

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования

«Самарский государственный университет путей сообщения» в г.Саратове

Филиал СамГУПС в г. Саратове

КУРС ЛЕКЦИЙ

ОП.11 Электрические измерения

для студентов специальности:

Автоматика и телемеханика.

Саратов 2023

РАССМОТРЕНО

на заседании методического совета Протокол
№ 1 _____ от «21 » 09 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Протокол №1 от «31» 08 2023 г.

Председатель ЦМК 1 1.02.23 Автоматики и телемеханики

_____/И.В. Глухова/

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной работе

_____/С.А.Крижановский/

Автор (составитель):

А.Г.Волков преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове

Рецензент:

И.В. Глухова — преподаватель высшей квалификационной категории филиала
СамГУПС в г. Саратове

1 Лекция №1. Введение. Техническое регулирование, стандартизация и сертификация. Метрология и технология электрорадиоизмерений

Содержание лекции:

техническое регулирование, стандартизация, сертификация и подтверждение соответствия; измерения, электрорадиоизмерения и метрология; технология измерений; методы и средства измерений.

Цели лекции:

знакомство с нормативно-технической документацией в области метрологии, стандартизации и сертификации; с актуальными проблемами в области технического регулирования; с измерениями и измерительными технологиями.

Во всех экономически развитых странах имеются требования к продукции и услугам, процессам их производства и реализации. Контроль за соблюдением этих требований базируется на системах стандартизации, подтверждения соответствия и сертификации.

Стандартизация в обществе и технике представляет область всей человеческой деятельности. Стандартизация осуществляется в целях: повышения уровня безопасности технических объектов с учётом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера обеспечения научно-технического прогресса: повышения конкурентности продукции и услуг рационального использования оборудования и ресурсов технической и информационной совместимости сопоставимости результатов исследований, испытаний и измерений.

В области информационных технологий одним из направлений стандартизации является непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции (CALS – технология). Данная технология – стратегия систематического повышения эффективности, рентабельности процессов хозяйственной деятельности предприятия за счёт внедрения современных методов информационного взаимодействия всех участников жизненного цикла продукции.

Сопоставимость результатов исследований и измерений обеспечивается за счёт документов – метрологических стандартов, требований, правил и норм, обеспечивающих единство измерений в соответствии с Законом РФ “Об единстве измерений”.

В условиях современного рынка поставщик рекламирует товарные свойства своей продукции, оборудования. Покупатель обращает также

внимание на товарные свойства. Товарные свойства не всегда отражают безопасность продукции или оборудования. Поэтому производитель при обеспечении качества продукции несёт основные издержки на достижение товарных характеристик в ущерб поддержания её безопасности. Эффективность созданной продукции и предоставляемых услуг определяется двумя параметрами: качеством и ценой. Спрос на продукцию и услуги определяется соотношением “цена – качество”. Покупатель чаще всего заинтересован приобрести товар, у которого при сопоставимой цене выше качество. Не имея возможности выяснить все достоинства и недостатки товара, покупатель вынужден обращать внимание на товарную марку фирмы-изготовителя.

Защитить покупателя от недобросовестности производителя и продавца призваны подтверждение соответствия и сертификация. Термин “подтверждение соответствия” известен давно в мировой практике. Это документальное подтверждение о соответствии продукции установленным требованиям.

Сейчас эти требования устанавливаются стандартами или условиями договоров. Термин “сертификация” произошел от слова “сертификат”, что означает дословно – “сделано верно”. Впервые он был сформулирован и определён Комитетом по сертификации (СЕРТИКО) ИСО и включён в руководство №2 ИСО (ИСО/-МЭК2). В соответствии с этим документом сертификация - действие, удостоверяющее посредством сертификата соответствия или знака соответствия, что изделие или услуга соответствует определённым нормативным документам.

Закон Российской Федерации “О техническом регулировании” определил новую систему установления и применения требований к продукции, процессам и услугам. Основными инструментами технического регулирования станут технические регламенты - обязательные документы. Национальные стандарты будут представлять собой правила для добровольного использования. Технические регламенты вводятся на основании Республиканских Законов.

Главная цель закона о техническом регулировании – создание основы единой политики в области стандартизации и сертификации. Не менее важной целью этого закона является приведение республиканских процедур стандартизации в соответствии с требованиями Всемирной торговой организацией (ВТО), и в первую очередь, с требованиями Соглашения ВТО по техническим барьерам и торговле. Концепция закона предусматривает, что все обязательные требования к продукции и услугам устанавливаются только техническими регламентами, которые определяются постановлениями, принятыми Правительством РФ.

В технических регламентах устанавливается минимум требований: защита жизни (здоровья) граждан; государственного и другого имущества; охрана окружающей среды; запрещение информации, вводящей в заблуждение приобретателей. Потребительские свойства товаров, продукции и услуг такие, как эргономические, эстетические, параметрические, экономические и функциональные – регламентируются документами в области стандартизации.

Итак, технические регламенты являются нормативными и правовыми актами. Установлено два вида технических регламентов: общие и специальные. Общие технические регламенты принимаются по вопросам безопасности. Специальные технические регламенты устанавливают требования только к видам продукции, которая представляет значительную опасность. Обязательные требования к конкретной продукции состоят из требований ряда общих технических и специальных технических регламентов на эту продукцию. Продукция, отвечающая положениям технического регламента, снабжается специальным документом – удостоверением – знаком обращения на рынке. Продукция, соответствующая национальному стандарту, маркируется знаком соответствия. Подтверждение соответствия может носить добровольный или обязательный характер.

Добровольное подтверждение осуществляется в форме добровольной сертификации. Обязательное подтверждение – в формах принятия декларации о соответствии обязательной сертификации.

Одной из основных целей деятельности по стандартизации, метрологии и сертификации является обеспечение качества продукции и услуг. Качество – совокупность характеристик продукции и услуг, способных удовлетворить все потребности покупателя или обслуживающего персонала. Анализ характеристик качества производится в системе качества.

Система качества – совокупность организационных структур, методик, процессов и ресурсов, необходимых для общего управления качеством. Международные стандарты серии ИСО 9000 содержат принципы менеджмента качества и рекомендации по их применению в каждом конкретном случае.

Оценка соответствия продукции заданным параметрам производится третьей независимой стороной - органом по сертификации и испытательной лабораторией (центром). Они должны иметь документ аккредитации. Аккредитация – признание того факта, что организация имеет соответствующее оборудование, методики и достаточную компетенцию для проведения работ по оценке соответствия. Серия

европейских стандартов EN 45000 посвящена правилам проведения работ по сертификации и аккредитации.

Работы в системе сертификации содержат процедуры измерений. Измерение – процесс нахождения значения физической (качественной) величины опытным путём при помощи специальных технических устройств. Физическая величина (ФВ) – измеряемая величина данного физического объекта. Тип ФВ обозначается символом, а значение величины как результат измерения обозначается численным значением с единицей измерения по стандарту. На испытание поступают радиотехнические устройства. В этом случае проводятся электрорадиоизмерения.

Электрорадиоизмерения – измерение электрических, магнитных и электромагнитных величин в широком диапазоне частот, от инфразвуковых до сверх высоких.

Любое измерение проводится по схеме: объект измерения (передатчик, телевизор); назначение ФВ; выбор метода измерения; выбор средства измерения; получение численного значения; расчёт погрешности измерения; представление в документе результата измерения. Метод измерения – совокупность принципа и средства измерения. Принцип измерения – совокупность физических явлений, взятых за основу измерения. Средство измерения (СИ) – техническое устройство, используемое при измерении и имеющее нормированные метрологические параметры. Научной основой измерений является наука – метрология. Предметом метрологии является извлечение измерительной информации, соответствующей требованиям достоверности и точности.

Теоретическая метрология состоит из теоретических взглядов на метрологические операции, средства измерений и их свойства, способы получения результатов измерений и их использование, вычисление погрешностей.

Метрология законодательная разрабатывает метрологические стандарты, правила и рекомендации.

Измерения в телекоммуникационных и радиотехнических системах имеет ряд особенностей. В этих системах содержится ряд логических устройств, использующих для их взаимодействия сигнальные и информационные протоколы.

Классическая метрология позволяет измерять только ФВ, классифицируемые по измеряемым величинам или параметрам. Подобные измерения весьма обширны. Необходимо перейти от измерения параметров сигналов к анализу алгоритма работы устройств. Появился новый класс

средств измерений –анализаторы. В данных приборах уже заложены измерительные технологии.

Измерительная технология – совокупность методов, подходов к организации измерений и интерпретации результатов, конкретных специальных методик, а также СИ, которая необходима для качественного обслуживания обычных и логических устройств систем связи. Технологический подход – сугубо прикладной и ориентирован на эксплуатационные измерения в системах связи.

Он использует достижения современной метрологии в вопросах измерения параметров классических сигналов телекоммуникаций, и в то же время понятие измерение становится более широким и включает в себя анализ протоколов взаимодействия логических устройств. В области телекоммуникаций и систем связи только технологический подход даёт возможность анализа, описания методов организации эксплуатационных измерений и построения комплексных измерительных решений.

Разработка новых телекоммуникационных систем с использованием современных технологий привело к необходимости контроля большого числа параметров. Естественная физиологическая ограниченность оператора в восприятии и обработке больших объёмов информации привело к созданию и внедрению виртуальных информационно-измерительных приборов. Понятие “виртуальные приборы” появилось на стыке измерительной, информационной и компьютерной техники.

Виртуальный простейший прибор – персональный компьютер в комплексе с соответствующим программным обеспечением и специальной платой сбора данных, устанавливаемой в слот ISA или PCI, и внешнего устройства, подключаемого через LPT – порт, и внешний интерфейс. Имеется большое количество интерфейсов: USB; RS – 232; FieldBus; FireWier; IrDA; GRIB.

К отличительным особенностям виртуальных приборов (ВП) по сравнению с микропроцессорными приборами относятся:

- обширный фонд прикладных компьютерных программ;
- возможность оперативной передачи данных измерений по локальным и глобальным компьютерным сетям, сети Интернет;
- высокоразвитый графический интерфейс пользователя;
- возможность использования памяти большой ёмкости.

Самым широким классом измерительных систем прямого назначения являются измерительные информационные системы (ИИС). Назначение ИИС определяют как оптимальное направленное ведение измерительного процесса и обеспечение системы централизованного управления информацией о состоянии сетей телекоммуникаций и электросвязи, входящих в взаимоувязанную сеть связи РК.

Технологическая цепочка производства услуг электросвязи включает пользователей, поставщиков услуг (провайдеров), операторов связи, установленного и поставляемого поставщиками оборудования. Различают два вида служб электросвязи: служба переноса; телеслужба. Служба переноса обеспечивает только возможность передачи сигналов между стыками сети с абонентскими оконечными устройствами, например, служба передачи данных. Оконечные устройства не входят в службы переноса. Телеслужба обеспечивает полную реализацию всех видов связи между пользователями. Примерами телеслужб являются службы телефонной связи, телекса и Интернета.

Прохождение сигналов в сети электросвязи, как и в других сетях, должно контролироваться определённой аппаратурой по определённым методикам. Методы обоснованного распределения и направления информационных потоков при наличии ИИС дают возможность уменьшить их избыточность. Это позволяет ставить задачу о конвейерном способе обработке инф

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Глава первая. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

1-1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ и ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Под измерениями понимают способ количественного познания свойств физических объектов. Существуют различные физические объекты, обладающие разнообразными физическими свойствами, количество которых неограниченно. Человек в своем стремлении познать физические объекты — объекты познания — выделяет некоторое ограниченное количество свойств, общих в качественном отношении для ряда объектов, но индивидуальных для каждого из них в количественном отношении. Такие свойства получили название физических величин.

Физические величины различают в качественном и количественном отношении. Качественная сторона определяет «вид» величины (например, [электрическое сопротивление](#)), а количественная — ее «размер» (например, сопротивление конкретного резистора). Таким образом, физическая величина — свойство, общее в качественном отношении для множества объектов и индивидуальное в количественном отношении для каждого из них. Количественное содержание свойства, соответствующего понятию «физическая величина», в данном объекте — размер физической величины. Размер физической величины существует объективно, вне зависимости от того, что мы знаем о нем.

В результате измерений человек получает знания об объектах в виде значений физических величин. Понятие «физическая величина» распространяют на свойства, изучаемые не только в физике, но и в других областях науки и техники.

В ГОСТ 16263-70 «Метрология. Термины и определения» дано определение понятия «измерение»: измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

В этом определении отражены следующие главные признаки понятия «измерение»:

- а) измерять можно свойства реально существующих объектов познания, т. е. физические величины;
- б) измерение требует проведения опытов, т. е. теоретические рассуждения или расчеты не могут заменить эксперимент;

в) для проведения опытов требуются особые технические средства — средства измерений, приводимые во взаимодействие с материальным объектом;

г) результатом измерения является значение физической величины.

Принципиальная особенность измерения заключается в отражении размера физической величины числом. Число может быть выражено любым принятым способом, например комбинацией цифр, комбинацией уровней **электрических напряжений** и т. д.

Значение физической величины — количественная оценка измеряемой величины должна быть не просто числом, а числом именованным, т. е. результат измерения должен быть выражен в определенных единицах, принятых для данной величины. Только в этом случае результаты измерений, полученные различными средствами и разными экспериментаторами, сопоставимы.

Результат измерения практически всегда отличается от истинного значения физической величины — значения, которое выражает размер величины абсолютно точно. Истинное значение физической величины определить невозможно.

Отличие результата измерения от истинного значения объясняется несовершенством средств измерений, несовершенством способа применения средства измерений, влиянием условий выполнения измерения, участием человека с его ограниченными возможностями и т. д.

Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины называют погрешностью измерения. Погрешность измерения $\boxed{1}$ где x — измеренное значение; $\boxed{2}$ — истинное значение.

Поскольку истинное значение неизвестно, практически погрешность измерения оценивают, исходя из свойств средства измерений, условий проведения эксперимента и анализа полученных результатов. Полученный результат отличается от истинного значения, поэтому результат измерения имеет ценность только в том случае, если дана оценка погрешности полученного значения измеряемой величины. Причем чаще всего определяют не конкретную погрешность результата, а степень недоверности — границы зоны, в которой находится погрешность.

Часто применяют понятие «точность измерения», имея при этом в виду качество измерения, отражающее близость результата измерения к истинному значению измеряемой величины.

Высокая точность измерения, соответствует малой погрешности измерения.

Совокупность величин, связанных между собой зависимостями, образуют систему физических величин. Объективно существующие зависимости между физическими величинами представляют рядом независимых уравнений. Число уравнений ³ всегда меньше числа величин ⁴. Поэтому ⁵ величин данной системы определяют через другие величины, а ⁶ величин — независимо от других. Последние величины принято называть основными физическими величинами, а остальные — производными физическими величинами.

В качестве основных могут быть выбраны любые из данного числа величин, но практически выбирают величины, которые могут быть воспроизведены и измерены с наиболее высокой точностью. В области электротехники основными величинами приняты длина, масса, время и сила **электрического тока**.

Зависимость каждой **производной** величины от основных отображается ее размерностью. Размерность величины представляет собой произведение обозначений основных величин, возведенных в соответствующие степени, и является ее качественной характеристикой. Размерности величин определяют на основе соответствующих уравнений физики.

Физическая величина является размерной, если в ее размерность входит хотя бы одна из основных величин, возведенная в степень, не равную нулю. Большинство физических величин являются размерными. Однако имеются безразмерные (относительные) величины, представляющие собой отношение данной физической величины к одноименной, применяемой в качестве исходной (опорной). Безразмерными величинами являются, например, коэффициент трансформации, затухание и т. д.

Физические величины в зависимости от множества размеров, которые они могут иметь при изменении в ограниченном диапазоне, подразделяют на непрерывные (аналоговые) и квантованные (дискретные) по размеру (уровню).

Аналоговая величина может иметь в заданном диапазоне бесконечное множество размеров. Таким является подавляющее число физических величин (напряжение, сила тока, температура, длина и т. д.). Квантованная величина имеет в заданном диапазоне только **счетное множество** размеров. Примером такой величины может быть малый **электрический заряд**, размер которого определяется числом входящих в него зарядов электронов. Размеры квантованной величины могут соответствовать только определенным уровням — уровням **квантования**. Разность двух соседних уровней квантования называют ступенью квантования (квантом).

Значение аналоговой величины определяют путем измерения с неизбежной погрешностью. Квантованная величина может быть определена путем счета ее квантов, если они постоянны.

Физические величины могут быть постоянными или переменными во времени. При измерении постоянной во времени величины достаточно определить одно ее мгновенное значение. Переменные во времени величины могут иметь квазидетерминированный или случайный характер изменения.

Квазидетерминированная физическая величина — величина, для которой известен вид зависимости от времени, но неизвестен измеряемый параметр этой зависимости. Случайная физическая величина — величина, размер которой изменяется во времени случайным образом. Как частный случай переменных во времени величин можно выделить дискретные во времени величины, т. е. величины, размеры которых отличны от нуля только в определенные моменты времени.

Физические величины делят на активные и пассивные. Активные величины (например, механическая сила, ЭДС источника [электрического тока](#)) способны без вспомогательных источников энергии создавать сигналы измерительной информации (см. далее). Пассивные величины (например, масса, [электрическое сопротивление](#), [индуктивность](#)) сами не могут создавать сигналы измерительной информации. Для этого их нужно активизировать с помощью вспомогательных источников энергии, например при измерении сопротивления резистора через него должен протекать ток. В зависимости от объектов исследования говорят об электрических, магнитных или неэлектрических величинах.

Физическую величину, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице, называют единицей физической величины. Размер единицы физической величины может быть любым. Однако измерения должны выполняться в общепринятых единицах. Общность единиц в международном масштабе устанавливают международными соглашениями. В СССР действует ГОСТ 8.417-81 (СТ СЭВ 1052-78) «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин», согласно которому в нашей стране введена к обязательному применению международная система единиц (СИ).

При изучении объекта исследования необходимо выделить для измерений физические величины, учитывая цель измерений, которая сводится к изучению или оценке каких-либо свойств объекта. Поскольку реальные объекты обладают бесконечным множеством свойств, то для получения результатов измерений, адекватных цели измерений, выделяют в качестве измеряемых величин определенные свойства объектов, существенные при выбранной цели, т. е. выбирают модель объекта.

В результате выбора модели устанавливают измеряемые величины, в качестве которых принимают параметры модели или их функционалы. За истинное значение измеряемой величины принимают такое значение параметра модели, которое можно было бы получить в результате мысленного эксперимента, свободного от каких-либо погрешностей.

Модели широко используют для описания реальных объектов исследования. Например, для **силы переменного тока** в качестве модели применяют синусоиду: $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ где I_m — амплитуда, угловая частота, фазовый сдвиг — параметры модели; t — время. Каждый из параметров модели или функционал может быть измеряемой величиной, например измеряемой величиной может быть действующий ток — $I = I_m / \sqrt{2}$ где I_m

Одному и тому же исследуемому объекту может ставиться в соответствие та или иная модель, исходя из условий применения объекта и необходимой точности описания объекта. Например, **резистор**, используемый в цепях постоянного тока, характеризуют сопротивлением постоянному току. При использовании резистора в цепях с токами высокой частоты необходимо учитывать комплексный характер сопротивления резистора, т. е. резистор необходимо описывать более сложной моделью, учитывающей поверхностный эффект, собственные емкости и **индуктивности**. Если тот же резистор подвергается воздействию тока, сила которого меняется в большом диапазоне, то его следует рассматривать как нелинейный **резистор**, сопротивление которого зависит от силы тока.

Идеализация, необходимая для построения модели, обуславливает неизбежное несоответствие между параметром модели и реальным свойством объекта, что приводит к погрешности. Если погрешность «несоответствия» превышает предел допускаемой погрешности измерения, то измерение с требуемой точностью невозможно и это приводит к необходимости задаваться новой моделью.

Итак, для измерения необходимо, чтобы измеряемому свойству объекта соответствовал параметр модели объекта и погрешность из-за несоответствия модели объекту должна быть меньше допускаемой погрешности измерения.

При измерениях используют понятие «информация». Информация — это совокупность сведений, уменьшающих начальную неопределенность знаний об объекте. Одними из наиболее важных являются сведения о количественных характеристиках свойств объектов, которые получают путем измерений. Такие сведения увеличивают наши знания и уменьшают степень неопределенности знаний об объекте, т. е. измерение — информационный процесс. Информацию о значениях измеряемых физических величин называют измерительной информацией.

Материальный носитель информации — сигнал. Сигналом в общем смысле является физический процесс, протекающий во времени. Сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной, называют сигналом измерительной информации.

Сигнал измерительной информации имеет информативный параметр — параметр, функционально связанный с измеряемой величиной. Параметры сигнала, не связанные функционально с измеряемой величиной, называют неинформативными параметрами.

Поскольку физическая величина изменяется случайным образом, сигнал измерительной информации — случайный сигнал, информативный параметр которого изменяется случайным образом. В некоторых случаях носителем информации является квазидетерминированный сигнал, т. е. сигнал, у которого известна форма, но неизвестен информативный параметр.

Сигнал измерительной информации часто сопровождается помехой — сигналом, не несущим измерительной информации. Помеха может быть случайной и квазидетерминированной. При описании сигналов используют модели (см. § 4-4).

В процессе измерения любой физической величины происходят преобразования сигнала, несущего измерительную информацию. Такие преобразования, выполняемые с установленной погрешностью, называют измерительными преобразованиями. При [математическом анализе](#) для упрощения считают, что при измерительных преобразованиях происходят «преобразования» одной величины в другую, хотя фактически преобразуются сигналы.

Измерение преследует цель получить результат измерения в виде именованного числа. Поэтому в процессе преобразований при измерении происходит образование числа, выраженного тем или иным способом. В общем случае при измерении имеют место несколько видов измерений. На первом этапе могут быть преобразования непрерывных сигналов — аналоговые преобразования. Затем осуществляется [аналого-цифровое преобразование](#), при котором получается значение измеряемой величины в виде числа. Могут иметь место также преобразования над числом. В некоторых случаях, например на заключительном этапе, может быть [цифро-аналоговое преобразование](#) сигнала, т. е. получение сигнала, параметр которого пропорционален результату измерений (числу). Такой сигнал может быть использован, например, в аналоговом регистрирующем приборе.

В частных случаях то или иное преобразование может отсутствовать, но во всех случаях есть [аналого-цифровое преобразование](#), являющееся специфическим видом преобразования при любых измерениях.

Принцип аналого-цифрового преобразования сводится к следующему.

Пусть ^[12] — упорядоченный равноинтервальный ряд величин возрастающих значений, в котором

$$\begin{aligned}
x_0 &= 0; \\
x_1 &= x_0 + \Delta x_k = 1\Delta x_k; \\
x_2 &= x_1 + \Delta x_k = 2\Delta x_k; \\
x_3 &= x_2 + \Delta x_k = 3\Delta x_k; \\
&\dots \\
x_N &= x_{N-1} + \Delta x_k = N\Delta x_k; \\
&\dots \\
x_P &= x_{P-1} + \Delta x_k = P\Delta x_k.
\end{aligned}$$

Положим, что значение ¹³ известно в единицах измеряемой величины x . Тогда значение любой величины из указанного ряда, например ¹⁴ равно порядковому номеру ¹⁵ умноженному на Δx_k , т. е. ¹⁶

Если в результате сравнения неизвестной величины x и известных величин из указанного ряда оказалось, что ¹⁷ то можно принять ¹⁸ Таким образом, имеется возможность характеризовать размер величины x именованным числом ¹⁹ которое принимается за значение величины x .

В общем случае бесконечное множество размеров величины в диапазоне ²⁰ отражается ограниченным множеством P числовых значений, т. е. при **аналого-цифровом преобразовании** происходит замена непрерывной измеряемой величины ²¹ квантованной по уровню величиной ²² При аналого-цифровом преобразовании практически всегда имеет место погрешность, так как бесконечное множество размеров x отражается ограниченным множеством P значений.

Число ²³ выражают либо в виде комбинации цифр отсчета, либо в виде комбинации условных сигналов. Комбинацию цифр в виде числа или комбинацию условных сигналов для представления ²⁴ называют кодом. Кодом также называют набор однозначных правил для образования комбинаций цифр или условных сигналов, представляющих число ²⁵ (дискретное сообщение). Представление ²⁶ в виде кода — кодирование.

Аналого-цифровое преобразование осуществляется либо

томатически (в цифровых приборах, аналого-цифровых преобразователях), либо с помощью человека-оператора (в аналоговых приборах). Оператор по отсчетному устройству аналогового прибора производит считывание результата измерения. Это выполняется следующим образом. Оператор путем сравнения перемещения указателя (например, стрелки) отсчетного устройства находит известное и равное ему перемещение, отсчитываемое по шкале прибора.

Каждому значению перемещения по шкале соответствует установленное значение измеряемой величины, что дает оператору возможность определить значение измеряемой величины. Для увеличения точности отсчета оператор мысленно разбивает деления шкалы на более мелкие участки, по сути являющиеся квантами, т. е. производит **квантование** известной величины. Затем он определяет участок шкалы — квант, в пределах которого находится указатель, и в соответствии с этим квантом отсчитывает результат измерения в виде числа.

Таким образом, при считывании показания аналогового прибора оператором производится квантование, сравнение и кодирование.

Все измерения физических величин выполняют с помощью средств измерений. Для выполнения измерений с учетом различных требований и различных условий измерительная техника располагает большим перечнем различных средств измерений.

По функциональному назначению все средства измерений разделяют на следующие группы: меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные информационные системы и измерительные установки.

Свойства средств измерений оценивают характеристиками, среди которых выделяют комплекс метрологических характеристик, т. е. характеристик, которые необходимы при оценке точности результатов измерений. Важным отличительным признаком средств измерений является наличие у них нормированных метрологических характеристик, благодаря чему при надлежащем применении средств измерений может быть оценена точность получаемых результатов измерений.

Обобщенной метрологической характеристикой средства измерений является класс точности, определяемый пределами допускаемых погрешностей и другими свойствами средства измерений, влияющими на точность результатов измерений.

Наряду с измерениями информацию о свойствах объектов материального мира можно получить также с помощью счета, контроля, технического диагностирования и распознавания образов.

Счетом называют определение числа качественно однотипных объектов в данной их совокупности.

Контроль — процесс установления соответствия между состоянием объекта контроля и заданной нормой. При контроле нет необходимости знать численное значение контролируемой величины. Однако контроль содержит ряд операций, присущих измерениям (измерительные преобразования, сравнения). Поэтому вопросы точности для контроля имеют существенное значение. Контроль может

выполняться как с участием человека, так и автоматически, с помощью контрольно-измерительных приборов и систем автоматического контроля.

Во многих случаях для восстановления нормальной работы объекта необходимо выявить элементы, послужившие причиной неправильного функционирования объекта. Появилась необходимость в техническом диагностировании, под которым понимают процедуру для обнаружения отказов отдельных элементов объектов, т. е. определения технического состояния объекта диагностирования. Техническое диагностирование осуществляют с помощью систем технического диагностирования.

Процедуру, связанную с определением соответствия между исследуемым объектом и заданным образом, называют распознаванием образа. Основная задача распознавания образа заключается в сопоставлении по признакам распознавания «эталонных» образов с данным объектом и решении вопроса об отнесении объекта к определенному образу. При распознавании материальных объектов и происходящих в них процессов, характеризующихся параметрами, эти параметры измеряют и сопоставляют их значения с областью значений, определяющих количественное описание свойств образа.

Производством и применением средств измерений для получения измерительной информации, а также научными вопросами, возникающими при этом, занимается отрасль науки и техники, называемая измерительной техникой. Таким образом, измерительная техника рассматривается как область деятельности людей, включающая в себя научную деятельность, производство и эксплуатацию средств измерений. Часть научных основ измерительной техники составляет метрология как наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Одним из разделов измерительной техники является электроизмерительная техника — область научно-производственной деятельности людей, связанная с научными исследованиями, производством и эксплуатацией электрических средств измерений (электроизмерительных средств), т. е. средств, в которых измерительная информация передается в основном с помощью электрического сигнала.

Измерения физических величин с помощью электрических средств измерений называют электрическими измерениями.

Следует отметить, что под измерительной (электроизмерительной) техникой часто понимают только совокупность средств измерений (электрических средств измерений) и способов их применения для получения измерительной информации.

Формы и характеристики электрических сигналов

Часто в электронных схемах требуется сгенерировать разные типы сигналов, имеющих различные частоты и формы, такие как меандры, прямоугольные, треугольные, пилообразные сигналы и различные импульсы.

Эти сигналы различной формы могут использоваться в качестве сигналов синхронизации, тактирующих сигналов или в качестве запускающих синхроимпульсов. В первую очередь необходимо понять основные характеристики, описывающие электрические сигналы.

С технической точки зрения, электрические сигналы являются визуальным представлением изменения напряжения или тока с течением времени. То есть, фактически — это график изменения напряжения и тока, где по горизонтальной оси мы откладываем время, а по вертикальной оси — значения напряжения или тока в этот момент времени. Существует множество различных типов электрических сигналов, но в целом, все они могут быть разбиты на две основные группы.

- **Однополярные сигналы** - это электрические сигналы, которые всегда положительные или всегда отрицательные, не пересекающие горизонтальную ось. К однонаправленным сигналам относятся меандр, тактовые импульсы и запускающие импульсы.
- **Двухполярные сигналы** - эти электрические сигналы также называют чередующимися сигналами, так как они чередуют положительные значения с отрицательными, постоянно пересекая нулевое значение. Двухполярные сигналы имеют периодическое изменение знака своей амплитуды. Наиболее распространенным из двунаправленных сигналов, является синусоидальный.

Будучи однонаправленными, двунаправленными, симметричными, несимметричными, простыми или сложными, все электрические сигналы имеют три общие характеристики:

- **Период** — это отрезок времени, через который сигнал начинает повторяться. Это временное значение также называют *временем периода* для синусоид или *шириной импульса* для меандров и обозначают буквой T .
- **Частота** - это число раз, которое сигнал повторяет сам себя за период времени равный 1 секунде. Частота является величиной, обратной периоду времени, (). Единицей измерения частоты является Герц ($Гц$). Частотой в $1Гц$, обладает сигнал, повторяющий 1 раз за 1 секунду.
- **Амплитуда** — это величина изменения сигнала. Измеряется в Вольтах (B) или Амперах (A), в зависимости от того, какую временную зависимость (напряжения или тока) мы используем.

Периодические сигналы

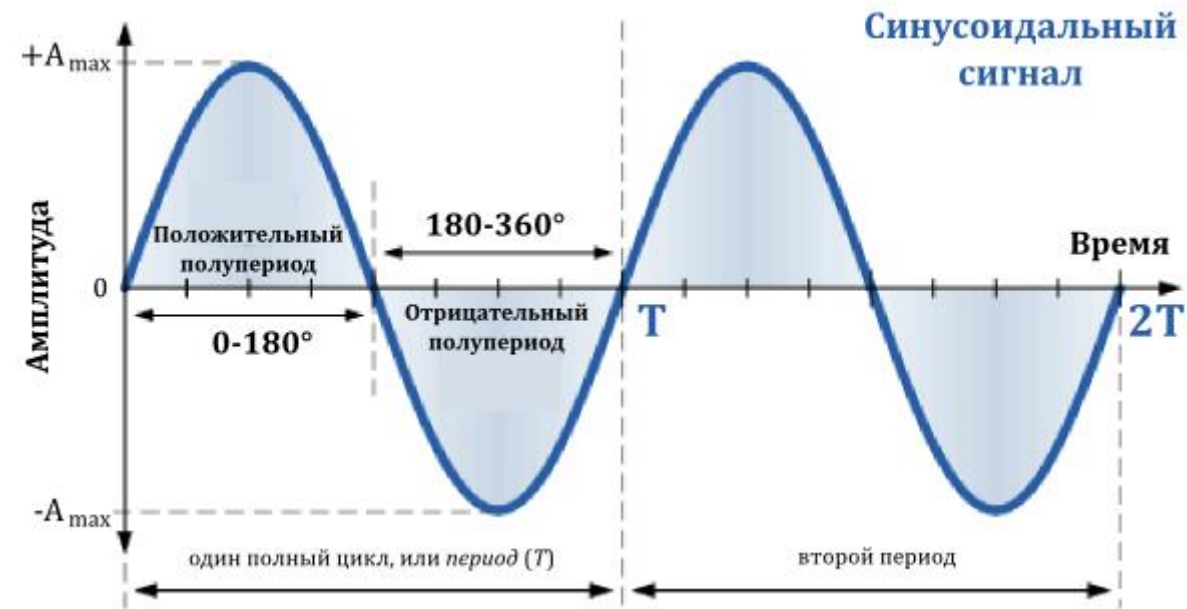
Периодические сигналы являются самыми распространенными, поскольку включают в себя синусоиды. Переменный ток в розетке дома представляет из себя синусоиду, плавно изменяющуюся с течением времени с частотой $50Гц$.

