

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:32:08

Уникальный программный ключ:  
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## Методические указания

по выполнению расчетного-графической работы

по дисциплине «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

## Общие указания

Расчётно-графическая работа предусматривает решение двух задач: первая – по теме «Трёхфазные электрические цепи», вторая - по теме «Установившиеся режимы в линиях с распределёнными параметрами».

К представленной на проверку контрольной работе предъявляются следующие требования:

1. Основные положения решения должны быть достаточно подробно пояснены.

2. Рисунки, графики, схемы, в том числе и заданные условием задачи, должны быть выполнены аккуратно, с использованием чертежных инструментов, или на компьютере, и в удобочитаемом масштабе.

3. Следует оставлять поля шириной не менее 4см для замечаний преподавателя.

4. Вычисления должны быть выполнены с точностью до третьей значащей цифры.

5. Расчётно-графическая работа должна быть датирована и подписана студентом.

6. Незачтенная Расчётно-графическая работа должна быть выполнена заново и представлена на повторную проверку вместе с первоначальной работой и замечаниями преподавателя. Если неправильно выполнена не вся работа, а только её часть, то переработанный и исправленный текст следует записать после первоначально выполненного под заголовком «Исправление ошибок».

Расчётно-графическая работа зачитывается, если решения не содержат ошибок принципиального характера и выполнены все перечисленные требования.

Для успешного выполнения расчётно-графической работы следует руководствоваться следующими правилами:

1. Прежде чем приступать к решению задачи, тщательно изучить соответствующий теоретический материал.

2. Начиная решение задачи, указать, какие физические законы или расчетные методы предполагается использовать при решении, привести математическую запись этих законов и методов.

3. Тщательно продумать, какие буквенные и цифровые обозначения предполагается использовать в решении. Пояснить значение каждого обозначения.

4. В ходе решения задачи не следует изменять однажды принятые направления токов и напряжений, наименования узлов, сопротивлений, а также обозначения, заданные условием.

5. Расчет каждой определяемой величины следует выполнять сначала в общем виде, а затем в полученную формулу подставлять численные значения величин и привести окончательный результат с указанием единиц измерения.

6. Решение задач не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и арифметических расчетов.

7. Для элементов электрических схем и физических величин следует пользоваться обозначениями, применяемыми в учебниках по ТОЭ.

Номер варианта задания соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки студента. Если предпоследняя цифра номера более 4, то ее надо уменьшить на 5. Например, если две последние цифры 92, то номер варианта – 42.

### Задача №1

На рис. 1...10 приведены схемы трехфазных цепей. В каждой из них имеется трехфазный генератор, создающий трехфазную симметричную систему ЭДС, и симметричная нагрузка. Действующее значение ЭДС фазы генератора  $E_A$ , период  $T$ , параметры  $R_1$ ,  $R_2, L, C_1$  и  $C_2$  приведены в таблице 1. Начальную фазу ЭДС  $E_A$  принять нулевой. Требуется: рассчитать токи, построить векторную диаграмму токов и напряжений, определить действующее и мгновенное напряжение между заданными точками и подсчитать активную мощность трехфазной системы.

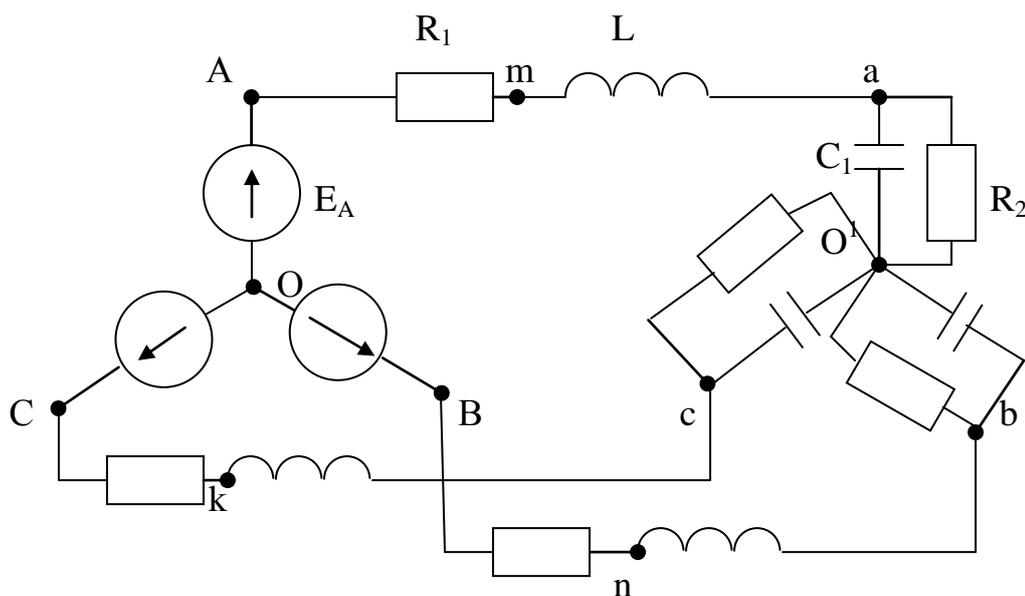


Рис.1.

