

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный технологический университет»

Кафедра электротехники и электрических машин

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по самостоятельной работе для студентов очной
формы обучения направления подготовки 15.03.04 Автоматизация
технологических процессов и производств

Краснодар
2022

Составители: канд. техн. наук, доц. Л. Е. Копелевич;
канд. техн. наук, доц. А.М. Квон

Электротехника и электроника: методические указания по самостоятельной работе для студентов очной формы обучения направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств / Сост.: Л.Е. Копелевич, А.М. Квон; Кубан. гос. технол. ун-т. Каф. электротехники и электрических машин. – Краснодар, 2022. – 58 с.

Представлены общие сведения, варианты заданий и методические указания к задачам для самостоятельного решения для студентов направления 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

Ил. 54. Табл. 10. Библиогр.: 8 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. каф. ЭТЭМ КубГТУ А.В. Самородов;
канд. техн. наук, доц., зав. каф. СУМТМ КубГТУ
Р.Л. Плоmodityло

Содержание

Введение.....	4
1 Общие указания.....	4
2 Содержание заданий и методические указания.....	5
Расчетно-графическая работа № 1. Электрические цепи постоянного и переменного тока.....	5
Расчетно-графическая работа №2. Электропривод и электроника.....	43
Список литературы.....	58

Введение

Электротехника и электроника, как техническая дисциплина, изучаемая студентами, является одной из базовых в будущей профессиональной деятельности бакалавров направления «Автоматизация технологических процессов и производств» в связи с большим удельным весом технологий с использованием электрической энергии и электротехнических устройств. Это связано с высокой эффективностью применения электротехники для электромеханического и других способов преобразования энергии. Электрическую энергию удобно передавать на расстояние, распределять, преобразовывать. Электрические и электронные системы управления технологическими процессами и установками наиболее чувствительны, точны и гибки. Электротехнические устройства обладают длительным периодом безотказной работы. Таким образом, удельный вес электротехнического оборудования в технологических процессах и установках неизбежно будет увеличиваться.

Будущим бакалаврам необходимы базовые знания, умения и навыки в области электротехники и электроники. Выполнение практических заданий позволяет применить теоретический материал для решения конкретных практических задач, необходимых для проектирования, анализа и синтеза электротехнического оборудования и электрических цепей.

1 Общие указания

Расчётно-графические работы для студентов специальностей 15.03.04 предусмотренные учебными планами и рабочей программой курса «Электротехника и электроника», выполняются в виде домашних заданий и позволяют приобрести студенту необходимые навыки и умение практически использовать основные законы и теоретические положения курса для анализа режимов работы электрооборудования промышленных предприятий.

Студенту необходимо выполнить две расчётно-графические работы.

К представляемым к защите расчётно-графическим работам предъявляются следующие требования:

- задания выполняются на листах формата А4 и сшиваются (или в тонких тетрадях).

- схемы, графики, рисунки, в том числе и заданные условием задачи, должны быть выполнены аккуратно с использованием чертежных принадлежностей в соответствии с требованиями ГОСТ;

- каждому этапу расчётно-графической работы следует давать пояснения, указывая используемые законы или методы.

Титульный лист должен иметь вид:

Кубанский государственный технологический университет

Кафедра электротехники и электрических машин

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № _____
(название работы)

Выполнил студент группы
(шифр, подпись, фамилия, и.о.)

Принял преподаватель.....
(подпись, фамилия, и.о.)

Сдано на проверку.....

Зачтено.....

Краснодар
год

Расчетно-графические работы, выполненные небрежно и без соблюдения требований стандартов к текстовому материалу, графической части к защите не принимаются. При выполнении расчетов в начале следует писать расчетные формулы в общем виде, подставлять в них цифровые значения, указывая размерность полученного результата. Вычисления выполнять с точностью до трех значащих цифр. Номер варианта выдает преподаватель.

2 Содержание заданий и методические указания

Расчетно-графическая работа № 1

Электрические цепи постоянного и переменного тока

Задача № 1. Расчет термоэлектрического преобразователя на базе электрического моста

Для заданной схемы электрической цепи, приведенной на рисунке 1 требуется:

- определить токи терморезистора (первичного преобразователя) и источника питания при нижнем и верхнем значениях температуры контролируемой среды;

- определить напряжение на зажимах измерительной ветви и ток в ней при верхнем значении температуры контролируемой среды;

- проградуировать шкалу прибора в единицах контролируемой величины

Примечания:

– сопротивление измерительной ветви R_H согласовано с выходным сопротивлением мостового преобразователя, уравновешенного при нижнем значении температуры контролируемой среды;

– полное отклонение подвижной части прибора наступает при верхнем значении температуры контролируемой среды;

– электрическое сопротивление терморезистора в пределах заданного интервала температуры изменяется по закону:

для медного терморезистора : $R_t=R_0(1+0,00428t)$;

для платинового: $R_t=R_0(1+3,94*10^{-3}*t - 5,8*10^{-7}t^2)$,

где R_0 – сопротивление терморезистора при 0°C , Ом

t – верхний предел температуры.

Параметры электрической цепи выбираются согласно варианту из таблицы 1

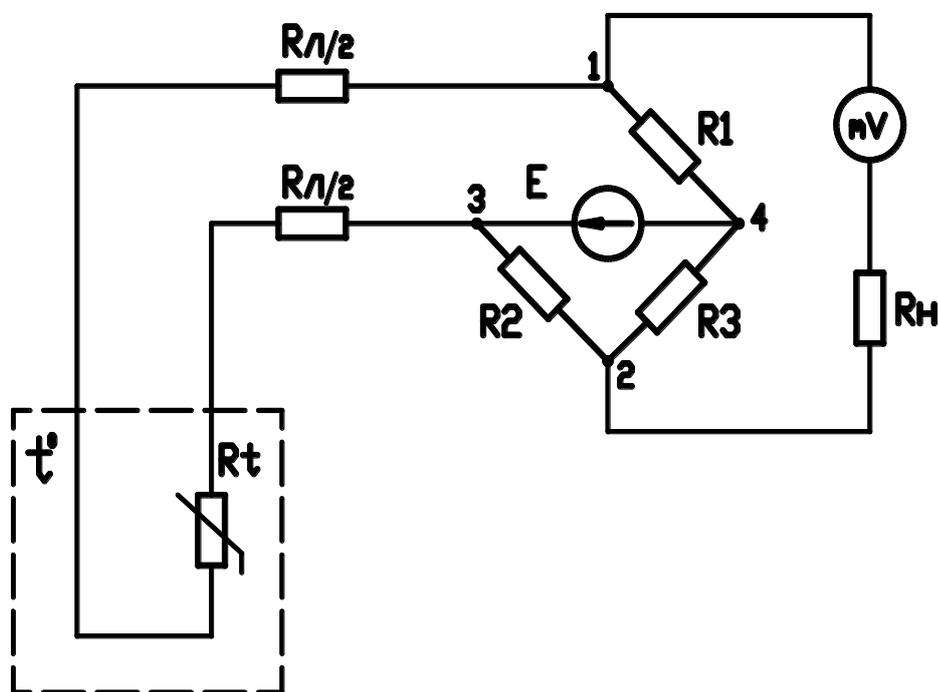


Рисунок 1 – Схема мостового преобразователя с терморезистором (первичным преобразователем)

Методические указания к решению задачи

Для расчета мостового преобразователя с терморезистором необходимо:

а) при нижнем значении температуры $t=0^{\circ}\text{C}$ мост, согласно условию, уравновешен; для нахождения сопротивления измерителя $R_{и}$ следует воспользоваться условием, что сопротивление измерительной ветви согласовано с выходным сопротивлением мостового преобразователя, т.е. $R_{и}=R_{12}$; выходное сопротивление мостового преобразователя находится относительно зажимов 1-2 измерительной ветви при условии, что $E=0$, сопротивление терморезистора при этом R_0 ; ток в терморезисторе и источнике при нижнем значении температуры определяется по закону Ома;

б) при верхнем значении для определения токов в терморезисторе и источнике следует преобразовать цепь, заменив сопротивления резисторов $R_{и}$, R_1 , R_3 , соединенные “треугольником”, на эквивалентную “звезду” R_4 , R_5 , R_6 и, пользуясь законом Ома, найти токи;

в) для определения тока в измерителе и напряжения U_{12} на зажимах измерительной ветви следует использовать метод эквивалентного генератора;

г) в качестве измерительного прибора используется микровольтметр магнитоэлектрической системы с равномерной шкалой, и полное отклонение стрелки прибора будет соответствовать напряжению U_{12} на зажимах измерительной ветви при верхнем значении температуры контролируемой среды; для градуировки шкалы прибора необходимо найти значение напряжения, приходящееся на единицу измеряемой величины, т.е. 1°C .

Таблица 1 – Параметры электрической схемы

Вариант	Интервал изменения температуры, $^{\circ}\text{C}$	Материал терморезистора	R_0 , Ом	$R_{л}$, Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	E , В
1	0-100	Медь	53	0	203	200	765	2,0
2	0-50	Медь	53	0	91	155	267	2,0
3	0-100	Медь	53	5	189	204	665	2,0
4	0-150	Медь	53	5	224	131	507	3,0
5	0-50	Медь	53	0	145	153	418	2,0
6	0-50	Медь	53	5	126	161	350	2,0
7	0-100	Медь	100	5	203	200	765	3,0
8	0-180	Медь	100	5	224	131	507	1,5
9	0-100	Платина	46	0	160	147	512	1,5

Вариант	Интервал изменения температуры, °С	Материал терморезистора	R ₀ , Ом	R _л , Ом	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	E, В
10	0-100	Платина	46	0	154	214	715	2,0
11	0-300	Платина	46	0	191	53	220	4,0
12	0-500	Платина	46	0	167	82	298	3,0
13	0-300	Платина	46	5	232	40	182	4,0
14	0-500	Платина	46	5	224	60	287	4,0
15	0-100	Платина	46	5	140	222	610	2,0
16	0-100	Платина	46	5	148	117	340	1,5
17	0-120	Платина	46	0	195	200	850	1,5
18	0-120	Платина	46	5	178	206	720	1,5
19	0-100	Платина	100	0	137	457	169	1,5
20	0-100	Платина	100	0	41	587	241	2,0
21	0-50	Платина	100	0	199	200	398	3,0
22	0-70	Платина	100	0	43	400	172	2,0
23	0-100	Платина	100	5	40	440	167	1,5
24	0-100	Платина	100	5	46	550	242	2,0
25	0-40	Платина	100	5	163	224	347	3,0
26	0-70	Платина	100	5	59	312	175	2,0
27	0-200	Платина	100	0	256	39	100	4,0
28	0-200	Платина	100	5	304	31	90	4,0
29	0-100	Платина	46	0	148	200	287	1,5
30	0-120	Платина	46	5	137	222	312	3,0
31	0-70	Платина	100	0	199	587	169	3,0
32	0-100	Медь	53	5	203	153	501	2,0
33	0-100	Медь	100	0	126	200	418	3,0
34	0-180	Медь	50	0	160	131	765	1,5
35	0-150	Медь	150	5	145	161	418	2,0
36	0-50	Медь	100	5	224	147	765	2,0
37	0-100	Медь	150	0	145	131	501	3,0
38	0-150	Медь	53	5	189	155	665	2,0
39	0-50	Медь	100	0	224	200	267	1,5
40	0-150	Медь	100	0	126	147	765	3,0
41	0-100	Медь	53	5	203	155	765	2,0
42	0-150	Медь	100	5	126	200	267	3,0
43	0-50	Медь	150	0	224	147	665	1,0
44	0-100	Медь	150	5	131	200	765	1,0
45	0-100	Медь	100	5	224	200	501	2,0
46	0-150	Медь	53	0	145	131	418	3,0

Вариант	Интервал изменения температуры, °С	Материал терморезистора	R ₀ , Ом	R _л , Ом	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	E, В
47	0-50	Медь	100	0	189	155	418	2.0
48	0-100	Медь	50	5	224	161	350	2.0
49	0-150	Медь	150	5	160	155	418	3.0
50	0-100	Медь	100	0	203	153	765	1.0

Задача 2. Расчет электрических цепей однофазного переменного тока

Для заданной схемы электрической цепи переменного тока (рисунки 2.1–2.50), параметры которой приведены в таблице 2, требуется:

- рассчитать токи в ветвях цепи, используя один из методов расчета линейных электрических цепей;
- определить показания приборов;
- определить напряжения участков цепи любого контура;
- построить векторную диаграмму токов и напряжений для любого контура на одной комплексной плоскости;
- записать выражения мгновенных значений ЭДС и любого тока;

Методические указания к решению задачи

При решении уравнений, составленных в символической форме, необходимо помнить, что сложение и вычитание комплексных чисел производится в алгебраической форме, а деление и умножение – в показательной форме.

Пример 1. Сложить два комплексных числа: $\underline{Z}_1 = 10e^{i53}$ и $\underline{Z}_2 = 5e^{i37}$. Переводим показательную форму в алгебраическую:

$$10e^{i53} + 5e^{i37} = 10\cos(53) + j10\sin(53) + 5\cos(37) + j5\sin(37) = 10 \cdot 0,6 + j10 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,8 + j5 \cdot 0,6 = 6 + 4 + j8 + j3 = 10 + j11.$$

Комплексное число получено в алгебраической форме. Чтобы перевести алгебраическую форму комплексного числа в показательную, необходимо найти сначала его модуль Z (гипотенузу прямоугольного треугольника) по формуле

$$Z = \sqrt{10^2 + 11^2} = 14,87 \text{ Ом.}$$

Затем определяем показатель степени φ (он же угол сдвига фазы вектора тока относительно вектора напряжения) по формуле:

$$\varphi = \arctan \frac{11}{10} = 46^\circ .$$

Тогда комплексное число в показательной форме запишем следующим образом:

$$\underline{Z} = 14,87e^{i46} \text{ Ом.}$$

Пример 2. Разделить два комплексных числа. При делении комплексных чисел в показательной форме, необходимо разделить их модули, а показатели степеней вычесть. (При умножении комплексных чисел в показательной форме, необходимо перемножить их модули, а показатели степеней сложить).

При определении показания ваттметра следует пользоваться выражением $\bar{S} = \dot{U} \cdot I^*$,

где \dot{S} – полная мощность электрической цепи в комплексной форме;

I^* – комплексное сопряженное значение тока на входе цепи;

$\text{Re} \dot{U} I^*$ – вещественная часть комплексного значения полной мощности, которая равна активной мощности P (показанию ваттметра).

Показание ваттметра можно определить и по формуле

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

где U – уровень напряжения, приложенный к обмотке напряжения ваттметра;

I – ток, проходящий по токовой катушки ваттметра.