Время, которое проходит между отдельными повторениями цикла синусоиды называется ее *периодом*. Другими словами, это время, необходимое для того, чтобы сигнал начал повторяться.

Период может изменяться от долей секунды до тысяч секунд, так как он связан с его частотой. Например, синусоидальный сигнал, которому требуется 1 секунда для совершения полного цикла, имеет период равный одной секунде. Аналогично, для синусоидального сигнала, которому требуется 5 секунд для совершения полного цикла, имеет период равный 5 секундам, и так далее.

Итак, отрезок времени, который требуется для сигнала, чтобы завершить полный цикл своего изменения, прежде чем он вновь повторится, называется *периодом сигнала* и измеряется в секундах. Мы можем выразить сигнал в виде числа периодов T в секунду, как показано на рисунке ниже.

Синусоидальный сигнал



Время периода часто измеряется в секундах (с), миллисекундах (мс) и микросекундах (мкс).

Для синусоидальной формы волны, время периода сигнала также можно выражать в градусах, либо в радианах, учитывая, что один полный цикл равен 360° ($T = 360^\circ$), или, если в радианах, то $(T = 2\pi)$.

Период и частота математически являются обратными друг другу величинами. С уменьшением времени периода сигнала, его частота увеличивается и наоборот.

Соотношения между периодом сигнала и его частотой:

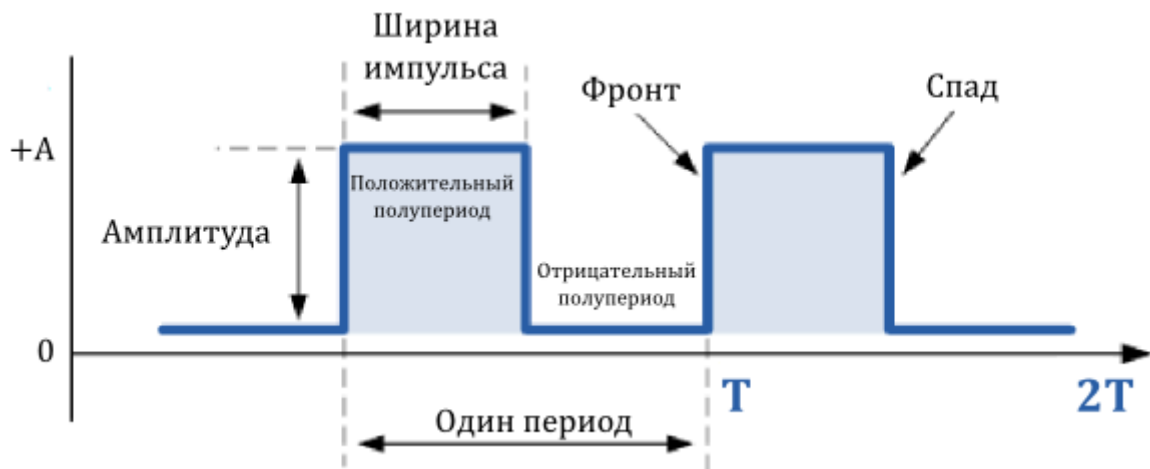
$$f = \frac{1}{T}$$

Один герц в точности равен одному циклу в секунду, но один герц является очень маленькой величиной, поэтому часто можно встретить префиксы, обозначающие порядок величины сигнала, такие как кГц, МГц, ГГц и даже ТГц

Префикс	Определение	Запись	Период
Кило	тысяча	кГц	1 мс
Мега	миллион	МГц	1 мкс
Гига	миллиард	ГГц	1 нс
Тера	триллион	ТГц	1 пс

Меандр

Меандры широко используются в электронных схемах для тактирования и сигналов синхронизации, так как они имеют симметричную прямоугольную форму волны с равной продолжительностью полупериодов. Практически все цифровые логические схемы используют сигналы в виде меандра на своих входах и выходах.



Так как форма меандра симметрична, и каждая половина цикла одинакова, то длительность положительной части импульса равна промежутку времени, когда импульс отрицателен (нулевой). Для меандров, используемых в качестве тактирующих сигналов в цифровых схемах, длительность положительного импульса называется *временем заполнения периода*.

Для меандра, время заполнения равно половине периода сигнала. Так как частота равна обратной величине периода, ($1/T$), то частота меандра:

Например, для сигнала с временем заполнения равным 10 мс, его частота равна:

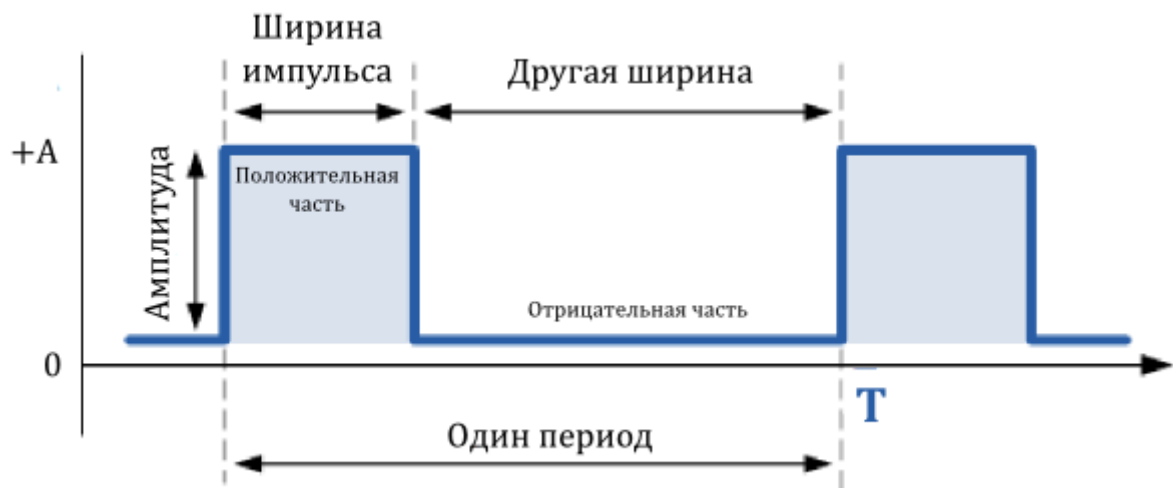
$$Гц$$

Меандры используются в цифровых системах для представления уровня логической «1» большими значениями его амплитуды и уровня логического «0» маленькими значениями амплитуды.

Если время заполнения, не равно 50% от длительности его периода, то такой сигнал уже представляет более общий случай и называется *прямоугольным* сигналом. В случае, или если время положительной части периода сигнала мало, то такой сигнал, является *импульсом*.

Прямоугольный сигнал

Прямоугольные сигналы отличаются от меандров тем, что длительности положительной и отрицательной частей периода не равны между собой. Прямоугольные сигналы поэтому классифицируются как *несимметричные* сигналы.



В данном случае я изобразил сигнал, принимающий только положительные значения, хотя, в общем случае, отрицательные значения сигнала могут быть значительно ниже нулевой отметки.

На изображенном примере, длительность положительного импульса больше, чем длительность отрицательного, хотя, это и не обязательно. Главное, чтобы форма сигнала была прямоугольной.

Отношение периода повторения сигнала, к длительности положительного импульса, называют *скважностью*:

Величину обратную скважности называют коэффициентом заполнения (*dutycycle*):

Пример расчета

Пусть имеется прямоугольный сигнал с импульсом длительностью 10мс и коэффициентом заполнения 25%. Необходимо найти частоту этого сигнала.

Коэффициент заполнения равен 25% или $\frac{1}{4}$, и совпадает с шириной импульса, которая составляет 10мс. Таким образом, период сигнала должен быть равен: 10мс (25%) + 30мс (75%) = 40мс (100%).

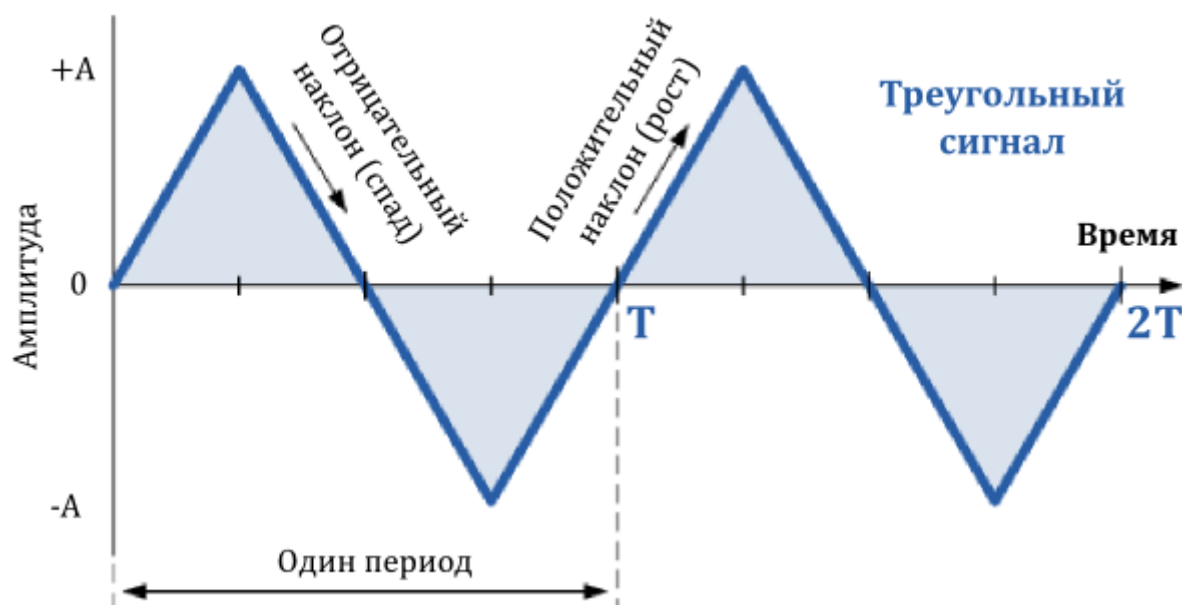
$$f_{ц}$$

Прямоугольные сигналы могут использоваться для регулирования количества энергии, отдаваемой в нагрузку, такую, например, как лампа или двигатель, изменением скважности сигнала. Чем выше коэффициент заполнения, тем больше среднее количество энергии должно быть отдано в нагрузку, и, соответственно, меньший коэффициент заполнения, означает меньшее среднее количество энергии, отдаваемое в нагрузку. Отличным примером этого является использование *шиотно-импульсной модуляции* в регуляторах скорости. Термин *шиотно-импульсная модуляция (ШИМ)* буквально и означает «изменение ширины импульса».

Треугольные сигналы

Треугольные сигналы, как правило, это двунаправленные несинусоидальные сигналы, которые колеблются между положительным и отрицательным пиковыми значениями. Треугольный сигнал представляет собой относительно медленно линейно растущее и падающее напряжение с

постоянной частотой. Скорость, с которой напряжение изменяет свое направление равна для обеих половинок периода, как показано ниже.

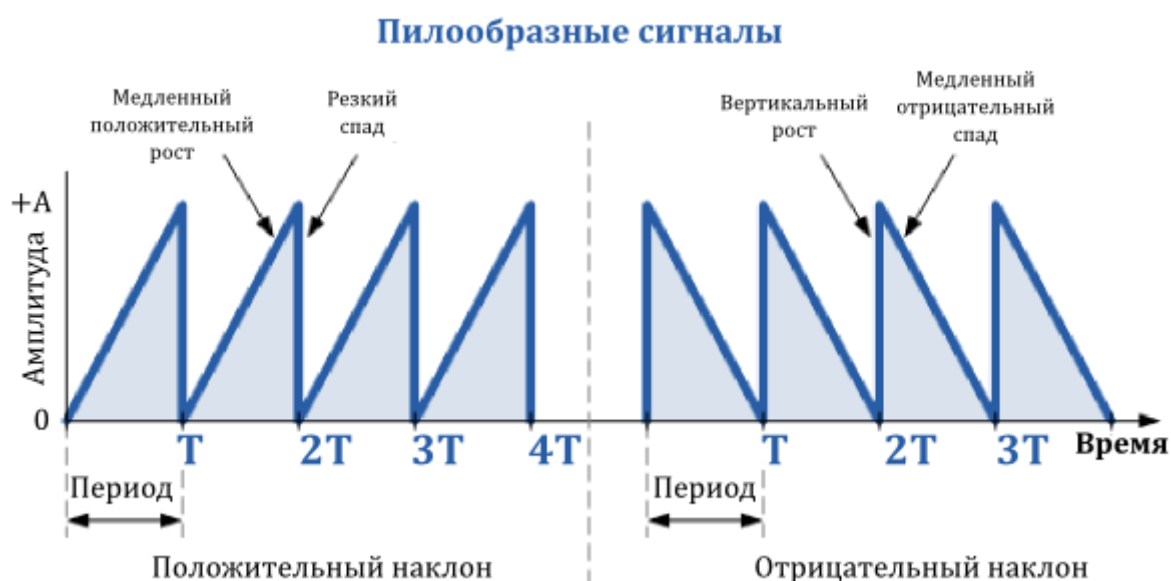


Как правило, для треугольных сигналов, продолжительность роста сигнала, равна продолжительности его спада, давая тем самым 50% коэффициент заполнения. Задав амплитуду и частоту сигнала, мы можем определить среднее значение его амплитуды.

В случае несимметричной треугольной формы сигнала, которую мы можем получить изменением скорости роста и спада на различные величины, мы имеем еще один тип сигнала известный под названием *пилообразный сигнал*.

Пилообразный сигнал

Пилообразный сигнал — это еще один тип периодического сигнала. Как следует из названия, форма такого сигнала напоминает зубья пилы. Пилообразный сигнал может иметь зеркальное отражение самого себя, имея либо медленный рост, но очень крутой спад, или чрезвычайно крутой, почти вертикальный рост и медленный спад.

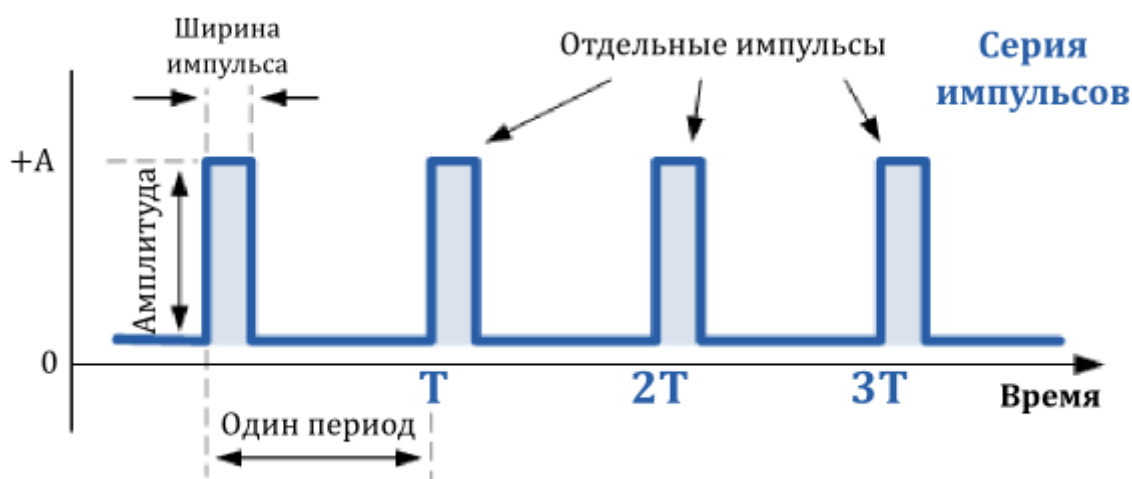


Пилообразный сигнал с медленным ростом является более распространенным из двух типов сигналов, являющийся, практически, идеально линейным. Пилообразный сигнал генерируется большинством функциональных генераторов и состоит из основной частоты (f) и четных гармоник. Это означает, с практической точки зрения, что он богат гармониками, и в случае, например, с музыкальными синтезаторами, для музыкантов дает качественный звук без искажений.

Импульсы и запускающие сигналы (триггеры)

Хотя, технически, запускающие сигналы и импульсы два отдельных типа сигналов, но отличия между ними незначительны. Запускающий сигнал — это всего лишь очень узкий импульс. Разница в том, что триггер может быть как положительной, так и отрицательной полярности, тогда как импульс только положительным.

Форма импульса, или серии импульсов, как их чаще называют, является одним из видов несинусоидальной формы сигналов, похожей на прямоугольный сигнал. Разница в том, что импульсный сигнал определяется часто только коэффициентом заполнения. Для запускающего сигнала положительная часть сигнала очень короткая с резкими ростом и спадом и ее длительностью, по сравнению с периодом, можно пренебречь.



Очень короткие импульсы и запускающие сигналы предназначены для управления моментами времени, в которые происходят, например, запуск таймера, счетчика, переключение логических триггеров а также для управления тиристорами, симисторами и другими силовыми полупроводниковыми приборами.

Я рассмотрел здесь только основные виды электрических сигналов. Остальные типы сигналов, обычно, получают их комбинацией или модуляцией (изменением параметров, используя другой сигнал), например:

- Амплитудно-модулированный сигнал
- Частотно-модулированный сигнал
- Фазо-модулированный сигнал
- Фазо-частотно-модулированный сигнал
- Фазо-кодо-манипулированный сигнал

Электрическая цепь

Электрическая цепь и ее характеристики

Электрической цепью называется совокупность электротехнических устройств, создающих замкнутый путь электрическому току. Она состоит из источников (генераторов) энергии, приемников энергии (нагрузки) коммутирующей, измерительной аппаратуры и соединительных проводов.

Заметим, что ЭДС, токи и напряжения, изменяющиеся во времени, обозначаются строчными латинскими буквами e , i , u , а ЭДС, токи и напряжения, неизменные во времени, обозначаются заглавными латинскими буквами E , I , U .

Графическое изображение электрической цепи называется электрической *схемой*. В схеме различают ветви, узлы и контуры. *Ветвь* – это часть схемы, состоящая из последовательно соединенных источников, приемников и других элементов цепи, и через них протекает одинаковый ток. *Узел* – точка схемы, в которой соединены не менее трех ветвей (ветви начинаются и заканчиваются на узлах цепи). *Контур* – замкнутый путь по элементам схемы.

При расчетах электрических цепей необходимо задаться направлениями токов, напряжений и ЭДС. Эти направления указывают на схемах стрелками.

За направление тока принято направление движения положительных зарядов, т. е. стрелка у тока направлена от большего потенциала к меньшему потенциалу. Направление напряжения в приемнике всегда указывают в ту же сторону, что и у тока

Любая электрическая цепь в общем случае может характеризоваться тремя параметрами: сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью C .

Сопротивление R характеризует способность цепи преобразовывать электромагнитную энергию в тепловую.

Величина сопротивления любого элемента цепи определяется как отношение постоянного напряжения на этом элементе к постоянному току в нем и измеряется в омах (Ом):

$$R = U/I \quad (1.1)$$

Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью. Она обозначается G и измеряется в сименсах (См):

$$G = 1/R$$

Индуктивность L характеризует способность цепи накапливать энергию магнитного поля. Такой способностью обладают любой проводник с током или система проводов.

Эта энергия не преобразуется в тепло, а существует в цепи в виде некоторого запаса энергии. Когда ток в цепи равен нулю, запаса энергии магнитного поля в ней нет.

Величина индуктивности определяется как отношение потокосцепления цепи Ψ к току i и измеряется в генри (Гн):

$$L = \Psi / i \quad (1.2)$$

Потокосцеплением называется сумма магнитных потоков всех витков катушки. В простейшем случае для катушки на замкнутом стальном сердечнике можно считать, что ее потокосцепление есть магнитный поток Φ , умноженный на число витков W : $\Psi = \Phi W$.

Емкость C характеризует способность цепи накапливать энергию электрического поля.

Эта энергия не преобразовывается в тепловую энергию, а существует в цепи в виде некоторого запаса. Если напряжение между проводниками отсутствует, то и запаса энергии электрического поля в цепи нет.

Величина емкости C определяется как отношение электрического заряда q одного из проводников к напряжению U между ними и измеряется в фарадах (Ф):

$$C = q / U \quad (1.3)$$

Если R , L и C являются постоянными величинами и не зависят от тока (или напряжения), то такие элементы называются *линейными*, а цепи, их содержащие, называются *линейными цепями*.

Элементы, параметры которых зависят от тока или напряжения, называются нелинейными, а цепи, их содержащие, также называются нелинейными цепями.

Свойства элементов электрической цепи описываются характеристиками. Для сопротивлений это зависимости напряжения от тока (вольт-амперные характеристики); для индуктивностей это зависимости потокосцепления от тока (вебер-амперные характеристики); для емкостей это зависимости электрического заряда от напряжения (кулонвольтные характеристики).

Соотношения между током и напряжением в каждом из идеальных элементов цепи называются *уравнениями элементов*:

$$u = iR \ ; \ u = L \frac{di}{dt} \ ; \ i = C \frac{du}{dt} \ .$$

Аналоговые измерительные приборы

Электромеханические измерительные приборы

Основные положения

Аналоговыми измерительными приборами называются приборы, показания которых являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины. Аналоговые электромеханические приборы строятся по структурной схеме, представленной на (рис.5.1). Они состоят из измерительной цепи, измерительного механизма и отсчетного устройства.

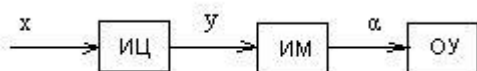


Рисунок 5.1 – Структурная схема аналогового

электромеханического прибора

Измерительная цепь (ИЦ) содержит резисторы и другие элементы, необходимые для требуемого преобразования измеряемой величины.

Измерительный механизм (ИМ) состоит из подвижной и неподвижной частей. В зависимости от принципа преобразования электромагнитной энергии в энергию движения подвижной части механизма различают магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические и индукционные приборы.

Отсчетное устройство (ОУ) состоит из указателя (стрелочного или светового), связанного с подвижной частью прибора, и неподвижной шкалы, представляющей собой совокупность отметок, нанесенных на лицевой стороне (циферблате) прибора. Расстояние между двумя соседними отметками называется длиной деления или просто *делением шкалы*.

Цена деления, называемая также постоянной прибора, соответствует изменению измеряемой величины, вызывающему перемещение указателя на одно деление.

Уравнение (5.1) называется уравнением *преобразования* механизма прибора, оно связывает показания прибора со значением измеряемой величины, и характеризует свойства измерительного прибора в целом.

$$\alpha = M_{вр}/W = \varphi(x, \lambda)/W, \quad (5.1)$$

где α – угол поворота подвижной части; W – электрокинетическая сила; λ – величина, зависящая от параметров измерительного механизма.

Магнитоэлектрические приборы

В приборах магнитоэлектрической системы используется взаимодействие поля *постоянного магнита* с катушкой (рамкой), по которой протекает ток. Конструктивно измерительный механизм может быть выполнен либо с подвижным магнитом, либо с подвижной катушкой. На (рис.5.2) показана конструкция прибора с подвижной катушкой.

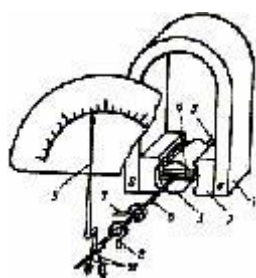


Рисунок 5.2 – Измерительный механизм МЭ прибора

Постоянный магнит 1, магнитопровод с полюсными наконечниками 2 и неподвижный сердечник 3 составляют магнитную систему механизма. В зазоре между полюсными наконечниками и сердечником создается сильное равномерное радиальное магнитное поле, в котором находится подвижная прямоугольная катушка (рамка) 4, намотанная медным или алюминиевым проводом на алюминиевом каркасе.

Уравнение преобразования можно получить, если подставить в формулу (5.1) выражение для вращающего момента $M_{вр}$, действующего на подвижную часть магнитоэлектрического механизма

$$\alpha = (BwS/W)I = S_I \cdot I, \quad (5.2)$$

где B – магнитная индукция в воздушном зазоре; w – число витков рамки; S – ее площадь; I – ток, протекающий по рамке.

Коэффициент пропорциональности $S_I = BwS/W$ называется *чувствительностью* магнитоэлектрического механизма к току.

Из группы аналоговых приборов магнитоэлектрические приборы относятся к числу наиболее чувствительных и точных. Изменения температуры окружающей среды и внешние магнитные поля мало влияют на их работу. Для измерений в цепях переменного тока требуется предварительное преобразование переменного тока в постоянный.

Амперметры

Магнитоэлектрический механизм позволяет измерять малые постоянные токи, не превышающие 20-50 мА. Для того чтобы измерять большие токи, используют измерительные цепи, включающие в себя *шунты*, представляющие собой манганиновые резисторы, сопротивление которых во много раз меньше сопротивления рамки R_A магнитоэлектрического измерительного механизма. Поэтому при включении шунта параллельно прибору (рис.5.3) основная часть измеряемого тока I проходит через шунт, а ток I_A не превышает допустимого значения.

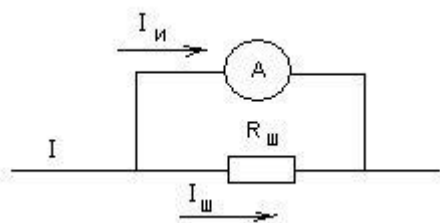


Рисунок 5.3 – Схема включения амперметра с шунтом

Отношение $I/I_A = n$, показывающее, во сколько раз измеряемый ток превышает допустимое значение, называется *коэффициентом шунтирования*. Сопротивление шунта определяется как

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}.$$

Амперметры для измерения сравнительно небольших токов (до нескольких десятков ампер) имеют внутренние шунты, вмонтированные в корпус прибора. Измерение больших токов (до нескольких тысяч ампер) осуществляют при помощи наружных шунтов, которые имеют определенные номинальные падения напряжения (45, 60, 75, 100 и 300 мВ) и классы точности (0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5).

Вольтметры

Схема вольтметра магнитоэлектрической системы приведена (рис.5.4).

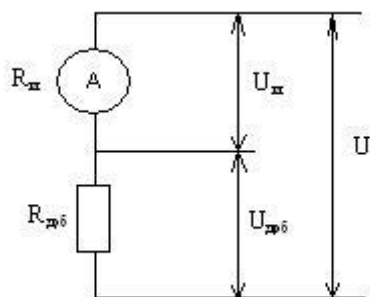


Рисунок 5.4 – Схема включения вольтметра

Добавочный резистор $R_{доб}$, включенный последовательно с рамкой измерительного механизма, ограничивает ток полного отклонения I , протекающего через нее, до допустимых значений. При этом падение напряжения на рамке U_V зависит от сопротивления рамки R_V и обычно не должно превышать десятков милливольт. Остальная часть измеряемого напряжения U должна падать на добавочном сопротивлении. Если необходимо получить верхний предел измерения напряжения, в m раз превышающий значение U_V , то необходимо включить добавочный резистор, сопротивление которого легко вычисляется по формуле

$$R_{доб} = R_V (m - 1).$$

Добавочные резисторы изготавливают из термостабильных материалов, например, из манганиновой проволоки. Они могут быть внутренними, встроенными в корпус прибора (при напряжениях до 600 В), и наружными (при напряжениях 600-1500 В).

Логометры

Приборы, в которых противодействующий момент создается не при помощи упругого элемента, а теми же электромагнитными силами, что и вращающий, называются логометрами. У логометров положение подвижной части определяется *отношением* двух токов. Логометры магнитоэлектрической системы (рис.5.5) имеют подвижную часть из двух жестко скрепленных между собой катушек 1 и 2 (рамок).

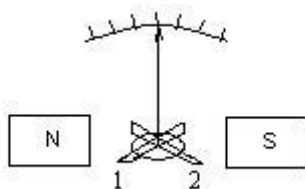


Рисунок 5.5 – Устройство логометра

Последние могут свободно вращаться в неравномерном поле постоянного магнита. Для создания неравномерного магнитного поля полюсным наконечникам, как и сердечнику, находящемуся между ними, придается особая форма. Отклонение указателя прибора равно

$$\alpha = F(I_1/I_2). \quad (5.3)$$

Логометры применяются для измерения сопротивления и других электрических величин. Основным достоинством логометрических приборов является независимость их показаний от напряжения питания.

Электродинамические приборы

Принцип действия электродинамических приборов основан на взаимодействии магнитных полей *двух катушек*, по которым протекает ток (рис.5.6).

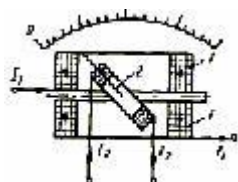


Рисунок 5.6 – Электродинамический измерительный прибор

Внутри неподвижной катушки 1 может вращаться подвижная катушка 2. Поворот осуществляется вращающим моментом, вызванным взаимодействием магнитных полей катушек 1 и 2. Уравнение преобразования прибора для постоянных токов имеет вид

$$\alpha = (1/W)(dM/da)I_1I_2, \quad (5.4)$$

где M – взаимная индуктивность катушки; I_1I_2 – токи в катушках.

Если по катушкам протекают переменные токи, то это выражение примет вид

$$\alpha = (1/W)(dM/da)I_1I_2\cos(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (5.5)$$

Из этого уравнения следует, что перемещения подвижной части механизма при работе на переменном токе зависят как от токов в его

катушках, так и от разности фаз между этими токами. Это дает возможность использовать приборы электродинамической системы не только в качестве амперметров и вольтметров, но и в качестве ваттметров.

В амперметрах катушки соединены последовательно (рис.5.7.а) или параллельно (рис.5.7.б). Последовательное соединение используется в приборах, предназначенных для измерения малых токов (до 0,5 А). При больших токах (до 10 А) катушки включаются параллельно.

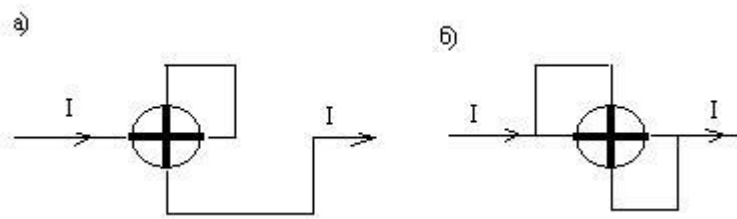


Рисунок 4.7 – Схема соединений катушек амперметра

а) неподвижная, б) подвижная

В последовательной схеме амперметра $I_1 = I_2 = I$, $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$, поэтому уравнение преобразования (4.5) сводится к виду

$$\alpha = (1/W)(dM/da)I^2, \quad (4.6)$$

т.е. при условии $dM/da = \text{const}$ угол поворота стрелки α квадратично зависит от тока, протекающего в катушках.

В этом случае шкала неравномерна. Поэтому расположение и форму катушек выбирают так, чтобы производная dM/da зависела от угла между подвижной и неподвижной катушками.

В параллельной схеме $I_1 = kI$; $I_2 = kI$, а разность фаз также устанавливается равной нулю подбором индуктивностей в цепях катушек.

Вольтметры выполняются по схеме (рис.5.8). Катушки включаются последовательно, ток через них ограничивается добавочным резистором $R_{\text{доб}}$.

Уравнение преобразования вольтметра имеет вид

$$\alpha = (1/W)(dM/da)(U^2/R^2), \quad (5.7)$$

где R - общее сопротивление цепи прибора.

Как и в случае амперметров, изменением dM/da добиваются почти равномерного характера рабочего участка электродинамических вольтметров.

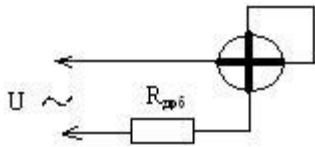


Рисунок 5.8 – Схема включения катушек вольтметра

Обычно электродинамические вольтметры выполняются многопредельными при помощи нескольких добавочных резисторов.

Схема соединения катушек ваттметра и его включения в цепь для измерения мощности, потребляемой нагрузкой Z_H , приведена на (рис.5.9).

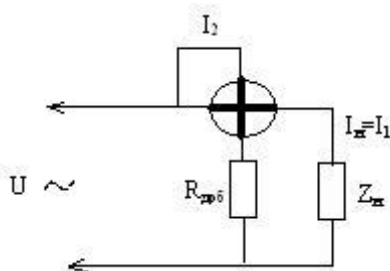


Рисунок 5.9 – Схема включения ваттметра

Ток I_1 в неподвижной катушке равен току нагрузки, а ток I_2 в подвижной катушке пропорционален приложенному напряжению:

$$I_2 = U / (R_{доб} + r),$$

где $R_{доб}$ - сопротивление добавочного резистора; r — сопротивление подвижной катушки.

