МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

Отделение ядерной физики и технологий

Одобрено на заседании Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ, протокол №25.8 от 25.08.2025

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине

Электротехника

для направления подготовки

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

код и название специальности

образовательная программа

«Плазменные и лазерные технологии материалов»

Форма обучения: очная

Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Электротехника» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Цели и задачи фонда оценочных средств

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Электротехника» решаются следующие задачи:

– контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной дисциплины;

– контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины;

– обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ООП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Наименование компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-2	Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений	З-ОПК-2 знать основные принципы проектирования технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений У-ОПК-2 уметь проектировать технические объекты, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений В-ОПК-2 владеть навыками проектирования технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
ОПК-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области проектного менеджмента	З-ОПК-3 знать основы управления и проектного менеджмента в области профессиональной деятельности; У-ОПК-3 уметь содействовать в организации и управлении профессиональной деятельностью; В-ОПК-3 владеть навыками управления профессиональной деятельностью, используя знания в области проектного менеджмента
ОПК-4	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.	З-ОПК-4 знать основные методы проведения экспериментальных исследований, контроля и диагностики; У-ОПК-4 уметь пользоваться современными средствами измерения, контроля и обработки экспериментальных данных; В-ОПК-4 владеть навыками выбора методик и оборудования для проведения экспериментальных исследований и измерений, а также обработки и представления полученных экспериментальных данных.
ОПК-6	ОПК-6. Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии	З-ОПК-6 знать эффективные и безопасные технические средства и технологии в области профессиональной деятельности; У-ОПК-6 уметь принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии; В-ОПК-6 владеть навыками решения стандартных задач профессиональной деятельности, вы-

		бирая эффективные и безопасные технические средства и технологии.
УКЦ-2	Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач	З-УКЦ-2 Знать: методики сбора и обработки информации с использованием цифровых средств, а также актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, принципы, методы и средства решения стандартных задач профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности У-УКЦ-2 Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; с использованием цифровых средств, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, и решать стандартные задачи профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности В-УКЦ-2 Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации с использованием цифровых средств для решения поставленных задач, навыками подготовки обзоров, аннотаций, составления рефератов, научных докладов, публикаций и библиографии по научно-исследовательской работе с использованием цифровых средств и с учетом требований информационной безопасности
УКЕ-1	Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	З-УКЕ-1 знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-УКЕ-1 уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи В-УКЕ-1 владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами

1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ООП бакалавриата

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Место дисциплины и соответствующий этап формирования компетенций в целостном процессе подготовки по образовательной программе можно определить по матрице компетенций, которая приводится в РП дисциплины.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см.РПД).

1.2. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения
1.3.

№ п/п	**Контролируемые разделы (темы) дисциплины**	**Индикатор достижения компетенции**	**Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации**
Текущая аттестация			
1.	Линейные электрические цепи постоянного тока	ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-6; УКЦ-2; УКЕ-1	Домашние задания Контрольная работа Лабораторные работы
2.	Линейные электрические цепи переменного тока		
3.	Трехфазные цепи		
4	Магнитные цепи		
5	Переходные процессы		
6	Нелинейные электрические цепи		
7	Электрические машины		
Промежуточная аттестация			
	Зачет с оценкой	ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-6; УКЦ-2; УКЕ-1	Зачетный билет

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	**Содержательное описание уровня**	**Основные признаки выделения уровня**	**БРС, % освоения**	**ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета**
Высокий Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины	Творческая деятельность	Включает нижестоящий уровень. Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
Продвинутый Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	Включает нижестоящий уровень. Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			70-84	C/ Хорошо/ Зачтено
Пороговый Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-69	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/ Посредственно /Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Незачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	**Текущий контроль**	**Промежуточная аттестация**
высокий	**высокий**	**высокий**
	продвинутый	высокий
	высокий	продвинутый
продвинутый	пороговый	высокий
	высокий	пороговый
	продвинутый	**продвинутый**
	продвинутый	пороговый
	пороговый	продвинутый
пороговый	**пороговый**	**пороговый**
ниже порогового	**пороговый**	**ниже порогового**
	ниже порогового	**-**

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
    - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
    - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	**Неделя**	**Балл**	
		Минимум*	Максимум
Текущая аттестация	**1-16**	**36**	**60**
Контрольная точка № 1	**7-8**	**18**	**30**
Контрольная работа		18	30
Контрольная точка № 2	**15-16**	**18**	**30**

Контрольная работа		18	30
Промежуточная аттестация	**-**	**24**	**40**
Зачет	-		
Экзаменационный билет	-	24	40
ИТОГО по дисциплине		**60**	**100**

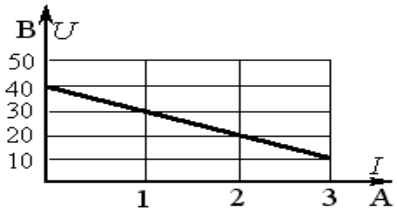
* Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, зачету или экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

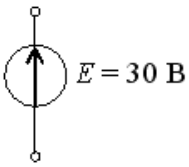
Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачету/экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

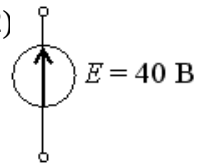
4.Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков

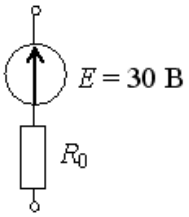
Задание 1. Представленной внешней характеристике источника ЭДС соответствует схема …

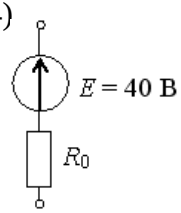


Варианты ответов**:**

1) 

2) 

3) 

4) 

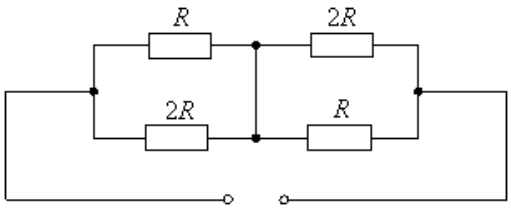
Задание 2. Указать, какие свойства среди перечисленных относятся к параллельному соединению резисторов:

Варианты ответов:

1) $I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$; 2) $U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$;

3) $\frac{1}{g_{экв}} = \frac{1}{g_1} + \frac{1}{g_2} + \ldots + \frac{1}{g_n}$; 4) $R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$.

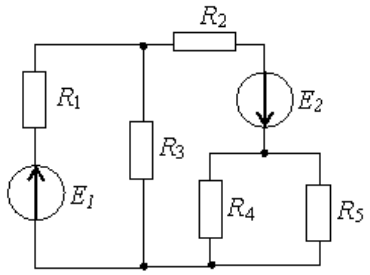
Задание 3. Эквивалентное сопротивление цепи $R_{экв}$ равно…



Варианты ответов:

1) $\frac{4}{3}R$; 2) $\frac{2}{3}R$; 3) $\frac{3}{2}R$; 4) $\frac{3}{4}R$.

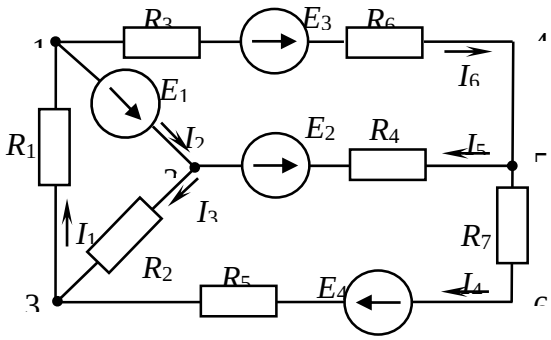
Задание 4. Общее количество независимых уравнений по законам Кирхгофа, необходимое для расчета токов в ветвях заданной цепи, составит…



Варианты ответов:

1) пять;
2) три;
3) два;
4) четыре.

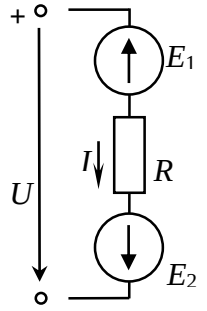
Задание 5. Выбрать правильно составленные уравнения по первому закону Кирхгофа для узла 2.



Варианты ответов:

1) $I_2 + I_5 + I_3 = 0$; 2) $I_2 + I_5 - I_3 = 0$;
3) $I_6 + I_5 - I_2 = 0$; 4) $I_2 + I_5 - I_3 = 0$.