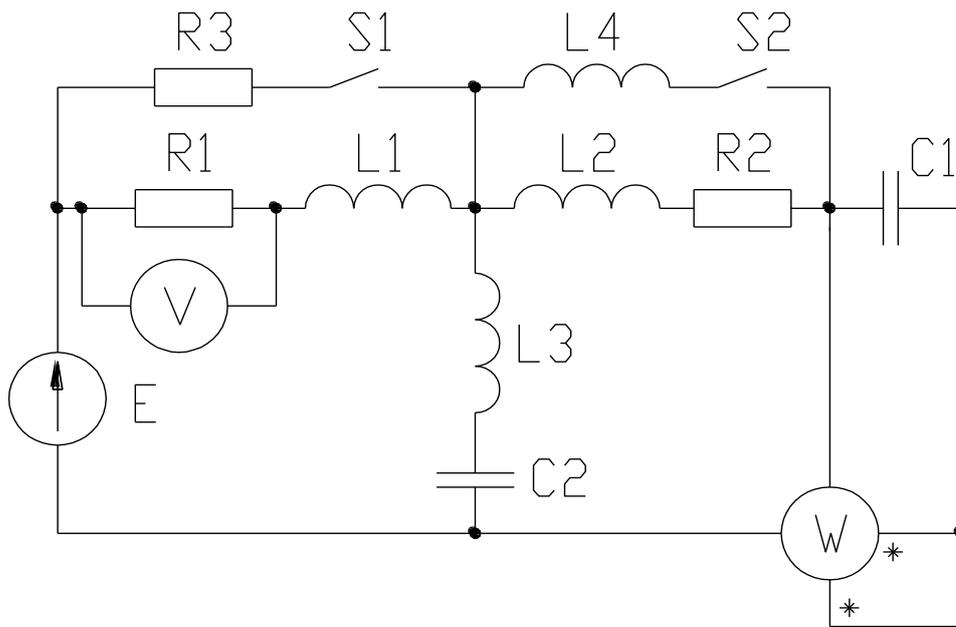


Рисунок 2.1

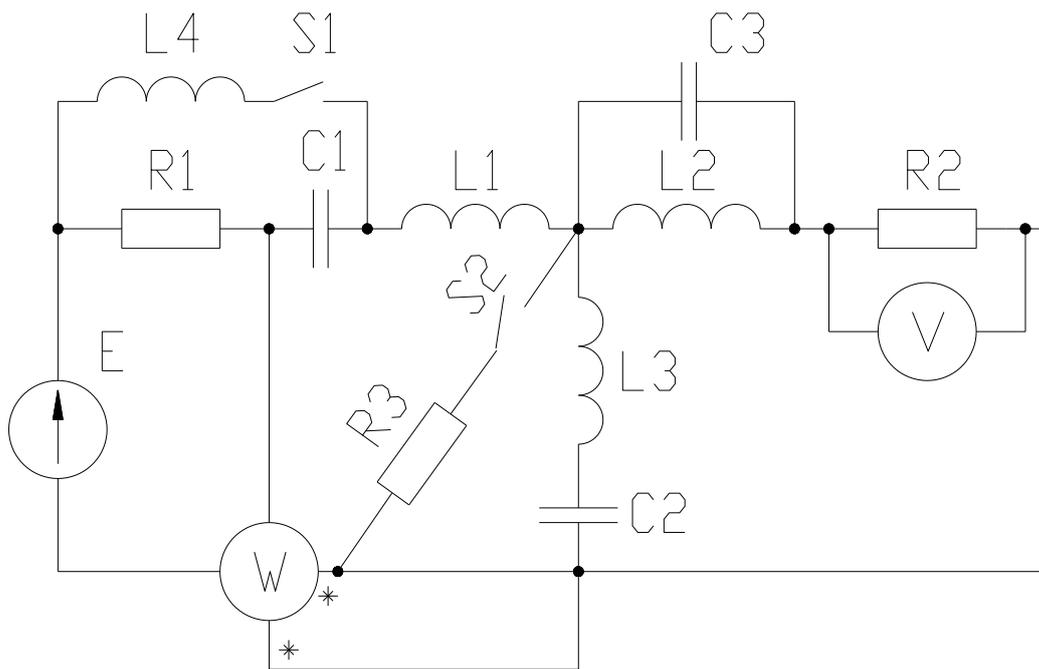


Рисунок 2.2

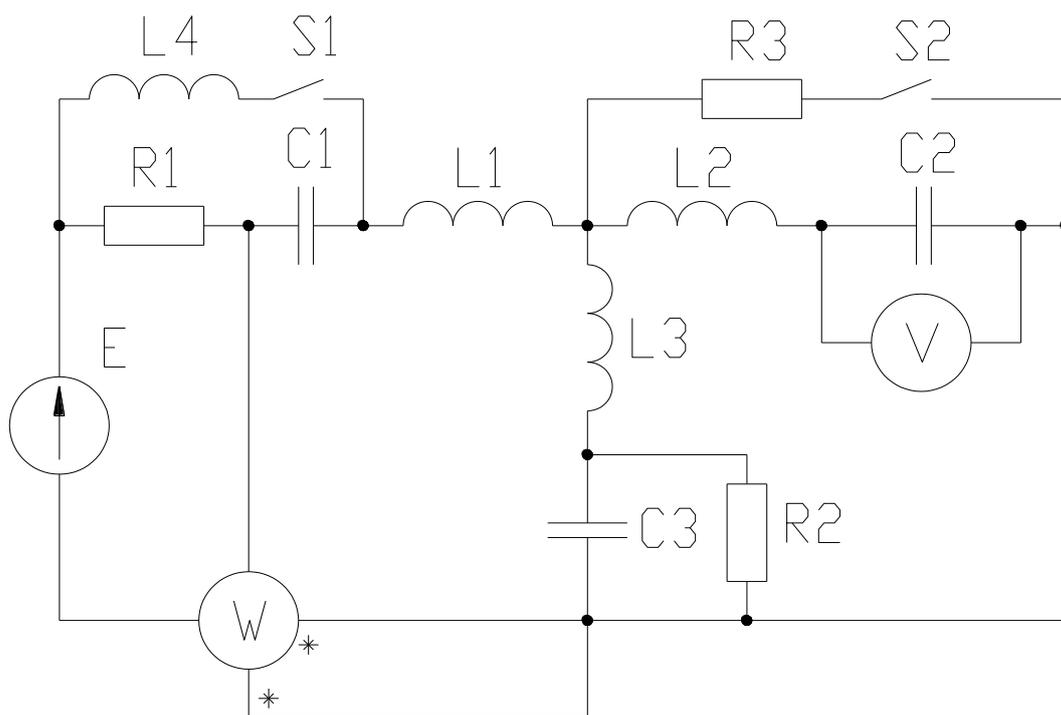


Рисунок 2.3

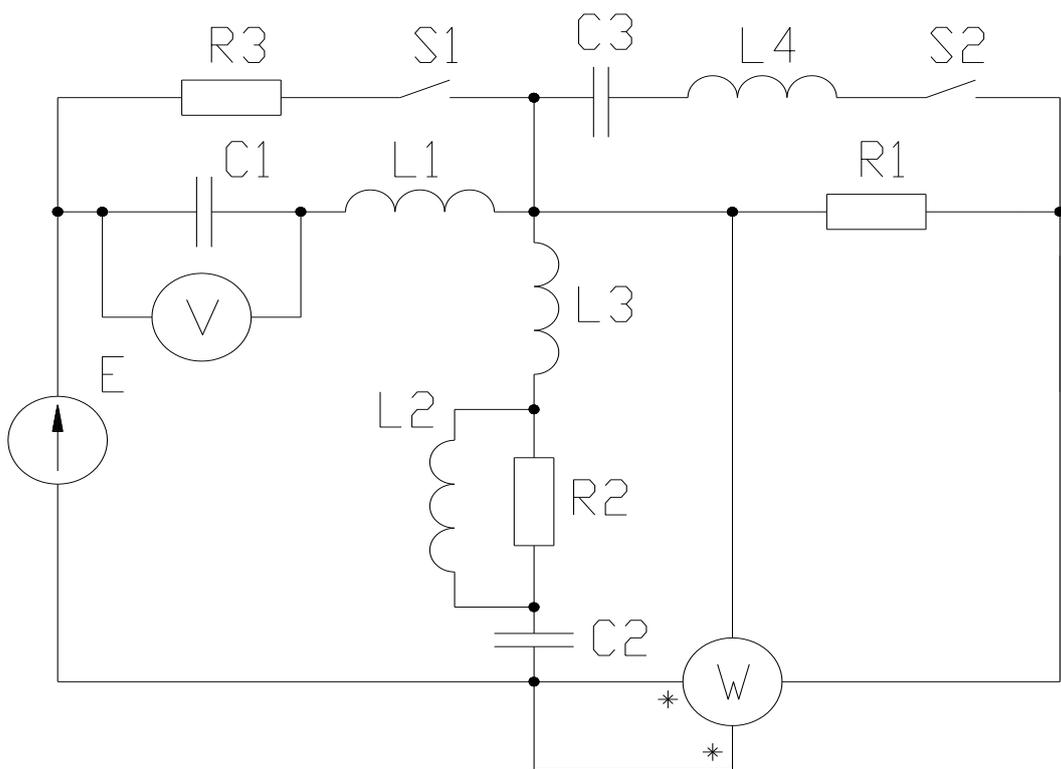


Рисунок 2.4

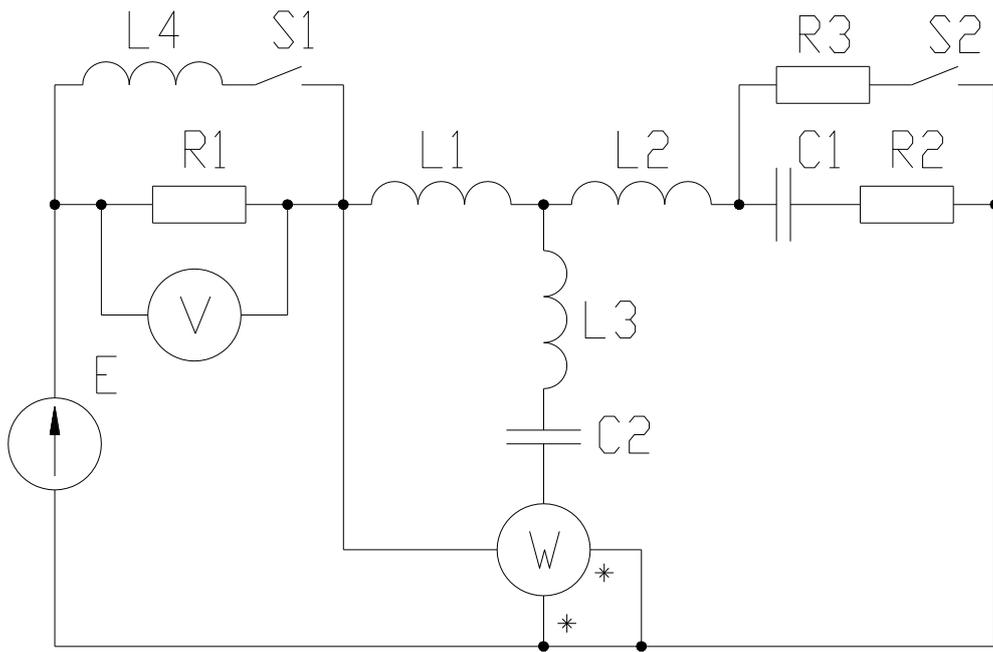


Рисунок 2.5

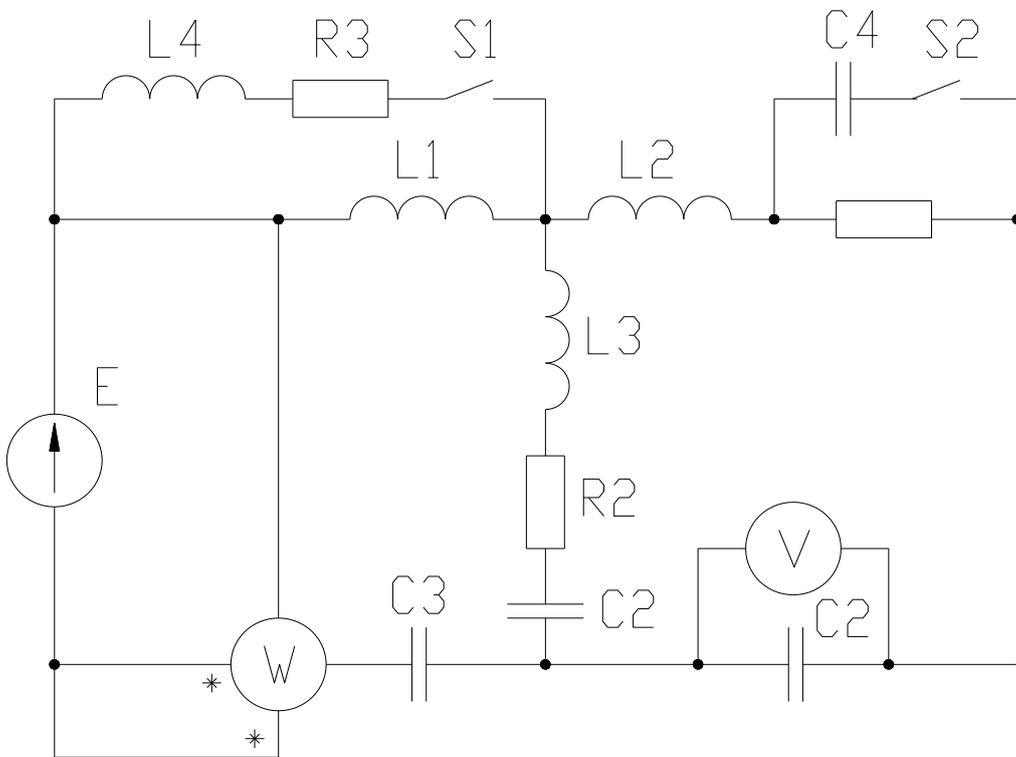


Рисунок 2.6

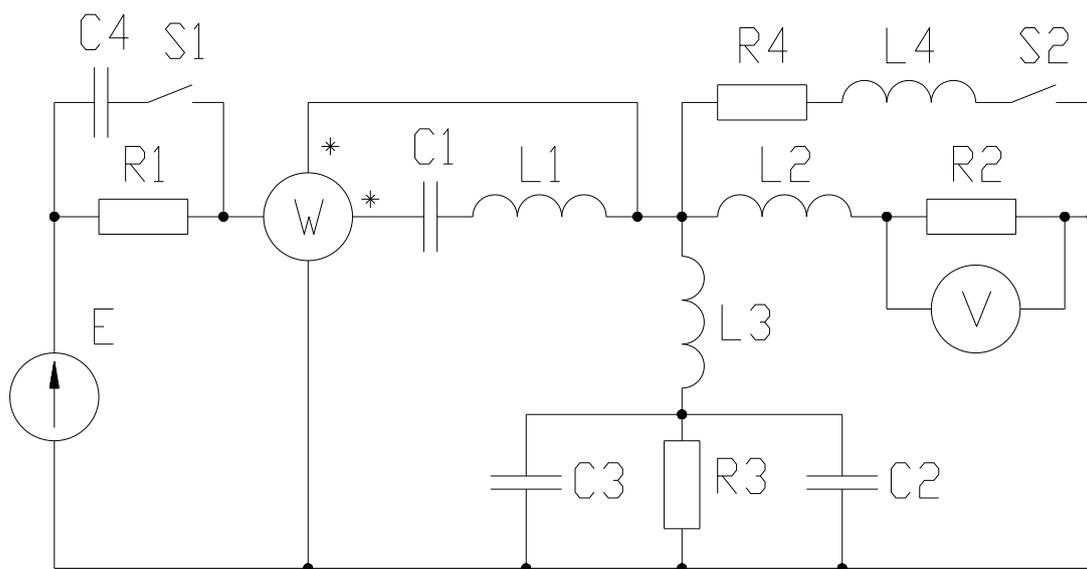


Рисунок 2.7

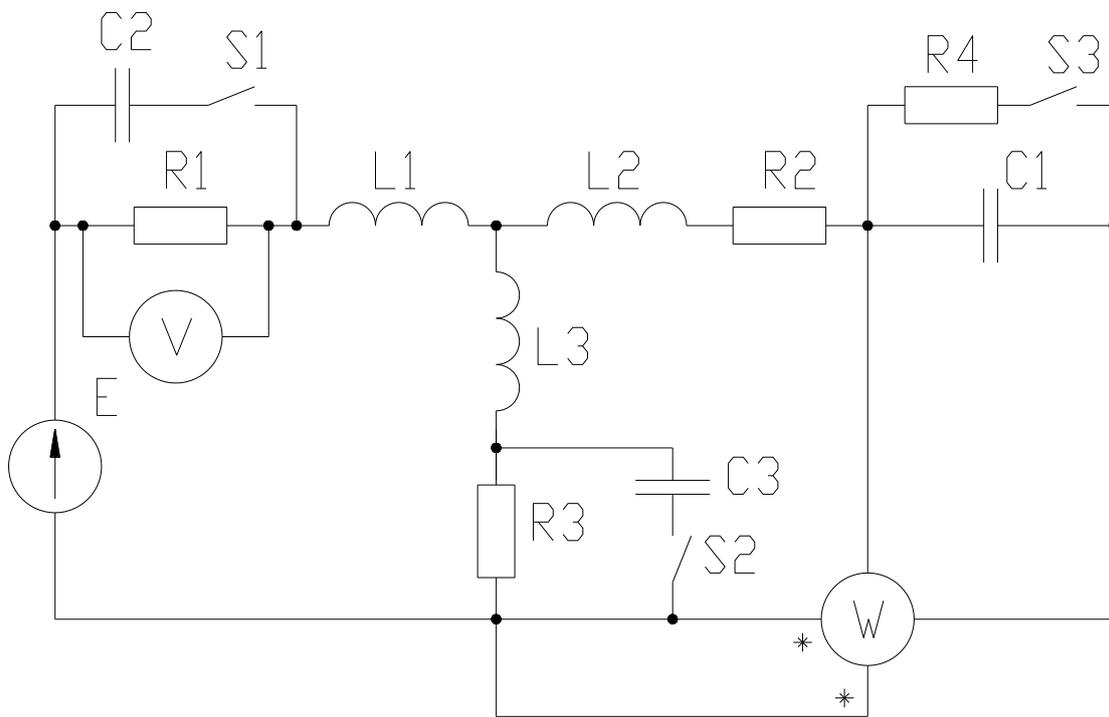


Рисунок 2.8

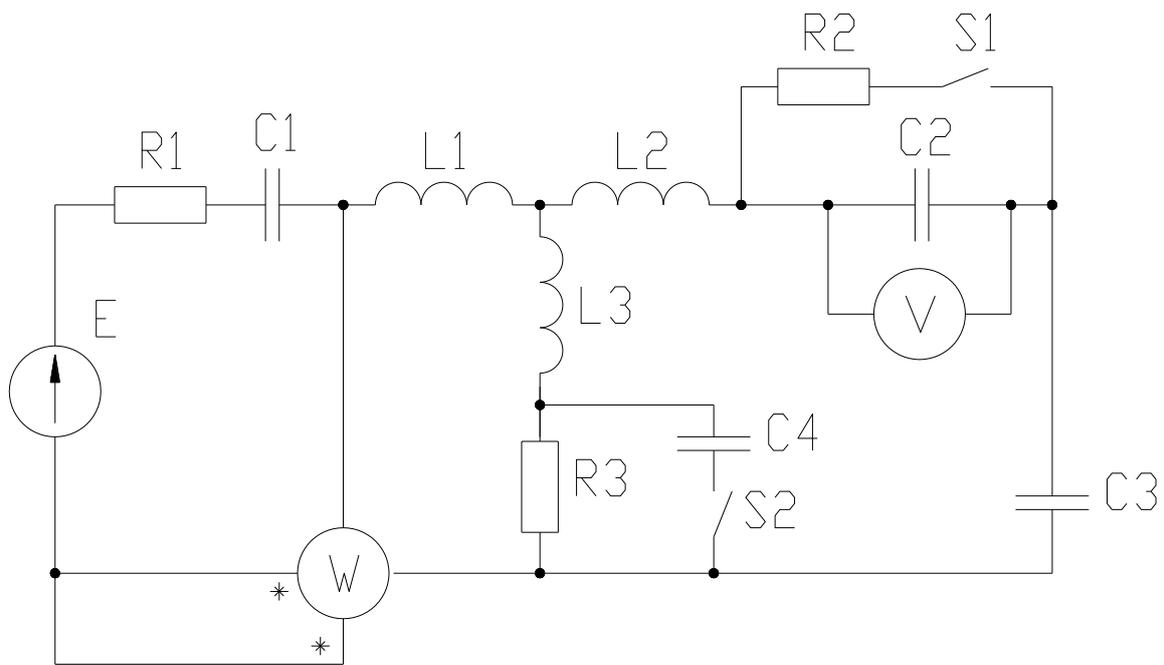


Рисунок 2.9

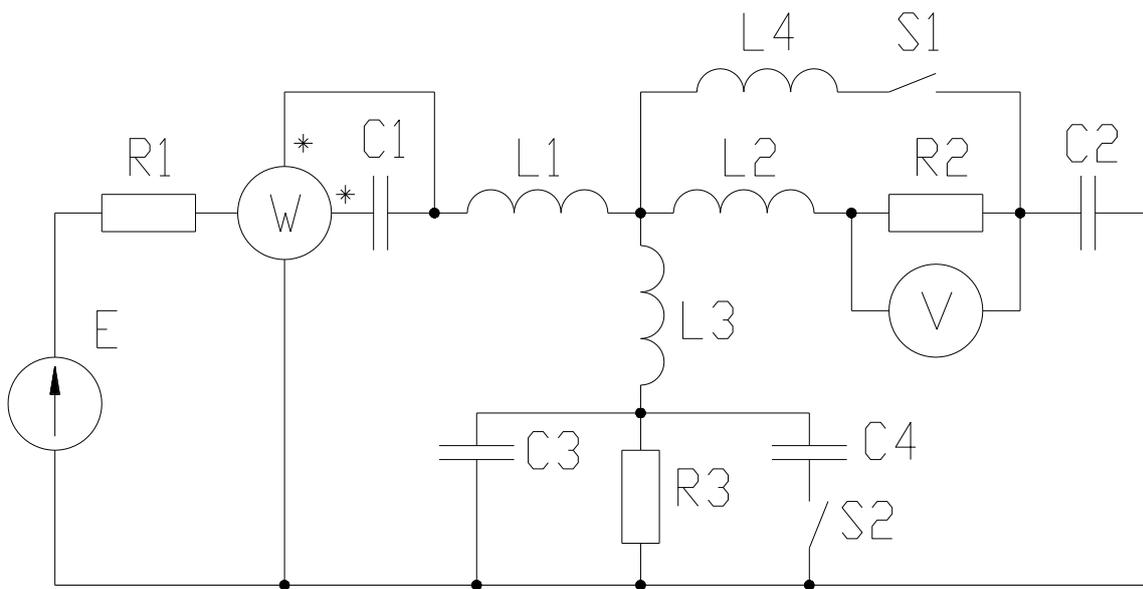


Рисунок 2.10

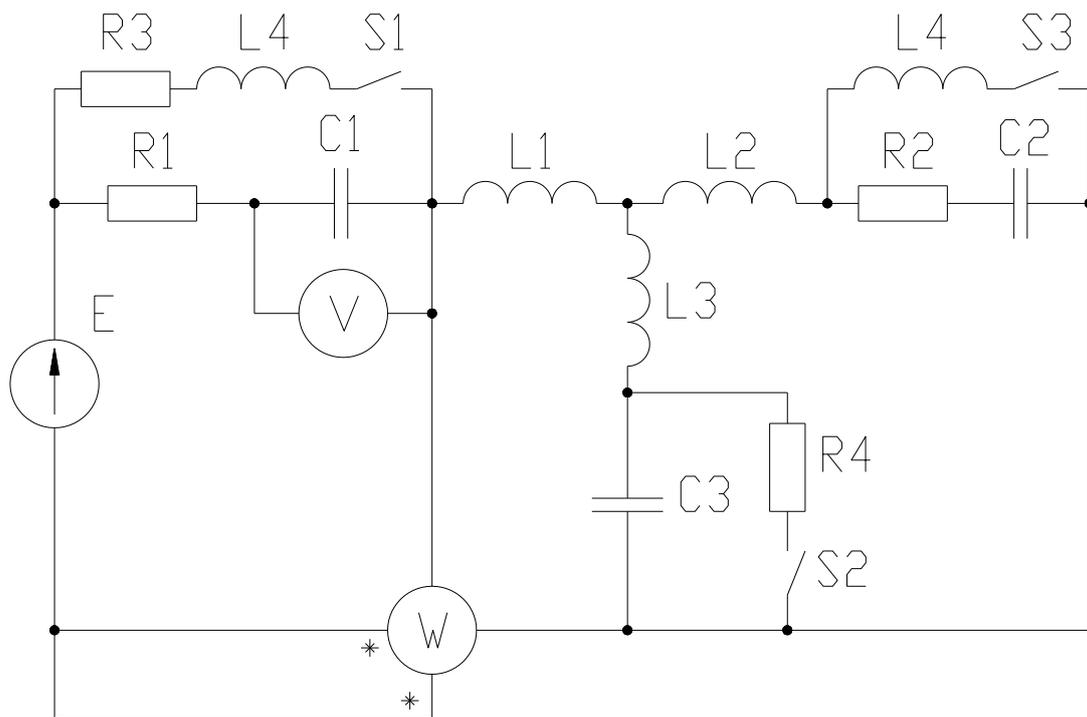


Рисунок 2.11