С учетом этого и (5.5) уравнение шкалы для ваттметра

$$\alpha = (1/W(R_{доб} + r))(dM/da)P \quad (5.8)$$

где P - активная мощность нагрузки.

Погрешности электродинамических приборов возникают из-за температурных влияний и наличия внешних магнитных полей. При повышении частоты до нескольких сот герц существенными становятся также частотные погрешности.

Электростатические приборы

Принцип действия электростатических приборов основан на взаимодействии электрически заряженных проводников. Подвижная алюминиевая пластина, закрепленная вместе со стрелкой на оси,

может перемещаться, взаимодействуя с двумя электрически соединенными неподвижными пластинами. Входные зажимы, к которым подводится измеряемое напряжение, соединены с подвижной и неподвижными пластинами. Под действием электростатических сил подвижная пластина втягивается в пространство между неподвижными пластинами.

Уравнение преобразования электростатического прибора для постоянного тока

$$\alpha = (1/2W)(dC/da)U^2, (5.9)$$

где C - емкость между пластинами, зависящая от их взаимного расположения; U - измеряемое напряжение. Из (5.9) следует, что показание прибора *не зависит* от полярности приложенного напряжения.

В случае переменного тока уравнение остается прежним, но только переменная U является действующим значением переменного напряжения.

Достоинства: широкий частотный диапазон, малое потребление энергии, независимость показаний от внешних магнитных полей.

Недостатки: низкая чувствительность и невысокую точность.

Электромагнитные приборы

Электромагнитный измерительный механизм представлен на (рис.5.10), где 1 - катушка; 2 - сердечник, укрепленный на оси прибора; 3 - спиральная пружина, создающая противодействующий момент; 4 - воздушный успокоитель.

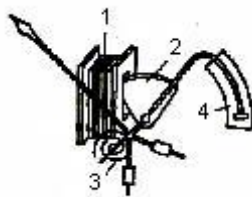


Рисунок 5.10 – Конструкция электромагнитного прибора

Под действием магнитного поля сердечник втягивается внутрь катушки. Подвижная часть механизма поворачивается до тех пор, пока вращающий момент не уравновесится противодействующим моментом, создаваемым пружиной.

Уравнение преобразования прибора имеет вид

$$\alpha = (1/2W)(dL/da)I^2, (5.10)$$

где L - индуктивность катушки, зависящая от положения сердечника, а следовательно, и от угла поворота подвижной части.

Из (5.10) следует, что угол поворота подвижной части механизма пропорционален квадрату действующего значения тока, т.е. не зависит от направления тока. Поэтому электромагнитные приборы одинаково пригодны для измерений в цепях постоянного и переменного тока.

Достоинства: низкая стоимость, надежность, пригодность для измерения в цепях постоянного и переменного тока.

Недостатки: большое потребление энергии, малая точность и чувствительность, сильное влияние внешних магнитных полей.

Заключение: у большинства электромеханических приборов входное сопротивление невелико (килоомы), поэтому они пригодны для измерения напряжения только в низкоомных цепях. В цепях с высокоомными нагрузками (мегаомы) эти приборы (за исключением электростатических) использовать нельзя, так как при их включении шунтируется нагрузка и тем самым изменяется электрический режим цепи. Кроме того, малый диапазон частот, большие входные емкости и индуктивности, зависимость входного сопротивления от частоты.

Повышение надежности технических средств железнодорожной автоматики.

Главным назначением устройств СЦБ является регулирование и обеспечение безопасности движения поездов. Создаваемые системы автоматики год от года совершенствовались и приобретали новые функции. Релейная аппаратура заменялась полупроводниковой, которой затем на смену пришла микропроцессорная техника.



Создано комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У).²

Повышение надежности технических средств железнодорожной автоматики. Главным назначением устройств СЦБ является регулирование и обеспечение безопасности движения поездов. Создаваемые системы автоматики год от года совершенствовались и приобретали новые функции. Релейная аппаратура заменялась полупроводниковой, которой затем на смену пришла микропроцессорная техника. Создано комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ У). 2

Современные **устройства СЦБ** работают с помощью автоматического и телемеханического управления. К ним относятся **Путевая блокировка**, электрожелезнодорожная система, Централизация стрелок и сигналов, устройства автоматики и телемеханики сортировочных горок, автоматическая регулировка движения поездов совместно с автоматической локомотивной сигнализацией (АЛС). Диспетчерская централизация, автоматический диспетчерский контроль движения поездов и ограждающие устройства на железнодорожных переездах.

Устройства путевой блокировки представляют собой систему технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики, которая регулирует движение поездов на перегонах и промежуточных станциях. С помощью светофора машинистам дается сигнал о возможности беспрепятственного или ограниченного проезда по данному участку пути, либо о запрещении проезда. Для большей надежности используются дополнительные устройства – автостопы. При наличии автоматической локомотивной сигнализации возможно автоматически остановить поезд, если он проехал на запрещающий сигнал.



Современные устройства СЦБ работают с помощью автоматического и телемеханического управления. К ним относятся Путевая блокировка, электрожелезнодорожная система, Централизация стрелок и сигналов, устройства автоматики и телемеханики сортировочных горок, автоматическая регулировка движения поездов совместно с автоматической локомотивной сигнализацией (АЛС). Диспетчерская централизация, автоматический диспетчерский контроль движения поездов и ограждающие устройства на железнодорожных переездах. Устройства путевой блокировки представляют собой систему технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики, которая регулирует движение поездов на перегонах и промежуточных станциях. С помощью светофора машинистам дается сигнал о возможности беспрепятственного или ограниченного проезда по данному участку пути, либо о запрещении проезда. Для большей надежности используются дополнительные устройства – автостопы. При наличии автоматической локомотивной сигнализации возможно автоматически остановить поезд, если он проехал на запрещающий сигнал. 3



На смену автоблокировке с изолирующими стыками пришли бесстыковые системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты. В последние годы ОАО «НИИАС» разработал принципиально новую систему автоблокировки – АБТЦ-М. Это универсальная система, работающая при всех видах тяги и реализованная на базе микропроцессоров, которые позволили заменить релейную и полупроводниковую технику. Благодаря этому резко сократились габариты аппаратуры, её энергопотребление.

4.

На смену автоблокировке с изолирующими стыками пришли бесстыковые системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты. В последние годы ОАО «НИИАС» разработал принципиально новую систему автоблокировки – АБТЦ-М. Это универсальная система, работающая при всех видах тяги и реализованная на базе микропроцессоров, которые позволили заменить релейную и полупроводниковую технику. Благодаря этому резко сократились габариты аппаратуры, её энергопотребление. 4

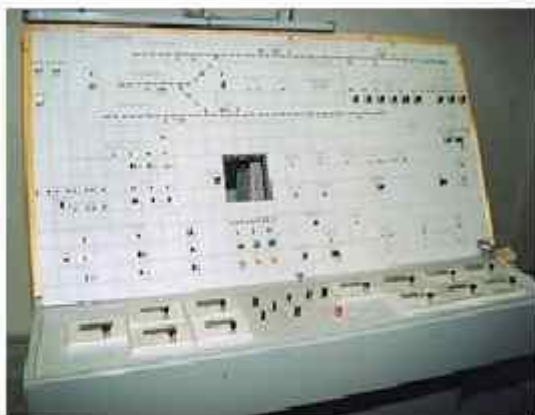


Если раньше установка системы автоблокировки на каждом участке требовала оригинального проекта и сложной ручной наладки, то теперь АБТЦ-М все эти вопросы решаются на программном уровне. Настройка отдельных блоков ведется с АРМа электромеханика.



Если раньше установка системы автоблокировки на каждом участке требовала оригинального проекта и сложной ручной наладки, то теперь в АБТЦ-М все эти вопросы решаются на программном уровне. Настройка отдельных блоков ведется с АРМа электромеханика. 5

Диспетчерская централизация (ДЦ) на железных дорогах входит в состав устройств СЦБ. С помощью диспетчерской централизации осуществляется управление стрелками и сигналами отдельных пунктов железнодорожного участка с одного диспетчерского поста

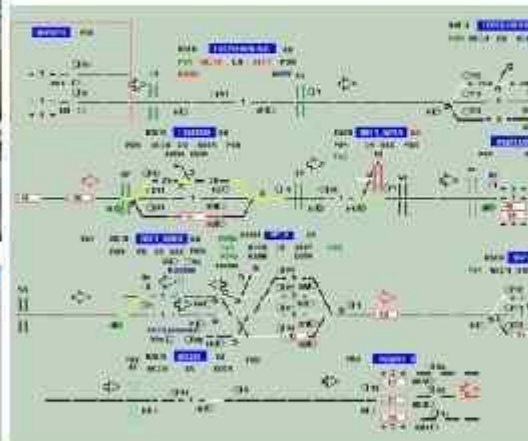


При электрической ДЦ сигналы передаются к устройствам через двухпроводной кабель в виде кода. Он составлен из показателей тока (полярность, время, частота). Различные комбинации этих показателей и являются сигналом к тому или иному действию. В настоящее время принята двоичная кодировка сигналов с помощью «0» и «1». При отправке сигнала первая часть кода указывает определенную станцию, вторая - команду, которую необходимо произвести.

Диспетчерская централизация является главным пунктом регулировки движения на больших участках железных дорог (100 – 150 км) поэтому надежность устройств должна находиться на очень высоком уровне.

Диспетчерская централизация (ДЦ) на железных дорогах входит в состав устройств СЦБ. С помощью диспетчерской централизации осуществляется управление стрелками и сигналами отдельных пунктов железнодорожного участка с одного диспетчерского поста. При электрической ДЦ сигналы передаются к устройствам через двухпроводной кабель в виде кода. Он составлен из показателей тока (полярность, время, частота). Различные комбинации этих показателей и являются сигналом к тому или иному действию. В настоящее время принята двоичная кодировка сигналов с помощью «0» и «1». При отправке сигнала первая часть кода указывает определенную станцию, вторая команда, которую необходимо произвести. Диспетчерская централизация является главным пунктом регулировки движения на больших участках железных дорог (100 – 150 км) поэтому надежность устройств должна находиться на очень высоком уровне.

Поездной диспетчер на рабочем месте



АРМ ДНЦ «Сетунь», в составе диспетчерской централизации «Сетунь» нового поколения на микропроцессорной основе – это составная и неотъемлемая часть Единого Центра Диспетчерского Управления перевозочным процессом (ЕЦДУ).

Поездной диспетчер на рабочем месте АРМ ДНЦ «Сетунь», в составе диспетчерской централизации «Сетунь» нового поколения на микропроцессорной основе – это составная и неотъемлемая часть Единого Центра Диспетчерского Управления перевозочным процессом (ЕЦДУ). 7

В области радиосвязи сейчас вся сеть (85 тыс.км) оборудована поездной радиосвязью КВ-диапазона Успешно идет внедрение цифровой радиосвязи. Из 85 000 км, оборудованных оперативно-технологической связью 35 000 км – это цифровая радиосвязь. Начато внедрение европейских стандартов радиосвязи на сети отечественных железных дорог. Системой Tetra оборудовано 660 км, системой GSM-R – 180 км.

Современная цифровая радиосвязь может применяться совместно с системами автоматики для управления движением поездов, передавая на борт команды управления и принимая информацию о местонахождении и параметрах движения поездов.



В области радиосвязи сейчас вся сеть (85 тыс. км) оборудована поездной радиосвязью КВ-диапазона Успешно идет внедрение цифровой радиосвязи. Из 85 000 км, оборудованных оперативно-технологической связью 35 000 км – это цифровая радиосвязь. Начато внедрение европейских стандартов радиосвязи на сети отечественных железных дорог. Системой Tetra оборудовано 660 км, системой GSM-R – 180 км. Современная цифровая радиосвязь может применяться совместно с системами автоматики для управления движением поездов, передавая на борт команды управления и принимая информацию о местонахождении и параметрах движения поездов. 8

Только современное развитие вычислительной техники позволило перейти к созданию центров управления перевозками. Определена трехуровневая структура системы центров управления: верхний уровень – сетевой ЦУП, средний уровень – центры управления перевозками по каждой железной дороге, нижний – центры управления местной работой (ЦУМР). В настоящее время находятся в постоянной эксплуатации центры управления верхнего и среднего уровней. Активно ведутся работы по созданию ЦУМР. Создается новое программное обеспечение для решения новых задач, связанных с совершенствованием железнодорожного транспорта. Совершенствование средств ЖАТ, в первую очередь, преследовало цель повышения надежности и безопасности их функционирования.



Только современное развитие вычислительной техники позволило перейти к созданию центров управления перевозками. Определена трехуровневая структура системы центров управления: верхний уровень – сетевой ЦУП, средний уровень – центры управления перевозками по каждой железной дороге, нижний – центры управления местной работой (ЦУМР). В настоящее время находятся в постоянной эксплуатации центры управления верхнего и среднего уровней. Активно ведутся работы по созданию ЦУМР. Создается новое программное обеспечение для решения новых задач, связанных с совершенствованием железнодорожного транспорта. Совершенствование средств ЖАТ, в первую очередь, преследовало цель повышения надежности и безопасности их функционирования. 9

Развитие систем грозозащиты.

Одной из острых проблем при внедрении микропроцессорных и микроэлектронных систем ЖАТ, является их защита от грозовых и коммутационных перенапряжений. Разработки в области грозозащиты (молниезащиты) технических средств железнодорожной автоматики направлены на построение многокаскадных систем защиты.



Развитие систем грозозащиты. Одной из острых проблем при внедрении микропроцессорных и микроэлектронных систем ЖАТ, является их защита от грозовых и коммутационных перенапряжений. Разработки в области грозозащиты (молниезащиты) технических средств железнодорожной автоматики направлены на построение многокаскадных систем защиты. 10

Комплексная автоматизированная система анализа, учета и контроля устранения отказов в работе технических средств КАСАНТ

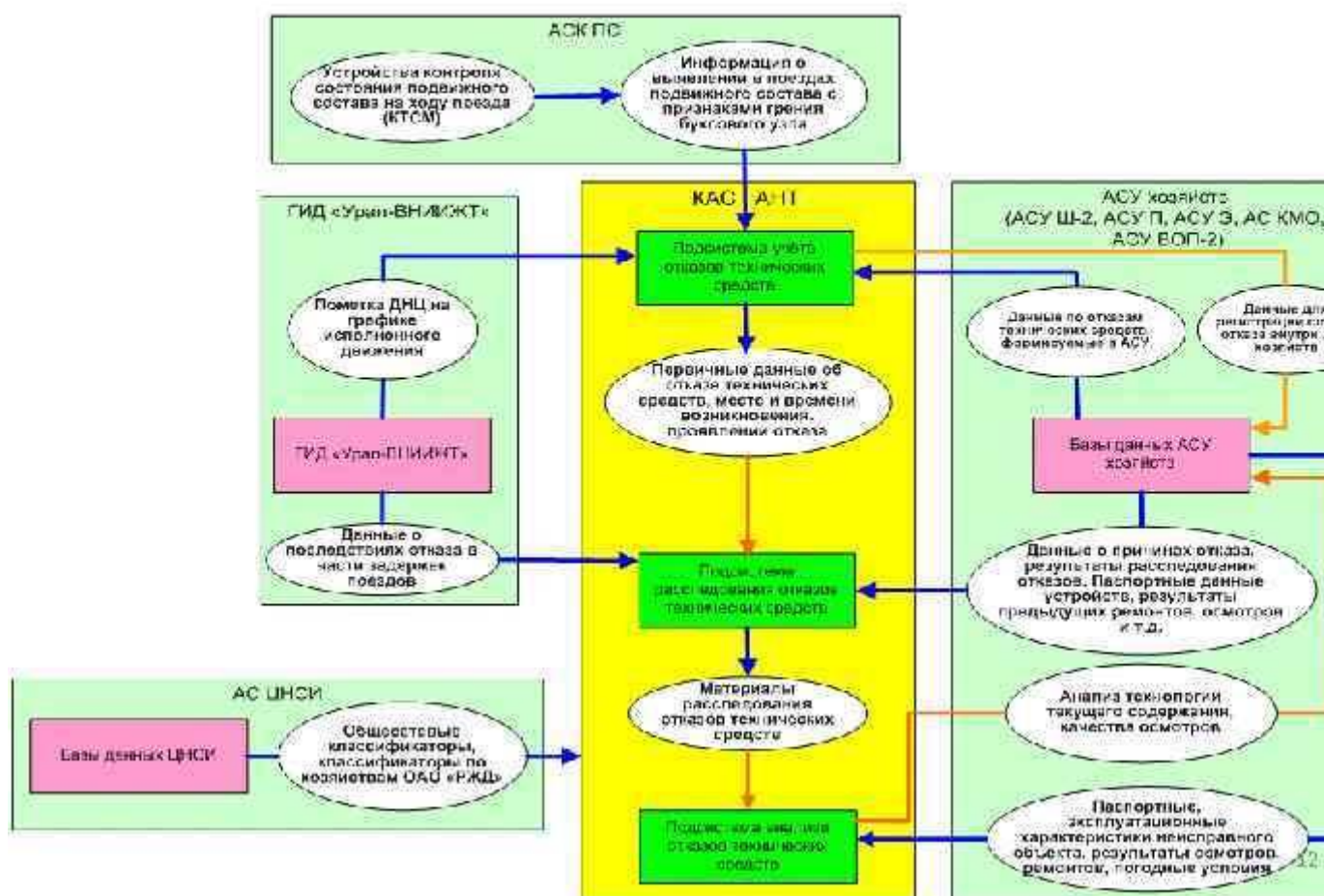
Эффективность деятельности сети железных дорог может быть обеспечена за счет бесперебойной работы технических средств и, в первую очередь, объектов инфраструктуры и подвижного состава, обеспечивающих выполнение перевозочного процесса.

Важное место в работе приобретает системный анализ. Для сбора информации об отказах технических средств на основе данных графиков исполненного движения, используемых в перевозочном процессе, разработана комплексная автоматизированная система учета, контроля, устранения отказов технических средств и анализа их надежности КАСАНТ.



Комплексная автоматизированная система анализа, учета и контроля устранения отказов в работе технических средств КАСАНТ. Эффективность деятельности сети железных дорог может быть обеспечена за счет бесперебойной работы технических средств и, в первую очередь, объектов инфраструктуры и подвижного состава, обеспечивающих выполнение перевозочного процесса. Важное место в работе приобретает системный анализ. Для сбора информации об отказах технических средств на основе данных графиков исполненного движения, используемых в перевозочном процессе, разработана комплексная автоматизированная система учета, контроля, устранения отказов технических средств и анализа их надежности КАСАНТ. 11

Система KACANT внедрена в промышленную эксплуатацию на всех 17-ти железных дорогах ОАО «РЖД».



Система KACANT внедрена в промышленную эксплуатацию на всех 17 -ти железных дорогах ОАО «РЖД» . 12

Система КАСАНТ внедрена в промышленную эксплуатацию на всех 17-ти железных дорогах ОАО «РЖД».



Система КАСАНТ внедрена в промышленную эксплуатацию на всех 17 -ти железных дорогах ОАО «РЖД» . 13

Электроизмерительные приборы

Ампервольтметр ЭК2346 в ударопрочном корпусе может применяться при ремонте, техническом обслуживании аппаратуры и устройств автоматики, в том числе, в полевых условиях эксплуатации.

Ампервольтметр ЭК2346 предназначен для измерения:

- силы или напряжения постоянного тока;
- среднеквадратического значения силы или напряжения переменного тока (в режиме закрытого входа – без постоянной составляющей) в диапазоне частот от 25 до 10000 Гц;
- среднеквадратического значения напряжения переменного тока сигналов кодовых рельсовых цепей на частотах 25, 50, 75 Гц;
- сопротивления постоянному току.



Технические характеристики:

Диапазон измеряемых температур	-30... С
Предел допускаемого значения основной погрешности	±1,5% 5%
Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ	1425 IP42

Ампервольтметр ЭК 2346 в ударопрочном корпусе может применяться при ремонте, техническом обслуживании аппаратуры и устройств автоматики, в том числе, в полевых условиях эксплуатации. Ампервольтметр ЭК 2346 предназначен для измерения: - силы или напряжения постоянного тока; - среднеквадратического значения силы или напряжения переменного тока (в режиме закрытого входа – без постоянной составляющей) в диапазоне частот от 25 до 10 000 Гц; - среднеквадратического значения напряжения переменного тока сигналов кодовых рельсовых цепей на частотах 25, 50, 75 Гц; - сопротивления постоянному току. Технические характеристики: Диапазон измеряемых температур 30.... +50 С Предел допускаемого значения основной погрешности ± 1, 5%, ± 2, 5% Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 14254 IP 42 15

Прибор Ц4380М предназначен для измерения значений постоянной и переменной силы тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления постоянному току.



Тип мультиметра	стрелочный, портативный
Базовая погрешность	1,5%
Напряжение постоянное	300 мВ...600 В
Напряжение переменное	300 мВ...600 В
Ток постоянный	0 мА...15 А
Ток переменный	0 мА...15 А
Сопротивление	300 Ом...1 МОм

Прибор Ц 4380 М предназначен для измерения значений постоянной и переменной силы тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления постоянному току. Тип мультиметра стрелочный, портативный Базовая погрешность 1, 5% Напряжение постоянное 300 м. В. . . 600 В Напряжение переменное 300 м. В. . . 600 В Ток постоянный 0 м. А. . . 15 А Ток переменный 0 м. А. . . 15 А Сопротивление 300 Ом. . . 1 МОм 16



В7-63 - Мультиметр цифровой

Описание прибора кратко:

Вольтметр универсальный 1 мВ - 500 В, 1 мА - 20 А, 0,01 - 2 МОм

Описание прибора подробно:

- Автономное питание.
 - Жесткие условия эксплуатации.
 - Измерение кодовых сигналов рельсовых цепей от 0,01 до 200 В.
- Мультиметр В7-63 предназначен для измерения напряжения и силы постоянного тока, напряжения и силы кодовых сигналов, состоящих из импульсов постоянного тока положительной или отрицательной полярности, среднеквадратического значения переменного напряжения и тока сложной формы, переменного напряжения и тока кодовых сигналов рельсовых цепей железных дорог, в том числе в селективном режиме, сопротивления постоянному току, температуры в градусах Цельсия.

Основные технические характеристики прибора В7-63:

Измерение кодовых сигналов рельсовых цепей: от 0,01 до 200 В, в т.ч. в селективном режиме.
 $F_{\text{фим}}$: 175 Гц. $F_{\text{ам}}$: (420-5555) Гц. $F_{\text{м}}$: (1,5-12) Гц.
 Диапазоны измерений:
 постоянного напряжения: 1 мВ-500 В $\pm 0,4\%$, тока: 1 мА-20 А $\pm 0,7\%$;
 переменного напряжения: 10 мВ-500 В с $\pm (1,0\% |x+4 \text{ ед.м.ч.р.})$ на частоте: 20 Гц-5 кГц с Кг 50%;
 постоянного тока: 10 мА-2 А с $\pm (2,5\% |x+8 \text{ едмл.р.})$ на частоте: 5 кГц-10 кГц с Кг 50%;
 переменного тока: 2 А-20 А с $\pm 1\%$ на F: 20 Гц-1 кГц;
 сопротивления: 0,01 Ом-2 МОм с $\pm 0,5\%$, $R_{\text{вх}}$ (1 $\pm$ 0,15) МОм;
 $C_{\text{вх}}$: не более 100 пФ.

Измерение температур: от -30°C до +160°C

В 7 -63 - Мультиметр цифровой Описание прибора кратко: Вольтметр универсальный 1 м. В - 500 В, 1 м. А - 20 А, 0, 01 Ом - 2 МОм Описание прибора подробно: • Автономное питание. • Жесткие условия эксплуатации. • Измерение кодовых сигналов рельсовых цепей от 0, 01 до 200 В. Мультиметр В 7 -63 предназначен для измерения напряжения и силы постоянного тока, на пряжения и силы кодовых сигналов, состоящих из импульсов постоянного тока положитель но или отрицательной полярности, среднеквадратического значения переменного напряжения и тока сложной формы, переменного напряжения и тока кодовых сигналов рельсовых цепей ж елезных дорог, в том числе в селективном режиме, сопротивления постоянному току, темпера туры в градусах Цельсия. Основные технические характеристики прибора В 7 -63: Измерение кодовых сигналов рельсовых цепей: от 0, 01 до 200 В, в т. ч. в селективном режиме. F_{фим}: 17 5 Гц. F_{ам}: (420 -5555) Гц. F_м: (1, 5 -12) Гц. Диапазоны измерений: постоянного напряжения: 1 м. В-500 В $\pm 0, 4\%$, тока: 1 м. А-20 А с $\pm 0, 7\%$; переменного напряжения: 10 м. В-500 В с $\pm (1, 0 \% |x+4 \text{ ед. м. ч. р.})$ на частоте: 20 Гц-5 к. Гц с Кг 50%; постоянного тока: 10 м. А-2 А с $\pm (2, 5\% |x +8 \text{ едмл. р.})$ на частоте: 5 к. Гц-10 к. Гц с Кг 50%; переменного тока: 2 А-20 А с $\pm 1\%$ на F: 20 Г ц-1 к. Гц; сопротивления: 0, 01 Ом-2 МОм с $\pm 0, 5\%$. R_{вх}(1 $\pm$ 0, 15) МОм; C_{вх}: не более 100 п. Ф. Измерение температур: от -30°C до + 160°C 17

Прибор цифрового типа ИВП-АЛСН



ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е). Общие данные

Прибор ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е) предназначен для проведения измерений при эксплуатации и ремонте устройств железнодорожной сигнализации в цеховых и полевых условиях.

Прибор ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е) обеспечивает измерение и индикацию временных параметров кодовых сигналов АЛСН в виде:

- периодически замыкающихся и размыкающихся свободных контактов КПП транзиттерных реле;
- импульсов напряжения постоянного тока положительной полярности от 3 В до 100 В;
- импульсов напряжения переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц с амплитудой от 0,2 В до 240 В в рельсовых цепях, на приемных катушках локомотива, на обмотках реле и в любом другом месте схемы кодирования (контактным способом);
- импульсов переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц, протекающих по рельсам (индуктивным методом).

Прибор ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е) обеспечивает измерение и индикацию времени замедления сигнальных и других реле на отпадание якоря.

Прибор ИВП-АЛСН обеспечивает (ИВП-АЛСНм-Е, м-И):

- обнаружение и индикацию наличия несущей частоты 174,38 Гц сигналов АЛС-ЕН;
- декодирование и индикацию типа сигналов АЛС-ЕН с двукратной фазоразностной модуляцией, модулируемых по первому и второму подканалам шестнадцатью кодовыми комбинациями в виде модифицированного кода Бауэра;
- декодирование типа кода сигналов АЛС-ЕН контактным способом и с помощью внешнего индуктивного датчика и индикацию показателей движения по декодированным сигналам АЛС-ЕН (модификация "ИВП-АЛСНм-Е").

Прибор цифрового типа ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е). Общие данные. Прибор ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е) предназначен для проведения измерений при эксплуатации и ремонте устройств железнодорожной сигнализации в цеховых и полевых условиях. Прибор ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е) обеспечивает измерение и индикацию временных параметров кодовых сигналов АЛСН в виде: · периодически замыкающихся и размыкающихся свободных контактов КПП транзиттерных и др. реле; · импульсов напряжения постоянного тока положительной полярности от 3 В до 100 В; · импульсов напряжения переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц с амплитудой от 0,2 В до 240 В в рельсовых цепях, на приемных катушках локомотива, на обмотках реле и в любом другом месте схемы кодирования (контактным способом); · импульсов переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц, протекающих по рельсам (индуктивным методом). Прибор ИВП-АЛСН (ИВП-АЛСНм-И, ИВП-АЛСНм-Е) обеспечивает измерение и индикацию времени замедления сигнальных и других реле на отпадание якоря. Прибор ИВП-АЛСН обеспечивает (ИВП-АЛСНм-Е, м-И): · обнаружение и индикацию наличия несущей частоты 174,38 Гц сигналов АЛС-ЕН; · декодирование и индикацию типа сигналов АЛС-ЕН с двукратной фазоразностной модуляцией, модулируемых по первому и второму подканалам шестнадцатью кодовыми комбинациями в виде модифицированного кода Бауэра. · Декодирование типа кода сигналов АЛС-ЕН контактным способом и с помощью внешнего индуктивного датчика и индикацию показателей движения по декодированным сигналам АЛС-ЕН (модификация "ИВП-АЛСНм-Е"). 18

ИТРЦ-25/50 - индикатор тока рельсовых цепей



ИТРЦ-25/50 (индикатор тока рельсовых цепей) предназначен для индикации частоты сигнального тока в рельсовой линии и относительной оценки изменения уровня сигнального тока на выбранной частоте (25 или 50 Гц) в рельсовой линии. ИТРЦ-25/50 применяется для определения причин нарушения нормальной работы рельсовых цепей железных дорог индуктивным методом.

ИТРЦ-25/50. Основные параметры индикатора

Рабочие условия применения ИТРЦ-25/50:

- температура окружающего воздуха: от минус 30 до 40°C;
- относительная влажность: до 98% при температуре 25°C;

Питание ИТРЦ-25/50 осуществляется от автономного источника постоянного тока.

Напряжение питания: 6 - 9 В, ток потребления не более 20 мА.

Масса ИТРЦ-25/50 не более 0,7 кг.

Габаритные размеры ИРЦ-ЖАИС: 155 x 52 x 120 мм.

Достоинства ИТРЦ-25/50 (индикатор тока рельсовых цепей) перед аналогичными приборами других производителей:

- мгновенная индикация частоты сигнального тока;
- высокая помехозащищенность;
- безынерционность при индикации (измерении) тока в рельсовой цепи;
- ударопрочный корпус.



ИТРЦ-25/50 - индикатор тока рельсовых цепей ИТРЦ-25/50 (индикатор тока рельсовых цепей) предназначен для индикации частоты сигнального тока в рельсовой линии и относительной оценки изменения уровня сигнального тока на выбранной частоте (25 или 50 Гц) в рельсовой линии. ИТРЦ-25/50 применяется для определения причин нарушения нормальной работы рельсовых цепей железных дорог индуктивным методом. ИТРЦ-25/50. Основные параметры индикатора Рабочие условия применения ИТРЦ-25/50: - температура окружающего воздуха от минус 30 до 40°C; - относительная влажность до 98% при температуре 25°C; Питание ИТРЦ-25/50 осуществляется от автономного источника постоянного тока. Напряжение питания 6 - 9 В, ток потребления не более 20 м. А. Масса ИТРЦ-25/50 не более 0, 7 кг. Габаритные размеры ИРЦ-ЖАИС: 155 x 52 x 120 мм. Достоинства ИТРЦ-25/50 (индикатор тока рельсовых цепей) перед аналогичными приборами других производителей: - мгновенная индикация частоты сигнального тока; - высокая помехозащищенность; - безынерционность при индикации (измерении) тока в рельсовой цепи; - ударопрочный корпус. 19

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА СЕЛЕКТИВНЫЙ А9-1

А9-1 предназначен для измерения силы переменного тока на фиксированных частотах в рельсовых цепях железных дорог.

А9-1. Основные технические характеристики

Прибор А9-1 обеспечивает измерение среднеквадратического значения силы переменного тока в рельсовых цепях в соответствии с данными, приведенными в таблице: без учета пауз в кодовых посылах для частот 25; 50; 75 Гц; с учетом пауз на фиксированных частотах в диапазоне 175 - 5555 Гц. Контроль наличия кодовой последовательности осуществляется с помощью светодиодного индикатора.

Предел допускаемой основной погрешности измерения среднеквадратического значения силы переменного тока кодовой последовательности в рельсовой цепи в А9-1 не превышает $\pm(10\% I_x + 2 \text{ ед. мл.р.})$ на частотах настройки 175 - 5555 Гц и $\pm(5\% I_x + 2 \text{ ед. мл.р.})$ на частотах настройки 25; 50; 75 Гц.

Примечание. Ед. мл.р. - единица младшего разряда.

Прибор А9-1 имеет подсветку шкалы.

Зарядное устройство, входящее в комплект поставки прибора А9-1, обеспечивает ток заряда аккумуляторов не менее 210 мА в течение 3 ч при питании его от сети напряжением (220 ± 22) В частотой (50 ± 1) Гц.