Задание 6. При заданных направлениях ЭДС, напряжения и тока выражение для напряжения ветви запишется в виде…



Варианты ответов:

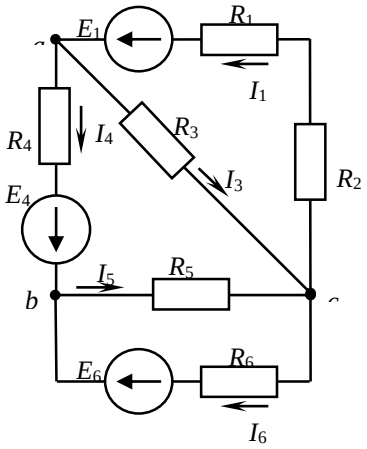
1) $U = E_1 - E_2 - RI$;
2) $U = E_1 - E_2 + RI$;
3) $U = E_1 + E_2 + RI$;
4) $U = -E_1 + E_2 + RI$.

Задание 7. Количество уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, равно числу …

Варианты ответов:

1) узлов схемы плюс один;
2) независимых контуров;
3) узлов схемы;
4) узлов схемы минус один.

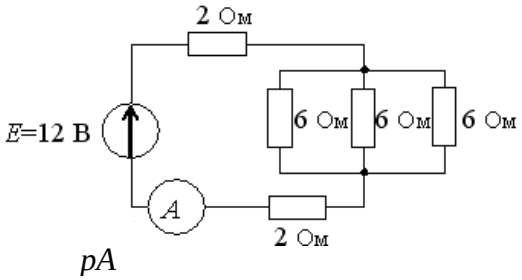
Задание 8. Если токи в ветвях I_3 = 2А, I_4 = 4А, то ток I_1 будет равен…



Варианты ответов:

1) 2 А;
2) 8 А;
3) 6 А;
4) -2 А.

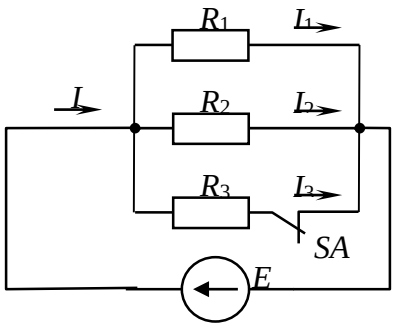
Задание 9. Показание амперметра *pA* составит…



Варианты ответов:

1) 1,2 А;
2) 1,7 А;
3) 0,5 А;
4) 2 А.

Задание 10. Проанализировать, как изменятся токи I, I_1, I_2, I_3 при размыкании ключа.



Варианты ответов:

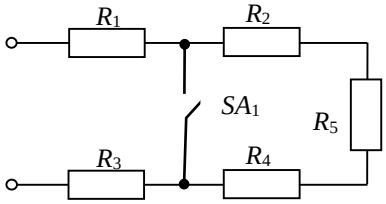
1) I не изменится, I_1 увеличится, I_2 увеличится, $I_3 = 0$;

2) I увеличится, I_1 увеличится, I_2 увеличится, $I_3 = 0$;

3) I уменьшится, I_1 увеличится, I_2 увеличится, $I_3 = 0$;

4) I уменьшится, I_1 не изменится, I_2 не изменится, $I_3 = 0$.

Задание 11. Как изменится сила тока в электрической цепи при замыкании ключа?

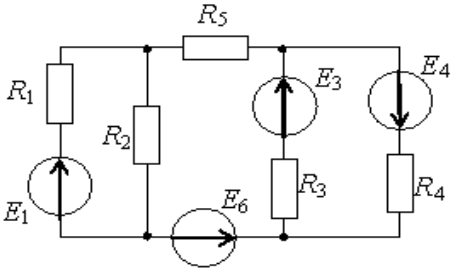


Варианты ответов:

1) это зависит от сопротивлений резисторов; 2) увеличится;

3) не изменится; 4) уменьшится.

Задание 12. Количество уравнений, необходимое для расчета токов в ветвях методом контурных токов, составит …

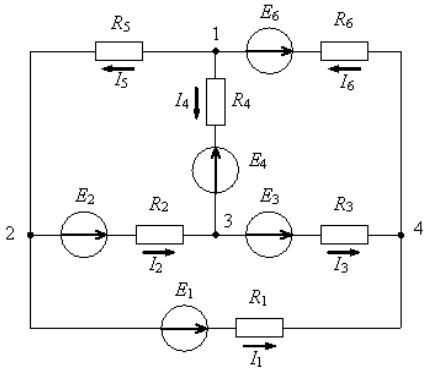


Варианты ответов**:**

1) пять; 2) шесть;

3) три; 4) четыре.

Задание 13. Собственная проводимость третьего узла вычисляется по формуле …



Варианты ответов:

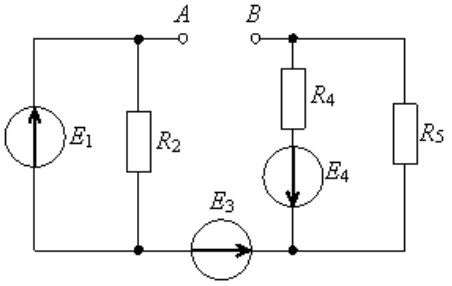
1) $1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4$;

2) $-1/R_2 - 1/R_3 - 1/R_4$;

3) $1/R_2 - 1/R_3 + 1/R_4$**;**

4) $-1/R_2 + 1/R_3 - 1/R_4$**.**

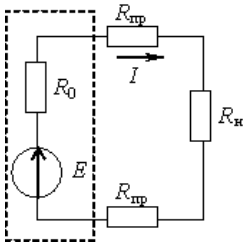
Задание 14. Если сопротивления резисторов $R_2 = 40$ Ом, $R_4 = 20$ Ом, $R_5 = 20$ Ом, то сопротивление эквивалентного генератора $R_{ЭГ}$ относительно зажимов *A-B* составит



Варианты ответов:

1) 10 Ом;
2) 50 Ом;
3) 60 Ом;
4) 80 Ом.

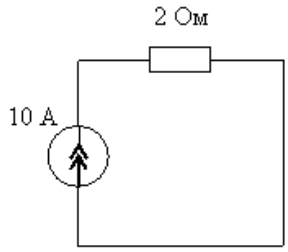
Задание 15. Источник через соединительные провода подключается к нагрузке. Выражение для мощности, определяющей потери в проводах, имеет вид …



Варианты ответов:

1) $P = R_н I^2$; 2) $P = 2R_{пр} I^{2;}$
3) $P = (2R_{пр}+R_н)I^2$; 4) $P = (2R_{пр}+R_0)I^2$.

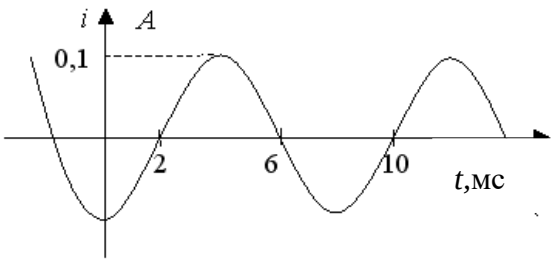
Задание 16. Мощность источника тока составит…



Варианты ответов:

1) 200 Вт; 2) 20 Вт;
3) 0 Вт; 4) 40 Вт.

Задание 17. Амплитуда I_m и частота *f* синусоидального тока *i*(*t*), показанного на рисунке, равны…



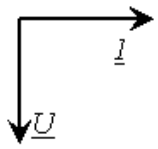
Варианты ответов:

1) 0,1 А и 125 Гц; 2) 0,1 А и 250 Гц;

3) 0,141 А и 125 Гц; 4) 0,0707 А и 250 Гц.

Задание 18. Векторная диаграмма соответствует схеме, содержащей _____ элемент(ы)

.



Варианты ответов:

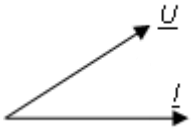
1) только емкостный;

2) резистивный и емкостный;

3) только индуктивный;

4) резистивный и индуктивный.

Задание 19. Векторная диаграмма соответствует схеме, содержащей _____ элемент(ы)



Варианты ответов:

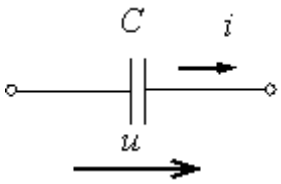
1) только емкостный;

2) резистивный и емкостный;

3) только индуктивный;

4) резистивный и индуктивный.