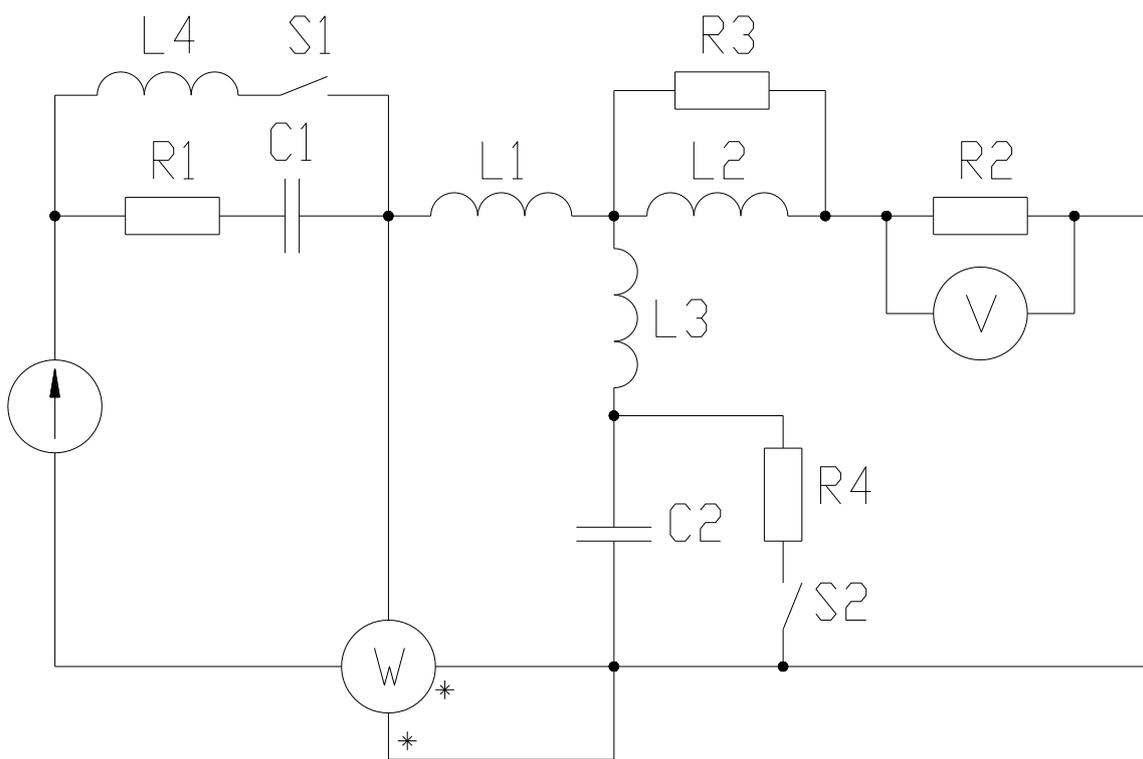


Рисунок 2.12

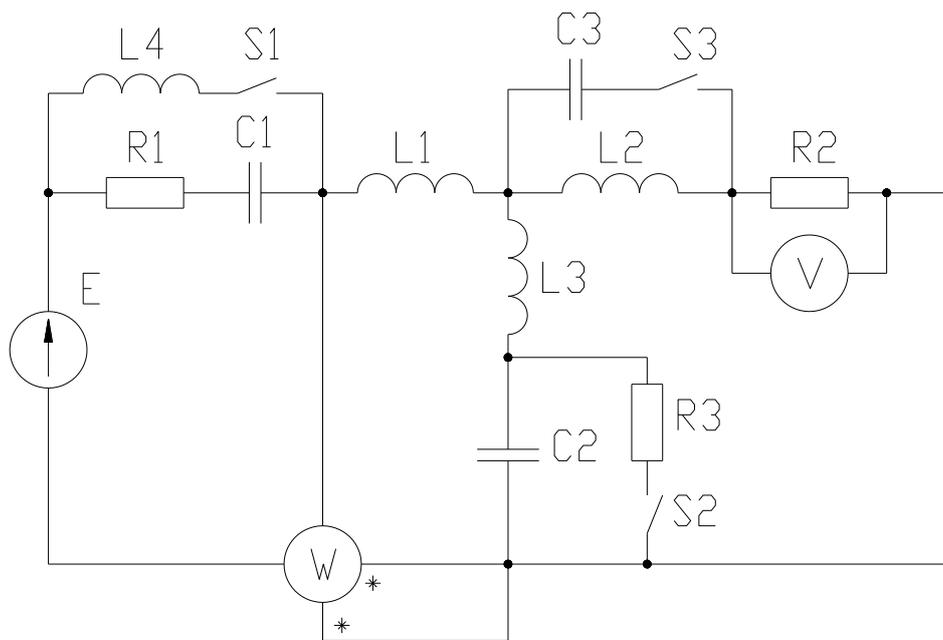


Рисунок 2.13

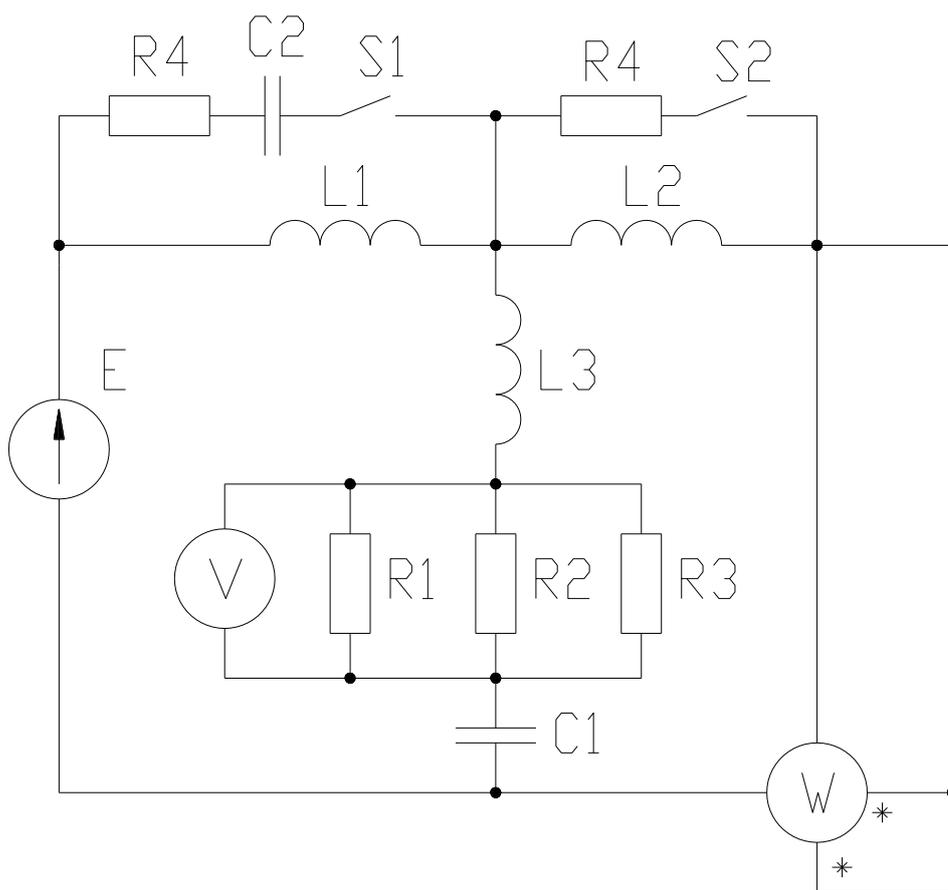


Рисунок 2.14

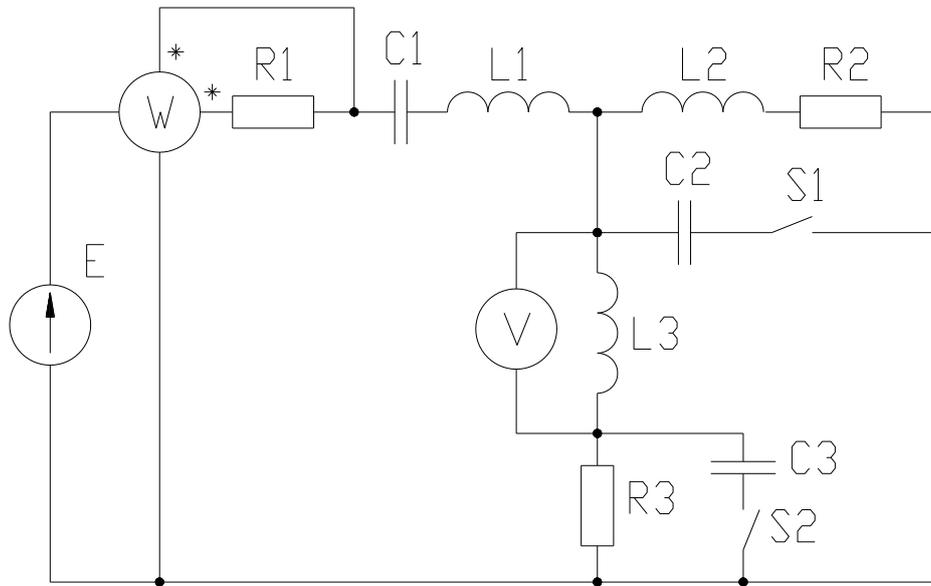


Рисунок 2.15

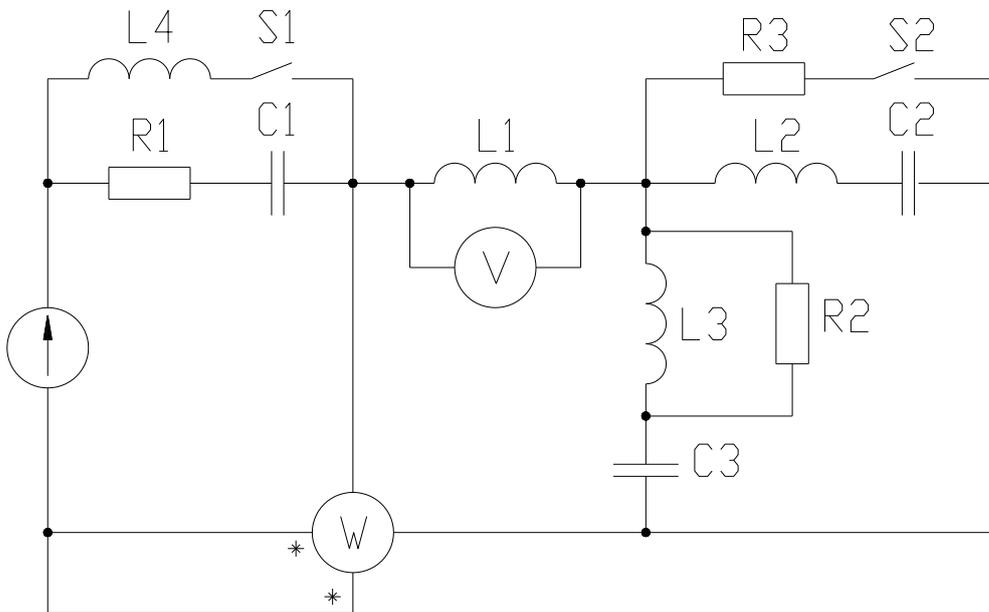


Рисунок 2.16

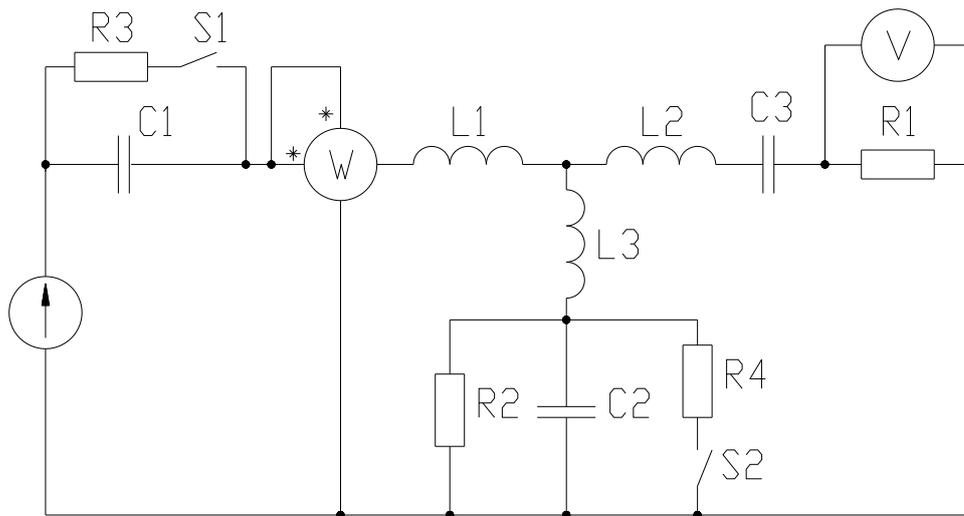


Рисунок 2.17

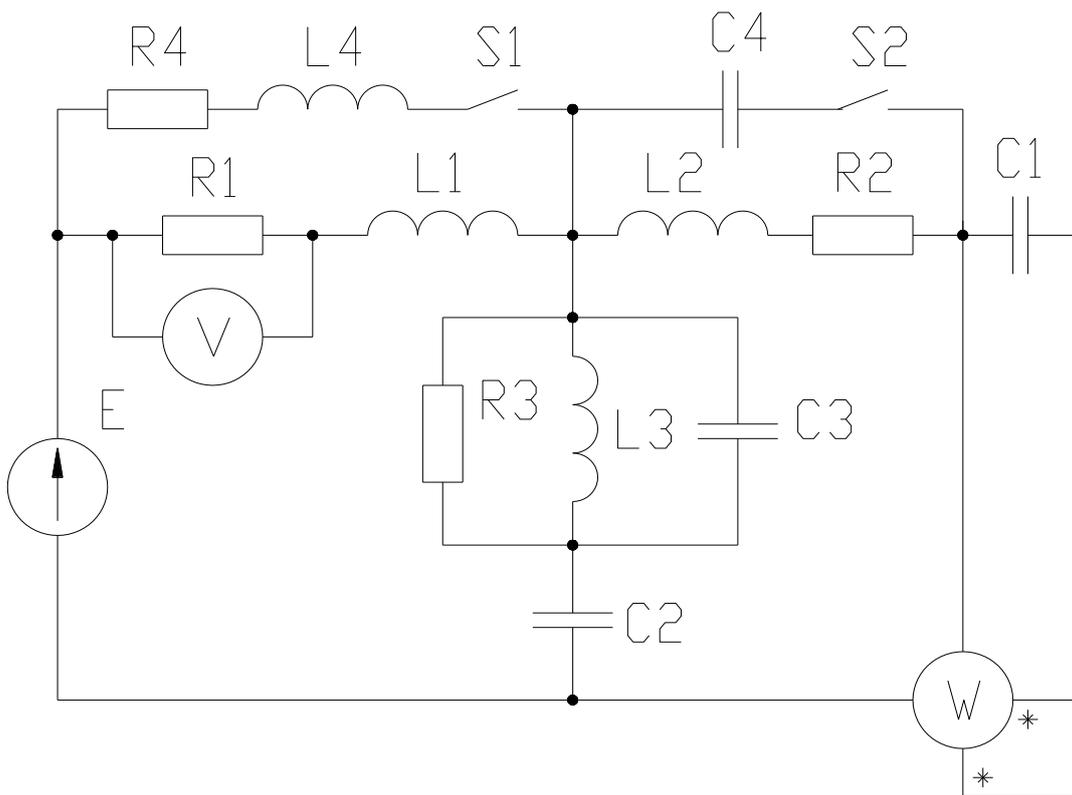


Рисунок 2.18

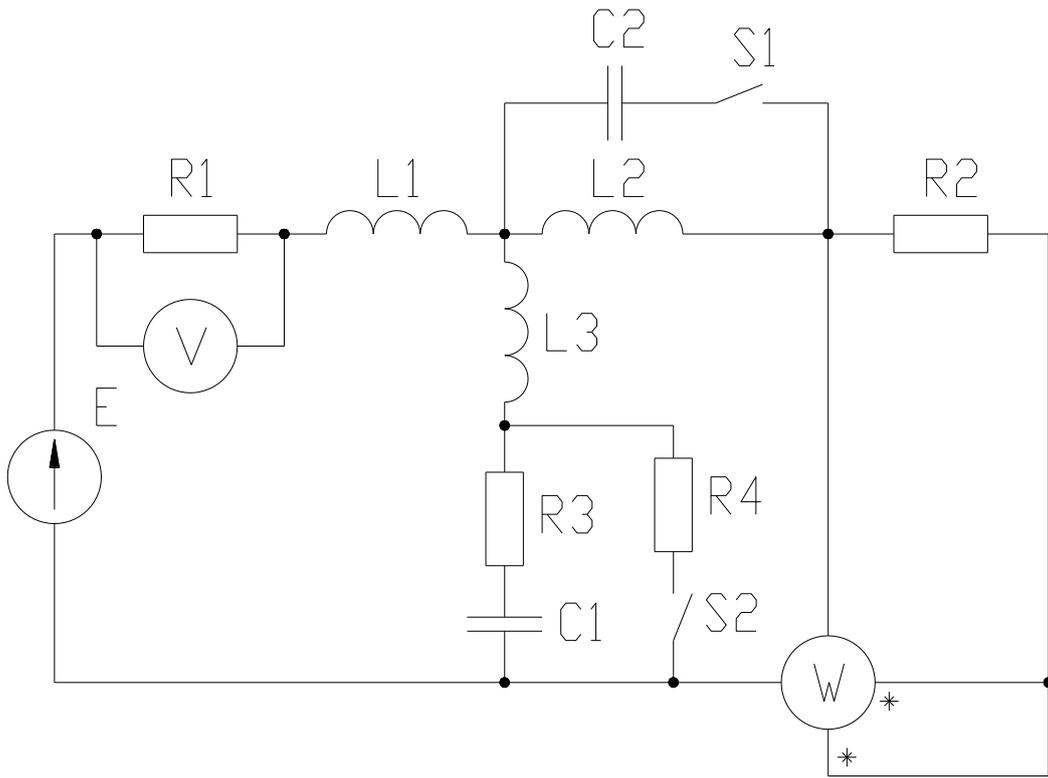


Рисунок 2.19

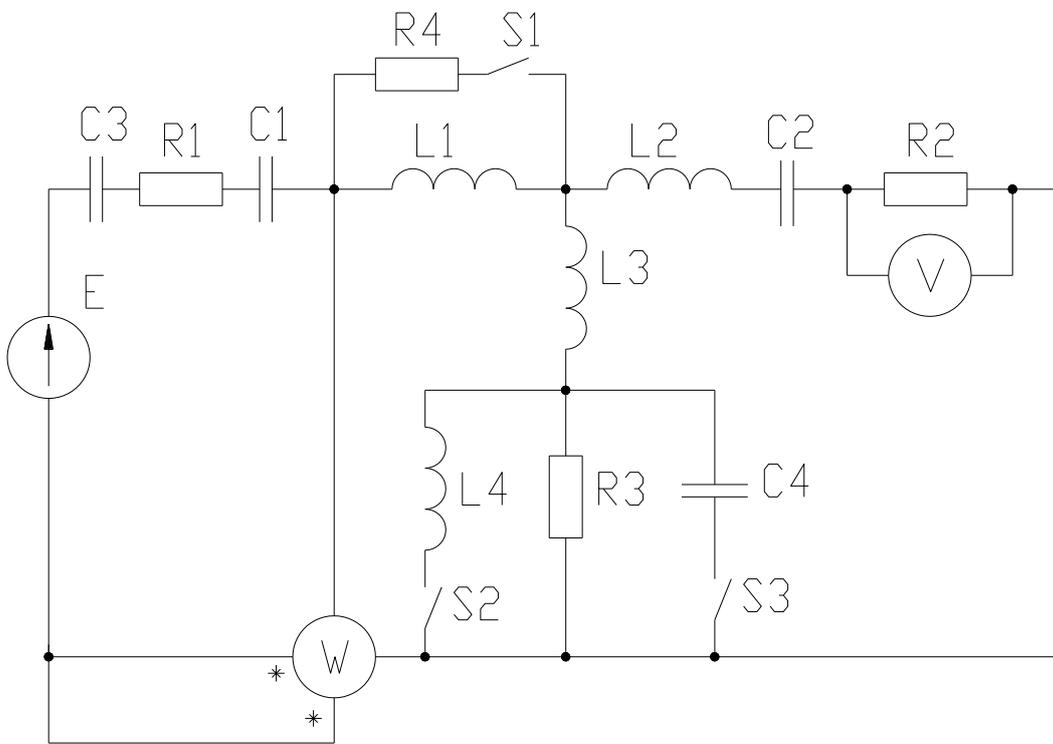


Рисунок 2.20

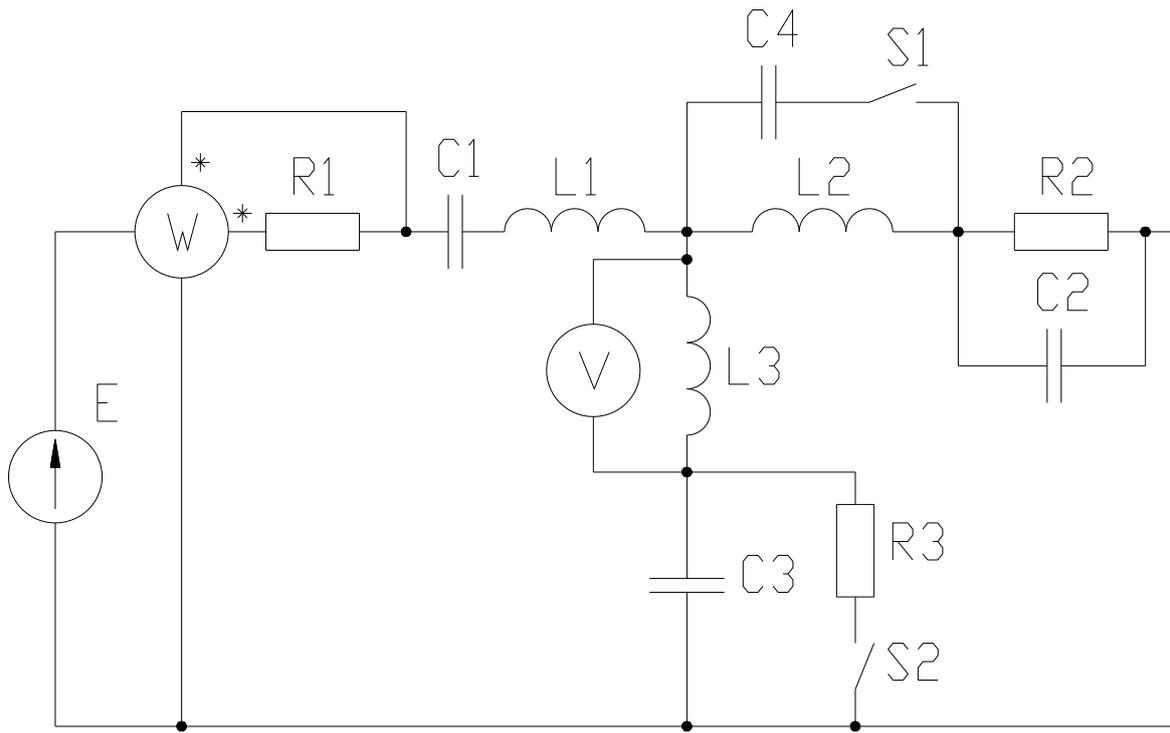


Рисунок 2.21

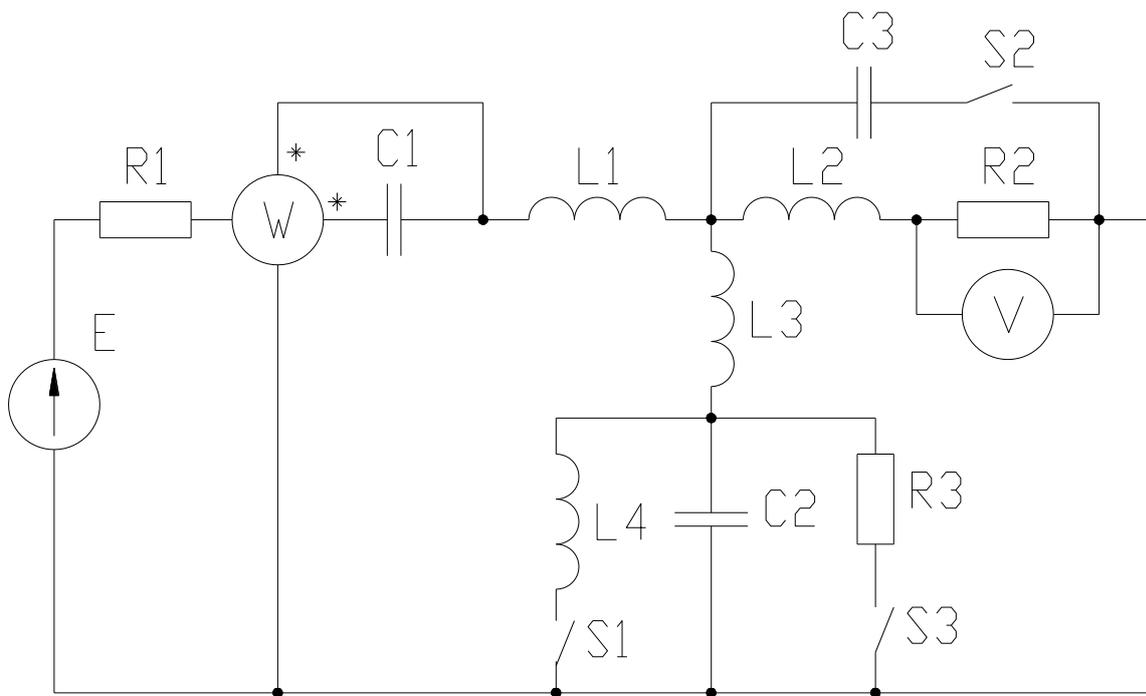


