

**Министерство сельского хозяйства российской федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Волгоградский государственный аграрный университет**

Кафедра «ТОЭ и электроснабжение»

С.И. НИКОЛАЕВА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

задания и методические указания к выполнению
контрольной работы по курсу
«Теоретические основы электротехники»
для направлений подготовки бакалавров:
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,

Волгоград 2018

1. Задание на контрольную работу

Задание:

Произвести расчет режима работы k -фильтра. Номер задачи, которая должна быть решена студентом, и исходные данные к ней приведены в таблице 1.

Задача 1. Фильтр высокой частоты собран по Т-образной схеме. Емкость конденсатора C , индуктивность катушки L . На входные зажимы фильтра подано напряжение \dot{U}_1 при частоте f . На выходные зажимы включено сопротивление нагрузки $\underline{Z}_н$, согласованное с фильтром на частоте f .

Задача 2. Фильтр высокой частоты собран по П-образной схеме. Индуктивность катушки L , емкость конденсатора C . На входные зажимы подано напряжение \dot{U}_1 при частоте f . На выходные зажимы включено сопротивление нагрузки $\underline{Z}_н$, согласованное с фильтром на частоте f .

Задача 3. Фильтр низкой частоты собран по Т-образной схеме. Индуктивность катушки L , емкость конденсатора C . На входные зажимы подано напряжение \dot{U}_1 при частоте f . На выходные зажимы включено сопротивление нагрузки $\underline{Z}_н$, согласованное с фильтром на частоте f .

Задача 4. Фильтр низкой частоты собран по П-образной схеме. Емкость конденсатора C , индуктивность катушки L . На входные зажимы подано напряжение \dot{U}_1 при частоте f . На выходные зажимы включено сопротивление нагрузки $\underline{Z}_н$, согласованное с фильтром на частоте f .

Требуется:

1. Нарисовать схему фильтра, указав емкость каждого конденсатора и катушки индуктивности.
2. Рассчитать и построить частотные характеристики фильтра

$Z_c(\omega)$, $a(\omega)$, $b(\omega)$. Данные расчета свести в таблицу 3. Записать формулы, по которым рассчитываются частотные характеристики.

3. На заданной частоте, считая ее резонансной, и сопротивлению нагрузки, согласованному с характеристическим сопротивлением, определить параметры L и C фильтра. Нарисовать схему фильтра с полученными числовыми значениями параметров.

4. Определить комплексы токов на входе и выходе фильтра, считая заданным напряжением \dot{U}_1 на входе фильтра (таблицы 1 и 2). Значения индуктивного и емкостного сопротивлений рассчитать при заданных в таблицах 1 и 2 значениях индуктивности L , емкости C и частоте f . Рассчитать все остальные токи и напряжения в схеме и построить векторную диаграмму токов и напряжений.

2. Указания по выбору варианта

Вариант задания соответствует последним двум цифрам в номере зачетной книжки студента. Исходные данные по номеру варианта приведены в таблице 1.

3. Методические указания к выполнению работы

Пункт 1.

При изображении схемы фильтра с указанием заданных значений емкости конденсатора и индуктивности катушки следует учесть, что фильтр – это симметричный четырехполюсник, содержащий продольные и поперечные сопротивления. При анализе работы фильтров принято емкость 2-х продольных конденсаторов принимать равными $2C$ каждый, емкость поперечных конденсаторов – $C/2$ каждый. Катушки в продольных сопротивлениях принимаются равными $L/2$ каждая, а в поперечных сопротивлениях – $2L$ каждая. Тогда схемы фильтров низких частот (ФНЧ) и фильтров высоких частот будут иметь вид (рис.1).