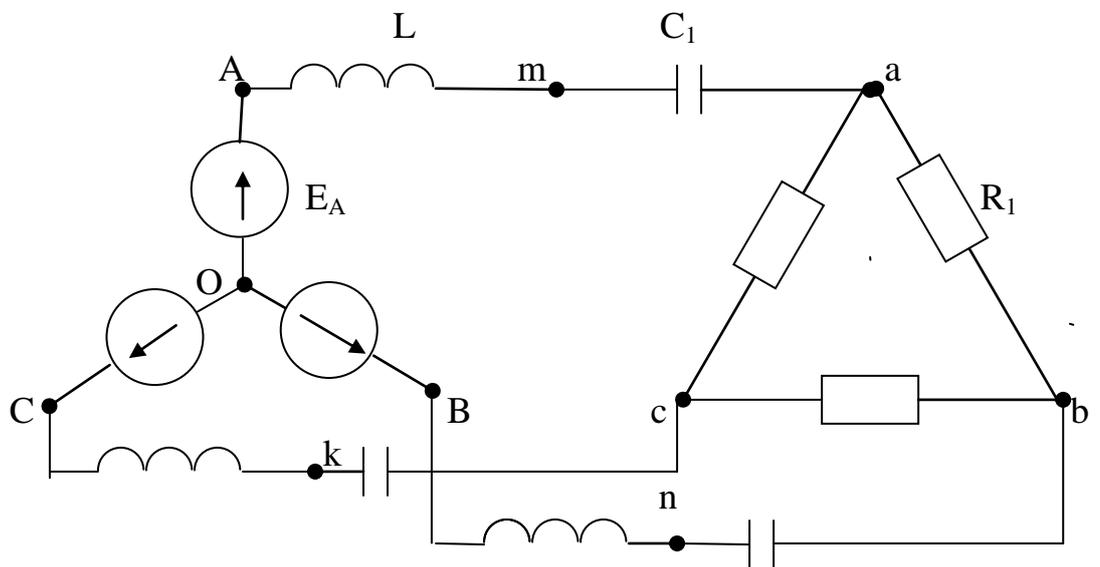
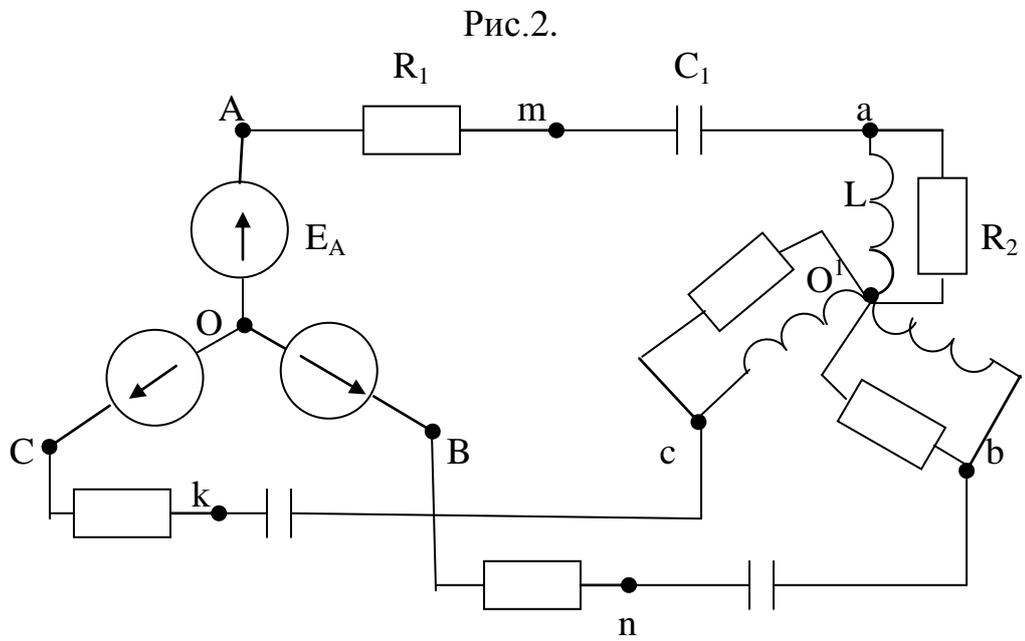
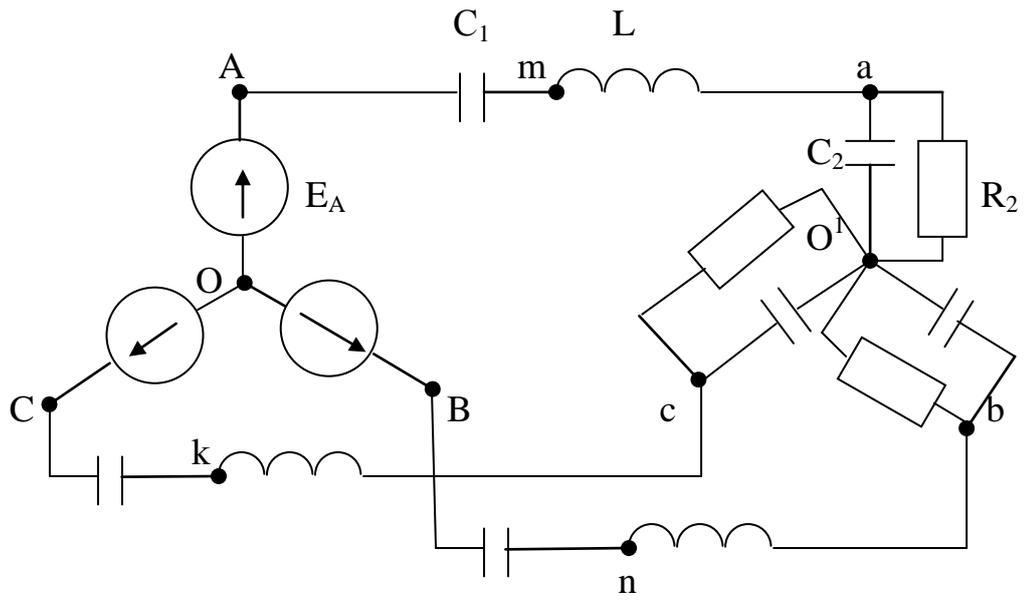