Рисунок 2.22

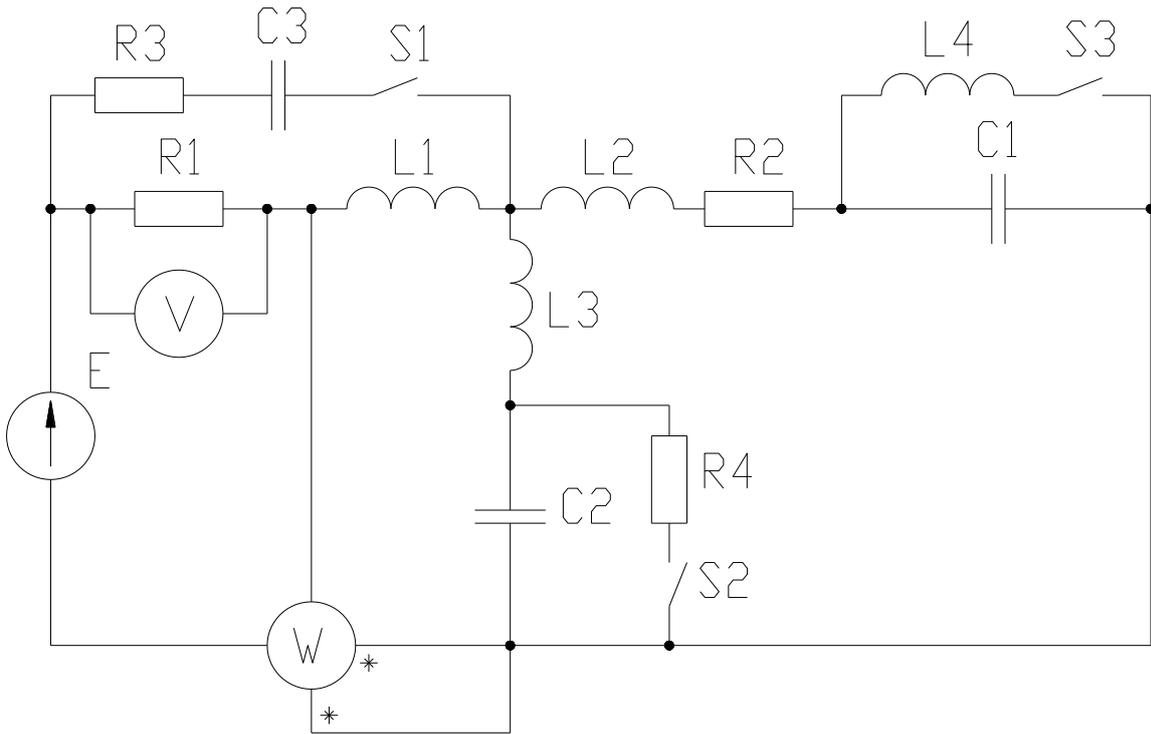


Рисунок 2.23

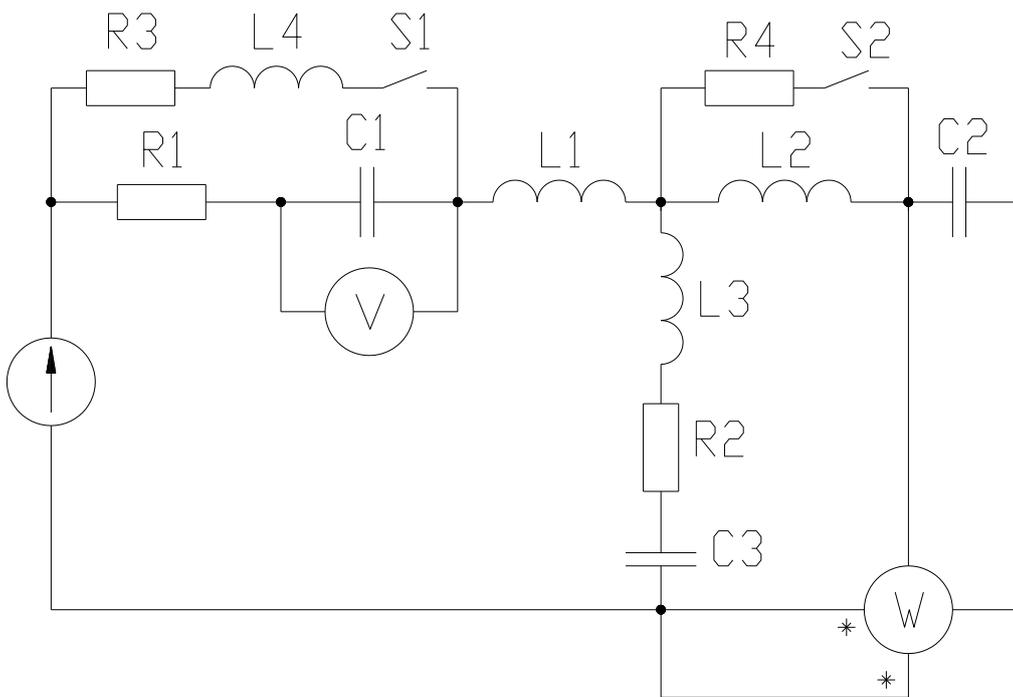


Рисунок 2.24

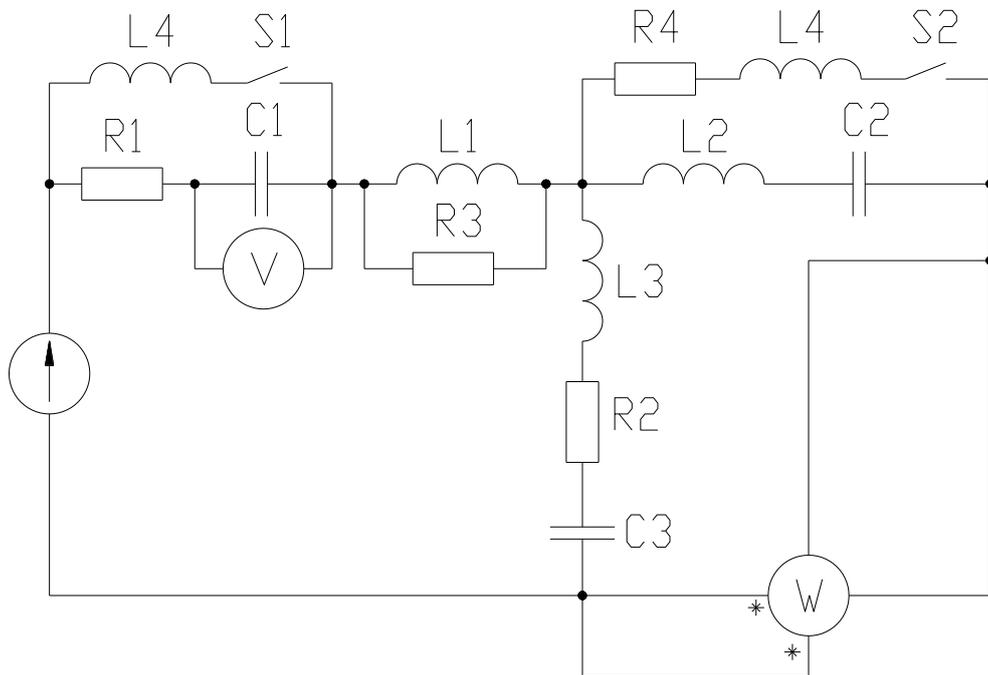


Рисунок 2.25

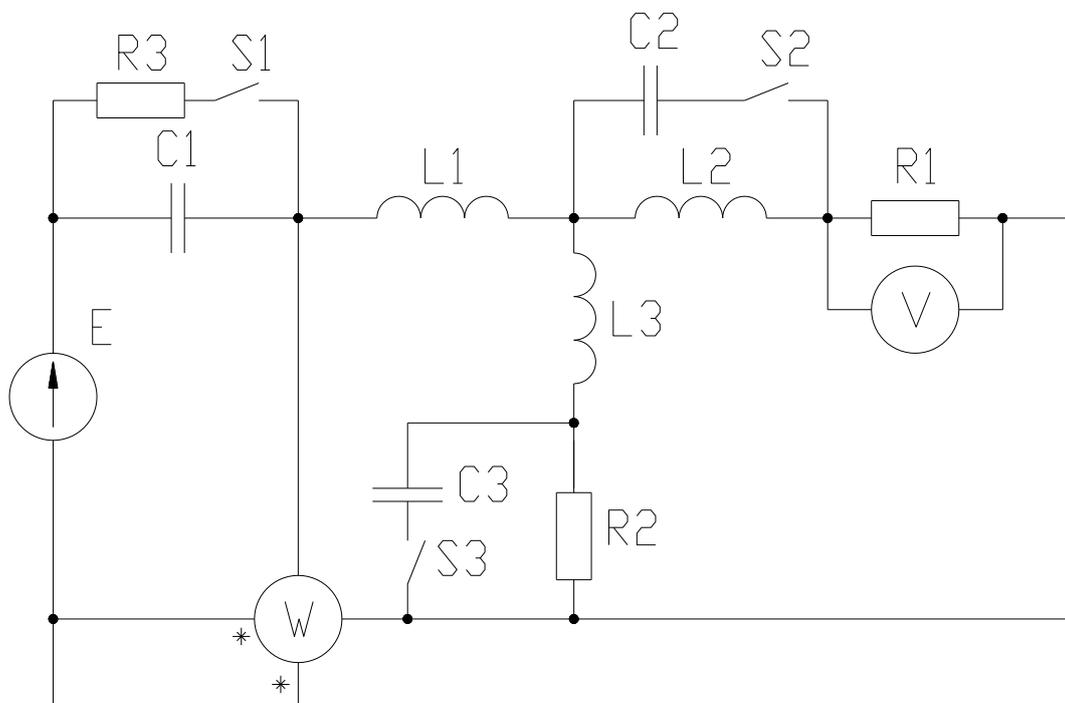


Рисунок 2.26

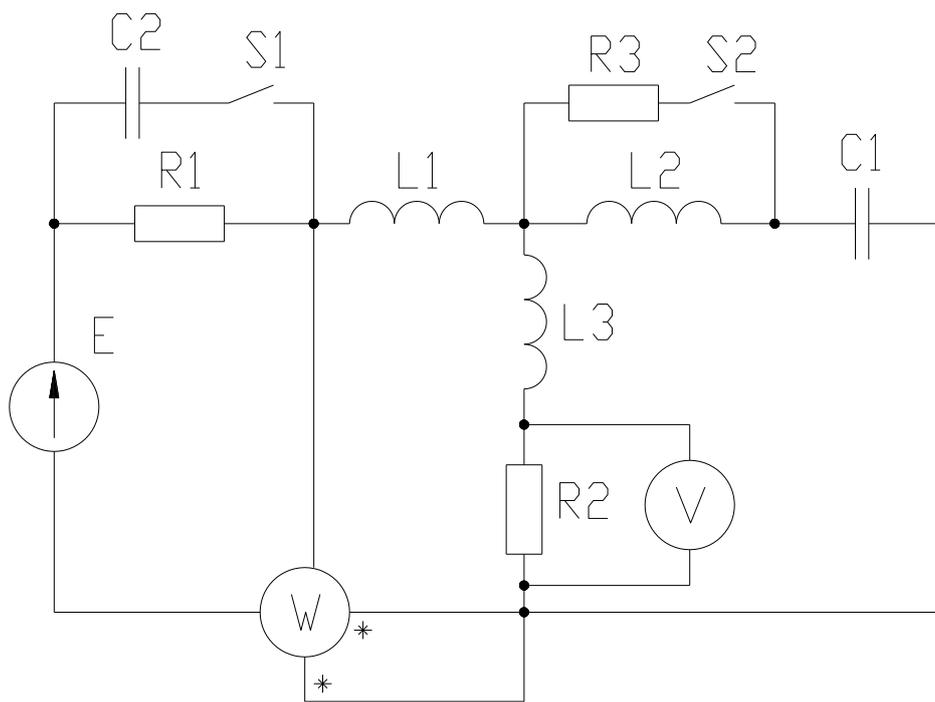


Рисунок 2.27

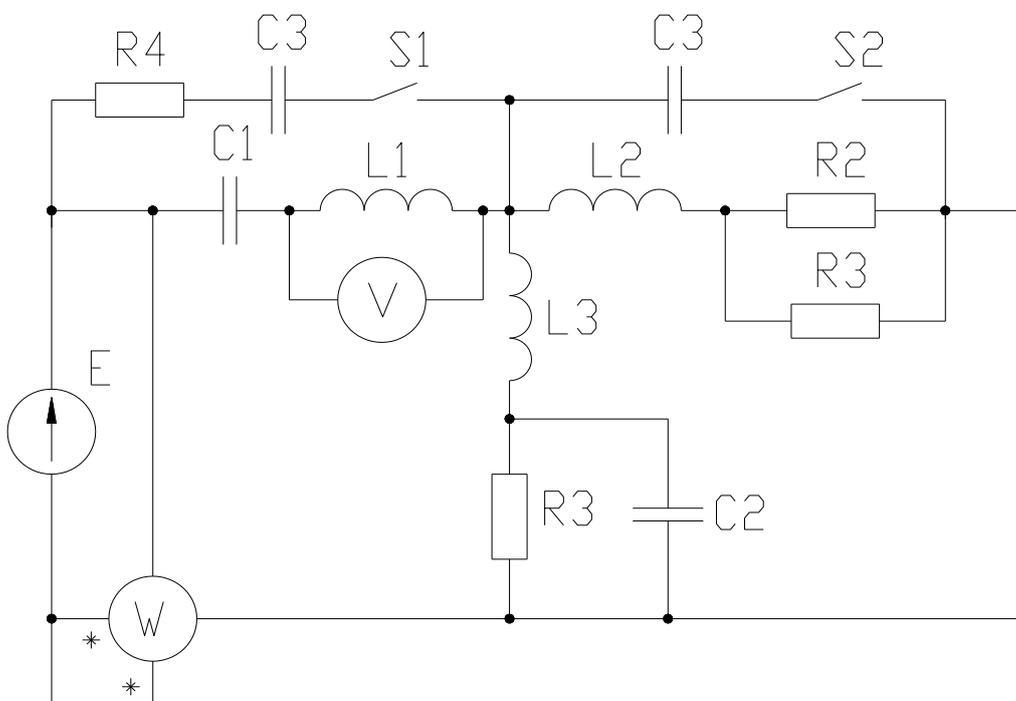


Рисунок 2.28

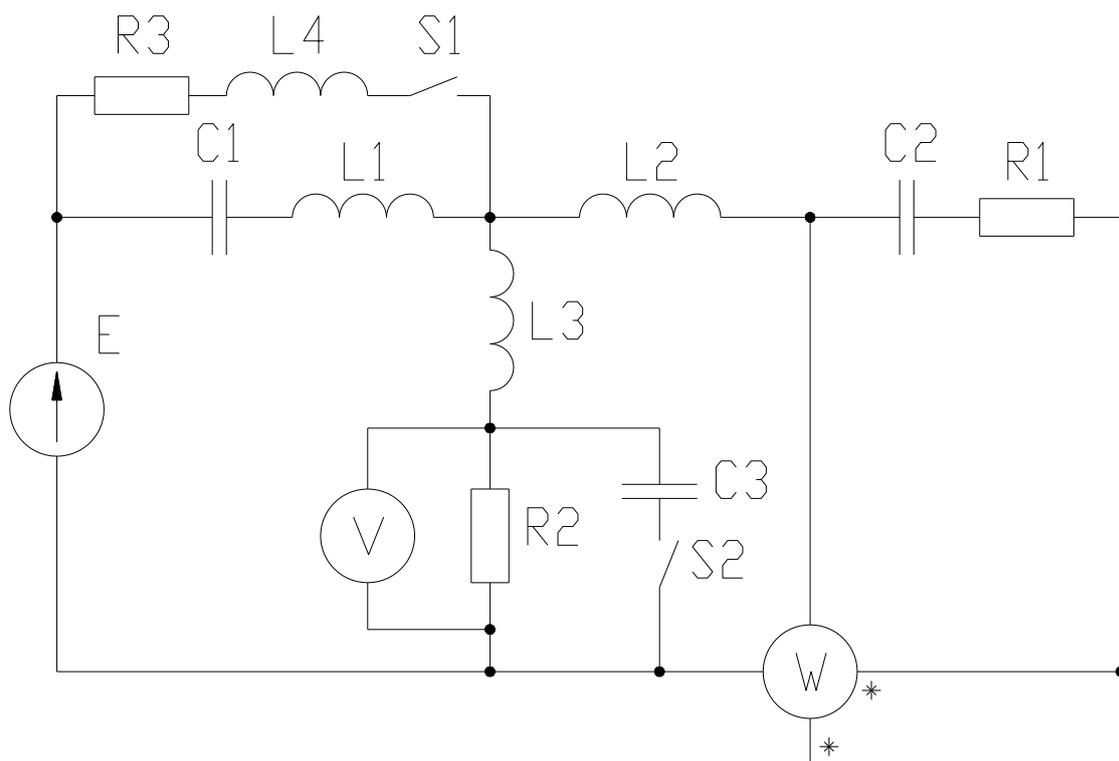


Рисунок 2.29

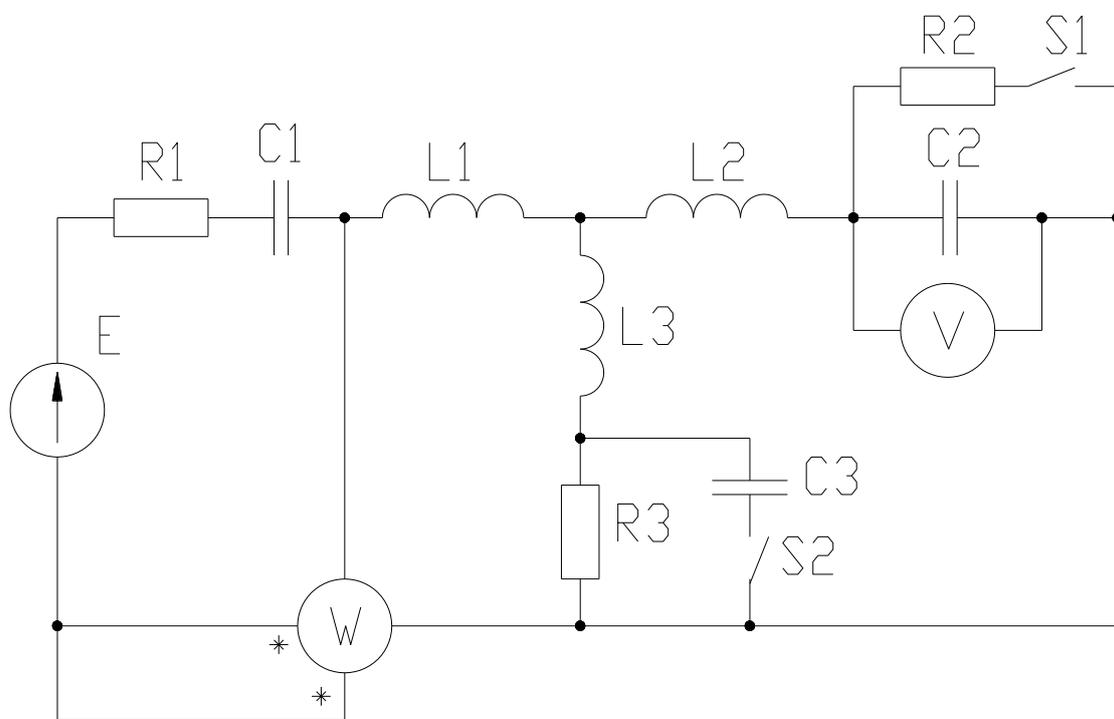


Рисунок 2.30

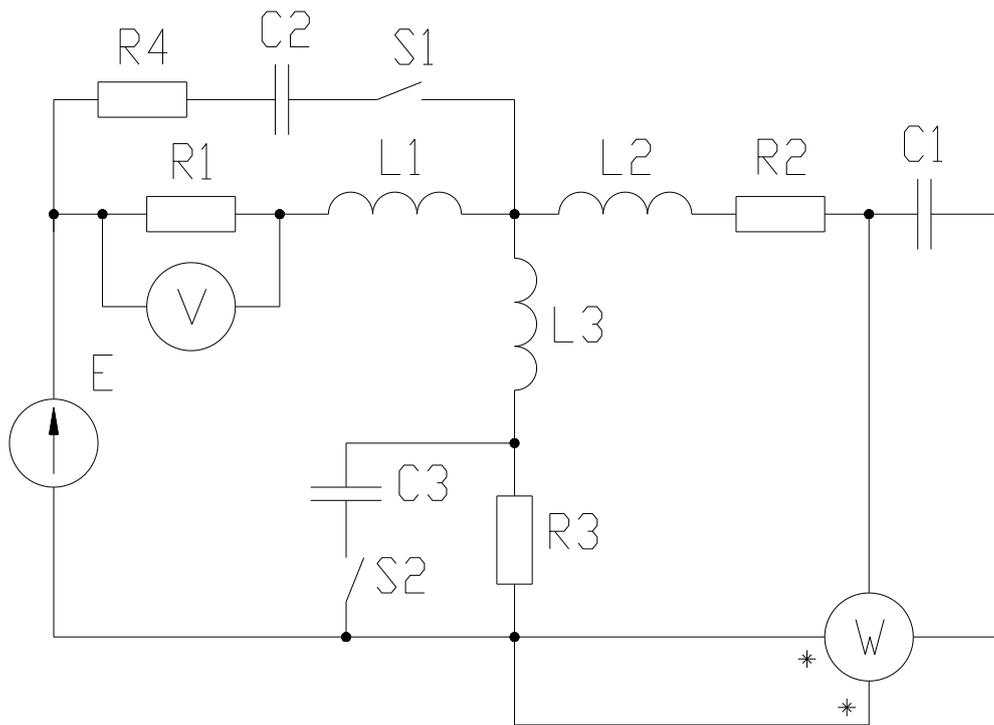


Рисунок 2.31

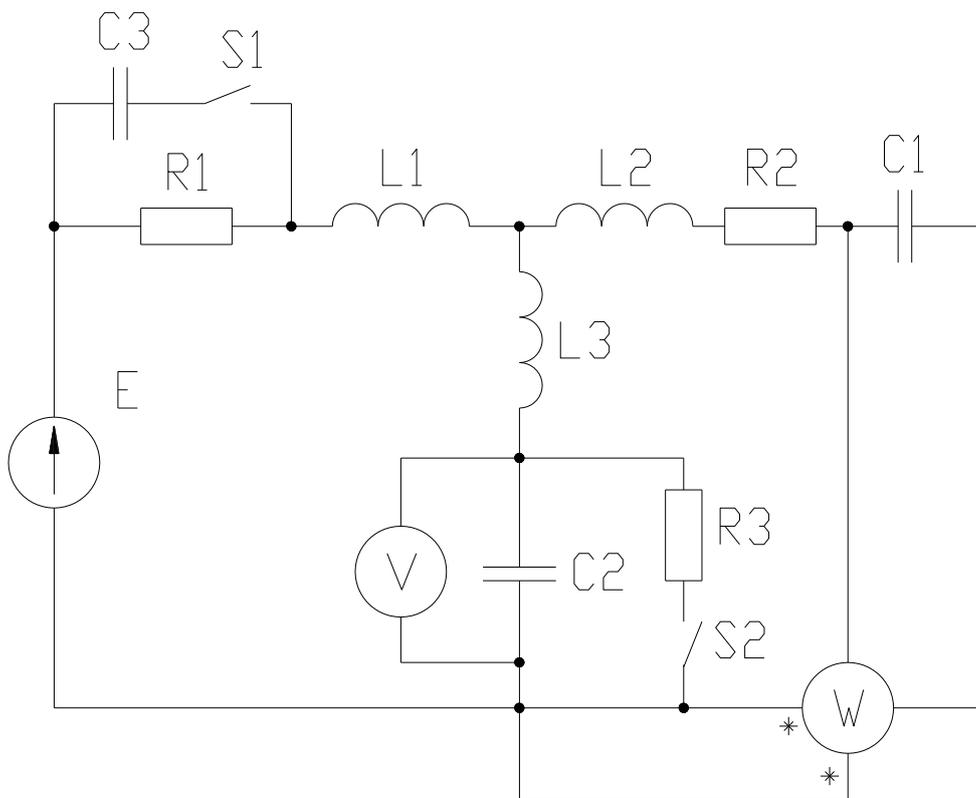


Рисунок 2.32

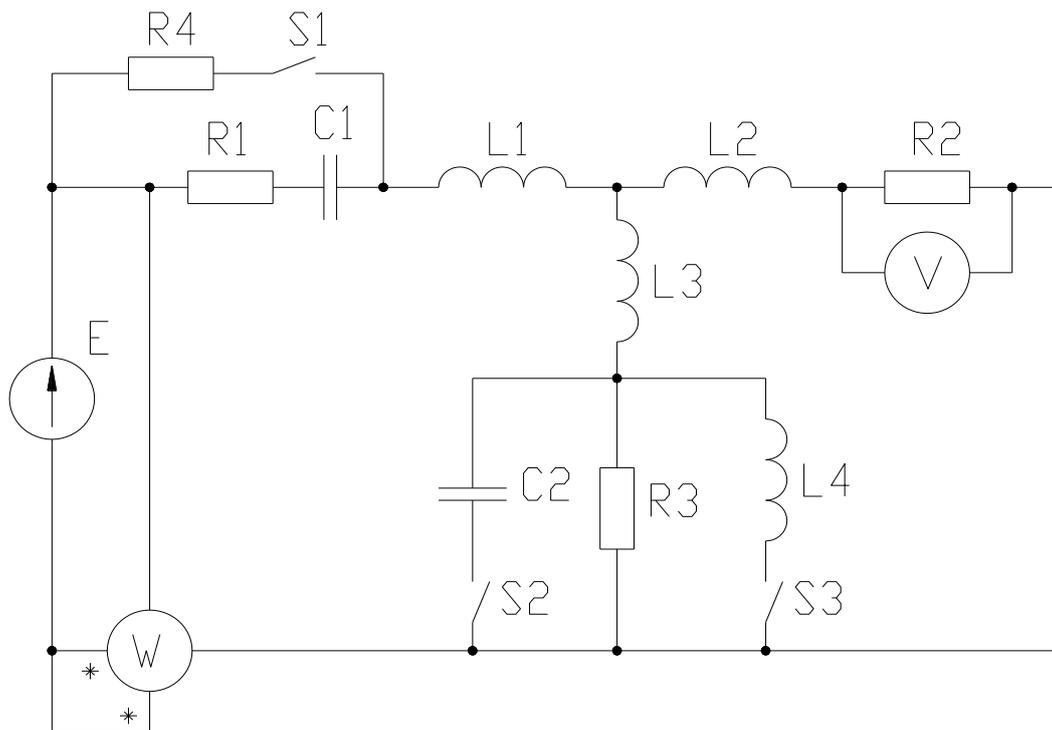