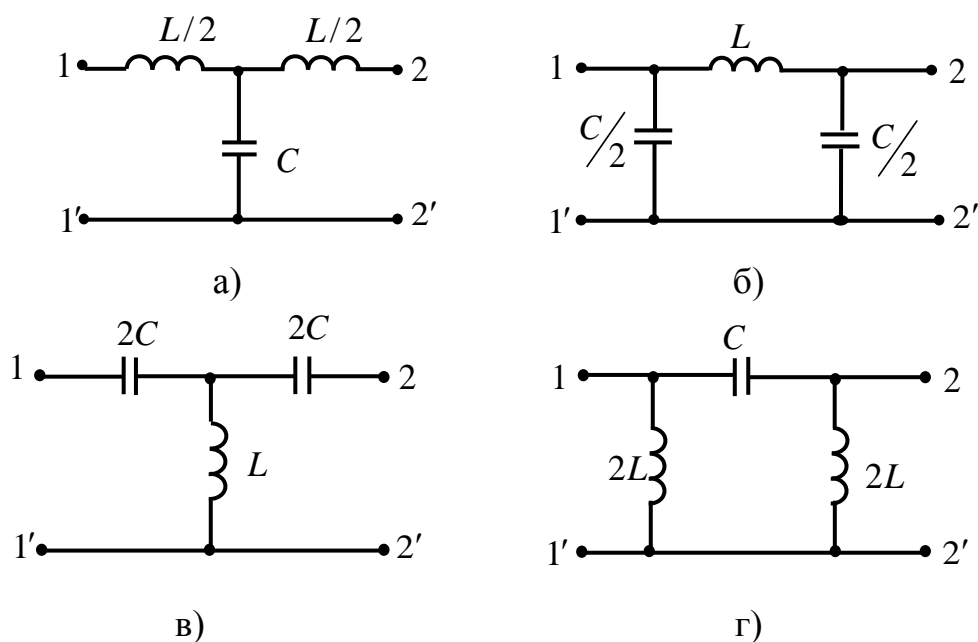


Рис. 1 – Схемы фильтров:

а – Т-образный ФНЧ, б – П-образный ФНЧ, в – Т-образный ФВЧ,

г – П-образный ФВЧ

Пункт 2.

Построение частотных характеристик начинается с определения частоты среза (границы полосы прозрачности): (ω_1, ω_2) .

Для низкочастотных фильтров (ФНЧ): $\omega_1=0$, $\omega_2=\omega_c=\frac{2}{\sqrt{LC}}$.

Для высокочастотных фильтров (ФВЧ): $\omega_1=\omega_c=\frac{1}{2\sqrt{LC}}$, $\omega_2 \rightarrow \infty$.

Частотные характеристики ФНЧ рассчитываются по формулам:

$$\underline{Z}_c(\omega) = \sqrt{L/C} \sqrt{1 - \left(\omega/\omega_c\right)^2}; \text{ (для Т-образного фильтра)}$$

$$\underline{Z}_c(\omega) = \frac{\sqrt{L/C}}{\sqrt{1 - \left(\omega/\omega_c\right)^2}} \text{ (для П-образного фильтра).}$$

В полосе прозрачности: $a = 0$, $b(\omega) = \arccos\left(1 - 2\left(\omega/\omega_c\right)^2\right)$.

В полосе затухания: $b = \pi$, $a(\omega) = \operatorname{arcch}\left(2\left(\omega/\omega_c\right)^2 - 1\right)$.

Частотные характеристики ФВЧ рассчитываются по формулам:

$$\underline{Z}_c(\omega) = \sqrt{L/C} \sqrt{1 - \left(\omega_c/\omega\right)^2}; \text{ (для Т-образного фильтра)}$$

$$\underline{Z}_c(\omega) = \frac{\sqrt{L/C}}{\sqrt{1 - \left(\omega_c/\omega\right)^2}} \text{ (для П-образного фильтра).}$$

В полосе прозрачности: $a = 0$, $b(\omega) = \arccos\left(1 - 2\left(\omega_c/\omega\right)^2\right)$.

В полосе затухания: $b = -\pi$, $a(\omega) = \operatorname{arcch}\left(2\left(\omega_c/\omega\right)^2 - 1\right)$.

Затем, задаваясь значениями ω/ω_c , рассчитываются

$\underline{Z}_c(\omega)$, $a(\omega)$, $b(\omega)$, рассчитанные значения заносятся в таблицу 3, в соответствии с которой строятся графики.

Таблица 3 – Расчет частотных характеристик фильтра

ω/ω_c	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Z_c ,											
a , Нп											
b , град											

Пункт 3.

Для определения параметров L и C фильтра необходимо учесть, что в согласованном режиме характеристическое сопротивление фильтра равно сопротивлению нагрузки на заданной частоте f .