Рис.4.

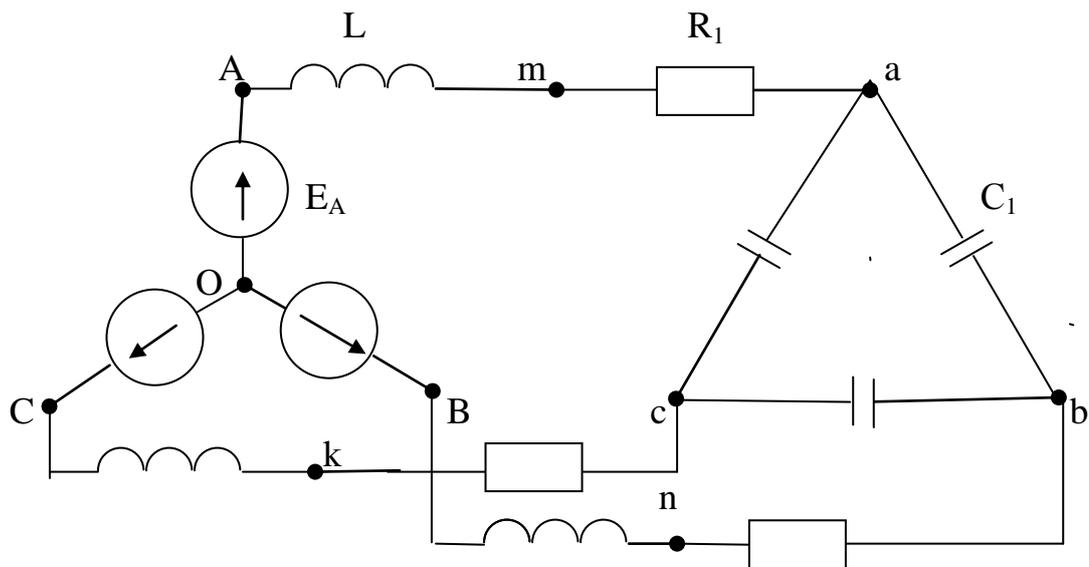


Рис.5.

