq4, eq5), (I1, I2, I3, I4, I5))

# Retrieve the values
I1_val = solution[I1]
I2_val = solution[I2]
I3_val = solution[I3]
I4_val = solution[I4]
I5_val = solution[I5]

# Print the values
print("I1 =", I1_val)
print("I2 =", I2_val)
print("I3 =", I3_val)
print("I4 =", I4_val)
print("I5 =", I5_val)
print("I6 =", I6_IK)

proverka_eq1 = I3_val - I1_val - I4_val
proverka_eq2 = I6_IK - I2_val + I1_val
proverka_eq3 = I2_val + I5_val - I3_val
proverka_eq4 = I2_val * (XL1 + R1 - XC1) + I3_val * (R3 + XL3) - E1
proverka_eq5 = I5_val * (XL2 - XC2) + I3_val * (R3 + XL3) + I4_val * (-XC3 + R4) - E2

print("proverka_eq1 =", proverka_eq1)
print("proverka_eq2 =", proverka_eq2)
print("proverka_eq3 =", proverka_eq3)
print("proverka_eq4 =", proverka_eq4)
print("proverka_eq5 =", proverka_eq5)

```

Результат:

```

I1 = -3.32162530661553 - 1.05319602893399*I
I2 = 2.67051152730024 + 1.09023490385343*I
I3 = -0.405102460606163 + 1.21663139542109*I
I4 = 2.91652284600937 + 2.26982742435508*I
I5 = -3.0756139879064 + 0.126396491567664*I
I6 = (5.992136833915765+2.1434309327874197j)

```

1.3 Мгновенные значения токов

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$I_m = \sqrt{2} * \sqrt{I_{Re}^2 + I_{Im}^2}$$

$$\phi_i = (I_{Im}/I_{Re})$$

```

i1_t = 4.92796439778354*sin(50*t + 0.307045119523333)
i2_t = 4.07927541679248*sin(50*t + 0.387597693899697)
i3_t = 1.81344972685401*sin(50*t - 1.24937228649206)
i4_t = 5.22651356979947*sin(50*t + 0.661346625331747)
i5_t = 4.35324648410497*sin(50*t - 0.0410732317748412)
i6_t = 9.0*sin(50*t + 0.343524419775177)

```

2. Построение совмещенной векторно-топографической диаграммы напряжений и токов.

Для построения векторно-топографической диаграммы определим значения потенциалов в промежуточных точках, рисунок 3.

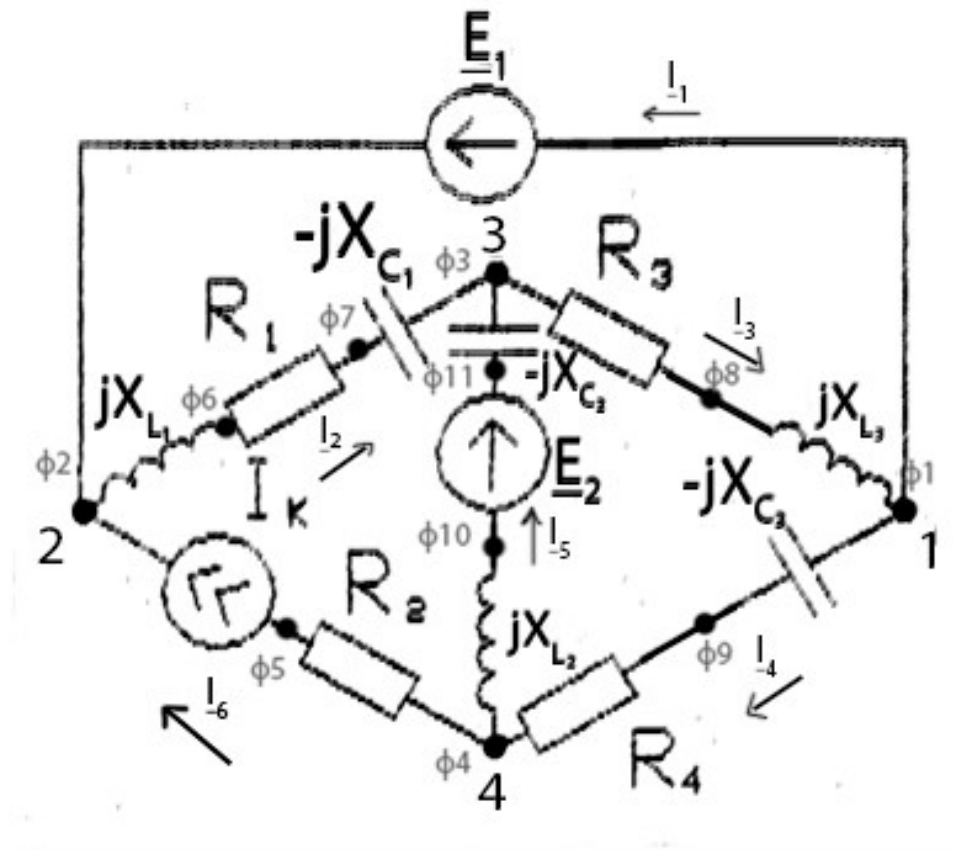


Рисунок 3 – Детальная мнемосхема

$$\Phi_1 = 0 \text{ В}$$

$$\Phi_2 = \Phi_1 + E_1 = -28.34 - 56.98j \text{ В}$$

Находим остальные Φ :