Для этой частоты рассчитывается Z_c ($\omega=2\pi f$). Зная, что $Z_c = \sqrt{L/C}$, приравнивают это выражение к вычисленному значению сопротивления и получается первое уравнение для расчета L и C . Второе уравнение получается, если приравнять частоту среза (рассчитана в пункте 2) к выражению: $\omega_c = \frac{2}{\sqrt{LC}}$; $f_c = \frac{2}{2\pi\sqrt{LC}}$ у ФВЧ и к выражению $\omega_c = \frac{2}{\sqrt{LC}}$; $f_c = \frac{2}{2\pi\sqrt{LC}}$ у НЧФ.

Получается система из двух уравнений, решением которой и являются значения L и C .

Пункт 4.

Изображается схема заданного фильтра, на выход которой присоединена нагрузка, сопротивлением Z_c , рассчитанному в пункте 1 на заданной частоте f . Далее расчет проводится методом комплексных амплитуд (символическим методом) как расчет цепи синусоидального тока последовательно-параллельным преобразованием схемы.

По результатам расчета строится векторная диаграмма.

4. Пример расчета

Задача. Задан ФНЧ, собранный по П-образной схеме.

$$L = 6,25 \text{ мГн}, C = 3,1 \text{ мкФ}, f = 960 \text{ Гц}, \dot{U}_1 = 100e^{j20^\circ}.$$

1. Нарисовать схему фильтра, указав емкость каждого конденсатора и катушки индуктивности.

Решение.

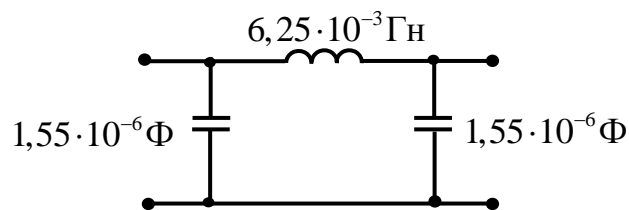


Рис. 2 – Схема П-образного ФНЧ

2. Рассчитать и построить частотные характеристики фильтра $\underline{Z}_c(\omega)$, $a(\omega)$, $b(\omega)$. Записать формулы, по которым рассчитываются частотные характеристики.

Решение.

В соответствии с методическими указаниями к выполнению работы частота среза ФНЧ:

$$\omega_c = \frac{2}{\sqrt{LC}} = \frac{2}{\sqrt{6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 3,1 \cdot 10^{-6}}} = 14368,4 \text{ рад/с.}$$

На заданной частоте $f = 960 \text{ Гц}$ $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 960 = 6031,9 \text{ рад/с.}$ характеристическое сопротивление $\underline{Z}_c(\omega)$ П-образной схемы фильтра:

$$\underline{Z}_c = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}} = \frac{44,9}{\sqrt{1 - \left(\frac{6031,9}{14368,4}\right)^2}} = 49,47 \text{ Ом.}$$

В полосе прозрачности: $a = 0$, $b(\omega) = \arccos\left(1 - 2\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right)$.

В полосе затухания: $b = \pi$, $a(\omega) = \text{arcch}\left(2\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2 - 1\right)$.

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Расчет частотных характеристик ФНЧ

ω/ω_c	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
\underline{Z}_c , Ом	44,9	45,8	49,0	56,1	45,2	∞	-j67,7	-j45,8	-j56,8	-j30,0	-j25,9
a , Нп	0	0	0	0	0	0	1,24	1,71	2,1	2,38	2,67
b , град	0	23,07	47,16	73,74	106,3	180	180	180	180	180	180

Строятся зависимости $\underline{Z}_c(\omega)$, $a(\omega)$, $b(\omega)$ (рис. 3, 4).