Задание 20. Емкостное сопротивление X_C при величине C =100 мкФ и частоте f = 50 Гц равно …

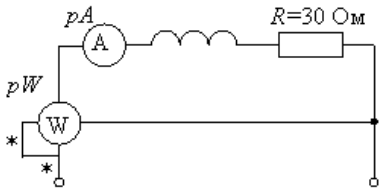


Варианты ответов:

1) 100 Ом; 2) 31400 Ом;

3)314 Ом; 4)31,84 Ом.

Задание 21. Если ваттметр показывает pW = 120 Вт, то показание амперметра pA равно…



Варианты ответов:

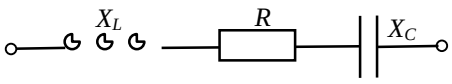
1) 2 А;

2) 3 А;

3) 4 А;

4) 16 А.

Задание 22. Комплексное сопротивление приведенной цепи $\underline{Z}$ в алгебраической форме записи при R = 8 Ом, X_L = 7Ом, X_C = 13Ом составляет…



Варианты ответов:

1) $\underline{Z} = 8 + j\,6$ Ом; 2) $\underline{Z} = 28$ Ом;

3) $\underline{Z} = 8 - j\,20$ Ом; 4) $\underline{Z} = 8 - j\,6$ Ом.

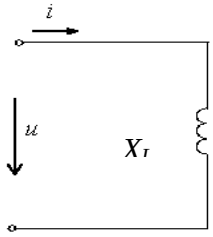
Задание 23. Если $u(t)=60\sin(\omega t - 45°)$В, а $i(t)=0{,}1\sin(\omega t + 30°)$А, то полное сопротивление и угол сдвига фаз между напряжением и током соответственно равны …

Варианты ответов:

1) 6 Ом и 15°; 2) 600 Ом и 75;

3) 600 Ом и – 75°; 4) 6 Ом и –15°.

Задание 24. Если приложенное напряжение $u(t) = 220\sin(\omega t)$ В и $X_L = 10$ Ом, то ток $i(t)$ равен …



Варианты ответов:

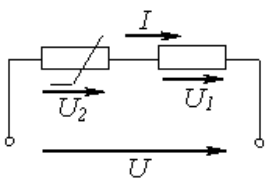
1) $22\sin(\omega t - 90°)$ А;

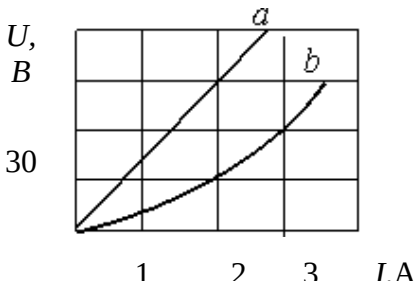
2) $22\sin(\omega t + 90°)$ А;

3) $22\sin(\omega t)$ А;

4) $2200\sin(\omega t)$ А.

Задание 25. Напряжение U, приложенное при последовательном соединении линейного (a) и нелинейного (b) сопротивлений при токе $I = 2$А, составит…



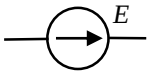


Варианты ответов:

1) 10 В; 2) 40 В; 3) 30 В; 4) 20 В.

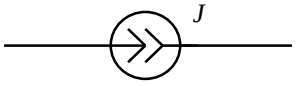
1. *Задачи*

Задача 1



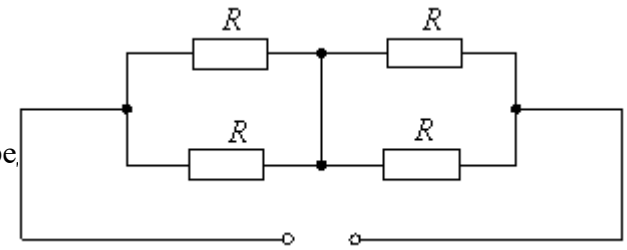
Условное графическое обозначение какого элемента электрической цепи представлено на рисунке?

Задача 2



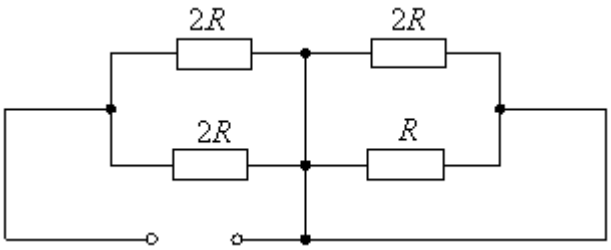
Условное графическое обозначение какого элемента электрической цепи представлено на рисунке?

Задача 3



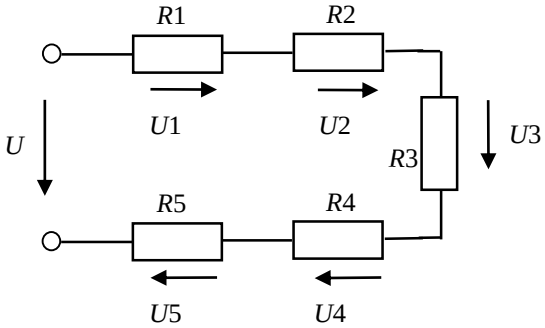
Опре

Задача 4



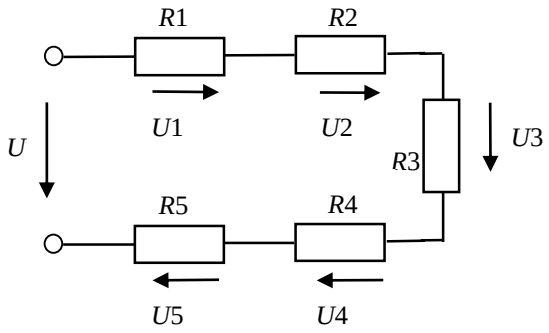
Определить эквивалентное сопротивление цепи.

Задача 5



Определить коэффициент передачи (коэффициент деления) напряжения $K3 = U3 / U$, при $R1 = 1$Ом, $R2 = 2$Ом, $R3 = 3$Ом, $R4 = 4$Ом, $R5 = 5$Ом.

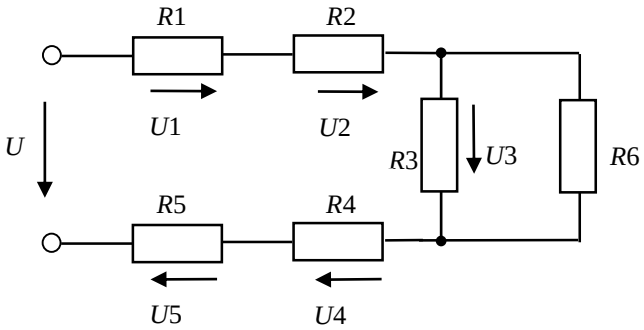
Задача 6



$R1 = 1$Ом, $R2 = 2$Ом, $R3 = 3$Ом, $R4 = 4$Ом, $R5 = 5$Ом.

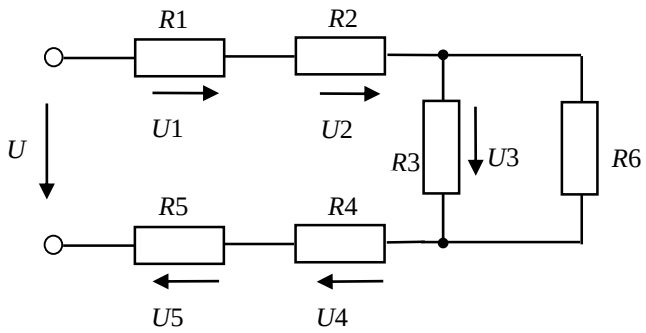
Какое по величине напряжение U необходимо приложить к цепи, чтобы напряжение $U3$ было равно 5В?

Задача 7



Определить коэффициент передачи (коэффициент деления) напряжения $K3 = U3 / U$, при $R1 = 1$Ом, $R2 = 2$Ом, $R3 = 3$Ом, $R4 = 4$Ом, $R5 = 5$Ом, $R6 = 6$Ом.

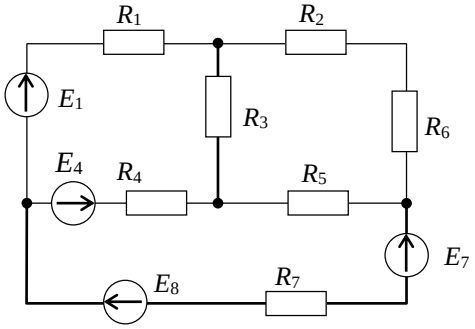
Задача 8



$R1 = 1$Ом, $R2 = 2$Ом, $R3 = 3$Ом, $R4 = 4$Ом, $R5 = 5$Ом, $R6 = 6$Ом.

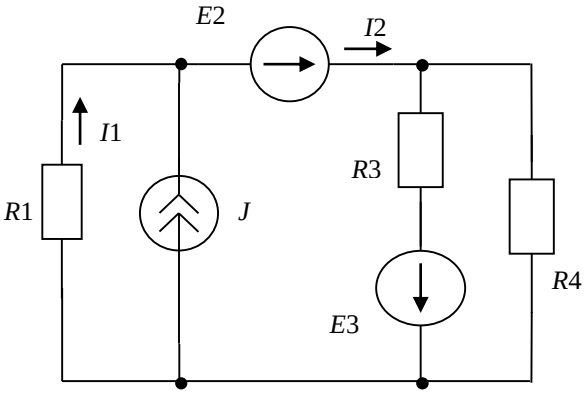
Какое по величине напряжение U необходимо приложить к цепи, чтобы напряжение $U3$ было равно 3В?

Задача 9



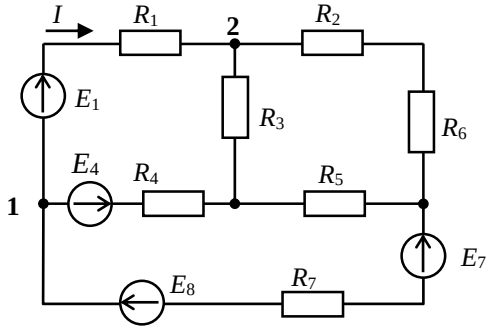
Сколько уравнений должна содержать система, позволяющая с помощью метода Кирхгофа рассчитать токи, протекающие в представленной схеме.

Задача 10



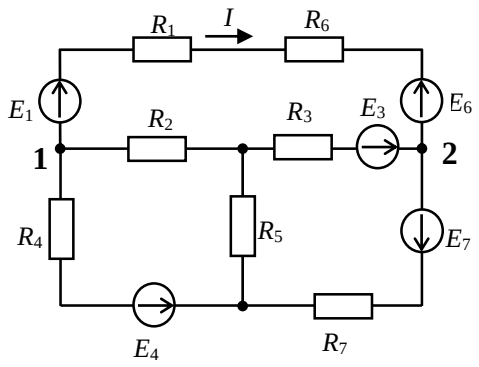
Определить значение тока $I2$, если $I1 = 2$А, $J = 3$А.

Задача 11



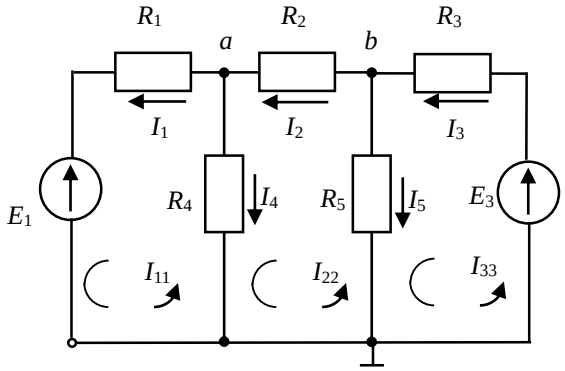
В схеме, представленной на рисунке, $E_1 = 6$В, $R_1 = 2$ Ом
Определить значение тока I, если потенциалы узлов 1 и 2 известны, $\varphi_1 = 12$В, $\varphi_2 = 4$В.

Задача 12



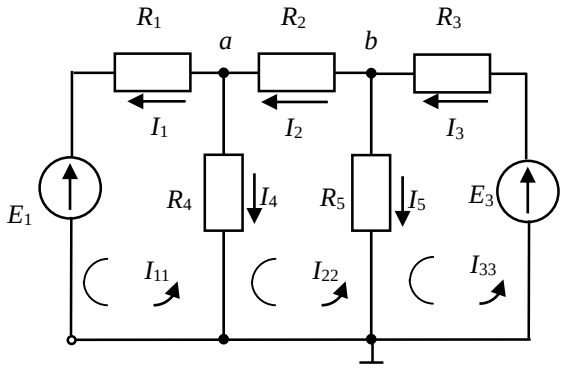
В схеме, представленной на рисунке, E_1= 16В, R_1 = 2 Ом, E_6= 8В, R_6 = 4 Ом,
Определить значение тока I, если потенциалы узлов 1 и 2 известны, φ_1 = 20В, φ_2 = 10В.

Задача 13



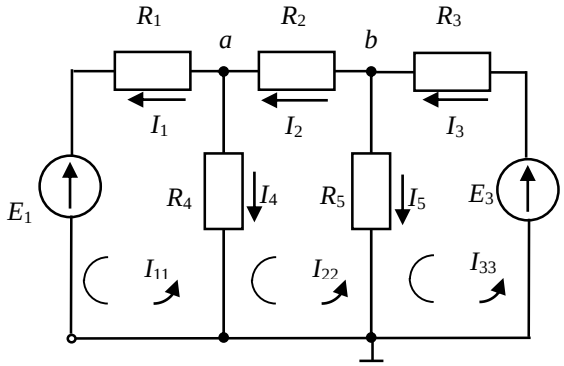
Определить величину тока I_2, если значения контурных токов известны I_{11} = 1А, I_{22} = 2А, I_{33} = 3А.

Задача 14



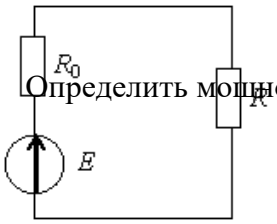
Определить величину тока I_4, если значения контурных токов известны $I_{11} = 1$А, $I_{22} = 2$А, $I_{33} = 3$А.

Задача 15



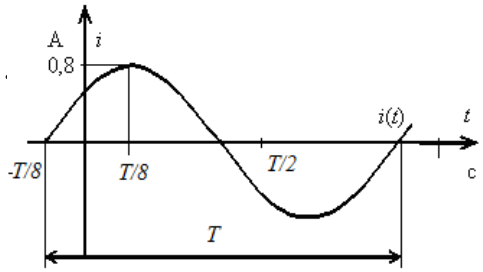
Определить потенциал узла b, если значения контурных токов известны $I_{11} = 1$А, $I_{22} = 2$А, $I_{33} = 3$А, а сопротивление $R_5 = 5$ Ом..

Задача 16



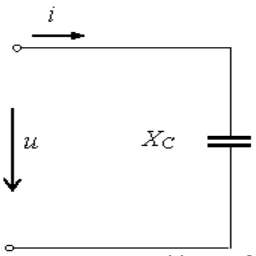
Определить мощность источника, если $E = 30$В, $R_0 = 1$ Ом, $R = 9$Ом.

Задача 17



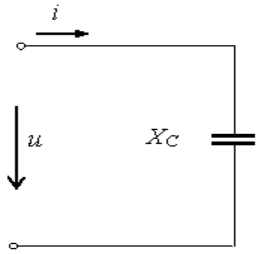
Определить величину начальной фазы синусоидального тока $i(t)$.

Задача 18



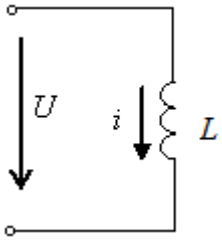
Опр ı тока, протекающего в конденсаторе, если приложенное к конденсатору напряжение $u(t) = 20 \sin(\omega t + 90°)$ В, а сопротивление конденсатора Xc =10 Ом.

Задача 19



Записать выражение для мгновенного значения напряжения $u(t)$, приложенного к конденсатору, если в нем протекает ток $i(t) = 2 \sin(\omega t + 90°)$ В, а сопротивление конденсатора Xc =10 Ом.

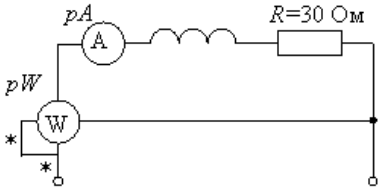
Задача 20



Записать выражение для мгновенного значения напряжения $u(t)$, приложенного к индуктивному элементу, если в нем протекает ток $i(t) = 2 \sin(\omega t - 90°)$ В, а сопротивление элемента X_L =10 Ом.

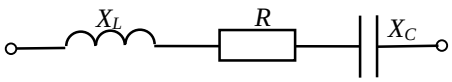
Задача 21

Определить показания амперметра pA, если ваттметр показывает pW = 270 Вт.



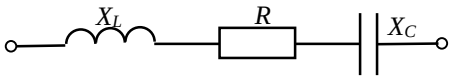
Задача 22

Определить комплексное сопротивление цепи $\underline{Z}$ в алгебраической форме записи при R = 8 Ом, X_L = 12 Ом, X_C = 10Ом.



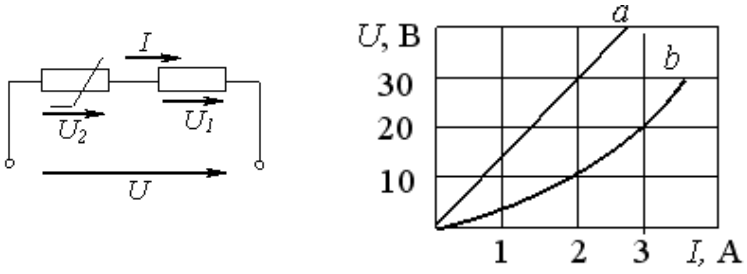
Задача 23

Определить разность фаз между напряжением и током на входе цепи, если R = 10 Ом, X_L = 12 Ом, X_C = 2Ом.

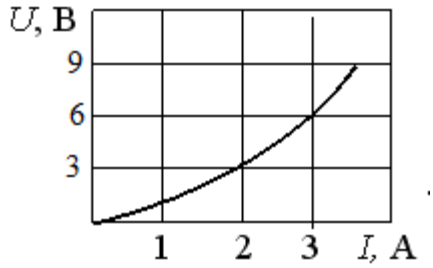


Задача 24

Определить напряжение U, приложенное при последовательном соединении линейного (a) и нелинейного (b) сопротивлений при токе I = 2А.



Задача 25



Определить статическое сопротивление нелинейного резистора при токе $I = 2$А.

Оценка	**Шкала**
Отлично	Количество верных ответов: 90-100%
Хорошо	Количество верных ответов в интервале: 81-89%
Удовлетворительно	Количество верных ответов в интервале: 60-80%
Неудовлетворительно	Количество верных ответов в интервале: 0-59%

или

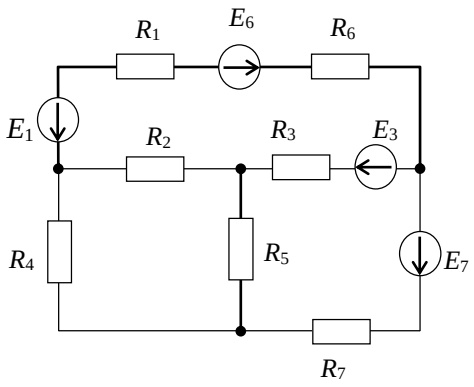
Зачтено	Количество верных ответов в интервале: 60%
Незачтено	Количество верных ответов в интервале: 0-59%

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

направление подготовки: *22.03.01 Материаловедение и технологии материалов*
Дисциплина *Электротехника*

Пример
Домашнего расчетного задания

R1=100Ом; R2=120Ом; R3=150Ом; R4=200Ом;
R5=180Ом; R6=100Ом; R7=130Ом; E1=10В;
E3=30В; E6=20В;E7=15В;



1.Записать систему уравнений Кирхгофа
2. Определить токи, протекающие в ветвях методом контурных токов.
3. Определить токи, протекающие в ветвях методом узловых потенциалов
4.Определить ток, протекающий в резисторе R1, методом эквивалентного генератора.

Критерии и шкала оценивания

Оценка	**Критерии оценки**
Отлично с 90 до 100 баллов	-Правильно, без ошибок представлены уравнения и алгоритмы для выполнения расчетов; -Проведены расчеты и получены правильные численные результаты; -Аккуратно и доступно с применением современных средств оформлены результаты решения; -Во время защиты даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; ответы были четкими и краткими, а мысли излагались в логической последовательности
Хорошо с 70 до 89 баллов	- Представлены не всегда рациональные уравнения и алгоритмы для выполнения расчетов; - Некоторые расчеты проведены с ошибками, получены не всегда правильные численные результаты; -Аккуратно и доступно оформлены результаты решения; -Во время защиты даны не всегда исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; ответы были не всегда чет-

	кими и краткими, а мысли излагались в логической последовательности
Удовлетворительно с 60 до69 баллов	- Представленные уравнения и алгоритмы для выполнения расчетов имеют неточности и не всегда являются рациональными; - Расчеты проведены с ошибками, получены не всегда правильные численные результаты; -Не все результаты оформлены аккуратно и доступно; -Во время защиты даны в основном правильные ответы на все поставленные вопросы, но без должной глубины и обоснования, ответы были нечеткими и без должной логической последовательности;
Неудовлетворительно менее 60 баллов	- Уравнения и алгоритмы для выполнения расчетов имеют грубые ошибки или отсутствуют частично или полностью; - Расчеты проведены с грубыми ошибками или отсутствуют; -Результаты решения оформлены небрежно и без учета требований.;

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

направление подготовки: *22.03.01 Материаловедение и технологии материалов*
Дисциплина *Электротехника*

Пример лабораторной работы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Цель работы: получение навыков сборки простых электрических цепей, измерения токов и напряжений; экспериментальная проверка законов Ома, Кирхгофа и основных свойств линейных цепей постоянного тока.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Электрическая цепь – это устройство, состоящее из источников и потребителей электрической энергии, соединенных проводниками. Источники и потребители – это элементы электрической цепи.
Схема электрической цепи – идеализированное графическое изображение электрической цепи.
К линейным цепям относятся цепи, у которых электрическое сопротивление каждого элемента или участка не зависит от значений и направлений тока и напряжения. В противном случае цепь относится к нелинейным. Вольтамперная характеристика (ВАХ) линейного элемента – зависимость между напряжением, приложенным к элементу или участку цепи, и протекающим в нем током – прямая линия. Линейная цепь состоит только из линейных элементов.
Общая задача анализа электрической цепи состоит в том, что в известной схеме цепи с заданными параметрами (ЭДС и сопротивлениями) необходимо рассчитать токи, напряжения и мощности на отдельных участках. Решение задачи анализа может быть выполнено с помощью разных методов, но все они основаны на применении закона Ома и законов Кирхгофа.
Закон Ома определяет связь между током I, протекающим на участке цепи, напряжением на этом участке U и его сопротивлением R:

$$I = U / R,$$

Откуда следуют формулы $U = RI$, $R = U / I$.
Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической цепи. Он гласит: алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю, т. е.

$$\sum_{k=1}^{n} I_k = 0,$$

где I_k – ток k-й ветви, присоединенной к данному узлу, n – число ветвей, подключенных к узлу.
Токи, направленные к узлу, записываются со знаком плюс, направленные от узла - со знаком минус.
Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрической цепи. Он формулируется следующим образом: алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях контура равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

$$\sum_{k=1}^{n} U_k = \sum_{k=1}^{n} E_k,$$

где U_k – напряжение на k -ом сопротивлении контура; E_k – k-я ЭДС, входящая в данный контур; m – число ЭДС в контуре; n – число сопротивлений в контуре.

Напряжения и ЭДС записываются со знаком плюс, если их направления совпадают с выбранным направлением обхода контура, со знаком минус в противном случае.

Анализ неразветвленных, простых цепей и цепей с одним источником электроэнергии часто выполняют с помощью закона Ома и законов Кирхгофа. При этом не прибегают к составлению и решению систем совместных уравнений, а отдельные участки, а затем и вся цепь заменяются одним элементом с эквивалентным сопротивлением. Такая замена будет эквивалентной, если токи и напряжения не преобразованной части цепи не изменятся. В результате преобразования структура цепи и ее расчет упрощаются. Рассмотрим чаще всего встречающиеся преобразования.

При последовательном соединении к одному из выводов предыдущего элемента присоединяется один из выводов последующего так что после всех соединений получается участок с двумя выводами (рис.1).

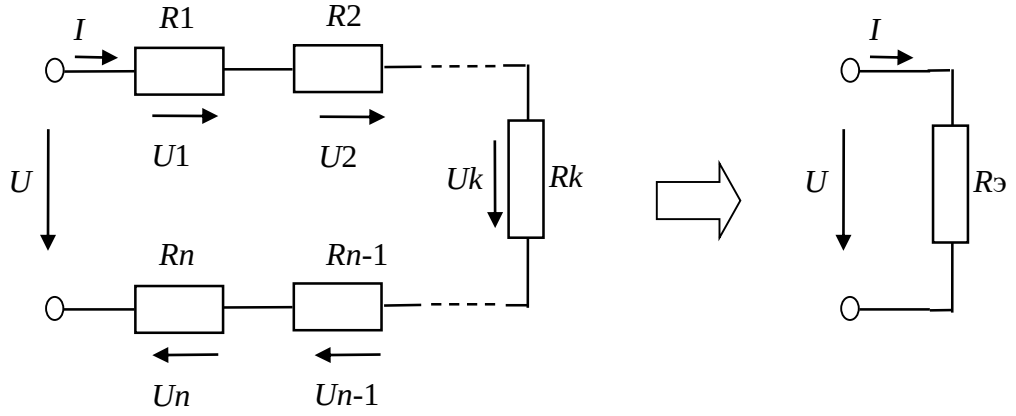


Рис.1. Преобразование последовательной цепи

При последовательном соединении во всех элементах протекает один и тот же ток, напряжение на зажимах (входе) цепи равно сумме напряжений на отдельных элементах.

$$U = \sum_{k=1}^{n} U_k = \sum_{k=1}^{n} R_k I = I \sum_{k=1}^{n} R_k = IR_Э .$$

Следовательно, последовательная цепь заменяется резистором с сопротивлением $R_Э$, равным сумме всех сопротивлений последовательно соединенных резисторов.

Последовательная резистивная цепь – это делитель напряжения, поскольку напряжение на элементе k можно записать в виде:

$$U_k = R_k I = (R_k / R_Э)U = K_u U ,$$

напряжения на резисторах прямо пропорциональны их сопротивлениям

$$U_1 : U_2 : ... : U_n = R_1 : R_2 : ... : R_n .$$

$K_u = U_k / U = R_k / R_Э < 1$ представляет собой коэффициент передачи (деления) напряжения.

Мощность, потребляемая последовательной цепью

$$P = \sum_{k=1}^{n} P_k = \sum_{k=1}^{n} R_k I^2 = I \sum_{k=1}^{n} U_k = IU ,$$

откуда:

$P_1 : P_2 : ... : P_n = R_1 : R_2 : ... : R_n$, мощности приемников прямо пропорциональны их сопротивлениям.

При параллельном соединении все элементы присоединяются к одной паре узлов, при этом ко всем элементам приложено одно и то же напряжение U (рис.2).

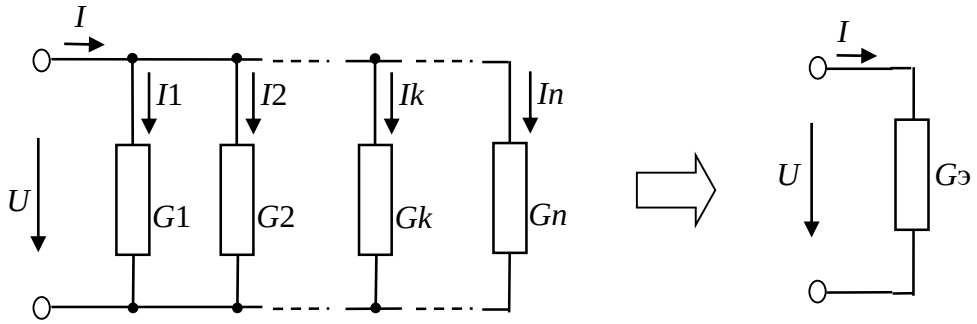


Рис.2. Преобразование параллельной цепи

На основании первого закона Кирхгофа втекающий (входной) ток равен сумме токов отдельных элементов:

$$I = \sum_{k=1}^{n} I_k = \sum_{k=1}^{n} U / R_k = \sum_{k=1}^{n} UG_k = U \sum_{k=1}^{n} G_k = UG_Э .$$

Здесь $G_k = 1/R_k$ – проводимость резистора *k*, $G_Э = 1/R_Э$ – эквивалентная проводимость цепи.

Следовательно параллельная цепь заменяется резистором с проводимостью $G_Э$, равной сумме всех проводимостей параллельно соединенных резисторов.

Параллельные резистивные цепи являются делителями тока. Ток, протекающий в резисторе *k*, можно записать в виде:

$$I_k = G_k U = (G_k / G_Э) I = K_I I ,$$

где $K_I = I_K / I = G_K / G_Э < 1$ – коэффициент передачи (деления) тока.

Т.е. при параллельном соединении токи, протекающие в резисторах, прямо пропорциональны их проводимостям или обратно пропорциональны их сопротивлениям

$$I_1 : I_2 : ... : I_n = G_1 : G_2 : ... : G_n = (1/R_1) : (1/R_2) : ... : (1/R_n)$$

Мощность, потребляемая параллельной цепью

$$P = \sum_{k=1}^{n} P_k = \sum_{k=1}^{n} R_k I_k^2 = \sum_{k=1}^{n} UI_k = \sum_{k=1}^{n} U^2 G_k = UI ,$$

откуда:

$P_1 : P_2 : ... : P_n = G_1 : G_2 : ... : G_n = (1/R_1) : (1/R_2) : ... : (1/R_n)$, мощности приемников прямо пропорциональны их проводимостям или обратно пропорциональны их сопротивлениям.

В частном случае, когда параллельное соединение образовано двумя резисторами *R*1 и *R*2, для расчета эквивалентного сопротивления удобно использовать соотношение:

$$R_Э = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

Смешанное соединение представляет собой комбинацию последовательного и параллельного соединений. Эквивалентное сопротивление определяют постепенно упрощая схему и «сворачивая» ее, что бы получить одно сопротивление. При расчете токов в отдельных ветвях схему «разворачивают» в обратном порядке. Множество примеров применения методов преобразования пассивных схем можно найти в литературе [1-5].

Для анализа сложных, разветвленных цепей и особенно цепей с несколькими источниками наиболее часто используются метод Кирхгофа, контурных токов, узловых потенциалов, эквивалентного генератора. Подробное описание методов можно найти в литературе. Здесь в качестве примера мы ограничимся применением указанных методов к анализу цепи на рис. 3.

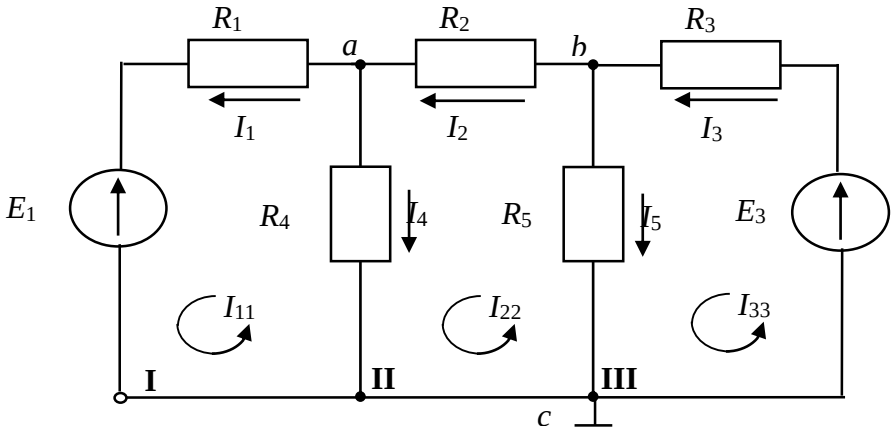


Рис. 3

По методу Кирхгофа в цепи, содержащей пассивные элементы и источники напряжений и имеющей *в* ветвей, необходимо определить столько токов, сколько ветвей имеет цепь. При этом по первому закону Кирхгофа следует составить (*у* - 1) уравнение, где *у* – число узлов в цепи, а остальные *k* = *в*-(*у*-1) записать по второму закону Кирхгофа, выбрав *k* независимых контуров.

Например, для схемы на рис. 1, содержащей 5 ветвей и 3 узла, необходимо составить систему из 5 уравнений, в том числе на основании первого закона Кирхгофа – 2 уравнения, на основании второго – 3:

$$-I_1 + I_2 - I_4 = 0;$$
$$-I_2 + I_3 - I_5 = 0;$$
$$R_1 I_1 - R_4 I_4 = -E_1;$$
$$R_2 I_2 + R_4 I_4 - R_5 I_5 = 0;$$
$$R_3 I_3 + R_5 I_5 = E_3.$$

При расчете по методу контурных токов предполагают, что в каждом независимом контуре течет свой контурный ток. Уравнения составляют относительно контурных токов, а ток каждой ветви равен алгебраической сумме контурных токов, замыкающихся через эту ветвь.

Так для цепи, изображенной на рис.1, система уравнений, составленная по методу контурных токов, может быть записана в следующем виде:

$$I_{11}(R_1 + R_4) - I_{22} \cdot R_4 - I_{33} \cdot 0 = -E_1;$$
$$-I_{11} R_4 + I_{22}(R_2 + R_4 + R_5) - I_{33} \cdot R_5 = 0;$$
$$-I_{11} \cdot 0 - I_{22} \cdot R_5 + I_{33}(R_3 + R_5) = E_3.$$

По контурным токам определяются токи в ветвях:

$$I_1 = I_{11};\ I_2 = I_{22};\ I_3 = I_{33};\ I_4 = -I_{11} + I_{22};\ I_5 = -I_{22} + I_{33}..$$

Метод узловых потенциалов заключается в определении потенциалов узлов относительно узла, потенциал которого принимается равным нулю. Так, для схемы рис. 1, система уравнений по методу узловых потенциалов относительно $\varphi_c = 0$ может быть записана следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_a\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_4}\right) - \varphi_b \frac{1}{R_2} &= \frac{E_1}{R_1}, \\ -\varphi_a \frac{1}{R_2} + \varphi_b\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_5}\right) &= \frac{E_2}{R_3}. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Зная потенциалы узлов, определенные из уравнений (1), токи в ветвях определим по закону Ома:

$$I_1 = \frac{\varphi_a - E_1}{R_1};\ I_2 = \frac{\varphi_b - \varphi_a}{R_2};\ I_3 = \frac{-\varphi_b + E_3}{R_3};\ I_4 = \frac{\varphi_a}{R_4};\ I_5 = \frac{\varphi_b}{R_5}.$$

Экспериментально потенциалы узлов определяются с помощью вольтметра относительно узла, потенциал которого принят за нулевой.

Метод эквивалентного генератора (метод холостого хода и короткого замыкания) дает возможность часть сложной электрической цепи с источниками энергии и двумя выделенными выводами, т.е. активный двухполюсник, заменить эквивалентным генератором, ЭДС которого равна напряжению холостого хода на выводах двухполюсника, и внутреннее сопротивление – выходному сопротивлению двухполюсника.

Так, если требуется определить ток I_2 в исходной схеме (рис.1), то можно записать

$$I_2 = \frac{U_{baxx}}{R_2 + R_{ЭГ}},$$

где

$$R_{ЭГ} = R_{ВХ} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5},$$

$$U_{baxx} = \frac{E_3 R_5}{R_3 + R_5} - \frac{E_1 R_4}{R_1 + R_4}.$$

Опытным путем ток I_2 может быть определен из двух опытов:

1) опыта холостого хода, когда разрывается ветвь "*ав*" и с помощью вольтметра измеряется напряжение холостого хода U_{baxx};

2) опыта короткого замыкания, когда закорачивается сопротивление R_2 и с помощью амперметра измеряется в этой ветви ток короткого замыкания $I_{2кз}$.

Тогда: $I_2 = \frac{U_{baxx}}{R_2 + U_{baxx}/I_{2кз}}$, где $\frac{U_{baxx}}{I_{2кз}} = R_{ЭГ}$.

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы/ Активная нагрузка», «Диоды, резисторы, конденсаторы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».
4. В соответствии с рабочим заданием подготовить схемы исследуемых цепей и таблицы для записи измерений.

Рабочее задание

1. Соберите линейную электрическую цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов (рис. 4). В качестве резисторов *R*1, - *R*3 используйте резисторы блока «Резисторы / Активная нагрузка», В качестве амперметра *PA*1 используйте один из ампервольтметров модуля «Измерительные приборы» в режиме DC, в качестве вольтметра *PV*1 – встроенный вольтметр источника питания *E*1. Ручку регулировки напряжения источника *E*1 установите в ноль, повернув ее против часовой стрелки до упора. Величины номинальных сопротивлений резисторов *R*1 – *R*3 установите в соответствии номером варианта (табл. 1). В качестве вольтметра *PV*2 для измерения напряжений на резисторах подготовьте и используйте один из мультиметров. Представьте схему для проверки преподавателю.

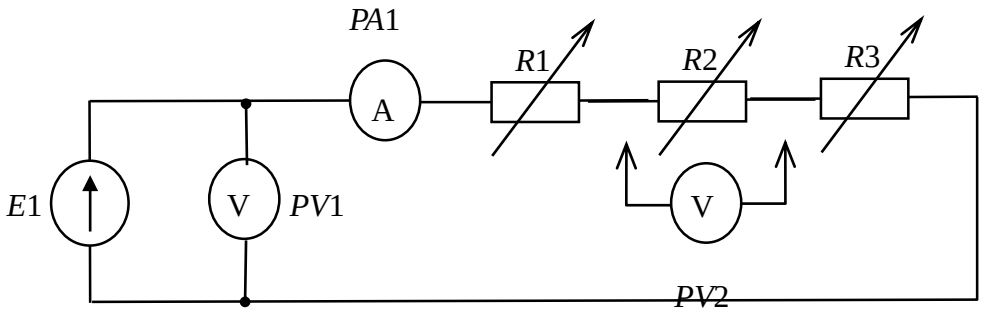


Рис. 4. Схема линейной электрической цепи постоянного тока с последовательным соединением элементов

Таблица.1

Вариант	1	2	3	4	5
*R*1, Ом	75	100	150	200	100
R2, Ом	200	75	100	75	150
	300	200	200	150	75
*R*3, Ом	75	100	150	200	150

2. Включите электропитание модулей (переведите в положение «ВКЛ» выключатели питания). Напряжение источника питания установите равным 5В, в процессе дальнейшей работы ручку регулировки напряжения не трогать и не менять напряжение источника питания. Измерьте ток в цепи, величину напряжения на входе цепи и напряжения на резисторах *R*1 – *R*3. Результаты измерений занесите в табл.2. Измените величину сопротивления *R*2 и снова проведите аналогичные измерения. Выключите электропитание.

3. По результатам измерений вычислите сопротивление каждого потребителя (*R*1, *R*2, *R*3), общее (эквивалентное) сопротивление $R_Э$ цепи, коэффициенты передачи (деления) напряжения для каждого из резисторов, мощности, потребляемые каждым из резисторов и всей цепью. Рассчитайте теоретическое значения, $R_Э$ при используемых в работе сопротивлениях *R*1, *R*2, *R*3. Результаты вычислений занесите в табл.2.

Используя результаты измерений и расчетов подтвердите основные свойства последовательного соединения, объясните изменение режима работы цепи и отдельных потребителей при изменении величины сопротивления одного из резисторов. Сформулируйте выводы.

Таблица 2

Измерено					Вычислено											
Напряжение на входе цепи	Ток в цепи	Напряжение на резисторах, В			Сопротивление потребителей, Ом			Эквивалентное сопротивление цепи, $R_Э$, Ом		Коэффициенты передачи (деления) напряжения			Мощность, Вт			
U,В	*I*, мА	*U*1	*U*2	*U*3	*R*1	*R*2	*R*3	по схеме	по измерениям	K_{U1}	K_{U2}	K_{U3}	*P*1	*P*2	*P*3	*P*

4 Соберите цепь с параллельным соединением резисторов (рис. 5). В качестве амперметров *PA*1 – *PA*4 используйте ампервольтметры модуля «Измерительные приборы» в режиме DC.

Установите в соответствии номером варианта (табл. 3) величину номинального сопротивления резисторов. Представьте схему для проверки преподавателю.

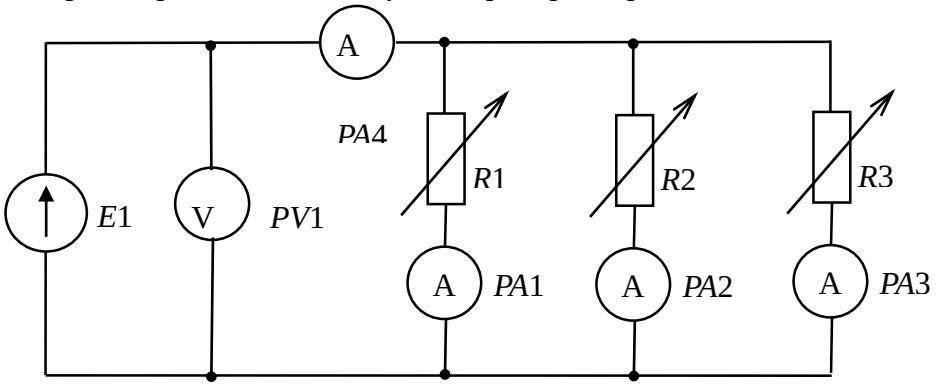


Рис. 5. Схема линейной электрической цепи постоянного тока с параллельным соединением элементов

Таблица 3

Вариант	1	2	3	4	5
*R*1, Ом	800	800	1000	1000	1200
*R*2, Ом	800	1000	1200	1000	800
	1000	800	800	1200	1000
*R*3, Ом	12000	1200	1000	800	800

5. Включите электропитание. Измерьте напряжение и токи в цепи. Результаты измерений занесите в табл. 4. Измените в соответствии с заданным вариантом величину сопротивления *R*2 и снова проведите измерения. Выключите электропитание.

6. По результатам измерений рассчитайте проводимости отдельных ветвей *G*1, *G*2, *G*3 и всей цепи $G_Э$, сопротивление всей цепи $R_Э$, коэффициенты передачи (деления) тока для каждого из резисторов, мощности, потребляемые каждым из резисторов и всей цепью. Рассчитайте теоретические значения $G_Э$, $R_Э$ при используемых в работе сопротивлениях *R*1, *R*2, *R*3. Результаты вычислений занесите в табл.4.

Используя результаты измерений и расчетов подтвердите основные свойства параллельного соединения, объясните влияние изменения величины сопротивления одного из резисторов на режим работы цепи и отдельных потребителей. Сформулируйте выводы.

Таблица 4

Измерено					Вычислено													
U, В	*I* мА	*I*1 мА	*I*2 м А	*I*3 мА	*G*1 См	*G*2 См	*G*3 См	по измерениям		по схеме		Коэффициенты передачи (деления) тока			Мощность, Вт			
								$G_Э$ См	$R_Э$ Ом	$G_Э$ См	$R_Э$ Ом	K_{I1}	K_{I2}	K_{I3}	*P*1	*P*2	*P*3	*P*

7. Соберите цепь со смешанным соединением резисторов (рис. 6). В качестве резисторов *R*1, *R*2, *R*3 используйте резисторы блока «Резисторы / Активная нагрузка», а в качестве *R*4, *R*5 – резисторы модуля «Диоды, резисторы, конденсаторы», выбрав их сопротивления в соответствии с заданным вариантом (табл. 5). В качестве амперметров *PA*1 – *PA*2 используйте амперметры модуля «Измерительные приборы» в режиме *DC*. Для измерения напряжений на резисторах используйте один из мультиметров. Представьте схему для проверки преподавателю.

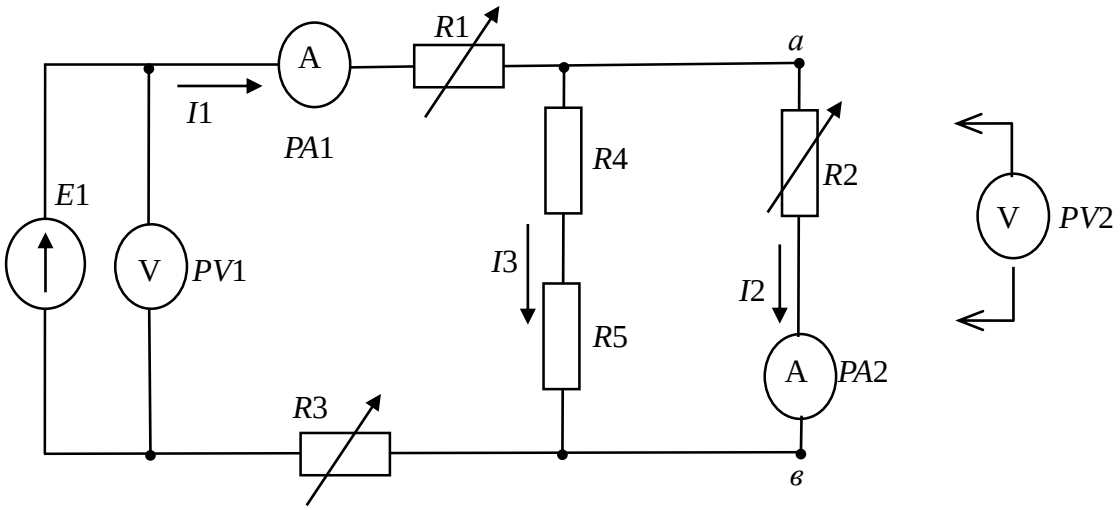


Рис. 6. Схема линейной электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением элементов

Таблица 5

Вариант	1	2	3	4	5
*R*1, Ом	100	150	200	150	200
*R*2, Ом	100	200	300	100	150
*R*3, Ом	150	100	150	100	200
*R*4, Ом	100	200	100	200	200
*R*5, Ом	100	100	200	200	100

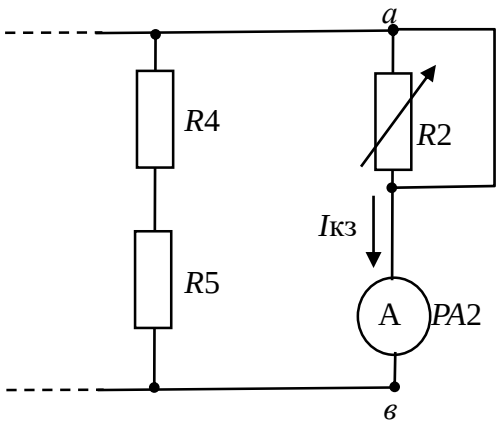


Рис.7

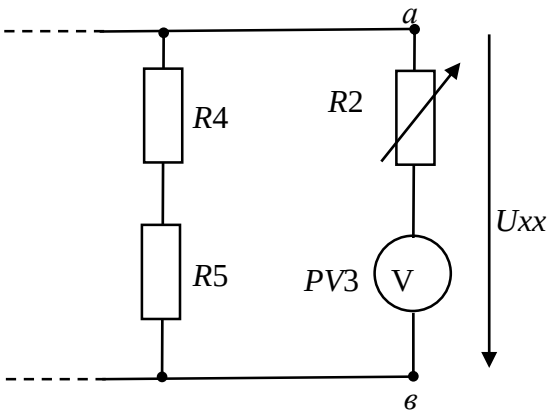


Рис.8

8. Включите электропитание. Выполните измерения:

а) напряжения на входе цепи;

б) напряжений на всех резисторах;

в) токов *I*1 и *I*2, протекающих в резисторах *R*1 и *R*2 (ток *I*3 определите косвенным способом по данным напряжения на резисторах *R*4 или *R*5).

Результаты занесите в табл. 6. Выключите электропитание.

9. Проведите опыт короткого замыкания, соединив проводником выводы резистора *R*2 (рис.7). Включите электропитание. Выполните измерения тока короткого замыкания *I*кз, результаты занесите в табл.6. Выключите электропитание.

10. Проведите опыт холостого хода. Для этого амперВольтметр, измеряющий ток *I*2 используйте в качестве вольтметра (*PV*3), выполнив для этого необходимые настройки и переключения (рис.8). Включите электропитание. Выполните измерение напряжения холостого

хода U_{xx}. Результаты занесите в табл. 6. Выключите электропитание модулей.

Таблица 6

Измерено										
U, В	$U1$, В	$U2$, В	$U3$, В	$U4$, В	$U5$, В	$I1$, мА	$I2$, мА	$I3$, мА	$I_{кз}$, мА	$U_{хх}$, В

11. Вычислите эквивалентное сопротивление цепи $R_Э$ по результатам измерений и схеме цепи. Сравните полученные результаты, сформулируйте выводы.
12. Запишите для исследуемой цепи систему уравнений Кирхгофа. Проверьте правильность законов Кирхгофа, пользуясь результатами измерений.
13. Пользуясь методом контурных токов, рассчитайте токи, протекающие в резисторах.
14. Пользуясь методом узловых потенциалов, рассчитайте потенциалы узлов схемы.
15. Сравните полученные в п.13 и п.14 результаты расчетов с результатами измерений, сформулируйте выводы.
16. Рассчитайте ток I_2 методом эквивалентного генератора используя схему цепи и параметры ее элементов.
17. Определите элементы $E_Э$ и $R_Э$ того же эквивалентного генератора по данным измерений. Сравните полученные результаты. Нарисуйте схему эквивалентного генератор с нагрузкой, сформулируйте выводы.
18. По результатам измерений вычислите мощности каждого из резисторов и всей цепи. Проверьте выполнение баланса мощностей в исследуемой цепи, сформулируйте выводы.