Рисунок 2.33

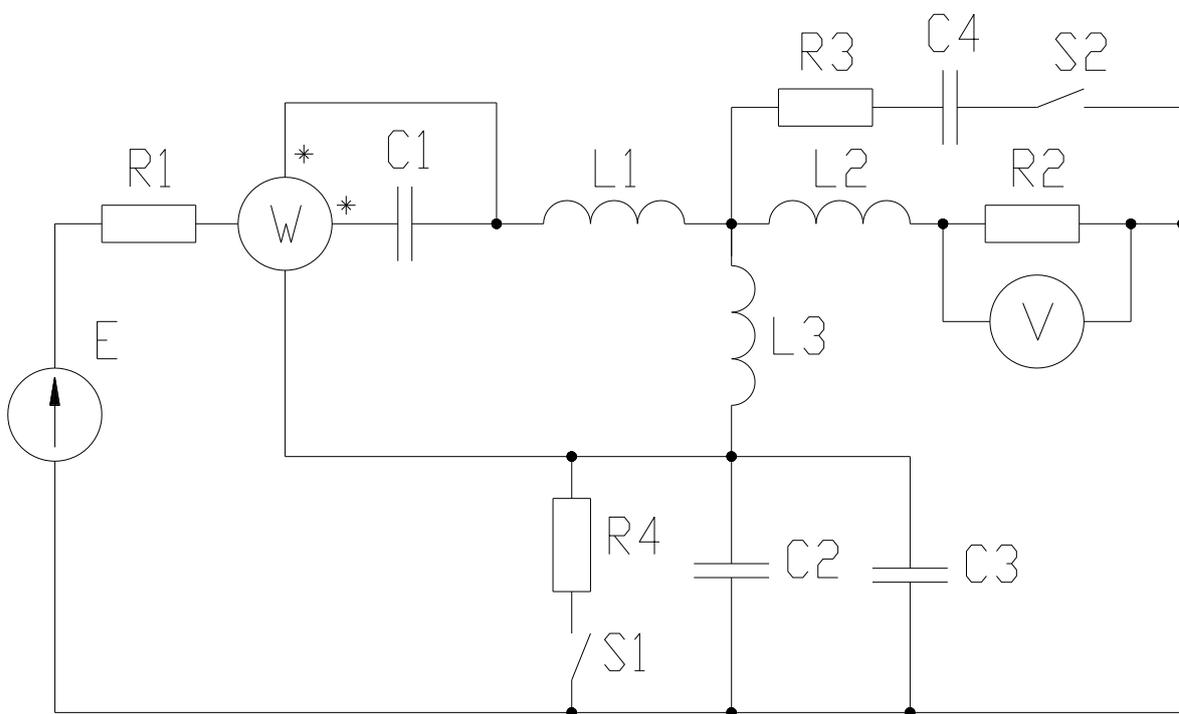


Рисунок 2.34

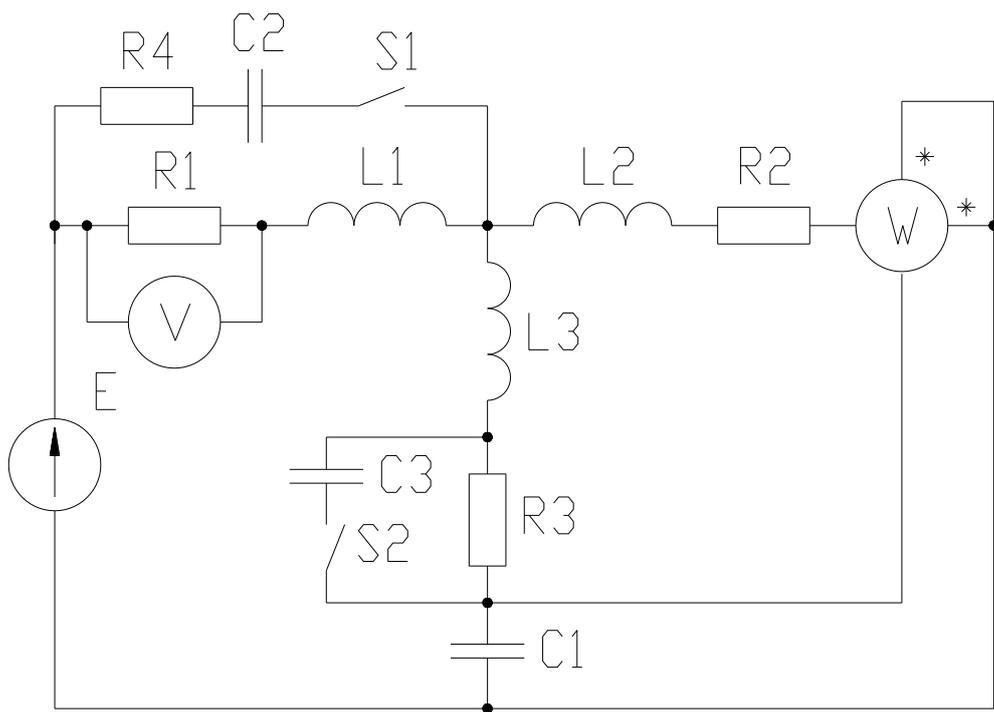


Рисунок 2.35

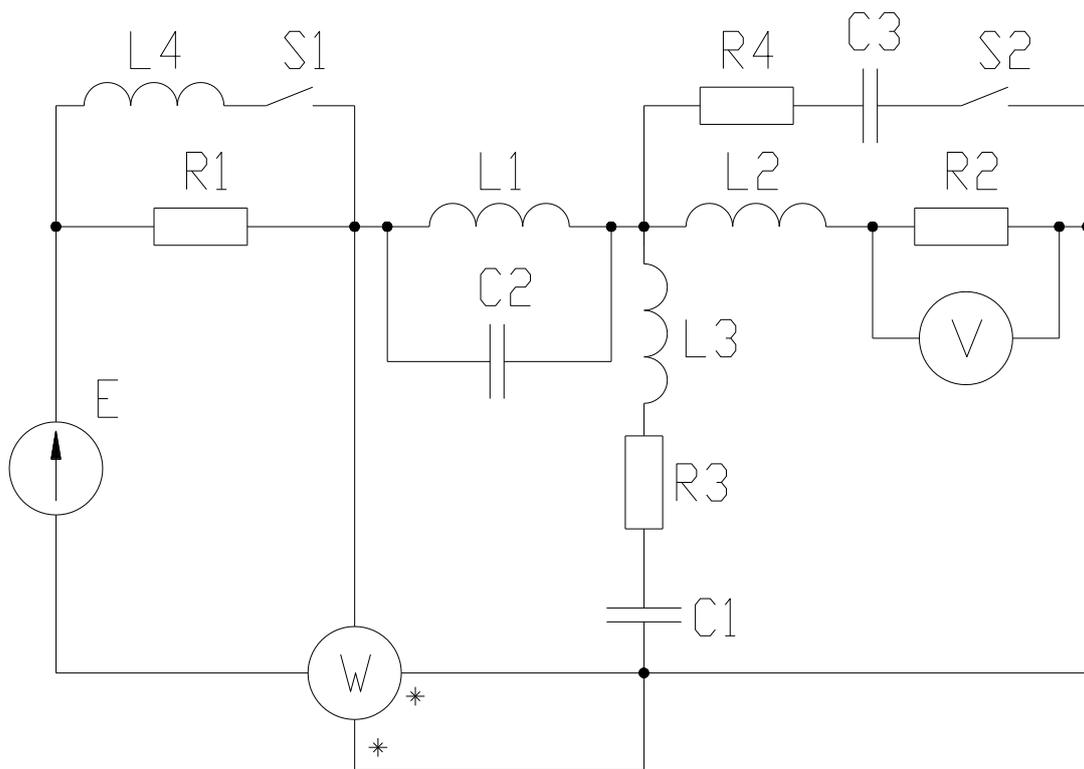


Рисунок 2.36

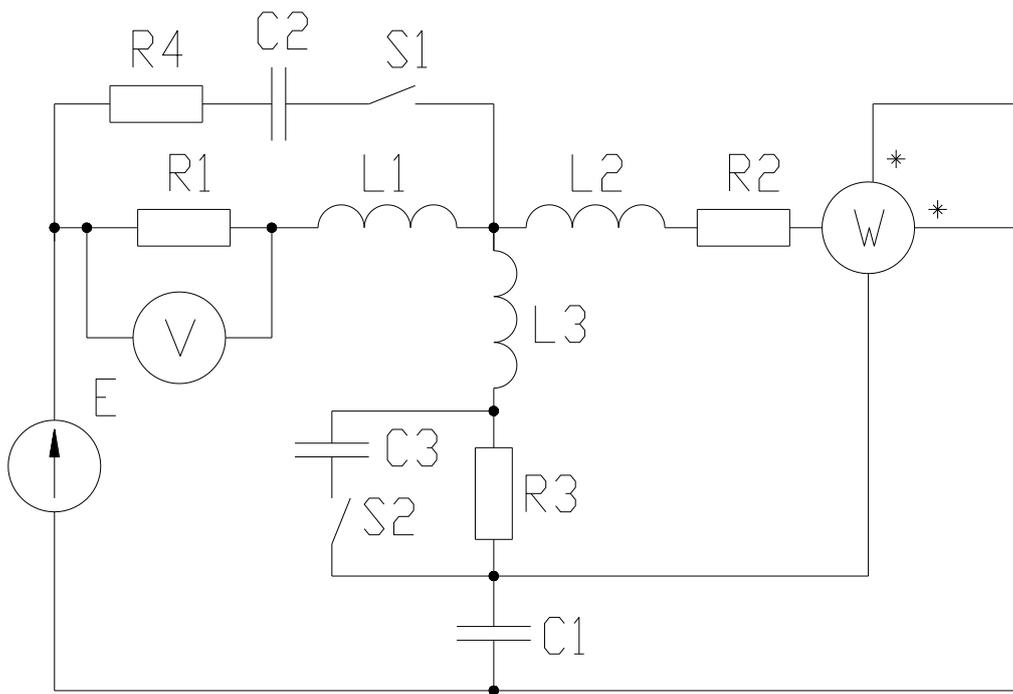


Рисунок 2.37

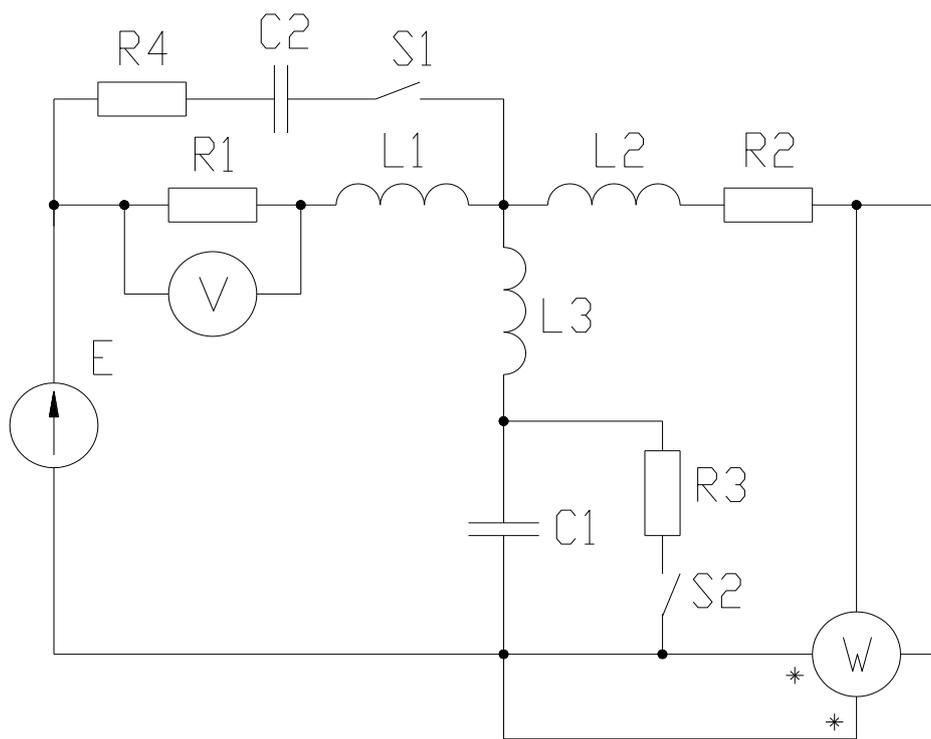


Рисунок 2.38

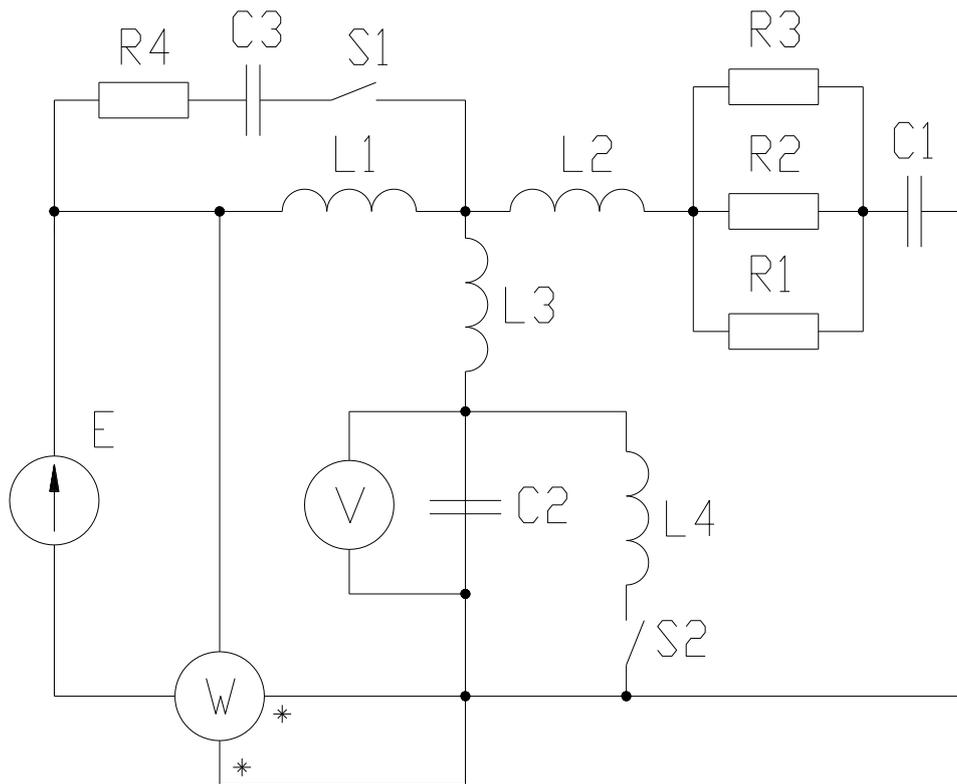


Рисунок 2.39

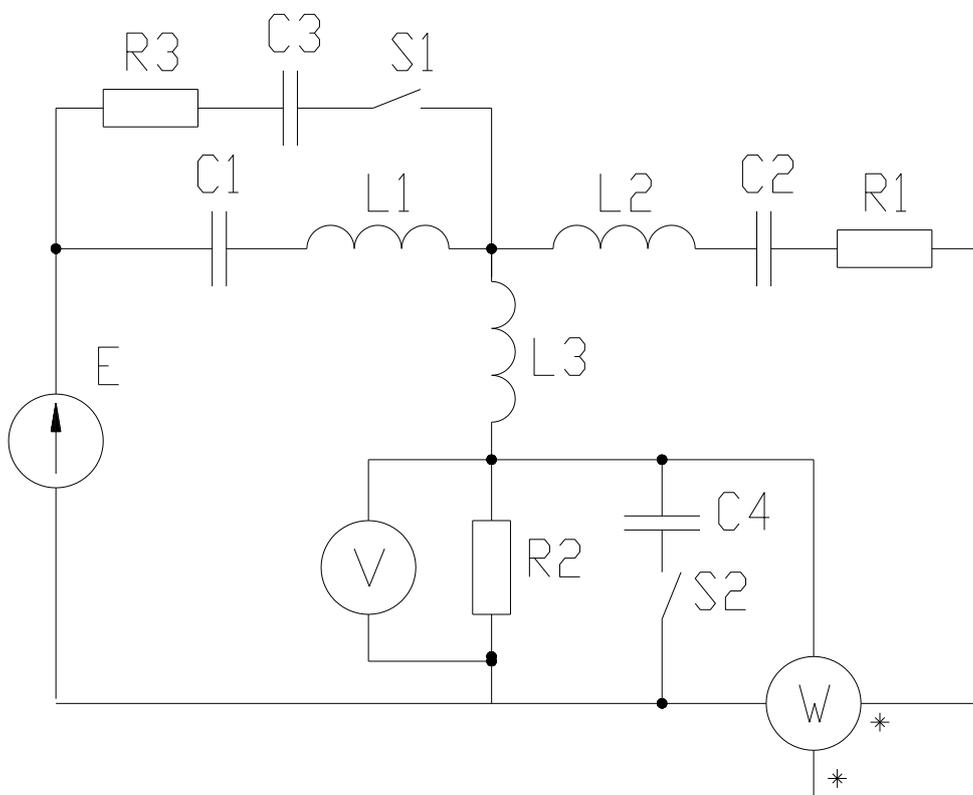


Рисунок 2.40

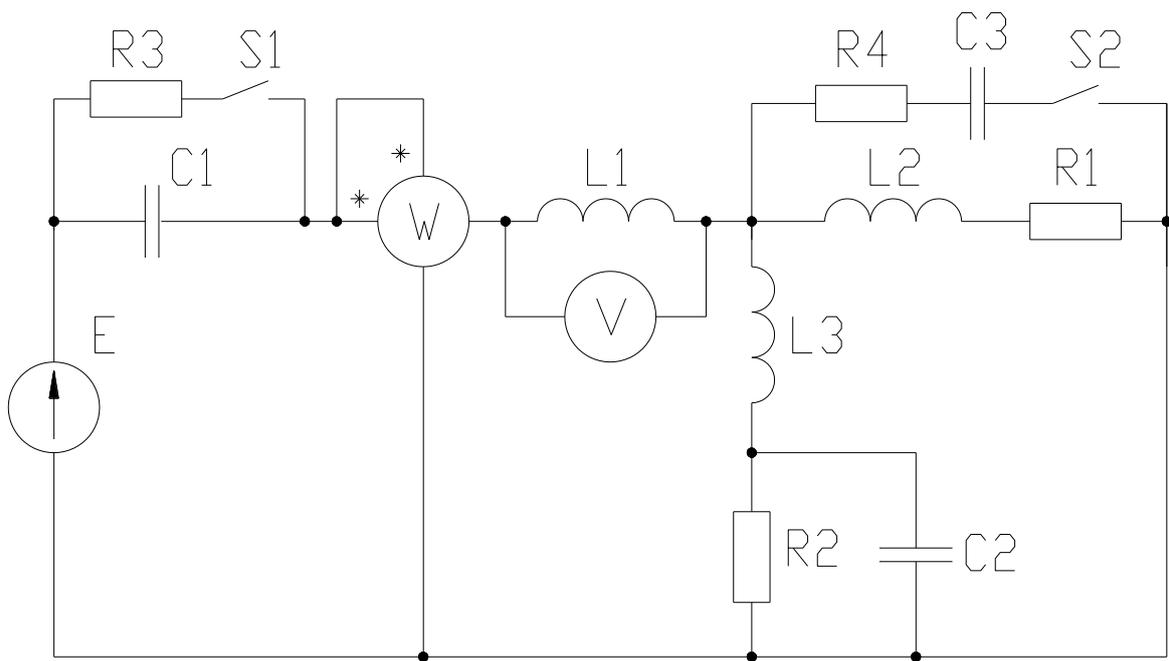


Рисунок 2.41

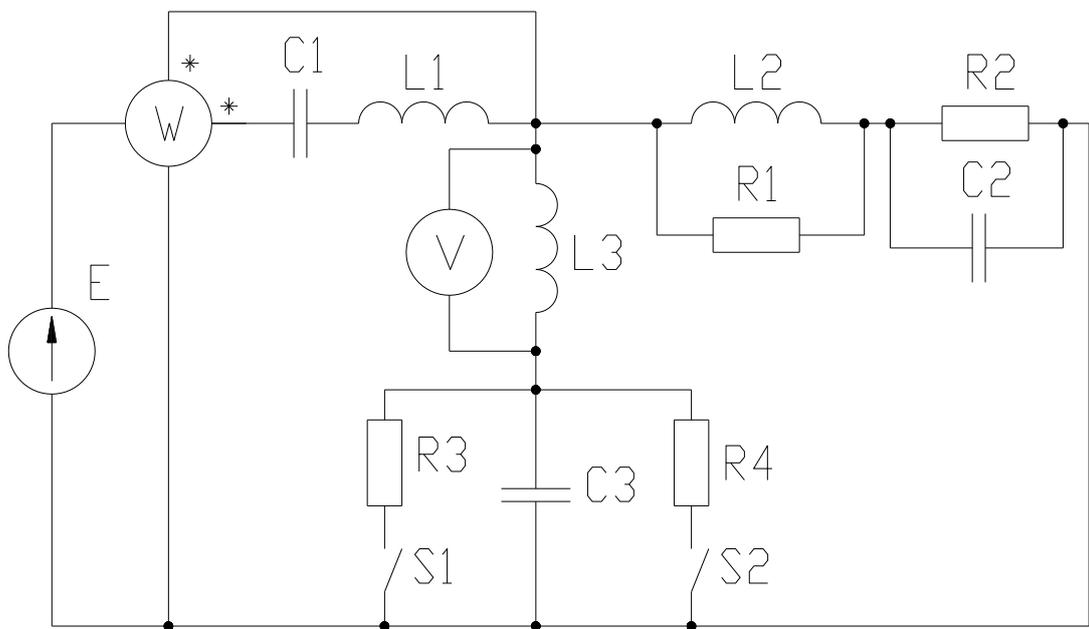


Рисунок 2.42

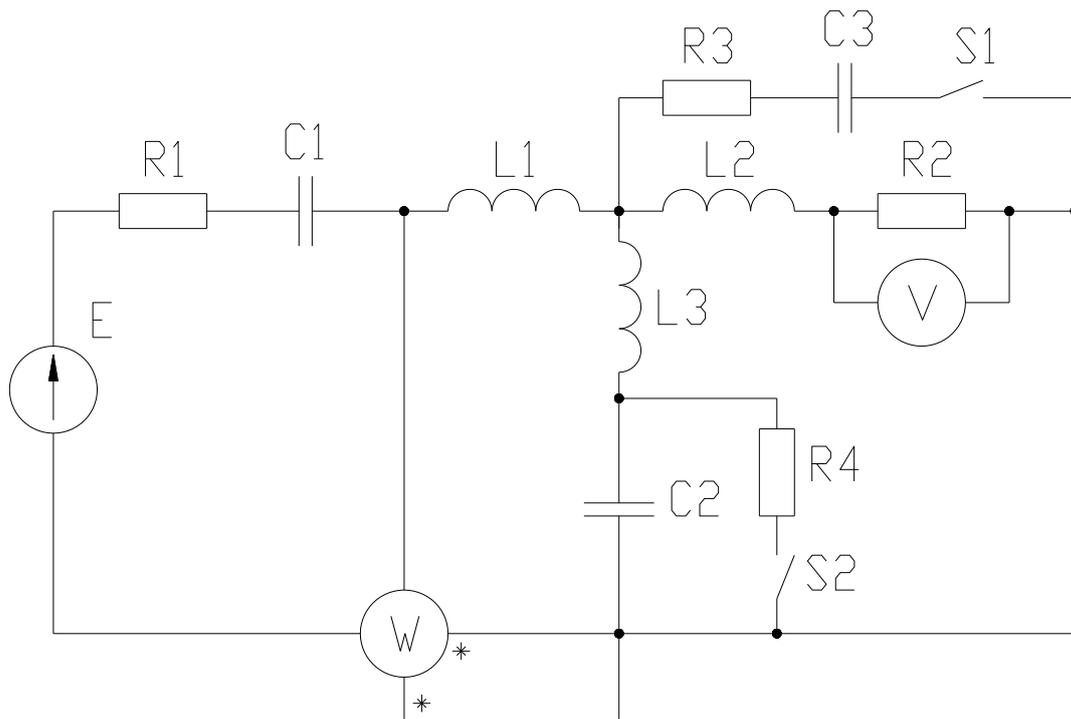


Рисунок 2.43