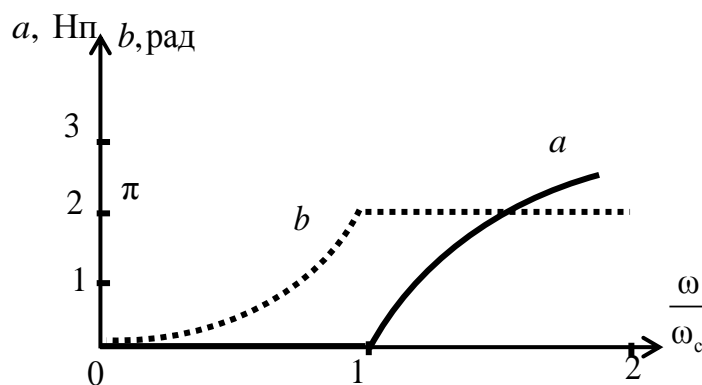


Рис. 3 – Характеристики $a(\omega)$ и $b(\omega)$ ФНЧ

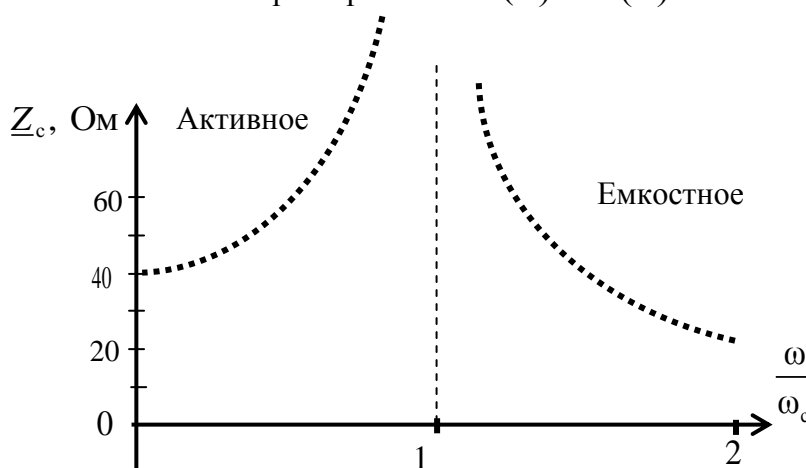


Рис. 4 – Характеристики $\underline{Z}_c(\omega)$ ФНЧ

Из рис. 4 видно, что в полосе прозрачности характеристическое сопротивление носит активный характер, а в полосе затухания – емкостной.

3. На заданной частоте f , считая ее резонансной, и сопротивлению нагрузки, согласованному с характеристическим сопротивлением, определить параметры L и C фильтра. Нарисовать схему фильтра с полученными числовыми значениями параметров.

Решение.

На резонансной частоте $Z_c = \sqrt{L/C}$, а частота среза $\omega_c = \frac{2}{\sqrt{LC}}$.

В пункте 1 задания были определены значения Z_c и ω_c на заданной частоте f : $Z_c = 49,47$ Ом, $\omega_c = 14368,4$ рад/с.

Записываем систему уравнений:

$$\begin{cases} \sqrt{L/C} = 49,47; \\ \frac{2}{\sqrt{LC}} = 14368,4. \end{cases}$$

Решением являются значения: $L = 6,88 \cdot 10^{-3}$ Гн; $C = 2,81 \cdot 10^{-6}$ Ф.

Схема при рассчитанных параметрах на рисунке 5.

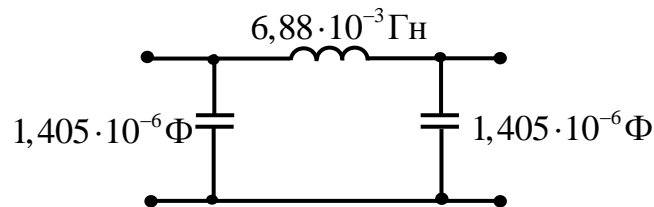


Рис. 5 – Схема фильтра с рассчитанными параметрами

4. Определить комплексы токов на входе и выходе фильтра. Рассчитать все остальные токи и напряжения в схеме и построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Решение.

Нарисуем схему для расчета фильтра, подключив к вторичным зажимам нагрузку (рис. 6).

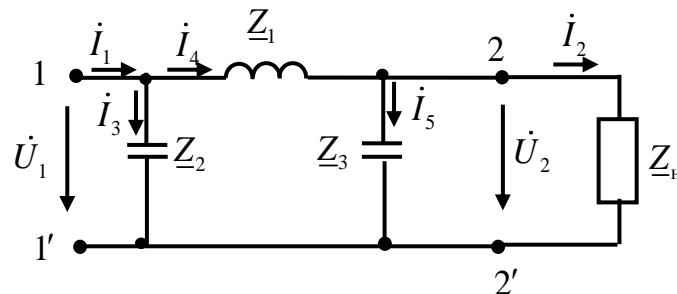


Рис. 6 – Схема для расчета согласованного режима четырехполюсника

По условию $L = 6,25$ мГн, $C = 3,1$ мкФ, $f = 960$ Гц, $\dot{U}_1 = 100e^{j20^\circ}$.