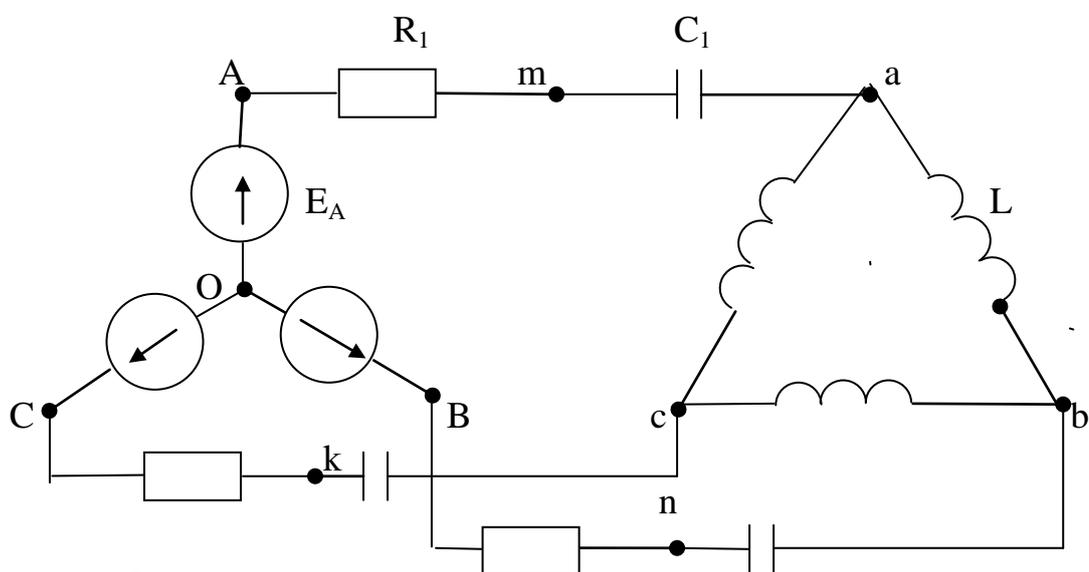


Рис.6.

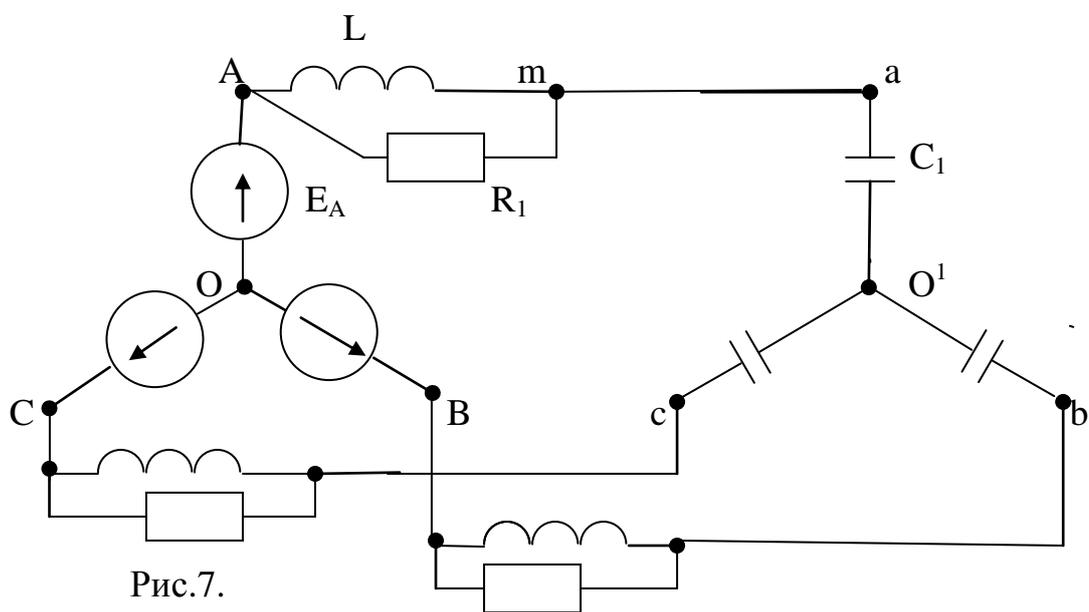


Рис.7.