Прибор А9-1 имеет индикацию разряда аккумуляторов и автоматическое отключение питания.

Время установления показаний не превышает 4 с.

Рабочие условия эксплуатации А9-1:

- температура окружающего воздуха от минус 30 до 50 °С;
- относительная влажность до 90 % при температуре до 30 °С;
- атмосферное давление 460-800 мм рт.ст.;
- напряжение питания 3 - 4,8 В от автономного источника (три пальчиковых аккумулятора).

Сила тока, потребляемая прибором от аккумуляторной батареи, не более 50 мА.

Масса прибора А9-1 не превышает 0,8 кг.

Габаритные размеры прибора А9-1 (ширина x высота x глубина) - 190 x 90 x 45 мм.

Наработка на отказ не менее 30000 ч.

Прибор А9-1 включен в Госреестр под № 17764-98. Сертификат об утверждении средств измерений № 5522



ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА СЕЛЕКТИВНЫЙ А 9 -1 предназначен для измерения силы переменного тока на фиксированных частотах в рельсовых цепях железных дорог. А 9 -1. Основные технические характеристики Прибор А 9 -1 обеспечивает измерение среднеквадратического значения силы переменного тока в рельсовых цепях в соответствии с данными, приведенными в таблице: без учета пауз в кодовых посылах для частот 25; 50; 75 Гц; с учетом пауз на фиксированных частотах в диапазоне 175 - 5555 Гц. Контроль наличия кодовой последовательности осуществляется с помощью светодиодного индикатора. · Предел допускаемой основной погрешности измерения среднеквадратического значения силы переменного тока кодовой последовательности в рельсовой цепи в А 9 -1 не превышает $\pm(10\% I_x + 2 \text{ ед. мл. р.})$ на частотах настройки 175 - 5555 Гц и $\pm(5\% I_x + 2 \text{ ед. мл. р.})$ на частотах настройки 25; 50; 75 Гц. Примечание. Ед. мл. р. - единица младшего разряда. Прибор А 9 -1 имеет подсветку шкалы. · Зарядное устройство, входящее в комплект поставки прибора А 9 -1, обеспечивает ток заряда аккумуляторов не менее 210 м. А в течение 3 ч при питании его от сети напряжением (220 ± 22) В частотой (50 ± 1) Гц. · Прибор А 9 -1 имеет индикацию разряда аккумуляторов и автоматическое отключение питания. · Время установления показаний не превышает 4 с. Рабочие условия эксплуатации А 9 -1: - температура окружающего воздуха от минус 30 до 50 о. С; - относительная влажность до 90 % при температуре до 30 о. С; - атмосферное давление 460 -800 мм рт. ст. ; - напряжение питания 3 - 4, 8 В от автономного источника (три пальчиковых аккумулятора). Сила тока, потребляемая прибором от аккумуляторной батареи, не более 50 м. А. Масса прибора А 9 -1 не превышает 0, 8 кг. Габаритные размеры прибора А 9 -1 (ширина x высота x глубина) - 190 x 45 мм. Наработка на отказ не менее 30000 ч. Прибор А 9 -1 включен в Госреестр под № 17764 -98. Сертификат об утверждении средств измерений № 5522 20

•Измеритель сопротивление балласта типа ИСБ-1.

Назначение- измерение величины сопротивления изоляции в р.ц. без нарушения работы устройств СЦБ.

Включается в любой точке р.ц., находящейся на расстоянии 100-150 м от места подключения аппаратуры р.ц.

Позволяет измерять:

а) удельное электрическое сопротивление балласта на участке 200+300 м;

б) усредненное значение удельного электрического сопротивления балласта р.ц.

Питание прибора от сухих элементов.

Пределы измерений от 1 Ом км до 10 Ом км.

Погрешность не более $\pm 10\%$.

Продолжительность одного измерения менее 1 минуты.

1. Принцип работы.

2. Действие прибора основано на применении для измерения ~ тока тональной частоты 5 КГц. На этой частоте короткий отрезок р.ц. (100-150 м) представляет собой электрически длинную линию, входное сопротивление которой равно ее Z_B (волновому сопротивлению).

R_6 (Ом км) определяется из формулы

где Z_B - волновое сопротивление р.ц., Z - километрическое сопротивление рельсов.

Для измерения используется высокоомный генератор, $R_{вх}$ которого значительно превышает входное сопротивление р.ц.

Поскольку при изменении нагрузки на выходе генератора сохраняется постоянство величины тока. Следовательно напряжение на нагрузке прямо пропорционально сопротивлению между точками (рельсами), которое равно половине модуля $Z_B Z$

$$R_6 = \frac{Z_B}{Z}$$



тип ИСБ-2

• Измеритель сопротивление балласта типа ИСБ-1. Назначение- измерение величины сопротивления изоляции в р. ц. без нарушения работы устройств СЦБ. Включается в любой точке р. ц. , находящейся на расстоянии 100 -150 м от места подключения аппаратуры р. ц. Позволяет измерять: а) удельное электрическое сопротивление балласта на участке 200 300 м; б) усредненное значение удельного электрического сопротивления балласта р. ц. Питание прибора от сухих элементов. Пределы измерений от 1 Ом км до 10 Ом км. Погрешность не более 10%. Продолжительность одного измерения менее 1 минуты. 1. Принцип работы. 2. Действие прибор а основано на применении для измерения тока тональной частоты 5 КГц. На этой частоте короткий отрезок р. ц. (100 -150 м) представляет собой электрически длинную линию, входное сопротивление которой равно ее Z_B (волновому сопротивлению). R_6 (Ом. км) определяется из формулы где Z_B - волновое сопротивление р. ц. , Z - километрическое сопротивление рельсов. Для измерения используется высокоомный генератор, $R_{вх}$ которого значительно превышает входное сопротивление р. ц. Поэтому при изменении нагрузки на выходе генератора сохраняется постоянство величины тока. Следовательно напряжение на нагрузке прямо пропорционально Z_B сопротивлению между точками (рельсами), которое равно половине модуля $Z_B Z$ $R_6 = \frac{Z_B}{Z}$ тип ИСБ-2 21

Индикатор проверки чередования полярности типа ИПЧП.

Назначение- контроль чередования фаз в смежных рельсовых цепях (р.ц.) переменного тока.

Индикатор выполнен в виде транзисторной схемы сравнения фаз сигналов, поступающих от двух смежных р.ц. Обе части схемы работают в положительном полупериоде.

При питании р.ц. все станции от одной фазы полярность тока определяют по отклонению стрелки одного из микроамперметров и надписи у микроамперметра с отклонившейся стрелкой, другая не должна отклоняться.

Индикатор проверки чередования полярности типа ИПЧП. Назначение- контроль чередования фаз в смежных рельсовых цепях (р. ц.) переменного тока. Индикатор выполнен в виде транзисторной схемы сравнения фаз сигналов, поступающих от двух смежных р. ц. Обе части схемы работают в положительном полупериоде. При питании р. ц. все станции от одной фазы полярность тока определяют по отклонению стрелки одного из микроамперметров и надписи у микроамперметра с отклонившейся стрелкой, другая не должна отклоняться. 22

Измеритель разности фаз ИРФ-1

Фазовые измерения систем сигнализации и связи МПС, 20-5600 Гц

Измеритель разности фаз ИРФ-1 предназначен для измерения в режимах автономного и дистанционного управления следующих параметров переменных напряжений, действующих как в обычных, так и в гальванически развязанных цепях:

разности фаз двух синусоидальных напряжений;

среднеквадратического значения синусоидальных напряжений;

частоты переменного напряжения, действующего на входе "1" прибора.

Прибор ИРФ-1 обеспечивает в обзорном режиме одновременное измерение разности фаз, частоты и среднеквадратического значения синусоидального напряжения, действующего на входе "1" прибора. Прибор ИРФ-1 обеспечивает также измерение разности фаз на фиксированных частотах 25, 50 и 75 Гц в условиях воздействия помех, уровни которых не превышают уровни входных сигналов. На рабочих частотах 25 и 75 Гц частота помехи равна промышленной частоте (50 ± 1 Гц), на рабочей частоте 50 Гц частота помехи равна ($25 \pm 0,5$ Гц) или ($75 \pm 1,5$ Гц). Прибор выдерживает перегрузку переменным напряжением 300 В по каждому входу. В приборе ИРФ-1 предусмотрена возможность подсветки индикатора. Питание прибора ИРФ-1 осуществляется напряжением (220 ± 22) В от сети промышленной частоты (50 ± 2 Гц) или при автономном питании) от трех элементов типа "VARTA", каждый из которых имеет предел от 1 до 1,5 В. Мощность, потребляемая прибором не превышает 5 Вт. Ток, потребляемый от батареи при пониженном напряжении 3,1 В при выключенной подсветке индикатора, не превышает 22 мА, при включенной подсветке - 300 мА. Прибор ИРФ-1 обеспечивает измерение напряжения автономного источника питания с точностью $\pm 0,1$ В и с разрешающей способностью 0,01 В. В приборе ИРФ-1 предусмотрен сервисный режим записи, хранения и последующего чтения результатов измерений в постоянной электрически перепрограммируемой памяти, что позволяет облегчить работу оператора при измерениях в полевых условиях. Емкость такой "записной книжки" составляет 1000 записей результатов измерений. Как запись, так и чтение возможны с любого номера строки в пределах от 0 до 999. Средняя наработка на отказ прибора ИРФ-1 не менее 20000 ч. Средний срок службы - не менее 10 лет. Прибор может быть использован при определении амплитудно-частотных характеристик различных низкочастотных электрических цепей, усилителей, фильтров, аттенюаторов, трансформаторов и т.д.

Основные технические характеристики прибора ИРФ-1/1:

Диапазон рабочих частот при измерении разности фаз, Гц: 20 ... 5600.

Диапазон входных напряжений, В: 0,1 ... 250.

Пределы измерения разности фаз, град.: 0 ... 360.

Устанавливаемая разрешающая способность: 1 или 0,1.

Предел допускаемой погрешности: ± 10 .

Диапазон измерения среднеквадратического значения напряжения, В: от 0,2 до 250.

Диапазон рабочих частот при измерении напряжения: от 20 Гц до 10 кГц.

Предел допускаемой относительной погрешности измерения синусоидального напряжения на частотах:

от 20 до 200 Гц: $\pm 2\%$;

свыше 200 Гц: $\pm 2,5\%$.

Разрешающая способность измерения частоты в диапазоне частот от:

20 до 560,9 Гц: 0,1 Гц;

в остальном диапазоне: 1 Гц.

Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты:

на частотах от 20 до 560,9 Гц: $\pm 0,2$ Гц;

на частотах от 1 до 10 кГц: ± 2 Гц.

Время измерения разности фаз прибора не превышает, с: 2.

Входное активное сопротивление прибора по обоим входам не менее: 300 Ом.

Температура окружающего воздуха, °C: от -10 до +40.

Относительная влажность воздуха при 40°C: до 95%.



Измеритель разности фаз ИРФ-1 Фазовые измерения систем сигнализации и связи МПС, 20 - 5600 Гц Измеритель разности фаз ИРФ-1 предназначен для измерения в режимах автономного и дистанционного управления следующих параметров переменных напряжений, действующих как в обычных, так и в гальванически развязанных цепях: разности фаз двух синусоидальных напряжений; среднеквадратического значения синусоидальных напряжений; частоты переменного напряжения, действующего на входе "1" прибора. Прибор ИРФ-1 обеспечивает в обзорном режиме одновременное измерение разности фаз, частоты и среднеквадратического значения синусоидального напряжения, действующего на входе "1" прибора. Прибор ИРФ-1 обеспечивает также измерение разности фаз на фиксированных частотах 25, 50 и 75 Гц в условиях воздействия помех, уровни которых не превышают уровни входных сигналов. На рабочих частотах 25 и 75 Гц частота помехи равна промышленной частоте (50 ± 1 Гц), на рабочей частоте 50 Гц частота помехи равна ($25 \pm 0,5$ Гц) или ($75 \pm 1,5$ Гц). Прибор выдерживает перегрузку переменным напряжением 300 В по каждому входу. В приборе ИРФ-1 предусмотрена возможность подсветки индикатора. Питание прибора ИРФ-1 осуществляется напряжением (220 ± 22) В от сети промышленной частоты (50 ± 2 Гц) или при автономном питании) от трех элементов типа "VARTA", каждый из которых имеет э. д. с. в пределах от 1 до 1,5 В. Мощность, потребляемая прибором не превышает 5 Вт. Ток, потребляемый от батареи при пониженном напряжении 3,1 В при выключенной подсветке индикатора, не превышает 22 мА, при включенной подсветке 300 мА. Прибор ИРФ-1 обеспечивает измерение напряжения автономного источника питания с точностью $\pm 0,1$ В и с разрешающей способностью 0,01 В. В приборе ИРФ-1 предусмотрен сервисный режим записи, хранения и последующего чтения результатов измерений в постоянной электрически перепрограммируемой памяти, что позволяет облегчить работу оператора при измерениях в полевых условиях. Емкость такой "записной книжки" составляет 1000 записей результатов измерений. Как запись, так и чтение возможны с любого номера строки в пределах от 0 до 999. Средняя наработка на отказ прибора ИРФ-1 не менее 20000 ч. Средний срок службы не менее 10 лет. Прибор может быть использован при определении амплитудно-частотных

стотных и фазо частотных характеристик различных низкочастотных электрических цепей, усилителей, фильтров, аттенюаторов, трансформаторов и т. д. Основные технические характеристики прибора ИРФ-1/1: Диапазон рабочих частот при измерении разности фаз, Гц: 20. . . 5600. Диапазон входных напряжений, В: 0, 1. . . 250. Пределы измерения разности фаз, град. : 0. . . 360. Устанавливаемая разрешающая способность: 1 или 0, 1. Предел допускаемой погрешности: ± 10 . Диапазон измерения среднеквадратических значений напряжения, В: от 0, 2 до 250. Диапазон рабочих частот при измерении напряжения: от 20 Гц до 10 к. Гц. Предел допускаемой относительной погрешности измерения синусоидального напряжения на частотах: от 20 до 200 Гц: $\pm 2\%$; свыше 200 Гц: $\pm 2, 5\%$. Разрешающая способность измерения частоты в диапазоне частот от: 20 до 999, 9 Гц: 0, 1 Гц; в остальном диапазоне: 1 Гц. Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты: на частотах от 20 до 999, 9 Гц: $\pm 0, 2$ Гц; на частотах от 1 до 10 к. Гц: ± 2 Гц. Время измерения разности фаз прибора не превышает, с: 2. Входное активное сопротивление прибора по обоим входам не менее: 300 к. Ом. Температура окружающего воздуха, °С: от 10 до +40. Относительная влажность воздуха при 40°С: до 95%. 23



Мегаомметр М4100

Мегаомметр М4100/1, М4100/2, М4100/3, М4100/4, М4100/5

Переносной прибор магнитоэлектрической системы (логометр) предназначен для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением.

Приборы используются при температуре окружающей среды от -30 до +40 С и относительной влажности до 90% (при 30 С).

По устойчивости к механическим воздействиям приборы относятся к тряскопрочным (группа II).

По степени защищенности от внешних магнитных полей мегаомметры относятся к категории II.

Класс точности прибора 1, 0.

Питание прибора осуществляется от встроенного генератора с ручным приводом (номинальная частота вращения рукоятки генератора 120 об/минуту).

Мегаомметр М 4100/1, М 4100/2, М 4100/3, М 4100/4, М 4100/5 Переносной прибор магнитоэлектрической системы (логометр) предназначен для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением. Приборы используются при температуре окружающей среды от 30 до +40 С и относительной влажности до 90% (при 30 С). По устойчивости к механическим воздействиям приборы относятся к тряскопрочным (группа II). По степени защищенности от внешних магнитных полей мегаомметры относятся к категории II. Класс точности прибора 1, 0. Питание прибора осуществляется от встроенного генератора с ручным приводом (номинальная частота вращения 24 рукоятки генератора 120 об/минуту).

Е6-24 мегаомметр

Альтернативное название: Мегометр Е6-24



Мегаомметр Е6-24, предназначен для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением, и измерения переменного напряжения до 400 В.

Современный эргономичный корпус, новейшая элементная база, привлекательная цена. При измерении сопротивления изоляции более 1 минуты, прибор автоматически рассчитывает коэффициент абсорбции и сохраняет его в памяти. В памяти так же хранятся результат последнего замера и сопротивление изоляции за 15 и за 60 сек. Все эти параметры можно последовательно вывести на дисплей.

25

Е 6 -24 мегаомметр Альтернативное название: Мегометр Е 6 -24 Мегаомметр Е 6 -24, предназначен для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением, и измерения переменного напряжения до 400 В. Современный эргономичный корпус, новейшая элементная база, привлекательная цена. При измерении сопротивления изоляции более 1 минуты, прибор автоматически рассчитывает коэффициент абсорбции и сохраняет его в памяти. В памяти так же хранятся результат последнего замера и сопротивление изоляции за 15 и за 60 сек. Все эти параметры можно последовательно вывести на дисплей. 25

М 416 измеритель сопротивления заземления



НАЗНАЧЕНИЕ

Измерители сопротивления заземления М416 предназначены для измерения сопротивления заземляющих устройств, активных сопротивлений, а также могут быть использованы для определения удельного сопротивления грунта.

Предел измерения от 0,1 до 1000 Ом.

Прибор М416 рассчитан для работы при температуре окружающего воздуха от минус 25°С до 40°С и относительной влажности 95 ± 3% при температуре 35°С.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Прибор имеет четыре диапазона измерения: 0,1 ~ 10 Ом 0,5 ~ 50 Ом 2 ~ 200 Ом 10 ~ 1000 Ом

Основная погрешность прибора на оцифрованных отметках не превышает от измеряемой величины при сопротивлениях вспомогательного заземлителя и зонда не более:

500 Ом в диапазоне 0,1 - 10 Ом 1000 Ом в диапазоне 0,5 - 50 Ом 2500 Ом в диапазоне 2 - 200 Ом 5000 Ом в диапазоне 10 ~ 1000 Ом;

где N — конечное значение диапазона, Ом;

Vx — измеряемое сопротивление, Ом.

Питание прибора — сухие элементы напряжением 4,5 В.

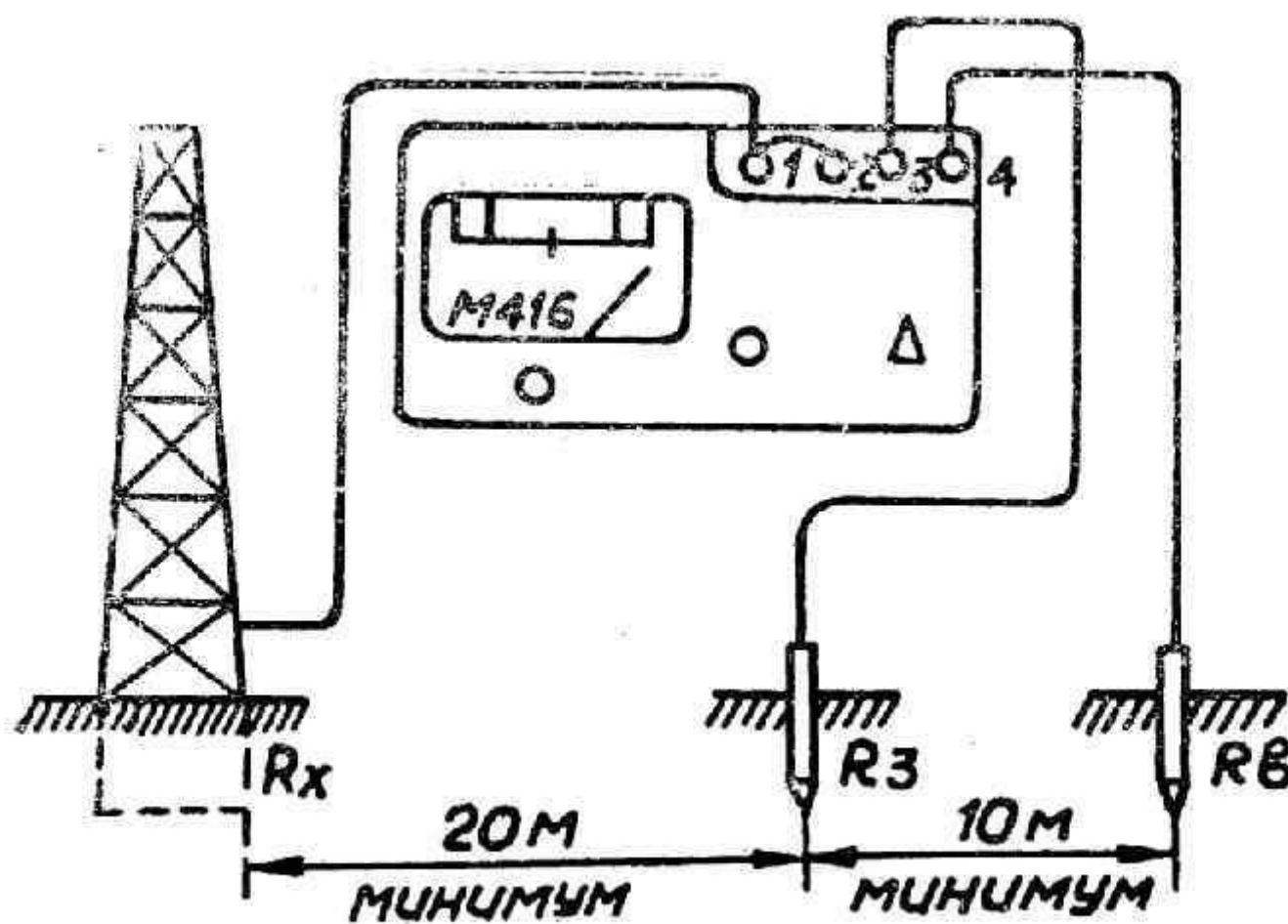
Потребляемый ток — не более 90 мА.

Один комплект сухих элементов обеспечивает не менее 1000 измерений.

Напряжение на зажимах прибора при разомкнутой внешней цепи и номинальном значении напряжения источника питания — не менее 13 В.

Влияние блуждающих переменных токов частотой 50 Гц не превышает половины основной погрешности.

М 416 измеритель сопротивления заземления НАЗНАЧЕНИЕ Измерители сопротивления заземления М 416 предназначены для измерения сопротивления заземляющих устройств, активных сопротивлений, а также могут быть использованы для определения удельного сопротивления грунта. Предел измерения от 0, 1 до 1000 Ом. Прибор М 416 рассчитан для работы при температуре окружающего воздуха от минус 25°С до 40°С и относительной влажности 95 ± 3 % при температуре 35°С. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ Прибор имеет четыре диапазона измерения: 0, 1 ~ 10 Ом 0, 5 ~ 50 Ом 2 ~ 200 Ом 10 -И 000 Ом Основная погрешность прибора на оцифрованных отметках не превышает от измеряемой величины при сопротивлениях вспомогательного заземлителя и зонда не более: 500 Ом в диапазоне 0, 1 - 10 Ом 1000 Ом в диапазоне 0, 5 - 50 Ом 2500 Ом в диапазоне 2 - 200 Ом 5000 Ом в диапазоне 10 ~ 1000 Ом; где N — конечное значение диапазона, Ом; Vx — измеряемое сопротивление, Ом. Питание прибора — сухие элементы напряжением 4, 5 В. Потребляемый ток — не более 90 м. А. Один комплект сухих элементов обеспечивает не менее 1000 измерений. Напряжение на зажимах прибора при разомкнутой внешней цепи и номинальном значении напряжения источника питания — не менее 13 В. 26 Влияние блуждающих переменных токов частотой 50 Гц не превышает половины основной погрешности.

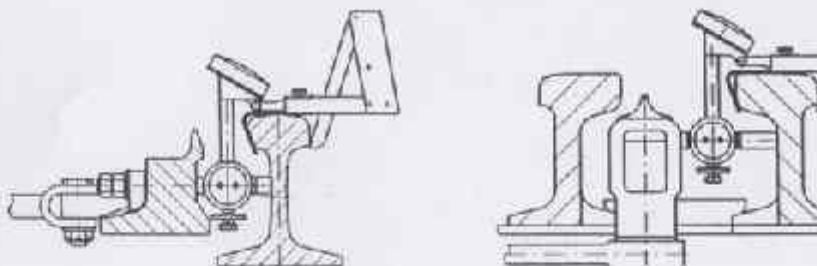


Подключение прибора по трехзажимной схеме

Подключение прибора по трехзажимной схеме 27



Измеритель усилия УКРУП-1М



УКРУП-1 предназначено для механического контроля усилия передаваемого от шибера электропровода на острия стрелок и сердечники крестовин с непрерывной поверхностью (НПК) для их перевода, прижатия и запираения, для регулировки фрикционного сцепления электропроводов в условиях эксплуатации.

Стенд применяется для задания рабочих нагрузок, действующих на устройство контроля усилия перевода и регулировки фрикции стрелочных приводов **УКРУП-1**, выпускаемое по ТУ 4273-018-00221190-96.

УКРУП-1М Обеспечивает:

объективный контроль и регулировку фрикции электроприводов всех типов с питанием от переменного и постоянного токов;

Измеритель усилия УКРУП-1 М УКРУП-1 предназначено для механического контроля усилия передаваемого от шибера электропровода на острия стрелок и сердечники крестовин с непрерывной поверхностью (НПК) для их перевода, прижатия и запираения, для регулировки фрикции и сцепления электропроводов в условиях эксплуатации. Стенд применяется для задания рабочих нагрузок, действующих на устройство контроля усилия перевода и регулировки фрикции стрелочных приводов УКРУП-1, выпускаемое по ТУ 4273 018 00221190 96. УКРУП-1 М Обеспечивает: объективный контроль и регулировку фрикции электроприводов всех типов с питанием от 28 переменного и постоянного токов;

Измеритель параметров реле Ф 291



Измеритель цифровой Ф291 предназначен для измерения временных параметров реле при питании обмоток реле от внешнего источника постоянного тока до 10 А при напряжении до 240 В; переменного до 6 А частотой 50 Гц при напряжении до 380 В, а также при отсутствии соединения прибора с внешним источником питания обмоток реле.

Приборы применяются при ремонте и эксплуатации релейных систем автоматики электрических станций и подстанций, а также для измерения параметров различного рода механических переключателей, тумблеров, кнопок.

Измеритель параметров реле Ф 291. Измеритель цифровой Ф 291 предназначен для измерения временных параметров реле при питании обмоток реле от внешнего источника постоянного тока до 10 А при напряжении до 240 В; переменного до 6 А частотой 50 Гц при напряжении до 380 В, а также при отсутствии соединения прибора с внешним источником питания обмоток реле. Приборы применяются при ремонте и эксплуатации релейных систем автоматики электрических станций и подстанций, а также для измерения параметров различного рода механических переключателей, тумблеров, кнопок.



Шунт для испытания рельсовых цепей ШУ-01М

Шунт для испытания рельсовых цепей

Шунт ШУ-01М предназначен для электрических испытаний рельсовых цепей на шунтовой основе.

Основные технические характеристики прибора ШУ-01М-00

Электрическое сопротивление при температуре +200 С -
 $0,06 \pm 0,003$ Ом

Габаритные размеры: 1742x60x140 мм

Длина в сложенном состоянии: 950 мм

Шунт для испытания рельсовых цепей ШУ-01 М Шунт для испытания рельсовых цепей Шунт ШУ-01 М предназначен для электрических испытаний рельсовых цепей на шунтовой основе. Основные технические характеристики прибора ШУ-01 М-00: Электрическое сопротивление при температуре +20 О С $0,06 \pm 0,003$ Ом Габаритные размеры: 1742 x60 x140 мм Длина в сложенном состоянии: 950 мм 30

Клеши электроизмерительные аналоговые К4575А



Клеши электроизмерительные аналоговые предназначены для кратковременного измерения силы переменного тока без разрыва токовой цепи, напряжения в сетях переменного тока частотой 50 или 60 Гц и электрического сопротивления.

Клеши являются переносными приборами и представляют собой сочетание трансформатора тока, имеющего съемный магнитопровод с измерительным механизмом магнитоэлектрической системы. Магнитный поток, наводимый в магнитопроводе, индуцирует ток во вторичной обмотке трансформатора, который подается на измерительный механизм. Прибор может применяться в различных отраслях промышленности, в энергетике, а также в быту.

31

Клеши электроизмерительные аналоговые К 4575 А Клеши электроизмерительные аналоговые предназначены для кратковременного измерения силы переменного тока без разрыва токовой цепи, напряжения в сетях переменного тока частотой 50 или 60 Гц и электрического сопротивления. Клеши являются переносными приборами и представляют собой сочетание трансформатора тока, имеющего съемный магнитопровод с измерительным механизмом магнитоэлектрической системы. Магнитный поток, наводимый в магнитопроводе, индуцирует ток во вторичной обмотке трансформатора, который подается на измерительный механизм. Прибор может применяться в различных отраслях промышленности, в энергетике, а также в быту. 31

Измеритель временных параметров ИВП-АЛСН



Прибор ИВП-АЛСН обеспечивает измерение и индикацию временных параметров кодовых сигналов АЛСН в виде:

- периодически замыкающихся и размыкающихся свободных контактов КПТ транзитных и др. реле;
- импульсов напряжения постоянного тока положительной полярности от 3 В до 100 В;
- импульсов напряжения переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц с амплитудой от 0,2 В до 240 В в рельсовых цепях, на приемных катушках локомотива, на обмотках реле и в любом другом месте схемы кодирования (контактным способом) импульсов переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц, протекающих по рельсам (индуктивным методом).

32

Измеритель временных параметров ИВП-АЛСН. Прибор ИВП-АЛСН обеспечивает измерение и индикацию временных параметров кодовых сигналов АЛСН в виде: - периодически замыкающихся и размыкающихся свободных контактов КПТ транзитных и др. реле; - импульсов напряжения постоянного тока положительной полярности от 3 В до 100 В; - импульсов напряжения переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц с амплитудой от 0,2 В до 240 В в рельсовых цепях, на приемных катушках локомотива, на обмотках реле и в любом другом месте схемы кодирования (контактным способом) импульсов переменного тока частотой 25 Гц, 50 Гц и 75 Гц, протекающих по рельсам (индуктивным методом). 32

Индикатор тока ИТРЦ-ЖАиС



Прибор ИТРЦ-ЖАиС - индикатор тока рельсовых цепей, простой в эксплуатации, мгновенно определяет наличие или отсутствие в рельсах сигнального тока той частоты, на которую настроена проверяемая рельсовая цепь.

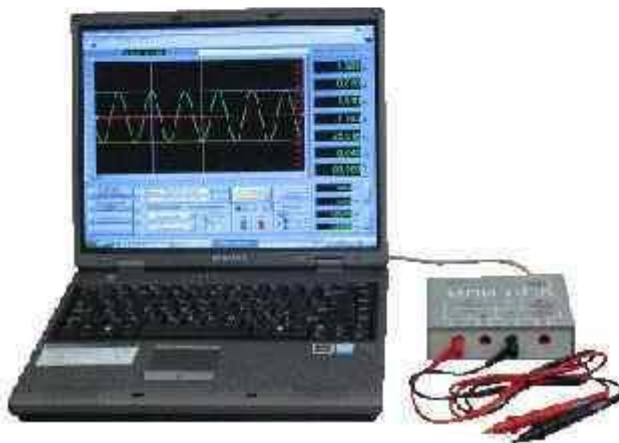
С помощью индикатора ИТРЦ-ЖАиС легко отыскиваются места короткого замыкания или обрыва рельсовых соединителей в электрических рельсовых цепях любого типа. Кроме того, по отклонению стрелки микроамперметра индикатора определяется величина тока протекающего в рельсовой цепи на измеряемой частоте.

33

Индикатор тока ИТРЦ-ЖАи. С Прибор ИТРЦ-ЖАи. С - индикатор тока рельсовых цепей, простой в эксплуатации, мгновенно определяет наличие или отсутствие в рельсах сигнального тока той частоты, на которую настроена проверяемая рельсовая цепь. С помощью индикатора ИТРЦ ЖАи. С легко отыскиваются места короткого замыкания или обрыва рельсовых соединителей в электрических рельсовых цепях любого типа. Кроме того, по отклонению стрелки микроамперметра индикатора определяется величина тока, протекающего в рельсовой цепи на измеряемой частоте. 33

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОСНОЙ ПРИБОР ИНЖЕНЕРА СЦБ - МПИ СЦБ

МПИ - СЦБ предназначен для измерения отображения и регистрации сигналов напряжения постоянного и переменного токов;
рельсовых цепей (РЦ) с непрерывным питанием;
кодовых рельсовых цепей;
тональных рельсовых цепей;
частотного диспетчерского контроля,
при эксплуатации и ремонте устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи в полевых и стационарных условиях.