Расчет комплексных сопротивлений схемы:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 960 = 6031,9 \text{ рад/с.}$$

$$\underline{Z}_1 = j\omega L = j2\pi fL = j2\pi \cdot 960 \cdot 6,25 \cdot 10^{-3} = j37,7 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = -j \frac{1}{\omega \cdot \frac{C}{2}} = -j \frac{2}{2\pi f C} = -j \frac{2}{2\pi \cdot 960 \cdot 3,1 \cdot 10^{-6}} = -j106,96 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_H = 49,47 \text{ Ом.}$$

Проведем преобразование схемы, заменяя участки с последовательно-параллельным соединением элементов (рис. 7).

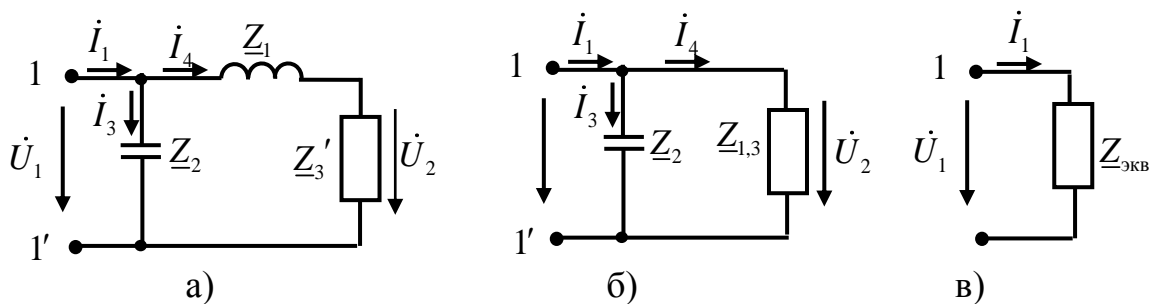


Рис. 7 – Преобразование схемы

1. \underline{Z}_3 и \underline{Z}_H соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление \underline{Z}'_3 (рис. 7,а).

$$\underline{Z}'_3 = \frac{\underline{Z}_H \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_H + \underline{Z}_3} = \frac{49,47 \cdot (-j106,96)}{49,47 - j106,96} = \frac{5291,31 \cdot e^{-j90^\circ}}{117,85 \cdot e^{-j65,18^\circ}} = 44,9 \cdot e^{-j24,82^\circ} = 40,75 - j18,85 \text{ Ом.}$$

2. \underline{Z}_1 и \underline{Z}'_3 соединены последовательно (рис. 7,а). Сложим их и получим сопротивление $\underline{Z}_{1,3}$ (рис. 7,б).

$$\underline{Z}_{1,3} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}'_3 = j37,7 + 40,75 - j18,85 = 40,75 + j18,85 = 44,9 e^{j24,82^\circ} \text{ Ом.}$$

3. При дальнейшем преобразовании объединяются параллельно соединенные сопротивления \underline{Z}_2 и $\underline{Z}_{1,3}$ и получается схема с одним эквивалентным сопротивлением $\underline{Z}_{\text{экв}}$ (рис. 7,в).

$$\underline{Z}_{\text{экв}} = \frac{\underline{Z}_{1,3} \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_{1,3} + \underline{Z}_2} = \frac{44,9 \cdot e^{j24,82^\circ} \cdot 106,96 \cdot e^{-j90^\circ}}{40,75 + j18,85 - j106,96} = \frac{4802,504 \cdot e^{-j65,18^\circ}}{97,08 \cdot e^{-j65,18^\circ}} = 49,47 \text{ Ом.}$$

Теперь производится расчет токов ветвей (рис. 6).