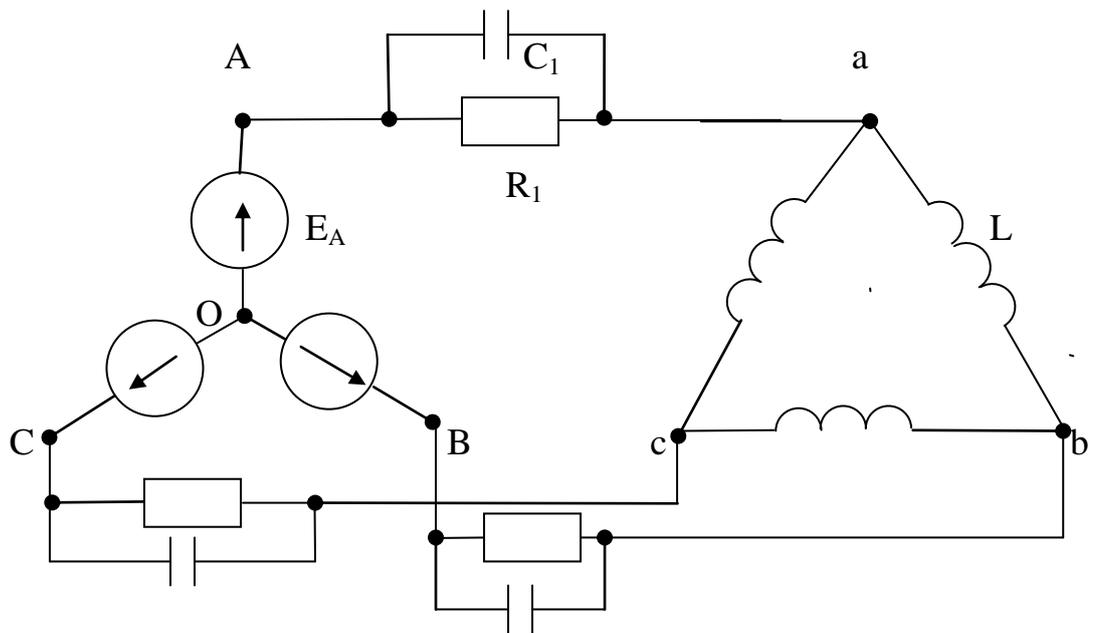


Рис.8.

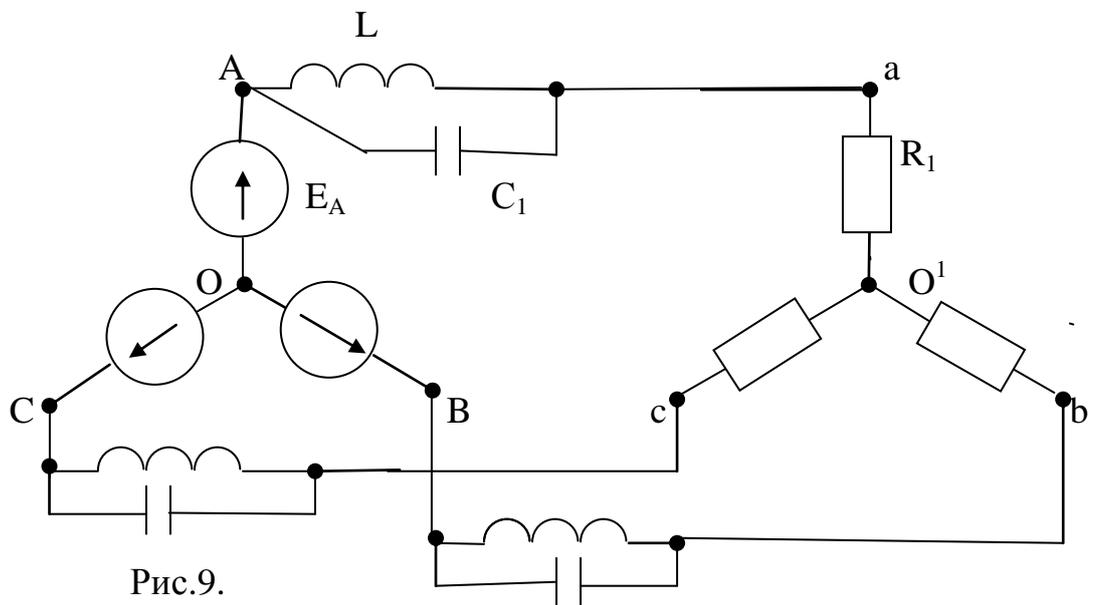


Рис.9.

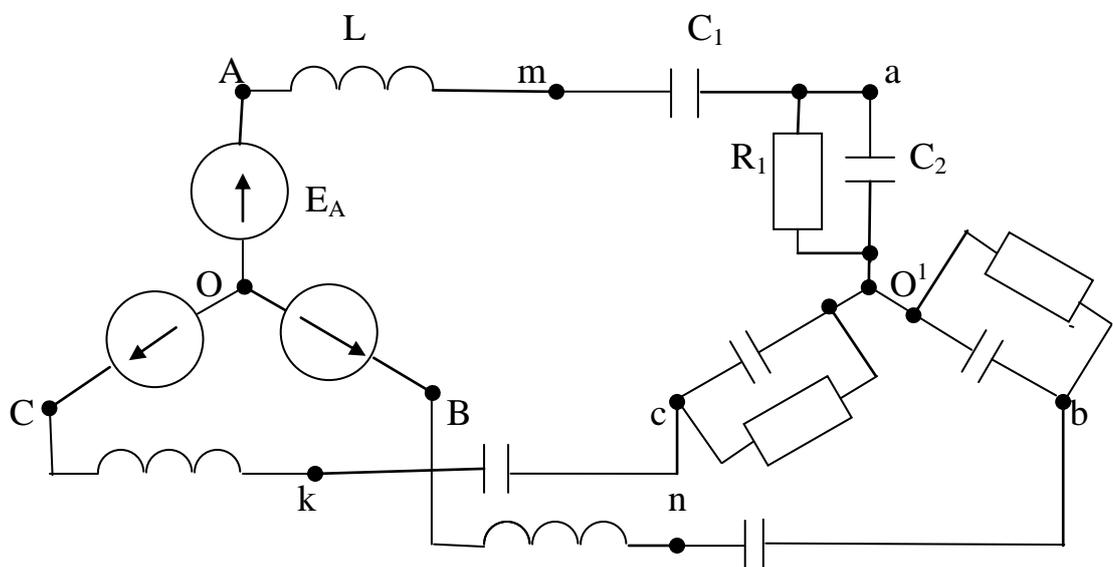


Рис.10.