МПИ - СЦБ состоит из модуля преобразования электрических сигналов (МПЭС), переносного персонального компьютера (ПК) класса не ниже IBM PC/AT 486 и программного обеспечения. Для работы в стационарных условиях может применяться настольный персональный компьютер.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОСНОЙ ПРИБОР ИНЖЕНЕРА СЦБ - МПИ СЦБ МПИ - СЦБ предназначен для измерения отображения и регистрации сигналов: напряжения постоянного и переменного токов; рельсовых цепей (РЦ) с непрерывным питанием; кодовых рельсовых цепей; тональных рельсовых цепей; частотного диспетчерского контроля, при эксплуатации и ремонте устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи в полевых и стационарных условиях. МПИ СЦБ состоит из модуля преобразования электрических сигналов (МПЭС), переносного персонального компьютера (ПК) класса не ниже IBM PC/AT 486 и программного обеспечения. Для работы в стационарных условиях может применяться настольный персональный компьютер. 34

КЭБ-2 Устройство проверки блоков



Устройство проверки блоков КЭБ-2 (УП КЭБ-2) предназначено для полной проверки работоспособности блока управления сигнальной точкой (БУСТ) и блока стационарных устройств (БСУ).

УП КЭБ-2 значительно облегчает поиск и диагностику возможных отказов аппаратуры КЭБ-2 и обладает всеми возможностями имитатора генератора кодов (ИГК).

35

КЭБ-2 Устройство проверки блоков КЭБ-2 (УП КЭБ-2) предназначено для полной проверки работоспособности блока управления сигнальной точкой (БУСТ) и блока стационарных устройств (БСУ). УП КЭБ-2 значительно облегчает поиск и диагностику возможных отказов аппаратуры КЭБ-2 и обладает всеми возможностями имитатора 35 генератора кодов (ИГК).

Имитатор генератора кодов (ИГК)

Имитатор генератора кодов (ИГК) предназначен для подачи кодовых последовательностей в приёмные устройства аппаратуры кодовой автоблокировки КЭБ-1 и КЭБ-2 в диагностических целях.

ИГК генерирует коды «К» (для аппаратуры КЭБ), «КЖ», «Ж» и «З» с возможностью задания типа кода («5» или «7») и частоты несущей (25 Гц или 50 Гц) для любой аппаратуры числовой автоблокировки. **ИГК** может подключаться к ПК, что даёт возможность синтезировать коды с произвольными длительностями импульсов и пауз, а также различными частотами несущей.



Имитатор генератора кодов (ИГК) предназначен для подачи кодовых последовательностей в приёмные устройства аппаратуры кодовой автоблокировки КЭБ-1 и КЭБ-2 в диагностических целях. ИГК генерирует коды «К» (для аппаратуры КЭБ), «КЖ», «Ж» и «З» с возможностью задания типа кода («5» или «7») и частоты несущей (25 Гц или 50 Гц) для любой аппаратуры числовой автоблокировки. ИГК может подключаться к ПК, что даёт возможность синтезировать коды с произвольными длительностями импульсов и пауз, а также различными частотами несущей. 36

МПИ-СЦБ Многофункциональный переносной прибор



МПИ-СЦБ предназначен для измерения, отображения и регистрации сигналов:

- напряжения постоянного и переменного токов;
- силы постоянного и переменного тока;
- частоты, длительности импульсов и временных интервалов;
- угла сдвига фаз.

При эксплуатации и ремонте устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) железнодорожного транспорта, а также устройств автоматики, телемеханики и связи в полевых и стационарных условиях

МПИ-СЦБ Многофункциональный переносной прибор МПИ-СЦБ предназначен для измерения , отображения и регистрации сигналов: • напряжения постоянного и переменного токов; • силы постоянного и переменного тока; • частоты, длительности импульсов и временных интервалов; • угла сдвига фаз. При эксплуатации и ремонте устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) железнодорожного транспорта, а также устройств автоматики, телемеханики и связи в полевых и стационарных условиях. 37

Электромеханические измерительные приборы

Электромеханические приборы отличаются относительной простотой и высокой надежностью. Класс точности этих приборов достигает 0,05. Конструкция электромеханических приборов содержит следующие общие элементы: измерительную цепь; измерительный механизм; демпфирующее устройство; стрелку; шкалу; корпус и ряд дополнительных устройств.

Измерительная цепь предназначена для преобразования измеряемой величины в величину, которая воздействует на измерительный механизм. Измерительный механизм преобразует поступающую из измерительной цепи электрическую величину в механическое перемещение (обычно угловое).

Демпфирующее устройство служит для устранения колебаний стрелки возле положения равновесия. Демпфирующее устройство создает момент, который действует только во время движения стрелки и исчезает при отсчете результата (остановке стрелки).

Стрелка и шкала предназначены для отсчета результата измерений.

Корпус прибора защищает механизм от влаги, пыли, механических повреждений. В некоторых приборах корпус играет роль экрана от ЭМП.

Дополнительные устройства создают противодействующий момент $M_{пр}$,

обеспечивают свободное вращение подвижной системы со стрелкой, балансира, установку нуля и т.д.

Приборы магнитоэлектрические. Указанные приборы имеют высокую точность, малую потребляемую мощность, равномерную шкалу. Применяют их обычно в качестве амперметров, вольтметров и омметров в цепях постоянного тока.

В основе магнитоэлектрических приборов лежит силовое воздействие МП на находящийся в нем проводник с током. Магнитоэлектрический измерительный прибор (рис. 11.6) состоит из постоянного магнита 4 с полюсными наконечниками 3. Между полюсными наконечниками расположен неподвижный цилиндр 7, изготовленный из магнитной стали. Такая конструкция позволяет получить в воздушном зазоре между цилиндром и полюсными наконечниками радиально равномерное МП. В этом поле находится подвижная катушка 6 с числом витков W , которая укреплена на оси 8. Концы обмотки с помощью спиральных пружин 5, 9, создающих противодействующий момент M соединены электрически с измерительной цепью.

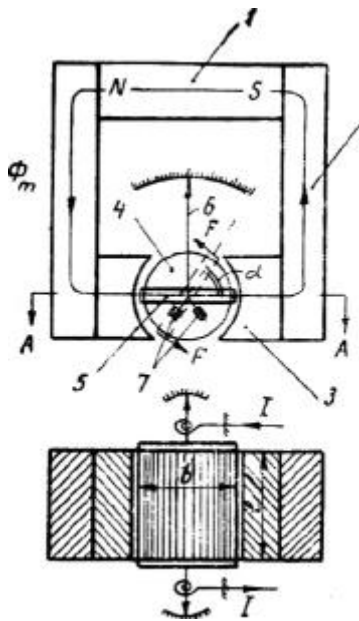


Рис. 11.6. Принципиальная конструкция магнитоэлектрического прибора

По катушке протекает ток I . Каждый виток катушки 6 может быть представлен в виде двух проводников длиной l . По этим проводникам ток протекает в противоположном направлении и создает пару сил, действующих на обе активные части витка. По закону Ампера, сила $F = BIl$. Пара сил создает вращающий момент, $M_{\text{вр}} = 2F(d/2) = BIl d$, где d — ширина катушки.

Вращающий момент уравнивается противодействующим моментом, который пропорционален углу поворота рамки α , т.е. $M = k\alpha$, где k — коэффициент пропорциональности. Поскольку $M_{\text{вр}} = M$, получаем $BIl d = k\alpha$.

откуда находим связь угла поворота α катушки с током I в ней: $\alpha(I) = (BIl d / k)I = SI$. Полученное выражение позволяет найти чувствительность прибора $S = \alpha / I = BIl d / k$.

Для магнитоэлектрических приборов S постоянна, цена деления с шкалы тоже постоянна, $c = 1 / S$. Именно по этой причине шкала у таких приборов равномерная.

Для измерения в цепях переменного тока необходимо добавить выпрямитель. Такое сочетание магнитоэлектрического прибора и выпрямителя называют выпрямительным прибором.

Электромагнитные приборы. Такие приборы используют для измерения в цепях постоянного и переменного тока в качестве амперметров, вольтметров и фазометров. Приборы просты по устройству, широко применяются в качестве щитовых, но имеют невысокие точность и чувствительность.

Принцип действия электромагнитного измерительного прибора (рис. 11.7) основан на взаимодействии МП и магнитопровода. В качестве источника МП служит катушка 2, по которой протекает ток I . Магнитопровод 3 под действием МП катушки втягивается в нее и поворачивает ось 4, на которой закреплена стрелка 1. Противодействующий момент $M_{\text{пр}} = k\alpha$ создается спиральной

пружиной 5 и пропорционален углу поворота стрелки 1. Для устранения колебаний стрелки используют воздушный демпфер 6.

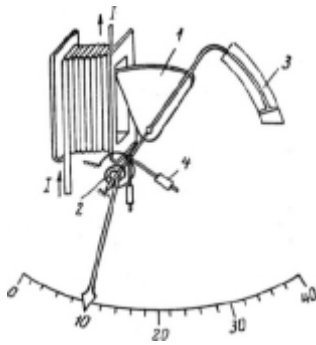


Рис. 11.7. Электромагнитный прибор с плоской катушкой

По закону Ампера, сила взаимодействия катушки и магнитопровода $F = B/lwI$, где B — индукция в магнитопроводе; l, w, I — соответственно длина активной части проводников, число витков и ток катушки.

Индукция B в магнитопроводе создается МП катушки и пропорциональна току I , т.е. $B = kI$. Таким образом, сила F и, следовательно, вращающий момент $M_{\text{вр}}$ будут пропорциональны квадрату тока: $M_{\text{вр}} = k_1 I^2$.

Вращающий момент уравнивается противодействующим моментом ($M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}$). В результате получаем $a = (k_1 / k^2) I^2 = k I^2$. Электромагнитные приборы можно применять и для измерения напряжений. Выражая I через U и сопротивление катушки R_k , получаем $a = k(U / R_k)^2 = (k / R_k^2) U^2$.

Угол поворота стрелки прибора пропорционален квадрату тока или напряжения катушки. Это означает, что шкала электромагнитного прибора является неравномерной.

Электродинамические приборы. Эти приборы применяют в цепях постоянного и переменного токов. Они отличаются высокой точностью (класс точности 0,1; 0,2; 0,5), но имеют большое внутреннее потребление электроэнергии и сравнительно низкую чувствительность.

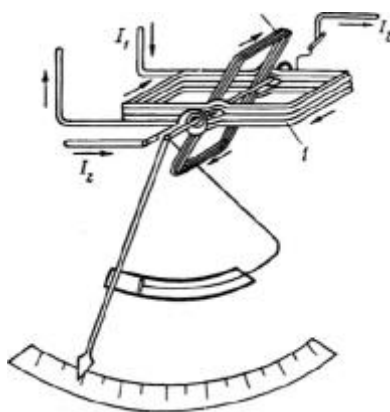


Рис. 11.8. Электродинамический прибор

Электродинамический прибор (рис. 11.8) состоит из неподвижной катушки 2, имеющей две секции, подвижной катушки 3, стрелочного механизма 4, демпфирующего устройства 5. Подвижная катушка находится внутри неподвижной и может поворачиваться на оси вместе со стрелкой.

По неподвижной катушке протекает ток I_1 , который создает внутри ее МП. К подвижной катушке с помощью спиральных пружин подводят ток I_2 . Этот ток взаимодействует с МП неподвижной катушки, в результате чего возникает вращающий момент $M_{\text{вп}}$, который и отклоняет подвижную катушку со

стрелкой. Противодействующий момент создается спиральными пружинами 1, а колебания стрелки гасятся демпфирующим устройством 5.

Вращающий момент электродинамического прибора пропорционален обоим токам: $M_{\text{вп}} = k I_1 I_2$. Такое соотношение вытекает из закона Ампера $F = B I l$,

так как индукция МП неподвижной катушки B создается током I_1 , причем B пропорциональна I_1 .

В случае синусоидальных токов выражение для вращающего момента приобретает вид $M = k I_1 I_2 \cos \varphi$, где φ — угол сдвига фаз между токами I_1 и I_2 .

Электродинамический прибор можно использовать для измерения тока (в этом случае обе катушки соединены последовательно и по ним протекает один ток), мощности или в качестве фазометра. В последних двух случаях прибор имеет две пары зажимов (два входа).

Шкала электродинамических амперметров и вольтметров неравномерная. Ферродинамические приборы. Ферродинамические приборы являются разновидностью электродинамических приборов. В них МП неподвижной обмотки значительно усилено за счет применения магнитопровода из листовой электротехнической стали (рис. 11.9). Такое построение измерительного механизма дает возможность значительно увеличить вращающий момент.

В ферродинамических приборах существует два вращающих момента. Один из них имеет такое же выражение и природу, как у электродинамических приборов

$$M_{\text{вп}} = I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \quad (11.12)$$

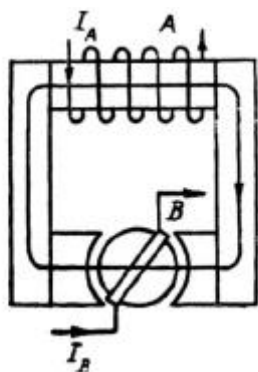


Рис. 11.9. Принципиальное устройство ферродинамического прибора

Вращающий момент по равенству (11.12) равен нулю тогда, когда хотя бы один из токов I_1 или I_2 равен нулю. Второй момент является электромагнитным. Он возникает в результате прохождения тока I_2 по обмотке подвижной катушки. Так, в системе магнитопровода по рис. 11.9 подвижная катушка при ее питании током I_2 под

действием электромагнитного момента будет стремиться занять такое положение, при котором поток, ею созданный, замкнется по пути наименьшего сопротивления, то есть электромагнитный момент стремится поставить плоскость катушки перпендикулярно к оси полюсов даже в том случае, когда они не возбуждены и тока I , в неподвижной катушке нет.

Величина электромагнитного момента, возникающего в ферромагнитных приборах, определяется

$$M_{\alpha} = 0,5 I_1^2 (dL_2 / d\alpha). \quad (11.13)$$

В большинстве ферродинамических приборов электромагнитный момент может быть учтен при градуировании приборов, но в ваттметрах и некоторых других приборах его приходится компенсировать, чтобы свести к минимуму возникающие под его действием погрешности (ваттметр должен давать показания лишь при наличии токов в обеих обмотках прибора).

При рассмотрении принципа действия ферродинамических приборов и при оценке величины возникающего в приборе момента обычно учитывают лишь момент вращения, определяемый равенством (11.12), момент по равенству (12.13) учитывается при градуировке приборов.

Если в приборе противодействующий момент создается пружинами, то для статического равновесия

$$m_{\alpha} \alpha = I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}, \quad (11.14)$$

откуда получается уравнение шкалы

$$\alpha = \frac{1}{m_{\alpha}} I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}. \quad (11.15)$$

Из уравнения (11.15) следует, что угол отклонения подвижной части ферродинамических приборов в случае равенства токов I_1 и I_2 пропорционален квадрату измеряемого тока или напряжения, как и у электродинамических приборов.

Для амперметров квадратичная шкала является нежелательной. В процессе измерений нагрузка может меняться в широких пределах, поэтому вся шкала должна быть рабочей. Чтобы этого достичь так же, как в электродинамических приборах, принимается ряд конструктивных мер.

Из основных достоинств ферродинамических приборов можно отметить следующие: большой вращающий момент; надежность в работе; возможность использования на постоянном и переменном токе; малое влияние внешних МП.

Индукционные приборы. Индукционный прибор (рис. 11.10) обычно применяется в качестве счетчика электрической энергии в цепях переменного тока. Прибор содержит два неподвижных электромагнита 1 и 5, вращающийся алюминиевый диск 3, укрепленный на оси 2.

По обмоткам обоих электромагнитов протекают синусоидальные токи i_1 и i_2 , которые создают потоки Φ_1 и Φ_2 . Оба потока пронизывают диск и наводят в нем вихревые токи. Один из потоков пропорционален напряжению цепи, другой — току. Магнитный поток Φ_1 взаимодействует с вихревыми токами, созданными электромагнитом 5, а поток Φ_2 — с вихревыми токами, созданными электромагнитом 1. Возникает вращающий момент $M_{вр}$, который начинает

вращать диск. Постоянный магнит 4 служит для создания тормозного момента.

Вращающий момент диска зависит от тока и напряжения цепи, а также от угла сдвига фаз между ними φ . Тормозной момент зависит от скорости вращения диска, поэтому при равенстве моментов $M = M_{вр}$ скорость вращения дисков будет увеличиваться при возрастании $M_{вр}$. Число оборотов n диска за время

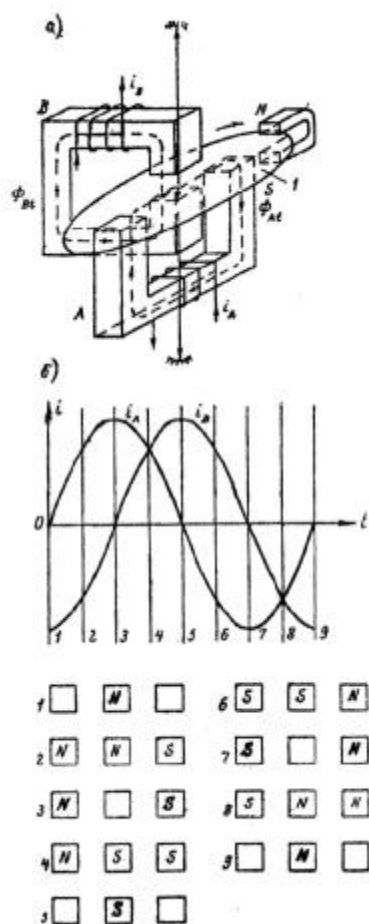
t будет пропорционально электрической энергии W , потребленной цепью за это время: $W = Pt = c n$, где P — мощность цепи; c — коэффициент, зависящий от конструкции счетчика.

На основе индукционных механизмов разработаны и выпускаются однофазные и трехфазные счетчики электрической энергии переменного тока. Они просты по конструкции, широко применяются в промышленности и быту. Класс точности этих приборов 1,0; 2,0; 2,5.

Электростатические приборы. Эти приборы обычно применяются в качестве вольтметров в цепях, имеющих значительные МП.

Электростатический прибор (рис. 12.11) представляет собой воздушный конденсатор, образованный неподвижными 1, 4 и подвижной 3 пластинами. Неподвижных и подвижных пластин может быть несколько. Подвижная пластина укреплена на одной

оси со стрелкой 2 прибора и может поворачиваться внутри неподвижных



пластин.

Рис. 11.10. Индукционный прибор

К обеим пластинам подается измеряемое напряжение U . в результате чего на них появляются электрические заряды противоположного знака, которые создает ЭП между пластинами. ЭП воздействует на подвижную пластину и поворачивает ее, причем силы ЭП стремятся повернуть подвижную пластину таким образом, чтобы энергия ЭП $W_i = CU^2 / 2$ стала наибольшей. Напряжение U при измерении не меняется, поэтому энергия ЭП может увеличиваться только за счет емкости конденсатора C . Так как емкость конденсатора наибольшая при полностью втянутой подвижной пластине, то подвижная пластина втягивается и поворачивает стрелку. Движение пластины прекращается, когда противодействующий момент, создаваемый гибкой пружиной, уравнивает вращающий момент. Шкала электростатического прибора неравномерная.

Электростатические вольтметры имеют широкий частотный диапазон, малое потребление ЭЭ, не зависят от МП. Выпускаются переносные и щитовые вольтметры классов точности 0,5; 1,0; 1,5 на напряжение от 10 до 300 В.

К недостаткам рассмотренных приборов относятся малая чувствительность, большая зависимость от ЭП (механизм прибора необходимо экранировать), невысокая точность.

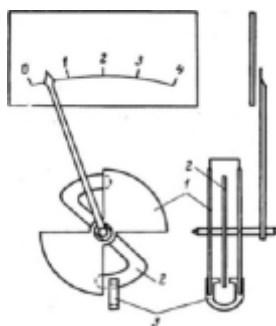


Рис. 11.11. Принципиальное устройство электростатического прибора

Термоэлектрические приборы. Термоэлектрические приборы состоят из термоэлектрического преобразователя и магнитоэлектрического прибора. Термоэлектрические приборы применяются обычно в цепях переменного тока в качестве амперметров и вольтметров. Основными достоинствами приборов является высокая точность измерений в широком диапазоне частот и независимость показаний от формы кривой тока (класс точности термоэлектрических амперметров составляет 1,0; 1,5).

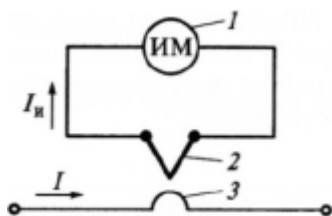


Рис. 11.12. Термоэлектрический преобразователь:

1 — магнитоэлектрический прибор; 2 — термопара; 3 — нагреватель

Термоэлектрический преобразователь (рис. 11.12) состоит из нагревателя 3, миниатюрной термопары 2 и магнитоэлектрического прибора 1. В качестве нагревателя обычно используется тонкая проволока из нихрома или константа-на, по которой протекает измеряемый ток I . На выходе термопары развивается термоЭДС, которая пропорциональна количеству теплоты, выделяемой током I в нагревателе, т.е. $E = kI^2$. Ток I_n измерительного механизма (ИМ) зависит от термоЭДС, сопротивлений термопары и измерительного механизма. Показания термоэлектрического прибора пропорциональны квадрату действующего значения тока, т.е. шкала прибора неравномерная и имеет квадратичный характер. ТермоЭДС преобразователя очень мала, поэтому часто применяют термобатареи (рис. 11.13), состоящие из нескольких термопар, что увеличивает чувствительность прибора.



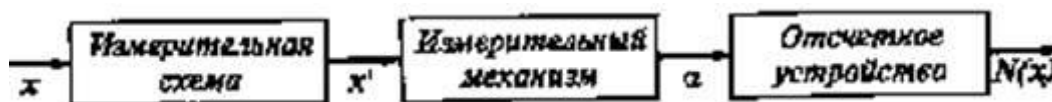
Рис. 11.13. Термобатарея

Недостатками приборов являются большая чувствительность к перегрузкам, ограниченный срок службы термопреобразователей, большое внутреннее потребление ЭЭ, неравномерность шкалы.

В последние годы электромеханические измерительные приборы почти повсеместно вытесняются цифровыми.

Электромеханические приборы. Электромеханические приборы непосредственной оценки измеряемой величины представляют класс приборов аналогового типа

Электромеханические приборы непосредственной оценки измеряемой величины представляют класс приборов аналогового типа, обладающих рядом положительных свойств: просты по устройству и в эксплуатации, обладают высокой надежностью и на переменном токе реагируют на среднее квадратическое значение напряжения. Последнее обстоятельство позволяет измерять наиболее информативные параметры сигнала без методических ошибок. Электромеханические измерительные приборы строят по обобщенной структурной схеме, показанной на рис. 5.2.



сопротивлений, индуктивностей, емкостей и других элементов электрической цепи прибора и осуществляет количественное или качественное преобразование входной величины x в электрическую величину x' , на которую реагирует измерительный механизм. Последний преобразует электрическую величину x' в механическое угловое или линейное перемещение a , значение которого отражается на шкале отсчетного устройства, проградуированной в единицах измеряемой величины $N(x)$. Для этого необходимо чтобы каждому значению измеряемой величины соответствовало одно и только одно определенное отклонение a . При этом параметры схемы и измерительного механизма не должны меняться при изменении внешних условий: температуры окружающей среды, частоты питающей сети и других факторов.

Классификацию электромеханических приборов производят на основании типа измерительного механизма. Наиболее распространенными в практике радиотехнических измерений являются следующие

системы: *магнитоэлектрическая, электромагнитная, электродинамическая, электростатическая.*

$$\alpha = I \frac{\Psi_0}{W},$$

Магнитоэлектрическая система. В этой системе измерительный механизм состоит из проволочной рамки с протекающим в ней током, помещенной в поле постоянного магнита (магнитопровода). Поле в зазоре, где находится рамка, равномерно за счет особой конфигурации магнитопровода. Под воздействием тока I / рамка вращается в магнитном поле, угол поворота α ограничивают специальной пружиной, поэтому передаточная функция (часто называемая уравнением шкалы) линейна:

где Ψ_0 — удельное потокоцепление, определяемое параметрами рамки и магнитной индукцией; W — удельный противодействующий момент, создаваемый специальной пружиной.

На основе магнитоэлектрического механизма создаются вольтметры, амперметры, миллиамперметры и другие измерительные приборы, и их структурное построение главным образом определяется измерительной схемой. Измерительные приборы магнитоэлектрической системы имеют достаточно высокую точность, сравнительно малое потребление энергии из измерительной цепи, высокую чувствительность, но работают лишь на постоянном токе.

Для расширения пределов измерения токов амперметрами и напряжений вольтметрами применяют шунты и добавочные сопротивления, которые включают соответственно параллельно и последовательно индикаторам в схемы этих приборов.

Гальванометры. Особую группу измерителей тока составляют высоко-чувствительные магнитоэлектрические приборы — нуль-индикаторы, схемы сравнения, или указатели равновесия, называемые гальванометрами. Их задача показать наличие или отсутствие тока в цепи, поэтому они работают в начальной точке шкалы и должны обладать большой чувствительностью. Гальванометры снабжают условной шкалой и не нормируют по классам точности.

Чувствительность гальванометров выражается в мм или делениях (например, S ; я 10^9 мм/А). Такая высокая чувствительность достигается за счет особой конструкции прибора. Поскольку чувствительность гальванометров очень высока, их градуиро-вочная характеристика нестабильна и зависит от совокупности внешних влияющих факторов. Поэтому при выпуске на производстве чувствительные гальванометры не градуируют в единицах измеряемой физической величины и им не присваивают классы точности. В качестве же метрологических характеристик гальванометров обычно указывают их чувствительность к току или напряжению и сопротивление рамки.

Современные гальванометры позволяют измерять токи $10^{-5} \dots 10^{12}$ А и напряжения до ЮВ.

Электромагнитная система Принцип действия электромагнитной системы основана на взаимодействии катушки с ферромагнитным сердечником. Ферромагнитный сердечник втягивается в катушку при любой полярности протекающего по ней тока. Это обусловлено тем, что ферромагнетик располагается в магнитном поле катушки так, что поле усиливается. Следовательно, прибор электромагнитной системы может работать на переменном токе. Однако электромагнитные приборы являются все-таки низкочастотными, так как с ростом частоты сильно возрастает индуктивное сопротивление катушки.

Достоинствами приборов электромагнитной системы являются простота конструкции, способность выдерживать значительные перегрузки, возможность градуировки приборов, предназначенных для измерений в цепях переменного тока, на постоянном токе. К недостаткам приборов этой системы можно отнести большое собственное потребление энергии, невысокую точность, малую чувствительность и сильное влияние магнитных полей.

На практике применяют амперметры электромагнитной системы с пределами измерения от долей ампера до 200 А, и вольтметры — от долей вольта до сотен вольт.

Приборы электромагнитной системы применяют в основном как щитовые амперметры и вольтметры переменного тока промышленной частоты. Класс точности щитовых приборов 1,5 и 2,5. В некоторых случаях они используются для измерений на повышенных частотах: амперметры до 8000 Гц, вольтметры до 400 Гц.

$$M_{\text{вр}} = I_1 I_2 \cos \theta \frac{dM}{d\alpha},$$

Электродинамическая система —

измерительный механизм содержит две измерительные катушки: неподвижную и подвижную. Принцип действия основан на взаимодействии катушек, электромагнитные поля которых взаимодействуют в соответствии с формулой:

где $M_{\text{вр}}$ — вращающий момент; I_1 — ток через неподвижную катушку; I_2 — ток через подвижную катушку; θ — фазовый сдвиг между синусоидальными токами; M — коэффициент взаимной индуктивности катушек.

На основе электродинамического механизма в зависимости от схемы соединения обмоток могут выполняться вольтметры, амперметры, ваттметры. Достоинством электродинамических вольтметров и амперметров является высокая точность на переменном токе. Предел основной приведенной погрешности может быть 0,1..0,2 %, что является наилучшим достижимым показателем для измерительных приборов переменного тока. По другим показателям электродинамические приборы близки к электромагнитным. Электродинамические приборы используются как образцовые лабораторные измерительные приборы.

Электростатические приборы — принцип действия электростатического механизма основан на взаимодействии электрически заряженных проводников. Подвижная алюминиевая пластина, закрепленная вместе со стрелкой, перемещается, взаимодействуя с неподвижной пластиной. Ограничение движения (как и в других электромеханических системах) осуществляется за счет пружинки. Электростатические приборы по принципу действия механизма являются вольтметрами. Достоинства этих приборов: широкий частотный диапазон (до 30 МГц) и малая мощность, потребляемая из измерительной цепи. Приборы измеряют среднее квадратическое значение напряжения

Электроизмерительные приборы

· Типы измерительных приборов

По роду измеряемой величины электроизмерительные приборы подразделяются на **амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, частотомеры, фазометры, омметры** и т.д.

В зависимости от вида получаемой измерительной информации приборы подразделяются

на **показывающие, самопишущие, печатающие, интегрирующие, суммирующие**. Классификация наиболее употребительных электроизмерительных приборов непосредственной оценки по роду измеряемой величины и графическое условное обозначение этих приборов приведены в табл.1. Приложения 5.

В таблице 2. Приложения 5 приведены основные условные обозначения, проставляемые на панели электроизмерительных приборов. Эти обозначения и другие важнейшие характеристики приборов указываются на лицевой панели электрических измерительных приборов, как показано на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Лицевая панель со шкалой стрелочного аналогового электроизмерительного прибора

В таблице 3. Приложения 5 представлены условные обозначения основных систем электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными системами аналоговых показывающих приборов непосредственной оценки являются **магнитоэлектрическая, электромагнитная, электродинамическая, ферродинамическая и индукционная** системы [1,2].

· **Магнитоэлектрические приборы**

Принцип действия **приборов магнитоэлектрической системы** (см. рис. 2.2) основан на воздействии магнитного поля постоянного магнита на подвижную катушку с током, помещенную в это поле. Измеряемый ток проходит по легкой катушке 1, выполненной из тонкого изолированного провода, помещенной между полюсами постоянного магнита с полюсными наконечниками 3. Для усиления потока между полюсами магнита и увеличения чувствительности магнитоэлектрического прибора внутри катушки размещен цилиндрический железный сердечник 2. Ток в катушку подводится через две спиральные пружины, одновременно служащие для создания противодействующего момента.

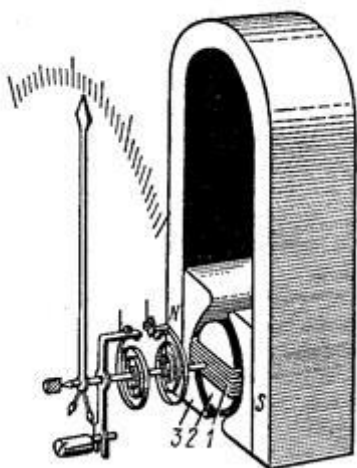


Рис. 2.2. Устройство прибора магнитоэлектрической системы

Электромагнитный вращающий момент, действующий на измерительную катушку, пропорционален току I , проходящему через катушку:

$$M_{\text{вп}} = K_I I, \quad (2.5)$$

где K_I , конструктивный коэффициент пропорциональности.

Под действием электромагнитного момента, созданного в результате взаимодействия проводников с током в подвижной катушке и поля постоянного магнита, катушка и связанная с нею стрелка прибора поворачиваются на угол, прямо пропорциональный измеряемому току:

$$\alpha = S_I I, \quad (2.6)$$

где α , град – угол поворота катушки и стрелки; I , А – измеряемый ток; $S_I = \text{const}$, град/А – чувствительность прибора магнитоэлектрической системы.

Так как направление поворота катушки и стрелки магнитоэлектрического прибора зависит от направления измеряемого тока, то для получения отклонения указателя стрелки в нужную сторону необходимо при включении прибора в цепь постоянного тока соблюдать указанную на приборе полярность.

При включении измерительного прибора магнитоэлектрической системы непосредственно в цепь переменного тока на подвижную катушку действуют быстроменяющиеся по величине и направлению вращающие электромагнитные моменты, среднее значение которых за период колебания тока равно нулю.

По этой причине магнитоэлектрический прибор пригоден для непосредственных измерений только в цепях постоянного тока, что является недостатком приборов магнитоэлектрической системы.