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_{\text{ЭКВ}}} = \frac{100e^{j20^\circ}}{49,47} = 2,02e^{j20^\circ} = 1,9 + j0,69 \text{ A};$$

$$\dot{i}_3 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_2} = \frac{100e^{j20^\circ}}{-j106,96} = \frac{100e^{j20^\circ}}{106,96e^{-j90^\circ}} = 0,93e^{j110^\circ} = -0,32 + j0,87 \text{ A};$$

$$\dot{i}_4 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_{1,3}} = \frac{100e^{j20^\circ}}{44,9e^{j24,82^\circ}} = 2,23e^{-j4,82^\circ} = 2,22 - j0,188 \text{ A}.$$

$$\dot{U}_2 = \dot{i}_4 \underline{Z}'_3 = 2,23e^{-j4,82^\circ} \cdot 44,9e^{-j24,82^\circ} = 100,12e^{-j29,64^\circ} \text{ В}.$$

Обратить внимание, что действующее значение напряжения на выходе фильтра $U_2 \approx U_1 = 100 \text{ В}$.

$$\dot{i}_5 = \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_3} = \frac{100e^{-j29,64^\circ}}{106,96e^{-j90^\circ}} = 0,93e^{j60,36^\circ} = 0,46 + j0,81 \text{ A};$$

$$\dot{i}_2 = \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_H} = \frac{100e^{-j29,64^\circ}}{49,47} = 2,02e^{-j29,64^\circ} = 1,76 - j \text{ A}.$$

Для построения векторной диаграммы дополнительно рассчитаем напряжение $\dot{U}_{12} = \dot{i}_4 \cdot \underline{Z}_1 = 2,23e^{-j4,82^\circ} \cdot 37,7e^{j90^\circ} = 84,7e^{j85,18^\circ} \text{ В}$

Все рассчитанные комплексные действующие значения токов и напряжений занесем в таблицу 5.

Таблица 5 – Комплексы токов и напряжений для построения диаграммы

Величина	Значение (модуль)	Угол (аргумент)	Комплексное действующее значение
$\dot{U}_1, \text{ В}$	100	20^0	$100e^{j20^\circ}$
$\dot{U}_{12}, \text{ В}$	84,7	$85,18^0$	$84,7e^{j85,18^\circ}$
$\dot{U}_2, \text{ В}$	100	$-29,64^0$	$100e^{-j29,64^\circ}$
$\dot{i}_1, \text{ А}$	2,02	20^0	$2,02e^{j20^\circ}$
$\dot{i}_2, \text{ А}$	2,02	$-29,64^0$	$2,02e^{-j29,64^\circ}$
$\dot{i}_3, \text{ А}$	0,93	110^0	$0,93e^{j110^\circ}$
$\dot{i}_4, \text{ А}$	2,23	$-4,82^0$	$2,23e^{-j4,82^\circ}$
$\dot{i}_5, \text{ А}$	0,93	70^0	$0,93e^{j70^\circ}$

По этим значениям строится векторная диаграмма (рис. 8).