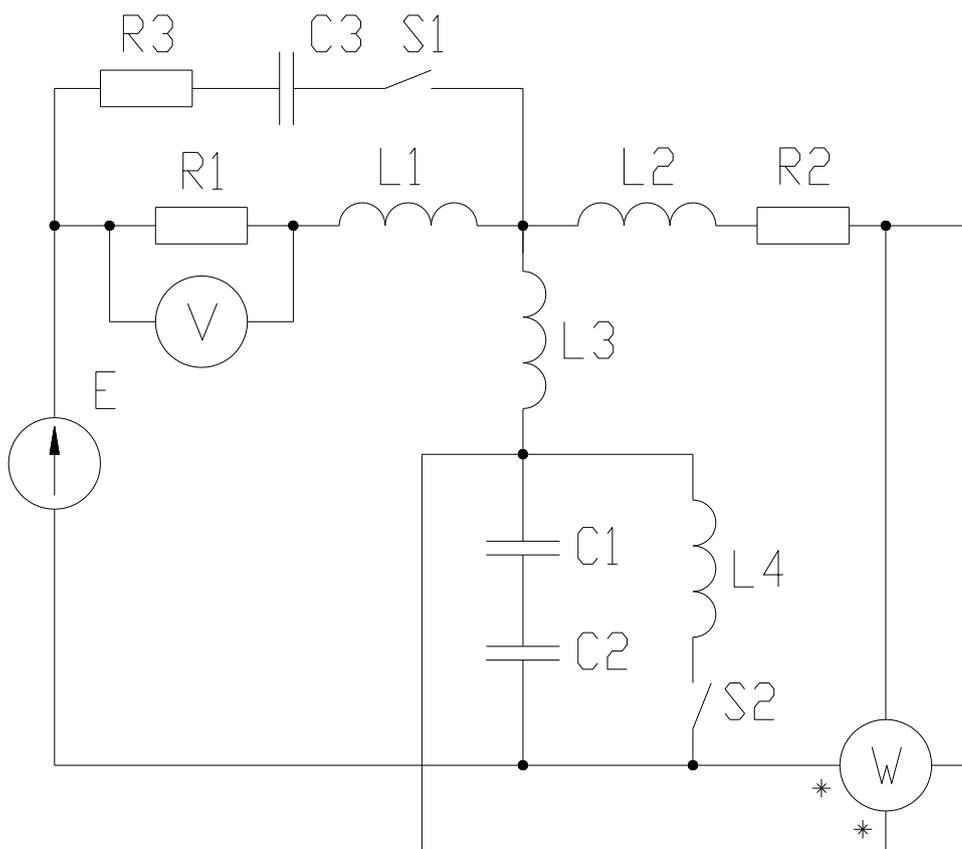


Рисунок 2.44

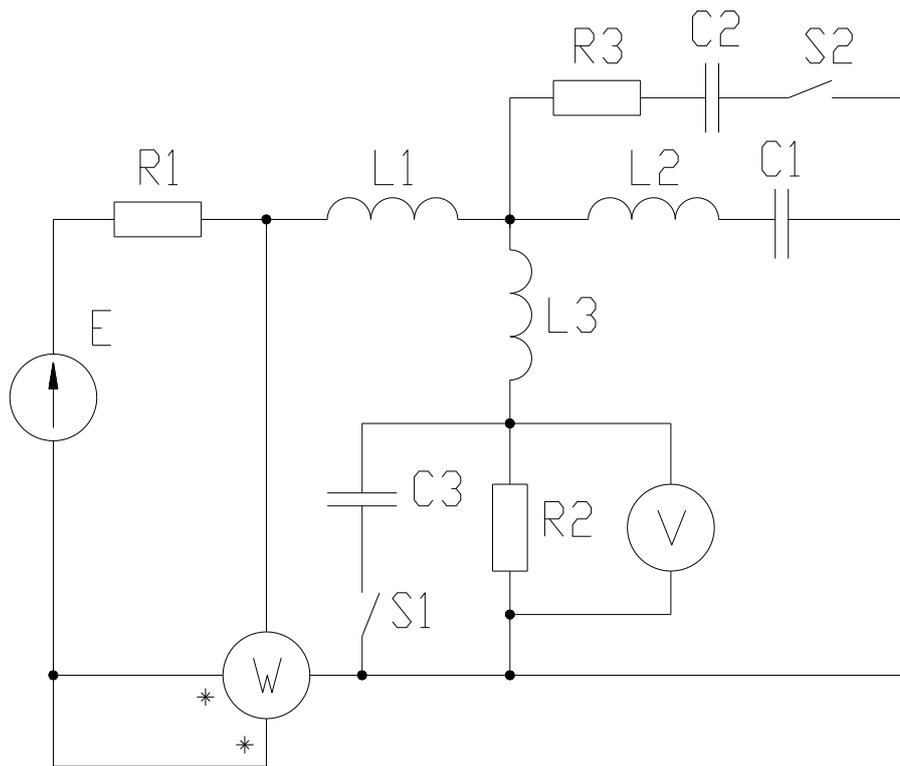


Рисунок 2.45

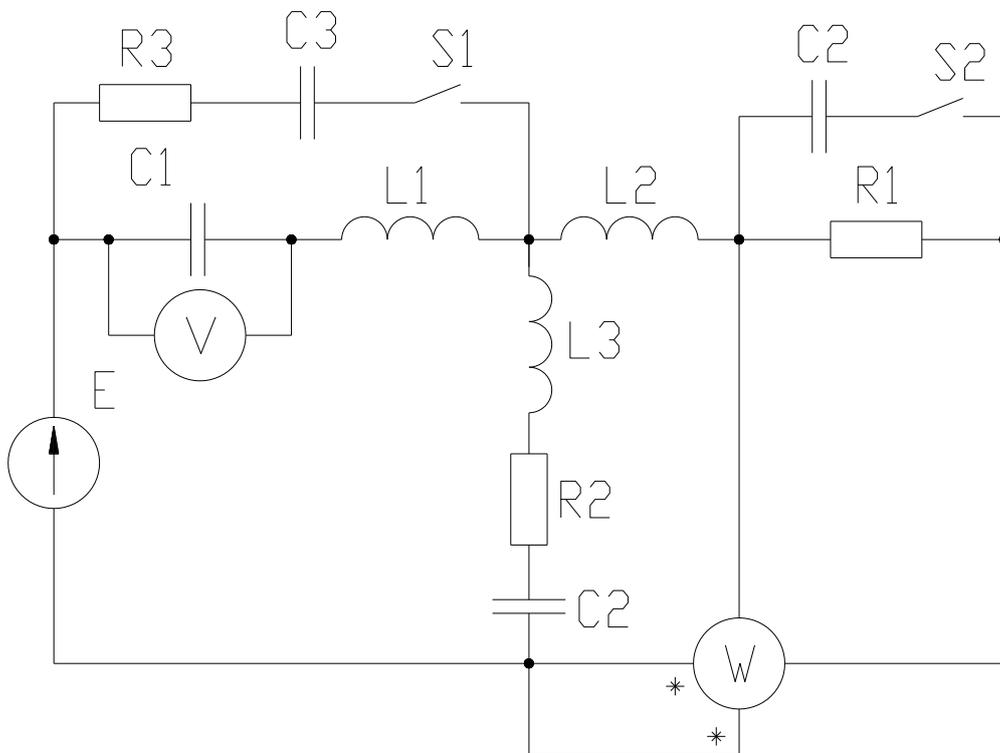


Рисунок 2.46

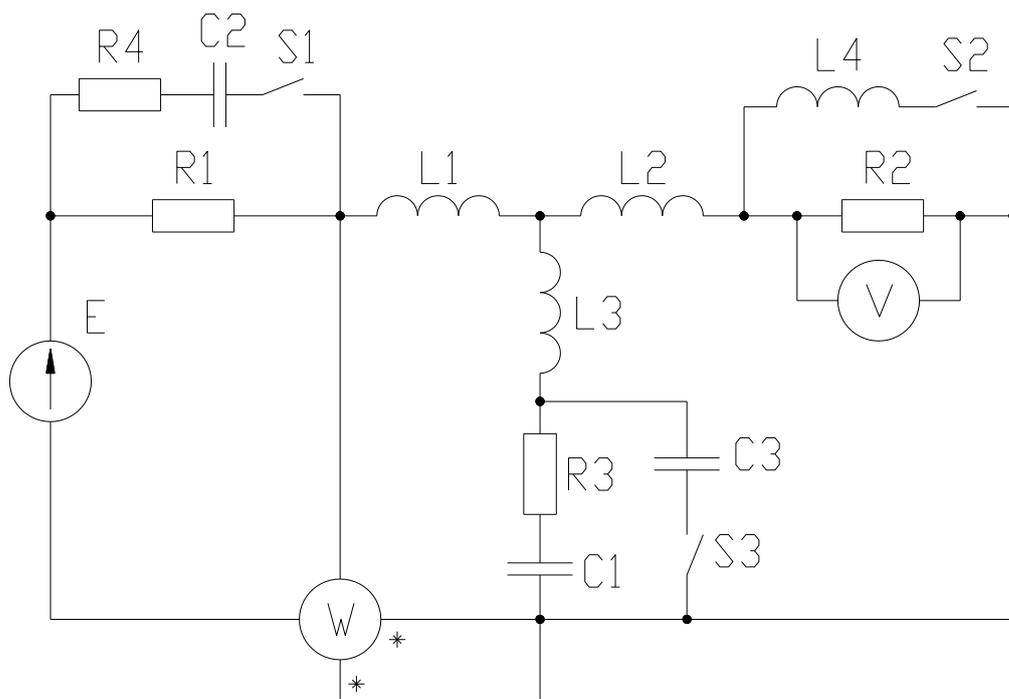


Рисунок 2.47

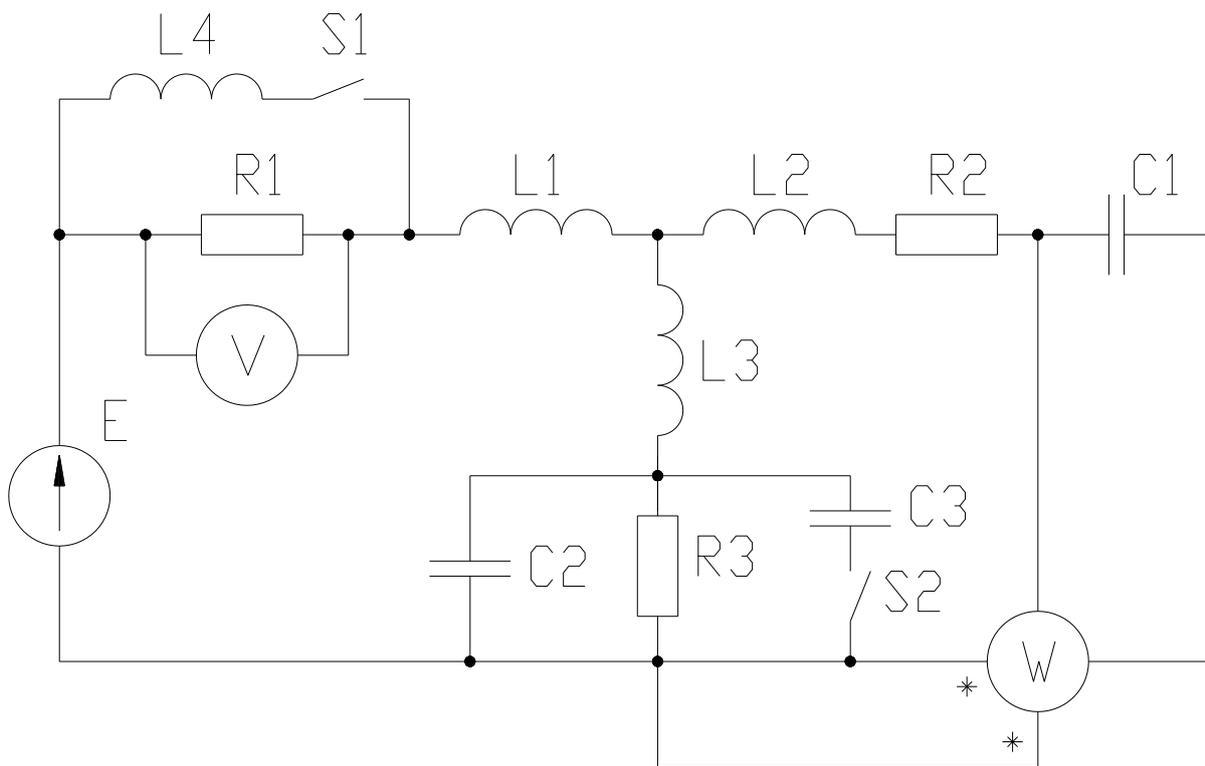


Рисунок 2.48

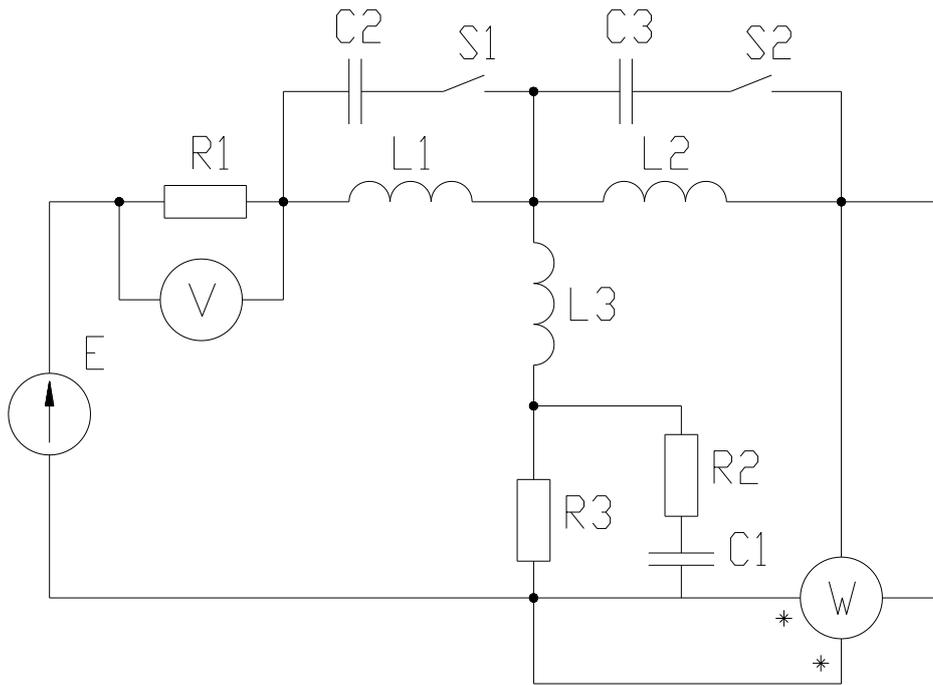


Рисунок 2.49

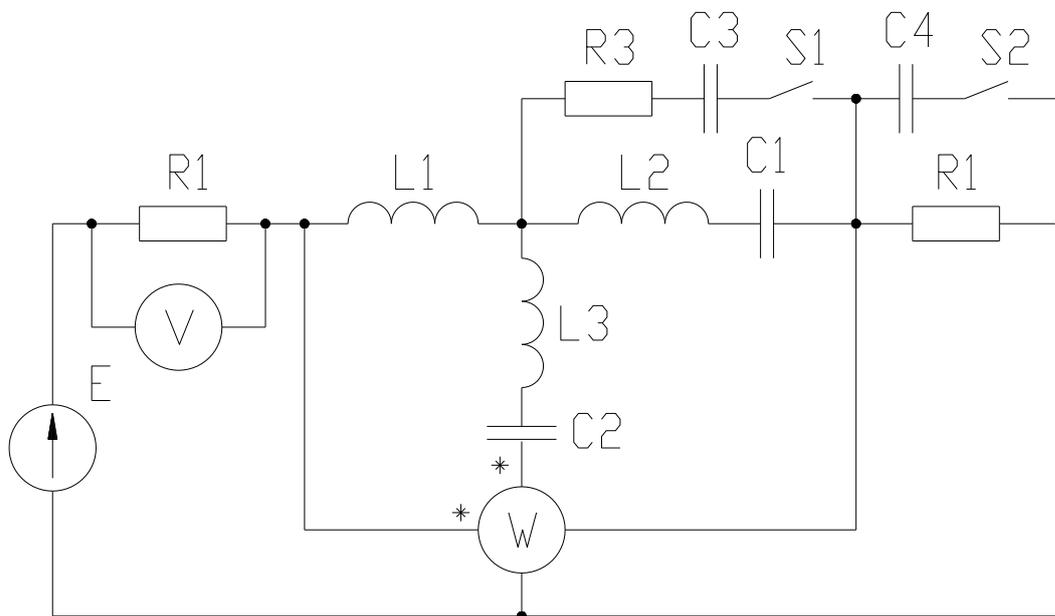


Рисунок 2.50

Примечание: В схемах на рисунках 2.1-2.50 выключатель S1 для вариантов (1-50) замкнут, для вариантов (51-100) разомкнут, Выключатель S2 для вариантов (1-50) разомкнут, для вариантов (51-100) – замкнут. Выключатель S3 – смотри таблицу 2.