Таблица 1.

Вариант	Рисунок	$E_A, В$	$T, с$	$L, мГн$	$C_1, мкФ$	$C_2, мкФ$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	Определить
1	1	100	0,015	22,32	276	-	44,3	8,66	$U_{bc}$
2	2	80	0,015	18,33	598	138	-	17,32	$U_{bc}$
3	3	60	0,015	4,78	398	-	7,66	2	$U_{bc}$
4	4	40	0,015	35,88	119,6	-	25,98	-	$U_{bc}$
5	5	20	0,015	17,94	79,7	-	4,33	-	$U_{bc}$
6	6	90	0,015	107,6	119,6	-	8,66	-	$U_{bc}$
7	7	70	0,015	41,4	175,1	-	17,32	-	$U_{bc}$
8	8	50	0,015	8,75	138	-	17,32	-	$U_{bc}$
9	9	30	0,015	23,92	478,5	-	17,32	-	$U_{bc}$
10	10	10	0,015	35,88	210,9	138	17,32	-	$U_{bc}$
11	1	80	0,02	29,71	376,5	-	4,33	8,66	$U_{ca}$
12	2	60	0,02	24,39	796,2	183,8	-	17,32	$U_{ca}$
13	3	40	0,02	6,36	530	-	7,66	2	$U_{ca}$
14	4	100	0,02	47,7	159,2	-	25,98	-	$U_{ca}$
15	5	70	0,02	23,88	106,1	-	4,33	-	$U_{ca}$
16	6	20	0,02	143,3	159,2	-	8,66	-	$U_{ca}$
17	7	30	0,02	55,16	233,1	-	17,32	-	$U_{ca}$
18	8	10	0,02	11,65	183,8	-	17,32	-	$U_{ca}$
19	9	50	0,02	31,85	636,9	-	17,32	-	$U_{ca}$
20	10	90	0,02	47,7	280,8	183,7	1732	-	$U_{ca}$
21	1	10	0,025	37,32	461,6	-	4,33	8,66	$U_{mn}$
22	2	30	0,025	30,64	1000	230	-	17,32	$U_{mn}$
23	3	50	0,025	8	666	-	7,66	2	$U_{mn}$
24	4	70	0,025	60	200	-	25,98	-	$U_{mn}$
25	5	90	0,025	30	133,3	-	4,33	-	$U_{mn}$
26	6	100	0,025	180	200	-	8,66	-	$U_{mn}$
27	7	80	0,025	69,28	292,8	-	17,32	-	$U_{Ab}$
28	8	60	0,025	14,64	230,8	-	17,32	-	$U_{Ab}$
29	9	40	0,025	40	800	-	17,32	-	$U_{Ab}$
30	10	20	0,025	60	352,7	230	17,32	-	$U_{mn}$
31	1	100	0,04	59,42	735	-	4,33	8,66	$U_{nk}$
32	2	80	0,04	48,78	1592	368	-	17,32	$U_{nk}$
33	3	60	0,04	12,738	1061	-	7,66	2	$U_{nk}$
34	4	40	0,04	95,5	318,4	-	25,98	-	$U_{nk}$
35	5	20	0,04	47,77	212,2	-	4,33	-	$U_{nk}$
36	6	90	0,04	286,6	318	-	8,66	-	$U_{nk}$
37	7	70	0,04	110,32	466,3	-	17,32	-	$U_{nk}$
38	8	50	0,04	23,3	367,5	-	17,32	-	$U_{nk}$
39	9	30	0,04	63,69	1273,9	-	17,32	-	$U_{nk}$
40	10	10	0,04	95,5	561,7	36,75	17,32	-	$U_{nk}$

Таблица 1. (продолжение).

