



**Федеральное агентство морского и речного транспорта**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Государственный университет морского и речного флота**  
**имени адмирала С.О. Макарова»**  
**Котласский филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ОП.03 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

**ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СРЕДНЕГО ЗВЕНА**  
**по специальности**

**26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики**  
**квалификация**  
**техник- электромеханик**

**г. Котлас**  
**2025**

СОГЛАСОВАНА  
Заместитель директора по учебно-  
методической работе филиала



N.E. Гладышева

29 05 2025

УТВЕРЖДЕНА

Директор филиала

О.В. Шергина

2025



ОДОБРЕНА  
на заседании цикловой комиссии  
судоводительских, механических и  
электромеханических дисциплин  
Протокол от 16.05.2025 № 7

Председатель  Н.В. Шестаков

**РАЗРАБОТЧИКИ:**

Анисимов Евгений Владимирович – преподаватель Котласского речного училища – структурного подразделения Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Рабочая программа учебной дисциплины «ОП.03 Электротехника и электроника» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования, утвержденным приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 13.12.2024 № 893 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации от 28.12.2024, регистрационный № 80858) по специальности 26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики», профессиональным стандартом 17.098 «Электромеханик судовой», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.06.2020 № 331н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации от 16.07.2020, регистрационный № 58982), с учетом Стратегии развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года, рабочей программы воспитания.

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>4</b>
<b>2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>16</b>
<b>3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>25</b>
<b>4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>29</b>

## **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ОП.03 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

### **1.1. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы:**

Учебная дисциплина «ОП.03 Электротехника и электроника» является обязательной частью общепрофессионального цикла ОП.00 программы подготовки специалистов среднего звена в соответствии с ФГОС СПО

по специальности: 26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»

укрупнённой группы специальностей: 26.00.00 «Техника и технологии кораблестроения и водного транспорта».

Особое значение дисциплина имеет при формировании и развитии общих компетенций (ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09) в соответствии с ФГОС СПО и целевых ориентиров воспитания в соответствии с Программой воспитания.

## 1.2. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины:

В рамках программы учебной дисциплины обучающимися осваиваются умения и знания в соответствии с ФГОС и ПОП. Освоение содержания учебной дисциплины обеспечивает достижение обучающимися целевых ориентиров воспитания.

Код и формулировка компетенции	Умения, знания	Целевые ориентиры воспитания
OK 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам	<p><b>Умения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;</li> <li>– анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части;</li> <li>– определять этапы решения задачи;</li> <li>– выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;</li> <li>– составлять план действия;</li> <li>– определять необходимые ресурсы;</li> <li>– владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;</li> <li>– реализовывать составленный план;</li> <li>– оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника).</li> </ul> <p><b>Знания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– актуального профессионального и социального контекста, в котором приходится работать и жить;</li> <li>– основных источников информации и ресурсов для решения задач и проблем в профессиональном и/или социальном контексте;</li> </ul>	<p><b>Профессионально-трудовое воспитание</b></p> <p>Понимающий профессиональные идеалы и ценности, уважающий труд, результаты труда, трудовые достижения российского народа, трудовые и профессиональные достижения своих земляков, их вклад в развитие своего поселения, края, страны.</p> <p>Участвующий в социально значимой трудовой и профессиональной деятельности разного вида в семье, образовательной организации, на базах производственной практики, в своей местности.</p> <p>Выражающий осознанную готовность к непрерывному образованию и самообразованию в выбранной сфере профессиональной деятельности.</p> <p>Понимающий специфику профессионально-трудовой деятельности, регулирования трудовых отношений, готовый учиться и трудиться в современном высокотехнологичном мире на благо государства и общества.</p> <p>Ориентированный на осознанное освоение выбранной сферы профессиональной деятельности с учётом личных жизненных планов, потребностей своей семьи, государства и общества.</p> <p>Обладающий сформированными представлениями о значении и ценности выбранной профессии, проявляющий уважение к своей профессии и своему профессиональному сообществу, поддерживающий позитивный образ и престиж своей профессии в обществе.</p> <p>Разделяющий корпоративные ценности и миссию работодателя.</p> <p>Помогающий реализовывать стратегию компании на рынке труда.</p> <p>Обеспечивающий собственную деятельность и действия подчиненных при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.</p> <p>Демонстрирующий знания и умения в профессиональной деятельности, обеспечивающие безаварийную работу при исполнении должностных</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– алгоритмов выполнения работ в профессиональной и смежных областях;</li> <li>– методов работы в профессиональной и смежных сферах;</li> <li>– структуры плана для решения задач;</li> <li>– порядка оценки результатов решения задач профессиональной деятельности</li> </ul>	<p>обязанностей и сохранения здоровья и жизни членов экипажа. Умеющий самостоятельно определять цели профессиональной деятельности и разрабатывать планы для их достижения, осуществлять, контролировать и корректировать профессиональную деятельность, использовать разрешенные законом все возможные ресурсы для достижения поставленных целей.</p> <p>Умеющий эффективно взаимодействовать, продуктивно работать в составе экипажа морского судна и судов внутреннего водного транспорта, с уважением относящийся к чужому труду.</p> <p><b>Ценности научного познания</b></p> <p>Деятельно выражающий познавательные интересы в разных предметных областях с учётом своих интересов, способностей, достижений, выбранного направления профессионального образования и подготовки. Обладающий представлением о современной научной картине мира, достижениях науки и техники, аргументированно выражающий понимание значения науки и технологий для развития российского общества и обеспечения его безопасности.</p> <p>Демонстрирующий навыки критического мышления, определения достоверности научной информации, в том числе в сфере профессиональной деятельности.</p> <p>Умеющий выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.</p> <p>Использующий современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.</p> <p>Развивающий и применяющий навыки наблюдения, накопления и систематизации фактов, осмыслиения опыта в естественнонаучной и гуманитарной областях познания, исследовательской и профессиональной деятельности.</p> <p>Проявляющий сознательное отношение к непрерывному образованию, как условию успешной профессиональной и общественной деятельности.</p> <p>Использующий современные средства поиска, анализа и доступности научной и практической информации и литературы, для успешного</p>
--	---	--

		<p>выполнения задач профессиональной деятельности.</p> <p>Обладающий представлением о современных научных исследованиях, достижениях науки и техники, аргументированно выражающий понимание значения науки и нанотехнологий, для развития российской экономики. Использующий новаторство в профессиональной деятельности.</p>
ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности	<p><b>Умения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– определять задачи для поиска информации;</li> <li>– определять необходимые источники информации;</li> <li>– планировать процесс поиска;</li> <li>– структурировать получаемую информацию;</li> <li>– выделять наиболее значимое в перечне информации;</li> <li>– оценивать практическую значимость результатов поиска;</li> <li>– оформлять результаты поиска.</li> </ul> <p><b>Знания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– номенклатуры информационных источников, применяемых в профессиональной деятельности;</li> <li>– приёмов структурирования информации;</li> <li>– формата оформления результатов поиска информации</li> </ul>	<p><b>Ценности научного познания</b></p> <p>Деятельно выражающий познавательные интересы в разных предметных областях с учётом своих интересов, способностей, достижений, выбранного направления профессионального образования и подготовки. Обладающий представлением о современной научной картине мира, достижениях науки и техники, аргументированно выражающий понимание значения науки и технологий для развития российского общества и обеспечения его безопасности.</p> <p>Демонстрирующий навыки критического мышления, определения достоверности научной информации, в том числе в сфере профессиональной деятельности.</p> <p>Умеющий выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.</p> <p>Использующий современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.</p> <p>Развивающий и применяющий навыки наблюдения, накопления и систематизации фактов, осмыслиения опыта в естественнонаучной и гуманитарной областях познания, исследовательской и профессиональной деятельности.</p> <p>Проявляющий сознательное отношение к непрерывному образованию, как условию успешной профессиональной и общественной деятельности.</p> <p>Использующий современные средства поиска, анализа и доступности научной и практической информации и литературы, для успешного выполнения задач профессиональной деятельности.</p> <p>Обладающий представлением о современных научных исследованиях, достижениях науки и техники, аргументированно выражающий</p>

		понимание значения науки и нанотехнологий, для развития российской экономики. Использующий новаторство в профессиональной деятельности.
ОК 04. Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде	<p><b>Умения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– организовывать работу коллектива и команды;</li> <li>– взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности.</li> </ul> <p><b>Знания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– психологических основ деятельности коллектива, психологических особенностей личности;</li> <li>– основ проектной деятельности</li> </ul>	<p><b>Гражданское воспитание</b></p> <p>Осознанно выражающий свою российскую гражданскую принадлежность (идентичность) в поликультурном, многонациональном и многоконфессиональном российском обществе, в мировом сообществе. Сознающий своё единство с народом России как источником власти и субъектом тысячелетней российской государственности, с Российским государством, ответственность за его развитие в настоящем и будущем на основе исторического просвещения, российского национального исторического сознания.</p> <p>Проявляющий гражданско-патриотическую позицию, готовность к защите Родины, способный аргументированно отстаивать суверенитет и достоинство народа России и Российского государства, сохранять и защищать историческую правду.</p> <p>Ориентированный на активное гражданское участие в социально-политических процессах на основе уважения закона и правопорядка, прав и свобод сограждан.</p> <p>Осознанно и деятельно выражающий неприятие любой дискриминации по социальным, национальным, расовым, религиозным признакам, проявлений экстремизма, терроризма, коррупции, антигосударственной деятельности.</p> <p>Обладающий опытом гражданской социально значимой деятельности (в студенческом самоуправлении, добровольческом движении, предпринимательской деятельности, экологических, военно-патриотических и др. объединениях, акциях, программах).</p> <p>Демонстрирующий готовность и способность вести диалог с другими людьми, достигать в нем взаимопонимания, находить общие цели и взаимодействовать для их достижения в профессиональной сфере.</p> <p>Проявляющий гражданское отношение к профессиональной деятельности, как возможности личного участия в решении общественных, государственных и общенациональных задач.</p>

	<p>Обладающий профессиональными качествами, необходимыми для дальнейшего развития морской и речной транспортной отрасли во всех регионах Российской Федерации.</p> <p>Проявляющий сознательное отношение к государственной политике по дальнейшему многоцелевому развитию Арктики и Северного морского пути, а также новых территорий, включенных в состав России: Донецкой Народной Республики и Херсонской области, имеющих выход к Азовскому и Черному морям.</p> <p>Проявляющий гражданско-патриотическую позицию, готовность к защите Родины от внешних и внутренних посягательств, способный аргументированно отстаивать суверенитет и достоинство народов России и Российского государства, сохранять и защищать историческую правду.</p> <p><b>Патриотическое воспитание</b></p> <p>Осознающий свою национальную, этническую принадлежность, демонстрирующий приверженность к родной культуре, любовь к своему народу.</p> <p>Сознающий причастность к многонациональному народу Российской Федерации, Отечеству, общероссийскую идентичность.</p> <p>Проявляющий деятельное ценностное отношение к историческому и культурному наследию своего и других народов России, их традициям, праздникам.</p> <p>Проявляющий уважение к соотечественникам, проживающим за рубежом, поддерживающий их права, защиту их интересов в сохранении общероссийской идентичности.</p> <p>Знающий историческую правду своей великой Родины, историю подвига арктических морских конвоев в годы Второй мировой войны, огромного вклада военных и гражданских моряков в Победу над фашистской Германией. Умеющий чтить и помнить подвиг советского народа в Великой Отечественной войне.</p> <p>Осознающий свою национальную, этническую принадлежность, демонстрирующий приверженность к родной культуре, морским и речным традициям, выбранной профессии и выполнению воинского долга.</p>
--	--

	<p>Выражающий готовность к защите рубежей Российской Федерации от внешних и внутренних посягательств, а также защите новых территорий, включенных в состав России, от военной угрозы, санкционного и экономического давления.</p> <p><b>Профессионально-трудовое воспитание</b></p> <p>Понимающий профессиональные идеалы и ценности, уважающий труд, результаты труда, трудовые достижения российского народа, трудовые и профессиональные достижения своих земляков, их вклад в развитие своего поселения, края, страны.</p> <p>Участвующий в социально значимой трудовой и профессиональной деятельности разного вида в семье, образовательной организации, на базах производственной практики, в своей местности.</p> <p>Выражающий осознанную готовность к непрерывному образованию и самообразованию в выбранной сфере профессиональной деятельности.</p> <p>Понимающий специфику профессионально-трудовой деятельности, регулирования трудовых отношений, готовый учиться и трудиться в современном высокотехнологичном мире на благо государства и общества.</p> <p>Ориентированный на осознанное освоение выбранной сферы профессиональной деятельности с учётом личных жизненных планов, потребностей своей семьи, государства и общества.</p> <p>Обладающий сформированными представлениями о значении и ценности выбранной профессии, проявляющий уважение к своей профессии и своему профессиональному сообществу, поддерживающий позитивный образ и престиж своей профессии в обществе.</p> <p>Разделяющий корпоративные ценности и миссию работодателя.</p> <p>Помогающий реализовывать стратегию компании на рынке труда.</p> <p>Обеспечивающий собственную деятельность и действия подчиненных при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.</p> <p>Демонстрирующий знания и умения в профессиональной деятельности, обеспечивающие безаварийную работу при исполнении должностных обязанностей и сохранения здоровья и жизни членов экипажа.</p>
--	---

		<p>Умеющий самостоятельно определять цели профессиональной деятельности и разрабатывать планы для их достижения, осуществлять, контролировать и корректировать профессиональную деятельность, использовать разрешенные законом все возможные ресурсы для достижения поставленных целей.</p> <p>Умеющий эффективно взаимодействовать, продуктивно работать в составе экипажа морского судна и судов внутреннего водного транспорта, с уважением относящийся к чужому труду.</p>
ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста	<p><b>Умения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке, проявлять толерантность в рабочем коллективе.</li> </ul> <p><b>Знания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– особенностей социального культурного контекста;</li> <li>– правил оформления документов построения устных сообщений</li> </ul>	<p><b>Патриотическое воспитание</b></p> <p>Осознающий свою национальную, этническую принадлежность, демонстрирующий приверженность к родной культуре, любовь к своему народу.</p> <p>Сознающий причастность к многонациональному народу Российской Федерации, Отечеству, общероссийскую идентичность.</p> <p>Проявляющий деятельное ценностное отношение к историческому и культурному наследию своего и других народов России, их традициям, праздникам.</p> <p>Проявляющий уважение к соотечественникам, проживающим за рубежом, поддерживающий их права, защиту их интересов в сохранении общероссийской идентичности.</p> <p>Знающий историческую правду своей великой Родины, историю подвига арктических морских конвоев в годы Второй мировой войны, огромного вклада военных и гражданских моряков в Победу над фашистской Германией. Умеющий чтить и помнить подвиг советского народа в Великой Отечественной войне.</p> <p>Осознающий свою национальную, этническую принадлежность, демонстрирующий приверженность к родной культуре, морским и речным традициям, выбранной профессии и выполнению воинского долга.</p> <p>Выражающий готовность к защите рубежей Российской Федерации от внешних и внутренних посягательств, а также защите новых территорий, включенных в состав России, от военной угрозы, санкционного и экономического давления.</p>

	<p><b>Духовно-нравственное воспитание</b></p> <p>Проявляющий приверженность традиционным духовно-нравственным ценностям, культуре народов России с учётом мировоззренческого, национального, конфессионального самоопределения.</p> <p>Проявляющий уважение к жизни и достоинству каждого человека, свободе мировоззренческого выбора и самоопределения, к представителям различных этнических групп, традиционных религий народов России, их национальному достоинству и религиозным чувствам с учётом соблюдения конституционных прав и свобод всех граждан.</p> <p>Понимающий и деятельно выражающий понимание ценности национального, межрелигиозного согласия, способный вести диалог с ъми разных национальностей и вероисповеданий, находить общие цели и удничать для их достижения.</p> <p>Ориентированный на создание устойчивой семьи на основе российских традиционных семейных ценностей, рождение и воспитание детей и принятие родительской ответственности.</p> <p>Обладающий сформированными представлениями о ценности и значении в отечественной и мировой культуре языков и литературы народов России.</p> <p>Владеющий навыками эффективной адаптации, находяния нестандартных решений, работы в команде, самоорганизации и стрессоустойчивости.</p> <p>Владеющий навыками эффективной адаптации, находяния нестандартных решений, без конфликтной работы в составе экипажа, самоорганизации, взаимовыручки и стрессоустойчивости, доброжелательного отношения к коллегам.</p> <p>Демонстрирующий своим поведением уверенность в выполнении задач, поставленных морской и речной компанией даже в самых сложных условиях. Умеющий чтить и преумножать давние морские и речные традиции, умеющий справляться с ленью, усталостью, унынием.</p> <p><b>Эстетическое воспитание</b></p> <p>Выражающий понимание ценности отечественного и мирового искусства, российского и мирового художественного наследия.</p>
--	---

		<p>Проявляющий восприимчивость к разным видам искусства, понимание эмоционального воздействия искусства, его влияния на душевное состояние и поведение людей, умеющий критически оценивать это влияние.</p> <p>Проявляющий понимание художественной культуры как средства коммуникации и самовыражения в современном обществе, значение нравственных норм, ценностей, традиций в искусстве.</p> <p>Ориентированный на осознанное творческое самовыражение, реализацию творческих способностей, на эстетическое обустройство собственного быта, профессиональной среды.</p> <p>Проявляющий ценностное отношение к культуре речи и культуре поведения в условиях работы в экипаже и при личном общении со всеми членами экипажа, независимо от служебного ранга.</p> <p>Умеющий осуществлять планирование своего досуга.</p>
<p>ОК 09. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках</p>	<p><b>Умения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– понимать общий смысл чётко произнесённых высказываний на известные темы (профессиональные и бытовые), понимать тексты на базовые профессиональные темы;</li> <li>– участвовать в диалогах на знакомые общие и профессиональные темы;</li> <li>– строить простые высказывания о себе и о своей профессиональной деятельности;</li> <li>– кратко обосновывать и объяснять свои действия (текущие и планируемые);</li> <li>– писать простые связные сообщения на знакомые или интересующие профессиональные темы.</li> </ul> <p><b>Знания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правила построения простых и</li> </ul>	<p>Понимающий профессиональные идеалы и ценности, уважающий труд, результаты труда, трудовые достижения российского народа, трудовые и профессиональные достижения своих земляков, их вклад в развитие своего поселения, края, страны.</p> <p>Участвующий в социально значимой трудовой и профессиональной деятельности разного вида в семье, образовательной организации, на базах производственной практики, в своей местности.</p> <p>Выражающий осознанную готовность к непрерывному образованию и самообразованию в выбранной сфере профессиональной деятельности.</p> <p>Понимающий специфику профессионально-трудовой деятельности, регулирования трудовых отношений, готовый учиться и трудиться в современном высокотехнологичном мире на благо государства и общества.</p> <p>Ориентированный на осознанное освоение выбранной сферы профессиональной деятельности с учётом личных жизненных планов, потребностей своей семьи, государства и общества.</p> <p>Обладающий сформированными представлениями о значении и ценности выбранной профессии, проявляющий уважение к своей профессии и своему профессиональному сообществу, поддерживающий позитивный</p>

	<p>сложных предложений на профессиональные темы;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные общеупотребительные глаголы (бытовая и профессиональная лексика);</li> <li>– лексический минимум, относящийся к описанию предметов, средств и процессов профессиональной деятельности;</li> <li>– особенности произношения;</li> <li>– правила чтения текстов профессиональной направленности</li> </ul>	<p>образ и престиж своей профессии в обществе.</p> <p>Разделяющий корпоративные ценности и миссию работодателя.</p> <p>Помогающий реализовывать стратегию компании на рынке труда.</p> <p>Обеспечивающий собственную деятельность и действия подчиненных при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.</p> <p>Демонстрирующий знания и умения в профессиональной деятельности, обеспечивающие безаварийную работу при исполнении должностных обязанностей и сохранения здоровья и жизни членов экипажа.</p> <p>Умеющий самостоятельно определять цели профессиональной деятельности и разрабатывать планы для их достижения, осуществлять, контролировать и корректировать профессиональную деятельность, использовать разрешенные законом все возможные ресурсы для достижения поставленных целей.</p> <p>Умеющий эффективно взаимодействовать, продуктивно работать в составе экипажа морского судна и судов внутреннего водного транспорта, с уважением относящийся к чужому труду.</p> <p><b>Ценности научного познания</b></p> <p>Деятельно выражающий познавательные интересы в разных предметных областях с учётом своих интересов, способностей, достижений, выбранного направления профессионального образования и подготовки.</p> <p>Обладающий представлением о современной научной картине мира, достижениях науки и техники, аргументированно выражающий понимание значения науки и технологий для развития российского общества и обеспечения его безопасности.</p> <p>Демонстрирующий навыки критического мышления, определения достоверности научной информации, в том числе в сфере профессиональной деятельности.</p> <p>Умеющий выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.</p> <p>Использующий современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.</p>
--	---	---

	<p>Развивающий и применяющий навыки наблюдения, накопления и систематизации фактов, осмыслиения опыта в естественнонаучной и гуманитарной областях познания, исследовательской и профессиональной деятельности.</p> <p>Проявляющий сознательное отношение к непрерывному образованию, как условию успешной профессиональной и общественной деятельности.</p> <p>Использующий современные средства поиска, анализа и доступности научной и практической информации и литературы, для успешного выполнения задач профессиональной деятельности.</p> <p>Обладающий представлением о современных научных исследованиях, достижениях науки и техники, аргументированно выражаящий понимание значения науки и нанотехнологий, для развития российской экономики. Использующий новаторство в профессиональной деятельности.</p>
--	--

## 2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем в часах
<b>Объем образовательной программы учебной дисциплины</b>	<b>177</b>
<b>в т.ч. в форме практической подготовки</b>	<b>82</b>
в т. ч.:	
теоретическое обучение	77
практические занятия	18
лабораторные занятия	64
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8</b>
<b>Консультации</b>	<b>4</b>
<b>Промежуточная аттестация в форме дифференциированного зачета и экзамена</b>	<b>6</b>

## 2.2. Тематический план и содержание учебной дисциплины

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала и формы организации деятельности обучающихся	Объем в часах	Коды компетенций, формированию которых способствует элемент программы
1	2	3	4
Раздел 1. Электротехника		120	
Тема 1.1. Электрическое поле	Содержание учебного материала	10	
	1. Введение. Цели и задачи дисциплины.	8	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09
	2. Электрическое поле и его основные характеристики. Закон Кулона. Напряженность как силовая характеристика электрического поля.		
	3. Работа при перемещении заряженной частицы в электрическом поле. Разность потенциалов двух точек и потенциала данной точки электрического поля. Электрическое напряжение.		
	4. Электропроводимость. Проводники, диэлектрики, полупроводники. Проводники в электрическом поле. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация и пробой диэлектрика. Электрическая прочность диэлектрика. Запас прочности.		
	5. Электрический ток в различных средах. Сила тока, направление движения, измерение тока. Плотность электрического тока.		
	6. Электрическая емкость. Конденсаторы. Емкость плоского и цилиндрического конденсатора. Общая емкость при последовательном, параллельном и смешанном соединениях конденсаторов. Энергия электрического поля.		
	В том числе, практических занятий	2	

	Практическое занятие №1. Соединение конденсаторов. Расчет цепей.	2	
<b>Тема 1.2.</b> <b>Электрические цепи постоянного тока</b>	<b>Содержание учебного материала</b>  1. Электрическая цепь, ее основные компоненты. Электрический ток. Электродвижущая сила и напряжение. Электрическое сопротивление и проводимость. 2. Закон Ома для полной цепи и для участка цепи. Электрическая энергия и мощность. Тепловое действие тока. Закон Джоуля-Ленца. 3. Последовательное, параллельное и смешанное соединение приемников энергии. Законы Кирхгофа. 4. Расчет сложных электрических цепей постоянного тока. <b>В том числе, практических занятий</b>  Практическое занятие №2. Расчет эквивалентного сопротивления при последовательном, параллельном и смешанном соединении резисторов. Практическое занятие №3. Нагрев проводников электрическим током	<b>14</b>  12	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09
<b>Тема 1.3.</b> <b>Расчет электрических цепей постоянного тока</b>	<b>Содержание учебного материала</b>  1. Законы Кирхгофа. Расчет простых и сложных электрических цепей с помощью законов Кирхгофа. 2. Метод преобразования треугольника и звезды сопротивлений. 3. Расчет электрических цепей методом наложения токов. 4. Расчет простых и сложных цепей методом контурных токов. 5. Расчет электрических цепей методом узловых напряжений.	<b>22</b>  10	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09

<b>Тема 1.4.</b> <b>Нелинейные электрические цепи постоянного тока</b>	6. Расчет электрических цепей методом эквивалентного генератора.		
	<b>В том числе, лабораторных и практических занятий</b>	<b>12</b>	
	Практическое занятие №4. Расчет электрических цепей постоянного тока методом двух узлов и контурных уравнений.	1	
	Практическое занятие №5. Расчет электрических цепей постоянного тока методом контурных токов.	1	
	Практическое занятие №6. Расчет электрических цепей постоянного тока метод преобразования треугольника и звезды сопротивлений.	2	
	Практическое занятие №7. Расчет электрических цепей методом эквивалентного генератора.	2	
	Лабораторная работа №1. Простые цепи постоянного тока.	2	
	Лабораторная работа №2. Метод наложения.	4	
<b>Тема 1.5.</b>	<b>Содержание учебного материала:</b>	<b>6</b>	
	1. Типы нелинейных элементов. Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов. Статистическое и динамическое сопротивление нелинейных элементов.	4	ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09
	2. Графический метод расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока с последовательным, параллельным и смешанным соединениями элементов.		
	<b>В том числе, практических занятий</b>	<b>2</b>	
	Практическое занятие №8. Расчет нелинейных цепей.	2	
	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>10</b>	

<p><b>Электромагнетизм и электромагнитная индукция</b></p>	<p>1. Основные параметры, характеризующие магнитное поле в каждой ее точке. Магнитная индукция. Магнитный поток. Напряженность и магнитное напряжение. Магнитная проницаемость. Единицы магнитных величин.</p> <p>2. Закон полного тока. Воздействие магнитного поля на проводник с током. Электромагнитная сила. Сила взаимодействия проводов двухпроводной линии. Магнитное поле катушки с током. Закон Ома для магнитной цепи. Магнитные материалы.</p> <p>3. Циклическое перемагничивание магнитных материалов. Петля гистерезиса. Ферромагнитные материалы. Электромагниты. Закон электромагнитной индукции. Определение направления индуцированной ЭДС с помощью правила правой руки. Правило Ленца.</p> <p>4. Понятие о потокосцеплении. Использование закона электромагнитной индукции в технике. Принцип преобразования механической энергии в электрическую и электрической в механическую. Индуктивность и явление самоиндукции. Взаимная индукция. ЭДС взаимоиндукции. Использование взаимоиндукции в электротехнических устройствах. Вихревые токи.</p>	<p>8</p>	<p>OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09</p>
<p><b>Тема 1.6.</b> <b>Однофазные электрические цепи синусоидального переменного тока</b></p>	<p><b>Содержание учебного материала</b></p> <p>1. Явление переменного тока. Получение синусоидальной ЭДС. Принцип действия генератора переменного тока. Уравнения и графики синусоидальной ЭДС. Характеристики синусоидальных величин.</p> <p>2. Векторные диаграммы. Сдвиг фаз. Действующая и</p>	<p>2</p> <p>2</p> <p>16</p> <p>12</p>	<p>OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09</p>

<p><b>Тема 1.7.</b> <b>Трехфазные электрические цепи</b></p>	<p>средняя величина переменного тока. Параметры электрической цепи.</p> <p>3. Цепь переменного тока с активным сопротивлением: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма. Цепь переменного тока с индуктивностью: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма. Цепь переменного тока с емкостью: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма</p> <p>4. Собственные колебания в контуре. Колебательный контур. Резонанс напряжений.</p> <p>5. Резонанс токов. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях.</p> <p>6. Коэффициент мощности. Методы увеличения коэффициента мощности и его влияние на технико-экономические показатели электроустановок.</p> <p>7. Методы расчета неразветвленной цепи переменного тока</p> <p>8. Методы расчета разветвленной цепи переменного тока</p> <p>9. Проведение измерение электрических величин.</p>	
	<b>В том числе, практических занятий</b>	<b>4</b>
	Практическое занятие №10. Расчет неразветвленной цепи переменного тока.	2
	Практическое занятие №11. Расчет разветвленной цепи переменного тока.	2
	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>10</b>
	1. Трехфазная симметричная система ЭДС. Соединение обмоток генератора звездой и треугольником. Симметричная нагрузка в трехфазной цепи при соединении обмоток генератора и фаз приемника звездой. Фазные, линейные напряжения и токи,	10
		ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09

	соотношения между ними.		
	2. Векторная диаграмма. Несимметричная нагрузка в трехфазной цепи при соединении фаз приемника звездой		
	3. Расчет трехфазных цепей при соединении нагрузки звездой.		
	4. Расчет режимов холостого хода и короткого замыкания. Симметричная и несимметричная нагрузка в трехфазной цепи при соединении обмоток генератора и фаз приемника треугольником.		
	5. Расчет трехфазных цепей при соединении треугольником.		
<b>Лабораторные работы по Разделу 1.</b>		<b>32</b>	
	Лабораторная работа №3. Метод двух узлов.	4	OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09
	Лабораторная работа №4. Метод эквивалентного генератора.	4	
	Лабораторная работа №5. Преобразование треугольника в эквивалентную звезду.	4	
	Лабораторная работа №6. Неразветвленные цепи переменного тока, резонанс напряжений.	4	
	Лабораторная работа №7. Разветвленные цепи переменного тока, резонанс токов.	4	
	Лабораторная работа №8. Частотное исследование последовательной R-L-C цепи.	4	
	Лабораторная работа №9. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов.	4	
	Лабораторная работа №10. Аварийные режимы в трехфазных цепях.	4	
<b>Раздел 2. Основы электроники</b>		<b>47</b>	
<b>Тема 2.1.</b>	<b>Содержание учебного материала</b>	<b>4</b>	OK 01, OK 02, OK 04,

<b>Полупроводники</b>	1. Электропроводность полупроводников. Электронно-дырочный переход. 2. Полупроводниковые диоды, транзисторы и тиристоры. 3. Фотоэлектронные приборы.	4	OK 05, OK 09
<b>Тема 2.2.</b> <b>Выпрямители, сглаживающие фильтры и стабилизаторы напряжения</b>	<b>Содержание учебного материала</b> 1. Электронные управляемые и неуправляемые выпрямители. 2. Стабилизаторы напряжения и тока. Фильтры. <b>Самостоятельная работа обучающихся:</b> составить конспект по теме «Преобразователи частоты. Инверторы.».	<b>6</b> 2 <b>4</b>	OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09
<b>Тема 2.3.</b> <b>Электронные усилители</b>	<b>Содержание учебного материала</b> 1. Общие сведения об электронных усилителях. 2. Усилитель напряжения на транзисторах. 3. Усилитель мощности. 4. Усилитель постоянного тока. 5. Обратные связи и стабилизация режимов работы.	2	OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09
<b>Тема 2.4.</b> <b>Электронные генераторы</b>	<b>Содержание учебного материала</b> 1. Общие сведения об электронных генераторах. 2. Генераторы синусоидальных и импульсных колебаний.	2	OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09
<b>Тема 2.5.</b> <b>Защита электронных устройств</b>	<b>Содержание учебного материала</b> 1. Защита электронных устройств.	<b>1</b> 1	OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09
<b>Тема 2.6.</b> <b>Интегральные микросхемы (ИМС) и микропроцессорная техника</b>	<b>Содержание учебного материала</b> 1. Общее сведения об И.М.С. 2. Классификация и техника производства И.М.С. 3. Микропроцессорная техника и её применение на судах.	<b>6</b> 2	OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09

	<b>Самостоятельная работа обучающихся: составить конспект по теме «Логические элементы «И», «ИЛИ», «НЕ», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ». Схемы логических элементов на диодах и транзисторах».</b>	<b>4</b>	
<b>Лабораторные работы по Разделу 2.</b>		<b>26</b>	
	Лабораторная работа №11. Исследование работы полевого транзистора.	2	OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09 OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09
	Лабораторная работа №12. Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе.	4	
	Лабораторная работа №13. Исследование усилителя постоянного тока.	4	
	Лабораторная работа №14. Исследование операционного усилителя.	4	
	Лабораторная работа №15. Генераторы периодических сигналов на ОУ.	4	
	Лабораторная работа №16. Исследование стабилизаторов напряжения.	4	
	Лабораторная работа №17. Исследование работы Выпрямителя.	4	
<b>Консультации</b>		<b>4</b>	
<b>Промежуточная аттестация в форме экзамена</b>		<b>6</b>	
<b>Всего:</b>		<b>177</b>	

### 3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Для реализации программы учебной дисциплины должны быть предусмотрены следующие специальные помещения:

Учебная аудитория: кабинет №207 Лаборатория «Физика». Кабинет «Электротехника и электроника. Общеобразовательные дисциплины», оснащённая:

- оборудованием: Комплект учебной мебели (столы, стулья, доска);
- техническими и наглядные средствами обучения: компьютер в сборе (системный блок (Intel Celeron 3 GHz, 1 Gb), монитор Philips 193 ЖК, клавиатура, мышь) - 1 шт., принтер лазерный HP 1102 - 1 шт., телевизор Samsung 20" ЭЛТ - 1 шт., локальная компьютерная сеть, кодоскоп; Аппарат проекционный универсальный с оптической скамьей ФОС-67; Видеофильмы; Микрокалькулятор; Плакаты; Кодограммы; Прибор для изучения газовых законов; Газовый термометр; Манометр; Термометр демонстрационный; Конденсационный гигрометр; Психрометр электронный; Насос Комовского; Весы с разновесом; Микрометр; Штангенциркуль; Набор гирь; Прибор для определения линейного расширения; Парообразователь; Электроплитка; Метр учебный; Амперметр; Вольтметр; Набор конденсаторов; Резистор (1,5-2 Ом); Выключатель двухполюсный; Набор проводов; Источник питания; Рекордер; Набор по электричеству; Прибор для определения температурного коэффициента линейного расширения; Набор химической посуды; Гальванометр демонстрационный; Вольтметр демонстрационный; Набор полупроводников; Ампервольтметр АВО; Пластина с параллельными гранями; Решетка дифракционная; Пробор для определения длины световой волны; Набор линз; Микроамперметр; Набор для изучения законов освещенности; Набор спектральных трубок; Выпрямитель высоковольтный; Выпрямитель (4 – 12В)

- лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows XP Professional (контракт №323/08 от 22.12.2008 г. ИП Кабаков Е.Л.); Kaspersky Endpoint Security (контракт №311/2015 от 14.12.2015); Libre Office (текстовый редактор Writer, редактор таблиц Calc, редактор презентаций Impress и прочее) (распространяется свободно, лицензия GNU LGPL v3+, The Document Foundation); PDF-XChange Viewer (распространяется бесплатно, Freeware, лицензия EULA V1-7.x., Tracker Software Products Ltd); AIMP (распространяется бесплатно, Freeware для домашнего и коммерческого использования, Artem Izmaylov); XnView (распространяется бесплатно, Freeware для частного некоммерческого или образовательного использования, XnSoft); Media Player Classic - Home Cinema (распространяется свободно, лицензия GNU GPL, MPC-HC Team); Mozilla Firefox (распространяется свободно, лицензия Mozilla Public License и GNU GPL, Mozilla Corporation); 7-zip (распространяется свободно, лицензия GNU LGPL, правообладатель Igor Pavlov)); Adobe Flash Player (распространяется свободно, лицензия ADOBE PCSLA, правообладатель Adobe Systems Inc.).

Учебная аудитория кабинет №220 Студия информационных ресурсов Лаборатория, кабинет «Информационные технологии в профессиональной деятельности». Кабинет «Иностранный язык (лингвистический). Общеобразовательные дисциплины», оснащённая:

- оборудованием: комплект учебной мебели (компьютерные и ученические столы, стулья, доска),

- техническими средствами обучения: компьютер в сборе (системный блок (Intel Celeron 2,5 GHz, 1 Gb), монитор Samsung 152v ЖК, клавиатура, мышь) – 15 шт., компьютер в сборе (системный блок (Intel Core 2 Duo 2,2 GHz, 1,5 Gb), монитор Benq ЖК, клавиатура, мышь) – 1 шт., мультимедийный проектор Benq – 1 шт., экран настенный – 1 шт., колонки – 1 шт., локальная компьютерная сеть, коммутатор – 1 шт, переносные наушники – 16шт.;

- лицензионным программным обеспечением:

Microsoft Windows XP Professional (контракт №323/08 от 22.12.2008 г. ИП Кабаков Е.Л.); Kaspersky Endpoint Security (контракт №311/2015 от 14.12.2015); Libre Office (текстовый редактор Writer, редактор таблиц Calc, редактор презентаций Impress и прочее) (распространяется свободно, лицензия GNU LGPL v3+, The Document Foundation) – 16 ПК; Microsoft Office 2010 Professional Plus в составе текстового редактора Word, редактора таблиц Excel, редактора презентаций Power Point, СУБД Access и прочее (Контракт №404/10 от 21.12.2010 г. ЗАО «СофтЛайн Трейд») – 1 ПК; PDF-XChange Viewer (распространяется бесплатно, Freeware, лицензия EULA V1-7.x., Tracker Software Products Ltd); AIMP (распространяется бесплатно, Freeware для домашнего и коммерческого использования, Artem Izmaylov); XnView (распространяется бесплатно, Freeware для частного некоммерческого или образовательного использования, XnSoft); Media Player Classic - Home Cinema (распространяется свободно, лицензия GNU GPL, MPC-HC Team); Mozilla Firefox (распространяется свободно, лицензия Mozilla Public License и GNU GPL, Mozilla Corporation); 7-zip (распространяется свободно, лицензия GNU LGPL, правообладатель Igor Pavlov)); Adobe Flash Player (распространяется свободно, лицензия ADOBE).

Кабинет 102-а Лаборатория «Электроника и электротехника. Электронная техника», оснащённая в соответствии с п. 6.1.2.1. программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики».

Кабинет №115 «Электротехническая лаборатория № 2: «Электротехника. Электротехника и электроника. Электронная техника». Электромонтажная мастерская, оснащённая в соответствии с п. 6.1.2.1. программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики».

### **3.2. Информационное обеспечение реализации программы**

Для реализации программы в библиотечном фонде имеются электронные образовательные и информационные ресурсы, в том числе рекомендованные ФУМО, для использования в образовательном процессе. При формировании библиотечного фонда учтены издания, предусмотренные примерной основной образовательной программой по специальности 26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики».

#### **3.2.1. Основные электронные издания**

1. Лунин, В.П. Электротехника и электроника в 3 т. Том 1. Электрические и магнитные цепи: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Э.В. Кузнецов; под общей редакцией В.П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 255 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-03752-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472794> (дата обращения: 25.06.2023).

2. Электротехника и электроника в 3 т. Том 2. Электромагнитные устройства и электрические машины : учебник и практикум для среднего профессионального образования / В.И. Киселев, Э.В. Кузнецов, А.И. Копылов, В.П. Лунин ; под общей редакцией В.П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 184 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-03754-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472795> (дата обращения: 25.06.2023).

#### **3.2.2. Дополнительные источники**

1. Электротехника и электроника в 3 т. Том 3. Основы электроники и электрические измерения : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Э. В. Кузнецов, Е. А. Куликова, П. С. Культиасов, В. П. Лунин ; под общей редакцией В. П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт,

2021. — 234 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-03756-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472745>

### **3.3. Организация образовательного процесса**

#### **3.3.1. Требования к условиям проведения учебных занятий**

Учебная дисциплина с целью обеспечения доступности образования, повышения его качества при необходимости может быть реализована с применением технологий дистанционного, электронного и смешанного обучения.

Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии используются для:

– организации самостоятельной работы обучающихся (предоставление материалов в электронной форме для самоподготовки; обеспечение подготовки к практическим и лабораторным занятиям, организация возможности самотестирования и др.);

– проведения консультаций с использованием различных средств онлайн-взаимодействия (например, вебинаров, форумов, чатов) в электронно-информационной образовательной среде Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» и с применением других платформ и сервисов для организации онлайн-обучения;

– организации текущего и промежуточного контроля обучающихся и др.

Смешанное обучение реализуется посредством:

– организации сочетания аудиторной работы с работой в электронно-информационной образовательной среде Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» и с применением других платформ и сервисов для организации онлайн-обучения;

– регулярного взаимодействия преподавателя с обучающимися с использованием технологий электронного и дистанционного обучения;

– организации групповой учебной деятельности обучающихся в электронно-информационной образовательной среде Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» или с применением других платформ и сервисов для организации онлайн-обучения.

Основными средствами, используемыми для реализации данных технологий, являются: системы дистанционного обучения, системы организации видеоконференций, электронно-библиотечные системы, образовательные сайты и порталы, социальные сети и мессенджеры и т.д.

#### **3.3.2. Требования к условиям консультационной помощи обучающимся**

Формы проведения консультаций: групповые и индивидуальные.

#### **3.3.3. Требования к условиям организации внеаудиторной деятельности обучающихся**

Реализация учебной дисциплины обеспечивается доступом каждого обучающегося к электронно-информационной образовательной среде Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» и библиотечному фонду, укомплектованному печатными и электронными учебными изданиями.

Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечиваются доступом к сети Интернет.

Доступ к электронно-информационной образовательной среде Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» и библиотечному фонду, возможен с любого компьютера, подключённого к сети Интернет. Для доступа к указанным ресурсам на территории Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» обучающиеся могут бесплатно воспользоваться компьютерами, установленными в библиотеке или компьютерными классами (во внеучебное время).

### **3.4. Кадровое обеспечение образовательного процесса**

Квалификация педагогических работников Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», участвующих в реализации образовательной программы, а также лиц, привлекаемых к реализации образовательной программы на других условиях, в том числе из числа руководителей и работников Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» и иных организаций, должна отвечать квалификационным требованиям, указанным в квалификационных справочниках, и в профессиональном стандарте 17.098 «Электромеханик судовой». Педагогические работники, привлекаемые к реализации программы, должны получать дополнительное профессиональное образование по программам повышения квалификации не реже 1 раза в 3 года.

#### 4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Результаты обучения	Показатели освоенности компетенции	Методы оценки
<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электротехническую терминологию;</li> <li>– использования электрической основные законы электротехники;</li> <li>– способы получения, передачи и энергии;</li> <li>– принципы выбора электрических и электронных устройств и приборов, составления электрических и электронных цепей;</li> <li>– методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей;</li> <li>– принципы действия, устройства, основные характеристики электротехнических и электронных устройств и приборов;</li> <li>– элементную базу электротехнических и электронных устройств;</li> <li>– основы теории и устройство систем автоматики, микроэлектронные и микропроцессорные системы автоматики</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– владеет профессиональной терминологией;</li> <li>– демонстрирует знания электротехнической терминологии;</li> <li>– демонстрирует системные знания основных законов электротехники;</li> <li>– демонстрирует знания способов получения, передачи и использования электрической энергии;</li> <li>– демонстрирует знания принципов выбора электрических и электронных устройств и приборов, составления электрических и электронных цепей;</li> <li>– демонстрирует знания методов расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей;</li> <li>– демонстрирует системные знания принципов действия, устройства, основных характеристик электротехнических и электронных устройств и приборов;</li> <li>– демонстрирует системные знания элементной базы электротехнических и электронных устройств;</li> <li>– демонстрирует знания основ теории и устройство систем автоматики, микроэлектронных и микропроцессорных систем автоматики</li> </ul>	<p>Текущий контроль в форме:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- экспертное наблюдение за ходом выполнения и оценка результатов практических и лабораторной работ;</li> <li>- тестирование.</li> </ul> <p>Промежуточный контроль в форме:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- дифференцированный зачет;</li> <li>- экзамена.</li> </ul>
<p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– демонстрирует умение взаимодействовать с коллегами (сокурсниками), руководством (преподавателем), в ходе</li> </ul>	

<p>электронной техники в профессиональной деятельности;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– читать принципиальные, электрические и монтажные схемы;</li> <li>– производить электрические измерения;</li> <li>– включать электрические машины, приборы, аппараты, управлять ими и контролировать их исправную и безопасную работу</li> </ul>	<p>профессиональной деятельности;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– демонстрирует умение применять основные законы и принципы теоретической электротехники и электронной техники в профессиональной деятельности;</li> <li>– демонстрирует умение читать принципиальные, электрические и монтажные схемы;</li> <li>– демонстрирует умение производить электрические измерения;</li> <li>– демонстрирует умение включать электрические машины, приборы, аппараты, управлять ими и контролировать их исправную и безопасную работу</li> </ul>	
--	--	--



**Федеральное агентство морского и речного транспорта**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Государственный университет морского и речного флота**  
**имени адмирала С.О. Макарова»**  
**Котласский филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»**

**КОМПЛЕКТ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
**«ОП.03 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

**ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СРЕДНЕГО ЗВЕНА**  
**по специальности**

26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики  
**квалификация**  
техник- электромеханик

**г. Котлас**  
**2025**

СОГЛАСОВАНА  
Заместитель директора по учебно-  
методической работе филиала

  
Н.Е. Гладышева  
13 05 2025

УТВЕРЖДЕНА  
Директор филиала

  
О.В. Шергина  
13 05 2025

ОДОБРЕНА  
на заседании цикловой комиссии  
судоводительских, механических и  
электромеханических дисциплин  
Протокол от 06.05.2025 № 10

Председатель  Н.В. Шестаков

СОГЛАСОВАНО  
Заместитель начальника отдела судового  
хозяйства ФБУ «Администрация  
Двинско-Печорского бассейна  
внутренних водных путей»

  
К.Н. Жданов  
13 05 2025

**РАЗРАБОТЧИКИ:**

Анисимов Евгений Владимирович – преподаватель Котласского речного училища – структурного подразделения Котласского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Комплект контрольно-оценочных средств учебной дисциплины «ОП.03 Электротехника и электроника» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования, утвержденным приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 13.12.2024 № 893 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации от 28.12.2024, регистрационный № 80858) по специальности 26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики», профессиональным стандартом судового электрооборудования и средств автоматики, утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.06.2020 № 331н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации от 16.07.2020, регистрационный № 58982), рабочей программы учебной дисциплины.

	СОДЕРЖАНИЕ	стр.
<b>1. ПАСПОРТ КОМПЛЕКТА КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ</b>		<b>34</b>
<b>2. КОДИФИКАТОР ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ</b>		<b>34</b>
<b>3. СИСТЕМА ОЦЕНКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО КАЖДОМУ ОЦЕНОЧНОМУ СРЕДСТВУ</b>		<b>35</b>
<b>4. БАНК КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСВОЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ</b>		<b>36</b>

## 1. ПАСПОРТ КОМПЛЕКТА КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ОП.03 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

### 1.1. Область применения контрольно-оценочных средств

Контрольно-оценочные средства (КОС) являются частью нормативно-методического обеспечения системы оценивания качества освоения обучающимися программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» и обеспечивают повышение качества образовательного процесса.

КОС по учебной дисциплине представляет собой совокупность контролирующих материалов, предназначенных для измерения уровня достижения обучающимся установленных результатов обучения.

КОС по учебной дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации, обучающихся в виде дифференцированного зачета и экзамена.

### 1.2. Результаты освоения учебной дисциплины, подлежащие проверке

Код ОК	Умения	Знания
OK 01, OK 02, OK 04, OK 05, OK 09	У1 – использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и электронной техники в профессиональной деятельности; У2 - читать принципиальные, электрические и монтажные схемы; У3 - производить электрические измерения; У4 - включать электрические машины, приборы, аппараты, управлять ими и контролировать их исправную и безопасную работу	31 –электротехническую терминологию; 32 - использования электрической основные законы электротехники; 33 - способы получения, передачи и энергии; 34 - принципы выбора электрических и электронных устройств и приборов, составления электрических и электронных цепей; 35 - методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей; принципы действия, устройства, основные характеристики электротехнических и электронных устройств и приборов; 36 - элементную базу электротехнических и электронных устройств; 37 -основы теории и устройство систем автоматики, микроэлектронные и микропроцессорные системы автоматики

### 2. КОДИФИКАТОР ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Функциональный признак оценочного средства (тип контрольного задания)	Метод/форма контроля
Практическое задание	Практические занятия, дифференцированный зачет
Лабораторные задание	Лабораторные занятия
Тест, тестовое задание	Тестирование, дифференцированный зачет, экзамен

### 3. СИСТЕМА ОЦЕНКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО КАЖДОМУ ОЦЕНОЧНОМУ СРЕДСТВУ

Оценка индивидуальных образовательных достижений по результатам текущего контроля и промежуточной аттестации производится в соответствии с универсальной шкалой (таблица)

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	верbalный аналог
90-100	5	отлично
80-89	4	хорошо
70-79	3	удовлетворительно
менее 70	2	неудовлетворительно

#### Критерии оценки выполненного практического задания

Оценка 5 ставится за работу, выполненную полностью без ошибок и недочётов.

Оценка 4 ставится за работу, выполненную полностью, но при наличии в ней не более одной негрубой ошибки и одного недочёта, не более трёх недочётов.

Оценка 3 ставится, если обучающийся правильно выполнил не менее 2/3 всей работы или допустил не более одной грубой ошибки и двух недочётов, не более одной грубой и одной не грубой ошибки, не более трёх негрубых ошибок, одной негрубой ошибки и трёх недочётов, при наличии четырёх-пяти недочётов.

Оценка 2 ставится, если число ошибок и недочётов превысило норму для оценки 3 или правильно выполнено менее 2/3 всей работы.

Оценка 1 ставится, если обучающийся совсем не выполнил ни одного задания.

#### Критерии оценки выполненного лабораторного задания

«зачет» - ставится, если обучающийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; соблюдает требования правил техники безопасности; правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ погрешностей;

«незачет»- ставится, если не выполнены требования к оценке «зачет».

#### Критерии оценки в ходе дифференцированного зачета

Ответ оценивается на «отлично», если обучающийся исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно излагает материал по вопросам, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с решением практических задач и способен обосновать принятые решения, не допускает ошибок.

Ответ оценивается на «хорошо», если обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допускает существенных неточностей при ответах, умеет грамотно применять теоретические знания на практике, а также владеет необходимыми навыками решения практических задач.

Ответ оценивается на «удовлетворительно», если обучающийся освоил только основной материал, однако не знает отдельных деталей, допускает неточности и некорректные формулировки, нарушает последовательность в изложении материала и испытывает затруднения при выполнении практических задач.

Ответ оценивается на «неудовлетворительно», если обучающийся не раскрыл основное содержание материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические задания.

#### Критерии оценки в ходе экзамена

В основе оценки при сдаче экзамена лежит пятибалльная система (5 «отлично», 4 «хорошо», 3 «удовлетворительно», 2 «неудовлетворительно»).

Ответ оценивается на «отлично», если обучающийся исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно излагает материал по вопросам билета (теста), не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с решением практических задач и способен обосновать принятые решения, не допускает ошибок.

Ответ оценивается на «хорошо», если обучающийся твёрдо знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допускает существенных неточностей при ответах, умеет грамотно применять теоретические знания на практике, а также владеет необходимыми навыками решения практических задач.

Ответ оценивается на «удовлетворительно», если обучающийся освоил только основной материал, однако не знает отдельных деталей, допускает неточности и некорректные формулировки, нарушает последовательность в изложении материала и испытывает затруднения при выполнении практических заданий.

Ответ оценивается на «неудовлетворительно», если обучающийся не раскрыл основное содержание материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические задания.

## 4. БАНК КОМПЕТЕНТНО-ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Текущий контроль

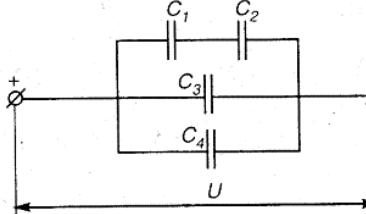
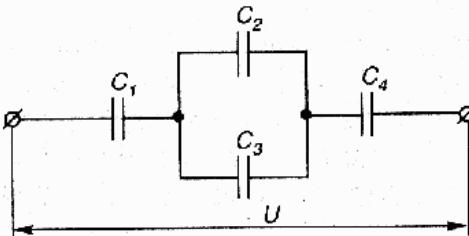
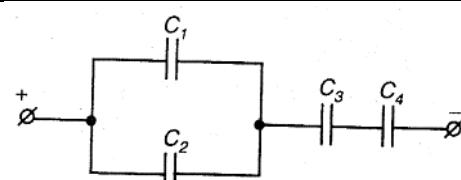
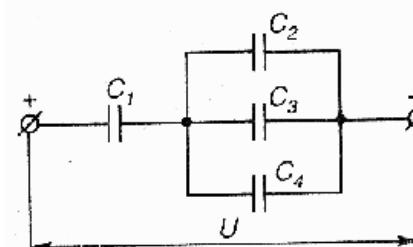
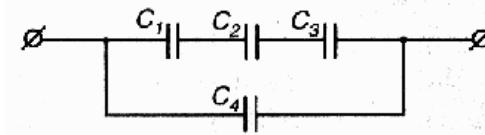
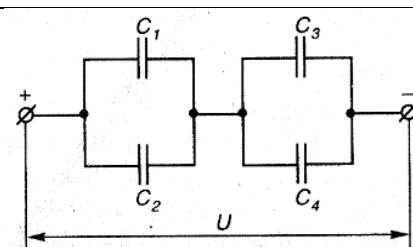
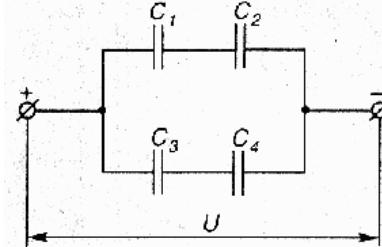
#### 4.1.1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Комплект оценочных заданий №1 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.1. Электрическое поле (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Соединение конденсаторов. Расчет цепей.

Задание: решить задачу. Вариант указывается преподавателем (см. таблицу вариантов).

Вариант	Условие задачи	Схема соединения конденсаторов
1	В цепи $C_1 = 8 \text{ мкФ}$ , $C_2 = 4 \text{ мкФ}$ , $C_3 = 6 \text{ мкФ}$ , $C_4 = 4 \text{ мкФ}$ , $U = 36 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, а также заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи	
2	В цепи $C_1 = 10^4 \text{ пФ}$ , $C_2 = 3 \cdot 10^4 \text{ пФ}$ , $C_3 = 4 \cdot 10^4 \text{ пФ}$ , $C_4 = 5 \cdot 10^4 \text{ пФ}$ , $U = 100 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора	
3	В цепи $C_1 = 80 \text{ пФ}$ , $C_2 = 80 \text{ пФ}$ , $C_3 = 40 \text{ пФ}$ , $C_4 = 30 \text{ пФ}$ , $U = 100 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, заряд и энергию электрического поля каждой емкости и всей цепи	

4	В цепи $C_1 = 0,1 \text{ мкФ}$ , $C_2 = 0,15 \text{ мкФ}$ , $C_3 = 0,3 \text{ мкФ}$ , $C_4 = 0,2 \text{ мкФ}$ , $U = 100 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи	
5	В цепи $C_1 = 30 \text{ мкФ}$ , $C_2 = 15 \text{ мкФ}$ , $C_3 = 5 \text{ мкФ}$ , $C_4 = 60 \text{ мкФ}$ , $U_1 = 30 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, напряжение, приложенное ко всей цепи, а также заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи	
6	В цепи $C_1 = 4 \text{ мкФ}$ , $C_2 = 6 \text{ мкФ}$ , $C_3 = 10 \text{ мкФ}$ , $C_4 = 20 \text{ мкФ}$ , $U_1 = 20 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, напряжение, приложенное ко всей цепи, а также заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи	
7	В цепи $C_1 = 3 \text{ пФ}$ , $C_2 = 1 \text{ пФ}$ , $C_3 = 2 \text{ пФ}$ , $C_4 = 3 \text{ пФ}$ , $U_2 = 20 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, напряжение, приложенное ко всей цепи, заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи	
8	В цепи $C_1 = 40 \text{ пФ}$ , $C_2 = 40 \text{ пФ}$ , $C_3 = 20 \text{ пФ}$ , $C_4 = 15 \text{ пФ}$ . Приложенное к цепи напряжение $U = 100 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, напряжение на каждом участке цепи, энергию и заряд каждой емкости и всей цепи	
9	В цепи $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ , $C_2 = 2 \text{ мкФ}$ , $C_3 = C_4 = 2 \text{ мкФ}$ , $U = 60 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи	
10	В цепи $C_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ пФ}$ , $C_2 = 6 \cdot 10^3 \text{ пФ}$ , $C_3 = 3 \cdot 10^3 \text{ пФ}$ , $C_4 = 6 \cdot 10^3 \text{ пФ}$ , $U = 100 \text{ В}$ . Определить эквивалентную емкость цепи, заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи	

Комплект оценочных заданий №2 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.2. Электрические цепи постоянного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет эквивалентного сопротивления при последовательном, параллельном и смешанном соединении резисторов.