Таблица 2

Вариант	Е, В	R1, Ом	L1, мГн	C1, мкФ	R2, Ом	L2, мГн	C2, мкФ	R3, Ом	L3, мГн	C3, мкФ	R4, Ом	L4, мГн	C4, мкФ	f, Гц	Ψ^0_E	Выключатель S3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	100	4	20	200	6	30	250	14	10	400	10	10	40	60	180	Замкнут
2	220	10	6	90	12	4	40	8	8	8	16	20	100	80	60	Разомкнут
3	240	30	3	10	30	10	140	24	2	20	20	30	200	90	30	Замкнут
4	280	20	10	50	24	8	30	16	4	10	6	15	250	70	40	Разомкнут
5	120	6	30	200	4	50	300	4	20	300	12	10	150	50	90	Замкнут
6	110	8	10	100	20	50	200	10	30	300	24	8	300	30	110	Разомкнут
7	140	6	40	300	8	10	200	26	60	200	4	40	50	40	120	Замкнут
8	100	4	30	300	4	40	200	30	20	400	8	6	150	35	130	Разомкнут
9	240	10	2	20	14	8	100	4	5	50	30	20	400	45	140	Замкнут
10	200	12	4	40	8	6	80	6	4	36	18	4	350	50	150	Разомкнут
11	110	14	10	100	20	50	200	10	30	300	24	8	300	55	160	Разомкнут
12	140	18	40	300	8	10	200	28	60	200	4	40	50	60	170	Замкнут
13	100	16	30	300	4	40	200	8	20	400	8	6	150	65	180	Разомкнут
14	240	20	2	20	14	8	100	4	5	50	30	20	400	70	190	Замкнут
15	200	22	4	40	8	6	80	6	4	36	16	4	350	75	200	Разомкнут
16	110	30	10	100	20	50	200	10	30	300	24	8	300	80	10	Разомкнут
17	140	6	40	300	8	10	200	26	60	200	4	40	50	35	20	Замкнут
18	100	10	30	300	4	40	200	3	20	400	8	6	150	40	30	Разомкнут
19	240	12	2	20	14	8	100	4	5	50	30	20	400	45	90	Замкнут
20	200	8	4	40	8	6	80	6	4	36	28	4	350	50	100	Разомкнут
21	110	24	10	100	18	50	200	10	30	300	24	8	350	80	210	Разомкнут
22	140	26	40	300	8	10	200	66	60	200	6	40	50	75	220	Замкнут
23	160	28	30	200	4	40	200	24	20	400	8	6	150	60	230	Разомкнут
24	240	30	2	20	14	8	180	4	5	50	30	20	400	55	240	Замкнут
25	220	4	4	40	8	6	80	6	4	36	22	4	350	50	250	Разомкнут
26	160	6	20	200	12	30	250	22	10	400	10	10	40	45	260	Замкнут
27	220	10	6	90	12	4	40	8	8	8	16	25	100	40	270	Разомкнут
28	240	8	3	10	30	10	140	24	2	80	20	30	200	35	280	Замкнут
29	280	12	10	50	24	8	30	16	4	10	6	15	250	30	290	Разомкнут
30	210	14	30	200	4	50	300	4	20	300	12	10	150	80	300	Замкнут
31	100	16	20	200	14	30	240	20	10	400	10	10	40	30	310	Замкнут
32	220	18	6	60	12	4	40	8	8	8	16	20	100	75	320	Разомкнут
33	240	20	3	10	30	10	140	24	2	20	20	30	200	35	330	Замкнут
34	280	22	10	50	24	8	30	16	4	10	6	15	250	70	340	Разомкнут
35	120	28	30	300	4	50	300	4	20	300	30	10	150	40	350	Замкнут
36	110	30	10	100	20	50	200	10	30	300	24	8	300	65	360	Разомкнут
37	140	12	40	300	8	10	200	18	60	200	4	40	50	35	5	Замкнут
38	100	22	30	300	4	40	200	16	20	400	8	6	150	60	15	Разомкнут
39	240	4	20	20	14	8	100	4	5	250	30	20	400	30	25	Замкнут

Вариант	E, В	R1, Ом	L1, мГн	C1, мкФ	R2, Ом	L2, мГн	C2, мкФ	R3, Ом	L3, мГн	C3, мкФ	R4, Ом	L4, мГн	C4, мкФ	f, Гц	Ψ_E^0	Выключатель S3
40	200	14	50	40	8	6	80	6	4	350	14	4	350	55	35	Разомкнут
41	160	16	20	200	30	30	240	6	10	400	20	10	40	50	45	Замкнут
42	220	18	6	80	12	4	40	8	10	8	16	20	150	35	55	Разомкнут
43	240	20	3	10	30	10	140	22	2	20	20	30	200	45	65	Замкнут
44	280	22	10	50	24	40	30	16	4	10	6	15	250	55	75	Разомкнут
45	120	28	30	250	4	50	300	4	20	300	30	10	150	65	85	Замкнут
46	110	30	10	100	20	50	200	10	30	300	24	8	100	75	95	Разомкнут
47	140	12	40	200	8	10	40	26	60	200	4	40	50	80	105	Замкнут
48	100	24	30	300	4	40	200	18	20	400	8	6	150	70	180	Разомкнут
49	240	4	20	20	14	8	100	4	5	250	30	20	400	60	125	Замкнут
50	200	16	50	40	8	6	80	6	4	350	14	4	60	50	135	Разомкнут

Задача 3. Расчет трехфазной электрической сети

В трехфазную электрическую сеть большой мощности необходимо включить однофазные и трехфазные приемники, параметры которых приведены в таблицах 3.1, 3.2.

Требуется:

1. Согласно своему варианту выбрать электрические приемники, которые могут быть включены в данную электрическую сеть (табл. 3.1, 3.2).
2. Составить схему включения однофазных и трехфазных приемников электрической энергии в заданную электрическую сеть.
3. Определить токи приемников (фазные, линейные).
4. Определить линейные токи в проводах электросети.
5. Составить баланс активной мощности.
6. Определить и оценить коэффициент активной мощности $\cos\varphi$ на входе цепи. Если коэффициент мощности $\cos\varphi$ ниже 0,95 при нагрузке активно-индуктивного характера, рассчитать мощность и емкость батареи конденсаторов, которую необходимо подключить к трехфазной сети для компенсации реактивной мощности и повышения коэффициента мощности до значения 0,95.
7. Построить векторную диаграмму линейных напряжений и токов на входе приемников электрической энергии и всей цепи.

Методические указания к решению задачи

1. Комплексные значения токов в линейных проводах сети определяются как сумма комплексных значений линейных токов всех приемников.

2. Коэффициент активной мощности на входе электрической нагрузки определяется как отношение активной мощности P_H к полной мощности S_H :

$$\cos\phi_H = \frac{P_H}{S_H}.$$

3. Мощность конденсаторных батарей определяется по формуле

$$Q_K = P_H (tg\phi_H - tg\phi_3),$$

где $tg\phi_H = \frac{Q_H}{P_H}$ – коэффициент реактивной мощности цепи ($tg\phi_3 = 0,33$, если коэффициент активной мощности $\cos\phi=0,95$);

4. Емкость батареи конденсаторов определяется по формуле

$$C = \frac{Q_K}{U^2 \omega},$$

где U -линейное напряжение сети, В;

$\omega = 2\pi f$ - угловая частота.

Батарею конденсаторов соединить по схеме «треугольник» и подключить к трехфазной сети. Пояснить, почему соединение конденсаторных батарей в «треугольник» целесообразнее экономически и технически, чем соединение в «звезду».

После компенсации реактивной мощности полная мощность определится по формуле, кВ А

$$S = \sqrt{P_H^2 + (Q_H - Q_K)^2}.$$

Таблица 3.1 – Режимы однофазных электрических нагрузок

Вариант	Характеристика сети	Однофазные приемники					
		№1			№2		
		U_H , В	S_H , кВА	$\cos\phi_H$	U_H , В	S_H , кВА	$\cos\phi_H$
1	Трехпроводная 380/220 В	220	11,0	0,9	380	18,0	1,0 акт.

Вариант	Характеристика сети	Однофазные приемники					
		№1			№2		
		U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$	U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$
2	Трехпроводная 220/127 В	220	16,0	0,92 емк.	127	11,0	0,0 инд.
3	Четырехпроводная 220/127 В	127	7,5	0,8 инд.	380	14,0	1,0 акт.
4	Трехпроводная 220/127 В	220	12,0	1,0 акт.	220	20,0	1,0 акт.
5	Трехпроводная 380/220 В	380	5,0	0,0 емк.	380	15,0	1,0 акт.
6	Четырехпроводная 380/220 В	127	10,0	1,0 акт.	220	16,0	0,7 инд.
7	Трехпроводная 220/127 В	220	22,0	0,9 инд.	220	15,0	1,0 акт.
8	Четырехпроводная 220/127 В	127	7,2	1,0 акт.	380	3,7	0,8 акт.
9	Четырехпроводная 220/127 В	127	5,0	1,0 акт.	220	8,8	0,8 инд.
10	Четырехпроводная 380/220 В	220	6,0	1,0 акт.	220	8,7	0,8 инд.
11	Трехпроводная 380/220 В	380	3,8	0,8 емк.	220	7,0	0,0 инд.
12	Четырехпроводная 220/127 В	220	3,0	1,0 акт.	220	10,0	0,6 емк.
13	Четырехпроводная 380/220 В	380	15,0	1,0 акт.	220	17,0	0,6 емк.
14	Четырехпроводная 220/127 В	127	3,75	0,8 инд.	220	2,0	1,0 акт.
15	Четырехпроводная 380/220 В	127	12,5	0,8 инд.	220	12,0	1,0 акт.
16	Четырехпроводная 380/220 В	220	15,0	1,0 акт.	220	11,0	0,6 емк.
17	Трехпроводная 280/220 В	380	12,0	1,0 акт.	220	4,0	0,0 инд.
18	Трехпроводная 220/127 В	127	4,0	0,0 емк.	220	8,7	0,8 емк.
19	Трехпроводная 220/127 В	220	11,8	0,8 инд.	127	12,0	0,0 емк.
20	Четырехпроводная 220/127 В	220	18,8	0,8 емк.	127	21,5	0,7 инд.
21	Четырехпроводная 380/220 В	380	12,0	0,0 емк.	220	2,5	0,8 емк.
22	Трехпроводная 380/220 В	380	10,4	0,8 инд.	220	13,0	0,0 инд.
23	Четырехпроводная 220/127 В	127	3,0	1,0 акт.	127	18,7	0,8 емк.

Вариант	Характеристика сети	Однофазные приемники					
		№1			№2		
		U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$	U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$
24	Четырехпроводная 380/220 В	220	17,2	0,7 инд.	220	40,0	0,5 емк.
25	Четырехпроводная 220/127 В	220	2,0	1,0 акт.	127	4,0	0,0 емк.
26	Трехпроводная 220/127 В	220	6,0	1,0 акт.	220	10,0	1,0 акт.
27	Четырехпроводная 380/220 В	220	3,0	1,0 акт.	220	4,4	0,8 емк.
28	Трехпроводная 220/127 В	220	6,0	1,0 акт.	127	11,0	0,9 инд.
29	Трехпроводная 380/220 В	380	1,2	0,8 емк.	220	1,5	1,0 акт.
30	Четырехпроводная 220/127 В	220	3,0	1,0 акт.	127	3,0	0,8 инд.
31	Четырехпроводная 380/220 В	380	0,5	0,0 емк.	127	1,2	0,0 инд.
32	Трехпроводная 380/220 В	380	1,5	0,0 емк.	270	1,5	0,8 инд.
33	Четырехпроводная 220/127 В	220	2,0	0,7 инд.	220	3	0,7 инд.
34	Трехпроводная 220/127 В	220	3	0,6 инд.	127	2,0	0,0 емк.
35	Четырехпроводная 380/220 В	220	0,75	0,5 инд.	380	3	0,8 емк.
36	Трехпроводная 380/220 В	380	3,0	1,0 акт.	220	1,5	0,0 емк.
37	Четырехпроводная 220/127 В	220	5,0	0,7 емк.	127	5,0	0,7 инд.
38	Четырехпроводная 380/220 В	220	4,0	1,0 акт.	220	1,8	0,9 емк.
39	Трехпроводная 220/127 В	220	2	0,8 инд.	127	2,0	0,8 емк.
40	Четырехпроводная 220/127 В	220	6,0	0,5 инд.	127	3,0	0,5 инд.
41	Трехпроводная 380/220 В	380	6,0	0,5 инд.	220	4,0	0,5 емк.
42	Трехпроводная 220/127 В	220	10,0	0,8 инд.	220	8,0	0,8 емк.
43	Четырехпроводная 380/220 В	380	8	1,0 акт.	220	8	0,9 емк.
44	Четырехпроводная 220/127 В	220	12	0,5 емк.	127	12	0,5 инд.
45	Четырехпроводная 380/220 В	220	15	0,0 инд.	380	15	0,8 емк.

Вариант	Характеристика сети	Однофазные приемники					
		№1			№2		
		U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$	U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$
46	Трехпроводная 380/220 В	380	20	1,0 акт.	220	20	0,7 емк.
47	Трехпроводная 220/127 В	220	15	0,7 инд.	220	18	0,9 емк.
48	Четырехпроводная 380/220 В	220	20	0,4 инд.	380	18	0,0 емк.
49	Четырехпроводная 220/127 В	220	25	0,7 инд.	127	20	0,7 инд.
50	Трехпроводная 380/220 В	380	8	1,0 акт.	220	5	0,6 инд.

Таблица 3.2 – Режимы трехфазных электрических нагрузок

Вариант	Характеристика сети	Трёхфазные приемники		
		Трёхфазный симметричный пр-к. №1		
		U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$
1	Трехпроводная 380/220 В	380	14,0	0,85 емк.
2	Трехпроводная 220/127 В	220	47,4	0,95 инд.
3	Четырех проводная 220/127 В	220	79,5	0,78 инд.
4	Трехпроводная 220/127 В	220	8,0	0,87 инд.
5	Трехпроводная 380/220 В	380	71,2	0,8 емк.
6	Четырехпроводная 380/220 В	220	25,0	0,8 емк.
7	Трехпроводная 220/127 В	220	12,5	0,8 емк.
8	Четырехпроводная 220/127 В	220	13,8	0,8 емк.
9	Четырехпроводная 220/127 В	127	9,0	1,0 акт.
10	Четырехпроводная 380/220 В	380	16,5	0,85 инд.
11	Трехпроводная 380.220 В	220	25,0	0,8 емк.
12	Четырехпроводная 220/127 В	220	12,5	0,8 емк.

Вариант	Характеристика сети	Трёхфазные приемники		
		Трёхфазный симметричный пр-к. №1		
		U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$
13	Четырёхпроводная.380/220 В	220	13,8	0,8 емк.
14	Четырёхпроводная. 220/127 В	127	9,0	1,0 акт.
15	Четырёхпроводная.380/220 В	380	16,5	0,85 инд.
16	Четырёхпроводная.380/220 В	220	26,0	0,0 емк.
17	Трёхпроводная 280/220 В	220	45,6	0,7 инд.
18	Трёхпроводная 220/127 В	127	20,0	1,0 акт.
19	Трёхпроводная 220/127 В	220	92	1,0 акт.
20	Четырёхпроводная 220/127 В	220	20,0	0,0 инд.
21	Четырёхпроводная.380/220 В	220	42,0	1,0 акт.
22	Трёхпроводная 380/220 В	220	12,8	1,0 акт.
23	Четырёхпровод. 220/127 В	220	9,4	0,8 инд.
24	Четырёхпроводная 380/220 В	220	58,5	0,6 инд.
25	Четырёхпроводная.220/127 В	220	21,2	0,8 инд.
26	Трёхпроводная 220/127 В	127	3,8	0,8 инд.
27	Четырёхпроводная.380/220 В	380	27,2	0,8 емк.
28	Трёхпроводная 220/127 В	127	5,0	0,8 инд.
29	Трёхпроводная 380/220 В	220	5,5	0,8 инд.
30	Четырёхпроводная 220/127 В	220	7,5	0,75 инд.
31	Четырёхпроводная 380/220 В	220	0,55	0,86 инд.
32	Трёхпроводная 380/220 В	380	0,55	0,86 инд.
33	Четырёхпроводная 220/127 В	220	1,1	0,8 инд.
34	Трёхпроводная 220/127 В	127	1,1	0,8 инд.

Вариант	Характеристика сети	Трёхфазные приемники		
		Трёхфазный симметричный пр-к. №1		
		U_H , В	S_H , кВА	$\cos\varphi_H$
35	Четырёхпроводная 380/220 В	220	1,5	0,8 емк.
36	Трёхпроводная 380/220 В	380	1,5	0,8 емк.
37	Четырёхпроводная 220/127 В	220	3,0	1,0 акт.
38	Четырёхпроводная 380/220 В	380	3,0	0,5 инд.
39	Трёхпроводная 220/127 В	127	4,0	1,0 акт.
40	Четырёхпроводная 220/127 В	127	4,0	0,6 емк.
41	Трёхпроводная 380/220 В	380	7,5	1,0 акт.
42	Трёхпроводная 220/127 В	220	10,0	0,90 инд.
43	Четырёхпроводная 380/220 В	220	7,5	0,8 инд.
44	Четырёхпроводная 220/127 В	127	15	0,7 инд.
45	Четырёхпроводная 380/220 В	220	15	0,88 емк.
46	Трёхпроводная 380/220 В	220	18,5	0,85 инд.
47	Трёхпроводная 220/127 В	220	20	0,6 инд.
48	Четырёхпроводная 380/220 В	220	25	0,9 инд.
49	Четырёхпроводная 220/127 В	127	30	1,0 акт.
50	Трёхпроводная 380/220 В	380	10	0,7 инд.

Расчетно-графическая работа №2

Электропривод и электроника

Задача 4. Анализ режимов работы электропривода

Задача. Для привода центробежного насоса с номинальными значениями производительности $Q_{ном}$, напора $H_{ном}$, частоты вращения $n_{ном}$, коэффициента полезного действия $\eta_{ном}$, предназначенного для перекачки

жидкости, рассчитать мощность и выбрать по каталогу трехфазный асинхронный двигатель серии 4А общепромышленного применения защищенного исполнения. Для питания двигателя необходимо выбрать сечение кабеля, предохранитель с соответствующей плавкой вставкой.

Составить схему подключения асинхронного двигателя к трехфазной четырехпроводной сети (с нейтральным проводом) с учетом выбранных предохранителей и возможностью отключения его от электрической сети.

Номинальное напряжение трехфазной электрической сети 380/220В. Тип и номинальные данные насосов приведены в таблице 4.1 Длительно допустимые токовые нагрузки на изолированные провода приведены в таблице 4.2.

Тип и номинальные данные предохранителей приведены в таблице 4.3.

Плотности жидкостей определяются вариантом или выдаются преподавателем и приведены в таблице 4.4.

Методические указания к решению задачи:

1. Определить расчетную мощность (P_p) двигателя насоса по формуле

$$P_p = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_{ном} \cdot \eta_{пер}} \cdot 10^{-3},$$

где P_p - расчетная мощность двигателя, кВт;

γ - плотность жидкости, кг/м³ /;

Q - производительность насоса, м³/с ;

H - напор насоса, м;

$\eta_{ном}$ - номинальный КПД насоса;

$\eta_{пер}$ - КПД передачи от двигателя к насосу, равный 1.

2. Построить нагрузочную диаграмму привода $P = f(t)$, с учетом варианта и данных, приведенных в таблице 4.5.

3. Определить эквивалентную мощность двигателя ($P_{эkv}$) по формуле

$$P_{эkv} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_k^2 t_k}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}},$$

где $P_1 = P_p \cdot \beta_1$; $P_2 = P_p \cdot \beta_2$; $P_n = P_p \cdot \beta_n$,

$P_{эkv}$ - расчетная мощность электродвигателя насоса, кВт;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ - коэффициент загрузки электродвигателя насоса (таблица 4.5);

$P_1, P_2 \dots P_n$ – фактическая нагрузка электродвигателя насоса в заданном интервале времени;

$t_1 \dots t_n$ – интервалы времени работы двигателя, заданные в таблице 4.5.

4. Выбрать двигатель по справочнику [6], исходя из условий $P_{ном} \geq P_{эkv}$.

5. Проверить выбранный двигатель на перегрузочную способность по следующей методике:

Определить номинальный момент выбранного двигателя по формуле

$$M_{ном} = 9550 \frac{P_{ном}}{n_{ном}},$$

где $n_{ном}$ – номинальная частота вращения двигателя, об/мин;

$M_{ном}$ – номинальный момент двигателя, Нм.

Определить максимальный момент, соответствующий максимальной мощности нагрузочной диаграммы (табл. 4.4) по подобной формуле

$$M_{наиб} = 9550 \frac{P_{max}}{n_{ном}},$$

где P_{max} – максимальное значение мощности по нагрузочной диаграмме, кВт;

Проверить выбранный двигатель на перегрузку по условию

$$M_{наиб} < K \cdot M_{max},$$

где $M_{наиб}$ – максимальный статический момент на валу двигателя, создаваемый нагрузкой;

M_{max} – максимальный допустимый момент двигателя, определяемый паспортными данными двигателя, определяемый по формуле $M_{max} = \lambda \cdot M_{ном}$;

λ – перегрузочная способность двигателя, заданная в паспортных данных двигателя как отношение максимальной мощности к номинальной);

K – коэффициент, учитывающий возможное снижение питающего напряжения ($K = 0,9$).

6. Если выбранный двигатель не удовлетворяет перегрузочной способности, тогда необходимо повторить расчет по п.п. 4,5, для следующего по справочнику значения мощности двигателя.

7. Для выбранного асинхронного электродвигателя выбрать провода (или кабель) необходимого сечения с учетом допустимого тока (табл. 5) из условия: $I_{доп} \geq I_{ном}$, где $I_{ном}$ – номинальный ток выбранного двигателя, который определяется по формуле

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} 10^3}{\sqrt{3} U_{л} \eta_o \cos \phi}, \text{ А.}$$

8. Выбранное сечение кабеля проверить на допустимое падение напряжения по формуле

$$\Delta U(\%) = 100 \frac{P_{1НОМ} \cdot L \cdot 10^5}{\gamma \cdot S \cdot U_n^2},$$

где $P_{1НОМ}$ - номинальная мощность двигателя на входе, равная отношению номинальной мощности выбранного двигателя к его КПД, (кВт);

L - длина линии (м);

γ - удельная проводимость материала, $\frac{М}{Ом \cdot мм^2}$;

S - сечение линейного провода в $мм^2$;

$\gamma_{Cu} = 57,14 \frac{М}{Ом \cdot мм^2}$, $\gamma_{Al} = 35,71 \frac{М}{Ом \cdot мм^2}$ - для меди и алюминия соответственно.