Достоинства приборов магнитоэлектрической системы:

- высокая чувствительность к измеряемой величине;
- высокая точность (класс точности до 0,05);
- малое собственное потребление активной мощности;

- малая чувствительность к внешним магнитным полям;
- равномерная шкала во всем диапазоне измерений.

Достоинства магнитоэлектрических приборов побудили приспособить их **для измерения переменного тока** с использованием **специальных преобразователей**. Наибольшее распространение получили **выпрямительные** (детекторные) и **термоэлектрические** приборы.

Магнитоэлектрический прибор с выпрямительным преобразователем

Измерительные приборы **выпрямительной системы** (**детекторные приборы**) представляют собой сочетание магнитоэлектрических приборов с преобразователями – **полупроводниковыми выпрямителями**. Выпрямитель преобразует измеряемый синусоидальный ток в пульсирующий ток одного направления, который измеряется магнитоэлектрическим прибором.

Детекторные приборы имеют высокую чувствительность, небольшую собственную потребляемую мощность. Их можно использовать при повышенных частотах (без частотной компенсации – до 2000 Гц, а с частотной компенсацией – до 40 кГц).

Магнитоэлектрический прибор с термопреобразователем

Приборы **термоэлектрической системы** представляют собой сочетание магнитоэлектрического прибора с измерительным преобразователем в виде **термопреобразователя**, состоящим из термопары и нагревательного элемента, через который проходит измеряемый переменный ток. Постоянный ток, текущий через катушку магнитоэлектрического прибора и вызывающий отклонение стрелки, пропорционален электродвижущей силе (ЭДС) термопары. Эта ЭДС в свою очередь пропорциональна количеству теплоты, выделяемому в проволочном нагревательном элементе и квадрату измеряемого действующего значения переменного тока.

Основным достоинством приборов термоэлектрической системы является возможность измерения с их помощью переменных токов высокой частоты, в частности, тока в пределах 0,001 – 50 А частотой до 5 МГц, а также напряжения в пределах 0,1 – 1000 В частотой от 20 Гц до 3 МГц.

К недостаткам термоэлектрических приборов относятся малая перегрузочная способность, значительное собственное потребление мощности, сравнительно низкая чувствительность и точность, зависимость показаний прибора от температуры окружающей среды, ограниченный срок службы термопар.

· **Электромагнитные приборы**

Принцип действия **приборов электромагнитной системы** основан на физическом явлении воздействия магнитного поля на ферромагнитное тело. Железный (стальной) подвижный сердечник под действием магнитного поля катушки с током намагничивается и стремится расположиться внутри катушки так, чтобы магнитный поток был наибольшим.

В электромагнитном приборе (рис. 2.3) измеряемый ток, проходя через витки плоской катушки, создает магнитное поле, которое втягивает внутрь катушки 1 тонкий листок электротехнической стали 3, закрепленный эксцентрично на оси прибора. К этой же оси прикреплены указательная стрелка и спиральная пружина 2, создающая противодействующий момент. Успокоение подвижной системы осуществляется воздушным демпфером 4.

Вращающий момент, действующий на ферромагнитный листок и отклоняющий стрелку прибора, пропорционален квадрату действующего значения тока, проходящего через катушку, и изменению индуктивности катушки при повороте подвижной части прибора:

$$M_{BP} = K_1 I^2. \quad (2.7)$$

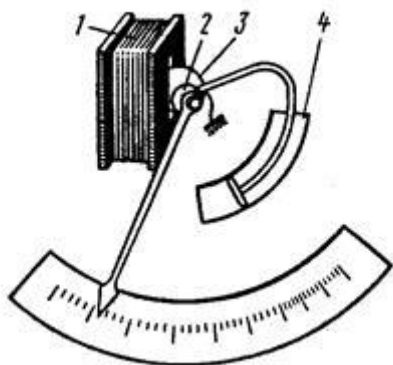


Рис. 2.3. Устройство прибора электромагнитной системы

При изменении направления тока в катушке на обратное, **одновременно меняются на противоположные магнитные полюса ферромагнитного сердечника**. Поэтому сердечник по-прежнему втягивается в катушку и **направление вращающего момента подвижной части прибора не меняется**. Следовательно, приборы электромагнитной системы пригодны для измерения в цепях как **постоянного**, так и **переменного** тока.

Основные достоинства электромагнитных приборов:

- непосредственное измерение в цепях постоянного и переменного тока без дополнительных преобразователей;
- простота конструкции и сравнительная дешевизна этих приборов;
- большая перегрузочная способность и, как следствие, высокая надежность эксплуатации;

К недостаткам этих приборов можно отнести:

- мала точность (не высокий класс точности);
- низкая чувствительность;
- неравномерность шкалы (особенно сильно она сжата в начале).

Последнее объясняется тем, что вращающий момент и, следовательно, угол отклонения стрелки прибора пропорционален квадрату измеряемого тока (2.7).

Несмотря на это, из-за своих достоинств, приборы электромагнитной системы широко используются в электротехнических устройствах постоянного тока и промышленной частоты 50 Гц в виде щитовых амперметров и вольтметров, где не требуется высокая точность измерений.

· Электродинамические приборы

Электродинамические приборы (рис. 2.4) основаны на принципе взаимодействия проводников, по которым протекает ток: два проводника с одинаково направленными токами взаимно притягиваются, а с противоположно направленными токами взаимно отталкиваются.

Прибор этой системы состоит из неподвижной катушки 2, через которую протекает ток I_1 и подвижной катушки 3 с током I_2 . В подвижную катушку

ток подводится через спиральные пружинки 1, которые одновременно служат для создания противодействующего момента. Подвижная катушка стремится повернуться таким образом, чтобы направление ее магнитного поля совпало с направлением поля неподвижной катушки. Успокоение подвижной системы осуществляется воздушным демпфером 4.

Вращающий момент и угол поворота стрелки электродинамического прибора пропорционален произведению токов в катушках и косинусу угла сдвига между токами $\cos j$:

$$M_{ВР} = K_1 I_1 I_2 \cos j. \quad (2.8)$$

Электродинамические приборы в основном применяют для измерения тока, напряжения и мощности в цепях постоянного и переменного тока.

Шкалы электродинамических вольтметров и амперметров – неравномерные, а ваттметров – практически равномерные.

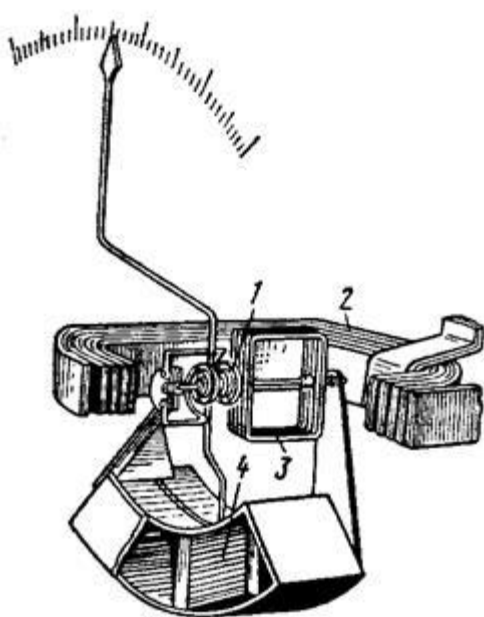


Рис. 2.4. Устройство прибора электродинамической системы

Электродинамические приборы обеспечивают наиболее высокую точность (класс точности до 0,1) при измерении в цепях переменного тока частотой до 20 кГц (**достоинства**), однако они не выносят перегрузку, потребляют довольно значительную мощность и на их показания влияют внешние магнитные поля (**недостатки**).

· **Ферродинамические приборы**

Разновидностью приборов электродинамической системы являются **ферродинамические приборы** (см. рис. 2.5), у которых для повышения вращающего электромагнитного момента магнитный поток неподвижной катушки создается в специальном магнитопроводе. Конструкция ферродинамического прибора, показанного на рис. 2.5, аналогична вышеописанной конструкции прибора магнитоэлектрической системы (рис. 2.2), но вместо постоянного магнита стоит электромагнит. Неподвижная катушка 1 из двух секций расположена на двух стержнях магнитопровода 4. Между полюсными наконечниками магнитопровода укреплен цилиндрический сердечник 3. Для уменьшения потерь на вихревые токи магнитопровод и цилиндрический сердечник изготавливают из тонких листов (0,5 мм) электротехнической стали или прессуют из ферромагнитного порошка с электроизоляционным наполнителем.

В зазоре между полюсными наконечниками и сердечником помещается подвижная катушка 2, укрепленная на одной оси со стрелкой 5. Ток в подвижную катушку подается через спиральные пружины, создающие противодействующий момент.

В воздушном зазоре образуется достаточно сильное равномерное магнитное поле, индукция которого пропорциональна току в неподвижной катушке.

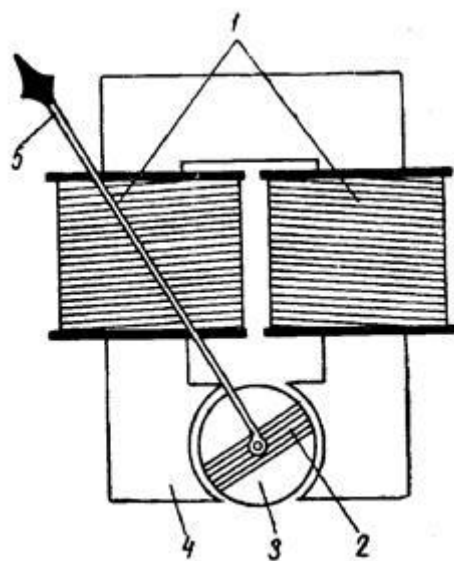


Рис. 2.5. Устройство прибора ферродинамической системы

Взаимодействие тока подвижной катушки с магнитным полем в воздушном зазоре создает вращающий электромагнитный момент, который, как и в электродинамических приборах, зависит от токов в неподвижной I_1 и подвижной I_2 катушках и косинусу угла сдвига между ними

$$M_{BP} = K_1 I_1 I_2 \cos j. \text{ (рис. 2.9)}$$

Ферромагнитный сердечник вносит дополнительные погрешности в измерения, однако применение качественных материалов и современной технологии позволяет получить ферродинамические ваттметры класса точности 0,2.

Существенным недостатком приборов ферродинамической системы является зависимость их параметров от частоты измеряемого тока.

· Индукционные приборы

В индукционных приборах вращающий момент создается взаимодействием вихревых переменных токов, индуктируемых в подвижной части (в диске) прибора магнитными потоками двух электромагнитов. Противодействующий момент создается спиральной пружиной или тормозным действием наводимых в диске токов. Вращающий момент индукционного прибора пропорционален произведению магнитных потоков, создаваемых электромагнитами и синусу угла сдвига фаз между этими потоками, близкого к 90° . Индукционные приборы выпускают в виде вольтметров, амперметров, ваттметров. Наиболее широкое распространение получили **индукционные счетчики электрической энергии**. Подробные сведения о счетчиках электроэнергии приведены в разделе 2.7.

· Электростатические приборы

В измерительных механизмах приборов электростатической системы вращающий момент создается электростатическими силами взаимодействия заряженных электродов. Среди приборов этой системы наиболее распространен **электростатический вольтметр**.

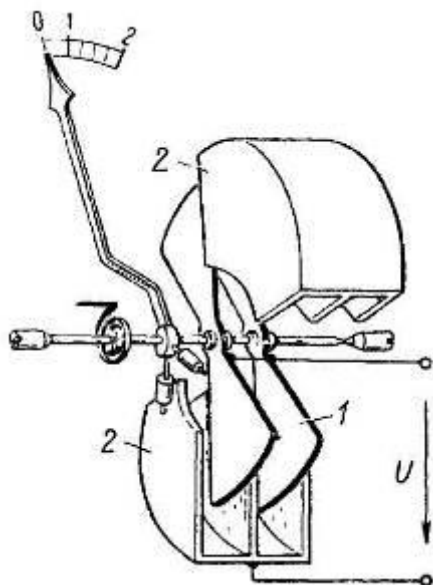


Рис. 2.6. Устройство прибора электростатической системы

Под действием измеряемого напряжения заряжаются системы подвижных 1 и неподвижных 2 пластин прибора. Возникающие при этом электростатические силы притяжения создают **вращающий момент**. Противодействующий момент создается пружиной.

Изменение полярности напряжения не влияет на направления действия вращающего момента.

Следовательно, **электростатический вольтметр пригоден для измерения и постоянного, и переменного напряжений**. В ряде случаев весьма существенным преимуществом прибора следует считать то, что он практически не потребляет энергии. Однако при небольших напряжениях вращающий момент весьма мал, приходится увеличивать число пластин и вместо установки на кернах подвешивать подвижную часть на нити.

Электростатические вольтметры применяются преимущественно в лабораториях для измерений в цепях малой мощности и **при непосредственных измерениях высоких напряжений**.

Разновидности методов поверки

Метод непосредственного сличения двух СИ — поверяемого и эталонного — без применения компарирующих или каких-либо других промежуточных приборов широко используется в настоящее время при выполнении поверок различных СИ. В области электрических и магнитных измерений этот метод применяют при определении метрологических характеристик измерительных приборов непосредственной оценки, предназначенных для измерения тока, напряжения, частоты и ряда других электрических и магнитных величин.

В основе метода (рис. 2.5) лежит измерение одного и того же значения физической величины X , воспроизводимого источником

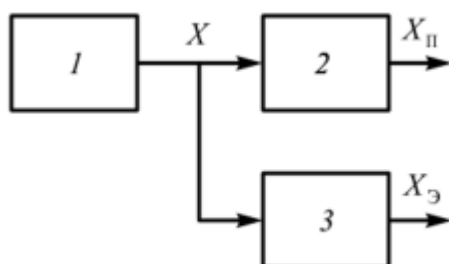


Рис. 2.5. **Схема поверки показывающих приборов методом непосредственного сличения**

сигнала 1, идентичным (по роду измеряемой величины) поверяемому 2 и эталонному 3 приборам.

Процесс поверки в этом случае сводится к установке требуемого значения X_N последующему сравнению показаний поверяемого прибора X_p с показаниями эталонного прибора X_e и выявлению их разности $\Delta = X_p - X_e$, равной абсолютной погрешности поверяемого прибора, с последующим приведением ее к нормированному значению X_N для получения приведенной погрешности:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100.$$

В приборах с нулевой отметкой на краю шкалы за нормирующее значение принимают конечное значение диапазона измерений, у приборов с нулевой отметкой в середине шкалы — сумму абсолютных значений пределов измерений по обе стороны от нулевой отметки.

Сравнение показаний может выполняться двумя способами. При первом способе (рис. 2.6, а), получившем название способа регистрации совмещения, указатель поверяемого прибора путем изменения входного сигнала совмещается с проверяемой отметкой шкалы, а погрешность определяется расчетным путем как разность между показанием поверяемого прибора (ПП) и действительным значением, определяемым по показаниям эталонного прибора (ЭП). Достоинство этого способа состоит в том, что он дает возможность точно определить погрешность по эталонному прибору, шкала которого обычно имеет большее число делений, а отсчетное устройство исключает ошибку отсчета из-за параллакса.

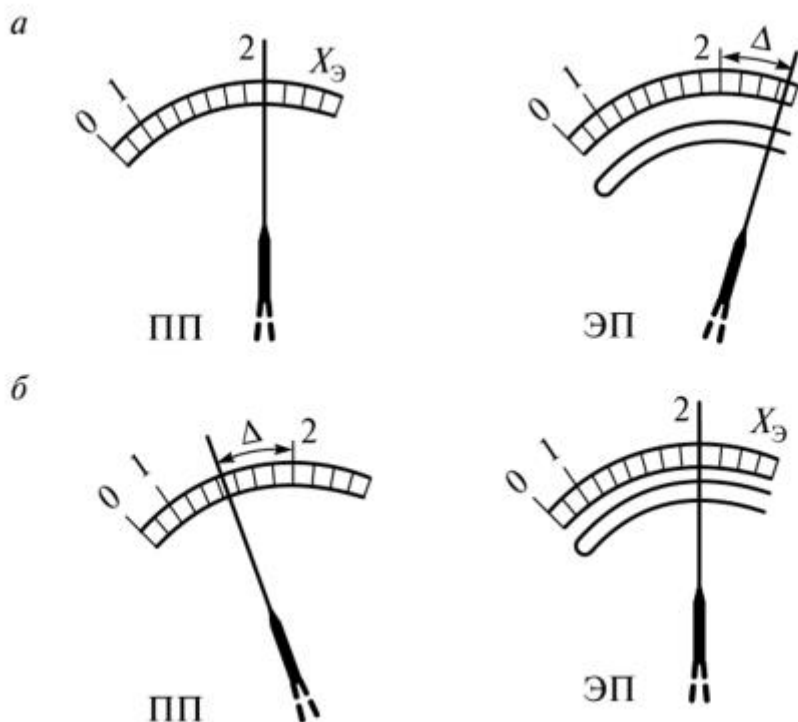


Рис. 2.6. Способы поверки

При втором способе (рис. 2.6, б), получившем название способа отсчитывания погрешности по шкале поверяемого прибора, номинальное для поверяемой отметки шкалы значение размера физической величины устанавливается по эталонному прибору, а погрешность Δ определяется по расстоянию между проверяемой отметкой поверяемого прибора и его указателем. Этот способ особенно удобен при автоматической поверке, так как позволяет одновременно проверять несколько приборов с помощью одного эталонного. Вместе с тем нелинейность шкал аналоговых поверяемых приборов и неточность нанесения промежуточных делений делают этот способ менее точным, чем первый. Это не относится к цифровым приборам, в которых отсутствует ошибка отсчета. При их поверке второй способ дает такую же точность, как и первый.

Метод непосредственного сличения показаний достаточно прост, не требует сложного оборудования и высокой квалификации поверителя и при соблюдении определенных условий обеспечивает хорошую достоверность результатов поверки. Одним из этих условий является строгое соблюдение установленного нормативными документами соотношения допускаемых погрешностей эталонного прибора и пределов допускаемых погрешностей поверяемого прибора. При разработке и сборке схемы поверки необходимо обеспечить условия, при которых оба прибора будут измерять действительно одну и ту же величину. *Учитывая и то, что в большинстве случаев пределы допускаемых погрешностей выражаются в виде приведенных погрешностей, очень важно, чтобы верхний предел измерения эталонного прибора был равен или лишь незначительно превышал предел поверяемого прибора.* В ряде случаев с целью согласования пределов может оказаться целесообразным применение масштабных преобразователей.

Метод сличения с помощью компаратора. Иногда невозможно непосредственно сравнить показания измерительных приборов. Например, нельзя сравнить показания двух вольтметров, если один из них пригоден для измерений только в цепях постоянного тока, а другой — только в цепях переменного тока. Нельзя также

непосредственно сравнить размеры мер магнитных и электрических величин (магнитного потока, емкости, сопротивления и т.п.).

Эти величины измеряют путем введения в схему поверки некоторого промежуточного звена, получившего название компарирующего устройства (далее *компаратора*), позволяющего косвенно сравнивать две однородные или разнородные физические величины. Компаратором может быть любой прибор, одинаково реагирующий на сигнал эталонного и поверяемого средства измерений. Наиболее часто в качестве компараторов используют мосты постоянного или переменного тока (при сличении мер сопротивления, индуктивности и емкости) и потенциометры (при сличении мер сопротивления и ЭДС). При сличении показаний измерительных приборов, различающихся по роду тока, в качестве компараторов применяют измерительные преобразователи, одинаково реагирующие на оба рода тока, в сочетании с измерительным устройством, фиксирующим выходной сигнал преобразователей.

Сличение мер с помощью компарирующих устройств можно осуществлять методом сравнения или методом замещения. Общей характеристикой этих методов является выработка сигнала о наличии разности размеров сравниваемых величин. Если этот сигнал путем подбора, например, размера эталонной меры или путем принудительного изменения ее размера будет сведен к нулю, то такой метод противопоставления или замещения получил название нулевого. Если же при одновременном воздействии на вход компаратора размеров сличаемых мер измерительный сигнал будет указывать на наличие разности сравниваемых размеров, то такой метод противопоставления или замещения получил название дифференциального (компенсации, замещения, сравнения). Например, нулевой метод противопоставления используют при определении действительного значения сопротивления однозначной меры R_n сличением с эталонной мерой R^* переменного размера, в которой в качестве компаратора применен равноплечий (/?) $= R_2$) одинарный мост постоянного тока (рис. 2.7, а).

К входу 1 присоединяют поверяемую меру R_n , к входу 2 — эталонную меру R_3 . Изменяют размер эталонной меры до значения, при котором выходной сигнал, определяемый по указателю равновесия, не станет равным нулю. Результат измерения $R =$ — значение сопротивления эталонной меры в момент равновесия моста.

При нулевом методе замещения (рис. 2.7, б) вначале к входным зажимам моста присоединяют поверяемую меру R_n и мост уравнивают изменением сопротивления плеча сравнения R_3 . Затем поверяемую меру R_n отключают и вместо нее этими же проводами

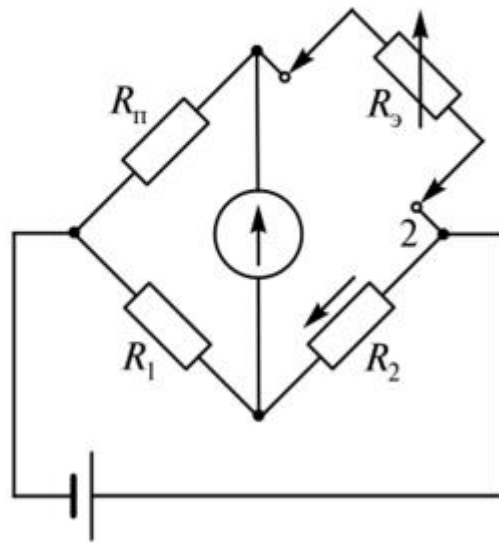
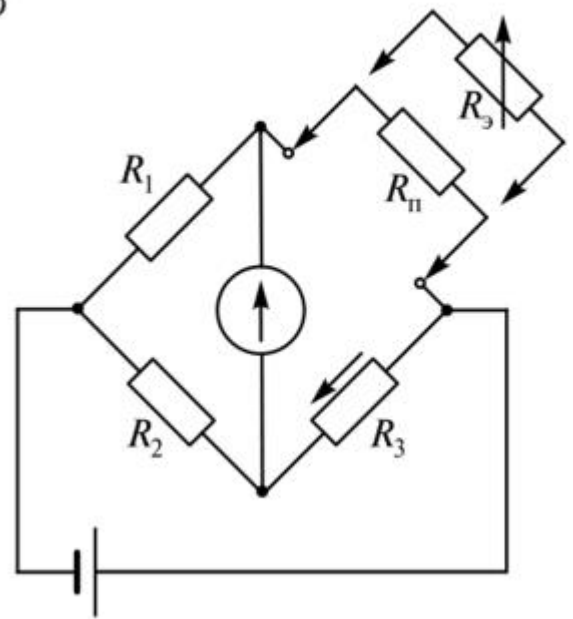
a*б*

Рис. 2.7. Схема поверки методом сличения с помощью компаратора

присоединяют эталонную меру Y_s с переменным размером. Вторично мост уравнивают изменением размера эталонной меры Y_s . Так как в обоих случаях мост находится в состоянии равновесия, можно утверждать, что $Y = R_y$, где R_y — значение сопротивления образцовой меры при повторном уравнивании моста.

Метод противопоставления позволяет уменьшить воздействие на результаты поверки влияющих величин, так как последние практически одинаково искажают сигналы, подаваемые на входы компаратора. Поскольку отсчетное устройство компаратора реагирует на разность сигналов, эти искажения в некоторой степени компенсируют друг друга. В ряде случаев точность метода противопоставления можно повысить путем сочетания его с методом перестановки. Если в рассмотренном выше примере (см. рис. 2.7, а) выполнить еще второе измерение, поменяв местами R_n и Y_s , то среднее арифметическое $\bar{R}_{im} = (R_y + Y_y)/2$ будет практически свободно от систематической погрешности, обусловленной возможным неравенством сопротивлений плеч Y_1 и Y_2 , сопротивлением контактов и соединительных проводов. Здесь $R_y >$ — значение сопротивления эталонной меры в момент равновесия моста при втором измерении.

Достоинство метода замещения заключается в последовательном во времени сравнении двух величин. Поскольку эти величины включаются последовательно в одну и ту же часть прибора сравнения (см. рис. 2.7, б), точность измерений повышается по сравнению с другими разновидностями метода сравнения, где несимметрия цепей, в которые включаются сравниваемые величины, приводит к возникновению систематических погрешностей. Недостаток нулевого метода замещения — необходимость иметь СИ, позволяющее воспроизводить любое значение известной величины без существенного понижения точности.

Особенностью дифференциального метода является возможность получения достоверных результатов сличения двух СИ даже при использовании сравнительно грубых средств для измерения разности. Однако для реализации этого метода

требуется высокоточная эталонная мера с номинальным значением, близким к номинальному значению сличаемой меры и необходимой дискретностью.

Проиллюстрируем сказанное на примере определения действительного значения ЭДС нормального элемента. Поверяемый и эталонный нормальные элементы включают навстречу друг другу (рис. 2.8) и измеряют потенциометром постоянного тока (ППТ) разность их ЭДС.

Действительное значение ЭДС поверяемого нормального элемента E_n находят по формуле $E_n = E_s + AE$, где E_s — ЭДС рабочего эталона нормального элемента; AE — показание потенциометра. Пренебрегая погрешностью эталонного нормального элемента, можно считать, что относительная погрешность определения ЭДС поверяемого нормального элемента во столько раз меньше погрешности измерения потенциометром, во сколько раз AE меньше E .

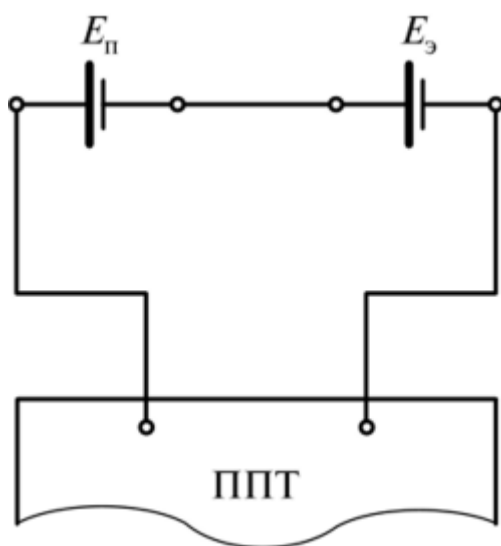


Рис. 2.8. Схема дифференциального метода поверки

Пусть $E_s = 1,01861$ В; $AE = (8 \cdot 10^{-5} \pm 0,5)$ В. Действительное значение ЭДС поверяемого нормального элемента $E_n = 1,01861 \pm 8 \cdot 10^{-5} =$

$= 1,01869$ В. Относительная погрешность

$0,5$

измерения разности $\delta E = \frac{AE}{E} = 0,125$

$8 \cdot 10^{-5}$

(12,5 %). Несмотря на столь низкую точность определения разности, относительная погрешность определения действительного значения ЭДС нормального элемента не

$$\delta E_n = \frac{1 \cdot 10^{-5}}{1,01861 + 8 \cdot 10^{-5}} \approx 1 \cdot 10^{-5}.$$

превысит

Такая погрешность определения действительного значения E_n вполне допустима.

Рассмотрим теперь принцип сличения показаний измерительных приборов переменного тока с показаниями СИ постоянного тока с помощью компаратора. Целесообразность такого рода сличений обусловлена высокой точностью СИ постоянного тока и естественным стремлением использовать это их свойство для точного определения действительных значений величин, измеряемых приборами переменного тока.

Вначале отметим, что сличение показаний СИ переменного и постоянного тока возможно только в том случае, если предварительно будет установлено равенство действующих значений измеряемых ими величин. Устанавливается такое равенство с помощью специальных компарирующих преобразователей, одинаково реагирующих на постоянный и переменный ток. Если на вход такого компарирующего преобразователя КП (рис. 2.9) вначале будет подана подлежащая измерению величина переменного тока X_p а затем постоянного тока X_s , и в обоих случаях будет зафиксировано запоминающим устройством ЗУ одно и то же значение его выходного сигнала α , можно утверждать, что действующие значения этих двух величин равны.

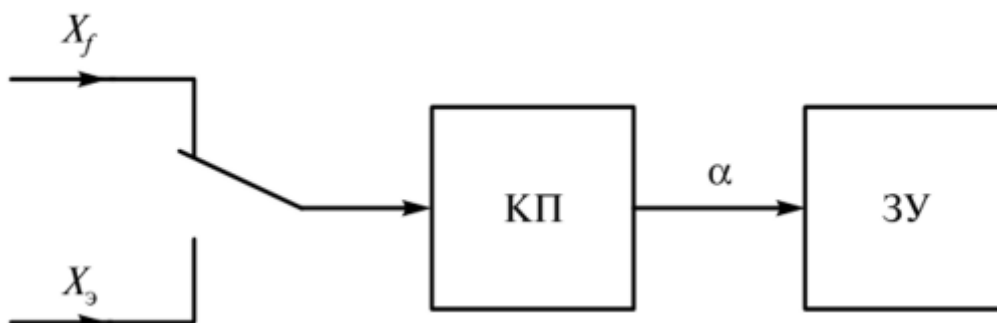


Рис. 2.9. Структурная схема поверки с помощью компаратора

По способу преобразования КП делятся на электродинамические, электростатические и термоэлектрические.

Наибольшее распространение получили термоэлектрические компараторы (ТК), позволяющие поверять приборы в широком частотном диапазоне.

Применение ТК при поверке вольтметра переменного тока показано на рис. 2.10.

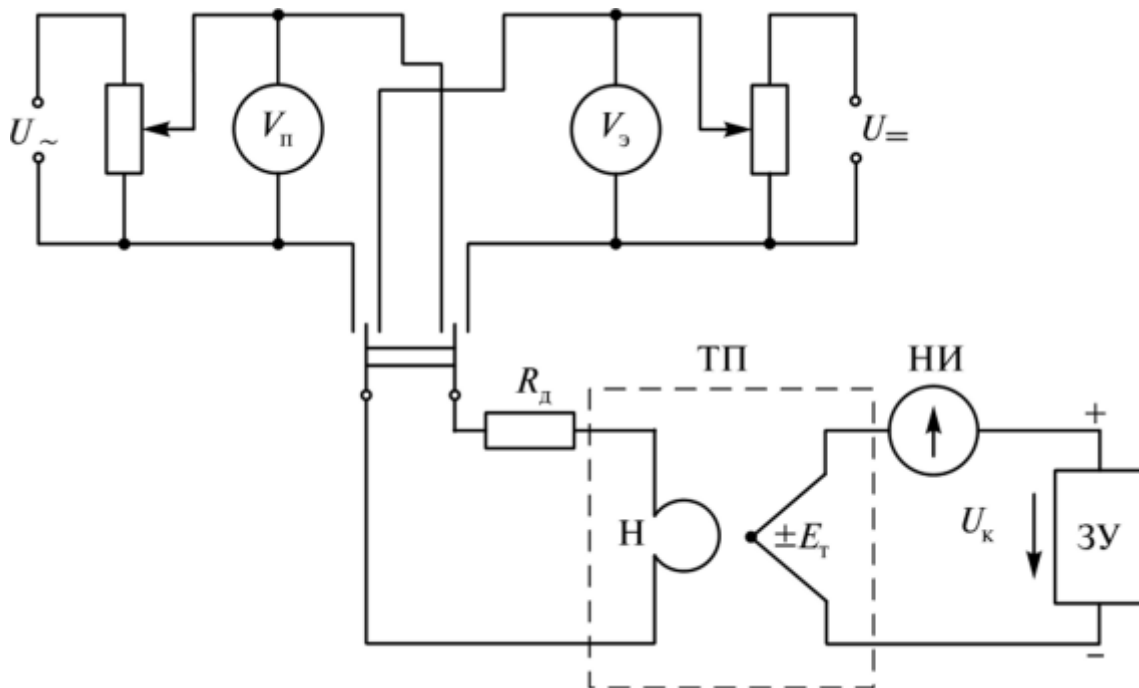


Рис. 2.10. Схема термозлектрического компаратора

Вначале компаратор включают в цепь переменного напряжения и, регулируя значение последнего, совмещают указатель поверяемого вольтметра V_n с одной из числовых отметок его шкалы.

При этом ток, протекающий по нагревателю H термопреобразователя ТП, будет пропорционален установленному напряжению (например, 10 В).