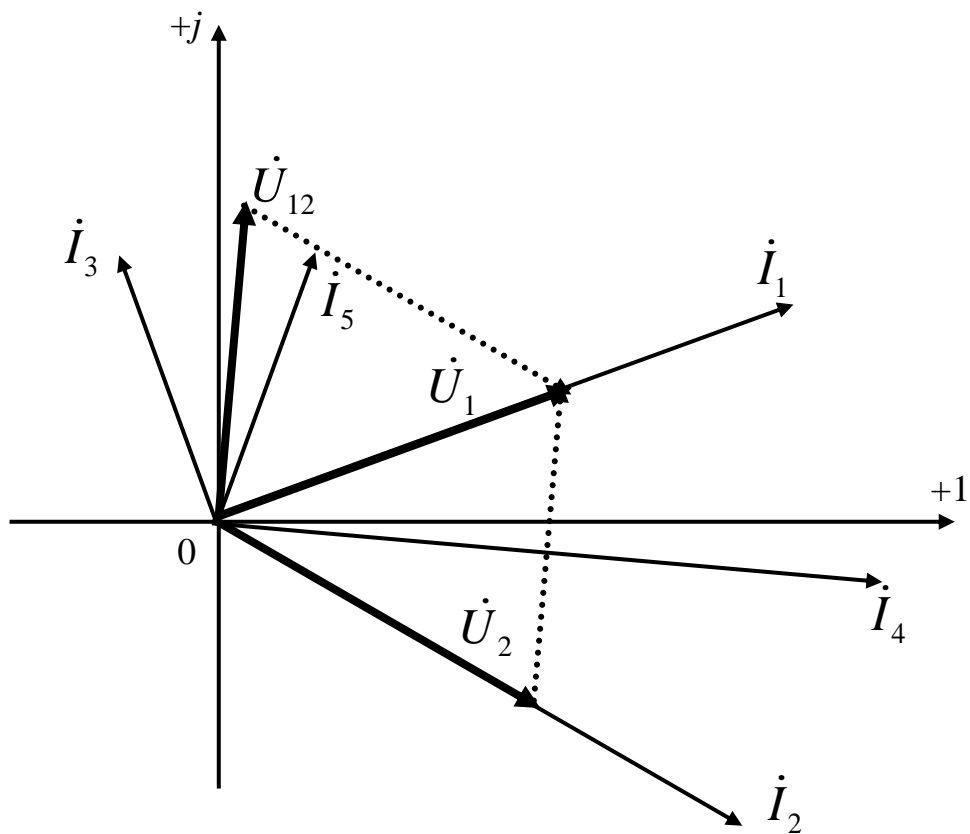


Рис. 8 – Векторная диаграмма

Таблица 1 –Исходные данные для расчета

Номер варианта	Номер задачи	L	C	\dot{U}_1	f
		мГн	мкФ	В	Гц
1	3	400	5	$100e^{j30^\circ}$	120
2	4	0,8	0,24	$100e^{j20^\circ}$	19900
3	1	1,25	1	$100e^{j10^\circ}$	1600
4	2	1	0,01	$100e^{j40^\circ}$	16000
5	3	32	1,6	$100e^{j50^\circ}$	1500
6	3	1,6	0,2	$50e^{j30^\circ}$	10000
7	4	1	0,2	$25e^{j45^\circ}$	8000
8	4	1,4	0,27	$48,5e^{-j60^\circ}$	10000
9	1	0,1	0,125	100	25200
10	2	1,25	0,62	$68e^{-j60^\circ}$	4800
11	2	1	0,555	$120e^{j40^\circ}$	3000
12	3	2,5	2	$100e^{j20^\circ}$	1000
13	4	0,25	0,2	$50e^{j70^\circ}$	12000
14	1	1	0,05	$100e^{j45^\circ}$	15000
15	1	5	1	$60e^{j90^\circ}$	2000
16	3	1,8	1	$50e^{j45^\circ}$	9000
17	2	0,5	0,1	$75e^{-j45^\circ}$	25500
18	1	0,05	0,1	$50e^{-j30^\circ}$	63800
19	4	0,5	0,5	$100e^{-j30^\circ}$	6380
20	2	0,5	0,15	$30e^{j30^\circ}$	15920
21	3	800	10	$100e^{j30^\circ}$	60
22	4	1	0,3	$100e^{j20^\circ}$	16600
23	1	2,5	2	$100e^{j10^\circ}$	800
24	2	10	0,1	$100e^{j40^\circ}$	1600
25	3	20	1	$100e^{j50^\circ}$	2400
26	3	3,2	0,4	$50e^{j30^\circ}$	5000
27	4	2	0,4	$25e^{j45^\circ}$	4000
28	4	2,8	1,14	$48,5e^{-j60^\circ}$	5000
29	1	0,2	0,25	100	12600
30	2	2,5	1,25	$68e^{-j60^\circ}$	2400

