

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный
университет»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Расчет электрических цепей постоянного тока

Задания и методические указания
к самостоятельной работе

Составители: В.М. Педиков, А.Н. Деренок

Томск 2017

Задания и методические указания к самостоятельной работе по электротехнике с основами электроснабжения / сост. В.М. Педиков, А.Н.Деренок, – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. – 17 с.

Рецензент к.т.н., доцент кафедры общей электротехники и автоматики Д.П.Столяров

Редактор к.т.н., доцент кафедры общей электротехники и автоматики Р.Н.Кахиев

Методические указания (контрольные задания) по дисциплинам «Электротехника и электроника» и «Электротехника с основами электроснабжения» предназначены для студентов всех форм обучения и всех профилей направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры общей электротехники и автоматики.

Срок действия

с 01.09.17
до 01.09.22

Оригинал-макет подготовлен авторами.

Подписано в печать
Формат 60х90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.- изд. л 1. Тираж экз.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г.Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г.Томск, ул. Партизанская, 15

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов и способствуют развитию навыков в практических расчетах с применением ЭВМ, а также закреплению изучаемого материала по разделу курса электроснабжения с основами электротехники «Электрические цепи постоянного тока».

При выполнении контрольных заданий рекомендуем использовать специализированные прикладные программы: Mathcad, Matlab, а так же программу SIMQ, разработанную на кафедре ЭиА ТГАСУ.

Номер варианта задания для студентов дневного факультета определяет преподаватель.

Оформление контрольных работ должны содержать:

- титульный лист с указанием Ф.И.О. и шифра (номером учебной группы студента);
- электрические схемы заданий, выполненные по ГОСТу;
- условия заданий и пояснения к решению этих заданий с рисунками, графиками, расчетами и т.д.;

Контрольные задания подписываются студентом и представляются для проверки на кафедру.

В процессе самостоятельной работы и выполнении задания формируются следующие, предусмотренные Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС-3+), компетенции:

ДПК-1 Знание нормативной базы в области проектирования промышленных и гражданских зданий, инженерных систем и оборудования.

ПК-8 Владение технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования.

1. СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрическая цепь – совокупность генерирующих, приемных и вспомогательных устройств, соединенных между собой электрическими проводами. Режимы работы устройств электрической цепи характеризуются электрическими токами I , электрическими напряжениями U и электродвижущими силами (э.д.с.) E .

Для расчета и анализа режимов работы реальных устройств электрических цепей используют математические модели, называемые схемами замещения. Схемы замещения линейных электрических цепей постоянного тока (схемы) можно составлять с помощью двух типов идеальных элементов: идеального источника э.д.с. E и идеального резистора (сопротивления) R . На рис.1 изображена схема замещения электрической цепи, где E_1, E_2 – идеальные источники э.д.с., а R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – идеальные резисторы.

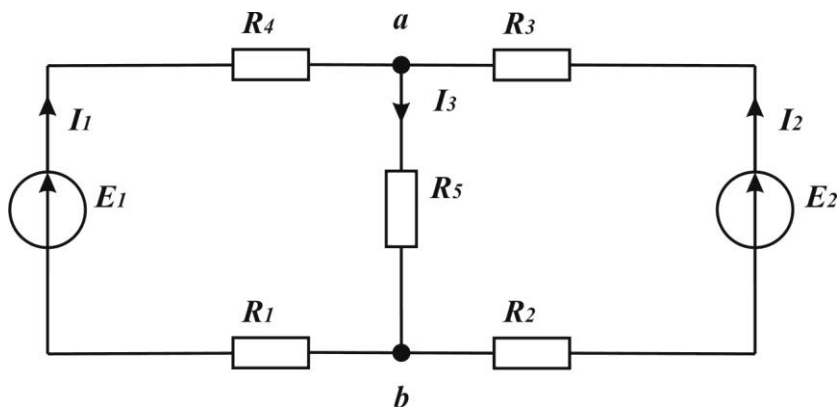


Рис. 1. Схема электрической цепи

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Для математического описания схем замещения электрических цепей требуется знание основных понятий, характеризующих геометрическую конфигурацию электрических схем. Такими понятиями являются: ветвь, узел, замкнутый контур электрической цепи (схемы).

Ветвью электрической цепи называют часть электрической цепи, в которой устанавливается один и тот же электрический ток. Так, в приведенной на рис.1 схеме электрической цепи имеется три ветви. Одна ветвь включает в себя элементы R_1 , E_1 и R_4 (во всех элементах устанавливается один и тот же ток I_1). Вторая ветвь включает в себя элементы R_2 , E_2 и R_3 (во всех элементах устанавливается один и тот же ток I_2). Третья ветвь включает только один элемент R_5 с током I_3 .

Узлом электрической цепи называют место соединения трех и более ветвей. Узлы на электрических схемах изображают затемненными кружками диаметром 1...2 мм. На рис.1 приведена схема, имеющая два узла (узел а и узел в).

Замкнутым контуром электрической цепи называют замкнутый путь по некоторым участкам электрической схемы (узлам и ветвям электрической цепи). В приведенной на рис.1 электрической схеме можно выделить три замкнутых контура. Один контур включает в себя узел а, ветвь R_4 , E_1 , R_1 , узел в и ветвь R_5 .

Другой контур включает в себя узел а, ветвь R_3 , E_2 , R_2 , узел в и ветвь R_5 . Третий контур включает в себя узел а, ветвь R_3 , E_2 , R_2 , узел в и ветвь R_1 , E_1 , R_4 .

3. ЗАКОНЫ КИРХГОФА

Все электрические цепи подчиняются первому и второму законам Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа можно сформулировать так: алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле электрической цепи равна нулю:

$$\sum I_i = 0 .$$

При этом токи, направленные к узлу, берут с одним произвольным знаком, а токи, направленные от узла, берут с противоположным знаком. Так, применительно к узлу а схемы рис.1, если направленные к узлу токи считать положительными, а направленные от узла – отрицательными, то, согласно формулировке, можно записать:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1).$$

Второй закон Кирхгофа можно сформулировать так: алгебраическая сумма падений напряжений в любом замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме э.д.с. этого контура:

$$\sum R_i \cdot I_i = \sum E_i.$$

Падением напряжения называют произведение тока I на сопротивление R ($U = I \cdot R$). В каждую из этих сумм соответствующие слагаемые входят со знаком «плюс», если они совпадают с направлением обхода замкнутого контура электрической цепи, и со знаком «минус», если они не совпадают с ним. Так, применительно к периферийному (внешнему) замкнутому контуру электрической схемы на рис.1, приняв обход этого замкну-

того контура по часовой стрелке, уравнение на основании второго закона Кирхгофа можно представить в виде:

$$R_1 \cdot I_1 + R_4 \cdot I_1 - R_3 \cdot I_2 - R_2 \cdot I_2 = E_1 - E_2 \quad (2).$$

4. СОСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКОНОВ КИРХГОФА

Если известны величины э.д.с. и их направления, а также величины сопротивлений электрической схемы, то, применяя законы Кирхгофа, можно составить систему линейно независимых уравнений для нахождения величин токов в ветвях электрической схемы. Перед тем как составлять систему линейно независимых уравнений по законам Кирхгофа, нужно:

а) произвольно выбрать условные положительные направления токов в ветвях и обозначить их на схеме указательными стрелками (стрелки проставляются непосредственно на контурных линиях электрической схемы, либо параллельно этим линиям);

б) выбрать направления обхода контуров для уравнений по второму закону Кирхгофа (например, по часовой стрелке).

Число входящих в систему линейно независимых уравнений должно быть равно числу ветвей (неизвестных токов) электрической схемы m .

Количество линейно независимых уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, должно быть на единицу меньше количества узлов электрической схемы,

т.е. $K - 1$ (K – количество узлов). Недостающие $m - (K - 1)$ уравнения составляются по второму закону Кирхгофа.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо чтобы в каждый новый замкнутый контур электрической цепи, для которого составляется уравнение, входила хотя бы одна новая ранее не использованная ветвь. Только в этом

случае уравнения, составленные по второму закону Кирхгофа, будут линейно независимыми.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНОВ КИРХГОФА

Найти токи $I_1; I_2; I_3$ в ветвях схемы рис.1, в котором $R_1 = 4 \text{ Ом}; R_2 = 7 \text{ Ом}; R_3 = 8 \text{ Ом}; R_4 = 6 \text{ Ом}; R_5 = 2 \text{ Ом}; E_1 = 30 \text{ В}; E_2 = 55 \text{ В}.$

Решение.

Произвольно выбираем условно положительные направления токов в ветвях и наносим их на схему стрелками (рис.1). В схеме число ветвей $m = 3$; число узлов $K = 2$. следовательно, по первому закону Кирхгофа можно составить только одно ($K-1 = 2-1 = 1$) линейно независимое уравнение.

Уравнение составляем, например, для узла а:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

Нетрудно убедиться, что для второго узла в уравнение, составленное по первому закону Кирхгофа, идентично, т.е. оно не будет линейно независимым к приведенному уравнению.

По второму закону Кирхгофа надо составить 2 уравнения (т.к. $m - (K - 1) = 3 - (2 - 1) = 3 - 1 = 2$). Направление обхода выбираем по часовой стрелке.

Для замкнутого контура узел **в**, ветвь R_1, E_1, R_4 , узел **а** и ветвь R_5 :

$$R_1 \cdot I_1 + R_4 \cdot I_1 + R_5 \cdot I_3 = E_1.$$

Знак плюс перед всеми членами уравнения взят потому, что условно положительные направления токов I_1 , тока I_3 , и э.д.с. E_1 совпадает с направлением обхода контура.

Для замкнутого контура узел **а**, ветвь R_3, E_2, R_2 , узел **в** и ветвь R_5 :

$$-R_3 \cdot I_2 - R_2 \cdot I_2 - R_5 \cdot I_3 = -E_2.$$

Знак минус перед всеми членами уравнения взят потому, что условно положительные направления токов I_2 , тока I_3 , и э.д.с. E_2 встречно с направлением обхода замкнутого контура.

Таким образом, система линейно независимых уравнений для расчета электрической схемы рис.1 может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot R_4 + I_3 \cdot R_5 = E_1 \\ -I_2 \cdot R_3 - I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_5 = -E_2 \end{cases} \quad (3).$$

После преобразований (3) имеет вид:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 \cdot (R_1 + R_4) + I_3 \cdot R_5 = E_1 \\ -I_2 \cdot (R_3 + R_2) - I_3 \cdot R_5 = -E_2 \end{cases} \quad (4).$$

Подставляя в (4) исходные данные получим:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 10I_1 + 2I_3 = 30 \\ -15I_2 - 2I_3 = -55 \end{cases} \quad (5).$$

Составляем матрицу коэффициентов для системы уравнений (5):

$$\left| \begin{array}{c|c|c|c} I_1 & I_2 & I_3 & E \\ \hline 1 & 1 & -1 & 0 \\ \hline 10 & 0 & 2 & 30 \\ \hline 0 & -15 & -2 & -55 \end{array} \right| \quad (6)$$

Используя любую стандартную программу решения n линейно независимых уравнений с n неизвестными, например, программу SIMQ, находим токи: $I_1 = 2A$; $I_2 = 3A$; $I_3 = 5A$. Программа SIMQ имеется в компьютерном классе кафедры ЭиА.

6. ПРОВЕРКА И КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Для проверки и контроля точности расчетов электрических цепей используют уравнение энергетического баланса мощностей.

Под действием токов в сопротивлениях R выделяется мощность. На основании закона сохранения энергии суммарная мощность, выделяемая в единицу времени на всех сопротивлениях схемы, должно равняться суммарной мощности, выделяемой за то же время всеми источниками питания схемы. Уравнение энергетического баланса имеет вид:

$$P_{уст} = P_{номр}. \quad (7), \text{ или}$$

$$\sum R_i \cdot I_i^2 = \sum E_i \cdot I_i \quad (8), \text{ где}$$

$P_{номр} = \sum R_i \cdot I_i^2$ - суммарная мощность всех потребителей электрической схемы;

$P_{уст} = \sum E_i \cdot I_i$ - суммарная мощность всех источников э.д.с. электрической схемы.

Если направление тока I_i в источнике э.д.с. E_i совпадают с направлением э.д.с., то источник э.д.с. доставляет в электрическую цепь энергию, а произведение $\sum E_i \cdot I_i$ входит с положительным знаком в уравнение энергетического баланса.

Если же направление тока I_i в источнике э.д.с. E_i встречно с направлением э.д.с., то источник э.д.с. не доставляет в электрическую цепь энергию, а потребляет ее (например, заря-

жается аккумулятор), и произведение $\sum E_i \cdot I_i$ входит в уравнение энергетического баланса с отрицательным знаком. Так для электрической схемы рис.1 можно записать:

$$\sum R_i \cdot I_i^2 = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_2^2 + R_4 \cdot I_1^2 + R_5 \cdot I_3^2 = \\ = 4 \cdot 2^2 + 7 \cdot 3^2 + 8 \cdot 3^2 + 6 \cdot 2^2 + 2 \cdot 5^2 = 225 \text{ Вт.}$$

$$\sum E_i \cdot I_i = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = 30 \cdot 2 + 55 \cdot 3 = 225 \text{ Вт.}$$

Погрешность вычислений δ определяется по формуле:

$$\delta = \left| \frac{P_{\text{уст}} - P_{\text{ном}}}{P_{\text{уст}}} \right| \cdot 100\% .$$

Для приведенного примера расчета электрической цепи рис.1 погрешность вычислений:

$$\delta = \left| \frac{225 - 225}{225} \right| \cdot 100\% = 0\% .$$

В инженерных расчетах сложных электрических цепей постоянного тока, описанных системами уравнений с линейными зависимостями, погрешность вычислений не должна превышать 5 процентов.

7. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения индивидуальной самостоятельной работы (задания) исходные данные и электрические схемы выбираются по таблицам №1 и № 2 и рис.2 и рис.3.

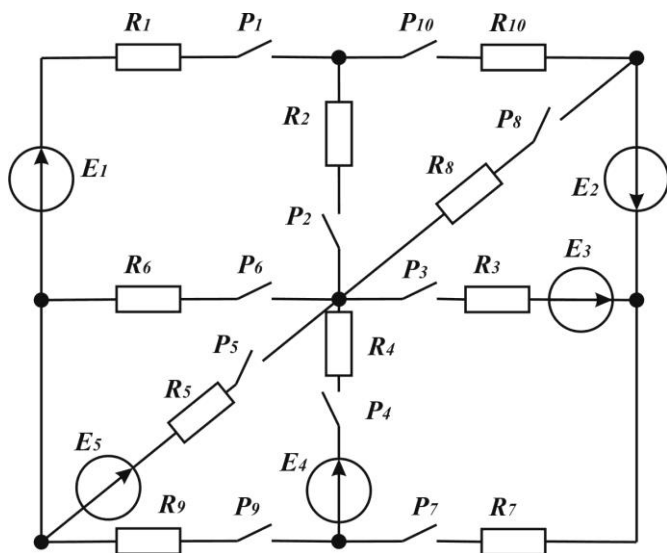


Рис. 2.

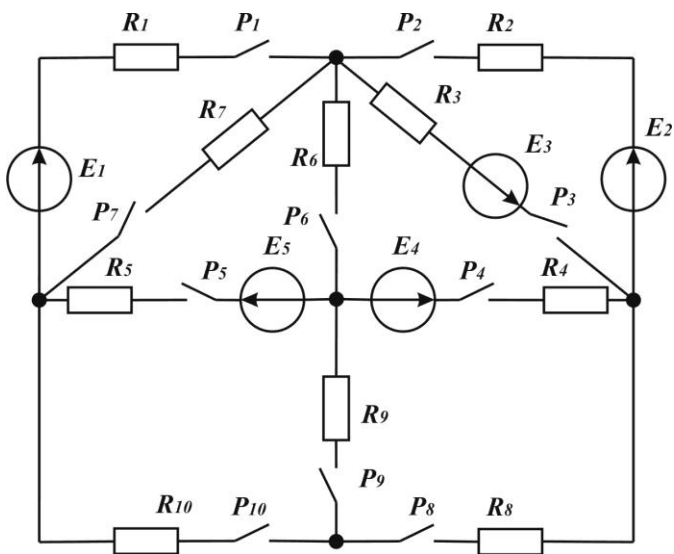


Рис. 3.

Таблица 1

№ варианта	№ рисунка	Разомкнутые рублильники	№ строки данных
1	2	P ₁ P ₂ P ₃	1
2	2	P ₁ P ₂ P ₄	2
3	2	P ₁ P ₂ P ₅	3
4	2	P ₁ P ₂ P ₆	4
5	2	P ₁ P ₂ P ₈	5
6	2	P ₁ P ₃ P ₄	6
7	2	P ₁ P ₃ P ₅	7
8	2	P ₁ P ₃ P ₆	8
9	2	P ₁ P ₃ P ₄	9
10	2	P ₁ P ₃ P ₁₀	10
11	2	P ₁ P ₄ P ₅	11
12	2	P ₁ P ₄ P ₆	12
13	3	P ₁ P ₂ P ₃	13
14	3	P ₁ P ₂ P ₄	14
15	3	P ₁ P ₂ P ₅	15
16	3	P ₁ P ₂ P ₆	16
17	3	P ₁ P ₂ P ₇	17
18	3	P ₁ P ₈ P ₉	18
19	3	P ₁ P ₂ P ₉	19
20	3	P ₁ P ₂ P ₁₀	20
21	3	P ₁ P ₃ P ₄	21
22	3	P ₁ P ₃ P ₅	22
23	3	P ₁ P ₃ P ₆	23
24	3	P ₁ P ₃ P ₇	24
25	3	P ₁ P ₃ P ₈	25

№ варианта	№ рисунка	Разомкнутые рублильники	№ строки данных
26	2	P ₁ P ₄ P ₈	1
27	2	P ₁ P ₄ P ₁₀	2
28	2	P ₁ P ₅ P ₆	3
29	2	P ₁ P ₅ P ₈	4
30	2	P ₁ P ₅ P ₉	5
31	2	P ₁ P ₅ P ₁₀	6
32	2	P ₁ P ₆ P ₈	7
33	2	P ₁ P ₆ P ₉	8
34	2	P ₁ P ₆ P ₁₀	9
35	2	P ₁ P ₈ P ₁₀	10
36	2	P ₂ P ₃ P ₄	11
37	2	P ₂ P ₃ P ₅	12
38	2	P ₂ P ₃ P ₆	13
39	3	P ₁ P ₃ P ₉	14
40	3	P ₁ P ₃ P ₁₀	15
41	3	P ₁ P ₄ P ₅	16
42	3	P ₁ P ₄ P ₆	17
43	3	P ₁ P ₄ P ₇	18
44	3	P ₁ P ₄ P ₉	19
45	3	P ₁ P ₄ P ₁₀	20
46	3	P ₁ P ₅ P ₆	21
47	3	P ₁ P ₅ P ₇	22
48	3	P ₁ P ₅ P ₈	23
49	3	P ₁ P ₅ P ₉	24
50	3	P ₁ P ₆ P ₈	25

Окончание таблицы 1

№ варианта	№ рисунка	Разомкнутые рублильники	№ строки данных
51	2	P ₂ P ₃ P ₇	1
52	2	P ₂ P ₃ P ₈	2
53	2	P ₂ P ₃ P ₉	3
54	2	P ₂ P ₃ P ₉	4
55	2	P ₂ P ₄ P ₅	5
56	2	P ₂ P ₄ P ₆	6
57	2	P ₂ P ₄ P ₇	7
58	2	P ₂ P ₄ P ₈	8
59	2	P ₂ P ₄ P ₉	9
60	2	P ₂ P ₄ P ₁₀	10
61	2	P ₂ P ₅ P ₆	11
62	2	P ₂ P ₅ P ₇	12
63	2	P ₂ P ₅ P ₈	13
64	2	P ₂ P ₅ P ₉	14
65	2	P ₂ P ₅ P ₁₀	15
66	3	P ₅ P ₆ P ₉	16
67	3	P ₆ P ₇ P ₁₀	17
68	3	P ₆ P ₇ P ₉	18
69	3	P ₇ P ₈ P ₉	19
70	3	P ₇ P ₈ P ₁₀	20
71	3	P ₁ P ₆ P ₉	21
72	3	P ₁ P ₆ P ₁₀	22
73	3	P ₆ P ₇ P ₈	23
74	3	P ₈ P ₉ P ₁₀	24
75	3	P ₅ P ₆ P ₈	25