Пренебрегая погрешностями E_m , термоЭДС на переменном токе на выходе ТП будет равна

$$E_{T\sim} = k_{\sim} U_{п\sim}^2,$$

где $E_{m\sim}$, — термоЭДС на переменном токе;

- — коэффициент преобразования преобразователя на переменном токе;
- — показание поверяемого вольтметра (10 В).

ТермоЭДС вызывает отклонение указателя нуль-индикатора (НИ). Изменяя величину компенсирующего напряжения U_k на выходе ЗУ (оно включено встречно по отношению к $E_{m\sim}$), устанавливают указатель на нулевую отметку.

При этом $E_{m\sim} = U_k$.

Не меняя значения U_k , переключают компаратор в цепь постоянного тока и, регулируя постоянное напряжение, устанавливают указателем индикатора НИ на нулевую отметку.

При этом $U^{\wedge} = E_m = k_{\sim} U_{\sim}$, где $k_{\sim}$ — коэффициент преобразования преобразователя на постоянном токе, U — показание эталонного вольтметра, т.е. $E_{m\sim} = E_{m\sim}$. Из этого равенства следует, что

Г/Г

Погрешность компарирования $\delta = 1$ - — для современных

$\kappa \vee \kappa_{-}$

компараторов лежит в пределах от 0,005 до 0,002 %.

Суть метода прямых измерений значений, воспроизводимых мерами, заключается в измерении поверяемым СИ величин, воспроизводимых эталонными мерами. При этом разность между показанием поверяемого СИ и действительным значением размера подключенной к нему меры может рассматриваться как абсолютная погрешность поверяемого СИ. Простота реализации и высокая достоверность метода обусловили его широкое применение для поверки вольтметров, амперметров, фарадметров, измерительных мостов постоянного и переменного тока, веберметров и других приборов, предназначенных для измерения величин, которые легко и с достаточной достоверностью могут быть воспроизведены мерами. При практической реализации метода прямого измерения к мерам, используемым в качестве образцовых СИ, предъявляется ряд специфических требований. Основные и наиболее общие из них:

- возможность воспроизведения мерой той физической величины, в единицах которой проградуировано поверяемое СИ;
- достаточный для перекрытия всего диапазона измерений поверяемого СИ диапазон физических величин, воспроизводимых мерой (мерами);
- соответствие точности меры (а в ряде случаев ее типа и плавности изменения размера) требованиям, оговариваемым в нормативной документации на методы и средства поверки приборов данного вида.

Структурная схема, поясняющая взаимосвязь поверяемого СИ с эталонной мерой и методику выполнения поверки, приведена на рис. 2.11.

Как и при поверке методом непосредственного сличения, определение основной погрешности поверяемого СИ может осуществляться двумя путями:

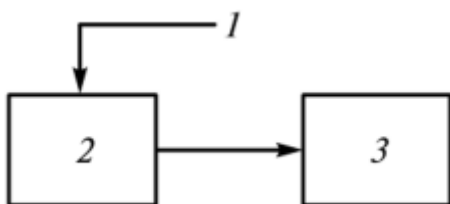


Рис. 2.11. Структурная схема поверки прибора с помощью образцовой меры:

- 1 — установка размера меры;
- 2 — образцовая мера (2Гэ); 3 — поверяемое СИ (2Гп)
- путем изменения размера меры до совмещения указателя поверяемого СИ с поверяемой отметкой (поверка прибора непосредственной оценки) или до достижения равновесия схемы (поверка приборов сравнения) с последующим определением абсолютной погрешности A как разности между показанием поверяемого средства измерений X_n и действительным значением меры X_s
- путем предварительной установки размера меры X_s , равного номинальному для данного показания поверяемого СИ, и последующим отсчетом

показания X_n по его отсчетному устройству и определением погрешности Δ как разности $X_n - X_s$.

Следует отметить, что первый способ, обладающий рядом преимуществ, может быть реализован только при наличии меры, позволяющей достаточно плавно изменять воспроизводимую ею физическую величину, т.е. имеющую малую дискретность установки выходной физической величины.

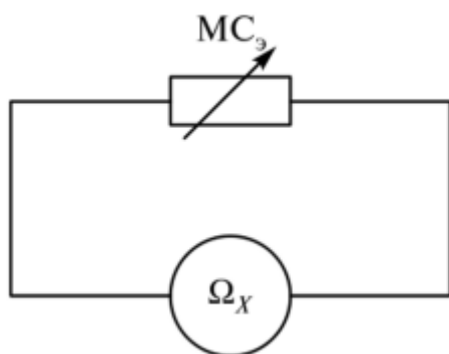


Рис. 2.12. Схема поверки омметра с помощью образцового магазина сопротивлений

Пример. Поверяемое СИ — аналоговый омметр магнитоэлектрической системы. По роду измеряемой величины омметры относятся к СИ, предназначенным для измерения электрических сопротивлений постоянному току. Следовательно, в качестве образцового СИ необходимо использовать меру, способную воспроизводить значения сопротивлений во всем диапазоне измерений поверяемого омметра.

В качестве такой меры может быть рекомендован эталонный магазин сопротивлений постоянного тока, по классу и разряду удовлетворяющий требованиям нормативной документации на методы и средства поверки аналогичных омметров.

Подключив эталонный магазин сопротивлений $МС_z$ к поверяемому омметру (рис. 2.12) и изменяя его сопротивление, совместим указатель поверяемого омметра с одной из числовых отметок, например $X_s = 50$ Ом. Предположим, что для этого понадобилось установить на магазине значение сопротивления $X_z = 49,8$ Ом. Абсолютная погрешность

$$\Delta = X_n - X_z = 50 - 49,8 = 0,2 \text{ Ом.}$$

Аналогичным образом может быть определена погрешность во всех остальных числовых отметках шкалы омметра.

Пример. Поверяемое СИ — одинарный мост постоянного тока. Для определения погрешности подключим к мосту эталонный магазин сопротивлений (рис. 2.13). С помощью плеча R_2 установим на мосте значение сопротивления $X_n = 5000$ Ом, затем уравновесим мост, изменяя сопротивление магазина. Пусть при этом показание магазина: $X_z = 5001,3$ Ом. Абсолютная погрешность моста $\Delta = X_n - X_z = 5000 - 5001,3 = -1,3$ Ом.

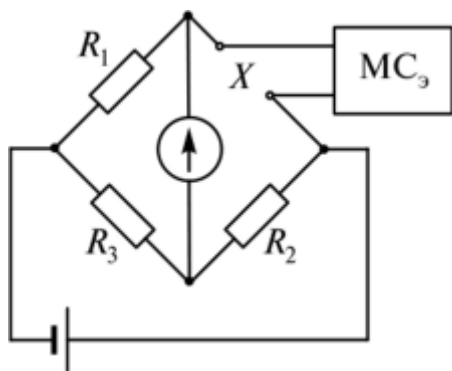


Рис. 2.13. Схема поверки моста с помощью образцового магазина сопротивлений

Метод прямых измерений находит применение и при поверке мер электрических и магнитных величин. Особенно широко используется этот метод при поверке мер ограниченной точности. Образцовым прибором измеряется действительное значение величины, воспроизводимое поверяемой мерой. Если, например, необходимо определить действительное значение меры электрического сопротивления на постоянном токе, то в качестве эталонного СИ может быть использован мост постоянного тока, точность и диапазон измерения которого удовлетворяют условиям проведения поверки. Меры емкости и индуктивности поверяют мостами переменного тока, предназначенными для измерения емкости и индуктивности.

Методом косвенных измерений контролируют метрологические характеристики как мер, так и измерительных приборов. При реализации этого метода о действительном размере меры и измеряемой поверяемым прибором физической величине судят на основании прямых измерений нескольких физических величин, связанных с искомой величиной определенной зависимостью. Особенно широко этот метод используется в поверочной практике, когда действительные значения величин, воспроизводимые или измеряемые поверяемым СИ, невозможно определить прямым измерением или когда косвенные измерения более просты или более точны в сравнении с прямыми методами измерений. Обязательной составной частью этого метода является расчет. Только путем расчета, основанного на определенных зависимостях между искомой величиной и результатами прямых измерений, можно определить значение физической величины и найти результат косвенного измерения.

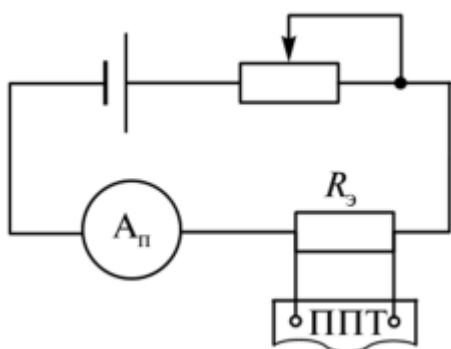


Рис. 2.14. Схема поверки амперметра методом косвенного измерения тока

Примером косвенного измерения величины, измеряемой поверяемым прибором A_n , может служить определение основной погрешности амперметра класса точности 0,05—0,2 (рис. 2.14). Измерив потенциометром ППТ падение

напряжения U , создаваемое на эталонном резисторе R_3 протекающим током (прямое измерение), и воспользовавшись законом Ома, можно путем последующего расчета определить действительное значение силы тока $I_s = U/R_3$.

Сопоставление показаний амперметра и найденного значения тока позволяет определить значение основной абсолютной погрешности $A = I_n - I$.

При выполнении поверок путем косвенных измерений величин, измеряемых поверяемыми приборами или воспроизводимых подвергаемыми поверке мерами, необходимо учитывать тот факт, что конечный результат косвенного измерения всегда содержит частные погрешности прямых измерений.

Автономная (независимая) поверка. Необходимость в автономных (т.е. без применения образцовых средств измерения) методах поверки возникла при разработке ряда особо точных средств измерений, которые не могут быть поверены ни одним из рассмотренных выше методов из-за отсутствия еще более точных СИ с соответствующими пределами измерения. С таким явлением пришлось, в частности, столкнуться при разработке методов и средств поверки потенциометров постоянного тока класса точности 0,0005—0,002 и ряда других высокоточных СИ, используемых в поверочной практике в качестве эталонных СИ.

Суть метода автономной поверки, наиболее часто реализуемого при поверке приборов сравнения, заключается в сравнении величин, воспроизводимых отдельными элементами схем поверяемого СИ, с величиной, выбранной в качестве опорной и конструктивно воспроизводимой в самом поверяемом СИ.

При поверке, например, m -й декады потенциометра необходимо убедиться в равенстве падений напряжений на каждой n -й ступени этой декады. Для этого, выбрав в качестве опорной величины сопротивление первой ступени декады, можно с помощью компарирующего прибора поочередно сравнивать падение напряжения на каждой n -й ступени с падением напряжения на этом сопротивлении.

Переход от поверки предыдущей декады к последующей осуществляется сравнением падения напряжения на сумме всех ступеней последующей декады с номинально одинаковым падением напряжения на второй ступени предыдущей декады.

Несмотря на относительно высокую трудоемкость, метод автономной поверки позволяет определять поправки с высокой точностью непосредственно на месте эксплуатации поверяемого СИ, что способствует сохранности и оперативности контроля его метрологических характеристик.

Расширение пределов измерения приборов непосредственной оценки

Обмотка амперметра рассчитана на небольшие токи. Для увеличения пределов измерения амперметра применяют шунты. Рисунок 11.9 поясняет вывод формулы сопротивления шунта. Обозначения на рисунке: R_m — сопротивление шунта; R_A — сопротивление амперметра; I — измеряемый ток; I_m — ток, протекающий через шунт; I_A — максимально допустимый ток амперметра; $n = I/I_A$ — коэффициент расширения пределов измерения амперметром.

В соответствии с рис. 11.9 имеем

$$I_A = I \frac{R_m}{R_m + R_A}; \quad n = \frac{I}{I_A} = \frac{R_m + R_A}{R_m}; \quad R_m = \frac{R_A}{n - 1}.$$

Выведенная для R_m формула позволяет по известному сопротивлению амперметра и заданному коэффициенту расширения пределов измерения подсчитать сопротивление шунта.

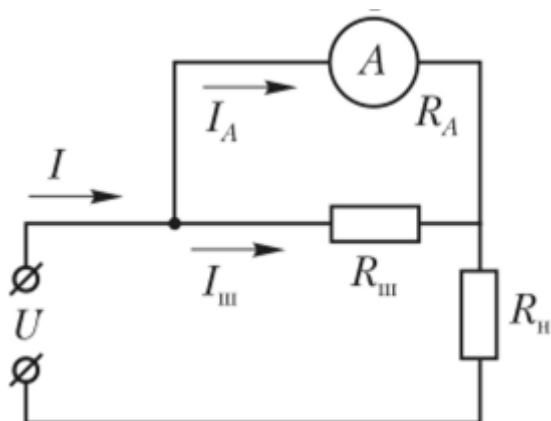


Рис. 11.9

Для расширения пределов измерения вольтметра применяют добавочные сопротивления, которые включают последовательно с обмоткой вольтметра (рис.

11.10). Обозначения на рисунке:

$R_{доб}$ - добавочное сопротивление; R_v — сопротивление вольтметра; U — измеряемое

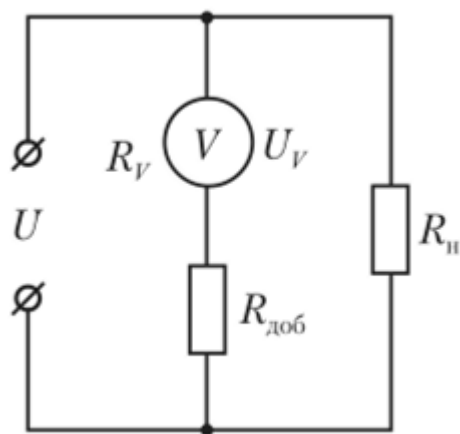


Рис. 11.10

напряжение; U_V - максимально допустимое напряжение вольтметра; I_V — ток, протекающий через вольтметр; $m = U/U_V$ — коэффициент расширения пределов измерения вольтметром.

В соответствии с рис. 11.10 получим

$$U = I_V(R_V + R_{доб}); \quad U_V = I_V R_V;$$

$$m = \frac{U}{U_V} = \frac{R_V + R_{доб}}{R_V};$$

$$R_{доб} = R_V(m - 1).$$

Последняя формула позволяет по заданному коэффициенту расширения пределов измерения и известному сопротивлению вольтметра найти добавочное сопротивление.

Помимо шунтов и добавочных сопротивлений в схемах переменного тока для расширения пределов измерения применяются измерительные трансформаторы, которые одновременно обеспечивают безопасность операторов при измерениях в высоковольтных цепях.

Первичная обмотка трансформатора тока включается последовательно в ветвь, где измеряется ток, а вторичная обмотка подсоединяется к зажимам амперметра.

Первичная обмотка трансформатора тока содержит один или несколько витков, вторичная обмотка — большое число витков. Для обеспечения безопасности один конец вторичной обмотки заземлен. Шкала амперметров, включаемых через трансформатор тока, рассчитана на 5 А (реже на 1 А).

Пределы измерений трансформаторами тока расширяются в k раз, где k — коэффициент трансформации.

Трансформатор напряжения изменяет пределы измерения вольтметра также в k раз. Многовитковая первичная обмотка трансформатора напряжения подключается параллельно участку, напряжение на котором измеряется, а вторичная обмотка — к зажимам вольтметра. Число витков вторичной обмотки меньше, чем первичной ($w_2 < w_1$).

Карточка № 11.10 (251)

Расширение пределов измерения приборов

непосредственной оценки

Шкала амперметра 0—30 А. Ток в цепи может достигать 300 А. Сопротивление амперметра 0,09 Ом. Каково должно быть сопротивление шунта?	0,1 Ом	167
	0,01 Ом	96
	0,001 Ом	56
Шкала амперметра 0—10 А. Сопротивление амперметра 0,5 Ом. Сопротивление шунта 0,1 Ом. Какой максимальный ток можно измерить?	60 А	46
	50 А	147
	40 А	116
Шкала вольтметра 0—100 В. Напряжение в цепи может достигать 500 В. Сопротивление вольтметра 5000 Ом. Найдите добавочное сопротивление вольтметра.	25 кОм	36
	20 кОм	66
	50 кОм	6
Шкала амперметра 0—5 А. Амперметр подключен к трансформатору тока с коэффициентом трансформации 100. Какой максимальный ток можно измерить?	100 А	200
	500 А	233
	1000 А	189
Можно ли ваттметром электродинамической системы измерить мощность: а) в цепи постоянного тока; б) в цепи переменного тока?	а) Можно; б) можно	210
	а) Можно; б) нельзя	222
	а) Нельзя	2

• ;
б)
МОЖНО

. Приборы непосредственной оценки. Общие сведения.

Достоинства и недостатки приборов непосредственной оценки

Система	Достоинства	Недостатки	Область применения
Магнитоэлектрическая	Высокая чувствительность, большая точность. Относительно небольшое влияние внешних полей. Малое потребление энергии. Малое влияние температуры	Пригодны только для постоянного тока. Чувствительны к перегрузкам	Измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. С термопреобразователями и выпрямителями используются для измерения электрических величин в цепях переменного тока, а также для измерений неэлектрических величин (температуры, давлений и т.п.)
Электромагнитная	Могут изготавливаться на большой ток для непосредственного включения, устойчивы при перегрузках. Пригодность для постоянного и переменного тока, простота конструкции	Малая точность. Зависимость показаний от внешних магнитных полей. Неравномерная шкала	Измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока. Рекомендуется применять преимущественно для измерений в цепях переменного тока, так как недостаточное однородное качество железа сердечников понижает точность приборов, градуированных для обоих родов тока
Электродинамическая	Высокая точность, пригодны для постоянного и переменного тока	Зависимость показаний от внешних магнитных полей. Чувствительны к перегрузкам. Большое потребление электроэнергии. Неравномерность шкалы	Измерение тока, мощности, напряжения, частоты, угла сдвига фаз в цепях переменного тока, а также напряжения, тока и мощности в цепях постоянного тока
Тепловая	Независимость показаний от частоты и формы кривой переменного тока и внешних магнитных полей. Пригодны для	Большая чувствительность к перегрузкам (у приборов с фотокомпенсационным усилителем чувствительность к перегрузкам	Измерение силы тока в цепях переменного тока промышленной и высокой частоты

Система	Достоинства	Недостатки	Область применения
	постоянного и переменного тока. Большая чувствительность. Малое потребление электроэнергии	значительно снижена)	
Электростатическая	Малое потребление электроэнергии. Независимы от частоты, температуры и внешних магнитных полей. Возможность непосредственного измерения высоких напряжений на низких и высоких частотах (до 40 МГц)	Зависимость от внешнего электростатического поля и от влажности воздуха	Измерение напряжений в цепях постоянного и переменного тока
Вибрационная	Простота конструкции и надежность в работе. Возможность включения прибора в цепи с разным напряжением	Вибрация пластин от внешних толчков. Прерывистость шкалы, вследствие чего затруднен отсчет при промежуточной частоте	Измерение частоты переменного тока

Приборы непосредственной оценки, используемые при выполнении работ по техническому обслуживанию устройств СЦБ и систем ЖАТ и электропитающих устройств.



1. Ампервольтметр ЭК2346.
 1.1. Назначение: измерение напряжения, тока в рельсовых цепях, сопротивления - среднеквадратичного значения напряжения амплитудно-модулированного тока в диапазоне частот от 25 до 10000 Гц - напряжения амплитудно-модулированного тока сигналов кодовых р.ц. на частотах 25, 50 или

74 Гц -сопротивления постоянному току.

1.2. Устройство и принцип работы. Измеритель прибора магнитоэлектрической системы с подвижной частью на растяжках. На передней панели прибора находятся переключатели рода работы и диапазона измерений, регулятор нуля; на крышке измерителя расположен механический корректор и поводковое устройство. Соединительные шнуры длиной $1 \pm 0,02$ м и сопротивлением постоянному току не более 0,01 Ом.

1.3. Порядок работы. Паспорт ЗПБ. 349 105ПС стр. 6 пункт 7.

1.4. Недостатки- ненадежные источники дополнительного питания для измерения сопротивления постоянному току, элементы питания замерзают при низких температурах.



2. Комбинированный прибор Ц-4380.

2.1. Назначение прибора тоже самое, что и ЭК2346, есть электрическая защита от перегрузок. Предел измерения 15А автоматической защиты. Меры безопасности: при работе с напряжением более 30 В необходимо включать и

отключать прибор при выключенном напряжении в цепи.

2.2. Порядок работы.

2.3. Измерение силы тока и напряжения.

2.4. Измерение сопротивления постоянному току.

2.5. Измерение импульсного тока и напряжения.



3. Мультиметр цифровой типа В7-63.

3.1. Назначение- измерение напряжения тока в кодовых р.ц. и в р.ц. тональной частоты, в широкополосном и селективном режимах, сопротивления, температуры.

3.2. Основные технические данные. Измерение напряжения постоянного тока от 0,001-500В + и -; переменного тока от 0,01 до 500В сложной формы частотой 8 Гц- 30 кГц с коэффициентом гармоник $K_g < 50\%$; измерение среднеквадратичного значения напряжения переменного тока при сигналах р.ц. и представление результатов измерения обработанных двумя методами- без учета пауз и с учетом пауз в коде с $K_g < 50\%$; а) от 0,01 до 200В без учета пауз на фиксированных частотах 25, 50, 75, 175 Гц; б) 0,01 до 150В с учетом пауз на частотах в диапазоне 175-5555 Гц; - измерение сопротивления постоянному току от 0,1 Ом до 2 МОм; - измерение силы постоянного тока, «+» и «-» полярностей от 0,001 до 20А; -

измерение среднеквадратичного значения силы ~ тока сложной формы от 0,01 до 2А в диапазоне частот 20Гц- 10 КГц с $K_f < 50\%$ и от 2 до 20А в диапазоне частот 20Гц-1КГц; - измерение среднеквадратичного значения силы ~ тока сигналов р.ц. и предоставление результатов измерения, обработанных двумя методами- без учета пауз и с учетом пауз в коде с $K_f < 50\%$; а) от 0,01 до 20А без учета пауз на частотах 25, 50, 75, 175 Гц; б) 0,01 до 15А с учетом пауз на фиксированных частотах в диапазоне 175-5555 Гц; - измерение температуры от -30 до 160°C . Метрологические характеристики приведены в таблице № 1 формуляра 5521 1998 г. стр. 4-7. Получен прибор в дистанции в конце 2001 года.

4. Прибор цифровой типа ЦПП-АЛСН. Назначение: измерение временных параметров кодовых сигналов АЛСН в р.ц.



частотой 50 Гц на рабочих и свободных контактах ТР, ТШ и ДТ. Эксплуатация при температуре от -10°C до 50°C . Питание измерителя от семи аккумуляторов типа Д-0,55 или от сети ~ напряжение 220В частотой 50 Гц через источник питания- зарядное устройство КЕУЮ3.508.001.

4.1. Диапазоны измерений: - измерение интервалов времени от 0,05 до 0,99 с погрешность не более $\pm 0,01$ с; - диапазон входных напряжений кодовых посылок постоянного тока по входу +12В от 5 до 12В; - диапазон входных напряжений кодовых

посылок частотой 50 Гц по выходу р.ц. измерителя от 0,1 до 2,0В; - входных напряжений кодовых посылок с частотой 50 Гц по входу – 110/220В от 110 до 220В; - токов кодовых посылок частотой 50 Гц от 0,5 до 10А. Измеритель обеспечивает свои технические характеристики при напряжении питания от 7 до 10В. Время установления рабочего режима не более 30 с после его включения. Время непрерывной работы не менее 8 часов.

4.2. Подготовка к работе.

4.3. Проведение измерений. Паспорт ЯВША.4111 86.001ПС 2000 г.



5. Преобразователь тока селективный типа А9-1. Назначение: измерение сигнального тока в кодовых р.ц. и в р.ц. тональной частоты в селективном режиме. На дистанцию этот прибор не поступал.



6. Измеритель сопротивления балласта типа ИСБ-1.

6.1. Назначение- измерение величины сопротивления изоляции в р.ц. без нарушения работы устройств СЦБ. Включается в любой точке р.ц., находящейся на расстоянии 100-150 м от места подключения аппаратуры р.ц.

Позволяет измерять: а) удельное электрическое сопротивление балласта на участке 200,300 м; б) усредненное значение удельного электрического сопротивления балласта р.ц. Питание прибора от сухих элементов. Пределы измерений от 1 Ом км до 10 Ом км. Погрешность не более $\pm 10\%$. Продолжительность одного измерения менее 1 минуты.

6.2. Принцип работы. 6.3. Действие прибора основано на применении для измерения $\sim$ тока тональной частоты 5 КГц. На этой частоте короткий отрезок р.ц. (100-150 м) представляет собой электрически длинную линию, входное сопротивление которой равно ее Z_B (волновому сопротивлению). R_b (Ом.км) определяется из формулы $R_b = Z_B Z$ где Z_B - волновое сопротивление р.ц., Z - километрическое сопротивление рельсов. Для измерения используется высокоомный генератор, $R_{ВНТ}$ которого значительно превышает входное сопротивление р.ц. Поэтому при изменении нагрузки на выходе генератора сохраняется постоянство величины тока. Следовательно напряжение на нагрузке прямо пропорционально сопротивлению между точками (рельсами), которое равно половине модуля $Z_B Z B^2$

6.3. Измерение. Лист 3. Паспорт.

6.4. Электропитание Л3-4. Паспорт.

6.5. Комплектность и конструкция Л4. Паспорт.

6.6. Принципиальная схема. Лист 1. КБ-ЦШ паспорт.

6.7. Правила пользования. Л7 паспорт.

6.8. Работа с прибором, транспортировка и хранение.



7. Индикатор проверки чередования полярности типа ИПЧП. Назначение- контроль чередования фаз в смежных р.ц. переменного тока. Технологическая карта № 4 п. 4 стр. 40-42. Индикатор выполнен в виде транзисторной схемы сравнения фаз сигналов, поступающих от двух смежных р.ц. Обе части схемы работают в положительном полупериоде. Рис. 6 стр. 40. В этом полупериоде во вторичной обмотке трансформатора ТР ток протекает через диод VD, переход эмиттер- коллектор транзистора VT и микроамперметр

только в том случае, когда на базе этого транзистора минусовой потенциал, поступающий от вторичной обмотки трансформатора ПТ. При питании р.ц. все станции от одной фазы полярность тока определяют по отклонению стрелки одного из микроамперметров и надписи у микроамперметра с отклонившейся стрелкой, другая не должна отклоняться.



8. Магаомметр типа М4100 (1, 2, 3, 4, 5).

8.1. Назначение- предназначен для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением, при температуре окружающего воздуха от -30 до $+40^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 90% при $t+30^{\circ}\text{C}$.

8.2. Технические характеристики. Выпускаются в пяти модификациях
Модификация Диапазон измерений

Выходное U на разомкнутых зажимах диапазона измерений В КОм МОм
 М4100/1 М4100/2 М4100/3 М4100/4 М4100/5 0-200 0-500 0-1000 0-1000 0-2000 0-20 0-50 0-100 0-200 0-1000 100 $\pm$ 10 250 $\pm$ 25 500 $\pm$ 50 1000 $\pm$ 100 2500 $\pm$ 250
 Номинальная скорость вращения рукоятки генератора 120 об/мин.

8.3. Схема состоит из генератора переменного тока Г, выпрямителя, измерителя (логометр магнитоэлектрической системы) ИП и добавочных резисторов. Диапазоны измерения изменяются при помощи переключки, находящейся на одном из соединительных проводов. Паспорт Ба 2.722 019 ПС. Приложение 1.

8.4. Меры безопасности. При проведении измерений электрического сопротивления изоляции должны выполняться требования безопасности, изложенные в «Межотраслевых правилах» 2000 г.

8.5. Порядок работы. Паспорт Ба 2.722 019 ПС. Стр. 5



9. Измеритель сопротивления заземления типа ЭС0201 или М416. Назначение. Измерение сопротивления заземления в устройствах СЦБ, связи (постов ЭЦ, КЯ, РЩ, металлических оболочек кабелей) при электротяге переменного тока.

9.1. Измерение сопротивления заземляющего устройства. Техкарта № 85 п. 2 стр. 396-399.

Рис. 1- схема подключения прибора при измерении сопротивления заземления одиночных заземлений. Рис. 2- схема подключения при измерении сопротивления заземления сложных заземлителей. Сопротивления защитного заземления постов ЭЦ, релейных будок не более 10 Ом. Сопротивление заземления предназначено для заземления брони кабелей при пересечении сигнальной линии автоблокировки с линией электропередач должно быть не более 5 Ом.

9.2. Проверка выравнивающего контура релейного шкафа. П.3 стр. 399 техкарта № 5.

10. Измеритель усилия перевода стрелки типа УКРУП-1.

10.1. Назначение. Устройство контроля усилия перевода и регулировки фрикции стрелочных приводов предназначено для механического контроля усилия, передаваемого от шибера электропривода на острия стрелок и



сердечники крестовин с непрерывной поверхностью касания (НПК) для их перевода, прижатия и запираения, для регулировки фрикции сцепления электроприводов в условиях эксплуатации (при монтаже вновь укладываемых и централизуемых стрелочных переводов, их техническое обслуживание и ремонт), всех видов типов (Р50 и тяжелее) марок,

крестовин НПК, колеи 1520, 1524, 1435 и 1067 мм сети ж.д.

10.2. Технические характеристики. а) диапазон показаний КН 0-10. б) цена деления (от 1 до 7 КН), КН 0,2 в) отклонение показаний (от 1 до 7 КН) не $\geq \pm 10\%$ г) габаритные размеры 240x75x240. д) масса кг не более 2,5 е) средний срок службы не менее 5 лет.

10.3. Устройство и принцип работы. Размещение и фиксация УКРУП-1 на стрелке и на НПК. Паспорт 60803.00.000 ПС рис. 1, 2.. Базирование устройства на головке рельса осуществляется при помощи подпружиненного курка 3 и ручки 1, на которой жестко закреплен упор 2. Винтом 5 на планке 7 закреплен индикатор нагрузки, который состоит из отсчетного устройства 6, кольца 8, на котором диаметрально установлены неподвижный наконечник 9 и сменный наконечник 10. При воздействии нагрузки на наконечники результат измерения фиксируется на шкале отсчетного устройства.

10.4. Порядок работы описан в паспорте 60803.00.000ПС пункт 6. Если при измерении усилий перевода стрелок с двигателями МСТ еще можно ориентироваться, то для МСП этот прибор непригоден. Неизвестно, что измеряет.

11. Измеритель параметров реле цифровой типа Ф291.

11.1. Назначение. Измерение замедления сигнальных реле при питании обмоток реле от внешнего источника постоянного тока до 10А при U=240В



переменного тока до 6А частотой 50 Гц при U до 380В, а также при отсутствии соединения прибора с внешним источником питания обмоток реле. Область применения: -

ремонт и эксплуатация релейных систем автоматики электрических станций и подстанций; - измерение параметров различного рода механических переключателей, тумблеров, кнопок; -

времени переключения фидеров.

11.2. Технические данные. Позволяет измерять по первому замыканию (размыканию) контакта проверяемого реле следующие временные параметры при питании обмоток реле от внешнего источника тока: а) время срабатывания реле с замыкающими или размыкающими контактами; б) время отпускания реле с замыкающими или размыкающими контактами; в) разность времени срабатывания.

Позволяет измерять временные параметры реле с учетом вибрации контакта при питании обмоток реле от внешнего источника постоянного или переменного тока: а) время срабатывания; б) время отпускания.

Позволяет измерять разность времени замыкания (размыкания) любой комбинации двух пар контактов. -

Время кратковременного замыкания или размыкания контакта. Время установления рабочего режима не более 15 минут. Обеспечивает измерение интервалов времени до 100000ms на двух пределах 10000ms и 100000ms.

11.3. Устройство и работа прибора. Руководство по эксплуатации ЗПБ.418.002 РЭ 1992 г. п.3 стр. 5-7. Устройство прибора, стр. 3.2. Принцип действия прибора стр. 7-9.

11.4. Порядок работы. Определение временных параметров реле п.7.1. стр. 15-18 ЗПБ.418.002 РЭ.

12. Секундомер однострелочный типа СОПР-6Г-2. Предназначен для



измерения временных параметров автоматики на переездах согласно технологической карте № 6. а) Проверка соответствия фактической и расчетной длин участков приближения б) Проверка времени до момента вступления поезда на участок приближения до начала работы сигнализации в) Проверка времени от начала включения переездной сигнализации до начала опускания заградительного бруса

шлагбаума г) Проверка времени срабатывания схемы защиты от кратковременной потери шунта д) Проверка времени работы схемы контроля длительного занятия последней по ходу поезда р.ц. на участках с двухсторонним движением.