Продолжение таблицы 1

Номер варианта	Номер задачи	L	C	\dot{U}_1	f
		мГн	мкФ	В	Гц
31	2	6,25	3,1	$68e^{-j60^\circ}$	960
32	2	1,62	0,9	$120e^{j40^\circ}$	1850
33	33	6,25	5	$100e^{j20^\circ}$	400
34	4	0,625	0,5	$50e^{j70^\circ}$	4800
35	1	4	0,2	$100e^{j45^\circ}$	3750
36	1	20	4	$60e^{j90^\circ}$	500
37	3	2,52	1,4	$50e^{j45^\circ}$	6320
38	2	2	0,4	$75e^{-j45^\circ}$	6375
39	1	0,125	0,25	$50e^{-j30^\circ}$	25500
40	4	1,25	1,25	$100e^{-j30^\circ}$	2550
41	2	0,8	0,24	$30e^{j30^\circ}$	9940
42	3	240	3	$100e^{j30^\circ}$	200
43	4	4	1,2	$100e^{j20^\circ}$	4000
44	1	25	20	$100e^{j10^\circ}$	80
45	2	2	0,02	$100e^{j40^\circ}$	8000
46	3	30	1,5	$100e^{j50^\circ}$	1600
47	3	8	1	$50e^{-j30^\circ}$	2000
48	4	6	1,2	$25e^{j45^\circ}$	1300
49	4	7	2,85	$48,5e^{-j60^\circ}$	2000
50	1	0,5	0,75	100	5000
51	2	7,5	3,72	$68e^{-j60^\circ}$	800
52	2	1,8	1	$120e^{j40^\circ}$	1666
53	3	7,5	6	$100e^{j20^\circ}$	333
54	4	0,75	0,6	$50e^{j70^\circ}$	4000
55	1	5	0,25	$100e^{j45^\circ}$	3000
56	1	25	5	$60e^{j90^\circ}$	400
57	3	2,7	1,5	$50e^{j45^\circ}$	5900
58	2	2,5	0,5	$75e^{-j45^\circ}$	5100
59	1	0,15	0,3	$50e^{-j30^\circ}$	21200
60	4	1,6	1,6	$100e^{-j30^\circ}$	1980

Продолжение таблицы 1

Номер варианта	Номер задачи	L	C	\dot{U}_1	f
		мГн	мкФ	В	Гц
61	3	400	5	$100e^{j30^\circ}$	120
62	4	0,8	0,24	$100e^{j20^\circ}$	19900
63	1	1,25	1	$100e^{j10^\circ}$	1600
64	2	1	0,01	$100e^{j40^\circ}$	16000
65	3	32	1,6	$100e^{j50^\circ}$	1500
66	3	1,6	0,2	$50e^{j30^\circ}$	10000
67	4	1	0,2	$25e^{j45^\circ}$	8000
68	4	1,4	0,27	$48,5e^{-j60^\circ}$	10000
69	1	0,1	0,125	100	25200
70	2	1,25	0,62	$68e^{-j60^\circ}$	4800
71	2	1	0,555	$120e^{j40^\circ}$	3000
72	3	2,5	2	$100e^{j20^\circ}$	1000
73	4	0,25	0,2	$50e^{j70^\circ}$	12000
74	1	1	0,05	$100e^{j45^\circ}$	15000
75	1	5	1	$60e^{j90^\circ}$	2000
76	3	1,8	1	$50e^{j45^\circ}$	9000
77	2	0,5	0,1	$75e^{-j45^\circ}$	25500
78	1	0,05	0,1	$50e^{-j30^\circ}$	63800
79	4	0,5	0,5	$100e^{-j30^\circ}$	6380
80	2	0,5	0,15	$30e^{j30^\circ}$	15920
81	3	800	10	$100e^{j30^\circ}$	60
82	4	1	0,3	$100e^{j20^\circ}$	16600
83	1	2,5	2	$100e^{j10^\circ}$	800
84	2	10	0,1	$100e^{j40^\circ}$	1600
85	3	20	1	$100e^{j50^\circ}$	2400
86	3	3,2	0,4	$50e^{j30^\circ}$	5000
87	4	2	0,4	$25e^{j45^\circ}$	4000
88	4	2,8	1,14	$48,5e^{-j60^\circ}$	5000
89	1	0,2	0,25	100	12600
90	2	2,5	1,25	$68e^{-j60^\circ}$	2400

Продолжение таблицы 1

Номер варианта	Номер задачи	L	C	\dot{U}_1	f
		мГн	мкФ	В	Гц
91	2	6,25	3,1	$68e^{-j60^\circ}$	960
92	2	1,62	0,9	$120e^{j40^\circ}$	1850
93	33	6,25	5	$100e^{j20^\circ}$	400
94	4	0,625	0,5	$50e^{j70^\circ}$	4800
95	1	4	0,2	$100e^{j45^\circ}$	3750
96	1	20	4	$60e^{j90^\circ}$	500
97	3	2,52	1,4	$50e^{j45^\circ}$	6320
98	2	2	0,4	$75e^{-j45^\circ}$	6375
99	1	0,125	0,25	$50e^{-j30^\circ}$	25500
100	4	1,25	1,25	$100e^{-j30^\circ}$	2550