

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический
университет»

**Электротехника, электроника и электрооборудование
автомобилей**

Челябинск, 2023

УДК 629.1: 378
ББК 39.3: 74.480.267
Р

Руднев В.В. Электротехника, электроника и электрооборудование автомобилей: учебно-практическое пособие / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, М.С. Дмитриев. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. Гос. Гуман. -пед. Ун-та, 2023. – 298 с.

ISBN

Учебное пособие содержит методические рекомендации и описание особенностей проведения лабораторных работ по дисциплине «Электротехника, электроника и электрооборудование автомобилей». Оно направлено на обеспечение успешного формирования профессиональных компетенций будущих специалистов на основе компетентностно-деятельностного подхода. Пособие включает материалы для практико-ориентированного закрепления знаний и для выработки практических навыков выполнения необходимых требований по рациональной и эффективной организации процесса обслуживания электрооборудования автомобилей.

Рекомендуется студентам, обучающимся по программе бакалавриата профессиональной направленности «Транспорт» направления «Профессиональное обучение (44.03.04)»

Рецензенты: В.А. Белевитин, д-р. техн. наук, профессор

К.Н. Семендяев, канд. техн. наук

ISBN

В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, М.С.
Дмитриев, 2023
Издательство Южно-Уральского
государственного гуманитарно-
педагогического университета, 2023

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
Правила техники безопасности при работе студентов в лабораториях кафедры «Электротехника, электроника и электрооборудование автомобилей»	8
Методические указания по выполнению лабораторных работ	11
Раздел: Электротехника и электроника	22
Лабораторная работа №1. «Потеря напряжения».	22
Лабораторная работа №2. «Способы соединения резисторов».	31
Лабораторная работа №3 «Циклическое перемагничивание ферромагнетиков»	39
Лабораторная работа №4. «Неразветвленная цепь переменного тока».	45
Лабораторная работа №5. «Разветвленная цепь переменного тока».	58
Лабораторная работа №6. «Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии звездой».	65
Лабораторная работа №7. «Испытание однофазного трансформатора».	69
Лабораторная работа № 8. «Определение погрешностей приборов».	82
Лабораторная работа № 9. «Проверка технического вольтметра».	96
Лабораторная работа №10. «Проверка технического ваттметра».	100
Лабораторная работа №11. «Проверка однофазного счетчика».	108
Лабораторная работа № 12. «Измерение частоты сигналов».	115
Лабораторная работа № 13 «Измерение напряжений и сопротивлений аналоговыми электронными и электромеханическими приборами».	120
Лабораторная работа № 14. «Измерение сопротивлений».	124
Лабораторная работа № 15 «Измерение электрических величин с помощью цифровых приборов».	132
Лабораторная работа № 16. «Измерение сопротивлений с помощью мостов постоянного тока».	142
Лабораторная работа №17. «Расширение пределов измерения по току».	147
Лабораторная работа № 18. «Измерение мощности в трехфазной цепи».	156
Лабораторная работа № 19. «Исследование электромагнитного реле».	162
Лабораторная работа № 20. «Измерение частоты сигналов».	178
Лабораторная работа №21. «Изучение характеристик генератора постоянного тока независимого возбуждения».	194
Лабораторная работа №22. «Испытание двигателя постоянного тока параллельного возбуждения».	205
Лабораторная работа №23. «Изучение рабочих и скоростных характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения».	213
Лабораторная работа №24 «Изучение работы трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки».	223
Лабораторная работа №25. «Полупроводниковый диод».	232
Лабораторная работа №26. «Биполярный транзистор».	237

Лабораторная работа №27. «Исследование тиристора».....	242
Лабораторная работа №28. «Электронный выпрямитель».....	246
Раздел Электрооборудование автомобилей.....	256
Лабораторная работа № 29. Изучение общих схем электрооборудования.....	256
Лабораторная работа № 30. Изучение устройства АКБ. Обслуживание АКБ.	260
Лабораторная работа № 31. Изучение устройства генератора. Диагностика, дефектовка генератора.....	264
Лабораторная работа № 32. Изучение устройства системы зажигания. Обслуживание системы зажигания.	271
Лабораторная работа № 33. Изучение устройства стартера. Диагностика, дефектовка стартера.....	279
Лабораторная работа № 34. Изучение устройства КИП, приборов освещения и сигнализации, их обслуживание.....	285
Лабораторная работа № 35. Диагностика ЭСУД.....	291
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	297

ВВЕДЕНИЕ

Электротехника – наука о теории и практическом применении электрических и магнитных явлений. Ни одна отрасль современного производства не обходится без применения электротехнических устройств, таких, как магнитные пускатели, реле, трансформаторы, двигатели, генераторы.

Без знания основных законов электротехники, принципов работы электротехнических устройств и приборов невозможно овладеть любой избранной профессией и стать полноценным инженером.

Основой глубоких и долговременных знаний является самостоятельная систематическая работа студента над курсом в течение всего семестра, активное применение теоретических знаний к анализу и применению практических задач. Студент должен не только знать содержание курса, но и уметь применить теорию к решению и анализу практических инженерных задач.

Лабораторные работы имеют важное значение при изучении курса электротехники, так как их выполнение способствует более глубокому усвоению основных теоретических положений, приобретению навыков в пользовании измерительными приборами и электрооборудованием, развитию критического подхода к результатам теории и эксперимента. Проводимые в лаборатории относительно несложные исследования дают возможность непосредственно наблюдать явления и процессы, теория к которым изучается на лекциях и представлена в данном учебном пособии.

В соответствии с программой курса электротехники предусмотрено выполнение работ по электрическим и магнитным цепям и электрическим машинам.

Понимание теории электрических процессов требует знания многих разделов курсов математики и физики. Из курса математики студенты должны знать алгебру комплексных чисел, решение простейших дифференциальных

уравнений, операции с векторами, свободно пользоваться соответствующим математическим аппаратом. Из курса физики студенты должны знать основные электрические и магнитные величины (ток, напряжение, потенциал, магнитную индукцию, напряженность магнитного поля и др.) и законы (законы Ома, Кирхгофа, электромагнитной индукции, электромагнитной силы и др.).

Все темы, излагаемые в учебном пособии, являются в равной степени важными. Как и в любой другой науке, в электротехнике нельзя приступать к изучению последующей темы, не усвоив предыдущих.

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать следующие основные требования.

1. К работе в лабораториях допускаются лица, знающие инструкцию по технике безопасности, после соответствующей отметки в специальном журнале.

2. Лабораторные работы выполняются в часы, указанные в расписании учебной части.

3. Лабораторные работы проводятся подгруппами в составе 2-4 человек.

4. К работе в лаборатории допускаются только студенты, выполнившие и защитившие предыдущую лабораторную работу. Перед началом занятий преподаватель путем опроса устанавливает подготовленность студента к текущей работе. Не подготовившиеся студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

5. Отчет по проведению работы сдается индивидуально каждым студентом перед очередным занятием. Результаты защиты («зачет» или «незачет») проставляются преподавателем в журнале учета выполнения лабораторных работ. Отчет по защищаемой работе не возвращается.

6. При подготовке к лабораторной работе студент обязан ознакомиться с техническими данными машин, приборов и способом их включения. Выяснить их исправность и комплектность для данной работы. Проверить соответствие пределов измерения приборов значениям измеряемых величин.

7. Самовольное, без проверки преподавателем, включение собранной схемы в электрическую сеть категорически запрещается.

8. Ответственность за возможные последствия включенной непроверенной схемы несут все члены подгруппы.

9. При осуществлении переключений нужно обязательно обесточить схему. Включение после изменения схемы должно производиться только после проверки ее преподавателем.

10. В случае обнаружения неполадок (перегорания предохранителей и т. п.) необходимо обращаться к заведующему лабораторией или преподавателю.

11. В случае порчи оборудования из-за несоблюдения правил составляется акт и передается ректору института через деканат.

12. В лаборатории запрещается курить, сорить, громко разговаривать, находиться в верхней одежде, без нужды переходить с места на место. Загромождать столы посторонними предметами. Запрещается присутствие посторонних лиц.

13. Лабораторная работа считается оконченной только тогда, когда выполнены все измерения, разобрана электрическая схема, все приборы и аппараты приведены в надлежащий порядок и рабочее место убрано.

14. По окончании всех лабораторных работ студент обязан сдать зачет по лабораторным работам. Студентам, работавшим систематически, успешно и в срок защищавшим отчеты, зачет по лабораторным работам проставляется преподавателем в журнале, ведомости и зачетной книжке без дополнительного опроса.

Правила техники безопасности при работе студентов в лабораториях кафедры по дисциплине «Электротехника, электроника и электрооборудование автомобилей»

1. В целях предупреждения несчастных случаев напряжение выше 36 В следует считать опасным для жизни.

2. Начиная работу, студенты должны убедиться в том, что на лабораторном столе (вводные рубильники, пакетные выключатели) нет напряжения.

3. Составление, разборку или изменение схемы производят только с разрешения преподавателя.

4. Запрещается включать вновь составленную или измененную схему без предварительной проверки ее преподавателем.

5. Запрещается прикасаться к токоведущим частям и металлическим частям незаземленных электрических аппаратов, если на щите имеется напряжение.

6. Все операции производить только одной рукой. При этом следует остерегаться прикосновений какой-либо частью тела к окружающим металлическим либо влажным предметам. Опасно, например, прикасаться одновременно к электрическим машинам, корпусу щита, водопроводным трубам, трубам центрального отопления или находиться на мокром либо цементном полу.

7. Перед включением напряжения следует убедиться в том, что все регулирующие аппараты находятся в исходном положении. После отключения напряжения необходимо немедленно восстановить на всех регулировочных аппаратах исходное положение.

8. Перед включением напряжения следует предупредить об этом всех участников работы. Необходимо убедиться, что никому из них не угрожает опасность попасть под напряжение.

9. Если при прикосновении к какой-либо части оборудования ощущается напряжение, то необходимо прекратить работу, выключить ток и вызвать преподавателя.

10. При обнаружении неисправности оборудования следует прекратить работу, отключить напряжение и сообщить преподавателю или мастеру о неполадках в работе. Устранять неполадки собственными силами запрещается.

11. При работе с цепями переменного тока, содержащими конденсаторы, следует соблюдать особую осторожность, имея в виду возможность значительного возрастания напряжения на отдельных участках по сравнению с напряжением источника тока вследствие возможного явления резонанса напряжений.

12. Следует остерегаться вращающихся частей машины. В связи с этим запрещается находиться в лаборатории в свободной одежде, с шарфами или шалями, с распущенными волосами, незакрепленным галстуком. Запрещается приближаться к вращающейся муфте сцепления.

13. Запрещается прикасаться к приборам, находящимся на задней стенке щитов.

14. Запрещается студентам заходить за лабораторный стенд.

15. При необходимости пользоваться кнопкой аварийного срочного отключения.

16. Запрещается приступать к выполнению работы до тех пор, пока преподавателем не будет установлено, что студенту известны цель работы, метод ее выполнения, способ обращения с оборудованием, диапазон переменных величин и предполагаемые результаты.

17. Запрещается покидать лабораторию без разрешения преподавателя.

18. Запрещается оставлять без надзора установки, приведенные в рабочее состояние.

19. Перед началом работы следует распределить между членами бригады обязанности с таким расчетом, чтобы обеспечить соблюдение правил

техники безопасности. Необходимо, например, обеспечить возможность быстрого аварийного отключения установки студентом, постоянно находящимся вблизи главного рубильника.

20. Рекомендуется останавливать агрегат всякий раз, когда возникает необходимость обсудить дальнейший план работы.

21. Запрещается переносить приборы с одного места на другое.

22. Запрещается трогать оборудование, неиспользуемое в данной работе.

23. После проработки настоящей инструкции на первом лабораторном занятии все студенты обязаны расписаться в лабораторном журнале по технике безопасности.

24. Без инструктажа и отметки в журнале преподавателю запрещается допускать студента к лабораторным работам.

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Подготовку к лабораторной работе следует начинать с изучения ее описания. Однако, поскольку в описании даются только основные теоретические сведения, необходимо соответствующие разделы изучить и по учебной литературе, список которой приведен в конце пособия. Для самостоятельной проверки студентами усвоения теоретического материала в конце описания каждой лабораторной работы приводятся контрольные вопросы.

К выполнению лабораторной работы студенты допускаются после проверки преподавателем отчета, выполнения подготовительного задания, знаний теоретического материала и порядка выполнения работы.

Собрав цепь, студенты должны получить разрешение преподавателя на включение источников питания. После выполнения нескольких измерений, полученные результаты желательно показать преподавателю. Если в процессе измерений были допущены неточности, то их еще можно исправить. Нельзя разбирать или менять собранную схему без разрешения преподавателя.

После выполнения работы преподаватель проверяет и подписывает полученные результаты и делает соответствующую отметку в журнале.

Порядок проведения лабораторных работ

Целью лабораторного практикума по дисциплине "Электротехника, электроника и электрооборудование автомобилей" является экспериментальное подтверждение основных теоретических разделов курса, овладение методикой некоторых электрических измерений. Лабораторные работы выполняются с применением ПЭВМ и не требуют использования дорогостоящего лабораторного оборудования. Такая методика проведения лабораторных работ наиболее полно отражает особенности дистанционной технологии обучения. Используемое программное обеспечение может быть установлено на компьютер, работающий с ОС Windows 95 и выше.

Выполнение каждой работы состоит из трех основных этапов:

1. Подготовка к лабораторной работе.
2. Выполнение эксперимента в лаборатории.
3. Составление отчета.

Подготовка к лабораторной работе

Во время подготовки к лабораторной работе студент обязан:

- обстоятельно ознакомиться соответствующими разделами теоретического курса;
- выполнить требуемые предварительные расчеты и графики;
- составить необходимые принципиальные и монтажные схемы эксперимента, продумать, назначение каждого прибора и деталей лабораторной установки, а также порядок их включения;
- составить подготовить ответы на контрольные вопросы.

Выполнение эксперимента

Лабораторные работы выполняются подгруппами по два человека в часы, предусмотренные расписанием. Непосредственному выполнению каждой лабораторной работы предшествует теоретический коллоквиум – проверка подготовленности студентов. При этом студент представляет преподавателю оформленный отчет по предыдущей работе и все расчеты, графики и схемы, относящиеся к выполняемой работе.

Если представленные материалы признаны удовлетворительными, преподаватель задает контрольные вопросы, касающиеся предстоящей лабораторной работы.

Если материалы, представленные студентом, или ответы на контрольные вопросы признаны неудовлетворительными, студент к выполнению лабораторной работы не допускается.

Студенты, допущенные к работе, выполняют ее в соответствии с настоящими указаниями.

Все студенты должны быть ознакомлены с инструкцией по технике безопасности и правилами внутреннего распорядка в лаборатории.

Расчеты, основанные на экспериментальных данных, выполняются в лаборатории в процессе работы. Кривые, снятые в лаборатории, вычерчиваются также в процессе работы.

Экспериментальная часть работы считается выполненной после просмотра и утверждения черновика отчета преподавателем.

Составление и сдача отчета

1. Отчет составляется каждым и студентом индивидуально.
2. В отчете должны быть отражены:
 - цель работы;
 - результаты подготовки к выполнению лабораторной работы;
 - экспериментальная часть работы;
 - выводы по выполненной работе.
3. По результатам домашней работы составляются и приводятся таблицы, графики, указанные в описании, необходимые расчеты. Расчетам должно предшествовать краткое объяснение методик расчета, расчетные формулы и соотношения указанием первоисточника. Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, расшифровываются в тексте отчета.
4. В разделе отчета, посвященного эксперименту, вычерчиваются схемы измерений с кратким объяснением методики эксперимента.
5. Рисунки и графики выполняются на отдельных листах белой или миллиметровой бумаги, помещаются после первого упоминания в тексте или в конце отчета в виде приложения; при размещении в тексте их размер должен быть не менее 10x15 см.
6. На график наносится координатная сетка, по осям проставляются изменяющиеся величины с указанием размерности. Рисунки и графики снабжаются подрисовочными подписями. Название таблицы помещается над ней.

7. Значения всех физических величин должны указываться в единицах СИ или в кратных дольных от них, и кратных и дольных от них.

8. Выводы содержат интерпретацию полученных результатов с точки зрения теории по всем пунктам задания, объяснение причин отклонения результатов эксперимента от расчетных величин, оценку погрешностей и т.д. Можно указать части работы, вызвавшие затруднения, внести рекомендации по улучшению лабораторного практикума.

9. В тексте отчета не следует, по возможности, использовать личные местоимения. Не допускается применять сокращения слов, кроме установленных правилами русского языка.

Работа с программой ElectronicsWorkbench

ElectronicsWorkbench – пакет программ. Предназначен для моделирования цифровых и аналоговых электронных схем. Изначально предлагался как учебный пакет.

Имеет хорошо продуманный интерфейс, обширную библиотеку элементов, в основном иностранного производства. Хорошо моделирует цифровые схемы.

Программа *ElectronicsWorkbench* позволяет моделировать процессы, происходящие в электрических цепях, и измерять основные характеристики моделируемых цепей.

Ниже приведено краткое описание некоторых команд и приемов работы, которые понадобятся при выполнении работ лабораторного практикума. В процессе выполнения лабораторных работ не ставится целью научиться работать с программой *ElectronicsWorkbench* в полном объеме, поэтому даны рекомендации по выполнению только ограниченного набора операций и приведена краткая характеристика только тех приборов и элементов, которые используются в практикуме.

Запуск программы

Программа запускается через ярлык *Wewb32.exe*, находящийся на рабочем столе.

Таблица 1

Проблемы и решения

Проблема	Решение
Где находятся пассивные элементы?	Кнопка <i>Basic</i> (третья слева в нижнем ряду)
Как разместить элемент на рабочем поле?	«Перетащить», удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как передвигать по рабочему полю?	«Перетаскивать», удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как удалить?	Щелчок правой кнопкой по элементу (вызов контекстного меню) – <i>Delete</i>
Как повернуть?	Щелчок правой кнопкой по элементу (вызов контекстного меню) – <i>Rotate</i>
Как установить величину?	Двойной щелчок по элементу – закладка <i>Value</i>
Как подписать(обозначить на схеме)?	Двойной щелчок по элементу – закладка <i>Label</i>
Где находится генератор сигналов?	Кнопка <i>Instruments</i> – крайняя правая в нижнем ряду кнопок панели управления В <i>Instruments</i> нажать вторую слева кнопку <i>Function Generator</i>
Как разместить прибор на рабочем поле?	«Перетащить», удерживая нажатой левую клавишу мыши

Как передвигать по рабочему полю?	«Перетаскивать» удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как удалить?	Щелчок правой кнопкой по элементу (вызов контекстного меню) – <i>Delete</i>
Как открыть переднюю панель?	Двойной щелчок по генератору
Как выбрать форму сигнала?	Нажать кнопку на передней панели
Как установить амплитуду и частоту?	На передней панели: <i>Frequency</i> – частота <i>Amplitude</i> – амплитуда

Таблица 2

Мультиметр

Проблема	Решение
Где находится мультиметр?	Кнопка <i>Instruments</i> – крайняя правая в нижнем ряду кнопок панели управления. В <i>Instruments</i> нажать крайнюю левую кнопку <i>Multimeter</i>
Как разместить прибор на рабочем поле?	«Перетащить», удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как передвигать по рабочему полю?	«Перетаскивать» удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как удалить?	Щелчок правой кнопкой по элементу (вызов контекстного меню) – <i>Delete</i>
Как открыть переднюю панель?	Двойной щелчок по генератору
Как выбрать режим работы?	Нажать кнопки на передней панели: А – амперметр, В – вольтметр,

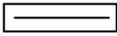
	-омметр,  – постоянный ток (напряжение),  – переменный ток (напряжение)
--	---

Таблица 3

Осциллограф

Проблема	Решение
Где находится осциллограф?	Кнопка <i>Instruments</i> – крайняя правая в нижнем ряду кнопок панели управления. В <i>Instruments</i> нажать крайнюю левую кнопку <i>Oscilloscope</i>
Как разместить прибор на рабочем поле?	«Перетащить», удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как передвигать по рабочему полю?	«Перетаскивать» удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как удалить?	Щелчок правой кнопкой по элементу (вызов контекстного меню) – <i>Delete</i>
Как открыть переднюю панель?	Двойной щелчок по генератору
Как установить нужный масштаб по вертикали?	<i>Cannel A</i> или <i>Cannel B</i> . Регулировка с размерностью <i>V/Div</i> (Вольт на деление)
Как установить нужный масштаб по горизонтали?	<i>Time base</i> Регулировка с размерностью <i>s/Div</i> , или <i>ms/Div</i> , или <i>us/Div</i> (секунд, миллисекунд, микросекунд на

	деление)
Что такое Y/T ?	Режим развертки. Изменение сигнала во времени
Что такое A/B ?	Режим, когда луч осциллографа перемещается в соответствии с сигналами, поданными на входы А и В. При гармоничных сигналах можно наблюдать фигуры Лиссажу
Можно ли сделать экран больше и измерять точнее?	Нажмите кнопку <i>Expand</i>
Как вновь уменьшить экран?	Нажмите кнопку <i>Reduce</i>

Таблица 4

Бодe-плоттер

Проблема	Решение
Где находится генератор сигналов?	Кнопка <i>Instruments</i> – крайняя правая в нижнем ряду кнопок панели управления. В <i>Instruments</i> нажать вторую слева кнопку <i>Function Generator</i>
Как разместить прибор на рабочем поле?	«Перетащить», удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как передвигать по рабочему полю?	«Перетаскивать», удерживая нажатой левую клавишу мыши
Как удалить?	Щелчок правой кнопкой по элементу (вызов контекстного меню) – <i>Delete</i>
Как открыть переднюю панель?	Двойной щелчок по генератору
Как выбрать вид характеристики?	<i>Magnitude</i> – АЧХ,

	Phase – ФЧХ, Log – логарифмический масштаб, Lin – линейный масштаб
Как установить пределы измерений?:	F – верхний отображаемый предел I – нижний предел
Почему после смены установок ничего не изменилось?	«Перезапустите» процесс моделирования («Выкл.» - «Вкл.»)
Как измерить коэффициент передачи при определенной частоте?	При помощи метки – тонкой черной линии. В окне на передней панели отразится частота и амплитуда (или фаза)

Таблица 5

Монтаж схемы и включение

Проблема	Решение
Как соединять элементы?	Подвести курсор к выводу элемента. При появлении черной точки (узла) нажать левую клавишу мыши и вести проводник к выводу другого элемента. В момент, когда на конце другого элемента появится узел, отпустить мышь. Если нужно присоединить конец к произвольной точке другого проводника, то следует отпустить мышь в тот момент, когда на проводнике появится узел
Нужно ли обозначать базисный узел?	Обязательно!

Где найти обозначение базисного узла?	Кнопка <i>Sources</i> (вторая слева в нижнем ряду) – <i>Ground</i>
Как включить?	Кнопка <i>Activate Simulation</i> в верхнем правом углу

При изменении схемы или параметров устройств и элементов не забывайте выключить кнопку *Activate Simulation*!

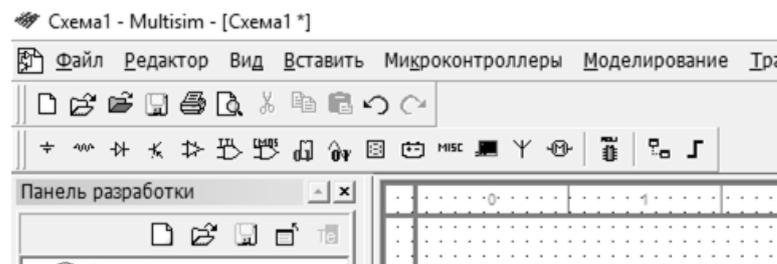


Рис. 1. Открыта библиотека пассивных элементов

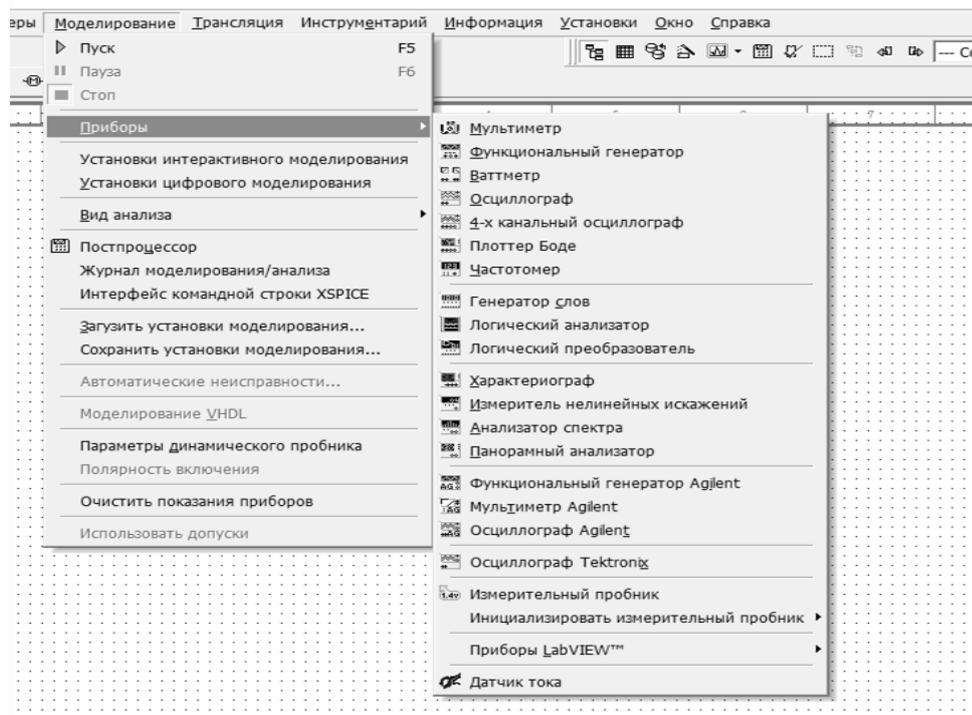


Рис. 2. Библиотека приборов

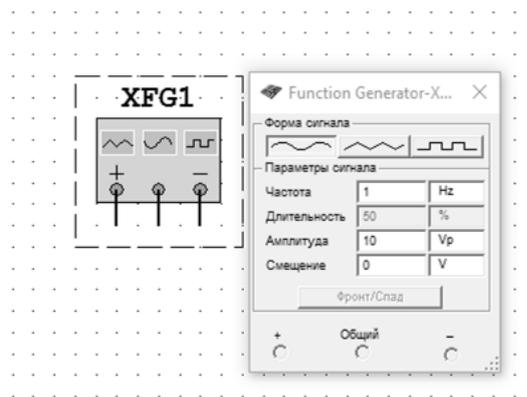


Рис. 3. Функциональный генератор

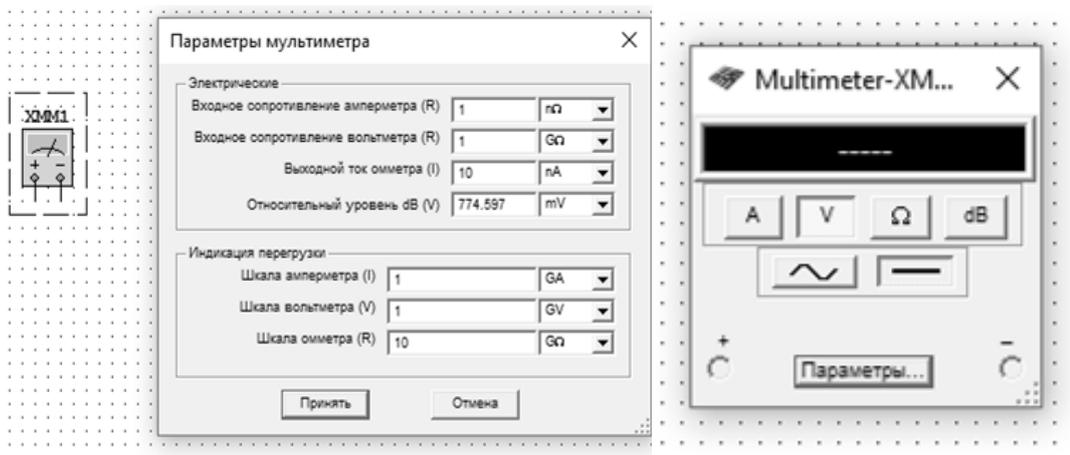


Рис. 4. Мультиметр

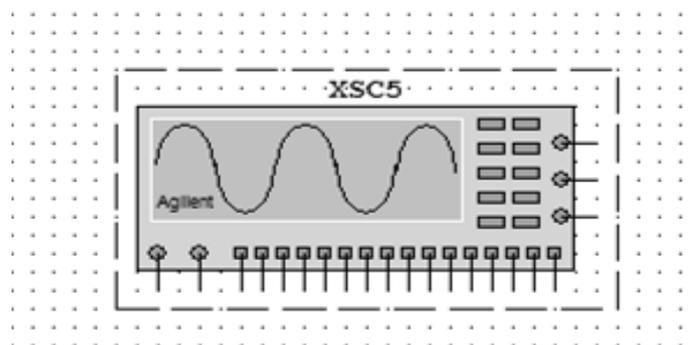


Рис. 5. Осциллограф

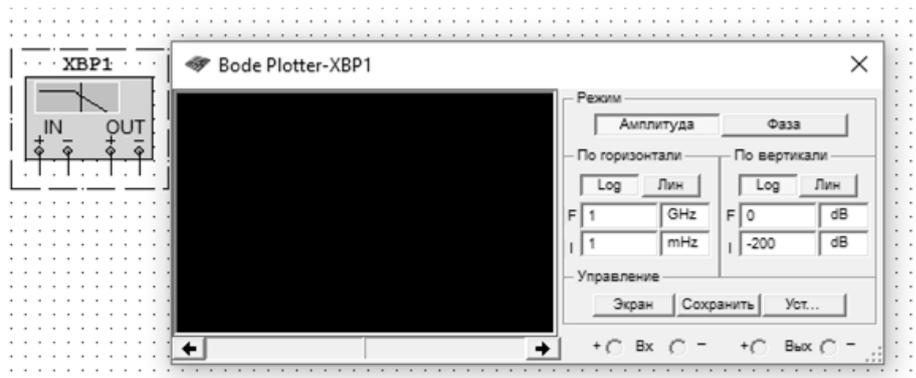


Рис. 6. Боде-плоттер

Раздел: Электротехника и электроника

Лабораторная работа №1. «Потеря напряжения»

Цель работы: исследовать модель линии электропередач и установить основные закономерности потери напряжения в проводах.

Оборудование:

1. Реостаты с $R_{ном.}=150\text{М.}; I_{ном.}=5\text{А}$ – 2шт.
2. Амперметр с $I_{ном.}=3\text{Ам.}; (5\text{Ам.})$
3. Вольтметр с $U_{ном.}=250\text{В.}$
4. Ламповый реостат.
5. Источник переменного напряжения $U=127\text{В.}$

Теоретический материал

Измерение токов, напряжений и сопротивлений

Измерение тока, потребляемого электрическими цепями, производится амперметрами – электроизмерительными приборами, включенными последовательно в цепь, в которой измеряется ток. Обмотку амперметра выполняют из небольшого числа витков толстого провода, поэтому она характеризуется очень малым сопротивлением. Малое сопротивление необходимо для того, чтобы сопротивление цепи, в которой производится измерение тока, при включении амперметра практически не изменялось. При этом мощность, потребляемая прибором, также оказывается небольшой.

Включенные таким образом амперметры используются как приборы непосредственной оценки – они показывают непосредственно числовое значение измеряемого тока.

В цепях постоянного тока в основном используются амперметры магнитоэлектрической, реже – электромагнитной систем. Обмотка амперметра может допускать ограниченное значение измеренного тока. Для расширения предела измерения амперметра в электрических цепях постоянного тока используют шунты – специальные тарированные резисторы, включаемые параллельно с амперметром (рис. 7 а).

Сопротивление шунта $R_{ш}$, как следует из схемы (рис. 7 а), включено параллельно сопротивлению R_a обмотки амперметра, поэтому ток I электрической цепи распределяется по соответствующим параллельным ее ветвям обратно пропорционально сопротивлениям:

$$I_a / I_{ш} = R_{ш} / R_a, I_{ш} = I_a R_a / R_{ш},$$

где $I_{ш}$ – ток в цепи шунта; I_a – ток в цепи амперметра (показание амперметра).

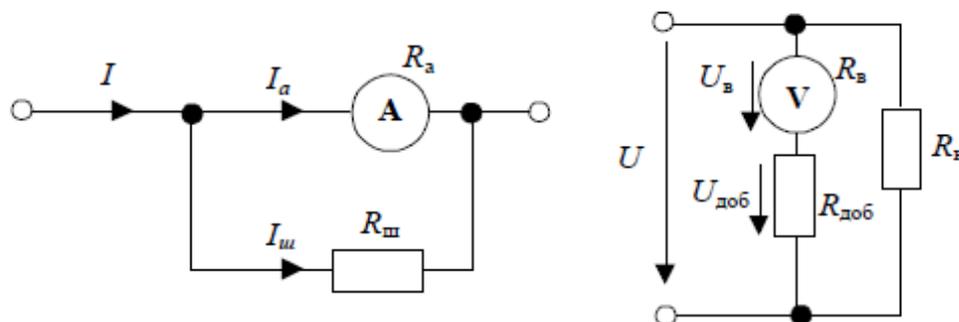


Рис. 7.

Для схемы (см. рис. 7 а) справедливо следующее соотношение между токами:

$$I = I_a + I_{ш}.$$

С учетом этого измеряемый ток в электрической цепи можно определить по показаниям амперметра и известным значениям сопротивлений обмотки амперметра и шунта:

$$I = (1 + R_a/R_{ш})I_a = K_{ш}I_a,$$

где шунтирующий множитель $K_{ш} = 1 + R_a/R_{ш}$.

Из уравнения видно, что для расширения предела измерения амперметра в 2 раза сопротивление шунта должно быть таким же маленьким, как и сопротивление амперметра $R_{ш}=R_a$. Для увеличения предела измерений в N раз сопротивление шунта должно быть меньше сопротивления амперметра в $(N - 1)$ раз:

$$R_{ш} = R_a / (N - 1).$$

В ряде случаев шкала амперметра градуируется с учетом наличия шунта, при этом измеряемый ток в электрической цепи отсчитывается непосредственно по шкале прибора.

Измерение напряжения в электрических цепях осуществляется с помощью вольтметров — электроизмерительных приборов, включенных параллельно участку цепи, на котором измеряется напряжение. Обмотку вольтметра выполняют из большого числа витков тонкого провода, поэтому она характеризуется очень большим сопротивлением. Большое сопротивление необходимо для того, чтобы сопротивление участка цепи, на котором производится измерение напряжения, при включении вольтметра практически не изменялось. При этом мощность, потребляемая прибором, оказывается небольшой.

Включенные таким образом вольтметры используются как приборы непосредственной оценки — они показывают непосредственно числовое значение измеряемого напряжения.

В цепях постоянного тока обычно используются вольтметры магнитоэлектрической и электромагнитной систем. С целью расширения предела измерения вольтметров последовательно с обмоткой включают тарированные добавочные резисторы, помещаемые внутри прибора или отдельно от него (см. рис. 7 б).

При наличии добавочного сопротивления $R_{доб}$, включенного последовательно с обмоткой вольтметра, имеющей сопротивление $R_в$, подлежащее измерению напряжение U распределяется пропорционально этим сопротивлениям:

$$U_в / U_{доб} = R_в / R_{доб} , \quad U_{доб} = U_в R_{доб} / R_в ,$$

где $U_в$ — напряжение на зажимах вольтметра (показания вольтметра); $U_{доб}$ — напряжение, приложенное к добавочному сопротивлению.

Измеряемое напряжение $U = U_в + U_{доб}$. С учетом этого измеряемое напряжение определяют по показаниям вольтметра $U_в$ и известным сопротивлениям обмотки вольтметра и добавочного сопротивления:

$$U = (1 + R_{\text{доб}}/R_{\text{в}})U_{\text{в}} = K_{\text{доб}}U_{\text{в}},$$

где добавочный множитель $K_{\text{доб}} = 1 + R_{\text{доб}}/R_{\text{в}}$.

Для расширения пределов измерения значений напряжения в N раз сопротивление добавочного сопротивления должно быть больше большого внутреннего сопротивления вольтметра в $(N - 1)$ раз.

$$R_{\text{доб}} = R_{\text{в}}(N - 1).$$

Во многих случаях шкала вольтметра градуируется с учетом включенного последовательно с его обмоткой добавочного сопротивления, при этом измеряемое напряжение, действующее на зажимах электрической цепи, отсчитывается непосредственно по шкале прибора.

Измерение электрических сопротивлений осуществляется разными методами. Широко используется метод амперметра и вольтметра, основанный на применении закона Ома к участку электрической цепи, который содержит измеряемое сопротивление. По падению напряжения на участке цепи и току представляется возможным определить его сопротивление R_x :

$$R_x = U/I,$$

где U – напряжение, подводимое к измеряемому сопротивлению; I – ток в цепи измеряемого сопротивления.

Измерение больших электрических сопротивлений методом амперметра и вольтметра осуществляется по схеме (рис. 8 а) и используется в тех случаях, когда измеряемое сопротивление значительно больше сопротивления обмотки амперметра, последовательно с которой оно включено. При этом пренебрегают падением напряжения на сопротивлении обмотки амперметра, считая, что подводимое напряжение полностью приложено к измеряемому сопротивлению. При точном определении измеряемого сопротивления с учетом ошибки, вносимой амперметром, его значение рассчитывается по формуле

$$R_x = (U - R_a I)/I,$$

где R_a – сопротивление обмотки амперметра.

Измерение малых электрических сопротивлений методом амперметра и вольтметра осуществляется по схеме (рис. 8 б), которая позволяет исключить влияние сопротивления обмотки амперметра на точность определения измеряемого сопротивления и используется в тех случаях, когда сопротивление обмотки амперметра соизмеримо с измеряемым сопротивлением. При этом пренебрегают током через большое сопротивление обмотки вольтметра R_B . Для точного определения сопротивления с учетом погрешности, вносимой вольтметром, его значение рассчитывается так:

$$R_x = U / (I - U / R_B).$$

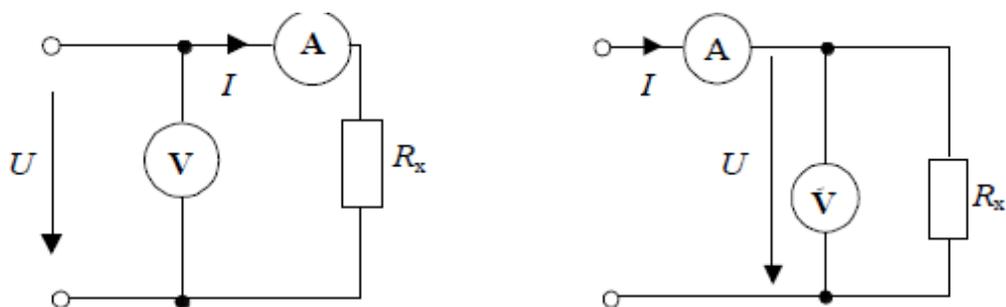


Рис. 8.

При передаче электрической энергии по коротким проводам сопротивлением их можно пренебречь. При большой длине их ($L > 10$ м) сопротивлением проводов пренебрегать нельзя, так как электрический ток вызовет в них заметное падение напряжения.

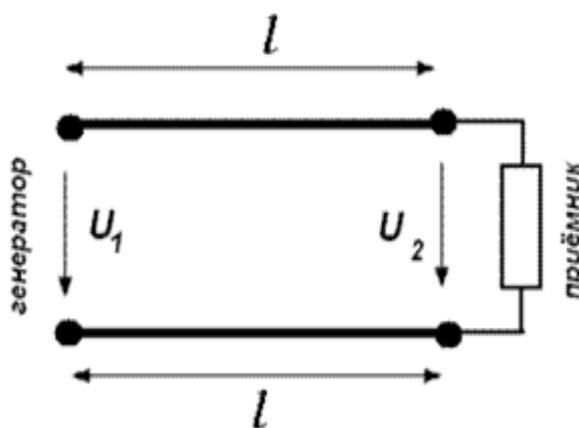


Рис.9.

Разность напряжений в начале и в конце линии (рис. 9) равна падению напряжению в проводах и называется потерей напряжения ΔU .

$$\Delta U = U_1 - U_2; \Delta P = \Delta UI; \eta = \frac{U_2}{U_1} 100\%; R_{л} = \frac{\Delta U}{I}.$$

При неизменном напряжении в начале линии напряжение в конце линии, т. е. на приёмнике, изменяется.

Чтобы линия была экономичной, необходимо выбирать сечение проводов S в зависимости от:

$$\Delta U = I \cdot R_{\text{линии}} = I \frac{\rho \cdot 2l}{S}$$

I – тока, определяющегося потребителем (приемником энергии);

ρ – удельного сопротивления материала жилы: медь или алюминий;

l – длины линии, определяющейся удалённостью потребителя от источника тока.

При заданной допустимой потере напряжения определяют необходимое сечение проводов линии по формуле:

$$S = \rho \frac{I \cdot 2l}{\Delta U}$$

Найденное по формуле сечение, округляют до ближайшего большего стандартного. Это сечение должно быть проверено на допустимое нагревание проводов.

При передаче электроэнергии нужно выбрать сечение проводов линии передачи так, чтобы обеспечить нормальное рабочее напряжение $U_{\text{ном}}$ (номинальное напряжение) на зажимах приемников электроэнергии. В особенности это важно для осветительных установок, так как при повышении напряжения только на 5% по отношению к номинальному, длительность горения нормальной лампы уменьшается на 50%; при понижении напряжения на те же 5% световой поток этой лампы уменьшается на 18%.

Согласно ПУЭ (Правилам устройства электроустановок):

– на зажимах приборов рабочего освещения производственных помещений и общественных зданий, а также в прожекторных установках наружного освещения допускается отклонение напряжения (потеря напряжения):

$$\Delta U, \% \leq 2,5\% U_{\text{н}}$$

- на зажимах электродвигателей:

$$\Delta U, \% \leq 5\% U_{\text{н}}$$

Мощность потерь в линии электропередач (ЛЭП) определяется

$$\Delta P = I \cdot \Delta U = I^2 R.$$

Коэффициент полезного действия линии (КПД) с увеличением нагрузки уменьшается:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta U}{U_1} \cdot 100\%$$

Ход работы:

1. Собрать электрическую схему и представить ее для проверки преподавателю.

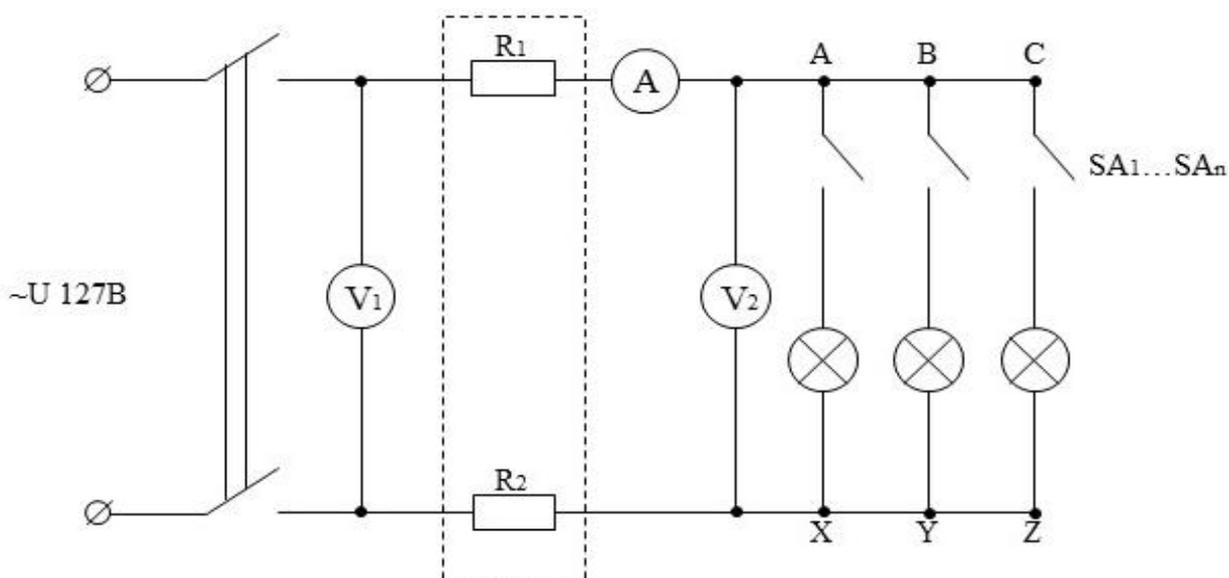


Рис. 10.

2. Изменяя количество включенных ламп, изменять ток в цепи, записывая показания приборов в таблицу.

3. Вычислить указанные в таблице расчетные величины:

ΔU – потеря напряжения в линии;

ΔP – потеря мощности в линии;

η – К.П.Д. линии электропередачи.

4. Построить графики зависимостей:

$$U_2 = f_1(I); \Delta U = f_2(I); \Delta P = f_3(I); \eta = f_3(I).$$

5. Сделать выводы по работе.

Таблица 6

№	Измерить			Вычислить			
	I	U_1	U_2	ΔU	ΔP	η	$R_{л}$
	А	В	В	В	Вт	%	Ом
1							
2							
3							
4							
5							

Расчетные формулы:

$$\Delta U = U_1 - U_2; \Delta P = \Delta UI; \eta = \frac{U_2}{U_1} 100\%; R_{л} = \frac{\Delta U}{I}.$$

Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Электрическая схема.
3. Таблицы опытных и расчетных величин.
4. Расчетные формулы.
5. Расчеты.
6. Графики.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется, потерей напряжения?
2. Чему равна допустимая потеря напряжения для осветительной нагрузки? Для силовой нагрузки?
3. Каковы способы снижения потерь напряжения?
4. Как изменяется сопротивление лампового реостата, если увеличить число включенных ламп?
5. Как изменится ток в цепи при уменьшении количества включенных ламп? Поясните.
6. Как изменится напряжение на лампах при увеличении числа включенных ламп?

Лабораторная работа №2. «Способы соединения резисторов»

Цель работы: проверить на опыте свойства последовательного и параллельного соединения сопротивлений, законы Ома и Кирхгофа.

Оборудование:

1. Источник переменного напряжения с $U=220\text{В}$.
2. Ламповый реостат.
3. Амперметр с $I_{\text{ном}}=1\text{А}$.
4. Амперметр с $I_{\text{ном}}=3\text{А}$.
5. Амперметр с $I_{\text{ном}}=5\text{А}$.
6. Вольтметр с $U_{\text{ном}}=250\text{В}$.

Теоретический материал

При расчете электрических цепей применяют схемы замещения – расчетные модели электрической цепи, на которой реальные элементы замещаются идеализированными. Например, для учета необратимого процесса потребления электрической энергии элементом цепи, в схему замещения вводят резистивный элемент, или просто резистор, обладающий сопротивлением R (рис. 11). Источник напряжения может замещаться идеальным источником напряжения, который характеризуется величиной ЭДС E .

Закон Ома определяет связь между основными электрическими величинами. Ток в резисторе прямо пропорционален напряжению на его концах и обратно пропорционален сопротивлению.

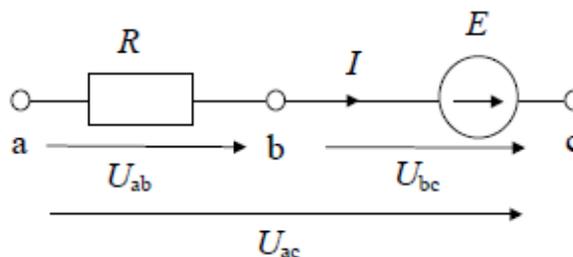


Рис.11.

Для участка цепи между точками «а» и «b» (рис. 11) по закону Ома:

$$I = U_{ab}/R, R = U_{ab}/I, U_{ab} = RI,$$

где I – ток; U_{ab} – напряжение между точками «а» и «b» (направлено от «а» к «b»).

Напряжение на пассивном участке U_{ab} и равное ему произведение RI , часто называют падением напряжения. При этом предполагается, что условные направления напряжения и тока совпадают. Если направление напряжения противоположно току (от «b» к «а»), тогда согласно закону Ома следует изменить знак: $I = -U_{ba}/R$.

На выводах идеального источника напряжение равно ЭДС E и направлено в противоположную сторону: $U_{bc} = -E$ или $U_{cb} = E$.

Обобщенный закон Ома определяет связь между основными электрическими величинами на участке цепи, содержащем источник, т.е. для активного участка. Для такого участка цепи (см. рис. 11) напряжение равно сумме напряжений элементов:

$$U_{ac} = U_{ab} + U_{bc}, U_{ac} = IR - E.$$

В общем случае на активном участке цепи

$$I = (\pm U \pm E)/R,$$

где перед напряжением U и ЭДС E ставится знак "+", если их условные направления совпадают с током I , в противном случае ставится знак "-".

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической цепи. Узлами называют точки электрической цепи или схемы, где соединяются несколько ветвей. Ветвь – это участок цепи, содержащий последовательно соединенные элементы. Первый закон Кирхгофа гласит: алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю, т.е.

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

где I_k – ток k -й ветви, присоединенной к данному узлу; n – число ветвей, подключенных к узлу.

Токи, направленные к узлу, записываются со знаком «+», а направленные от узла – со знаком «-».

Первый закон Кирхгофа может быть сформулирован иначе: сумма токов, входящих в узел, равна сумме токов, выходящих из узла.

Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрической цепи. Контур – любой путь вдоль ветвей электрической цепи, начинающийся и заканчивающийся в одной и той же точке. Второй закон Кирхгофа формулируется следующим образом: алгебраическая сумма напряжений в контуре электрической цепи равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0.$$

Если в контуре есть ЭДС, алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях этого контура (падений напряжения) равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

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

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

Произвольно выбирается направление обхода контура. ЭДС и напряжения, направления которых совпадают с направлением обхода контура, считаются положительными.

Расчет электрических цепей по законам Кирхгофа следует проводить в следующем порядке:

1) определить число ветвей v , в каждой ветви обозначить неизвестный ток, с указанием условного направления (произвольно), определить количество узлов y ;

2) определить количество уравнений по первому закону Кирхгофа $n_1 = y - 1$; и по второму $n_2 = v - (y - 1)$;

3) составить систему уравнений.

По первому закону составляются n_1 уравнений для произвольно выбранных узлов. Для второго закона необходимо выбрать n_2 независимых

контуров. Для этого достаточно последовательно выбирать их таким образом, чтобы каждый последующий контур содержал новую ветвь.

В электрических цепях применяют последовательное, параллельное и смешанное соединение резисторов.

Последовательным соединением резисторов – (приемников энергии) называется такое соединение, при котором резисторы соединены один за другим без разветвлений (рис. 12) и при наличии источника питания по ним проходит один и тот же ток.

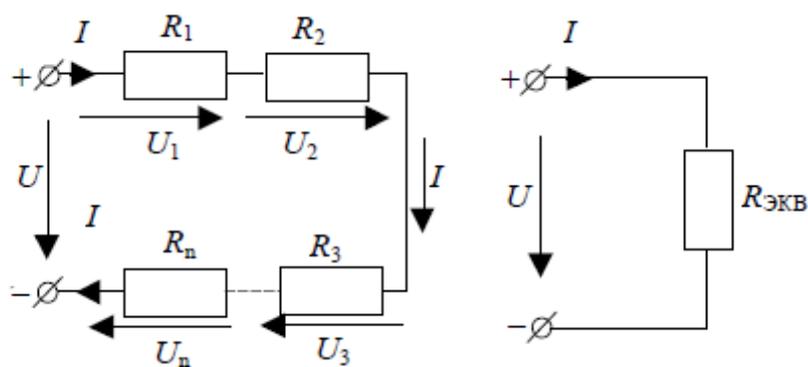


Рис.12.

При последовательном соединении n резисторов токи заданной (рис. 12) и эквивалентной схем будут одинаковыми. Поэтому, для них по второму закону Кирхгофа можно написать уравнения

$$U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = U$$

или

$$R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots + R_n I = R_{\text{ЭКВ}} I$$

и определить эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n.$$

Таким образом, эквивалентное сопротивление последовательно соединенных пассивных элементов равно сумме сопротивлений этих элементов.

При расчете цепи с последовательным соединением элементов при заданных напряжении источника питания и сопротивлениях элементов ток в цепи рассчитывают по закону Ома:

$$I = U/R_{\text{ЭКВ}}.$$

Параллельное соединение характеризуется тем, что все элементы присоединяются к одной и той же паре узлов (рис. 13). При этом ко всем элементам приложено одно и то же напряжение U .

Для схемы (см. рис. 13) на основании первого закона Кирхгофа можно записать:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

или, учитывая, что для каждой ветви по закону Ома $I_k = U/R_k$,

$$I = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3 + \dots + U/R_n = U(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n).$$

Заменим параллельно соединенные резисторы одним эквивалентным $R_{\text{ЭКВ}}$. Для схемы рис. 13 ток $I = U/R_{\text{ЭКВ}}$.

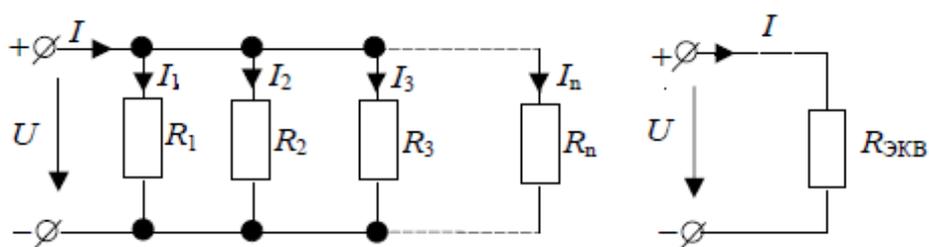


Рис.13.

По условиям эквивалентности при одном и том же напряжении U в схемах, токи должны быть одинаковы. Поэтому

$$1/R_{\text{ЭКВ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n.$$

Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью $G=1/R$:

$$G_{\text{ЭКВ}} = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n = \sum G_k,$$

т.е. эквивалентная проводимость параллельно соединенных резистивных элементов равна сумме их проводимостей.

Эквивалентная проводимость всегда больше проводимости любой части параллельных ветвей. Эквивалентной проводимости $G_{\text{ЭКВ}}$ соответствует эквивалентное сопротивление $R_{\text{ЭКВ}} = 1/G_{\text{ЭКВ}}$, которое всегда меньше наименьшего из сопротивлений ветвей.

В частном случае, если параллельно соединены два резистора R_1 и R_2 , их эквивалентная проводимость $1/R_{\text{ЭКВ}}=1/R_1 + 1/R_2$, а эквивалентное

сопротивление $R_{\text{ЭКВ}}=(R_1R_2)/(R_1+R_2)$ (равно произведению этих сопротивлений, деленному на их сумму).

Если $R_1 = R_2$, эквивалентное сопротивление будет в 2 раза меньше.

В общем случае, при n ветвях с одинаковыми сопротивлениями резисторов R , включенных между двумя узлами, эквивалентное сопротивление между узлами $R_{\text{ЭКВ}} = R/n$.

Ток в неразветвленной части цепи с параллельным соединением резисторов может быть определен по закону Ома: $I = U/R_{\text{ЭКВ}} = G_{\text{ЭКВ}}U$.

Следует ясно представлять, что при подключении нового потребителя электроэнергии к сети образуется дополнительная параллельная ветвь, общая проводимость цепи при этом увеличивается, ее эквивалентное сопротивление уменьшается, ток в неразветвленной части цепи (ток источника питания) увеличивается.

Смешанное соединение представляет собой сочетание последовательного и параллельного соединений. Эквивалентное сопротивление находится путем постепенного упрощения схемы и свертывания ее таким образом, чтобы получилось одно сопротивление. При расчете токов в отдельных ветвях схему разворачивают в обратном порядке.

Ход работы:

1. Собрать схему с последующим соединением группы ламп:

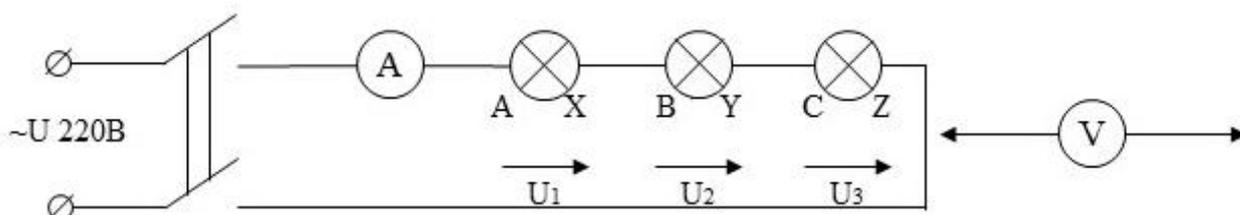


Рис. 14.

2. Предоставить схему на проверку преподавателю.
3. Включить напряжение, измерить ток цепи, напряжение во всей цепи и на отдельных участках, показания занести в Таблицу 7.

4. Повторить пункт №3 для напряжения $U=220\text{В}$.

5. Определить расчетные величины.

Таблица 7

№	Измерить					Вычислить							
	U	I	U ₁	U ₂	U ₃	R _{общ}	R ₁	R ₂	R ₃	P _{общ}	P ₁	P ₂	P ₃
	В	А	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	Вт
1													
2													

Расчетные формулы:

$$R_k = \frac{U_k}{I}; \quad P_k = U_k \cdot I$$

6. Собрать схему с параллельным соединением сопротивлений.

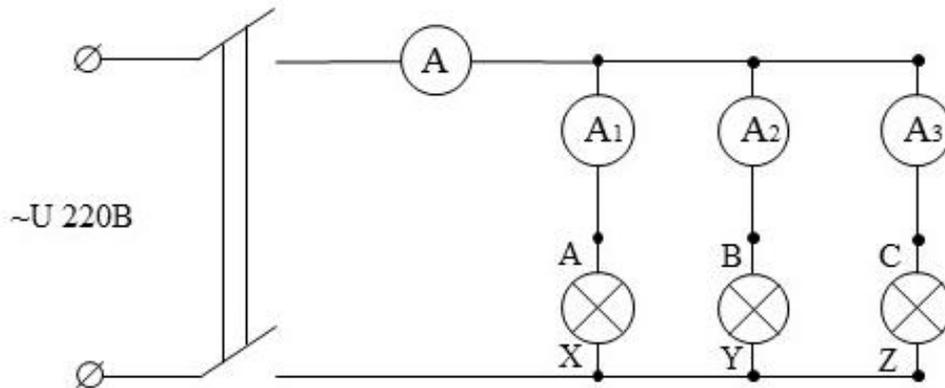


Рис. 15.

7. Подать напряжение, снять показания приборов, занести их в Таблицу 8.

Таблица 8

Измерить								Вычислить							
U	I	I ₁	I ₂	I ₃	U ₁	U ₂	U ₃	G	G ₁	G ₂	G ₃	P	P ₁	P ₂	P ₃
В	А	А	А	А	В	В	В	См	См	См	См	Вт	Вт	Вт	Вт

Расчетные формулы:

$$G_k = \frac{I_k}{U_k}; \quad P_k = I_k \cdot U_k.$$

8. Вычислить расчетные величины.

Содержание отчета:

1. Название и цель работы.
2. Схемы и таблицы.
3. Расчетные формулы и расчеты.
4. Графики, подтверждающие Закон Ома.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте первый закон Кирхгофа и подтвердите его опытными данными.
2. Сформулируйте второй закон Кирхгофа и подтвердите его опытными данными.
3. Сформулируйте свойства последовательного соединения сопротивлений, подтвердите каждое численными данными из таблиц.
4. Сформулируйте свойства параллельного соединения сопротивлений, подтвердите каждое численными данными из таблиц.
5. Как найти мощность всей цепи, зная мощность отдельных участников?

Лабораторная работа №3 «Циклическое перемагничивание ферромагнетиков»

Цель работы: изучить явление перемагничивания с помощью электронного осциллографа, получить опытным путем основную кривую намагничивания и петлю магнитного гистерезиса; выявить степень насыщения стального сердечника, его остаточную магнитную индукцию и коэрцитивную силу.

Оборудование:

1. Стальной сердечник с двумя обмотками.
2. Электронный осциллограф С1-68.
3. Амперметр.
4. Вольтметр.
5. Реостаты.
6. Батарея конденсаторов.

Теоретический материал

Если взять ферромагнитное тело в размагниченном состоянии и начать его намагничивание, т.е. увеличивать ток в катушке, до момента, когда индукция достигнет максимального значения, то можно получить кривую $B(H)$, называемую кривой первоначального намагничивания (рис. 16).

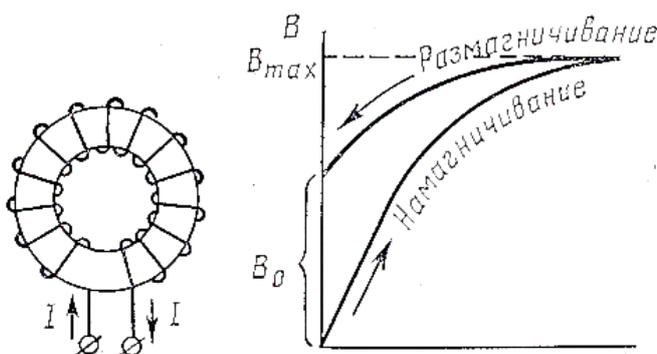


Рис.16

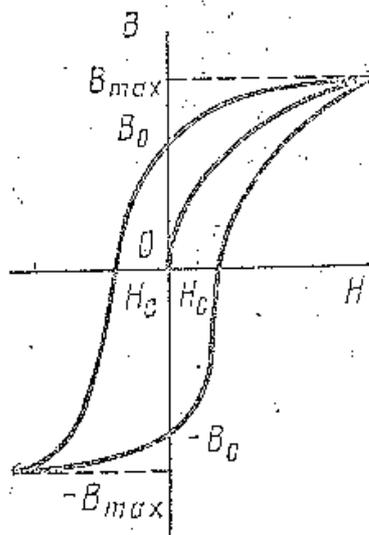


Рис.17.

Если уменьшать ток в катушке, т.е. уменьшать напряженность внешнего поля, то кривая будет располагаться немного выше кривой намагничивания. Таким образом, кривая размагничивания не совпадает с кривой намагничивания. Размагничивание сердечника как бы запаздывает по сравнению с уменьшением напряженности поля. Это явление получило название гистерезиса (отставание). Из рис. 16 видно, что при размагничивании, когда напряженность поля $H=0$, магнитная индукция тела сохраняет некоторую величину B_0 , называемую остаточной магнитной индукцией.

Для того чтобы довести магнитную индукцию тела до нуля (снять остаточную индукцию или размагнитить сердечник), необходимо изменить направление внешнего поля (направление тока в катушке) (рис. 17).

Величину напряженности магнитного поля (H_c), необходимую для снятия остаточной индукции, называют коэрцитивной силой. Если увеличивать напряженность поля на величину, большую, чем H_c , то магнитная индукция начнет возрастать, но с другой полярностью, т.е. будет снова происходить процесс намагничивания. При определенной напряженности поля магнитная индукция достигает наибольшего значения (B_{max}), при котором происходит магнитное насыщение тела. Таким образом,

изменяя ток в катушке по величине и направлению, можно получить данные для построения замкнутой кривой $B = f(H)$, которую называют петлей магнитного гистерезиса. На следующем рисунке 17 представлена кривая, характеризующая полный процесс циклического перемагничивания.

Кривую циклического перемагничивания называют петлей гистерезиса. При циклическом перемагничивании с определенной частотой ферромагнитные материалы нагреваются, что свидетельствует о затрате некоторой энергии на перемагничивание.

Величина этих потерь энергии тем больше, чем больше площадь, ограниченная петлей гистерезиса (рис.18).

Ферромагнетики подразделяются на магнитомягкие и магнитожесткие.

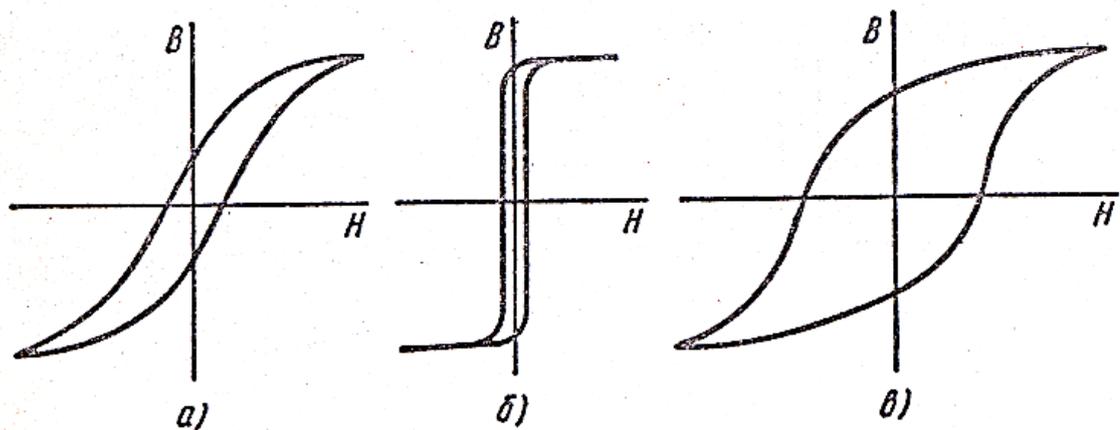


Рис.18

Для магнитомягких материалов характерно быстрое намагничивание и малая H_c . $H_c < 400 \text{ A/m} = 4 \text{ A/cm}$. Эти материалы легко намагничиваются и размагничиваются. Имеют узкую гистерезисную петлю и поэтому отличаются малыми потерями на гистерезис ($\Delta P_{\text{гист}} \rightarrow \text{мало}$).

Основные металлические магнитомягкие материалы – низкоуглеродистая сталь, чугун, электротехнические стали.

Железоникелевые сплавы – пермаллой, имеют высокую магнитную проницаемость, малую коэрцитивную силу, повышенное удельное сопротивление, малые потери на гистерезис и вихревые токи.

Соединения окислов металлов – ферриты изготавливают из порошковой смеси окиси железа (Fe_2O_3) с окислами других металлов (ZnO , MnO и т.д.) путем прессования и спекания при высоких температурах.

Магнитодиэлектрики – материалы, состоящие из смеси магнитомягкого материала (железо, пермаллой) с каким-либо органическим или неорганическим диэлектриком (эпоксидная смола, полистирол, жидкое стекло и т.д.).

Магнитомягкие материалы применяют для сердечников электрических машин и электромагнитных аппаратов (трансформаторы), в магнитных усилителях, высокочастотных узлах электронной аппаратуры.

Магнитотвердые или магнитожесткие материалы намагничиваются с трудом, но надолго сохраняют намагниченность. Они имеют относительно большие величины остаточной индукции (0,2-2Тл) и коэрцитивной силы (до $100\ 000\text{А/м}=1000\text{А/см}$), широкую петлю гистерезиса (рис. 18 в). Поэтому их применяют в постоянных магнитах.

К магнитотвердым материалам относятся мартенситные высокоуглеродистые стали, а также легированные стали (легирующие компоненты – хром, вольфрам, кобальт, молибден).

Магниты очень малых размеров или сложной формы изготавливают из металлокерамических материалов (прессование из порошков и спекание при высоких температурах).

Ход работы:

1. Собрать электрическую схему и представить ее для проверки преподавателю.

2. Включить цепь и для 4-5 значений тока в намагничивающей обмотке скопировать с экрана на кальку петлю гистерезиса, добиваясь насыщения магнитной системы.

3. Для случая полного насыщения снять показания амперметра и вольтметра, размеры петли магнитного гистерезиса X_{max} и Y_{max} .

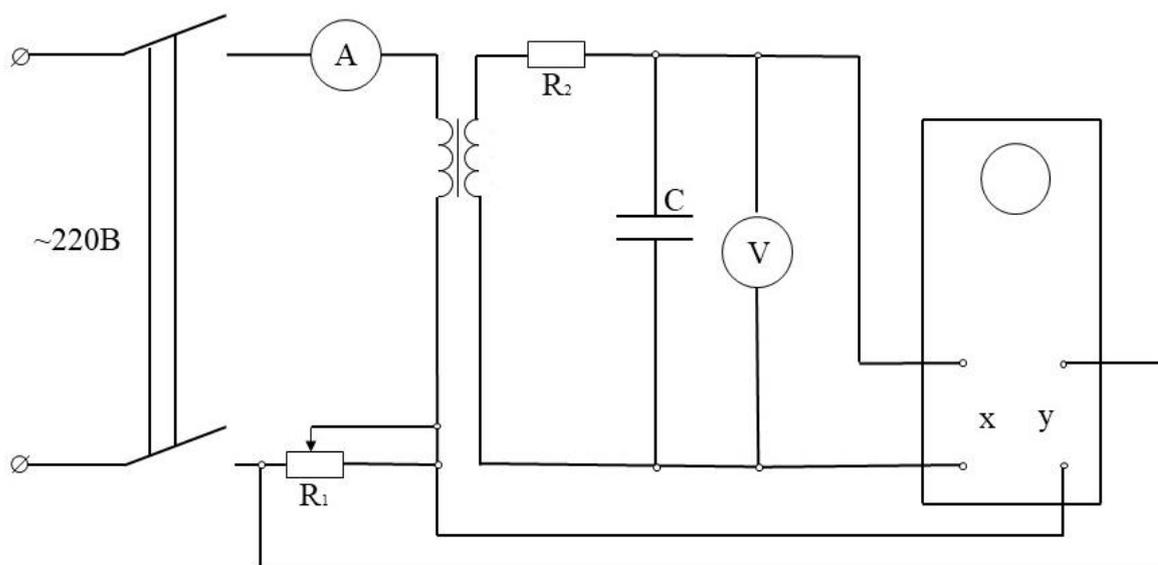


Рис. 19.

Результаты записать в Таблицу 9.

Таблица 9

Из опыта				Из расчета					
U_c	I	X_{max}	Y_{max}	B_s	H_s	m_b	m_n	B_r	H_c
В	А	мм	мм	T_l	А/м	Тл/мм	А/мм	Тл	А/м

4.
Пр
ои
зве
сти

обработку результатов опыта, используя параметры исследуемого сердечника:

$S=1\text{см}^2$ - площадь поперечного сечения.

$N_1=300$ - число витков намагничивающей обмотки.

$N_2=40$ - число витков измерительной обмотки.

$l_{cp}=16$ см - длина средней линии сердечника.

5. Рассчитать максимальную индукцию насыщения:

$$B_s = \frac{\sqrt{2}U_c R_2 C}{N_2 S}$$

6. Рассчитать максимальную напряженность насыщения:

$$H_s = \frac{\sqrt{2}K_n N_1 I}{l_{cp}}$$

K_n – поправочный коэффициент на несинусоидальность намагничивающего тока; принять $K_n = 1,3$.

7. Определить масштабы индукции и напряженности по формулам:

$$m_B = \frac{B_s}{y_{max}}; m_H = \frac{H_s}{x_{max}}$$

8. Определить остаточную индукцию B , и коэрцитивную силу H для цикла насыщения.

Контрольные вопросы

1. Раскройте смысл понятий: гистерезис, магнитное насыщение, остаточная индукция, коэрцитивная сила.
2. Что характеризует магнитная индукция B ? Напряженность магнитного поля H ?
3. По какому признаку ферромагнетики делят на магнитомягкие и магнитотвердые?
4. К какой группе относится исследуемый образец?
5. Опишите процесс намагничивания и перенамагничивания ферромагнетиков.

Лабораторная работа №4. «Неразветвленная цепь переменного тока»

Цель работы: исследовать режимы цепи переменного тока при различных соотношениях между величиной индуктивного и емкостного сопротивления; подтвердить на опыте метод векторных диаграмм.

Оборудование:

1. Источник переменного напряжения $U_c=127$ В.
2. Катушка индуктивности.
3. Конденсаторная батарея.
4. Амперметр с $I_{ном}=3$ А.
5. Вольтметр с $U_{ном}=150$ В.
6. Ваттметр с $I_{ном}=2,5$ А, $U_{ном}=150$ В.

Теоретический материал

Синусоидальным переменным током (напряжением, ЭДС) называется такой периодический ток, который изменяет свое направление и величину по закону синуса или косинуса.

Аналитически зависимость тока от времени можно представить выражением:

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha),$$

где i – мгновенное значение тока, I_m – максимальное или амплитудное значение тока; аргумент функции $(\omega t + \alpha)$ называется фазой, отсчитываемой от точки перехода тока через нуль к положительному значению; α – начальная фаза – значение фазы синусоидального тока в начальный момент времени.

Так как синусоидальной функцией можно описать вращательное движение, то под угловой частотой ω понимают скорость изменения переменной величины, где путь φ , пройденный этой переменной, выражен в радианах

$$\omega = \varphi / t.$$

Откуда следует, что

$$\varphi = \omega t.$$

При $t = T$ и $\varphi = 2\pi$. Тогда $\omega = \frac{2\pi}{T}$, где T – период, а $\nu = 1/T$ – частота колебаний. Период измеряется в секундах (с), а частота в герцах (Гц).

Графически синусоидально изменяющиеся функции изображаются синусоидами (рис. 20) или вращающимися векторами. В первом случае (временная диаграмма) ординаты синусоиды представляют собой мгновенные значения функции, а абсциссы – промежутки времени или фазы. Синусоида наглядно отражает изменения переменной величины во времени. Во втором случае (векторная диаграмма) длина вращающегося вектора отражает амплитуду, а угол, образованный этим вектором и осью абсцисс – фазу переменной. Проекции вращающегося вектора на ось ординат определяют мгновенные значения переменной.

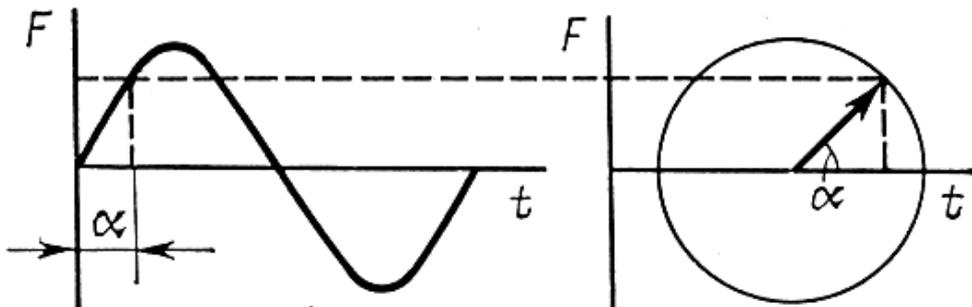


Рис.20.

При анализе цепей переменного тока, в большинстве случаев, нужно определять действующие значения токов (напряжений, ЭДС) и сдвиги фаз между ними. Для этой цели достаточно построения векторных диаграмм токов и напряжений соответствующих цепей. Такие диаграммы строятся для неподвижных векторов, т.е. векторы напряжений и токов цепи рассматриваются в положении, которое они занимают в определенный момент времени. Совокупность векторов, изображающих синусоидальные величины одинаковой частоты, называют векторной диаграммой.

Так как на векторной диаграмме представляют переменные величины одной частоты, то вращение векторов происходит с одной и той же угловой скоростью, следовательно, взаимное расположение их во времени остается неизменным. Это дает возможность наглядно видеть взаимное расположение синусоидальных величин в пространстве.

Построение векторных диаграмм существенно упрощает анализ цепей переменного тока. В большинстве случаев диаграммы используют лишь для того, чтобы, руководствуясь показываемыми ими соотношениями, составить уравнения Кирхгофа. В таких случаях нет необходимости строить диаграммы в точно определенных масштабах.

На векторных диаграммах взаимное расположение векторов не зависит от выбранного момента времени и направления первого вектора.

На практике часто приходится складывать синусоидальные токи, напряжения, ЭДС и другие величины.

Определим переменный ток i как сумму нескольких переменных токов i_1 и i_2 сначала аналитически, а затем, используя векторный метод.

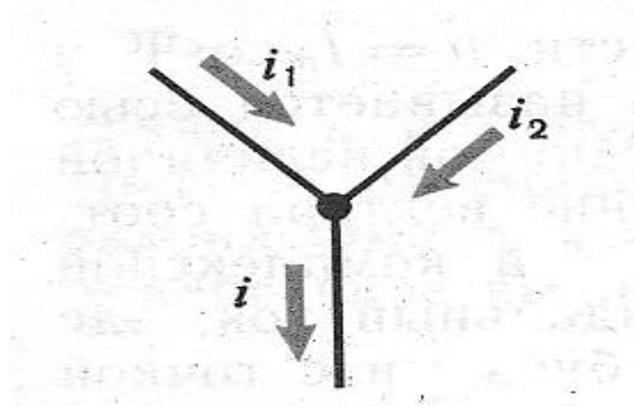


Рис.21. Схема узла электрической цепи

Аналитический метод. Для аналитического сложения необходимо произвести алгебраическое сложение мгновенных значений. Из закона Кирхгофа следует, что общий ток

$$i = i_1 + i_2.$$

Пусть $\omega = \omega_1 = \omega_2$ и $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \alpha_1)$, $i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \alpha_2)$,

$$i = i_1 + i_2 = I_{m1} \sin(\omega t + \alpha_1) + I_{m2} \sin(\omega t + \alpha_2).$$

Упростим задачу и положим, что $I_{m1} = I_{m2}$.

Тогда

$$i = I_{m1} [\sin(\omega t + \alpha_1) + \sin(\omega t + \alpha_2)] = I_{m1} \frac{2 \sin(\omega t + \alpha_2 + \omega t + \omega t + \alpha_1)}{2 \cos(\omega t + \alpha_2 + \omega t - \omega t - \alpha_1)} =$$

$2I_{m1} \sin(\omega t + (\alpha_2 + \alpha_1)/2) \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2$. Обозначим $2 I_{m1} \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2 = I_m$ и $\alpha_2 + \alpha_1/2 = \alpha$.

Тогда в окончательном виде:

$$i = 2I_{m1} \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{(\alpha_2 + \alpha_1)}{2}\right) = I_m \sin(\omega t + \alpha).$$

Откуда видно, что в результате сложения двух синусоидальных токов результирующий (общий) ток имеет ту же частоту ω , амплитуду равную I_m и начальную фазу α .

Векторный метод. Для сложения двух синусоидальных величин, заданных векторами, необходимо произвести геометрическое суммирование этих векторов, пользуясь правилом параллелограмма, т.е. $I_m = I_{m1} + I_{m2}$.

Из рис. 22 следует, что при сложении двух векторов, вращающихся с одинаковой частотой ω , результирующий вектор вращается с той же частотой.

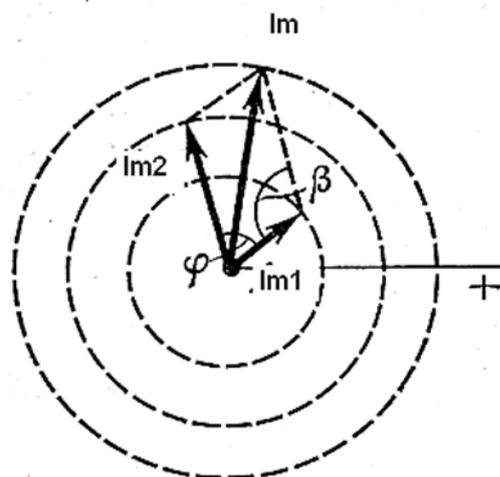


Рис. 22.

Для определения результирующей амплитуды при векторном сложении двух синусоидальных величин, сдвинутых по фазе, необходимо воспользоваться теоремой косинусов.

Тогда

$$\begin{aligned} I_m^2 &= I_{m1}^2 + I_{m2}^2 - 2I_{m1}I_{m2} \cos[\pi - (\alpha_2 - \alpha_1)] \\ &= I_{m1}^2 + I_{m2}^2 + 2I_{m1}I_{m2} \cos(\alpha_2 - \alpha_1), \end{aligned}$$

где $\alpha_2 - \alpha_1 = \varphi$ –сдвиг фаз между синусоидальными величинами.

Начальную фазу результирующего вектора α определим из соотношения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(I_{m1} \sin \alpha_1 + I_{m2} \sin \alpha_2)}{I_{m1} \cos \alpha_1 + I_{m2} \cos \alpha_2}.$$

Для случая $I_{m1} = I_{m2}$ следует:

$$\begin{aligned} I_m^2 &= 2I_{m1}^2 + 2I_{m1}^2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1) = 2I_{m1}^2 [1 + \cos(\alpha_2 - \alpha_1)] \\ &= 2I_{m1}^2 2 \cos^2(\alpha_2 - \alpha_1) = 4I_{m1}^2 \cos^2 \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}. \end{aligned}$$

Откуда

$$I_m = 2I_{m1} \frac{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}.$$

Далее определим начальную фазу результирующего вектора или

$$\alpha = \frac{(\alpha_2 + \alpha_1)}{2}.$$

Таким образом, используя графический метод, мы получили тот же самый результат, что и в случае решения задачи аналитическим методом.

$$i = 2I_{m1} \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{(\alpha_2 + \alpha_1)}{2}\right) = I_m \sin(\omega t + \alpha).$$

Метод комплексных чисел. Комплексы амплитуды первого и второго токов в тригонометрической форме

$$\dot{I}_{m1} = I_{m1} (\cos \alpha_1 + \gamma \sin \alpha_1) \text{ и } \dot{I}_{m2} = I_{m2} (\cos \alpha_2 + \gamma \sin \alpha_2).$$

Комплекс результирующего тока

$$\dot{I}_m = \dot{I}_{m1} + \dot{I}_{m2} = I_{m1} [(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + \gamma (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)].$$

Сумма косинусов $\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2 = 2 \cos(\alpha_2 + \alpha_1)/2 \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2$.

Сумма синусов $\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2 = 2 \sin(\alpha_2 + \alpha_1)/2 \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2$.

Тогда $\dot{I}_m = 2I_{m1} \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2 [\cos(\alpha_2 + \alpha_1)/2 + \gamma \sin(\alpha_2 + \alpha_1)/2]$.

Обозначим $2I_{m1} \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)/2 = I_m$ и $\alpha = (\alpha_2 + \alpha_1)/2$.

Получим $\dot{I}_m = I_m (\cos\alpha + \gamma \sin\alpha) = I_m e^{\gamma\alpha}$.

Откуда мгновенное значение результирующего тока $i = i_1 + i_2 = I_m \sin(\omega t + \alpha)$.

При расчетах электрических цепей кроме мгновенного, амплитудного и среднего значений синусоидальной величины очень часто используется действующее значение, которое в дальнейшем будем обозначать заглавными буквами без индексов, т.е. I, U, E . Отметим, что большинство приборов, используемых для измерений в цепях переменного тока (амперметры, вольтметры, ваттметры и т.д.) проградуированы в действующих значениях.

Действующим значением синусоидального тока называют такое значение постоянного тока, при котором за одинаковый промежуток времени в резистивном элементе выделяется такое же количество теплоты, как и при переменном токе.

Из определения следует

$$Q = I^2 RT = \int_0^T i^2 R dt,$$

где R – активное сопротивление элемента цепи, I – величина постоянного тока, равная действующему значению.

Так как $i = I_m \sin \omega t$,

$$\text{то } I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt}.$$

Понизим степень при функции синуса, т.е.

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t).$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} I_m^2 \left(\int_0^T dt - \frac{1}{2} \int_0^T \cos 2\omega t dt \right)}.$$

Т.к. интеграл $(1/2 \int_0^T \cos 2\omega t dt)$ любой синусоидальной функции, взятый в пределах целого числа периодов равен нулю, то

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} I_m^2 \cdot 1/2T} = \sqrt{I_m^2/2} = I_m/\sqrt{2} = 0,707I_m.$$

Аналогично можно записать

$$U = U_m/\sqrt{2} = 0,707U_m;$$

$$E = E_m/\sqrt{2} = 0,707E_m.$$

Таким образом, действующее значение синусоидальной величины в $\sqrt{2}$ раз меньше ее амплитудного значения.

На рис. 23 в цепь переменного тока последовательно включены резистор, идеальная катушка индуктивности и идеальный конденсатор. Эту цепь можно представить как последовательное соединение активного сопротивления R , индуктивного сопротивления X_L и емкостного сопротивления X_C .

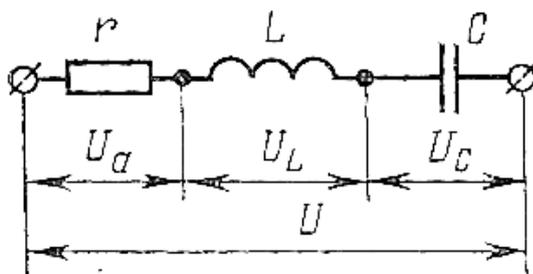


Рис. 23.

Уравнение напряжений. При протекании в цепи синусоидального тока на каждом элементе цепи создается падение напряжения: на резисторе – активное падение напряжения $U_a = U_R$; на катушке – индуктивное падение напряжения U_L ; на конденсаторе – емкостное падение напряжения U_C .

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Мгновенное значение полного (общего или результирующего) значения напряжения в любой момент времени

$$u = u_a + u_L + u_c .$$

Причем активная составляющая напряжения

$$u_a = U_{ma} \sin \omega t;$$

индуктивная

$$u_L = U_{mL} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2});$$

емкостная

$$u_c = U_{mc} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}).$$

Результирующее напряжение

$$u = U_{ma} \sin \omega t + U_{mL} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + U_{mc} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}).$$

Для нахождения амплитудного или действующего значения результирующего напряжения и фазового сдвига между напряжением и током воспользуемся векторной диаграммой действующих значений напряжений. Построение осуществляется в такой последовательности:

- 1) вектор тока I откладывается по горизонтальной прямой, так как его начальная фаза равна нулю;
- 2) вектор U_a совпадает по фазе с вектором I ;
- 3) от конца вектора U_a откладывается вектор U_L , направленный вертикально вверх (начальная фаза $+\pi/2$);
- 4) от конца вектора U_L откладывается вектор U_c , направленный вертикально вниз (начальная фаза $-\pi/2$);
- 5) складывая векторы U_a , U_L , U_c , получаем вектор результирующего напряжения цепи

$$U = U_a + U_L + U_c.$$

Модуль результирующего напряжения находится из прямоугольного треугольника:

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_c)^2}.$$

Нахождение результирующего напряжения с использованием векторного сложения напряжений на отдельных участках цепи возможно с использованием правила параллелограмма.

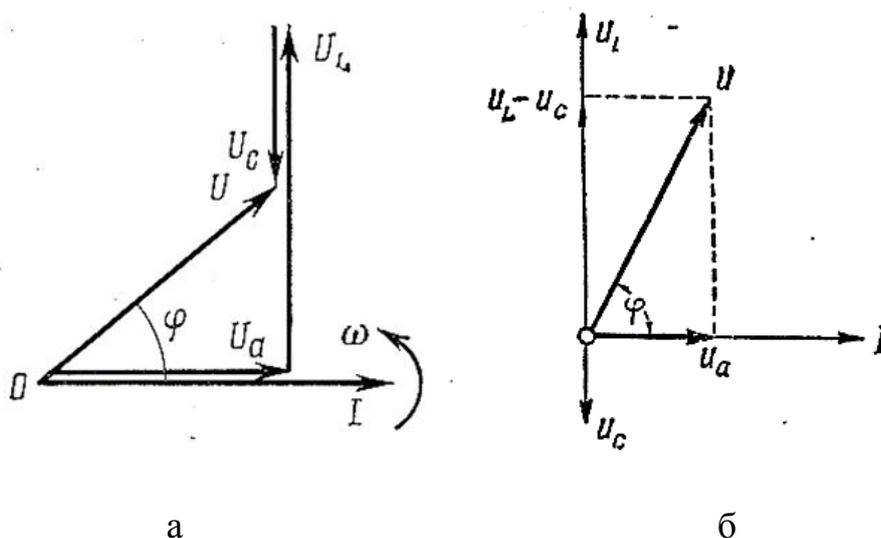


Рис. 24. Диаграммы напряжений для R, L, C – цепи

Напряжения U_L и U_C сдвинуты по фазе на 180° (находятся в противофазе). Поэтому при геометрическом сложении векторов они взаимно вычитаются. Векторная разность $U_L - U_C = U_p$ называется реактивным напряжением. Складывая вектора $U_p + U_a$ по правилу параллелограмма, находим величину и направление вектора результирующего напряжения U .

Анализируя векторную диаграмму напряжений для RLC-цепи, можно сделать вывод, что при $U_L > U_C$ вектор результирующего напряжения опережает вектор тока на угол $\varphi < 90^\circ$, а при $U_L < U_C$ результирующий вектор напряжения отстает от вектора тока на угол $\varphi < 90^\circ$.

Из треугольника напряжений тригонометрические функции угла сдвига фаз можно записать в виде:

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U}; \quad \sin \varphi = \frac{U_L - U_C}{U}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_a};$$

Треугольник сопротивлений. Поделив каждую сторону треугольника напряжений на одно и то же число (на ток) получим подобный треугольник –

треугольник сопротивлений для RLC-цепи, т.е.
 активное сопротивление $R = \frac{U_a}{I}$; реактивное сопротивление $X_p = \frac{U_p}{I} = \frac{U_L - U_C}{I}$; полное сопротивление $Z = \frac{U}{I}$.

Величина полного напряжения определяется выражением:

$$U = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2},$$

а ток в цепи равен:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}.$$

Тогда полное сопротивление последовательной RLC-цепи равно:

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Из треугольника сопротивлений следует, что фазовый сдвиг между током и полным напряжением определяется из условия:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{(\omega L - \frac{1}{\omega C})}{R}.$$

Видно, чем больше активное сопротивление, тем меньше сдвиг фаз.

Уравнение мощности. Треугольник мощностей. Для построения треугольника мощностей умножим все стороны треугольника напряжений на ток I . Тогда активная мощность

$$P = U_a I = U I \cos \varphi = I^2 R.$$

Измеряется активная мощность в ваттах (Вт).

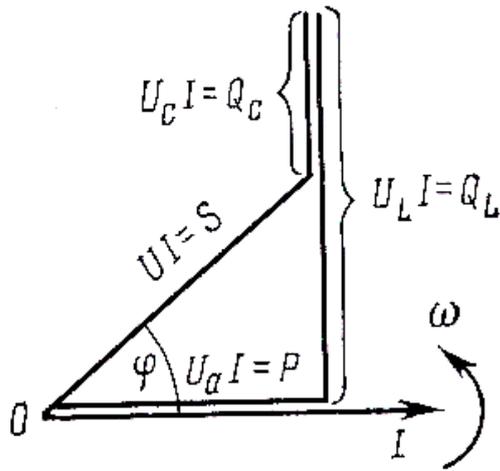


Рис.25.

Индуктивная мощность

$$Q_L = U_L I = I^2 X_L.$$

Емкостная мощность

$$Q_C = U_C I = I^2 X_C.$$

Полная реактивная мощность

$$Q = Q_L - Q_C = I(U_L - U_C) = I^2(X_L - X_C).$$

Единица измерения реактивной мощности – вольт-ампер реактивный (ВАР).

Полная мощность цепи

$$S = U I = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}.$$

Измеряется полная мощность в вольтах на ампер (ВА).

Ход работы:

1. Собрать схему электрической цепи и представить ее для проверки преподавателю.

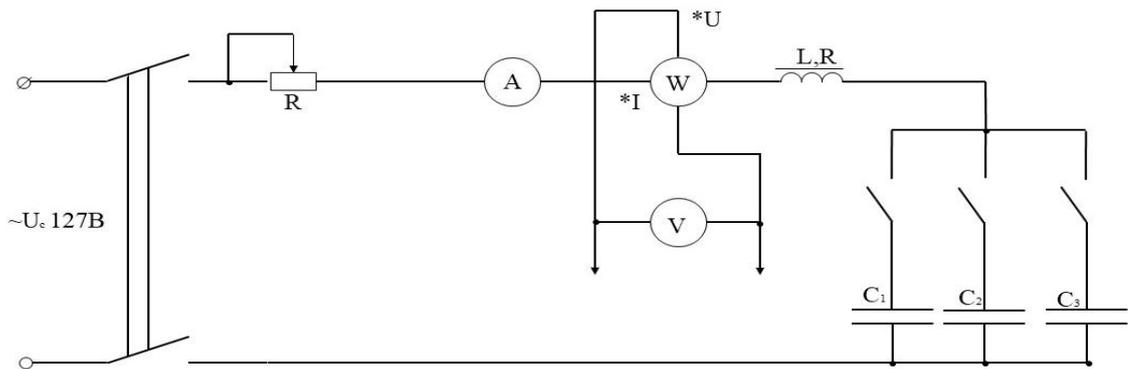


Рис. 26.

2. Включить напряжение и провести пробное испытание электрической цепи: меняя емкость батареи конденсаторов от нуля до C_{\max} пронаблюдать за показаниями приборов, обратив внимание на режим резонанса напряжений, при котором ток I в цепи достигает наибольшего значения.
3. Занести в таблицу опытных величин показания приборов, для трех режимов, включая режим резонанса.
4. Определить расчетные величины.
5. Построить в масштабе векторные диаграммы для каждого из режимов.

Таблица 10

№	Измерить							Вычислить					
	U	P	I	U_{RL}	P_{RL}	U_C	P_C	U_L	U_R	X_L	X_C	$\cos\varphi$	φ
	В	Вт	А	В	Вт	В	Вт	В	В	Ом	Ом	-	град
1													
2													
3													

Расчетные формулы:

$$U_R = \frac{P}{I}; U_L = \sqrt{U_{RL}^2 - U_R^2}; X_L = \frac{U_L}{I}; X_C = \frac{U_C}{I};$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}; \quad \varphi = \arccos \frac{P}{UI}.$$

Примерный вид векторных диаграмм:

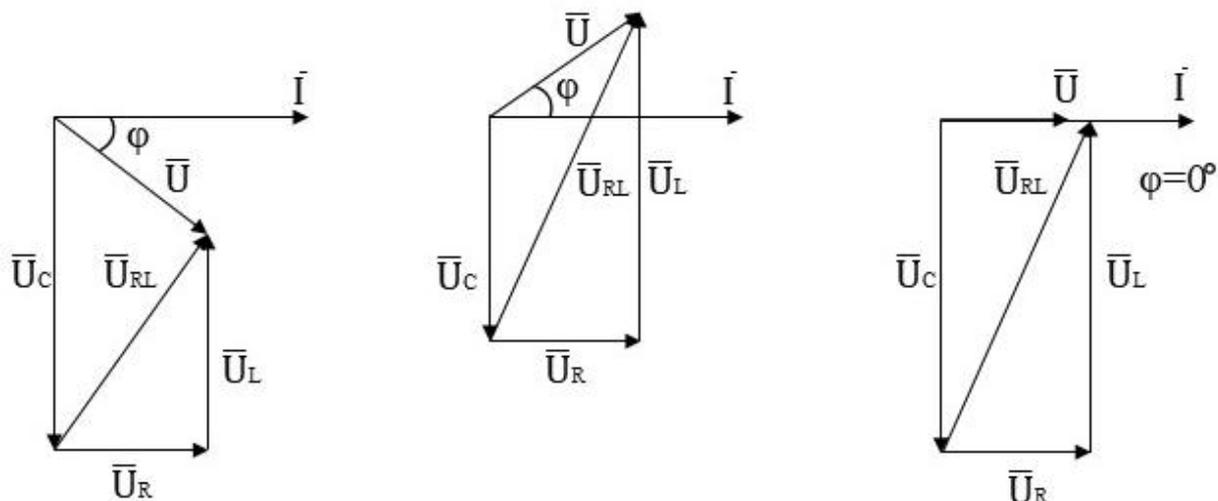


Рис. 27.

Контрольные вопросы

1. Раскройте отличительные свойства трех пассивных элементов цепей переменного тока.
2. Дайте понятия резонанса в электрической цепи.
3. Каковы признаки резонанса напряжений?
4. Как результаты измерений подтверждают метод векторных диаграмм?
5. Раскройте смысл величин, приведенных в таблице.

Лабораторная работа №5. «Разветвленная цепь переменного тока»

Цель работы: исследовать режимы работы цепи переменного тока при изменении емкости конденсаторной батареи, пронаблюдать на опыте особенности резонанса токов.

Оборудование:

1. Источник переменного напряжения с $U=127$ В.
2. Катушка индуктивности.
3. Конденсаторная батарея.
4. Амперметр с $I_{ном}=1$ А – 1 шт.
5. Амперметр с $I_{ном}=3$ А – 2 шт.
6. Ваттметр с $I_{ном}=2$ А, $U_{ном}=150$ В – 1 шт.

Теоретический материал

В цепь переменного тока параллельно включены реальная катушка индуктивности и конденсатор с потерями (рис. 28). Эту цепь можно представить как цепь с двумя ветвями, в одной из которых включены элементы R_1 и L_1 , а в другой – элементы R_2 и C_2 (рис. 28 а). Ветви электрической цепи находятся под одинаковым напряжением $u = U_m \sin \omega t$.

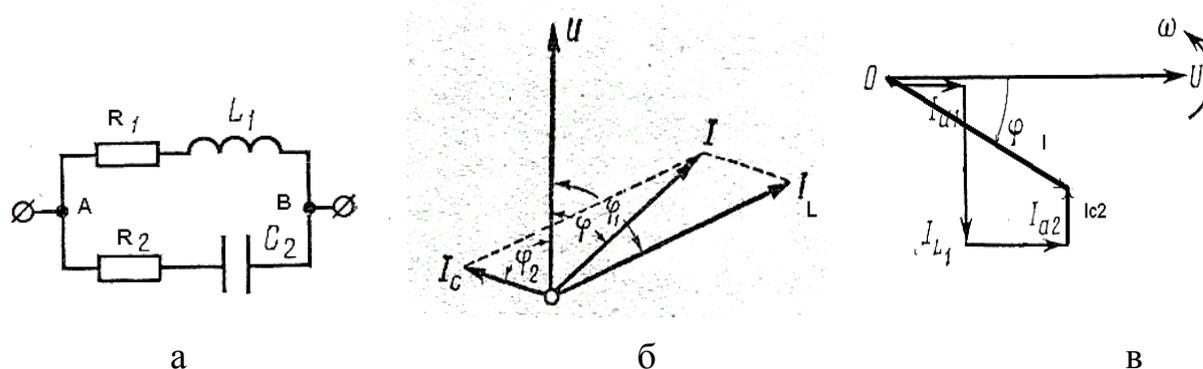


Рис. 28. Параллельное соединение R, L, C – элементов: а – схема, б, в – векторные диаграммы токов

Первая ветвь содержит активное сопротивление и индуктивность, следовательно, ток отстает от напряжения на угол φ_1 , т.е

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t - \varphi_1).$$

Причем,

$$I_{m1} = \frac{U_m}{Z_1}, \quad Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{X_{L1}}{R_1} = \frac{\omega L_1}{R_1}.$$

Характер второй ветви активно-емкостной, следовательно, ток опережает напряжение на угол φ_2 и

$$i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2).$$

Причем,

$$I_{m2} = \frac{U_m}{Z_2}, \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{C2}^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{-X_{C2}}{R_2} = \frac{-1}{\omega C_2}.$$

Полный или результирующий ток

$$i = i_1 + i_2 = I_{m1} \sin(\omega t - \varphi_1) + I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2) = I_m \sin(\omega t - \varphi).$$

При сложении получается синусоидальная величина с той же частотой и начальной фазой φ . Для нахождения I_m и φ воспользуемся правилом векторного сложения $I = I_1 + I_2$.

Построение векторной диаграммы начинаем с ориентации на плоскости вектора U (рис. 28 б, в). Под углом φ_1 к напряжению откладывается вектор амплитудного (с учетом знака), либо действующего значения тока I_1 в первой ветви, а под углом φ_2 вектор тока I_2 во второй ветви (с учетом знака). Суммируем вектора $I_1 + I_2$ (правило параллелограмма) и получаем вектор результирующего тока I . Модуль этого вектора определяем по теореме косинусов

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2I_1I_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Можно поступить иначе и от косоугольного треугольника токов перейти к прямоугольному треугольнику.

Спроектируем векторы токов на вектор напряжения, получим активную составляющую тока:

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1; \quad I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2; \quad I_a = I \cos \varphi.$$

Составляющие, направленные по линии, перпендикулярной линии напряжения, называют реактивными:

$$I_{p1} = I_1 \sin \varphi_1; \quad I_{p2} = I_2 \sin \varphi_2; \quad I_p = I \sin \varphi.$$

Составляющие результирующего тока могут быть определены как

$$I_a = I_{a1} + I_{a2}; \quad I_p = I_{p1} - I_{p2},$$

т.е. они равны сумме составляющих отдельных ветвей. При этом необходимо учитывать их знак. Для ветви с индуктивным элементом реактивную составляющую тока берут со знаком плюс, для ветви с емкостным элементом – со знаком минус.

Из треугольника токов находим

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}.$$

Электрическая проводимость. Каждый элемент цепи может характеризоваться сопротивлением или проводимостью. Разделим все стороны треугольников токов (рис. 28 в) на напряжение. Получим треугольник проводимостей, где каждая из сторон представляет соответствующую проводимость.

Отношение активного тока к напряжению – активная проводимость q :

$$\frac{I_{a1}}{U} = q_1; \quad \frac{I_{a2}}{U} = q_2; \quad \frac{I_a}{U} = q.$$

Отношение реактивного тока к напряжению – реактивная проводимость b :

$$\frac{I_{p1}}{U} = b_1; \quad \frac{I_{p2}}{U} = b_2; \quad \frac{I_p}{U} = b.$$

Отношение результирующего тока к напряжению – полная проводимость y :

$$\frac{I_1}{U} = y_1; \quad \frac{I_2}{U} = y_2; \quad \frac{I}{U} = y.$$

Единица измерения проводимости – сименс ($Cm=1/Ohm$).

Из диаграммы видно, что составляющие полной проводимости могут быть определены как

$$q = q_1 + q_2; \quad b = b_1 - b_2;$$

Тогда полная проводимость

$$y = \sqrt{q^2 + b^2} = \sqrt{(q_1 + q_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}.$$

Аналогично для каждой отдельной ветви можно записать

$$y_1 = \sqrt{q_1^2 + b_1^2}; \quad y_2 = \sqrt{q_2^2 + b_2^2};$$

Воспользовавшись диаграммой можно записать

$$\begin{aligned} \frac{q_1}{y_1} &= \cos \varphi_1; & \frac{b_1}{y_1} &= \sin \varphi_1; & \frac{b_1}{q_1} &= \operatorname{tg} \varphi_1; \\ \frac{q_2}{y_2} &= \cos \varphi_2; & \frac{b_2}{y_2} &= \sin \varphi_2; & \frac{b_2}{q_2} &= \operatorname{tg} \varphi_2; \\ \frac{q}{y} &= \cos \varphi; & \frac{b}{y} &= \sin \varphi; & \frac{b}{q} &= \operatorname{tg} \varphi; \end{aligned}$$

Связь между сопротивлением и проводимостью. Часто при решении практических задач исходными данными являются сопротивления отдельных элементов цепи, а необходимо определить проводимости и сопротивления всей цепи.

Известно, что $I_a = I \cos \varphi$; $U = IZ$; $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$, поэтому

$$q = \frac{I_a}{U} = \frac{\frac{IR}{Z}}{IZ} = \frac{R}{Z^2}.$$

Аналогично $I_p = I \sin \varphi$; $U = IZ$; $\sin \varphi = \frac{X}{Z}$, получим

$$b = \frac{I_p}{U} = \frac{\frac{IX}{Z}}{IZ} = \frac{X}{Z^2}.$$

Реактивные проводимости сохраняют знак соответствующего сопротивления, т.е.

$$b_L = \frac{X_L}{Z^2}; \quad b_C = -\frac{X_C}{Z^2}.$$

Полную проводимость можно получить:

$$y = \frac{I}{U} = \frac{I}{IZ} = \frac{1}{Z}.$$

Таким образом, полная проводимость цепи равна обратной величине полного сопротивления.

Электрическая мощность. Диаграмму мощностей можно получить из диаграммы токов. Для этого необходимо модули токов умножить на напряжение U :

$$P_1 = I_{a1}U; \quad Q_1 = I_{p1}U;$$

$$P_2 = I_{a2}U; \quad Q_2 = I_{p2}U;$$

$$S = UI.$$

Из диаграммы мощностей следует

$$S = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (Q_1 - Q_2)^2}.$$

Таким образом, при любом числе элементов, включенных параллельно, результирующие ток, проводимость, мощность записываются как корень квадратный из суммы квадратов арифметических сумм активных и алгебраических сумм реактивных значений соответствующих параметров.

Ход работы:

1. Собрать электрическую схему и представить ее для проверки преподавателю.

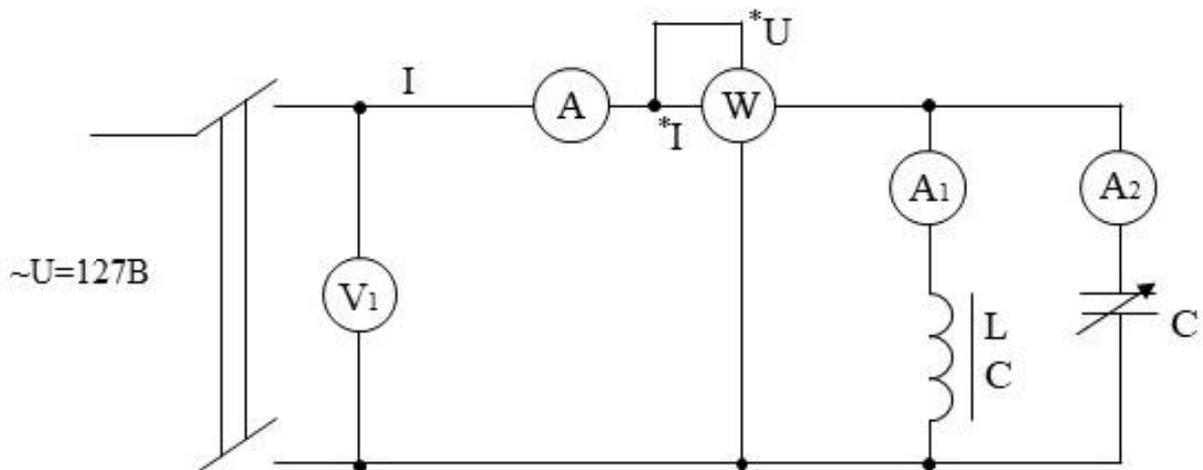


Рис. 29.

2. Включить напряжение и провести пробное испытание схемы: меняя емкость конденсаторной батареи от нуля до $C_{\text{тах}}$, наблюдать за показаниями приборов, обратив внимание на режим резонанса токов, при котором ток в неразветвленной части цепи достигает наименьшего значения.
3. Занести в таблицу опытных величин показания приборов трех режимов, включая режим резонанса токов.
4. Определить расчетные величины.

5. Построить графики зависимостей общего тока I , коэффициента мощности цепи $\cos\varphi$, реактивной мощности Q в зависимости от тока конденсатора I_C :

$$I=f_1(I_C); \cos\varphi=f_2(I_C); Q=f_3(I_C); Z=f_4(I_C).$$

Таблица 11

№	Измерить					Вычислить						
	I_C	I_{RL}	I	U	P	I_R	I_L	Q_L	Q_C	Q	Z	$\cos\varphi$
	А	А	А	В	Вт	А	А	вар	вар	вар	Ом	-
1												
2												
3												

Расчетные формулы:

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_L + \bar{I}_R; I_R = \frac{P}{U}; I_L = \sqrt{I_1^2 - I_R^2}; Q_L = UI_L;$$

$$Q_C = I_2 U_C; Q = Q_L - Q_C; \cos\varphi = \frac{P}{UI}.$$

Примерный вид графиков:

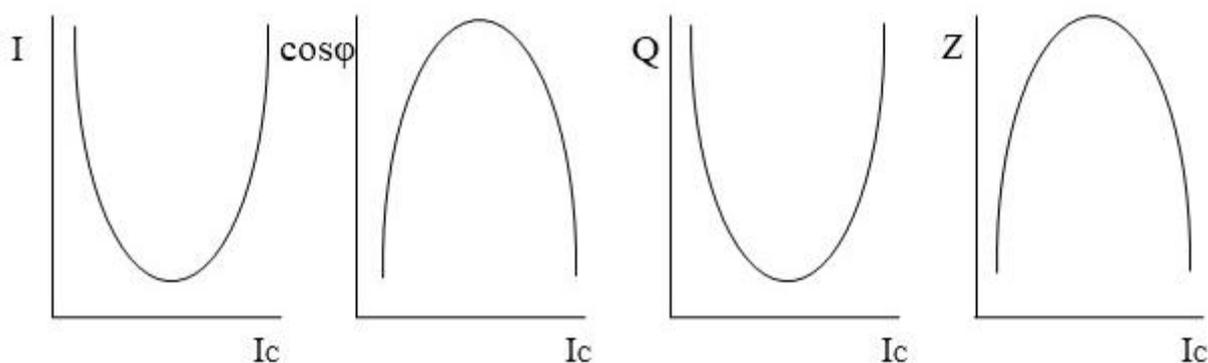


Рис. 30.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте режим резонанса в электрической цепи.
2. Каково условие резонансов токов?
3. Какими способами можно получить резонанс?
4. Охарактеризуйте по данным опыта и расчета признаки резонанса токов.

5. Какую из схем замещения катушки удобно использовать при анализе разветвленной схемы?
6. Где практически используется режим резонанса токов?
7. Раскройте технико-экономическое значение коэффициента мощности $\cos\varphi$.

Лабораторная работа №6. «Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии звездой»

Цель работы: Исследовать работу цепи при симметричной несимметричной нагрузке при включенном и отключенном нулевом проводе.

Теоретический материал

Трехфазная система является основной системой силовой электроэнергетики. В настоящее время получение, преобразование, передача и распределение электроэнергии в большинстве случаев производится посредством трехфазной системы. Благодаря хорошим техническим и экономическим характеристикам трехфазный ток обеспечивает наиболее простую передачу электрической энергии, позволяет создать относительно простые по устройству и экономичные генераторы, двигатели, трансформаторы и различную коммутационную аппаратуру.

Эта система была изобретена и практически разработана русским инженером М.О. Доливо-Добровольским в конце 19 века.

Основные достоинства трехфазной системы:

- 1) простота конструкции и эксплуатации трехфазных генераторов и двигателей;
- 2) большая экономия в массе проводов при передаче электроэнергии на большие расстояния (20-30% по сравнению с однофазной системой);
- 3) возможность получения различных напряжений (линейные и фазные) в одной и той же трехфазной системе.

Для выяснения принципа создания трехфазной системы представим себе трехфазный генератор как машину с тремя совершенно одинаковыми изолированными друг от друга катушками (обмотками) на статоре, в центре которого вращается электромагнит (рис. 31 *a*).

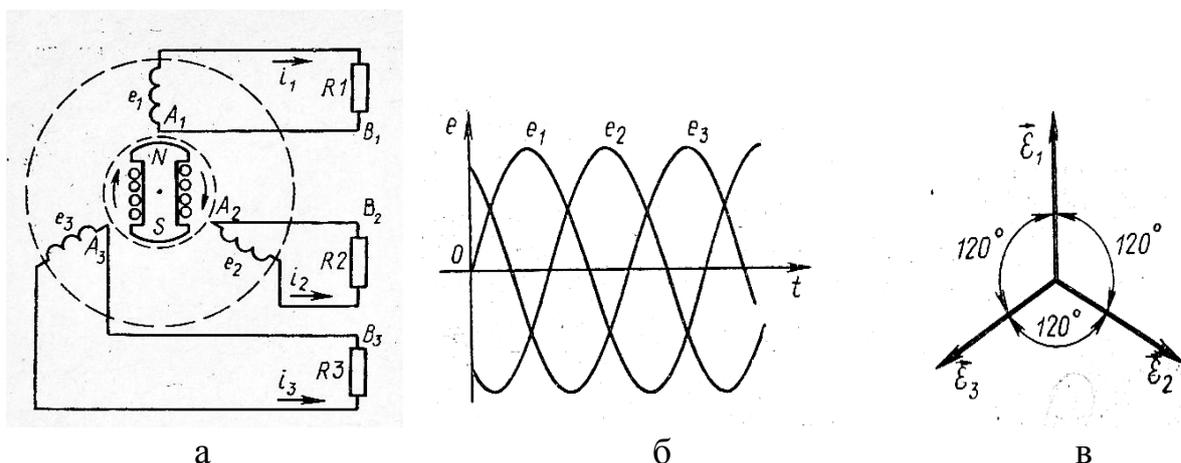


Рис. 31. Устройство трехфазного генератора: а – схема, временная (б) и векторная (в) диаграммы

Пусть при этом форма магнита такова, что магнитный поток, пронизывающий каждую катушку, изменяется по косинусоидальному закону. Тогда по закону электромагнитной индукции в катушках будут индуцироваться синусоидальные ЭДС равной амплитуды и частоты, но отличные друг от друга по фазе на угол 120° :

$$e_1 = E_m \sin \omega t; \quad e_2 = E_m \sin(\omega t - 120^\circ); \quad e_3 = E_m \sin(\omega t - 240^\circ).$$

Эти три ЭДС можно изобразить на временной (рис. 31 б) и на векторной (рис. 31 в) диаграммах.

Примем, что все три линии генератора нагружены одинаковыми активными сопротивлениями $R_1 = R_2 = R_3$. Тогда токи будут совпадать по фазе с соответствующими ЭДС:

$$i_1 = I_m \sin \omega t; \quad i_2 = I_m \sin(\omega t - 120^\circ); \quad i_3 = I_m \sin(\omega t - 240^\circ).$$

Будем считать, что токи, идущие от генератора к приемнику в проводах, от трех, например, концов (или трех начал) обмоток генератора будут положительными. Тогда очевидно, что такая система электрических цепей позволяет уменьшить число соединительных проводов.

Действительно, соединив, например, три обратных провода A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3 в один, получим четыре провода (рис. 32 б) вместо шести (рис. 32 а). В результате такого соединения получим провод OO' вместо трех, в котором, очевидно, установится ток, равный векторной сумме трех токов, т.е.

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_0$$

ИЛИ

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_0.$$

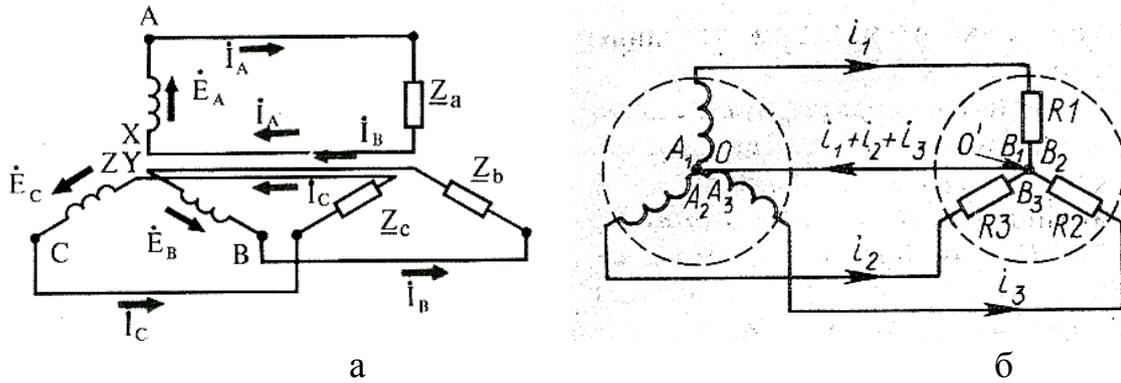


Рис. 32. Образование соединения фаз звездой: а – схема электрически несвязанной трехфазной системы, б – объединенная трехфазная система.

Ход работы:

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием и записать данные.
2. Собрать схему и показать преподавателю.
- 3.

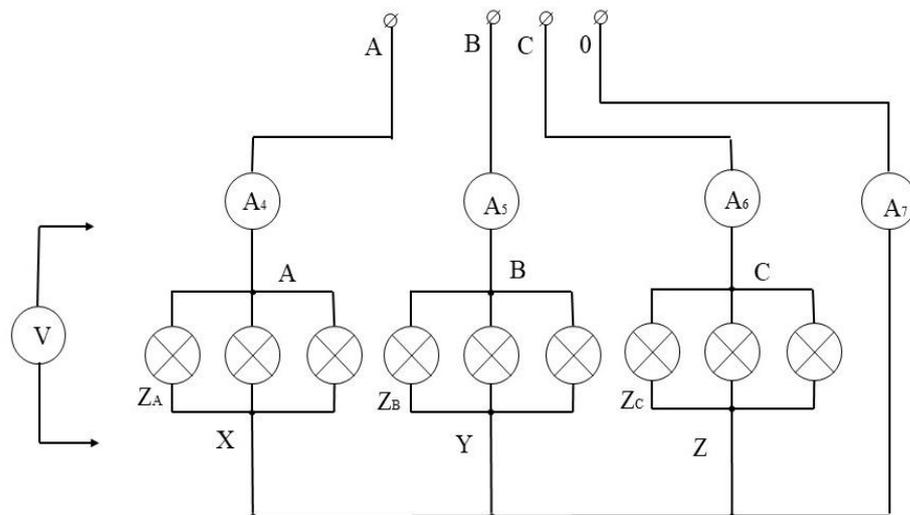


Рис. 33.

3. Установить симметричную нагрузку фаз. Измерить линейные и фазные токи и напряжения. Нулевой провод включен. Результаты измерений записать в таблицу.
4. Повторить измерения, отключив нулевой провод.
5. Установить несимметричную нагрузку фаз при отключенном нулевом проводе. Измерить фазные и линейные токи и напряжения. Результаты измерений записать в таблицу.
6. Повторить измерения, включив нулевой провод.
7. Сравнить влияние нулевого провода на работу системы при симметричной и несимметричной нагрузке. Сделать вывод.
8. Построить векторную диаграмму токов и напряжений п. п. 3 и 6.

Таблица 12

Режим нагрузки	Ток нагрузки, А				Напряжение, В					
					Фазные			Линейные		
	I_A	I_B	I_C	I_O	U_A	U_B	U_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
Симметричный нулевой провод включен										
Симметричный нулевой провод отключен										
Несимметричная. Нулевой провод отключен										
Несимметричный нулевой провод включен										

Контрольные вопросы

1. Что называется соединением потребителей в звезду?
2. Какие соотношения между фазными и линейными токами?
3. Нагрузка фаз несимметрична, нулевой провод отключен. Будут ли $U_{ab}=U_{bc}=U_{ca}$?
4. Можно ли осветительную нагрузку включать звездой без нулевого провода?
5. $I_A=I_B=I_C$. Чему равен ток в нулевом проводе?

Лабораторная работа №7. «Испытание однофазного трансформатора»

Цель работы: Изучение характеристик трансформатора, определение коэффициента трансформации и КПД трансформатора.

Теоретический материал

Трансформатор – статический электромагнитный аппарат, предназначенный для изменения величины электрического напряжения.

Трансформаторы применяют в электрических сетях при передаче и распределении электрической энергии; в нагревательных, сварочных, выпрямительных электроустановках; в радиоаппаратуре, устройствах автоматики, связи; в электроизмерительной технике и т.д.

В большинстве типов трансформаторов обмотки размещены на ферромагнитном сердечнике, который служит для концентрации магнитного поля и усиления магнитной связи между обмотками. Однако при высоких частотах, чаще всего в радио-телеаппаратуре, применяют трансформаторы без сердечника (воздушные).

Трансформаторы различают также по числу фаз (однофазные, трехфазные), числу обмоток (двухобмоточные, многообмоточные), способу охлаждения (масляные, сухие). Основную, наиболее многочисленную, группу составляют силовые трансформаторы, предназначенные для повышения или понижения напряжения в электрических сетях и в электрических устройствах различного назначения.

В основе работы трансформатора находится явление электромагнитной индукции.

Схема устройства однофазного двухобмоточного трансформатора и его электрическая схема показаны на рис. 34.

На схеме (рис. 34 *a*) представлены основные части: ферромагнитный сердечник (магнитопровод), две обмотки на сердечнике. Одну обмотку включают в сеть с переменным напряжением. Эту обмотку и относящиеся к

ней величины – число витков N_1 , напряжение u_1 и ток i_1 – называют первичными.

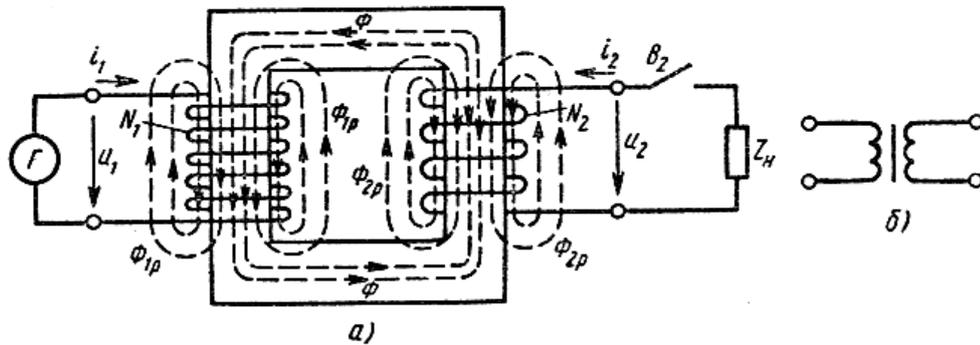


Рис. 34.

К другой обмотке, которую называют вторичной (N_2 , u_2 , i_2), присоединяют приемник электроэнергии Z_H .

Переменный ток первичной обмотки создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ , который сцеплен с обоими обмотками и в них индуцирует ЭДС:

$$e_1 = -N \frac{d\Phi}{dt}; e_2 = -N \frac{d\Phi}{dt}.$$

При синусоидальном изменении магнитного потока

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

величина ЭДС

$$e = N\omega\Phi_m \sin \omega t = E_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right), E_m = N\omega\Phi_m.$$

где Φ_m – амплитуда магнитного потока.

Действующее значение ЭДС

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{N\omega\Phi_m}{\sqrt{2}}.$$

Отсюда получаем общее выражение ЭДС

$$E = 4,44 \nu N \Phi_m.$$

А также ЭДС первичной и вторичной обмоток, если вместо общего N подставить соответствующее число витков N_1 или N_2 .

Из приведенных формул следуют выводы: ЭДС отстает от магнитного потока на четверть периода; отношение ЭДС в обмотках трансформатора равно отношению чисел витков обмоток

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Если выключатель B_2 разомкнут, то трансформатор находится в режиме холостого хода. В этом случае $i_2=0$, а $U_2 = E_2$, ток i_1 мал и мало падение напряжения в первичной обмотке, поэтому $U_1 \approx E_1$ и отношение ЭДС можно заменить отношением напряжений

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = K.$$

Отношение напряжения первичного ко вторичному при холостом ходе трансформатора называется коэффициентом трансформации.

Передача энергии в трансформаторе происходит посредством магнитного потока, связывающего первичную и вторичную обмотки. Полную мощность однофазного трансформатора определяют произведением действующих значений напряжения и тока. На входе $S_1 = U_1 I_1$; на выходе $S_2 = U_2 I_2$. Потери энергии в трансформаторе невелики (не более 1-5%), поэтому, можно считать, что $S_1 \approx S_2$, т.е. справедливо приближенное равенство:

$$U_1 / U_2 = I_2 / I_1.$$

из которого следует, что ток трансформатора больше в катушке (обмотке) с меньшим напряжением, и наоборот.

Более точный энергетический баланс трансформатора по активной мощности выражается равенством

$$P_1 = P_2 + \Delta p_{ст} + \Delta p_{т},$$

где P_1 – мощность на входе трансформатора; P_2 – мощность на выходе (мощность потребителя); $\Delta p_{ст}$ – потери в стали; $\Delta p_{т}$ – тепловые потери в обмотках (электрические потери или потери в меди).

Отношение активной мощности на выходе трансформатора к активной мощности на входе называется коэффициентом полезного действия трансформатора

$$\eta = P_2/P_1.$$

Режимы трансформатора. При анализе работы трансформатора рассматривают следующие режимы: холостой ход, рабочий режим, короткое замыкание.

Режим холостого хода. В режиме холостого хода трансформатора (рис. 35) первичная обмотка включена в сеть под номинальное напряжение $U_{1ном}$ (выключатель B_1 замкнут), а вторичная обмотка разомкнута выключателем B_2 ($I_2=0$).

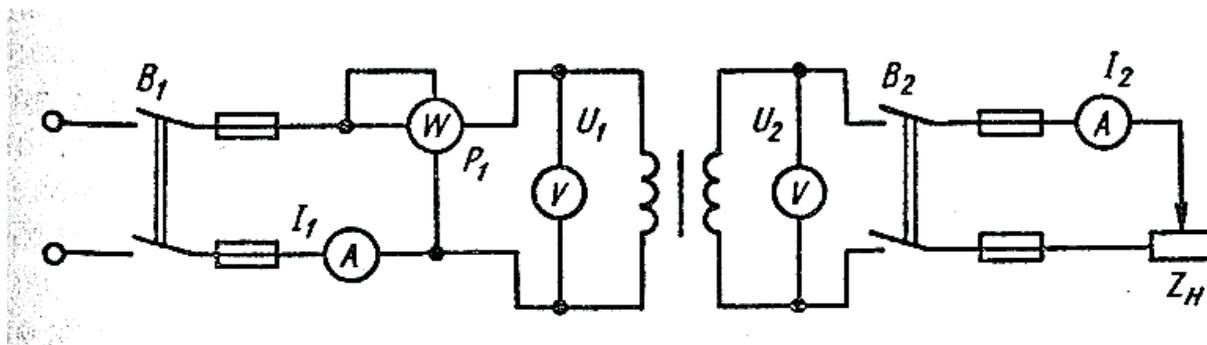


Рис. 35.

На зажимах вторичной обмотки напряжение равно номинальному $U_2 = U_{2ном}$. Измерив напряжения на обмотках, можно найти коэффициент трансформации.

Основной магнитный поток Φ в сердечнике создается током холостого хода ($I_1 = I_x$) в первичной обмотке.

Ваттметр, включенный в цепь первичной обмотки, показывает активную мощность трансформатора при холостом ходе (P_1), т.е. мощность потерь в магнитопроводе при номинальном напряжении. Отметим, что $P_1 = P_x$. $P_2 = 0$, так как нагрузка отключена; ток $I_2 = 0$, а $I_1 = I_x$ по сравнению с номинальным током очень мал (в среднем 5,5%), поэтому электрические потери можно не учитывать и считать, что в режиме холостого хода $P_1 = P_x =$

$\Delta p_{ст}$. Величина магнитных потерь при холостом ходе практически такая же, как и в рабочем режиме. Действительно, потери в магнитопроводе возникают от перемагничивания и вихревых токов, но те и другие зависят от величины магнитного потока. Вместе с тем магнитный поток почти не зависит от нагрузки, т.е. он одинаковый по величине при холостом ходе и при полной нагрузке, так как определяется величиной первичного напряжения U_1 , которая в обоих режимах одинакова.

Рабочий режим. В рабочем режиме (рис. 36) выключатели B_1 и B_2 замкнуты, первичная обмотка трансформатора включена в сеть под напряжение (обычно $U_{1ном} = U_1$), а в цепи вторичной обмотки – нагрузка Z_n . В обеих обмотках имеются токи (I_1 – первичный, I_2 – вторичный), которые будем считать по значению близкими к номинальным.

В режиме холостого хода основной магнитный поток в сердечнике Φ_0 создает в первичной обмотке ЭДС самоиндукции, уравнивающую основную часть приложенного напряжения. Так будет до тех пор, пока вторичная обмотка разомкнута. Но если во вторичную обмотку включить нагрузку, в ней появится ток I_2 , возбуждающий в том же сердечнике свой магнитный поток Φ_2 , размагничивающее действующий на сердечник (в соответствии с законом Ленца (рис. 36 а)).

В результате общий магнитный поток в сердечнике уменьшается. Это приводит к уменьшению ЭДС E_1 в первичной обмотке. Теперь часть приложенного напряжения U_1 окажется неуравновешенной, что приводит к увеличению тока в первичной обмотке. Очевидно, что ток в первичной обмотке будет возрастать до тех пор, пока не прекратится размагничивающее действие тока нагрузки. После этого результирующий магнитный поток восстановится приблизительно до прежнего значения Φ_0 .

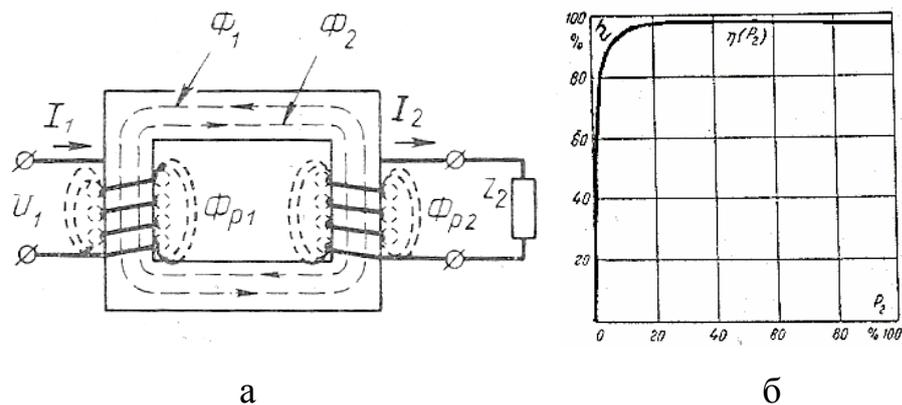


Рис. 36.

Уменьшение нагрузки вторичной обмотки уменьшит ток I_2 и магнитный поток Φ_2 , что приведет к нарушению равновесия между приложенным напряжением U_1 и ЭДС E_1 , поэтому ток в первичной обмотке I_1 уменьшится до такого значения, при котором результирующий магнитный поток восстановится до прежнего значения.

Таким образом, магнитный поток в трансформаторе остается практически постоянным как в режиме холостого хода, так и в режиме нагрузки. Это свойство трансформатора называют способностью саморегулирования, т.е. способностью автоматически регулировать значение первичного тока I_1 в зависимости от изменений тока I_2 .

Режим короткого замыкания. В режиме короткого замыкания трансформатора первичная обмотка включена под некоторое напряжение U_1 , а вторичная обмотка замкнута накоротко ($U_2 = 0$).

В этом режиме (см. рис. 36) выключатель B_2 замкнут, а движок нагрузочного элемента находится в крайнем левом положении ($Z_H = 0$). Короткое замыкание может случиться во время эксплуатации трансформатора, когда первичное напряжение равно номинальному или близко к нему. В этом случае в обеих обмотках токи превышают номинальные в 10-20 и более раз. Такой режим для трансформатора является аварийным, так как возможны чрезмерное повышение температуры обмоток и большие механические усилия между токоведущими элементами. А это, в

свою очередь, приводит к выходу из строя рассматриваемого устройства. Поэтому при создании трансформатора в его схеме необходимо предусмотреть противоаварийную защиту способную отключить трансформатор от сети за время менее одной секунды.

Испытательное короткое замыкание трансформатора, в отличие от аварийного, проводят преднамеренно, причем первичное напряжение снижают до величины $U_1 = U_n \ll U_{1ном}$, при котором в обеих обмотках устанавливаются токи, равные номинальным токам данного трансформатора.

При проведении опыта короткого замыкания можно определить мощность электрических потерь

$$P_k = P_1 = I_{1ном}^2 R_1 + I_{2ном}^2 R_2.$$

В данном режиме энергия в приемник не передается, т.е. мощность потерь в магнитопроводе мала, так как напряжение на первичной обмотке составляет всего 5-10% от номинального и магнитный поток в сердечнике мал. На основании этого можно заключить, что при испытательном режиме короткого замыкания ваттметр, включенный в первичную обмотку, покажет мощность тепловых потерь в обмотках.

Коэффициент полезного действия трансформатора. Потери энергии в трансформаторе в целом относительно невелики. В зависимости от мощности трансформатора КПД имеет величину $\eta = 0,96 - 0,995$.

Для определения η применяется косвенный метод

$$\eta = \frac{P_2}{(P_2 + \Delta p_{ст} + \Delta p_{т})}.$$

На рис. 36 б представлена кривая КПД трансформатора в зависимости от нагрузки. Максимуму КПД соответствует равенство потерь в сердечнике и обмотках.

Типы трансформаторов. Большое разнообразие типов и конструкций трансформаторов обусловлено различием их по назначению, а также по мощности и напряжению.

Многообмоточные трансформаторы. Трансформатор называют многообмоточным, если он имеет один сердечник, а количество обмоток больше двух.

Многообмоточные трансформаторы применяют чаще всего для бытовой электро-, радио- и телеаппаратуры, в персональных компьютерах. Их изготавливают с несколькими вторичными обмотками для питания различных цепей (например – цепей анода, накала, сигнальных и т.д.).

Автотрансформатор. Принципиальная схема понижающего автотрансформатора показана на рис. 37 а, повышающего – на рис. 37 б. Из рисунка видно, что автотрансформатор имеет обмотку, часть которой относится к первичной и вторичной цепям.

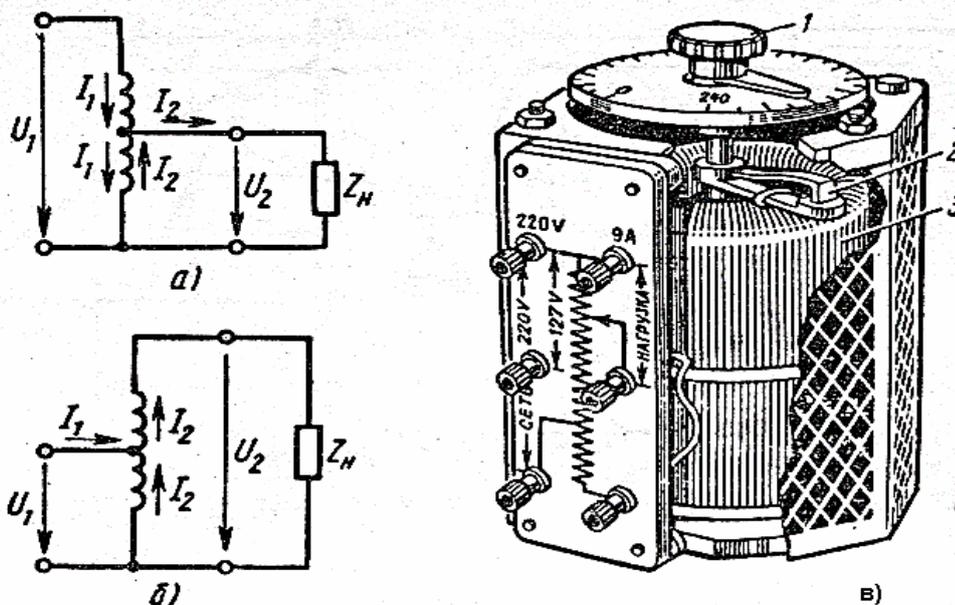


Рис. 37.

Первичное напряжение U_1 равномерно распределено между витками N_1 и на один виток приходится напряжение U_1/N_1 . Вторичное напряжение пропорционально числу витков N_2 , относящихся ко вторичной цепи $U_2=U_1N_2/N_1$. Отсюда следует соотношение первичного и вторичного напряжений $U_1/U_2=N_1/N_2$, такое же, как у однофазного трансформатора.

Автотрансформаторы применяют для сравнительно небольшого изменения напряжения (коэффициент трансформации $K = 2$ при высоких и не более $K = 3$ при низких напряжениях).

Автотрансформаторы нашли широкое применение в сетях низкого напряжения. Они значительно дешевле трансформаторов. Однако для высоких напряжений их не применяют, так как вторичная обмотка электрически связана с первичной и ее выводы находятся под высоким потенциалом сети, а это является недопустимым по технике безопасности обслуживающего персонала.

Сварочные трансформаторы. Трансформатор для дуговой сварки (рис. 38 а), рассчитанный для включения в сеть 220В, на вторичной обмотке имеет напряжение холостого хода порядка 60-70В, достаточное для зажигания электрической дуги; круто спадающую внешнюю характеристику (рис. 38 б) и связанное с этим незначительное изменение тока при резких и частых скачках величины сопротивления нагрузки от холостого хода до короткого замыкания; повышенную индуктивность в сварочной цепи.

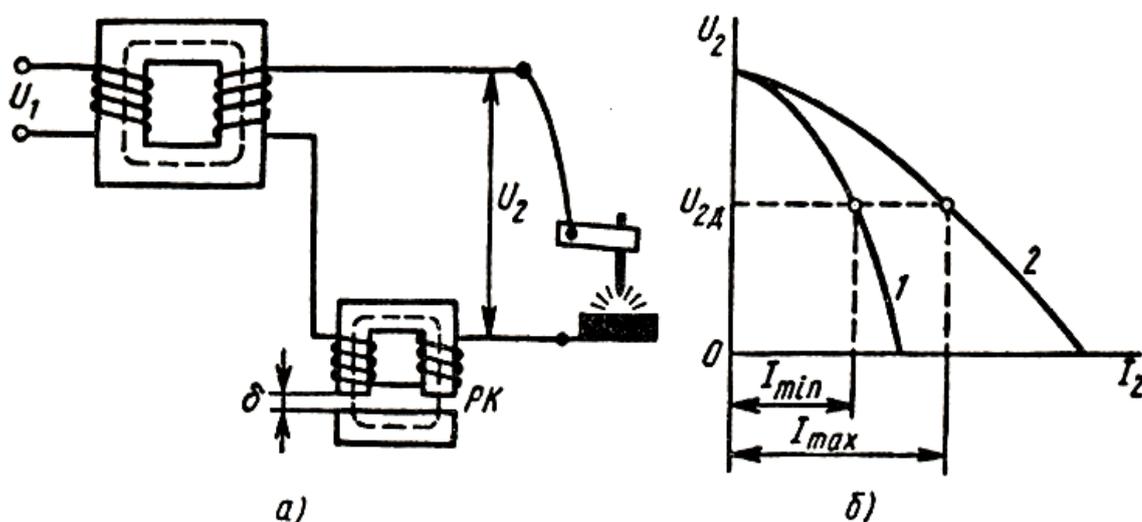


Рис. 38.

Эти свойства обеспечивают устойчивое непрерывное горение электрической дуги и ограничение тока короткого замыкания в пределах двукратного значения номинального тока.

Для увеличения индуктивности искусственно увеличивают магнитное рассеяние трансформатора или включают последовательно во вторичную цепь реактивную катушку (РК). На магнитное сопротивление дополнительной катушки можно влиять путем изменения величины воздушного зазора. Это приводит к изменению индуктивного сопротивления и сварочного тока.

Трехфазный трансформатор. Трехфазные трансформаторы выполняются на одном магнитопроводе, при этом три магнитных потока, возбуждаемых токами в первичных обмотках замыкаются через два других стержня (рис. 39 а).

При изготовлении трехфазных трансформаторов на каждый из его стержней навивают по две обмотки: низкого напряжения (НН), а поверх нее высокого напряжения (ВН). Выводы обмоток принято обозначать: начала обмоток – прописными буквами латинского алфавита А, В и С для обмоток высокого напряжения и строчными буквами а, b и с для обмоток низкого напряжения; концы обмоток – буквами X, Y и Z для обмоток ВН и x, y и z – для обмоток НН.

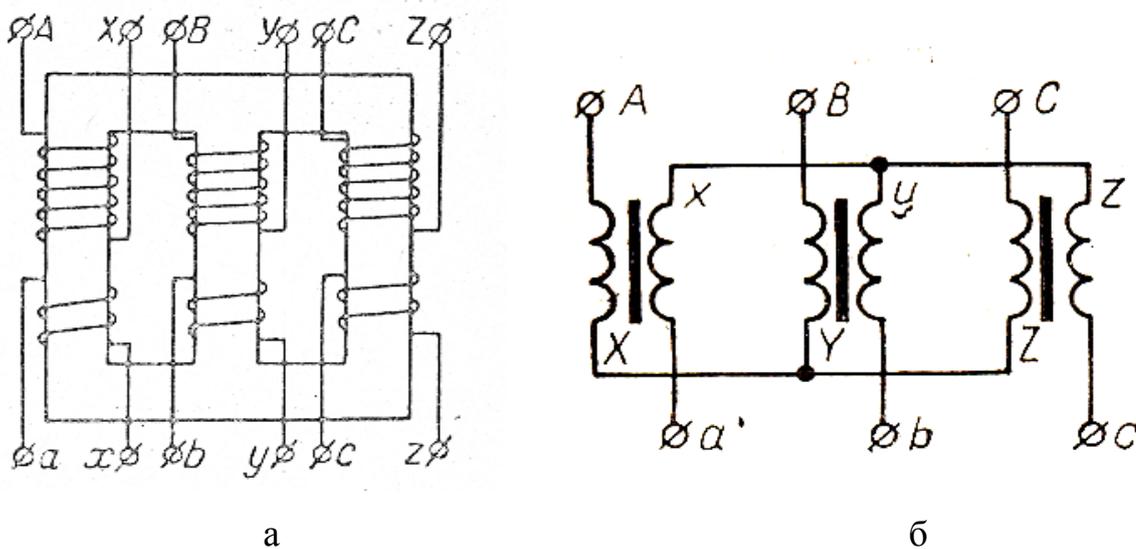


Рис. 39.

Обмотки трансформатора соединяют в зависимости от условий либо треугольником, либо звездой (с нулевым выводом или без (рис. 39 б))

Ход работы:

1. Собрать схему и показать ее для проверки преподавателю.

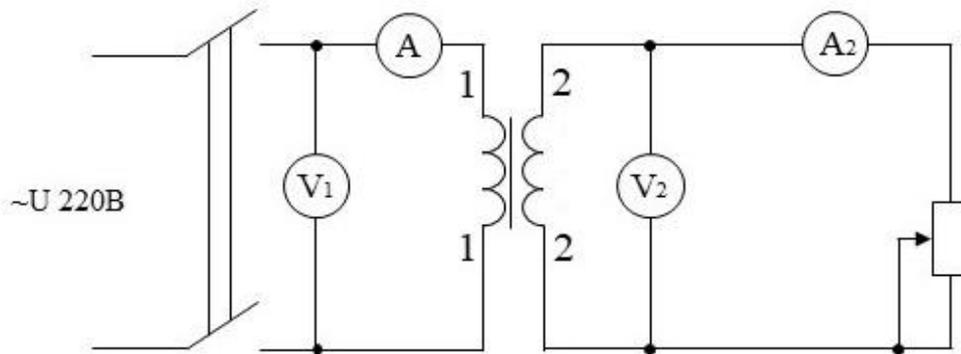


Рис. 40.

2. Осуществить режим холостого хода трансформатора при номинальном напряжении на первичной обмотке; определить коэффициент трансформации.

$$K = \frac{U_1}{U_2}$$

3. Снять нагрузочную характеристику, изменяя сопротивление реостата от 0 до max. Результаты измерений занести в Таблицу 13.

Таблица 13

	U ₁ (В)	U ₂ (В)	I ₁ (А)	I ₂ (А)	P ₁ (Вт)	P ₂ (Вт)	η%	ΔU ₂ %	Примечание
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									

4. По результатам измерений и расчетов определить:

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100\%, \text{ где}$$

$U_2\%$ – процентное изменение выходного напряжения,

U_{20} – выходное напряжение при холостом ходе.

$P_2 = I_2 U_2$ – мощность, отдаваемая трансформатором на нагрузку.

$P_1 = I_1 U_1 \cos \varphi_1$ – мощность, потребляемая трансформатором из сети
($\cos \varphi$ считаем равным 0,8).

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% - \text{коэффициент полезного действия.}$$

5. Построить кривые:

$$I_1 = f(P_2); \quad P_1 = f(P_2);$$

$$\eta = f(P_2); \quad \Delta U_2 \% = f(P_2)$$

Контрольные вопросы

1. Как и для чего проводится опыт холостого хода трансформатора?
2. Как и для чего проводится опыт короткого замыкания трансформатора?
3. Какие потери мощности имеются в трансформаторе и как определить их опытным путем?
4. Как определить КПД трансформатора?

Лабораторная работа № 8. «Определение погрешностей приборов»

Цель работы: научиться определять абсолютную и относительную погрешность электроизмерительных приборов.

Теоретический материал

Электроизмерительные приборы – класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин.

Средства электрических измерений широко применяются в энергетике, связи, промышленности, на транспорте, в научных исследованиях, медицине, а также в быту – для учёта потребляемой электроэнергии. Используя специальные датчики для преобразования неэлектрических величин в электрические, электроизмерительные приборы можно применять для измерения самых разных физических величин.

Электроизмерительные приборы различаются по следующим признакам:

- по роду измеряемой величины;
- по роду тока;
- по степени точности;
- по принципу действия;
- по способу получения отсчета;
- по характеру применения.

Кроме этих признаков, электроизмерительные приборы можно также отличать:

- по способу монтирования;
- по способу защиты от внешних магнитных или электрических полей;
- по выносливости в отношении перегрузок;
- по пригодности к применению при различных температурах;
- по габаритным размерам и другим признакам.

Для измерения электрических величин применяются различные электроизмерительные приборы, а именно: тока – амперметр; напряжения – вольтметр; электрического сопротивления – омметр, мосты сопротивления; мощности – ваттметр; электрической энергии – счетчик; частоты переменного тока – частотомер; коэффициента мощности – фазометр.

По роду тока приборы делятся на приборы постоянного тока, приборы переменного тока и приборы постоянного и переменного тока.

По степени точности приборы делятся на восемь классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. Цифры указывают значение допустимой приведенной погрешности в процентах.

По принципу действия приборы подразделяются на: магнитоэлектрические; электромагнитные; электродинамические (ферромагнитные); индукционные и другие.

По способу получения отсчета приборы могут быть с непосредственным отсчетом и самозаписывающие.

По характеру применения приборы делятся на стационарные, переносные и для подвижных установок.

Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы (рис. 41) предназначены для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. Применяя, различные преобразователи и выпрямители, магнитоэлектрические приборы можно использовать в цепях переменного тока высокой частоты для измерения неэлектрических величин (температуры, давлений, перемещений и т.д.).

Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии магнитных полей, создаваемых постоянным магнитом и измеряемым током, протекающим по катушке.

Приборы магнитоэлектрической системы состоят из постоянного магнита, создающего постоянное магнитное поле, усиливаемое полюсными башмаками, между которыми устанавливается катушка, изготовленная из алюминиевого каркаса и обмотки. На подвижной катушке закреплена

показывающая стрелка, а её вращение уравнивается спиральными пружинами.

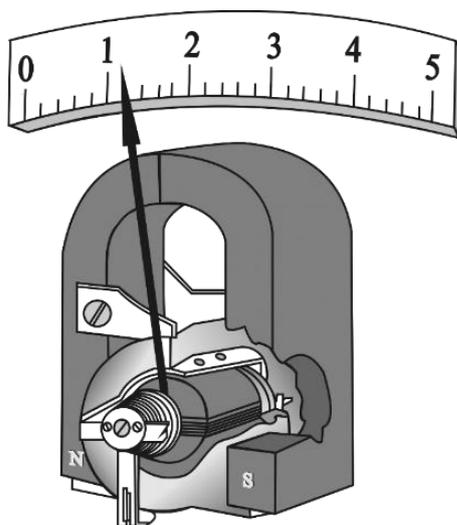


Рис.41.

В приборах магнитоэлектрической системы вращающий магнитный момент пропорционален силе проходящего по подвижной катушке тока. Противодействующий механический момент, создаваемый спиральными пружинами, пропорционален углу закручивания, следовательно, угол отклонения катушки, и скрепленной с нею стрелки, будет пропорционален силе протекающего по обмотке тока.

Линейная зависимость между током и углом отклонения обеспечивает равномерность шкалы прибора. Корректор позволяет изменить положение закрепленного конца одной из спиральных пружин и тем самым производить установку прибора на нуль. Так как каркас подвижной катушки изготовлен из алюминия, то есть из проводника, то возникающие в нем при движении в магнитном поле индукционные токи создают тормозящий момент, что обуславливает быстрое успокоение.

В приборах магнитоэлектрической системы возможны следующие режимы работы:

1. Аperiodический режим. Это такой режим, при котором подвижная катушка прибора под действием тока плавно подходит к положению равновесия, не переходя через него.

2. Периодический режим. Движение подвижной катушки прибора в этом случае происходит так, что, двигаясь к положению равновесия, она переходит через него и занимает его после нескольких колебаний.

3. Критический режим. Это такой режим, при котором подвижная катушка прибора под действием тока подходит к положению равновесия за кратчайшее время. Этот режим наиболее выгоден для работы.

Достоинствами магнитоэлектрических приборов являются: высокая чувствительность и точность показаний; нечувствительность к внешним магнитным полям; малое потребление энергии; равномерность шкалы; аperiodичность (стрелка быстро устанавливается на соответствующем делении почти без колебаний).

К недостаткам приборов этой системы относятся: возможность измерения без дополнительных устройств физических величин только в цепи постоянного тока; чувствительность к перегрузкам.

Электроизмерительные приборы электромагнитной системы (рис. 42) предназначены для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока.

Принцип действия приборов электромагнитной системы основан на взаимодействии магнитного поля создаваемого протекающим по неподвижной катушке тока и подвижного железного сердечника.

Приборы электромагнитной системы состоят из неподвижной катушки, по которой протекает измеряемый ток, железного сердечника особой формы с отверстиями, закрепленного эксцентрично на оси и имеющего возможность перемещаться относительно катушки, противодействующих спиральных пружин и воздушного успокоителя, представляющего собой камеру в которой перемещается алюминиевый поршень.

Под действием магнитного поля неподвижной катушки подвижный сердечник, стремясь расположиться так, чтобы его пересекало возможно большее количество силовых линий магнитного поля, втягивается в катушку по мере увеличения в ней силы тока. Магнитное поле катушки пропорционально току, намагничивание железного сердечника тоже увеличивается с увеличением тока. Поэтому можно приближенно считать, что в электромагнитных приборах создаваемый вращающий магнитный момент пропорционален квадрату тока. Противодействующий механический момент, создаваемый спиральными пружинами пропорционален углу поворота подвижной части прибора, поэтому шкала электромагнитного прибора неравномерная, квадратичная.

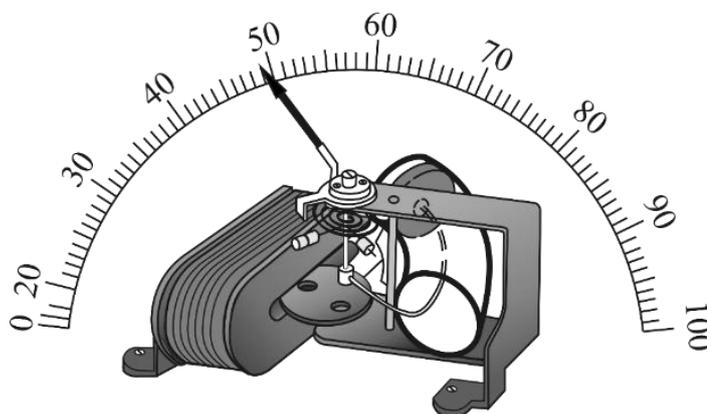


Рис. 42.

В электромагнитных приборах при изменении направления тока меняется как направление создаваемого магнитного поля, так и полярность намагничивания сердечника. Поэтому приборы электромагнитной системы применяются для измерения физических величин в цепях как постоянного, так и переменного токов низких частот без дополнительных устройств.

Достоинствами приборов электромагнитной системы являются: возможность измерения физических величин в цепях как постоянного, так и переменного токов; простота конструкции; механическая прочность; выносливость в отношении перегрузок.

К недостаткам приборов этой системы относятся: неравномерность шкалы; меньшая точность, чем в магнитоэлектрических приборах; зависимость показаний от внешних магнитных полей.

Электроизмерительные приборы электродинамической системы (рис. 43) предназначены для измерения силы тока, напряжения и мощности в цепях постоянного и переменного тока.

Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии магнитных полей, создаваемых измеряемым током, протекающим по неподвижной и подвижной катушкам.

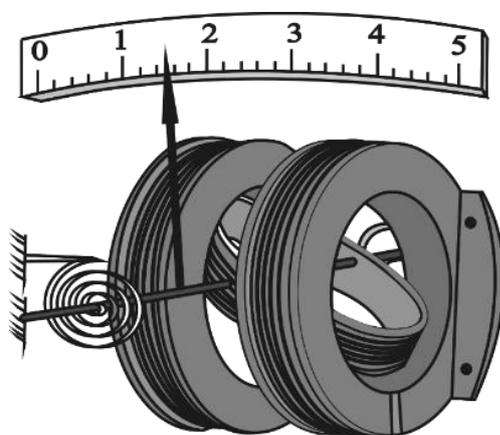


Рис. 43.

Приборы электродинамической системы состоят из жестко закрепленной неподвижной катушки, установленной на оси подвижной катушки (расположена внутри неподвижной катушки), с которой жестко связана стрелка, перемещающаяся над шкалой, противодействующих спиральных пружин и воздушного успокоителя.

Под действием магнитного поля неподвижной катушки и тока в подвижной катушке создается вращающий магнитный момент, под влиянием которого подвижная катушка будет стремиться повернуться так, чтобы плоскость ее витков стала параллельной плоскости витков неподвижной катушки, а их магнитные поля совпадали бы по направлению. В первом приближении вращающий магнитный момент, действующий на подвижную

катушку, пропорционален как току в подвижной катушке, так и току в неподвижной катушке. Противодействующий механический момент, создаваемый спиральными пружинами пропорционален углу поворота подвижной части прибора, поэтому шкала электродинамического прибора неравномерная. Однако подбором конструкции катушек можно улучшить шкалу, то есть получить равномерную шкалу.

При перемене направления тока в обеих катушках направление вращающего магнитного момента не меняется. Поэтому приборы электродинамической системы применяются для измерения физических величин в цепях как постоянного, так и переменного токов без дополнительных устройств.

В зависимости от назначения электродинамического прибора катушки внутри него соединяются между собой последовательно или параллельно. Если катушки прибора соединить параллельно и установить добавочное сопротивление (шунт – уменьшает сопротивление прибора до требуемого минимального значения), то он может быть использован как амперметр. Если катушки соединить последовательно и присоединить к ним добавочное сопротивление, то прибор может быть использован как вольтметр.

Приборы электродинамической системы используются для измерения потребляемой в цепи мощности – электродинамический ваттметр. Он состоит из двух катушек: неподвижной с небольшим числом витков толстой проволоки, включенной последовательно с тем участком цепи, в котором требуется измерить расходуемую мощность, и подвижной, содержащей большое число витков тонкой проволоки и помещенной на оси внутри неподвижной катушки. Подвижная катушка включается в цепь подобно вольтметру, то есть параллельно потребителю, и для увеличения её сопротивления последовательно с ней вводится добавочное сопротивление. Отклонение подвижной части прибора пропорционально мощности и поэтому шкалу прибора градуируют в ваттах. Ваттметры электродинамической системы имеют равномерную шкалу.

Достоинствами приборов электродинамической системы являются: возможность измерения физических величин в цепях как постоянного, так и переменного токов; высокая точность. Электродинамические амперметры и вольтметры применяются главным образом в качестве контрольных приборов для измерений в цепях переменного тока.

К недостаткам приборов этой системы относятся: неравномерность шкалы у амперметров и вольтметров; чувствительность к внешним магнитным полям; большая чувствительность к перегрузкам.

Электростатические приборы служат преимущественно для непосредственного измерения высоких напряжений в цепях постоянного и переменного токов – электростатический вольтметр (рис. 44).

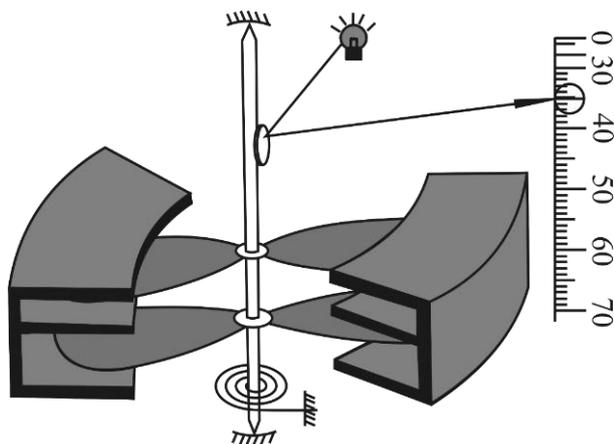


Рис. 44.

Принцип действия электростатического вольтметра основан на электростатическом взаимодействии заряженных проводников.

Электростатический вольтметр состоит из неподвижного электрода, представляющего собой металлическую камеру; подвижного алюминиевого электрода в форме пластинки, закрепленного на оси; противодействующей спиральной пружины или системы растяжек; системы быстрого успокоения, использующей постоянный магнит, и светового указателя.

Измеряемое напряжение подводится одним полюсом к неподвижному электроду, а другим – к подвижному. Подвижный и неподвижный электроды

заряжаются противоположными по знаку зарядами, и возникающая сила притяжения втягивает подвижный электрод внутрь неподвижного. Противодействующий механический момент создается упругими силами спиральной пружины или системы растяжек.

В электростатических приборах моменты, действующие на подвижную часть малы, поэтому для отсчета показаний прибора пользуются световым лучом, отраженным от небольшого легкого зеркальца, укрепленного на оси.

Угол поворота подвижного электрода зависит как от квадрата напряжения, так и от изменения емкости, поэтому шкала электростатического прибора неравномерная, квадратичная. Подбор размеров и формы электродов позволяет получить постоянную зависимость емкости от угла поворота.

Квадратичная зависимость угла поворота подвижного электрода от напряжения позволяет применять такие приборы для измерения не только постоянного напряжения, но и напряжения переменного тока (до частоты порядка 30 МГц).

Электростатические приборы имеют малую входную емкость и высокое сопротивление изоляции, поэтому измерение постоянного напряжения происходит практически без потребления мощности самим прибором и с очень малым потреблением мощности при измерении переменного напряжения.

Электростатические вольтметры применяются для измерений высоких напряжений постоянного, а также переменного токов, причем при измерении высокого напряжения переменного тока не требуется применения специальных измерительных трансформаторов.

Электронные приборы. Приборы такой системы содержат один или несколько транзисторов и измерительный прибор магнитоэлектрической системы, соединенных в схему, позволяющую производить измерения электрических величин.

Электронные приборы обладают большим входным сопротивлением, выдерживают достаточно большие перегрузки, но имеют малую точность измерений.

В цифровых измерительных приборах (относятся к электронным приборам) непрерывно измеряемая величина или ее аналог, то есть физическая величина, пропорциональная измеряемой, преобразуется в дискретную форму и результат измерения выводится в виде числа, появляющегося на отсчетном или цифропечатающем устройстве.

Достоинствами цифровых измерительных приборов являются: возможность измерения физических величин в цепях как постоянного, так и переменного токов без дополнительных устройств; быстродействие и устойчивость к помехам. Наличие цифрового отсчетного устройства исключает погрешность отсчета измеряемой величины.

Примером многопредельного комбинированного универсального цифрового полупроводникового прибора является милливольтметр ВЗ-38Б (рис. 45). Данный прибор используется в цепях как постоянного, так и переменного токов для измерения напряжения, силы тока и сопротивления в широких пределах.



Рис.45.

На передней панели полупроводникового вольтметра В7–22А (рис. 46) расположены кнопки, нажатием которых, можно выбрать диапазон

измерения (например, от 0 до 0,2; от 0 до 2; от 0 до 20 и т.д.) и измеряемую физическую величину (например, напряжение V в вольтах, силу тока mA в миллиамперах, сопротивление $k\Omega$ в килоомах).

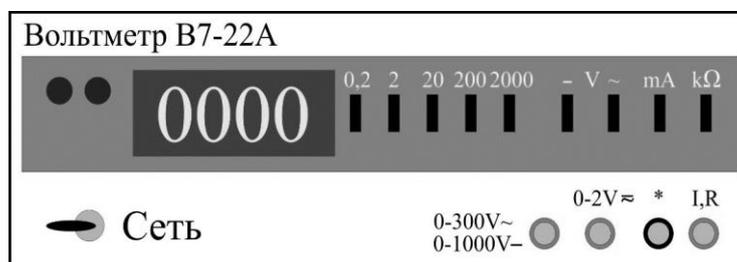


Рис. 46.

Измерительный прибор, электрическую схему которого можно переключать для изменения интервалов измеряемой физической величины, называется многопредельным. В случае амперметров изменение пределов измерений достигается включением различных дополнительных сопротивлений, называемых шунтами, в случае вольтметров – включением добавочных сопротивлений, расположенных внутри многопредельного прибора.

Применение многопредельных приборов связано с тем, что часто требуется измерять электрические величины в очень широких пределах с достаточной степенью точности в каждом интервале (электромеханические приборы обеспечивают высокую точность, если снимаемые показания находятся в третьей четверти шкалы). В этом случае многопредельный прибор заменяет несколько однотипных приборов с различными пределами измерения.

Например, при снятии анодных характеристик ламповых и полупроводниковых диодов величина анодного тока, в зависимости от анодного напряжения, может изменяться в пределах от 0 до 5А. Если измерения производить прибором, шкала которого рассчитана на 5А, то небольшие токи будут измерены таким прибором с большой погрешностью.

Важнейшей характеристикой каждого измерительного прибора является его погрешность. В качестве действительного значения измеряемой физической величины принимается величина, измеренная образцовым прибором. Разность между показанием прибора A и действительным (табличным) значением измеряемой физической величины A_0 называется абсолютной погрешностью ΔA :

$$\Delta A = A - A_0.$$

Обычно, точность измерения характеризуется относительной погрешностью ε , которая представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному (табличному) значению измеряемой величины:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_0} 100\%.$$

Для характеристики точности электроизмерительных приборов пользуются приведенной погрешностью γ . Приведенной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к предельному значению измеряемой физической величины $A_{пр}$, то есть к наибольшему её значению, которое может быть измерено по шкале прибора при нормальных условиях: температуре, влажности, атмосферном давлении

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{пр}} 100\%.$$

Под приведенной погрешностью прибора с двухсторонней шкалой (нуль посередине) понимается погрешность, отнесенная к сумме верхнего и нижнего пределов измерения.

Необходимость введения приведенной погрешности объясняется тем, что даже при постоянной абсолютной погрешности по всей шкале прибора относительная погрешность по мере уменьшения значений измеряемой физической величины не остается постоянной, а увеличивается.

Точность электроизмерительных приборов является главной их характеристикой и лежит в основе деления приборов на классы. Согласно ГОСТ по степени точности измерения электроизмерительные приборы

делятся на семь классов: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. Показатель класса точности определяет приведенную погрешность измерения, выраженную в процентах. Абсолютная погрешность измерений, производимых электроизмерительными приборами, оценивается, исходя из класса точности прибора. Обозначение класса точности 0,2; 0,5; 1,0 указывает, что абсолютная погрешность показаний прибора соответствующего класса в любом месте шкалы не должна превышать 0,2%; 0,5%; 1,0% от предельного значения измеряемой физической величины данным прибором.

Приборы классов 0,1; 0,2; 0,5 применяются для точных лабораторных измерений и называются прецизионными. В технике применяют менее точные приборы классов 1; 1,5; 2,5 и 4 (технические). Приборы с погрешностью более 4% считаются внеклассными. Класс прибора обычно указывается на его шкале.

Ход работы:

1. По представленным данным определить абсолютную погрешность приборов.
2. По представленным данным определить относительную погрешность приборов.
3. Определить погрешность приборов с учётом систематических и случайных погрешностей.
4. Определить вероятную погрешность с учётом коэффициентов Стьюдента.

Контрольные вопросы

1. Что такое погрешность измерения?
2. Что такое абсолютная погрешность?
3. Что такое относительная погрешность?
4. Что называется систематическими погрешностями?
5. Что называется случайными погрешностями?

6. Дать математическое выражение «нормального закона Гаусса».
7. Что называется вероятной погрешностью?
8. Что называется статической погрешностью?
9. Что называется динамической погрешностью?
10. Что называется основной погрешностью?
11. Что называется дополнительной погрешностью?
12. Что такое приведённая погрешность?
13. Что называется классом точности?
14. Что означает понятие «эталонный прибор»?

Лабораторная работа № 9. «Проверка технического вольтметра»

Цель работы: познакомиться с методикой проверки измерительных приборов и выявить соответствие прибора указанному на нём классу точности.

Оборудование:

1. Вольтметр класса точности 1,5 с $U_{\text{ном}}=250\text{В}$.
2. Вольтметр класса точности 0,5 с $U_{\text{ном}}=300\text{В}$.
3. Источник переменного напряжения $U=220\text{В}$.
4. Реостат с $R_{\text{ном}}=1440\text{ Ом}$.

Теоретический материал

На сегодняшний день не существует такой сферы деятельности, в которой бы не проводились какие-либо измерения. Каждый день только в нашей стране осуществляются миллиарды измерений, на долю которых приходится 10-15% общественных трудозатрат. Однако любые измерения имеют смысл только тогда, когда обеспечивается их единство – результаты проведенных на разных предприятиях и в разных лабораториях измерений должны быть сопоставимыми, точными и достоверными. Это достигается благодаря такой методике, как поверка измерительных приборов, а также Государственной системе обеспечения единства измерений.

Поверка приборов измерения – это комплекс операций, которые выполняются для подтверждения соответствия средств измерения (СИ) метрологическим требованиям. Поверка может выполняться органами государственной метрологической службы или же другими организациями и компаниями, имеющими на то полномочия. Главная цель поверки – определение и подтверждение того, что СИ соответствует установленным техническим требованиям и ГОСТам.

На сегодняшний день поверке подлежат измерительные приборы следующих видов:

- аналитические приборы (кондуктометры, рН-метры и др.);
- динамометры, весы;
- средства измерения влажности, давления, температуры (гигрометры, барометры, термометры);
- СИ параметров движения, геометрических величин, твердости;
- СИ уровня, расхода;
- СИ ионизирующих излучений;
- оптико-физические и физико-химические СИ;
- акустические, радиотехнические СИ, СИ частоты и времени, удара и вибрации;
- СИ медицинского назначения;
- СИ тока и напряжения, электрического сопротивления и др. СИ.

Результатом поверки измерительных приборов становится выдача свидетельства о Государственной поверке установленного образца.

Поверка СИ осуществляется различными уполномоченными на то органами в соответствии с Федеральным законом РФ от 26 июня 2008 года №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», нормативными документами и стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений, постановлениями, а также другими нормативными документами Ростехрегулирования.

Как правило, поверка измерительных приборов осуществляется в специальных помещениях – стационарных поверочных лабораториях (СПЛ), оснащенных поверочными установками, программно-вычислительным комплексом и другой высокоточной техникой. Также поверка может проводиться в мобильных поверочных лабораториях. Персонал, проводящий поверку, должен иметь высокую квалификацию, пройти подготовку в Академии метрологии и стандартизации.

Располагая всеми необходимыми полномочиями и обладая в этой области богатым опытом, профессиональные специалисты сертификационного центра помогут провести качественную поверку СИ в

кратчайшие сроки, определиться с ее сроками и периодичностью, поскольку определенные СИ должны проходить ее регулярно.

Ход работы:

1. Собрать схему и представить ее для проверки преподавателю.
2. Подать напряжение на схему и с помощью реостата плавно переместить стрелку от нуля до максимального показания и обратно и убедиться в отсутствии трения стрелки.
3. Прогреть прибор в течение 15 минут током, соответствующим номинальному показанию прибора. После выключения прибора проверить, находится ли указатель на нулевой отметке шкалы и, в случае необходимости, с помощью корректора установить стрелку на нуль.
4. В период прогрева прибора записать в таблицу 14 паспортные данные прибора.

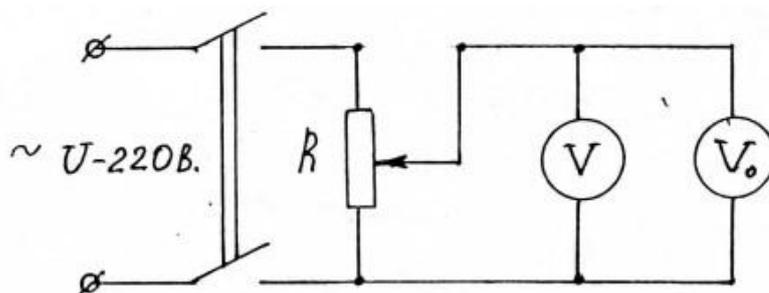


Рис. 47.

Таблица 14

№	Название прибора	Система прибора	Тип прибора	Вид измерения	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Заводской номер	Год выпуска
1									
2									

5. Установить стрелку испытуемого прибора последовательно на всех числовых отметках шкалы сначала при возрастании измеряемой величины от нуля до наибольшего значения, а затем по тем же точкам при убывании от наибольшего значения до нуля, при этом по образцовому

прибору определять действительное значение измеряемой величины на этих отметках. Результаты занести в Таблицу 15.

Таблица 15

№	Измерить			Вычислить		
	U_n (В)	U_0 (В) при $U \uparrow$	U_0 (В) при $U \downarrow$	U_0 ср (В)	ΔU (В)	$\gamma_{пр}$, %
1						
2						
3						
4						
5						
6						

U_n – показания проверяемого прибора,

U_0 – показания образцового прибора,

ΔU – абсолютная погрешность.

$$\Delta U = U_0 - U_n$$

$\gamma_{пр}$ – приведённая погрешность прибора.

$$\gamma_{пр} = \Delta U / U_{ном} \times 100\%.$$

6. Дать заключение о соответствии проверяемого прибора указанному на нем классу точности.

Контрольные вопросы

1. Расшифруйте условные знаки на шкалах измерительных приборов.
2. Перечислите известные вам системы измерительных приборов. Каков их принцип работы?
3. Назовите общие узлы и детали измерительных приборов.
4. Что называют классом точности прибора?

Лабораторная работа №10. «Проверка технического ваттметра»

Цель работы: овладеть на практике методикой проверки технического ваттметра.

Оборудование и приборы:

1. S – двухполюсный рубильник.
2. R – проволочный реостат 1280 Ом, $I_{ном}=0,45$ А.
3. PWn и PW0 – переносные ваттметры класса точности 0,5 и 0,2 соответственно.
4. Н1-Н6 – ламповый реостат.
5. РА, РV – технический амперметр и вольтметр.
6. Соединительные провода.

Теоретический материал

Шкала прибора служит не только для отсчета измеряемой величины, но и для характеристики прибора.

На шкале прибора наносятся следующие символы.

1. Фирменный знак производителя прибора.
2. Назначение прибора, одновременно являющееся и обозначением размерности измеряемой величины:

A, mA, μ A – амперметр, миллиамперметр, микроамперметр соответственно измеряющие силу тока в амперах (A), миллиамперах (mA), микроамперах (μ A);

kV, V, mV, μ V – киловольтметр, вольтметр, милливольтметр, микровольтметр соответственно измеряющие напряжение в цепи в киловольтах (kV), вольтах (V), милливольтмах (mV), микровольтах (μ V);

kW, W – киловаттметр, ваттметр соответственно измеряющие потребляемую мощность в киловаттах (kW), ваттах (W);

k Ω , Ω – килоомметр, омметр соответственно измеряющие сопротивление цепи в килоомах (k Ω), омах (Ω);

Hr – частотомер измеряющий частоту сигнала в герцах (Hr).

3. Условное обозначение системы прибора (принцип действия):

Таблица 16

Условное обозначение системы прибора	Система прибора (техническая характеристика)
	магнитоэлектрическая
	электромагнитная
	электродинамическая
	электростатическая
	электронная (ламповая)
	электронная (полупроводниковая)

4. Условное обозначение рода тока:

“—” – прибор используется только в цепях постоянного тока;

“~” – прибор используется только в цепях переменного тока;

“” – прибор используется в цепях постоянного и переменного тока

(универсальный);

“” – прибор используется в цепях трёхфазного тока.

5. Условное обозначение класса точности прибора: ^{0,1, 0,2, или} , ,

или  ;

6. Условное обозначение рабочего положения прибора (условным знаком обозначается положение шкалы прибора, при котором достигается максимальная точность измерения):

 или  – прибор располагается вертикально;

 или  – прибор располагается горизонтально;

 – прибор располагается под углом 65° к горизонту (приборы с угловым расположением шкалы оснащены пузырьковым уровнем, позволяющим придать точное угловое положение шкале прибора).

7. Условное обозначение испытательного напряжения изоляции прибора:

 или  – изоляция корпуса прибора испытана при напряжении 2kV;

8. Частота тока: ~ 50 Гц – частота переменного тока равна 50Гц;

9. Условное обозначение прибора, тип и год выпуска, заводской номер прибора, номер ГОСТа.

Электроизмерительные приборы состоят из подвижной и неподвижной частей. При измерениях вращающий момент (обычно это момент, создаваемый магнитным или электрическим полем) подвижной части уравновешивается противодействующим моментом (обычно это механический момент, создаваемый спиральными пружинами) какого-либо устройства. При таком равновесии указатель прибора фиксирует определенный угол поворота. Устанавливая однозначную связь между углом поворота указателя прибора и численным значением измеряемой физической величины, можно построить шкалу прибора, по которой и производится отсчет измеряемой физической величины.

Чувствительностью S электроизмерительного прибора называется отношение линейного или углового перемещения указателя $d\alpha$ к изменению измеряемой физической величины dx , вызвавшему это перемещение

$$S = \frac{d\alpha}{dx}.$$

Размерность чувствительности зависит от характера измеряемой физической величины (например, чувствительность прибора к току, чувствительность прибора к напряжению и т.д.). Чем больше приращение угла отклонения при одном и том же приращении измеряемой физической

величины, тем меньшие величины можно измерять прибором и тем выше его чувствительность.

Величина $C = \frac{1}{S}$, обратная чувствительности, называется ценой деления прибора. Она определяет значение физической величины, вызывающей отклонение на одно деление. В общем случае цена деления представляет собой разность значений измеряемой физической величины для двух соседних меток (рисок) шкалы. Цена деления шкалы любого прибора зависит от верхнего и нижнего пределов измерения прибора и от числа делений шкалы.

Например, в случае если амперметр измеряет силу тока в пределах от 0 до 2,5А (в это положение установлен переключатель пределов измерений), а шкала прибора имеет 50 делений. В этом случае цена деления амперметра равна

$$C = \frac{1}{S} = \frac{2,5\text{А}}{50\text{дел}} = 0,05 \frac{\text{А}}{\text{дел}}, \text{ а чувствительность } S = 20 \frac{\text{дел}}{\text{А}}.$$

Таблица 17

Пример оформления таблицы при использовании электроизмерительных приборов

Название прибора	Принцип действия	Класс точности	Предел измерения	Цена деления
Вольтметр		1	0–30В	0,4В/дел.
Источник постоянного тока Б5–21				
Источник постоянного тока НУ3010Е				
Амперметр		0,5	0–0,5А	0,005А/дел.
Микроамперметр		0,2	0–10µА	0,05µА/дел.
			0–25µА	0,125µА/дел.
			0–50µА	0,25µА/дел.

Вольтметр В7–22А			0–0,2kΩ 0–200kΩ	
Вольтметр		0,5	0–3В 0–7,5В 0–15В	0,02В/дел. 0,05В/дел. 1В/дел.
Милливольтметр В3–38Б		4	0–1В 0–3В 0–10В	1/30В/дел. 0,1В/дел. 1/3В/дел.
Генератор сигналов низкочастотный ГЗ–109			177–500Гц 500–1000Гц 1000– 2000Гц	5Гц/дел. 10Гц/дел. 20Гц/дел.
Электронный осциллограф С1–68				
Реостат			0–500Ом	
Лабораторная установка				

Для характеристики энергетических условий важно сколь быстро совершается работа. Работа, совершаемая в единицу времени, называется мощностью

$$P = \frac{A}{t} .$$

Если движение зарядов создает постоянный ток, то $q = It$, где t – время, за которое был перенесен заряд q . Следовательно, работа, производимая за время t , $A = UIt$, тогда мощность

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2R = U^2q .$$

То или другое выражение мощности используется в зависимости от условий той или иной электротехнической задачи.

Единицей измерения активной мощности служит ватт. $[Вт] = В А = Дж/с$.

Для измерения больших мощностей применяются кратные единицы – $1\text{кВт}=1000\text{Вт}$, $1\text{МВт}=10^6\text{Вт}$.

Прибор, измеряющий мощность – ваттметр, имеет две измерительные цепи (две катушки), из которых одна (цепь тока) включается как амперметр последовательно с нагрузкой, а вторая (цепь напряжений) подключается к нагрузке как вольтметр (параллельно) (рис. 48).

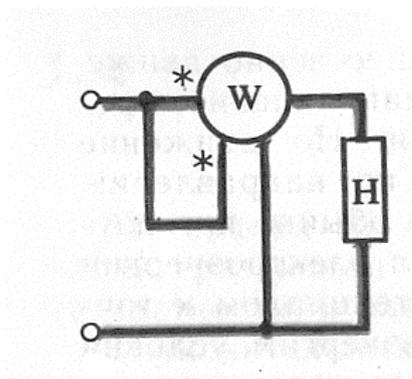


Рис. 48. Схема включения ваттметра

В электроэнергетике для измерения работы служит более крупная, чем джоуль единица, называемая кВт час. Это работа, совершаемая в течение одного часа при неизменной мощности в 1кВт. Следовательно, $1\text{кВт час} = 1000\text{Вт} \cdot 3600\text{с} = 3\,600\,000\text{ Дж}$.

Ход работы:

1. Ознакомиться с приборами, предназначенными для выполнения работы, внести их паспортные данные в Таблицу 18.

Таблица 18

№	Характеристика	Прибор			
		РА	PV	PW ₀	PW _n
1	Название прибора				
2	Система прибора				
3	Тип прибора				
4	Вид измерения				
5	Предел измерения				

6	Цена деления				
7	Класс точности				
8	Заводской номер				
9	Год выпуска				

2. Собрать схему (рис. 49) и представить её для проверки преподавателю.

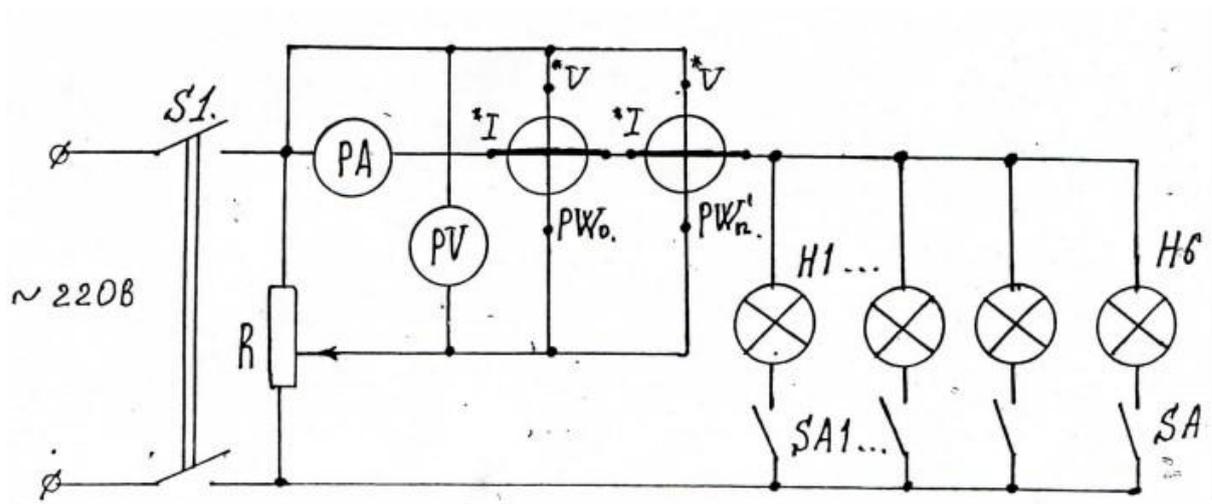


Рис. 49. Схема проверки технического ваттметра

3. Снять показания при неизменном напряжении и измеряемом токе, а затем при неизменном токе и изменяемом напряжении. Данные измерений занести в Таблицу 19.

Таблица 19

№	Показания приборов					Погрешность		Поправка
	I, А	U, В	W _n , Вт	W ₀ , Вт ход вверх	W ₀ , Вт ход вниз	ΔW ср, Вт	γ, %	- Δ, Вт
1								
2								
3								
4								
5								

6								
7								
8								
9								
10								

4. Рассчитать погрешности и поправки.
5. Сделать вывод о соответствии ваттметра указанному на нем классу точности.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы электродинамических и ферродинамических измерительных механизмов.
2. Объясните влияние температуры, частоты и внешних магнитных полей на возникновение дополнительных погрешностей ваттметров.
3. Каковы достоинства и недостатки ферродинамических ваттметров по сравнению с электродинамическими?
4. Как снимают показания, если измерения проводят многодиапазонным ваттметром?
5. Каковы области применения электродинамических ваттметров (ферродинамических ваттметров)?

Лабораторная работа №11. «Проверка однофазного счетчика»

Цель работы: Научиться на практике включать однофазный счетчик в цепь, освоить методику проверки однофазного счетчика.

Оборудование:

1. Однофазный счетчик.
2. Ламповый реостат.
3. Секундомер.
4. Амперметр с $I_{ном}=5A$.
5. Вольтметр с 250В.

Теоретический материал

Проверку проводят в соответствии с ГОСТ 8.259-77 "Счетчики электрические активной и реактивной энергии индукционные. Методы и средства проверки".

Проверка счетчика – совокупность операций, выполненных в целях подтверждения соответствия счетчика метрологическим требованиям, т.е. его пригодность к применению.

Согласно ГОСТ 6570-75 индукционные счетчики должны удовлетворять следующим техническим условиям.

1. Внешний вид должен соответствовать техническим требованиям (наличие монтажной схемы подключения, четко видны все надписи на циферблате и отметка на диске, стекло прочно приклеено и не имеет трещин, зажимная коробка не должна иметь повреждений, резьба и головки винтов подключения проводов должны быть исправны).

2. При подключении напряжения только к параллельной цепи, и отсутствии тока в последовательной цепи подвижная часть счетчика должна оставаться неподвижной при напряжениях, лежащих в границах от 80 до 110 % от номинального, т.е. счетчик не должен иметь так называемого самохода.

Он не должен вращаться, когда вся нагрузка отключена. Допускается вращение до одного оборота диска.

3. Счетчик должен идти без остановок при номинальных напряжениях, частоте и при нагрузке 0,5% номинальной для счетчика 1 класса и 1% для счетчика 2 класса. Этот ток называется порогом чувствительности счетчика.

4. Относительные погрешности показаний счетчиков при номинальной температуре 20°C и номинальных напряжениях и частоте не должны превышать значений.

Однофазные счетчики активной энергии – индукционные интегрирующие устройства для учета электрической энергии в цепях переменного тока с частотой 50 Гц. На лицевой панели счетчика указываются номинальное напряжение и диапазон токов с нижней границей – номинальным током и верхней – максимальным током, до которого сохраняется необходимая точность счетчика. Учет электрической энергии выполняет роликовый счетный механизм, приводимый в движение через систему передач от оси счетчика, на которой укреплен алюминиевый диск, вращающийся при включенных приемниках. Электрическая энергия за некоторый промежуток времени определяется разностью отсчетов по счетному механизму в конце и начале данного отрезка времени. Каждой единице, зарегистрированной электрической энергии в соответствии со значением передаточного числа зубчатых передач между счетным механизмом и осью счетчика, отвечает определенное число оборотов $N_{ном}$, называемое передаточным числом счетного механизма, которое нанесено на табличку счетчика в виде надписи: "1 кВт ч – $N_{ном}$ оборотов диска".

Электрическая энергия $C_{ном}$, зарегистрированная счетчиком за один оборот диска, называется номинальной постоянной счетчика. Если эта энергия измерена в Вт.с/об, то связь ее с передаточным числом $N_{ном}$ счетного механизма определяется формулой:

$$C_{НОМ} = 3600 \times \frac{1000}{N_{НОМ}}$$

Измерительный механизм счетчика представляет собой магнитную систему из двух электромагнитов переменного тока с магнитопроводами из листов электротехнической стали и неподвижными обмотками на них. Одна из них (параллельная) состоит из большого числа витков тонкого провода и включается на напряжение сети. Другая (последовательная) имеет малое число витков толстого провода и соединяется последовательно с приемниками.

Переменные токи двух обмоток возбуждают магнитные потоки, пропорциональные соответственно U и I , которые сдвинуты по фазе и не совпадают в пространстве. В результате этого возбуждается бегущее магнитное поле, которое наводит в диске соответствующие ЭДС и вихревые токи. Эти токи взаимодействуют с бегущим магнитным полем и вовлекают диск в непрерывное вращение.

$$M_{BP} = K_1 \times U \times I \times \cos \phi ,$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от конструкции элементов счетчика;

U – напряжение на зажимах параллельной обмотки;

I – ток последовательной обмотки счетчика;

$\cos \phi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Тормозной момент создает постоянный магнит:

$$M_m = K_2 \times N ,$$

где K_2 – коэффициент пропорциональности;

N – частота вращения счетчика.

Приравняв $M_{BP} = M_m$, получим:

$$U \times I \times \cos \phi = C \times N ,$$

$$C = \frac{K_2}{K_1} .$$

Но, следовательно, $P = C \times N$.

Электрическая энергия W за время t будет равна:

$$W = \int_0^{\tau} p dt = C \times \int_0^{\tau} N dt = C \times N ,$$

где N – число оборотов диска за время t .

Отношение $C=W/N$, представляющее собой энергию за время одного полного оборота диска, называют действительной постоянной счетчика электрической энергии.

Отклонение действительной постоянной счетчика, от его номинальной постоянной $C_{НОМ}$ характеризуется относительной погрешностью:

$$\gamma_0 = \frac{(W_{НОМ} - W)}{W} ,$$

где W – действительное значение электрической энергии за время t , определенное по показаниям образцовых приборов;

$W_{НОМ}$ – значение электрической энергии по показаниям поверяемого счетчика за то же время, подсчитанное по формуле:

$$W = C_{НОМ} \times N ,$$

где N – число оборотов диска за время t .

Для однофазных счетчиков активной энергии класса 2,5 при $\cos\phi = 1$ и токе от 10 до 20% $I_{НОМ}$ относительная погрешность не должна превышать +3,5%.

Если коэффициент мощности нагрузки $0,5 \leq \cos\phi \leq 1$ при $f \geq 0$, а ток изменяется от 20% $I_{НОМ}$ до его максимального значения включительно, то относительная погрешность может достигать значения:

$$\gamma_0 = \pm(5,5...8 \times \cos\phi) \% .$$

Проверка правильности показаний счетчика проводится по контрольному вольтметру и амперметру, образцовому ваттметру и секундомеру с определением частоты вращения диска, для чего устанавливают полное число его оборотов за время не менее 50 с. Одновременно находят порог чувствительности счетчика:

$$S = \frac{I_{МИН}}{I_{НОМ}} \times 100\% ,$$

где $I_{\text{мин}}$ – номинальный ток при $\cos\varphi = 1$, когда диск счетчика приходит в безостановочное вращение;

$I_{\text{ном}}$ – номинальный ток по данным таблички счетчика.

Порог чувствительности счетчиков класса 2,5% должен быть не более 1% при номинальном напряжении.

В неправильно отрегулированных счетчиках под действием напряжения на зажимах параллельной цепи и при $I_{\text{ном}}=0$ в последовательной цепи может наблюдаться непрерывное вращение диска – самоход счетчика. При правильной регулировке самоход должен отсутствовать.

Ход работы:

1. Собрать схему и представить ее для проверки преподавателю.

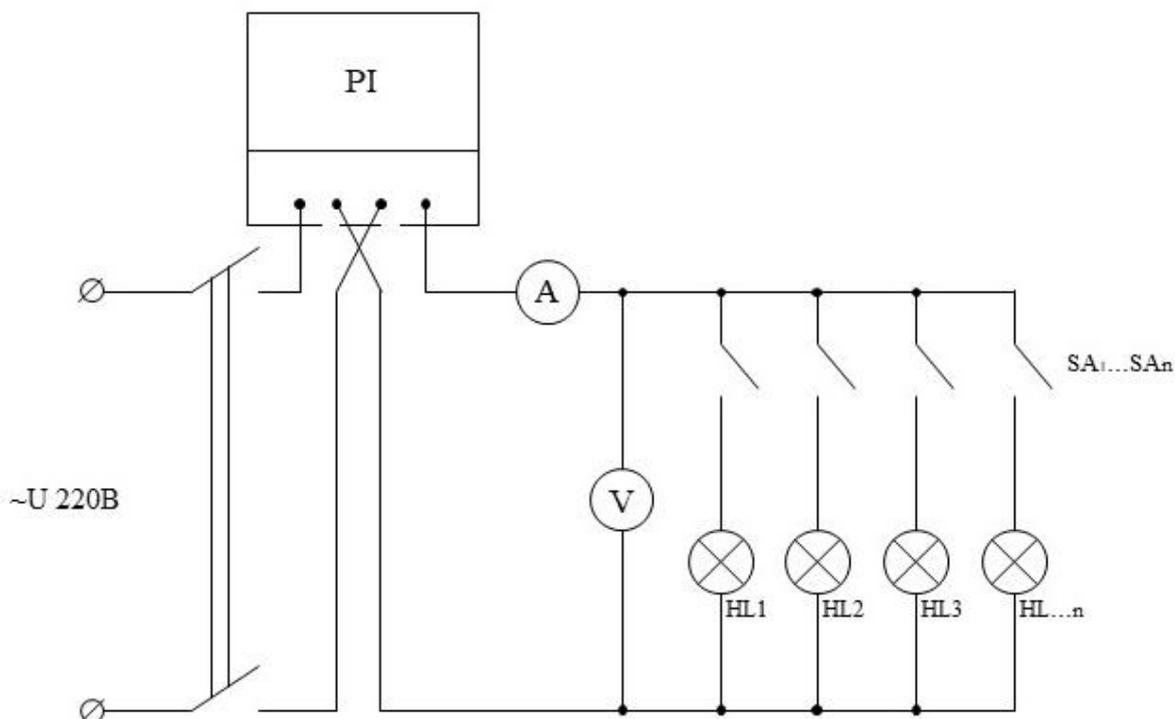


Рис. 50.

2. Изменяя число включенных ламп, подсчитать число оборотов диска счетчика за указанное время.
3. Перед измерением прогреть счетчик в течение 15 минут.
4. Рассчитать номинальную постоянную счетчика, показывающую

количество учтенной энергии за один оборот диска

$$C_0 = \frac{3600 \cdot 1000}{N_0},$$

Где N_0 -передаточное число счетчика, указанное на его щитке.

5. Число оборотов диска за время t занести в таблицу.
6. Снять показания амперметра и вольтметра и занести их в Таблицу 20.

Таблица 20

№	Измерить					Вычислить			
	I	U	t	N	N_0	W	C_0		δ
	A	B	с	об	об	Дж	$\frac{\text{Дж}}{\text{об}}$	Дж	%
1									
2									
3									
4									
5									

7. Произвести вычисления по формулам:

$W = UIt$ - действительное значение израсходованной энергии

$W_{\text{сч}} = C_0 N$ - значение учтенной счетчиком энергии

$\delta = \frac{W_{\text{сч}} - W}{W} 100\%$ - относительная погрешность счетчика

8. Дать заключение о пригодности счетчика к работе с учетом обозначенного на щитке класса точности.

Контрольные вопросы

1. Что называют классом точности измерительного прибора?
2. Что называют абсолютной погрешностью измерения? Относительной погрешностью?
3. Измерительный механизм какой системы применен в счетчике?
4. Раскройте принцип создания в нем вращающего момента, противодействующего момента.
5. Как расширить пределы измерения счетчика?

Лабораторная работа № 12. «Измерение частоты сигналов»

Цель работы: Научиться измерять величину напряжения сигнала, его частоту и период.

Оборудование:

1. Стенд К4826.
2. Электронный осциллограф С 1-92.

Теоретический материал

Электронный осциллограф – прибор для графического изображения функциональной зависимости между двумя или более величинами, характеризующими какой-либо физический процесс.

Основной частью осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). ЭЛТ состоит из стеклянного баллона, из которого выкачан воздух до давления порядка 10^{-8} мм.рт.ст. (рис. 51).

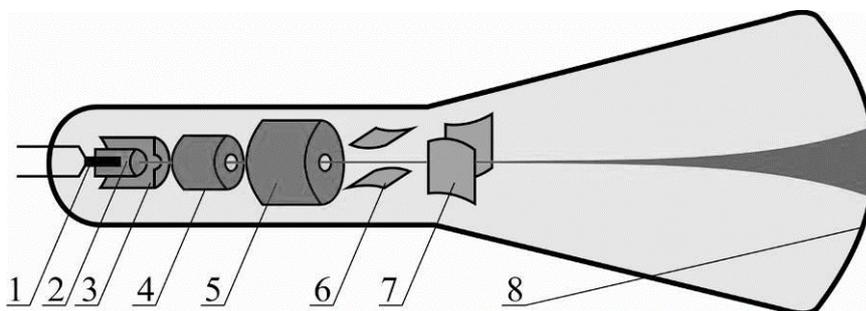


Рис. 51.

Источником электронов служит катод 2, подогреваемый спиралью 1. Фокусирующий цилиндр 3 регулирует количество вылетающих в единицу времени электронов, то есть яркость пятна на экране. Потенциал фокусирующего цилиндра отрицательный, его иначе называют управляющим электродом. Аноды 4 и 5 ускоряют и фокусируют электроны, концентрируют их в узкий пучок. Подогреватель 1, катод 2, фокусирующий цилиндр 3 и оба анода 4 и 5 образуют так называемую электронную пушку, а фокусирующий цилиндр 3 и система анодов 4 и 5 – фокусирующую систему. Выходя из второго анода, электронный пучок проходит между двумя парами

пластин 6 и 7 – это вертикально и горизонтально отклоняющие пластины. Между катодом и первым анодом приложено напряжение порядка 10^3 В, электроны ускоряются. Второй анод имеет потенциал выше первого и фокусирует электроны. Между катодом и вторым анодом напряжение составляет 2...5 кВ.

На передней панели электронного осциллографа С1-68 (рис. 52) расположены управляющие лучом устройства, позволяющие регулировать фокус, яркость, синхронизировать исследуемый сигнал, перемещать луч вдоль оси X и Y.

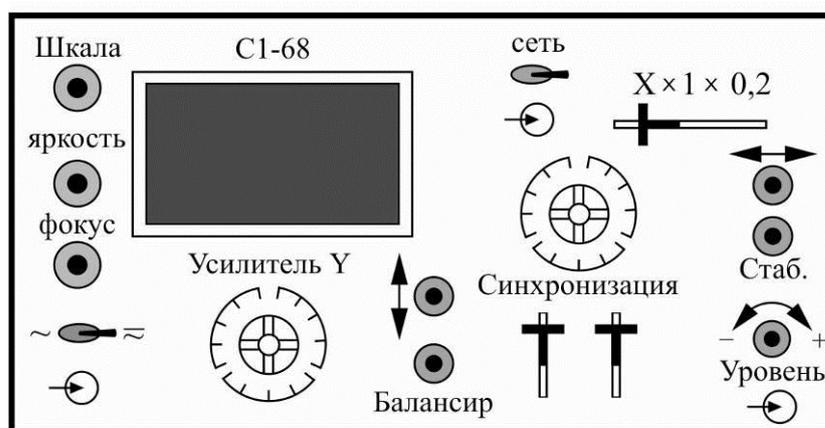


Рис. 52.

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109 представляет собой источник переменного напряжения звуковой частоты в пределах от 17,7 до 200000 Гц (рис. 53).

На передней панели звукового генератора находятся:

1. Тумблер подключения прибора к сети “вкл.” – “откл.”.
2. Вольтметр на выходе генератора, являющийся индикатором напряжения (регулятор амплитуды напряжения грубой и тонкой настройки).
3. Ручка переключения предела частот (множитель частоты) на четыре положения: 17,7-200 Гц; 177-2000 Гц; 1770-200000 Гц.
4. Лимб со шкалой (главный регулятор частоты), поворотом которого избирается нужная частота.

5. Клеммы – выход звукового генератора, к которым подключается нагрузка.

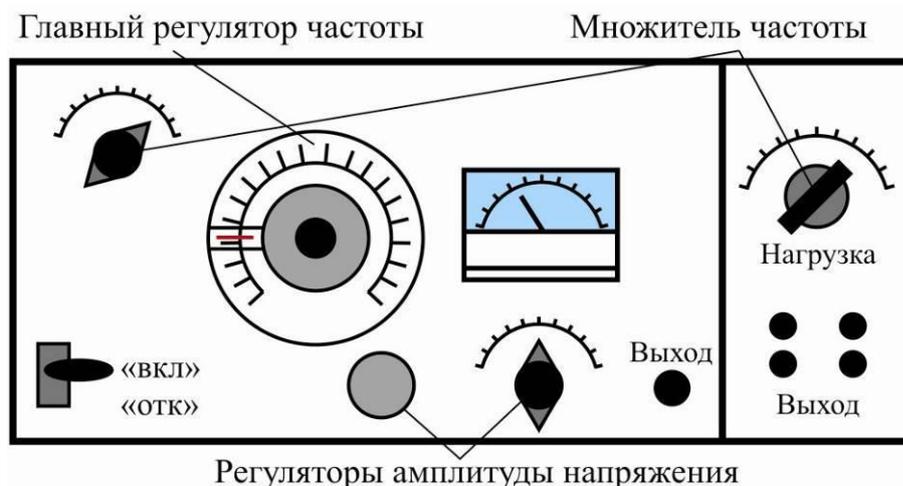


Рис. 53.

Ход работы:

1. Познакомиться с панелью генератора сигналов ГС на стенде К4826.
Найти переключатели:
S1 – служит для задания частоты генератора;
S2 – задает функции на выходе генератора;
S3 – устанавливает выходное напряжение.
Найти регуляторы плавного изменения напряжения и частоты сигнала.
2. Подключить осциллограф к клеммам ГС «V_m», «L», добиться на экране устойчивого изображения сигнала, разместив на экране 2-3 периода.
3. Получая с помощью переключателя S2 изображения разных функций, скопировать их изображения в отчете.
4. Сделать замеры величин, указанных в таблице, для сигналов разных форм и для трех выбранных сочетаний переключателей S1 и S3 частоты и амплитуды напряжения.
5. Вычислить амплитуду, период и частоту сигналов.
6. Сделать вывод о применении электронного осциллографа для исследования сигналов.
7. Величины, указанные в Таблице 21:

1. Формы сигналов: пилообразная, треугольная, прямоугольная, синусоидальная.

2. $V/\text{дел } U$ – считывается по метке ступенчатого регулятора «Усиление U », ручка плавного регулятора должна быть повернута в сторону максимального усиления до щелчка.

3. $V/\text{дел } X$ – считывается аналогично по метке регулятора канала горизонтального отклонения (развертки).

4. U_m и T вычисляются перемножением чисел в двух предыдущих колонках.

5. Дел X – число см в периоде сигнала.

6. Частота сигнала f определяется по формуле:

$$f = 1 / T.$$

Таблица 21

№	Форма сигнала	$V/\text{дел } U$ В/см	Дел U см	U_m В	$V/\text{дел } X$ время/см	Дел X см	T с	f Гц
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Контрольные вопросы

1. Опишите процесс получения изображения сигнала на экране осциллографа.
2. Перечислите основные части структурной схемы электронного осциллографа.
3. Каково назначение линии задержки в канале горизонтального отклонения?
4. Каково условие создания неподвижного изображения сигнала на экране осциллографа?
5. Перечислите основные элементы электронно-лучевой трубки ЭЛТ.
6. Потенциалы каких элементов ЭЛТ изменяются при регулировке ручками:
 - «*» – яркость;
 - «•» – фокус;
 - ↔ – смещение луча по горизонтали,
 - | – смещение луча по вертикали.

Лабораторная работа № 13. «Измерение напряжений и сопротивлений аналоговыми электронными и электромеханическими приборами»

Цель работы: научиться на опыте применять аналоговые приборы, получить навыки по выбору предела измерения и отсчету показаний.

Оборудование:

1. Комбинированный прибор Ц20.
2. Комбинированный прибор В7-26.
3. Комбинированный прибор ВУ-15.
4. Генератор синусоидальных колебаний ГЗ-102.
5. Генератор прямоугольных импульсов Г5-54.
6. Регулируемый источник постоянного напряжения БП-20.
7. Электронный аналоговый вольтметр.
8. Набор резисторов.

Теоретический материал

Для регулировки режимов электрической цепи используются различные регулирующие устройства (реостаты, потенциометры, шунты, катушки индуктивности, магазины сопротивления или емкости, ключи, рубильники и т.д.).

Для плавного изменения сопротивления цепи используются реостаты со скользящим контактом. Они состоят из однослойной обмотки не изолированной проволоки из сплава с большим удельным сопротивлением (нихром, никелин), намотанной на жаростойкий изолирующий цилиндр (фарфор, стеатит), и скользящего контакта. Витки проволоки плотно прилегают друг к другу, но ток между ними не идёт, так как проволока покрыта тонким слоем окислы, являющейся изолятором. В месте скольжения контакта по виткам проволоки слой окислы устранен. Реостат включается в электрическую цепь с помощью двух клемм и скользящего контакта.

Если реостат используется как регулятор тока, то в электрическую цепь включается одна клемма и скользящий контакт (рис. 54 а).

Если реостат используется для деления напряжения, то в электрическую цепь включаются обе клеммы и скользящий контакт (рис. 54 б).

Если в ходе выполнения эксперимента необходимо изменить не только значение, но и знак подаваемого на устройство электрической цепи напряжения, без ее разборки и последующей сборки, то используются устройства, получившие название потенциометров (рис. 54 в). Потенциометрами могут быть только те реостаты, которые удовлетворяют условию $R_{ц} \gg R_n \gg r$,

где $R_{ц}$ – сопротивление цепи;

R_n – сопротивление реостата;

r – внутреннее сопротивление источника тока.

Для расширения предела измерения по току применяются вспомогательные сопротивления, называемые шунтами. Они представляют собой вполне определенные сопротивления, включаемые в электрическую цепь параллельно сопротивлению электроизмерительного прибора (амперметр). Шунты изготавливают из манганина, имеющего большое удельное сопротивление и малый температурный коэффициент удельного сопротивления. Поэтому сопротивление шунта практически не зависит от нагрева его током и от температуры окружающей среды.

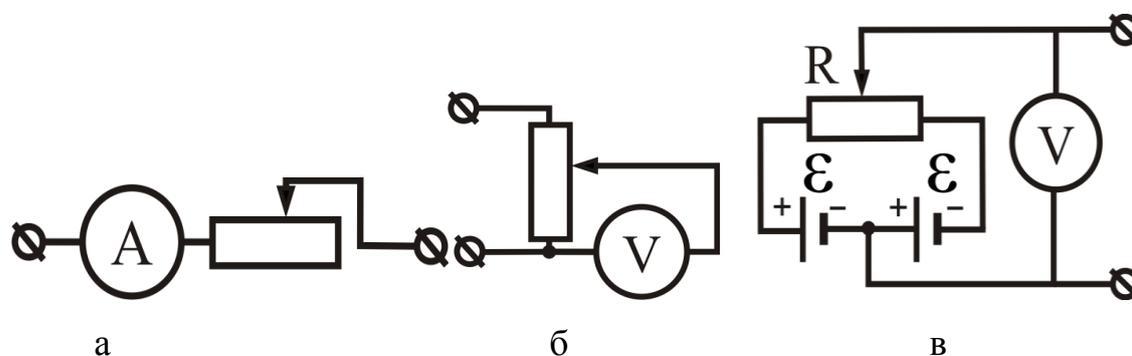


Рис. 54.

Например, если амперметром необходимо измерить ток, в n раз больший предельно возможного для данного прибора $I_{пр}$, то сопротивление шунта должно удовлетворять условию:

$$R_{ш} = \frac{R_A}{(n - 1)},$$

где $R_{ш}$ – сопротивление шунта;

R_A – сопротивление амперметра;

$$n = \frac{I}{I_A};$$

I – ток в цепи;

I_A – ток, идущий через амперметр.

Для расширения предела измерения по напряжению применяются вспомогательные устройства, которые называются добавочными сопротивлениями. Добавочные сопротивления включаются последовательно сопротивлению электроизмерительного прибора (вольтметр).

Пусть необходимо измерить напряжение U на участке цепи, которое в k раз больше предела измерения прибора. В этом случае добавочное сопротивление должно удовлетворять условию:

$$R_{\delta} = R_V (k - 1),$$

где R_{δ} – добавочное сопротивление;

R_V – сопротивление вольтметра;

$$k = \frac{U}{U_V} = \frac{R}{R_V};$$

U – полное подводимое напряжение;

U_V – напряжение, падающее на вольтметр;

$R = R_{\delta} + R_V$ – полное сопротивление цепи.

Набор эталонных сопротивлений, представляющих собой катушки сопротивления, называется магазином сопротивления. Каждая катушка состоит из хорошо изолированной проволочной обмотки (из манганина или константана). Сопротивление каждой катушки вполне определено для

каждой температуры. Катушки набора помещены в общий ящик. На лицевой панели размещены регуляторы, позволяющие дискретно изменять общее сопротивление магазина.

Ход работы:

1. Познакомиться с приборами, применяемыми в работе, и указаниями по их эксплуатации. Внести в протокол паспортные данные приборов.
2. Устанавливая на генераторе Г5-54 амплитуду и частоту выходного сигнала, измерить напряжение данными измерительными приборами, данные занести в таблицу.
3. Повторить п.2. для генератора Г3-102.
4. Измерить сопротивления резисторов данными приборами.
5. Измерить выходное напряжение блока питания БП-20.

Таблица 22

Сигнал источника		Г3 - 102			Г5 - 54			БП - 20			R ном		
		U1 В	U2 В	U3 В	U1 В	U2 В	U3 В	U1 В	U2 В	U3 В	R1 Ом	R2 Ом	R3 Ом
Измерительные приборы	ВУ-15												
	В7-26												
	Ц20												

4. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие приборы называются аналоговыми?
2. Что называется, аналоговым сигналом?
3. Что такое добавочное сопротивление?

Лабораторная работа № 14. «Измерение сопротивлений»

Цель работы: научиться на практике измерять величину сопротивлений разными способами.

Приборы и оборудование:

1. Магазин сопротивлений.
2. Набор резисторов.
3. Цифровой вольтметр В7-20.
4. Универсальный вольтметр В7-26.
5. Мультиметр ВР-11.
6. Тестер Ц20.
7. Мегаомметр.
8. Мост постоянного тока УМВ.

Теоретический материал

Основные методы и средства измерения сопротивления электрической цепи постоянному току. Диапазон измеряемых на практике сопротивлений широк (от 10^{-8} до 10^{15} Ом), и его условно делят по значениям сопротивлений на три части – малые (менее 10 Ом), средние (от 10 до 10^6 Ом) и большие (свыше 10^6 Ом), в каждой из которых измерение сопротивлений имеет свои особенности.

Измерение сопротивления электрической цепи постоянному току на практике производится наиболее часто методом амперметра и вольтметра, логометрическим или мостовым методом.

Метод амперметра и вольтметра. Этот метод основан на раздельном измерении тока в цепи измеряемого сопротивления R_x и напряжения U на его зажимах и последующем вычислении значения R_x по показаниям измерительных приборов: $R_x=U/I$.

Обычно ток измеряют амперметром, а напряжение вольтметром, этим объясняется название метода. Возможные схемы включения приборов показаны на рис. 55.

Достоинство метода заключается в простоте его реализации, недостаток – в сравнительно невысокой точности результата измерения, которая ограничена классом точности применяемых измерительных приборов и методической погрешностью. Последняя обусловлена влиянием мощности, потребляемой измерительными приборами в процессе измерения, другими словами – конечным значением собственных сопротивлений амперметра R_A и вольтметра R_V .

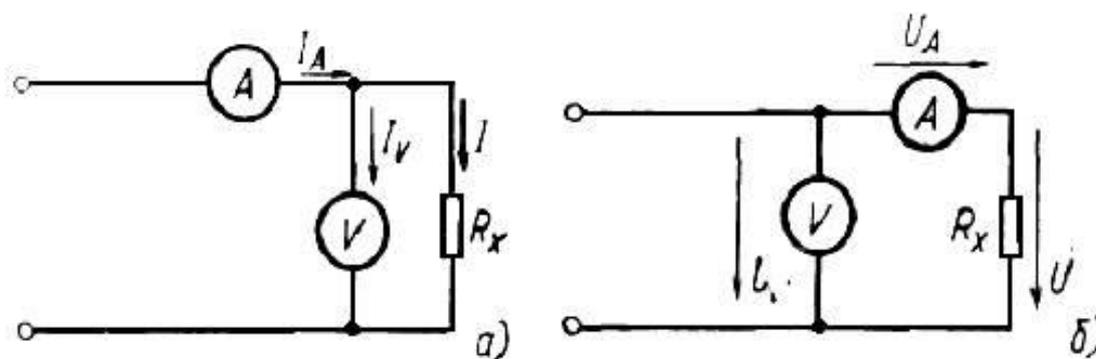


Рис. 55. Схемы для измерений малых (а) и больших (б) сопротивлений методом амперметра и вольтметра

На рис. 55 а вольтметр показывает значение напряжения на зажимах R_x , а амперметр – сумму токов $I_v + I$, следовательно, результат измерения R , вычисленный по показаниям приборов, будет отличаться от R_x :

$$R = \frac{U}{I + I_v} = \frac{U}{\frac{U}{R_x} + \frac{U}{R_v}} = \frac{R_x}{1 + \frac{R_x}{R_v}}$$

Относительная погрешность измерения в процентах

$$\delta = \frac{R - R_x}{R_x} \times 100 = -\frac{R_x / R_v}{1 + R_x / R_v} \times 100 \approx -\frac{R_x}{R_v} \times 100$$

Здесь приближенное равенство справедливо, так как при правильной организации эксперимента предполагается выполнение условия $R_v \gg R_x$.

В схеме рис. 55 б амперметр показывает значение тока в цепи с R_x , а вольтметр – сумму падений напряжений на R_x и амперметре U_A . Учитывая это, можно по показаниям приборов вычислить результат измерения:

$$R = \frac{U + U_A}{I_A} = \frac{I_A R_x + I_A R_A}{I_A} = R_x + R_A$$

Относительная погрешность измерения в процентах в данном случае равна:

$$\delta = \frac{R - R_x}{R_x} \times 100 = \frac{R_A}{R_x} \times 100$$

Сравнивая полученные выражения относительных погрешностей, приходим к выводу: в схеме, представленной на рис. 55 а, на методическую погрешность результата измерения оказывает влияние только сопротивление R_v , а для снижения этой погрешности необходимо обеспечить условие $R_x \ll R_v$. В схеме, изображенной на рис. 55 б, на методическую погрешность результата измерения оказывает влияние только R_A , а снижение этой погрешности достигается выполнением условия $R_x \gg R_A$. Таким образом, при практическом использовании данного метода можно рекомендовать правило: измерение малых сопротивлений следует производить по схеме рис. 55 а; при измерении больших сопротивлений предпочтение следует отдавать схеме рис. 55 б.

Если при данном методе применить источник питания с заранее известным напряжением, то необходимость измерения напряжения вольтметром отпадает, а шкалу амперметра можно сразу отградуировать в значениях измеряемого сопротивления. На этом принципе основано действие многих моделей выпускаемых промышленностью омметров непосредственной оценки. Упрощенная принципиальная схема такого омметра показана на рис. 56. Схема содержит источник ЭДС – E , добавочный резистор R_d и амперметр (обычно микроамперметр) PA . При подключении к зажимам схемы измеряемого сопротивления R_x в цепи возникает ток I , под действием которого подвижная часть амперметра поворачивается на угол α , а его указатель отклоняется на a делений шкалы:

$$a = \frac{E}{C1} \cdot \frac{1}{R_d + R_A + R_x},$$

где $C1$ – цена деления (постоянная) амперметра; R_A – сопротивление амперметра.

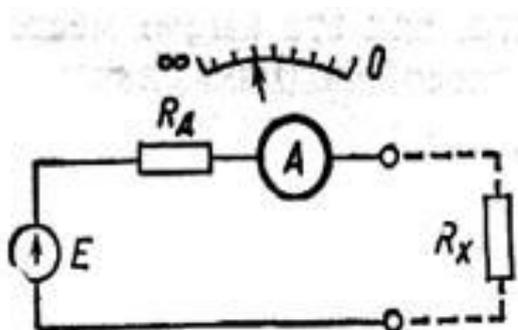


Рис. 56.

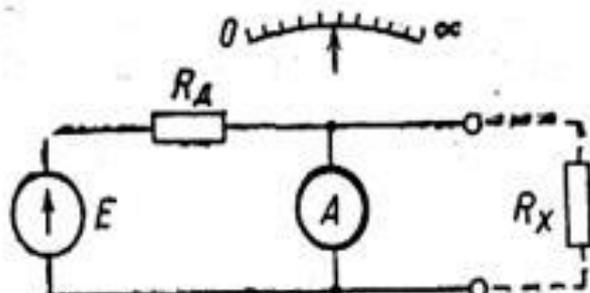


Рис. 57.

Шкала омметра нелинейная. Источник питания в приборах такого рода обычно реализуется в виде сухого элемента напряжения, ЭДС которого падает по мере его разряда. Ввести поправку на изменение E , как видно из уравнения, можно путем соответствующей регулировки $C1$ или R_d .

Регулировка $C1$ производится так: зажимы прибора, к которым подключается R_x , замыкаются накоротко ($R_x=0$) и регулировкой положения магнитного шунта добиваются установки указателя амперметра на нулевую отметку шкалы; последняя расположена на крайней правой точке шкалы. На этом регулировка заканчивается, и прибор готов к измерению сопротивлений.

Данный метод измерения сопротивлений применяется и в комбинированных приборах ампервольтметрах. Однако здесь регулировка $C1$ недопустима, так как это приведет к нарушению градуировки прибора в режимах измерений токов и напряжений. Поэтому в таких приборах поправку на изменение ЭДС (E) вводят регулировкой сопротивления добавочного резистора R_d , который выполняется в виде резистора с изменяемым сопротивлением. Процедура регулировки та же, что и в приборах с регулируемой магнитным шунтом магнитной индукцией в рабочем зазоре. В этом случае градуировочная характеристика прибора

изменяется, что приводит к дополнительным методическим погрешностям. Однако параметры схемы выбираются так, чтобы указанная погрешность была небольшой.

Возможен другой способ подключения измеряемого сопротивления – не последовательно с амперметром, а параллельно ему (рис. 57). Зависимость между R_x и углом отклонения подвижной части в данном случае также нелинейная, однако нулевая отметка на шкале расположена слева, а не справа, как это имело место в предыдущем варианте. Такой способ подключения измеряемого сопротивления применяется только при измерении малых сопротивлений.

Логометрический метод основан на измерении отношения двух токов I_1 и I_2 , один из которых протекает по цепи с измеряемым сопротивлением, а другой – по цепи, сопротивление которой известно. Оба тока создаются одним источником напряжения, поэтому нестабильность последнего в известных пределах практически не влияет на точность результата измерения. Принципиальная схема омметра на основе логометра представлена на рис. 58. Схема содержит измерительный механизм на основе логометра магнитоэлектрической системы с двумя рамками. Измеряемое сопротивление может быть включено последовательно (рис. 58 а) или параллельно (рис. 58 б) относительно рамки измерительного механизма.

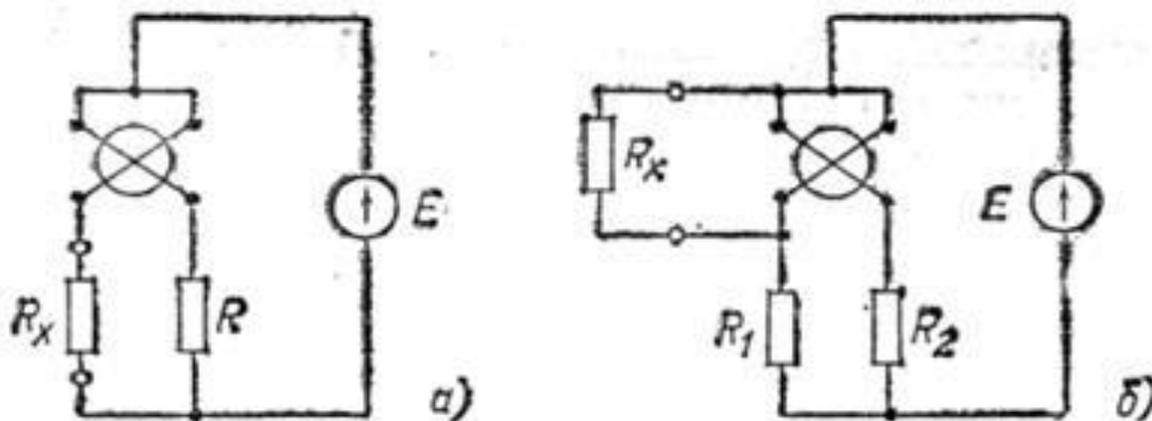


Рис. 58.

Последовательное включение применяется при измерении средних и больших сопротивлений, параллельное – при измерении малых сопротивлений. Дальнейшее рассмотрение работы омметра на основе логометра будем вести на примере схемы рис. 58 а. Если пренебречь сопротивлением обмоток рамок логометра, то угол поворота подвижной части α зависит только от отношения сопротивлений:

$$\alpha = F(R_x/R).$$

Сопротивлением резистора R задается диапазон измеряемых омметром сопротивлений

Напряжение питания логометра влияет на чувствительность его измерительного механизма к изменению измеряемого сопротивления и не должно быть ниже определенного уровня. Обычно напряжение питания логометров устанавливают с некоторым запасом по отношению к минимально допустимому уровню для того, чтобы его возможные колебания не влияли на точность результата измерения. Значение напряжения питания и способ его получения зависят от назначения омметра и диапазона измеряемых сопротивлений: при измерении малых и средних сопротивлений применяют сухие батареи, аккумуляторы или источники питания от промышленной сети, при измерении больших сопротивлений, например, изоляции – специальные генераторы с напряжением 100, 500, 1000 В и более.

Ход работы:

1. Познакомиться с приборами, применяемыми в работе, и их инструкцией по эксплуатации.
2. Набрать на магазине сопротивлений величину сопротивления, заданную преподавателем.
3. Измерить поочередно величину сопротивления каждым из имеющихся приборов, результат занести в таблицу.
4. Приняв величину сопротивления, полученную с помощью моста постоянного тока за действительное значение R_g , вычислить абсолютную

погрешность измерений другими приборами; вычислить относительную погрешность.

$$\Delta R = R_H - R_g; \quad \gamma = \frac{\Delta R}{R_g} \cdot 100\%$$

5. Повторить пункты 1-4 для одного из резисторов, представленных в наборе.

6. Измерить величину сопротивления изоляции трансформатора и электродвигателя с помощью мегаомметра, результаты занести в Таблицу 23.

Таблица 23.

№		R ₁	ΔR ₁	γ ₁	R ₂	ΔR ₂	γ ₂
		Ом	Ом	%	Ом	Ом	%
1	Номинальное значение						
2	Мост УМВ						
3	В7-20						
4	В7-26						
5	ВР-11						
6	Ц20						
7	Мегаомметр	Трансформатор		Электродвигатель			

7. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под измерением?
2. Что называют абсолютной погрешностью измерения?
3. Дайте понятие относительной погрешности измерения.
4. Что показывает класс точности измерительного прибора?
5. Приведите схему моста для измерения сопротивлений, поясните процесс измерения.
6. Приведите схему омметра, поясните процесс измерения. Почему шкала

омметра имеет нуль справа?

7. В чем достоинства электронных измерительных приборов? В чем преимущества цифровых приборов перед аналоговыми?
8. На чем основан метод амперметра и вольтметра?
9. В чем заключается достоинство метода амперметра и вольтметра?
10. Как производится регулировка омметра?

Лабораторная работа № 15 «Измерение электрических величин с помощью цифровых приборов»

Цель работы: научиться на практике применять электронные цифровые приборы.

Оборудование:

1. Генератор синусоидальных колебаний ГЗ-102.
2. Генератор прямоугольных импульсов Г5-54.
3. Набор резисторов.
4. Цифровой вольтметр В7-20.
5. Мультиметр ВР-11.
6. Источник постоянного напряжения ИП.

Теоретический материал

Цифровыми называют приборы, в которых информация об непрерывно изменяющейся (аналоговой) измеряемой величине автоматически преобразуется в эквивалентные дискретные значения цифровых кодов. Отсчетные устройства цифровых приборов также, как правило, отображают информацию в виде цифрового кода.

К преимуществам цифровых приборов относятся:

1. Высокая точность.
2. Высокая помехозащищенность, т.к. измерительная информация представляется в виде цифрового кода, т.е. в виде последовательности нулей и единиц.
3. Возможность реализации достаточно сложных алгоритмов обработки измерительной информации, а также широкие возможности по хранению и передаче измерительной информации другим цифровым устройствам.

Основным элементом любого цифрового измерительного прибора является аналого-цифровой преобразователь, осуществляющий преобразование аналогового сигнала, содержащего измерительную информацию, в эквивалентный ей цифровой код. Принципиально не

исключена возможность непосредственного преобразования различных физических величин в цифровую форму, однако эту задачу удается решить лишь в редких случаях из-за сложности таких преобразователей. Поэтому в настоящее время наиболее рациональным признается способ преобразования различных по физической природе величин сначала в функционально связанные с ними электрические, а затем уже с помощью преобразователей напряжение-код – в цифровые. В данном случае входной сигнал аналого-цифрового преобразователя (АЦП) представляет собой аналоговый сигнал в виде напряжения, изменяющегося во времени.

Процедура аналого-цифрового преобразования непрерывных сигналов, которую реализуют с помощью АЦП, представляет собой преобразование непрерывной функции времени $u(t)$, описывающей исходный сигнал, в последовательность чисел $u[j \times \Delta t]$ (где $j=0,1,2,\dots,n$, Δt – шаг квантования по времени), отнесенных к некоторым фиксированным моментам времени. Эту процедуру можно разделить на две самостоятельные операции.

Первая из них называется дискретизацией или квантованием по времени и заключается в преобразовании непрерывного сигнала в дискретные отчеты, между которыми значение сигнала неопределенно.

Вторая называется дискретизацией или квантованием по уровню, при этом дискретные отсчеты, значения которых могут принимать бесконечное число значений из заданного диапазона, заменяются отсчетами, значения которых могут принимать лишь фиксированное число значений.

На первом этапе непрерывный во времени сигнал преобразуется в последовательность значений, наблюдаемых в дискретные моменты времени, а на втором – эти значения, округляются до ближайшего фиксированного уровня. Вместо аналогового сигнала $u(t)$ на выходе АЦП прилучается последовательность двоичных кодов.

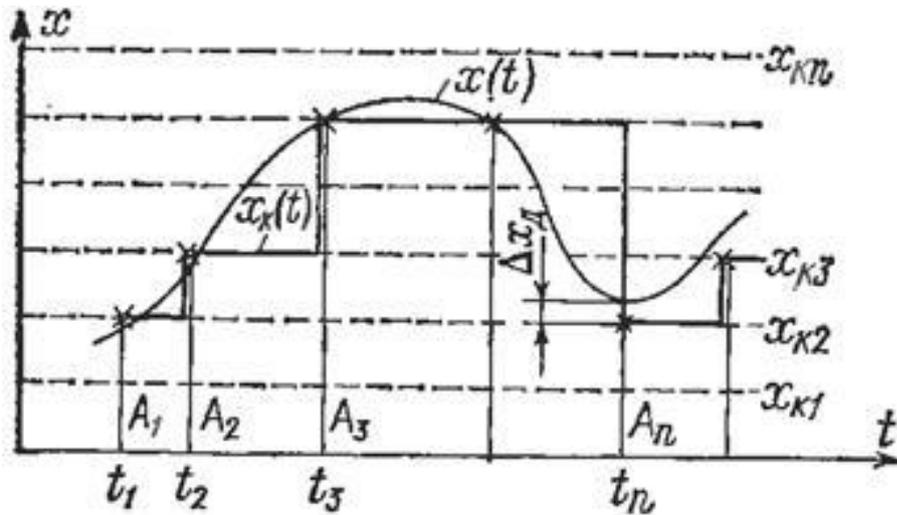


Рис. 59.

В основе дискретизации непрерывных сигналов лежит принципиальная возможность представления их в виде взвешенных сумм

$$u(t) = \sum_{j=1}^n (a_j f_j[\Delta t]),$$

где a_j – некие отсчеты или коэффициенты, характеризующие сигнал в j -й момент времени, $f_j[\Delta t]$ – набор функций, позволяющих восстановить сигнал по отсчетам.

Наиболее распространенной формой дискретизации является равномерная, в основе которой лежит теорема отсчетов. Согласно этой теореме в качестве коэффициентов a_j следует использовать мгновенные значения сигнала $u(t_j)$ в дискретные моменты времени $t_j = j\Delta t$, а период дискретизации выбирать из условия:

$$\Delta t = \frac{1}{2f_{\text{max}}},$$

где f_{max} – максимальная частота спектра преобразуемого сигнала.

При этом выражение переходит в известное выражение теоремы отсчетов:

$$u(t) = \sum_{j=-\tau}^{+\tau} u[j\Delta t] \frac{\sin[2\pi f_{\text{max}}(t-j\Delta t)]}{2\pi f_{\text{max}}(t-j\Delta t)},$$

Для сигналов со строго ограниченным спектром это выражение является тождеством. Однако спектры реальных сигналов стремятся к нулю

лишь асимптотически. Применение равномерной дискретизации к таким сигналам приводит к возникновению в системах обработки информации специфических высокочастотных искажений, обусловленных выборкой. Для уменьшения этих искажений необходимо либо увеличивать частоту дискретизации, либо использовать перед АЦП дополнительный фильтр нижних частот, ограничивающий спектр исходного сигнала перед его аналого-цифровым преобразованием.

Соответствие между кодом и измеряемым сигналом задается выражением

$$a[j\Delta t] = \frac{u(t_j)}{\Delta u} \pm \delta a[j\Delta t],$$

где $\delta a[j\Delta t]$ - погрешность преобразования на данном шаге.

Процесс квантования по уровню приводит к возникновению ошибки дискретизации, максимальное значение которой равно $\pm \frac{1}{2} a_{\text{sin}}$, где a_{sin} – единица младшего разряда преобразователя. Дисперсия этой ошибки равна

$$D[x] = \frac{\Delta x^2}{2}$$

Дисперсия этой ошибки равна

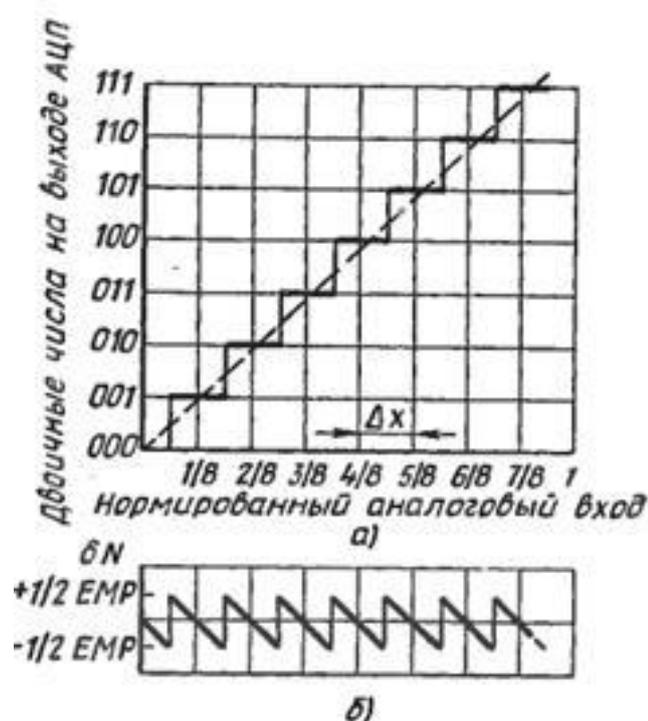


Рис. 60.

Инструментальная погрешность АЦП D_a обусловлена несовершенством отдельных элементов его схемы и влиянием различных дестабилизирующих факторов, что приводит к отклонению характеристики квантования от идеальной, при этом могут возникать аддитивная погрешность, обусловленная смещением нуля кривой (погрешность нуля), и мультикативная погрешность, обусловленная изменением угла её наклона (погрешность передачи). Таким образом, исчерпывающей характеристикой статического режима работы АЦП является его характеристика квантования.

Таким образом, статические погрешности включают в себя четыре составляющие.

1. Погрешность дискретизации.
2. Погрешности реализации уровней квантования.
3. Погрешность, вызванная наличием порога чувствительности АЦП.
4. Погрешности, вызванные влиянием внешних факторов, в т.ч. погрешность нуля и погрешность передачи.

При преобразовании динамически изменяющихся сигналов возникают погрешности, во-первых, связанные с ограниченными частотой квантования и временем преобразования, в связи с чем изменения измеряемой величины в пределах периода квантования никак не учитываются в выходном коде. Во-вторых, т.н. апертурной погрешностью.

Основной закономерностью дискретизации в динамическом режиме является то, что за счет конечного времени одного преобразования и неопределенности момента его окончания, зависящего в общем случае от параметров входного сигнала, не удастся получить однозначного соответствия между значениями отсчетов и моментами времени, к которым их следует отнести. В результате при работе с изменяющимися во времени сигналами возникают специфические погрешности, динамические по своей природе, для оценки которых вводят понятие *апертурной неопределенности*, характеризующейся обычно *апертурным временем*.

Апертурным временем t_a называют время, в течение которого сохраняется неопределенность между значением выборки и временем, к которому она относится. Эффект апертурной неопределенности проявляется либо как погрешность мгновенного значения сигнала при заданных моментах измерения, либо как погрешность момента времени, в который производится измерение при заданном мгновенном значении сигнала. При равномерной дискретизации следствием апертурной неопределенности является возникновение амплитудных погрешностей, которые называются апертурными и численно равны приращению сигнала в течение апертурного времени.

Если использовать другую интерпретацию эффекта апертурной неопределенности, то ее наличие приводит к "дрожанию" истинных моментов времени, в которые берутся отсчеты сигнала, по отношению к равноотстоящим на оси времени моментам. В результате вместо равномерной дискретизации со строго постоянным периодом осуществляется дискретизация с флюктуирующим периодом повторения, что приводит к нарушению условий теоремы отсчетов и появлению уже рассмотренных апертурных погрешностей в системах цифровой обработки информации.

Такое значение апертурной погрешности можно определить, разложив выражение для исходного сигнала в ряд Тейлора в окрестностях точек отсчета, которое для j -й точки имеет вид:

$$u_{\text{вх}}(t) = u_{\text{вх}}(t_j) + t_a u'_{\text{вх}}(t_j) + \frac{t_a^2}{2} u''_{\text{вх}}(t_j) + \dots$$

и дает в первом приближении апертурную погрешность

$$\Delta u_a(t_j) \approx u'_{\text{вх}}(t_j) t_a$$

Обычно для оценки апертурных погрешностей используют синусоидальный испытательный сигнал $u_{\text{вх}}(t) = u_m \sin 2\pi ft$, для которого максимальное относительное значение апертурной погрешности $\frac{\Delta u_a}{u_{\text{вх}}} = 2\pi f t_a$

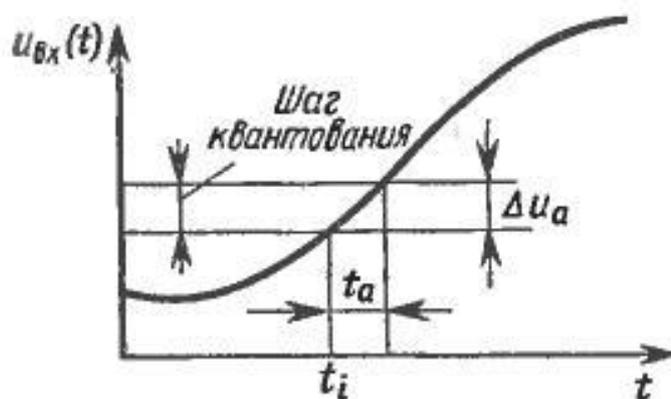


Рис. 61.

Если принять, что для N-разрядного АЦП с разрешением 2^N апертурная погрешность не должна превышать шага квантования, то между частотой сигнала, апертурным временем и относительной апертурной погрешностью имеет место соотношение

$$1/2^n = 2\pi f t_a$$

Для обеспечения дискретизации синусоидального сигнала частотой 100 кГц с погрешностью 1% время преобразования АЦП должно быть равно 25 нс. В то же время с помощью такого быстродействующего АЦП принципиально можно дискретизировать сигналы, имеющие ширину спектра порядка 20 МГц. Таким образом, дискретизация с помощью самого АЦП приводит к существенному расхождению требований между быстродействием АЦП и периодом дискретизации. Это расхождение достигает 2...3 порядков и сильно усложняет и удорожает процесс дискретизации, так как даже для сравнительно узкополосных сигналов требует весьма быстродействующих АЦП. Для достаточно широкого класса быстро изменяющихся сигналов эту проблему решают с помощью устройств выборки-хранения, имеющих малое апертурное время.

Классификация АЦП представлена на рис. 62.



Рис. 62.

В настоящее время известно большое число методов преобразования напряжение-код. Эти методы существенно отличаются друг от друга потенциальной точностью, скоростью преобразования и сложностью аппаратной реализации.

В основу классификации АЦП положен признак, указывающий на то, как во времени разворачивается процесс преобразования аналоговой величины в цифровую. В основе преобразования выборочных значений сигнала в цифровые эквиваленты лежат операции квантования и кодирования. Они могут осуществляться с помощью либо последовательной, либо параллельной, либо последовательно-параллельной процедур приближения цифрового эквивалента к преобразуемой величине.

АЦП этого типа осуществляют квантование сигнала одновременно с помощью набора компараторов, включенных параллельно источнику входного сигнала. На рис. 63 показана реализация параллельного метода АЦ-преобразования для 3-разрядного числа.

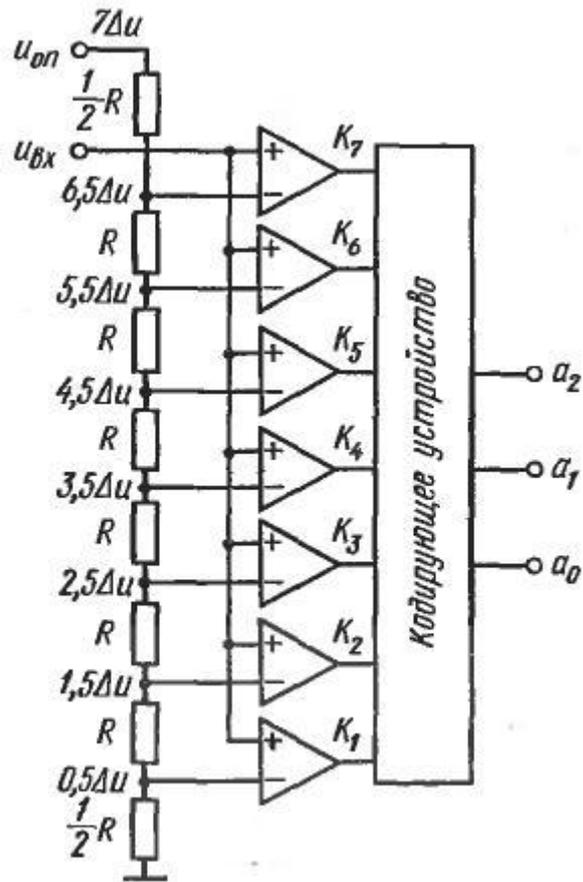


Рис. 63.

Таблица 24

Входное напряже- ние	Состояние компараторов							Выходной двоичный код		
	$u_{вх}^+$	K_7	K_6	K_5	K_4	K_3	K_2	K_1	a_2	a_1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Благодаря одновременной работе компараторов параллельный АЦП является самым быстрым. Недостатком этой схемы является высокая сложность. Действительно, N-разрядный параллельный АЦП содержит $2^N - 1$ компараторов и 2^N согласованных резисторов. Следствием этого является

(при высокой разрядности) высокая стоимость и значительная потребляемая мощность.

Ход работы:

1. Познакомиться с приборами, применяемыми в работе, записать их паспортные данные.
2. Подключить выход генератора Г3-102 к входу цифрового вольтметра В7-20 и, устанавливая различные по величине напряжения, измерить их, данные записать в таблицу.
3. Повторить п.2 с другими источниками напряжений и измерительными приборами.
4. Измерить сопротивления резисторов данными приборами.

Таблица 25

Сигнал источника		Г3 - 102			Г5 - 54			ИП			R		
Установлено		U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	R1	R2	R3
		В	В	В	В	В	В	В	В	В	Ом	Ом	Ом
Измерительные приборы	В7-20												
	ВР-11												

5. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы структурной схемы цифрового измерительного прибора.
2. Назовите методы аналого-цифрового преобразования.
3. Каковы достоинства цифровых измерительных приборов по сравнению с аналоговыми?
4. Как влияет форма сигнала на показания вольтметров различных систем?
5. Каким должно быть входное сопротивление вольтметра?

Лабораторная работа № 16. «Измерение сопротивлений с помощью мостов постоянного тока»

Цель работы: научиться применять одинарный мост постоянного тока для измерения сопротивлений.

Оборудование:

1. Мост постоянного тока Р-333 или другой.
2. Набор резисторов.
3. Реостаты с $R_{\text{ном}}=70$ Ом и 100 Ом.
4. Вольтметр.

Теоретический материал

Измерительный мост – устройство для измерения электрического сопротивления.

Принцип измерения основан на взаимной компенсации сопротивлений двух звеньев, одно из которых включает измеряемое сопротивление. В качестве индикатора обычно используется чувствительный гальванометр, показания которого должны быть равны нулю в момент равновесия моста.

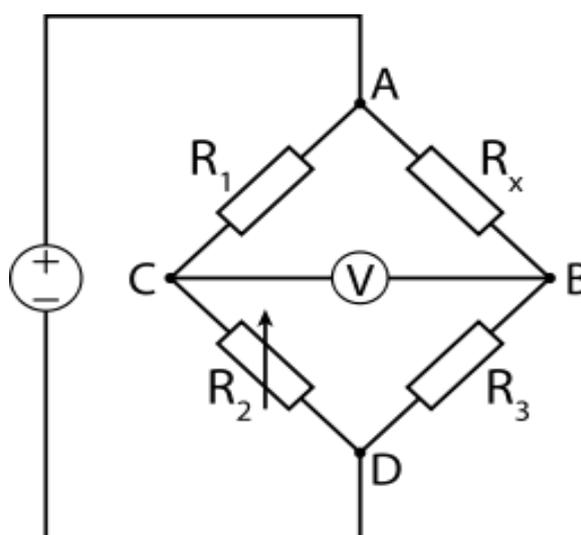


Рис. 64.

На схеме R_1, R_2, R_3, R_x – плечи моста, AD – диагональ питания, CB – измерительная диагональ. R_x представляет собой неизвестное сопротивление; R_1, R_2 и R_3 – известные сопротивления, причём значение R_2 может регулироваться.

Если отношение сопротивлений R_1/R_2 равно отношению сопротивлений R_x/R_3 , то разность потенциалов между двумя средними точками будет равна нулю, и ток между ними не будет протекать. Сопротивление R_2 регулируется до получения равновесия, а направление протекания тока показывает, в какую сторону нужно регулировать R_2 .

С помощью гальванометра момент равновесия можно установить с большой точностью, и если сопротивления R_1, R_2 и R_3 имеют маленькую погрешность, то R_x может быть измерено очень точно, ведь даже небольшие изменения R_x вызывают заметное нарушение баланса всего моста.

Таким образом, если мост сбалансирован (ток через гальванометр, сопротивление которого можно обозначить как R_g , равен нулю), эквивалентное сопротивление цепи будет:

$R_1 + R_2$ в параллели с $R_3 + R_x$, то есть

$$R_E = \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_x)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_x} .$$

С другой стороны, если R_1, R_2 и R_3 известны, но R_2 не регулируется, то значение напряжения или тока через гальванометр также можно использовать для расчета R_x , используя законы Кирхгофа. Такой метод применяется в тензометрических измерителях для расчета величины механических деформаций, а также в электронных термометрах.

Запишем первый закон Кирхгофа для точек В и С (I_q – ток, протекающий через гальванометр):

$$\text{В: } I_3 - I_x - I_q = 0 ,$$

$$\text{С: } I_1 + I_q - I_2 = 0 .$$

Теперь рассчитаем потенциал в цепях ABC и BCD, используя второй закон Кирхгофа:

$$\text{ABC: } R_x \cdot I_x - R_q \cdot I_q - R_1 \cdot I_1 = 0,$$

$$\text{BCD: } R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 - R_q \cdot I_q = 0.$$

Учитывая, что мост сбалансирован и $I_q = 0$, запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} I_x = I_3 \\ I_1 = I_2 \\ R_x \cdot I_x = R_1 \cdot I_1 \\ R_2 \cdot I_2 = R_3 \cdot I_3 \end{cases}$$

Решая систему уравнений, получим:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}.$$

Если известны значения всех четырёх сопротивлений, а также напряжение (V_s), то напряжение на плечах моста можно найти, используя формулы делителя напряжения, а затем вычесть их друг из друга, чтобы найти V :

$$V = \frac{R_x}{R_2 + R_x} \cdot V_s - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_s.$$

Если упростить выражение:

$$V = \left(\frac{R_x}{R_2 + R_x} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \cdot V_s.$$

Омметр (*Ом* + др.-греч. μέτρον «измеряю») – измерительный прибор непосредственного отсчета для определения электрических активных (омических) сопротивлений. Обычно измерение производится по постоянному току, однако, в некоторых электронных омметрах возможно использование переменного тока. Разновидности омметров: мегаомметры, гигаомметры, тераомметры, миллиомметры, микроомметры, различающиеся диапазонами измеряемых сопротивлений.

Классификация:

- по исполнению омметры подразделяются на щитовые, лабораторные и переносные;

- по принципу действия омметры бывают магнитоэлектрические – с магнитоэлектрическим измерителем или магнитоэлектрическим логометром (мегаомметры) и электронные – аналоговые или цифровые.

Ход работы:

1. Ознакомится с приборами, предназначенными для выполнения работы, и указаниями по их эксплуатации. Внести в таблицу паспортные данные приборов.

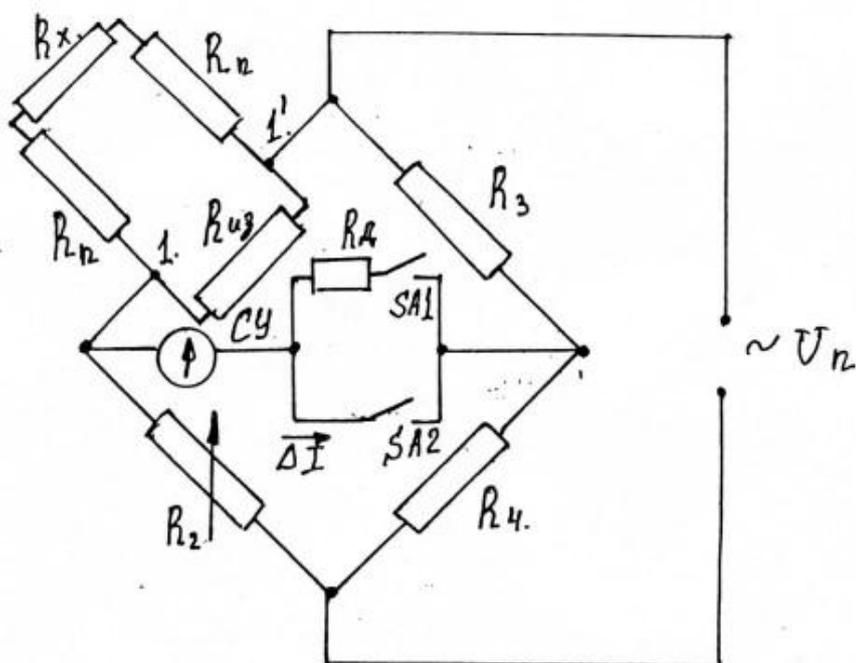


Рис. 65. Схема одинарного моста

2. Зарисовать принципиальные схемы имеющихся на стенде мостов.
3. Измерить одним из мостов заданные сопротивления, результаты занести в таблицу.
4. Измерить мостом сопротивления каждого из двух реостатов.
5. Соединить реостаты сначала последовательно, затем параллельно, измерить сопротивления соединений.
6. Найденные значения сопротивлений проверить расчетным путем.
7. Определить входное сопротивление заданного вольтметра, результат занести в таблицу.

8. Занести в отчёт вычисления при изменениях R.

Таблица 26

	R0 Ом	R1 Ом	R2 Ом	R3 Ом	R4 Ом	R3 + R4 Ом	R3 R4 Ом	Rv Ом
Номинальная величина								
Измеренная величина								

$$(R3 + R4)_{\text{расч.}} = R3 || R4 = R3 \cdot R4 / (R3 + R4)$$

Контрольные вопросы

1. Запишите условие равновесия моста постоянного тока.
2. Для измерения каких величин применяются мосты переменного тока?
3. Для каких целей применяются неуравновешенные мосты?

Лабораторная работа №17. «Расширение пределов измерения по току»

Цель работы: научиться применять измерительные трансформаторы для расширения пределов измерения в цепи переменного тока и шунты для расширения пределов измерения амперметров в цепях постоянного тока. Выяснить влияние коэффициента трансформации и величины сопротивления шунта на пределы измерения.

Теоретический материал

Измерительный прибор, электрическую схему которого можно переключать для изменения интервалов измеряемой физической величины, называется многопредельным (рис. 66). В случае амперметров изменение пределов измерений достигается включением различных дополнительных сопротивлений, называемых шунтами (рис. 67 а), в случае вольтметров – включением добавочных сопротивлений (рис. 67 б) расположенных внутри многопредельного прибора.

Применение многопредельных приборов связано с тем, что часто требуется измерять электрические величины в очень широких пределах с достаточной степенью точности в каждом интервале (электромеханические приборы обеспечивают высокую точность, если снимаемые показания находятся в третьей четверти шкалы). В этом случае многопредельный прибор заменяет несколько однотипных приборов с различными пределами измерения.

Например, при снятии анодных характеристик ламповых и полупроводниковых диодов величина анодного тока в зависимости от анодного напряжения может изменяться в пределах от 0 до 5А. Если измерения производить прибором (рис. 66), шкала которого рассчитана на 5А, то небольшие токи будут измерены таким прибором с большой погрешностью.

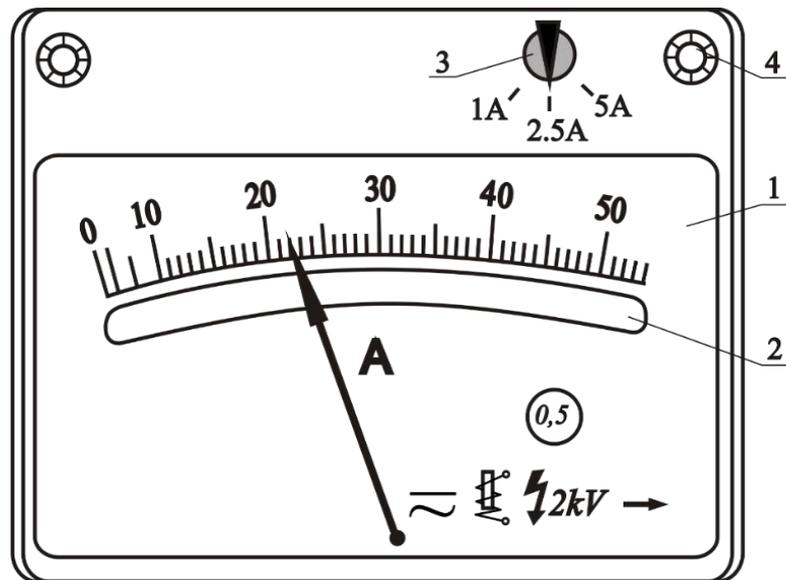


Рис. 66. Схема многопредельного прибора:

- 1 – шкала прибора; 2 – зеркало, позволяющее исключить погрешность параллакса; 3 – переключатель пределов измерений; 4 – клеммы для подключения прибора в электрическую цепь

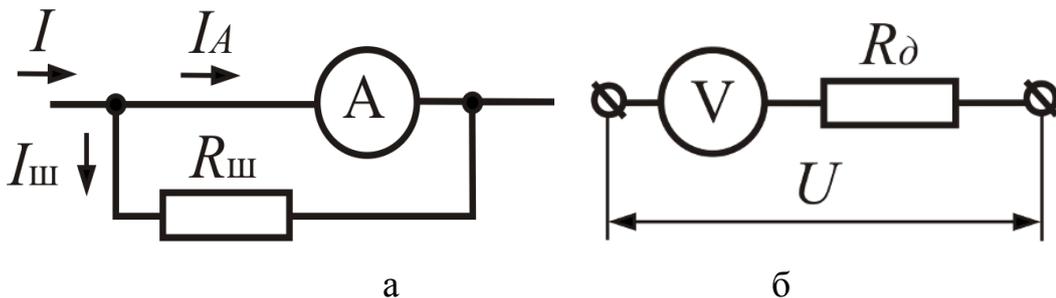


Рис. 67.

Пусть класс точности прибора $\gamma=0,5$. Тогда абсолютная погрешность определится из условия:

$$\Delta A = \frac{\gamma A_{\text{пр}}}{100\%} = 0,005 \cdot 5 = 0,025 \text{ A}$$

При измерении тока в 4А относительная погрешность составит

$$\varepsilon = \frac{0,025}{4} 100\% = 0,625\%$$

Если измерить тем же прибором в данном пределе ток в 0,8А, то относительная погрешность возрастет в 5 раз

$$\varepsilon = \frac{0,025}{0,8} 100\% = 3,125\%$$

В таких случаях многопредельные приборы переключают на меньший предел измерения, чтобы стрелка отклонилась на максимальный угол, но не выходила за пределы шкалы, то есть прибор следует включить так, чтобы относительная погрешность измерения была минимальной.

Многопредельные приборы снабжаются несколькими шкалами. В этом случае отсчет производится по шкале, соответствующей включению прибора. Если многопредельный прибор имеет одну шкалу, то нахождение измеряемой величины связано с пересчетом. Пересчет состоит в определении переводного коэффициента, которым является цена деления шкалы для данного предела измерений, на который следует умножить отсчет по прибору для того, чтобы получить значение измеряемой величины в соответствующих единицах.

Например, если переключатель измерения силы тока установлен в пределах от 0 до 5А (рис. 6б) то цена деления прибора равна

$$\frac{5}{50} = 0,1 \frac{\text{А}}{\text{дел}}.$$

В этом случае, если стрелка прибора расположена на 41 делении, то сила измеряемого тока равна $41 \cdot 0,1 = 4,1\text{А}$.

Если переключатель измерения силы тока установлен в пределах от 0 до 2,5А, то цена деления прибора равна

$$\frac{2,5}{50} = 0,05 \frac{\text{А}}{\text{дел}}.$$

В этом случае, если стрелка прибора расположена на 41 делении, то сила измеряемого тока равна $41 \cdot 0,05 = 2,05\text{А}$.

Если переключатель измерения силы тока установлен в пределах от 0 до 1А, то цена деления прибора равна

$$\frac{1}{50} = 0,02 \frac{\text{А}}{\text{дел}}.$$

В этом случае, если стрелка прибора расположена на 41 делении, то сила измеряемого тока равна $41 \cdot 0,02 = 0,82\text{А}$.

Наряду с электромеханическими, электронными и цифровыми приборами широко используются электронные осциллографы, генераторы сигналов звуковой частоты, блоки питания, реостаты, потенциометры, магазины сопротивлений, добавочные сопротивления и шунты.

Для регулировки режимов электрической цепи применяются различные регулирующие устройства (реостаты, потенциометры, шунты, катушки индуктивности, магазины сопротивления или емкости, ключи, рубильники и т.д.).

Для плавного изменения сопротивления цепи используются реостаты со скользящим контактом. Они состоят из однослойной обмотки неизолированной проволоки из сплава с большим удельным сопротивлением (нихром, никелин), намотанной на жаростойкий изолирующий цилиндр (фарфор, стеатит), и скользящего контакта. Витки проволоки плотно прилегают друг к другу, но ток между ними не идет, так как проволока покрыта тонким слоем окислы, являющейся изолятором. В месте скольжения контакта по виткам проволоки слой окислы устранен. Реостат включается в электрическую цепь с помощью двух клемм и скользящего контакта.

Если реостат используется как регулятор тока, то в электрическую цепь включается одна клемма и скользящий контакт (рис. 68 а).

Если реостат используется для деления напряжения, то в электрическую цепь включаются обе клеммы и скользящий контакт (рис. 68 б).

Если в ходе выполнения эксперимента необходимо изменить не только значение, но и знак подаваемого на устройство электрической цепи напряжения, без ее разборки и последующей сборки, то используются устройства, получившие название потенциометры (рис. 69). Потенциометрами могут быть только те реостаты, которые удовлетворяют условию $R_{\text{ц}} \gg R_n \gg r$,

где $R_{\text{ц}}$ – сопротивление цепи;

R_n – сопротивление реостата;

r – внутреннее сопротивление источника тока.

Для расширения предела измерения по току применяются вспомогательные устройства, называемые шунтами (рис. 68 а). Они представляют собой вполне определенные сопротивления, включаемые в электрическую цепь параллельно сопротивлению электроизмерительного прибора (амперметр). Шунты изготавливают из манганина, имеющего большое удельное сопротивление и малый температурный коэффициент удельного сопротивления. Поэтому сопротивление шунта практически не зависит от нагрева его током и от температуры окружающей среды.

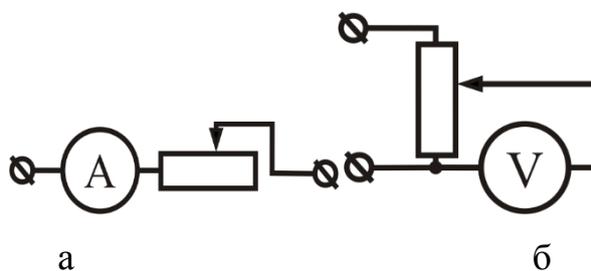


Рис. 68.

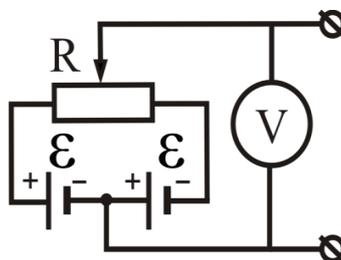


Рис. 69.

Например, если амперметром необходимо измерить ток, в n раз больший предельно возможного для данного прибора $I_{пр}$, то сопротивление шунта должно удовлетворять условию:

$$R_{ш} = \frac{R_A}{(n - 1)},$$

где $R_{ш}$ – сопротивление шунта;

R_A – сопротивление амперметра;

$$n = \frac{I}{I_A};$$

I – ток в цепи;

I_A – ток, идущий через амперметр.

Для расширения предела измерения по напряжению применяются вспомогательные устройства, которые называются добавочными сопротивлениями (рис. 68 б). Добавочные сопротивления включаются последовательно сопротивлению электроизмерительного прибора (вольтметр).

Пусть, необходимо измерить напряжение U на участке цепи, которое в k раз больше предела измерения прибора. В этом случае добавочное сопротивление должно удовлетворять условию:

$$R_{\delta} = R_v (k - 1),$$

где R_{δ} – добавочное сопротивление;

R_v – сопротивление вольтметра;

$$k = \frac{U}{U_v} = \frac{R}{R_v};$$

U – полное подводимое напряжение;

U_v – напряжение, падающее на вольтметр;

$R = R_{\delta} + R_v$ – полное сопротивление цепи.

Набор эталонных сопротивлений, представляющих собой катушки сопротивления, называется магазином сопротивления. Каждая катушка состоит из хорошо изолированной проволочной обмотки (из манганина или константана). Сопротивление каждой катушки вполне определено для каждой температуры. Катушки набора помещены в общий ящик. На лицевой панели размещены регуляторы, позволяющие дискретно изменять общее сопротивление магазина.

Ход работы:

1. Ознакомиться с принципиальной схемой включения приборов, с приборами, предназначенными для работы. Внести паспортные данные приборов в Таблицу 27.

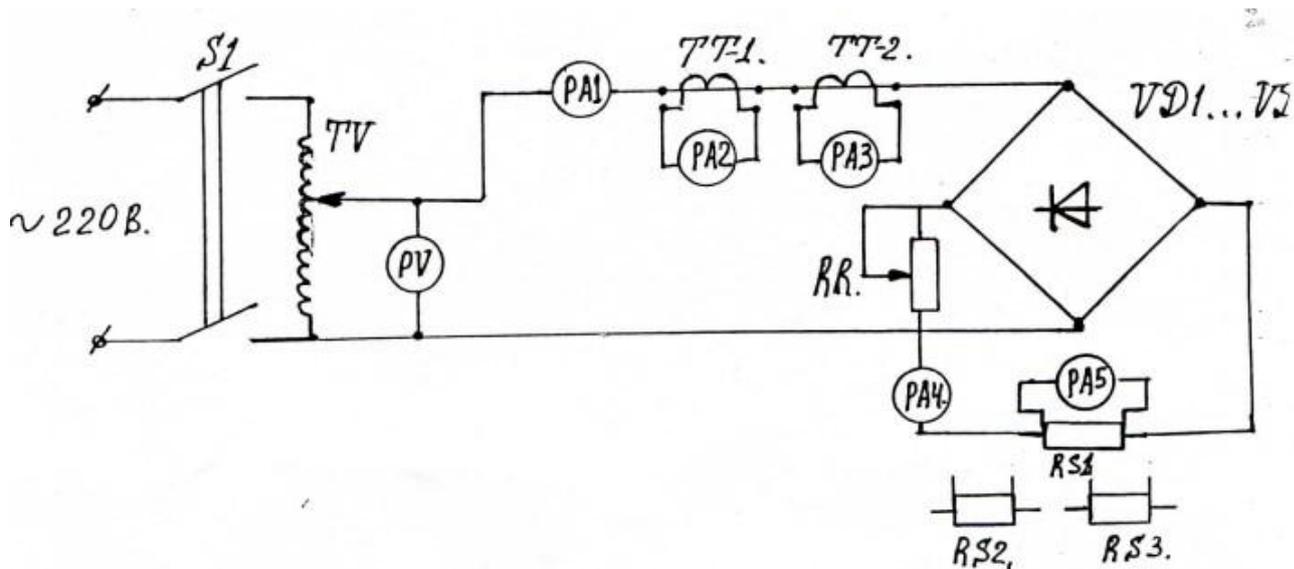


Рис. 69.

2. Включить напряжение, установить автотрансформатором напряжение $U=70\text{В}$ и реостатом ток в цепи $I=6\text{А}$, снять показания приборов, занести их в Таблицы 28 и 29.

Таблица 27

№	Характеристика	Прибор											
		PV	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	TT1	TT2	RS1	RS2	RS3	
1	Название												
2	Система прибора												
3	Тип прибора												
4	Вид измерения												
5	Предел измерения												
6	Цена деления												
7	Класс точности												
8	Заводской номер												
9	Год выпуска												

Цепь переменного тока							
U	I1	K _{ином 2}	K _{ином 3}	I2	I3	K _{и2} · I2	K _{и3} · I3
B	A			A	A	A	A

Таблица 28

Таблица 29

Цепь постоянного тока										
I4	I4/Kф	C1	a1	I51	C2	a2	I52	C3	a3	I53
A	A	A/дел	дел	A	A/дел	дел	A	A/дел	дел	A

$K_{ином 2} = I_{1ном} / I_{2ном}$ – номинальный коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока (ИТТ).

$Kф = I / I_{ср}$ – коэффициент формы; $Kф = 1,11$

C – цена деления шкалы прибора с шунтами; $C = I_{ном} / a_{ном}$

$a_{ном}$ – число делений в шкале;

$I_r = C_r \cdot a_r$ – значение измеренного тока.

3. Вычислить коэффициенты расширения пределов измерения прибора РА5 по току и величину сопротивления шунтов $R_{шr}$

$n = I_{ном} / I_{пном}$; $I_{пном} = 7,5 \text{ мА}$; $R_{ш} = R_n / (n-1)$; $R_n = 10 \text{ Ом}$.

Результаты занести в таблицу 30.

Таблица 30

n_1	n_2	n_3	$R_{ш1}, \text{ Ом}$	$R_{ш2}, \text{ Ом}$	$R_{ш3}, \text{ Ом}$

4. Сделать вывод о связи коэффициента трансформации ИТТ и величины сопротивления шунта с коэффициентом расширения пределов измерения.

Контрольные вопросы

1. Сколько зажимов имеет шунт? Как они называются?
2. Выведите формулу сопротивления шунта.

3. Почему шунты применяют для расширения пределов измерения по постоянному току и с магнитоэлектрическими измерительными механизмами?

4. Как устроен измерительный трансформатор тока? В каком режиме он работает?

Лабораторная работа № 18. «Измерение мощности в трехфазной цепи»

Цель работы: научиться включать в трехфазную цепь двухэлементный ваттметр для измерения активной мощности; научиться включать два одноэлементных ваттметра для измерения мощности трехфазной цепи.

Оборудование:

1. Ламповый реостат.
2. Двухэлементный киловаттметр.
3. Амперметр с $I_{ном} = 5A$ – 3 шт.
4. Вольтметр с $U_{ном} = 250V$.

Теоретический материал

В трехфазной системе независимо от схемы соединения нагрузки (треугольником или звездой) мгновенное значение мощности p системы равняется сумме мгновенных значений мощности отдельных фаз. Для измерения мощности, а, следовательно, и энергии трехфазной системы могут быть применены один прибор, два прибора или три прибора. Метод одного прибора применяется в симметричных трехфазных системах.

В асимметричной системе, в которой значения токов, напряжений и углов фазового сдвига неодинаковы, используется метод двух приборов.

Наконец, в самом общем случае, в том числе и в четырехпроводной асимметричной системе применяется метод трех приборов.

Рассмотрим методы измерения мощности, что дает также представление и о методах измерения энергии.

Метод одного прибора. Если трехфазная система симметрична, а фазы нагрузки соединены звездой с доступной нулевой точкой, то однофазным ваттметром измеряют мощность одной фазы. Для получения мощности всей системы показания ваттметра утраивают. Можно также измерить мощность при соединении фаз нагрузки треугольником, но при условии, что

последовательную обмотку ваттметра можно включить в одну из фаз нагрузки.

Если нагрузка включена треугольником или звездой с недоступной нулевой точкой, то применяют включение ваттметра с искусственной нулевой точкой, которая создается с помощью двух дополнительных резисторов с активным сопротивлением. Для получения мощности всей системы показание ваттметра нужно утроить. То же самое будет и при соединении нагрузки звездой.

Для измерения энергии такая схема не применяется из-за большой индуктивности параллельной цепи счетчика.

Метод двух приборов. Этот метод применяют в асимметричных трехпроводных цепях трехфазного тока. Возможны три варианта схемы включения двух приборов. Анализ работы ваттметров по этим схемам показывает, что в зависимости от характера нагрузки фаз знак показаний каждого из ваттметров может меняться. Активная мощность трехфазной системы в этом случае должна определяться как алгебраическая сумма показаний обоих ваттметров.

Метод трех приборов. В том случае, когда несимметричная нагрузка включается звездой с нулевым проводом, т. е. когда имеется асимметричная трехфазная четырехпроводная система, применяют три ваттметра. При таком включении каждый из ваттметров измеряет мощность одной фазы. Полная мощность системы определяется как арифметическая сумма показаний ваттметров.

В промышленных условиях применяют двух- и трехфазные ваттметры и счетчики, которые представляют собой сочетание в одном приборе двух или трех однофазных измерительных механизма, имеющих общую подвижную часть, на которую действует суммарный вращающий момент всех элементов.

Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазной цепи. Реактивную мощность трехфазной сети можно представить, как сумму

реактивных мощностей отдельных фаз. Измерить реактивную мощность (энергию) трехфазной сети можно различными способами: при помощи обычных ваттметров (счетчиков), включаемых по специальным схемам, и при помощи реактивных ваттметров (счетчиков). При полной симметрии трехфазной сети реактивную мощность можно измерить одним ваттметром. Для определения реактивной мощности всей системы показания ваттметра умножают на три. Схема с одним ваттметром даже при незначительной асимметрии системы дает большие погрешности. Лучшие результаты получают при измерении реактивной мощности двумя ваттметрами.

При неравномерной нагрузке фаз, но симметричной системе напряжений (частичная асимметрия) реактивная мощность трехфазной сети может быть измерена двумя одинаковыми ваттметрами активной мощности с искусственной нулевой точкой. Для создания искусственной нулевой точки используют резистор, сопротивление которого равно сопротивлению параллельной цепи ваттметра. В случае равномерной нагрузки фаз, для получения реактивной мощности трехфазной сети сумму показаний ваттметров умножают на три.

На основе этого метода выпускают реактивные счетчики, пригодные как для трехпроводных, так и четырехпроводных цепей трехфазного тока.

При косвенных методах измерения электрической энергии, например, при проверке счетчиков электрической энергии, используют электродинамические ваттметры и секундомеры.

Измерение количества электричества. Для измерения количества электричества применяют баллистические гальванометры, кулонметры и счетчики ампер-часов. Все эти приборы включают последовательно в цепь измеряемого тока либо непосредственно, либо с помощью шунта.

Баллистические гальванометры применяют для измерения малых количеств электричества, протекающих в течение коротких промежутков времени. Погрешность измерения количества электричества баллистическим гальванометром в значительной мере зависит от соотношения времени

прохождения импульса тока через катушку гальванометра и периода свободных колебаний его подвижной части и может составлять $\pm (5-10) \%$.

Кулонметры служат для измерения количества электричества в импульсах тока, протекающих за время от 0,05 до 2 с при амплитуде тока от 20 до 200 мА. Приведенная погрешность измерения кулонметром не превышает $\pm 5 \%$. Особенностью работы кулонметра является необходимость постоянства амплитуды импульса измеряемого тока, т. е. применение его ограничивается измерением количества электричества прямоугольных импульсов.

Счетчики ампер-часов применяют для измерения количества электричества, протекающего в течение длительного времени. Их используют, например, для учета количества электричества, протекающего в цепи нагрузки аккумуляторных батарей, для учета количества электричества в электролизных цехах и т. п.

Приведенная погрешность магнитоэлектрических счетчиков ампер-часов не превышает $\pm 0,5 \%$. Приведенная погрешность электронных счетчиков ампер-часов не более $\pm 1 \%$. Приведенная погрешность электролитических счетчиков ампер-часов больше и может достигать $\pm (2-4)\%$.

Ход работы:

1. Ознакомиться с приборами, предназначенными для выполнения работы, внести их паспортные данные в Таблицу 31.

Таблица 31

№	Характеристика	Прибор							
		PV	PA1	PA2	PA3	PW1	PW2	PW3	R _{1..R₃}
1	Название								
2	Система прибора								
3	Тип прибора								
4	Вид измерения								

5	Предел измерения								
6	Цена деления								
7	Класс точности								
8	Заводской номер								
9	Год выпуска								

2. Собрать схему в соответствии с рис. 70, обратив особое внимание на правильность включения генераторных зажимов; представить цепь для проверки.

3. Произвести измерение мощности при несимметричной активной нагрузке ($\cos\varphi=1$) тремя способами.

а) с помощью амперметра и вольтметра

$$P' = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_A$$

б) с помощью двух однофазных ваттметров P_{w1} и P_{w2}

$$P'' = P_{w1} + P_{w2}$$

в) с помощью двухэлементного ваттметра P_{w3}

$$P''' = P_{w3}$$

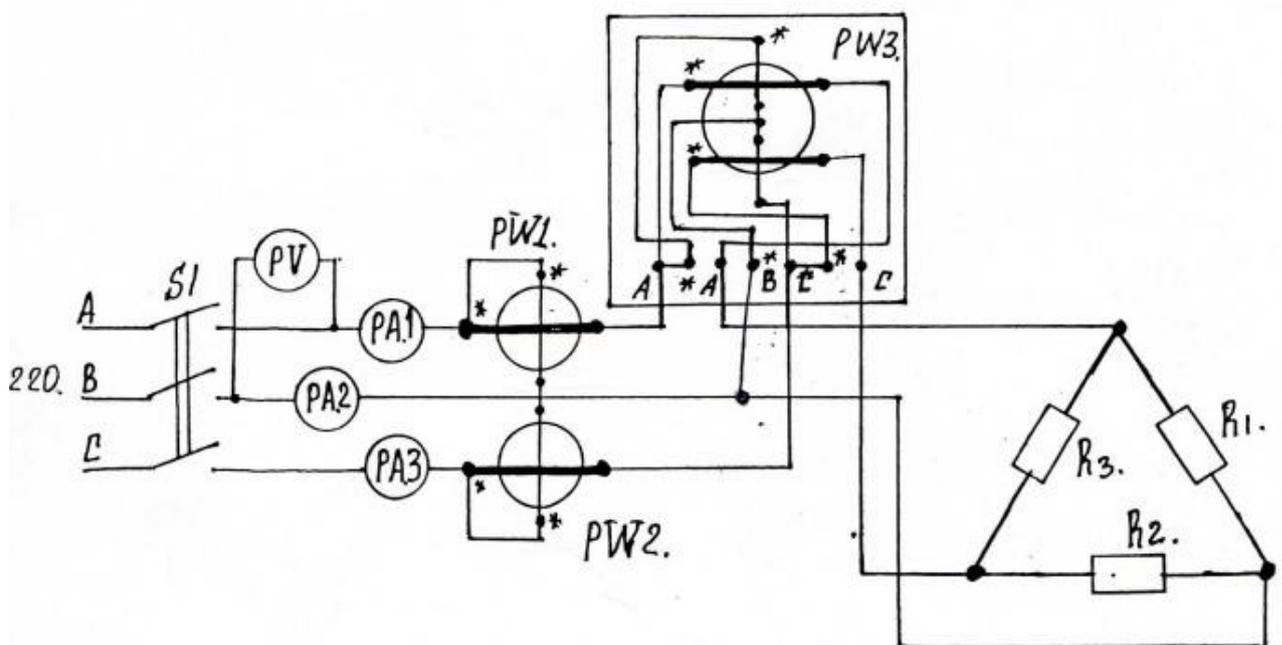


Рис. 70.

4. Данные измерений и расчетов занести в Таблицу 32.

Таблица 32

U	I_A	I_B	I_C	P_{w1}	P_{w2}	P_{w3}	P'	P''	P'''
B	A	A	A	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт

5. Сделать вывод о наиболее удобном способе измерения мощности в трехфазной цепи и о совпадении результатов измерений разными способами.

Контрольные вопросы

1. Как измерить активную мощность в трехфазной симметричной цепи методом одного прибора, если нулевая точка доступна (недоступна)?
2. Каково конструктивное выполнение двухэлементного ферродинамического измерительного механизма?
3. Учитывается ли знак «+» и «-» при снятии показаний ваттметров P_{W1} и P_{W2} и от чего это зависит?

Лабораторная работа № 19. «Исследование электромагнитного реле»

Цель работы: познакомиться с конструкцией, принципом действия, регулировкой реле напряжения, экспериментально определить параметры реле.

Оборудование:

1. Реле напряжения РН-53/200.
2. Реостат с $R_{\text{ном}} = 2200 \text{ Ом}$.
3. Вольтметр V_2 с $U_{\text{ном}} = 150 \text{ В}$.
4. Вольтметр V_1 с $U_{\text{ном}} = 250 \text{ В}$.
5. Сигнальная лампа.
6. Сеть 220В, 50Гц.

Теоретический материал

Электромагнитные реле – это электромеханические реле, функционирование которых основано на воздействии магнитного поля неподвижной обмотки с током на подвижный ферромагнитный элемент, называемый якорем.

Электромагнитные реле подразделяются на собственно электромагнитные (нейтральные), реагирующие только на значение тока в обмотке, и поляризованные, функционирование которых определяется как значением тока, так и его полярностью.

Электромагнитные реле для промышленных автоматических устройств занимают промежуточное положение между сильноточными коммутационными аппаратами (контакторы, магнитные пускатели и т.д.) и слаботочной аппаратурой. Наиболее массовым видом этих реле являются реле управления электроприводом (реле управления), а среди них – промежуточные реле. Для реле управления характерны повторно-кратковременный и прерывисто-продолжительный режимы работы с числом

коммутаций до 3600 в 1 ч при высокой механической и коммутационной износостойкости (последняя – до $10^5 \div 6 \cdot 10^6$ циклов коммутации).

Примером промежуточных реле является реле РПЛ. Эти реле применяются для коммутации цепей постоянного тока с напряжением до 440 В и переменного тока с напряжением до 660 В. Допустимый ток в промышленном режиме – 10 А. Выпускают реле двух модификаций: РПЛ-1 – с питанием входной цепи на переменном токе и РПЛ-2 – с питанием на постоянном токе. Конструктивно они отличаются друг от друга только магнитной системой. На рис. 71 показано схематичное изображение реле РПЛ-1.

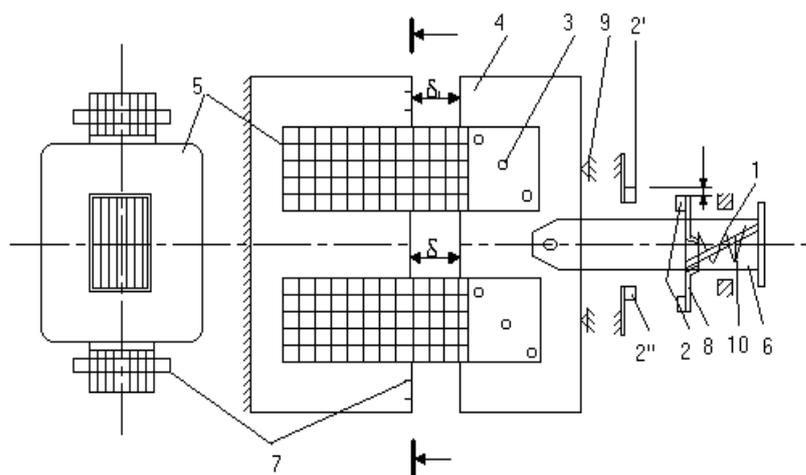


Рис. 71. Электромагнитное реле РПЛ-1

При подаче напряжения на обмотку 5 в магнитопроводе возникает магнитный поток, создающий электромагнитную силу, которая, преодолевая противодействие возвратной пружины 3, перемещает якорь 4 от упоров 9 таким образом, чтобы уменьшить рабочие зазоры δ и δ_1 магнитной системы. С якорем через тягу 6 и контактную пружину 1, расположенную на направляющей 10, связан контактный мостик 8 с двумя контакт-детальюми 2. При некотором положении якоря последние соприкасаются с неподвижными контакт-детальюми 2', 2''. При дальнейшем движении якоря, вплоть до его конечного положения, происходит увеличение контактного напряжения из-за сжатия контактной пружины 1. Одновременно контактный мостик 8

перемещается вверх на расстояние Δ_k , т.к. направляющая 10 не перпендикулярна мостику. В результате проскальзывания контакт-деталей происходит самозачистка их поверхностей во время работы реле. При конечном положении якоря его вибрация устраняется действием короткозамкнутых витков 7.

После снятия входного сигнала магнитный поток в магнитопроводе уменьшается до остаточного значения. При некотором значении потока, большем остаточного, сила, развиваемая деформированными при срабатывании пружинами 1 и 3, становится больше электромагнитной силы. Якорь возвращается в исходное положение, контакты размыкаются. Для уменьшения остаточного потока до значения, при котором исключается “залипание” якоря, в рассматриваемой конструкции зазор δ принимается большим, чем δ_1 . Поэтому при $\delta_1 = 0$ зазор $\delta > 0$.

Электромагнитные реле. Эти реле преимущественно применяют в продолжительном режиме работы, поэтому предъявляемые к ним требования по механической и коммутационной износостойкости менее жесткие, чем к реле управления. Их коммутационная износостойкость составляет $10^3 \div 2 \cdot 10^4$ циклов. Электромагнитные реле защиты выпускают различных серий. Одно из них – реле тока РТ-40 (рис. 72). На шихтованном магнитопроводе 6 П-образной формы размещены две обмотки 7, создающие поток Φ .

Поток замыкается по легкому (для увеличения быстродействия) Г-образному якорю 3. Под воздействием электромагнитного момента якорь стремится повернуться по часовой стрелке (рис. 72 б) от упора 2 к упору 1. Механический момент создается специальной пружиной 14. При токе срабатывания действующий электромагнитный момент при всех углах поворота якоря (от начального до конечного, определяющегося упорами 1 и 2) больше противодействующего механического. С якорем посредством изоляционного рычага 8 жестко связаны два подвижных контакта мостика 10. В начале поворота якоря при срабатывании правый мостик размыкает контакт-детали 9, а левый в конце поворота якоря замыкает контакт-детали

уставки 11 по шкале уставок 12. Указатель уставки 11, соединенный с пружиной 14, при своем движении закручивает или раскручивает пружину, что соответственно приводит к подъему или опусканию механической характеристики реле. Реле РТ-40 может работать как на постоянном, так и на переменном токе. Для устранения вибраций якоря, возникающих при работе на переменном токе, применяется гаситель колебаний 5.

Электромагнитные реле радиоэлектронных устройств. По номенклатуре эти реле самые многочисленны. К ним часто предъявляются требования коммутации как повышенных, так и пониженных токов, и напряжения. Многие типы этих реле предназначены для жестких условий эксплуатации, т.е. при воздействии постоянных ускорений, вибрации в широком диапазоне частот, ударов, значительных перепадов температур окружающей среды, атмосферного давления, влажности и других факторов.

Совершенствованию конструкции таких реле, улучшению их технических и эксплуатационных характеристик способствовала общая тенденция миниатюризации аппаратуры, широкое внедрение печатного монтажа и успехи в области бесконтактной коммутации и в микроэлектронике. Известны конструкции, содержащие в одном корпусе истинно электромагнитное реле и элементы электроники (интегральная схема, микропроцессор), что позволяет расширить функциональные и коммутационные возможности аппарата, осуществлять контроль состояния контактов, реализовывать оптимальный режим управления и т. д.

Наиболее характерными конструктивными особенностями большинства современных реле для радиоэлектронных устройств являются их герметичность, применение уравновешенного якоря, крепление элементов контактного узла непосредственно на металлических выводах, изолированных от цоколя стеклянными слезками, использование термостойких проводов и изоляционных материалов. Это обеспечивает надежную работу реле при значительных механических и климатических воздействиях.

Одним из характерных примеров реле для радиоэлектронных устройств является реле РЭС-80 (рис. 73). Это реле имеет два контактных узла.

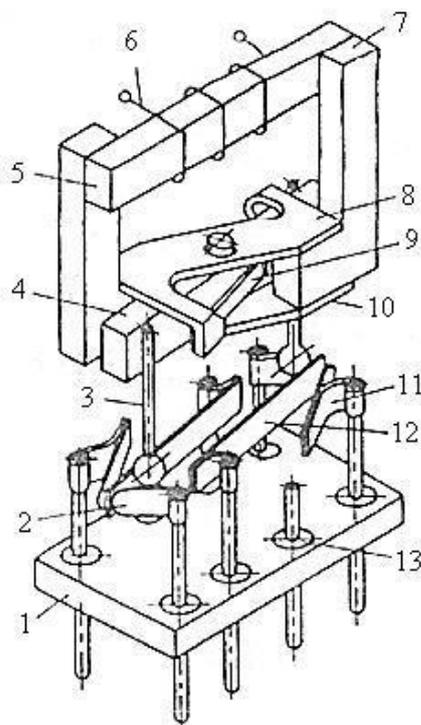


Рис. 73. Реле для радиоэлектронных устройств РЭС-80

Контактный узел содержит два переключающихся контакта. Каждый из них имеет подвижные размыкающуюся 2 и замыкающуюся 11 контактные пружины и подвижную контактную пружину 12. Контактные пружины не имеют прикрепленных к ним сосредоточенных контактов. Для возможности коммутации низких токов и напряжений контактные пружины покрыты тонким слоем золота. Указанные детали контактного узла прикреплены к выводам, изолированным от цоколя 1 стеклянными слезками 13.

Магнитная система реле содержит два полюсных наконечника 7 L-образной формы, сердечник 5 и якорь 4 с двумя полуосьями – цапфами. Полюсные наконечники свариваются со стойкой 10 и планкой 8, изготовленными из нейзильбера. Цапфы якоря входят в отверстия в стойке и планке. В исходном положении якорь прижат к ограничительному упору на планке возвратной пружиной 9. После сборки якоря с полюсными наконечниками к их свободным концам приваривается сердечник с предварительно надетой на него обмоткой 6. После регулировки контактных

узлов на цоколь устанавливается магнитная система. При этом имеющиеся на стойке 10 концы (на рис. 73 не показаны) вставляются в пазы на цоколе (также не показаны) и привариваются к нему. Переключение контактов при повороте якоря осуществляется стеклянными шариками на толкателях 3, приваренных к якорю.

Регулировка реле производится изменением хода якоря и изгиба толкателей. После регулировки вся сборка “Магнитная система – контактный узел и цоколь” закрывается кожухом и герметически запаивается или заваривается.

Поляризованные электромагнитные реле. Они бывают как одностабильными, так и двустабильными.

Эти реле различаются также по типу регулирования.

При двухпозиционной нейтральной регулировке контактные узлы устанавливаются симметрично относительно нейтральной линии, являющейся одной из осей симметрии магнитной системы реле. Якорь в этом случае перебрасывается от одного своего крайнего установившегося положения к другому практически при одинаковых по модулю МДС в обмотке (обмотках). Такие реле называются двухстабильными двухпозиционными.

При двухпозиционной регулировке с преобладанием оба контактных узла располагаются по одну сторону от нейтрали, но на разных от нее расстояниях. Срабатывание таких реле происходит только при одном определенном направлении тока в обмотке (обмотках). После отключения тока якорь всегда возвращается в одно и то же первоначальное устойчивое положение, коммутируя выходные цепи реле контактными узлами в обратном порядке. Такие реле функционируют как чувствительные нейтральные электромагнитные реле, поэтому и являются одностабильными.

При трехпозиционной регулировке контактные узлы расположены так же, как и при двухпозиционной нейтральной регулировке, т.е. симметрично относительно нейтрали магнитной системы. Однако при отсутствии тока в

обмотке (обмотках) якорь в реле с трехпозиционной регулировкой занимает нейтральное (среднее) устойчивое положение благодаря усилию достаточно жесткой возвратной пружины, часто являющейся и подвеской.

Прохождение тока через обмотки в одном направлении заставляет якорь осуществлять коммутацию одного из контактных узлов. При изменении направления тока якорь отклоняется в другую сторону, что вызывает коммутацию другого контактного узла. Такие реле называются одностабильными трехпозиционными.

Конструкции магнитных систем современных поляризованных реле построены по принципу дифференциальных или мостовых схем. Некоторые из них приведены на рис. 74.

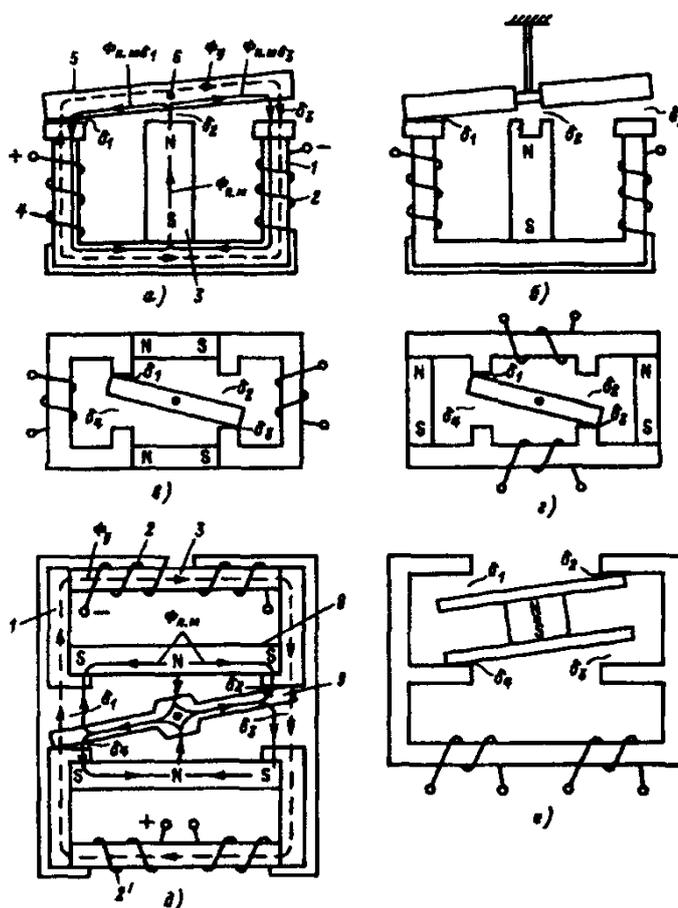


Рис. 74. Конструкции магнитных систем современных поляризованных реле

Конструкции поляризованных реле многообразны. Рассмотрим в качестве примера конструкционную схему реле РПС-47. Реле разработано на

основе мостовой магнитной системы, показанной на рис. 74 д. Схема конструкции изображена на рис. 75.

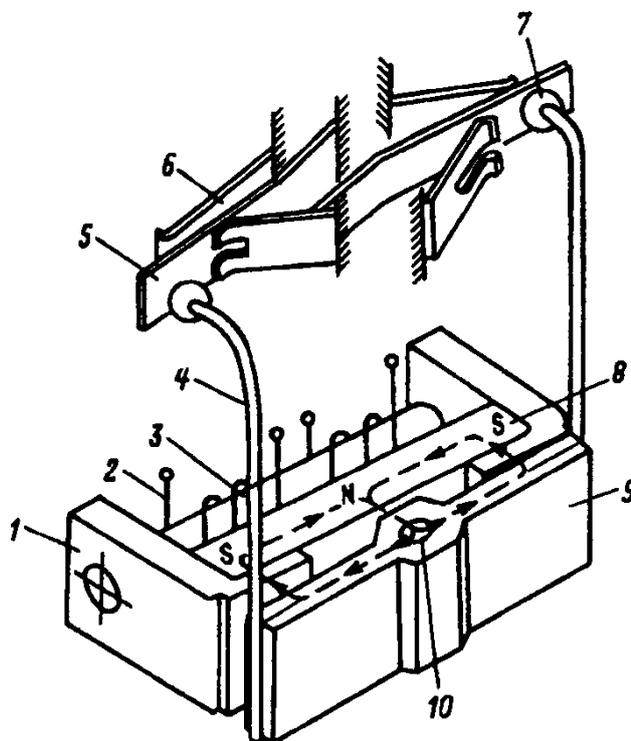


Рис. 75. Поляризованное электромагнитное реле тока РПС-47

Магнитная система реле содержит два сердечника 3, на каждом из которых расположены две обмотки 2.

Концы сердечников размещены в отверстиях четырех полюсов 1, к более тонким концам которых прикреплены два постоянных магнита 8. Якорь 9 размещен между тонкими концами полюсов и постоянными магнитами. Между концами якоря и тонкими концами полюсов имеются четыре рабочих зазора $\delta_1 - \delta_4$ (см. рис. 74 д). Одна пара обмоток соединена последовательно таким образом, чтобы создаваемый ими суммарный управляющий магнитный поток проходил в магнитной системе вкруговую – последовательно через сердечники и четыре рабочих воздушных зазора перпендикулярно плоскости якоря.

Вторая пара обмоток соединена так же, но предназначена для создания управляющего потока противоположного направления.

Поляризующий поток, выходя из северного центрального полюса магнита, проходит в среднюю часть якоря, где расположена ось вращения 10 (см. рис. 75), и разделяется на два потока, которые проходят вдоль якоря в противоположных направлениях к южным полюсам магнита, пересекая рабочие воздушные зазоры. К якорю прикреплены четыре толкателя 4 со стеклянными шариками 7.

Контактная система состоит из четырех подвижных переключающихся пружин 5 и восьми контактных пружин 6, имеющих прорезь, что обеспечивает двойное параллельное контактирование.

Реле работает следующим образом. При подаче управляющего сигнала на одну пару обмоток (2 и 2') создается управляющий поток Φ_y (штриховая линия на рис. 74 д), который в зазорах δ_1 и δ_3 складывается с поляризованным потоком (сплошные линии), а в зазорах δ_2 и δ_4 вычитается из него. В результате на якоре создается вращающий момент.

Якорь перебрасывается из одного крайнего положения в другое и толкатели 7 (см. рис. 75) перемещают переключающие пружины 5 от одних малоподвижных пружин 6 к другим. После снятия управляющего сигнала с обмоток якорь блокируется магнитным полем постоянных магнитов. В первоначальное положение якорь и переключающие пружины возвращаются подачей сигнала управления на вторую пару обмоток, магнитный поток от которых будет суммироваться с поляризуемым потоком в зазорах δ_2 и δ_4 , а в зазорах δ_1 и δ_3 – вычитаться из него.

Магнитоуправляемые герметизированные контакты (герконы) и герконовые реле. Магнитоуправляемым контактом (МК) называется контакт электрической цепи, изменяющий состояние электрической цепи посредством механического замыкания или размыкания ее при воздействии управляющего магнитного поля на его элементы, совмещающие функции контактов и участков электрических и магнитных цепей. Магнитоуправляемый контакт, помещенный в герметизированный баллон,

называется герметизированным магнитоуправляемым контактом или герконом. Появление МК позволило решить несколько задач:

- устранить воздействие на область контакта как окружающей среды, так и многих продуктов, образующихся в процессе работы коммутационных электромеханических аппаратов, что расширило возможности коммутации электрических цепей с очень малыми токами ($10^{-10} \div 10^{-12} \text{ A}$) и напряжениями (10^{-6} В);
- повысить механическую износостойкость (до 10^9 циклов и выше);
- максимально унифицировать элементную базу и упростить коммутационные аппараты, повысить их быстродействие.

Так как детали МК реализуют функции контактов и участков электрических и магнитных цепей, их называют контактными сердечниками (КС). Контактные сердечники могут быть неподвижными и подвижными. Часто подвижные КС выполняются гибкими и играют роль возвратной пружины. Магнитоуправляемые контакты с гибкими подвижными КС называют безъякорными, т.к. в них отсутствует жесткий подвижный элемент магнитной системы – якорь, характерный для негерконовых электромагнитных реле. К безъякорным относятся язычковые и мембранные МК. Первые получили наибольшее распространение.

Существуют МК сухие (с твердыми контактами) и смоченные жидким металлом.

Сухие язычковые магнитоуправляемые контакты. Язычковыми называются МК, содержащие КС в виде консольно закрепленных пластин или стержней, изгибающихся под воздействием магнитного поля. Наиболее распространенные виды: симметричный и несимметричный замыкающие МК; переключающий МК вида РП-3, в котором размыкаемый (Р) и переключающий (П) контактные сердечники закреплены с одной стороны герметизированного баллона, а замыкаемый (З) – с другой; переключающий

МК вида РЗ-3 (размыкаемый и замыкаемый КС расположены с одной стороны баллона, а переключающий – с противоположной).

Симметричный язычковый замыкающий МК (рис. 76 а) – простейшая конструкция, состоящая из одинаковых подвижных КС, заваренных в стеклянную трубку диаметром от 2 до 5,5 мм, которая после изготовления МК образует герметизированный баллон. Длина баллонов составляет от 7,5 до 50 мм. Общая длина (с выводами) язычковых МК – от 20 до 80 мм. При изготовлении баллон заполняется сухим газом (например, азотом, водородом или их смесью) при различных давлениях или вакууммируется. Для того чтобы КС выполняли свои функции, материал, из которого их изготавливают, должен обладать определенными свойствами:

- большой магнитной индукцией в полях с напряженностью 200-700А/м;
- низкой коэрцитивной силой;
- достаточной электропроводностью;
- хорошей упругостью;
- коэффициентом теплового расширения, близким к стеклу (баллону), и др.

Указанные свойства имеет, например, низконикелевый пермаллой. Контактные сердечники язычковых магнитоуправляемых контактов штампуются из проволоки диаметром 0,5-1,5 мм, изготовленной из этих материалов.

Внутренние концы КС в язычковых МК перекрываются на величину (а) и имеют контактное покрытие Δ (рис. 76 б) толщиной от единиц до десятков микрон. Для изготовления КС используют материалы: рутений, родий, сплавы на основе золота, вольфрама, молибдена, а также и более сложные многослойные покрытия.

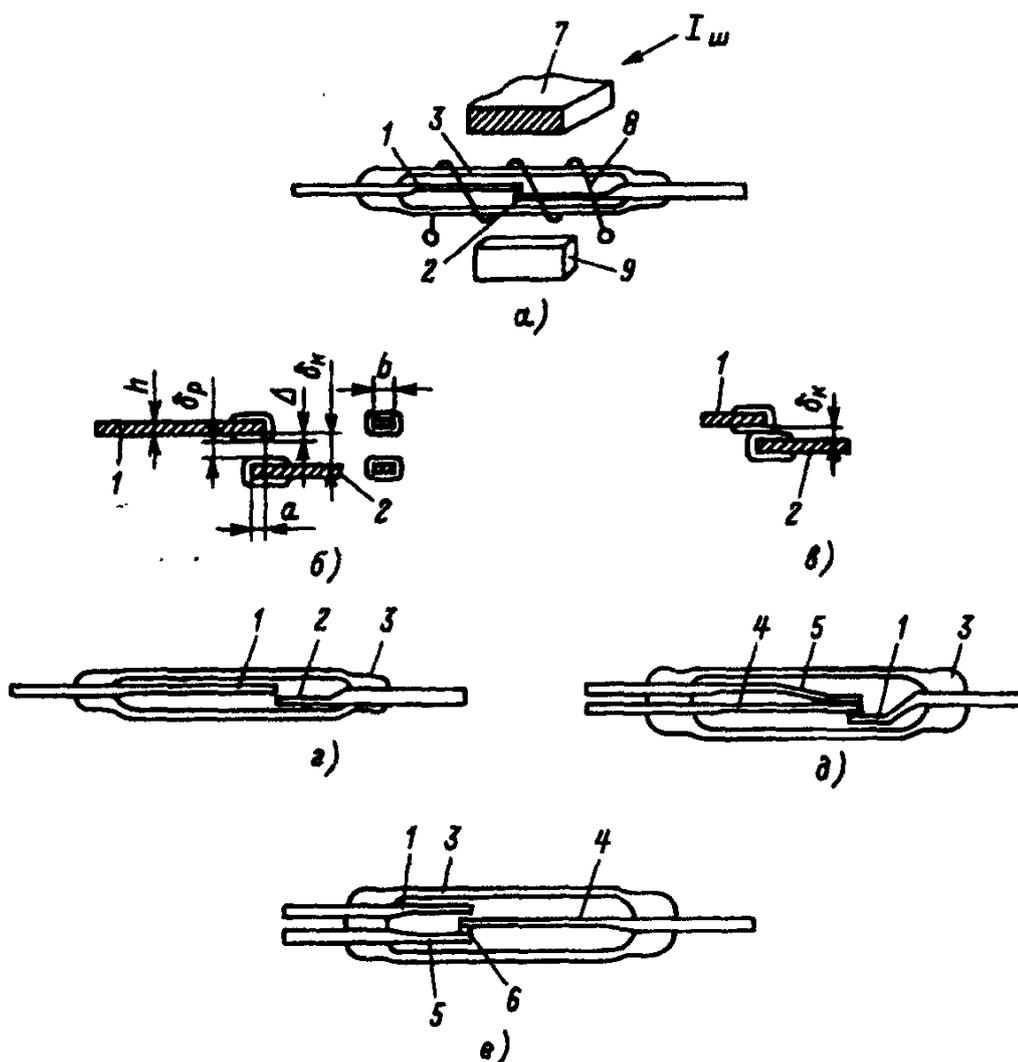


Рис.76. Основные виды сухих язычковых магнитоуправляемых контактов:
 а – симметричный замыкающий МК; б, в – разомкнутое и замкнутое положение КС замыкающего МК; г – асимметричный замыкающий МК; д – переключающий МК вида РП-3; е – переключающий МК вида РЗ-П; 1,2 – замыкание КС; 3 – баллон; 4 – переключающий КС; 5 – размыкаемый КС; 6 – немагнитная контакт-деталь; 7 – шина; 8 – обмотка; 9 – постоянный магнит

Кроме рассмотренных симметричных МК в практике нашли применение асимметричные язычковые замыкающие МК (рис. 76 г). Такие МК сложнее, но зато их габариты намного меньше.

В электрических аппаратах на базе замыкающих МК могут быть реализованы и размыкающие контакты, если использовать поляризующее

магнитное поле (например, от постоянного магнита), а управляющее поле направлять в МК встречно поляризующему.

Выполняются КС сухих язычковых МК не только из магнитомягких материалов (пермаллоев), но и из средне коэрцитивных материалов с высокой остаточной магнитной индукцией. В этом случае после замыкания МК его КС при снятии воздействия управляющего поля остаются в замкнутом состоянии за счет их остаточной магнитной энергии. Такие МК с магнитной памятью называются гезконами (герметизированными замыкающими контактами).

Смоченные жидкометаллические МК (ЖМК) – это МК, внутри герметизированного баллона которых токопроводящие детали частично или полностью смочены жидким металлом. Наиболее распространенный смачивающий материал – ртуть. Наряду с баллонным ЖМК имеют место и безрезервуарные ЖМК, жидкий металл в которых находится только в капиллярах переключающего КС.

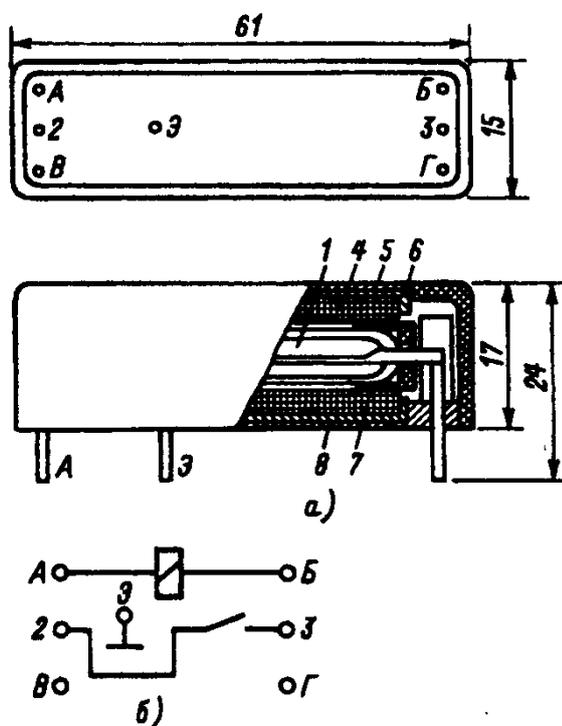


Рис. 77. Герконовое реле РЭС-45

Герконовые реле могут содержать один или несколько МК, одну или несколько обмоток (или шин), поляризующие постоянные магниты (ПМ), дополнительные ферромагнитные детали, играющие роль магнитопровода, кожуха магнитного и т.д. На основе МК создают и многоцепные реле, реле напряжения, например, РЭС-45 (рис. 77), реле тока (например, РТГ-01010) и много других многоцелевых реле.

Ход работы:

1. Познакомиться с конструкцией, электрической схемой реле и его паспортными данными.
2. Собрать испытательную схему:

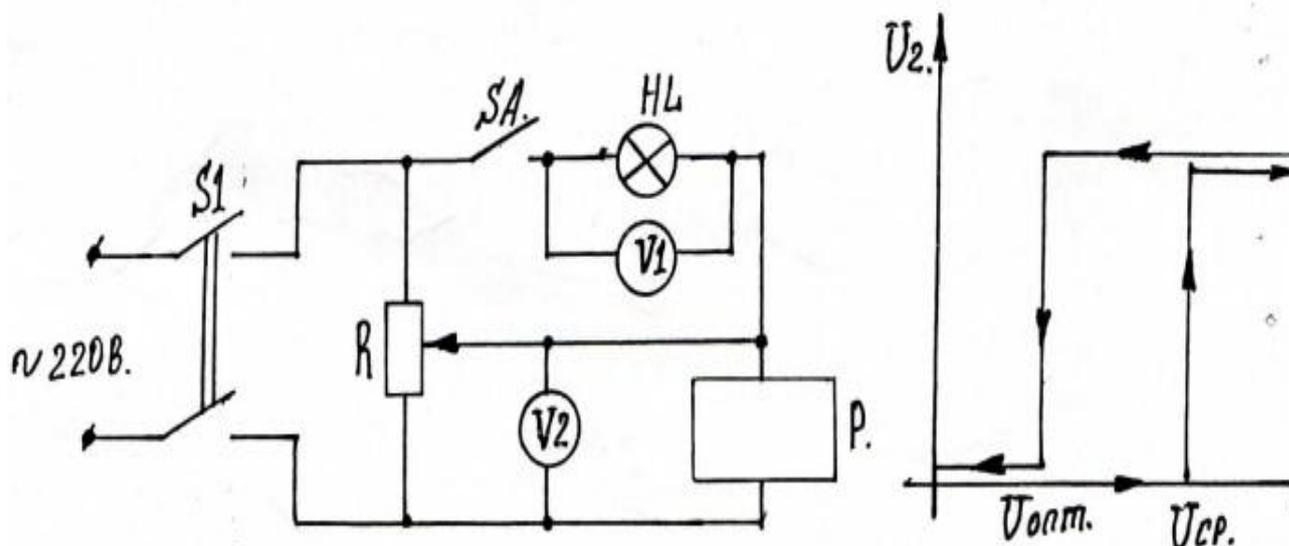


Рис. 78

3. Установить по шкале срабатывания реле минимальное напряжения срабатывания.
4. Включить рубильник и поднять напряжение на обмотке реле до момента срабатывания. Напряжение срабатывания $U_{ср}$ записать в таблицу.
5. Снять показание вольтметра V_2 , измеряющего напряжение на нагрузке U , занести его в таблицу.
6. Плавно снизить напряжение до момента отпущения реле $U_{отп}$,

занести его в Таблицу 33.

Таблица 33

№	Напряжение установки реле	$U_{\text{ср}}$	$U_{\text{отп}}$	$U_{\text{н}}$	$U_{\text{в}}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

7. Повторить пункты 3, 4, 5 для других напряжений, указанных на шкале реле.

8. Рассчитать коэффициент возврата реле $K_{\text{в}}$, равный отношению напряжения отпускания к напряжению срабатывания:

$$K_{\text{в}} = U_{\text{отп}} / U_{\text{ср}}$$

Коэффициент возврата должен находиться в пределах 0,85-0,9. Чем ближе $K_{\text{в}}$ к единице, тем выше чувствительность реле.

9. Для одного из опытов, заданных преподавателем, построить статическую характеристику реле.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы конструкции электромагнитного реле клапанного типа.
2. Раскройте принцип действия реле.
3. Каковы особенности нейтральных и поляризованных реле?
4. Каковы назначение и конструктивные особенности контакторов?
5. Назовите разновидности электромеханических реле.

Лабораторная работа № 20. «Измерение частоты сигналов»

Цель работы: овладеть применением приборов, предназначенных для измерения частоты.

Оборудование:

1. Электронный частотомер.
2. Мультиметр.
3. Генератор синусоидальных колебаний ГЗ-102.
4. Генератор прямоугольных импульсов Г5-54.
5. Электронный осциллограф С1-83.
6. Частотомер.

Теоретический материал

Основной единицей измерения частоты сигнала является герц, но ввиду его малости в электронике используют кратные единицы:

- килogerц ($1 \text{ кГц} = 10^3 \text{ Гц}$);
- мегагерц ($1 \text{ МГц} = 10^6 \text{ Гц}$);
- гигагерц ($1 \text{ ГГц} = 10^9 \text{ Гц}$).

Частота сигнала измеряется электронными и электромеханическими частотомерами.

В каталоговой классификации электронные частотомеры обозначаются следующим образом: Ч1 – образцовые (стандарты частоты и времени), Ч2 – резонансные, Ч3 – электронные, Ч4 – гетеродинные волномеры (сняты с производства), Ч5 – преобразователи частоты, Ч6 – синтезаторы, делители, умножители частоты.

Электромеханические частотомеры независимо от используемой системы преобразования обозначаются по единице измерения – Гц (международное обозначение – Hz).

В практике электротехнических измерений в большинстве случаев измеряют линейную частоту, которую исторически в радиоэлектронике

обозначают буквой f (высокие частоты) или буквой F (низкие частоты). Гармонические сигналы характеризуются также угловой (круговой) частотой ω :

$$\omega = 2\pi f \text{ [рад/с]}.$$

Угловая частота равна изменению фазы сигнала $\varphi(t)$ в единицу времени. Для низких частот угловая частота записывается как $\Omega = 2\pi F$, для высоких – как $\omega = 2\pi f$.

При непостоянстве частоты используется понятие мгновенной угловой частоты:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = 2\pi f(t),$$

где $f(t)$ – мгновенная циклическая частота.

При описании методов измерения частоты будем подразумевать ее среднее значение за время измерения.

Под линейной частотой понимают число колебаний в единицу времени

$$F = \frac{n}{t}.$$

Наряду с частотой на ВЧ и СВЧ часто используют длину волны электромагнитных колебаний λ , которая связана с линейной частотой зависимостью

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

где c – скорость света: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Реже измеряют период электромагнитных колебаний T , связанный с линейной частотой обратной зависимостью:

$$T = \frac{1}{F}.$$

Таким образом, параметры F , T и λ связаны между собой, и при необходимости можно измерить любой из них.

Приборы, измеряющие частоту сигнала, называются частотомерами, длину волны – волномерами, период – периодомерами.

Так как все три параметра электрических сигналов являются важнейшими в электронных и телекоммуникационных системах, то приборы,

используемые для частотно-временных измерений, образуют единый комплекс аппаратуры, позволяющей проводить измерения с непосредственной их привязкой к Государственному эталону частоты и времени, что гарантирует высокую точность измерений.

Наряду с названными в соответствии с каталоговой классификацией приборами, частоту можно измерять осциллографическими (косвенными) методами.

Спектр частот электромагнитных колебаний, используемый в электронике, простирается от долей герца до десятков гигагерц. Этот спектр условно можно разделить на два диапазона:

- низкие частоты, к которым относятся инфразвуковые – ниже 20 Гц, звуковые – 20 Гц... 20 кГц, ультразвуковые – 20 ... 200 кГц;
- высокие частоты, к которым относятся собственно высокие – 200 кГц... 30 МГц, ультра- или сверхвысокие – выше 30 МГц.

В зависимости от участка спектра частот электромагнитных колебаний применяются различные методы измерения, которые подразделяются на низко- и высокочастотные. Приборы для измерения низких и высоких частот также называются низко- и высокочастотными.

При измерении низких (промышленных) частот (до 1000 Гц) широко используются электромеханические частотомеры на основе электромагнитной, электродинамической, ферродинамической, выпрямительной, вибрационной систем.

Электромеханические частотомеры отличаются малыми габаритными размерами, не требуют источников питания, недороги, однако имеют существенный недостаток – ограниченный диапазон измерения частот, поэтому используются в основном как контролирующие приборы.

Для измерения низких частот применяют осциллографические методы (методы сравнения), используемые чаще для градуировки шкал генераторов различных измерительных приборов. При реализации этого метода требуется генератор образцовой частоты более высокой точности и осциллограф. К

осциллографическим методам относятся метод фигур Лиссажу, метод яркостной модуляции и метод использования калиброванной линейной развертки осциллографа. Погрешность измерения третьим методом зависит от нелинейности развертывающего напряжения, а также от погрешности отсчета линейных размеров периода и качества фокусировки и яркости луча на экране осциллографа.

В настоящее время для измерения низких частот широко используются электронные цифровые частотомеры (ЧЗ), практически вытеснившие конденсаторные частотомеры.

Цифровые частотомеры, в основу измерения которыми положен метод дискретного счета, характеризуются очевидными достоинствами:

- высокой точностью измерений, т.е. малой относительной погрешностью измерения частоты ($10^{-6} \dots 10^{-9}$);
- возможностью успешного использования на низких и на высоких частотах (от десятых долей герц до сотен мегагерц);
- исключением субъективной ошибки оператора;
- возможностью обработки результатов измерения с помощью микропроцессора и персонального компьютера;
- возможностью наряду с измерением частоты измерять период повторения сигнала, отношение частот, длительность импульсов.

На рис. 79 приведена упрощенная структурная схема цифрового частотомера и временные диаграммы, поясняющие его работу в режиме измерения частоты.

При измерении частоты сигнала методом дискретного счета исследуемый сигнал с частотой F_x подается на входное устройство, в котором усиливается или ослабляется до значения, необходимого для работы блока формирования сигнала.

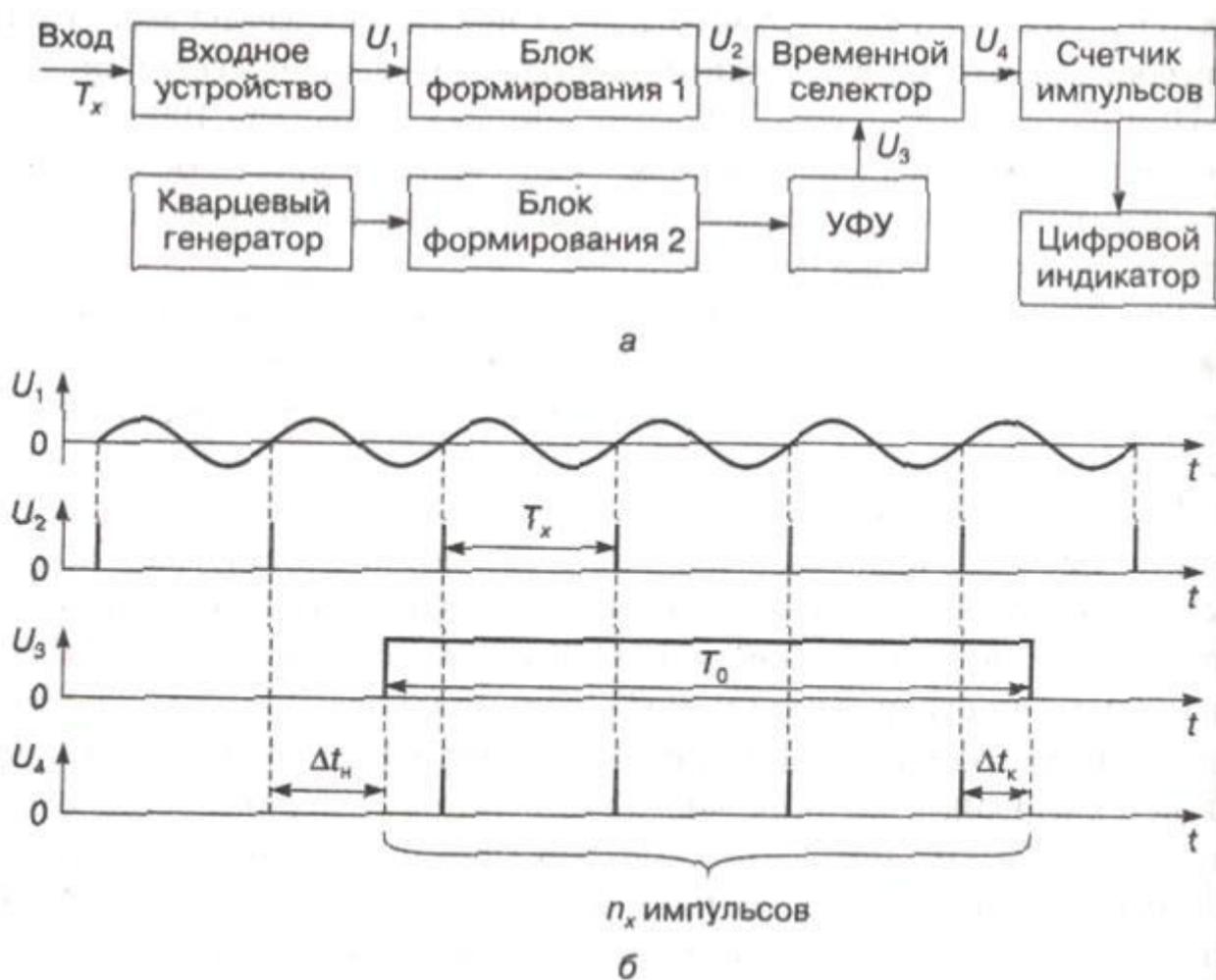


Рис. 79. Упрощенная структурная схема цифрового частотомера (а) и временные диаграммы, поясняющие его работу в режиме измерения частоты сигнала (б)

Поступающий в блок формирования 1 гармонический сигнал U_1 преобразуется в последовательность коротких однополярных импульсов U_2 со счетным периодом повторения $T_x = 1/F_x$. Передние фронты счетных импульсов практически совпадают с моментом перехода сигнала U_1 через нулевое значение на оси времени при его возрастании.

Затем счетные импульсы поступают на один из входов временного селектора (электронного ключа), а на другой его вход с выхода кварцевого генератора подаются импульсы прямоугольной формы, калиброванные по длительности, с периодом повторения $T_0 > T_x$ для последующего их формирования в блоке формирования 2. Временной селектор открывается

импульсом U_3 и в течение времени его действия пропускает пакет импульсов U_2 на вход счетчика. В результате на счетчик импульсов поступает n импульсов напряжением U_4 . То есть, метод дискретного счета состоит в подсчете числа периодов измеряемой частоты F_x за известный высокостабильный интервал времени T_0 . В результате измерения получим

$$n = \frac{T_0}{T_x},$$

откуда

$$F_x = \frac{n}{T_0}.$$

В счетчике число прошедших импульсов фиксируется в виде электрического кода, который затем преобразуется в десятичный код, высвечиваемый на цифровом индикаторе.

Действительная относительная погрешность измерения частоты определяется формулой

$$\gamma_{DF} = \frac{1}{F_x \cdot T_0}.$$

Из анализа этой формулы следует, что чем ниже значение измеряемой частоты F_x , тем больше должна быть погрешность. Поэтому для получения меньшей погрешности измерения низких частот увеличивается время измерения T_0 . Следовательно, измерение низких частот требует большего времени.

Для варьирования T_0 в составе делителя кварцевого генератора имеется декадный делитель частоты с коэффициентом k_d (каждая декада уменьшает частоту кварца F_0 в десятки раз). Период импульсов на выходе блока формирования 2 и длительность строб импульса равны периоду сигнала на выходе делителя частоты, т.е.

$$T_0 = \frac{k_d}{F_0},$$

и можно представить в виде

$$F_x = \frac{nF_0}{k_d}.$$

Отношение $\frac{F_0}{k_d}$ изменяют варьированием k_d , т.е. за счет изменения числа декад делителя.

Погрешность измерения частоты имеет систематическую и случайную составляющие. Систематическая составляющая обусловлена главным образом долговременной нестабильностью частоты кварцевого генератора F_0 , которую уменьшают термостатированием кварца или применением в генераторе термокомпенсирующих элементов. Погрешность за счет неточности установки частоты F_0 уменьшают калибровкой генератора по сигналам эталонных значений частоты, передаваемых по радио или с помощью мобильных квантовых стандартов частоты. Относительная погрешность калибровки кварцевого генератора не превышает $(1...5) \cdot 10^{-10}$.

В ряде случаев требуемая стабильность частоты достигается введением в генератор фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Рассмотрим пример подсчета частоты сигнала цифровым частотомером.

Частота кварцевого генератора $F_0 = 1 \text{ МГц}$, что соответствует $T_0 = 1/F_0 = 1 \text{ мкс}$.

Предположим, что на счетчик за это время прошло 10 импульсов, тогда $F_x = n / T_0 = 10 / 10^{-6} \text{ с} = 10^7 \text{ Гц} = 10 \text{ МГц}$.

Диапазон измеряемых цифровым прибором частот ограничивается снизу погрешностью дискретизации, а сверху – быстродействием используемых счетчиков-делителей. Верхний предел измерения в количественном выражении не превышает 200 МГц. Расширения верхнего предела добиваются переносом измеряемой частоты в область более низких частот (гетеродинное преобразование).

В состав цифрового частотомера обязательно входит схема автоматического регулирования усиления (АРУ) и схема подавления внешних помех. Для обеспечения устойчивой работы частотомера в паспорте прибора приводится важный параметр – чувствительность (минимальное значение напряжения, при котором частотомер уже может измерить частоту). При

меньшем значении напряжения измерение прекращается и показания счетчика (следовательно, и цифрового индикатора) обнуляются. Уровень напряжения входного сигнала также ограничивается максимальным значением, превышать которое нельзя. В противном случае частотомер «зависает», т.е. надолго перестает измерять. В связи с этим в приборе предусмотрены меры защиты от перегрузок.

Наличие в последних моделях цифровых частотомеров синтезаторов частот позволяет получать сигналы с дискретной сеткой частот. Программное управление синтезаторами частот и введение встроенных микропроцессоров открывает новые возможности таких приборов в части уменьшения погрешности измерения, расширения диапазона измеряемых частот и упрощения включения их в автоматизированные измерительные системы. Цифровые частотомеры способны измерять частоту гармонических и импульсных сигналов.

Измерение периода повторения сигнала методом дискретного счета рассмотрим на примере гармонического (синусоидального) сигнала.

В основу измерения периода T_x положен принцип заполнения его импульсами, следующими с известным периодом T_0 , задаваемым образцовым кварцевым генератором, и подсчет количества этих импульсов n_x .

На рис. 80 приведена упрощенная структурная схема цифрового частотомера и временные диаграммы его работы в режиме измерения периода повторения сигнала.

Исследуемый синусоидальный сигнал U_1 с периодом T_x после прохождения через входное устройство подается на блок формирования 1, где преобразуется в последовательность коротких импульсов U_2 (с тем же периодом), поступающих на устройство управления. В устройстве управления из поступивших импульсов формируется стробимпульс U_3 прямоугольной формы с длительностью, равной измеряемому периоду T_x . Далее стробимпульс поступает на один из входов

электронного ключа, на второй вход которого от кварцевого генератора подаются короткие импульсы (U_4 с известным высокостабильным образцовым периодом повторения T_0) для последующего преобразования сигнала по форме в блоке формирования 2.

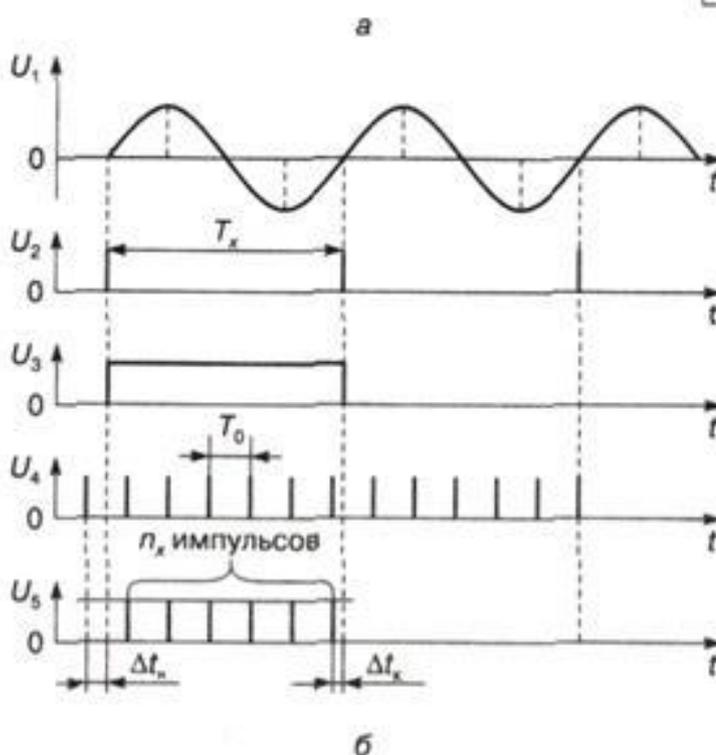


Рис. 80. Упрощенная структурная схема цифрового частотомера (а) и временные диаграммы его работы в режиме измерения периода повторения сигнала (б)

Электронный ключ в течение времени длительности стробимпульса пропускает на счетчик n_x счетных импульсов с напряжением U_4 . Очевидно, что измеряемый период прямо пропорционален количеству счетных импульсов n_x и образцовому периоду повторения T_0 .

$$T_x = n_x \cdot T_0 + \Delta t_d.$$

где Δt_d , – суммарная абсолютная погрешность дискретизации: $\Delta t_d = \Delta t_d + \Delta t_k$;

Δt_n – погрешность дискретизации начала периода T_x ;

Δt_k – погрешность дискретизации конца периода T_x .

Без учета погрешности Δt_d в формуле число поступивших на счетчик импульсов $n_x = T_x / T_0$, а измеряемый период прямо пропорционален n_x , т.е.

$$T_x = n_x \cdot T_0.$$

Число прошедших импульсов фиксируется в виде электрического кода, поступающего на цифровой индикатор, в котором показание соответствует измеряемому периоду T_x .

Погрешность измерения периода повторения сигнала зависит от стабильности частоты кварцевого генератора и от погрешности дискретизации.

Резонансный метод измерения частоты сигнала относится к высоко- и сверхвысокочастотным методам и заключается в сравнении измеряемой частоты f_x с собственной резонансной частотой измерительной колебательной системы, в качестве которой используется колебательный контур или резонатор.

Приборы, принцип работы которых основан на этом методе, называются резонансными волномерами (реже – частотомерами), так как в большинстве случаев они измеряют длину волны.

На рис. 81 представлена упрощенная структурная схема резонансного волномера, которая состоит из входного устройства, колебательного контура с градуированным механизмом настройки и индикатора резонанса.

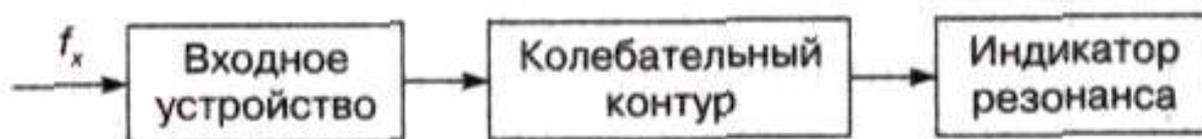


Рис. 81. Упрощенная структурная схема резонансного волномера

В зависимости от диапазона частот конструкция колебательной системы различна: на частотах < 200 МГц применяются параллельные контуры с сосредоточенными параметрами, состоящие из катушки

индуктивности и конденсатора переменной емкости; на частотах 200...1000 МГц применяются контуры смешанного типа (емкость сосредоточена, а индуктивность распределена); на частотах > 1 ГГц применяются контуры с распределенными параметрами – отрезки коаксиальной, волноводной линий или объемные резонаторы.

Связь измерительного контура с источником измеряемой частоты должна быть слабой (рис. 82 а), что обеспечивает большую симметрию резонансной кривой и делает ее более острой, так как уменьшает вносимое в измерительный контур волномера затухание. При сильной связи (рис. 82 б) в контур частотомера вносится также добавочное реактивное сопротивление, что вызывает расстройку контура, и резонанс получается уже на другой частоте.

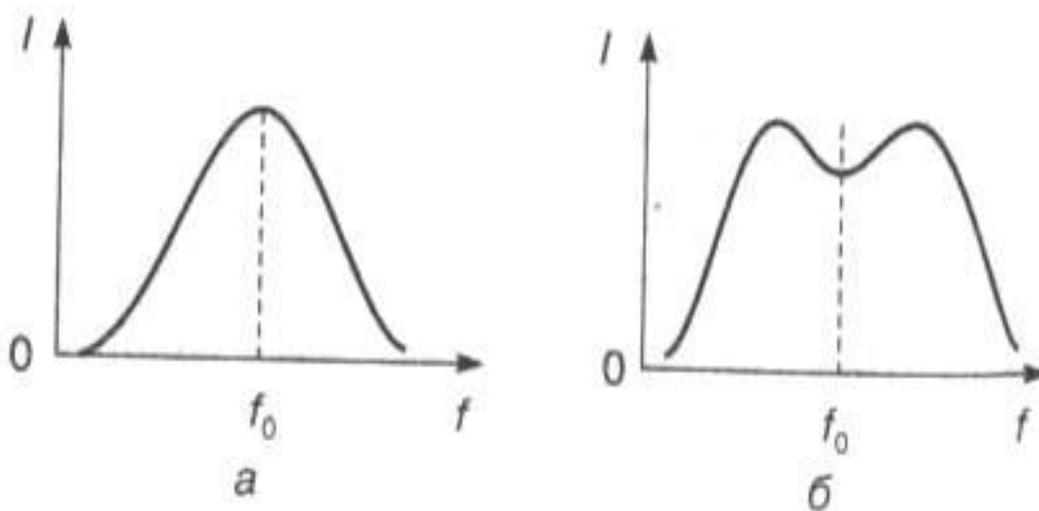


Рис.82. Резонансные кривые при слабой (а) и сильной (б) связи измерительного контура с источником измеряемой частоты

Рассмотрим работу резонансного волномера. Сигнал с измеряемой частотой f_x возбуждает перестраиваемый колебательный контур через входное устройство и при резонансе $f_x = f_0$ резко увеличивает интенсивность и амплитуду колебаний. Момент резонанса регистрируется по индикатору резонанса, который связан с колебательным контуром, а значение измеряемой частоты отсчитывают по градуированной шкале механизма настройки.

Погрешность измерения составляет $10^{-3} \dots 10^{-4} \%$ и зависит от точности настройки колебательного контура в резонанс, чувствительности индикатора, степени связи частотомера с источником измеряемой частоты, а также от температуры и влажности окружающей среды. Для уменьшения влияния параметров внешней среды колебательный контур помещают в термостат и герметизируют.

В качестве индикатора резонанса применяются механизм выпрямительной системы или электронный индикатор.

Достоинство резонансных волномеров – их простое устройство и удобство эксплуатации, а недостаток – трудоемкость измерения (продолжительность настройки колебательного контура в резонанс).

Последние разработки измерительных приборов на основе микропроцессорных контроллеров позволяют проводить измерения частоты сигнала, периода его повторения и других параметров на единой основе. Рассмотрим принцип работы измерителя частоты сигнала и интервалов времени со встроенным микропроцессором (рис. 83).

Центральным узлом структурной схемы является микропроцессорный контроллер (МПК), состоящий из вычислительного управляющего устройства, оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), постоянного (программируемого) запоминающего устройства (ПЗУ).

Селектор прибора из входного сигнала формирует измеряемый интервал времени, а из сигнала образцовой частоты от кварцевого генератора – эталонный интервал времени, равный измеряемому с точностью до длительности периода сигнала образцовой частоты.



Рис. 83. Структурная схема измерителя частоты сигнала и интервалов времени со встроенным микропроцессором

Интерполятор предназначен для расширения импульсов, отражающих погрешности дискретизации, и последующего измерения методом счета числа колебаний образцовой частоты и содержит два одинаковых канала. Формирователь готовности включает в себя дешифратор управления, селектор и счетчики числа импульсов и вырабатывает специальный сигнал, определяющий время работы селектора.

Блок регистров содержит основную часть счетчиков, дешифратор управления, который вырабатывает сигнал сброса регистров, установки в исходное состояние селектора, приема и выдачи информации. Схема совпадения выдает сигнал в момент переполнения счетчика. Сигнал с выхода схемы совпадения подготавливает окончание времени счета прибора. В данной схеме узел ЦАП предназначен для измерения уровня запуска прибора в режиме ручного управления и для установки требуемого уровня запуска в режиме дистанционного управления прибором.

Блок управления и индикации предназначен для управления работой блока индикатора и преобразования командных сигналов, поступающих с

МПК, в управляющие сигналы прибора. Он содержит цифровой индикатор и клавиатуру для ввода данных. Интерфейс обеспечивает работу прибора в системах с каналом общего пользования (КОП). Блок питания вырабатывает необходимые питающие напряжения. Синтезатор частоты с кварцевым генератором является источником стабильных гармонических колебаний разной частоты.

Технические характеристики МПК определяются параметрами стандартных современных отечественных или иностранных микропроцессоров и КМОП интегральных микросхем, на которых построено большинство устройств сопряжения. МПК подключается к устройству памяти непосредственно через приборную магистраль, а к другим устройствам измерительного прибора – через приборную магистраль и блок управления.

В приборе предусмотрен режим самоконтроля путем измерения частоты или периода собственного образцового сигнала с частотой 100 МГц от кварцевого генератора. Для обеспечения внутренних связей и подключения к внешним устройствам в описываемом приборе имеются цифровые магистрали трех видов: шина управления (ШУ), адресная шина (ША) и шина данных (ШД).

К основным метрологическим характеристикам частотомеров, которые необходимо знать при выборе прибора, относятся следующие: диапазон измерения частот; чувствительность – минимальное напряжение (мощность), при котором может работать прибор; допустимая погрешность измерения.

Ход работы:

1. Познакомиться с приборами, применяемыми в работе, и указаниями по их эксплуатации. Внести в таблицу паспортные данные приборов.

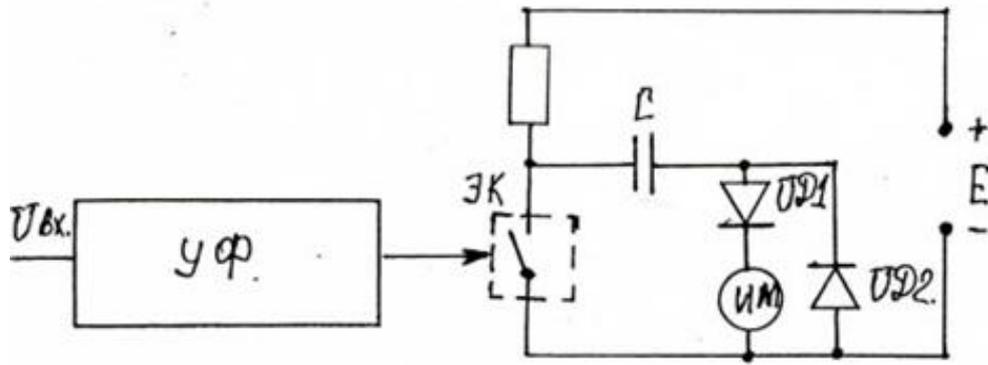


Рис. 84. Схема электронного частотомера

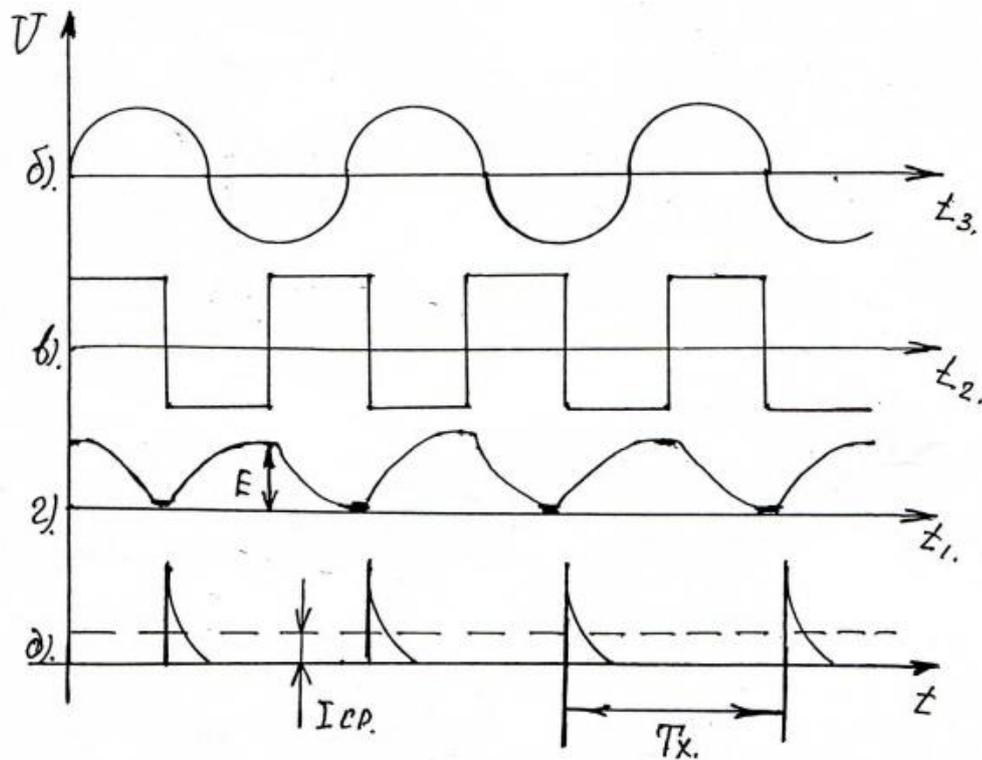


Рис. 85. Временные диаграммы частотомера

2. Подключить выход генератора прямоугольных импульсов к входу частотомера, а затем мультиметра. Задавая частоту сигнала органами управления генератора, снять показания частотомера и мультиметра, данные занести в Таблицу 34.

3. Повторить п.2 для измерения частоты сигнала генератора синусоидальных колебаний.

Таблица 34

Тип генератора		ГЗ-102				Г5-54			
Установлено		f_1	f_2	f_3	f_4	f_1	f_2	f_3	f_4
		Гц	Гц	Гц	Гц	Гц	Гц	Гц	Гц
Измерено	ЧЗ-33								
	ВР-11								

4. Измерить частоту заданным электромеханическим частотомером в цепи, работающей от сети 220В, 127В.

5. Измерить частоту с помощью электронного осциллографа методом фигур Лиссажу.

6. Измерить частоту методом круговой развертки.

7. Осциллограммы привести в отчете.

8. Привести схему включения электромеханического частотомера и результат замера частоты.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия электронного частотомера.
2. Раскройте принцип работы электродинамического и электромагнитного частотомера.
3. Поясните осциллографические методы измерения частоты.

Лабораторная работа №21. «Изучение характеристик генератора постоянного тока независимого возбуждения»

- Цель работы:**
1. Снять характеристику холостого хода генератора.
 2. Снять нагрузочную характеристику генератора.
 3. Снять внешнюю характеристику генератора.
 4. Снять регулировочную характеристику генератора.

Теоретический материал

При вращении якоря в магнитном поле в проводниках его обмотки индуцируется ЭДС, переменная по величине и направлению (рис. 86). Если начало и конец одного витка обмотки припаять к двум медным кольцам, на кольца наложить щетки, соединенные с внешней цепью, то при вращении витка в магнитном поле, как показано на рис. 86 а, в замкнутой цепи потечет переменный электрический ток (рис. 86 б). На этом основано действие генератора переменного тока.

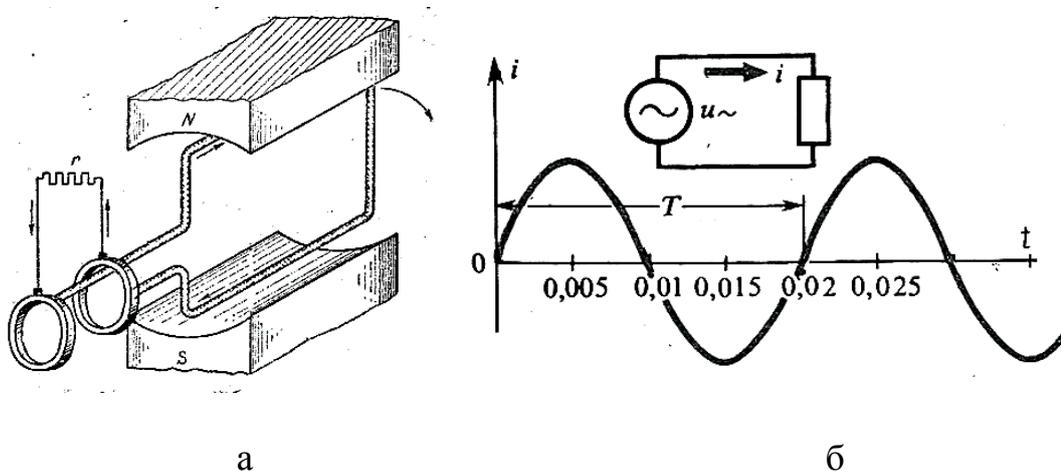
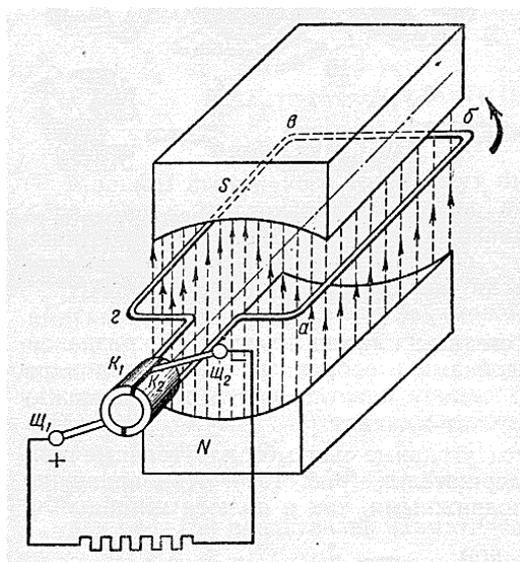


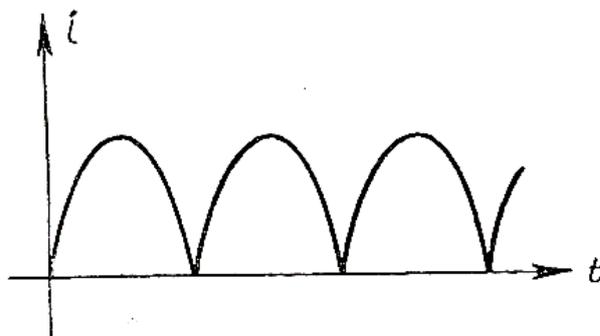
Рис. 86.

Если же начало и конец витка присоединить к двум медным полукольцам, изолированным друг от друга и называемым пластинами коллектора, и наложить на них щетки, то при вращении витка в магнитном поле (рис. 86 а), в витке будет по-прежнему индуцироваться переменная

ЭДС. Однако во внешней цепи будет протекать уже пульсирующий ток, переменный по величине, но постоянный по направлению (рис.86 б).



а



б

Рис. 87.

Для установления этого обратимся к рис.87 а. Здесь показан якорь с одним витком. Начало витка (n) припаяно к коллекторной пластине (a), конец витка ($к$) к пластине (b). К коллекторным пластинам прижаты две неподвижные щетки, соединенные с внешней цепью. Рассмотрим три характерных положения витка в пространстве между полюсами. В положении (а) (рис. 88 а) виток находится в зоне действия северного полюса. Учитывая направление вращения якоря, определим направление ЭДС в витке по правилу правой руки. Необходимо учесть, что ЭДС индуцируется только в той части витка, которая лежит поверх якоря. Ток в данном положении направлен от начала витка к его концу. Через правую щетку ток пойдет во внешнюю цепь. Поэтому эту щетку можно назвать положительной. Пройдя нагрузку, ток притекает к левой щетке генератора, которую можно назвать отрицательной.

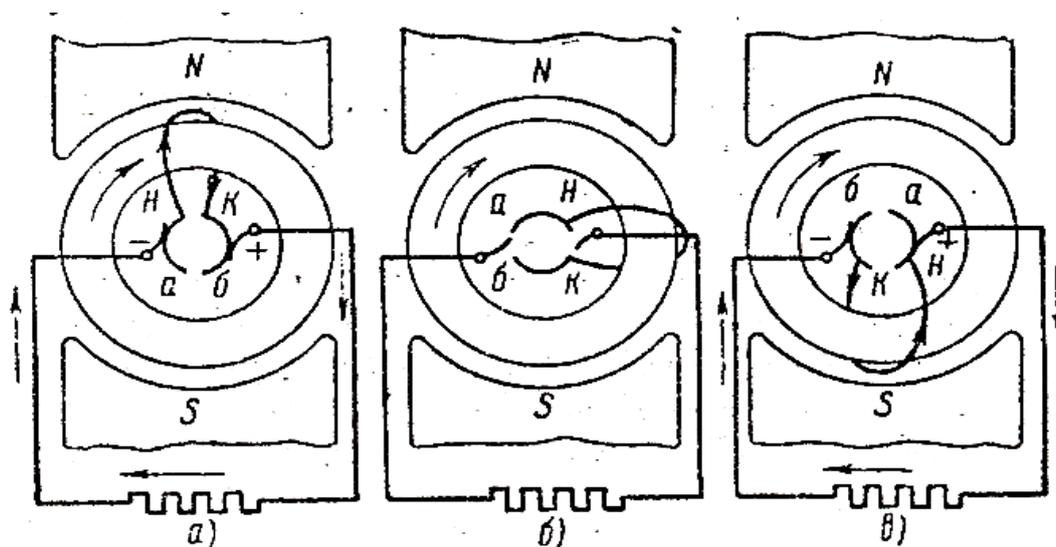


Рис. 88.

В положении (б) (рис.88 б) виток находится на нейтральной линии. Нейтральной линией или геометрической нейтралью называется линия, проходящая через центр якоря и перпендикулярная оси полюсов. Активная часть витка в этом положении, скользит вдоль магнитных линий, не пересекая их. Поэтому ЭДС в витке не наводится, и ток равен нулю. Обычно ширина щетки больше толщины изоляционного слоя между коллекторными пластинами, и виток, находясь на нейтральной линии, замыкается в этот момент щетками накоротко.

В положении (в) (рис.88 в) виток находится в зоне действия южного полюса. Определяя направление ЭДС, индуцированной в витке, находим, что ток направлен от конца витка к его началу. Если бы коллекторная пластина (а) по-прежнему соприкасалась с левой щеткой, а пластина (б) с правой щеткой, то изменение направления тока в витке вызвало бы перемену тока во внешней цепи. Но этого теперь не случится, так как изменение направления тока в витке после перехода его через нейтральную линию совпадает с таким моментом, когда под правую щетку подошла пластина (а) и под левую щетку – пластина (б).

При сравнении первого и третьего положения видно (рис. 88 *а, в*), что ток витка в обоих случаях притекает к правой, положительной щетке, проходит по внешней цепи и возвращается к левой, отрицательной щетке. Во внешней цепи направление тока не изменяется, и ток является пульсирующим (рис. 87 *б*).

Назначение коллектора. Пульсацию тока можно уменьшить путем увеличения числа коллекторных пластин (вместо двух полуколец), соответственно увеличив число витков якоря, которые разделяются на отдельные части – секции.

Расположим на якоре четыре катушки, сдвинутые на 90° друг относительно друга, и соединим их между собой последовательно (рис. 89 *а*). Число коллекторных пластин также увеличим до четырех. Направление индуцированной ЭДС в катушках определяем по правилу правой руки.

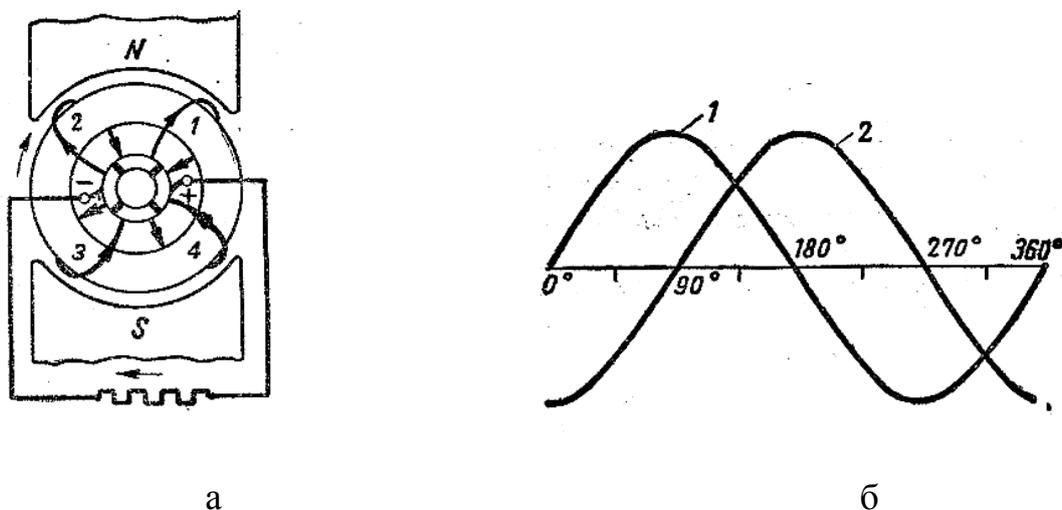


Рис. 89.

На рис. 89 *б* показаны кривые ЭДС катушек 1 и 2. Так как катушки сдвинуты в пространстве на 90° , то кривые ЭДС также сдвинуты по фазе на 90° . Кривые ЭДС у катушек 3 и 4 имеют тот же характер, что и у катушек 1 и 2, с той лишь разницей, что ЭДС катушек 1 и 3, с одной стороны, и катушек 2 и 4, с другой, равны по величине, но противоположны по направлению. Поэтому для выяснения вопроса ограничимся рассмотрением кривых ЭДС катушек 1 и 2. Поскольку катушки соединены между собой последовательно,

то мгновенная величина ЭДС $e_{\text{общ}}$, создаваемая двумя катушками, равна сумме мгновенных значений ЭДС каждой катушки. На рис. 89 а показано сложение мгновенных значений обеих катушек. Кривая суммарной ЭДС имеет меньшую пульсацию, чем кривые ЭДС отдельных катушек. Суммарная ЭДС катушек, находящихся под другим полюсом, имеет ту же величину, но противоположна по направлению суммарной ЭДС верхних катушек. Обе ЭДС включены параллельно по отношению к щеткам генератора.

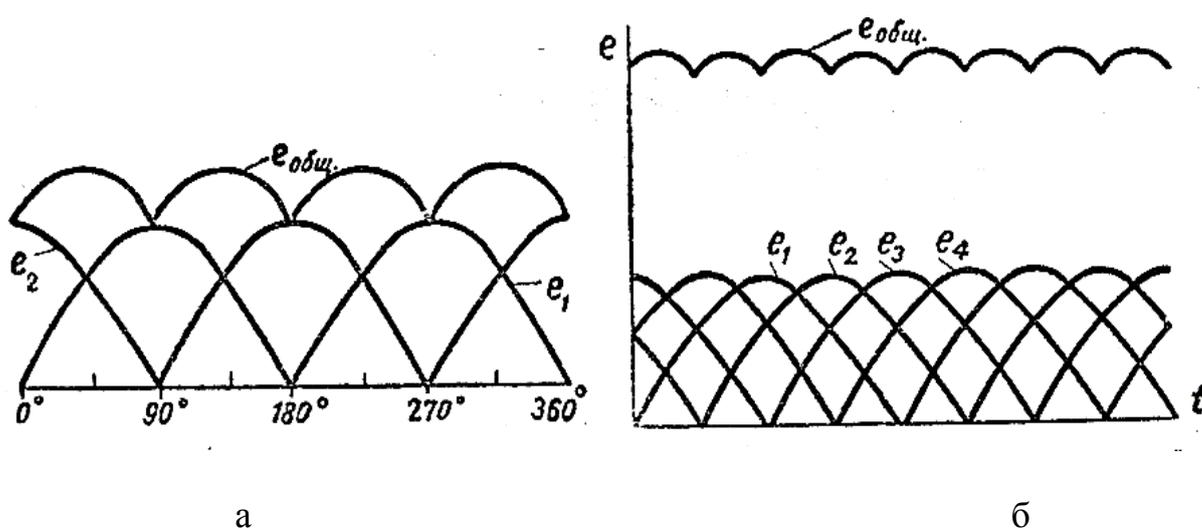
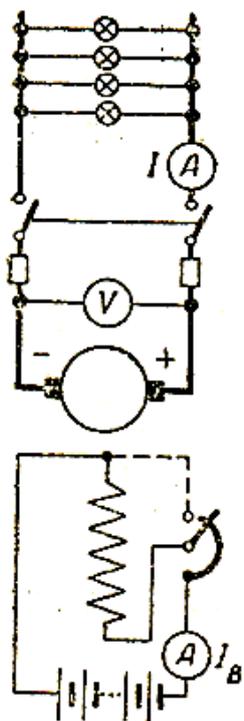


Рис. 89.

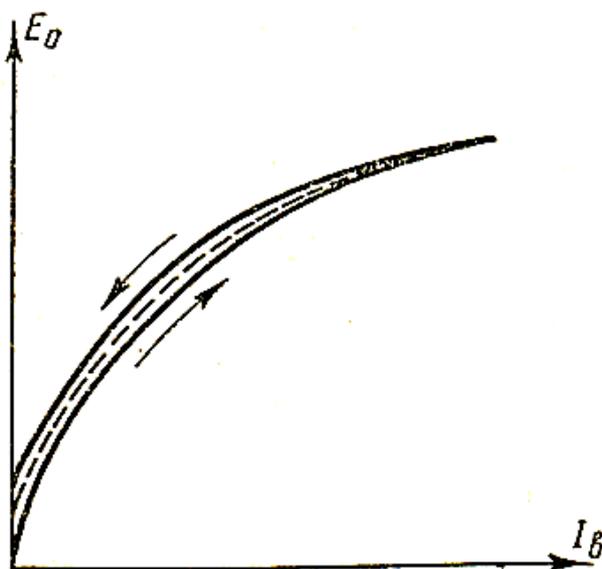
Восемь катушек, размещенных на якоре, при сложении их мгновенных ЭДС дадут, как показано на рис. 89 б, суммарную ЭДС $e_{\text{общ}}$, пульсации которой будут еще меньше, чем в предыдущем случае. Таким образом, размещая на якоре большое число проводников, увеличивая соответственно число коллекторных пластин, можно получить от генератора ЭДС, пульсации которой станут так незначительны, что ток, практически можно считать постоянным. Так, например, уже при 16 катушках на якоре колебания ЭДС будут менее одного процента. В современных машинах число катушек на якоре бывает свыше ста.

Итак, коллектор в генераторах постоянного тока служит для преобразования переменной ЭДС, индуктируемой в обмотке якоря, в постоянную ЭДС на щетках генератора.

Схема генератора этого типа дана на рис. 90 а. Ток возбуждения, подаваемый от постороннего источника напряжения, не зависит от условий работы самого генератора. Реостат в цепи возбуждения позволяет менять величину тока возбуждения, что приводит к изменению магнитного потока машины, а это, в свою очередь, ведет к изменению ЭДС или напряжения генератора.



а



б

Рис. 90.

Обмотка возбуждения состоит из большого числа витков медной изолированной проволоки. При постоянном числе оборотов якоря и отсутствии нагрузки генератора (холостом ходе) ЭДС машины зависит только от тока возбуждения. Изменяя сопротивление цепи возбуждения, замечая показания амперметра в цепи возбуждения и вольтметра, подключенного к щеткам генератора, можно установить зависимость между ЭДС генератора и током возбуждения при холостом ходе (рис. 90).

При первом намагничивании генератора и при отсутствии тока возбуждения ($i_B=0$) вольтметр машины покажет нуль при любом числе оборотов якоря. Увеличение тока возбуждения будет сопровождаться вначале пропорциональным увеличением ЭДС генератора. Соответствующая часть характеристики холостого хода будет прямолинейна. Но дальнейшее увеличение тока возбуждения вызовет магнитное насыщение машины, отчего кривая приобретает изгиб. Если теперь уменьшать ток возбуждения, то можно заметить, что при тех же самых значениях тока возбуждения ЭДС генератора будет иметь большие значения, чем при намагничивании, и кривая размагничивания пройдет несколько выше, чем кривая намагничивания. Это объясняется явлением гистерезиса. При уменьшении тока возбуждения до нуля генератор за счет остаточного магнетизма будет иметь некоторую ЭДС.

Большое практическое значение имеет внешняя характеристика при неизменных n и I_B , т.е.: $U = f(I)$.

Снятие внешней характеристики имеет целью определить изменения напряжения, происходящие в генераторе в результате изменения нагрузки.

Уменьшение напряжения на зажимах генератора с увеличением нагрузки вызывается увеличением реакции якоря и увеличением падения напряжения в сопротивлении обмотки якоря, так как

$$U = E - I_a r_a.$$

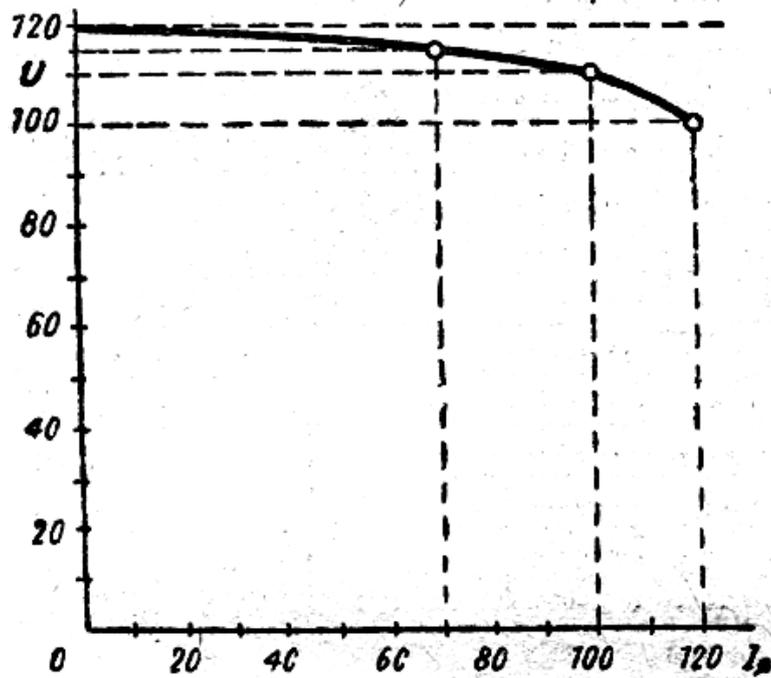


Рис. 91.

Напряжение на зажимах генератора можно поддерживать постоянным при изменении нагрузки путем регулирования тока возбуждения при помощи регулировочного реостата.

Ход работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими данными генератора и записать его данные.
2. Собрать схему и после проверки ее руководителем произвести пробный пуск агрегата.
3. Снять характеристику холостого хода генератора
 $E_0 = f(I_g)$, при $I = 0$ и $n = n_{\text{ном}}$.
4. По данным опыта, сведенным в Таблицу 35, построить характеристику холостого хода генератора.
5. Снять нагрузочную характеристику генератора.

$$U = f(I_a), \text{ при } I = I_{\text{ном}} \text{ и } n = n_{\text{ном}}.$$

Таблица 36

№ наблюдений	I_g	U	I
	A	B	A
1			
2			
3			
4			

6. По данным опыта, сведенным в Таблицу 36, построить нагрузочную характеристику.

7. Снять внешнюю характеристику генератора.

$$U = f(I), \text{ при } I_g = \text{const} = n_{\text{ном}}.$$

Таблица 37

№ наблюдений	U	I	I_g
	B	A	A
1			
2			
3			
4			

8. По данным опыта, сведенным в Таблицу 37, построить внешнюю характеристику генератора.

9. Снять регулировочную характеристику генератора.

$$I_g = f(I), \text{ при } U = U_{\text{ном}} \text{ и } n = n_{\text{ном}}.$$

Таблица 38

№ наблюдений	I_g	I	U
	A	A	B
1			
2			

3			
4			

10. По данным опыта, сведенным в Таблицу 38, построить регулировочную характеристику генератора.

Контрольные вопросы

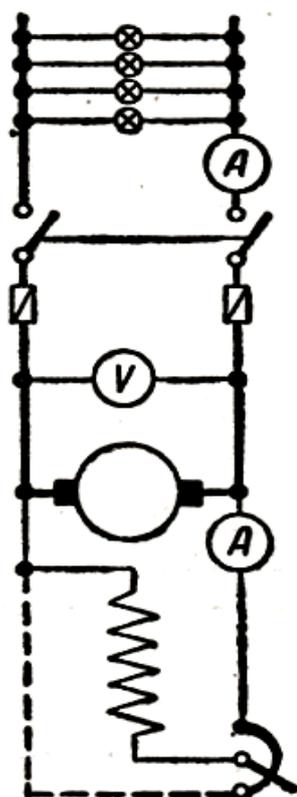
1. Почему точка N должна лежать на перегибе кривой и как определяется ее положение?
2. Почему нагрузочная характеристика располагается ниже характеристики холостого хода?
3. Объяснить ход характеристики внешней и регулировочной.

Лабораторная работа №22. «Испытание двигателя постоянного тока параллельного возбуждения»

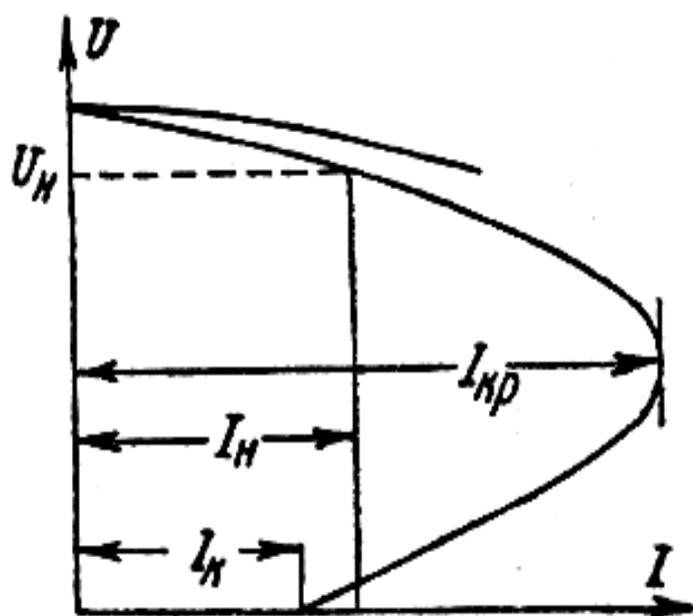
- Цель работы:**
1. Снять рабочие характеристики двигателя.
 2. Снять механические характеристики двигателя.
 3. Снять регулировочные характеристики двигателя.

Теоретический материал

На рис. 93 а дана схема соединения генератора с параллельным возбуждением. Обмотка возбуждения параллельно включена обмотке якоря.



а



б

Рис. 93.

Ток, проходящий по обмотке якоря I_a , во время работы генератора от положительной щетки растекается по двум параллельным ветвям: внешней цепи и обмотке возбуждения. Ток цепи I и ток возбуждения i , притекая к отрицательной щетке, в сумме своей равны току якоря.

$$I_{\text{я}} = I + i_{\text{в}}.$$

Полезная мощность генератора характеризуется величиной тока, отдаваемого генератором во внешнюю цепь. Поэтому ток возбуждения должен быть по возможности малым. Обычно ток возбуждения составляет 2-5% от номинального тока якоря. Поэтому обмотка возбуждения изготавливается из большого числа витков тонкой медной проволоки.

При нагрузке генератора с параллельным возбуждением напряжение на выходе меняется в зависимости от тока нагрузки по трем причинам:

- 1) вследствие падения напряжения в обмотке якоря;
- 2) вследствие уменьшения магнитного потока, вызванного действием реакции якоря;

- 3) под действием первых двух причин напряжение генератора уменьшается. Ток возбуждения при постоянном сопротивлении цепи пропорционален напряжению на щетках генератора. Поэтому с уменьшением напряжения на якоре ток возбуждения также уменьшается, что приводит к уменьшению магнитного потока полюсов, а это в свою очередь, вызывает дополнительное уменьшение ЭДС и напряжения на зажимах генератора.

Этого не было у генератора с независимым возбуждением, так как обмотка возбуждения питалась от независимого источника постоянного напряжения.

Внешняя характеристика генератора $U = f(I)$ изображена на рис. 93 б. Верхняя кривая представляет внешнюю характеристику генератора с независимым возбуждением. При работе генератора с параллельным возбуждением понижение напряжения будет больше, чем в случае независимого возбуждения, т.к. напряжение снижается как из-за реакции якоря и увеличения падения напряжения в сопротивлении якоря, так и вследствие уменьшения тока возбуждения.

Влияние последнего фактора особенно резко проявляется при больших нагрузках, т.е. при малых внешних сопротивлениях.

При уменьшении внешнего сопротивления до некоторого определенного значения дальнейшее его снижение влечет за собой уже не увеличение тока нагрузки, а его уменьшение.

Наибольший возможный ток генератора с параллельным возбуждением называется критическим током.

Если при критическом токе уменьшить сопротивление внешней цепи, то в первый момент ток в якоре возрастает, это вызовет возрастание реакции якоря и падения напряжения в его сопротивлении и, следовательно, понижение напряжения на его зажимах, которое еще больше уменьшится вследствие обусловленного им уменьшения тока возбуждения.

В результате установится режим работы, при котором напряжение снижается в большей степени, чем уменьшается внешнее сопротивление, что приводит к уменьшению нагрузочного тока.

В частности, когда сопротивление внешней цепи равно нулю, т.е. при коротком замыкании, ток возбуждения равен, очевидно, также нулю.

Следовательно, ток короткого замыкания генератора обуславливается только остаточным магнетизмом машины и для нее не опасен.

Схема генератора с последовательным возбуждением дана на рис. 94 а. Как видно из схемы, обмотка возбуждения соединена последовательно с обмоткой якоря. Внешняя характеристика генератора изображена на рис. 94 б. Ток в якоре и обмотке возбуждения, включенных последовательно, один и тот же, благодаря чему с ростом нагрузки растут как ЭДС, так и напряжение генератора.

Однако напряжение будет увеличиваться до известного предела. При больших нагрузках как из-за насыщения магнитной системы машины, так и вследствие реакции якоря рост ЭДС почти прекращается, в то время как падение напряжения в якоре становится все больше и больше. Поэтому при дальнейшем увеличении нагрузочного тока напряжение снова уменьшается. Внешняя характеристика генератора с последовательным возбуждением

показывает, что с изменением тока нагрузки напряжение машины резко изменяется. Поэтому генераторы этого типа на практике применяются редко.

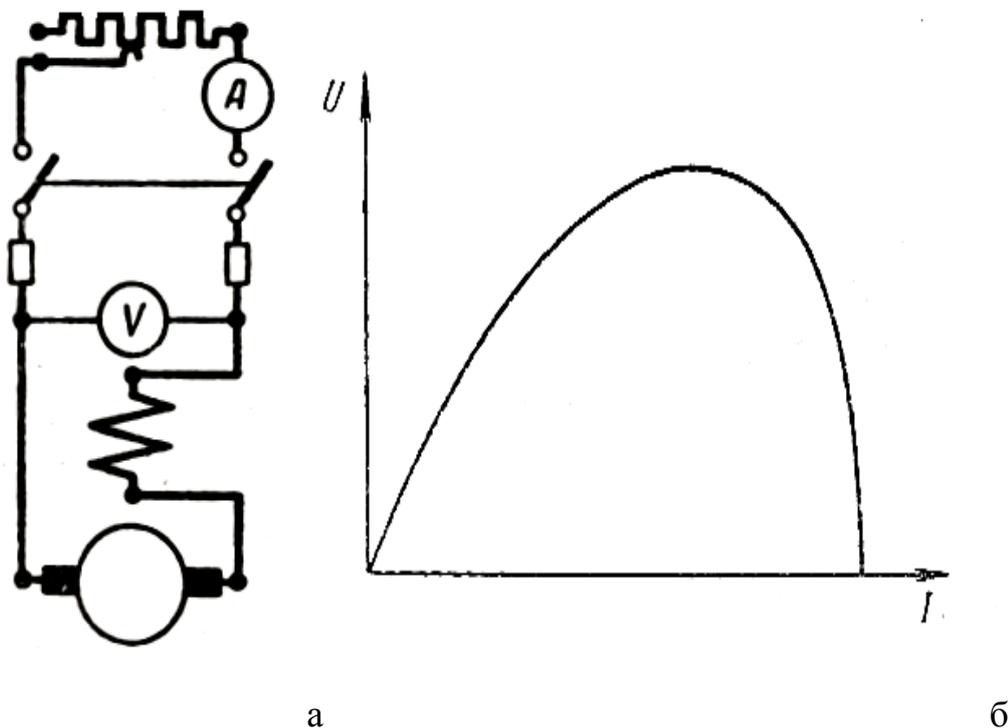


Рис. 94.

Ход работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими данными двигателя ($I_{\text{ном}}, U_{\text{ном}}, P_{\text{ном}}, n_{\text{ном}}, \eta_{\text{ном}}$) и записать их.
2. Собрать схему и после проверки ее руководителем пустить двигатель в ход и ознакомиться со способами регулирования частоты вращения и изменения направления вращения.
3. Снять рабочие характеристики двигателя $P_1, P_2, n, I, \eta=f(M_2)$, при $U=U_{\text{ном}}$ и $I_{\text{в}} = I_{\text{в ном}}$.
4. Результаты опыта и расчета занести в Таблицу 39.
5. По данным Таблицы 39 построить рабочие характеристики двигателя.
 $P_1, P_2, n, I, \eta=f(M_2)$.

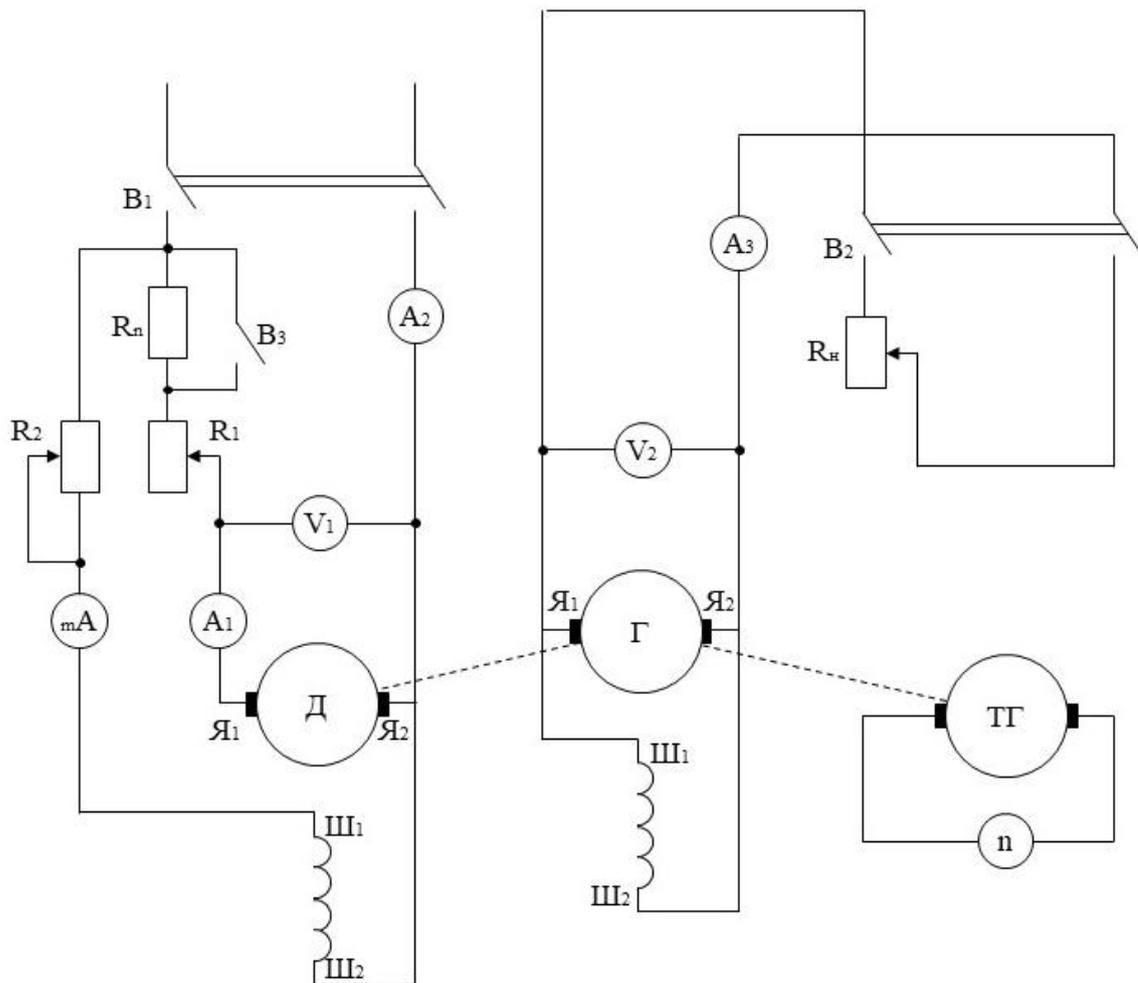


Рис. 95.

Таблица 39

№ наблюдений	Данные опыта					Данные расчета					
	Двигатель			Генератор		P_r	η_r	P_2	M_2	P_1	$\eta\%$
	U	I	n	U_r	I_r						
	В	А	$\frac{\text{об}}{\text{МИН}}$	В	А	кВт	кВт	Нм	кВт		
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											

6. Снять механические характеристики двигателя.

$$M_2 = f(n), \text{ при } U=U_{\text{ном}}; I_{\text{в}}=I_{\text{вном}}; R_1=\text{const}$$

7. Результаты опыта и расчета занести в Таблицу 40.

Таблица 40

№ наблюдений	Данные опыта							Данные расчета					Примечание
	Двигатель					Генератор		P_r	η_r	P_2	M_2	P_1	
	U	I	$I_{\text{в}}$	I_a	n	U_r	I_r						
	В	А	А	А	$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	В	А	кВт	-	кВт	Нм	кВт	
1.													R ₁ =0
2.													
3.													
4.													
5.													
1.													R ₁ ≠0
2.													
3.													
4.													
5.													

8. По данным Таблицы 40 построить механические характеристики двигателя $M_2 = f(n)$ (на одном графике).

9. Снять регулировочные характеристики двигателя:

а) зависимость частоты вращения от тока возбуждения

$$n = f(I_{\text{в}}), \text{ при } U=U_{\text{ном}} \text{ и } M_2=\text{const.}$$

Выполнить два опыта при $M_2=0$ (холостой ход), и $M_2=M_{2\text{ном}}$.

Результаты опыта занести в Таблицу 41.

Таблица 41

№ наблюдений	$M_2=0$		$M_2= M_{2\text{ном}}$	
	$I_{\text{в}}$	n	$I_{\text{в}}$	N
	А	об/мин	А	об/мин

1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

По данным Таблицы 41 построить характеристику $n = f(I\epsilon)$ (на одном графике).

б) зависимость частоты вращения от изменения напряжения на зажимах якоря.

$$n = f(U_a) \text{ при } I\epsilon = I\epsilon_{\text{ном}}$$

Результаты опыта занести в Таблицу 42.

Таблица 42

№ наблюдений	U_a	n
	В	об/мин
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

По данным Таблицы 42 построить характеристику $n = f(U_a)$.

Мощность, потребляемая двигателем

$$P_1 = IU10^{-3} \text{ кВт.}$$

Вращающий момент на валу двигателя

$$M_2 = \frac{9550P_2}{n} \text{ Нм, где } n \text{ - частота вращения двигателя, об/мин.}$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Контрольные вопросы

1. Как регулируется частота вращения двигателя с параллельным возбуждением?
2. Какие факторы влияют на изменение частоты вращения двигателя при изменении полезной мощности P_2 ?
3. Произвести сравнение способов регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока.
4. Какая механическая характеристика является естественной, а какая искусственной?

Лабораторная работа №23. «Изучение рабочих и скоростных характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения»

- Цель работы:** 1. Снять рабочие характеристики двигателя.
2. Снять характеристики скорости вращения двигателя.

Теоретический материал

Если машину постоянного тока подключить к источнику напряжения, то она начнет работать электрическим двигателем, т.е. превращать электрическую энергию в энергию механическую. Это свойство электрических машин работать как в качестве генератора, так и в качестве двигателя называется *обратимостью*.

Несмотря на то, что существуют более простые по устройству и удобные в эксплуатации двигатели переменного тока, большое применение на практике имеют и двигатели постоянного тока. Основное преимущество этих двигателей – широкая регулировка оборотов – дает возможность применять двигатели постоянного тока на электрифицированном транспорте, в грузоподъемных механизмах, горной технике, в различных схемах автоматического регулирования и управления и т.д. Так тяговые двигатели трамваев имеют мощности до 60 кВт, напряжение до 550 В, скорости 560-700 об/мин. В электровозах применяются двигатели до 450 кВт, 750 В. Для привода прокатных станов используются двигатели постоянного тока мощностью до 5000 кВт.

Устройство электрических двигателей такое же, как у генераторов. Принцип действия основан на взаимодействии тока, протекающего в обмотке якоря, и магнитного поля, создаваемого полюсами электромагнитов (рис. 96 а).

Вращающий момент двигателя

$$M_{вр} = kI_{я}\Phi,$$

где k – коэффициент пропорциональности, $I_{я}$ – ток якоря, Φ – магнитный поток.

При постоянной скорости вращения момент, развиваемый двигателем, равен тормозящему моменту, приложенному к валу двигателя:

$$M_{вр} = M_{торм}.$$

Мощность, потребляемая двигателем от сети, больше мощности на валу на величину потерь на трение в подшипниках, щеток о коллектор, якоря о воздух, потерь в железе на вихревые токи и гистерезис, потерь мощности на нагрев обмоток. КПД электрического двигателя с изменением нагрузки так же изменяется.

Перемена направления вращения может быть произведена путем изменения направления тока либо в обмотке якоря, либо в обмотке полюсов. Двигатель, у которого одновременно изменено направление тока, как в обмотке якоря, так и в обмотке полюсов, будет вращаться в ту же сторону, что и прежде. При вращении якоря электродвигателя его обмотка пересекает магнитное поле. Поэтому в ней по закону электромагнитной индукции возникает ЭДС индукции. Как видно из рис. 96 б, направление ЭДС, индуцируемой в проводнике, определяемое по правилу правой руки, будет противоположно напряжению сети, откуда она и получила название противоэдс.

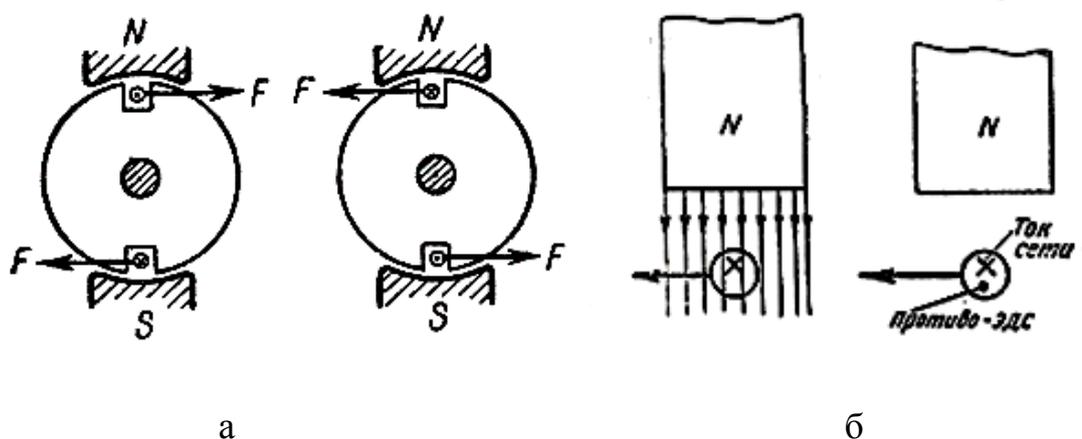


Рис. 96.

Ток в обмотке якоря при работе двигателя:

$$I_{\text{я}} = \frac{U-E}{r_{\text{я}}},$$

где U – напряжение сети, E – величина противоэдс, $r_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки якоря.

Величина противоэдс

$$E = c n \Phi,$$

где c – коэффициент пропорциональности, n – число оборотов двигателя, Φ – величина магнитного потока.

Из этого соотношения следует

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_{\text{я}}r_{\text{я}}}{c\Phi}.$$

Так как $I_{\text{я}}r_{\text{я}}$ очень мало (вследствие малого сопротивления обмотки), то приближенно можно записать:

$$n = \frac{U}{c\Phi}.$$

Из последнего выражения видно, что число оборотов двигателя постоянного тока пропорционально приложенному напряжению и обратно пропорционально магнитному потоку.

Изменяя напряжение, подводимое к двигателю, а также изменяя ток возбуждения при помощи регулировочного реостата, включенного в цепь возбуждения, можно изменять число оборотов двигателя.

Двигатель с параллельным возбуждением. На рис. 97 а представлена схема двигателя с параллельным возбуждением. Так как обмотка возбуждения включена параллельно в сеть, то при постоянном сопротивлении цепи возбуждения и напряжении сети магнитный поток Φ двигателя должен быть постоянным.

Число оборотов двигателя постоянного тока зависят только от величин напряжения сети и магнитного потока, и поскольку оба они постоянны, то и число оборотов двигателя с параллельным возбуждением не должно изменяться с изменением нагрузки.

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{(U - I_{\text{я}}r_{\text{я}})}{c\Phi}.$$

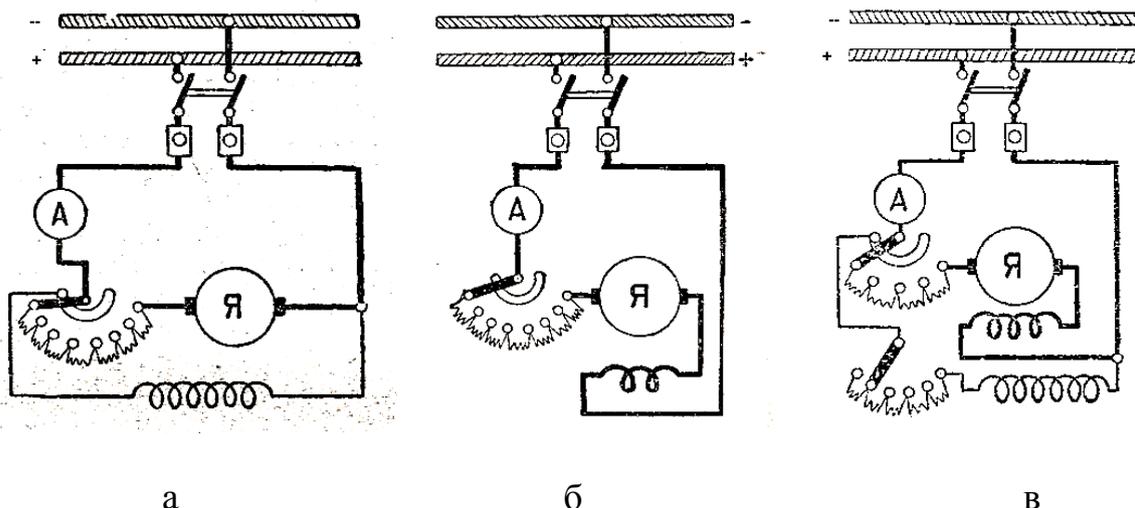


Рис. 97.

Однако из формулы видно, что величина противоэдс двигателя уменьшается с увеличением тока якоря, отчего число оборотов также уменьшается. Кроме того, с увеличением нагрузки реакция якоря ослабляет магнитный поток, что приводит к некоторому увеличению числа оборотов. На практике падение напряжения в обмотке якоря подбирают таким, чтобы его влияние на скорость двигателя было скомпенсировано реакцией якоря. Отсюда характерным свойством двигателя с параллельным возбуждением является практически неизменная скорость вращения при различных нагрузках на его валу.

Регулирование скорости вращения ротора в двигателях обычно производится путем изменения магнитного потока с помощью регулировочного реостата в цепи возбуждения.

Двигатели с параллельным возбуждением применяются в сетях постоянного тока для привода станков, насосов, вентиляторов, ткацких машин, прокатных станов, в шахтных подъемниках, требующих постоянной скорости вращения или широкой регулировки скорости.

Двигатель с последовательным возбуждением. Схема двигателя с последовательным возбуждением показана на рис. 97 б.

У двигателей этого типа обмотки якоря и возбуждения соединены последовательно. Поэтому ток, протекающий по обеим обмоткам двигателя, будет одинаковым.

Так как при малых насыщениях стали магнитопровода двигателя магнитный поток пропорционален току якоря

$$\Phi = \kappa I_{\text{я}}, \quad (10-10)$$

то вращающий момент двигателя

$$M_{\text{вр}} = \kappa_1 I_{\text{я}} \Phi \quad (10-11)$$

можно считать пропорциональным квадрату тока якоря

$$M_{\text{вр}} = \kappa_2 I_{\text{я}}^2.$$

Квадратичная зависимость момента вращения от тока в обмотке якоря позволяет двигателю с последовательным возбуждением резко увеличивать с нагрузкой свой момент вращения. Это особенно ценно при пуске двигателя в ход, когда он должен быстро преодолеть инерцию нагрузки на его валу.

У двигателя с параллельным возбуждением момент вращения пропорционален первой степени тока. Поэтому при одинаковом пусковом токе и при прочих равных условиях двигатель с последовательным возбуждением разовьет больший вращающий момент, чем двигатель с параллельным возбуждением.

Число оборотов двигателя с последовательным возбуждением с нагрузкой резко меняется, так как вместе с изменением тока якоря меняется магнитный поток полюсов.

Из формулы $n = \frac{(U - I_{\text{я}} r_{\text{я}})}{c\Phi}$ видно, что при постоянном напряжении сети число оборотов двигателя обратно пропорционально величине магнитного потока. Поэтому нагруженный двигатель, потребляющий из сети большой ток, имеет значительный магнитный поток и небольшое число оборотов. При уменьшении нагрузки на валу ток якоря уменьшается, магнитный поток также уменьшается и число оборотов двигателя увеличивается.

Поэтому если нагрузку на валу двигателя с последовательным возбуждением сильно уменьшить или снять полностью, ток якоря и поток Φ сильно уменьшается и, как видно из последней формулы, число оборотов двигателя возрастает до недопустимо большой величины, опасной для механической прочности двигателя. В результате работа двигателя с последовательным возбуждением холостую или при малой нагрузке недопустима, так как ему грозит «разнос» от чрезмерного увеличения скорости вращения. Двигатели этого типа нельзя соединять с тем или иным механизмом при помощи ремня, так как обрыв или соскакивание ремня приведет к разгрузке и «разносу» двигателя.

Двигатели с последовательным возбуждением применяются в качестве тяговых двигателей электровозов, поездов метрополитена, трамваев, электрических подъемных кранов и т.д.

Двигатель со смешанным возбуждением. Схема двигателя со смешанным возбуждением представлена на рис. 97 в. Наличие на полюсах двигателя двух обмоток позволяет использовать преимущества двигателей параллельного и последовательного возбуждения. Этими преимуществами являются постоянство скорости вращения и большой вращающий момент при пуске двигателя.

Благодаря присутствию параллельной обмотки двигатель не может пойти в «разнос» при малой нагрузке или отсутствии ее. Обмотки возбуждения могут быть включены так, чтобы их магнитные потоки совпадали по направлению (согласное включение), или так, чтобы потоки были противоположны (встречное включение). При согласном включении обмоток двигатель будет приближаться по свойствам к двигателю с параллельным или последовательным возбуждением, в зависимости от того, какая из обмоток будет иметь большее число ампер-витков. При нагрузке двигателя со встречным включением обмоток магнитный поток последовательной обмотки, увеличиваясь, уменьшает общий магнитный

поток двигателя, а число оборотов двигателя увеличивается до нормальной величины.

Регулировка числа оборотов двигателя со смешанным возбуждением выполняется реостатом в цепи параллельной обмотки возбуждения.

Двигатели со смешанным возбуждением нашли широкое применение в механизмах с резкой переменной нагрузкой, временно падающей до нуля.

Ход работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими данными двигателя $I_{ном}$, $P_{ном}$, $\eta_{ном}$, $n_{ном}$ и записать их.

2. Собрать схему. После проверки схемы руководителем включить двигатель в сеть и опробовать его в работе: произвести пуск, реверсирование, регулирование частоты вращения двигателя пусковым реостатом, проверить возможность нагрузки двигателя.

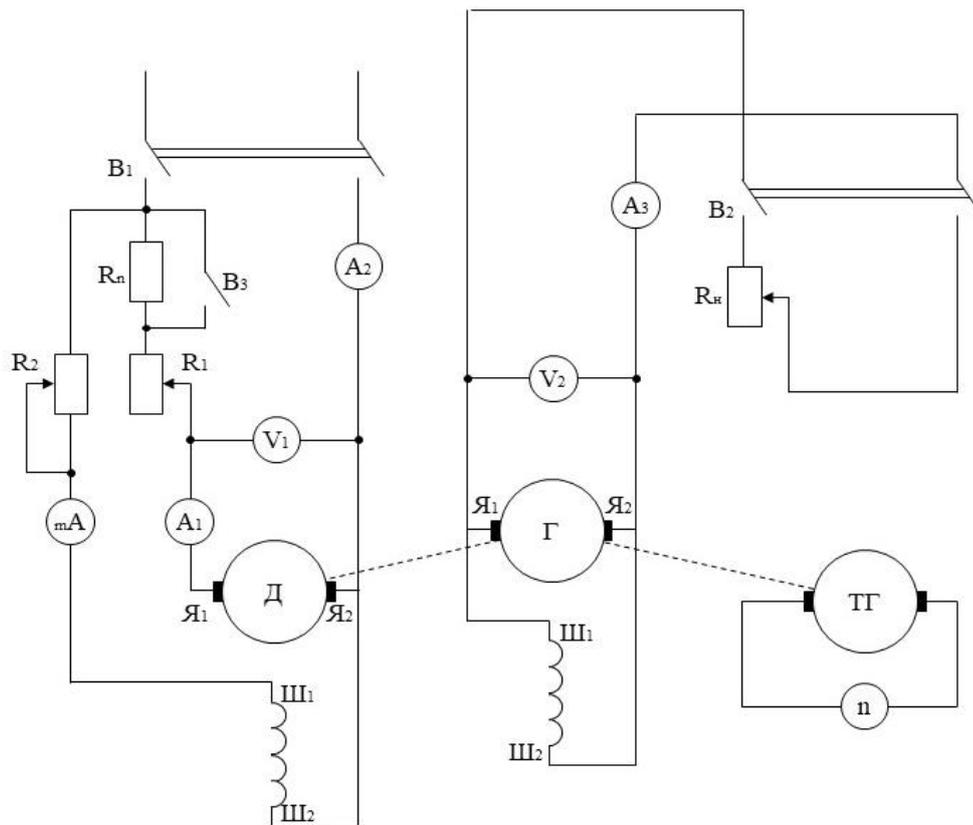


Рис. 98.

3. Снять рабочие характеристики двигателя: n , M_2 , P_1 , p_2 , $\eta=f(I)$, при $U=U_{ном}$, изменяя момент сопротивления на валу двигателя и мощность его

нагрузки путем изменения мощности P_r генератора в 5 точках, записать данные наблюдений и вычислений в Таблицу 43.

Таблица 43

№ наблюдений	Данные опыта					Данные расчета					
	Двигатель			Генератор		η_r	P_r	P_2	M_2	P_1	η
	I_A	U	n	I_r	U_r						
	А	В	об/мин	А	В	-	кВт	кВт	Нм	кВт	-
1						0,8					
2						0,8					
3						0,8					
4						0,8					
5						0,8					

По данным Таблицы 43 построить в масштабе рабочие характеристики n , M_2 , P_1 , P_2 , и $\eta=f(I)$ двигателя последовательного возбуждения.

4. Снять характеристики скорости движения двигателя $I(M_2)$:

- естественную;
- при включенном реостате $R_{шв}$ параллельно обмотке возбуждения;
- при включенном реостате $R_{ша}$ параллельно обмотке якоря;
- при включенном в цепь якоря регулировочном реостате $R_{рг}$.

Изменяя момент сопротивления на валу двигателя и мощность его нагрузки путем изменения мощности P_r генератора в 5 точках для каждой характеристики скорости, записать данные наблюдений и вычислений в Таблицу 44.

Таблица 44

№ наблюдений	Данные наблюдений								Вычисления				Примечание	
	Двигатель						Генератор		η	P	P_2	M_2		
	I	I_a	$I_{ша}$	I_b	$I_{шв}$	U	n	I_r						U_r
	А	А	А	А	А	В	об/мин	А	В	-	кВт	кВт		Нм
1.														нная характер истика
2.														

Контрольные вопросы

1. Какое назначение имеет пусковой реостат в цепи якоря двигателя?
2. Как изменяется частота вращения двигателя параллельного, последовательного и смешанного возбуждения при увеличении нагрузки?
3. Какими способами можно регулировать частоту вращения двигателя?
4. Почему для двигателя с последовательным возбуждением недопустима работа без нагрузки?
5. Каковы достоинства и недостатки двигателя с последовательным возбуждением?

Лабораторная работа №24. «Изучение работы трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки»

Цель работы: Снять рабочие характеристики асинхронного двигателя.

Теоретический материал

Трехфазный асинхронный двигатель состоит из неподвижной части – *статора* и вращающейся части – *ротора*.

Основными частями асинхронного двигателя являются (рис. 99 б) статор 1 с рабочей обмоткой, ротор 2 с лопастями вентилятора 3 и два подшипниковых щита 4.

Статор. Скорость вращения магнитного поля. Частями статора являются магнитопровод и корпус. Магнитопровод собран из изолированных фигурных листов электротехнической стали толщиной порядка 0,3мм.

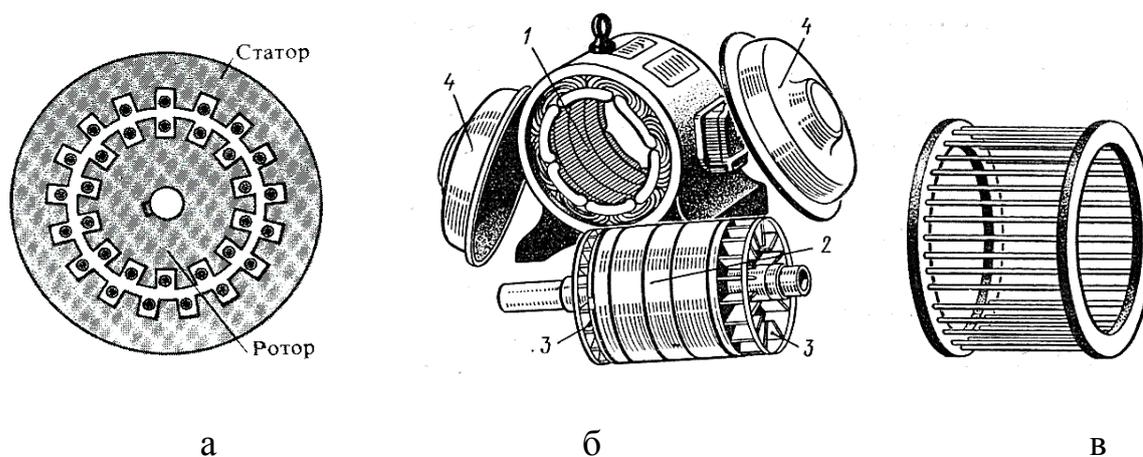


Рис. 99.

С внутренней стороны полый цилиндр сердечника статора снабжен пазами (углублениями), в которые закладывается трехфазная статорная обмотка. Число катушек, образующих обмотку, должно быть кратно трем (3, 6, 9, 12 и т.д.).

Пусть трехфазная обмотка двигателя размещена в шести пазах на внутренней поверхности статора. Изменения тока в каждой катушке представлены на рис. 100 а.

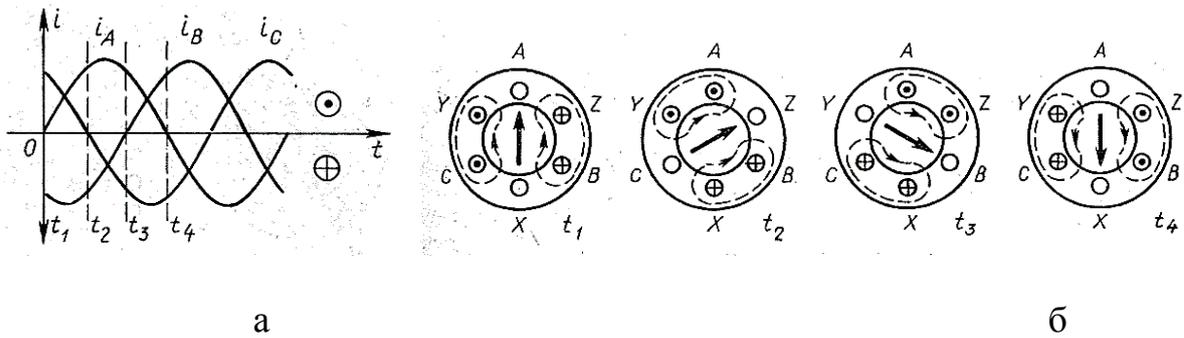


Рис. 100.

Выберем четыре произвольных момента времени: t_1, t_2, t_3, t_4 . Для каждого из этих моментов последовательно изобразим результирующие магнитные потоки внутри статора трехфазной машины, условно имеющей три обмотки, состоящие каждая из одного витка (рис. 100 б). Обозначим начала обмоток буквами А, В и С, а концы – соответственно X, Y, Z. Ток в начале обмотки будем считать направленным к нам, если его значение положительно. Для момента времени t_1 имеем: обмотка А-Х магнитного потока не создает ток ($i_A = 0$); в начале обмотки В ток направлен от нас ($i_B < 0$), а в ее конце Y – к нам; в начале обмотки С ток направлен к нам ($i_C > 0$), а в ее конце Z – от нас. Таким образом, в двух расположенных рядом проводниках С и Y, перпендикулярных к плоскости чертежа, токи направлены одинаково в момент t_1 и создают магнитный поток, направленный по правилу буравчика против часовой стрелки, а токи в проводниках В и Z создают поток, направленный по часовой стрелке. Оба потока внутри статора машины имеют одинаковое направление (вверх). Направление оси общего магнитного потока отметим стрелкой.

Рассматривая таким образом положение магнитного потока для каждого из указанных моментов, приходим к выводу, что направление магнитного потока изменяется на 180° за полпериода. Легко убедиться, что за период ось магнитного потока сделает один оборот, и очевидно, что скорость вращения ее пропорциональна частоте тока.

Мы рассмотрели положение магнитных потоков для фиксированных моментов времени, но ток изменяется непрерывно. Отсюда можно предположить, что магнитный поток поворачивается не скачками, а непрерывно с постоянной скоростью.

Скорость вращения магнитного потока можно представить так:

$$n_1 = 60 \cdot 1/T = 60\nu = 3000 \text{ об/мин.}$$

В этом случае обмотка статора создает магнитное поле с одной парой полюсов. Такая обмотка называется двухполюсной.

Если обмотка статора состоит из шести катушек (по две последовательно соединенных катушек на фазу), уложенные в двенадцати пазах, то ось магнитного потока за полпериода повернется на четверть оборота, а за полный период – на поворот. Поле статора теперь имеет четыре полюса (две пары полюсов). Скорость вращения магнитного поля статора в этом случае равна

$$n_1 = 60 \cdot 0,5/T = 60\nu/2 = 1500 \text{ об/мин.}$$

Увеличивая число пазов и обмоток можно сделать вывод, что скорость вращения магнитного поля в общем случае при (р) парах полюсов равна

$$n = 60\nu/p \text{ об/мин.}$$

Так как число пар полюсов может быть только целым, то скорость вращения магнитного поля может иметь не произвольные, а вполне определенные значения (Таблица 45).

Таблица 45

$2 p$	2	4	6	8	10	12	16	24	48
n	3000	1500	1000	750	600	500	428	375	125

Короткозамкнутый ротор. Ротор представляет собой укрепленный на валу цилиндр, собранный так же, как и статор, из листов электротехнической стали. В большинстве случаев ротор имеет короткозамкнутую обмотку,

выполненную из алюминиевых или медных стержней. Торцевые концы стержней замыкаются накоротко кольцами, отлитыми одновременно из того же материала. Такая обмотка, имеющая вид цилиндрической клетки (беличье колесо), показана на рис. 99 в.

Фазный ротор. Фазный ротор отличается от короткозамкнутого тем, что его обмотка выполнена по типу обмотки статора, соединена обычно звездой, начала выведены и соединены с контактными кольцами (рис. 101).

Три кольца укреплены на валу двигателя, изолированы одно от другого и от вала. На кольца наложены контактные щетки, через которые обмотку ротора можно присоединить к реостату с целью улучшения условий пуска двигателя.

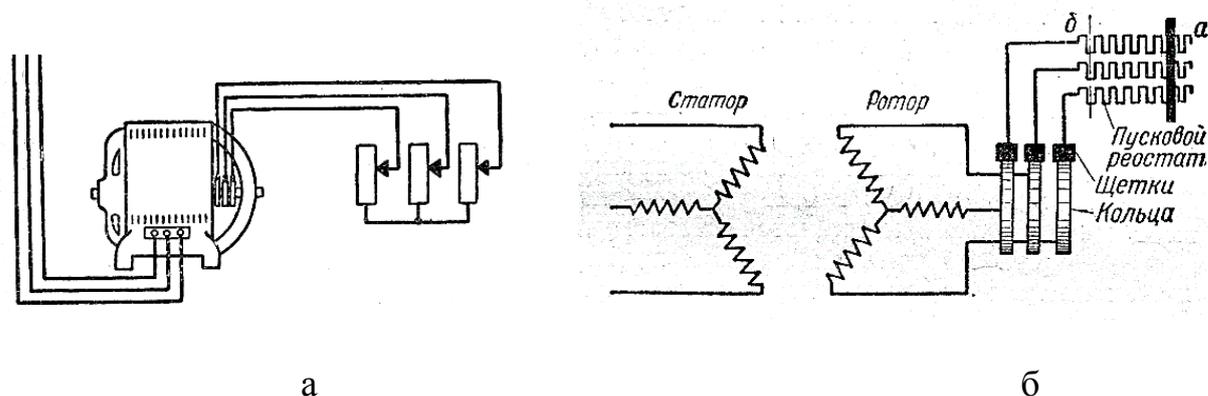


Рис. 101. Схема асинхронного двигателя с фазным ротором

В асинхронных двигателях вращающееся магнитное поле создается трехфазной обмоткой статора при включении ее в сеть трехфазного переменного тока (рис. 102 а).

Вращающееся магнитное поле статора пересекает проводник обмотки ротора и индуцирует в ней ЭДС (рис. 102 б). Если обмотка замкнута, то в ней под действием индуцируемой ЭДС начинает протекать ток.

В результате взаимодействия тока в роторной обмотке с вращающимся магнитным полем статорной обмоток создается вращающий момент, под действием которого ротор начинает вращаться.

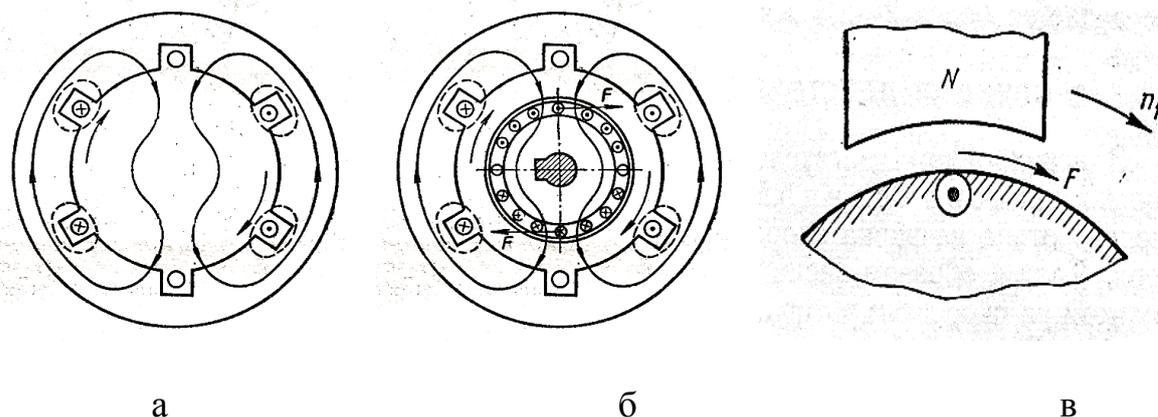


Рис. 102. Принцип действия асинхронного двигателя

На рис. 102 в выделена часть окружности ротора, на которой находится один проводник его обмотки.

Поле статора представлено северным полюсом N , который вращается в пространстве и вокруг ротора с числом оборотов n_1 в минуту по часовой стрелке. Следовательно, полюс N перемещается относительно проводника обмотки ротора слева направо, в результате чего в этом проводнике создается ЭДС, которая согласно правилу правой руки, будет направлена от доски к студенту (знак – точка). Если обмотка ротора замкнута, то под действием ЭДС по этой обмотке будет протекать ток, направленный в проводнике к нам.

В результате взаимодействия тока в проводнике обмотки ротора с магнитным полем статора возникает электромагнитная сила F , которая будет перемещать проводник в направлении, определяемом по правилу левой руки, т.е. слева направо. Вместе с проводником начинает перемещаться ротор.

Если силу F , действующую на проводник обмотки ротора, умножим на расстояние этого проводника от оси ротора (плечо силы), то получим вращающий момент, развиваемый током этого проводника. Так как на роторе размещается большое количество проводников, то сумма произведений сил, действующих на каждый из проводников на плечо, определяет суммарный вращающий момент, развиваемый двигателем. Под действием этого момента

ротор приходит в движение – начнет вращаться по направлению вращения магнитного поля. Причем скорость вращения ротора

$$n_2 \neq n_1.$$

В рабочем режиме ротор двигателя вращается с числом оборотов в минуту n_2 , меньшим числа оборотов вращающегося магнитного поля статора n_1 , причем магнитное поле и ротор вращаются в одном направлении.

Степень отставания ротора от вращающегося магнитного поля характеризуется *скольжением* S . Причем величина

$$S = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}.$$

Если ротор неподвижен ($n_2 = 0$), то скольжение равно единице $S = 1$.

Если ротор вращается синхронно с магнитным полем, т.е. с одинаковой скоростью ($n_2 = n_1$), то скольжение равно нулю $S = 0$.

Таким образом, чем больше скорость ротора, тем меньше скольжение.

В рабочем режиме асинхронного двигателя скольжение обычно составляет 3-5%, т.е. ротор вращается с числом оборотов, очень мало отличающимся от числа оборотов магнитного поля статора.

Например, при $n_1 = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ и скольжении $S = 0,05$ величина $n_2 = n_1(1 - S) = 2850 \text{ об/мин}$.

Двигатель будет работать устойчиво с постоянной скоростью ротора при равновесии моментов, т.е. если вращающий момент двигателя $M_{\text{вр}}$ будет равен тормозящему моменту на валу двигателя $M_{\text{торм}}$, который развивает, например, резец токарного станка. Следовательно, можно записать следующее равенство:

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{торм}}.$$

Если нагрузка на валу машины увеличилась, т.е. увеличился тормозящий момент, то вышеприведенное равенство нарушается. Это приводит к уменьшению числа оборотов ротора n_2 , т.е. увеличению скольжения. При этом ЭДС, индуцированная в обмотке ротора возрастает,

а, следовательно, увеличивается ток в роторе, и увеличивается вращающий момент двигателя. Увеличение скольжения и тока в роторе будет происходить до тех пор, пока не восстановится равновесие моментов на валу двигателя.

То же самое происходит при уменьшении нагрузки двигателя, но уже в обратном направлении. В этом проявляется явление саморегулирования, что наблюдается и в трансформаторе.

Работа асинхронного двигателя принципиально подобна работе трансформатора. При увеличении нагрузки на валу асинхронного двигателя увеличивается скольжение и ток в роторе, а, следовательно, увеличивается ток в обмотке статора. В трансформаторе происходит то же при увеличении тока во вторичной обмотке. Разница между асинхронной машиной и трансформатором лишь конструктивная: у асинхронного двигателя имеется вращающаяся часть, чего нет в трансформаторе.

Ход работы:

1. Ознакомиться с установкой и записать технические данные машины: $I_{\text{ном}}$, $U_{\text{ном}}$, $P_{\text{ном}}$, $\eta_{\text{ном}}$, $\cos\varphi_{\text{ном}}$.
2. Собрать схему и после проверки ее руководителем, включить двигатель в сеть и опробовать его в работе.

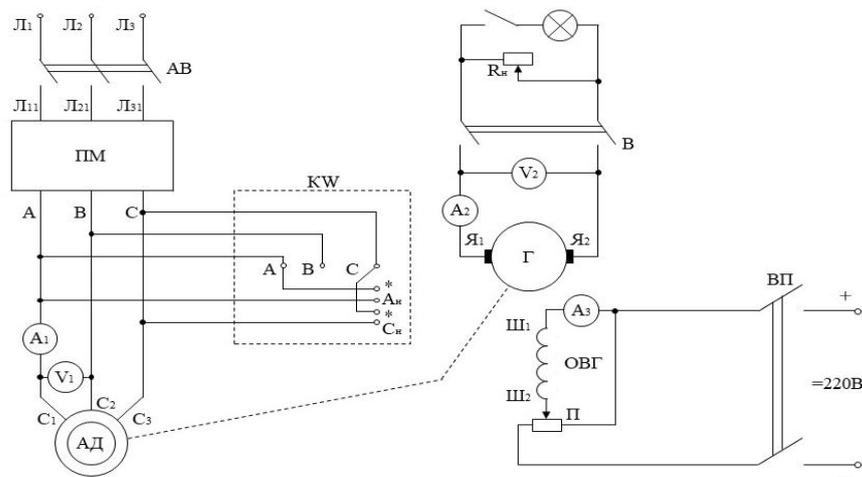


Рис. 103.

3. Снять рабочие характеристики двигателя I_1 , n , S , $\cos\varphi$, M_2 , и $\eta=f(P_2)$ изменением на валу двигателя момента сопротивления путем нагрузки генератора. Произвести вычисления: P_2 , Q_1 , S_1 , $\cos\varphi$, η , S , P_r , $\eta_r=0,9$.

Таблица 46

	Данные опыта					Данные вычислений										
	Двигатель				Генерат.		Двигатель						Генератор			
	I_1	U_1	P_1	n	I_2	U_2	P_2	Q_1	S_1	$\cos\varphi$	η	M_2	S	P_r	η_r	
	А	В	кВт	об/мин	А	В	кВт	Квар	кВа	-	-	Нм	кВа	кВт	-	
1.																
2.																
3.																
4.																
5.																

По данным Таблицы 46 построить рабочие характеристики

$$I_1, n, S, \cos\varphi, M_2, \text{ и } \eta=f(P_2).$$

Пояснение к выполнению лабораторной работы

Мощность на валу двигателя

$$P_2=P_r/\eta_r \text{ кВт, } \eta_r=0,9,$$

где $P_r=I_2U_210^{-3}$ – полезная мощность генератора, кВт;

I_2 – ток нагрузки генератора, А;

U_2 – напряжение генератора, В;

η_r – КПД генератора, принять равным $\eta_r=0,9$.

$$S_1=\sqrt{3}I_1U_110^{-3} \text{ – кажущая мощность двигателя, кВт;}$$

$$Q_1=\sqrt{S_1^2 - P_1^2} \text{ – реактивная мощность, потребляемая двигателем, кВар;}$$

$$\cos\varphi = \frac{P_1 \cdot 1000}{\sqrt{3}I_1U_1} \text{ – коэффициент мощности двигателя,}$$

где:

P_1 – мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт;

I_1 – ток, потребляемый из сети, А;

U_1 – напряжение, подводимое к двигателю, В.

Коэффициент полезного действия двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Скольжение ротора (в относительных единицах)

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0},$$

где n – частота вращения ротора (определяется тахометром)

n_0 – частота вращения поля статора

$$n_0 = \frac{60f}{P},$$

f – частота тока, Гц; $f=50$ Гц;

P – число пар полюсов двигателя;

Полезный момент на валу двигателя

$$M_2 = \frac{9550P_2}{n} \text{ Нм.}$$

Контрольные вопросы

1. Какие потери мощности имеют место в асинхронном двигателе при нагрузке?
2. При какой нагрузке КПД и $\cos\phi$ для данного двигателя достигает максимального значения?
3. Как определить мощность на валу двигателя, если известны мощность, подводимая к двигателю из сети, и мощность потерь в электричестве?

Лабораторная работа №25. «Полупроводниковый диод»

Цель работы: Снять вольт-амперную характеристику диода, определить прямое и обратное сопротивления и сравнить их.

Оборудование:

Стенд ЛСПЭ-11.

Теоретический материал

Полупроводниками называются материалы, занимающие промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Удельное сопротивление полупроводников составляет 10^5 - 10^7 Ом м.

Для полупроводников характерна большая зависимость проводимости от температуры, электрического поля, освещенности, сжатия.

Наиболее распространенными полупроводниками, используемыми в электронике, являются германий и кремний, элементы четвертой группы периодической системы элементов. Проводимость полупроводников складывается из электронной (n) и дырочной (p) проводимостей. Внося в кристалл ничтожное количество примесей, можно существенно увеличить его проводимость.

P-n переход возникает при контактном соединении двух полупроводников, один из которых имеет p-проводимость, а другой n-проводимость.

В полупроводниковых диодах используются явления, происходящие в p-n переходе. В точечном диоде используется пластинка германия или кремния с примесью мышьяка (n -полупроводник) толщиной 0,1-0,6 мм, с которой соприкасается заостренная игла из индия, образующая в месте контакта p-n переход. ВАХ диода нелинейная и несимметрична. Прямой ток I_{np} во много раз больше обратного тока $I_{обр}$ (рис. 103).

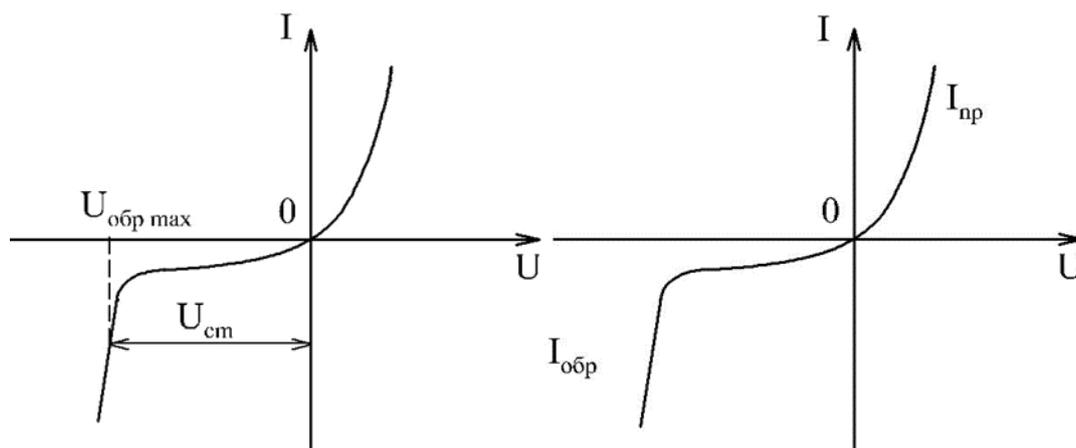


Рис. 103.

В плоскостном диоде в пластинку германия с примесью мышьяка или сурьмы (n-полупроводник) вплавлена таблетка из индия.

Подобные диоды могут использоваться при больших токах и напряжениях (токи до сотен А и напряжения до нескольких кВ).

При подключении диода к достаточно большому обратному напряжению ($U_{обр.max}$) происходит, так называемый, электрический пробой, характеризуемый лавинообразным размножением неосновных носителей зарядов и резким возрастанием обратного тока.

Пробой обратимый, т.е. при отключении внешнего источника питания свойства p-n перехода восстанавливаются.

Свойство неизменности напряжения при пробое $U_{см}$ используется в стабилитронах (рис. 104).

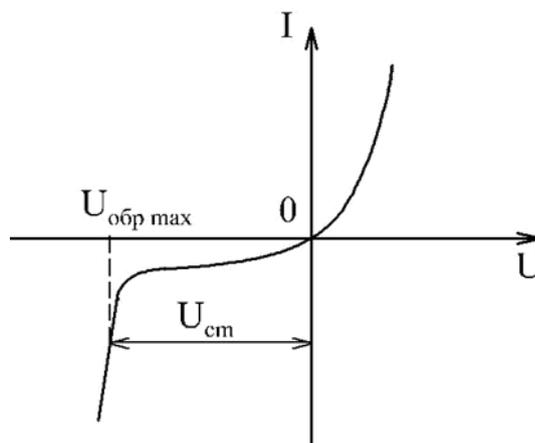


Рис. 104.

Ход работы:

1. Собрать электрическую схему и представить ее на проверку преподавателю.

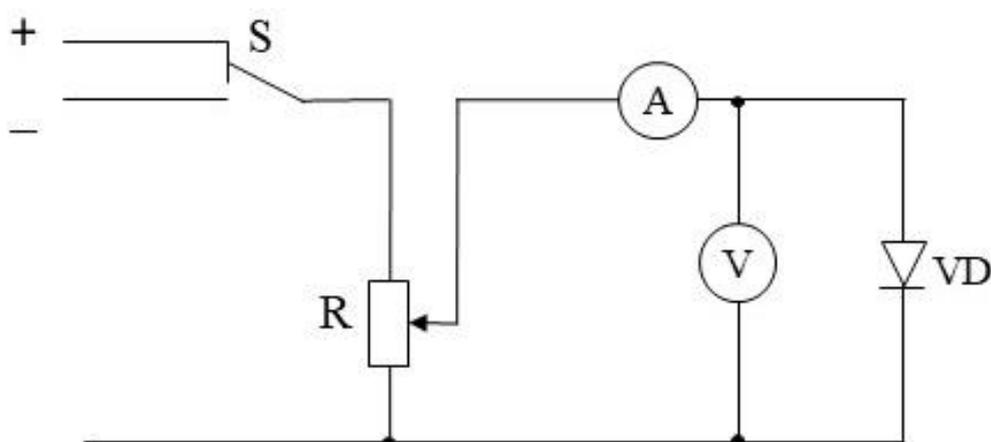


Рис. 105.

2. Для снятия прямой ветви вольт-амперной характеристики переключатель S установить в положение «плюс». Для измерения тока использовать миллиамперметр с пределом измерения $I_{\text{ном}} = 50\text{мА}$, а для измерения напряжения – вольтметр с $U_{\text{ном}} = 1\text{В}$.

3. Изменяя потенциометром R напряжение от 0 до 1В, снять показания амперметра, результаты измерений занести в таблицу.

4. Для снятия обратной ветви вольт-амперной характеристики переключатель S переключить в положение «минус». Для измерения тока использовать микроамперметр с пределом измерения $I_{\text{ном}} 250\text{мкА}$, а для измерения напряжения – вольтметр с пределом измерения $U_{\text{ном}} = 50\text{В}$.

5. Изменяя потенциометром R величину напряжения, снять показания амперметра и вольтметра, результаты занести в Таблицу 47.

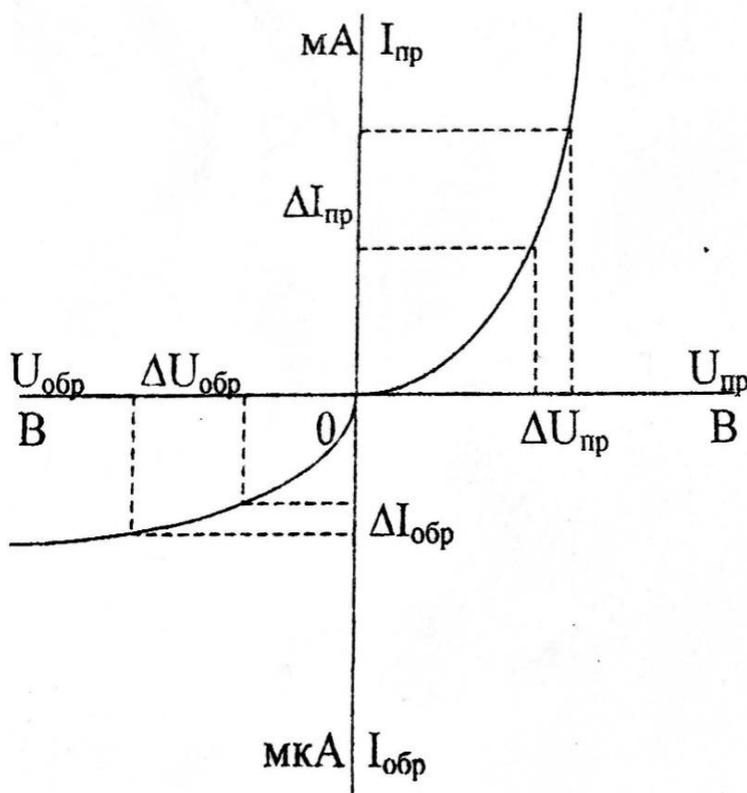
Таблица 47

№	прямое включение		обратное включение	
	$U_{\text{пр}}$	$I_{\text{пр}}$	$U_{\text{обр}}$	$I_{\text{обр}}$
	В	мА	В	мкА
1.				

2.				
3.				
4.				
5.				

6. По данным таблицы построить вольт-амперную характеристику диода.

7. По вольт-амперной характеристике диода рассчитать его прямое и обратное сопротивления (рис. 106).



Расчетные формулы:

$$R_{пр} = \frac{\Delta U_{пр}}{\Delta I_{пр}}$$

$$R_{обр} = \frac{\Delta U_{обр}}{\Delta I_{обр}}$$

Примерный вид
вольт-амперной характеристики.

Рис. 106.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве и принципе действия полупроводникового диода.
2. Что называют прямым и обратным напряжением диода?
3. Какие типы проводимости полупроводников вы знаете?
4. Как создать полупроводник с проводимостью р-типа (n-типа)?
5. Укажите области применения диодов.

Лабораторная работа №26. «Биполярный транзистор»

Цель работы: Снять характеристики биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером и рассчитать параметры транзистора.

Оборудование:

Лабораторный стенд ЛСПЭ-11.

Теоретический материал

Транзистор – электропреобразующий элемент с двумя $p-n$ переходами, пригодный для усиления мощности, имеющий три проводниковых вывода: эмиттер (Э), коллектор (К) и базу (Б).

Транзистор состоит из тонкой пластины германия с электронной (n) проводимостью, в которую с противоположных сторон вплавлены две таблетки индия.

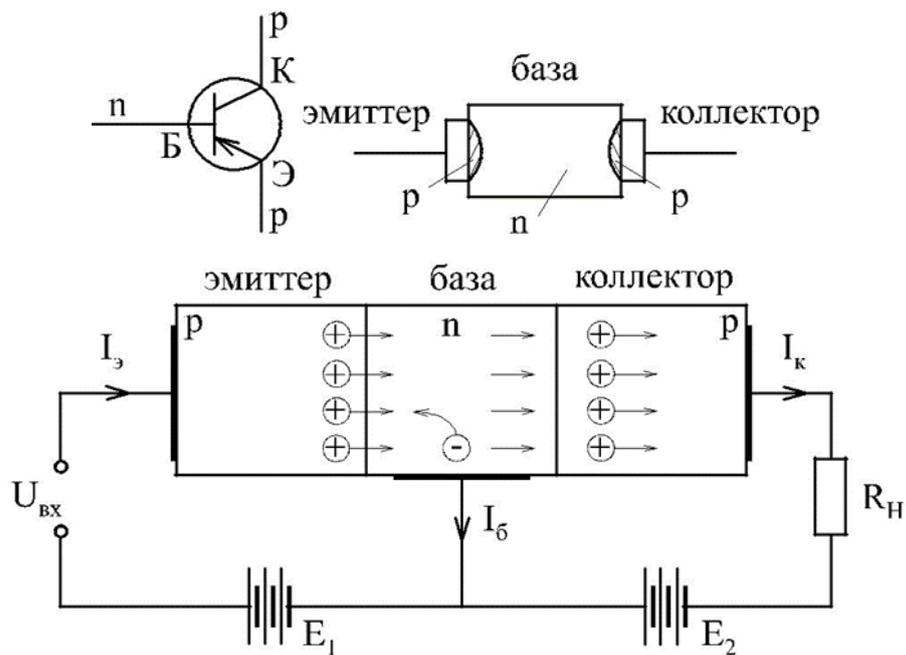


Рис. 107.

При отсутствии напряжения смещения ($E_1 = 0$) в цепи коллектора проходит небольшой обратный ток. Включим небольшое напряжение между Э и Б ($E_1 = 1-2$ В). В эмиттере более высокая концентрация дырок, чем электронов в базе и дырок в коллекторе. Возникает ток в цепи Э-Б.

Незначительная часть дырок из Э, попадая в Б, рекомбинирует со свободными электронами. Через базу проходит незначительный ток $I_{\bar{b}}$. Основная часть дырок, пройдя через переход Э-Б за счет диффузии, доходит до коллекторного перехода и, подхваченная электрическим полем E_2 , переходит в коллектор. Таким образом, в цепи Б-К возникает коллекторный ток I_k , который гораздо больше базового тока.

Наряду с транзисторами типа $p-n-p$ существуют транзисторы типа $n-p-n$, которые работают аналогично транзисторам $p-n-p$.

При отсутствии входного сигнала в цепи эмиттера проходит постоянный ток $I_{\bar{э}}$ и ток в цепи коллектора I_k , где $\frac{I_k}{I_{\bar{э}}} = 0,9...0,99$ коэффициент передачи по току.

При появлении на входе переменного напряжения $U_{вх}$, результирующее напряжение состоит из двух составляющих: переменной $U_{вх}$ и постоянной E_1 . Возникают токи $I_{\bar{э}}$, $I_{\bar{б}}$, I_k , состоящие также из переменной и постоянной составляющих. На выходе происходит падение напряжения $U_{вых} = i_k R_H$.

За счет того, что $U_{вых}$ больше $U_{вх}$ происходит усиление сигнала по напряжению.

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} - \text{коэффициент усиления по напряжению}$$

Как и для диода, для транзистора существуют ограничения на режимы его работы. Для предотвращения перегрева коллекторного перехода необходимо, чтобы мощность, выделяемая на нем, не превышала допустимой величины.

Чтобы не произошло электрического пробоя коллекторного перехода, напряжение между К-Б должно быть меньше допустимого.

Существуют также и другие предельные параметры транзистора: $I_{к\max}$, $U_{кэ\max}$, $I_{к\max}$, $P_{к\max}$, которые указаны для каждого типа транзисторов в справочниках.

Существуют три основные схемы включения транзистора в каскаде: с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором. Схема включения

транзистора с общей базой была рассмотрена выше. Две другие схемы включения приведены ниже.

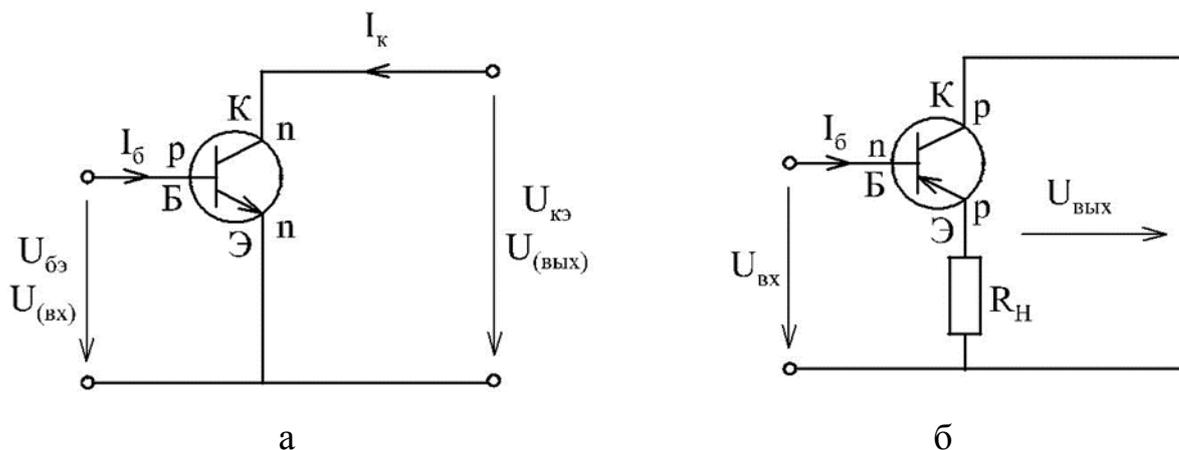


Рис. 108.

В схеме с общим эмиттером происходит усиление как по току, так и по напряжению. Поэтому такой усилитель используется как усилитель мощности.

В схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель) происходит усиление по току, усиление по напряжению отсутствует.

В схеме с общей базой происходит усиление по напряжению, усиление по току отсутствует.

Ход работы:

1. Собрать схему и представить ее для проверки преподавателю (рис. 109).

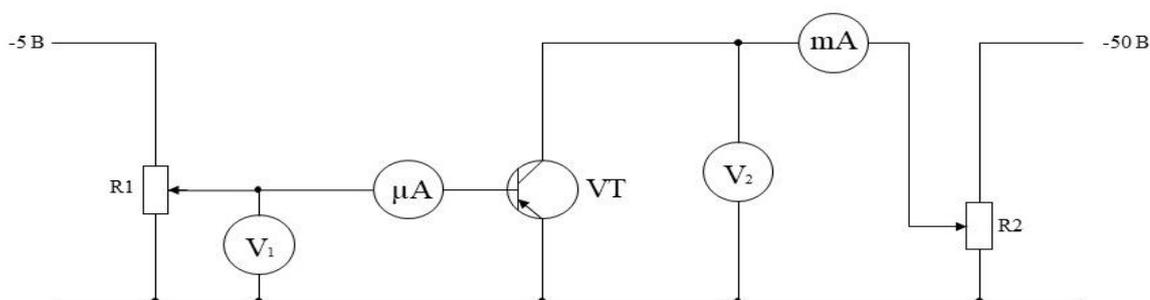


Рис. 109.

2. Снять семейство входных статистических характеристик $I_б=f(U_бэ)$ при $U_к=const$.

3. Снять семейство выходных статистических характеристик $I_k=f(U_k)$ при $I_6=const$.

Данные измерений занести в Таблицы 48 и 49.

Таблица 48

$U_k=0$		$U_k=V$		$U_k=V$	
U_6	I_6	U_6	I_6	U_6	I_6
V	мкА	V	мкА	V	мкА

Таблица 49

$I_6=мкА$		$I_6= мкА$		$I_6= мкА$	
U_k	I_k	U_k	I_k	U_k	I_k
V	мА	V	мА	V	мА

4. По данным измерений построить характеристики и рассчитать параметры транзистора:

4.1. коэффициент усиления по току $\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_6}$;

4.2. входное сопротивление $R_{вх} = \frac{\Delta U_6}{\Delta I_6}$;

4.3. выходное сопротивление $R_{вых} = \frac{\Delta U_k}{\Delta I_k}$.

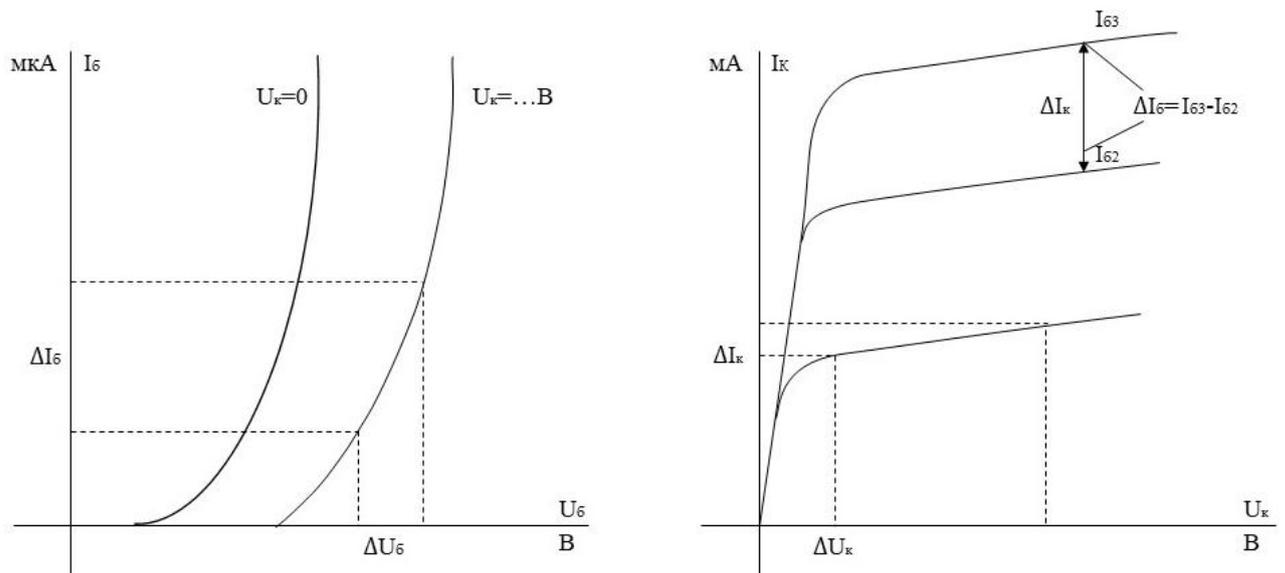


Рис. 110. Примерный вид характеристик

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве биполярных транзисторов.
2. Раскройте принцип действия биполярного транзистора в усилительном (активном) режиме.
3. Какие режимы работы биполярного транзистора вы знаете? Охарактеризуйте их.
4. Какие изменения нужно произвести в схеме для исследования транзистора структуры n-p-n?
5. Какие типы транзисторов вы знаете?
6. Где применяются транзисторы?
7. Каковы достоинства и недостатки транзисторов по сравнению с электронными лампами?

Лабораторная работа №27. «Исследование тиристора»

Цель работы: Снять вольт-амперную характеристику тиристора, определить по ней параметры тиристора.

Оборудование:

Лабораторная установка К 4826.

Теоретический материал

Тиристоры – четырехслойные элементы, имеющие структуру $p - n - p - n$.

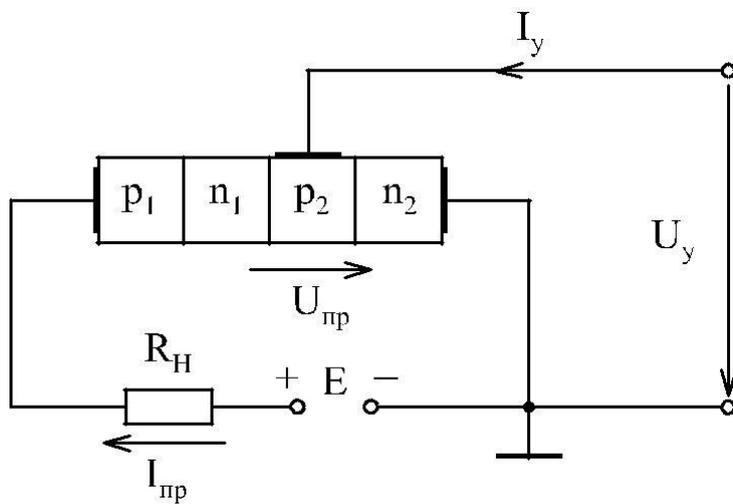


Рис. 111.

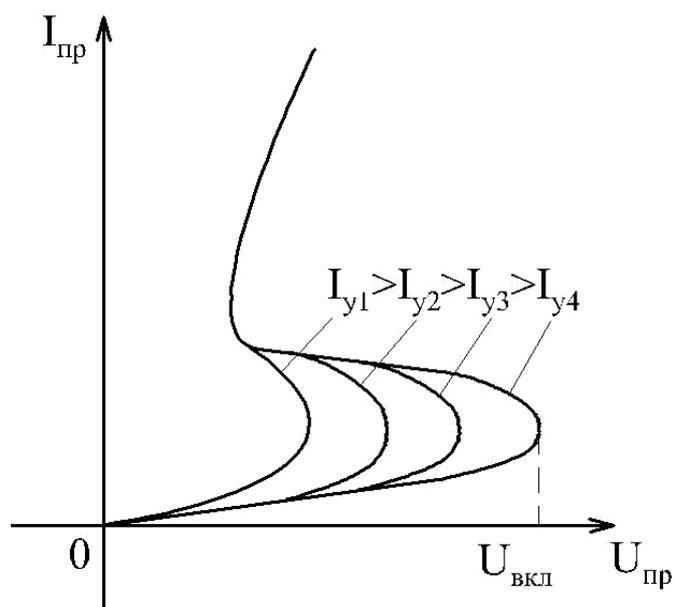


Рис. 112.

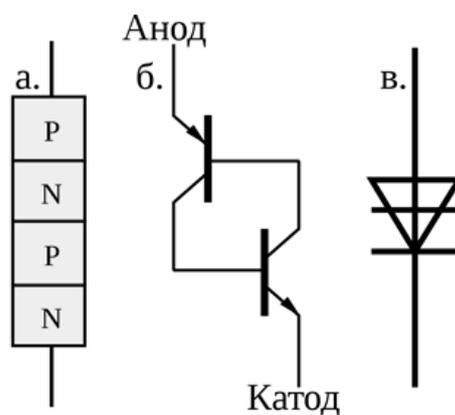


Рис. 113.

Диодный тиристор – динистор, с двумя выводами (рис. 113). Триодный тиристор, управляемый – тринистор, с тремя выводами. Тиристор можно представить в виде двух трехслойных элементов (транзисторов). При достижении прямого напряжения U_{np} значения напряжения включения $U_{вкл}$ происходит лавинообразное размножение зарядов, и тиристор открывается.

В управляемых тиристорах их включение происходит при подаче на управляющий электрод тока I_y при гораздо меньших значениях $U_{вкл}$.

При снятии входного сигнала тиристор остается во включенном состоянии до тех пор, пока не выключено анодное напряжение.

Тиристор позволяет коммутировать значительные токи без подвижных деталей внутри полупроводниковой структуры с большой частотой переключения. Он предназначен для включения и выключения силовых токов.

Принцип действия тиристора следующий. При приложении к тиристорному питанию E обратной полярностью закрываются переходы p_1-n_1 и p_2-n_2 (см. рис. 111). Сопротивление тиристора бесконечно велико. Подача управляющего сигнала не влияет на состояние тиристора.

При подаче питания прямого направления закрывается средний p_2-n_1 переход. Если управляющий сигнал не подается, тиристор также закрыт.

При подаче управляющего сигнала U_y появляется управляющий ток I_y через переход p_2-n_2 , что приводит к появлению зарядов в среднем $p-n$

переходе тиристора и стремительному росту тока I_{np} . При кратковременной подаче управляющего сигнала тиристор открывается лавинообразно. Даже при токах до 2000 А напряжение на тиристоре падает незначительно (до 1В).

Пока существует ток I_{np} , тиристор остается открытым. Снятие управляющего сигнала не приводит к его закрытию. Чтобы вновь закрыть тиристор, необходимо хотя бы кратковременно уменьшить каким-либо путем ток I_{np} до нуля.

Так же, как и для диодов, для тиристоров существуют ограничения по режимам:

I_{max} – максимально допустимый прямой ток,

U_{max} – максимально допустимое напряжение в обратном и прямом направлениях,

При $U = U_{max}$ происходит лавинообразный пробой структуры.

При $I = I_{max}$ в тиристоре выделяется недопустимо большое количество тепла, которое не успевает рассеиваться в окружающую среду. Для увеличения теплоотвода от тиристоров их устанавливают на радиаторы охлаждения.

Ход работы:

1. Собрать схему согласно рис. 114.
2. Подключить схему к гнездам блока ПГ «+5V», «+15V», «-15V».

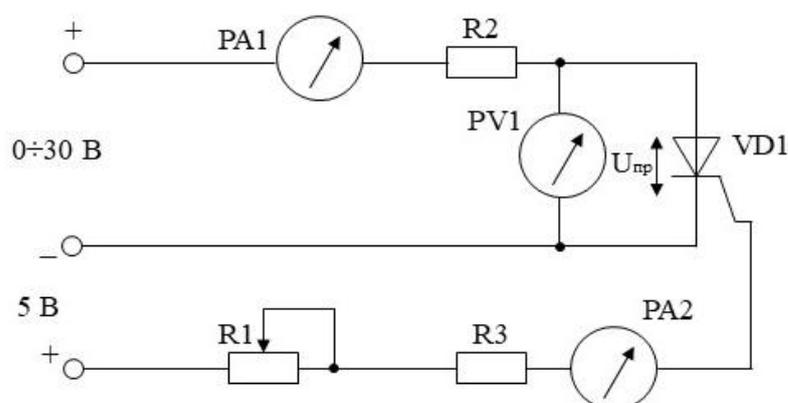


Рис. 114.

3. Изменяя ручками на блоке ПГ «+15V», «-15B» напряжение питания, снять вольт-амперную характеристику тиристора $I_{np}=f(U_{np})$ при токах в управляющем электроде 5, 10, 15 мА; управляющий ток устанавливается с помощью переменного резистора R_1 . Данные занести в Таблицу 50.

Таблица 50

$I_{y1}=\text{мА}$		$I_{y2}=\text{мА}$	
$U_{ак}, \text{В}$		$U_{ак}, \text{В}$	
$I_a, \text{мА}$		$I_a, \text{мА}$	
$I_{y3}=\text{мА}$		$I_{y4}=\text{мА}$	
$U_{ак}, \text{В}$		$U_{ак}, \text{В}$	
$I_a, \text{мА}$		$I_a, \text{мА}$	

4. По данным измерений построить вольт-амперные характеристики тиристора.

5. По ВАХ определить напряжения включения тиристора, соответствующие разным токам управления.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве тиристора и структуре его кристалла.
2. Какие вы знаете разновидности тиристоры?
3. Расскажите о режимах работы тиристора и процессе его включения.

Лабораторная работа №28. «Электронный выпрямитель»

Цель работы: Исследовать схему мостового полупроводникового выпрямителя с фильтрами, определить коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения и коэффициент сглаживания фильтров.

Оборудование:

1. Лабораторный стенд ЛСПЭ-11.
2. Электронный осциллограф.
3. Вольтметр магнитоэлектрической системы $U_{\text{ном}}=50\text{В}$.

Теоретический материал

На рис. 115 показана мостовая схема выпрямителя и временные диаграммы напряжения и тока.

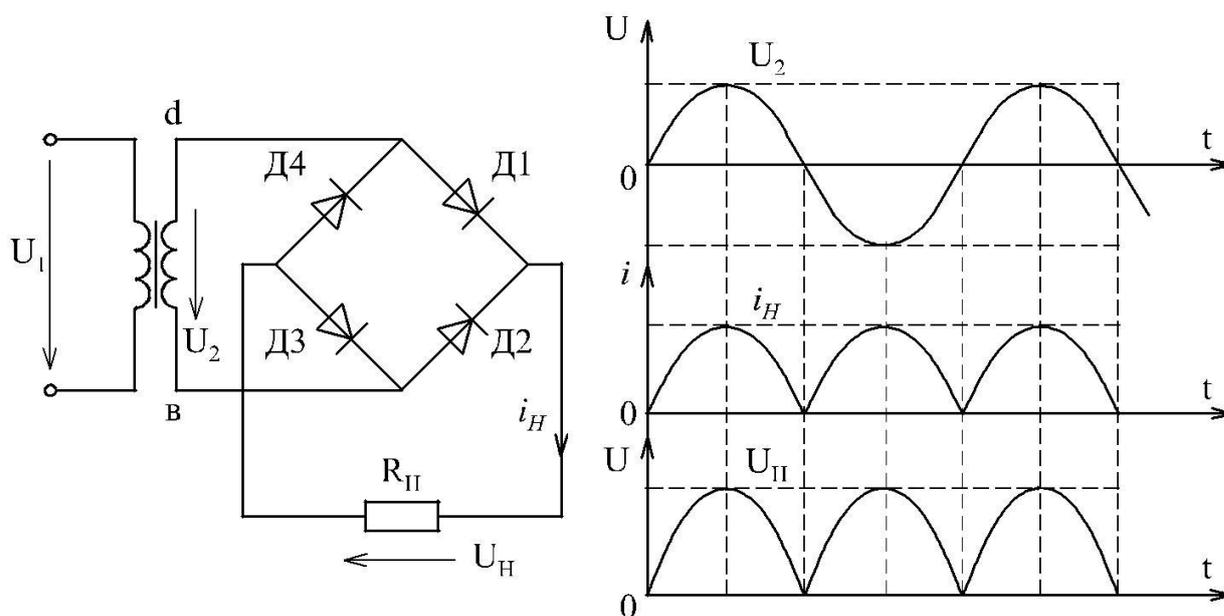


Рис. 115.

В положительный полупериод ток идет по цепи $d - D1 - R_{\text{H}} - D3 - b$, а в отрицательный – по цепи $b - D2 - R_{\text{H}} - D4 - d$. Таким образом, через нагрузку ток идет в одном направлении.

Выпрямление происходит в два этапа. На первом вместо синусоидального сигнала получают тот, который имеет только

положительные полупериоды. На втором происходит выпрямление с помощью использования конденсаторов. При этом на их пластины поступает переменный сигнал, а затем, разряд конденсатора осуществляет его сглаживание.

Существуют различные виды выпрямителей, но их общий принцип работы в значительной степени соответствует приведенному описанию.

Классифицировать выпрямители можно по различным признакам. Далее перечислены наиболее популярные виды классификаций.

1. По количеству используемых в работе полупериодов. На начальном этапе преобразования получают график электрического сигнала, у которого нет отрицательных полупериодов. Это делают одним из двух способов. В однополупериодных выпрямителях их просто убирают, а в двухполупериодных вместо отрицательных получают такие же, но положительные. В последнем случае качество выпрямления будет выше.

2. В выпрямителях обычно используется трансформатор, но в некоторых схемах он может не применяться. Это практикуется, когда нет необходимости проводить предварительное преобразование напряжения и тока.

3. Схема выпрямителя может включать диодный мост или же работать без него.

4. Существуют выпрямители, умножающие напряжение. При их использовании значение выходного выпрямленного напряжения может быть больше входного в несколько раз. Такой эффект обычно достигается за счет одновременной разрядки нескольких конденсаторов.

5. Рассматриваемые устройства различаются в зависимости от того, со сколькими фазами они способны работать. Наиболее распространенными являются однофазный мостовой выпрямитель и трехфазный мостовой выпрямитель, но они также могут быть двух- и N-фазными.

6. Существуют различные типы схем. Наибольшее распространение получили диодные, но также используются полупроводниковые, тиристорные, механические, вакуумные и другие.

7. Имеет значение вид пропускаемой волны. Исходя из этого параметра, устройства могут быть аналоговыми, цифровыми и импульсными.



Рис. 116.

Для каждого вида выпрямителей важно учитывать качество выпрямления тока. Его вид выбирают так, чтобы получить сигнал с необходимыми параметрами.

Мостовые выпрямители характеризуются наличием диодного моста. Они преобразовывают входной синусоидальный сигнал в такой, который не имеет отрицательных полупериодов. Это можно сделать различными способами, от выбора которых зависит качество работы выпрямительного моста.

Схема мостового выпрямителя строится на использовании диодов. В этих радиодеталях применяются полупроводники р-типа и n-типа. Если через них проходит сигнал определенной полярности, то он пропускается без изменений. Если знак меняется, на выходе получается нулевой ток.

Существуют различные варианты мостовых схем. Самая простая – однофазная мостовая схема выпрямления. Ее использование обеспечивает на выходе положительные полупериоды, разделенные нулевыми участками. Мостовой однофазный выпрямитель выполняет выпрямление невысокого качества.

При использовании более сложных диодных мостов можно получить сигнал, в котором отрицательные импульсы заменены такими же, но положительными. Выпрямительный мост с четырьмя диодами обеспечивает на выходе сигнал удвоенной частоты.

Мостовой трехфазный выпрямитель, схема которого включает три диодных моста, расположенных параллельно, позволяет получать наиболее высокое качество выпрямления.

В мостовой схеме выпрямленный ток и напряжение имеют такую же форму, как и в двухполупериодной схеме со средней точкой, поэтому значение выпрямленного тока

$$I_0 = \frac{2I_m}{\pi},$$

а выпрямленного напряжения

$$U_0 = I_0 R_H = \frac{2U_m}{\pi} - I_0 R_D.$$

Без нагрузки напряжение на зажимах выпрямителя

$$U_0 = \frac{2U_m}{\pi}.$$

Особенностью мостовой схемы является отсутствие во вторичной обмотке трансформатора отвода от ее середины, поэтому для получения одного и того же значения выпрямленного напряжения по сравнению со схемой с отводом от середины вторичной обмотки в мостовой схеме требуется обмотка с вдвое меньшим числом витков.

По сравнению с однополупериодной схемой здесь меньше коэффициент пульсаций и выше значение выпрямленного напряжения.

Сглаживающие фильтры применяются для уменьшения переменной составляющей выпрямленного сигнала, т.е. для снижения пульсаций.

Качество фильтра характеризуется коэффициентом сглаживания.

В качестве основных элементов для фильтров применяют реактивные элементы – конденсатор и катушку индуктивности.

Емкостной фильтр.

В положительный полупериод с ростом напряжения U конденсатор заряжается почти до напряжения U , а при снижении U и в отрицательный полупериод конденсатор разряжается на R_H , поддерживая в нагрузке ток i (рис. 117).

Чем больше емкость конденсатора, тем медленнее он разряжается и тем меньше пульсации выходного напряжения. Однако с увеличением емкости растут габариты конденсатора.

Величину емкости C_Φ выбирают с таким расчетом, чтобы $C_\Phi R_H = T$, где T - период переменной составляющей выпрямленного напряжения. Применение емкостного фильтра рационально для малых нагрузок, т.е. при больших значениях R_H .

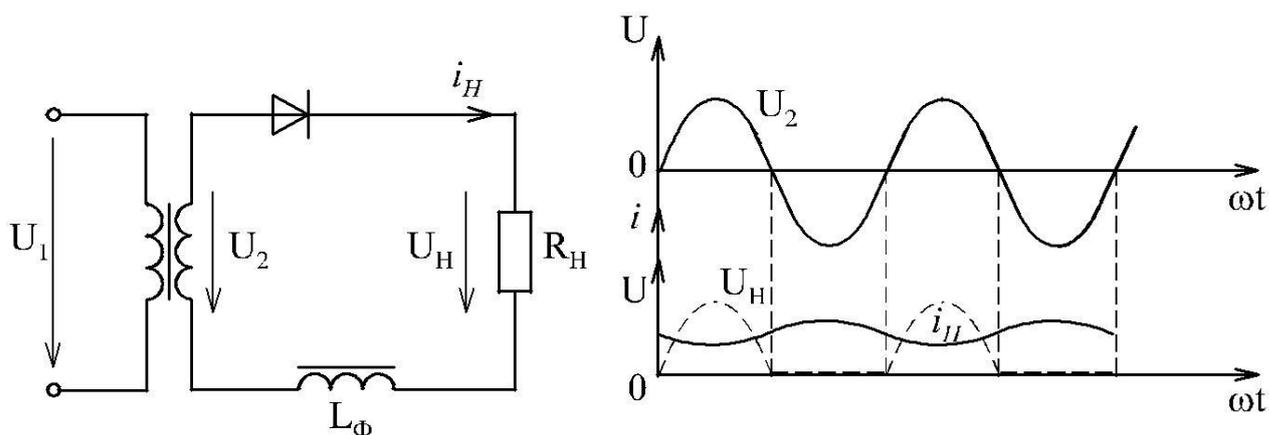


Рис. 117.

Индуктивный фильтр.

Катушка индуктивности (дроссель) включается последовательно с нагрузкой (рис. 118).

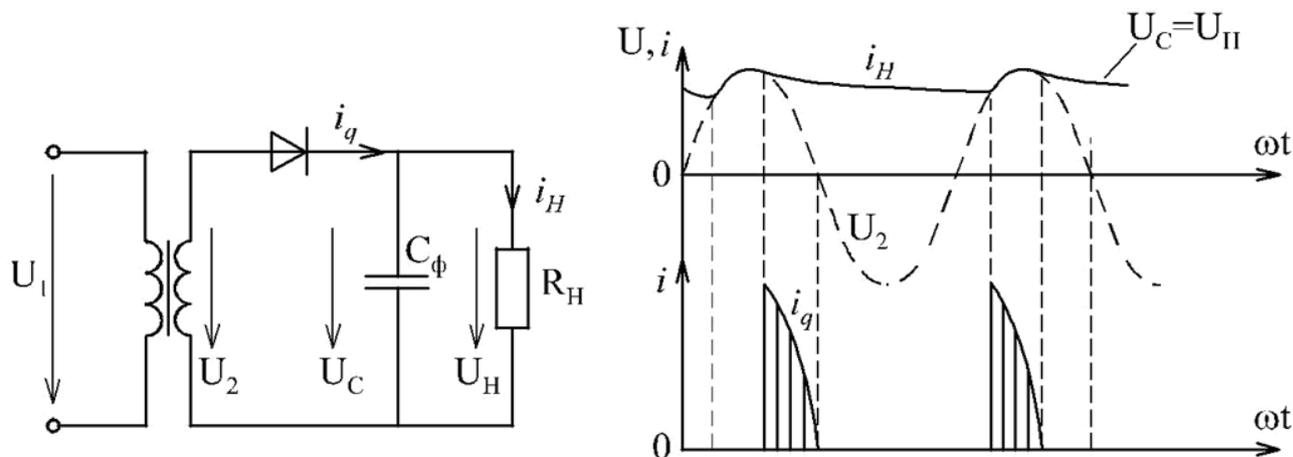


Рис. 118.

Работа фильтра основана на том, что в дросселе вследствие изменения тока возникает ЭДС самоиндукции, направленная в сторону, противоположную току при его увеличении, и в сторону, совпадающую с током при его уменьшении. Таким образом, ток выравнивается, т.е. происходит сглаживание пульсаций. Индуктивность L выбирают исходя из условия $L\Phi/RH=T$, где T – период переменной составляющей выпрямленного напряжения.

Индуктивный фильтр работает более эффективно при больших нагрузках, т.е. при малых значениях R_n . Коэффициент пульсаций в таком фильтре со снижением R_n уменьшается, отсюда и вытекает целесообразность его использования при больших токах нагрузки.

Недостатком индуктивного фильтра являются скачки обратного напряжения на диодах из-за возникающих ЭДС самоиндукции.

Существуют комбинированные $L - C$ фильтры. Например, Г-образный, П-образный, Т-образный сглаживающие фильтры (рис. 119).

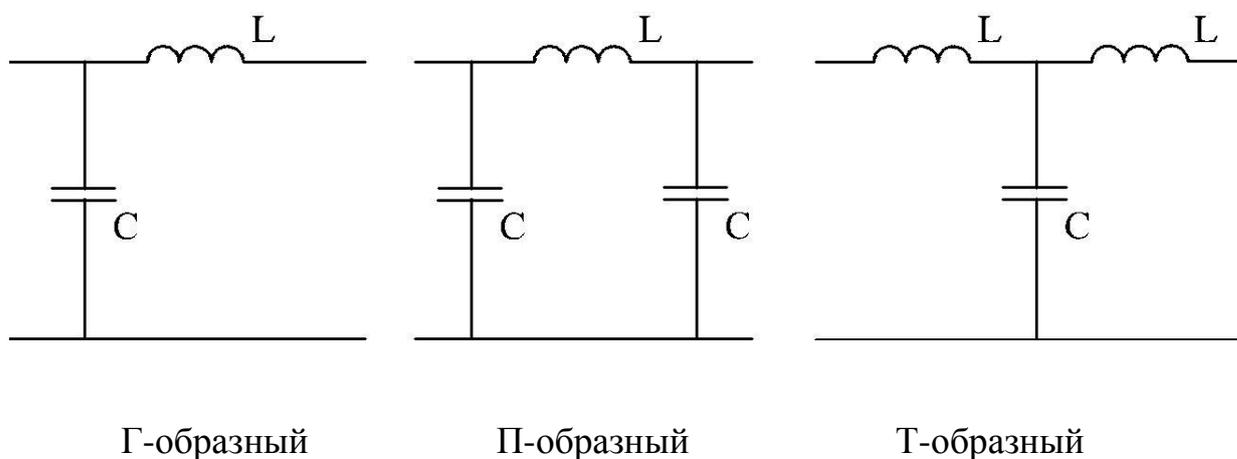


Рис. 119.

Эти фильтры совмещают в себе свойства индуктивного и емкостного фильтров и обеспечивают более качественное сглаживание, чем индуктивный или емкостной фильтры.

Конденсатор C_ϕ оказывает шунтирующее действие для переменного тока. В свою очередь индуктивность является преградой для прохождения переменного тока. Если комбинированный фильтр представить как последовательное соединение отдельных звеньев – простейших фильтров, то общий коэффициент сглаживания равен произведению отдельных коэффициентов: $q_\Sigma = q_1 * q_2 * q_3...$

Ход работы:

1. Познакомиться со схемами стенда ЛСПЭ-11, используемыми в работе (рис. 120 – Схема мостового выпрямителя и рис. 121 – Схема

сглаживающего фильтра).

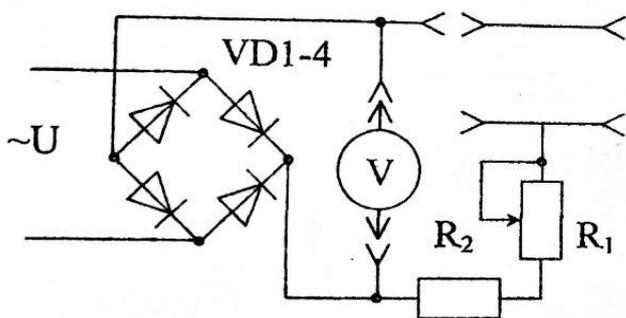


Рис. 120.

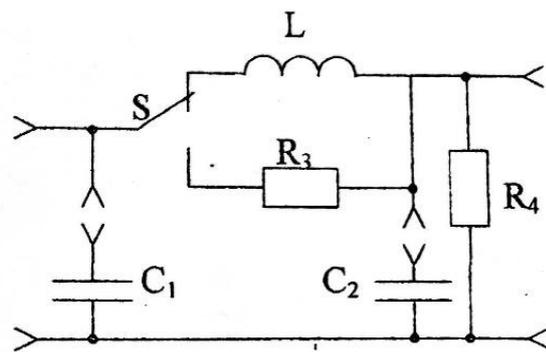


Рис. 121.

2. Собрать поочередно для исследования схемы, приведенные в таблице.

3. Вольтметром магнитоэлектрической системы с $U_{\text{ном}} = 50\text{В}$ измерить постоянную составляющую выпрямленного напряжения U_d , результат занести в таблицу.

4. С помощью электронного осциллографа измерить амплитуду пульсации выпрямленного напряжения $U_{\text{пм}}$ результат занести в Таблицу 51.

Таблица 51

N п\п	Схема фильтра	U_d	$U_{\text{пм}}$	$K_{\text{пвх}}$	$K_{\text{пвых}}$	$K_{\text{п}}$	$K_{\text{сг}}$	Рисунок осциллограммы	Вывод
1.									
2.									
3.									

4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								

5. Зарисовать осциллограмму пульсирующего напряжения с экрана осциллографа в Таблице 51.

6. Вычислить коэффициент пульсации $K_{\text{п}}$

$$K_{\text{п}} = \frac{U_{\text{пм}}}{U_d};$$

7. Вычислить коэффициент сглаживания фильтра

$$K_{\text{сг}} = \frac{K_{\text{пвх}}}{K_{\text{пвых}}};$$

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве мостового выпрямителя.
2. Какие вы знаете разновидности фильтров?
3. Расскажите о режимах работы фильтров?

Раздел Электрооборудование автомобилей

Лабораторная работа № 29. «Изучение общих схем электрооборудования»

Цель работы: Ознакомится на практике со схемами электрооборудования автомобилей. Изучить условные обозначения элементов на схемах. Ознакомится с расположением элементов электрооборудования на автомобиле.

Оборудование и инструменты:

1. Схемы электрооборудования автомобилей.
2. Автомобиль (ГАЗ-31029).
3. Набор инструмента (ключи рожковые, накидные, головки).
4. Набор отверток с магнитными наконечниками.
5. Мультиметр цифровой.

Ход работы:

1. Изучить принципиальные схемы электрооборудования автомобилей и условные обозначения на них.
2. Изучить схему электрооборудования автомобиля (ГАЗ-31029).
3. Изучить расположение и соединения приборов электрооборудования на автомобиле. (ГАЗ-31029).
4. Оформить отчет.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- наименование работы;
- цель работы;
- ответ на контрольные вопросы.

	Положительный		Симметричный стабилитрон
	Отрицательный		Электродвигатель
	Масса		Якорь и щетки электродвигателя
	Плавкий предохранитель		Обозначение соединителя
	Блок предохранителей с электрической шиной		Штыревая часть соединителя
	Размыкатель		Розеточная часть соединителя
	Конденсатор		Обозначает, что провод продолжается в другой части схемы
	Омы		Обозначает, что провод идет в одну из двух схем
	Резистор		Сростка
	Переменный резистор		Обозначение номера сростки
	Добавочный (последовательно включенный) резистор		Термоэлемент
	Катушка		Таймер
	Повышающая обмотка		Многоконтактный соединитель
	Разомкнутый контакт		Изменения в схеме: на части автомобилей без какого-либо устройства или с этим устройством
	Замкнутый контакт		Соединение звездой
	Нормально замкнутый выключатель		Цифровой дисплей
	Нормально разомкнутый выключатель		Однонитевая лампа
	Нормально замкнутый сдвоенный выключатель		Двухнитевая лампа
	Нормально разомкнутый сдвоенный выключатель		l.e.d. — светоизлучающий диод
	Выключатель		терморезистор
	Нажимной выключатель		Указатель
	Соленоидный выключатель		Датчик
	Ртутный выключатель		Топливная форсунка
	Диод или выпрямитель		

Рис. 122. Условные обозначения на схемах электрооборудования

Схема электрооборудования автомобиля ГАЗ-31029

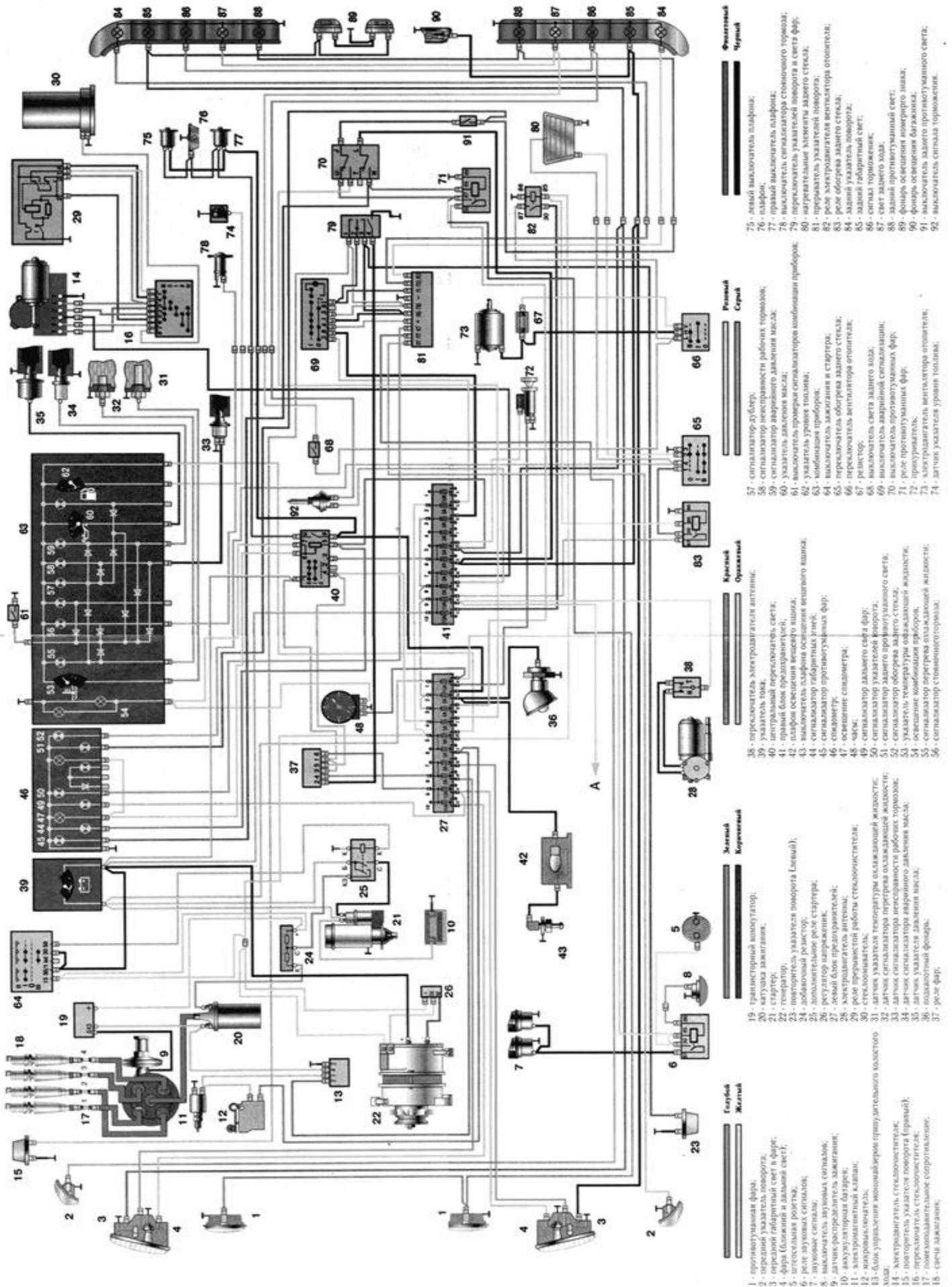


Рис. 123. Схема электрооборудования

Контрольные вопросы

1. Перечислить источники и потребители электрического тока автомобиля их назначение?
2. Каков принцип построения схемы электроснабжения автомобиля?
3. Какие приборы применяются при обслуживании электрооборудования автомобилей?
4. Указать характерные неисправности системы электроснабжения.
5. Типы электрических схем электрооборудования автомобилей и их описание.

Лабораторная работа № 30. «Изучение устройства АКБ. Обслуживание АКБ»

Цель работы: Ознакомится на практике с устройством и основными характеристиками аккумуляторной батареи. Изучить маркировки АКБ. Провести мероприятия по диагностике и обслуживанию АКБ.

Оборудование и инструменты:

1. Мультиметр.
2. Ареометр.
3. АКБ, набор инструмента.
4. Примеры маркировок АКБ различных типов.

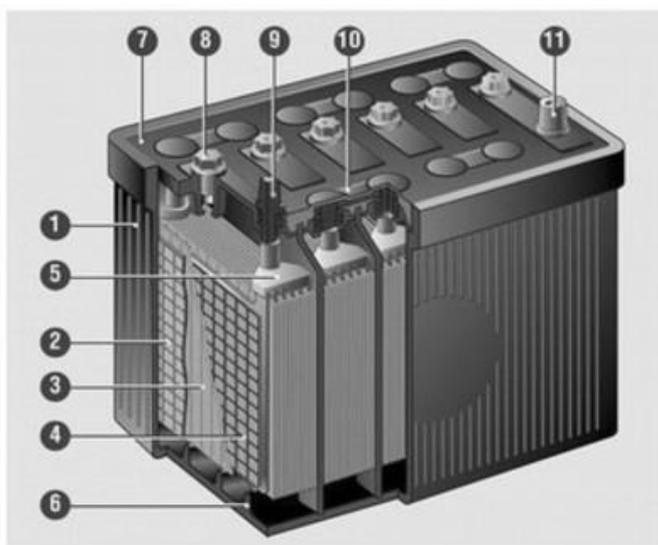
Ход работы:

1. Изучить устройство АКБ.
2. Расшифровать маркировки АКБ.
 - 1) 6СТ-75 ТРН (*Россия*).
 - 2) А 34 770 (*Америка*).
 - 3) 6 100 065 042 (*Европа*).
 - 4) 6СТ-55 ЭПЗ (*Россия*).
 - 5) А 34R 420 (*США*).
 - 6) SMF 85D26L (*Азия*).
 - 7) SMF 42B19R(*Азия*).

3. Провести проверку АКБ.
4. Оформить отчет.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- наименование и цель работы;
- задание 2 (расшифровку маркировок АКБ);
- ответ на контрольные вопросы.



Устройство обслуживаемой АКБ:

- 1 – корпус;
- 2 – отрицательный электрод (пластина);
- 3 – сепаратор;
- 4 – положительный электрод (пластина);
- 5 – баретка;
- 6 – опорные призмы;
- 7 – крышка;
- 8 – пробка заливного отверстия;
- 9 – положительный вывод;
- 10 – межэлементная перемычка (соединительный мостик);
- 11 – отрицательный вывод

Рис. 124. Устройство АКБ



Рис. 125. Мультиметр

Замер напряжения аккумулятора

Для измерения напряжения с помощью мультиметра, необходимо включить его в режим измерения постоянного напряжения, при этом диапазон установить выше максимального значения напряжения на заряженном аккумуляторе, заряженный аккумулятор имеет около 12,7 В,

поэтому выбираем DCV, 20 В. Далее нужно подключить черный щуп мультиметра на минус аккумулятора, красный щуп на плюс АКБ и снять показания с дисплея мультиметра.

Напряжение полностью заряженного аккумулятора должно быть не менее 12,6 В. Если напряжение батареи менее 12 В, степень ее заряда упала больше чем на 50 %, аккумулятор необходимо срочно зарядить. Напряжение на аккумуляторные батареи величиной меньше 11,6 В означает, что батарея разряжена на 100 %.

Проверка уровня и плотности электролита

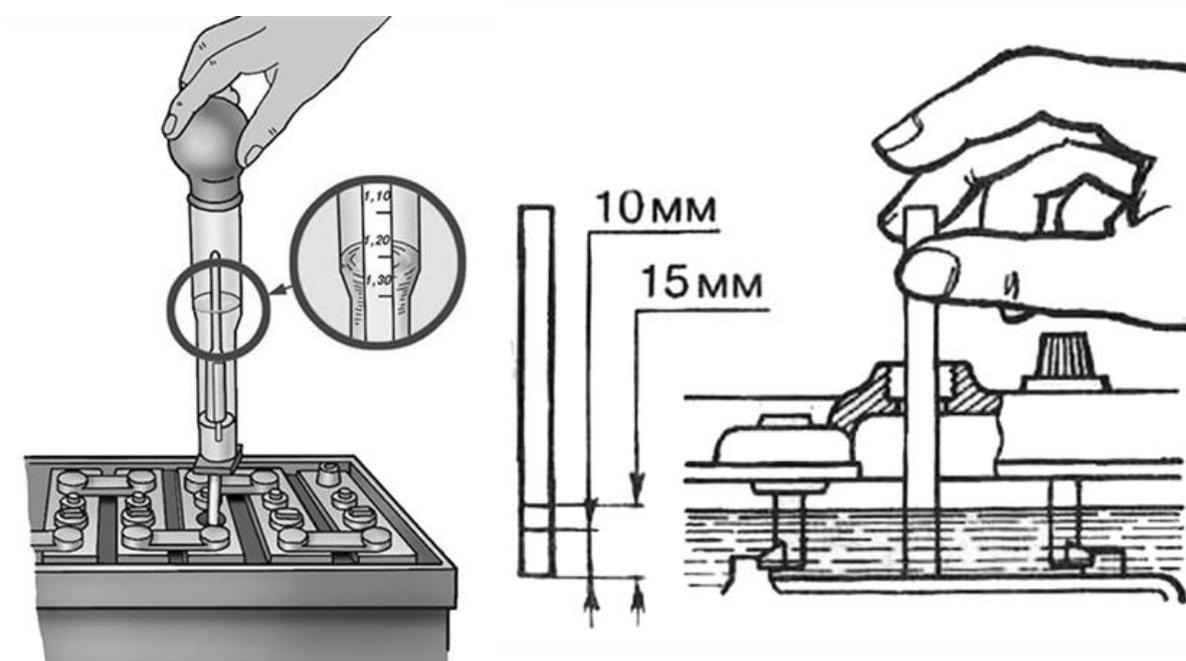


Рис. 126. Проверка плотности и уровня электролита

Проверка плотности ареометром

Аккумулятор устанавливается в удобном месте, пробки отвинчиваются. Ареометр имеет специальную резиновую грушу, которую необходимо сжать перед опусканием прибора в батарею. Плавным отпусканием груши в ареометр набирается небольшое количество электролита. Поплавок должен иметь возможность свободного перемещения внутри прибора. После того, как поплавок «успокоится», можно приступить к оценке результата. Данные прибора сверяются с таблицей.

Ориентировочной плотности электролита

Плотность электролита при темп. +15 С, (г/см.куб)	Напряжение батареи без нагрузки (В)	Напряжение батареи при подключенной нагрузке 100 А, В)	Степень заряженности батареи, (%)	Температура замерзания электролита (С)
1,27	12,66	10,8	100	-60
1,26	12,6	10,66	94	-55
1,25	12,54	10,5	87,5	-50
1,24	12,48	10,34	81	-46
1,23	12,42	10,2	75	-42
1,22	12,36	10,06	69	-37
1,21	12,3	9,9	62,5	-32
1,2	12,24	9,74	56	-27
1,19	12,18	9,6	50	-24
1,18	12,12	9,46	44	-18
1,17	12,06	9,3	37,5	-16
1,16	12	9,14	31	-14
1,15	11,94	9	25	-13
1,14	11,88	8,84	19	-11
1,13	11,82	8,68	12,56	-9
1,12	11,76	8,54	6	-8
1,11	11,7	8,4	0	-7

Уровень электролита в АКБ проверяют с помощью стеклянной или пластиковой трубочки. Диаметр трубки – 3-5 мм. Перед тем как ввести трубку, изымается пробка. Опускается трубка до момента соприкосновения с пластинами. Норма – 12 мм. Такая процедура проводится для каждой банки, входящей в состав аккумуляторной батареи.

Контрольные вопросы

1. Устройство, назначение и принцип действия АКБ?
2. Общие требования к обозначению автомобильных АКБ (маркировка)?
3. Основные неисправности АКБ?
4. Методы и средства для проверки АКБ?
5. Мероприятия по обслуживанию АКБ?

Лабораторная работа № 31. «Изучение устройства генератора. Диагностика, дефектовка генератора»

Цель работы: Изучение устройства генераторов. Проведение разборочно-сборочных работ. Диагностика ротора, статора, щеточного узла, реле регулятора, диодного моста генератора. Проведение регулировочных работ. Дефектовка и сортировка деталей генератора.

Оборудование и инструменты:

1. Генераторы.
2. Мультиметр.
3. Набор инструмента.
4. Автомобиль ГАЗ-31029.

Ход работы:

1. Изучить устройство генератора.
2. Провести разборку, сборку дефектовку и сортировку деталей генератора.
3. Провести диагностику элементов генератора.
4. Провести обслуживание генератора.
5. Оформить отчет.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- наименование работы;
- цель работы;
- ответы на контрольные вопросы.

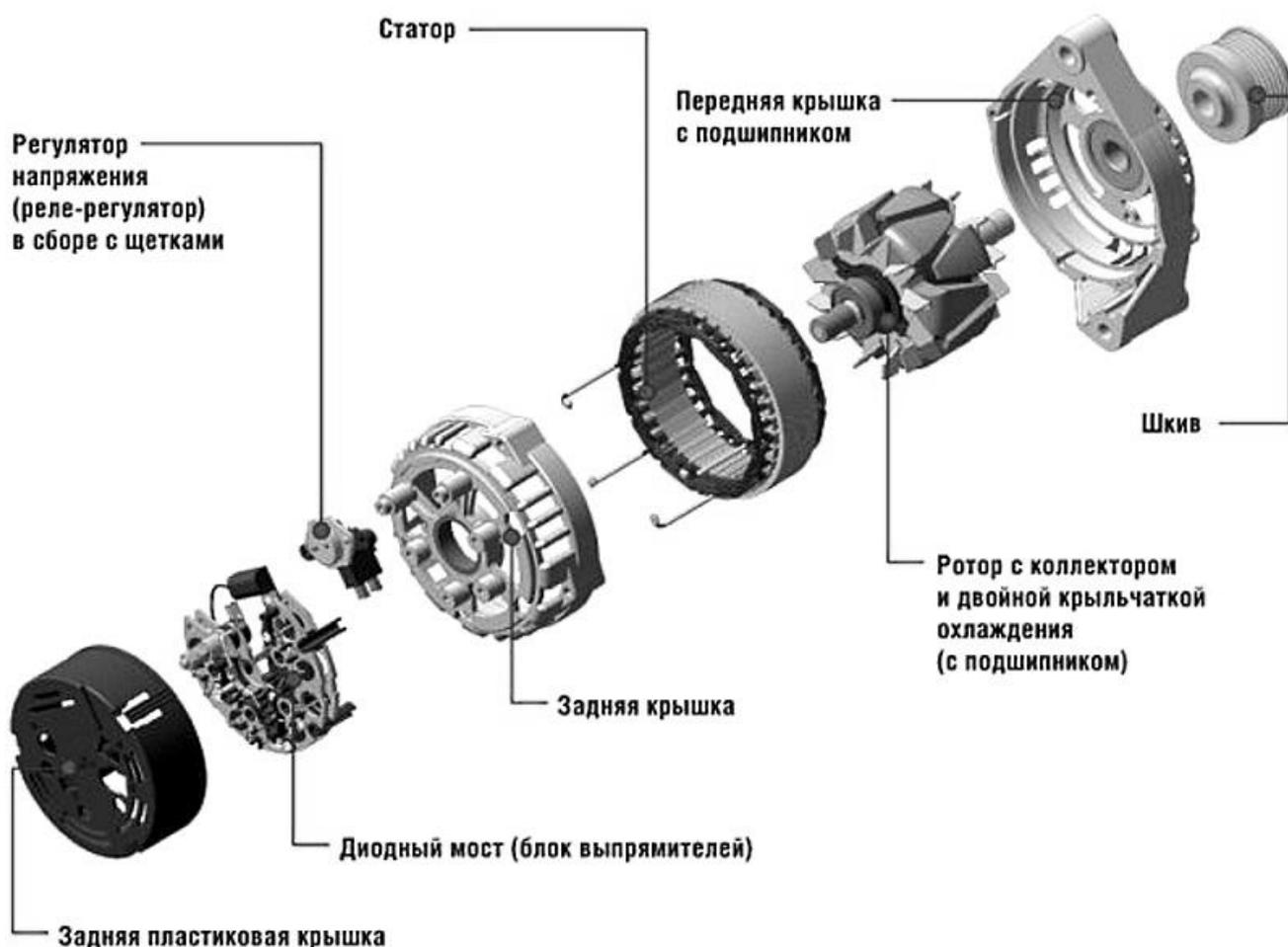


Рис. 127. Устройство генератора переменного тока

6. Провести ремонт генератора (на примере генератора 5102.3771):

- снимите генератор с автомобиля;
- снимите регулятор напряжения, гайки крепления выпрямительного блока;
- отверните три гайки крепления выпрямительного блока и две гайки крепления дистанционных втулок клеммы «плюс» и клеммы возбуждения генератора, дистанционные втулки;
- снимите втулки;
- отпаяйте шесть выводов статорной обмотки генератора;
- снимите выпрямительный блок с генератора;
- проверьте «отрицательные» диоды, подсоединив «положительный» (красный) щуп тестера к «минусовой» пластине (шине) выпрямительного блока, а «отрицательный» (черный) щуп поочередно к трем контактными

выводам диодов в трех местах (через одно) крепления обмоток статора. Если диоды исправные, тестер покажет 580-620 Ом;

- подсоедините «отрицательный» (черный) щуп тестера к «минусовой» пластине выпрямительного блока, а «положительный» (красный) щуп поочередно к тем же трем контактными выводам. Если диоды исправные, тестер покажет бесконечно большое сопротивление;

- если тестер покажет низкое или близкое к нулю сопротивление, то диод «пробит», если показание тестера будет стремиться к бесконечно большому сопротивлению независимо от цвета подсоединенных щупов, то диод «в обрыве». И в том и в другом случае выпрямительный блок генератора подлежит замене;

- аналогичным образом проверьте «положительные» диоды, но только относительно «плюсовой» пластины выпрямительного блока или вывода «В+» генератора;

- проверьте тестером обмотки статора на отсутствие обрыва (схема со сплошными линиями) и на отсутствие замыкания на корпус;

- промаркируйте взаимное расположение крышек генератора, выверните четыре стяжных болта крышка генератора, снимите крышку генератора со стороны контактных колец;

- выньте статор из крышки генератора;

- осмотрите статор генератора. На его внутренней поверхности не должно быть следов задевания якоря о статор. Если есть износ, необходимо заменить подшипники или крышки генератора;

- установите накидной ключ на гайку и через его отверстие вставьте шестигранный ключ в отверстие вала. Отверните накидным ключом гайку, удерживая вал от проворачивания;

- снимите пружинную шайбу и шкив с вала ротора генератора;

- извлеките вал ротора из подшипника. При необходимости навинтите на вал ротора гайку крепления шкива и через деревянную проставку легкими ударами молотка выпрессуйте вал ротора из подшипника;

- осмотрите крышку со стороны привода (в сборе с подшипником генератора);
- если при вращении подшипника чувствуется люфт между кольцами, перекат или заклинивание тел качения, повреждены защитные кольца или есть потеки смазки, замените подшипник крышки генератора, а если обнаружены трещины в крышке, особенно в местах крепления генератора, необходимо заменить крышку генератора;
- для замены подшипника или крышки генератора выверните четыре винта крепления упорной шайбы подшипника и снимите шайбу;
- с помощью алюминиевой проставки легкими ударами молотка выпрессуйте подшипник из крышки генератора;
- Запрессуйте новый подшипник в крышку генератора, используя торцовую головку подходящего диаметра;
- осмотрите контактные кольца. Если на них есть задиры, риски, царапины, следы износа от щеток и другие дефекты, кольца необходимо шлифовать. Если повреждения колец нельзя удалить шкуркой, проточите кольца на токарном станке, снимая минимальный слой металла, и затем шлифуйте;
- проверьте тестером сопротивление обмотки ротора генератора, подсоединив его к контактным кольцам. Если тестер будет показывать бесконечность, значит, в обмотке ротора обрыв и его необходимо заменить;
- проверьте отсутствие замыкания обмотки ротора на корпус, подсоединив выводы тестера к любому контактному кольцу и корпусу ротора. Тестер должен показывать бесконечность;
- проверьте легкость вращения подшипника со стороны контактных колец. Если при вращении подшипника чувствуется люфт между кольцами, перекат или заклинивание тел качения, повреждены защитные кольца или есть потеки смазки, подшипник необходимо заменить. Для этого съемником спрессуйте подшипник с вала ротора и напрессуйте новый с помощью подходящей оправки, прикладывая усилие к внутреннему кольцу подшипника;

- осмотрите крышку генератора со стороны контактных колец. При обнаружении трещин крышку генератора необходимо заменить;
- соберите генератор в порядке, обратном разборке, сориентировав крышки генератора и корпус статора по ранее сделанным меткам.

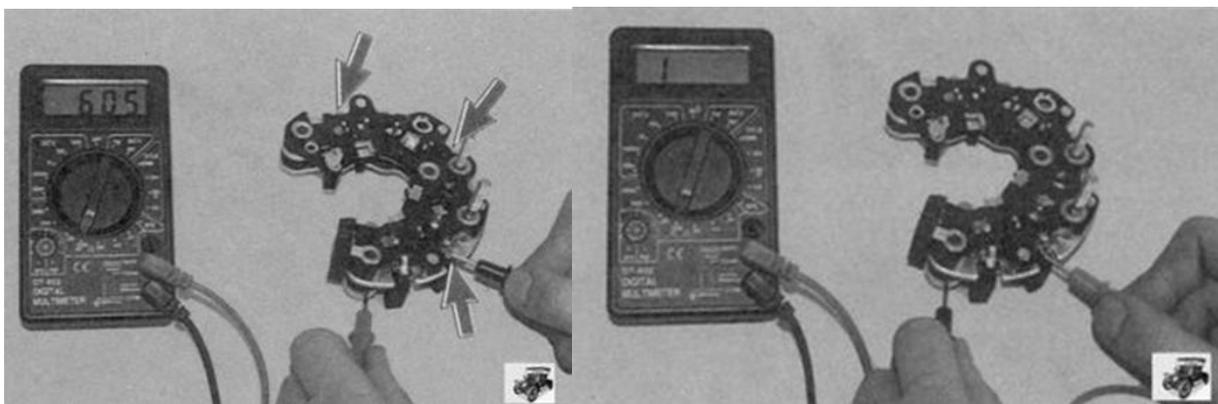


Рис. 128. Проверка выпрямительного блока

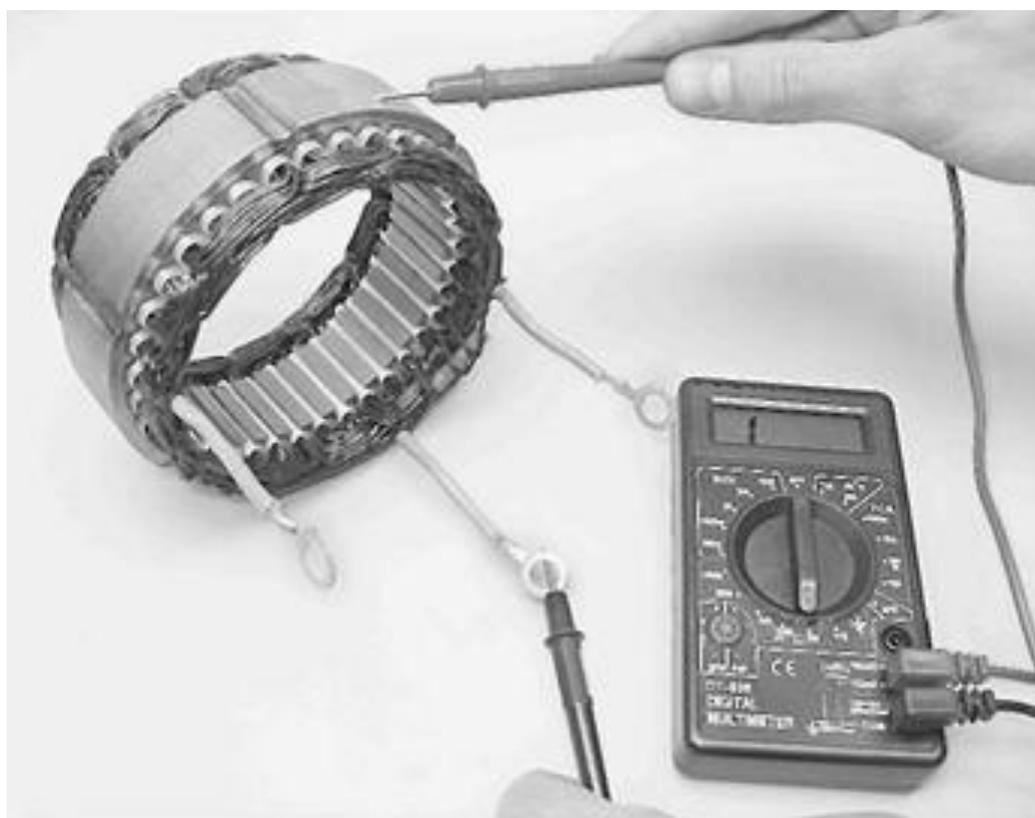


Рис. 127. Проверка обмоток статора на отсутствие замыкания на корпус

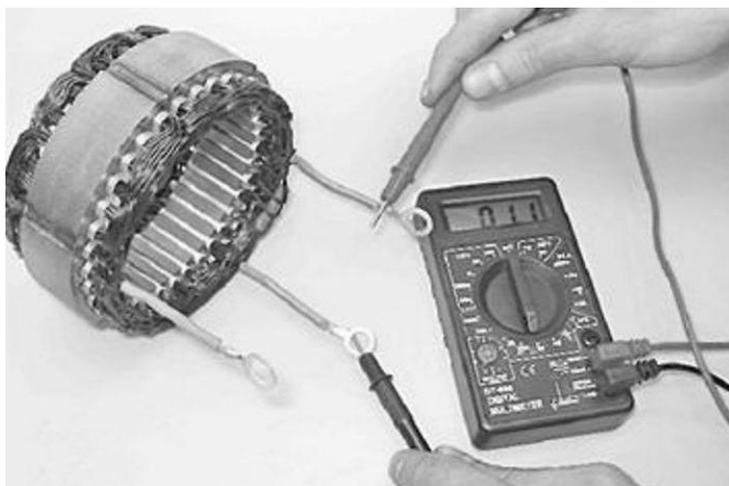


Рис. 128. Проверка обмоток статора на обрыв

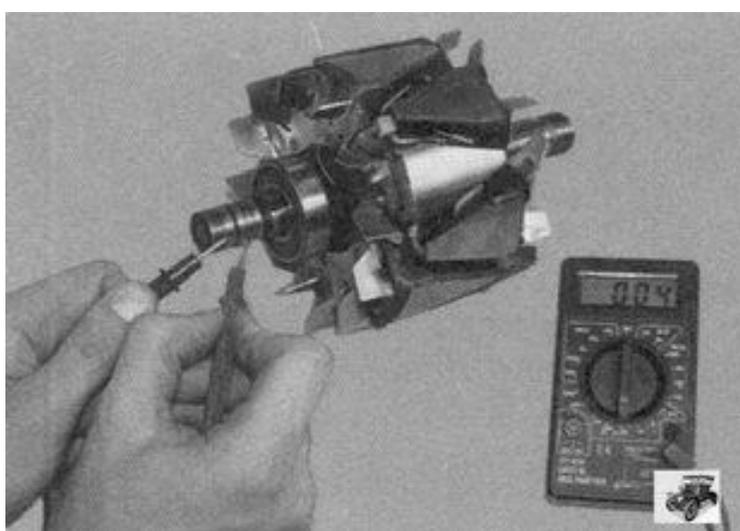


Рис. 129. Проверка обмоток ротора на обрыв



Рис. 130. Проверка обмоток ротора на отсутствие замыкания на корпус

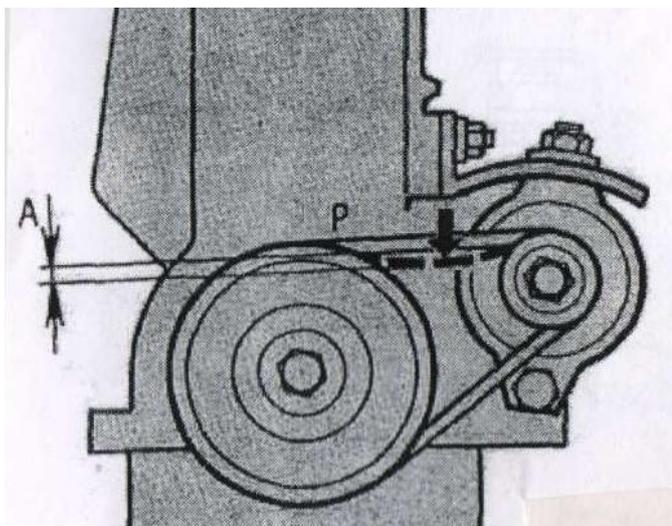


Рис. 131. Проверка натяжения ремня привода генератора

Контрольные вопросы

1. Устройство, назначение и принцип действия генератора?
2. Признаки, причины и средства устранения неисправностей генератора?
3. Методы и средства для проверки и диагностики генератора?
4. Мероприятия по обслуживанию генераторов (крепежные, контрольно-осмотровые, регулировочные, смазочные работы)?
5. Дефекты основных деталей генератора?

Лабораторная работа № 32. «Изучение устройства системы зажигания. Обслуживание системы зажигания»

Цель работы: Ознакомление с различными типами систем зажигания автомобилей. Изучение схем систем зажигания. Изучение устройства приборов системы зажигания. Диагностика неисправностей систем зажигания. Проведение обслуживания системы зажигания.

Оборудование и инструменты:

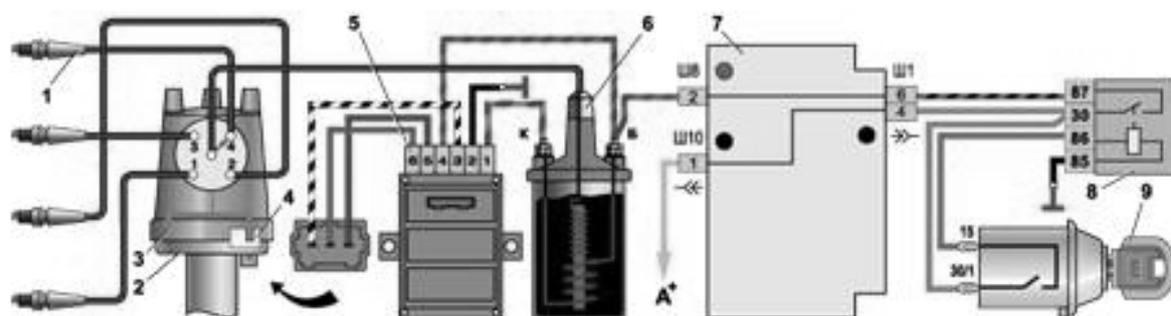
1. Диагностический сканер.
2. Мультиметр.
3. Набор инструмента.
4. Автомобиль (ГАЗ-31029).

Ход работы:

1. Ознакомится с основными компонентами системы зажигания автомобиля.
2. Провести диагностику системы зажигания и ее элементов (катушка зажигания, прерыватель-распределитель, высоковольтные провода, свечи зажигания и т.д.).
3. Провести мероприятия по обслуживанию системы зажигания.
4. Оформить отчет.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- наименование работы;
- цель работы;
- ответ на контрольные вопросы.



- 1 – свечи зажигания;
- 2 – датчик-распределитель зажигания;
- 3 – экран;
- 4 – бесконтактный датчик;
- 5 – коммутатор; 6 – катушка зажигания;
- 7 – монтажный блок;
- 8 – реле зажигания;
- 9 – выключатель зажигания;
- А – к клемме "30" генератора

Рис. 132. Схема бесконтактной системы зажигания

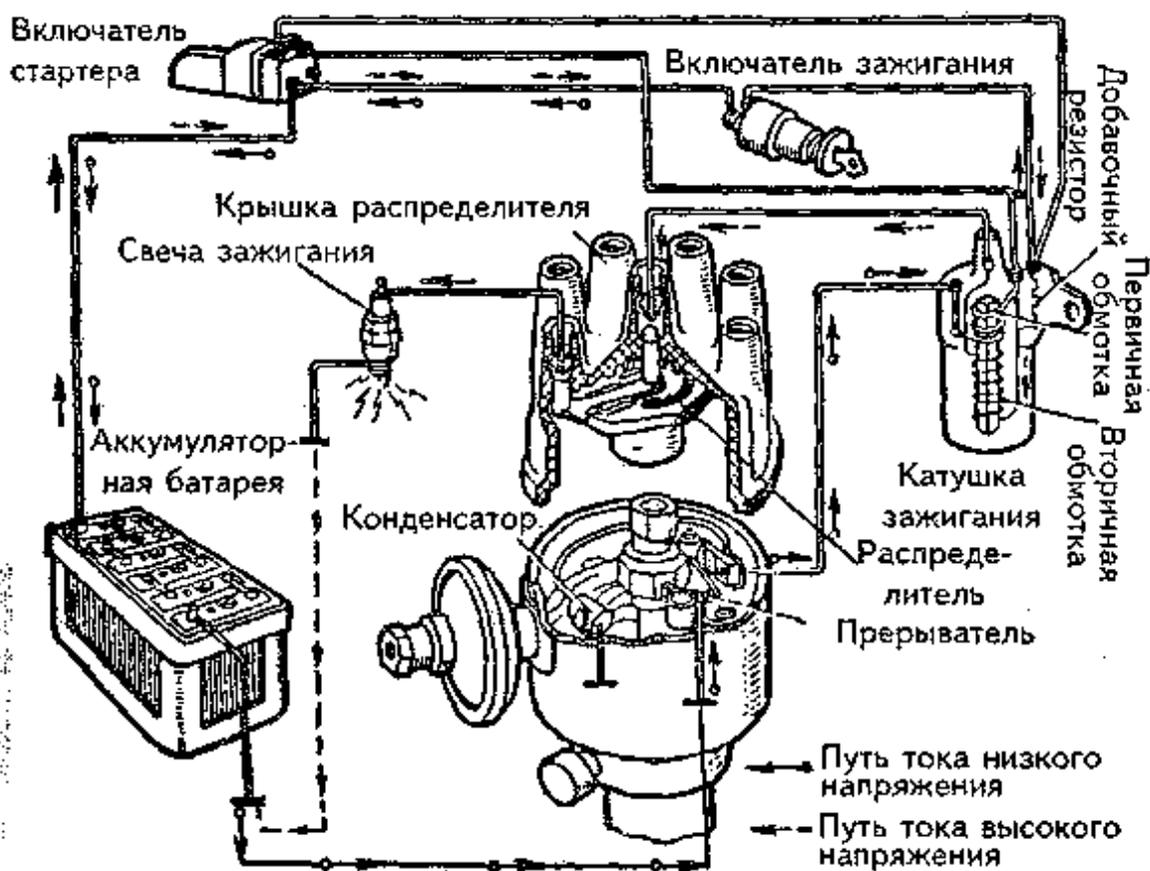


Рис. 133. Элементы контактной системы зажигания

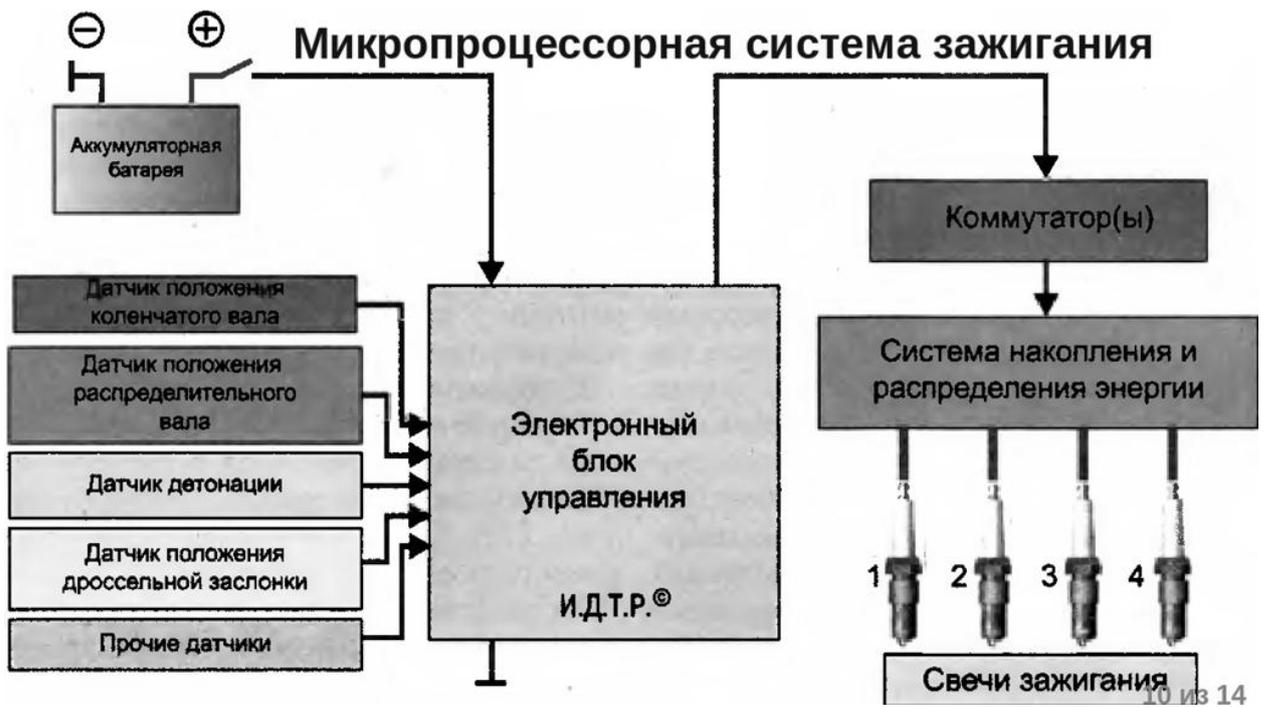


Рис. 134. Схема микропроцессорной системы зажигания

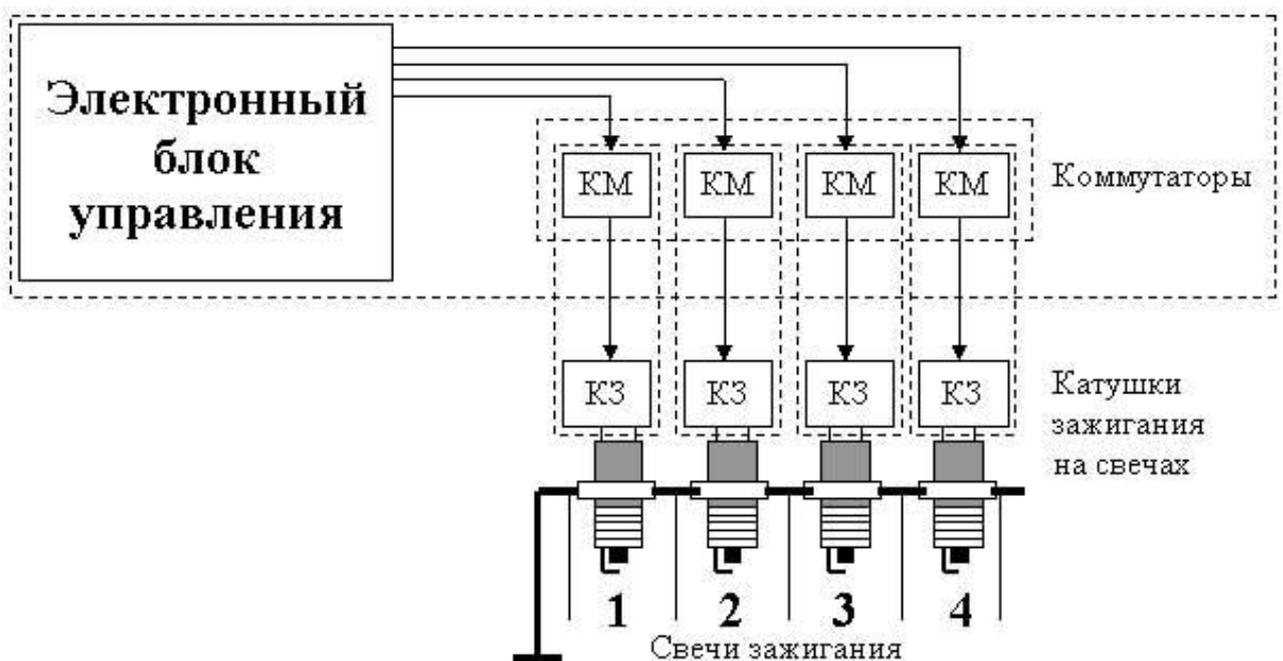


Рис. 135. Общая схема системы зажигания с катушками на свечах

Проверка элементов системы зажигания

- проверка катушки зажигания

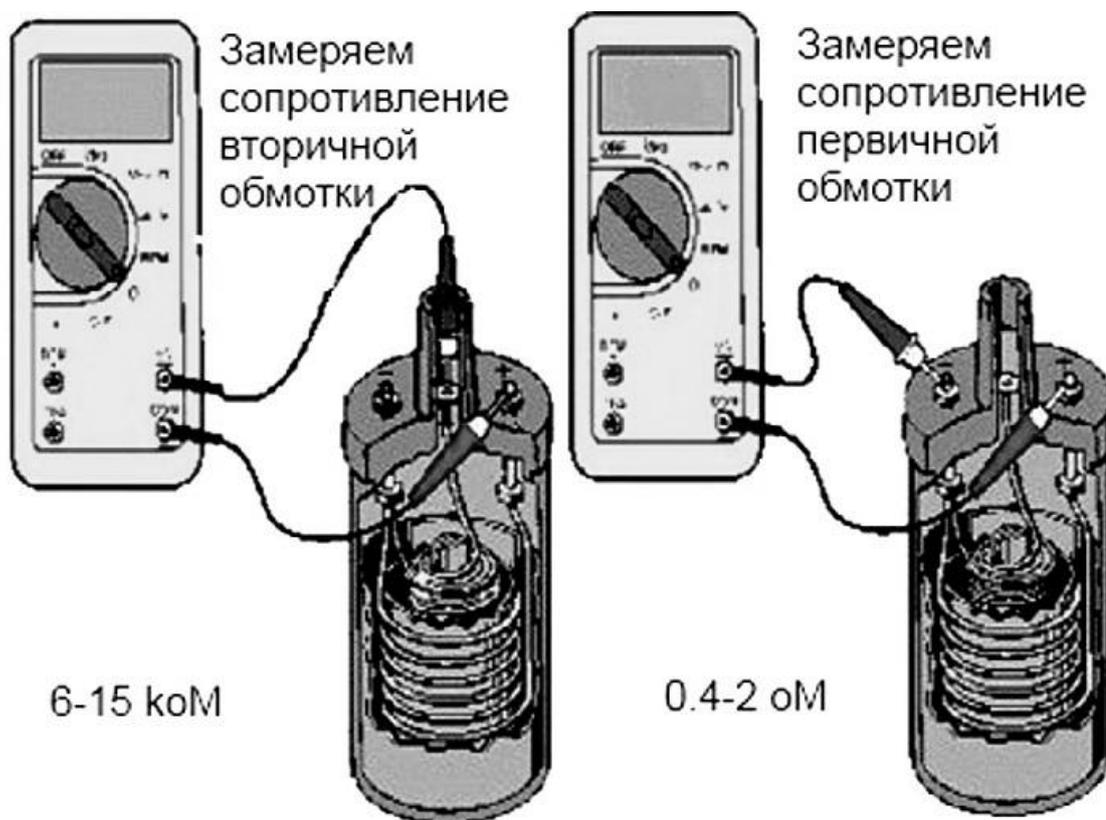


Рис. 136. Проверка катушки зажигания мультиметром



Рис. 137. Проверка первичной обмотки катушки зажигания мультиметром



Рис. 138. Проверка вторичной обмотки катушки зажигания мультиметром

Данные полученные при проведении диагностических работ необходимо сравнить с номинальными конкретной катушки зажигания.



Рис. 139. Проверка высоковольтных проводов мультиметром

В исправных проводах сопротивление должно варьироваться в пределах от 3,5 до 10 кОм в зависимости от типа самих проводов. Информация о сопротивлении указана чаще всего на изоляции высоковольтных проводов. Проверьте каждый провод, разброс между ними не должен превышать 2-4 кОма.

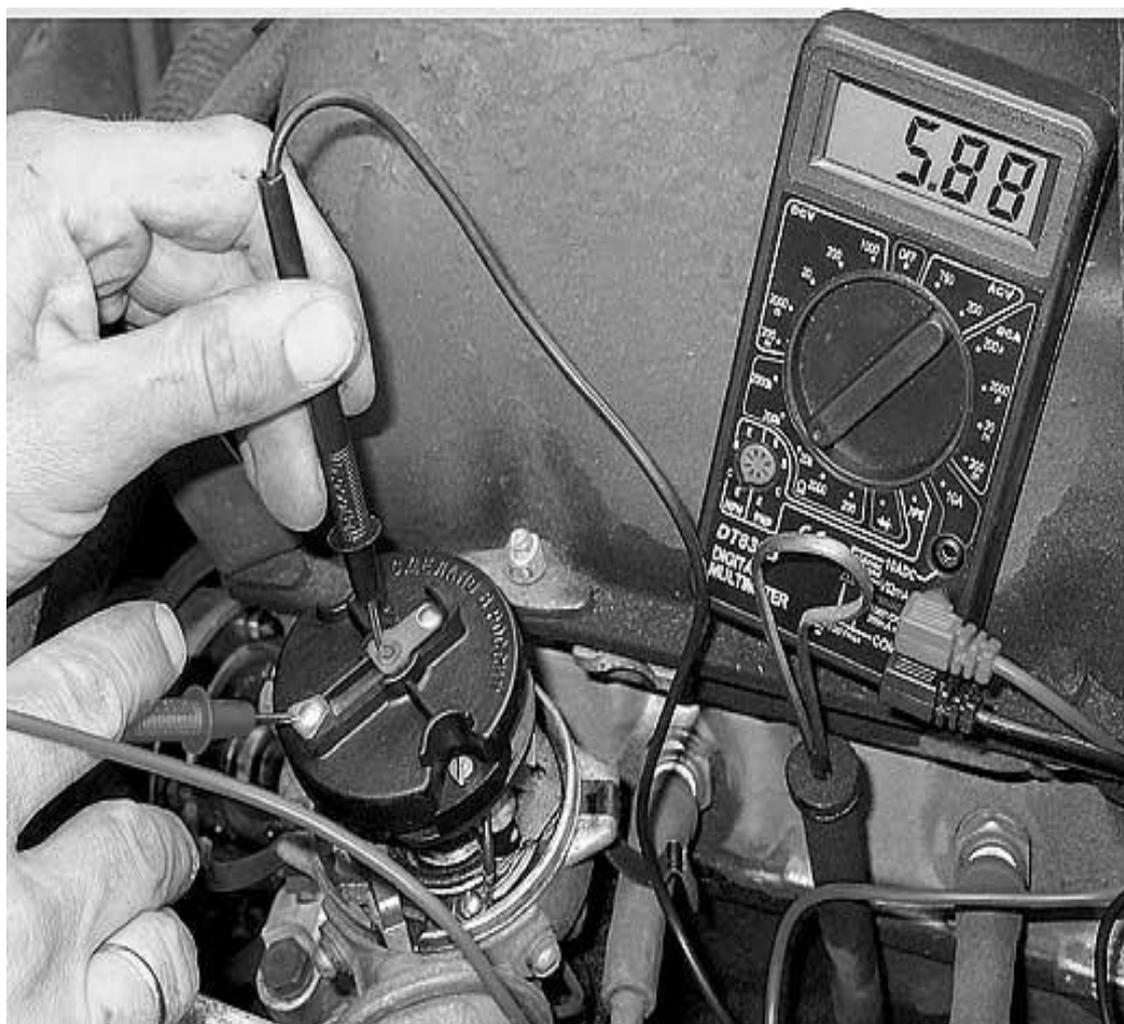


Рис. 140. Проверка бегунка мультиметром



Рис. 141. Проверка распределителя зажигания мультиметром

Мероприятия по ТО системы зажигания

При ТО-1 очищают поверхности приборов зажигания от пыли и грязи, проверяют плотность крепления всех разъемов экранирующих шлангов проводов высокого напряжения и разъемов проводов низкого напряжения.

При ТО-2 смазывают валик и втулку ротора распределителя зажигания; осматривают распределитель и проверяют установку зажигания; выворачивают свечи, проверяют и регулируют зазор между их электродами; протирают съемные детали свечей, проверяют состояние изоляции проводов и их крепление; снимают, осматривают и устраняют неисправности распределителя зажигания.

При СО проверяют систему зажигания, чтобы избежать затрудненного пуска холодного двигателя зимой.

Зазор между электродами свечей проверяют с помощью специального круглого щупа. Установка нормального зазора производится подгибанием бокового электрода.

Контрольные вопросы

1. Классификация систем зажигания (представить в виде схемы)?
2. Устройство, назначение и принцип действия системы зажигания?
3. Признаки, причины и средства устранения неисправностей систем зажигания?
4. Мероприятия по обслуживанию системы зажигания (крепежные, контрольно-осмотровые, регулировочные, смазочные работы)?

**Лабораторная работа № 33. «Изучение устройства стартера.
Диагностика, дефектовка стартера»**

Цель работы: Изучение устройства стартера. Проведение разборочно-сборочных работ. Диагностика стартера. Дефектовка и сортировка деталей стартера.

Оборудование и инструменты:

1. Стартер.
2. АКБ (пуско-зарядное устройство).
3. Комплект соединительных проводов сечением не менее 16 см².
4. Мультиметр.
5. Набор инструмента.
6. Автомобиль (ГАЗ-31029).

Ход работы:

1. Изучить устройство стартера.
2. Провести разборку, сборку дефектовку и сортировку деталей стартера.
3. Провести диагностику элементов стартера.
4. Провести обслуживание системы пуска.
5. Оформить отчет.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- наименование работы;
- цель работы;
- ответы на контрольные вопросы.

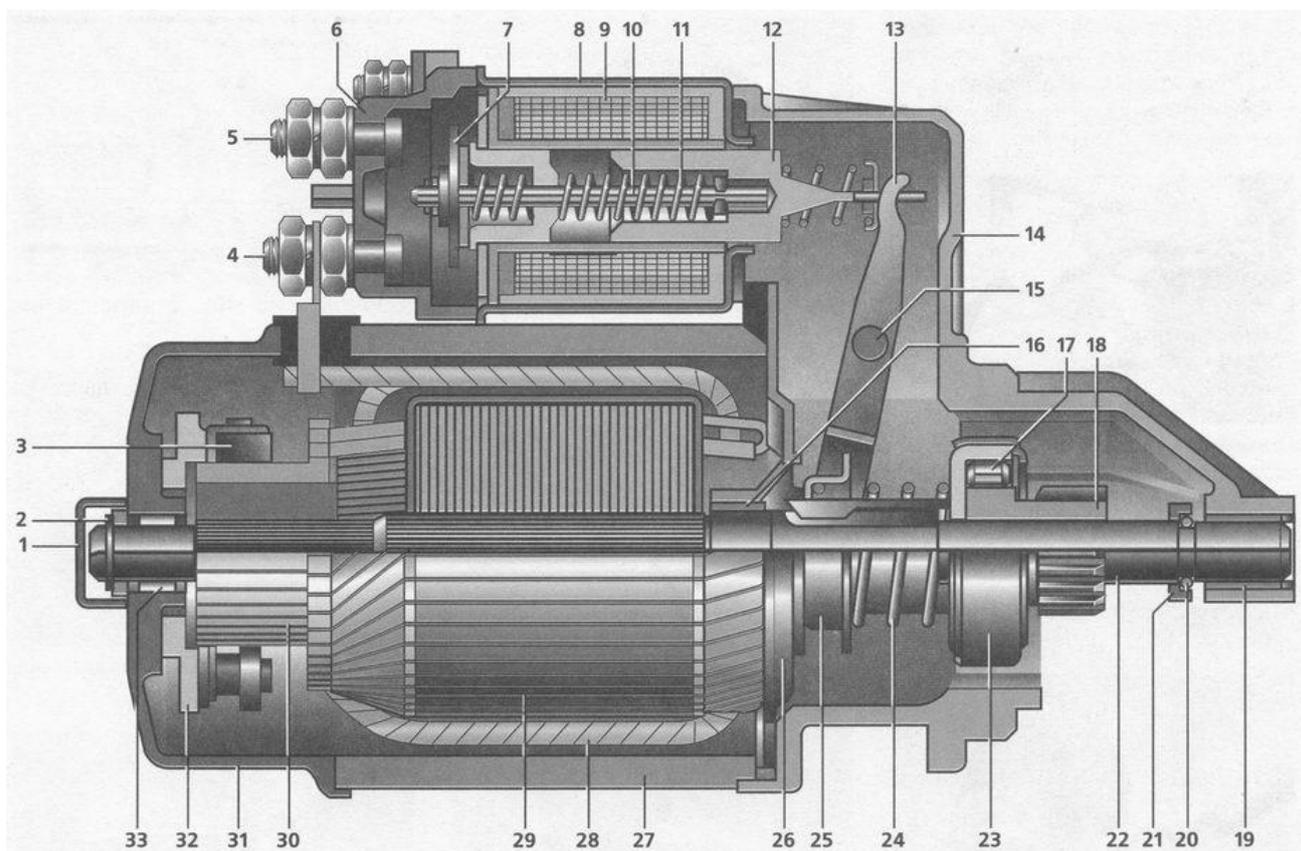


Рис. 142. Устройство стартера: 1 – защитный колпак; 2 – шайба запорная; 3 – щетка; 4, 5 – выводы; 6 – крышка тягового реле; 7 – контактная пластина; 8 – тяговое реле стартера; 9 – обмотка реле; 10 – шток; 11 – возвратная пружина; 12 – сердечник; 13 – рычаг; 14 – передняя крышка стартера; 15 – ось рычага; 16, 19 и 33 – втулки; 17 – ролик; 18 – ведущая (приводная) шестерня; 20 – кольцо пружинное; 21 – втулка упорная; 22 – вал; 23 – обгонная муфта; 24 – пружина; 25 – полумуфта включения; 26 – опора промежуточная; 27 – статор; 28 – обмотка статора; 29 – якорь; 30 – коллектор; 31 – задняя крышка стартера; 32 – щеткодержатель

Технологический процесс ремонта стартера (на примере стартера 42.3708-10)

1. Снять стартер с автомобиля.
2. Ключом «на 13» отвернуть гайку крепления наконечника провода к тяговому реле стартера и отсоединить наконечник провода.
3. Отверткой отвернуть два винта крепления тягового реле.
4. Снять тяговое реле стартера и вынуть сердечник со штоком.

5. Отвернуть два винта крепления задней крышки стартера.
6. Снять запорную шайбу задней крышки стартера и шайбу задней крышки стартера.
7. Ключом «на 10» отвернуть две гайки крепления задней крышки стартера и снять заднюю крышку стартера.
8. Сдвинуть статор со шпилек.
9. Ключом «на 10» отвернуть гайку и отверткой отвернуть ось рычага.
10. Снять со шпилек изоляционные трубки.
11. Вынуть якорь из передней крышки стартера.
12. Поставив вал якоря на деревянный брусок, через накидной ключ «на 13» сбить упорную втулку.
13. Поддев отверткой, снять пружинное кольцо.
14. Снять с якоря упорную втулку, привод в сборе (бендикс) и промежуточную опору.
15. Омметром проверить отсутствие замыкания обмоток статора на корпус стартера.
16. Дефекты обмоток якоря определить визуально – места замыканий или пробоев на «массу» чернеют. Коллектор не должен иметь следов обгорания и сильного износа.
17. Собрать стартер в обратной последовательности, смазав втулки и детали привода тонким слоем смазки ЦИАТИМ-201 или моторным маслом.
18. Упорную втулку надеть на вал так, чтобы конусная проточка была обращена в сторону канавки под пружинное кольцо.
19. Затем поставить на место пружинное кольцо и напрессовать на него втулку раздвижными пассатижами.
20. Собрал стартер, штангенциркулем измерить расстояние от торца шестерни привода до привалочной плоскости стартера, которое должно быть не более 21,5 мм.
21. Чтобы проверить полный вылет шестерни при включении стартера подать на тяговое реле напряжение 12 В от аккумуляторной батареи («+» на

вывод обмотки тягового реле стартера, а «-» – на корпус стартера) и штангенциркулем измерить зазор между шестерней привода и упорной втулкой, который должен быть 4-5 мм.

22. Для регулировки зазора отвернуть гайку оси рычага и шлицевой отверткой вращать ось.

23. Повторно проверить зазор. При необходимости повторить регулировку, затянуть гайку оси рычага и отсоединить провода.

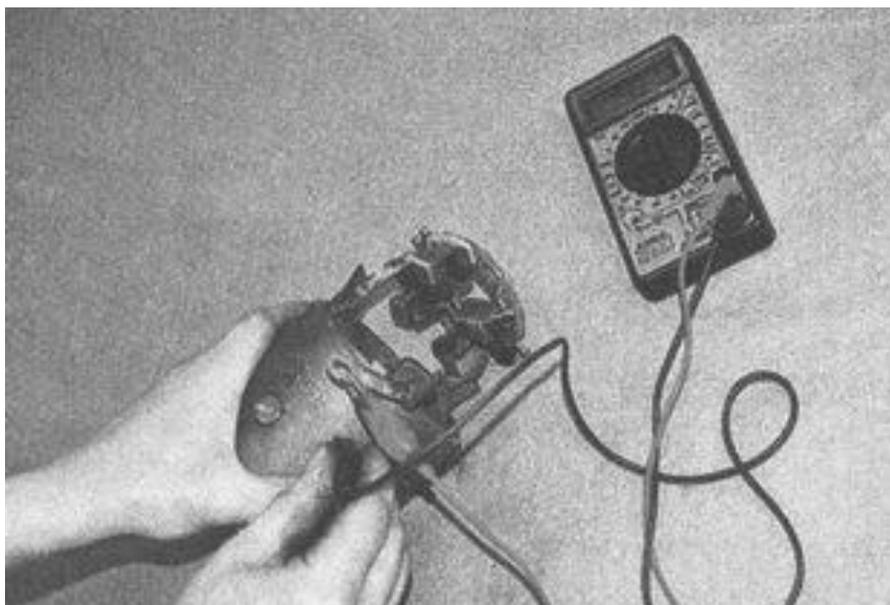
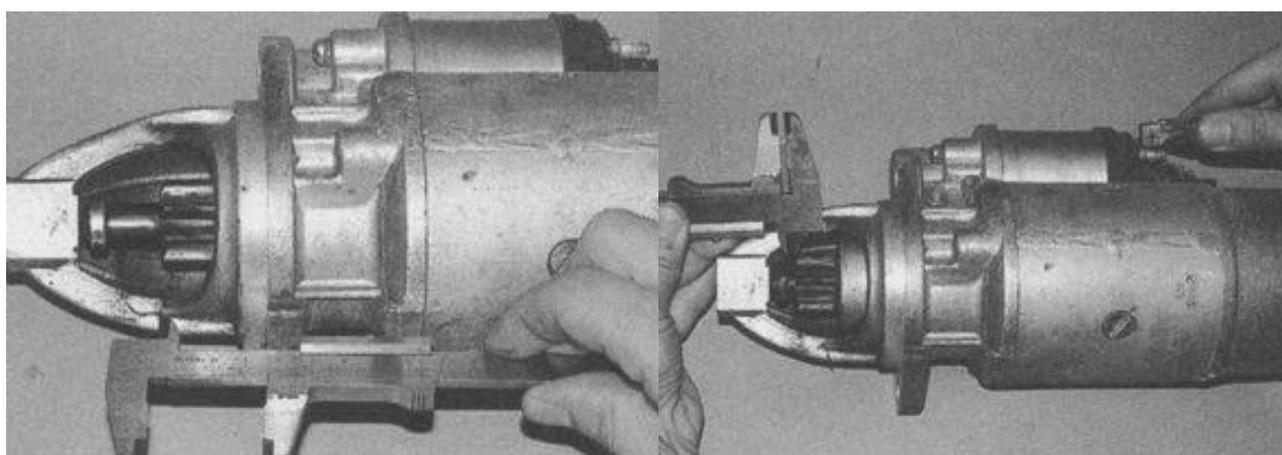


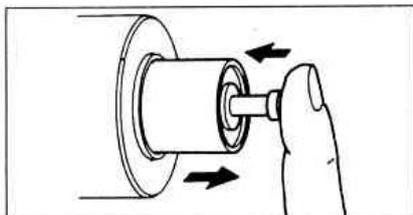
Рис. 143. Проверка отсутствия замыкания обмоток статора на корпус стартера



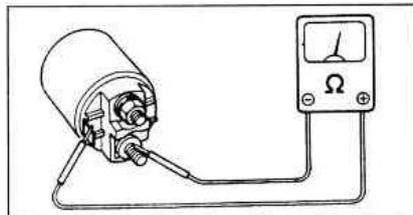
а) б)
Рис. 144. Проверка привода стартера

Проверка тягового реле

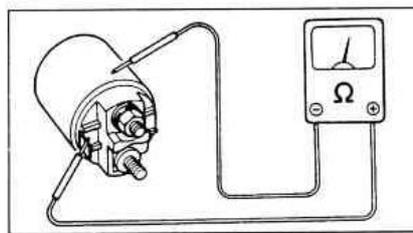
1. Нажмите на шток тягового реле и отпустите его. Шток должен немедленно вернуться обратно.



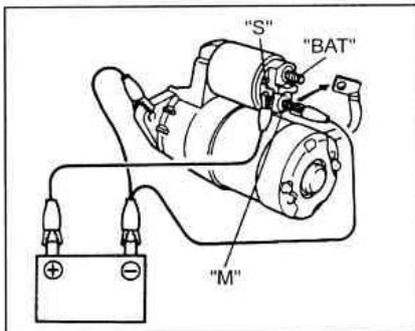
2. Проверка втягивающей обмотки. Проверьте наличие проводимости между выводами "S" и "M" тягового реле.



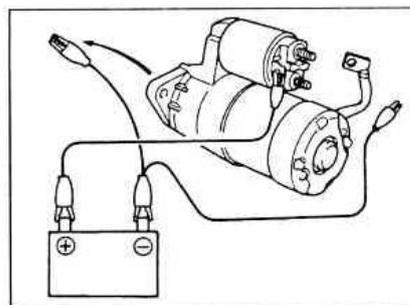
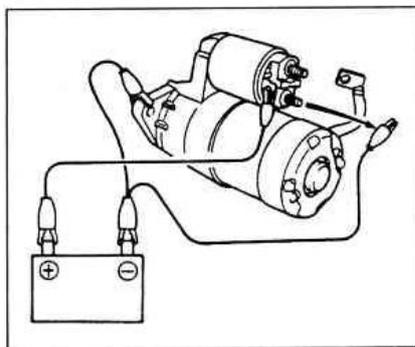
3. Проверка удерживающей обмотки. Проверьте наличие проводимости между выводом "S" и корпусом тягового реле.



Убедитесь, что шестерня выдвинулась наружу. Если ведущая шестерня не выдвинется, то замените тяговое реле в сборе.

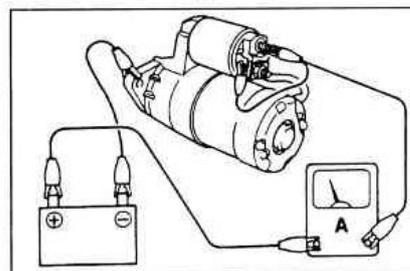


2. Проверка удерживающей обмотки. При подсоединении, выполненном, как указано в предыдущем пункте, и выдвинутой ведущей шестерне обгонной муфты отсоедините (-) провод от вывода "M". Убедитесь, что ведущая шестерня остается выдвинутой. Если ведущая шестерня возвращается внутрь, то замените тяговое реле в сборе.



4. Проверьте работу стартера без нагрузки.

а) Подсоедините провода от аккумуляторной батареи и от амперметра к стартеру, как это указано на рисунке, а также подсоедините провод обмотки к выводу "M".



б) Проверьте, что якорь стартера вращается равномерно, и ведущая шестерня обгонной муфты выдвинута. Измерьте при помощи амперметра силу тока.

Номинальная сила тока (при 11 В)..... 90А

Проверка статора

1. При помощи омметра убедитесь в наличии проводимости между клеммой провода и проводом щетки, как это указано на рисунке. В противном случае замените корпус стартера в сборе с обмоткой статора.



2. Убедитесь в отсутствии проводимости между обмоткой статора и корпусом. В противном случае замените корпус стартера в сборе с обмоткой статора.



Проверка работы стартера

1. Проверка втягивающей обмотки тягового реле.

а) Отсоедините провод обмотки от вывода "M".

б) Подсоедините провода от аккумуляторной батареи к выводам тягового реле, как это указано на рисунке.

3. Проверьте, возвращается ли ведущая шестерня.

Отсоедините (-) провод от корпуса тягового реле. Убедитесь, что ведущая шестерня обгонной муфты втянулась внутрь. Если ведущая шестерня обгонной муфты не втянулась, то замените тяговое реле в сборе.

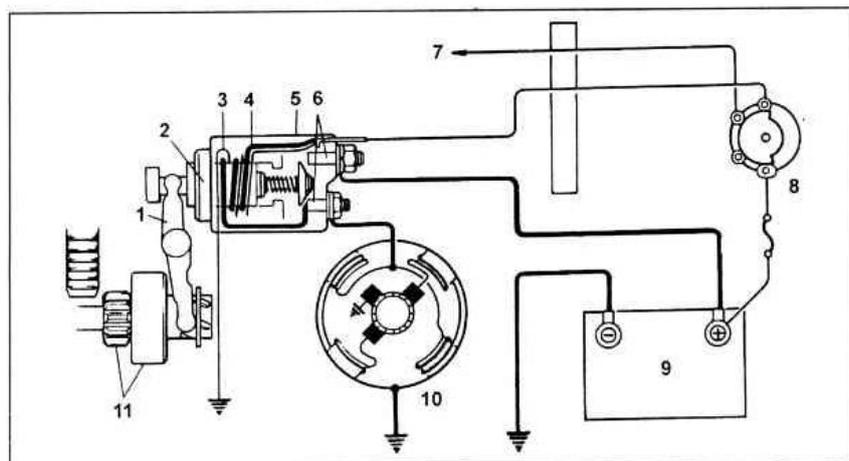


Схема системы запуска (стартер без редуктора). 1 - рычаг стартера, 2 - плунжер, 3 - удерживающая обмотка, 4 - втягивающая обмотка, 5 - тяговое реле, 6 - контакты тягового реле, 7 - к распределителю, 8 - замок зажигания, 9 - аккумуляторная батарея, 10 - электродвигатель стартера, 11 - обгонная муфта.

Рис. 145. Проверка стартера

Мероприятия технического обслуживания системы пуска

При ТО проверяют крепление стартера и проводов к зажимам тягового реле, реле включения и провода от зажима, реле к «массе». Подтягивают стяжные болты стартера. Снимают защитную ленту и проверяют состояние коллектора, щеток и их пружин, наличие пыли на крышке и щеткодержателях.

Пыль со щеткодержателей, крышки и коллектора удаляют сжатым воздухом. Замасленный или загрязненный коллектор протирают чистой тряпкой, слегка смоченной бензином.

При большой загрязненности крышки, щеток, коллектора, сильном износе щеток и для устранения других дефектов снимают стартер с двигателя. В стартерах подшипники смазывают перед сборкой жидким моторным маслом.

При подготовке автомобиля к зимней эксплуатации при очередном ТО-2 снимают стартер с двигателя и разбирают его для проверки состояния щеток и их пружин, коллектора, обмоток, деталей и узлов привода, подшипников, тягового реле. Для сохранения смазки в подшипниках не допускается промывать крышки керосином или бензином. После устранения дефектов стартер собирают, уделив особое внимание надежности крепления винтов опоры среднего подшипника. После сборки проверяют легкость вращения якоря и регулируют привод шестерни. Затем проверяют стартер на стендах Э-211, 532-И, КИ-968 и др.

Контрольные вопросы

1. Устройство, назначение и принцип действия стартера?
2. Признаки, причины и методы устранения неисправностей стартера?
3. Методы и средства для проверки и диагностики стартера?
4. Мероприятия по обслуживанию системы пуска (крепежные, контрольно-осмотровые, регулировочные, смазочные работы)?
5. Дефекты основных деталей стартера?

Лабораторная работа № 34. «Изучение устройства КИП, приборов освещения и сигнализации, их обслуживание»

Цель работы: Ознакомление с конструкцией КИП, приборов освещения и сигнализации. Диагностика и обслуживание КИП, приборов освещения и сигнализации.

Оборудование и инструменты:

1. Автомобиль (ГАЗ-31029).
2. Набор инструмента (ключи рожковые, накидные, головки).
3. Набор отверток с магнитными наконечниками.
4. Мультиметр цифровой.

Ход работы:

1. Изучить состав применяющихся на автомобиле КИП, приборов освещения и сигнализации. Ознакомиться с сигнализаторами на приборной панели.
2. Провести диагностику и обслуживание КИП, приборов освещения и сигнализации.
3. Оформить отчет.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- наименование работы;
- цель работы;
- ответы на контрольные вопросы.

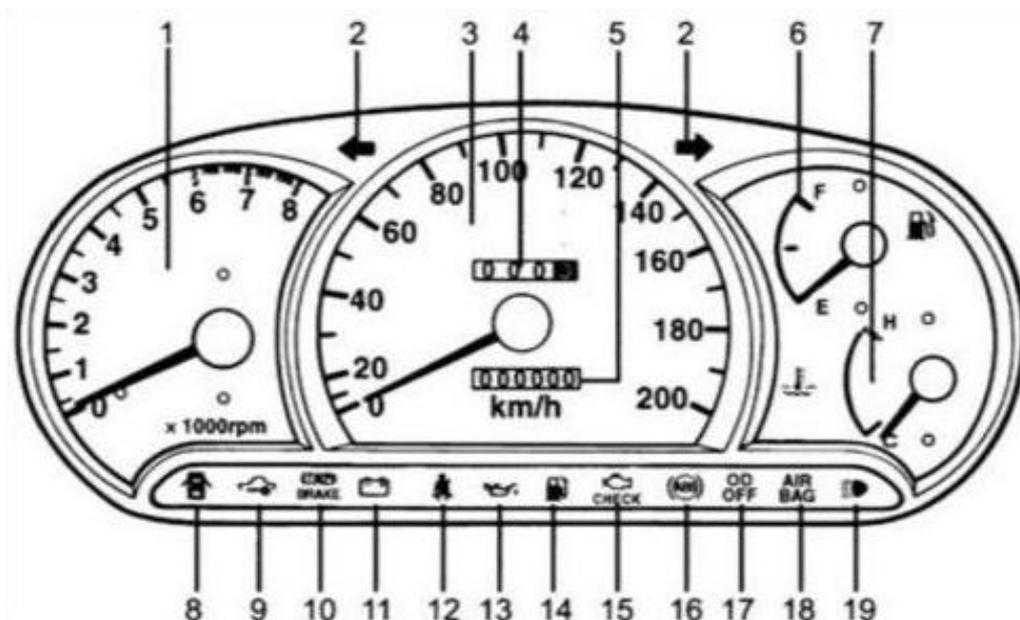


Рис. 146. КИП и сигнализаторы на приборной панели: 1 – тахометр; 2 – контрольные лампы указателя поворотов; 3 – спидометр; 4 – счетчик суточного пробега; 5 – одометр; 6 – указатель уровня топлива; 7 – указатель температуры охлаждающей жидкости; 8 – контрольная лампа сигнализации о незакрытой двери; 9 – контрольная лампа иммобилайзера; 10 – контрольная лампа включения стояночного тормоза; 11 – контрольная лампа разряда аккумулятора; 12 – контрольная лампа сигнализации ремней безопасности; 13 – контрольная лампа давления масла; 14 – контрольная лампа резерва топлива; 15 – контрольная лампа неисправности двигателя (MIL); 16 – контрольная лампа индикации неисправности ABS; 17 – контрольная лампа выключения повышающей передачи; 18 – контрольная лампа индикации неисправности дополнительной системы пассивной безопасности (SRS); 19 – контрольная лампа включения дальнего света фар



Рис. 147. Индикаторы, которыми оборудован дизельный автомобиль



Рис. 148. Индикаторы внешних световых приборов



Рис. 149. Предупредительные индикаторы

Индикация загорающихся лампочек под значками разделяется по цветам на 3 группы.

Красные значки говорят об опасности, и если загорается какое-либо обозначение таким цветом, стоит обратить внимание на сигнал бортового компьютера, чтобы предпринять меры по быстрому устранению неисправности. Иногда они не столь критичны, и продолжать движение автомобиля, когда горит такой значок на панели, можно, а иногда не стоит.

Желтые индикаторы предупреждают о неисправности или необходимости произвести какие-то действия по управлению автомобилем, или его сервисном обслуживании.

Зеленые лампочки обозначений информируют о сервисных функциях автомобиля и их активности.

Световые приборы автомобиля

Приборы освещения необходимы при движении автомобиля в темное время суток и в условиях недостаточной видимости. Они обозначают

габаритные размеры транспортных средств, обеспечивают освещение дороги и внутренних пространств автомобиля.



Рис. 150. Световые приборы спереди



Рис. 151. Световые приборы сзади

Диагностика и обслуживание КИП, приборов освещения и сигнализации

Для проверки датчиков необходимо знать величины измеряемых параметров (давления, температуры, уровня). Косвенное измерение этих

величин во многих случаях на автомобиле затруднено. Поэтому наиболее приемлем метод сравнения, когда в контролируемую систему включаются эталонные приборы-датчики.

Проверку катушек КИП на обрыв можно осуществить либо с помощью контрольной лампы (1 Вт), включаемой последовательно с проверяемой катушкой (при обрыве лампа не горит), либо омметром (при обрыве омметр показывает «бесконечность»).

Отказ в работе спидометра (тахометра) обусловлен обрывом троса, выходом его конца из зацепления, заеданием в механизме счетного узла, нарушением регулировки, усталостью пружины и размагничиванием магнита скоростного узла. С целью определения неисправности троса его отсоединяют в месте крепления у коробки передач или двигателя и освободившийся конец проворачивают рукой. Если трос вращается, а стрелка не отклоняется от нуля и счетный узел не работает, трос оборван. При заедании троса или механизма счетного узла проворачивание троса затруднено или невозможно.

В спидометрах (тахометрах) с электроприводом причина отказа может заключаться в нарушении мест контакта или выхода из строя радиотехнических элементов (резисторов, диодов, транзисторов).

Обслуживание приборов системы освещения и сигнализации

При ежедневном обслуживании рекомендуется проверять рассеиватели, исправность всех приборов в различных положениях центрального и ножного переключателя света, а также переключателя указателей поворота, убедиться в исправности контрольных ламп.

При ТО-1 рекомендуется выполнить операции ЕО и проверить: крепление фар, подфарников, заднего фонаря, центрального переключателя света, переключателя указателей поворота и сигналов, крепление и состояние изоляции проводов фар и подфарников, надежность крепления наконечников проводов с клеммами.

При ТО-2 выполняются операции ТО-1, проверяются работа звукового сигнала, установка световых пучков и сила света фар, крепление проводов и переключателей.

Контрольные вопросы

1. Назначение КИП, приборов освещения и сигнализации?
2. Принцип действия КИП (спидометра, тахометра, манометра, указателя уровня топлива, датчиков температуры охлаждающей жидкости, датчика давления масла, аварийных сигнализаторов и т.п.)?
3. Устройство и работа приборов освещения и сигнализации?
4. Средства и методы диагностики и обслуживания КИП, приборов освещения и сигнализации?
5. Указать характерные неисправности КИП, приборов освещения и сигнализации?

Лабораторная работа № 35. «Диагностика ЭСУД»

Цель работы: Ознакомление с элементами ЭСУД и их расположением. Считывание ошибок ЭБУ. Диагностика, обслуживание и ремонт датчиков системы.

Оборудование и инструменты:

1. Автомобиль (ВАЗ-2170).
2. Набор инструмента (ключи рожковые, накидные, головки).
3. Набор отверток с магнитными наконечниками.
4. Мультиметр цифровой.
5. Сканер диагностический.

Ход работы:

1. Ознакомиться с компонентами ЭСУД.
2. Диагностика кодов неисправностей. Сброс кодов неисправностей.
3. Проверка и замена датчиков ЭСУД.
4. Оформить отчет.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- наименование работы;
- цель работы;
- ответы на контрольные вопросы.

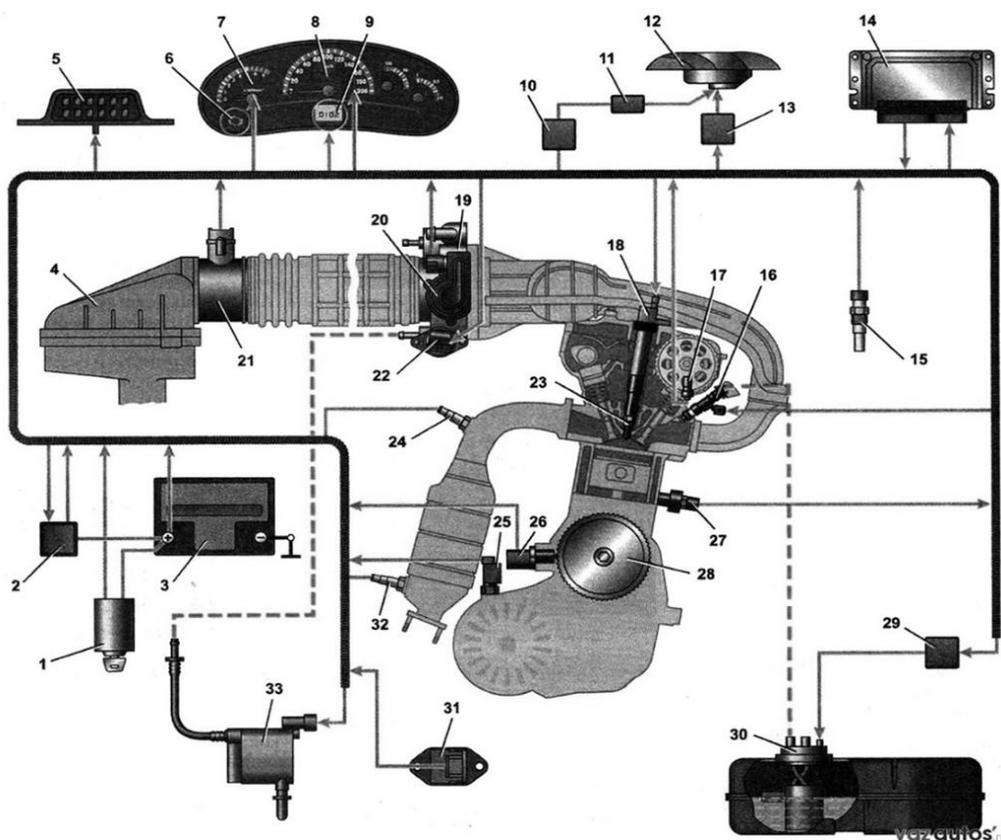


Рис. 152. Схема системы управления двигателем: 1 – выключатель (замок) зажигания; 2 – главное реле; 3 – аккумуляторная батарея; 4 – воздушный фильтр; 5 – колодка диагностического разъема; 6 – контрольная лампа неисправности системы управления двигателем; 7 – тахометр; 8 – спидометр; 9 – дисплей маршрутного компьютера; 10 – реле включения электроклапана (низкая скорость); 11 – дополнительный резистор; 12 – электроклапан системы охлаждения двигателя; 13 – реле включения электроклапана (высокая скорость); 14 – электронный блок управления двигателем (ЭБУ); 15 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 16 – форсунки; 17 – датчик положения распределительного вала (датчик фаз); 18 – катушка зажигания; 19 – дроссельный узел; 20 – датчик положения дроссельной заслонки; 21 – датчик массового расхода воздуха; 22 – регулятор холостого хода; 23 – свеча зажигания; 24, 32 – датчики концентрации кислорода; 25 – датчик скорости автомобиля; 26 – датчик положения коленчатого вала; 27 – датчик детонации; 28 – шкив коленчатого вала; 29 – реле топливного насоса; 30 – топливный модуль; 31 – датчик неровной дороги; 33 – клапан продувки адсорбера

На автомобилях с системой кондиционирования воздуха дополнительно установлен датчик давления.

Диагностический сканер (Сканматик)



Рис.153. Автономный диагностический сканер OBD-2

Подключение адаптера к ПК

Посредством USB (только для настольных ПК).

1. Установите программу Сканматик перед подключением адаптера к USB.
2. Подключите кабель USB к разъему адаптера и к свободному порту USB на компьютере. Windows автоматически установит драйвер USB. В Windows XP при первом подключении адаптера к USB на экране появится мастер “Найдено новое оборудование”. Выберите автоматический поиск драйвера.
3. Если Windows не смогла найти драйвер устройства автоматически, то выберите установку драйвера с указанием пути с установленной программой (как правило «C:\Program Files\Scanmatik\Driver»).
4. Убедитесь, что установка USB драйвера прошла успешно.

Посредством Bluetooth.

Настройка соединения по Bluetooth не требует от пользователя никаких дополнительных настроек (таких как создание виртуальных СОМ-портов, ввода ПИН кода и т.п.), кроме описанных ниже.

Для настольных ПК сделайте следующие шаги.

1. Если Ваш компьютер еще не оборудован Bluetooth адаптером, то используйте внешний USB-Bluetooth адаптер. Его можно заказать в комплекте с прибором или приобрести в компьютерном магазине. Если в комплект поставки USB-Bluetooth адаптера входит диск с программным обеспечением – установите его.
2. Убедитесь, что драйверы («стек») Bluetooth работают нормально. Об этом, как правило, свидетельствует значок " " в панели задач Windows. Так как в радиусе действия Bluetooth могут работать несколько приборов СКАНМАТИК, требуется привязать Вашу программу к конкретному номеру адаптера, для этого сделайте следующее:
 - Подключите адаптер к автомобилю.
 - Настольный ПК: Запустите программу Сканматик, выберите пункт меню «Вид->Настройки» и выберите тип соединения «Bluetooth» – программа предложит привязать адаптер. Карманный ПК: Запустите программу Сканматик, выберите пункт меню «Меню->Настройки». В открывшемся окне нажмите кнопку “Поиск адаптеров”.
 - Следуйте указаниям программы.

Подключение адаптера к автомобилю.

ВНИМАНИЕ! Подключение и отключение адаптера к диагностическому разъему автомобиля следует проводить только при выключенном зажигании. В противном случае существует вероятность сбоя в работе систем автомобиля в момент подключения адаптера.

1. Выключите зажигание автомобиля.
2. Подключите адаптер к диагностической колодке автомобиля и, если необходимо, к разъему прикуривателя (или «12В») с помощью

главного кабеля и соответствующего переходника. Подробнее о местонахождениях диагностической колодки и используемых переходниках читайте в описании соответствующего диагностического модуля.

3. Убедитесь, что светодиод на адаптере горит зеленым цветом (т.е. на него поступает питание от бортовой сети автомобиля).
4. Включите зажигание автомобиля.

Запуск программы.

1. Подключите адаптер как описано в разделах «Подключение адаптера к ПК» и «Подключение адаптера к автомобилю».
2. Запустите программу. На экране появится главное меню.
3. Настройте соединение с адаптером в меню “Вид-> Настройки” для настольных ПК и “Меню-> Настройки” для КПК.
4. Программа готова к работе. Выберите нужную марку автомобиля и следуйте инструкциям, приведенным в описании соответствующего диагностического модуля.

Перечень элементов для проверки.

1. Датчик температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ).
2. Датчик детонации.
3. Датчик массового расхода воздуха (ДМРВ).
4. Датчик скорости автомобиля.
5. Датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ), регулятор холостого хода (РХХ).
6. Датчик положения коленчатого вала.
7. Управляющий датчик концентрации кислорода.
8. Диагностический датчик концентрации кислорода.
9. Датчик фаз.
10. Датчик неровной дороги.

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и задачи ЭСУД?
2. Принцип действия элементов ЭСУД?
3. Средства и методы диагностики и обслуживания ЭСУД?
4. Признаки, причины и способы устранения неисправностей ЭСУД?
5. Опишите технологический процесс проверки и ремонта ЭСУД (пошаговая проверка)?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев В. Г. Электроника и микропроцессорная техника [Текст]: учебник для вузов/В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - 6-е изд., стер.- Москва:КноРус,2013.
2. Смирнов Ю. А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилями [Текст]: учебное пособие/Ю.А. Смирнов, А.В. Муханов.- Санкт-Петербург и др.:Лань,2012.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учеб. для вузов. – М.: Гардарики, 2011. – 638с.
4. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебное пособие / Ю.П. Чижков. — Электрон. текстовые данные. — М.: Машиностроение, 2007.
5. Глазенко Т.А., Прянишников В.А. Электротехника и основы электроники. – 3. М.: Высшая школа, 2010. –356 с.
6. Смолин А.Б. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока с использованием законов Ома и Кирхгофа: Практикум по электротехнике. – Челябинск: Издательство ЧГПУ, 2010. – 19 с.
7. Смолин А.Б. Расчет сложных линейных электрических цепей постоянного тока: Задание на контрольную работу с методическими указаниями. – Челябинск: Издательство ЧГПУ, 2011. – 17 с
8. <https://studfiles.net/>
9. <http://car-exotic.com>
10. http://automn.ru/vaz-2170/vaz-36932-10.m_id-368.m_id2-4859.html
11. http://dricar.ru/img/samara/book/diagnostika_sistem_upravlenija_dvig_atelem.pdf
12. <https://www.drive2.ru/b/2001867/>
13. <https://vazremont.com/kody-oshibok>
14. <http://expertvaz.ru/priora/kodyi-oshibok-neispravnosti-0130-0441-bortovoy-kompyuter.html>

Учебное издание

Руднев Валерий Валентинович,

Хасанова Марина Леонидовна,

Дмитриев Михаил Сергеевич

Электротехника, электроника и
электрооборудование автомобилей

Учебно-практическое пособие

ISBN

Работа рекомендована РИС университета

Протокол № 000 от 2023 г.

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор О.В. Угрюмова

Технический редактор В.В. Мусатов

Компьютерный набор В.В. Руднев

Подписано в печать

Формат 60x84/16 Объем ... уч.-изд.л. (... усл.п.л.)

Тираж 100 экз. заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета

В типографии ЮУрГГПУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69