Задание: решить задачу. Вариант указывается преподавателем (см. таблицу вариантов).

Цепь постоянного тока содержит несколько резисторов, соединенных смешанно. Схема цепи с указанием сопротивлений резисторов приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка, заданные значения одного из напряжений или токов и величина, подлежащая определению, приведены в табл. 3. Всюду индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток или на котором действует это напряжение. Например, через резистор  $R_3$  проходит ток  $I_3$  и на нем действует напряжение  $U_3$ . Определить также мощность, потребляемую всей цепью, и расход электрической энергии цепью за 8 ч работы.

Пояснить с помощью логических рассуждений характер изменения электрической величины, заданной в таблице вариантов (увеличится, уменьшится, останется без изменения), если один из резисторов замкнуть накоротко или выключить из схемы. Характер действия с резистором и его номер указаны в табл. 3. При этом считать напряжение  $U_{AB}$  неизменным. При трудностях логических пояснений ответа можно выполнить расчет требуемой величины в измененной схеме и на основании сравнения ее в двух схемах дать ответ на вопрос.

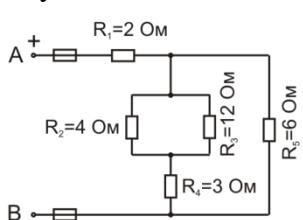


Рис.11

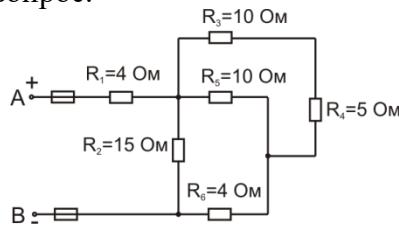


Рис.12

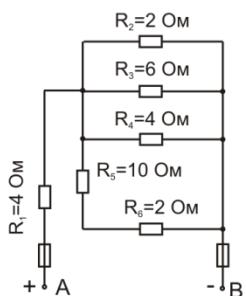


Рис.13

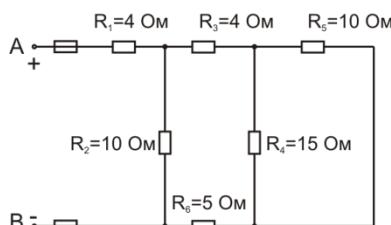


Рис.14

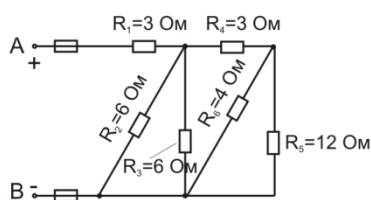


Рис.15

Номер варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина	Определять	Действие с резистором		Изменение какой величины рассмотреть
				Замыкается накоротко	Выключается из схемы	
1	11	$U_{AB} = 100V$	$I_3$	$R_1$	-	$I_5$
2	11	$I_1 = 20A$	$I_4$	-	$R_4$	$U_5$
3	11	$U_2 = 30V$	$I_6$	$R_6$	-	$I_2$
4	11	$I_5 = 10A$	$U_{AB}$	-	$R_2$	$I_5$
5	11	$U_{AB} = 50V$	$I_1$	$R_1$	-	$I_3$
6	11	$I_2 = 3,75A$	$I_5$	-	$R_5$	$U_1$
7	11	$I_4 = 5A$	$U_{AB}$	$R_1$	-	$I_3$
8	11	$U_5 = 30V$	$I_1$	-	$R_3$	$U_4$
9	11	$I_3 = 1,25A$	$U_1$	$R_3$	-	$I_2$
10	11	$U_{AB} = 80V$	$U_4$	-	$R_4$	$I_5$
11	12	$U_{AB} = 50V$	$I_3$	$R_1$	-	$I_6$
12	12	$I_2 = 2A$	$U_{AB}$	-	$R_2$	$U_1$
13	12	$I_1 = 5A$	$U_4$	$R_2$	-	$I_1$
14	12	$U_5 = 18V$	$I_1$	-	$R_6$	$I_2$
15	12	$I_3 = 1,2A$	$U_{AB}$	$R_5$	-	$U_1$
16	12	$I_5 = 6A$	$I_1$	-	$R_3$	$U_2$
17	12	$U_{AB} = 80V$	$I_6$	$R_1$	-	$U_5$
18	12	$I_6 = 3A$	$U_1$	-	$R_5$	$U_1$
19	12	$U_4 = 10V$	$U_{AB}$	$R_3$	-	$I_6$
20	12	$U_1 = 20V$	$I_4$	-	$R_2$	$I_5$
21	13	$I_1 = 12A$	$U_6$	$R_1$	-	$U_3$
22	13	$I_4 = 3A$	$U_{AB}$	-	$R_2$	$U_1$
23	13	$U_{AB} = 120V$	$I_6$	$R_2$	-	$I_1$
24	13	$U_3 = 24V$	$U_{AB}$	-	$R_6$	$I_3$
25	13	$I_6 = 4A$	$U_1$	$R_6$	-	$U_2$
26	13	$I_1 = 24A$	$I_4$	-	$R_3$	$I_3$
27	13	$U_{AB} = 30V$	$U_5$	$R_1$	-	$I_4$
28	13	$U_1 = 96V$	$I_2$	-	$R_4$	$I_1$
29	13	$I_5 = 2A$	$I_1$	$R_3$	-	$U_1$
30	13	$U_{AB} = 60V$	$I_3$	-	$R_2$	$I_3$
31	14	$I_1 = 50A$	$I_3$	$R_3$	-	$U_4$
32	14	$I_2 = 15A$	$U_{AB}$	-	$R_6$	$I_2$
33	14	$U_3 = 120V$	$I_4$	$R_1$	-	$U_3$
34	14	$U_{AB} = 250V$	$I_1$	-	$R_4$	$I_2$
35	14	$I_6 = 8A$	$U_1$	$R_4$	-	$U_1$
36	14	$I_4 = 4A$	$I_2$	-	$R_2$	$I_1$
37	14	$I_5 = 4,8A$	$U_{AB}$	$R_6$	-	$I_2$
38	14	$U_1 = 200V$	$I_6$	-	$R_5$	$U_2$
39	14	$U_4 = 48V$	$U_{AB}$	$R_3$	-	$I_6$
40	14	$I_5 = 6A$	$U_2$	-	$R_6$	$I_2$
41	15	$I_5 = 1A$	$U_{AB}$	$R_3$	-	$I_1$
42	15	$U_4 = 12V$	$U_1$	-	$R_2$	$U_2$
43	15	$I_3 = 6A$	$U_{AB}$	$R_5$	-	$U_4$
44	15	$U_{AB} = 60V$	$I_1$	-	$R_4$	$I_3$
45	15	$I_1 = 24A$	$U_{AB}$	$R_1$	-	$U_6$
46	15	$U_1 = 54V$	$I_6$	-	$R_6$	$U_1$
47	15	$I_6 = 3A$	$U_1$	$R_4$	-	$I_2$
48	15	$U_6 = 12V$	$I_2$	-	$R_3$	$I_1$
49	15	$I_1 = 12A$	$U_{AB}$	$R_6$	-	$U_1$

50	15	$U_2 = 36V$	$U_1$	-	$R_5$	$I_2$
----	----	-------------	-------	---	-------	-------

Комплект оценочных заданий №3 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.2. Электрические цепи постоянного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

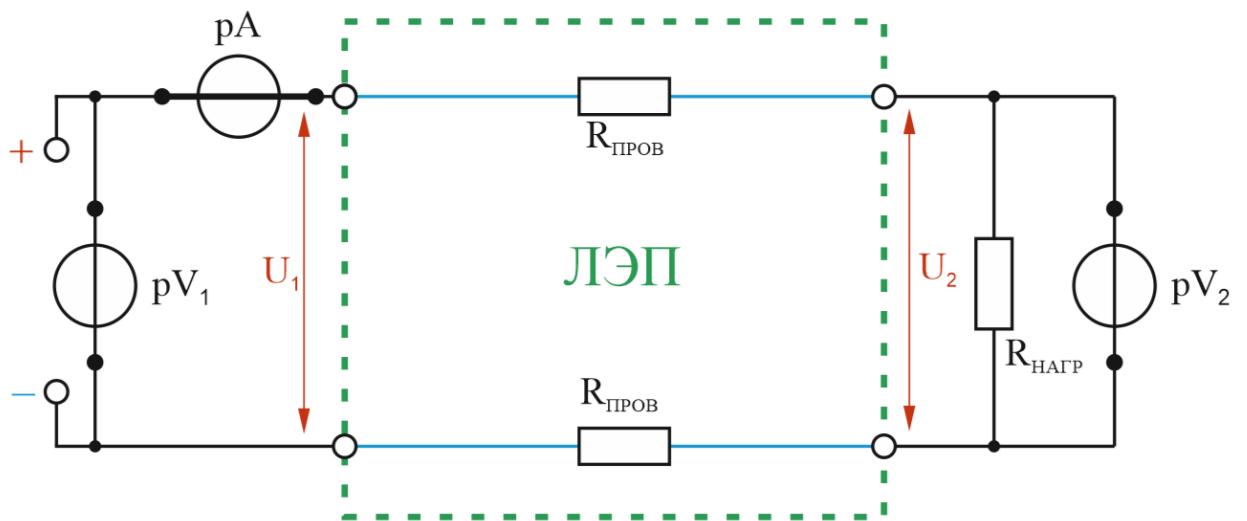
Название: Нагрев проводников электрическим током.

Задание: решить задачу. Вариант указывается преподавателем (см. таблицу вариантов).

Имеется линия электропередач на постоянном токе. По заданным значениям мощности нагрузки напряжению на входе и длины линии определить ток в линии, по данному значению тока выбрать проводник линии электропередач.

По параметрам проводника ЛЭП рассчитать потерю напряжения в линии и выделяемую тепловую энергию за час работы. Высчитать показания второго вольтметра.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{НАГР}}$	1000	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000	2000
$U_1$	220	220	220	220	220	110	110	110	110	110
$L_{\text{ЛИН}}$	100	110	120	90	150	100	110	120	90	150
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P_{\text{НАГР}}$	3000	3000	3000	3000	3000	1000	1000	1000	1000	1000
$U_1$	110	110	110	110	110	220	220	220	220	220
$L_{\text{ЛИН}}$	100	110	120	90	150	100	110	120	90	150
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$P_{\text{НАГР}}$	3000	3000	3000	3000	3000	2000	2000	2000	2000	2000
$U_1$	220	220	220	220	220	110	110	110	110	110
$L_{\text{ЛИН}}$	100	110	120	90	150	100	110	120	90	150



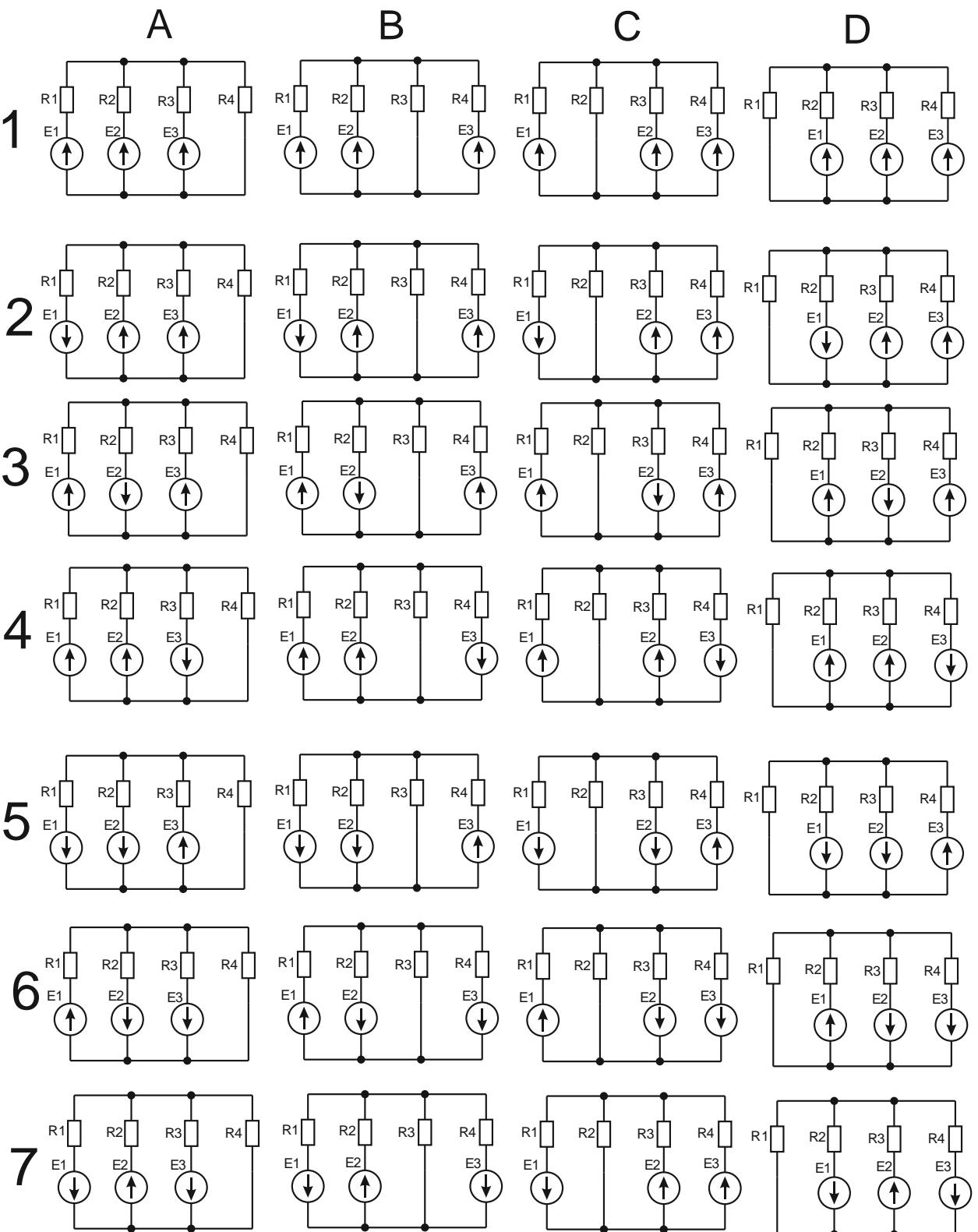
Поперечное сечение, $мм^2$	Наибольший допустимый ток, $а$	Поперечное сечение, $мм^2$	Наибольший допустимый ток, $а$	Поперечное сечение, $мм^2$	Наибольший допустимый ток, $а$	Поперечное сечение, $мм^2$	Наибольший допустимый ток, $а$
0,50	10	4,0	36	35	150	150	390
0,75	13	6,0	46	50	190	185	450
1,0	15	10	68	70	240	240	535
1,5	20	16	90	95	290	300	615
2,5	27	25	120	120	340	400	735

Комплект оценочных заданий №4 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.3. Расчет электрических цепей постоянного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет электрических цепей постоянного тока методом двух узлов и контурных уравнений.

Задание: решить задачу методами двух узлов и контурных уравнений. Данные для решения взять из таблицы. Найти все токи и напряжения на элементах электрической цепи и выполнить проверку решения с помощью баланса мощностей.

Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4	Вариант		E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4	
								1A	31								
1	110	350	300	11	12	13	30	1A	31	250	200	350	71	72	73	60	1A
2	110	350	300	13	14	15	30	2A	32	250	200	350	73	74	75	60	2A
3	110	350	300	15	16	17	30	3A	33	250	200	350	75	76	77	60	3A
4	110	350	300	17	18	19	30	4A	34	250	200	350	77	78	79	60	4A
5	110	350	300	19	20	21	30	5A	35	250	200	350	79	80	81	60	5A
6	110	350	300	21	22	23	30	6A	36	250	200	350	81	82	83	60	6A
7	110	350	300	23	24	25	30	7A	37	250	200	350	83	84	85	60	7A
8	110	350	300	25	26	27	30	1B	38	250	200	350	85	86	87	60	1B
9	110	350	300	27	28	29	30	2B	39	250	200	350	87	88	89	60	2B
10	110	350	300	29	30	31	30	3B	40	250	200	350	89	90	91	60	3B
11	150	110	350	31	32	33	40	4B	41	300	350	200	91	92	93	50	4B
12	150	110	350	33	34	35	40	5B	42	300	350	200	93	94	95	50	5B
13	150	110	350	35	36	37	40	6B	43	300	350	200	95	96	97	50	6B
14	150	110	350	37	38	39	40	7B	44	300	350	200	97	98	99	50	7B
15	150	110	350	39	40	41	40	1C	45	300	350	200	99	100	101	50	1C
16	150	110	350	41	42	43	40	2C	46	300	350	200	101	102	103	50	2C
17	150	110	350	43	44	45	40	3C	47	300	350	200	103	104	105	50	3C
18	150	110	350	45	46	47	40	4C	48	300	350	200	105	106	107	50	4C
19	150	110	350	47	48	49	40	5C	49	300	350	200	107	108	109	50	5C
20	150	110	350	49	50	51	20	6C	50	300	350	200	109	110	111	50	6C
21	200	350	110	51	52	53	20	7C	51	350	300	350	111	112	113	100	7C
22	200	350	110	53	54	55	20	1D	52	350	300	350	113	114	115	100	1D
23	200	350	110	55	56	57	20	2D	53	350	300	350	115	116	117	100	2D
24	200	350	110	57	58	59	20	3D	54	350	300	350	117	118	119	100	3D
25	200	350	110	59	60	61	20	4D	55	350	300	350	119	120	121	100	4D
26	200	350	110	61	62	63	20	5D	56	350	300	350	121	122	123	100	5D
27	200	350	110	63	64	65	20	6D	57	350	300	350	123	124	125	100	6D
28	200	350	110	65	66	67	20	7D	58	350	300	350	125	126	127	100	7D
29	200	350	110	67	68	69	20	1A	59	350	300	350	127	128	129	100	1A
30	200	350	110	69	70	71	60	1B	60	350	300	350	129	130	131	100	1B

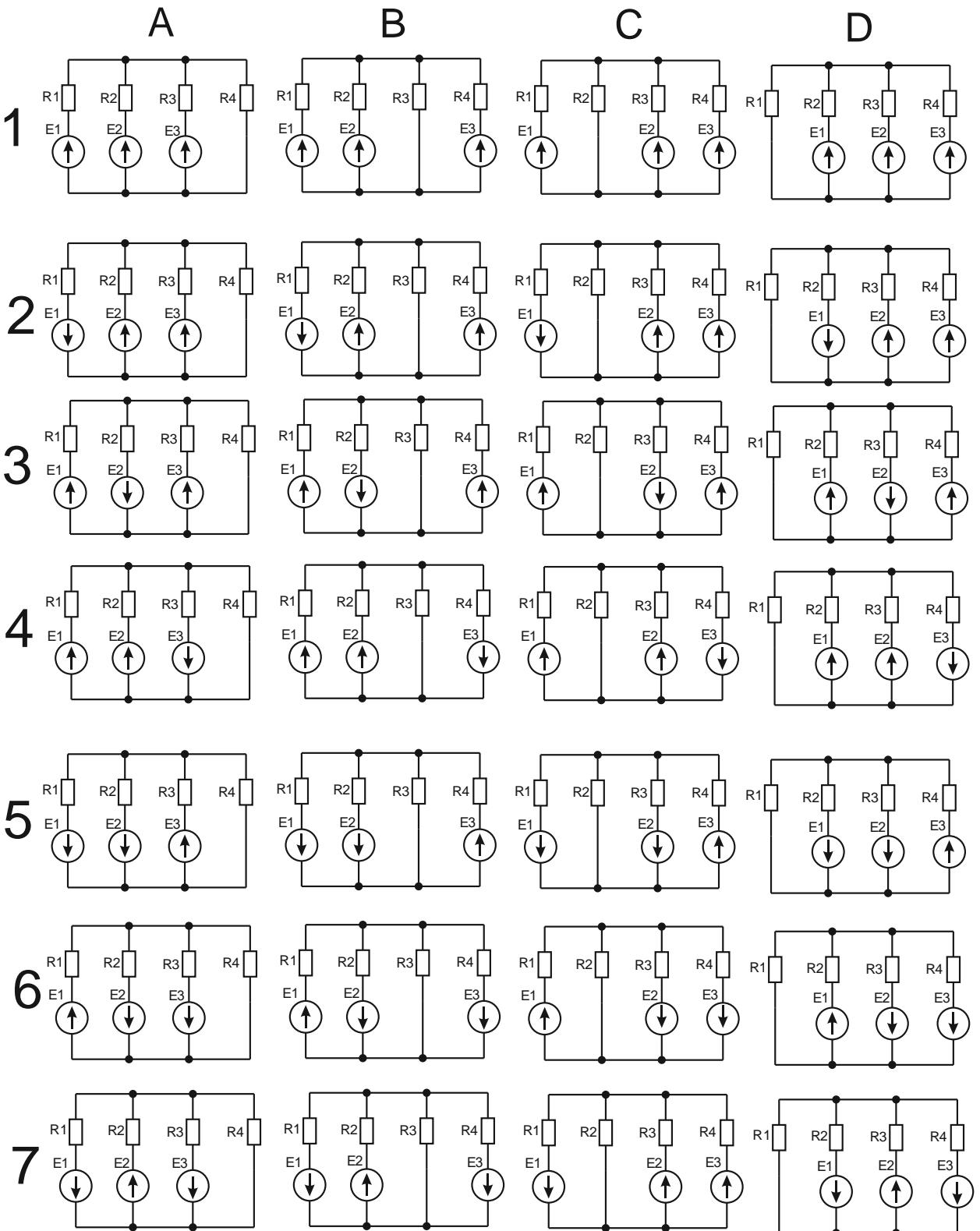


Комплект оценочных заданий №5 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.3. Расчет электрических цепей постоянного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет электрических цепей постоянного тока методом контурных токов.

Задание: решить задачу методом контурных токов. Данные для решения взять из таблицы. Найти все токи и напряжения на элементах электрической цепи и выполнить проверку решения с помощью баланса мощностей.

Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4	Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4		
1	110	350	300	11	12	13	30	1A	31	250	200	350	71	72	73	60	1A
2	110	350	300	13	14	15	30	2A	32	250	200	350	73	74	75	60	2A
3	110	350	300	15	16	17	30	3A	33	250	200	350	75	76	77	60	3A
4	110	350	300	17	18	19	30	4A	34	250	200	350	77	78	79	60	4A
5	110	350	300	19	20	21	30	5A	35	250	200	350	79	80	81	60	5A
6	110	350	300	21	22	23	30	6A	36	250	200	350	81	82	83	60	6A
7	110	350	300	23	24	25	30	7A	37	250	200	350	83	84	85	60	7A
8	110	350	300	25	26	27	30	1B	38	250	200	350	85	86	87	60	1B
9	110	350	300	27	28	29	30	2B	39	250	200	350	87	88	89	60	2B
10	110	350	300	29	30	31	30	3B	40	250	200	350	89	90	91	60	3B
11	150	110	350	31	32	33	40	4B	41	300	350	200	91	92	93	50	4B
12	150	110	350	33	34	35	40	5B	42	300	350	200	93	94	95	50	5B
13	150	110	350	35	36	37	40	6B	43	300	350	200	95	96	97	50	6B
14	150	110	350	37	38	39	40	7B	44	300	350	200	97	98	99	50	7B
15	150	110	350	39	40	41	40	1C	45	300	350	200	99	100	101	50	1C
16	150	110	350	41	42	43	40	2C	46	300	350	200	101	102	103	50	2C
17	150	110	350	43	44	45	40	3C	47	300	350	200	103	104	105	50	3C
18	150	110	350	45	46	47	40	4C	48	300	350	200	105	106	107	50	4C
19	150	110	350	47	48	49	40	5C	49	300	350	200	107	108	109	50	5C
20	150	110	350	49	50	51	20	6C	50	300	350	200	109	110	111	50	6C
21	200	350	110	51	52	53	20	7C	51	350	300	350	111	112	113	100	7C
22	200	350	110	53	54	55	20	1D	52	350	300	350	113	114	115	100	1D
23	200	350	110	55	56	57	20	2D	53	350	300	350	115	116	117	100	2D
24	200	350	110	57	58	59	20	3D	54	350	300	350	117	118	119	100	3D
25	200	350	110	59	60	61	20	4D	55	350	300	350	119	120	121	100	4D
26	200	350	110	61	62	63	20	5D	56	350	300	350	121	122	123	100	5D
27	200	350	110	63	64	65	20	6D	57	350	300	350	123	124	125	100	6D
28	200	350	110	65	66	67	20	7D	58	350	300	350	125	126	127	100	7D
29	200	350	110	67	68	69	20	1A	59	350	300	350	127	128	129	100	1A
30	200	350	110	69	70	71	60	1B	60	350	300	350	129	130	131	100	1B

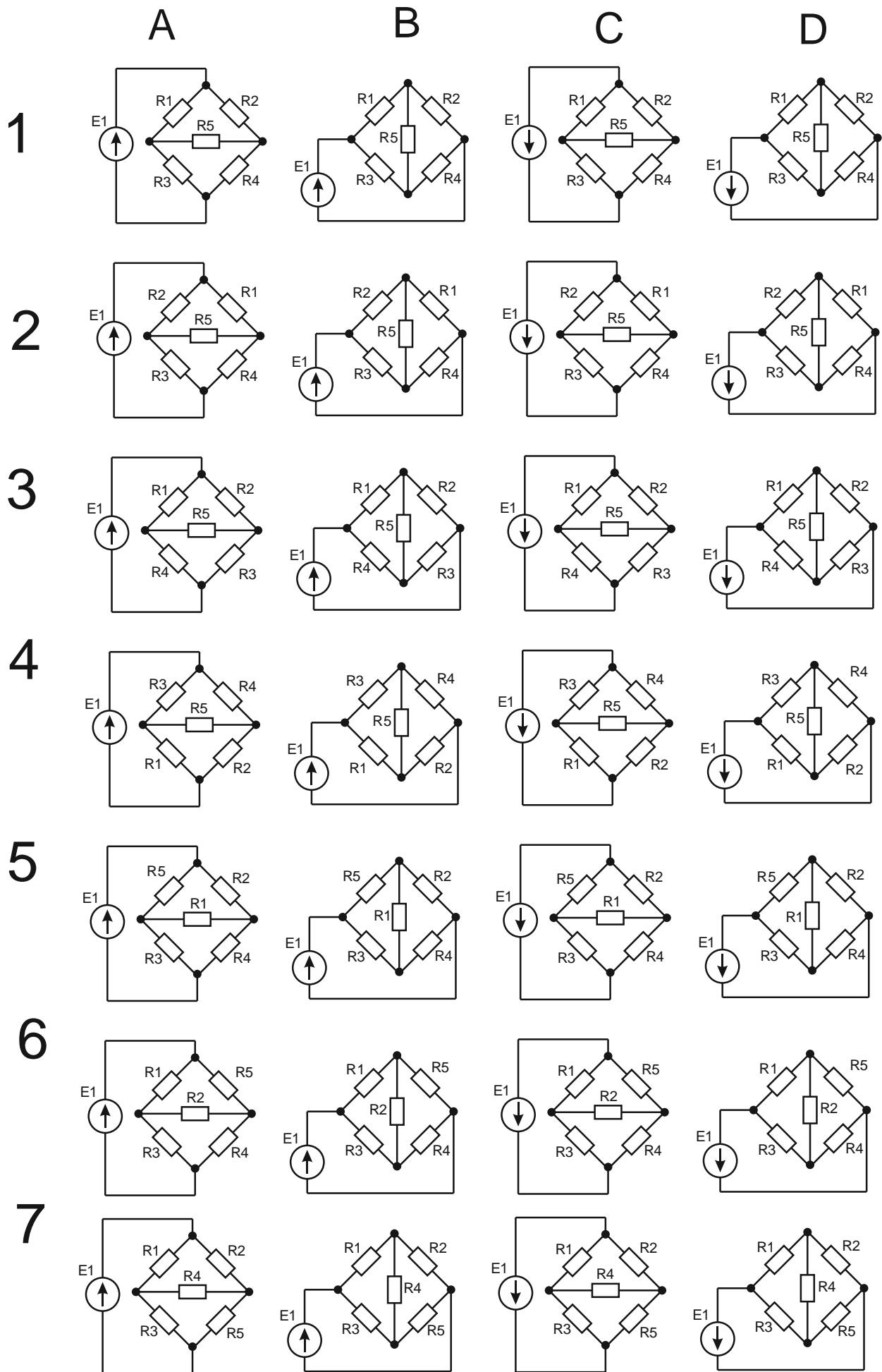


Комплект оценочных заданий №6 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.3. Расчет электрических цепей постоянного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет электрических цепей постоянного тока метод преобразования треугольника и звезды сопротивлений.

Задание: решить задачу методом преобразования из треугольника в эквивалентную звезду/ Данные для решения взять из таблицы, R5 принять равным R3. Найти все токи и напряжения на элементах электрической цепи и выполнить проверку решения с помощью баланса мощностей.

Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4	Вариант		E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4	
								1A	31								
1	110	350	300	11	12	13	30	1A	31	250	200	350	71	72	73	60	1A
2	110	350	300	13	14	15	30	2A	32	250	200	350	73	74	75	60	2A
3	110	350	300	15	16	17	30	3A	33	250	200	350	75	76	77	60	3A
4	110	350	300	17	18	19	30	4A	34	250	200	350	77	78	79	60	4A
5	110	350	300	19	20	21	30	5A	35	250	200	350	79	80	81	60	5A
6	110	350	300	21	22	23	30	6A	36	250	200	350	81	82	83	60	6A
7	110	350	300	23	24	25	30	7A	37	250	200	350	83	84	85	60	7A
8	110	350	300	25	26	27	30	1B	38	250	200	350	85	86	87	60	1B
9	110	350	300	27	28	29	30	2B	39	250	200	350	87	88	89	60	2B
10	110	350	300	29	30	31	30	3B	40	250	200	350	89	90	91	60	3B
11	150	110	350	31	32	33	40	4B	41	300	350	200	91	92	93	50	4B
12	150	110	350	33	34	35	40	5B	42	300	350	200	93	94	95	50	5B
13	150	110	350	35	36	37	40	6B	43	300	350	200	95	96	97	50	6B
14	150	110	350	37	38	39	40	7B	44	300	350	200	97	98	99	50	7B
15	150	110	350	39	40	41	40	1C	45	300	350	200	99	100	101	50	1C
16	150	110	350	41	42	43	40	2C	46	300	350	200	101	102	103	50	2C
17	150	110	350	43	44	45	40	3C	47	300	350	200	103	104	105	50	3C
18	150	110	350	45	46	47	40	4C	48	300	350	200	105	106	107	50	4C
19	150	110	350	47	48	49	40	5C	49	300	350	200	107	108	109	50	5C
20	150	110	350	49	50	51	20	6C	50	300	350	200	109	110	111	50	6C
21	200	350	110	51	52	53	20	7C	51	350	300	350	111	112	113	100	7C
22	200	350	110	53	54	55	20	1D	52	350	300	350	113	114	115	100	1D
23	200	350	110	55	56	57	20	2D	53	350	300	350	115	116	117	100	2D
24	200	350	110	57	58	59	20	3D	54	350	300	350	117	118	119	100	3D
25	200	350	110	59	60	61	20	4D	55	350	300	350	119	120	121	100	4D
26	200	350	110	61	62	63	20	5D	56	350	300	350	121	122	123	100	5D
27	200	350	110	63	64	65	20	6D	57	350	300	350	123	124	125	100	6D
28	200	350	110	65	66	67	20	7D	58	350	300	350	125	126	127	100	7D
29	200	350	110	67	68	69	20	1A	59	350	300	350	127	128	129	100	1A
30	200	350	110	69	70	71	60	1B	60	350	300	350	129	130	131	100	1B

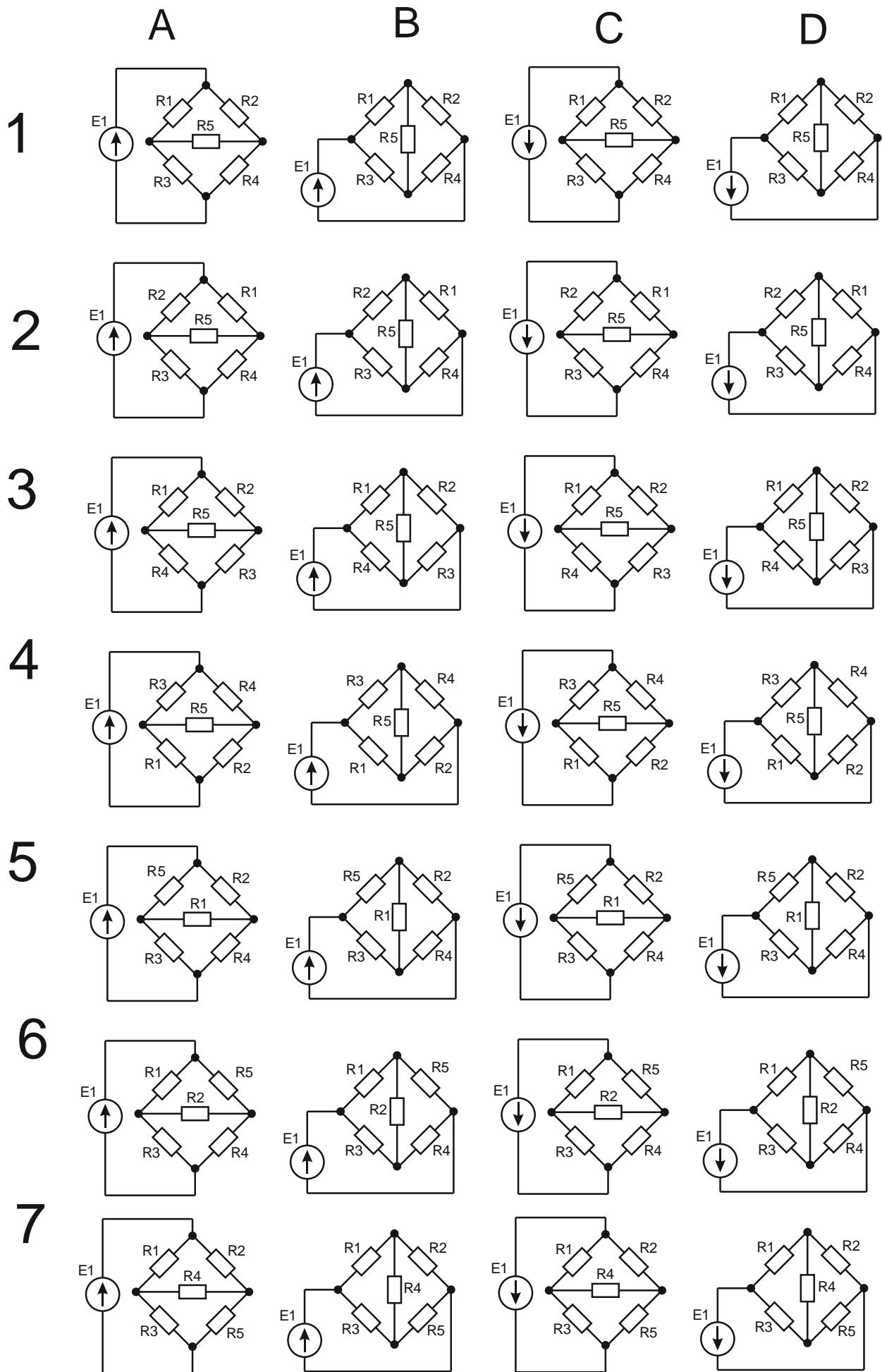


Комплект оценочных заданий №7 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.3. Расчет электрических цепей постоянного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет электрических цепей методом эквивалентного генератора.

Задание: решить задачу методом эквивалентного генератора. Данные для решения взять из таблицы, R5 принять равным R3. Найти ток в диагонали моста методом эквивалентного генератора, после этого найти оставшиеся токи и напряжения на элементах электрической цепи и выполнить проверку решения с помощью баланса мощностей.

Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4	Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4		
1	110	350	300	11	12	13	30	1A	31	250	200	350	71	72	73	60	1A
2	110	350	300	13	14	15	30	2A	32	250	200	350	73	74	75	60	2A
3	110	350	300	15	16	17	30	3A	33	250	200	350	75	76	77	60	3A
4	110	350	300	17	18	19	30	4A	34	250	200	350	77	78	79	60	4A
5	110	350	300	19	20	21	30	5A	35	250	200	350	79	80	81	60	5A
6	110	350	300	21	22	23	30	6A	36	250	200	350	81	82	83	60	6A
7	110	350	300	23	24	25	30	7A	37	250	200	350	83	84	85	60	7A
8	110	350	300	25	26	27	30	1B	38	250	200	350	85	86	87	60	1B
9	110	350	300	27	28	29	30	2B	39	250	200	350	87	88	89	60	2B
10	110	350	300	29	30	31	30	3B	40	250	200	350	89	90	91	60	3B
11	150	110	350	31	32	33	40	4B	41	300	350	200	91	92	93	50	4B
12	150	110	350	33	34	35	40	5B	42	300	350	200	93	94	95	50	5B
13	150	110	350	35	36	37	40	6B	43	300	350	200	95	96	97	50	6B
14	150	110	350	37	38	39	40	7B	44	300	350	200	97	98	99	50	7B
15	150	110	350	39	40	41	40	1C	45	300	350	200	99	100	101	50	1C
16	150	110	350	41	42	43	40	2C	46	300	350	200	101	102	103	50	2C
17	150	110	350	43	44	45	40	3C	47	300	350	200	103	104	105	50	3C
18	150	110	350	45	46	47	40	4C	48	300	350	200	105	106	107	50	4C
19	150	110	350	47	48	49	40	5C	49	300	350	200	107	108	109	50	5C
20	150	110	350	49	50	51	20	6C	50	300	350	200	109	110	111	50	6C
21	200	350	110	51	52	53	20	7C	51	350	300	350	111	112	113	100	7C
22	200	350	110	53	54	55	20	1D	52	350	300	350	113	114	115	100	1D
23	200	350	110	55	56	57	20	2D	53	350	300	350	115	116	117	100	2D
24	200	350	110	57	58	59	20	3D	54	350	300	350	117	118	119	100	3D
25	200	350	110	59	60	61	20	4D	55	350	300	350	119	120	121	100	4D
26	200	350	110	61	62	63	20	5D	56	350	300	350	121	122	123	100	5D
27	200	350	110	63	64	65	20	6D	57	350	300	350	123	124	125	100	6D
28	200	350	110	65	66	67	20	7D	58	350	300	350	125	126	127	100	7D
29	200	350	110	67	68	69	20	1A	59	350	300	350	127	128	129	100	1A
30	200	350	110	69	70	71	60	1B	60	350	300	350	129	130	131	100	1B



Комплект оценочных заданий №8 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.4. Нелинейные электрические цепи постоянного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет нелинейных цепей.

Задание: решить задачу с нелинейным элементом, графическим методом. Данные для решения взять из таблицы, R5 принять равным R3. Найти графическим способом ток и напряжение на нелинейном элементе R5, после чего после этого найти оставшиеся токи и напряжения на элементах электрической цепи и выполнить проверку решения с помощью баланса мощностей.

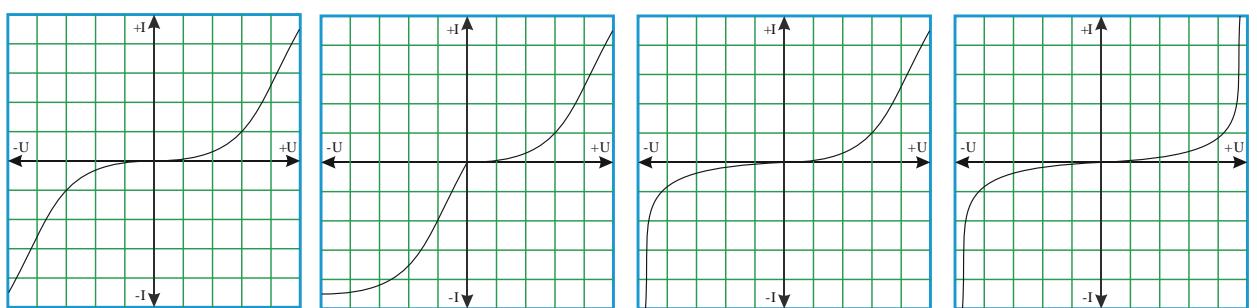
Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4	Вариант	E1	E2	E3	R1	R2	R3	R4		
1	110	350	300	11	12	13	30	1A	31	250	200	350	71	72	73	60	1A
2	110	350	300	13	14	15	30	2A	32	250	200	350	73	74	75	60	2A
3	110	350	300	15	16	17	30	3A	33	250	200	350	75	76	77	60	3A
4	110	350	300	17	18	19	30	4A	34	250	200	350	77	78	79	60	4A
5	110	350	300	19	20	21	30	5A	35	250	200	350	79	80	81	60	5A
6	110	350	300	21	22	23	30	6A	36	250	200	350	81	82	83	60	6A
7	110	350	300	23	24	25	30	7A	37	250	200	350	83	84	85	60	7A
8	110	350	300	25	26	27	30	1B	38	250	200	350	85	86	87	60	1B
9	110	350	300	27	28	29	30	2B	39	250	200	350	87	88	89	60	2B
10	110	350	300	29	30	31	30	3B	40	250	200	350	89	90	91	60	3B
11	150	110	350	31	32	33	40	4B	41	300	350	200	91	92	93	50	4B
12	150	110	350	33	34	35	40	5B	42	300	350	200	93	94	95	50	5B
13	150	110	350	35	36	37	40	6B	43	300	350	200	95	96	97	50	6B
14	150	110	350	37	38	39	40	7B	44	300	350	200	97	98	99	50	7B
15	150	110	350	39	40	41	40	1C	45	300	350	200	99	100	101	50	1C
16	150	110	350	41	42	43	40	2C	46	300	350	200	101	102	103	50	2C
17	150	110	350	43	44	45	40	3C	47	300	350	200	103	104	105	50	3C
18	150	110	350	45	46	47	40	4C	48	300	350	200	105	106	107	50	4C
19	150	110	350	47	48	49	40	5C	49	300	350	200	107	108	109	50	5C
20	150	110	350	49	50	51	20	6C	50	300	350	200	109	110	111	50	6C
21	200	350	110	51	52	53	20	7C	51	350	300	350	111	112	113	100	7C
22	200	350	110	53	54	55	20	1D	52	350	300	350	113	114	115	100	1D
23	200	350	110	55	56	57	20	2D	53	350	300	350	115	116	117	100	2D
24	200	350	110	57	58	59	20	3D	54	350	300	350	117	118	119	100	3D
25	200	350	110	59	60	61	20	4D	55	350	300	350	119	120	121	100	4D
26	200	350	110	61	62	63	20	5D	56	350	300	350	121	122	123	100	5D
27	200	350	110	63	64	65	20	6D	57	350	300	350	123	124	125	100	6D
28	200	350	110	65	66	67	20	7D	58	350	300	350	125	126	127	100	7D
29	200	350	110	67	68	69	20	1A	59	350	300	350	127	128	129	100	1A
30	200	350	110	69	70	71	60	1B	60	350	300	350	129	130	131	100	1B

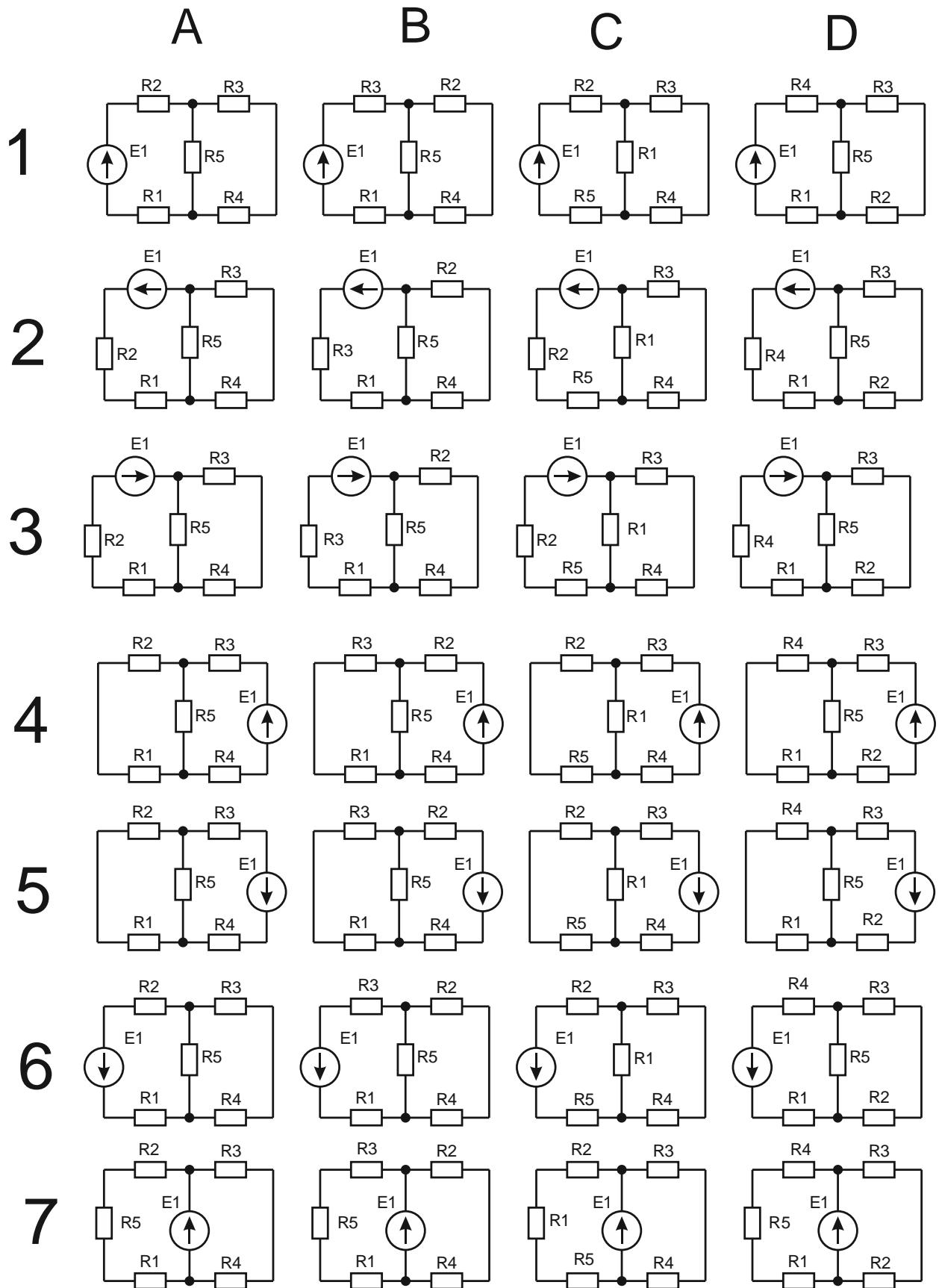
A

B

C

D





Комплект оценочных заданий №9 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.5. Электромагнетизм и электромагнитная индукция (Аудиторная самостоятельная работа).  
Название: Расчет магнитных цепей.

Задание: решить задачу по неразветвленным магнитным цепям. Данные для решения взять из таблиц и графика. Необходимо найти ток в обмотке зная магнитный поток в сердечнике и его физические размеры включая воздушный зазор.

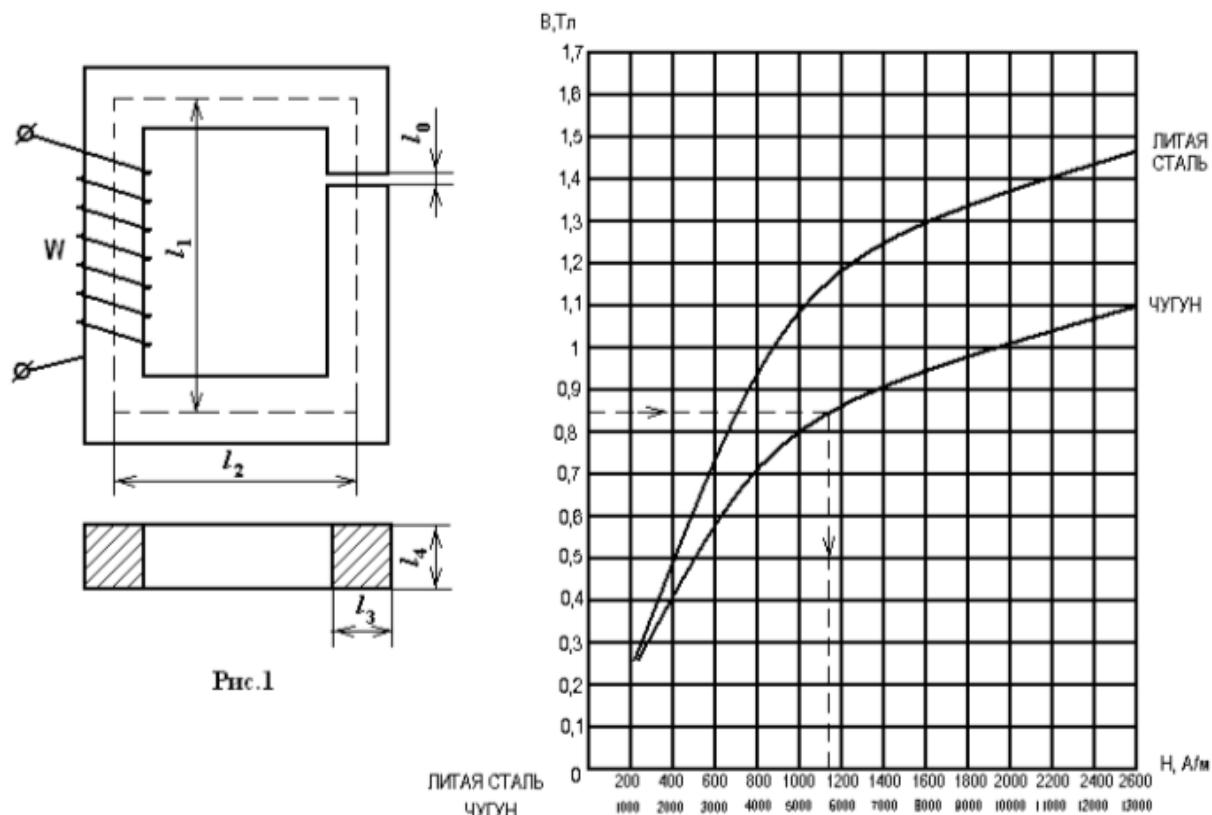


Рис.1

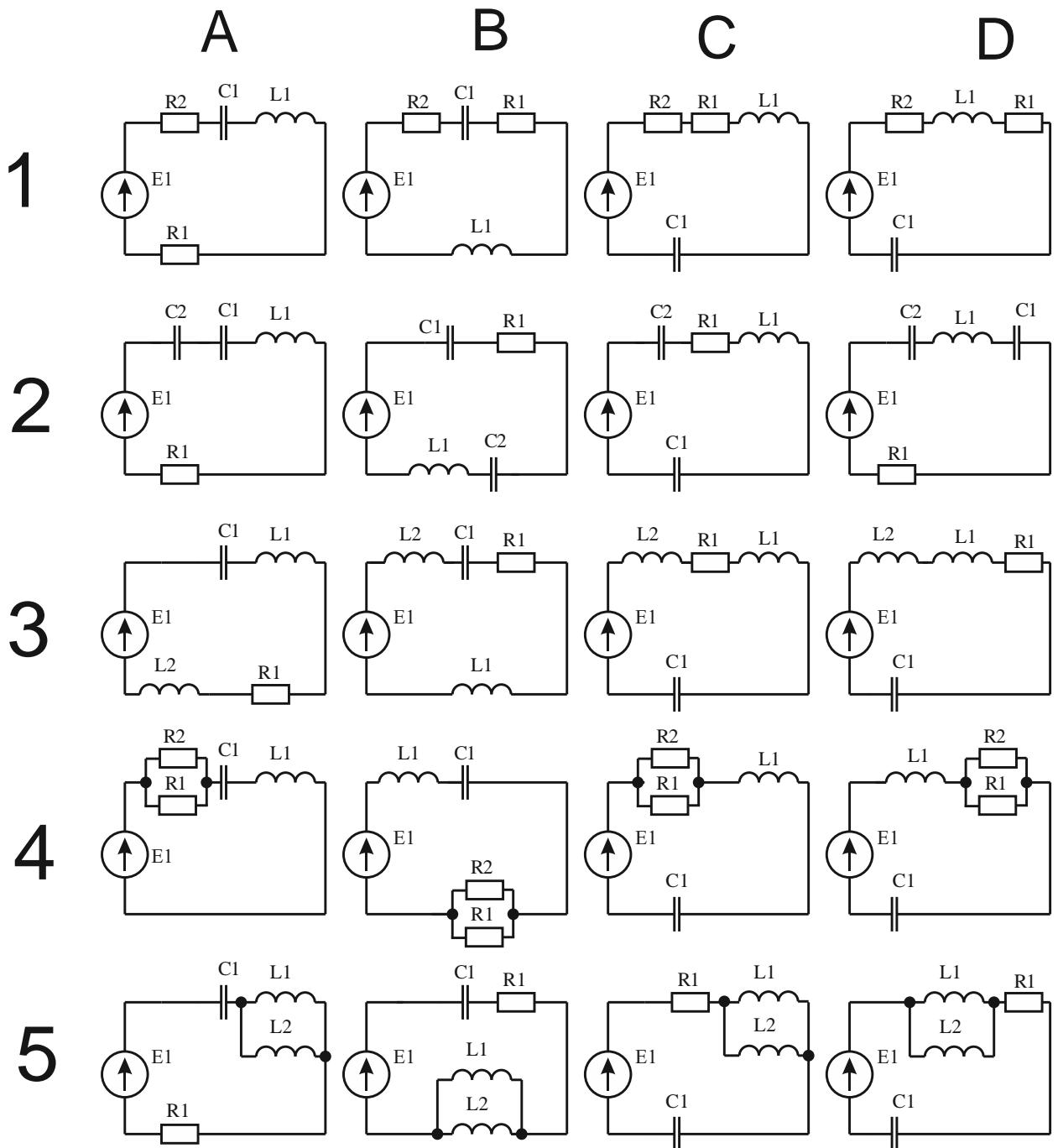
№ вар.	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_0$	$\Phi$	$W$	Материал сердечника
	см	см	см	см	см	Вб	-	
1	26	15	4	4	0,01	$1,4 \cdot 10^{-3}$	650	Литая сталь
2	27	14	3	5	0,02	$1,2 \cdot 10^{-3}$	670	Чугун
3	24	12	4	6	0,03	$1,1 \cdot 10^{-3}$	690	Литая сталь
4	25	16	3	4	0,04	$1,1 \cdot 10^{-3}$	700	Чугун
5	20	17	5	6	0,05	$1,5 \cdot 10^{-3}$	720	Литая сталь
6	23	13	6	7	0,06	$1,9 \cdot 10^{-3}$	740	Чугун
7	21	16	3	6	0,07	$1,3 \cdot 10^{-3}$	760	Литая сталь
8	28	11	4	7	0,08	$1,6 \cdot 10^{-3}$	780	Чугун
9	22	18	5	7	0,09	$1,8 \cdot 10^{-3}$	810	Литая сталь
10	24	14	2	8	0,015	$1 \cdot 10^{-3}$	850	Чугун

Комплект оценочных заданий №10 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.6. Однофазные электрические цепи синусоидального переменного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет неразветвленной цепи переменного тока.