Если потеря напряжения составляет более 5 %, то необходимо выбрать кабель другого сечения.

9. Для защиты проводов от короткого замыкания выбрать предохранители с соответствующей плавкой вставкой (табл. 6). Для того, чтобы плавкая вставка не расплавилась во время пуска двигателя, необходимо выполнить условие

$$\frac{I_{пуск}}{2,5} \leq I_{п.вст}.$$

10. Проверить, защищает ли выбранная плавкая вставка провода выбранного сечения от действия токов короткого замыкания, используя неравенство

$$\frac{I_{п.вст}}{I_{дон}} \leq 3.$$

Если неравенство не соблюдается, необходимо увеличить сечение провода.

11. Определить режим работы электропривода (продолжительный S1 режим или повторно кратковременный ПВ режим) по формуле

$$ПВ = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100, \%$$

где t_p - время работы электродвигателя за цикл ($t_p = t_1 + t_2 + \dots + t_k$);

$t_u = t_p + t_0$ - время цикла, включая время паузы (t_0).

Таблица 4.1 – Номинальные данные насосов

Вариант	Тип насоса	Q, м ³ /ч	H, м	n ₂ , об/мин	Длина кабеля, м
1	1,5К-8/19	8	19	2900	70
2	1,5К-8/19а	9,5	14,4	2900	120
3	1,5К-8/19б	9	11,4	2900	180
4	2К-20/30	20	30	2900	260
5	2К-20/30а	20	25,2	2900	320
6	2К-20/30б	20	18,8	2900	500
7	2К-20/18	20	18	2900	620
8	2К-20/18а	17	15	2900	720
9	2К-20/18б	15	12	2900	780
10	3К-6И	43,2	50	2900	430
11	3К-45/90	45	90	2900	150
12	3К-45/90а	40	72	2900	220
13	3К-45/55	45	55	2900	750
14	3К-45/55а	40	41	2900	560
15	3К-6	45	54	2900	660
16	3К-6а	40	41	2900	380
17	3КМ- 6(моноблочный)	45	54	2900	290
18	3КМ-6а (моно- блочный)	40	41,5	2900	360
19	3К-45/30	45	30	2900	460
20	3К-45/30а	35	22	2900	90
21	4К-90/85	90	85	2900	800
22	4К-90/85а	85	76	2900	530
23	4К-6	90	87	2900	700
24	4К-6а	85	76	2900	590
25	4К-90/55	90	55	2900	200
26	4К-90/55а	90	43	2900	240
27	4К-8	90	55	2900	340
28	4К-8а	90	43	2900	400
29	4К-8	90	55	2900	420
30	4К-8а	90	43	2900	640
31	4К-90/35	90	35	2900	480
32	4К-90/35а	85	28,6	2900	50
33	4К-12а	85	29	2900	740
34	4К-12	90	34	2900	580
35	4КМ- 12(моноблочный)	90	36	2900	100
36	4КМ-12а (моно- блочный)	85	28	2900	330
37	4К-90/20	80	20	2900	650
38	4К-90/20а	70	18	2900	510
39	6К-160/30	160	30	1450	270
40	6К-160/30а	140	28	1450	770

Вариант	Тип насоса	Q, м ³ /ч	H, м	n ₂ , об/мин	Длина кабеля, м
41	6К-8	162	32	1450	440
42	6К-8а	140	28	1450	140
43	6К-8б	140	22	1450	690
44	6К-160/20	160	20	1450	210
45	6К-160/20а	150	15	1450	390
46	6К-12	162	21	1450	610
47	6К-12а	150	15	1450	550
48	6КМ-12(моноблочный)	162	20	1450	300
49	6КМ12а (моноблочный)	150	15	1450	520
50	8К-290/30	290	30	1450	170
51	8К290/30а	250	24	1450	470
52	8К-12	298	29	1450	60
53	8К-12а	250	24	1450	730
54	8К-290/18	290	18	1450	80
55	8К-290/18а	260	15	1450	600
56	8К-18	288	17	1450	350
57	8К-18а	260	15	1450	450
58	2К-20/30	20	18	2900	250
59	4К-12	90	29	2900	680
60	8К-18а	260	17	1450	110

Таблица 4.2 – Длительно допустимые нагрузки на изолированные провода с медными жилами при прокладке сети в помещениях (температура окружающего воздуха 25 °С)

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А			
	Провода медные с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией, проложенные открыто		Провода алюминиевые с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией, проложенные открыто	
	двухжильные	трехжильные	двухжильные	трехжильные
1,5	19	19	-	-
2,5	27	25	91	19
4,0	38	35	29	27
6,0	50	42	38	32
10,0	70	55	55	42
16,0	90	75	70	60
25,0	115	95	90	75
35,0	140	120	105	90
50,0	175	145	135	40
70,0	215	180	165	140
90,8	260	220	200	170

Таблица 4.3 – Предохранители до 500 В переменного и постоянного токов

Тип пре-дохр.	Номинал. ток патрона, А	Номинал. ток плавкой вставки, А	Тип предохранителя	Номинал. ток патрона, А	Номинал. ток плавкой вставки, А
ПР	15	6,10,15	ПНБ-2	150	100,125,150
	60	15,20,25,35,45,60		200	150,200
	100	60,80,100	КП	25	6,10,15,20,25
	200	100,125,160,200		60	15,20,25,35,45,60
ПНБ -2	40	15,25,40,	КП	200	80,100,120,150,200
	60	40,60,			
	100	60,80,100			

Таблица 4.4 - Плотности жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³	Жидкость	Плотность, кг/м ³
Керосин	760	Дизельное топливо	850
Мазут	950	Машинное масло	900
Бензин	700	Морская вода	1020
Ртуть	13550	Нефть	800
Глицерин	1260	Вода	1000

Таблица 4.5 – График нагрузки электродвигателя

Вариант	Интервал времени, ч							β - коэффициент загрузки двигателя, в % от P_p						
	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	25	60	93	60	50	95	40
1	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	25	60	93	60	50	95	40
2	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	26	61	94	61	51	96	41
3	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	27	62	95	62	52	97	42
4	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	28	63	96	63	53	98	43
5	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	29	64	97	64	54	99	44
6	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	30	65	98	65	55	100	45
7	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	31	66	99	66	56	95	46
8	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	32	67	100	67	57	96	47
9	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	33	68	93	68	58	97	48
10	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	25	69	94	69	59	98	49
11	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	26	70	95	70	60	99	50
12	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	27	71	96	60	61	100	51
13	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	28	72	97	61	62	95	52
14	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	29	73	98	62	63	96	53
15	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	30	74	99	63	64	97	54

Вариант	Интервал времени, ч							β - коэффициент загрузки двигателя, в % от P_p						
	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	31	75	100	64	65	98	55
16	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	31	75	100	64	65	98	55
17	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	32	76	93	65	66	99	40
18	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	33	77	94	66	67	100	41
19	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	25	78	95	67	68	95	42
20	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	26	79	96	68	69	96	43
21	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	27	80	97	69	70	97	44
22	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	28	60	98	70	71	98	45
23	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	29	61	99	60	72	99	46
24	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	30	62	100	61	73	100	47
25	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	31	63	93	62	74	95	48
26	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	32	64	94	63	75	96	49
27	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	33	65	95	64	76	97	50
28	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	25	66	96	65	77	98	51
29	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	26	67	97	66	78	99	52
30	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	27	68	98	67	79	100	53
31	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	28	69	99	68	80	95	54
32	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	29	70	100	69	50	96	55
33	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	30	71	93	70	51	97	40
34	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	31	72	94	60	52	98	41
35	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	32	73	95	61	53	99	42
36	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	33	74	96	62	54	100	43
37	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	25	75	97	63	55	95	44
38	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	26	76	98	64	56	96	45
39	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	27	77	99	65	57	97	46
40	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	28	78	100	66	58	98	47
41	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	29	79	93	67	59	99	48
42	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	30	80	94	68	60	100	49
43	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	31	60	95	69	61	95	50
44	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	32	61	96	70	62	96	51
45	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	33	62	97	60	63	97	52
46	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	25	63	98	61	64	98	53
47	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	26	64	99	62	65	99	54
48	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	27	65	100	63	66	100	55
49	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	28	66	93	64	67	95	40
50	0-6	6-8	8-11	11-16	16-18	18-22	22-0	29	67	94	65	68	96	41

Задача №5. Расчет однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе

Среди схем усилителей наиболее распространенной является схема с общим эмиттером (ОЭ). Схема с общей базой (ОБ) в предварительных усилителях встречается редко. Схема с общим коллектором, называемая эмиттерный повторитель (ОК), обладает наибольшим из всех трех схем

входным и наименьшим выходным сопротивлениями, поэтому его применяют при работе с высокоомными преобразователями в качестве первого каскада усилителя, а также для согласования с низкоомным нагрузочным резистором.

Рассмотрим усилительный каскад с ОЭ. На рисунке 5.1 дана схема каскада усилителя.

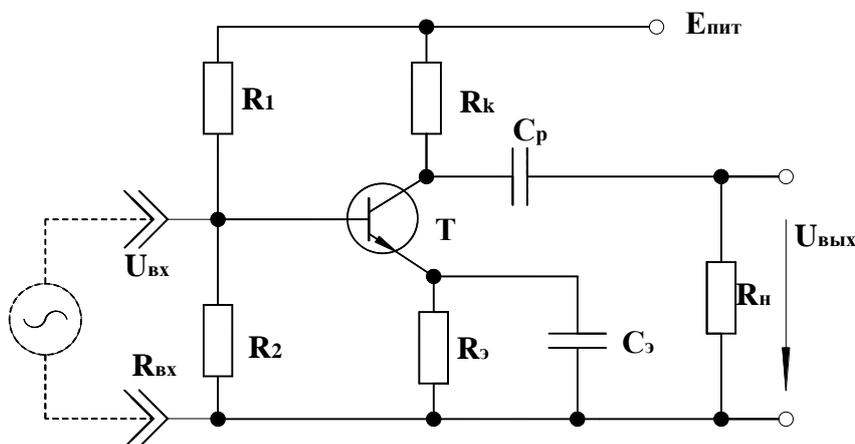


Рисунок 5.1 – Схема каскада с ОЭ

При расчете каскада следует определить:

- 1) тип транзистора;
- 2) режим работы транзистора;
- 3) сопротивление коллекторной нагрузки R_k ;
- 4) сопротивление в цепи эмиттера $R_э$;
- 5) сопротивления делителя напряжения R_1 и R_2 ;
- 6) емкость разделительного конденсатора C_p ;
- 7) емкость конденсатора в цепи эмиттера $C_э$;
- 8) коэффициент усиления каскада по напряжению K_p ;
- 9) h-параметры выбранного типа транзистора.

Исходные данные приведены в таблице 5, где:

- 1) вариант задания;
- 2) напряжение на выходе каскада $U_{выхmax}$ (напряжение на нагрузке);
- 3) сопротивление нагрузки R_n ;
- 4) нижняя граничная частота f_n ;
- 5) напряжение источника питания $E_{пит}$;
- 6) допустимое значение коэффициента частотных искажений каскада в области нижних частот M_n .

Таблица 5 - Данные для расчета

Вариант	Данные для расчета				
	$U_{\text{ВЫХ } M}$, В	R_x , Ом	f_n , Гц	E_{num} , В	M_n
0	3,0	600	100	12	1,20
1	2,0	400	90	16	1,20
2	1,0	250	120	9	1,25
3	5,0	450	200	27	1,30
4	8,0	350	150	12	1,30
5	2,4	600	180	3	1,25
6	3,4	550	100	12	1,25
7	1,6	280	160	6	1,20
8	4,0	590	170	17	1,20
9	2,2	440	110	9	1,40
10	3,4	600	150	12	1,40
11	1,5	200	60	3	1,30
12	1,7	250	70	6	1,30
13	1,8	300	80	9	1,30
14	2,0	350	90	12	1,20
15	2,1	400	120	15	1,20
16	2,3	450	140	18	1,20
17	2,5	480	150	24	1,40
18	2,7	500	160	27	1,40
19	2,8	520	170	24	1,40
20	3,0	540	180	20	1,35
21	3,1	550	200	18	1,35
22	3,2	580	220	15	1,25
23	3,5	560	230	12	1,25
24	3,6	480	250	9	1,20
25	1,8	320	270	6	1,30
26	3,0	600	300	15	1,20
27	4,0	500	200	12	1,30
28	5,0	520	250	10	1,30
29	6,5	640	280	18	1,25
30	2,5	480	300	16	1,25
31	4,5	350	230	15	1,40
32	5,0	450	270	20	1,50
33	5,0	430	350	9	1,50
34	6,0	420	250	12	1,40
35	6,0	560	150	24	1,40
36	5,5	480	170	27	1,30
37	4,0	550	190	15	1,20

Вариант	Данные для расчета				
	$U_{\text{ВЫХ М}}, \text{ В}$	$R_k, \text{ Ом}$	$f_n, \text{ Гц}$	$E_{\text{пит}}, \text{ В}$	M_n
38	4,0	450	200	18	1,25
39	2,5	350	220	10	1,25
40	3,0	420	230	12	1,40
41	2,0	320	250	9	1,30
42	2,5	400	270	15	1,30
43	3,5	480	220	12	1,20
44	4,5	520	210	19	1,20
45	5,0	590	200	15	1,35
46	3,0	270	90	20	1,40
47	4,0	340	150	24	1,40
48	2,0	250	170	12	1,30
49	3,0	400	180	18	1,30
50	6,0	500	250	20	1,20

Методические указания

1. Выбираем тип транзистора, используя соотношения:

$$U_{\text{кэ.доп}} \geq (1,1 \div 1,3)E_{\text{пит}},$$

где $U_{\text{кэ.доп}}$ – наибольшее допустимое напряжение между коллектором и эмиттером;

$$I_{\text{к.доп}} > 2I_{\text{нм}} = \frac{2U_{\text{ВЫХ М}}}{R_n},$$

где $I_{\text{к.доп}}$ – наибольший допустимый ток коллектора;

$I_{\text{нм}}$ – наибольшая амплитуда тока нагрузки.

Транзистор выбирается из справочника для диапазона температур:

$$T_{\text{min}} = +15^{\circ} \text{C}; T_{\text{max}} = +25^{\circ} \text{C}.$$

Для выбранного типа транзистора выписываем из справочника значения коэффициентов усиления по току β_{min} и β_{max} . Если в справочнике даны коэффициент усиления α по току для схемы с общей базой ОБ и начальный ток коллектора $I_{\text{к.н}}$, то $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ и при выборе транзистора следует выполнить условие:

$$I_{\text{к.мин}} \geq I_{\text{к.н}}.$$

2. Режим работы транзистора определяем по нагрузочной линии, построенной на выходных статических характеристиках схемы с ОЭ (рисунок 5.2).

3. Определим наибольшие амплитудные значения входного сигнала тока $I_{вх.н}$ и напряжения $U_{вх.н}$, необходимые для обеспечения заданного значения $U_{вых.т}$. Задавшись наименьшим значением коэффициента усиления транзистора по току β_{\min} , получаем:

$$I_{вх.н} = I_{\sigma.м} = \frac{I_{км}}{\beta_{\min}}$$

Причем $I_{вх.т}$ не должен превышать величины $\frac{I_{\sigma.м} - I_{\sigma \min}}{2}$; для маломощных транзисторов $I_{\sigma.м} \approx 1 \div 2$ мА, $I_{\sigma \min} \approx 0,05$ мА.

По входной характеристике для схемы с ОЭ (рисунок 5.3) и значениям $I_{\sigma \min}$ и $I_{\sigma \max}$ находят величину $2U_{вх.н}$.

По полученным данным (рисунок 5.3) определяем входное сопротивление $R_{вх}$ каскада переменному току (без учета делителя напряжения R_1 и R_2)

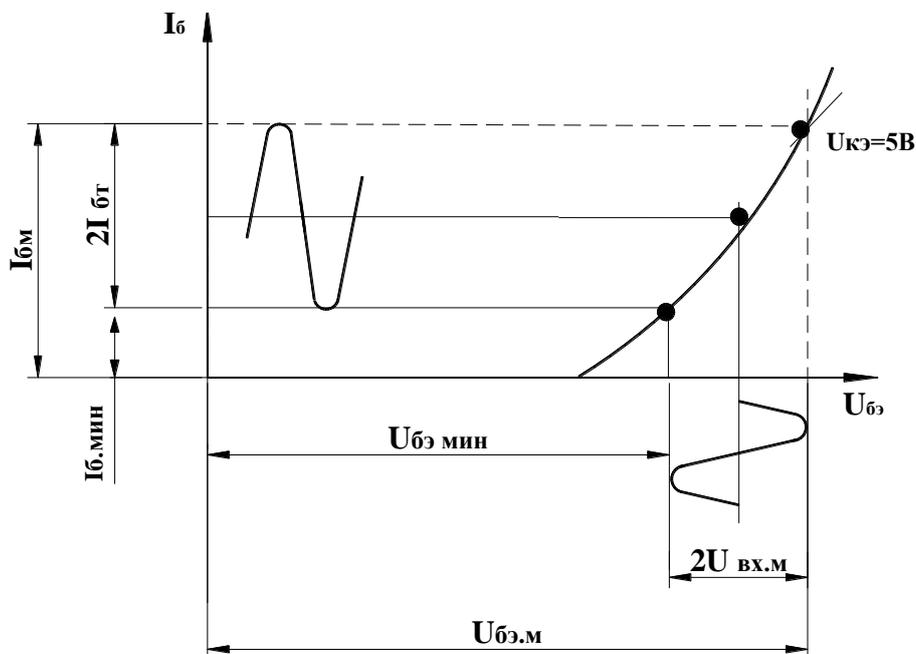


Рисунок 5.3 – Определение амплитуды входного сигнала тока $I_{вх.м}$

$$R = \frac{2U_{вх.м}}{2I_{вх.м}} = \frac{2U_{вх.м}}{2I_{\sigma.м}}$$

4. Определяем сопротивления делителя R_1 и R_2 . Для уменьшения шунтирующего действия делителя на входную цепь каскада по переменному току принимают $R_{1-2} \geq (8 \div 12)R_{вх} \sim$,

где $R_{1-2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$. Тогда $R_1 = \frac{E_n R_{1-2}}{R_9 I_9} = \frac{E_n R_{1-2}}{R_9 I_{KO}}$; $R_2 = \frac{R_1 R_{1-2}}{R_1 - R_{1-2}}$.

5. Определяем коэффициент нестабильности S работы каскада:

$$S = \frac{R_9 (R_1 + R_2) + R_1 - R_2}{R_9 (R_1 + R_2) + \frac{R_1 R_2}{1 + \beta_M}},$$

где β_M – наибольший возможный коэффициент усиления по току выбранного типа транзистора.

Работа каскада стабильна, если коэффициент нестабильности не превышает нескольких единиц ($S \leq 3$).

6. Определяем емкость разделительного конденсатора C_p :

$$C_p \geq \frac{1}{2\pi f_H R_{\text{вых}} \sqrt{M_H^2 - 1}}; R_{\text{вых}} = \frac{R_{\text{вых}T} R_K}{R_{\text{вых}T} + R_K} + R_H,$$

$R_{\text{вых}T}$ – выходное сопротивление транзистора, определяемое по выходным статическим характеристикам для схемы ОЭ. Обычно $R_{\text{вых}T} \gg R_K$, поэтому можно принять $R_{\text{вых}} \approx R_K + R_H$.

7. Определяем емкость конденсатора в цепи эмиттера C_9 :

$$C_9 \geq \frac{10}{2\pi f_H R_9}.$$

Обычно используют $C_9 = (10 \div 30) \text{ мкФ}$.

8. Определяем h – параметры выбранного по справочнику транзистора, используя выражения:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}}, \text{ при } U_{\text{кэ}} = \text{const} (\Delta U_{\text{кэ}} = 0);$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta U_{\text{кэ}}}, \text{ при } I_{\text{б}} = \text{const} (\Delta I_{\text{б}} = 0);$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}}, \text{ при } U_{\text{кэ}} = \text{const} (\Delta U_{\text{кэ}} = 0);$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{кэ}}}, \text{ при } I_{\text{б}} = \text{const} (\Delta I_{\text{б}} = 0),$$

где h_{11} – входное сопротивление транзистора, определяется вблизи рабочей точки по семейству входных статических характеристик;

h_{12} – коэффициент обратной связи по напряжению.

$$h_{12} = 0,002 \div 0,0002, \text{ т. е. } h_{12} \approx 0;$$

h_{21} – безразмерный коэффициент передачи по току, характеризующий усилительные свойства (по току) транзистора при постоянном напряжении на коллекторе;

h_{22} - выходная проводимость транзистора при постоянном токе базы; h_{21} и h_{22} определяют вблизи рабочей точки по семейству выходных статических характеристик (рисунок 5.3). Используя h-параметры, можно определить коэффициент усиления усилителя по напряжению из выражения:

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{h_{21} R_{вых} I_{\bar{\sigma}}}{h_{11} I_{\bar{\sigma}}} = \frac{h_{21} R_K}{h_{11} (1 + R_K h_{22})}$$

и сравнить его с расчетным.

Список литературы

1. Касаткин, А.С. Курс электротехники: Учеб. пособие для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов – 10-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2009. – 542 с.
2. Касаткин, А.С. Электротехника: Учебное пособие для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов – Изд. 9 –е, стереотипное. – М.: ACADEMIA, 2005. – 539 с.
3. Касаткин, А.С. Электротехника: учебное пособие для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 530 с.
4. Электротехника / Под ред. В. Г. Герасимова, 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1985. – 480 с.
5. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. В.Г. Герасимова - М.: Высшая школа, 1987. – 288 с.
6. Рекус, Г.Г. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Г.Г. Рекус , А.И. Белоусов – М.: Высшая школа, 2001. – 255 с.
7. Электротехнический справочник / Под общей ред. проф. Московского энергетического института В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, В.А. Лабунцова [и др.] – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986, Т. 2. – 710 с.
8. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам / под ред. Н. Н. Горюнова. – М.: Энергия, 1972. – 400 с.