Вариант	Рисунок	$E_A, В$	$T, с$	$L, мГн$	$C_1, мкФ$	$C_2, мкФ$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	Определить
41	1	100	0,01	14,86	183,8	-	4,33	8,66	$U_{ab}$
42	2	80	0,01	12,19	398	91,9	-	17,32	$U_{ab}$
43	3	60	0,01	3,18	265,2	-	7,66	2	$U_{ab}$
44	4	40	0,01	23,8	79,6	-	25,98	-	$U_{ab}$
45	5	20	0,01	11,94	53	-	4,33	-	$U_{ab}$
46	6	90	0,01	71,65	79,6	-	8,66	-	$U_{ab}$
47	7	70	0,01	27,58	116,5	-	17,32	-	$U_{ab}$
48	8	50	0,01	5,82	91,8	-	17,32	-	$U_{ab}$
49	9	30	0,01	15,92	318,4	-	17,32	-	$U_{ab}$
50	10	10	0,01	23,8	140,4	91,9	17,32	-	$U_{ab}$

## Указания к решению задачи №1:

- 1) Сопротивления обмоток генератора считать равными нулю.
- 2) Для вариантов, в которых нагрузка соединена треугольником, использовать преобразование треугольника в звезду.
- 3) Расчет выполнять символическим методом, оперируя с комплексами действующих значений.

*Задача №2.*

По параметрам линии, частоте и значениям величин в конце линии, указанным в таблице 2, определить:

- 1) Третью неизвестную величину в конце линии.
- 2) Волновое сопротивление линии.
- 3) Постоянную распространения.
- 4) Комплексы напряжения и тока в начале линии.
- 5) Активную и полную мощности в начале и в конце линии.
- 6) КПД линии.
- 7) Полагая, что линия стала линией без потерь, а нагрузка в конце линии стала активной и равной модулю комплексной нагрузки, указанной в варианте задания, определить комплексы напряжения и тока в начале линии, а также длину электромагнитной волны.
- 8) Для линии без потерь построить график распределения действующего напряжения вдоль линии в функции координаты  $u$ .

Таблица 2.

Вариант	f, Гц	R <sub>0</sub> , Ом/км	C <sub>0</sub> , 10 <sup>-9</sup> , Ф/км	L <sub>0</sub> , 10 <sup>-3</sup> , Гн/км	G <sub>0</sub> , 10 <sup>-6</sup> , См/км	U <sub>2</sub> , В	I <sub>2</sub> , мА	Z <sub>н</sub> , Ом	l, км
1	500	10	9,6	5,08	1,25	100	64,2e <sup>j15°</sup>	-	200
2	500	5	11,8	4,16	0,75	-	21,1e <sup>j11°</sup>	1188 e <sup>-j10,9°</sup>	250
3	10000	58	5,75	4,24	0,51	34,4	-	1720 e <sup>-j6,15°</sup>	11,65
4	2500	78,6	11,5	10	1,75	-	10 e <sup>j13,2°</sup>	1965 e <sup>-j13,2°</sup>	23,7
5	1500	24	10,6	4,6	0,175	40	100	-	73
6	1500	10	12	4,1	1,25	-	50	300	80
7	600	12,6	12,7	3,85	0,8	5	-	1270 e <sup>-j20°</sup>	120
8	7000	135	6,11	5,7	2,25	-	23,9 e <sup>j14,3°</sup>	512 e <sup>-j14,3°</sup>	16,3
9	1200	12,4	10	4,8	1,6	40	-	355 e <sup>-j8,8°</sup>	100
10	400	2,9	13	3,8	0,7	-	18 e <sup>j7,8°</sup>	278 e <sup>-j7,8°</sup>	315
11	600	11	10	6	0,65	94,7	-	1620 e <sup>-j12,4°</sup>	142
12	450	9,6	14,8	10,8	0,725	-	12,2 e <sup>j8,2°</sup>	1800 e <sup>-j8,3°</sup>	114
13	8000	97,2	6,4	7,5	0,82	60	-	667	12,7
14	4330	102	4,2	6,4	3,3	-	16,3 e <sup>j15,4°</sup>	800 e <sup>-j15,35°</sup>	21
15	2000	25,2	3,6	6,7	1	31	-	690 e <sup>-j7,75°</sup>	64,8
16	2000	16,7	19	2,66	1,5	-	13,1	800	42,7
17	1800	54	6,8	7,08	1,9	24	-	2000 e <sup>-j16,25°</sup>	47,1
18	4500	54	8,2	10,4	0,46	-	20 e <sup>j5,2°</sup>	400 e <sup>-j5,3°</sup>	23
19	1600	20,4	3,4	7,08	0,9	33,9	-	1060 e <sup>-j7,25°</sup>	92,3
20	700	29,2	8,2	6,08	0,675	-	33,3 e <sup>j23,3°</sup>	1800 e <sup>-j23,15°</sup>	105
21	500	20	4,8	10,16	0,625	-	32,1 e <sup>j15°</sup>	3120 e <sup>-j15°</sup>	200
22	1000	10	11,8	4,16	1,5	100	-	1188 e <sup>-j10,25°</sup>	125
23	5000	29	11,5	4,24	0,51	-	10 e <sup>j6,3°</sup>	1220 e <sup>-j6,15°</sup>	15
24	5000	157,2	11,5	10	3,5	78,6	-	1965 e <sup>-j13,2°</sup>	11,85
25	1500	48	5,3	9,2	0,0875	-	50	800-	73
26	3000	20	12	4,1	2,5	60	200	-	40
27	2400	50,4	3,175	3,85	0,8	-	1,97 e <sup>j20°</sup>	2540 e <sup>-j20°</sup>	60
28	3500	22,55	12,22	1,9	2,25	5	-	209,5 e <sup>-j14,3°</sup>	40
29	1200	24,8	5	9,6	0,8	-	56,4 e <sup>j8,8°</sup>	710 e <sup>-j8,8°</sup>	100
30	800	5,8	13	3,8	104	20	-	278 e <sup>-j7,8°</sup>	157,5
31	300	5,5	20	6	0,65	-	26,05 e <sup>j12,9°</sup>	1150 e <sup>-j12,4°</sup>	200
32	900	19,2	14,8	10,8	1,55	88	-	1800 e <sup>-j8,3°</sup>	57
33	8000	194,4	3,2	15	0,41	-	45	1334	12,7
34	6500	204	2,8	8,54	2,1	25,4	24,5e <sup>j15,4°</sup>	-	14,9
35	1000	12,6	7,2	6,7	1	-	22,5e <sup>j7,75°</sup>	490e <sup>-j7,75°</sup>	91,5
36	4000	33,4	19	2,66	3	42	-	800	21,35
37	1800	108	3,4	14,16	0,95	-	6e <sup>j6,25°</sup>	4000e <sup>-j16,25°</sup>	47,1
38	9000	108	8,2	10,4	0,92	32	-	400e <sup>-j5,2°</sup>	11,5
39	800	10,2	6,8	7,08	0,9	-	16e <sup>j7,25°</sup>	750e <sup>-j7,25°</sup>	130
40	700	14,6	8,2	3,04	0,675	42,3	-	1255e <sup>-j23,15°</sup>	149

## Указания к решению задачи №2:

1) Неизвестный из трех параметров в конце линии определить, пользуясь формулой закона Ома

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_H$$

2) Определить волновое сопротивление линии

$$Z_B = \sqrt{(Z_0/Y_0)}, \text{ где } Z_0 = R_0 + j\omega L_0, Y_0 = G_0 + j\omega C_0.$$

3) Определить постоянную распространения

$$\gamma = \sqrt{(Z_0 Y_0)} = \beta + j\alpha.$$

4) Вычислить напряжение и ток в начале линии, пользуясь выражениями:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \dot{I}_2 Z_H \operatorname{sh} \gamma l, \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 \operatorname{ch} \gamma l + (\dot{U}_2/Z_H) \operatorname{sh} \gamma l \end{aligned}$$

Учесть, что при умножении  $\gamma$ , имеющей размерность 1/км, на длину линии в километрах угол получается в радианах.

5) Полную и активную мощность в начале и в конце линии вычислить, пользуясь формулами:

$$\begin{aligned} S_1 &= U_1 I_1, & P_1 &= U_1 I_1 \cos(\angle U_1 \wedge I_1), \\ S_2 &= U_2 I_2, & P_2 &= U_2 I_2 \cos(\angle U_2 \wedge I_2). \end{aligned}$$

6) К.п.д. линии

$$\eta = P_2/P_1.$$

7) Для линии без потерь

$$\begin{aligned} Z_B &= \sqrt{(L_0/C_0)}, & \gamma &= j\omega \sqrt{(L_0 C_0)} = j\alpha, \\ \operatorname{ch} \gamma l &= \cos \alpha l, & \operatorname{sh} \gamma l &= j \sin \alpha l, \\ \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \cos \alpha l + j \dot{I}_2 Z_H \sin \alpha l, \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 \cos \alpha l + j(\dot{U}_2/Z_H) \sin \alpha l, \end{aligned}$$

фазовая скорость и длина волны:

$$v_\phi = \omega/\alpha = 1/\sqrt{(L_0 C_0)}, \quad \lambda = v_\phi/\omega.$$

8) Графики изменения напряжения и тока вдоль линии строятся с использованием формул:

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{U}_2 \cos \alpha y + j \dot{I}_2 Z_H \sin \alpha y, \\ \dot{I} &= \dot{I}_2 \cos \alpha y + j(\dot{U}_2/Z_H) \sin \alpha y. \end{aligned}$$

9) Действующие значения напряжения и тока вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{[(U_2 \cos \alpha y)^2 + (I_2 Z_H \sin \alpha y)^2]}, \\ I &= \sqrt{[(I_2 \cos \alpha y)^2 + (U_2/Z_H \sin \alpha y)^2]}. \end{aligned}$$

### Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, М., «Юрайт», 2013.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Сборник задач, М., «Юрайт», 2016.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Общая электротехника. – М.: «Энергоиздат», 2002.