Задание: решить задачу на переменный ток с неразветвленной схемой. Данные взять из таблицы вариантов. Найти ток источника электрической энергии и напряжения на каждом элементе цепи, простираясь векторную диаграмму напряжений. Произвести проверку правильности решения задачи с помощью баланса напряжений.

Вариант	E1	R1	R2	C1	C2	L1	L2	Вариант	E1	R1	R2	C1	C2	L1	L2		
1	110	11	12	2,9E-04	1,1E-04	0,041	0,038	A1	31	250	71	72	7,9E-06	5,3E-05	0,232	1,280	A1
2	110	13	14	1,3E-04	1,1E-04	0,048	0,080	B1	32	250	73	74	7,7E-06	5,3E-05	0,239	1,322	B1
3	110	15	16	8,6E-05	1,1E-04	0,054	0,121	C1	33	250	75	76	7,5E-06	5,3E-05	0,245	1,363	C1
4	110	17	18	6,4E-05	1,1E-04	0,061	0,162	D1	34	250	77	78	7,2E-06	5,3E-05	0,252	1,404	D1
5	110	19	20	5,1E-05	1,1E-04	0,067	0,204	A2	35	250	79	80	7,0E-06	5,3E-05	0,258	1,446	A2
6	110	21	22	4,2E-05	1,1E-04	0,073	0,245	B2	36	250	81	82	6,8E-06	5,3E-05	0,264	1,487	B2
7	110	23	24	3,6E-05	1,1E-04	0,080	0,287	C2	37	250	83	84	6,6E-06	5,3E-05	0,271	1,529	C2
8	110	25	26	3,1E-05	1,1E-04	0,086	0,328	D2	38	250	85	86	6,5E-06	5,3E-05	0,277	1,570	D2
9	110	27	28	2,8E-05	1,1E-04	0,092	0,369	A3	39	250	87	88	6,3E-06	5,3E-05	0,283	1,611	A3
10	110	29	30	2,5E-05	1,1E-04	0,099	0,411	B3	40	250	89	90	6,1E-06	5,3E-05	0,290	1,653	B3
11	150	31	32	2,3E-05	8,0E-05	0,105	0,452	C3	41	300	91	92	6,0E-06	6,4E-05	0,296	1,694	C3
12	150	33	34	2,1E-05	8,0E-05	0,111	0,494	D3	42	300	93	94	5,9E-06	6,4E-05	0,303	1,736	D3
13	150	35	36	1,9E-05	8,0E-05	0,118	0,535	A4	43	300	95	96	5,7E-06	6,4E-05	0,309	1,777	A4
14	150	37	38	1,8E-05	8,0E-05	0,124	0,576	B4	44	300	97	98	5,6E-06	6,4E-05	0,315	1,818	B4
15	150	39	40	1,7E-05	8,0E-05	0,131	0,618	C4	45	300	99	100	5,5E-06	6,4E-05	0,322	1,860	C4
16	150	41	42	1,5E-05	8,0E-05	0,137	0,659	D4	46	300	101	102	5,3E-06	6,4E-05	0,328	1,901	D4
17	150	43	44	1,5E-05	8,0E-05	0,143	0,701	A5	47	300	103	104	5,2E-06	6,4E-05	0,334	1,943	A5
18	150	45	46	1,4E-05	8,0E-05	0,150	0,742	B5	48	300	105	106	5,1E-06	6,4E-05	0,341	1,984	B5
19	150	47	48	1,3E-05	8,0E-05	0,156	0,783	C5	49	300	107	108	5,0E-06	6,4E-05	0,347	2,025	C5
20	150	49	50	1,2E-05	1,6E-04	0,162	0,825	D5	50	300	109	110	4,9E-06	6,4E-05	0,354	2,067	D5
21	200	51	52	1,2E-05	1,6E-04	0,169	0,866	A1	51	350	111	112	4,8E-06	3,2E-05	0,360	2,108	C3
22	200	53	54	1,1E-05	1,6E-04	0,175	0,908	B1	52	350	113	114	4,7E-06	3,2E-05	0,366	2,150	D3
23	200	55	56	1,1E-05	1,6E-04	0,182	0,949	C1	53	350	115	116	4,6E-06	3,2E-05	0,373	2,191	A4
24	200	57	58	1,0E-05	1,6E-04	0,188	0,990	D1	54	350	117	118	4,5E-06	3,2E-05	0,379	2,232	B4
25	200	59	60	9,9E-06	1,6E-04	0,194	1,032	A2	55	350	119	120	4,5E-06	3,2E-05	0,385	2,274	C4
26	200	61	62	9,5E-06	1,6E-04	0,201	1,073	B2	56	350	121	122	4,4E-06	3,2E-05	0,392	2,315	D4
27	200	63	64	9,1E-06	1,6E-04	0,207	1,115	C2	57	350	123	124	4,3E-06	3,2E-05	0,398	2,357	A5
28	200	65	66	8,8E-06	1,6E-04	0,213	1,156	D2	58	350	125	126	4,2E-06	3,2E-05	0,404	2,398	B5
29	200	67	68	8,5E-06	1,6E-04	0,220	1,197	A3	59	350	127	128	4,2E-06	3,2E-05	0,411	2,439	C5
30	200	69	70	8,2E-06	5,3E-05	0,226	1,239	B3	60	350	129	130	4,1E-06	3,2E-05	0,417	2,481	D5

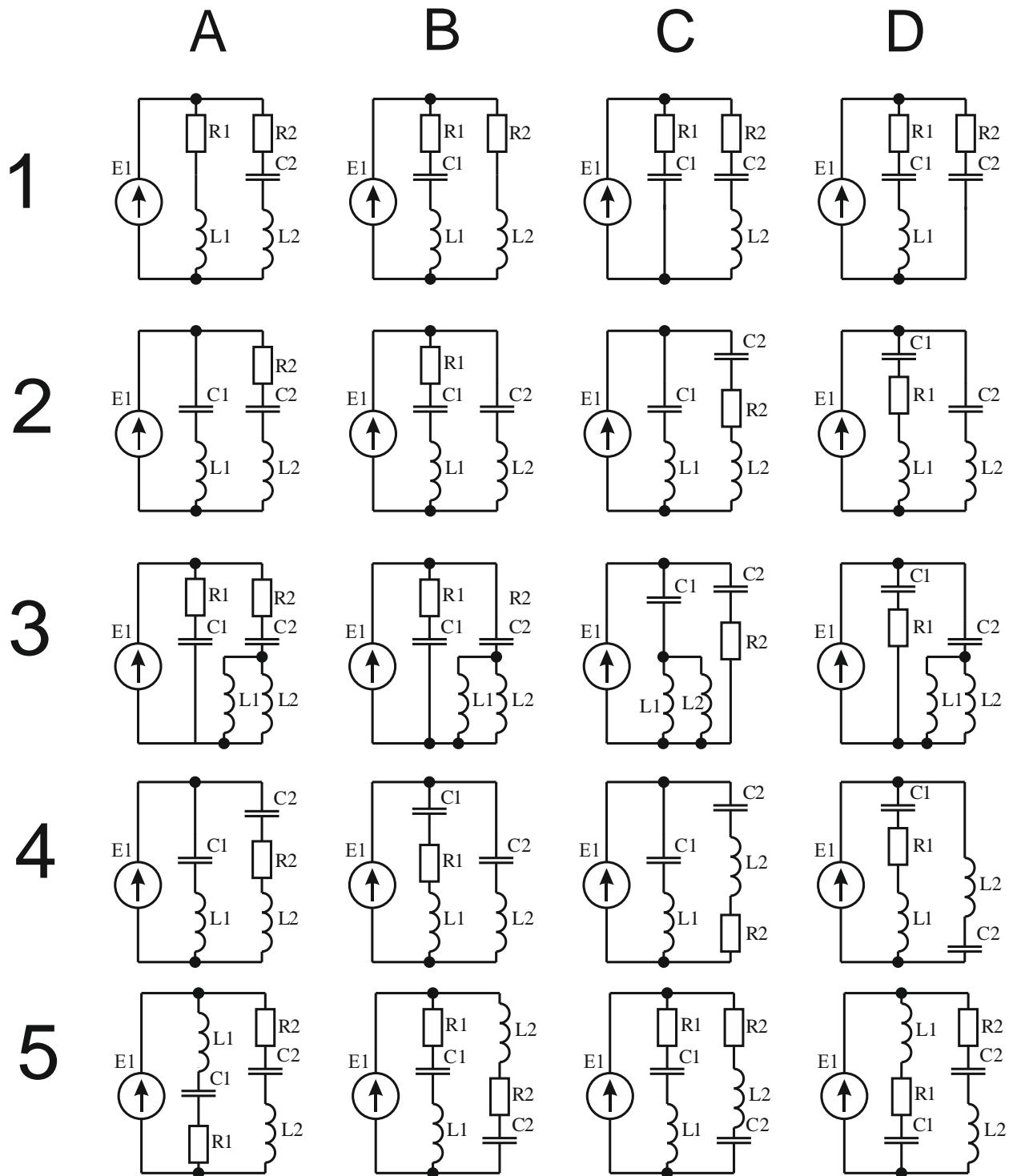


Комплект оценочных заданий №11 по Разделу 1. Электротехника, Тема 1.6. Однофазные электрические цепи синусоидального переменного тока (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Расчет разветвленной цепи переменного тока.

Задание: решить задачу на переменный ток с разветвленной схемой. Данные взять из таблицы вариантов. Найти ток источника электрической энергии и напряжения на каждом элементе цепи и токи, пристроить векторную диаграмму токов. Произвести проверку правильности решения задачи с помощью баланса напряжений

Вариант	E1	R1	R2	C1	C2	L1	L2	Вариант	E1	R1	R2	C1	C2	L1	L2		
1	110	11	12	2,9E-04	1,1E-04	0,041	0,038	A1	31	250	71	72	7,9E-06	5,3E-05	0,232	1,280	A1
2	110	13	14	1,3E-04	1,1E-04	0,048	0,080	B1	32	250	73	74	7,7E-06	5,3E-05	0,239	1,322	B1
3	110	15	16	8,6E-05	1,1E-04	0,054	0,121	C1	33	250	75	76	7,5E-06	5,3E-05	0,245	1,363	C1
4	110	17	18	6,4E-05	1,1E-04	0,061	0,162	D1	34	250	77	78	7,2E-06	5,3E-05	0,252	1,404	D1
5	110	19	20	5,1E-05	1,1E-04	0,067	0,204	A2	35	250	79	80	7,0E-06	5,3E-05	0,258	1,446	A2
6	110	21	22	4,2E-05	1,1E-04	0,073	0,245	B2	36	250	81	82	6,8E-06	5,3E-05	0,264	1,487	B2
7	110	23	24	3,6E-05	1,1E-04	0,080	0,287	C2	37	250	83	84	6,6E-06	5,3E-05	0,271	1,529	C2
8	110	25	26	3,1E-05	1,1E-04	0,086	0,328	D2	38	250	85	86	6,5E-06	5,3E-05	0,277	1,570	D2
9	110	27	28	2,8E-05	1,1E-04	0,092	0,369	A3	39	250	87	88	6,3E-06	5,3E-05	0,283	1,611	A3
10	110	29	30	2,5E-05	1,1E-04	0,099	0,411	B3	40	250	89	90	6,1E-06	5,3E-05	0,290	1,653	B3
11	150	31	32	2,3E-05	8,0E-05	0,105	0,452	C3	41	300	91	92	6,0E-06	6,4E-05	0,296	1,694	C3
12	150	33	34	2,1E-05	8,0E-05	0,111	0,494	D3	42	300	93	94	5,9E-06	6,4E-05	0,303	1,736	D3
13	150	35	36	1,9E-05	8,0E-05	0,118	0,535	A4	43	300	95	96	5,7E-06	6,4E-05	0,309	1,777	A4
14	150	37	38	1,8E-05	8,0E-05	0,124	0,576	B4	44	300	97	98	5,6E-06	6,4E-05	0,315	1,818	B4
15	150	39	40	1,7E-05	8,0E-05	0,131	0,618	C4	45	300	99	100	5,5E-06	6,4E-05	0,322	1,860	C4
16	150	41	42	1,5E-05	8,0E-05	0,137	0,659	D4	46	300	101	102	5,3E-06	6,4E-05	0,328	1,901	D4
17	150	43	44	1,5E-05	8,0E-05	0,143	0,701	A5	47	300	103	104	5,2E-06	6,4E-05	0,334	1,943	A5
18	150	45	46	1,4E-05	8,0E-05	0,150	0,742	B5	48	300	105	106	5,1E-06	6,4E-05	0,341	1,984	B5
19	150	47	48	1,3E-05	8,0E-05	0,156	0,783	C5	49	300	107	108	5,0E-06	6,4E-05	0,347	2,025	C5
20	150	49	50	1,2E-05	1,6E-04	0,162	0,825	D5	50	300	109	110	4,9E-06	6,4E-05	0,354	2,067	D5
21	200	51	52	1,2E-05	1,6E-04	0,169	0,866	A1	51	350	111	112	4,8E-06	3,2E-05	0,360	2,108	C3
22	200	53	54	1,1E-05	1,6E-04	0,175	0,908	B1	52	350	113	114	4,7E-06	3,2E-05	0,366	2,150	D3
23	200	55	56	1,1E-05	1,6E-04	0,182	0,949	C1	53	350	115	116	4,6E-06	3,2E-05	0,373	2,191	A4
24	200	57	58	1,0E-05	1,6E-04	0,188	0,990	D1	54	350	117	118	4,5E-06	3,2E-05	0,379	2,232	B4
25	200	59	60	9,9E-06	1,6E-04	0,194	1,032	A2	55	350	119	120	4,5E-06	3,2E-05	0,385	2,274	C4
26	200	61	62	9,5E-06	1,6E-04	0,201	1,073	B2	56	350	121	122	4,4E-06	3,2E-05	0,392	2,315	D4
27	200	63	64	9,1E-06	1,6E-04	0,207	1,115	C2	57	350	123	124	4,3E-06	3,2E-05	0,398	2,357	A5
28	200	65	66	8,8E-06	1,6E-04	0,213	1,156	D2	58	350	125	126	4,2E-06	3,2E-05	0,404	2,398	B5
29	200	67	68	8,5E-06	1,6E-04	0,220	1,197	A3	59	350	127	128	4,2E-06	3,2E-05	0,411	2,439	C5
30	200	69	70	8,2E-06	5,3E-05	0,226	1,239	B3	60	350	129	130	4,1E-06	3,2E-05	0,417	2,481	D5



## 4.1.2. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ

Комплект оценочных заданий №1 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №1. Простые цепи постоянного тока.

Теоретические основы электротехники (часть 1)

## «ПРОСТЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Тема: линейные цепи постоянного тока.

Цель работы: расчет и экспериментальная проверка работы простой цепи постоянного тока.

Необходимое оборудование: стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

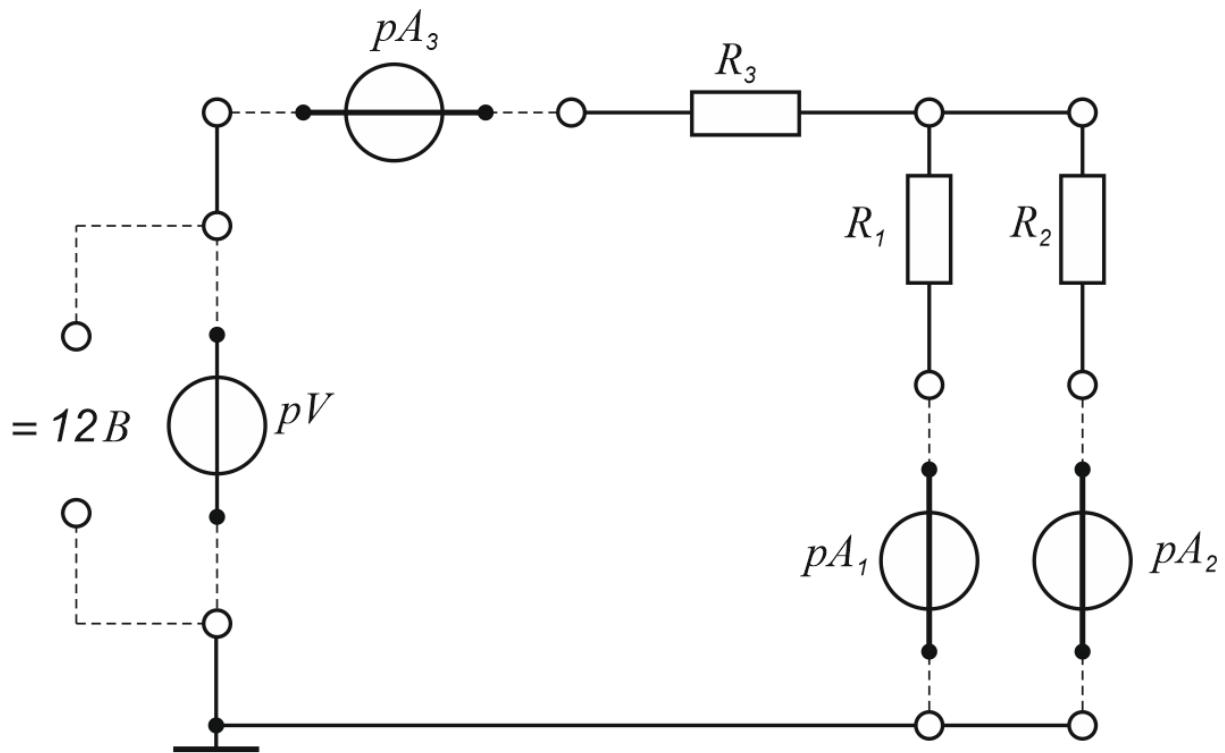
- Переключатель «вариант» установить в положение, соответствующее данным таблицы вариантов.

Таблица вариантов.

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант №	1	2	3	4	1	2	3	4
Напряжение $U_{\text{ВХ.}} [\text{В}]$	12	12	12	12	10	10	10	10

- Ознакомиться со схемой и перечертить ее в отчет.

СХЕМА.



- Ознакомиться с инструкцией по измерению сопротивлений. Включить стенд и измерить сопротивления входящих в схему резисторов. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

$U_{\text{ВХ.}}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
[В]	[Ом]	[Ом]	[Ом]

--	--	--	--

Значение  $U_{BX}$  взять из таблицы вариантов.

4. По данным таблицы 1 рассчитать:

- Сопротивление участка схемы, состоящего из параллельно включенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_{1,2}$ ).
- Эквивалентное сопротивление всей схемы  $R_{ЭКВ}$ .
- Токи, протекающие в каждом резисторе.
- Напряжения на каждом резисторе.

Результаты расчетов занести в таблицу 2.

5. Измерить сопротивление участка схемы, состоящего из параллельно включенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_{1,2}$ ), эквивалентное сопротивление всей схемы ( $R_{ЭКВ}$ ).
6. Собрать схему (подключить провода, показанные на схеме красным цветом). Вольтметр включить на вход схемы. Пределы измерения приборов выбрать в соответствии с результатами расчетов.
7. Потенциометр источника питания установить в крайнее левое положение. Включить стенд и источник питания «=12В». Плавно увеличивать напряжение на входе схемы до величины, принятой в расчетах.
8. Показания амперметров занести в таблицу 2. Отключить вольтметр от входа схемы и измерить напряжение на каждом резисторе. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2.

	R <sub>1,2</sub> [Ом]	R <sub>ЭКВ.</sub> [Ом]	I <sub>1</sub> [mA]	I <sub>2</sub> [mA]	I <sub>3</sub> [mA]	U <sub>1</sub> [В]	U <sub>2</sub> [В]	U <sub>3</sub> [В]
Вычислено								
Измерено								

Содержание отчета:

- 1 Номер, название, цель работы.
- 2 Номер бригады и номер варианта.
- 3 Схема.
- 4 Таблица 1.
- 5 Расчетные формулы, расчеты.
- 6 Таблица 2.

Комплект оценочных заданий №2 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №2. Метод наложения.

### «МЕТОД НАЛОЖЕНИЯ».

Тема: линейные цепи постоянного тока.

Цель работы: экспериментальная проверка метода наложения.

Необходимое оборудование: стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд).

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

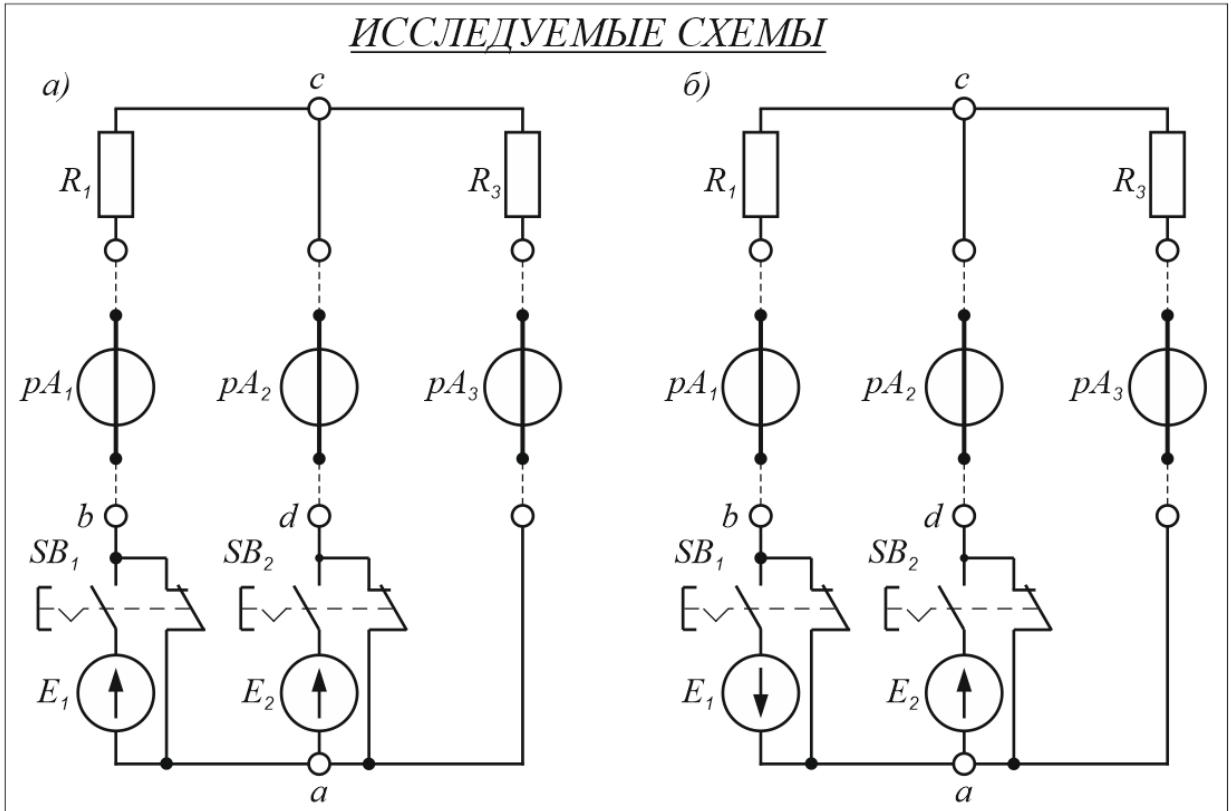
1. Переключатель «Э.Д.С.» установить в положение «работа». Переключатели «схема» и «вариант» в положение, соответствующее данным таблицы вариантов.

Таблица вариантов.

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант №	1	2	3	4	1	2	3	4

Схема	1	1	1	1	2	2	2	2
Контур	a - b - c - d - a		a - b - c - a		a - b - c - d - a		a - b - c - a	

2. Ознакомиться со схемой.



3. Ознакомиться с инструкцией по изменению сопротивлений. Включить стенд и измерить сопротивления входящих в схему резисторов. Результаты занести в таблицу.
4. Вольтметром измерить э.д.с. источников питания  $E_1$  и  $E_2$  (при выборе предела измерения вольтметра учесть, что  $0 < E_i < 10$  [В]). Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Схема	$R_1$ [Ом]	$R_3$ [Ом]	$E_1$ [В]	$E_2$ [В]
-				

5. Составить схемы для определения частичных токов от действия  $E_1$  и  $E_2$  и начертить их в отчете.
6. По данным таблицы 1 рассчитать токи в ветвях схемы методом наложения. Значения частичных и полных токов занести в таблицу 2.
7. Выполнить проверку баланса мощностей в исследуемой схеме (значение  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $R_1$ ,  $R_3$  взять из таблицы 1; значение токов из таблицы 2, графы «вычислено»).
8. Построить потенциальную диаграмму для контура, указанного в таблице вариантов.
9. Собрать схему (подключить провода, показанные на схеме красным цветом). Выбирая пределы измерения амперметров в соответствии с результатами расчетов, измерить:
  - частичные токи от действия  $E_1$  ( $I_{i(E1)}$ ) ( $SB_1$  - включена,  $SB_2$  - выключена)
  - частичные токи от действия  $E_2$  ( $I_{i(E2)}$ ) ( $SB_1$  - выключена,  $SB_2$  - включена)
  - полные токи в ветвях ( $I_i$ ).

Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

		Первая ветвь	Вторая ветвь	Третья ветвь
		Вычислено		
		Измерено		
E <sub>1</sub>	I <sub>1 (E1)</sub> [mA]	I <sub>2 (E1)</sub> [mA]	I <sub>3 (E1)</sub> [mA]	
E <sub>2</sub>	I <sub>1 (E2)</sub> [mA]	I <sub>2 (E2)</sub> [mA]	I <sub>3 (E2)</sub> [mA]	
E <sub>1</sub> и E <sub>2</sub>	I <sub>1</sub> [mA]	I <sub>2</sub> [mA]	I <sub>3</sub> [mA]	

## Содержание отчета

- 1 Номер, название, цель работы.
- 2 Номер бригады, номер варианта, номер схемы.
- 3 Схема.
- 4 Таблица 1.
- 5 Схемы для расчета частичных токов.
- 6 Расчетные формулы, расчет частичных и полных токов.
- 7 Таблица 2.
- 8 Проверка баланса мощностей.
- 9 Потенциальная диаграмма.

Комплект оценочных заданий №3 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №3. Метод двух узлов.

## «МЕТОД ДВУХ УЗЛОВ».

Тема: линейные цепи постоянного тока.

Цель работы: экспериментальная проверка метода двух узлов.

Необходимое оборудование: стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

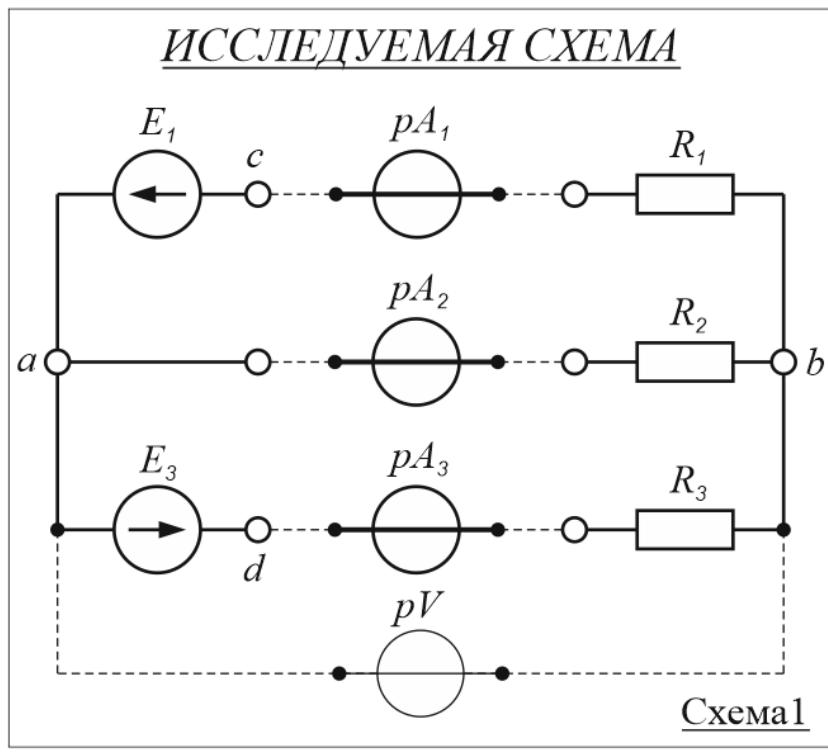
10. Переключатель «Э.Д.С.» установить в положение «работа».

Переключатель «вариант» в положение, соответствующее данным таблицы вариантов.

Таблица вариантов.

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант №	1	2	3	4	1	2	3	4
Контур	a - c - b - d - a		a - c - b - a		a - c - b - d - a		a - b - d - a	

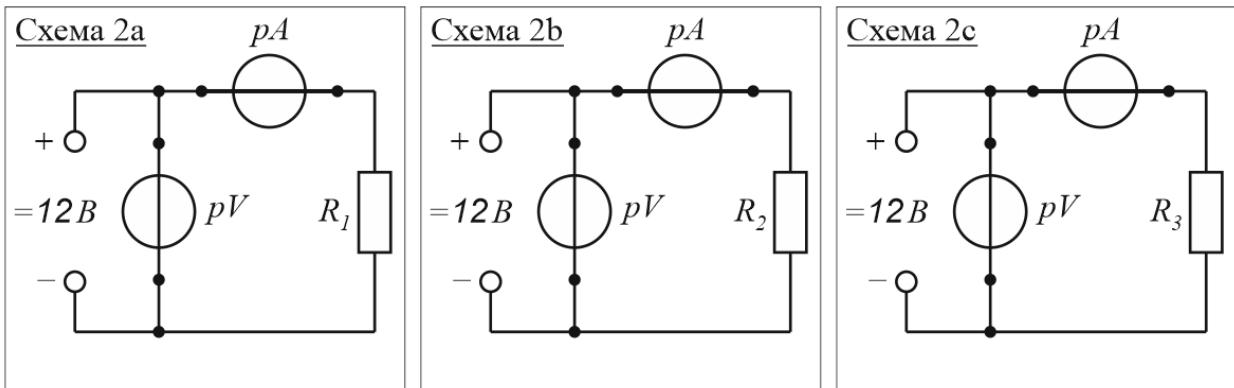
11. Ознакомиться со схемой 1 и перечертить ее в отчет.



12.

13. Измерить входящие в схему сопротивления методом амперметра и вольтметра. Для этого:

- собрать схему 2а.
- потенциометр источника питания «=12[В]» установить в крайнее левое положение, предел измерения вольтметра - 10[В], амперметра - 100[мА].
- включить тумблер общего питания стенда УЭС и источник питания «=12[В]».
- плавно увеличивая напряжение на входе схемы, добиться, чтобы стрелки обоих приборов находились во второй половине шкалы (при необходимости изменить пределы измерения).
- снять показания приборов, результаты занести в таблицу 1.
- рассчитать сопротивление по формуле:  $R_1 = U/I$ , результат занести в таблицу 1.
- аналогично определить сопротивление резистора  $R_2$  (схема 2б) и  $R_3$  (схема 2с), результаты занести в таблицу 1.



14. Вольтметром измерить э.д.с. источников питания  $E_1$  и  $E_3$  (при выборе предела измерения вольтметра учесть, что  $0 < E_i < 12[\text{В}]$ ).

Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Схема 1			Схема 2			Схема 3			-	
U	I	R <sub>1</sub>	U	I	R <sub>2</sub>	U	I	R <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>3</sub>
[В]	[mA]	[Ом]	[В]	[mA]	[Ом]	[В]	[mA]	[Ом]	[В]	[В]

15. По данным таблицы 1 рассчитать токи в ветвях схемы 1 методом двух узлов. Значения узлового напряжения и токов в ветвях занести в таблицу 2.
16. Выполнить проверку баланса мощностей в исследуемой схеме (значения  $E_1$ ,  $E_3$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  взять из таблицы 1; значение токов из таблицы 2, графы «вычислено»).
17. Построить потенциальную диаграмму для контура, указанного в таблице вариантов.
18. Собрать схему 1 (подключить провода, показанные на схеме красным цветом). Пределы измерения приборов выбрать в соответствии с результатами расчетов. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

	U <sub>ab</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
	[В]	[mA]	[mA]	[mA]
Вычислено				
Измерено				

## Содержание отчета

1. Номер, название, цель работы.
2. Номер бригады, номер варианта.
3. Схемы 1; 2а; 2б; 2с.
4. Таблица 1.
5. Расчетные формулы, расчет узлового напряжения и токов в ветвях.
6. Таблица 2.
7. Проверка баланса мощностей.
8. Потенциальная диаграмма.

Комплект оценочных заданий №4 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №4. Метод эквивалентного генератора.

## «МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА».

Тема: линейные цепи постоянного тока.

Цель работы: расчет и экспериментальная проверка тока в диагонали мостовой схемы.

Экспериментальное определение входного сопротивления двухполюсника.

Необходимое оборудование: стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд)

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Переключатель «вариант» установить в положение, соответствующее данным таблицы вариантов.

Таблица вариантов:

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант №	1	2	3	4	1	2	3	4
Напряжение U <sub>вх</sub> [В]	12	12	12	12	10	10	10	10

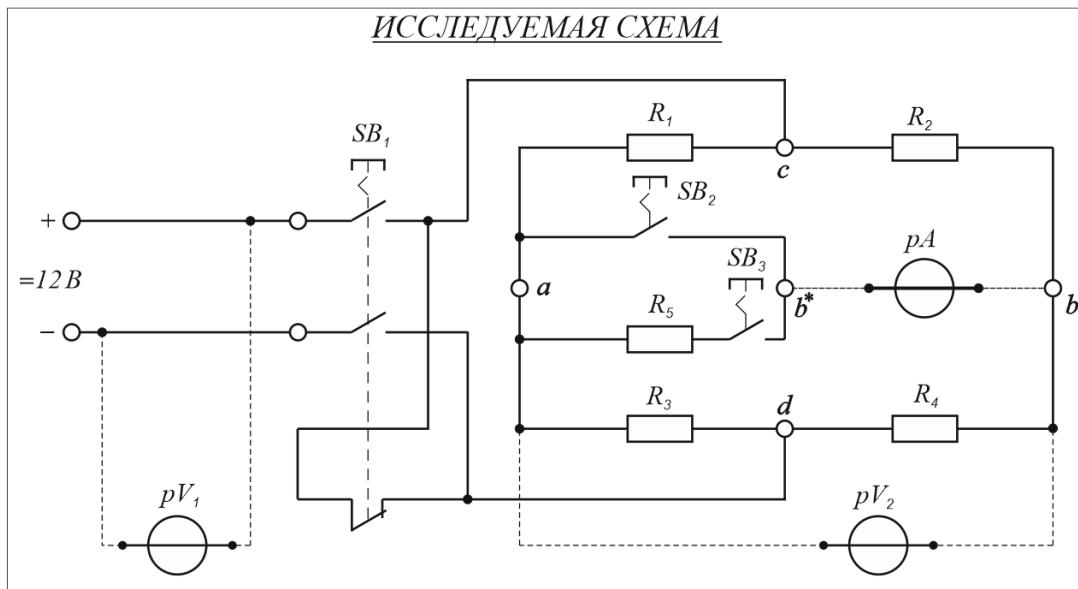
2. Ознакомиться со схемой и перечертить ее в отчет.
3. Ознакомиться с инструкцией по измерению сопротивлений. Включить стенд и измерить сопротивление входящих в схему резисторов. При измерении сопротивлений резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , необходимо нажать кнопку «измерение» соответствующего резистора (при этом выводы резистора отключаются от остальных элементов схемы). При измерении

сопротивления  $R_5$  необходимо, чтобы кнопка  $SB_2$  была выключена,  $SB_3$  включена. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

$U_{BX.}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
[В]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]

Значение  $U_{BX.}$  взять из таблицы вариантов.



4. По данным таблицы 1 определить ток в диагонали мостовой схемы ( $I_5$ ) методом эквивалентного генератора. Для этого:

- составить схему для расчета напряжения холостого хода и начертить ее в отчете.
- рассчитать напряжение холостого хода ( $U_{XX.}$ ). Результат занести в таблицу 2.
- составить схему для расчета входного сопротивления двухполюсника и начертить ее в отчете.

- рассчитать входное сопротивление двухполюсника ( $R_{BX.}$ ). Результат занести в таблицу 2.

5. Измерить входное сопротивление двухполюсника омметром. Для этого:

- выключить кнопку  $SB_1$  (при этом точки « $c$ » и « $d$ » замкнутся накоротко размыкающими контактами кнопки).

- измерить сопротивление между точками « $a$ » и « $b$ ». Результат занести в таблицу 2.

6. Собрать схему (подключить провода, показанные синим цветом). Пределы измерения приборов выбрать в соответствии с результатами расчетов.

7. Потенциометр источника питания «=12В» установить в крайнее левое положение. Кнопку  $SB_1$  включить,  $SB_2$  и  $SB_3$  выключить. Включить стенд и источник питания «=12В».

Плавно увеличивать напряжение на входе схемы до величины, принятой в расчетах (по вольтметру  $pV_1$ ). Снять показания вольтметра  $pV_2$  ( $U_{XX.}$  – напряжение холостого хода).

Нажать кнопку  $SB_3$  и снять показания амперметра ( $I_5$  – ток в ветви).

Установить максимальный предел измерения амперметра, включить кнопку  $SB_2$ . Снять показания амперметра ( $I_{K3}$  – ток короткого замыкания). Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

$R_{BX.}$	$U_{XX.}$	$I_5$	$I_{K3.}$	$R_{BX.}^*$

	[Ом]	[В]	[mA]	[mA]	[Ом]
Рассчитано				-	
Измерено					-

10. Рассчитать входное сопротивление двухполюсника по формуле:

$$R_{BX.}^* = \frac{U_{XX.}}{I_{K3.}}$$

(значение  $U_{XX.}$  и  $I_{K3.}$  взять из таблицы 2, графа «измерено»). Результат занести в таблицу 2.

Содержание отчета:

1. Номер, название, цель работы.
2. Номер бригады и номер варианта.
3. Схема.
4. Таблица 1.
5. Схема для расчета напряжения холостого хода, расчет напряжения холостого хода.
6. Схема для расчета входного сопротивления двухполюсника, расчет входного сопротивления двухполюсника.
7. Расчет тока в диагонали мостовой схемы.
8. Таблица 2.
9. Расчет входного сопротивления двухполюсника по экспериментальным данным ( $R_{BX.}^*$ ).

Комплект оценочных заданий №5 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №5. Преобразование треугольника в эквивалентную звезду.

### «ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТРЕУГОЛЬНИКА В ЭКВИВАЛЕНТНУЮ ЗВЕЗДУ».

Тема: линейные цепи постоянного тока.

Цель работы: расчет и экспериментальная проверка работы мостовой схемы. Проверка эквивалентности преобразования треугольника в звезду.

Необходимое оборудование: стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд).

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Переключатель «вариант» установить в положение соответствующее данным таблицы вариантов.

#### Таблица вариантов.

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант №	1	2	3	4	1	2	3	4
Напряжение $U_{BX}$ [В]	24	24	24	24	20	20	20	20

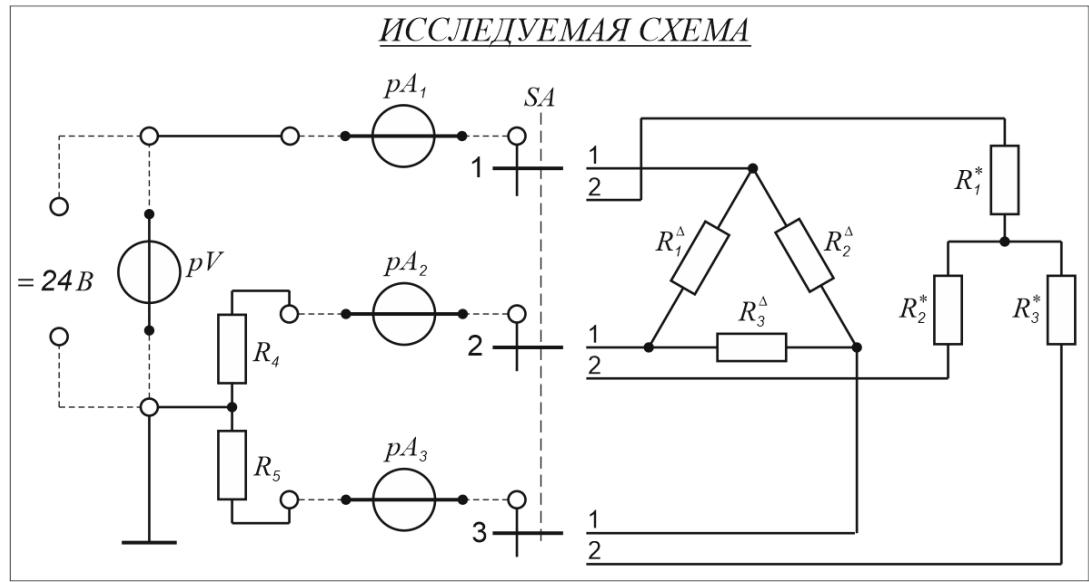
2. Ознакомиться со схемой и перечертить ее в отчет.

3. Ознакомиться с инструкцией по измерению сопротивлений. Включить тумблер общего питания теперь стенд и измерить сопротивление резисторов  $R_1^A$ ,  $R_2^A$ ,  $R_3^A$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ . При измерении сопротивлений резисторов  $R_1^A$ ,  $R_2^A$ ,  $R_3^A$  необходимо нажать кнопку «измерение» соответствующего резистора (при этом выводы резистора отключаются от остальных элементов схемы). Результаты измерений занести в таблицу 1.

#### Таблица 1.

U <sub>BX.</sub>	R <sub>1</sub> <sup>Δ</sup>	R <sub>2</sub> <sup>Δ</sup>	R <sub>3</sub> <sup>Δ</sup>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>
[B]	[Om]	[Om]	[Om]	[Om]	[Om]

Значение  $U_{BX}$  взять из таблицы вариантов.



4. По данным таблицы 1 рассчитать токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и потенциалы точек 1, 2, 3, используя преобразование треугольника в эквивалентную звезду.

Результаты расчетов занести в таблицу 2.

5. Установить значения сопротивлений резисторов  $R_1^*$ ,  $R_2^*$ ,  $R_3^*$  в соответствии с результатами расчетов. Для этого:
    - при помощи магазина сопротивлений  $\langle(0 \div 9) \times 50[\text{Ом}]\rangle$  установить приближенное значение сопротивления
    - подключить резистор к входу омметра
    - выбрать предел измерения омметра в соответствии с результатом расчетов
    - поворачивая потенциометр плавной регулировки сопротивления добиться показаний омметра, равным результатам расчета.
  6. Собрать схему (подключить провода, показанные на схеме красным цветом). Пределы измерения приборов выбрать в соответствии с результатами расчетов. Переключатель  $SA$  поставить в положение «1» (треугольник).
  7. Потенциометр источника питания установить в крайнее левое положение. Включить стенд и источник питания  $\langle=24\text{В}\rangle$ . Плавно увеличивать напряжение на входе схемы до величины, принятой в расчетах. Показания амперметров занести в таблицу 2. Вольтметром измерить потенциалы точек 1; 2; 3. Результаты измерений занести в таблицу 2.
  8. Переключатель  $SA$  поставить в положение 2 (звезда). Показания амперметров занести в таблицу 2. Вольтметром измерить потенциалы точек 1; 2; 3. Результаты измерений занести в таблицу 2.

### Таблица 2.

## Содержание отчета.

- 1 Номер, название, цель работы.
- 2 Номер бригады и номер варианта.
- 3 Схема.
- 4 Таблица 1.
- 5 Расчетные формулы, расчет сопротивлений  $R_1^*, R_2^*, R_3^*$ .
- 6 Расчетные формулы, расчет токов  $I_1, I_2, I_3$  и потенциалов  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ .
- 7 Таблица 2.

Комплект оценочных заданий №6 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №6. Неразветвленные цепи переменного тока, резонанс напряжений.

## «НЕРАЗВЕТВЛЕННЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ».

Тема: однофазный переменный ток.

Цель: расчет и экспериментальная проверка работы неразветвленных цепей переменного тока, расчет величины индуктивности, необходимой для получения резонанса напряжений в последовательной  $R - L - C$  цепи.

Необходимое оборудование:

- стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд).
- комбинированный электронный измерительный прибор, состоящий из омметра, фарадометра, амперфазометра.
- электромагнитный вольтметр Э543.
- магазин индуктивности Р – 567.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Расчет и экспериментальная проверка работы неразветвленной цепи переменного тока.

1.1. Установить:

- переключатель источника питания «~24В» – в положение «12В».
- переключатель SA – в положение «1».
- переключатель «работа» – в положение «1»
- переключатель «вариант» – в соответствие с данными таблицы вариантов.
- значение индуктивности (на магазине Р – 567) – в соответствие с данными таблицы вариантов.

Таблица вариантов.

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант №	1	2	3	4	1	2	3	4
Индуктивность $L$ [мГн]	65	55	110	95	45	45	100	105

1.2. Ознакомиться со схемой и перечертить ее в отчет.

1.3. Ознакомиться с инструкцией по измерению емкостей измерителем R-C (на планшете стенда УЭС). Измерить емкость конденсатора  $C$ , результат занести в таблицу 1.

1.4. Ознакомиться с инструкцией по измерению сопротивлений измерителем R-C (на планшете стенда УЭС). Измерить активное сопротивление катушки индуктивности, результаты занести в таблицу 1.

1.5. Подключить к источнику питания «~24В» вход схемы и вольтметр Э543 на пределе измерения 15[B] (т. е. подключить проводники, показанные на схеме красным цветом). Включить стенд и источник питания «~24В». Показания вольтметра занести в таблицу 1.

Таблица 1.

$f$	$U_{BX.}$	$L$	$R$	$C$
[Гц]	[В]	[мГн]	[Ом]	[мкФ]
50				

1.6. По данным таблицы 1 рассчитать ток в цепи и напряжения на ее участках. Начальную фазу тока принять равной нулю. Результаты занести в таблицу 2.

1.7. Ознакомиться с инструкцией по измерению токов электронным амперфазометром (на планшете стенда УЭС). Подключить провода, показанные на схеме синим цветом, (вольтметр  $pV_2$  - прибор выпрямительной системы, на стенде УЭС). Включить стенд и источник питания «~24В». Установливая пределы измерения прибора в соответствии с результатами расчетов, измерить:

SA – в положении «1»:

- ток в цепи ( $I$ ).
- напряжение на входе схемы ( $U_{BX.}$ ).
- угол сдвига фаз между ними ( $\varphi_{BX.}$ ).

SA – в положении «2»:

- ток в цепи ( $I$ ).
- напряжение на катушке индуктивности ( $U_{RL}$ ).
- угол сдвига фаз между ними ( $\varphi_{RL}$ ).

SA – в положении «3»:

- ток в цепи ( $I$ )
- напряжение на конденсаторе ( $U_C$ )
- угол сдвига фаз между ними ( $\varphi_C$ )

Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2.

	$I$	$U_{BX.}$	$\varphi_{BX.}$	$U_{RL}$	$\varphi_{RL}$	$U_C$	$\varphi_C$
	[mA]	[В]	[град.]	[В]	[град.]	[В]	[град.]
Вычислено.							
Измерено.							

1.8. Построить векторную диаграмму напряжений.

1.9. Записать аналитические выражения для мгновенных значений тока и напряжений на входе схемы и ее элементах.

1.10. Начертить временные диаграммы входного напряжения  $u_{BX.}(t)$  и тока  $i(t)$ .

2. чет индуктивности необходимой для получения резонанса напряжений.

2.1. Установить:

- переключатель «работа» – в положение «2».

- переключатель «SA» – в положение «1».
- переключатель источника питания «~24В» – в положение «6В»

2.2. Измерить емкость входящего в схему конденсатора  $C$ . (см. п.1.3.). Результат занести в таблицу 3.

2.3. Рассчитать величину индуктивности, необходимую для получения резонанса напряжений в цепи с этой емкостью при частоте питающей сети  $f = 50[\text{Гц}]$ . Полученное значение индуктивности установить на магазине Р – 567 и занести в таблицу 3.

2.4. Измерить активное сопротивление катушки индуктивности (см. п.1.4.). Результаты занести в таблицу 3.

2.5. Измерить напряжения на входе схемы (см. п.1.5.). Результат занести в таблицу 3.

Таблица 3.

$f$	$U_{BX.}$	$L$	$R$	$C$
[Гц]	[В]	[мГн]	[Ом]	[μF]
50				

2.6. По данным таблицы 3 рассчитать ток в цепи и напряжения на ее участках. Результаты занести в таблицу 4.

2.7. Измерить ток в цепи и напряжения на ее участках (см. п. 1.7). Результаты занести в таблицу 4.

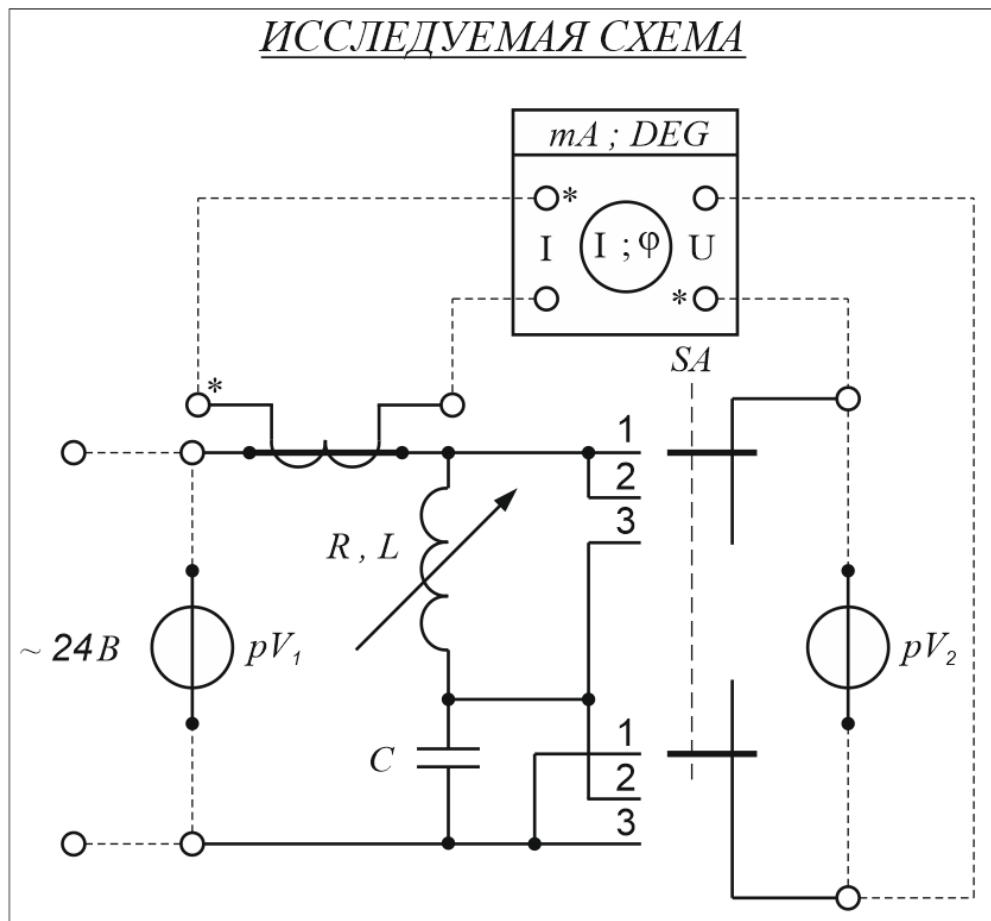
Таблица 4.

	$I$	$U_{BX.}$	$\varphi_{BX.}$	$U_{RL}$	$\varphi_{RL}$	$U_C$	$\varphi_C$
	[mA]	[В]	[град.]	[В]	[град.]	[В]	[град.]
Вычислено.							
Измерено.							

2.8. Построить векторную диаграмму напряжений.

2.9. Записать аналитические выражения для мгновенных значений тока и напряжений на входе схемы и ее элементах.

2.10. Начертить временные диаграммы входного напряжения  $u_{BX.}(t)$  и тока  $i(t)$ .



Содержание отчета.

1. Номер, название, цель работы.
2. Номер бригады и номер варианта.
3. Схема.
4. Таблица 1.
5. Расчетные формулы, расчет тока и напряжений по данным таблицы 1.
6. Таблица 2.
7. Векторная и временные диаграммы по данным таблицы 2 (см. п.п.1.8; 1.10.)
8. Аналитические выражения для мгновенных значений тока и напряжений на входе схемы и ее элементах (см. п.1.9.).
9. Таблица 3.
10. Расчетные формулы, расчет индуктивности для получения резонанса напряжений.
11. Расчетные формулы, расчет тока и напряжений по данным таблицы 3.
12. Таблица 4.
13. Векторная и временная диаграммы по данным таблицы 4 (см. п.п.2.8; 2.10.).
14. Аналитические выражения для мгновенных значений тока и напряжений на входе схемы и ее элементах (см. п.2.9.).

Комплект оценочных заданий №7 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №7. Разветвленные цепи переменного тока, резонанс токов.

«РАЗВЕТВЛЕННЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА,

## РЕЗОНАНС ТОКОВ».

Тема: однофазный переменный ток.

Цель: расчет и экспериментальная проверка работы разветвленных цепей переменного тока, расчет емкости компенсирующего конденсатора.

Необходимое оборудование:

- стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд)
- комбинированный электронный измерительный прибор, состоящий из омметра, фарадометра, амперфазометра.
- переносной электромагнитный вольтметр Э 543.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

## 1. Расчет и экспериментальная проверка работы разветвленной цепи переменного тока.

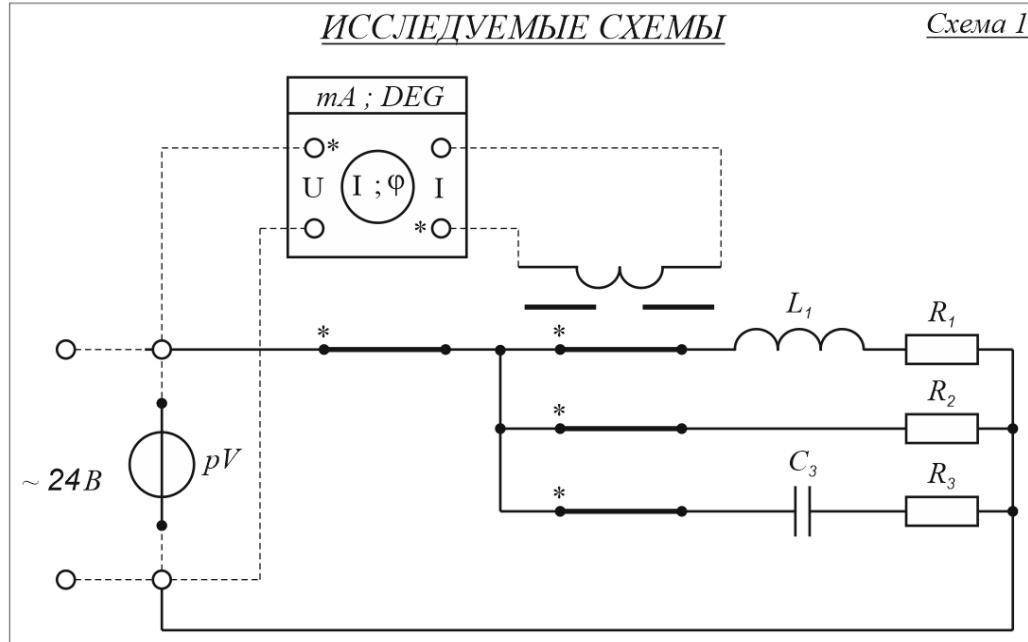
## 1.1. Установить:

- переключатель источника питания «~24В» в положение «12В».
- переключатель SA ----- «1»
- переключатель «работа» ----- «1»
- переключатели «индуктивность» и «вариант» - в соответствие с данными таблицы вариантов.

## Таблица вариантов.

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант №	1	2	3	4	1	2	3	4
«индуктивность»	1	1	1	1	2	2	2	2

## 1.2. Ознакомиться со схемой 1 и перечертить ее в отчет.



1.3. Ознакомиться с инструкцией по измерению емкостей измерителем R,C (на планшете стенда УЭС). Нажать кнопку «измерение  $C_3$ » (при этом выводы конденсатора отключаются от остальных элементов схемы). Измерить емкость конденсатора  $C_3$ , результат занести в таблицу 1.

1.4. Ознакомиться с инструкцией по измерению сопротивлений измерителем R,C (на планшете стенда УЭС). При изменении сопротивлений входящих в схему резисторов необходимо нажать кнопку «измерение» соответствующего резистора (при этом выводы резисторов отключаются от остальных элементов схемы). Измерить сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , результаты занести в таблицу 1.

1.5. Подключить к источнику питания «~24В» вход схемы и переносной вольтметр Э543 на пределе измерения 15[В] (т. е. подключить проводники, показанные на схеме красным цветом). Включить стенд и источник питания «~24В». Показания вольтметра занести в таблицу 1.

Таблица 1.

f	U <sub>ВХ</sub>	L <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
[Гц]	[В]	[мГн]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[μF]
50						

$$L_1 = 215[\text{мГн}] \text{ в первом положении переключателя «индуктивность»}.$$

$$L_1 = 170[\text{мГн}] \text{ во втором положении переключателя «индуктивность»}.$$

1.6. По данным таблицы 1 рассчитать токи в ветвях и ток в неразветвленном участке цепи ( $I_0$ ) схемы 1 символическим методом. Начальную фазу входного напряжения принять равной нулю. Результаты занести в таблицу 2.

1.7. Ознакомиться с инструкцией по измерению токов электронным амперфазометром (на планшете стенда УЭС). Подключить провода, показанные на схеме синим цветом. Включить стенд и источник питания «~24В». Установить пределы измерения прибора в соответствии с результатами расчетов, измерить токи. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2.

	I <sub>0</sub>	φ <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	φ <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	φ <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	φ <sub>3</sub>
	[mA]	[град]	[mA]	[град]	[mA]	[град]	[mA]	[град]
Вычислено								
Измерено								

1.8. Построить векторную диаграмму токов для схемы 1.

1.9. Записать аналитические выражения для мгновенных значений входного напряжения, токов в ветвях и тока в неразветвленной части цепи.

1.10. Начертить временные диаграммы входного напряжения  $u_{ВХ}(t)$  и тока  $i_0(t)$  в неразветвленной части цепи.

## 2. Расчет емкости компенсирующего конденсатора.

2.1. Установить:

переключатель «работа» - в положение «2»

переключатель «SA» - - - - - «2»

2.2. Ознакомиться со схемой 2 и перечертить ее в отчет.

2.3. Измерить сопротивление входящих в схему резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (см п. 1.4). Результаты занести в таблицу 3.

2.4. Повторить измерение напряжения на входе схемы. Результат занести в таблицу 3.

Таблица 3.

f	U <sub>ВХ</sub>	L <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
[Гц]	[В]	[мГн]	[Ом]	[Ом]
50				

2.5. По данным таблицы 3 рассчитать токи в ветвях и ток в неразветвленном участке цепи ( $I_0$ ) схемы 2. Результаты занести в таблицу 4.

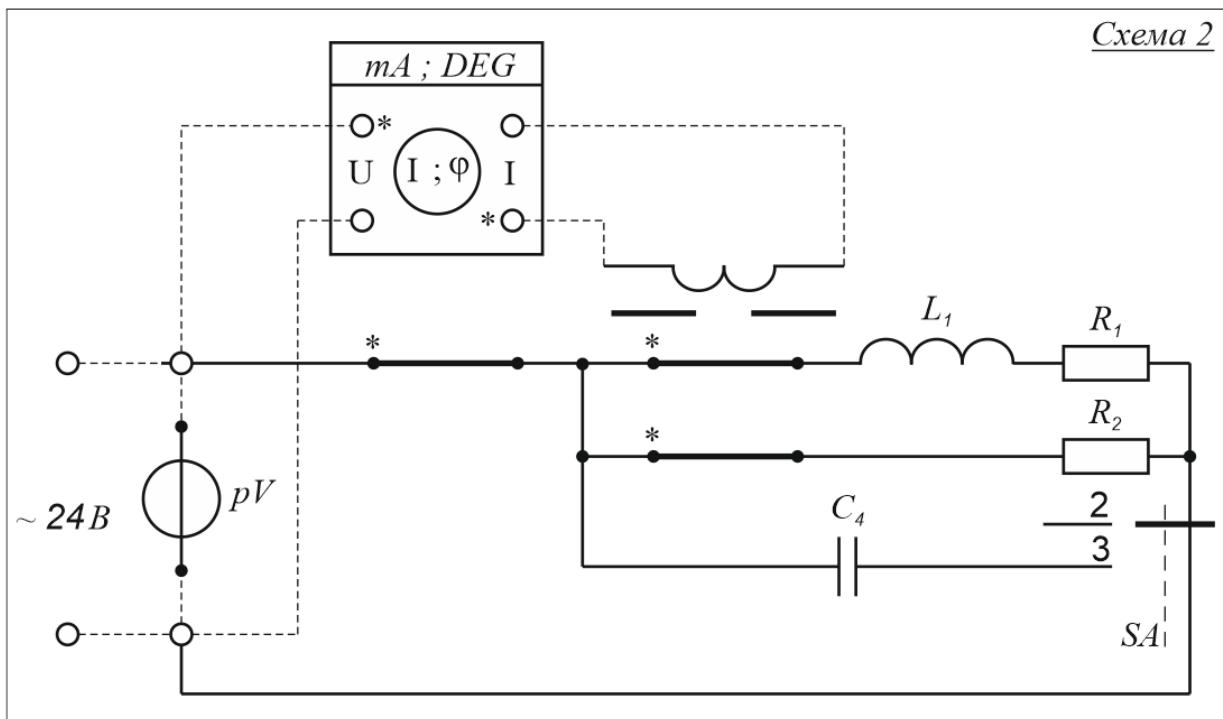


Схема 2

2.6. Рассчитать величину емкости  $C_4$ , необходимую для получения резонанса токов в схеме. Полученное значение емкости установить на магазине емкостей и занести в таблицу 4.

2.7. Рассчитать ток в неразветвленном участке цепи схемы 2 после подключения  $C_4$  ( $I_0^*$ ).

2.8. Измерить токи (см. п.1.7) в ветвях и неразветвленном участке цепи схемы 2 до подключения  $C_4$  (переключатель SA – в положении «2»). Пределы измерения амперфазометра выбирать в соответствии с результатами расчетов. Результаты занести в таблицу 4.

2.9. Измерить ток в неразветвленном участке цепи схемы 2 после подключения  $C_4$  (переключатель SA - в положении «3»). Результат занести в таблицу 4.

2.10. Построить векторные диаграммы токов схемы 2 до, и после подключения компенсирующего конденсатора.

2.11. Записать аналитические выражения для мгновенных значений входного напряжения, токов в ветвях и тока в неразветвленной части цепи до, и после подключения компенсирующего конденсатора.

2.12. Начертить временные диаграммы: напряжения на входе схемы  $u_{BX}(t)$ , тока в неразветвленном участке цепи схемы 2 до подключения  $C_4$  –  $i_0(t)$  и после подключения  $C_4$  –  $i_0^*(t)$

Таблица 4.

	I <sub>1</sub> [mA]	φ <sub>1</sub> [град]	I <sub>2</sub> [mA]	φ <sub>2</sub> [град]	I <sub>0</sub> [mA]	φ <sub>0</sub> [град]	C <sub>4</sub> [μF]	I <sub>0</sub> <sup>*</sup> [mA]	φ <sub>0</sub> <sup>*</sup> [град]
Вычислено									
Измерено									

Содержание отчета.

1. Номер, название, цель работы.
2. Номер бригады и номер варианта.
3. Схема 1.
4. Таблица 1.
5. Расчетные формулы, расчет токов в схеме 1.
6. Таблица 2.

7. Векторная диаграмма токов для схемы 1.
8. Аналитические выражения для мгновенных значений входного напряжения, токов в ветвях и тока в неразветвленной части цепи схемы 1.
9. Временные диаграммы входного напряжения и тока в неразветвленной части цепи.
10. Схема 2.
11. Таблица 3.
12. Расчетные формулы, расчет токов в схеме 2 до подключения компенсирующего конденсатора.
13. Расчетные формулы, расчет емкости компенсирующего конденсатора.
14. Расчетные формулы, расчет токов в схеме 2 после подключения компенсирующего конденсатора.
15. Таблица 4.
16. Векторные диаграммы токов для схемы 2 до и после подключения компенсирующего конденсатора.
17. Временные диаграммы входного напряжения и тока в неразветвленной части цепи схемы 2 до, и после подключения компенсирующего конденсатора.

Комплект оценочных заданий №8 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

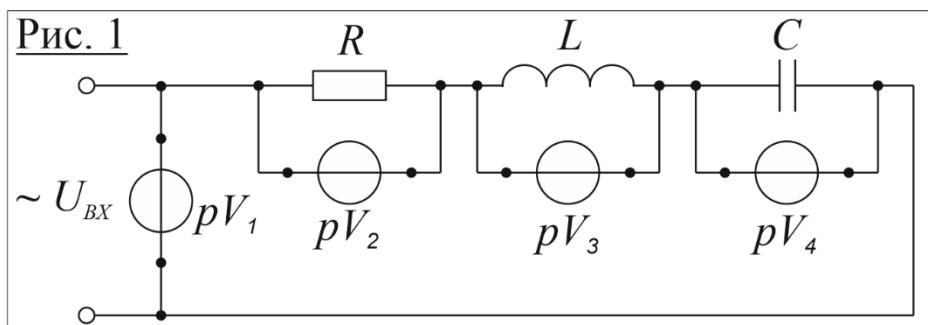
Название: Лабораторная работа №8. Частотное исследование последовательной R-L-C цепи.

### «ЧАСТОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ R – L – C ЦЕПИ».

Тема: линейные цепи переменного синусоидального тока.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

При частотном исследовании последовательной R – L – C цепи (схема показана на рисунке 1) изменяют частоту питающей сети ( $f = \text{var}$ ), при этом величину действующего значения напряжения на входе схемы поддерживают постоянной ( $U_{BX} = \text{const}$ ).



Активное сопротивление цепи  $R$  не зависит от частоты, а реактивные сопротивления индуктивности и емкости определяются по формулам:

$$x_L = 2\pi f L,$$

$$x_C = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Графики зависимости сопротивлений  $R$ ,  $x_L$  и  $x_C$  от частоты показаны на рисунке 2.

Индуктивное сопротивление  $x_L = 2\pi L \cdot f$  прямо пропорционально частоте и график функции  $x_L(f)$  представляет собой прямую, проходящую через начало координат. Емкостное сопротивление  $x_C = \frac{1/2\pi C}{f}$  обратно пропорционально частоте и график  $x_C(f)$  представляет собой гиперболу.

При частоте равной нулю индуктивное сопротивление равно нулю, а емкостное бесконечно велико ( $f = 0 \Rightarrow x_L = 0; x_C = \infty$ ). Увеличение частоты приводит к возрастанию индуктивного и уменьшению емкостного сопротивления ( $f \rightarrow \infty \Rightarrow x_L \rightarrow \infty; x_C \rightarrow 0$ ).

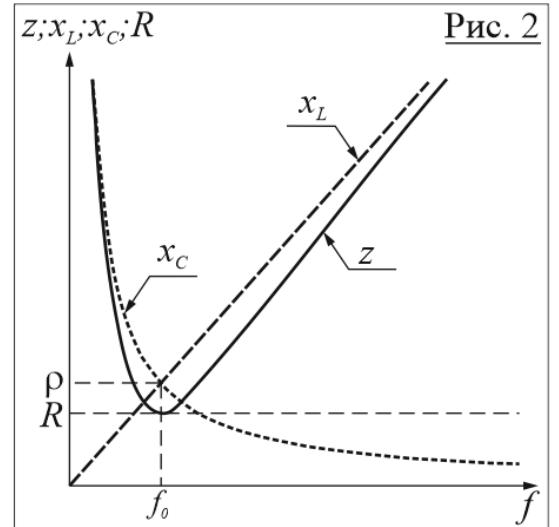


Рис. 2

Частота  $f_0$ , при которой индуктивное сопротивление схемы равно емкостному сопротивлению называется *резонансной частотой последовательного контура*. На рисунке 2 резонансной частоте соответствует точка пересечения графиков  $x_L(f)$  и  $x_C(f)$ . Значение резонансной частоты рассчитывается по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \left( \text{из условия} \quad 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \right).$$

Значение реактивных сопротивлений при резонансе называется *характеристическим сопротивлением контура*  $\rho$ . Величина характеристического сопротивления определяется по формуле:

$$\rho = 2\pi f_0 L,$$

или по формуле:

$$\rho = \frac{1}{2\pi f_0 C}.$$

Отношение характеристического сопротивления контура к активному сопротивлению цепи называется *добротностью* последовательного  $R - L - C$  контура:

$$Q = \frac{\rho}{R}.$$

В зависимости от параметров схемы (значений  $R$ ,  $C$ , и  $L$ ) добротность контура может быть как больше, так и меньше единицы. Графики на рисунке 2 построены для случая, когда  $\rho > R$  и  $Q > 1$ .

При любой частоте полное сопротивление последовательной  $R - L - C$  цепи рассчитывается по формуле:

$$z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left( 2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right)^2},$$

а действующее значение тока в цепи определяется по закону Ома:

$$I = \frac{U_{BX}}{z} = \frac{U_{BX}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}}.$$

При частоте, равной нулю, полное сопротивление схемы бесконечно велико, так как бесконечно велико емкостное сопротивление, и ток в последовательной цепи равен нулю ( $f = 0 \Rightarrow x_C = \infty \Rightarrow z = \infty \Rightarrow I = 0$ ).

При бесконечном увеличении частоты полное сопротивление схемы стремится к бесконечности, так как стремится к бесконечности индуктивное сопротивление, и ток в цепи стремится к нулю ( $f \rightarrow \infty \Rightarrow x_L \rightarrow \infty \Rightarrow z \rightarrow \infty \Rightarrow I \rightarrow 0$ ).

При резонансе ( $f = f_0$ ) полное сопротивление схемы минимально и равно активному сопротивлению ( $z = R$ , так как индуктивное сопротивление равно емкостному  $x_L = x_C$ ).

При этом в цепи протекает максимально возможный ток, действующее значение которого (при заданном значении входного напряжения), зависит только от активного сопротивления схемы:

$$I = \frac{U_{BX}}{R}.$$

Графики зависимости сопротивлений элементов схемы, напряжений на них, полного сопротивления и тока от частоты называются *резонансными кривыми*. График резонансной кривой полного сопротивления  $z(f)$  показан на рисунке 2, а графики резонансных кривых тока  $I(f)$  (при различных значениях добротности) – на рисунках 3а и 3б.

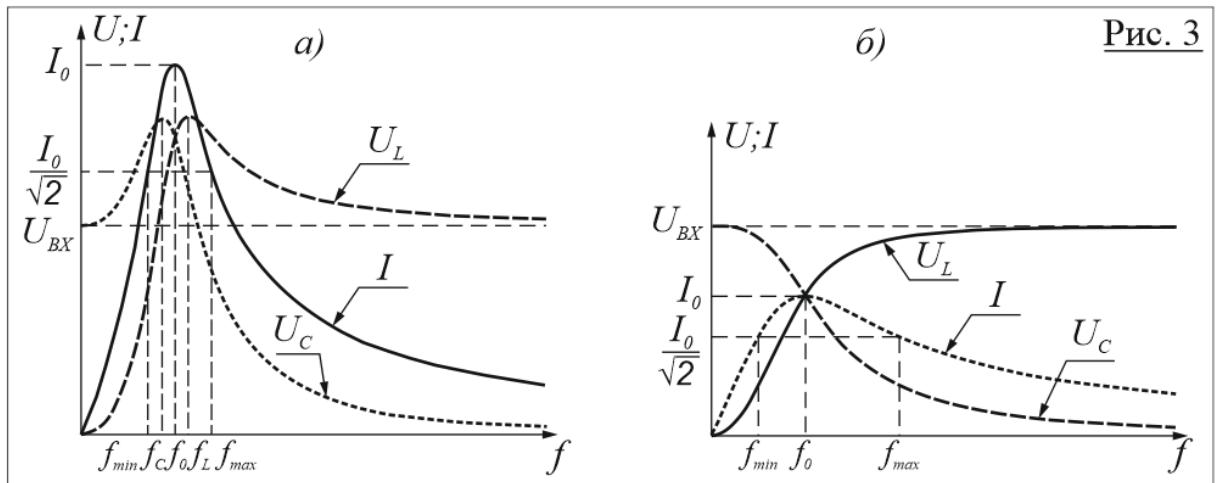


Рис. 3

При последовательном соединении элементов по ним протекает одинаковый ток и при любой частоте напряжения на отдельных элементах схемы определяются по формулам:

- напряжение на активном сопротивлении:

$$U_R = I \cdot R$$

- напряжение на индуктивности:

$$U_L = I \cdot x_L$$

- напряжение на емкости:

$$U_C = I \cdot x_C.$$

Поскольку при равной нулю частоте ток равен нулю, равны нулю напряжения на индуктивности и на активном сопротивлении, а напряжение на емкости, сопротивление которой при такой частоте бесконечно велико представляет собой неопределенность:

$$U_C = I \cdot x_C = 0 \times \infty.$$

Значение напряжения на емкости при  $f = 0$  определяется по второму закону Кирхгоффа:

$$U_C = U_{BX} - U_R - U_L = U_{BX}.$$

При  $f \rightarrow \infty$  ток стремится к нулю, следовательно, стремятся к нулю напряжения емкости и на активном сопротивлении, а напряжение на индуктивности, сопротивление которой стремится к бесконечности, представляет собой неопределенность:

$$U_L = I \cdot x_L = 0 \times \infty$$

и определяется по второму закону Кирхгоффа:

$$U_L = U_{BX} - U_R - U_C = U_{BX}.$$

Таким образом, напряжение на емкости равно входному при частоте, равной нулю, и стремиться к нулю при бесконечном увеличении частоты:

$$U_C = U_{BX} \text{ при } f = 0;$$

$$U_C \rightarrow 0 \text{ при } f \rightarrow \infty.$$

Напряжение на индуктивности равно нулю при частоте, равной нулю, и стремиться к значению напряжения на входе при бесконечном увеличении частоты:

$$U_L = 0 \text{ при } f = 0;$$

$$U_L \rightarrow U_{BX} \text{ при } f \rightarrow \infty.$$

При резонансе ( $f = f_0$  и  $x_L = x_C = \rho$ ) напряжения на реактивных элементах схемы одинаковы по модулю и находятся противофазе:

$$U_L = U_C = I \cdot \rho$$

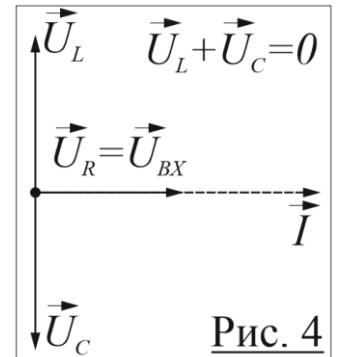
$$\vec{U}_L + \vec{U}_C = 0,$$

а напряжение на активном сопротивлении равно напряжению на входе схемы:

$$\vec{U}_R = \vec{U}_{BX} - (\vec{U}_L + \vec{U}_C) = \vec{U}_{BX}.$$

При этом, если  $Q > 1$  и  $\rho > R$ , то напряжение на реактивных элементах больше входного напряжения. Векторная диаграмма, соответствующая режиму резонанса при  $Q > 1$  представлена на рисунке 4.

При любом значении частоты напряжения на реактивных элементах схемы определяется по формулам:



$$U_L = I \cdot x_L = \frac{U_{BX}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} \cdot 2\pi f L,$$

$$U_C = I \cdot x_C = \frac{U_{BX}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}} \cdot \frac{1}{2\pi f C}.$$

Из курса высшей математики известно, что, если функция в точке имеет максимум, то ее первая производная в этой точке равна нулю, а вторая производная отрицательна.

Из условий  $\frac{\partial U_L}{\partial f} = 0$  и  $\frac{\partial U_C}{\partial f} = 0$  следует, что если добротность контура  $Q < \sqrt{2}$  функции  $U_L(f)$  и  $U_C(f)$  максимума не имеют, а если добротность контура  $Q > \sqrt{2}$ , то функция  $U_L = F(f)$  имеет максимум при частоте, превышающей резонансную:

$$f_L = \frac{f_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}} > f_0,$$

а функция  $U_C = F(f)$  имеет максимум при частоте, которая ниже резонансной:

$$f_C = f_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} < f_0.$$

Графики резонансных кривых  $U_L(f)$ ,  $U_C(f)$  и  $U_R(f)$  при  $Q > \sqrt{2}$  показаны на рисунке 3а, а при  $Q > \sqrt{2}$  – на рисунке 3б. Так как активное сопротивление не зависит от частоты, резонансная кривая напряжения на нем имеет тот же вид, что и резонансная кривая тока ( $U_R(f) = R \cdot I(f)$ ). При резонансной частоте напряжение на активном сопротивлении равно входному напряжению ( $U_R = U_{BX}$  при  $f = f_0$ ).

Интервал частот, на котором ток  $I > \frac{I_0}{\sqrt{2}}$  ( $I_0$  – значение тока при резонансе) называется полосой пропускания последовательного  $R-L-C$  контура. Величину полосы пропускания можно определить по резонансной кривой тока, как показано на рисунках 3а и 3б:

$$\Delta f = f_{MAX} - f_{MIN},$$

или рассчитать по формуле:

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}.$$

Чем больше добротность контура, тем уже полоса пропускания, ближе значения частот  $f_0$ ,  $f_C$  и  $f_L$ , и тем значительнее напряжения на реактивных элементах при резонансе превосходят напряжение на входе схемы.

Цель работы: построение частотных характеристик последовательной  $R-L-C$  цепи, определение её параметров.

Необходимое оборудование:

- стенд, состоящий из исследуемой  $R-L-C$  цепи и электронных вольтметров.
- генератор низкой частоты Г3 – 18.

Таблица вариантов.

Бригада №	1	2	3	4	5	6	7	8
$L$	1	2	3	1	2	3	1	2
$C$	1	2	3	2	3	1	3	1

$R [k\Omega]$	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4
$U_{BX} [V]$	3,0	3,5	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,5

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Установить:  
на стенде:

переключатели:

- пределы измерения вольтметров – на максимальный предел.
- « $R$ », « $L$ », « $C$ » – в положение, соответствующее данным таблицы вариантов.

на генераторе Г3 – 18:

переключатели:

- «пределы шкалы» – в положение «30V».
- «шкала прибора» – в положение «60V».
- «сопротивление нагрузки» – в положение «ATT 600».
- «проверка частоты генератора» – в положение «нуль».
- «внутр. нагрузка 600 $\Omega$ » – в положение «вкл».

потенциометр:

- «рег. выхода» – в среднее положение.

рукоятки:

- «установка нуля»,
- «установка частоты»,
- «расстройка Hz» – все в нулевое положение.

2. Выход генератора (клеммы « $\perp$ » и «выход 5 $\Omega$ ») подключить к входу схемы. Включить генератор, дать ему прогреться в течение трёх минут. Рукояткой «установка нуля» добиться нулевых биений (по вольтметру или по ламповому индикатору). Рукояткой «установка частоты» установить частоту  $f = 100[\text{Гц}]$  на шкале «частота Hz».

3. Включить стенд. Потенциометром «рег. выхода» установить на входе схемы напряжение, указанное в таблице вариантов (по вольтметру  $pV_1$  на стенде). Выбрать пределы измерения приборов в соответствии с полученными результатами. Снять показания приборов и занести в таблицу 1.

Увеличивая частоту от  $f = 100[\text{Гц}]$  до  $f = 1500[\text{Гц}]$ , снимать показания приборов и заносить их в таблицу 1.

*В процессе изменения частоты необходимо:*

- Поддерживать неизменным действующее значение входного напряжения.
- В каждом опыте выбирать пределы измерения приборов в соответствии с полученными результатами.
- Увеличивать частоту в каждом последующем опыте:

при  $f < 1000[\text{Гц}]$  на  $100 \div 150[\text{Гц}]$ ;  
при  $f > 1000[\text{Гц}]$  на  $200 \div 300[\text{Гц}]$ .

- Кроме указанных выше, произвести измерения при частотах  $f_c$ ,  $f_0$ ,  $f_L$ , соответствующих максимальным значениям напряжений на емкостном, активном и индуктивном элементах схемы.

$U_{BX} = \text{_____} [\text{В}], R = \text{_____} [\text{кОм}]$ . Таблица 1.

$f[\text{Гц}]$	100	-----	$f_c =$	$f_0 =$	$f_L =$	-----	1500
$U_R[\text{В}]$				$U_{R,MAX} =$			
$U_L[\text{В}]$					$U_{L,MAX} =$		
$U_C[\text{В}]$			$U_{C,MAX} =$				
$I[\text{мА}]$				$I_0 =$			

По данным таблицы 1 построить графики резонансных кривых  $I(f)$ ,  $U_C(f)$ ,  $U_L(f)$ .

Результаты (значение резонансной частоты  $f_0$ , значение частоты  $f_c$ , при которой напряжение на емкости имеет максимум, и значение частоты  $f_L$ , при которой напряжение на индуктивности имеет максимум) занести в таблицу 2.

4. Для каждого опыта вычислить действующее значение тока по формуле:

$$I = \frac{U_R}{R}.$$

Результаты вычислений занести в таблицу 1.

5. По результатам, полученным при резонансе напряжений ( $f = f_0$ ,  $I = I_0 = I_{MAX}$ ), вычислить:

- эквивалентное активное сопротивление схемы, равное сумме сопротивления входящего в схему резистора  $R$  и активного сопротивления проводников катушки индуктивности  $R_L$ :

$$R_{\vartheta} = \frac{U_{BX}}{I_0}.$$

- активное сопротивление проводников катушки индуктивности:

$$R_L = R_{\vartheta} - R.$$

- характеристическое сопротивление контура, равное сопротивлению конденсатора при резонансной частоте:

$$\rho = \frac{U_C}{I_0}.$$

- емкость конденсатора:

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 \rho}.$$

- индуктивность катушки:

$$L = \frac{\rho}{2\pi f_0}.$$

- добротность контура:

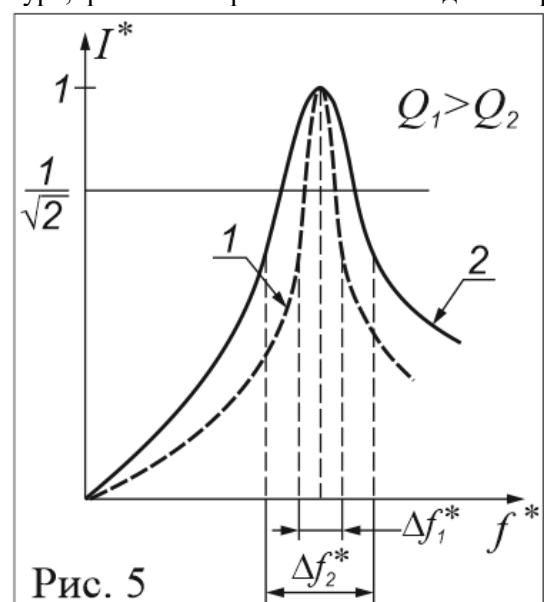


Рис. 5

$$Q = \frac{U_c}{U_{BX}}.$$

- полосу пропускания контура:

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}.$$

- значение тока на границе полосы пропускания частот:

$$I_{\Delta f} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

Результаты вычислений занести в таблицу 2.

$R = \underline{\hspace{2cm}} [k\Omega]$  Таблица 2.

$R_{\vartheta}$	$R_L$	$\rho$	$C$	$L$	$Q$	$f_c$	$f_0$	$f_L$	$\Delta f$	$I_{\Delta f}$
$[k\Omega]$	$[k\Omega]$	$[k\Omega]$	$[\mu F]$	$[mH]$	$[-]$	$[Hz]$	$[Hz]$	$[Hz]$	$[Hz]$	$[mA]$

6. На графиках резонансных кривых провести прямую  $I_{\Delta f} = \text{const}$  и определить частоты  $f_{MIN}$  и  $f_{MAX}$ , при которых эта прямая пересекается с графиком функции  $I(f)$ .

Рассчитать полосу пропускания частот последовательного  $R - L - C$  контура:

$$\Delta f = f_{MAX} - f_{MIN}.$$

Полученный результат сравнить с результатом, полученным в пункте 5.

#### Содержание отчета.

1. Номер, название, цель работы.
  2. Номер бригады и данные таблицы вариантов для своего варианта.
  3. Схема исследуемой цепи.
  4. Таблица 1.
  5. Расчетные формулы и расчеты.
  6. Таблица 2.
  7. Графики резонансных кривых  $I(f)$ ,  $U_c(f)$ ,  $U_L(f)$
- (с дополнительными построениями для определения полосы пропускания контура).

Комплект оценочных заданий №9 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №9. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов.

### «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА».

Тема: нелинейные цепи постоянного тока.

Цель работы: экспериментальное получение ВАХ (вольтамперных характеристик) нелинейных резисторов и их параллельного и последовательного соединения.

Необходимое оборудование: стенд УЭС (универсальный электротехнический стенд).

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Снять ВАХ имеющихся на планшете нелинейных резисторов. Для этого:

- Выбрать положительное направление тока в нелинейных резисторах.
- Собрать схему с нелинейным резистором  $R_1$  для получения его ВАХ при положительном направлении тока. Потенциометр источника питания «= 12В» установить в крайнее левое положение. Включить стенд и источник питания. Увеличивая напряжение на входе схемы от нуля до  $12[B]$ , снимать показания приборов и заносить в таблицу 1. Изменить направление тока в резисторе  $R_1$ , повторить опыт.

- Заменить нелинейный резистор  $R_1$  на нелинейный резистор  $R_2$ . Повторить опыты при различных направлениях тока в резисторе  $R_2$ . Результаты заносить в таблицу 2.
- Заменить нелинейный резистор  $R_2$  на нелинейный резистор  $R_3$ . Повторить опыты при различных направлениях тока в резисторе  $R_3$ . Результаты заносить в таблицу 3.

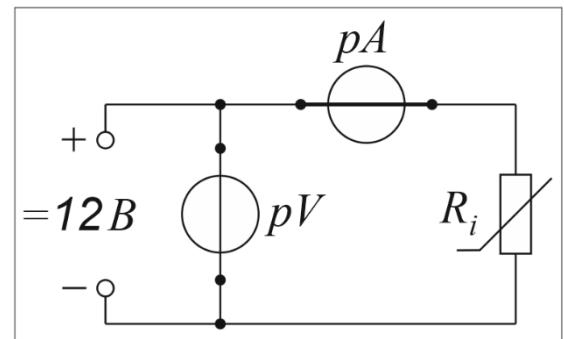


Таблица 1.

BAX $R_1$	положительное направление тока.													
	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I [mA]														
	отрицательное направление тока.													
BAX $R_1$	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	I [mA]													

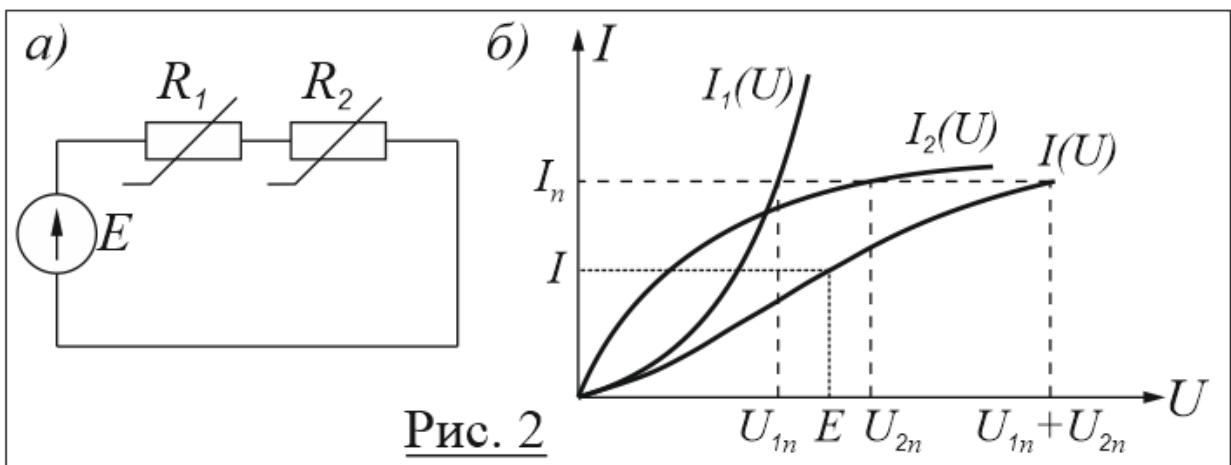
Таблица 2.

BAX $R_2$	положительное направление тока.													
	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I [mA]														
	отрицательное направление тока.													
BAX $R_2$	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	I [mA]													

Таблица 3.

BAX $R_3$	положительное направление тока.													
	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I [mA]														
	отрицательное направление тока.													
BAX $R_3$	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	I [mA]													

2. Собрать схему для получения ВАХ двух (указанных преподавателем) последовательно соединенных нелинейных резисторов (направление токов в обоих резисторах должно быть одинаковым) Снять ВАХ схемы при различных направлениях тока. Результаты заносить в таблицу 4.



3. Собрать схему для получения ВАХ двух (указанных преподавателем) параллельно соединенных нелинейных резисторов (направление токов в обоих резисторах должно быть одинаковым) Снять ВАХ схемы при различных направлениях тока. Результаты заносить в таблицу 5.

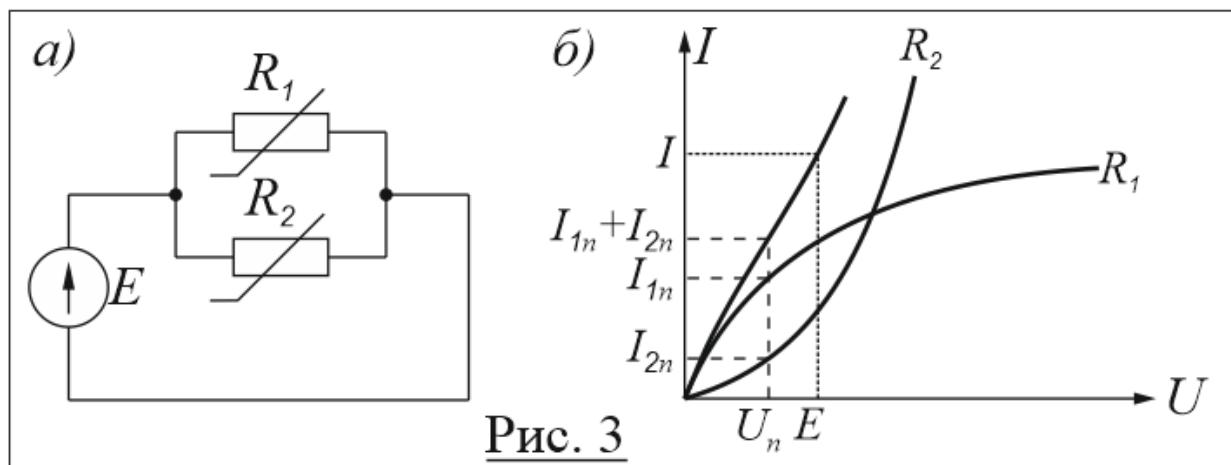


Таблица 4.

ВАХ последовательного соединения нелинейных резисторов.	положительное направление тока.												
	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I [mA]													
отрицательное направление тока.													
U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I [mA]													

Таблица 5.

ВАХ параллельного соединения нелинейных резисторов.	положительное направление тока.												
	U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I [mA]													
отрицательное направление тока.													
U [B]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I [mA]													

4. По данным таблиц 1,2,3,4,5 построить ВАХ:

- ВАХ последовательного соединения нелинейных резисторов и ВАХ нелинейных резисторов, входящих в данную схему.
- ВАХ параллельного соединения нелинейных резисторов и ВАХ нелинейных резисторов, входящих в данную схему.

Содержание отчета:

1. Номер, название, цель работы.
2. Номер бригады.
3. Схемы.
4. Таблицы.
5. Графики.

Комплект оценочных заданий №10 по Разделу 1. Электротехника (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №10. Аварийные режимы в трехфазных цепях.

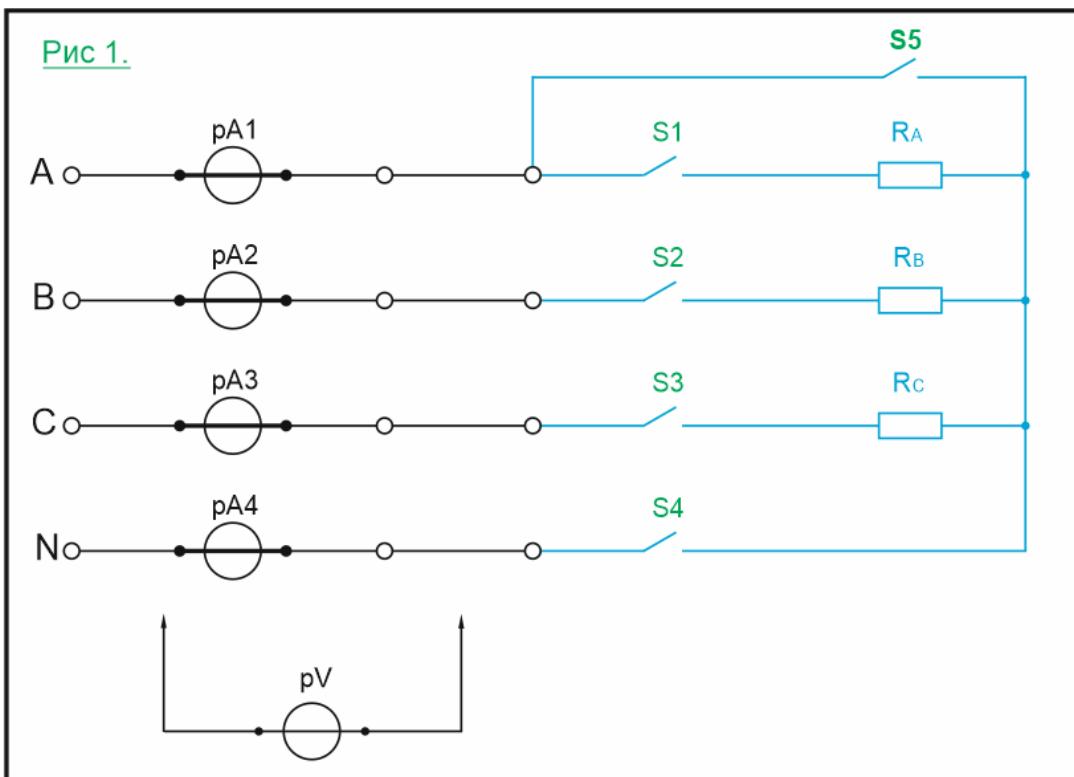
“АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ”

Тема: трехфазные цепи.

Цель работы: исследование нормальных и аварийных режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

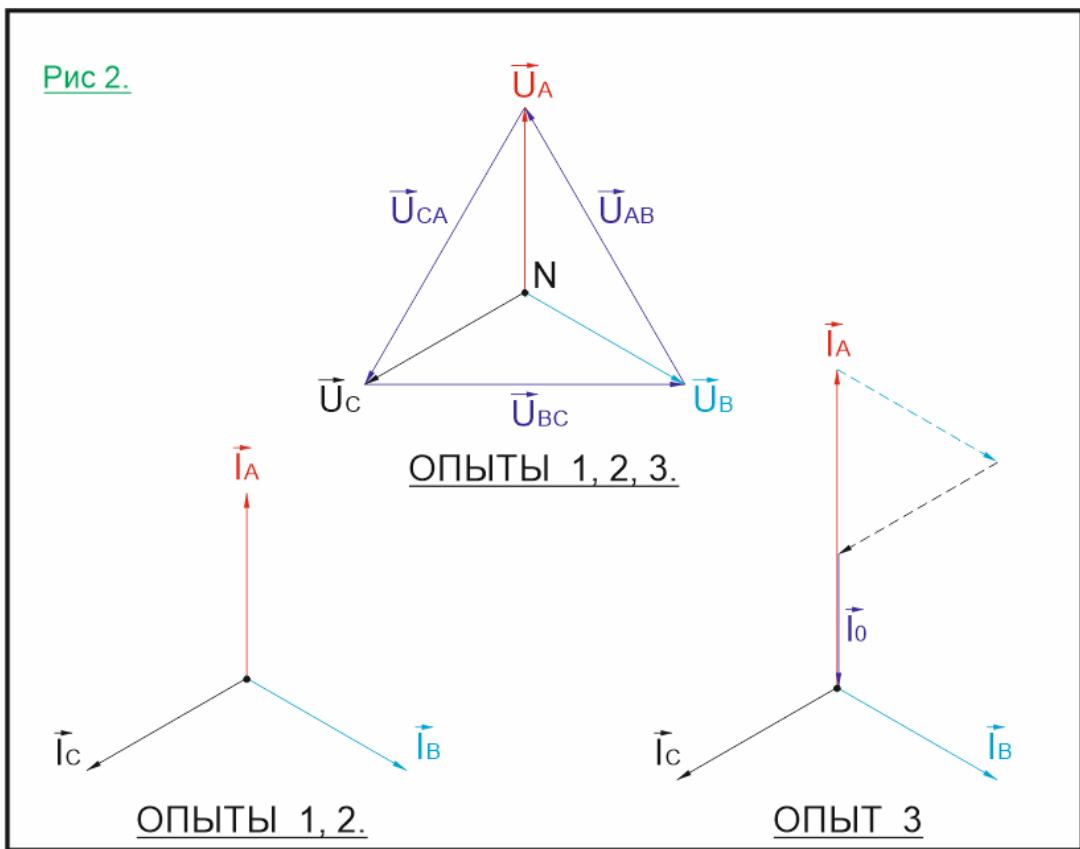
1. Собрать схему: (схема показана на рис.1, часть схемы показанная синим цветом собрана).



2. В лабораторной работе необходимо выполнить указанные ниже опыты.. В каждом опыте необходимо измерить токи в линейных и нейтральных проводах, и линейные напряжения. Значение мощностей потребителей для каждого опыта задается преподавателем.

#### Опыт 1.

Симметричная нагрузка ( $P_A = P_B = P_C$ ) с нейтральным проводом.

Опыт 2.Симметрична нагрузка ( $P_A = P_B = P_C$ ) без нейтрального проводаОпыт 3.

Не симметрична нагрузка с нейтральным проводом

3.1.  $P_A > P_B = P_C$ 3.2.  $P_A \neq P_B \neq P_C$ Опыт 4.

Не симметрична нагрузка без нейтрального провода

4.1.  $P_A > P_B = P_C$ 4.2.  $P_A < P_B = P_C$ 4.3.  $P_A \neq P_B \neq P_C$ Опыт 5.

Обрыв фазы (в какой фазе обрыв указывает преподаватель) с нейтральным проводом.

5.1. При симметричной нагрузке.

5.2. При не симметричной нагрузке.

Опыт 6.

Обрыв той же фазы без нейтрального провода.

6.1. При симметричной нагрузке.

6.2. При не симметричной нагрузке.

Опыт 7.

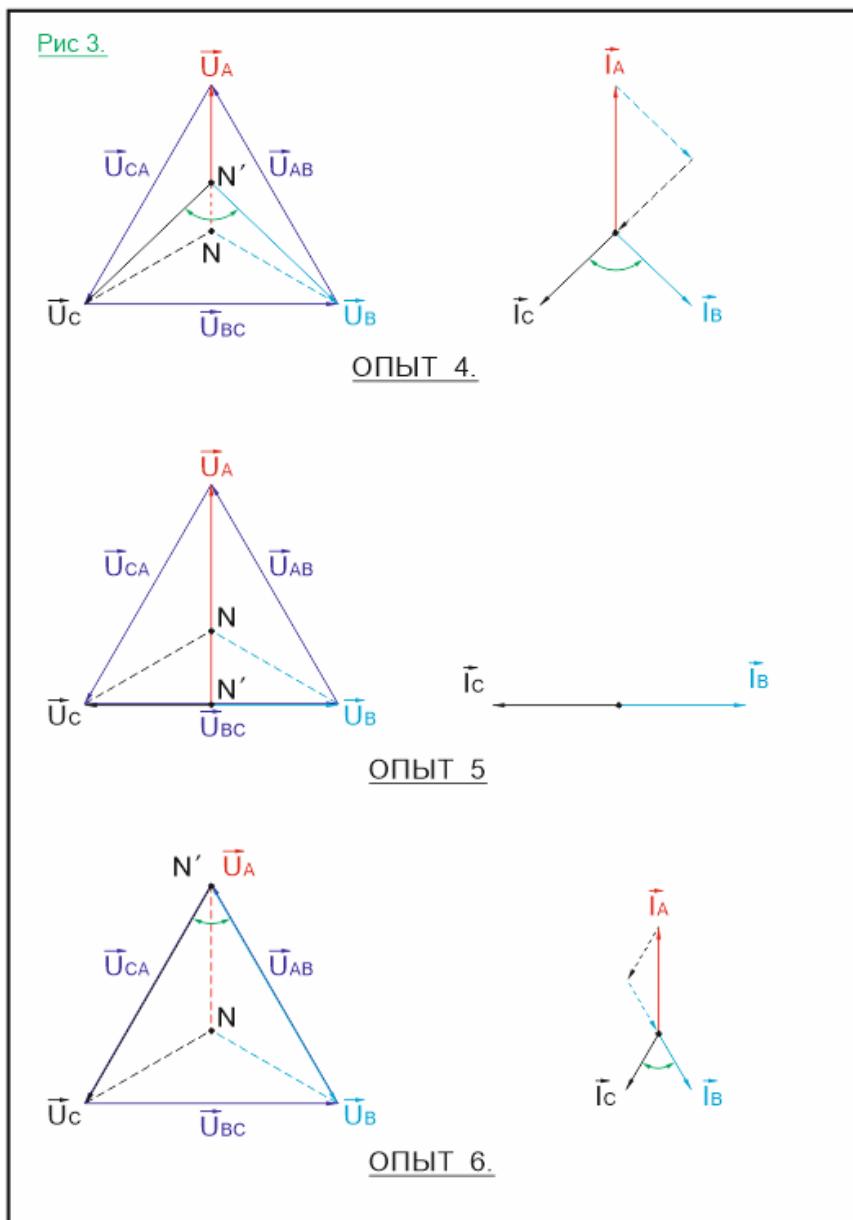
Короткое замыкание в фазе А. при симметричной нагрузке. Тумблер S5 включать только после отключения нейтрального провода.

## 7.1. При симметричной нагрузке.

## 7.2. При не симметричной нагрузке.

Результаты измерений занести в таблицу.

### Таблица.



3. Убедитесь, что выполняются следующие соотношения:

1)  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_l$  - во всех опытах

2)  $U_A = U_B = U_C = U_\phi = U_l/\sqrt{3}$  - в опытах 1, 2, 3.1, 3.2, 5.1, 5.2

3)  $I_A = I_B = I_C; I_N = 0$  - в опытах 1 и 2

4)  $U_A < U_B = U_C$  - в опыте 4.1

$U_A > U_B = U_C$  - в опыте 4.2

$U_A \neq U_B \neq U_C$  - в опыте 4.3

5) При обрыве фазы А (при обрыве другой аналогичное соотношение)

$U_A = U_l\sqrt{3}/2; U_B = U_C; U_B + U_C = U_l$  - в опыте 6.1

$U_A = U_l\sqrt{3}/2; U_B + U_C = U_l; U_B > U_C$ , если в опыте 6.2.  $P_B > P_C$

6)  $U_A = 0; U_B = U_C = U_l$ ; - в опытах 6.1, 6.2

$I_A = \sqrt{3}I_B; I_B = I_C$  - в опыте 6.1.

4. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для указанных преподавателем опытов.

Содержание отчета.

- номер, название, цель работы;
- схемы;
- таблица;
- соотношения между напряжениями и токами (см. п. 3);

- векторные диаграммы.

### Вопросы к зачету.

- 1) Какие напряжения называются фазными и какие линейными?
- 2) Какие токи называются фазными, какие линейными?
- 3) Какие соотношения выполняются между фазными и линейными напряжениями и токами при соединении нагрузки звездой и треугольником?
- 4) Чему равны стандартные значения фазных и линейных напряжений на потребителях и на источниках?
- 5) В каких опытах цепь работала в аварийных режимах?
- 6) Для чего служит нейтральный провод, чему равно его сечение (по сравнению с сечением линейных проводов), в каких случаях он не нужен?

Комплект оценочных заданий №11 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №11. Исследование работы полевого транзистора.

## «ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ»

### Теоретические сведения.

Биполярные транзисторы нашли чрезвычайно широкое применение в различных областях электронной техники. Однако в ряде случаев их использование затруднено, так как эти приборы управляются током, т. е. потребляют заметную мощность от входной цепи. Это препятствует их использованию при подключении к маломощным источникам входного сигнала. Указанного недостатка лишены *полевые транзисторы* — полупроводниковые приборы, которые практически не потребляют ток из входной цепи. Полевые транзисторы подразделяются на два типа, отличающихся друг от друга принципом действия:

- транзисторы с *управляющим p – n переходом*;
- транзисторы с *изолированным затвором (МДП – типа)*.

### Полевые транзисторы с p – n переходом.

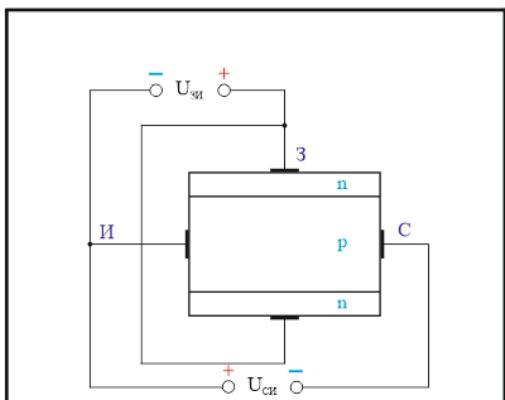


РИС 1а.

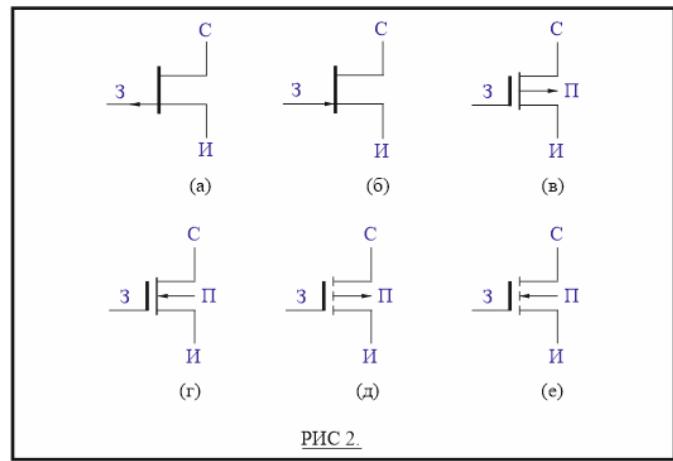


РИС 2.

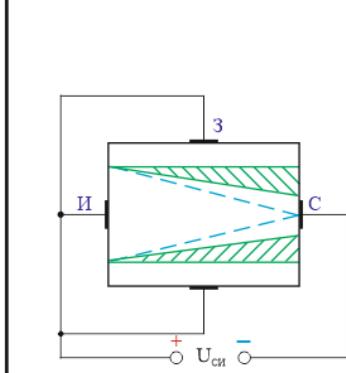


РИС 1б.

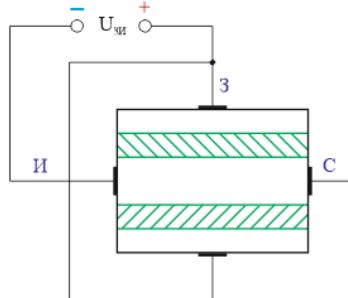


РИС 1в.

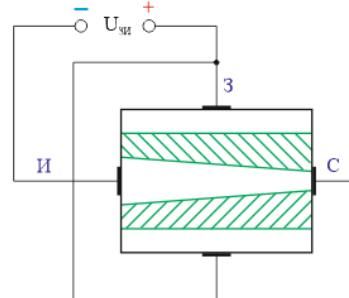


РИС 1г.

Полевые транзисторы с  $p - n$  переходом имеют структуру, разрез которой приведен на рис.1а. Слой с проводимостью  $p$  – типа называется *каналом*, он имеет два вывода во внешнюю цепь – «*С*» - *сток* и «*И*» - *исток*. Слои с проводимостью  $n$  – типа, окружающие канал, соединены между собой и имеют вывод во внешнюю цепь, называемый *затвором* - «*З*». Подключение источников напряжения к прибору показано на рис.1а, на рис.2а показано схемное обозначение полевого транзистора с  $p - n$  переходом и каналом  $p$  – типа. Принцип действия полевых транзисторов с каналом  $n$  – типа, (обозначение приведено на рис.2б) аналогичен, но направления токов и полярность приложенных напряжений противоположны.

Вольт – амперные характеристики полевых транзисторов устанавливают зависимость тока стока  $I_C$  от одного из напряжений  $U_{CI}$  или  $U_{ZH}$  при фиксированной величине второго. Семейство *стоковых* (выходных) характеристик транзистора с управляющим  $p - n$  переходом и каналом  $p$  – типа:

- $I_C = f(U_{CI})$  при  $U_{ZH} = const.$   
приведено на рис.4а.

*Стоко – затворная* характеристика (характеристика управления) этого прибора:

- $I_C = f(U_{ZH})$  при  $U_{CI} = const.$   
приведена на рис.4б.

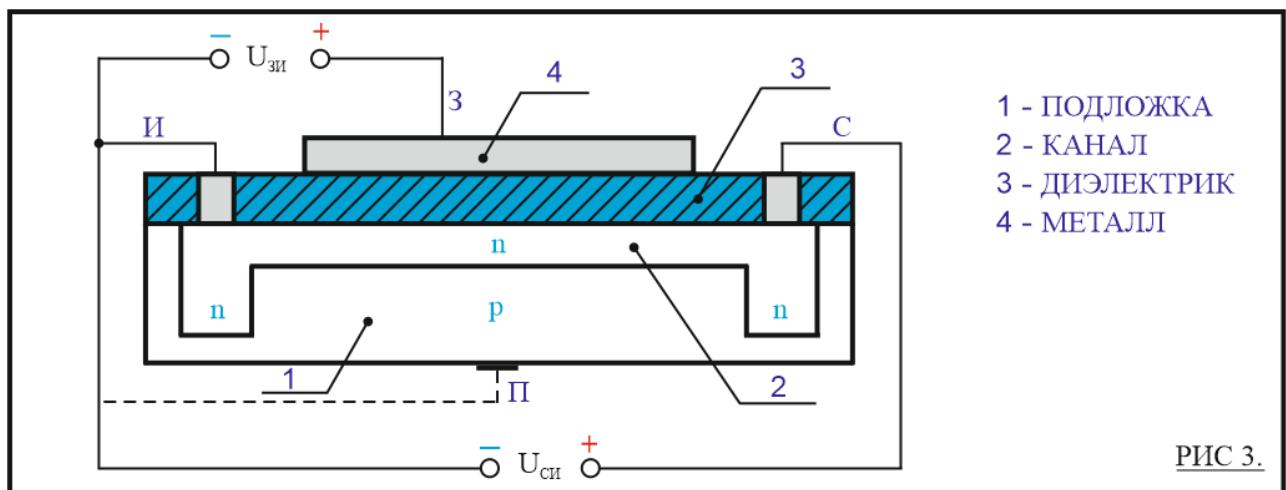
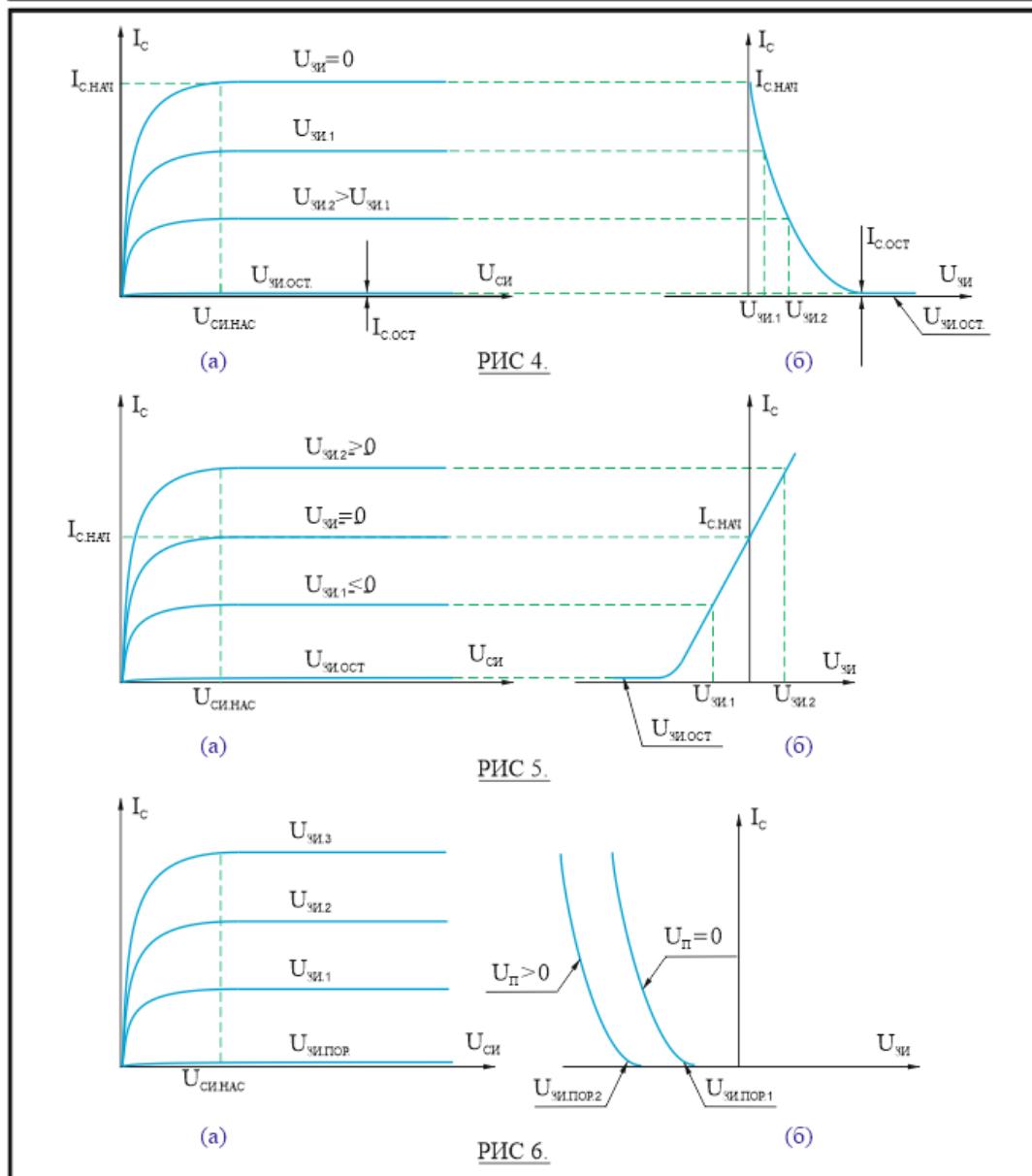


РИС 3.



Рассмотрим принцип действия полевого транзистора с каналом  $p$  – типа.

При управляющем напряжении  $U_{3H} = 0$  и подключении источника напряжения между стоком и истоком  $U_{CI}$  по каналу течет ток, (при этом носители заряда перемещаются вдоль  $p - n$  перехода, а не через него, как в биполярном транзисторе). Величина этого тока определяется сопротивлением канала. Напряжение  $U_{CI}$  равномерно приложено по

длине канала. Это напряжение вызывает обратное смещение  $p - n$  перехода между каналом  $p$  – типа и  $n$  – слоем, причем наибольшее обратное напряжение на  $p - n$  переходе существует в области, прилегающей к стоку, а вблизи истока  $p - n$  переход находится в равновесном состоянии. При увеличении напряжения  $U_{CI}$  область двойного электрического слоя  $p - n$  перехода, обедненная подвижными носителями заряда, будет расширяться (рис.1б). Особенно сильно расширение перехода проявляется вблизи стока, где больше обратное напряжение на переходе. Расширение  $p - n$  перехода приводит к сужению проводящего ток канала транзистора, и сопротивление канала возрастает. Из-за увеличения сопротивления канала при росте  $U_{CI}$  стоковая характеристика полевого транзистора имеет нелинейный характер (рис.4а). При некотором напряжении, которое называется *напряжением насыщения* ( $U_{CI, \text{нас.}}$ ) границы  $p - n$  перехода смыкаются (пунктир на рис.1б), и рост тока  $I_C$  при увеличении  $U_{CI}$  прекращается. Величина этого тока называется *начальным током стока* ( $I_{C, \text{нач.}}$ ).

При приложении положительного напряжения к затвору  $U_{3II} > 0$  переход смещается в область обратного напряжения, ширина перехода увеличивается, а канал сужается (рис.1в). В результате ток, протекающий по каналу при прежних значениях напряжения  $U_{CI}$ , будет меньше, чем при  $U_{3II} = 0$ . Сужение канала при  $U_{3II} \neq 0$  и  $U_{CI} \neq 0$  показано на рис.1г.

Т.о. увеличивая напряжение  $U_{3II}$ , можно уменьшить  $I_C$ . При определенном значении  $U_{3II}$ , называемом *напряжением отсечки* ( $U_{3II, \text{отс.}}$ ), ток стока практически не протекает (остаточный ток стока на несколько порядков меньше начального:  $I_{C, \text{ост.}} \ll I_{C, \text{нач.}}$ ). Отношение изменения тока стока  $\Delta I_C$  к вызвавшему его изменению напряжения между затвором и истоком  $\Delta U_{3II}$  при  $U_{CI} = \text{const.}$  называется *крутизной* характеристики управления полевого транзистора:

$$- S = \Delta I_C / \Delta U_{3II} \text{ при } U_{CI} = \text{const.}$$

В отличие от биполярных транзисторов полевые транзисторы управляются напряжением, и через цепь затвора протекает только малый тепловой ток  $I_3$   $p - n$  перехода, находящегося под действием обратного напряжения. Стоковые характеристики, как и выходные характеристики биполярного транзистора, имеют два участка: крутой и пологий; последний используется при работе транзистора в усилительных устройствах, в то время как начальный крутой участок характеристик – при их работе в переключательных устройствах.

Ток стока полевого транзистора сильно зависит от температуры.

Во-первых, с ростом температуры электропроводность примесных полупроводников в рабочем диапазоне температур уменьшается.

Во-вторых, при нагреве ширина  $p - n$  перехода уменьшается, а канал расширяется. В результате воздействия этих двух факторов при нагреве ток стока при  $U_{CI} = \text{const.}$  может изменяться различным образом, – как увеличиваться, так и уменьшаться. Предельные частоты, на которых могут работать полевые транзисторы, весьма высоки. Основным ограничительным фактором здесь является емкость  $p - n$  перехода, площадь которого сравнительно велика. Выпускаемые промышленностью полевые транзисторы с  $p - n$  переходом способны работать в мегагерцевом диапазоне частот.

### Полевые транзисторы МДП (металл – диэлектрик – полупроводник) – типа.

Существует две разновидности транзисторов МДП – типа:

- МДП – транзисторы со *встроенным* каналом;
- МДП – транзисторы с *индуцированным* каналом.

Структура транзистора со встроенным каналом  $n$  – типа приведена на рис.3.

У поверхности кристалла полупроводника – подложки с проводимостью  $p$  – типа

созданы две области с проводимостью  $n$  – типа и тонкая перемычка между ними, называемая *каналом*. Области  $p$  – типа имеют выводы во внешнюю цепь: «*C*» – *сток* и «*I*» – *исток*. Полупроводниковый кристалл покрыт окисной пленкой диэлектрика, на которой расположен металлический *затвор* «*З*», связанный с внешней цепью. Таким образом, затвор электрически изолирован от цепи исток – сток. Подключение источников  $U_{CI}$  и  $U_{3II}$  показано на рис.3.

*У некоторых транзисторов подложка соединяется с истоком внутри прибора, у других имеет вывод во внешнюю цепь («*П*») и может быть использована в качестве дополнительного управляющего электрода. Потенциал подложки относительно истока оказывает заметное влияние на характеристики транзистора. Напряжение на подложке относительно истока должно иметь такую полярность, чтобы  $p$  –  $n$  переход исток – подложка включался в обратном направлении. При этом  $p$  –  $n$  переход канал – подложка действует как затвор полевого транзистора с управляющим  $p$  –  $n$  переходом.*

Семейство стоковых характеристик транзистора с каналом  $n$  – типа приведено на рис.5а, а его стоко – затворная характеристика – на рис.5б.

Рассмотрим принцип действия прибора. При отсутствии управляющего напряжения  $U_{3II} = 0$  через канал между  $n$  – областями протекает ток  $I_C$ . При увеличении напряжения источника  $U_{CI}$   $p$  –  $n$  переход между подложкой и каналом смещается в обратном направлении, причем наибольшее обратное напряжение на переходе получается вблизи стока. При обратном смещении  $p$  –  $n$  перехода расширяется двойной электрический слой, обедненный подвижными носителями заряда, и сужается канал, проводящий ток. По мере роста  $U_{CI}$  увеличивается сопротивление канала, рост тока стока замедляется, а при перекрытии переходом сечения канала при увеличении  $U_{CI}$  ток стока практически не изменяется. В этом режиме процессы в МДП – транзисторе аналогичны процессам в полевом транзисторе с  $p$  –  $n$  переходом.

При приложении положительного напряжения к затвору электрическое поле притягивает электроны из подложки, они скапливаются в области канала, сопротивление канала уменьшается, и ток стока растет (*режим обогащения*) (характеристики на рис.5 при  $U_{3II} > 0$ ).

При отрицательном напряжении на затворе электрическое поле выталкивает электроны из канала в подложку, сопротивление канала увеличивается, и ток стока падает (*режим обеднения*).

Таким образом, при изменении управляющего напряжения  $U_{3II}$  изменяется выходной ток прибора, причем связь приращений выходной и входной величин определяется крутизной:

$$-S = \Delta I_C / \Delta U_{3II} \text{ при } U_{CI} = \text{const.}$$

Поскольку затвор изолирован от остальной цепи, чрезвычайно малый ток затвора  $I_3$  вызывается только утечкой по изоляции. Мощность управляющей цепи МДП – транзистора практически равна нулю.

Аналогично функционирует и другая разновидность МДП – транзистора – со встроенным каналом  $p$  – типа. Такой полевой транзистор имеет подложку  $n$  – типа, направление токов и полярность напряжений противоположна показанным на рис.3.

Схемное обозначение МДП – транзисторов со встроенным каналом  $p$  – типа показано на рис.2в,  $n$  – типа – на рис.2г.

При изготовлении МДП – транзисторов с индуцированным каналом специальный канал между областями, связанными со стоком и истоком, не создается и при напряжении  $U_{3II} = 0$  выходной ток отсутствует. Прибор может работать только в режиме обогащения, когда поле затвора притягивает носители соответствующего знака, создающие проводящий канал между областями истока и стока. Семейство стоковых характеристик МДП – транзистора с индуцированным каналом  $p$  – типа приведено на рис.6а, а стоко –

затворные характеристики (при различных напряжениях на подложке) – на рис.6б. При напряжении на затворе меньшем порогового напряжения  $U_{3И.pор.}$ , ток стока практически отсутствует.

Схемное обозначение МДП – транзистора с индуцированным каналом  $p$  – типа показано на рис.2д,  $n$  – типа – на рис.2е.

Наличие четырех типов МДП – транзисторов дает большие возможности разработчикам при реализации различных задач, в том числе путем комбинации полевых транзисторов различных типов.

Цель работы: экспериментальное получение вольт – амперных характеристик полевых транзисторов.

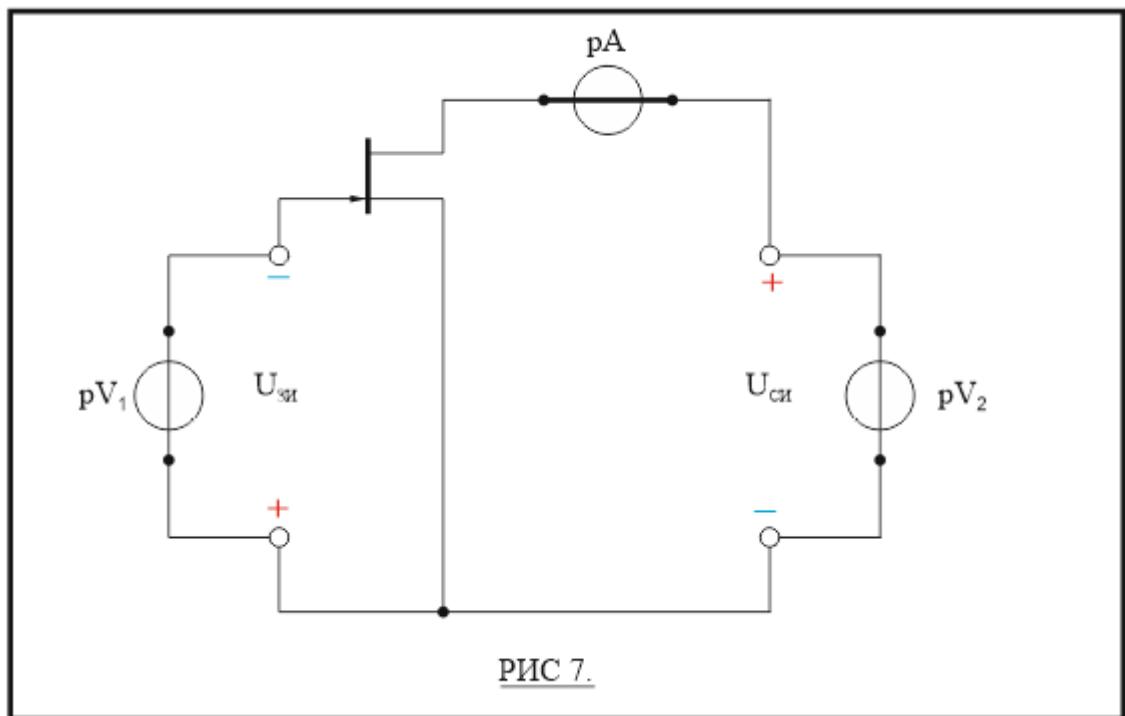
Необходимое оборудование:

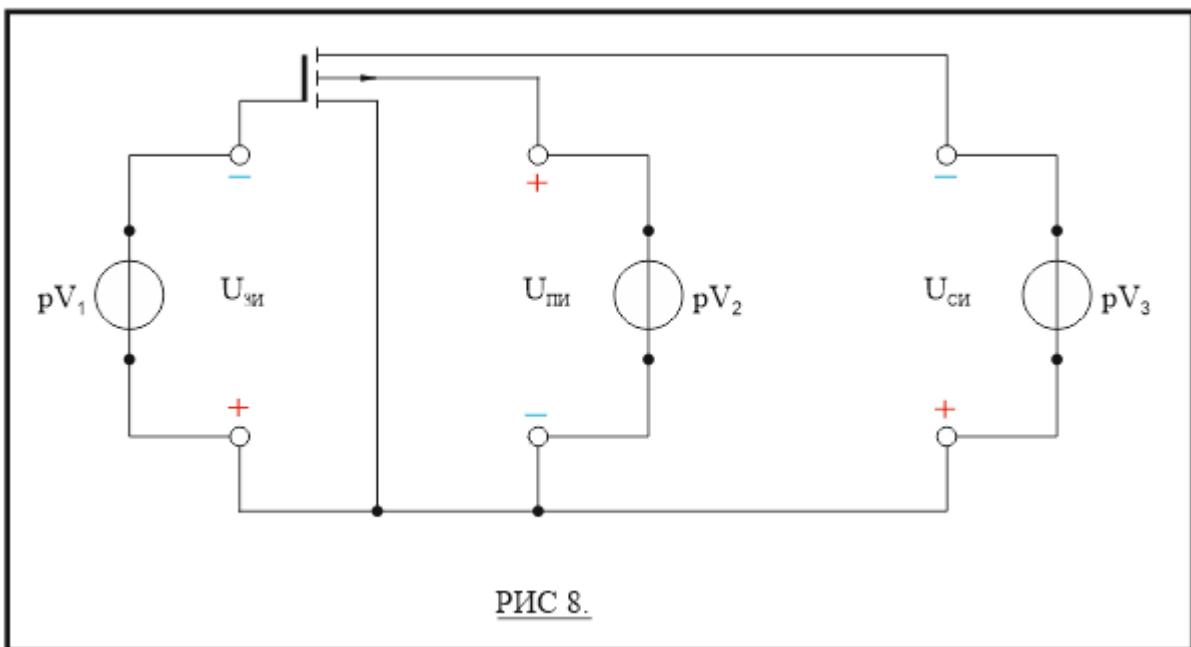
- стенд «Полевые транзисторы».

Стенд состоит из исследуемых транзисторов, источников напряжений, измерительных приборов и предусматривает возможность исследования транзисторов:

- КП302БМ – с управляющим  $p-n$  переходом и каналом  $n$  – типа (схема 1)
- КП301Б – МДП – транзистор с индуцированным каналом  $p$  – типа (схема 2).

Исследуемые схемы представлены на лицевой панели стенда и на рис.7;8.





## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Транзистор с управляемым  $p-n$  переходом (КП302БМ).Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{CH}^* [В]$	8,0	6,0	9,0	7,0	8,0	9,0	6,0	5,0
$U_{3H}^* [В]$	0; 1,0;	2,0;	3,0		0; 0,5;	1,5;	2,5	

1.1. Установить переключатель «схема» в положение «1», потенциометры регулировки напряжений – в положение «0».

1.2. Включить стенд. Снять выходные характеристики транзистора. Для этого:

- Включить источники питания « $U_{3H}$ » и « $U_{CH}$ » схемы 1.
- Установить напряжение  $U_{3H}$  (по прибору  $pV_1$ ) равным первому из заданных в таблице вариантов значению  $U_{3H}^*$  и, поддерживая его постоянным, изменять напряжение  $U_{CH}$  от нуля до 10[В]. Снимать показания приборов  $pV_2$  ( $U_{CH}$ ) и  $pA$  ( $I_C$ ) и заносить их в таблицу 1.
- Повторить опыт при всех, указанных в таблице вариантов, значениях напряжения  $U_{3H}^*$ .

Таблица 1.

$U_{3H}^* = \underline{\quad}$ [В]	$U_{CH} [В]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C [mA]$								
$U_{3H}^* = \underline{\quad}$ [В]	$U_{CH} [В]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C [mA]$								
$U_{3H}^* = \underline{\quad}$ [В]	$U_{CH} [В]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C [mA]$								
$U_{3H}^* = \underline{\quad}$ [В]	$U_{CH} [В]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C [mA]$								

1.3. По данным таблицы 1 построить выходные характеристики транзистора:

$$I_C = f(U_{CH}) \text{ при } U_{3H} = \text{const.}$$

1.4. Снять характеристику управления транзистора. Для этого:

- Установить напряжение  $U_{CI}$  равным заданному в таблице вариантов значению  $U_{CI}^*$  и, поддерживая его постоянным, изменять напряжение  $U_{3II}$  от нуля до напряжения отсечки  $U_{3II,omc}$ . Снимать показания приборов  $pV_1$  ( $U_{3II}$ ) и  $pA$  ( $I_C$ ) и заносить их в таблицу 2.

Таблица 2.

$U_{CI} =$ [B]	$U_{3II}$ [B]	0						
	$I_C$ [mA]							

1.5. По данным таблицы 2 построить характеристику управления транзистора:

$$I_C = f(U_{3II}) \text{ при } U_{CI} = \text{const.}$$

1.6. По графикам характеристик определить параметры транзистора:

- крутизну характеристики управления;
- начальный ток стока;
- напряжение насыщения;
- напряжение отсечки.

Результаты занести в таблицу 5.

## 2. МДП – транзистор с индуцированным каналом. (КП301Б).

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{CI}^*$ [B]	8,0	10,0	9,0	7,0	10,0	9,0	6,0	5,0
$U_{II}^*$ [B]	3,0	6,0	5,0	3,0	6,0	4,0	3,0	3,0
$U_{3II}^*$ [B]	3,0; 5,0;	7,0; 9,0			4,0; 6,0;	8,0;	10,0	

2.1. Установить переключатель «схема» в положение «2», потенциометры регулировки напряжений – в положение «0».

2.2. Включить стенд. Снять выходные характеристики транзистора. Для этого:

- Включить источники питания « $U_{3II}$ » и « $U_{CI}$ » схемы 2.
- Установить напряжение  $U_{3II}$  (по прибору  $pV_1$ ) равным первому из заданных в таблице вариантов значению  $U_{3II}^*$  и, поддерживая его постоянным, изменять напряжение  $U_{CI}$  от нуля до 10[B]. Снимать показания приборов  $pV_2$  ( $U_{CI}$ ) и  $pA$  ( $I_C$ ) и заносить их в таблицу 3.
- Повторить опыт при всех, указанных в таблице вариантов, значениях напряжения  $U_{3II}^*$ .

Таблица 3.

$U_{3II}^* =$ [B]	$U_{CI}$ [B]	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C$ [mA]								
$U_{3II}^* =$ [B]	$U_{CI}$ [B]	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C$ [mA]								
$U_{3II}^* =$ [B]	$U_{CI}$ [B]	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C$ [mA]								
$U_{3II}^* =$ [B]	$U_{CI}$ [B]	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	$I_C$ [mA]								

2.3. По данным таблицы 3 построить выходные характеристики транзистора:

$$I_C = f(U_{CI}) \text{ при } U_{3II} = \text{const.}$$

2.4. Снять характеристики управления транзистора. Для этого:

- Установить напряжение  $U_{CI}$  равным заданному в таблице вариантов значению  $U_{CI}^*$  и, поддерживая его постоянным, изменять напряжение  $U_{3I}$  от нуля до 10[B]. Снимать показания приборов  $pV_1$  ( $U_{3I}$ ) и  $pA$  ( $I_C$ ) и заносить их в таблицу 4.
- Включить источник питания « $U_P$ » и установить напряжение  $U_P$  равным заданному в таблице вариантов значению  $U_P^*$ .
- Повторить опыт при  $U_P \neq 0$ .

Таблица 4.

$U_{CI} = \underline{\quad}$ [B] $U_P = 0$	$U_{3I}$ [B]	0						10,0
$U_{CI} = \underline{\quad}$ [B] $U_P = \underline{\quad}$ [B]	$U_{3I}$ [B]	0						10,0
	$I_C$ [mA]							

2.5. По данным таблицы 4 построить характеристики управления транзистора:

$$I_C = f(U_{3I}) \text{ при } U_{CI} = \text{const.}; U_P = \text{const.}$$

2.6. По графикам характеристик определить параметры транзистора:

- крутизну характеристики управления;
  - напряжение насыщения;
  - пороговое напряжение ( $U_{3I,por.1}$  при  $U_P = 0$  и  $U_{3I,por.2}$  при  $U_P \neq 0$ )
- Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5.

КП302БМ				КП301Б			
S	$I_{C, нач.}$	$U_{CI, нас.}$	$U_{3I, отс.}$	S	$U_{CI, нас.}$	$U_{3I, пор.1}$	$U_{3I, пор.2}$
[mA/B]	[mA]	[B]	[B]	[mA/B]	[B]	[B]	[B]

#### Содержание отчета.

1. Номер, название, цель работы.
2. Номер бригады и данные таблицы вариантов для своего варианта.
3. Схемы (рис.7;8.)
4. Таблицы 1 ÷ 4 и графики характеристик транзисторов с дополнительными построениями для определения параметров транзисторов.
5. Параметры транзисторов (таблица 5).

Комплект оценочных заданий №12 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №12. Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе.

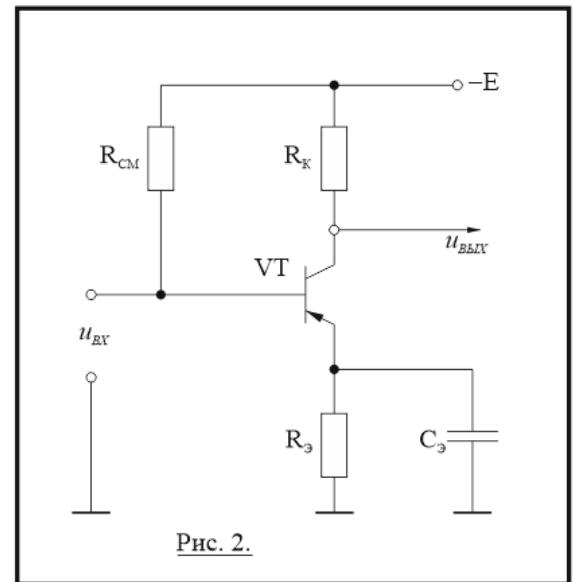
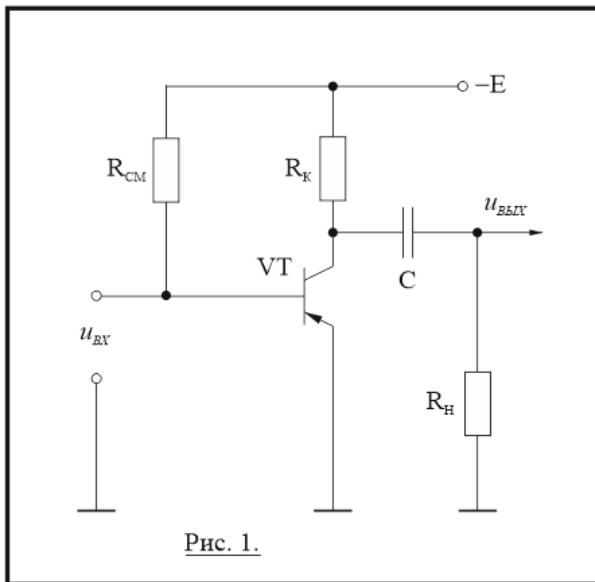
### «РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ»

#### Теоретические сведения.

Включение транзистора по схеме с общим эмиттером (ОЭ) позволяет получить усиление как тока, так и напряжения. Несмотря на то, что эта схема имеет большой коэффициент гармоник, она применяется чаще других, т.к. позволяет получить наибольшее усиление мощности при заданном сопротивлении нагрузки. Схема простейшего усилительного каскада с ОЭ представлена на рис.1.

Режим работы каскада при слабых сигналах (до 5 [mV]) выбирают так, чтобы получить необходимые усилительные параметры при как можно меньшем потребляемом токе. Динамическую характеристику в этом случае не строят (т.к. используется очень

маленький ее участок) и расчет каскада сводится к выбору точки покоя и расчету соответствующих ей токов и напряжений на электродах транзистора. Необходимое смещение транзистора в представленной схеме достигается выбором сопротивления резистора  $R_{CM}$ , определяющего величину тока в точке покоя.



При выборе режима работы каскада, усиливающие сильные сигналы (предвыходные и выходные каскады) основное значение имеет выбор той области статических характеристик транзистора, в которой можно получить заданную амплитуду тока, напряжения или мощности при допустимом уровне нелинейных искажений и по возможности меньшем расходе энергии источника питания. Эта задача решается графическим способом.

В режиме покоя ток коллектора в нагрузку не ответвляется, что достигается включением в цепь нагрузки источника компенсирующего напряжения или разделительного конденсатора, имеющего бесконечно большое сопротивление постоянному току. Поэтому работа каскада в этом режиме определяется пересечением выходных характеристик транзистора с прямой:

$$I_K = (E_P - U_{K\emptyset}) / R_K,$$

которую можно повести через точки А' ( $I_K = E_P / R_K; U_{K\emptyset} = 0$ ) и В' ( $I_K = 0; U_{K\emptyset} = E_P$ ) (см. рис.2). Эта прямая называется линией нагрузки по постоянному току и используется для выбора точки покоя (точка О).

Для анализа работы каскада при наличии входного сигнала через точку покоя необходимо провести линию нагрузки по переменному току, которая отличается от линии нагрузки по постоянному току вследствие ответвления коллекторного тока в цепь нагрузки. Если принять сопротивления разделительного конденсатора и источника питания для переменной составляющей тока равными нулю, то уравнение этой прямой запишется в виде:

$$\Delta I_K = \Delta U_{K\emptyset} / R^*, \quad \text{где:}$$

$$R^* = R_K R_H / (R_K + R_H);$$

$\Delta I_K$  и  $\Delta U_{K\emptyset}$  – приращения тока и напряжения на коллекторе.

Т.к.  $R^* < R_K$ , то линия нагрузки по переменному току (прямая АОВ) имеет больший наклон, чем линия нагрузки по постоянному току.

Для обеспечения нормальной работы каскада необходимо выполнить следующие условия:

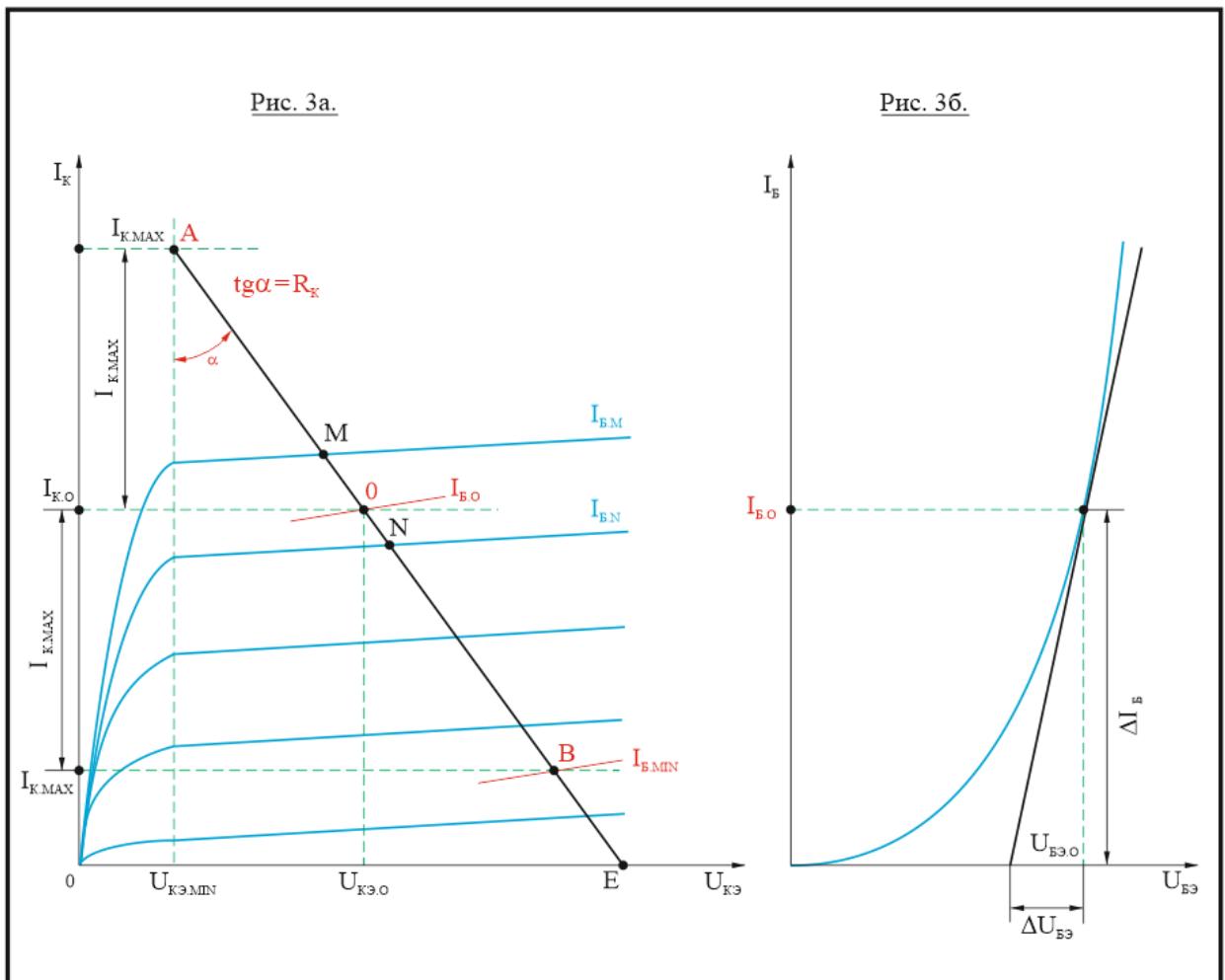
- максимальный ток должен быть меньше допустимого коллекторного тока транзистора ( $I_{K,MAX} < I_{Kdon.}$ );

- минимальный ток коллектора должен составлять  $10 \div 20\%$  от амплитуды выходного тока ( $I_{K,MIN} = (0,1 \div 0,2) I_{K,m}$ );
- напряжение источника питания должно быть меньше допустимого напряжения между эмиттером и коллектором транзистора ( $E < U_{K\Theta, доп.}$ );
- минимальное напряжение между эмиттером и коллектором транзистора должно быть больше одного вольта ( $U_{K\Theta,MIN} = (1 \div 2)/[B]$ );
- рассеиваемая на коллекторе мощность в режиме покоя должна быть значительно меньше допустимой ( $P_K = I_{K,0} U_{K,0} < P_{доп.}$ ).

По выходным характеристикам транзистора определяют:

- ток базы покоя  $I_{B,0}$  и рассчитывают параметры цепи смещения;
- минимальный ток базы  $I_{B,MIN}$ .
- амплитуду тока базы  $I_{B,m} = I_{B,0} - I_{B,MIN}$ .

По входным характеристикам транзистора, используя полученное значение  $I_{B,m}$  определяют необходимую амплитуду напряжения на входе каскада  $U_{BX,m}$ .



Т.к. статические характеристики транзистора зависят от температуры, в практических схемах почти всегда осуществляется температурная стабилизация режима работы каскада. Чаще всего применяется схема эмиттерной стабилизации (рис.3). Для температурной стабилизации в цепь эмиттера транзистора включается резистор  $R_\Theta$ . При увеличении температуры возрастает ток эмиттера и падение напряжения на  $R_\Theta$ , что приводит к уменьшению напряжения между базой и эмиттером транзистора, величина которого определяется по формуле:

$$U_{B\Theta} = E_P - I_\Theta R_\Theta - I_B R_{CM},$$

(второй закон Кирхгоффа для цепи: « $\perp$ » -  $R_\Theta$ » - «переход база – эмиттер» -  $R_{CM}$ » - « $-E_P$ »).

Уменьшение напряжения  $U_{B\bar{E}}$  приводит к уменьшению тока базы, а, следовательно, и тока эмиттера транзистора. Т.о. в схеме осуществляется отрицательная обратная связь по току эмиттера и этот ток (при неизменном токе базы) стабилизируется. С увеличением сопротивления резистора  $R_E$  качество стабилизации возрастает (при большом  $R_E$  даже небольшое изменение тока эмиттера приводит к значительным изменениям  $U_{B\bar{E}}$ ), но уменьшается коэффициент усиления каскада. Для устранения вредного влияния резистора  $R_E$  на коэффициент усиления его шунтируют конденсатором  $C_E$ , сопротивление которого полезному переменному сигналу мало.

Наличие цепи температурной стабилизации, которая имеет различное сопротивление для переменной и постоянной составляющей тока, необходимо учитывать при построении линий нагрузки по переменному и по постоянному току.

Схема усилительного каскада, исследуемого в лабораторной работе, имеет ряд отличий от практических используемых схем:

1. Для облегчения расчетов исключена цепь температурной стабилизации.
2. С той же целью исключена цепь нагрузки (в лабораторной работе требуется добиться заданной амплитуды тока в резисторе коллекторной нагрузки  $R_K$ ).

При таких упрощениях линии нагрузки по переменному и по постоянному току совпадают.

3. В практических схемах вход каскада, работающего в режиме сильных сигналов, подключается к выходу каскада предварительного усиления, имеющего свойства, близкие к свойствам источника тока. Поэтому, несмотря на нелинейность входных характеристик транзистора, ток базы близок к синусоидальному.

В лабораторной работе сигнал на вход каскада подается с генератора низкой частоты, близкого по свойствам к источнику э.д.с., поэтому вследствие нелинейности входных характеристик ток базы а, следовательно, и ток коллектора будут существенно отличаться от синусоидальных.

Для уменьшения нелинейных искажений рекомендуется:

- для исключения существенно нелинейного участка входной характеристики принять минимальный ток коллектора  $I_{K,MIN} = 4[mA]$ , что составляет приблизительно 40% от заданной амплитуды выходного тока.

- в цепь базы транзистора включить резистор  $R_B$ , сопротивление которого на порядок больше, чем входное сопротивление транзистора в точке покоя.

Т.о. уменьшение нелинейных искажений достигается за счет уменьшения коэффициента усиления каскада, который получается значительно *меньше статического коэффициента усиления транзистора*.

Цель работы: получение входных и выходных характеристик биполярного транзистора, расчет и экспериментальная проверка работы усилительного каскада по схеме с ОЭ.

Необходимое оборудование:

- стенд «Биполярный транзистор. Каскад с общим эмиттером».

*Стенд содержит измерительные приборы, источники регулируемого постоянного напряжения, исследуемый транзистор и магазины сопротивлений. Схема стендов представлена на лицевой панели и на рис.4.*

- осциллограф двухлучевой С1 - 55.

Измерение периодических сигналов осциллографом С1 – 55.

1. Включить осциллограф и дать ему прогреться в течение трех минут.
2. Потенциометры «усиление» обоих лучей и потенциометр «длительность» установить в крайнее правое положение.
3. Переключатели « $\approx \leftrightarrow \cong$ » обоих лучей установить в положение « $\cong$ »; переключатель « $\times 1 \leftrightarrow \times 0,2$ » – в положение « $\times 1$ ».
4. Переключателями [Вольт/дел] выбрать масштабы по напряжению таким образом, чтобы амплитуда исследуемого сигнала соответствовала приблизительно половине размера экрана осциллографа по вертикали.

5. Переключателем «длительность» выбрать масштаб времени таким образом, чтобы период повторения сигнала был несколько меньше, чем время развертки.

6. Подключить входы осциллографа к точке « $\perp$ », потенциометрами « $\uparrow$ » установить лучи на линии горизонтальной разметки экрана осциллографа.

7. Переключатель «синхронизация» установить в положение «внутр.1», если амплитуда сигнала, подаваемого на первый вход, больше, чем амплитуда сигнала, подаваемого на второй, или «внутр.2» в противном случае.

8. Подключить входы осциллографа к источникам измеряемых сигналов, потенциометрами «stab.» и «синхронизация» добиться устойчивой картинки на экране осциллографа.

9. Потенциометрами « $\leftrightarrow$ » «грубо» и «плавно» установить лучи в удобное для измерений положение.

- генератор сигналов низкочастотный Г3 – 112/1

В лабораторной работе генератор используется в качестве источника входных синусоидальных сигналов усилительного каскада.

1. Перед началом работы необходимо включить генератор и дать ему прогреться в течение трех минут.

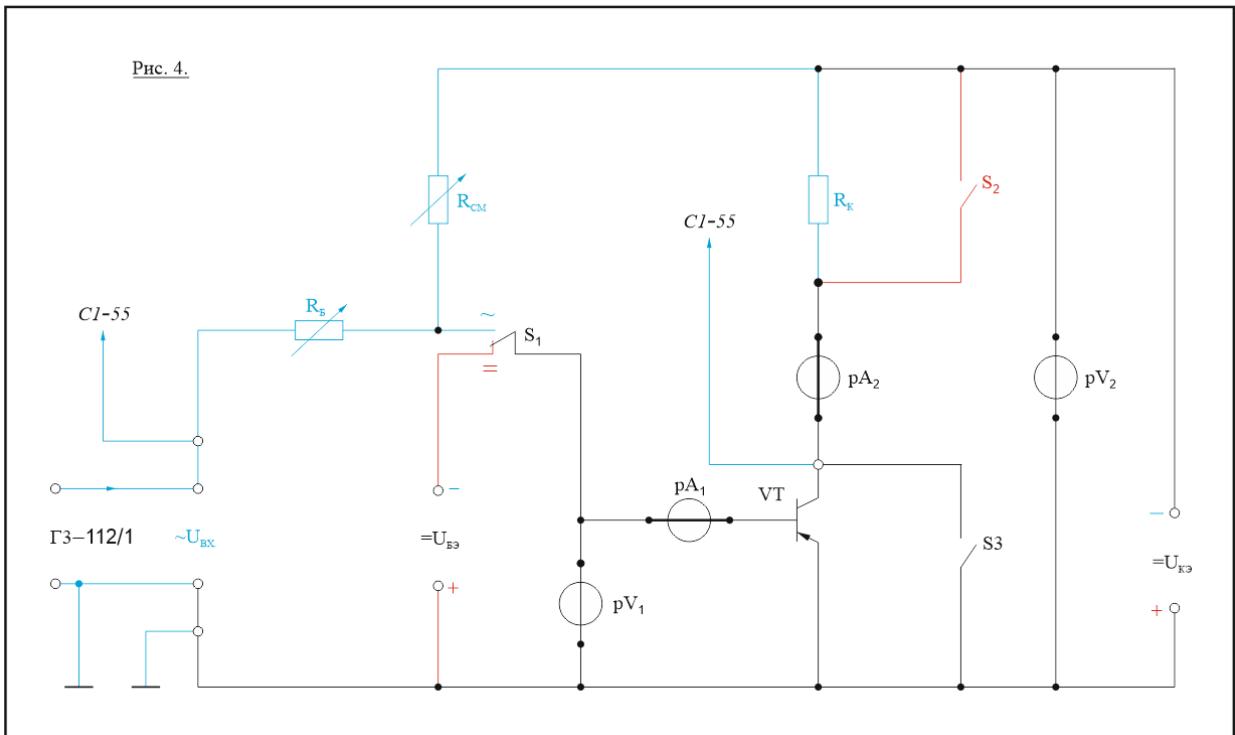
2. Переключатель « $\approx \leftrightarrow \perp$ » установить в положение « $\approx$ »

3. Установить частоту выходного генератора  $f = 100[\text{Гц}]$  (переключатель «множитель Hz» установить в положение «10», потенциометр «частота Hz» - в положение «10»).

4. Переключатель «dB» установить в положение «20» (при этом действующее значение выходного напряжения будет регулироваться потенциометром плавной настройки от нуля до 1[B]).

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{\text{КЭ}}^*[\text{В}]$	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0
$I_{\text{Б}}^*[\text{mA}]$	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5.				0,05; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45.			
$I_{\text{К.м}}[\text{mA}]$	10	10	10	10	10	9	11	9
« $R_{\text{K}}$ »	«1»	«2»	«3»	«4»	«5»	«5»	«1»	«4»



### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

#### 1. Статические характеристики транзистора.

1.1. Установить тумблеры:

$S_1$  – в положение «=»;

$S_2$  – в положение «вкл» (замкнуть накоротко резистор  $R_K$ );

$S_3$  – в положение «выкл» (выводы коллектора и эмиттера транзистора разомкнуты).

Установить потенциометры регулировки напряжений – в положение «0».

1.2. Включить стенд. Снять входную характеристику транзистора при  $U_{K\bar{E}} = 0$ . Для этого:

- Включить источник питания « $U_{B\bar{E}}$ ». Изменяя напряжение на входе схемы от нуля до 0,3[B], снимать показания приборов  $pV_1$  ( $U_{B\bar{E}}$ ) и  $pA_1$  ( $I_B$ ). Результаты измерений заносить в таблицу 1.

1.3. Снять входную характеристику транзистора при  $U_{K\bar{E}} \neq 0$ . Для этого:

- Включить источник питания « $U_{K\bar{E}}$ » и по прибору  $pV_2$  ( $U_{K\bar{E}}$ ) установить напряжение на коллекторе транзистора  $U_{K\bar{E}} = U_{K\bar{E}}^*$  (значение  $U_{K\bar{E}}^*$  взять из таблицы вариантов). Повторить опыт, поддерживая коллекторное напряжение постоянным.

Таблица 1.

$U_{K\bar{E}} = 0$	$U_{B\bar{E}}[V]$	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
	$I_B[mA]$							
$U_{K\bar{E}} = \underline{\underline{[B]}}$	$U_{B\bar{E}}[V]$	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
	$I_B[mA]$							

1.4. По данным таблицы 1 построить входные характеристики транзистора:

$$I_B = f(U_{B\bar{E}}) \text{ при } U_{K\bar{E}} = \text{const.}$$

1.5. Снять выходные характеристики транзистора. Для этого:

- Установить ток базы равным первому из заданных в таблице вариантов значению  $I_B^*$  и, поддерживая его постоянным, изменять напряжение на коллекторе транзистора от нуля до 8[B]. Снимать показания приборов  $pV_2$  ( $U_{K\bar{E}}$ ) и  $pA_2$  ( $I_K$ ) и заносить их в таблицу 2.

- Повторить опыт при всех, указанных в таблице вариантов, значениях тока базы.

Таблица 2.

$I_B = \text{__} [\text{mA}]$	$U_{K3}[\text{B}]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
	$I_K[\text{mA}]$							
$I_B = \text{__} [\text{mA}]$	$U_{K3}[\text{B}]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
	$I_K[\text{mA}]$							
$I_B = \text{__} [\text{mA}]$	$U_{K3}[\text{B}]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
	$I_K[\text{mA}]$							
$I_B = \text{__} [\text{mA}]$	$U_{K3}[\text{B}]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
	$I_K[\text{mA}]$							
$I_B = \text{__} [\text{mA}]$	$U_{K3}[\text{B}]$	0	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
	$I_K[\text{mA}]$							

1.6. По данным таблицы 2 построить выходные характеристики транзистора:

$$I_K = f(U_{K3}) \text{ при } I_B = \text{const.}$$

2. Расчет усилительного каскада.

2.1. Установить тумблеры:

$S_2$  – в положение «выкл» (разомкнуть выводы резистора  $R_K$ );

$S_3$  – в положение «вкл» (замкнуть накоротко коллектор и эмиттер транзистора)

Установить потенциометры регулировки напряжений в положение «0», переключатель « $R_K$ » – в положение, соответствующее данным таблицы вариантов.

2.2. Включить стенд. Регулируя напряжение на резисторе  $R_K$  и, изменяя при необходимости пределы измерения приборов, добиться, чтобы стрелки обоих приборов находились во второй половине шкалы. Снять показания амперметра и вольтметра и рассчитать сопротивление коллекторной нагрузки:  $R_K = U/I$ . Результат занести в отчет.

2.3. На графике выходных характеристик транзистора (см. рис.5) провести прямые:

-  $U_{K3,MIN} = 2[\text{B}]$ ;

-  $I_{K,MIN} = 4[\text{mA}]$ ;

-  $I_{K,O} = I_{K,m} + I_{K,MIN}$ ;

( $I_{K,m}$  – амплитуда выходного тока, задана в таблице вариантов)

-  $I_{K,MAX} = 2I_{K,m} + I_{K,MIN}$ .

2.4. Через точку А, с координатами ( $I_{K,MAX}; U_{K3,MIN}$ ) под углом  $\text{tg}\alpha = R_K$  к оси ординат провести нагрузочную прямую АВ и по точке ее пересечения с осью абсцисс определить напряжение питания каскада  $E_\pi$ .

2.5. Определить ток базы покоя:

-  $I_{B,O} = I_{B,N} + (I_{B,M} - I_{B,N})(ON/MN)$  (см. рис.5).

2.6. Определить минимальный ток базы:

-  $I_{B,MIN} = I_{B,B}$  (аналогично п.2.5.).

2.7. Перенести точку покоя на входную характеристику транзистора при  $U_{K3} \neq 0$  и определить напряжение между базой и эмиттером транзистора в этой точке  $U_{B3,O}$ . Провести касательную к характеристике в точке покоя и по углу ее наклона определить входное сопротивление транзистора в этой точке  $R_{B3,O}$ .

2.8. Вычислить сопротивления резисторов:

-  $R_{CM} = (E_\pi - U_{B3,O})/I_{B,O}$

-  $R_B = 10R_{B3,O}$

Полученные значения установить на стендe.

2.9. Вычислить необходимую амплитуду входного напряжения каскада:

-  $U_{BX,m} = 1,1R_B(I_{B,O} - I_{B,MIN})$

3. Экспериментальная проверка работы усилительного каскада.

3.1. Установить тумблеры:

$S_1$  – в положение « $\approx$ »;

$S_2$  и  $S_3$  – в положение «выкл».

3.2. Подготовить осциллограф и генератор к работе (см.п. «необходимое оборудование»).

3.3. Выход генератора подключить на вход каскада. Один из лучей осциллографа включить на измерение входного сигнала, второй – на измерение выходного напряжения каскада. Установить амплитуду входного напряжения в соответствии с результатом, полученным в п.2.9., определить амплитуду выходного напряжения  $U_{K.m}$ . Начертить осциллограммы входного и выходного напряжений.

3.4. Вычислить амплитуду тока коллектора:

$$- I_{K.m} = U_{K.m} / R_K$$

и сравнить с заданной.

3.5. Вычислить коэффициенты усиления каскада:

$$- K_U = U_{K.m} / U_{B.X.m} \text{ - по напряжению;}$$

$$- K_I = I_{K.m} / I_{B.m} \text{ - по току;}$$

$$- K_P = K_U K_I \text{ - по мощности;}$$

3.6. Снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) каскада. Для этого:

- Изменять частоту входного сигнала от 100[Гц] до 100[кГц], поддерживая неизменной его амплитуду. Амплитудные значения выходного напряжения (по осциллографу) и значения частоты (по шкале генератора) заносить в таблицу 3.

Начертить осциллограммы входного и выходного напряжения при частоте

$$- f = 50 \div 100 \text{ [кГц]}$$

Таблица 3.

f[кГц]	0,1						100
lg f							
$U_{K.m}$ [В]							
$K_U$							

3.7. Вычислить значения коэффициента усиления каскада по напряжению и построить график АЧХ:

$$- K_U = f / \lg f$$

#### Содержание отчета.

6. Номер, название, цель работы.
7. Номер бригады и данные таблицы вариантов для своего варианта.
8. Схема (рис. 4).
9. Таблица 1 и таблица 2 графики, графики статических характеристик транзистора.
10. Графические построения, расчетные формулы и вычисления.
11. Таблица 3 и график АЧХ каскада.
12. Временные диаграммы (осциллограммы) напряжений.

Комплект оценочных заданий №13 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №13. Исследование усилителя постоянного тока.

### **«ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА»**

#### **Теоретические сведения.**

Усилитель постоянного тока (УПТ.) – это усилитель, способный усиливать медленно изменяющиеся и постоянные сигналы.

*Термин «усилитель постоянного тока» используется по традиции и не является вполне точным, т.к.:*

*- УПТ усиливает не только постоянные, но и переменные сигналы.*

*- УПТ, как правило, являются усилителями напряжения, а не тока.*

Необходимость усиливать постоянные сигналы делает недопустимым применение в схемах УПТ трансформаторов, разделительных и шунтирующих конденсаторов. УПТ, в

которых усилительные каскады выполнены по схеме с общим эмиттером (ОЭ), а емкостные и трансформаторные связи заменены резистивными (такие УПТ называются однотактными), имеют значительные недостатки:

- резистор в цепи эмиттера, применение которого необходимо для осуществления термостабилизации режима покоя, существенно снижает коэффициент усиления каждого каскада (в УНЧ эти резисторы шунтируются конденсаторами, сопротивление которых полезному сигналу мало).
- общий коэффициент усиления УПТ снижается за счет потерь на резисторах межкаскадных связей.
- УПТ имеет существенный дрейф нуля.

Дрейф нуля – это изменение сигнала на выходе при отсутствии изменений входного сигнала. Величина  $U_{\text{др.}} = \Delta U / K_U$  ( $\Delta U$  – максимальное напряжение на выходе усилителя, вызванное дрейфом,  $K_U$  – коэффициент усиления УПТ) называется приведенным дрейфом.

Наличие дрейфа нуля ограничивает чувствительность усилителя т.к. минимальный входной сигнал должен значительно превосходить величину приведенного дрейфа (в противном случае полезный сигнал на выходе невозможно отличить от сигнала дрейфа).

Основные причины дрейфа нуля – это:

- температурная и временная нестабильность параметров элементов схем (в первую очередь – транзисторов).
- нестабильность источников питания.
- низкочастотные помехи.

Улучшение качества источников питания и температурной стабилизации транзисторов для уменьшения дрейфа нуля неэффективно, т.к. малейшие изменения усиливаются УПТ.

Перечисленные недостатки в значительной степени уменьшаются в двухтактных (мостовых) УПТ, наиболее распространенным из которых является симметричный дифференциальный усилительный каскад.

Простейшая схема симметричного дифференциального каскада приведена на рис.1. Транзисторы  $VT_1$ ,  $VT_2$  и резисторы  $R_{K1}$ ,  $R_{K2}$  образуют мост, в одну диагональ которого включены источники питания, а в другую – нагрузка. Баланс моста достигается выбором идентичных по параметрам транзисторов и равенством сопротивлений в их коллекторных цепях. Для точного симметрирования в схему включают резистор  $R_{\text{Э}}^*$  (рис.2). Сопротивление этого резистора очень мало ( $R_{\text{Э}}^* \ll R_{\text{Э}}$ ), и не вносит существенных изменений в приведенные ниже уравнения, выполняющиеся в схеме, представленной на рис.1:

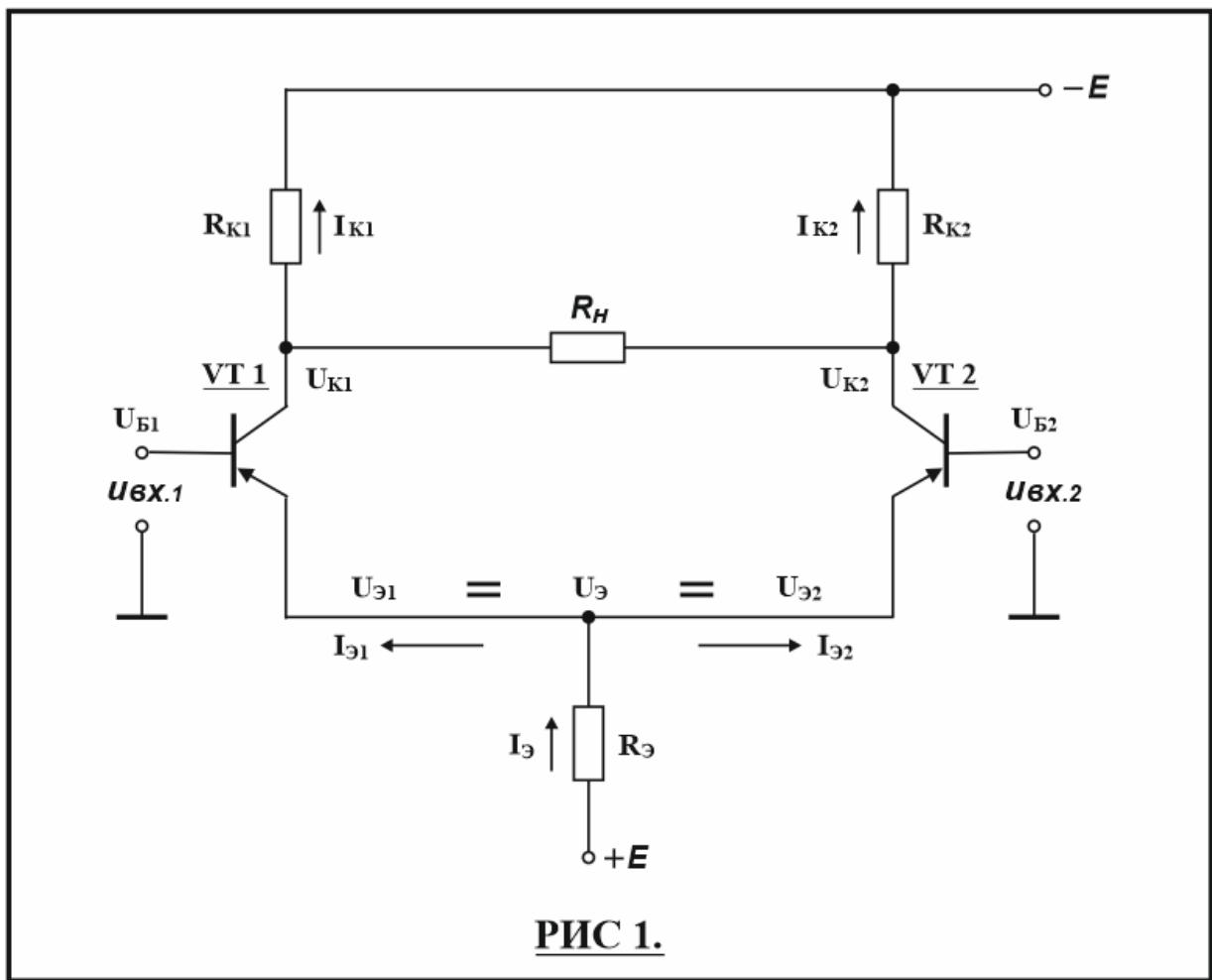


РИС 1.

- для участка цепи («+  $E$ » - «общая точка эмиттеров транзисторов»):

$$U_{\mathcal{E}1} = U_{\mathcal{E}2} = U_{\mathcal{E}} = +E - I_{\mathcal{E}} R_{\mathcal{E}} \quad (1)$$

где:  $I_{\mathcal{E}} = I_{\mathcal{E}1} + I_{\mathcal{E}2}$  – ток, протекающий по резистору  $R_{\mathcal{E}}$ .

- для участков цепи («-  $E$ » - «коллектор  $VT_1$ ») и («-  $E$ » - «коллектор  $VT_2$ »):

$$U_{K1} = -E + I_{K1} R_K \quad (2a)$$

$$U_{K2} = -E + I_{K2} R_K \quad (2b)$$

где:  $R_K = R_{K1} = R_{K2}$

- для участков цепи («эмиттер  $VT_1$ » - «база  $VT_1$ » - «источник входного сигнала  $u_{BХ.1}$ » - « $\perp$ ») и («эмиттер  $VT_2$ » - «база  $VT_2$ » - «источник входного сигнала  $u_{BХ.2}$ » - « $\perp$ »)

$$U_{B\mathcal{E}1} = U_{\mathcal{E}} \pm u_{BХ.1} \quad (3a)$$

$$U_{B\mathcal{E}2} = U_{\mathcal{E}} \pm u_{BХ.2} \quad (3b)$$

Выходное напряжение каскада:

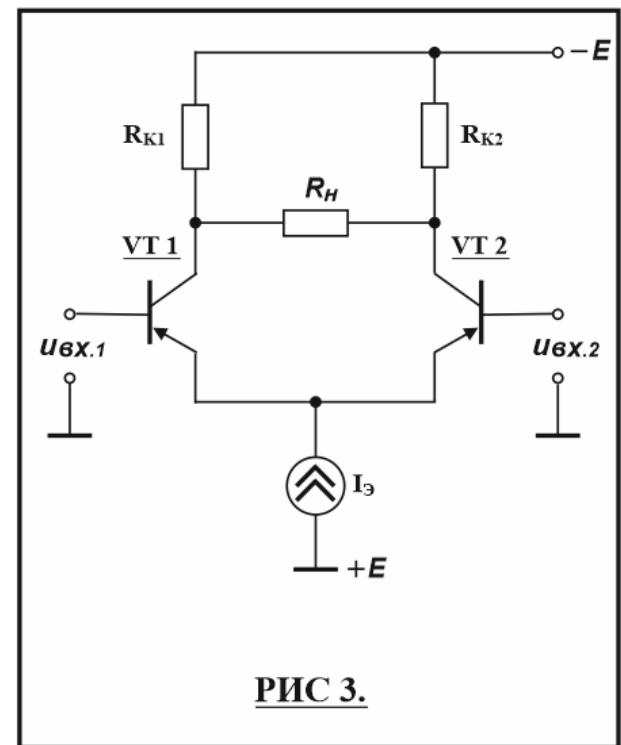
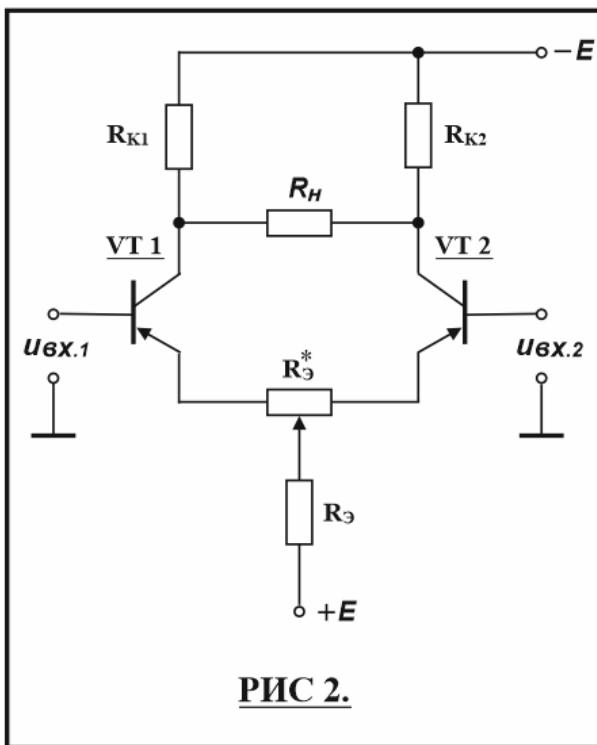
$$u_{VХ} = U_{K2} - U_{K1} = (I_{K2} - I_{K1}) R_K \quad (4)$$

#### Режим покоя.

В режиме покоя  $u_{BХ.1} = u_{BХ.2} = 0$ . При этом по транзисторам протекают равные токи ( $I_{B1} = I_{B2}$  и  $I_{K1} = I_{K2}$ ); напряжения на их коллекторах одинаковы ( $U_{K1} = U_{K2}$ ) и выходное напряжение каскада равно нулю. Величина базовых токов определяется сопротивлением резистора  $R_{\mathcal{E}}$ , которое, при получении необходимого напряжения смещения транзисторов, оказывается достаточно высоким, чтобы обеспечить хорошую температурную стабилизацию режима покоя.

При увеличении температуры транзисторов возрастают токи  $I_{K1}$ ;  $I_{K2}$ ;  $I_{\mathcal{E}}$ . Незначительное увеличение тока  $I_{\mathcal{E}}$  приводит к существенному возрастанию

произведения  $I_\vartheta R_\vartheta$  и уменьшению напряжения  $U_\vartheta$  (см. формулу (1)), что приводит к уменьшению напряжений  $U_{B\vartheta 1}$  и  $U_{B\vartheta 2}$ . (см. формулы (3а); (3б)). Уменьшение  $U_{B\vartheta 1}$  и  $U_{B\vartheta 2}$  вызывает, в свою очередь, уменьшение токов  $I_{K1}$ ;  $I_{K2}$ ;  $I_\vartheta$ . Т.о. в схеме осуществляется отрицательная обратная связь по сумме эмиттерных токов. В результате ток  $I_\vartheta = I_{\vartheta 1} + I_{\vartheta 2} \approx I_{K1} + I_{K2}$  стабилизируется. Качество стабилизации достаточно высокое, чтобы считать, что  $I_\vartheta = \text{const}$ . т.е. через резистор  $R_\vartheta$  в схему подается стабильный ток.



Для стабилизации суммы эмиттерных токов  $I_\vartheta$  вместо высокоомного резистора может быть использован источник тока (рис.3). На практике в качестве источника тока используют транзистор (рис.4). Относительно небольшое сопротивление  $R_\vartheta'$  и диод  $VD$  служат для температурной стабилизации режима работы транзистора  $VT_3$ .

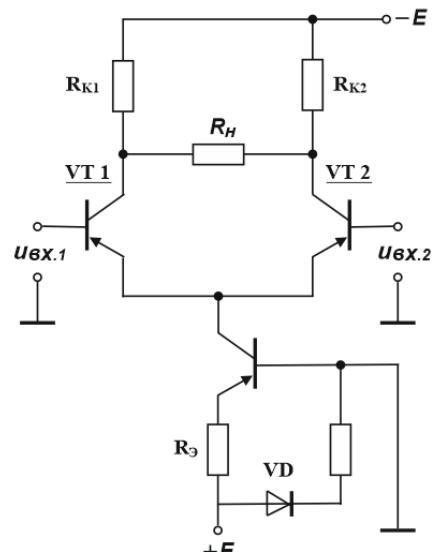
Дрейф нуля в схеме ДСК на несколько порядков меньше, чем в однотактных схемах, т.к. при любых симметричных изменениях напряжения на коллекторах транзисторов изменяются одинаково, и их разность остается постоянной.

При абсолютной идентичности характеристик транзисторов дрейф нуля был бы равен нулю, однако на практике это не достижимо. В настоящее время дифференциальные каскады изготавливаются в виде интегральных микросхем (ИМС) и высокая степень симметрии обеспечивается изготовлением транзисторов на одном кристалле.

#### Режим усиления.

1. Рассмотрим работу схемы при замыкании базы транзистора  $VT_2$  на заземленную точку « $\perp$ » ( $u_{B\vartheta 2} = 0$ ) и подаче входного сигнала на базу транзистора  $VT_1$  ( $u_{B\vartheta 1} \neq 0$ ).

При подаче входного сигнала  $u_{B\vartheta 1} < 0$  возрастает ток базы ( $I_{B1}$ ) и напряжение между базой и эмиттером ( $U_{B\vartheta 1}$ ) транзистора  $VT_1$ , что приводит к увеличению коллекторного ( $I_{K1}$ ) и эмиттерного ( $I_{\vartheta 1}$ ) токов этого транзистора. Увеличение тока  $I_\vartheta = I_{\vartheta 1} + I_{\vartheta 2}$



приводит, как уже указывалось, к возрастанию произведения  $I_{\mathcal{E}} R_{\mathcal{E}}$  и уменьшению напряжения  $U_{\mathcal{E}}$ . В результате уменьшается напряжение между базой и эмиттером ( $U_{B\mathcal{E}2}$ ) и ток базы ( $I_{B2}$ ) транзистора  $VT_2$ . Уменьшение базового тока приводит к уменьшению коллекторного ( $I_{K2}$ ) и эмиттерного ( $I_{\mathcal{E}2}$ ) токов второго транзистора и суммарный ток эмиттеров сохраняет значение, соответствующее режиму покоя ( $I_{\mathcal{E}} = I_{\mathcal{E}1} + I_{\mathcal{E}2} = \text{const.}$ ). Т.к. ток  $I_{\mathcal{E}}$  при работе каскада сохраняет свое значение, то, несмотря на значительную

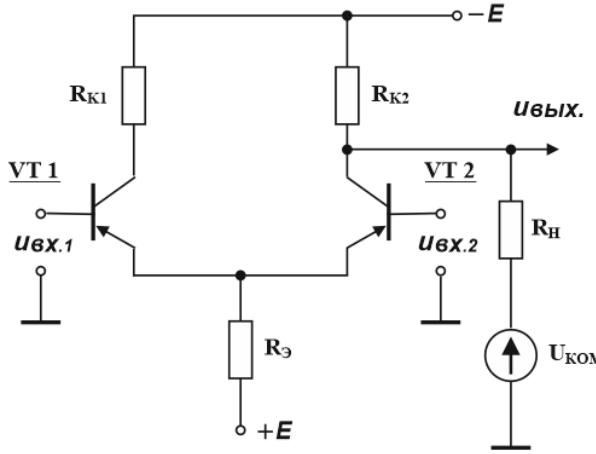


РИС 5.

РИС 6.

величину сопротивления резистора  $R_{\mathcal{E}}$ , падение напряжения на нем не снижает коэффициент усиления каскада, в отличие от каскада с ОЭ.

Т. о. отрицательное приращение входного напряжения приводит к увеличению тока  $I_{K1}$  и уменьшению тока  $I_{K2}$ , что соответствует отрицательному приращению выходного напряжения каскада:

$$u_{\text{вых.}} = U_{K2} - U_{K1} = (I_{K2} - I_{K1})R_K < 0$$

При подаче входного сигнала  $u_{BХ.1} > 0$  ток  $I_{K1}$  уменьшается, а ток  $I_{K2}$  возрастает и выходное напряжение положительно:

$$u_{\text{вых.}} = U_{K2} - U_{K1} = (I_{K2} - I_{K1})R_K > 0$$

Т.к. знак выходного напряжения совпадает со знаком входного, этот вход усилителя называется прямым:

$$u_{\text{вых.}} = +K_U u_{BХ.1} \quad (K_U - \text{коэффициент усиления по напряжению}).$$

2. При замыкании базы транзистора  $VT_1$  на заземленную точку « $\perp$ » ( $u_{BХ.1} = 0$ ) и подаче входного сигнала на базу транзистора  $VT_2$  ( $u_{BХ.2} \neq 0$ ), отрицательному приращению входного напряжения соответствует положительное приращение выходного и наоборот. Этот вход усилителя называется инвертирующим:

$$u_{\text{вых.}} = -K_U u_{BХ.2}$$

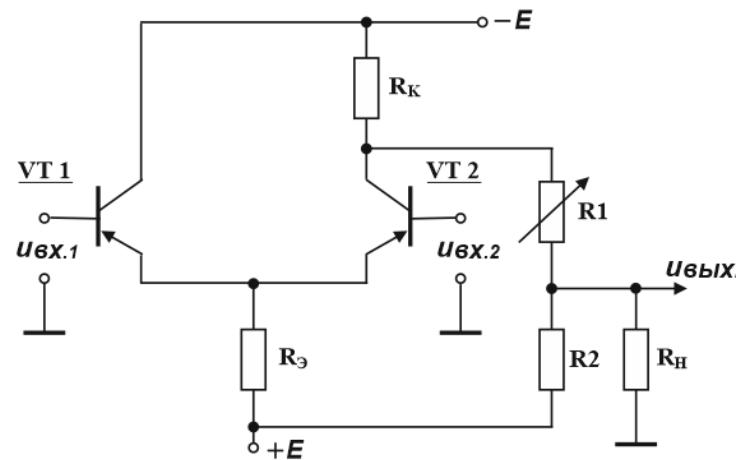
3. При подаче на базы транзисторов входных сигналов от двух независимых источников выходное напряжение определяется методом суперпозиции (наложения):

$$u_{\text{вых.}} = K_U (u_{BХ.1} - u_{BХ.2}).$$

Недостатком симметричного дифференциального каскада является отсутствие общей точки у источников входных сигналов и выходом усилителя. Этот недостаток устранен в схеме несимметричного дифференциального каскада (рис.5), у которого сигнал снимается с коллектора транзистора  $VT_2$ , при этом сопротивление в коллекторную цепь транзистора  $VT_1$  обычно не включают (рис.6).

Т.к. в режиме покоя напряжение на коллекторе транзистора  $VT_2$  существенно меньше нуля, для обеспечения выполнения условия:

$$u_{\text{вых.}} = 0 \text{ при } u_{BХ.1} = u_{BХ.2} = 0,$$



необходимо ввести в выходную цепь источник постоянного компенсирующего напряжения (рис.5), что снижает коэффициент усиления. В практических схемах для компенсации используется резистивный делитель напряжения (рис.6).

Цель работы: экспериментальное получение передаточных функций усилителей постоянного тока.

Необходимое оборудование:

- стенд «Усилитель постоянного тока»

*Схема стенда (см. рис.7) представляет собой двухкаскадный усилитель постоянного тока, входной каскад которого выполнен по схеме дифференциального каскада, а выходной – по схеме с ОЭ.*

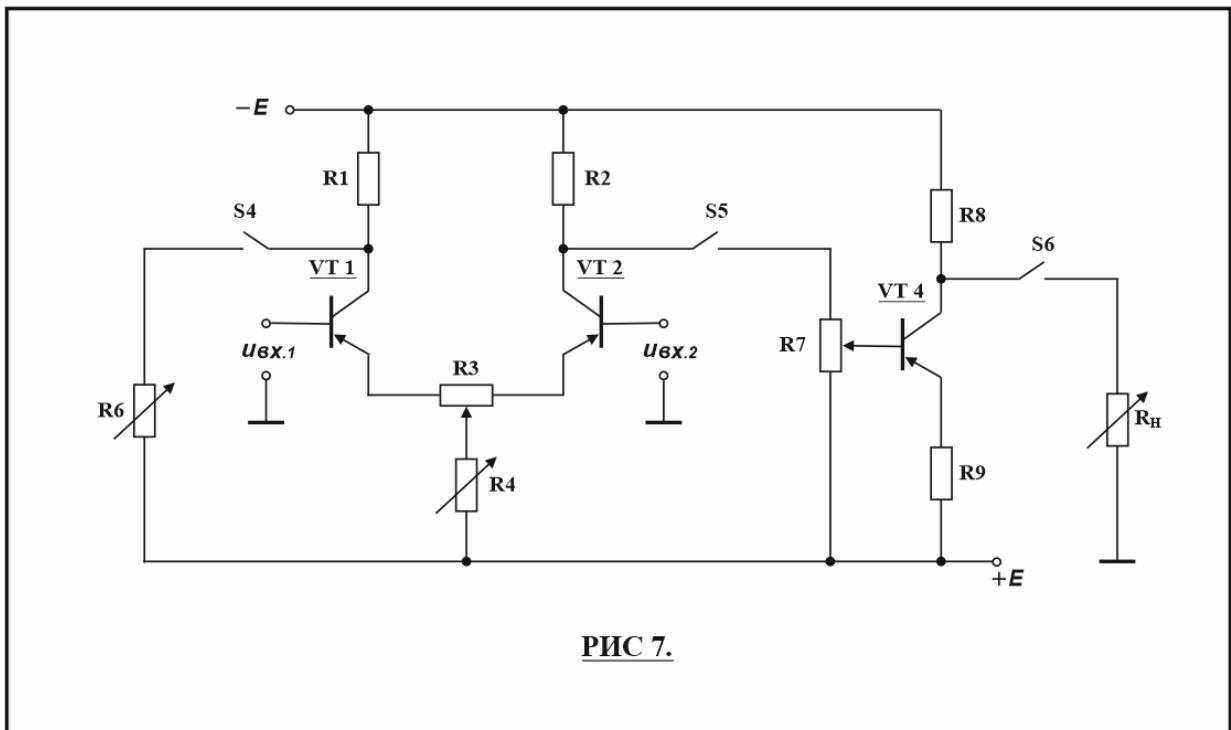


РИС 7.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{КП.1}[В]$	-2,0	-3,0	-2,0	-3,0	-2,0	-3,0	-2,0	-3,0
$U_{КП.2}[В]$	-9,0	-10,0	-11,0	-9,0	-10,0	-11,0	-10,0	-11,0
$U_{вх.2}^*[мВ]$	-60	-40	-20	+20	+40	+60	+40	-40
$U_{вх.1}^*[мВ]$	+20	+40	+60	-60	-40	-20	-20	+40
$R_{10}[\text{k}\Omega]$	0	5,0	10,0	0	5,0	10,0	0	10,0

### 1. Симметричный дифференциальный каскад.

1.1. Установить тумблеры:

$S_1$  и  $S_2$  – в положение « $\perp$ »;

$S_3$  – в положение « $R_4$ »;

$S_4$ ,  $S_5$  и  $S_6$  – в положение «выкл.».

1.2. Включить стенд. Установить напряжения источника питания  $E_{\Pi} = \pm 15[V]$ .

1.3. Потенциометром  $R_4$  установить напряжение в контрольной точке «1» (напряжение режима покоя коллектора транзистора  $VT_1$ ) равное заданному в таблице вариантов значению  $U_{КП.1}$ . Потенциометром  $R_3$  произвести балансировку схемы (добратьсяся нулевого значения напряжения между коллекторами транзисторов). Измерить напряжение в

контрольной точке «1», при необходимости откорректировать его значение потенциометром  $R_4$  и вновь произвести балансировку схемы.

1.4. Подключить прямой вход усилителя к источнику входного напряжения (тумблером  $S_1$ ). Изменять напряжение на прямом входе усилителя ( $u_1$ ) сначала от нуля до  $+200[mV]$ , затем от нуля до  $-200[mV]$ . Показания приборов (напряжение на входе и на выходе каскада) заносить в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

$u_1[mV]$	-200	-150	-100	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+100	+150	+200
$u_{\text{вых.1}}[V]$													

1.5. По данным таблицы 1.1 построить передаточную функцию усилителя  $u_{\text{вых.1}} = f(u_1)$  и определить по ней коэффициент усиления каскада  $K_U = \Delta U_{\text{вых.1}} / \Delta U_{\text{вх.1}}$ .

1.6. Потенциометром  $R_4$  установить напряжение в контрольной точке «1» равное заданному в таблице вариантов значению  $U_{\text{КП.2}}$ . Произвести балансировку схемы (см. п.1.3.) и повторить опыт (см. п.1.4.). Показания приборов заносить в таблицу 1.2., по ее данным построить передаточную функцию усилителя  $u_{\text{вых.2}} = f(u_1)$  и определить коэффициент усиления.

Таблица 1.2.

$u_1[mV]$	-200	-150	-100	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+100	+150	+200
$u_{\text{вых.2}}[V]$													

1.7. Потенциометром  $R_4$  установить напряжение в контрольной точке «1»  $U_{\text{КП.2}} = 7,5 [V]$ . Произвести балансировку схемы и повторить опыт. Показания приборов заносить в таблицу 1.3., по ее данным построить передаточную функцию усилителя  $u_{\text{вых.3}} = f(u_1)$  и определить коэффициент усиления.

Таблица 1.3.

$u_1[mV]$	-200	-150	-100	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+100	+150	+200
$u_{\text{вых.3}}[V]$													

1.8. Подключить инвертирующий вход усилителя к источнику входного напряжения (тумблером  $S_2$ ) и установить на нем напряжение равное заданному в таблице вариантов значению  $U_{\text{вх.2}}^*$ . Повторить опыт. Показания приборов заносить в таблицу 1.4., по ее данным построить передаточную функцию усилителя  $u_{\text{вых.4}} = f(u_1)$  и определить коэффициент усиления.

Таблица 1.4.

$u_1[mV]$	-200	-150	-100	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+100	+150	+200
$u_{\text{вых.4}}[V]$													

1.9. Установить на прямом входе напряжение равное заданному в таблице вариантов значению  $U_{\text{вх.1}}^*$ . Изменять напряжение на инвертирующем входе усилителя ( $u_2$ ) сначала от нуля до  $+200[mV]$ , затем от нуля до  $-200[mV]$ . Показания приборов заносить в таблицу 1.5., по ее данным построить передаточную функцию усилителя  $u_{\text{вых.5}} = f(u_2)$  и определить коэффициент усиления.

Таблица 1.5.

u <sub>2</sub> [mB]	-200	-150	-100	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+100	+150	+200
u <sub>вых.5</sub> [B]													

## 2. Двухкаскадный усилитель постоянного тока.

2.1. Установить тумблеры:

$S_1$  и  $S_2$  – в положение « $\perp$ »;

$S_3$  – в положение « $R_4$ »;

$S_4$ , и  $S_5$  – в положение «вкл».

$S_6$  – в положение «выкл».

2.2. Включить вольтметр на выход двухкаскадного усилителя (подключить его к контрольной точке «3»). Произвести балансировку схему потенциометрами  $R_7$  и  $R_6$ . Подключить прямой вход усилителя к источнику входного напряжения (тумблером  $S_1$ ). Изменять напряжение на прямом входе усилителя сначала от нуля до  $+200[mB]$ , затем от нуля до  $-200[mB]$ . Показания приборов заносить в таблицу 1.6., по ее данным построить передаточную функцию усилителя  $u_{вых.6} = f(u_1)$  и определить по ней коэффициент усиления каскада  $K_U = \Delta U_{вых.6} / \Delta U_{вх.}$ .

Таблица 1.6.

u <sub>1</sub> [mB]	-200	-150	-100	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+100	+150	+200
u <sub>вых.6</sub> [B]													

2.3. Включить тумблер  $S_6$ , установить потенциометр  $R_{10}$  в положение, указанное в таблице вариантов. Повторить опыт. Показания приборов заносить в таблицу 1.7., по ее данным построить передаточную функцию усилителя  $u_{вых.7} = f(u_1)$ .

Таблица 1.7.

u <sub>1</sub> [mB]	-200	-150	-100	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+100	+150	+200
u <sub>вых.7</sub> [B]													

## Содержание отчета.

13. Номер, название, цель работы.

14. Номер бригады и данные таблицы вариантов для своего варианта.

15. Схема (рис.7).

16. Таблицы и графики передаточных функций:

а)  $u_{вых.1} = f(u_1)$ ;  $u_{вых.2} = f(u_1)$ ;  $u_{вых.3} = f(u_1)$ .

б)  $u_{вых.3} = f(u_1)$ ;  $u_{вых.34} = f(u_1)$ ;  $u_{вых.5} = f(u_2)$ .

в)  $u_{вых.6} = f(u_1)$ ;  $u_{вых.7} = f(u_1)$ .

Комплект оценочных заданий №14 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

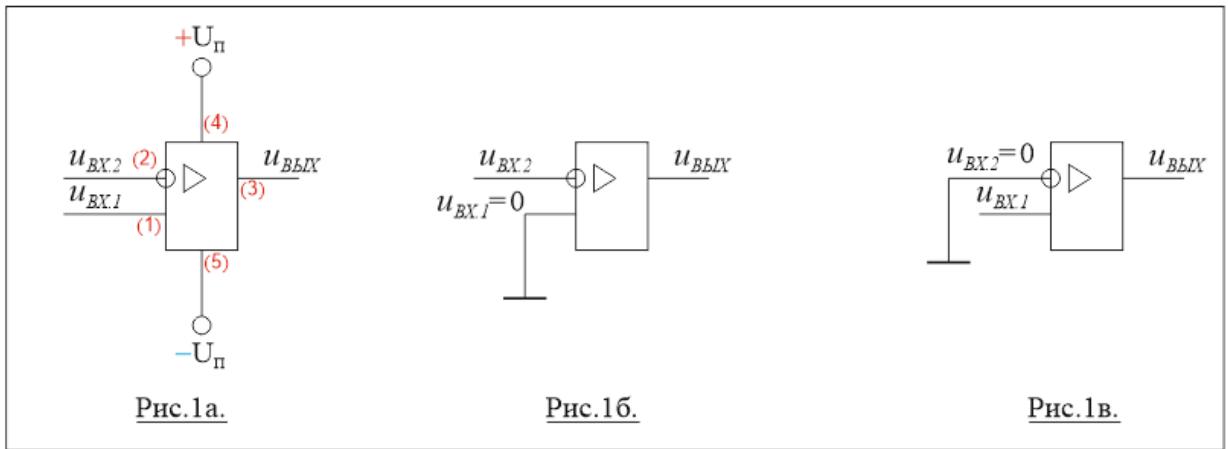
Название: Лабораторная работа №14. Исследование операционного усилителя.

## **«ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ»**

### **Теоретические сведения.**

Идеальный операционный усилитель (ОУ) – это усилитель, имеющий бесконечно большой коэффициент усиления по напряжению ( $K_U = \infty$ ), бесконечно большое входное сопротивление ( $R_{вх.} = \infty$ ) и равное нулю выходное сопротивление ( $R_{вых.} = 0$ ).

Обозначение ОУ на схемах приведено на рис.1а. Усилитель имеет два входа (прямой (1) и инвертирующий (2)) и выход (3). Выводы (4) и (5), предназначенные для подключения ОУ к источникам питания обычно на схемах не показывают.



Напряжение на выходе усилителя:

$$u_{BYIX.} = K_U (u_{BX.1} - u_{BX.2}) \quad (1a)$$

где:  $u_{BX,1}$  – напряжение на прямом входе ОУ,

$u_{BX.2}$  – напряжение на инвертирующем входе ОУ.

При подключении общей точки источников питания, потенциал которой принимается равным нулю, к прямому входу ОУ (рис.1б):

$$u_{BIX.} = -K_U u_{BX.2} \quad (16)$$

При подключении этой точки к инвертирующему входу ОУ (рис.1в):

$$u_{B\bar{B}IX.} = + K_U u_{BX.I} \quad (16)$$

В настоящее время операционные усилители выпускаются в виде интегральных микросхем (ИМС) и представляют собой, как правило, трехкаскадные усилители постоянного тока (УПТ). Входной каскад выполняется по схеме симметричного дифференциального каскада (ДК), в качестве второго часто применяется несимметричный ДК, выходным каскадом является эмиттерный повторитель. Высокое качество таких усилителей (коэффициент усиления – десятки тысяч, входное сопротивление – сотни тысяч Ом, выходное – десятки или даже единицы Ом) часто позволяет при рассмотрении созданных с их использованием электронных схем считать эти усилители идеальными ОУ.

Максимально возможное напряжение на выходе ОУ (напряжение насыщения)  $U_{MAX}$  составляет  $90 \div 95\%$  от напряжения источника питания  $U_P$ . (для исследуемых в лабораторной работе ОУ 140УД6  $U_P = \pm 15[B]$ ). Для того чтобы ОУ работал в режиме линейного усиления, его выходное напряжение по модулю должно быть меньше, чем  $U_{MAX}$ . У идеального ОУ для выполнения этого условия разность входных напряжений должна быть бесконечно мала, что следует из формул (1а), (1б), (1в) при  $K_U = \infty$ , а у реальных ОУ эта разность не должна превосходить величину  $U_{MAX}/K_U$  (единицы или доли милливольт, в зависимости от значения  $K_U$  данной микросхемы).

На базе ОУ выполняются схемы как для линейных преобразований входных сигналов (умножение на константу, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование), так и для реализации импульсных устройств (компараторов, мультивибраторов, одновибраторов, логических устройств).

## 1. Компаратор на ОУ.

Т.к. у идеального ОУ  $K_U = \infty$ , то из формулы (1а) следует, что:

$u_{BIX} = + U_{MAX}$  при  $u_{BX.1} > u_{BX.2}$

$u_{\text{вых.}} = -U_{\text{MAX.}}$  при  $u_{BX.1} < u_{BX.2}$

Следовательно, схема, представленная на рис.1а является схемой для сравнения двух напряжений (компаратором), а схемы на рис.1б и на рис.1в представляют собой компараторы для сравнения напряжения с нулем.

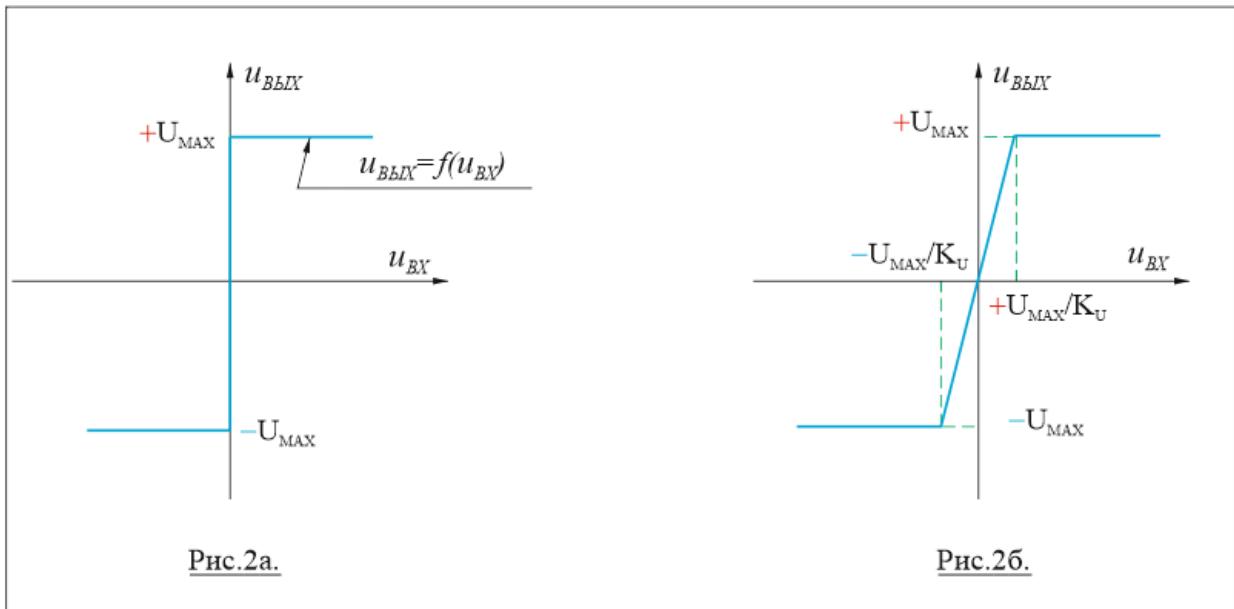


Рис.2а.

Рис.2б.

Передаточная функция ( $U_{\text{VYX}} = f(u_{\text{BX}})$ ) компаратора выполненного по схеме рис.1в на базе идеального ОУ представлена на рис.2а. Передаточная функция компаратора, выполненного по той же схеме на базе реального ОУ, (рис.2б) имеет участок линейного усиления. На интервале ( $-U_{\text{MAX}}/K_U < u_{\text{BX},2} < +U_{\text{MAX}}/K_U$ ) выходное напряжение  $U_{\text{VYX}} = K_U u_{\text{BX}}$ , но величина этого интервала, как уже указывалось, не превосходит нескольких милливольт.

Часто применяется схема компаратора с положительной обратной связью (ПОС), которая называется триггером Шмидта или пороговым элементом (рис.3а). Для получения ПОС выходное напряжение через делитель на резисторах  $R_1$  и  $R_2$  подается на прямой вход ОУ, в результате напряжение на прямом входе:

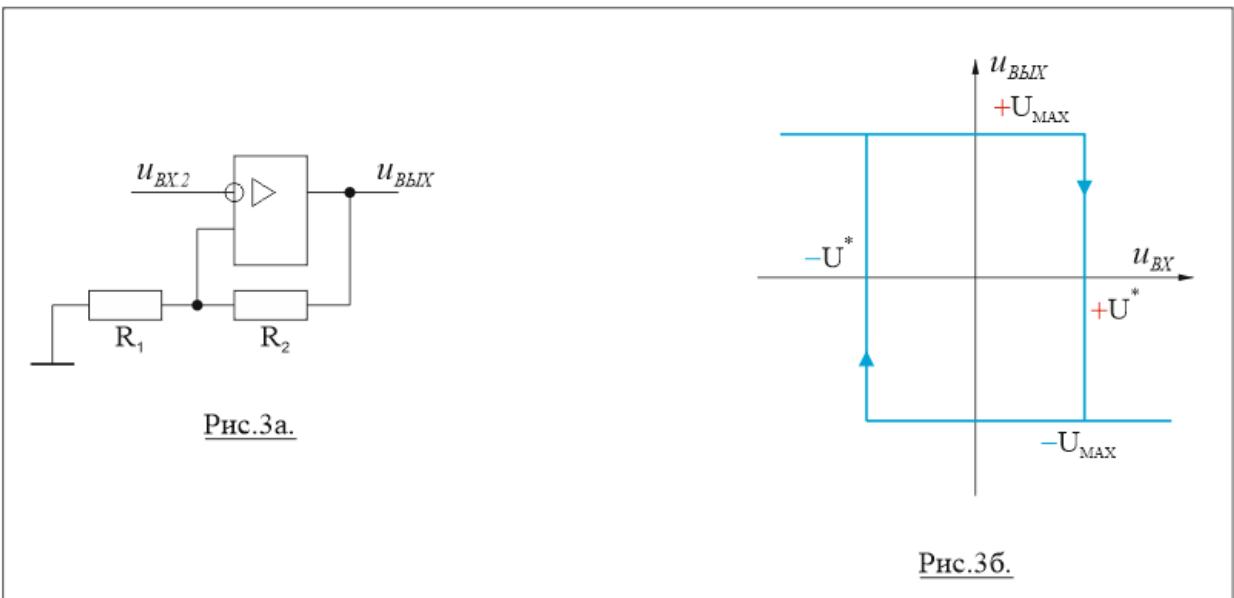
$$u_{\text{BX},1} = -U_{\text{MAX}} R_1 / (R_1 + R_2) = -U^* \quad \text{при } u_{\text{VYX}} = -U_{\text{MAX}}. \quad (2a)$$

$$u_{\text{BX},1} = +U_{\text{MAX}} R_1 / (R_1 + R_2) = +U^* \quad \text{при } u_{\text{VYX}} = +U_{\text{MAX}}. \quad (2b)$$

Т. о. наличие ПОС приводит к тому, что:

- переключение компаратора с напряжения  $u_{\text{VYX}} = +U_{\text{MAX}}$  на  $u_{\text{VYX}} = -U_{\text{MAX}}$  происходит при  $u_{\text{BX},2} = +U^*$ .
- переключение компаратора с напряжения  $u_{\text{VYX}} = -U_{\text{MAX}}$  на  $u_{\text{VYX}} = +U_{\text{MAX}}$  происходит при  $u_{\text{BX},2} = -U^*$ .
- процесс переключения ускоряется и носит лавинообразный характер.

Передаточная функция триггера Шмидта представлена на рис.3б. Ширина гистерезисной петли, равная  $2U^*$  регулируется выбором сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ .



## 2. Инвертирующий усилитель на ОУ.

Для обеспечения работы ОУ в режиме линейного усиления необходимо ввести отрицательную обратную связь (ООС), т.е. подать напряжение с выхода ОУ на его инвертирующий вход через резистор  $R_{OC}$ . В схеме инвертирующего усилителя входное напряжение через резистор  $R_{BX}$  подается на инвертирующий вход усилителя, а прямой вход ОУ подключается к общей точке источников питания, следовательно,  $u_{BX,1} = 0$  (рис.4).

Т.к. входное сопротивление идеального ОУ  $R_{BX} = \infty$ , то  $i_{BX} = -i_{OC}$ . (для реального ОУ это уравнение выполняется с достаточно высокой точностью, т.к. его входное сопротивление очень велико). Поскольку ОУ работает в линейном режиме, то напряжения на его входах одинаковы (для идеального ОУ  $u_{BX,2} = u_{BX,1} = 0$ , а у реального ОУ отличие  $u_{BX,2}$  от нуля не превосходит величину  $U_{MAX} / K_U$  (так называемый «виртуальный нуль»)). Следовательно:

$$i_{BX} = u_{BX} / R_{BX} ;$$

$$i_{OC} = u_{BYX} / R_{OC} \quad \text{откуда:}$$

$$u_{BX} / R_{BX} = - u_{BYX} / R_{OC} \quad \text{и}$$

$$u_{BYX} = - (R_{OC} / R_{BX}) u_{BX}$$

Т.о. инвертирующий усилитель изменяет знак входного напряжения (инвертирует) и умножает его на коэффициент:

$$K = R_{OC} / R_{BX} , \quad (3)$$

независящий от коэффициента усиления самого ОУ  $K_U$ .

## 3. Инвертирующий сумматор на ОУ.

Схема инвертирующего сумматора выполнена на базе схемы инвертирующего усилителя (рис.5).

Как и в схеме инвертирующего усилителя напряжения на выходах ОУ равны нулю:

$$u_{BX,2} = u_{BX,1} = 0.$$

Следовательно:

$$i_1 + i_2 + i_3 = - i_{OC}$$

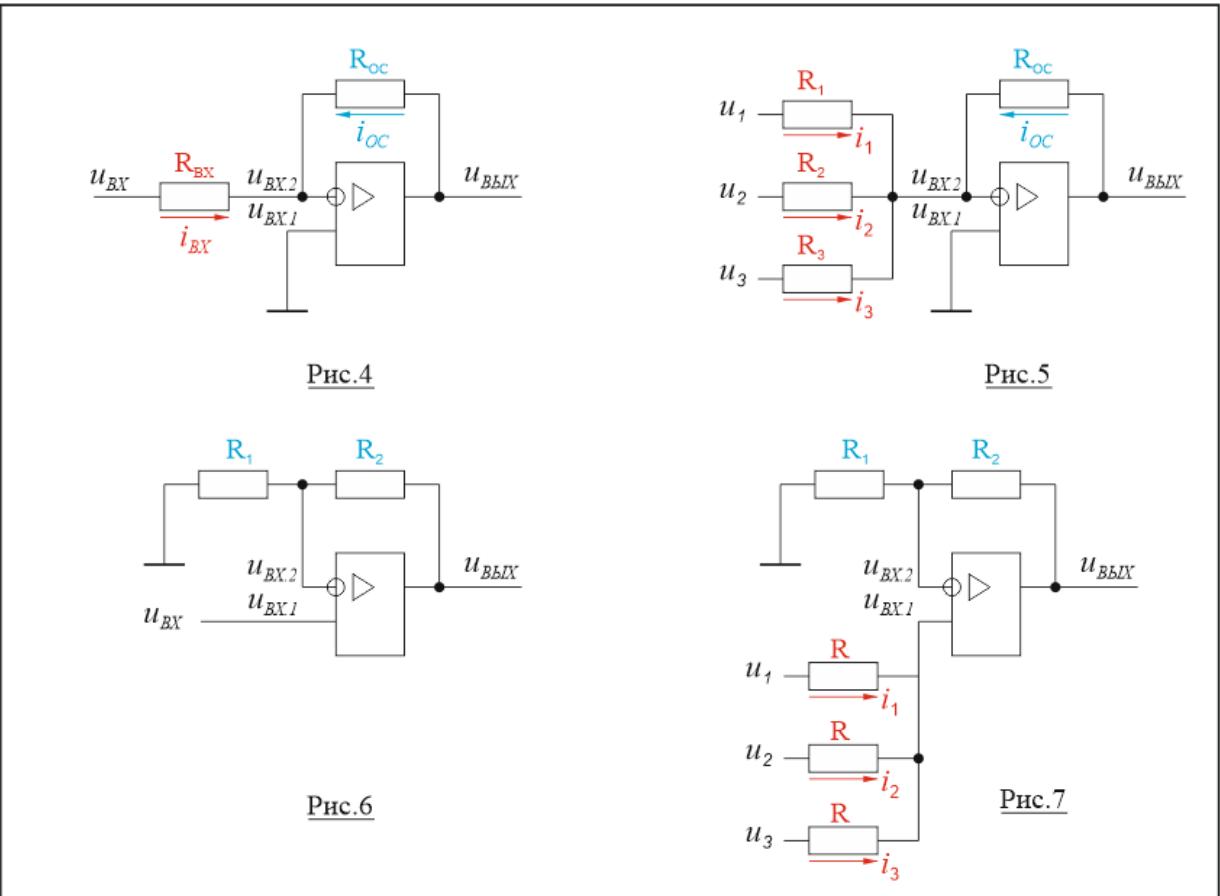
$$u_1 / R_1 + u_2 / R_2 + u_3 / R_3 = - u_{BYX} / R_{OC} \quad \text{и}$$

$$u_{BYX} = - (R_{OC} / R_1) u_1 - (R_{OC} / R_2) u_2 - (R_{OC} / R_3) u_3 \quad (4)$$

А если  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ , то:

$$u_{BYX} = - (R_{OC} / R) (u_1 + u_2 + u_3)$$

Т. о. выходное напряжение пропорционально сумме входных напряжений.



#### 4. Неинвертирующий усилитель на ОУ.

В схеме неинвертирующего усилителя входное напряжение подается на прямой вход операционного усилителя, а ОСС обеспечивается подачей выходного напряжения на инвертирующий вход через делитель напряжения на резисторах  $R_1$  и  $R_2$  (рис.6).

В результате напряжение на инвертирующем входе:

$$u_{BX.2} = [R_1 / (R_1 + R_2)] u_{B_{VYX}}$$

Т.к. ОУ работает в линейном режиме, то напряжения на его входах одинаковы и:

$$u_{BX} = u_{BX.1} = u_{BX.2} = [R_1 / (R_1 + R_2)] u_{B_{VYX}}, \text{ откуда:}$$

$$u_{B_{VYX}} = [(R_1 + R_2) / R_1] u_{BX}$$

Т.о. неинвертирующий усилитель умножает входное напряжение на коэффициент  $K = [(R_1 + R_2) / R_1]$ , (5)

независящий от коэффициента усиления самого ОУ  $K_U$ .

#### 5. Неинвертирующий сумматор на ОУ.

Схема неинвертирующего сумматора выполнена на базе схемы неинвертирующего усилителя (рис.7).

Как и в схеме неинвертирующего усилителя напряжения на выходах ОУ одинаковы:

$$u_{BX.2} = u_{BX.1} = [R_1 / (R_1 + R_2)] u_{B_{VYX}}, \text{ а т.к.}$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0, \text{ то:}$$

$$(u_1 - u_{BX.1}) / R + (u_2 - u_{BX.1}) / R + (u_3 - u_{BX.1}) / R = 0, \text{ откуда:}$$

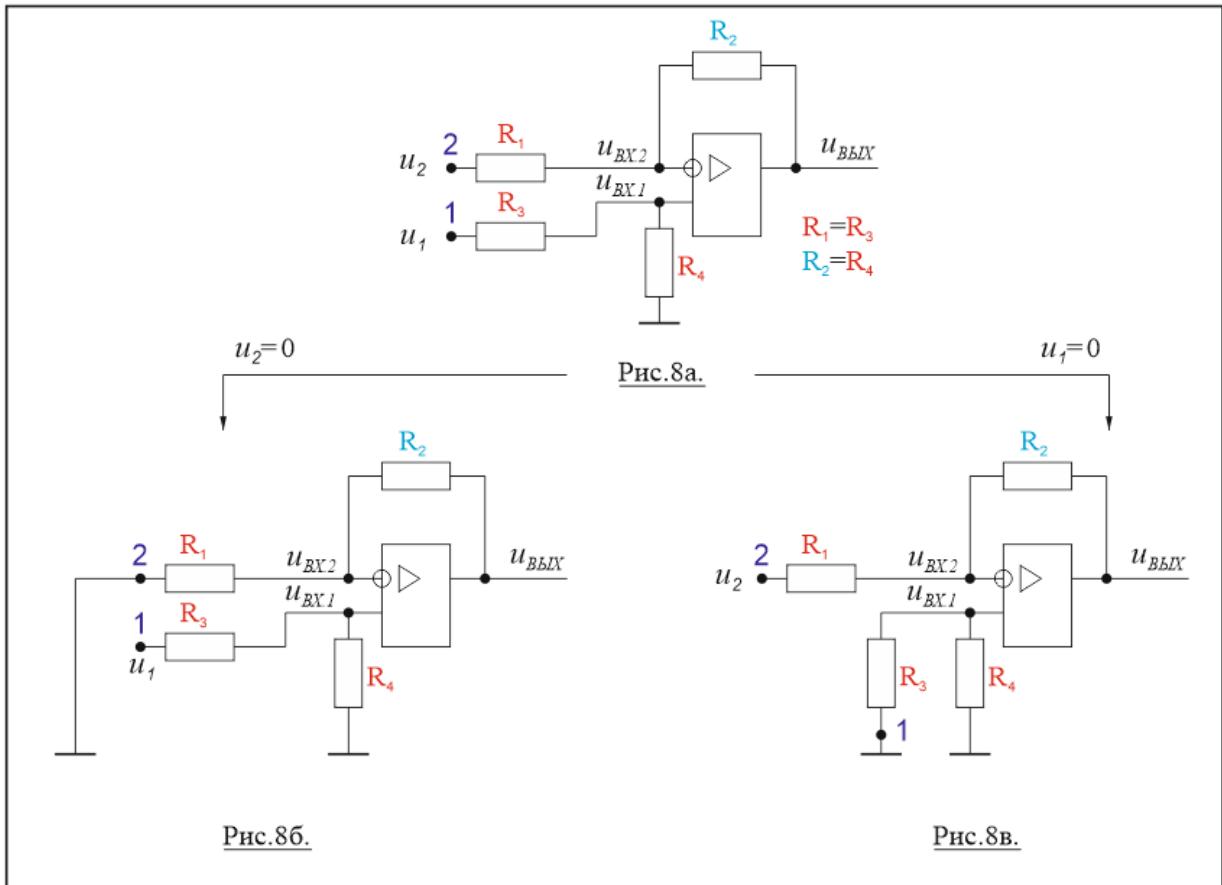
$$u_1 + u_2 + u_3 = 3u_{BX.1} = 3[R_1 / (R_1 + R_2)] u_{B_{VYX}} \text{ и}$$

$$u_{B_{VYX}} = [(R_1 + R_2) / R_1] [(u_1 + u_2 + u_3) / 3] \quad (6)$$

Т. о. выходное напряжение пропорционально сумме входных напряжений, но, в отличие от инвертирующего сумматора, зависит от числа входов  $n$  (в рассмотренном случае  $n = 3$ ).

## 6. Вычитатель на ОУ.

Схема вычитателя представлена на рис.8а. Определим выходное напряжение методом суперпозиции (наложения):



1. Положим  $u_2 = 0$  и подключим точку «2» к нулю (замкнем источник напряжения  $u_2$ ) и рассчитаем выходное напряжение  $u_{\text{Вых1}}$  от действия напряжения  $u_1$ . В результате получим схему неинвертирующего усилителя (рис.8б), причем напряжение на прямом входе ОУ:

$$u_{\text{ВХ1}} = u_1 [R_4 / (R_3 + R_4)]$$

Выходное напряжение неинвертирующего усилителя определяется по формуле:

$$u_{\text{Вых1}} = [(R_1 + R_2) / R_1] u_{\text{ВХ1}}, \text{ следовательно:}$$

$$u_{\text{Вых1}} = [(R_1 + R_2) / R_1] [R_4 / (R_3 + R_4)] u_1 \text{ или, с учетом } R_1 = R_3, R_2 = R_4$$

$$u_{\text{Вых1}} = (R_2 / R_1) u_1$$

2. Положим  $u_1 = 0$  и подключим точку «1» к нулю (замкнем источник напряжения  $u_1$ ) и рассчитаем выходное напряжение  $u_{\text{Вых2}}$  от действия напряжения  $u_2$ . В результате получим схему инвертирующего усилителя (рис.8в), выходное напряжение которого:

$$u_{\text{Вых2}} = - (R_2 / R_1) u_2$$

3. Выходное напряжение для схемы вычитателя определим как алгебраическую сумму выходных напряжений, рассчитанных в п.1 и п.2.

$$u_{\text{Вых}} = u_{\text{Вых1}} + u_{\text{Вых2}} = (R_2 / R_1)(u_1 - u_2) \quad (7)$$

Цель работы: экспериментальное получение передаточных функций компараторов и усилителей, экспериментальная проверка работы операционных устройств, выполненных на операционных усилителях.

Необходимое оборудование:

- стенд «Операционный усилитель».

Стенд состоит из исследуемого операционного усилителя, источников входных напряжений, измерительных приборов, магазинов сопротивлений и предусматривает возможность получения схем всех рассмотренных в разделе «теоретические сведения» электронных устройств.

Стенд содержит:

- три источника регулируемого постоянного напряжения
- пять источников периодических синхронизированных сигналов:
- $u_{<1>}(t)$  – напряжение, имеющее форму прямоугольных импульсов с регулируемой амплитудой.
- $u_{<2>}(t)$ ;  $u_{<3>}(t)$ ;  $u_{<4>}(t)$ ;  $u_{<5>}(t)$  – линейно изменяющиеся напряжения, с регулируемым максимальным значением.
- осциллограф двухлучевой С1 - 55.

Измерение периодических сигналов осциллографом С1 – 55.

10. Включить осциллограф и дать ему прогреться в течение трех минут.
11. Потенциометры «усиление» обоих лучей и потенциометр «длительность» установить в крайнее правое положение.
12. Переключатели « $\approx \leftrightarrow \equiv$ » обоих лучей установить в положение « $\equiv$ »; переключатель « $\times 1 \leftrightarrow \times 0,2$ » в положение « $\times 1$ ».
13. Переключателями [Вольт/дел] выбрать масштабы по напряжению таким образом, чтобы амплитуда исследуемого сигнала соответствовала приблизительно половине размера экрана осциллографа по вертикали (в лабораторной работе рекомендуется пользоваться масштабами 1[В/дел] или 2[В/дел]).
14. Переключателем «длительность» выбрать масштаб времени таким образом, чтобы период повторения сигнала был несколько меньше, чем время развертки (в лабораторной работе рекомендуется пользоваться масштабами 1[мс/дел] или 2[мс/дел]).
15. Подключить входы осциллографа к точке « $\perp$ », потенциометрами « $\uparrow$ » установить лучи на линии горизонтальной разметки экрана осциллографа.
16. Переключатель «синхронизация» установить в положение «внутр.1», если амплитуда сигнала, подаваемого на первый вход, больше, чем амплитуда сигнала, подаваемого на второй, или «внутр.2» в противном случае.
17. Подключить входы осциллографа к источникам измеряемых сигналов, потенциометрами «стаб.» и «синхронизация» добиться устойчивой картины на экране осциллографа.
18. Потенциометрами « $\leftrightarrow$ » «грубо» и «плавно» установить лучи в удобное для измерений положение.

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.**

1. Компаратор без ПОС.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_1^*$	0	- 2,0	0	+ 3,0	0	- 1,0	0	+ 1,5
$U_2^*$	+ 2,0	0	- 3,0	0	+ 1,0	0	- 1,5	0

- 1.1. Собрать схему компаратора без ПОС (рис.9). Для сборки схем использовать тумблеры, галетные переключатели, соединительные провода. Установить  $R_1 = R_4 = 100[\text{k}\Omega]$ .
- 1.2. Установить на инвертирующем входе ОУ напряжение  $u_2 = U_2^*$  (значение  $U_2^*$  взять из таблицы вариантов).
- 1.3. Изменять напряжение на прямом входе ОУ ( $u_1$ ) сначала от - 5[В] до +5[В], затем от +5[В] до - 5[В]. Показания приборов заносить в таблицу 1.1

Таблица 1.1

$u_1$ [В]	— 5	-----	$U_2^*$	$U_2^*$	-----	+	-----	$U_2^*$	$U_2^*$	-----	— 5
$u_4$ [В]											

1.4. По данным таблицы 1.1 построить передаточную функцию компаратора  $u_4 = f(u_1)$

1.5. Установить на прямом входе ОУ напряжение  $u_1 = U_1^*$  (значение  $U_1^*$  взять из таблицы вариантов).

1.6. Изменять напряжение на инвертирующем входе ОУ ( $u_2$ ) сначала от  $-5$ [В] до  $+5$ [В], затем от  $+5$ [В] до  $-5$ [В]. Показания приборов заносить в таблицу 1.2.

Таблица 1.2.

$u_2$ [В]	— 5	-----	$U_1^*$	$U_1^*$	-----	+	-----	$U_1^*$	$U_1^*$	-----	— 5
$u_4$ [В]											

1.7. По данным таблицы 1.2 построить передаточную функцию компаратора  $u_4 = f(u_2)$ .

## 2. Компаратор с ПОС.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$R_4$ [кОм]	100	100	300	100	100	100	300	100
$R_5$ [кОм]	$\infty$	100	300	$\infty$	100	$\infty$	300	100
$R_8$ [кОм]	400	400	400	500	500	300	500	300

2.1. Собрать схему компаратора с ПОС (рис.10). Установить  $R_1 = 100$ [кОм].

2.2. Используя формулы (2а) и (2б) рассчитать напряжения переключения компаратора  $U^*$ . (значение  $U_{MAX}$  взять из п.1). Результат занести в отчет.

2.3. Изменять напряжение на инвертирующем входе ОУ ( $u_2$ ) сначала от  $-5$ [В] до  $+5$ [В], затем от  $+5$ [В] до  $-5$ [В]. Показания приборов заносить в таблицу 2.

Таблица 2.

$u_2$ [В]	— 5	-----	+	$U^*$	+	-----	+	-----	— $U^*$	— $U^*$	-----	— 5
$u_4$ [В]												

2.4. По данным таблицы 2 построить передаточную функцию компаратора  $u_4 = f(u_2)$ .

## 3. Инвертирующий усилитель.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_1$	1,0	1,5	1,33	1,67	1,25	0,75	1,0	1,5
$K_2$	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0

3.1. Собрать схему инвертирующего усилителя (рис.11). Установить сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_7$  обеспечивающие заданный в таблице вариантов коэффициент усиления  $K_1$ . (см. формулу (3)).

3.2. Изменять напряжение на инвертирующем входе ОУ ( $u_2$ ) от  $-5$ [В] до  $+5$ [В]. Показания приборов заносить в таблицу 3.

Таблица 3.

$K_1 =$	$R_1 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_2$ [В]	$-5$	-----	0	-----	$+5$
$\underline{\quad}$	$R_7 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_4$ [В]					
$K_2 =$	$R_1 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_2$ [В]	$-5$		0		$+5$
$\underline{\quad}$	$R_7 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_4$ [В]					

3.3. Установить сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_7$  обеспечивающие заданный в таблице вариант коэффициент усиления  $K_2$ . Повторить опыт.

3.4. По данным таблицы 3 построить передаточные функции усилителя  $u_4 = f(u_2)$ .

#### 4. Неинвертирующий усилитель.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_3$	1,0	1,5	1,33	1,67	1,25	1,75	1,25	1,5
$K_4$	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	4,0

4.1. Собрать схему неинвертирующего усилителя (рис.12). Установить сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_7$  обеспечивающие заданный в таблице вариант коэффициент усиления  $K_3$ . (см. формулу (5)).

4.2. Изменять напряжение на прямом входе ОУ ( $u_1$ ) от  $-5$ [В] до  $+5$ [В]. Показания приборов заносить в таблицу 4.

Таблица 4.

$K_3 =$	$R_1 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_1$ [В]	$-5$	-----	0	-----	$+5$
$\underline{\quad}$	$R_7 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_4$ [В]					
$K_4 =$	$R_1 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_1$ [В]	$-5$		0		$+5$
$\underline{\quad}$	$R_7 = \underline{\quad}$ [кОм]	$u_4$ [В]					

4.3. Установить сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_7$  обеспечивающие заданный в таблице вариант коэффициент усиления  $K_4$ . Повторить опыт.

4.4. По данным таблицы 4 построить передаточные функции усилителя  $u_4 = f(u_1)$ .

#### 5. Инвертирующий сумматор.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$R_1$ [кОм]	100	400	100	200	200	100	400	400
$R_2$ [кОм]	200	100	200	100	100	200	100	200
$R_3$ [кОм]	300	400	300	300	300	300	400	300
$R_7$ [кОм]	400	500	200	300	500	500	300	500
Рис.16	(а)	(а)	(б)	(б)	(в)	(в)	(г)	(г)
$a$ [В]	4,0	8,0	2,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0
$b$ [В]	2,0	6,0	4,0	6,0	6,0	8,0	0	1,0
$c$ [В]	0	4,0	1,0	0	8,0	6,0	5,0	4,0

5.1. Собрать схему инвертирующего сумматора (рис.13а). Установить сопротивления резисторов  $R_1; R_2; R_3; R_7$  в соответствии с данными таблицы вариантов. Установить напряжения на входах сумматора:  $u_1 = 1[B]; u_2 = -2[B]; u_3 = 3[B]$ . Измерить напряжение на выходе сумматора  $u_{4\text{изм}}$ . Используя формулу (4) вычислить напряжение на выходе сумматора  $u_{4\text{выч}}$ . Результаты занести в таблицу 5.

5.2. Включить тумблер «периодические сигналы». Один из входов осциллографа включить на измерение напряжения  $u_{\langle 1 \rangle}(t)$ . Установить амплитуду прямоугольных импульсов  $U_{\langle 1 \rangle} = 2[B]$ . Включать второй вход осциллографа последовательно на измерение напряжений  $u_{\langle 2 \rangle}(t); u_{\langle 3 \rangle}(t); u_{\langle 4 \rangle}(t); u_{\langle 5 \rangle}(t)$ ; установить максимальные значения линейно изменяющихся напряжений  $U_{\langle 2 \rangle_m} = U_{\langle 3 \rangle_m} = U_{\langle 4 \rangle_m} = U_{\langle 5 \rangle_m} = 2[B]$ . Начертить осциллограммы напряжений  $u_{\langle 1 \rangle}(t); u_{\langle 2 \rangle}(t); u_{\langle 3 \rangle}(t); u_{\langle 4 \rangle}(t); u_{\langle 5 \rangle}(t)$ .

5.3. Выбрать входные периодические сигналы  $u_1(t); u_2(t); u_3(t)$  и сопротивления резисторов  $R_1; R_2; R_3; R_7$  необходимые для получения на выходе сумматора напряжения, форма которого задана на рис.16а ÷ 16г (рисунок выбрать в соответствии с данными таблицы вариантов).

5.4. Собрать схему инвертирующего сумматора (рис.13б). Включить осциллограф на измерение выходного напряжения сумматора, начертить полученную осциллограмму и определить по ней параметры выходного сигнала. Сопротивления выбранных резисторов, номера входных сигналов, результаты измерений занести в таблицу 5.

Таблица 5.

п.5.1.		п.5.4.									
u <sub>4изм.</sub>	u <sub>4выч.</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>7</sub>	u <sub>1(t)</sub>	u <sub>2(t)</sub>	u <sub>3(t)</sub>	a	b	c
[В]	[В]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	-	-	-	[В]	[В]	[В]
						u <sub>⟨⟩(t)</sub>	u <sub>⟨⟩(t)</sub>	u <sub>⟨⟩(t)</sub>			

#### 6. Неинвертирующий сумматор.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
K	2	2	2	2	1	1	1	1
u <sub>1[B]</sub>	+ 3,0	- 3,0	- 1,0	+ 4,0	+ 3,0	+ 4,0	+ 2,0	- 1,0
u <sub>2[B]</sub>	- 2,0	- 4,0	+ 2,0	+ 3,0	+ 4,0	- 1,0	+ 1,0	- 4,0
u <sub>3[B]</sub>	- 4,0	+ 2,0	- 4,0	- 2,0	- 1,0	+ 4,0	+ 4,0	- 4,0
u <sub>1(t)</sub>	u <sub>⟨1⟩(t)</sub>							
u <sub>2(t)</sub>	u <sub>⟨2⟩(t)</sub>	u <sub>⟨2⟩(t)</sub>	u <sub>⟨3⟩(t)</sub>	u <sub>⟨4⟩(t)</sub>	u <sub>⟨2⟩(t)</sub>	u <sub>⟨2⟩(t)</sub>	u <sub>⟨3⟩(t)</sub>	u <sub>⟨4⟩(t)</sub>
u <sub>3(t)</sub>	u <sub>⟨3⟩(t)</sub>	u <sub>⟨4⟩(t)</sub>	u <sub>⟨5⟩(t)</sub>	u <sub>⟨5⟩(t)</sub>	u <sub>⟨3⟩(t)</sub>	u <sub>⟨4⟩(t)</sub>	u <sub>⟨5⟩(t)</sub>	u <sub>⟨5⟩(t)</sub>

6.1. Собрать схему неинвертирующего сумматора (рис.14а). Установить сопротивления резисторов  $R_4 = R_5 = R_6 = 200[\text{kOм}]$ . Выбрать сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_7$  таким образом, чтобы напряжение на выходе сумматора определялось по формуле  $u_4 = K(u_1 + u_2 + u_3)$  (см. формулу (6)). Значение  $K$  задано в таблице вариантов. Установить заданные в таблице вариантов напряжения на входах сумматора ( $u_1; u_2; u_3$ ). Измерить напряжение на выходе сумматора  $u_{4\text{изм}}$ . Вычислить напряжение на выходе сумматора  $u_{4\text{выч}}$ . Результаты вычислений и измерений занести в таблицу 6.

6.2. Собрать схему неинвертирующего сумматора (рис.14б). Подать на входы сумматора указанные в таблице вариантов периодические сигналы. Включить тумблер «периодические сигналы». Начертить осциллограммы напряжений  $u_1(t); u_2(t); u_3(t); u_4(t)$ . Сопротивления резисторов и номера входных сигналов занести в таблицу 6.

Таблица 6.

п.6.1.		п.6.					п.6.2.		
u <sub>4изм.</sub>	u <sub>4выч.</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	u <sub>1(t)</sub>	u <sub>2(t)</sub>	u <sub>3(t)</sub>

[B]	[B]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	-	-	-
							$u_{\ll\ll}(t)$	$u_{\ll\ll}(t)$	$u_{\ll\ll}(t)$

### 7. Вычитатель.

Таблица вариантов.

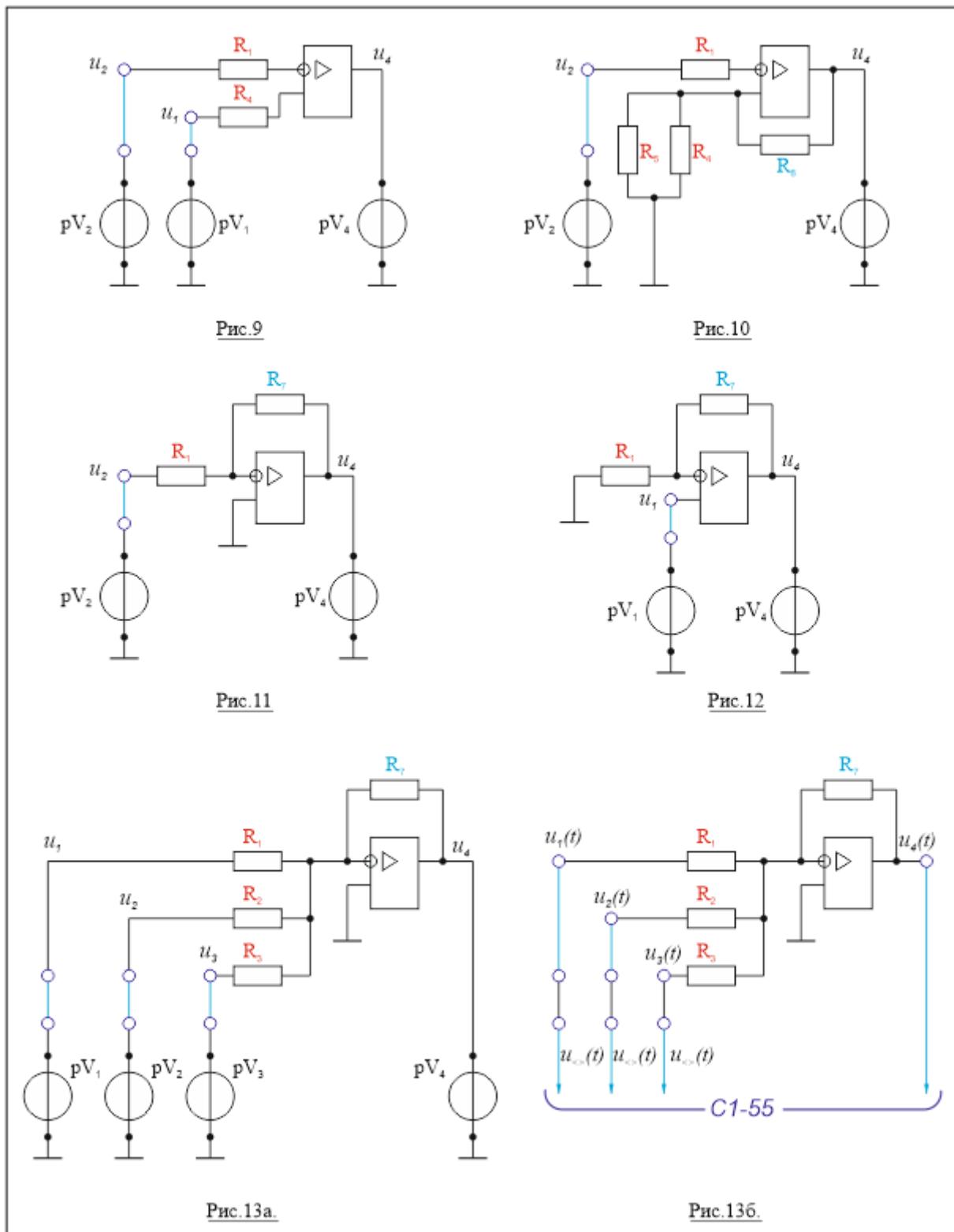
Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
K	3	2	3	4	3	4	1	3
$u_1[B]$	+ 4,0	- 2,0	+ 3,0	- 3,0	+ 4,0	- 1,0	+ 4,0	- 1,0
$u_2[B]$	+ 2,0	+ 3,0	- 1,0	- 1,0	+ 1,0	+ 2,0	- 3,0	- 4,0
$u_1(t)$	$u_{\ll\ll}(t)$							
$u_2(t)$	$u_{\ll\ll}(t)$							

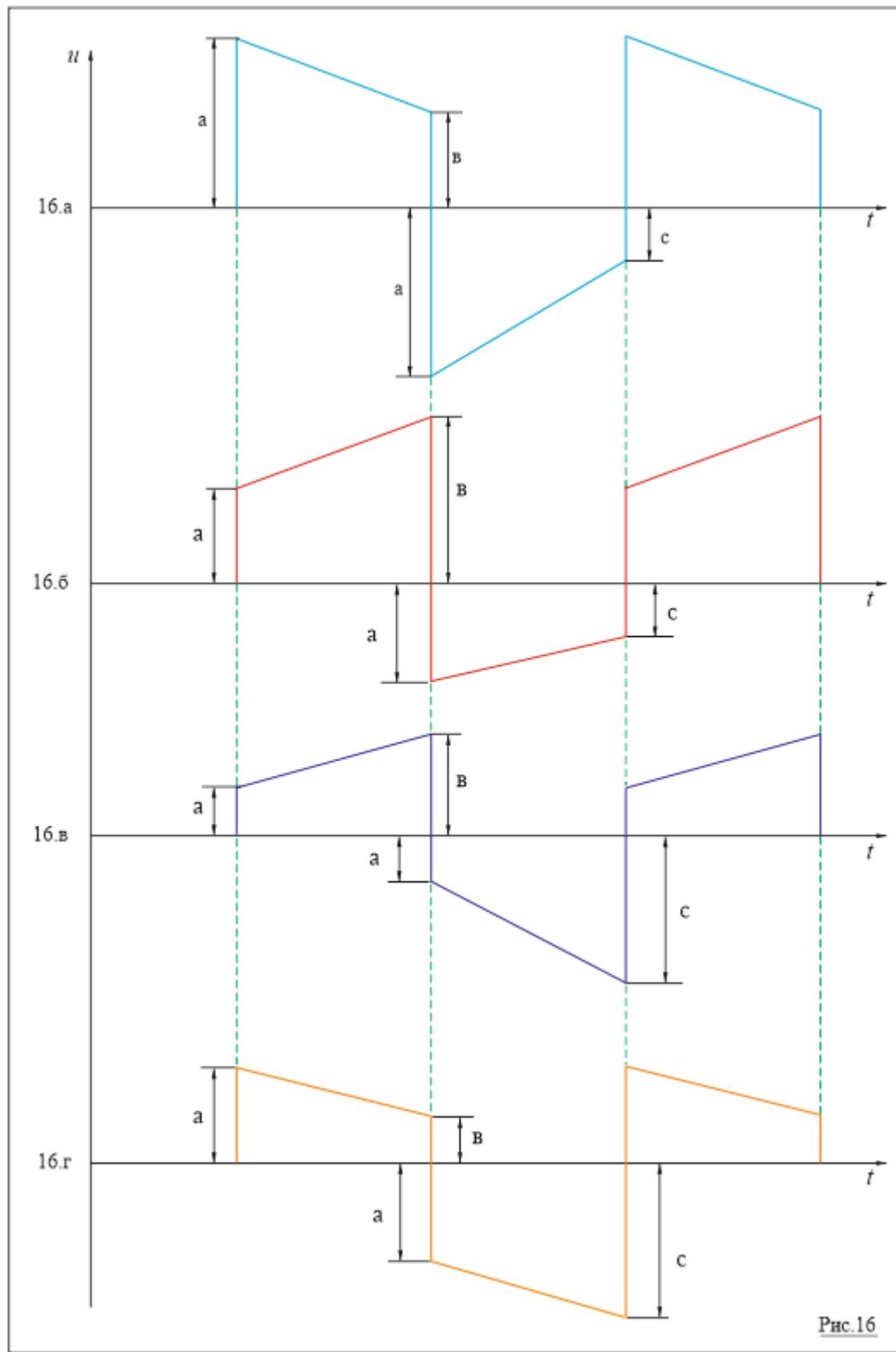
7.1. Собрать схему вычитателя (рис.15а). Выбрать сопротивления резисторов  $R_1 = R_4$  и  $R_5 = R_7$  таким образом, чтобы напряжение на выходе сумматора определялось по формуле  $u_4 = K(u_1 - u_2)$  (см. формулу (7)). Значение  $K$  задано в таблицу вариантов. Установить заданные в таблице вариантов напряжения на входах вычитателя ( $u_1$  и  $u_2$ ). Измерить напряжение на выходе вычитателя  $u_{4\text{изм}}$ . Вычислить напряжение на выходе вычитателя  $u_{4\text{выч}}$ . Результаты вычислений и измерений занести в таблицу 7.

7.2. Собрать схему вычитателя (рис.15б). Подать на входы сумматора указанные в таблице вариантов периодические сигналы. Включить тумблер «периодические сигналы». Начертить осциллограммы напряжений  $u_1(t)$ ;  $u_2(t)$ ;  $u_4(t)$ . Сопротивления резисторов и номера входных сигналов занести в таблицу 6.

Таблица 7.

п.7.1.		п.п.7.1 ; 7.2				п.7.2.	
$u_{4\text{изм.}}$	$u_{4\text{выч.}}$	$R_1$	$R_4$	$R_5$	$R_7$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
[B]	[B]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	-	-
						$u_{\ll\ll}(t)$	$u_{\ll\ll}(t)$





#### Содержание отчета.

17. Номер, название, цель работы.
18. Номер бригады и данные таблиц вариантов для своего варианта.
19. Схемы исследованных устройств.
20. Расчетные формулы и вычисления.
21. Таблицы и графики передаточных функций.
22. Временные диаграммы (осциллограммы) напряжений.

Комплект оценочных заданий №15 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №15. Генераторы периодических сигналов на ОУ.

## «ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ»

Теоретические сведения.

Идеальный операционный усилитель (ОУ) – это усилитель, имеющий бесконечно большой коэффициент усиления по напряжению ( $K_U = \infty$ ), бесконечно большое входное сопротивление ( $R_{BX} = \infty$ ) и равное нулю выходное сопротивление ( $R_{VYX} = 0$ ).

Обозначение ОУ на схемах приведено на рис.1а. Усилитель имеет два входа (прямой (1) и инвертирующий (2)) и выход (3). Выводы (4) и (5), предназначенные для подключения ОУ к источникам питания обычно на схемах не показывают.

Напряжение на выходе усилителя:

$$u_{VYX} = K_U (u_{BX,1} - u_{BX,2}) \quad (1a)$$

где:  $u_{BX,1}$  – напряжение на прямом входе ОУ,

$u_{BX,2}$  – напряжение на инвертирующем входе ОУ.

При подключении общей точки источников питания, потенциал которой принимается равным нулю, к прямому входу ОУ (рис.1б):

$$u_{VYX} = -K_U u_{BX,2} \quad (1b)$$

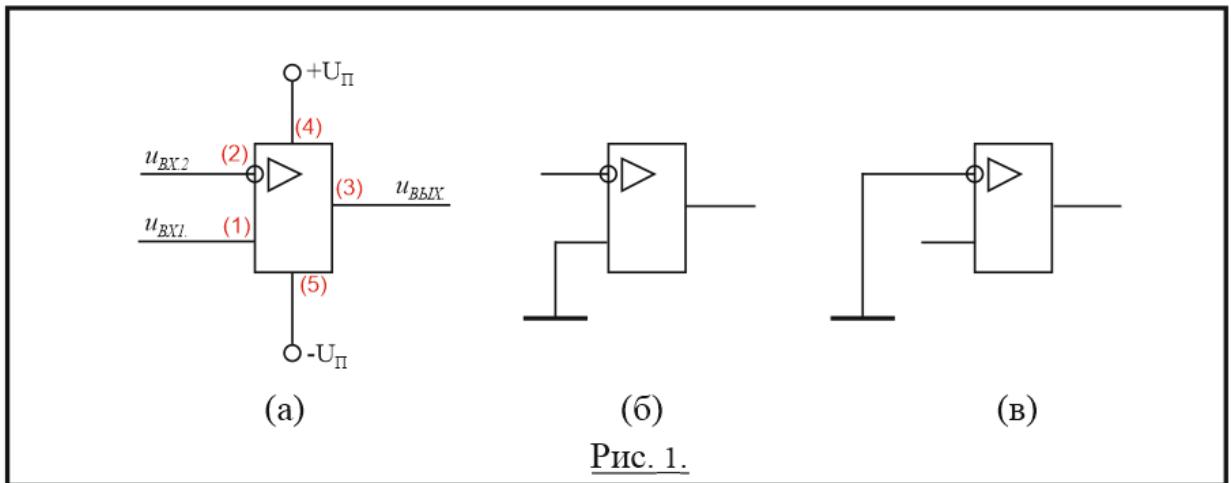
При подключении этой точки к инвертирующему входу ОУ (рис.1в):

$$u_{VYX} = +K_U u_{BX,1} \quad (1b)$$

В настоящее время операционные усилители выпускаются в виде интегральных микросхем (ИМС) и представляют собой, как правило, трехкаскадные усилители постоянного тока (УПТ). Входной каскад выполняется по схеме симметричного дифференциального каскада (ДК), в качестве второго часто применяется несимметричный ДК, выходным каскадом является эмиттерный повторитель. Высокое качество таких усилителей (коэффициент усиления – десятки тысяч, входное сопротивление – сотни тысяч Ом, выходное – десятки или даже единицы Ом) часто позволяет при рассмотрении созданных с их использованием электронных схем считать эти усилители идеальными ОУ.

Максимально возможное напряжение на выходе ОУ (напряжение насыщения)  $U_{MAX}$  составляет  $90 \div 95\%$  от напряжения источника питания  $U_P$ . (для исследуемых в лабораторной работе ОУ 140УД6  $U_P = \pm 15/V$ ). Для того чтобы ОУ работал в режиме линейного усиления, его выходное напряжение по модулю должно быть меньше, чем  $U_{MAX}$ . У идеального ОУ для выполнения этого условия разность входных напряжений должна быть бесконечно мала, что следует из формул (1а), (1б), (1в) при  $K_U = \infty$ , а у реальных ОУ эта разность не должна превосходить величину  $U_{MAX}/K_U$  (единицы или доли милливольт, в зависимости от значения  $K_U$  данной микросхемы).

На базе ОУ выполняются схемы как для линейных преобразований входных сигналов (умножение на константу, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование), так и для реализации импульсных устройств (компараторов, мультивибраторов, одновибраторов, логических устройств).



7. Компаратор на ОУ.

Т.к. у идеального ОУ  $K_U = \infty$ , то из формулы (1а) следует, что:

$u_{BBLX} = + U_{MAX}$ . при  $u_{BX1} > u_{BX2}$

$u_{BBLX} = - U_{MAX}$ . при  $u_{BX1} < u_{BX2}$

Следовательно, схема, представленная на рис.1а является схемой для сравнения двух напряжений (компаратором), а схемы на рис.1б и на рис.1в представляют собой компараторы для сравнения напряжения с нулем.

В лабораторной работе компаратор выполнен на ОУ DA3 (рис.10), на прямой вход которого подается напряжение  $u_4(t)$  пилообразной формы, а на инвертирующий – постоянное напряжение  $u_5$ , величину которого можно изменять с помощью делителя напряжения, собранного на резисторах  $R_7$  и  $R_8$ . Временные диаграммы, поясняющие работу схемы, представлены на рис.2.

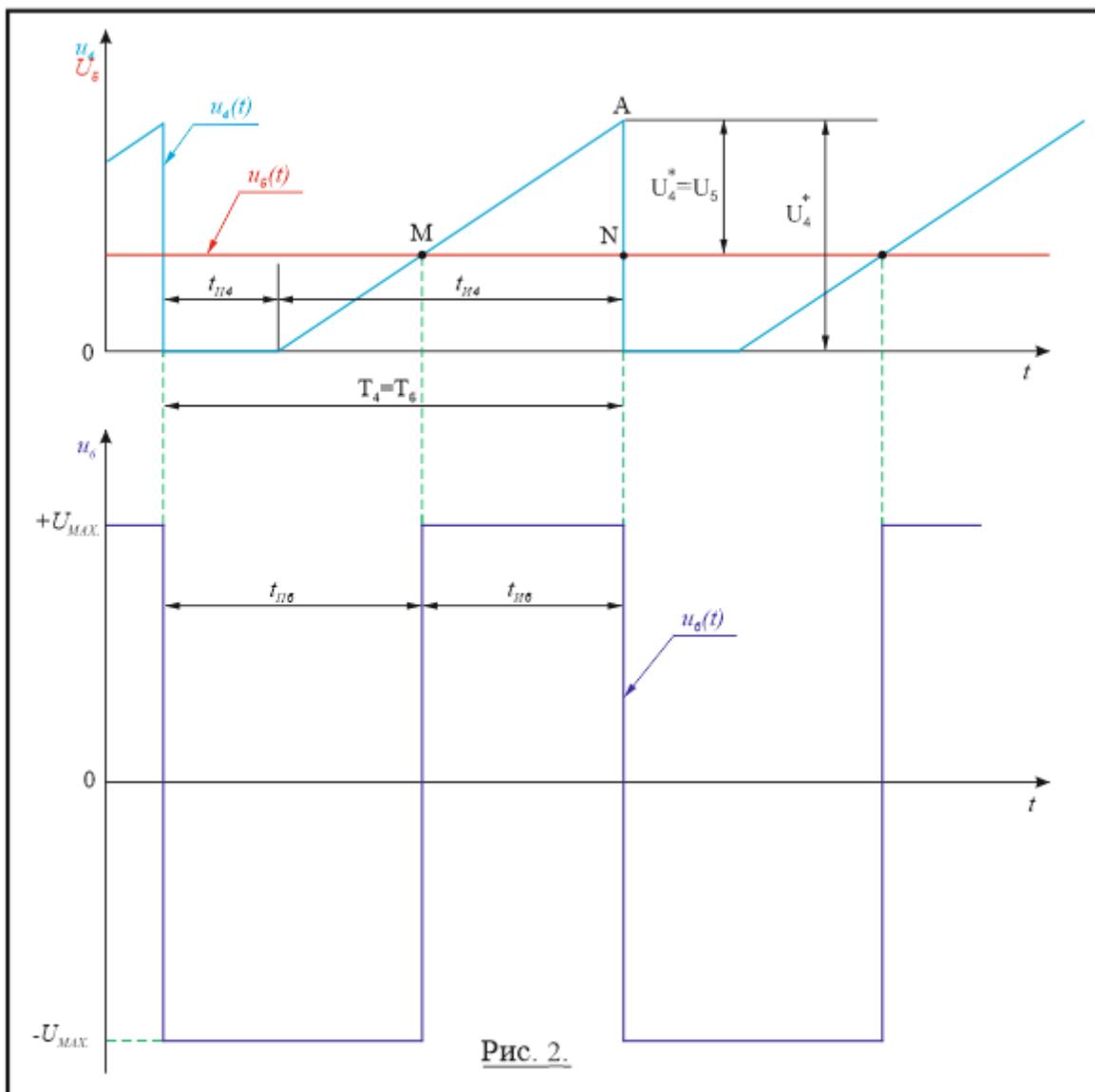


Рис. 2.

Напряжение  $u_4(t)$  на прямом входе ОУ характеризуется следующими параметрами:

- время импульса  $t_{i4}$  - время, в течение которого напряжение линейно растет,
- время паузы  $t_{p4}$  - время, в течение которого напряжение сохраняет нулевое значение,
- период повторяемости ( $T_4 = t_{i4} + t_{p4}$ ),
- максимальное значение напряжения  $U^{*4}$ .

Напряжение на выходе компаратора  $u_6(t)$  при заданных входных напряжениях имеет вид периодически повторяющихся импульсов прямоугольной формы и характеризуется следующими параметрами:

- время импульса  $t_{i6}$  - время, в течение которого напряжение сохраняет положительное значение),
- время паузы  $t_{p6}$  - время, в течение которого напряжение сохраняет отрицательное значение),
- период повторяемости ( $T_6 = t_{i6} + t_{p6}$ ).

скважность импульсов ( $Q_6 = t_{i6} / (t_{i6} + t_{p6}) = t_{i6} / T$ ).

Регулируя значение напряжения на инвертирующем входе  $u_5$  можно изменять скважность импульсов, сохраняя при этом период повторяемости неизменным.

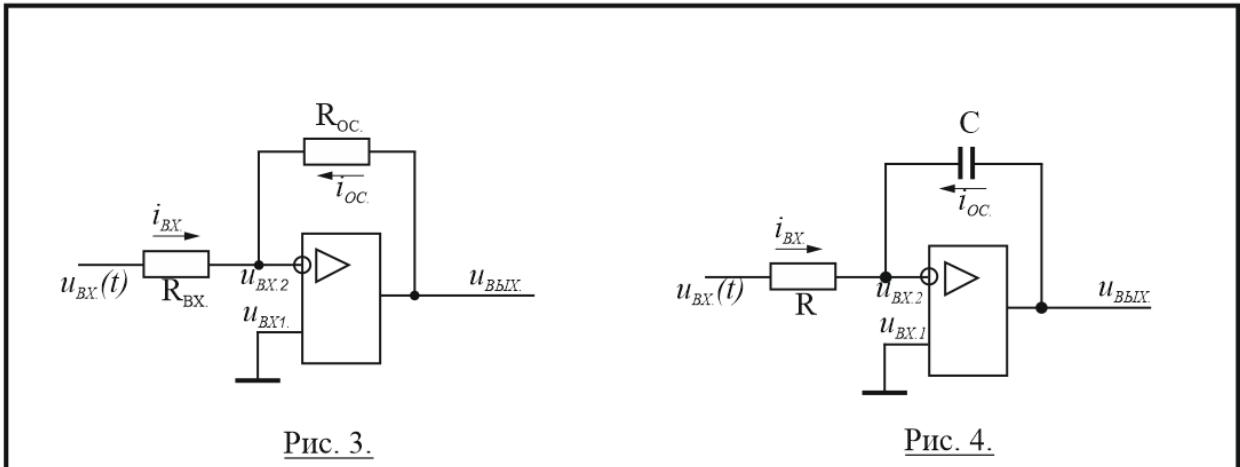
Значение  $U_5$ , обеспечивающее заданную скважность  $Q_6$  можно получить из условия:

$$U^{*4} / t_{i4} = (U^{*4} - U_5) / T_4 Q_6 \quad (2)$$

(это условие следует из подобия треугольников ABC и AMN (см. рис.2) с учетом  $t_{i6} = T_4 Q_6$ )

Сопротивление резистора  $R_7$ , необходимое для получения нужного значения  $U_5$  определяется из условия:

$$U_5 = U_{\Pi} R_7 / (R_7 + R_8) \quad (3)$$



### 8. Инвертирующий усилитель на ОУ.

Для обеспечения работы ОУ в режиме линейного усиления необходимо ввести отрицательную обратную связь (ООС), т.е. подать напряжение с выхода ОУ на его инвертирующий вход через резистор  $R_{OC}$ . В схеме инвертирующего усилителя входное напряжение через резистор  $R_{BX}$  подается на инвертирующий вход усилителя, а прямой вход ОУ подключается к общей точке источников питания, следовательно,  $u_{BX,1} = 0$  (рис.3).

Т.к. входное сопротивление идеального ОУ  $R_{BX} = \infty$ , то  $i_{BX} = -i_{OC}$ . (для реального ОУ это уравнение выполняется с достаточно высокой точностью, т.к. его входное сопротивление очень велико). Поскольку ОУ работает в линейном режиме, то напряжения на его входах одинаковы (для идеального ОУ  $u_{BX,2} = u_{BX,1} = 0$ , а у реального ОУ отличие  $u_{BX,2}$  от нуля не превосходит величину  $U_{MAX} / K_U$  (так называемый «виртуальный нуль»)). Следовательно:

$$i_{BX} = u_{BX} / R_{BX};$$

$$i_{OC} = u_{VYX} / R_{OC} \quad \text{откуда:}$$

$$u_{BX} / R_{BX} = - u_{VYX} / R_{OC} \quad \text{и}$$

$$u_{VYX} = - (R_{OC} / R_{BX}) u_{BX}.$$

Т.о. инвертирующий усилитель изменяет знак входного напряжения (инвертирует) и умножает его на коэффициент  $K = R_{OC} / R_{BX}$ , независящий от коэффициента усиления самого ОУ  $K_U$ .

*В лабораторной работе инвертирующий усилитель, собранный на ОУ DA7 и резисторах  $R_{18} = R_{19}$ , служит для инвертирования входного напряжения.*

### 9. Интегратор на ОУ.

Схема интегратора получается заменой резистора в цепи обратной связи инвертирующего усилителя на конденсатор (рис.4). Тогда, как и в инвертирующем усилителе:

$$i_{BX} = -i_{OC};$$

$$i_{BX} = u_{BX} / R, \quad a$$

$$i_{OC} = C (du_{VYX} / dt), \quad \text{следовательно:}$$

$$u_{BX} / R = - C (du_{VYX} / dt) \quad \text{откуда:}$$

$$du_{VYX} = - (1 / RC) u_{BX} dt \quad u$$

$t$

$$u_{\text{вых.}} = u_{\text{вых.}}(0) - (1/RC) \int_0^t u_{\text{вх.}} dt,$$

а если в начальный момент времени выходное напряжение ОУ равно нулю, то:

$$u_{\text{вых.}} = -(1/RC) \int_0^t u_{\text{вх.}} dt$$

В лабораторной работе интегрирование напряжения  $u_3$ , представляющего собой импульсы прямоугольной формы, осуществляется на ОУ DA2 (рис.10). Временные диаграммы, поясняющие работу схемы, представлены на рис.5.

С момента времени  $t_1$  до момента  $t_2$  (в интервале  $t_{13}$ ) входное напряжение  $u_3 = + U_{\text{MAX.}}$ , транзистор  $VT_1$  открыт и находится в насыщении. Сопротивление между электродами находящегося в насыщении транзистора очень мало, поэтому, на рассматриваемом интервале времени, выход ОУ замкнут с инвертирующим входом, потенциал которого равен нулю. Следовательно, напряжение на выходе ОУ  $u_4$  также равно нулю. В момент времени  $t_2$  входное напряжение принимает значение  $u_3 = - U_{\text{MAX.}}$ , транзистор закрывается и до момента  $t_3$  (в интервале  $t_{23}$ ) происходит интегрирование входного сигнала:

$$u_4(t) = -(1/R_5 C_2) \int_0^t u_3(t) dt = + (1/R_5 C_2) \int_0^t U_{\text{MAX.}} dt = (U_{\text{MAX.}} / R_5 C_2) t$$

Т. о. выходное напряжение  $u_4$  линейно возрастает и в момент времени  $t_3$  достигает значения:

$$U^*_{\text{4}} = (U_{\text{MAX.}} / R_5 C_2) t_{13}. \quad (4)$$

В момент  $t_3$  входное напряжение принимает значение  $u_3 = + U_{\text{MAX.}}$ , конденсатор  $C_2$  почти мгновенно разряжается через открывшийся транзистор  $VT_1$  и напряжение на выходе ОУ становится равным нулю. Рассмотренная схема является одним из возможных вариантов схемы генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН).

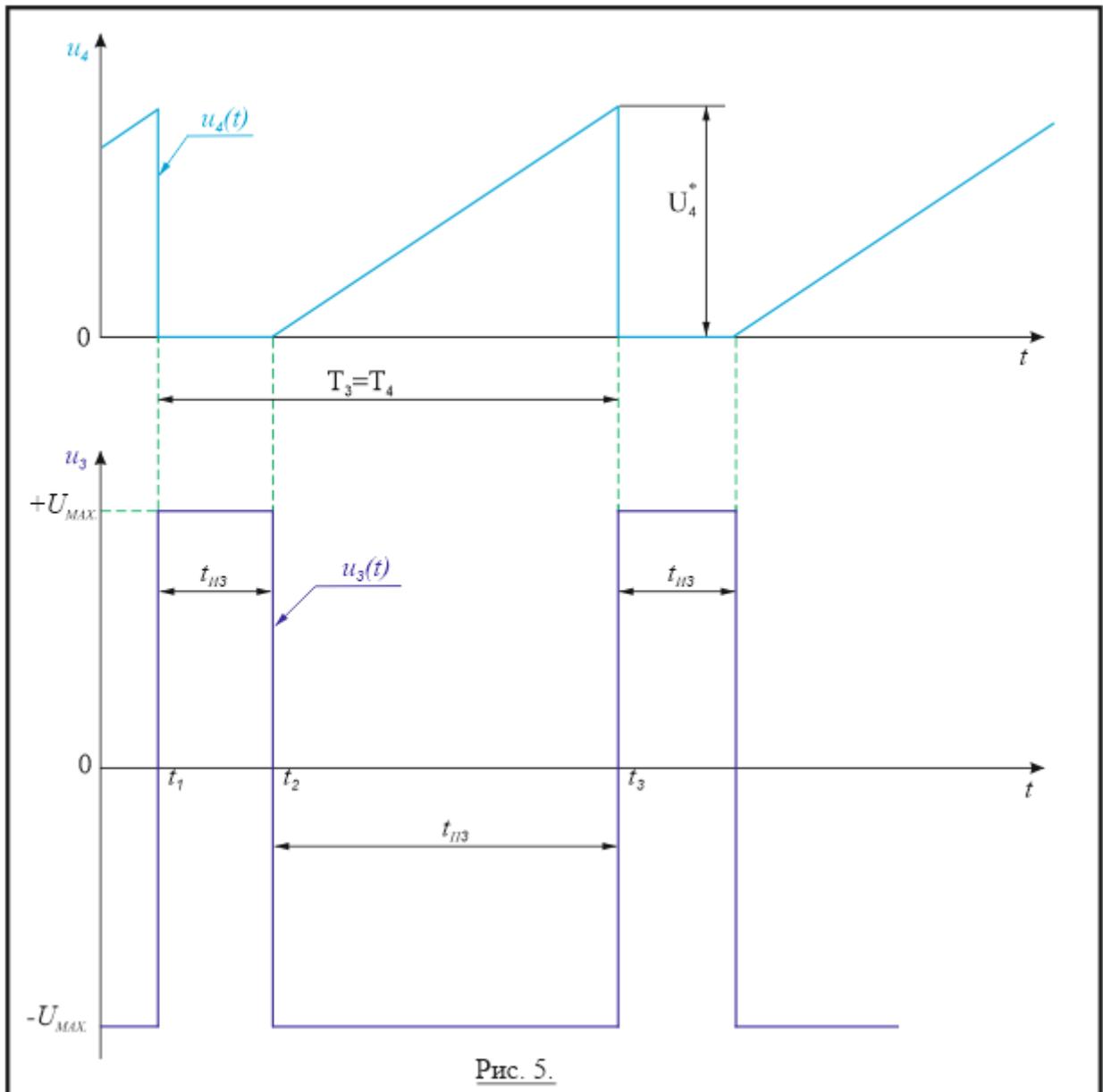


Рис. 5.

## 10. Мультивибратор на ОУ.

Мультивибратор – это генератор периодически повторяющихся импульсов прямоугольной формы, который работает без подачи входных сигналов, т.е. является автогенератором.

Схема простейшего мультивибратора представлена на рис.6, а временные диаграммы, поясняющие его работу – на рис.7.

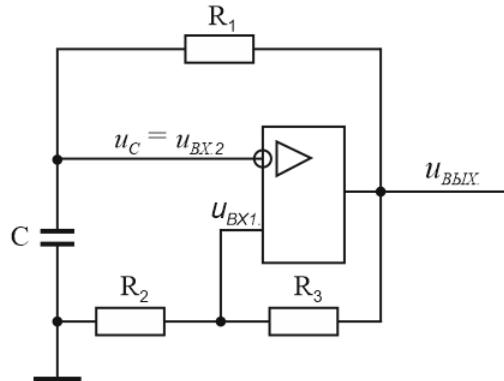


Рис. 6.

При подключении схемы к источникам питания в момент времени  $t_1$  (конденсатор  $C$  в этот момент разряжен и напряжение на инвертирующем входе ОУ равно нулю), выходное напряжение ОУ случайным образом несколько отклоняется от нуля. Допустим, что это отклонение произошло в положительном направлении. В этом случае на прямом входе ОУ мгновенно возникнет небольшое положительное напряжение (через делитель напряжения, выполненным на резисторах  $R_2$  и  $R_3$ ), а напряжение на инвертирующем входе, равное напряжению на конденсаторе, мгновенно измениться не может. Положительное напряжение на прямом входе усиливается, поэтому выходное напряжение растет, что, в свою очередь, приводит к возрастанию напряжения на прямом входе ОУ (явление положительной обратной связи (ПОС)). Процесс развивается лавинообразно и на выходе ОУ скачком устанавливается напряжение  $u_{VYX} = +U_{MAX}$ , а на прямом входе:

Одновременно начинается процесс заряда конденсатора через резистор  $R_1$ , который описывается дифференциальным уравнением:

$$R_1 C \frac{du_C}{dt} + u_C = U_{MAX}. \quad (u_C = u_{BX.2})$$

Это уравнение следует из:

$$u_{R_i} + u_{C_i} = U_{MAX_i}$$

$$u_{R_1} = iR_1 = R_1 C \frac{du_C}{dt}$$

и его решением при нулевых начальных условиях является функция:

$$\mu_c(t) \equiv U_{\max}(1 - e^{-t/R_1 C})$$

В момент времени  $t_2$  напряжение на конденсаторе достигает величины  $+U_1$ , что приводит к переключению компаратора. В результате на выходе ОУ скачком устанавливается напряжение  $u_{\text{вых.}} = -U_{\text{MAX.}}$ , на прямом входе  $u_{\text{ВХ1.}} = -U_1$  и начинается процесс заряда конденсатора на отрицательное напряжение. Этот процесс проходит по той же цепи (через  $R_1$ ) и описывается дифференциальным уравнением:

$$R_1 C \frac{du_C}{dt} + u_C = -U_{MAX},$$

решением которого, при начальных условиях  $u_C(0) = +U_1$ , является функция:

$$u_c(t) \equiv (U_{\max} + U_1)e^{-t/R_1 C} - U_{\max}$$

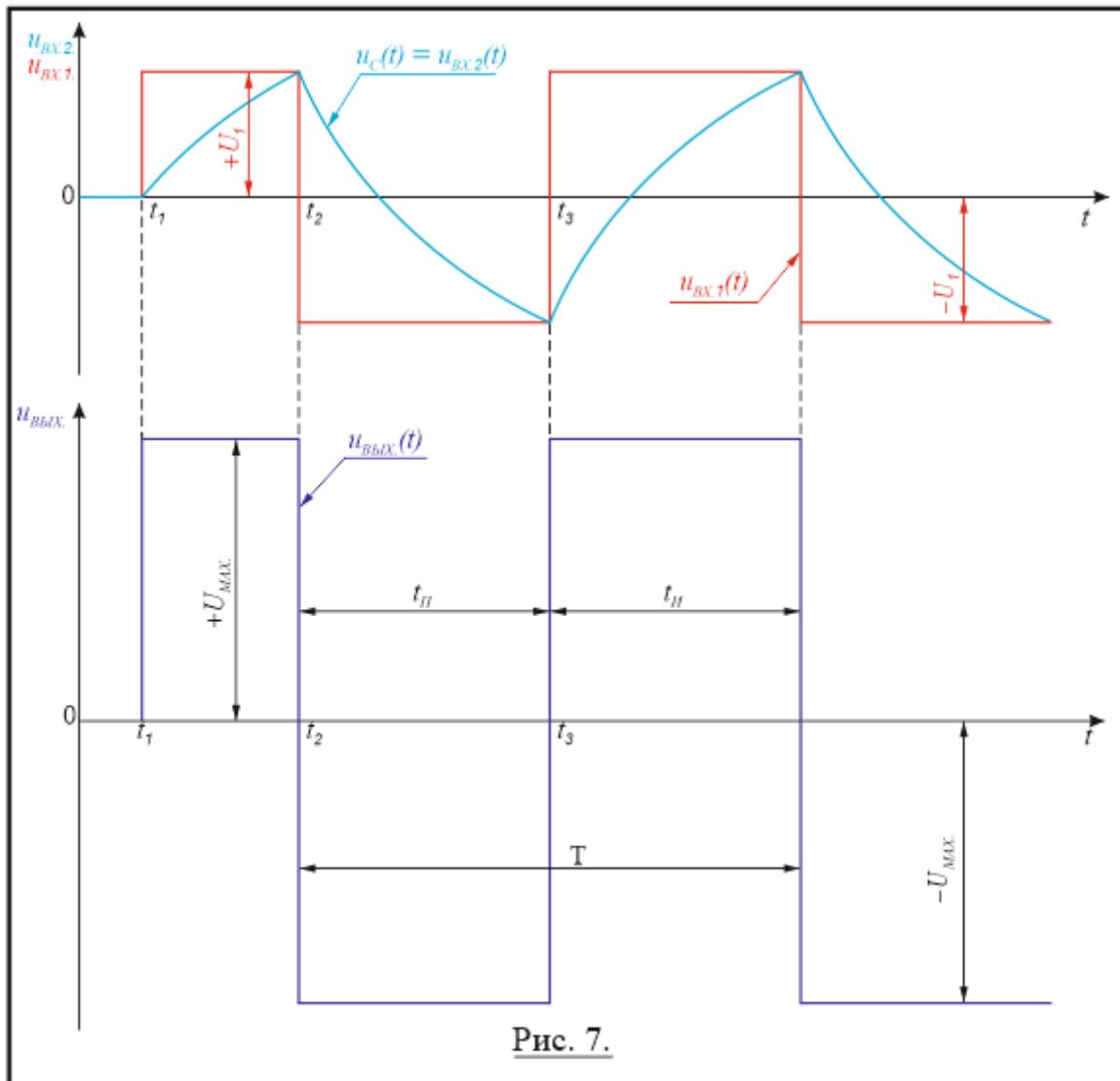


Рис. 7.

В момент времени  $t_3$  напряжение на конденсаторе принимает значение  $-U_1$ , что снова приводит к переключению компаратора. Время перезаряда конденсатора с напряжения  $+U_1$  до напряжения  $-U_1$  определяется из условия:

$$u_C(t) = (U_{MAX.} + U_1)e^{-\frac{t}{R_1 C}} - U_{MAX.} = -U_1, \text{ откуда:}$$

$$t = R_1 C \ln \frac{U_{MAX.} + U_1}{U_{MAX.} - U_1}; \text{ или, с учетом } U_1 = U_{MAX.} \frac{R_2}{R_1 + R_2}:$$

$$t = R_1 C \ln \left( 1 + 2 \frac{R_2}{R_3} \right)$$

Т. к. в данной схеме цепи прямого и обратного заряда конденсатора совпадают, то время импульса и время паузы одинаковы и рассчитываются по приведенной выше формуле:

$$t_H = t_{H\bar{}} = R_1 C \ln \left( 1 + 2 \frac{R_2}{R_3} \right)$$

В лабораторной работе исследуются два мультивибратора. Первый собран на ОУ DA1 (рис.10) и отличается от рассмотренного тем, что благодаря наличию диодов  $VD_1$  и  $VD_2$  цепи прямого и обратного заряда конденсатора  $C_1$  разделены, что позволяет получить неравные друг другу  $t_{H1}$  и  $t_{H2}$ :

$$t_{H3} = R_1 C_1 \ln \left( 1 + 2 \frac{R_3}{R_4} \right) \quad (5)$$

$$t_{P3} = R_2 C_1 \ln \left( 1 + 2 \frac{R_3}{R_4} \right) \quad (6)$$

Второй мультивибратор собран на ОУ DA4 (рис.10). Замена резисторов  $R_1$  и  $R_2$  на потенциометр  $R_9$  позволяет плавно регулировать  $t_{H9}$  и  $t_{P9}$  с сохранением периода повторения:

$$T_9 = t_{H9} + t_{P9} = R_9 C_3 \ln \left( 1 + 2 \frac{R_{10}}{R_{11}} \right) \quad (7)$$

### 11. Одновибратор на ОУ.

Одновибратор – это формирователь одиночного импульса прямоугольной формы с фиксированной продолжительностью при подаче на его вход запускающего импульса произвольной формы.

Схема одновибратора, выполненная на ОУ DA5 приведена на рис.10, а временные диаграммы, поясняющие его работу, – на рис.8.

Рассмотрим работу схемы по этапам, соответствующим порядку работы одновибратора. «Ждущий» этап:

Отрицательному значению выходного напряжения  $u_{13} = u_{VYX} = -U_{MAX}$  соответствуют нулевое значение напряжения на инвертирующем входе ОУ  $u_{12} = u_{VX2} = 0$  (благодаря наличию диода  $VD_6$ ) и отрицательное напряжение на его прямом входе  $u_{11} = u_{VX1} < 0$  (оно подается с выхода через делитель напряжения на сопротивлениях  $R_{14}$  и  $R_{12,13} = R_{12}R_{13}/(R_{12} + R_{13})$ ). Такие значения на выходах ОУ ( $u_{VX1} < u_{VX2}$ ), в свою очередь, обеспечивают отрицательное напряжение на его выходе  $u_{VYX} = -U_{MAX}$ . Следовательно, такое состояние устойчиво и, при отсутствии входных сигналов, схема будет находиться в нем как угодно долго.

#### Формирование импульса:

Входное воздействие  $u_{VX} > 0$  (в лабораторной работе это напряжение  $u_9$  т.е. импульс прямоугольной формы с выхода мультивибратора на ОУ DA4) в момент времени  $t_1$  подается на дифференцирующую цепочку  $C_4 - R_{12}$ , поэтому, независимо от продолжительности входного сигнала, на прямой вход ОУ действует короткий импульс  $u_{10}$ , (его форма определяется параметрами дифференцирующей цепочки). Напряжение на прямом входе ОУ становится положительным, а на инвертирующем остается нулевым. В результате компаратор переключается, напряжение на выходе скачком принимает значение  $u_{13} = u_{VYX} = +U_{MAX}$  и начинается заряд конденсатора  $C_5$  через резистор  $R_{15}$ , при этом положительное напряжение на прямой вход ОУ подается с выхода через делитель напряжения на сопротивлениях  $R_{14}$  и  $R_{13}$ .

В момент времени  $t_2$  напряжение на инвертирующем входе ОУ, равное напряжению на конденсаторе, сравнивается с напряжением на прямом входе, компаратор переключается, и напряжение на выходе снова принимает значение  $u_{VYX} = -U_{MAX}$ . Время импульса определяется по формуле:

$$t_{H13} = R_{15} C_5 \ln \left( 1 + \frac{R_{13}}{R_{14}} \right) \quad (8)$$

#### Восстановление исходного состояния.

Начиная с момента времени  $t_2$ , конденсатор разряжается, и в момент времени  $t_3$  напряжение на нем становится равным нулю. На этом этапе восстановления заканчивается т. к. диод  $VD_6$  препятствует дальнейшему изменению напряжения на конденсаторе. Схема

находится в исходном состоянии, одновибратор готов к приходу следующего входного импульса.

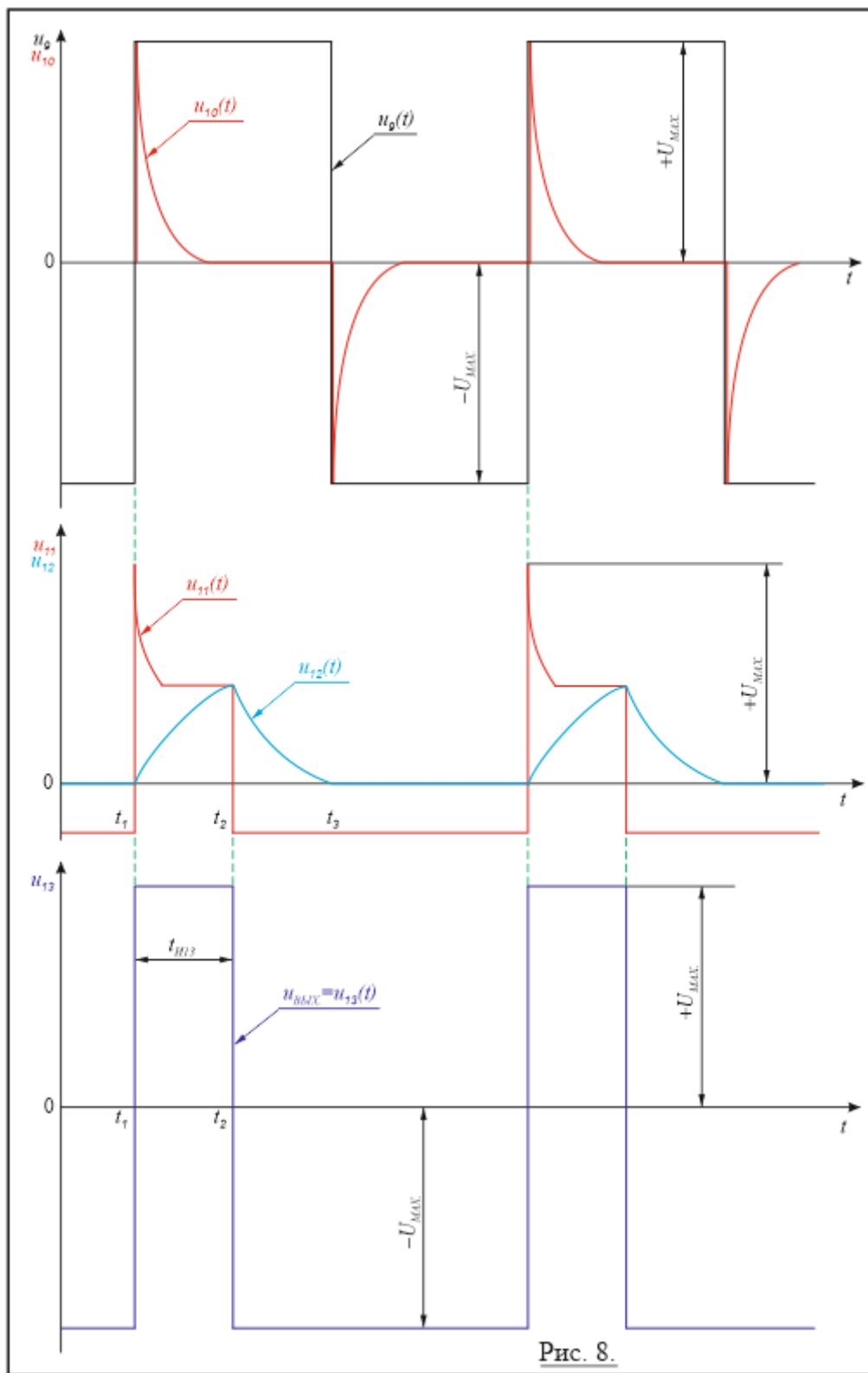
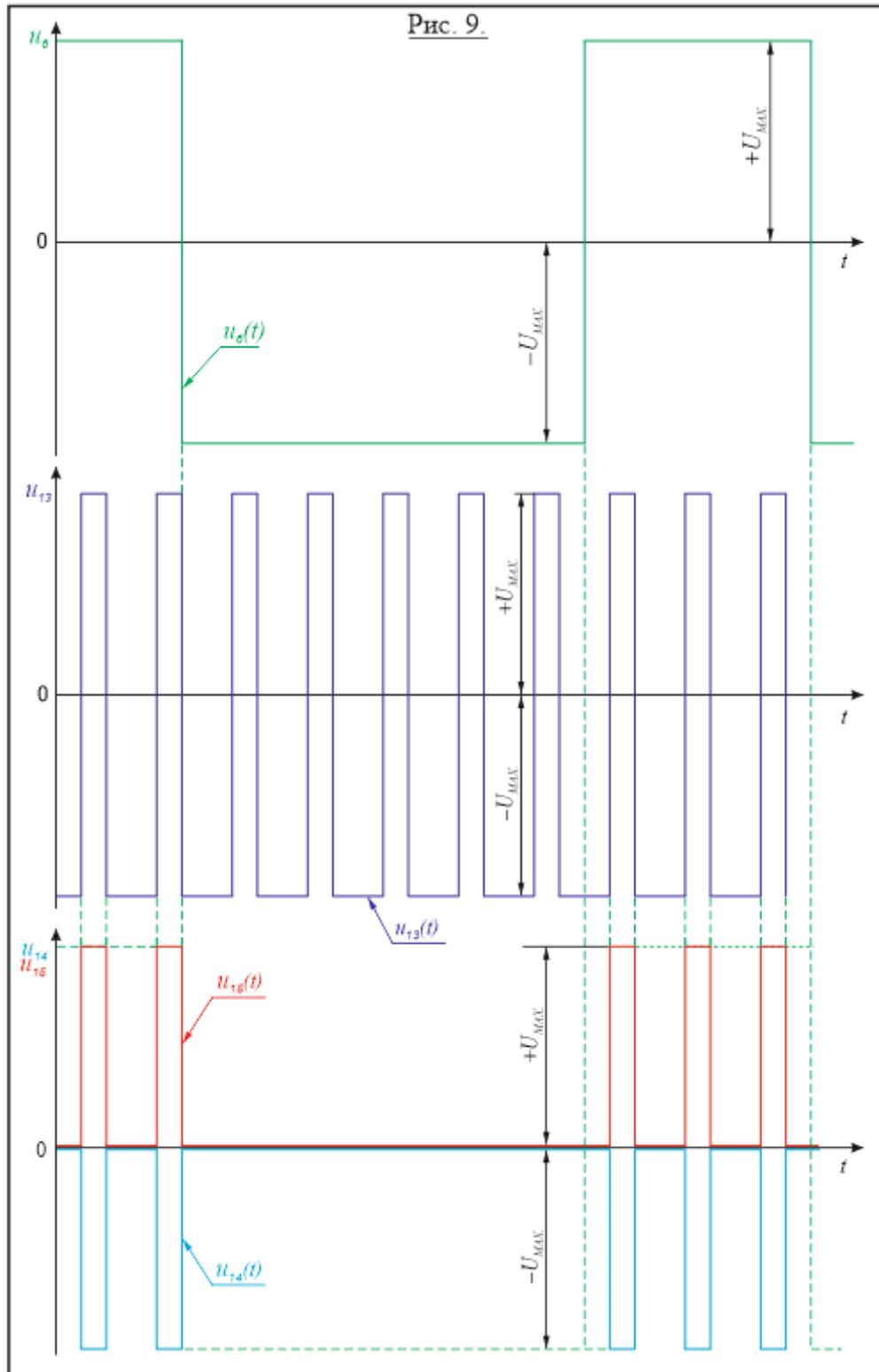


Рис. 8.

Рис. 9.



## 12. Логические операции на ОУ.

Если входные напряжения части схемы, выполненной на ОУ, принимают дискретные значения ( $+U_{MAX}$ ;  $-U_{MAX}$ ), то простейшие логические операции с этими сигналами можно выполнить без применения цифровых ИМС.

В лабораторной работе исследуется схема, выполненная на ОУ DA6 и представляющая собой один из возможных вариантов реализации логического умножения (операция «И») (рис.10).

При  $u_6 = -U_{MAX}$ . транзистор VT<sub>2</sub> находится в состоянии насыщения, что обеспечивает замыкание выхода ОУ с инвертирующим входом и равенство нулю выходного напряжения  $u_{14}$ , независимо от значения напряжения  $u_{13}$ .

При  $u_{13} = -U_{MAX}$ . открыт диод VD<sub>8</sub> и напряжение  $u_{14}$  равно нулю независимо от значения напряжения  $u_{13}$ .

Т.о. напряжение на выходе не равно нулю ( $u_{14} = -U_{MAX}$ ) в том, и только в том случае, если  $u_6 = +U_{MAX}$ . и  $u_{13} = +U_{MAX}$ .

Напряжение  $u_6$  представляет собой импульсы прямоугольной формы с выхода компаратора на ОУ DA3, а напряжение  $u_{13}$  – импульсы прямоугольной формы со значительно меньшим периодом повторения с выхода одновибратора на ОУ DA5. Схема в этом случае осуществляет преобразование «продолжительность импульса»  $\rightarrow$  «число импульсов». Временные диаграммы, поясняющие работу схемы, представлены на рис.9. Напряжение  $u_{14}$  подается на вход инвертирующего усилителя на ОУ DA7 для получения на его выходе импульсов положительной полярности (напряжение  $u_{15}$ ).

Цель работы: расчет и экспериментальная проверка работы генераторов периодических сигналов на операционных усилителях.

Необходимое оборудование:

- стенд «Мультивибратор, одновибратор, компаратор, ГЛИН на операционном усилителе».

Схема стенда (на рис.10 и на лицевой панели) представляет собой совокупность рассмотренных в разделе «теоретические сведения» электронных устройств на базе операционных усилителей. Сопротивления резисторов R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>7</sub>, R<sub>11</sub>, R<sub>15</sub> регулируются, что позволяет изменять параметры получаемых сигналов. Значения сопротивлений нерегулируемых резисторов и емкостей конденсаторов необходимые для расчетов приведены ниже:

1. Мультивибратор на ОУ DA1:

$R_1 = 7,5$  [кОм];  $R_4 = 51$  [кОм],  $C_1 = 1$  [ $\mu$ Ф].

2. Интегратор (ГЛИН) на ОУ DA2:

$C_2 = 0,2$  [ $\mu$ Ф].

3. Компаратор на ОУ DA3:

$R_8 = 7,5$  [кОм].

4. Мультивибратор на ОУ DA4:

$R_9 = 10$  [кОм];  $R_{10} = 20$  [кОм],  $C_3 = 0,2$  [ $\mu$ Ф].

5. Одновибратор на ОУ DA5:

$R_{13} = 20$  [кОм];  $R_{14} = 200$  [кОм],  $C_5 = 0,1$  [ $\mu$ Ф].

- осциллограф двухлучевой С1 - 55.

Измерение периодических сигналов осциллографом С1 – 55.

19. Включить осциллограф и дать ему прогреться в течение трех минут.

20. Потенциометры «усиление» обоих лучей и потенциометр «длительность» установить в крайнее правое положение.

21. Переключатели  $\approx \leftrightarrow \cong$  обоих лучей установить в положение  $\approx \cong$ ; переключатель  $\times 1 \leftrightarrow \times 0,2$  в положение  $\times 1$ .

22. Переключателями [Вольт/дел] выбрать масштабы по напряжению таким образом, чтобы амплитуда исследуемого сигнала соответствовала приблизительно половине размера экрана осциллографа по вертикали.

23. Переключателем «длительность» выбрать масштаб времени таким образом, чтобы период повторения сигнала был несколько меньше, чем время развертки.

24. Подключить входы осциллографа к точке « $\perp$ », потенциометрами « $\uparrow$ » установить лучи на линии горизонтальной разметки экрана осциллографа.
25. Переключатель «синхронизация» установить в положение «внутр.1», если амплитуда сигнала, подаваемого на первый вход, больше, чем амплитуда сигнала, подаваемого на второй, или «внутр.2» в противном случае.
26. Подключить входы осциллографа к источникам измеряемых сигналов, потенциометрами «стаб.» и «синхронизация» добиться устойчивой картинки на экране осциллографа.
27. Потенциометрами « $\leftrightarrow$ » «грубо» и «плавно» установить лучи в удобное для измерений положение.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{И3}[\text{mc}]$	1,0	2,0	0,8	1,5	2,0	1,0	1,5	2,5
$t_{П3}[\text{mc}]$	12	8	10	12	12	10	10	12
$U^*_{4[B]}$	12	10	8	12	10	8	12	10
$Q_6$	1/2	1/3	2/3	1/2	1/3	2/3	1/2	1/3
$T_9[\text{mc}]$	0,8	1,4	0,7	1,0	1,2	1,0	1,2	1,4
$Q_9$	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	1/3	1/3
$K$	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/4

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.****1. Мультивибратор на ОУ DA1.**

- 1.1. Используя формулы (5) и (6), рассчитать сначала сопротивление резистора  $R_3$ , необходимое для получения заданного в таблице вариантов времени импульса  $t_{И3}$ , а затем сопротивление резистора  $R_2$ , необходимое для получения заданного в таблице вариантов времени паузы  $t_{П3}$ . Полученные значения занести в таблицу 1. (в графу «вычислено») и установить на стенде. Установить,  $R_5 = 2 \div 3[\text{kOm}]$ , включить стенд.

Таблица 1.

	$R_2$	$R_3$	$R_5$	$R_7$	$R_{11}$	$R_{15}$
	[кОм]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	[кОм]	[кОм]
Вычислено						
Установлено						

- 1.2. Подключить осциллограф к контрольной точке «3». Измерить  $t_{П3}$  и  $t_{И3}$ , величина которых может несколько отличаться от заданных ввиду разброса параметров элементов схемы. Регулировкой  $R_2$  и  $R_3$  добиться совпадения экспериментально полученных значений  $t_{П3}$  и  $t_{И3}$  с заданным. Полученные значения  $R_2$  и  $R_3$  занести в таблицу 1. Подключить второй вход осциллографа сначала к контрольной точке «1», затем к контрольной точке «2». Начертить осциллограммы напряжений  $u_1(t)$ ;  $u_2(t)$ ;  $u_3(t)$ .

Рекомендуется:

- размещать осциллограммы одну под другой в порядке, указанном в разделе «содержание отчета».
- выбрать масштаб по оси времени таким образом, чтобы на рисунке помешалось  $1,5 \div 2$  периода повторения напряжения  $u_3(t)$ .

**2. Интегратор (ГЛИН) на ОУ DA2.**

2.1. Используя формулу (4), рассчитать сопротивление резистора  $R_5$ , необходимое для получения заданного в таблице вариантов максимального значения выходного напряжения  $U_{4*}$ , при подаче на вход интегратора напряжения  $u_3(t)$ . Величину напряжения  $U_{MAX}$  определить по осциллограмме напряжения  $u_3$  или вычислить по формуле  $U_{MAX} = 0,9U_{PL}$ . Полученное значение  $R_5$  занести в таблицу 1 и установить на стенде.

2.2. Подключить осциллограф к контрольным точкам «3» и «4», регулировкой  $R_5$  добиться совпадения экспериментально полученного значения  $U_{4*}$  с заданным. Полученное значение  $R_5$  занести в таблицу 1. Начертить осциллограмму напряжения  $u_4(t)$ .

### 3. Компаратор на ОУ DA3:

3.1. Используя формулы (2) и (3), рассчитать сопротивление резистора  $R_7$ , необходимое для получения заданной в таблице вариантов скважности импульсов на выходе компаратора  $Q_6$  при подаче на его прямой вход напряжения  $u_4(t)$ . Полученное значение  $R_7$  занести в таблицу 1 и установить на стенде.

3.2. Подключить осциллограф к контрольным точкам «6» и «5», регулировкой  $R_7$  добиться совпадения экспериментально полученного значения  $Q_6$  с заданным. Полученное значение  $R_7$  занести в таблицу 1. Начертить осциллограммы напряжения  $u_5(t)$  и  $u_6(t)$ .

### 4. Мультивибратор на ОУ DA4.

4.1. Используя формулу (7), рассчитать сопротивление резистора  $R_{11}$ , необходимое для получения заданного в таблице вариантов периода повторения импульсов  $T_9$  на выходе мультивибратора. Полученное значение  $R_{11}$  занести в таблицу 1 и установить на стенде.

4.2. Подключить осциллограф к контрольной точке «9», регулировкой  $R_{11}$  добиться совпадения экспериментально полученного значения  $T_9$  с заданным. Регулировкой  $R_9$  установить заданную в таблице вариантов скважность импульсов  $Q_9$ . Полученное значение  $R_{11}$  занести в таблицу 1. Подключить второй вход осциллографа сначала к контрольной точке «7», затем к контрольной точке «8». Начертить осциллограммы напряжений  $u_7(t)$ ;  $u_8(t)$ ;  $u_9(t)$ .

### 5. Одновибратор на ОУ DA5.

5.1. Используя формулу (8), рассчитать сопротивление резистора  $R_{15}$ , необходимое для получения на выходе одновибратора времени импульса  $t_{II3} = K t_{II9} = KT_9 Q_9$  (значение  $K$  задано в таблице вариантов). Полученное значение  $R_{15}$  занести в таблицу 1 и установить на стенде.

5.2. Подключить осциллограф к контрольной точке «13», регулировкой  $R_{15}$  добиться совпадения экспериментально полученного значения  $t_{II3}$  с расчетным. Полученное значение  $R_{15}$  занести в таблицу 1. Подключить второй вход осциллографа сначала к контрольной точке «10», затем к контрольной точке «11», затем к контрольной точке «12». Начертить осциллограммы напряжений  $u_{10}(t)$ ;  $u_{11}(t)$ ;  $u_{12}(t)$ ;  $u_{13}(t)$ .

### 6. Операция «И» на ОУ DA6.

Подключить осциллограф к контрольным точкам «6» и «14». Начертить осциллограмму напряжения  $u_{14}(t)$ .

### 7. Инвертирующий усилитель на ОУ DA7.

Подключить осциллограф к контрольным точкам «6» и «15». Начертить осциллограмму напряжения  $u_{15}(t)$ .

#### Содержание отчета.

23. Номер, название, цель работы.

24. Номер бригады и данные таблицы вариантов для своего варианта.

25. Схема (рис.10)

26. Расчетные формулы и вычисления.

27. Временные диаграммы (осциллограммы) напряжений:

- $u_1(t); u_2(t)$ .
- $u_3(t)$ .
- $u_4(t); u_5(t)$ .
- $u_6(t)$ .
- $u_{14}(t); u_{15}(t)$ .
- $u_{13}(t)$ .
- $u_{11}(t); u_{12}(t)$ .
- $u_{10}(t)$ .
- $u_9(t)$ .
- $u_7(t); u_8(t)$ .

Комплект оценочных заданий №16 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №16. Исследование стабилизаторов напряжения.

## «ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ»

### Теоретические сведения.

Стабильность напряжения питания является необходимым условием правильной работы многих электронных устройств. Для стабилизации постоянного напряжения на нагрузке при колебаниях сетевого напряжения и изменении потребляемого нагрузкой тока между выпрямителем с фильтром и нагрузкой (потребителем) ставят *стабилизаторы постоянного напряжения*.

Выходное напряжение стабилизатора зависит как от входного напряжения стабилизатора, так и от тока нагрузки (выходного тока):

$$U_{\text{вых.}} = f(U_{\text{вх.}}; I_{\text{вых.}})$$

Основными показателями, характеризующими работу стабилизатора, являются коэффициент стабилизации по напряжению и выходное сопротивление стабилизатора.

Коэффициент стабилизации по напряжению показывает, во сколько раз относительное изменение выходного напряжения стабилизатора меньше, чем относительное изменение напряжения на его входе (при неизменной нагрузке):

$$K_{\text{ст.у.}} = \frac{\Delta U_{\text{вх.}} / U_{\text{вх.}}}{\Delta U_{\text{вых.}} / U_{\text{вых.}}} \quad \text{при } R_H = \text{const.}$$

Выходное сопротивление стабилизатора характеризует изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки (при постоянном напряжении на входе):

$$R_{\text{вых.}} = \frac{\Delta U_{\text{вых.}}}{\Delta I_{\text{вых.}}} \quad \text{при } U_{\text{вх.}} = \text{const.}$$

Основными характеристиками стабилизатора являются *регулировочная* и *нагрузочная* характеристики.

Регулировочная характеристика – это зависимость выходного напряжения стабилизатора от входного при постоянном сопротивлении нагрузки:

$$U_{\text{вых.}} = f(U_{\text{вх.}}) \quad \text{при } R_H = \text{const.}$$

Нагрузочная характеристика – это зависимость выходного напряжения стабилизатора от тока нагрузки при постоянном входном напряжении:

$$U_{\text{вых.}} = f(I_{\text{вых.}}) \quad \text{при } U_{\text{вх.}} = \text{const.}$$

Стабилизаторы подразделяются на *параметрические* и *компенсационные*.

Параметрический стабилизатор основан на использовании элемента с нелинейной

характеристикой, например полупроводникового стабилитрона. Напряжение на стабилитроне на участке обратимого электрического пробоя (рис.1) почти постоянно при значительном изменении обратного тока через прибор.

Схема параметрического стабилизатора приведена на рис.2. Входное напряжение стабилизатора должно быть больше напряжения стабилизации стабилитрона  $U_{CT}$ . Для ограничения тока через стабилитрон устанавливается балластный резистор  $R_B$ . Выходное напряжение снимается со стабилитрона. Часть входного напряжения теряется на резисторе  $R_B$ , оставшаяся часть приложена к нагрузке:

$$U_{BX} = (I_{VYX} + I_{CT}) R_B + U_{VYX}$$

Для нормальной работы стабилизатора необходимо, чтобы ток стабилитрона не выходил за пределы рабочего диапазона:

$$I_{CT} = (I_{CT,MIN.} \div I_{CT,MAX.})$$

Чтобы обеспечить выполнение этого условия, величина сопротивления балластного резистора рассчитывается по формуле:

$$R_B = \frac{U_{BX,MIN.} - U_{CT}}{I_{CT,MIN.} + \frac{U_{CT}}{R_{H,MIN.}}}$$

При увеличении входного напряжения растет ток, протекающий по стабилитрону, и напряжение на балластном резисторе, а выходное напряжение стабилизатора, равное напряжению на стабилитроне остается почти неизменным. При увеличении сопротивления нагрузки уменьшается ток нагрузки, растет на то же значение ток через стабилитрон, падения напряжения на  $R_B$  и на нагрузке остаются неизменными.

Параметры стабилизатора определяются параметрами используемого стабилитрона. Обычно для параметрических стабилизаторов коэффициент стабилизации  $K_{CT,U} = (20 \div 40)$ , а выходное сопротивление  $R_{VYX}$  лежит в пределах от нескольких Ом до нескольких сот Ом.

Если такие показатели оказываются недостаточными, применяют компенсационные стабилизаторы. Схема простейшего компенсационного стабилизатора приведена на рис.3.

Для этой схемы можно составить уравнения по второму закону Кирхгоффа:

- для цепи:

«+  $U_{BX}$ » - «переход коллектор – эмиттер транзистора  $VT$ » - « $R_H$ » - « $\perp$ »:

$$U_{BX} = U_{K\mathcal{E}} + U_{VYX} \quad (1)$$

- для цепи:

«катод стабилитрона  $VD$ » - «переход база – эмиттер транзистора  $VT$ » - « $R_H$ » - « $\perp$ »:

$$U_{CT} = U_{B\mathcal{E}} + U_{VYX} \quad (2)$$

Рассмотрим работу схемы. Допустим, что выходное напряжение  $U_{VYX}$  уменьшилось (вследствие увеличения нагрузки (уменьшения сопротивления  $R_H$ ) или уменьшения входного напряжения). Т.к. напряжение на стабилитроне (опорное напряжение) осталось неизменным, то уменьшение выходного напряжения приведет к увеличению напряжения между эмиттером и базой транзистора  $U_{B\mathcal{E}}$  (см. формулу (2)). Вследствие этого возрастет ток базы, а, значит, и ток эмиттера транзистора. Ток эмиттера в данной схеме равен выходному току стабилизатора, и его увеличение приводит к восстановлению напряжения на выходе стабилизатора и уменьшению напряжения между эмиттером и коллектором транзистора (см. формулу (1)).

В схеме, представленной на рис.4 разность опорного и выходного напряжений усиливается операционным усилителем (ОУ), что позволяет улучшить качество стабилизации. Даже незначительное уменьшение напряжения на инвертирующем входе усилителя (равное выходному напряжению стабилизатора) приводит к существенному

росту напряжения на выходе ОУ, которое подается на базу транзистора.

Чем выше коэффициент усиления инвертирующего усилителя на ОУ, тем выше коэффициент стабилизации (он может достигать  $10^3$  и выше) и тем ниже выходное сопротивление стабилизатора (до  $10^{-3}$  Ом).

В настоящее время компенсационные стабилизаторы напряжения, выполненные по этой схеме, выпускаются в виде интегральных микросхем (ИМС).

Цель работы: экспериментальное получение вольт – амперной характеристики стабилитрона, регулировочных и нагрузочных характеристик стабилизаторов напряжения.  
Необходимое оборудование:

- стенд «Стабилизаторы напряжения».

*Стенд состоит из источника регулируемого постоянного напряжения, измерительных приборов и предусматривает возможность исследования рассмотренных в разделе «теоретические сведения» стабилизаторов напряжения. Схема стендла представлена на его лицевой панели.*

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

##### 1. Вольт – амперная характеристика стабилитрона.

1.1. Установить переключатель «схема» в положение «1», потенциометр регулировки входного напряжения – в положение «0», тумблер включения нагрузки (S) – в положение «вкл».

1.2. Включить стенд и источник входного напряжения. Снять вольт – амперную (ВАХ) характеристику стабилитрона. Для этого изменять напряжение на входе схемы (по прибору  $pV_1$ ) от нуля до 16[В]. Снимать показания приборов  $pV_2$  ( $U_{CT}$ ) и  $pA_1$  ( $I_{CT}$ ) и заносить их в таблицу 1.

Таблица 1.

$U_{CT}$ [В]	0							
$I_{CT}$ [mA]								

1.3. По данным таблицы 1 построить ВАХ стабилитрона:

$$I_{CT} = f(U_{CT})$$

1.4. По графику ВАХ стабилитрона определить его дифференциальное сопротивление при токе  $I_{CT} = 10 \div 20$  [mA].

##### 2. Параметрический стабилизатор напряжения.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$R_H^*$ [кОм]	1,0	1,65	0,5	0,75	1,0	1,65	0,5	0,75
$I_{CT,1}^*$ [mA]	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	5,0
$I_{CT,2}^*$ [mA]	16,0	20,0	24,0	18,0	20,0	24,0	15,0	24,0

2.1. Снять регулировочную характеристику стабилизатора на холостом ходу ( $R_H = \infty$ ). Для этого изменять напряжение на входе схемы (по прибору  $pV_1$ ) от нуля до 16[В]. Снимать показания приборов  $pV_1$  ( $U_{BX}$ ) и  $pV_2$  ( $U_{ВЫХ}$ ) и заносить их в таблицу 2.

2.2. Снять регулировочную характеристику стабилизатора под нагрузкой ( $R_H = R_H^* \neq \infty$ ). Для этого тумблером  $S$  подключить нагрузку к выходу стабилизатора, установить сопротивление нагрузки равным заданному в таблице значению  $R_H^*$  (потенциометрами  $R_{H1}; R_{H2}; R_{H3}$ ) и повторить опыт.

Таблица 2.

$R_H = \infty$	$U_{ВХ.}[В]$								
	$U_{ВЫХ.}[В]$								
$R_H^* = \underline{\quad}$ [кОм]	$U_{ВХ.}[В]$								
	$U_{ВЫХ.}[В]$								

2.3. По данным таблицы 2 построить регулировочные характеристики стабилизатора:

$$U_{ВЫХ.} = f(U_{ВХ.})$$

2.4. По графику регулировочной характеристики полученной при  $R_H = R_H^*$  определить коэффициент стабилизации стабилизатора по напряжению  $K_{СТ.У}$  и занести полученное значение в отчет.

2.5. Снять нагрузочные характеристики стабилизатора. Для этого:

- Отключить нагрузку и установить потенциометры нагрузки  $R_{H1}$ ;  $R_{H2}$ ;  $R_{H3}$  в крайнее левое положение.
- Регулируя напряжение на входе стабилизатора установить ток стабилитрона равным заданному в таблице значению  $I_{СТ.1}^*$ . Полученные значения входного и выходного напряжения на холостом ходу занести в таблицу 3.
- Подключить нагрузку и увеличивать ее сначала потенциометром  $R_{H1}$ , затем (после того, как  $R_{H1}$  будет полностью выведен), потенциометром  $R_{H2}$ , а затем и  $R_{H3}$ . Входное напряжение в процессе увеличения нагрузки поддерживать постоянным. Опыт закончить, когда выходное напряжение уменьшится до двух вольт. Снимать показания приборов  $рA_2$  ( $I_H$ ) и  $pV_2$  ( $U_{ВЫХ.}$ ) и заносить их в таблицу 3.
- Регулируя напряжение на входе стабилизатора установить ток стабилитрона равным заданному в таблице значению  $I_{СТ.2}^*$ . Повторить опыт.

Таблица 3.

$U_{ВХ.} = \underline{\quad}$ [В]	$I_H[\text{mA}]$	0							
	$U_{ВЫХ.}[В]$								2,0
$U_{ВХ.} = \underline{\quad}$ [В]	$I_H[\text{mA}]$	0							
	$U_{ВЫХ.}[В]$								2,0

2.6. По данным таблицы 3 построить нагрузочные характеристики стабилизатора:

$$U_{ВЫХ.} = f(I_H)$$

2.7. По графику нагрузочной характеристики полученной при  $I_{СТ.1}^* = I_{СТ.2}^*$  определить выходное сопротивление стабилизатора  $R_{ВЫХ.}$  и занести полученное значение в отчет.

### 3. Компенсационный стабилизатор напряжения.

Таблица вариантов.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
Схема	2	3	2	3	2	3	2	3
$R_H^* [\text{Ом}]$	130	30	80	130	30	80	30	80

3.1. Установить переключатель «схема» в положение, соответствующее данным таблицы вариантов.

3.2. Снять регулировочные характеристики стабилизатора на холостом ходу ( $R_H = \infty$ ) и под нагрузкой (см. п.п.2.1;2.2.). Результаты заносить в таблицу 4.

Таблица 4.

$R_H = \infty$	$U_{ВХ.}[В]$								
----------------	--------------	--	--	--	--	--	--	--	--

	U <sub>ВЫХ</sub> [В]							
R <sup>*</sup> <sub>H</sub> = __ [кОм]	U <sub>ВХ</sub> [В]							
	U <sub>ВЫХ</sub> [В]							

3.3. По данным таблицы 4 построить регулировочные характеристики стабилизатора:

$$U_{\text{ВЫХ.}} = f(U_{\text{ВХ.}})$$

3.4. По графику регулировочной характеристики полученной при  $R_H = R^*_{H}$  определить коэффициент стабилизации стабилизатора по напряжению  $K_{\text{СТ.У}}$  и занести полученное значение в отчет.

3.5. Снять нагрузочную характеристику стабилизатора (см. п.2.5). Ток стабилитрона на холостом ходу установить  $I_{\text{СТ.}}^* = 15 \div 20 \text{ [mA]}$ . Опыт закончить, когда выходной ток достигнет двухсот миллиампер. Результаты заносить в таблицу 5.

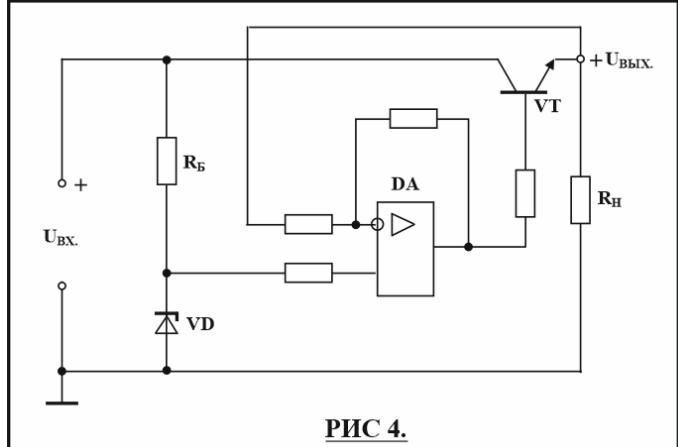
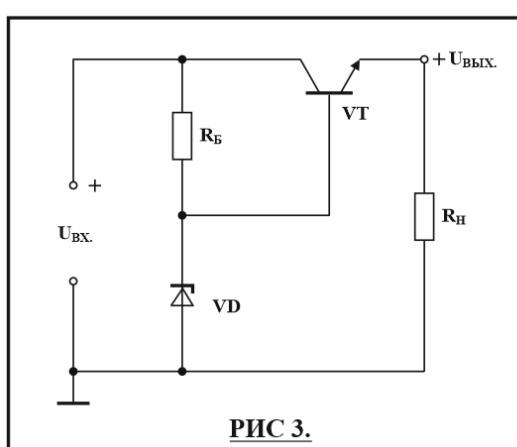
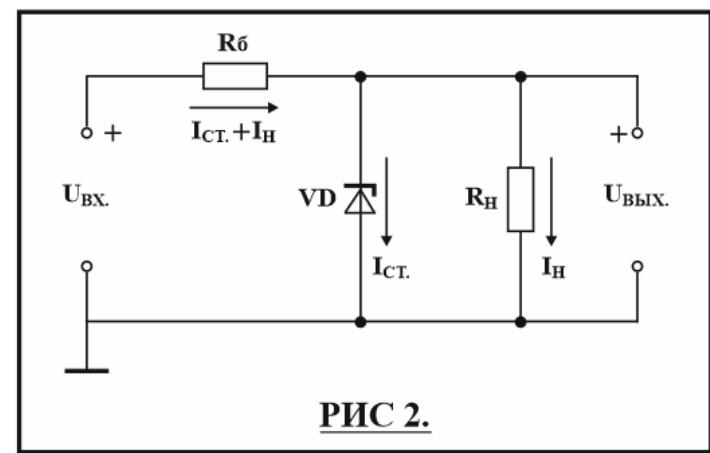
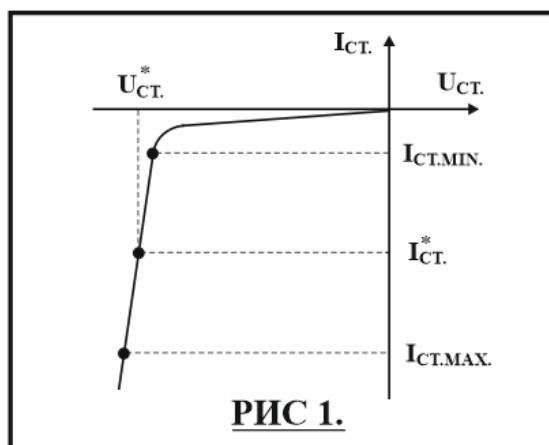
Таблица 5.

U <sub>ВХ.</sub> = __ [В]	I <sub>H</sub> [mA]	0						200
	U <sub>ВЫХ</sub> [В]							

3.6. По данным таблицы 3 построить нагрузочные характеристики стабилизатора:

$$U_{\text{ВЫХ.}} = f(I_H)$$

3.7. По графику нагрузочной характеристики полученной при  $I_{\text{СТ.}}^* = I_{\text{СТ.2}}^*$  определить выходное сопротивление стабилизатора  $R_{\text{ВЫХ.}}$  и занести полученное значение в отчет.



28. Номер, название, цель работы.
29. Номер бригады и данные таблиц вариантов для своего варианта.
30. Схемы (рис.2; 3; 4).
31. Таблицы и графики:
  - а) ВАХ стабилитрона.
  - б) регулировочные характеристики стабилизаторов.
  - в) нагрузочные характеристики параметрического стабилизатора.
  - г) нагрузочные характеристики компенсационного стабилизатора.
5. Параметры стабилитрона и стабилизаторов.

Комплект оценочных заданий №12 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

Комплект оценочных заданий №17 по Разделу 2. Основы электроники (Аудиторная самостоятельная работа).

Название: Лабораторная работа №17. Исследование работы Выпрямителя.

Название: Исследование одно- и двухполупериодного выпрямителя.

Задание: анализ процессов в схемах выпрямительного диодного моста. Исследование осциллограмм входного и выходного напряжения для выпрямительного моста.

Краткие теоретические и справочно-информационные материалы:

В качестве источников питания различных электронных устройств часто используют выпрямители. В состав выпрямителя (рис. 1) входят следующие основные элементы: трансформатор: Тр – устройство для преобразования напряжения переменного тока питающей сети в требуемое переменное напряжение и разделения электрических цепей, вентиль В – прибор, обладающий односторонней проводимостью электрического тока, фильтр Ф – устройство, обеспечивающее необходимое ослабление пульсации выпрямленного напряжения.

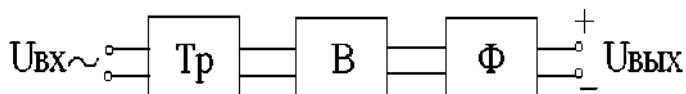


Рис. 1. Выпрямитель

Вентиль преобразует переменное напряжение в пульсирующее, что обеспечивается его свойством односторонней проводимости. При прямом напряжении вентиль имеет сопротивление, близкое к нулю, а при обратном напряжении его сопротивление становится очень большим. В качестве вентилей можно использовать ламповые диоды, различные газоразрядные приборы, газотроны, тиратроны, игнитроны и др. Однако в настоящее время большинство выпрямителей выполняют на полупроводниковых диодах германиевых и кремниевых. Силовые полупроводниковые вентили по сравнению с другими имеют ряд преимуществ: более высокий КПД, постоянная готовность к работе, большой срок службы, малая масса и габариты, высокая надежность.

Вольтамперная характеристика полупроводникового диода (рис. 2, б) отличается от идеальной характеристики вентиля (рис. 2, а), т. к. при обратном напряжении диод проводит ток. Однако у хороших полупроводниковых диодов обратные токи весьма малы и несущественно влияют на работу выпрямителя.

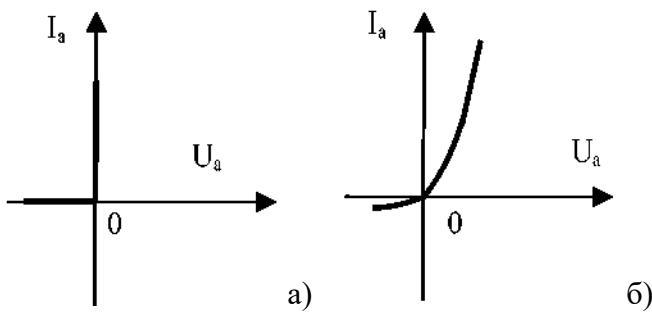


Рис. 2. Вольтамперная характеристика

На рис. 3 представлена простейшая схема однополупериодного выпрямителя, в состав которой входят трансформатор Т, вентиль VD и активная нагрузка R. Диаграммы напряжений и тока в схеме однополупериодного выпрямителя показаны на рис. 4.

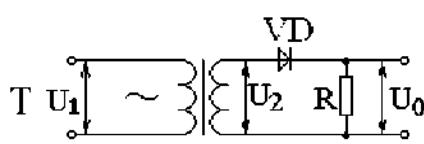


Рис. 3. Простейшая схема

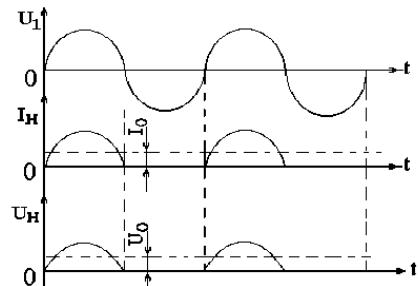


Рис. 4. Диаграммы напряжений и тока в

Ток в цепи нагрузки, включенной последовательно с вентилем, проходит лишь в те моменты времени, когда к вентилю приложено прямое напряжение. Каждые полпериода напряжение вторичной обмотки трансформатора меняет свой знак. Поэтому в течение одной половины периода к вентилю прикладывается прямое напряжение, в течение следующего полупериода – обратное. Через вентиль и нагрузку ток проходит только в одном (прямом) направлении, т. е. ток в нагрузке получается постоянным по направлению, но пульсирующим. Выпрямленное напряжение совпадает по форме с выпрямленным током. Частота пульсаций выпрямленного напряжения равна частоте сети. Пульсирующие ток и напряжение содержат постоянные составляющие. Среднее за период значение выпрямленного (пульсирующего) напряжения, т. е. его постоянная составляющая, определяется величиной  $U_0 = U_{2m}/\pi$ , где  $U_{2m}$  – амплитудное значение напряжения во вторичной обмотке трансформатора, или  $U_0 = \sqrt{2U_2/\pi} = 0,45U_2$ , где  $U_2$  – действующее значение напряжения.

Максимальное значение обратного напряжения, прикладываемого к вентилю, равно амплитудному значению  $U_{2m}$ :

$$U_{обр.m} = U_{2m} = \pi U_0$$

Качество выпрямителя характеризуется отношением постоянной составляющей выпрямленного напряжения к действующему значению переменного напряжения:  $U_0/U_2$ . Чем больше значение этого отношения, тем выше качество схемы выпрямителя. Для однополупериодного выпрямителя  $U_0/U_2 = 0,45$ .

Важным требованием к выпрямителю является снижение переменной составляющей выпрямленного напряжения при получении постоянной составляющей. Выполнение этого требования характеризуется коэффициентом пульсаций  $K_n$ , равным отношению амплитудного значения переменной составляющей выпрямленного напряжения к его постоянной составляющей:  $K_n = U_m/U_0$ .

Коэффициент пульсаций часто определяют по первой гармонике:  $K_{n1} = U_{n1}/U_o$ , где  $U_{n1}$  – амплитуда первой гармоники выпрямленного напряжения. Для однополупериодного выпрямителя  $K_{n1} = 1,57$ .

К выпрямителям предъявляется также требование, касающееся режима работы вентиляй: обратное напряжение, прикладываемое к закрытым вентилям, не должно намного превышать выпрямленное напряжение. Выполнение этого требования характеризуется отношением максимального значения обратного напряжения к среднему значению выпрямленного:  $U_{обратн.}/U_o$ .

Для однополупериодного выпрямителя:  $U_{обратн.}/U_o = \pi$ .

Схемы однополупериодных выпрямителей имеют ряд существенных недостатков: малое значение выпрямленного напряжения, большой коэффициент пульсаций и др. На практике часто используют различные схемы двухполупериодных выпрямителей. На рис. 5, а, б представлены схемы двухполупериодного выпрямителя с выводом от середины вторичной обмотки трансформатора и мостовая схема. Наиболее распространена из них мостовая схема, в которой не требуется трансформатор, имеющий отвод от середины вторичной обмотки.

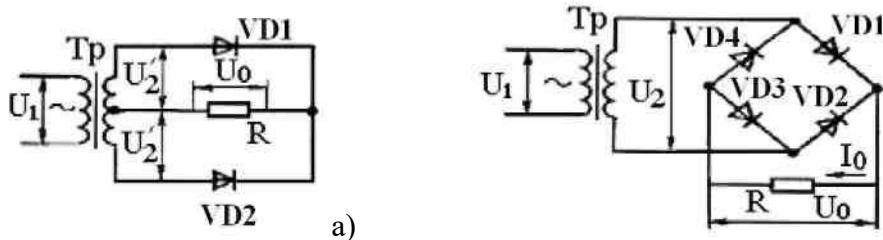


Рис. 5. Двухполупериодные выпрямители: а) – схема двухполупериодного выпрямителя с выводом от середины вторичной обмотки трансформатора; б) - мостовая схема

Четыре вентиля схемы образуют мост, к одной диагонали которого присоединяются концы вторичной обмотки трансформатора, а к другой нагрузка выпрямителя. Вентиля в схеме работают поочередно попарно: при положительной полуволне напряжения  $U_2$ , которая соответствует прямому напряжению вентиля  $D_1$ , ток проходит через  $D_1$  нагрузку и  $D_3$ , а при отрицательной полуволне напряжения  $U_2$ , соответствующей прямому напряжению вентиля  $D_2$  ток проходит через  $D_2$  нагрузку и  $D_4$ . На рис. 6 представлены диаграммы напряжений и тока в мостовой схеме. Частота пульсаций выпрямленного напряжения здесь в два раза больше, чем в однополупериодной схеме, что увеличивает среднее значение выпрямленного напряжения:

$$U_0 = 2 U_{2m} / \pi = 2 \sqrt{2} U_2 / \pi.$$

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения по первой гармонике  $K_{n1} = 0,667$ .

Максимальное значение обратного напряжения, прикладываемого к закрытым вентилям, равно амплитудному значению напряжения  $U_{2m}$ . т. к. падение напряжения на открытых вентилях близко к нулю, т. е.

$$U_{обратн.} = U_{2m} = \pi U_0 / 2 = 1,57 U_0.$$

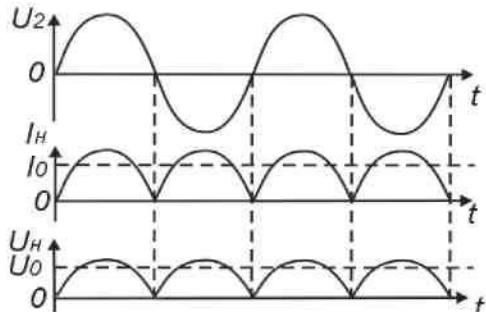


Рис. 6. Диаграммы напряжения и токов в мостовой схеме

Простейшие схемы выпрямителей имеют большой коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения. Поэтому далее предусматривают сглаживающие фильтры. Обычно используют Г- или П-образные фильтры, включающие в себя дроссели, конденсаторы и резисторы. Чаще всего используют LC-фильтры (рис. 7, а, б), обеспечивающие хорошее сглаживание пульсаций при различных нагрузках.

Конденсатор фильтра  $C$  включают параллельно нагрузке  $R$ . Тогда при выполнении условия  $X_C = 1 / (\omega C) \ll R$  конденсатор сильно шунтирует нагрузку по переменной составляющей и значительно уменьшает переменное напряжение на нагрузке.

Дроссель  $L$  включают последовательно с нагрузкой  $R$ . При выполнении условия  $X_L = \omega L \gg R$  переменное напряжение с выхода выпрямителя задерживается на дросселе фильтра и в нагрузку не попадает. Одновременное включение  $L$  и  $C$  дает большой эффект сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Качество фильтра оценивают коэффициентом сглаживания  $K_{\text{сгл}} = K_{\text{п. вх}} / K_{\text{п. вх}}$ , где  $K_{\text{п. вх}}$  и  $K_{\text{п. вх}}$  – коэффициенты пульсаций выпрямителя на входе и выходе фильтра. Чем больше  $K_{\text{сгл}}$ , тем эффективнее работает фильтр.

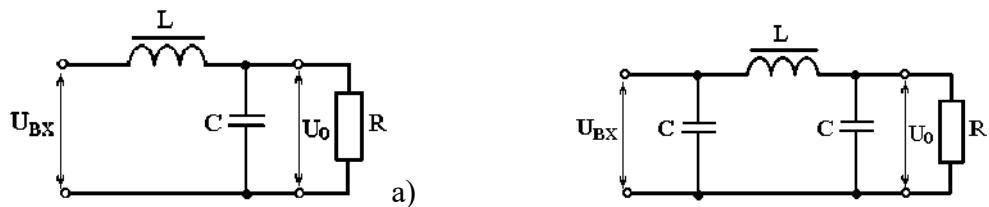


Рис. 7. Схемы использования LC-фильтров для сглаживания пульсаций при различных нагрузках: а) - Г-образный фильтр, б) - П-образный фильтр

При работе выпрямителя часть выпрямленного напряжения падает на активном сопротивлении вторичной обмотки трансформатора, на прямом сопротивлении открытого вентиля, на элементах сглаживающего фильтра. С увеличением выпрямленного тока  $I_0$  подобные потери напряжения увеличиваются, а напряжение на нагрузке  $U_0$  уменьшается. Зависимость  $U_0 = f(I_0)$  называют внешней характеристикой выпрямителя (рис. 8).

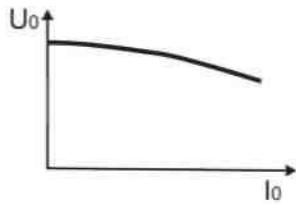


Рис. 8. Внешняя характеристика выпрямителя

Чем меньше изменяется напряжение на нагрузке  $U_0$  при изменении тока  $I_0$ , тем выше качество выпрямителя.

Практические задачи, задания, упражнения:

1. Изучить схемы стенда «Выпрямители» дать описание типов выпрямителей.
2. Снять и построить вольтамперную характеристику мостового выпрямителя.
3. Зарисовать осциллограмму изменения выходного напряжения.

Порядок выполнения:

1. Изучить устройство, принцип действия и область применения однофазного мостового выпрямителя.
2. Начертить схему установки и таблицу для снятия характеристик.

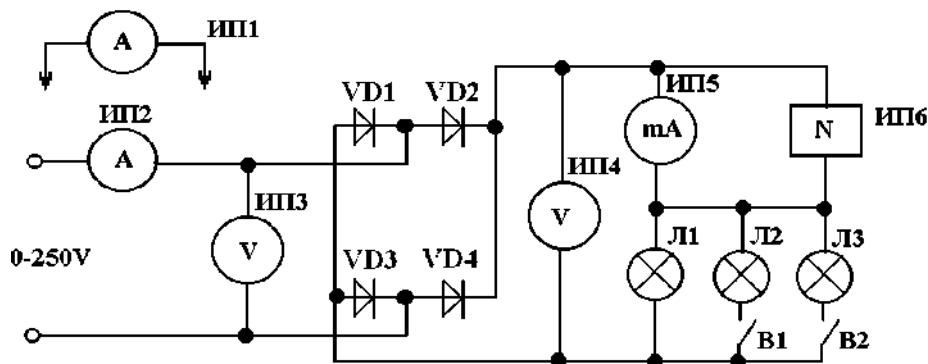


Рис. 9. Схема лабораторной установки:

ИП1 – амперметр переменного тока  $\sim 1$  mA; ИП2 – миллиамперметр переменного тока 300 mA; ИП3 – вольтметр переменного тока 250 V; ИП4 – вольтметр постоянного тока 450 V; ИП5 – миллиамперметр постоянного тока 300 mA; ИП6 – осциллограф электронный; Д1-Д4 – диоды КД 209А; Л1-Л3 – нагрузочные лампы; В1, В2 – тумблеры  
1. Соберите схему согласно рис. 9

1. Соберите схему согласно рис. 9.

2. Установите на блоке питания переключатель ЛАТР в положение «~0–250 В».

3. Подключите схему к клеммам питания «~ 0–250 V» приборного штатива.

4. Изменяя напряжение на входе выпрямителя от 0 до 250 V, снимите и постройте вольтамперную характеристику однофазного мостового выпрямителя.

5. Показания приборов занесите  $I_{\text{выпр}} = f(U_{\text{выпр}})$  в табл. 1.

### Правила оформления работы:

- указать входные и выходные параметры выпрямителей;
  - схема лабораторной установки однофазного и трехфазного мостового выпрямителя;
  - таблицы с экспериментальными данными;
  - рисунки с экрана осциллографа;
  - выводы.

Работа оформляется в тетради для лабораторных работ. Рецензируется преподавателем, защита осуществляется после получения допуска.

## Таблицы и выводы:

Таблица 1

И вып, А									
I2, А									

Контрольные вопросы:

1. Пояснить назначение элементов схемы выпрямителя.
2. Изобразить вольтамперную характеристику вентиля.
3. Какие элементы можно использовать в качестве вентиляй?
4. Перечислить известные вам схемы выпрямителей.
5. От чего зависит частота пульсаций выпрямленного напряжения?
6. Дать определение коэффициентов пульсаций и сглаживания
7. Из каких соображений выбирают элементы сглаживающего фильтра?
8. Изобразить внешнюю характеристику выпрямителя. Измениться ли она при подключении к выпрямителю сглаживающего фильтра?

#### 4.2. Задания для промежуточной аттестации

Перечень

вопросов и практических заданий для подготовки к дифференцированному зачету  
по учебной дисциплине «ОП.03 Электротехника и электроника»

для обучающихся по специальности 26.02.06

«Эксплуатация судового электрооборудования и  
средств автоматики»

Перечень вопросов:

1. Электрическое поле и его основные характеристики. Закон Кулона.
2. Напряженность как силовая характеристика электрического поля.
3. Работа при перемещении заряженной частицы в электрическом поле.
4. Разность потенциалов двух точек и потенциала данной точки электрического поля. Электрическое напряжение.
5. Электропроводимость. Проводники, диэлектрики, полупроводники. Проводники в электрическом поле. Диэлектрики в электрическом поле.
6. Поляризация и пробой диэлектрика. Электрическая прочность диэлектрика. Запас прочности.
7. Электрический ток в различных средах. Сила тока, направление движения, измерение тока. Плотность электрического тока
8. Электрическая емкость. Конденсаторы. Емкость плоского и цилиндрического конденсатора.
9. Общая емкость при последовательном, параллельном и смешанном соединениях конденсаторов. Энергия электрического поля.
10. Электрическая цепь, ее основные компоненты. Электрический ток. Электродвижущая сила и напряжение. Электрическое сопротивление и проводимость.
11. Закон Ома для полной цепи и для участка цепи. Электрическая энергия и мощность. Тепловое действие тока. Закон Джоуля-Ленца.
12. Последовательное, параллельное и смешанное соединение приемников энергии.
13. Законы Кирхгофа. Расчет простых и сложных электрических цепей с помощью законов Кирхгофа.
14. Метод преобразования треугольника и звезды сопротивлений.
15. Типы нелинейных элементов. Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов. Статистическое и динамическое сопротивление нелинейных элементов
16. Графический метод расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока с последовательным, параллельным и смешанным соединениями элементов.
17. Основные параметры, характеризующие магнитное поле в каждой ее точке. Магнитная индукция. Магнитный поток.

18. Напряженность и магнитное напряжение. Магнитная проницаемость. Единицы магнитных величин.
19. Закон полного тока. Воздействие магнитного поля на проводник с током. Электромагнитная сила.
20. Сила взаимодействия проводов двухпроводной линии. Магнитное поле катушки с током. Закон Ома для магнитной цепи. Магнитные материалы.
21. Циклическое перемагничивание магнитных материалов. Петля гистерезиса. Ферромагнитные материалы. Электромагниты.
22. Закон электромагнитной индукции. Определение направления индуцированной ЭДС с помощью правила правой руки. Правило Ленца.
23. Понятие о потокосцеплении. Использование закона электромагнитной индукции в технике. Принцип преобразования механической энергии в электрическую и электрической в механическую.
24. Индуктивность и явление самоиндукции. Взаимная индукция. ЭДС взаимоиндукции. Использование взаимоиндукции в электротехнических устройствах. Вихревые токи.
25. Явление переменного тока. Получение синусоидальной ЭДС. Принцип действия генератора переменного тока. Уравнения и графики синусоидальной ЭДС. Характеристики синусоидальных величин.
26. Векторные диаграммы. Сдвиг фаз. Действующая и средняя величина переменного тока. Параметры электрической цепи.
27. Цепь переменного тока с активным сопротивлением: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма.
28. Цепь переменного тока с индуктивностью: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма.
29. Цепь переменного тока с емкостью: напряжение, ток, мощность, векторная диаграмма
30. Собственные колебания в контуре. Колебательный контур. Резонанс напряжений.
31. Резонанс токов. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях.
32. Коэффициент мощности. Методы увеличения коэффициента мощности и его влияние на технико-экономические показатели электроустановок.
33. Трехфазная симметрическая система ЭДС. Соединение обмоток генератора звездой и треугольником.
34. Симметричная нагрузка в трехфазной цепи при соединении обмоток генератора и фаз приемника звездой. Фазные, линейные напряжения и токи, соотношения между ними.
35. Векторная диаграмма. Несимметрическая нагрузка в трехфазной цепи при соединении фаз приемника звездой.

Перечень практических заданий:

1. Соединение конденсаторов. Расчет цепей.
2. Расчет эквивалентного сопротивления при последовательном, параллельном и смешанном соединении резисторов.
3. Нагрев проводников электрическим током
4. Расчет электрических цепей постоянного тока методом двух узлов и контурных уравнений.
5. Расчет электрических цепей постоянного тока методом контурных токов.
6. Расчет электрических цепей постоянного тока метод преобразования треугольника и звезды сопротивлений.
7. Расчет электрических цепей методом эквивалентного генератора.
8. Расчет простых цепей постоянного тока.
9. Расчет нелинейных цепей.
10. Расчет магнитных цепей.

11. Расчет неразветвленной цепи переменного тока.
12. Расчет разветвленной цепи переменного тока.
13. Расчет трехфазных цепей при соединении нагрузки звездой.

Перечень  
вопросов для подготовки к экзамену  
по учебной дисциплине «ОП.03 Электротехника и электроника»  
для обучающихся по специальности 26.02.06  
«Эксплуатация судового электрооборудования и  
средств автоматики»

Перечень вопросов:

1. Электропроводность полупроводников. Электронно-дырочный переход.
2. Полупроводниковые диоды, транзисторы и тиристоры.
3. Фотоэлектронные приборы.
4. Электронные управляемые и неуправляемые выпрямители.
5. Стабилизаторы напряжения и тока. Фильтры.
6. Общие сведения об электронных усилителях.
7. Усилитель напряжения на транзисторах.
8. Усилитель мощности.
9. Усилитель постоянного тока.
10. Обратные связи и стабилизация режимов работы.
11. Общие сведения об электронных генераторах.
12. Генераторы синусоидальных и импульсных колебаний.
13. Защита электронных устройств.
14. Общее сведения об И.М.С.
15. Классификация и техника производства И.М.С.
16. Микропроцессорная техника и её применение на судах.