```
f6 = sp.expand(f2 - I2 * jXL1)
f7 = sp.expand(f6 - I2 * R1)
f3 = sp.expand(f7 - I2 * -jXC1)
f8 = sp.expand(f3 - I3 * R3)
f9 = sp.expand(f1 - I4 * -jXC3)
f4 = f9 - I4 * R4
f5 = f4 - I6_IK * R2
f10 = sp.expand(f4 - I5 * jXL2)
f11 = sp.expand(f10 + E2)
```



```

f3 = -49.0091719407112 - 51.6292561755158*I
f4 = -28.9321536060668 - 44.0873046250958*I
f5 = -58.8928377756456 - 54.8044592890329*I
f6 = -16.3589926275847 - 86.329674441578*I
f7 = -45.7346194278874 - 98.3222583839657*I
f8 = -44.9581473346495 - 63.7955701297267*I
f9 = -36.1437487954631 + 46.4414465925059*I
f10 = -26.1539587214096 + 23.5146908290869*I
f11 = -47.0776983077691 + 52.013763124904*I

```

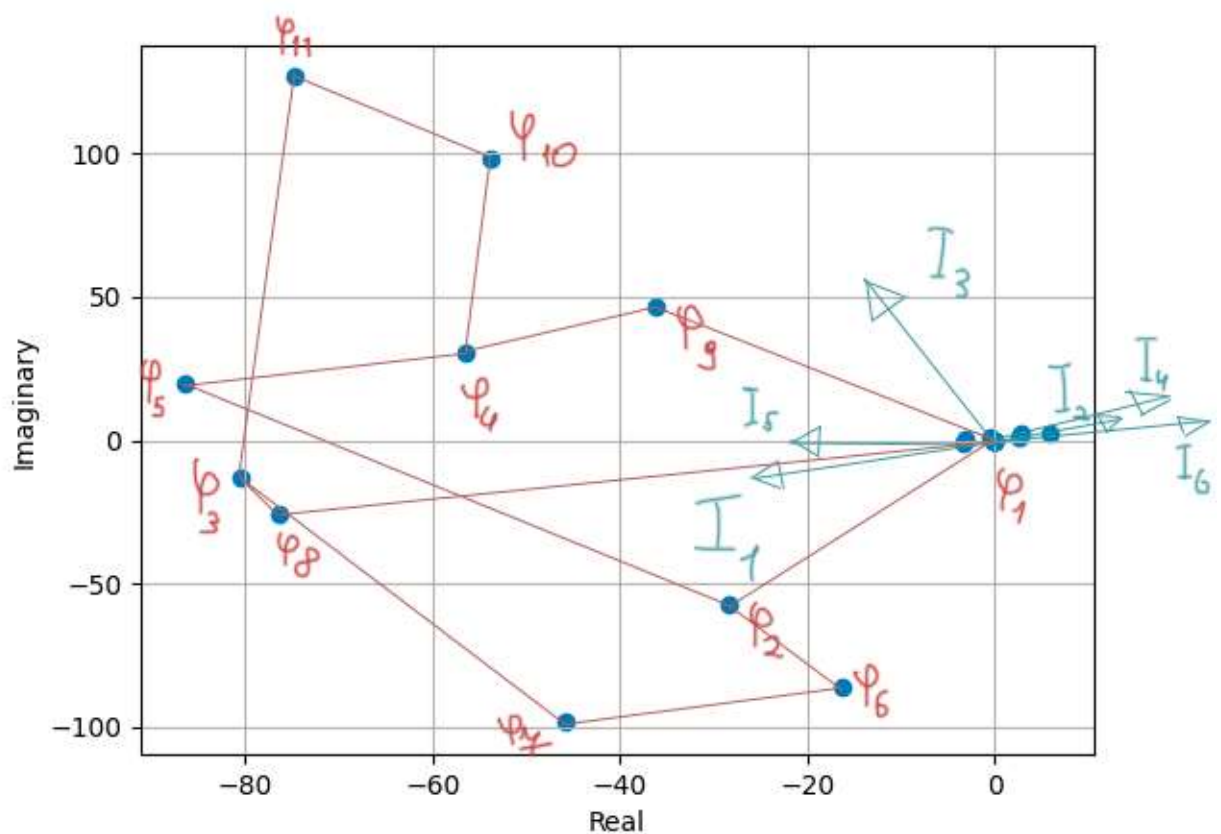


Рисунок 4 - Векторно-топографическая диаграмма

3. Расчет мощностей цепи

3.1 Проверка энергетического баланса мощностей

Найдем сопряженные комплексы токов:

```

I1_conjugate = -3.32162530661553 + 1.05319602893399*I
I2_conjugate = 2.67051152730024 - 1.09023490385343*I
I3_conjugate = -0.405102460606163 - 1.21663139542109*I
I4_conjugate = 2.91652284600937 - 2.26982742435508*I
I5_conjugate = -3.0756139879064 - 0.126396491567664*I
I6_IK_conjugate = 5.99213683391577 - 2.14343093278742*I

```

Найдем мощности источников энергии:

```
Se1 = sp.expand(E1 * I1_conj)
Se2 = sp.expand(E2 * I5_conj)
Sik = sp.expand(U6_IK * I6_IK_conj)
```

```
Se1 = 154.149003227667 + 159.420424799354*I
Se2 = 67.9555289022429 - 85.0074581211796*I
Sik = 183.968705356029 - 584.997062955392*I
```

Найдем потребляемую цепью мощность:

```
S12 = sp.expand((I2 * I2_conj * 0))
S13 = sp.expand(I3 * I3_conj * (jXL3 + R3))
S14 = sp.expand((I4 * I4_conj * (-jXC3 + R4)))
S23 = sp.expand((I2 * I2_conj * (jXL1 - jXC1 + R1)))
S24 = sp.expand((I6_IK * I6_IK_conj * R2))
S34 = sp.expand((I5 * I5_conj * (jXL2 - jXC2)))
```

```
S12 = 2.67051152730024 + 1.09023490385343*I * 2.67051152730024 - 1.09023490385343*I * 0 = 0
S13 = -0.405102460606163 + 1.21663139542109*I * -0.405102460606163 - 1.21663139542109*I * (62.800000000000004j + 10) = 16.4429995591343 + 103.262037231364*I
S14 = 2.91652284600937 + 2.26982742435508*I * 2.91652284600937 - 2.26982742435508*I * ((-0-15.923566878980893j) + 7) = 95.6075543335431 - 217.48761222371*I
S23 = (2.67051152730024 + 1.09023490385343*I * 2.67051152730024 - 1.09023490385343*I * (10.99j - 31.847133757961785j + 11) = 91.5226835932612 - 173.53644123566*I
S24 = ((5.992136833915765+2.1434309327874197j) * 5.99213683391577 - 2.14343093278742*I * 5) = 202.500000000000
S34 = -3.0756139879064 + 0.126396491567664*I * -3.0756139879064 - 0.126396491567664*I * (21.98j - 45.49590536851684j) = -222.822080049211*I
```

Найдем сумму мощностей:

```
S_source = Se1 + Se2 + Sik
S_circuit = sp.expand(S12 + S13 + S14 + S23 + S24 + S34)
```

```
S_source = 154.149003227667 + 159.420424799354*I + 67.9555289022429 - 85.0074581211796*I + 183.968705356029 - 584.997062955392*I =
S_circuit = 0 + 16.4429995591343 + 103.262037231364*I + 95.6075543335431 - 217.48761222371*I + 91.5226835932612 - 173.53644123566*I
```

```
406.073237485938 - 510.584096277217*I
+ 202.500000000000 + -222.822080049211*I = 406.073237485939 - 510.584096277218*I
```

Найдем погрешности:

```
S_error_real = (abs(sp.re(S_source) - sp.re(S_circuit)) / abs(sp.re(S_source))) * 100
S_error_imag = (abs(sp.im(S_source) - sp.im(S_circuit)) / abs(sp.im(S_source))) * 100
```

```
S_error_real = 5.59932678279754e-14 %
S_error_imag = 1.33596214865130e-13 %
```

Относительная погрешность не превышает 0.01%, поэтому можем считать, что расчет выполнен с наибольшей точностью.

3.2 Определение режимов работы источников энергии

```

sp.re(Se1) = 154.149003227667
1. The source operates in generator mode
sp.re(Se2) = 67.9555289022429
2. The source operates in generator mode
sp.re(Sik) = 183.968705356029
3. The source operates in generator mode

```

4. Определить показания вольтметров, включенных параллельно конденсаторам «C1» и «C2», а также катушке индуктивности «L1»

```

Uc1 = sp.re(-jXC1 * I2)
Uc2 = sp.re(-jXC2 * I5)
UL1 = sp.re(jXL1 * I2)

```

```

Uc1 = 34.7208568106186
Uc2 = 5.75052281927499
UL1 = -11.9816815933491

```

5. Определить показание амперметра, расположенного последовательно с ЭДС E_1 .

```
Ia = sp.re(I1)
```

```
Ia = -3.32162530661553
```

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики