

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра общей электротехники

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 13.03.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 621.3.01 (073)

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. Электрические цепи постоянного тока:
Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *Е.О. Замятин*. СПб, 2021. 22 с.

Методические указания к выполнению самостоятельных работ составлены в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования.

Представлены краткие теоретические сведения и методические указания по выполнению и оформлению самостоятельных работ по дисциплине «Электротехника» для студентов бакалавриата направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Методические указания могут быть использованы студентами других направлений и специальностей по указанной дисциплине.

Научный редактор проф. *Я.Э. Шклярский*

Рецензент д-р техн. наук *В.Я. Фролов* (СПбПУ Петра Великого)

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое указание к самостоятельной работе студентов «Электрические цепи постоянного тока» служит для подготовки студентов к проведению базовых расчетов цепей постоянного тока в рамках изучения дисциплины «Электротехника».

При выполнении расчетов студенты должны научиться понимать и применять основные законы электротехники, методы расчета электрических цепей постоянного тока.

Также студенты должны уметь анализировать полученные в расчетах результаты, проверять их корректность с помощью баланса мощностей и рассчитывать нестандартные цепи.

В методическом указании приведены теоретические сведения, необходимые для решения задач, примеры решения задач и варианты аналогичных задач для самостоятельного решения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Простые электрические цепи как постоянного, так и переменного тока можно рассчитать методом эквивалентирования. Для наглядности, в рамках данных методических указаний рассматриваются цепи постоянного тока. Метод эквивалентирования цепей заключается в «сложении» цепи до одного сопротивления, путем последовательного и параллельного преобразования.

Простой цепью называется цепь, содержащая один источник электрической энергии.

ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ

Последовательное соединение

Последовательным соединением элементов называется такое соединение, при котором N -элементов включены в одну ветвь и по ним протекает один ток (рис. 1).

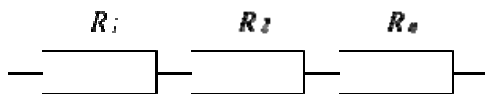


Рис. 1. Последовательное соединение

В этом случае эквивалентное сопротивление это сумма всех последовательно соединенных элементов:

$$R_{\Sigma} = \sum R_i, \quad (1)$$

где: R_{Σ} – эквивалентное сопротивление, Ом; R_i – сопротивление одного элемента, Ом.

Параллельное соединение

Параллельным соединением называется такое соединение, при котором два или более элементов имеют два общих узла (рис. 2). При параллельном соединении напряжение на всех элементах одинаково.

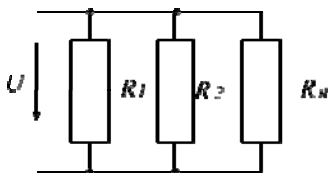


Рис. 2. Параллельное соединение

В этом случае эквивалентное сопротивление это величина обратная эквивалентной проводимости (2), а эквивалентная проводимость – сумма всех проводимостей (3):

$$R_{\text{Э}} = \frac{1}{G_{\text{Э}}}, \quad (2)$$

$$G_{\text{Э}} = \sum G_i, \quad (3)$$

где: $G_{\text{Э}}$ – эквивалентная проводимость, См; G_i – проводимость одного элемента, См.

Соединение звезда-треугольник

Не редко встречаются соединения, которые невозможно эквивалентировать последовательно или параллельно. Наиболее распространенные из них это звезда (рис. 3) и треугольник (рис. 4).

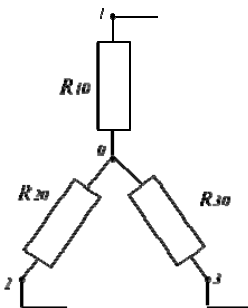


Рис. 3. Соединение Звезда

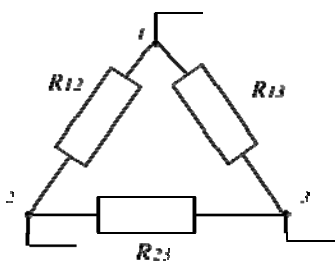


Рис. 4. Соединение Треугольник

В случае, если при эквивалентировании цепи попадаетсся соединение звезда и треугольник необходимо преобразовать тип со-

единения в противоположный: звезду в треугольник (4), треугольник в звезду (5):

$$\begin{cases} R_{12} = R_{10} + R_{20} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}} \\ R_{13} = R_{10} + R_{30} + \frac{R_{10} \cdot R_{30}}{R_{20}}, \\ R_{23} = R_{20} + R_{30} + \frac{R_{20} \cdot R_{30}}{R_{10}} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} R_{10} = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} \\ R_{20} = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}. \\ R_{30} = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} \end{cases} \quad (5)$$

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ

Дано

Параметры цепей и цепи заданы в табл. 1 и на рис. 5.
Для примера решения рассмотрим вариант № 30.

Таблица 1

Исходные данные для варианта № 30

Источник напряжения	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
U ₀ , В (по схеме)	Ом											
240 (30)	2	5	4	3	8	6	12	22	4	18	40	-

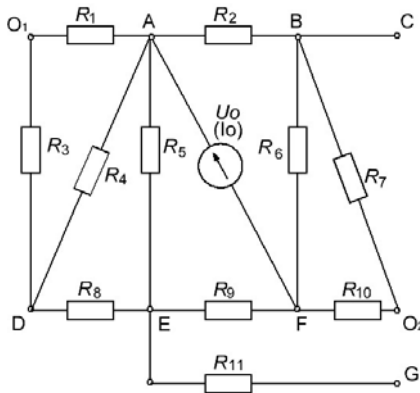


Рис. 5. Расчетная схема для варианта № 30

Задача

Определить токи и мощности всех участков цепи.

Решение

Расчет цепи выполняется по следующему алгоритму:

1. Выбрать положительные направления токов в ветвях;
2. Поэтапно эквивалентировать цепь до одного сопротивления;
3. Найти ток через источник напряжения;
4. Найти оставшиеся токи в ветвях;
5. Выполнить баланс мощностей.

1. Положительные направления токов в ветвях выбираются произвольно (рис. 6). В процессе решения какой-то из токов или все токи могут получиться отрицательными, это означает, что мы не угадали с реальным направлением тока. В таком случае никаких дополнительных действий не требуется. Во всех уравнениях все токи подставляются с учетом знаков.

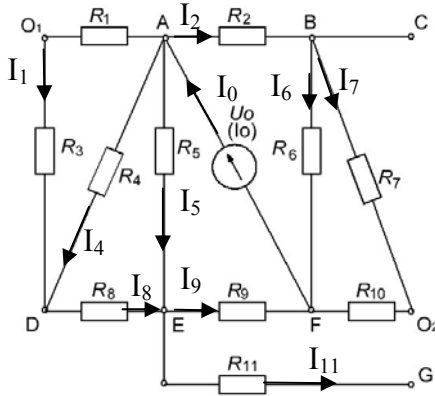


Рис. 6. Выбор положительных направлений токов

На схеме видно, что ток $I_{11} = 0$ потому что ветвь E-G никуда не подключена, а значит и тока быть не может. Такие ветви из расчета можно исключать.

2. Эквивалентирование:

1) $R_{710} = R_7 + R_{10} = 12 + 18 = 30, \text{ Ом (рис. 7);}$

2) $R_{13} = R_1 + R_3 = 2 + 4 = 6, \text{ Ом (рис. 7);}$

3) $R_{134} = \frac{R_{13} \cdot R_4}{R_{13} + R_4} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2, \text{ Ом (рис. 8);}$

4) $R_{7106} = \frac{R_{710} \cdot R_6}{R_{710} + R_6} = \frac{30 \cdot 6}{30 + 6} = 5, \text{ Ом (рис. 8);}$

5) $R_{1348} = R_{134} + R_8 = 2 + 22 = 24, \text{ Ом (рис. 9);}$

6) $R_{71062} = R_{7106} + R_2 = 5 + 5 = 10, \text{ Ом (рис. 9);}$

7) $R_{13485} = \frac{R_{1348} \cdot R_5}{R_{1348} + R_5} = \frac{24 \cdot 8}{24 + 8} = 6, \text{ Ом (рис. 10);}$

8) $R_{134859} = R_{13485} + R_9 = 6 + 4 = 10, \text{ Ом (рис. 11);}$

9) $R_9 = \frac{R_{134859} \cdot R_{71062}}{R_{134859} + R_{71062}} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5, \text{ Ом (рис. 12).}$

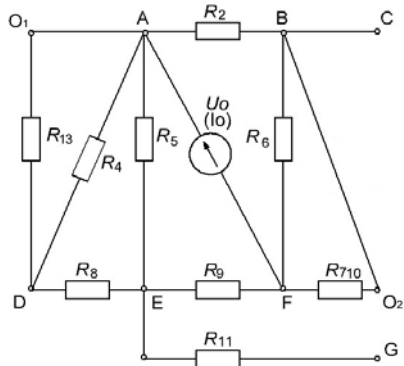


Рис. 7. Последовательное соединение элементов $R_1 - R_3$ и $R_7 - R_{10}$

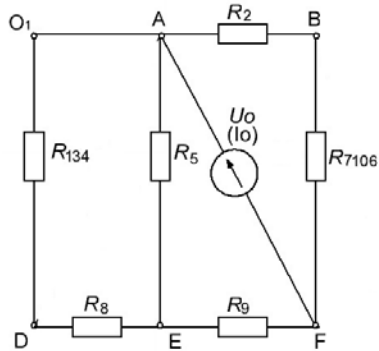


Рис. 8. Параллельное соединение элементов $R_{13} - R_4$ и $R_6 - R_{710}$

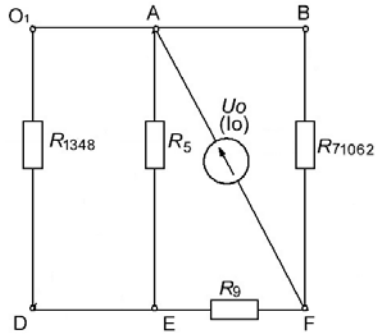


Рис. 9. Последовательное соединении элементов $R_{134} - R_8$ и $R_{7106} - R_2$

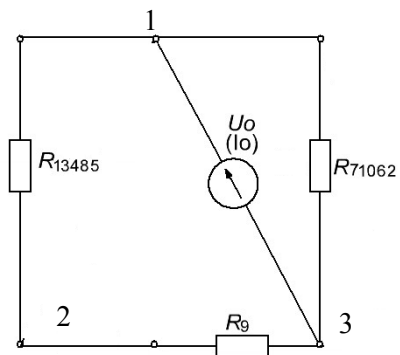


Рис. 10. Параллельное соединение элементов $R_{1348} - R_5$

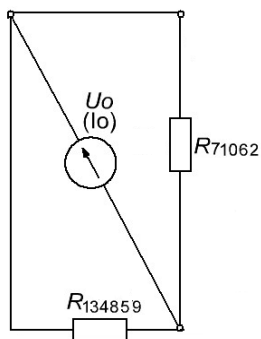


Рис. 10. Последовательное соединение элементов $R_{13485} - R_9$

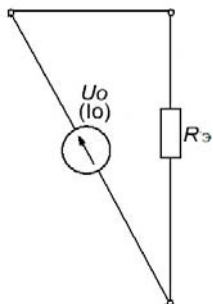


Рис. 11. Параллельное соединение элементов $R_{134859} - R_{71062}$

После всех преобразований получаем эквивалентную схему (рис. 11).

3. Ток источника напряжения:

В схемах на рис. 7-11 имеются элементы из исходной схемы (рис. 6). Такие элементы будем называть оригинальными. Через оригинальные элементы протекают те же токи, что и в исходной цепи. Тогда в схеме на рис. 11 имеется только один оригинальный элемент – источник напряжения. В исходной схеме через источник напряжения протекает ток I_0 , следовательно, и в эквивалентной схеме также будет протекать ток I_0 в таком же направлении.

Зная это, по закону Ома:

$$I_0 = \frac{U_0}{R_3} = \frac{240}{5} = 48, \text{ А.}$$

4. Токи в ветвях:

Далее определяем оставшиеся токи по эквивалентным схемам применяя законы Ома и Кирхгофа.

Из схемы на рис. 10 можно определить ток I_9 , если обойти контур 1-2-3-1 по 2-му закону Кирхгофа:

$$I_9 R_9 + I_9 R_{13485} = U_0,$$
$$I_9 = \frac{U_0}{R_9 + R_{13485}} = \frac{240}{4 + 6} = 24, \text{ А.}$$

Из схемы на рис. 9 можно определить ток I_5 , если обойти контур А-Е-Г-А по 2-му закону Кирхгофа:

$$I_5 R_5 + I_9 R_9 = U_0,$$
$$I_5 = \frac{U_0 - I_9 R_9}{R_5} = \frac{240 - 24 \cdot 4}{8} = 18, \text{ А.}$$

Из схемы на рис. 8 можно определить ток I_2 , если обойти контур А-В-Г-А по 2-му закону Кирхгофа:

$$I_2 R_2 + I_2 R_{7106} = U_0,$$
$$I_2 = \frac{U_0}{R_2 + R_{7106}} = \frac{240}{5 + 5} = 24, \text{ А.}$$

Из схемы на рис. 8 можно определить ток I_8 , если применить 1-й закон Кирхгофа для узла Е:

$$I_8 + I_5 - I_9 = 0,$$
$$I_8 = -I_5 + I_9 = -18 + 24 = 6, \text{ А.}$$

Из схемы на рис. 6 можно определить ток I_1 , если обойти контур А-О₁-D-E-A по 2-му закону Кирхгофа:

$$I_1(R_1 + R_3) + I_8R_8 - I_5R_5 = 0,$$

$$I_1 = \frac{-I_8R_8 + I_5R_5}{R_1 + R_3} = \frac{-6 \cdot 22 + 18 \cdot 8}{2 + 4} = 2, \text{ А.}$$

Из схемы на рис. 6 можно определить ток I_4 , если применить 1-й закон Кирхгофа для узла D:

$$I_1 + I_4 - I_8 = 0,$$

$$I_4 = -I_1 + I_8 = -2 + 6 = 4, \text{ А.}$$

Из схемы на рис. 6 можно определить ток I_6 , если обойти контур А-B-F-A по 2-му закону Кирхгофа:

$$I_2R_2 + I_6R_6 = U_0,$$

$$I_6 = \frac{U_0 - I_2R_2}{R_6} = \frac{240 - 24 \cdot 5}{6} = 20, \text{ А.}$$

Из схемы на рис. 6 можно определить ток I_7 , если применить 1-й закон Кирхгофа для узла В:

$$I_2 - I_6 - I_7 = 0,$$

$$I_7 = I_2 - I_6 = 24 - 20 = 4, \text{ А.}$$

Таким образом, были определены токи всех участков цепи (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчета токов в ветвях

Ток	I_0	I_1	I_2	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{11}
Значение, А	48	2	24	4	18	20	4	6	24	0

5. Баланс мощностей:

Баланс мощностей – это проверка правильности расчета – сколько энергии произведено источником, столько же и потребляется:

$$\sum P_0 = \sum P_i \quad (6)$$

Находим мощность источника напряжения:

$$P_0 = U_0I_0 = 240 \cdot 48 = 11520, \text{ Вт.}$$

Мощности сопротивлений:

$$P_1 = I_1^2R_1 = 4 \cdot 2 = 8, \text{ Вт;}$$

$$P_2 = I_2^2R_2 = 576 \cdot 5 = 2880, \text{ Вт;}$$

$$\begin{aligned}P_3 &= I_1^2 R_3 = 4 \cdot 4 = 16, \text{ Вт}; \\P_4 &= I_4^2 R_4 = 16 \cdot 3 = 48, \text{ Вт}; \\P_5 &= I_5^2 R_5 = 324 \cdot 8 = 2592, \text{ Вт}; \\P_6 &= I_6^2 R_6 = 400 \cdot 6 = 2400, \text{ Вт}; \\P_7 &= I_7^2 R_7 = 16 \cdot 12 = 192, \text{ Вт}; \\P_8 &= I_8^2 R_8 = 36 \cdot 22 = 792, \text{ Вт}; \\P_9 &= I_9^2 R_9 = 576 \cdot 4 = 2304, \text{ Вт}; \\P_{10} &= I_7^2 R_{10} = 16 \cdot 18 = 288, \text{ Вт}; \\P_{11} &= I_{11}^2 R_{11} = 0 \cdot 40 = 0, \text{ Вт}.\end{aligned}$$

Итого:

$$\sum_{i=1}^{11} P_i = 11520, \text{ Вт}.$$

Баланс мощностей сошелся, следовательно токи найдены верно.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Расчет простой цепи постоянного тока

Определить токи и мощности всех участков цепи.

Значения по вариантам заданы в табл. 3.

Схемы согласно вариантам представлены на рис. 12 – 41.

Таблица 3

Данные для расчета

Источник напряжения	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
U ₀ , В (по схеме)	Ом											
150 (1)	1	9	9	12	24	10	9	9	1	2	4	20
270 (2)	4	12	12	6	5	12	12	1	8	12	12	-
240 (3)	12	23	37	12	8	18	8	19	4	12	4	10
100 (4)	4	2	6	27	10	4	8	19	13	19	5	2
300 (5)	8	5	29	8	10	8	19	27	3	8	10	-
120 (6)	36	1	12	6	7	56	8	49	2	7	5	-
180 (7)	4	10	6	6	24	5	10	9	18	4	4	-
250 (8)	4	2	9	2	40	24	10	9	9	9	12	-
168 (9)	4	2	19	8	4	7	23	1	4	16	-	-
120 (10)	7	1	15	18	6	10	25	12	3	24	-	-
240 (11)	20	2	10	4	8	24	8	3	6	2	32	30
300 (12)	6	1	18	15	5	40	42	5	3	5	-	-
216 (13)	6	8	24	18	8	16	6	12	16	-	-	-
160 (14)	2	7	3	7	42	56	4	3	14	12	4	9
210 (15)	12	6	6	12	12	5	6	6	12	6	-	-
216 (16)	6	9	6	6	4	9	9	24	12	9	-	-
320 (17)	3	5	10	52	8	10	10	8	8	3	30	5
180 (18)	3	6	6	8	4	12	6	6	6	12	9	18
176 (19)	1	1	8	8	56	7	12	8	24	2	30	6
200 (20)	4	3	2	15	24	4	10	2	8	24	12	-
240 (21)	20	6	20	10	4	8	20	12	6	4	4	-
72 (22)	14	20	20	10	12	6	10	9	18	2	-	-
180 (23)	5	26	4	12	4	6	8	12	24	8	-	-

Источник напряжения	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
120 (24)	4	4	30	20	2	12	10	10	5	20	30	-
320 (25)	16	2	4	24	9	10	20	2	10	20	10	-
120 (26)	4	3	12	18	24	9	10	4	18	2	8	12
180 (27)	4	14	6	8	6	9	6	6	6	4	8	-
120 (28)	3	2	46	12	10	24	8	10	2	5	20	-
180 (29)	4	4	4	20	8	40	5	16	4	2	24	-
240 (30)	2	5	4	3	8	6	12	22	4	18	40	-

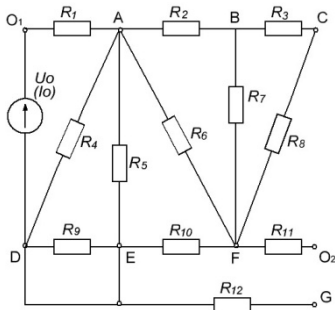


Рис. 12. Вариант 1

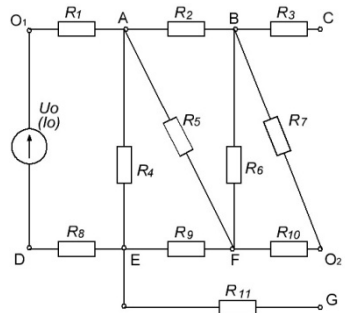


Рис. 13. Вариант 2

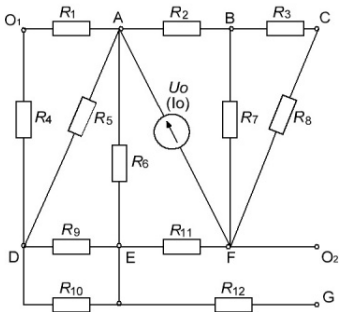


Рис. 14. Вариант 3

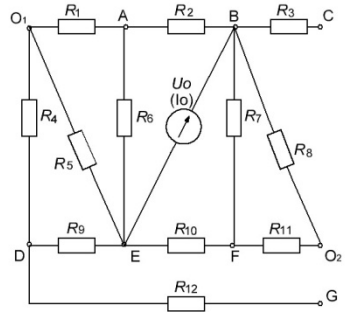


Рис. 15. Вариант 4

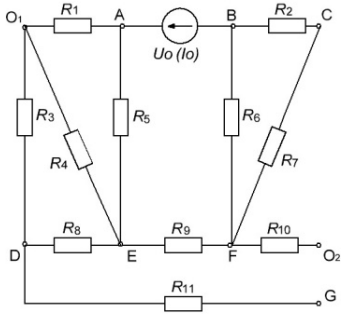


Рис. 16. Вариант 5

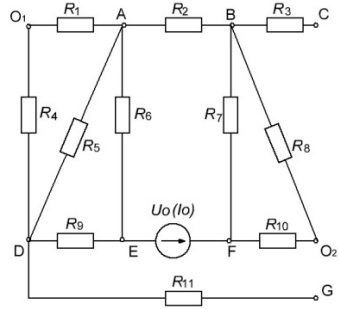


Рис. 17. Вариант 6

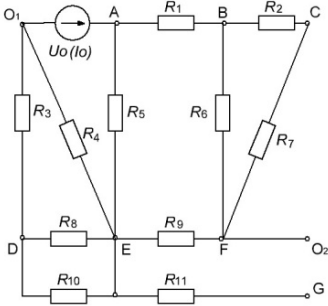


Рис. 18. Вариант 7

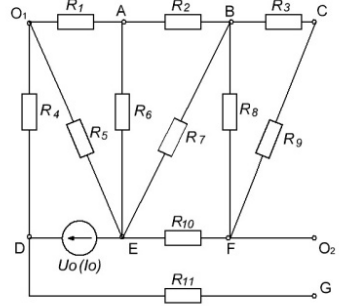


Рис. 19. Вариант 8

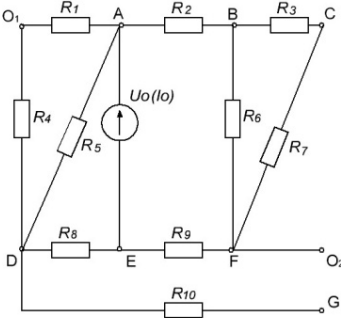


Рис. 20. Вариант 9

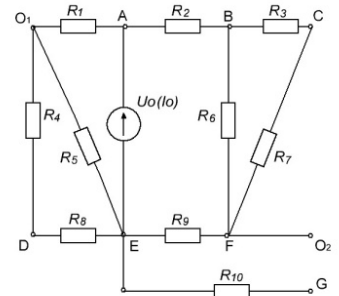


Рис. 21. Вариант 10

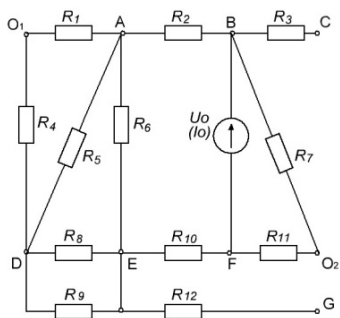


Рис. 22. Вариант 11

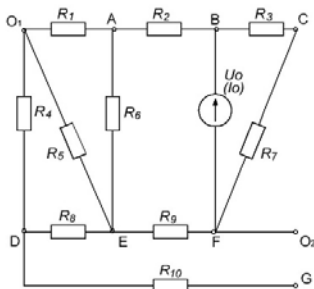


Рис. 23. Вариант 12

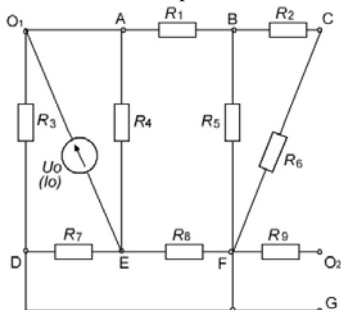


Рис. 24. Вариант 13

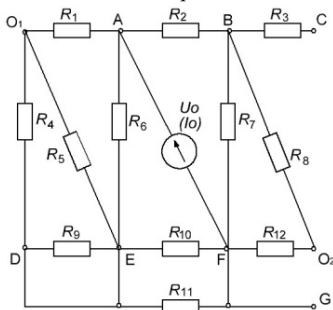


Рис. 25. Вариант 14

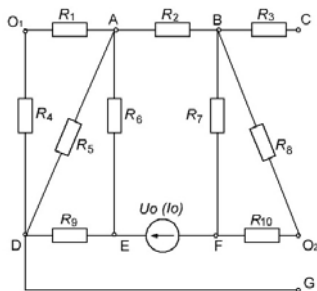


Рис. 26. Вариант 15

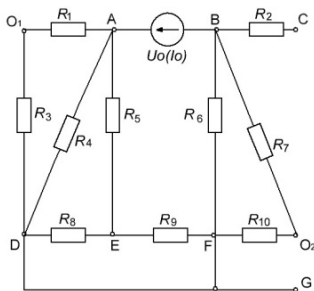


Рис. 27. Вариант 16

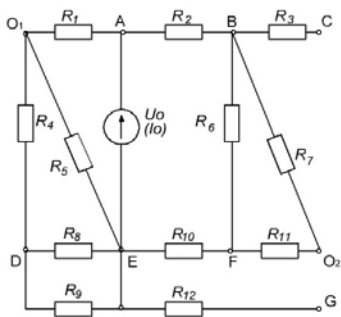


Рис. 28. Вариант 17

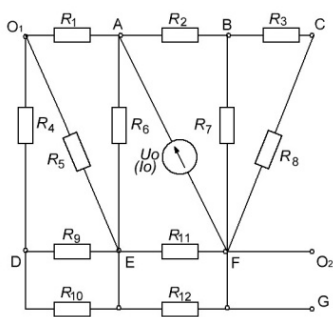


Рис. 29. Вариант 18

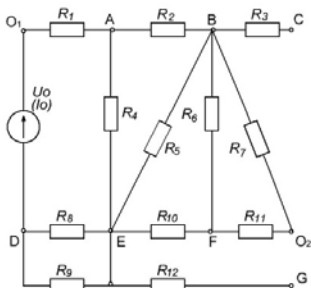


Рис. 30. Вариант 19

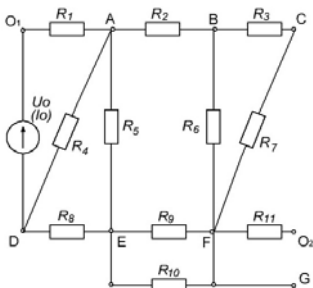


Рис. 31. Вариант 20

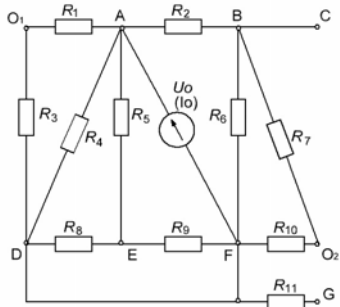


Рис. 32. Вариант 21

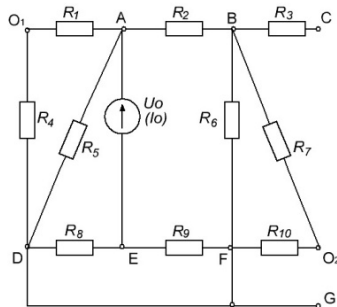


Рис. 33. Вариант 22

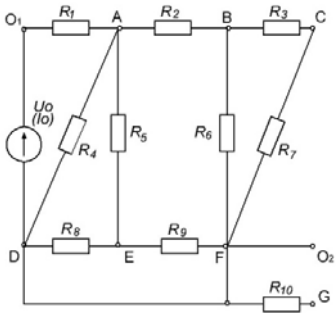


Рис. 34. Вариант 23

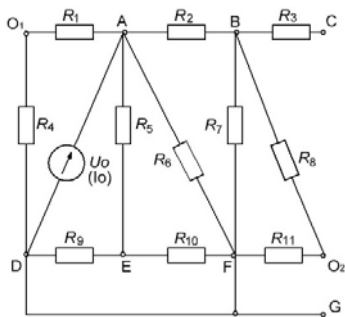


Рис. 35. Вариант 24

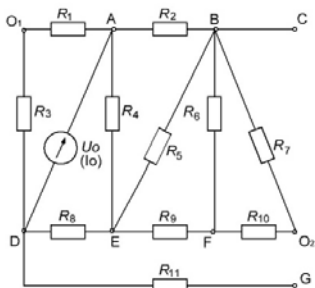


Рис. 36. Вариант 25

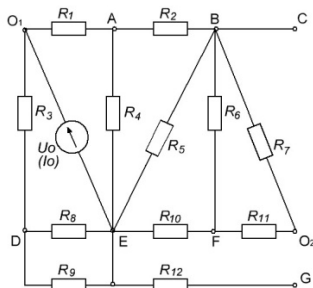


Рис. 37. Вариант 26

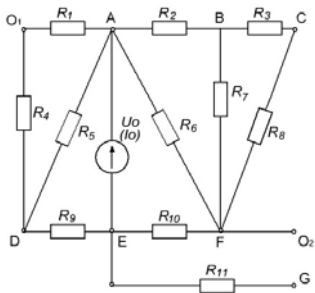


Рис. 38. Вариант 27

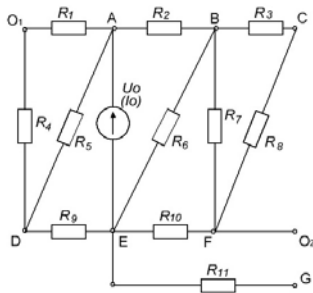


Рис. 39. Вариант 28

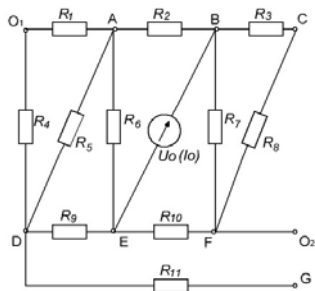


Рис. 40. Вариант 29

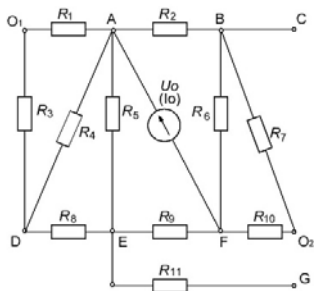


Рис. 41. Вариант 30

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нейман В.Ю.* Теоретические основы электротехники в примерах и задачах. Ч.1 Линейные эл цепи пост тока [Электронный ресурс]: учеб пособие/ В.Ю. Нейман. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.- 116с. – Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229135. – Загл. с экрана
2. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – М.: Гардарики, 2002.
3. *Зевке Г.В.* Основы теории цепей. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	4
ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ	4
ПРИМЕР РЕШЕНИЯ	7
ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	14
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	21

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 13.03.02*

Сост.: *Е.О. Замятин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
общей электротехники

Ответственный за выпуск *Е.О. Замятин*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 13.04.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 75 экз. Заказ 303.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2