№ варианта	№ рисунка	Разомкнутые рублильники	№ строки данных
76	2	P ₂ P ₆ P ₇	1
77	2	P ₂ P ₆ P ₈	2
78	2	P ₂ P ₆ P ₉	3
79	2	P ₂ P ₆ P ₁₀	4
80	2	P ₂ P ₇ P ₈	5
81	2	P ₂ P ₇ P ₉	6
82	2	P ₂ P ₈ P ₉	7
83	2	P ₃ P ₄ P ₅	8
84	2	P ₃ P ₄ P ₆	9
85	2	P ₃ P ₄ P ₁₀	10
86	2	P ₄ P ₅ P ₆	11
87	2	P ₄ P ₅ P ₁₀	12
88	2	P ₅ P ₆ P ₇	13
89	3	P ₂ P ₃ P ₄	14
90	3	P ₂ P ₃ P ₅	15
91	3	P ₂ P ₃ P ₇	16
92	3	P ₂ P ₃ P ₉	17
93	3	P ₃ P ₄ P ₅	18
94	3	P ₃ P ₄ P ₆	19
95	3	P ₃ P ₄ P ₇	20
96	3	P ₃ P ₄ P ₉	21
97	3	P ₃ P ₄ P ₁₀	22
98	3	P ₄ P ₅ P ₇	23
99	3	P ₄ P ₅ P ₉	24
100	3	P ₅ P ₆ P ₇	25

Таблица 2

№ стр.	E ₁ , B	E ₂ , B	E ₃ , B	E ₄ , B	E ₅ , B	R ₁ , O _M	R ₂ , O _M	R ₃ , O _M	R ₄ , O _M	R ₅ , O _M	R ₆ , O _M	R ₇ , O _M	R ₈ , O _M	R ₉ , O _M	R ₁₀ , O _M
1	20	10	5	4	15	10	6	4	3	8	6	6	5	4	5
2	12	20	8	15	10	5	10	8	7	12	5	10	9	6	4
3	10	5	14	12	20	6	10	5	8	10	4	7	11	5	7
4	25	10	12	10	15	10	5	4	7	7	1	5	6	8	10
5	7	12	20	20	10	4	10	3	10	5	8	6	4	2	1
6	25	50	10	10	25	10	5	4	8	7	3	9	2	3	5
7	16	10	8	20	8	5	7	2	3	4	5	2	9	1	6
8	80	10	8	25	14	8	7	1	9	3	5	10	6	7	2
9	18	20	10	15	6	9	6	2	4	4	5	8	7	2	6
10	16	20	12	20	1	3	6	8	7	4	7	10	9	5	2
11	14	12	20	15	10	9	7	1	3	4	2	1	9	7	5
12	20	10	15	12	8	1	9	7	4	4	7	1	2	2	2
13	10	7	30	5	9	3	2	5	7	6	4	3	9	5	10
14	8	20	20	10	7	8	7	1	4	6	10	7	4	3	8
15	10	15	10	8	20	2	9	2	1	4	5	3	7	10	12
16	12	8	20	10	13	7	2	4	3	8	9	2	2	7	8
17	20	15	20	18	12	8	4	3	2	7	5	5	4	3	2
18	10	12	30	8	10	5	6	4	5	7	3	6	9	9	10
19	15	18	20	12	10	3	6	8	9	5	4	6	3	2	4
20	6	10	20	15	11	3	4	7	8	4	1	2	7	3	5
21	20	8	10	17	7	3	8	4	5	7	9	5	9	3	2
22	10	12	15	8	5	5	5	6	8	10	4	3	6	5	10
23	18	9	15	10	12	10	4	5	3	6	8	4	2	2	5
24	12	7	8	10	14	3	5	7	3	8	9	4	2	5	8
25	10	15	20	6	13	10	7	4	4	8	3	3	6	5	7

БИБЛИГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Борисов Ю.М.*, Липатов Д.Н., Зорин Ю.М., Электротехника/учебное пособие для вузов – Минск: Высшая школа, 2008. – 543 с.
2. *Пономаренко В.К.*, Электротехника. Часть 1/учебное пособие – СПб.: СПбГТУРП, 2011. – 105 с.
3. *Немцов М.В.* Электротехника и электроника. /учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007. – 560 с.
4. *Кононенко В.В.* Электротехника и электроника./учебник для вузов. – Ростов-на дону: Феникс, 2007. – 778 с.
5. *Касаткин А.С.*, Немцов М.В. Электротехника. - М: Высшая школа, 2002. – 540 с.
6. *Рекус Г.Г.* Сборник задач и упражнений по электротехника и основам электроники/учебное пособие для вузов по неэлектрическим специальностям. – М.: Высшая школа. 2002. – 416 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

7. *Вольнский Б.А.*, Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника – М.: Энергоиздат, 1987
8. *Данилов И.А.* Общая электротехника с основами электроники/учебное пособие для неэлектрических специальностей. – М.: Высшая школа, 1998. – 752 с.