13. Шунт сопротивлением 0,06 Ом типа ШУ-01М. Предназначен для проверки шунтовой чувствительности рельсовых цепей на станциях и перегонах согласно технологической карты № 32, также стрелочные соединители параллельных ответвлений, не оборудованных путевыми реле, согласно техкарте № 32.



14. Набор стрелочных щупов 2-4 мм на рукоятке. Предназначен для проверки плотности прилегания острия стрелки или сердечника крестовины НПК к рамному рельсу. Имеет щупы толщиной 2, 3, 4 мм. Выполняется работа согласно технологической карте № 16 п. 3 стр. 98.



15. Рулетка измерительная 10М. Предназначена для измерения длины шлейфа САУТ и габарита напольных устройств СЦБ.

16. Аккумуляторный пробник АП.



16.1. Предназначен: - для измерения напряжения на клеммах отдельных элементов аккумуляторной батареи (измерение свободы напряжения); - измерения напряжения на клеммах отдельных элементов под соответствующей данному типу аккумулятора нагрузкой.

16.2. Технические характеристики. Номинальная величина нагрузочных сопротивлений для тока на 1 ампер- 2, 3 Ом 2

ампера- 1,15 Ом 3 ампера- 0,77 Ом 6 ампер- 0,38 Ом 12 ампер- 0,19 Ом

16.3. Основные требования к эксплуатации пробника АП. Применять нагрузочные сопротивления соответственно емкости аккумулятора до 5 а/час.... 1А 10 а/час.... 2А 15 а/час.... 3А 30 а/час.... 6А 60 а/час.... 12А Проверка аккумуляторов типа АБН-72, 80 согласно технологической карте № 75 п. 2.4. стр. 369.



17. Ареометр типа БОМ7 или АЭ-41. Назначение: проверка состояния и плотности электролита в аккумуляторах различных типов и емкости согласно техкарте № 75 п. 2.2, 2.3.

18. Трассодефектоискатель ТДИ-05М-3.

18.1. Область применения. Приемник трассодефектоискателя ТДИ-05М-3 предназначен для поиска места прохождения трассы под землей, определения направления и глубины прокладки, а также для точного определения места повреждения (обрыв, короткое замыкание, утечка на землю для кабельных линий, нарушение защитной оболочки для трубных линий).

Работа может вестись как в активном режиме (при подключении генератора ТИ-ТДИ 6-3А к трассе), так и в пассивном режиме (при поиске запитанных энергетических и трансляционных кабелей).

18.2. Комплект поставки и принадлежности: - приемник электрического сигнала звуковой частоты конструктивно совмещенный с поисковой А-образной приемной антенной с контактными штырями и встроенным аккумулятором 9В, 0,14 А/час - сетевой адаптер-зарядное устройство для аккумуляторов приемника и генератора - телефоны головные ТОН-2М

18.3. Техническое описание РЭ-2001 г. ТДИ-05М-3. а) Технические данные приемника п. 3.1. стр. 4 таблица 1 б) сетевой адаптер п. 3.2. стр.5

18.4. Управление приемником стр. 5 п. 4 рис. Внешний вид панели. Таблица 2 органы управления и индикации стр. 6 и таблица 3 стр. 6.

18.5. Принцип и порядок работы стр. 7 п. 5.1-Общее 5.2- контроль работоспособности приемника 5.3.- работа с приемником - поиск трассы по методу максимума рис. 2 стр. 8 - поиск трассы по методу минимума рис. 3 стр. 8 - определение глубины прокладки кабеля рис. 4 стр. 9 - определение места повреждения стр. 9

18.6. Работа в режиме трассодефектоискателя п. 5.3.2 стр. 10.

18.7. Коррекция измерений п. 5.4 стр. 10.

18.8. Технический уход п. 6.1. стр.11.

18.9. Обслуживание аккумуляторов п. 6.2 стр.11.

18.10. Требования техники безопасности- должны соблюдаться «Межотраслевые правила» 2001 г.

19. Кабельный прибор ИРК-ПРО V.5.4.2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.



19.1. Назначение. Прибор предназначен для определения расстояния до участка с пониженным сопротивлением изоляции всех типов симметричных кабелей, измерения сопротивления изоляции и сопротивления шлейфа, омической асимметрии, измерения электрической емкости кабеля.

19.2. Технические данные п. 3 стр. 6, 7 таблицы.

19.3. Принцип работы и конструкция прибора. а) Конструкция прибора стр. 8 п. 5.1. б) Принцип измерения расстояния до повреждения изоляции кабеля п. 5.2. стр. 8-9.

- 19.4. Меры безопасности. «Межотраслевые правила» 2001 г.
- 19.5. Подготовка и порядок работы.
 - 19.5.1. Подготовка к работе п. 7.1 стр. 10.
 - 19.5.2. Контроль источника питания п. 7.2 стр. 10-11.
 - 19.5.3. Проверка прибора п. 7.3 стр. 11.
 - 19.5.4. Режим работы дисплея п. 7.4 стр. 12.
 - 19.5.5. Работа с кнопками п. 7.5 стр. 12.
 - 19.5.6. Измерение сопротивления изоляции п. 7.6 стр. 12.
 - 19.5.7. Измерение сопротивления шлейфа п. 7.7 стр. 13.
 - 19.5.8. Измерение расстояния до места повреждения изоляции кабеля п. 7.8 стр. 13-16.
 - 19.5.9. Работа на коротких участках кабеля п. 7.9 стр. 16.
 - 19.5.10. Работа с несимметричным кабелем. Работа с вспомогательным кабелем, когда повреждены все жилы кабеля и невозможно подобрать обратную жилу. а) Метод двух вспомогательных жил б) Метод одной вспомогательной жилы для определения расстояния по диаметру жилы кабеля без вставок п. 7.10 стр. 17-18.
 - 19.5.11. Работа с кабелем, составленным из разных участков п. 7.11 стр. 18-19.
 - 19.5.12. Определение омической асимметрии жил кабеля п. 7.12 стр. 19-20.
 - 19.5.13. Измерение электрической емкости и расстояния до обрыва жилы п. 7.13 стр. 20-21.
 - 19.5.14. Сводная таблица назначения кнопок прибора п. 7.14 стр. 22.
- 19.6. Методика поверки.
 - 19.6.1. Операция поверки п. 8.1 стр. 23.
 - 19.6.2. Средства поверки п. 8.2 стр. 23.
 - 19.6.3. Условия поверки п. 8.3 стр. 24.
 - 19.6.4. Проведение поверки п. 8.4 стр. 24-26.
 - 19.6.5. Обработка и оформление результатов поверки п. 8.5 стр. 27.

Занятие 9. Приборы непосредственной оценки для измерения тока и напряжения.

Классификация приборов для измерения токов и напряжений

В зависимости от возможных значений токов и напряжений в измеряемых цепях приборы непосредственной оценки подразделяют на микроамперметры (рис.1а), миллиамперметры(рис.1б), амперметры(рис.1в), килоамперметры, милливольтметры, вольтметры и киловольтметры.



а



б



в



г

Рис.1 а - микроамперметр; б – миллиамперметр; в – амперметр; г – килоамперметр.



Рис.2 а - милливольтметр; б – вольтметр; в – киловольтметр.

При измерениях силы тока через прибор должен протекать весь ток нагрузки, поэтому амперметры всех видов включают в цепь последовательно; при измерениях напряжений с помощью прибора определяют разность потенциалов между двумя точками цепи, поэтому все виды вольтметров включают параллельно участку цепи (нагрузке, источнику напряжения и т. д.)

Включенные в цепь приборы должны изменять режим работы измеряемой цепи минимально.

Приборы для измерения силы тока должны иметь входное сопротивление во много раз меньше сопротивления нагрузки.

При этом падение напряжения в цепях прибора будет незначительным и включение прибора не вызовет заметного уменьшения измеряемого тока в общей цепи.

Для вольтметров входное сопротивление должно быть очень большим. Оно должно во много раз превышать сопротивление измеряемого участка. В этом случае по цепям вольтметра протекает минимальный ток и подключение прибора не оказывает заметного влияния на электрический режим работы цепи.

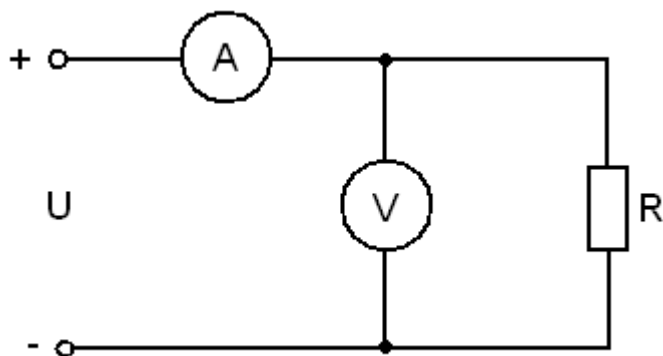


Рис.1. Схема включения амперметра и вольтметра в цепь постоянного тока.

Измерение параметров электрических сигналов

На практике приходится измерять следующие параметры электрических сигналов: ток, напряжение, мощность, частоту, сдвиг фаз и др. При этом измерения производятся в широком диапазоне значений измеряемых величин и рабочих частот. Ранее, в параграфах, посвященных рассмотрению различных приборов, указывалось на особенности их применения для измерения тех или иных величин, в том числе и параметров электрических сигналов. Резюмируем кратко эти сведения.

Измерение напряжения осуществляется в диапазоне частот от 0 до 10^9 Гц. При более высоких частотах напряжение перестает быть информативным параметром. Напряжение *постоянного тока* от долей милливольт до сотен вольт удобно измерять магнитоэлектрическими вольтметрами, которые имеют достаточно высокую точность (класс точности до 0,05). Следует, однако, иметь в виду, что входное сопротивление магнитоэлектрического вольтметра, которое в основном определяется значением добавочного сопротивления, не превышает десятков килоом. При измерениях в высокоомных цепях собственная проводимость вольтметра может быть причиной значительных погрешностей измерения. Магнитоэлектрическим вольтметрам присуща также температурная погрешность, вызываемая зависимостью сопротивления рамки прибора от температуры.

Для измерения напряжения постоянного тока в высокоомных цепях широко используются электронные аналоговые и цифровые вольтметры. Электронные аналоговые вольтметры и милливольтметры являются многопредельными приборами. Ими можно измерять напряжение от единиц микровольт до нескольких киловольт. Высокое входное сопротивление вольтметров, равное десяткам и более мегаом, снижает потребление мощности из измеряемой цепи до пренебрежимо малых значений. Следовательно, влияние измерительного прибора на режим работы изучаемого объекта оказывается незначительным. Электронные аналоговые вольтметры имеют основную погрешность 1,5 — 6%. Источниками погрешностей являются нестабильность элементов и собственные шумы электронных цепей. Вносят вклад также погрешности измерительного механизма и градуировки шкалы.

Цифровые вольтметры постоянного тока также широко распространены. Они обладают широким диапазоном измерения, высокой точностью и чувствительностью, быстродействием, удобством считывания показаний, возможностью включения в состав измерительно-вычислительных комплексов. Возможности и особенности цифрового вольтметра определяются в первую очередь характеристиками использованного АЦП. Существуют цифровые вольтметры прямого и уравнивающего преобразования. В схемах прямого преобразования применяются время-импульсные, время-импульсные

интегрирующие и частотно-импульсные АЦП, а в схемах уравнивающего преобразования -АЦП поразрядного уравнивания.

Цифровые вольтметры прямого преобразования отличаются простотой и высоким быстродействием (более 10^4 измерений в секунду). В интегрирующих вольтметрах благодаря усреднению напряжения по времени измерения достигается повышенная помехозащищенность. Основным достоинством цифровых вольтметров с АЦП поразрядного уравнивания является высокая точность измерения (приведенная погрешность 0,01—0,001%). Диапазон напряжений, измеряемых цифровыми вольтметрами разных типов, охватывает диапазон от долей микровольт до единиц киловольт.

Современные цифровые вольтметры содержат микропроцессорные блоки и снабжены клавиатурой, что позволяет автоматизировать процесс измерения, проводить его в соответствии с заданной программой, осуществлять требуемую обработку результатов измерений, расширять функциональные возможности прибора, превратив его в мультиметр, позволяющий измерять не только напряжение постоянного тока, но и многие другие величины: напряжение переменного тока, сопротивление, емкость конденсатора, частоту и др.

Точные измерения напряжения постоянного тока производятся при помощи компенсаторов постоянного тока. Класс точности этих приборов достигает 0,0005. Пределы измеряемых напряжений -от 10^{-9} В до нескольких десятков вольт.

Среднеквадратическое (действующее) значение напряжения переменного тока

измеряется электромагнитными (до 1—2 кГц), электродинамическими (до 2—3 кГц), ферродинамическими (до 1—2 кГц), электростатическими (до 10 МГц) и термоэлектрическими (до 10—100 МГц) приборами.

Выпрямительные приборы реагируют на средневыпрямленное значение

но градуируются обычно в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Отличие формы измеряемого напряжения от синусоидальной может приводить к большим систематическим погрешностям. Выпрямительные вольтметры используются до частот 10—20 кГц. Электромагнитные вольтметры в основном служат щитовыми приборами. Расширение их пределов измерения достигается использованием измерительных трансформаторов напряжения. Электродинамические, электростатические обычно являются лабораторными приборами, термоэлектрические используются на повышенных частотах. Выпрямительные вольтметры обычно входят в состав многофункциональных переносных измерительных приборов — *тестеров*.

Электронные аналоговые вольтметры применяются для измерения среднеквадратичных, средневыпрямительных и пиковых (амплитудных) значений переменного тока. Их отличает большое входное сопротивление,

высокая чувствительность и возможность измерений на высоких частотах (вплоть до сотен мегагерц).

Цифровые вольтметры, предназначенные для измерения напряжения переменного тока, строятся на основе цифровых вольтметров постоянного тока, снабженных преобразователем переменного напряжения в постоянное. В диапазоне частот до 100 кГц их основная погрешность может не превышать 0,5%. Цифровые вольтметры средневыпрямленного значения используют одно- и двухполупериодные выпрямители. В цифровых вольтметрах среднеквадратического значения применяются термоэлектрические преобразователи. Однако инерционность последних существенно снижает быстродействие вольтметров.

Для одновременного измерения амплитуды и фазового сдвига синусоидального напряжения используются компенсаторы переменного тока. Относительная погрешность измерения при помощи компенсаторов лежит в пределах $\pm 0,5\%$.

Измерение тока. *Постоянный ток* измеряется при помощи магнитоэлектрических приборов. Они обеспечивают наивысшую точность среди электромеханических аналоговых приборов (класс точности 0,05—2,5).

Магнитоэлектрические амперметры позволяют измерять токи от 10^{-7} до 50 А (при измерении токов больше 0,05 А используются внутренние шунты). Применение шунтов приводит к увеличению влияния изменений температуры на показания приборов. Это связано с тем, что вследствие неодинаковых значений температурных коэффициентов сопротивления рамки и шунта происходит изменение соотношения их сопротивлений, а следовательно, и перераспределение текущих по ним токов. Для уменьшения температурной погрешности применяются различные цепи температурной компенсации. Простейшая из них содержит только один элемент — добавочный резистор из манганина, включенный последовательно с рамкой измерительного механизма. Такая термокомпенсация удовлетворительна только для приборов классов точности 1,0 и хуже. Более точные приборы используют несколько более сложные цепи термокомпенсации, содержащие как последовательные, так и параллельные цепочки резисторов.

Для измерения больших постоянных токов (от 50 А до нескольких килоампер) применяются магнитоэлектрические амперметры и килоамперметры с наружными шунтами.

Малые постоянные токи (меньше 10^{-6} А) измеряются при помощи гальванометров.

Измерения постоянного тока с повышенной точностью производятся косвенным образом. Образцовый резистор включается в измеряемую цепь и компенсатором измеряется падение напряжения на этом резисторе. Значение тока вычисляется при помощи закона Ома.



Переменный ток измеряется амперметрами электромагнитной, электродинамической и ферродинамической систем. Электромагнитные амперметры являются в основном однопредельными щитовыми приборами (класс точности 1,0; 1,5; 2,5). Они работают со встроенными или наружными измерительными трансформаторами тока, позволяя измерять токи до 300 А и 15 кА соответственно.

Также в качестве щитовых часто работают ферродинамические амперметры. Электродинамические амперметры и миллиамперметры обычно выполняются в виде переносных лабораторных приборов. Их типичные классы точности 0,2; 0,5; 1,0. Выпрямительные амперметры обычно входят в состав переносных лабораторных комбинированных приборов (тестеров). Их диапазон измерения — от долей миллиампера до нескольких ампер, Набор шунтов обеспечивает изменение пределов измерения. Точность выпрямительных амперметров невелика (классы точности 1,5; 2,5; 4,0), Другим недостатком является зависимость показаний от формы тока. Термоэлектрические миллиамперметры и амперметры применяются на повышенных частотах (до сотен мегагерц). Их диапазон измерений — от нескольких миллиампер до нескольких ампер. Расширение пределов измерения достигается применением высокочастотных трансформаторов тока. Классы точности 1,0; 1,5. Термоэлектрические приборы имеют малую перегрузочную способность. Это является их недостатком.

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного однофазного тока чаще всего производится электродинамическими и ферродинамическими *ваттметрами* (§ 2.4). Электродинамические ваттметры выпускаются в виде переносных лабораторных многопредельных приборов. Их классы точности 0,1—0,5. Изменение пределов измерения достигается коммутацией секций токовой катушки и подключением различных добавочных резисторов.

Частотный диапазон электродинамических ваттметров ограничен сверху частотами порядка нескольких килогерц. С повышением частоты индуктивное сопротивление катушек начинает вносить заметный вклад в погрешность прибора.

Ферродинамические ваттметры обычно служат щитовыми приборами классов точности 1,5 и 2,5. Их частотный диапазон несколько уже, чем у электродинамических ваттметров, из-за погрешностей, обусловленных потерями в магнитных сердечниках.

Направление отклонения стрелки зависит от направления тока в обмотках ваттметров, поэтому их зажимы имеют специальную маркировку, обеспечивающую правильное подключение прибора. Зажимы, обозначенные знаком * (звездочкой), соединяются с проводами, идущими от источника тока. Зажимы, не имеющие этого обозначения, подключаются к нагрузке.

Мощность постоянного тока измеряется также косвенно — при помощи амперметра и вольтметра, показания которых перемножаются в соответствии с формулой $P = IU$. Возможны две схемы включения приборов (рис. 2.50, а, б). При измерениях следует учитывать методическую погрешность, зависящую от сопротивления вольтметра (в схеме, представленной на рис. 2.50, а) или амперметра (в схеме, представленной на рис. 2.50, б). Действительно, в первом случае амперметр показывает не ток нагрузки, а сумму токов нагрузки и вольтметра, а во втором — показания вольтметра равны не падению напряжения на нагрузке, а сумме падений напряжения на нагрузке и амперметре. Следовательно, в обоих случаях мощность, вычисленная на основании показаний амперметра и вольтметра, будет завышена. Первая схема обеспечивает малую погрешность, если $R_H \ll R_V$, вторая — если $R_H \gg R_A$, где R_V и R_A — внутреннее сопротивление вольтметра и амперметра соответственно.

Мощность переменного однофазного тока на повышенных частотах можно измерять выпрямительными ваттметрами, использующими нелинейность вольт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводниковых диодов для перемножения мгновенных значений тока и напряжения, или термоэлектрическими, которые содержат термопреобразователи, напряжение на выходе которых также является нелинейной функцией токов, протекающих через их подогреватели. Выпрямительными и термоэлектрическими ваттметрами можно измерять мощность в диапазоне частот до 100 кГц и 1 МГц соответственно. Погрешности измерения этих приборов сравнительно велики (несколько процентов). Для измерения мощности на повышенных частотах (до нескольких гигагерц) применяются также ваттметры на основе эффекта Холла.

В трехфазных цепях для измерения как активной, так и реактивной мощности обычно используются двух- и трехэлементные ферродинамические ваттметры. Двухэлементные включаются в трехпроводные цепи, а трехэлементные - в четырехпроводные. Вид измеряемой мощности (активная или реактивная) зависит от схемы включения ваттметра.

Измерение

частоты в электро- и радиотехнике производится в диапазоне от 0 до 10^{11} Гц. На низких частотах (от 20 до 2500 Гц, но особенно в окрестности 50 и 400 Гц) используются электромеханические приборы: резонансные электромагнитные частотомеры (§ 2.6) и частотомеры на основе электромагнитных и электродинамических (ферродинамических) логометров. Их схемы приведены на рис. 2.51. Принцип работы логометрических частотомеров основан на зависимости разности вращающих моментов, действующих на скрепленные между собой подвижные катушки I и 2 с токами I_1 и I_2 , как от частоты, так и от положения катушек. Основная погрешность электромеханических аналоговых частотомеров составляет 1—2,5%. Они имеют узкие диапазоны измерения и используются в качестве щитовых приборов.

В лабораторных условиях нередко для измерения частоты используют осциллографы. Это оправдано, если к точности измерения не предъявляется жестких требований. Получение фигур Лиссажу, использование круговой развертки с модуляцией яркости, определение частоты исходя из измеренного значения периода напряжения — наиболее распространенные способы осциллографических измерений частоты.

Измерение угла сдвига фаз. Методы измерения угла сдвига между двумя гармоническими напряжениями зависят от частотного диапазона и требуемой точности измерения. На низких частотах наиболее употребительны электромеханические фазометры, построенные на основе электродинамических и ферродинамических логометров. Однако их показания довольно значительно зависят от частоты, поэтому такие фазометры используются в основном на промышленных частотах 50—400 Гц и имеют классы точности 0,5-2,5.

Электронные аналоговые фазометры используют принцип преобразования фазового сдвига во временной интервал. Структурная схема такого частотомера приведена на рис. 2.53, а. Напряжения u_1 и u_2 , угол сдвига фаз между которыми требуется измерить, после усиления, ограничения, дифференцирования и детектирования преобразуются в короткие импульсы $и_1'$ и $и_2'$, управляющие триггером. Напряжение с выхода

триггера подается на цепочку, состоящую из резистора и магнитоэлектрического прибора $РА$. Показания индикатора $РА$ пропорциональны среднему значению тока, протекающего через прибор. Но $I_{ср} = I_m \phi_x / 2 \Pi$, т.е. показания прибора пропорциональны углу сдвига фаз. На рис. 2.53, б приведены временные диаграммы, иллюстрирующие принцип работы электронного фазометра. Электронные аналоговые фазометры работают в диапазоне частот от десятков герц до единиц мегагерц. Их относительная погрешность составляет 1—2%.

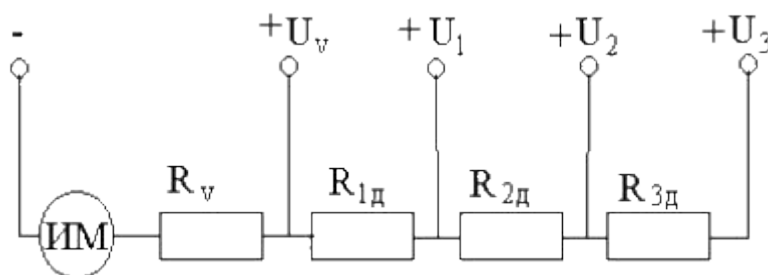
В лабораторных условиях для измерения угла сдвига фаз можно использовать осциллограф. Метод линейной развертки применяется, если осциллограф двухлучевой. В этом случае на экране получают изображение двух кривых напряжений $и_1$ и $и_2$ взаимное расположение которых несет искомую

информацию. Метод эллипса основан на том факте, что при подаче двух синусоидальных напряжений на вертикально и горизонтально отклоняющие пластины на экране наблюдается эллипс, форма и наклон которого зависят от угла сдвига фаз. Погрешность измерения этими методами довольно велика - 5—10%.

Цифровые фазометры строятся на основе аналого-цифрового преобразования фазового сдвига в интервал времени, т.е. используют время-импульсные АЦП. Они работают в широком диапазоне частот (например, фазометр Ф2-4 от 20 Гц до 10 МГц, Ф5126 от 1 до 150 МГц), имеют высокое входное сопротивление (до 1 МОм), могут работать с напряжениями от нескольких милливольт до сотен вольт. Абсолютная погрешность измерений составляет доли градусов.

Измерение напряжения

При данном виде измерений применяют схему с дополнительным резистором..



Осуществляется в диапазоне частот 0-10⁶ Гц (при более высоких частотах напряжение перестает быть информативным параметром). Напряжение постоянного тока от долей милливольт до сотен вольт часто измеряют магнитоэлектрическими вольтметрами (класс точности до 0,05). Основной недостаток – низкое входное сопротивление, определяемое величиной добавочного сопротивления (десятки кОм).

От этого недостатка свободны электронные аналоговые вольтметры. Их входное сопротивление составляет сотни кОм. Ими можно измерять сопротивления от единиц мкВ до нескольких кВ. Основные источники погрешностей здесь: нестабильность элементов и собственные шумы электронных схем. Класс точности таких приборов – до 1,5. И магнитоэлектрическим и электронным вольтметрам присуща температурная погрешность, а также механические погрешности измерительного механизма и погрешности шкалы.

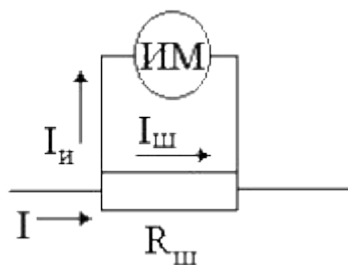
Точные измерения напряжения постоянного тока производятся при помощи компенсаторов постоянного тока (см. тему "Метод замещения" в разделе "Методы измерений"). Точность измерения при этом достигает 0,0005 %.

Среднеквадратическое (действующее) значение переменного тока измеряется электромагнитными (до 1-2 кГц), электродинамическими (до 2-3 кГц), ферродинамическими (до 1-2 кГц), электростатическими (до 10 МГц) и термоэлектрическими (до 100 МГц) приборами. Отличие формы измеряемого напряжения от синусоидальной иногда может приводить к большим погрешностям.

Наиболее удобными в эксплуатации приборами являются цифровые вольтметры. Они могут измерять как постоянные, так и переменные напряжения. Класс точности – до 0,001, диапазон – от единиц микровольт до нескольких киловольт. Современные микропроцессорные ЦВ снабжены клавиатурой и часто позволяют производить измерения не только напряжения, но и тока, сопротивления и т. д., т. е. являются многофункциональными измерительными приборами – тестерами (мультиметрами или авометрами).

Измерение тока

При данном виде измерений применяют схему с шунтированием.



В остальном, все сказанное применительно к измерению напряжения, справедливо и для измерений тока.

Измерение электрической мощности

Осуществляется в цепях постоянного и переменного тока при помощи электродинамических и ферродинамических ваттметров. Изменение пределов достигается коммутацией секций токовой катушки и подключением различных добавочных резисторов. Частотный диапазон: от 0 до 2-3 кГц. Класс точности: 0,1-0,5 для электродинамических и 1,5–2,5 для ферромагнитных.

Мощность также может измеряться косвенно, при помощи амперметра и вольтметра с последующим перемножением результатов. На этом же принципе основано действие цифровых ваттметров.

Существуют модификации ваттметров для измерения мощности в трехфазных цепях.

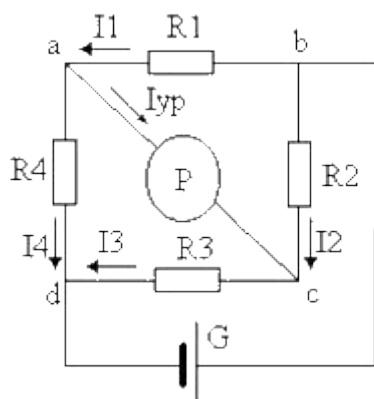
Измерение электрической энергии

Осуществляется в основном индукционными измерительными приборами. В последние годы широкое распространение получили цифровые счетчики энергии, основанные на принципе амперметра-вольтметра с последующим интегрированием результата перемножения по времени.

Измерение параметров электрических цепей

Измерительные мосты

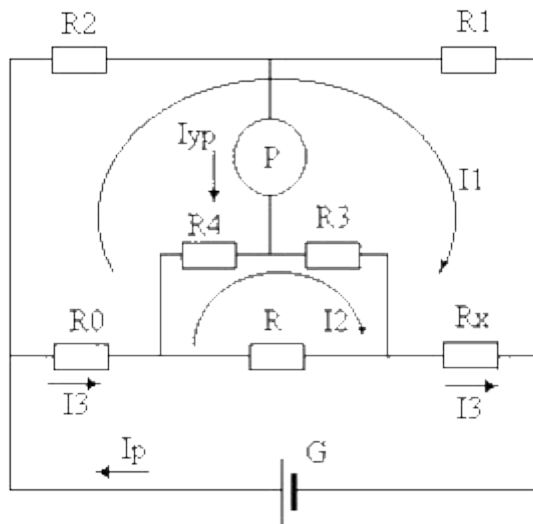
Одинарные мосты постоянного тока предназначены для измерения сопротивлений величиной от 10 Ом и более. Схема одинарного моста приведена на рисунке:



Диагональ, обозначенная на рисунке bd- называется диагональю питания. В нее включен источник питания (батарея) G. Диагональ ac называется измерительной диагональю. В нее включен указатель равновесия (гальванометр) P. Условия равновесия моста: $R_1 R_3 = R_2 R_4$. В качестве практического примера приведены параметры моста P-369.

Диапазон измеряемых сопротивлений: $10^{-4} \dots 1.1111 \cdot 10^6$ Ом. Класс точности в диапазоне до 10^3 Ом - 1 и при измерении сопротивлений от 1 до 10^3 Ом класс точности - 0.005.

Для точных измерений сопротивлений малой величины применяют двойные мосты постоянного тока. Схема двойного моста представлена на рисунке:



В процессе измерения измеряемое сопротивление R_x сравнивается с образцовым сопротивлением R_0 . Сопротивление неизвестного резистора в случае равновесия моста можно выразить следующим образом:

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} = R_0 \frac{R_3}{R_4};$$

Двойные мосты позволяют измерять сопротивления в диапазоне $10^{-4} \dots 1.1111 \cdot 10^6$ Ом.

Мосты переменного тока применяются для измерения, как активных, так и реактивных сопротивлений (емкостных и индуктивных). В качестве элементов моста в этом случае могут использоваться реактивные элементы – емкости и индуктивности. Уравнения равновесия записываются по аналогии с мостами постоянного тока.

В последние годы для измерений параметров электрических цепей часто применяют автоматические мосты и компенсаторы, в которых процесс уравнивания моста происходит автоматически (при помощи реверсивного двигателя или электронной схемы). Особенно актуально применение автоматических мостов в высокоточных цифровых измерительных устройствах

Измерение сопротивлений

Сопротивление постоянному току измеряется как приборами непосредственной оценки – омметрами, так и мостами. Омметры чаще всего выполняют на основе магнитоэлектрического механизма. Диапазон измерений омметров: от десятитысячных долей ома до сотен мегом. Погрешность измерения омметров обычно от 1 до нескольких процентов, но резко возрастает на краях шкалы. Широкое распространение в последнее время получили цифровые многопредельные омметры, чаще всего входящие в состав универсальных цифровых измерительных приборов. Наиболее точно сопротивление можно измерить при помощи мостов постоянного тока.

Измерение емкости и индуктивности

Производится в основном при помощи мостов переменного тока с частотами питания 100-1000 Гц. Чаще всего мосты для измерения сопротивления, емкости и индуктивности совмещаются в одном приборе – универсальном измерительном мосте. Такие приборы могут измерять индуктивность от долей микрогенри до тысяч генри, емкость – от сотых долей пикофарад до тысяч микрофарад. Погрешность универсальных мостов обычно не превышает сотых долей процента.

Измерительные трансформаторы напряжения и тока

Содержание:

1. [Назначение и виды измерительных трансформаторов](#)
2. [Типы \(виды\) измерительных трансформаторов и их маркировка](#)
3. [Устройство и принцип действия измерительных трансформаторов](#)
4. [Основные характеристики паспортные данные](#)
5. [Особенности эксплуатации измерительных трансформаторов](#)
6. [Схемы подключения измерительных трансформаторов](#)
7. [Выбор ИТ для подключения счётчиков и измерительных приборов](#)
8. [Требования к вторичным цепям измерительных трансформаторов](#)

1. Назначение и виды измерительных трансформаторов

Измерительный трансформатор — это [трансформатор](#) предназначенный для расширения диапазона измерений измерительных приборов (амперметров, вольтметров, ваттметров и т.д.).

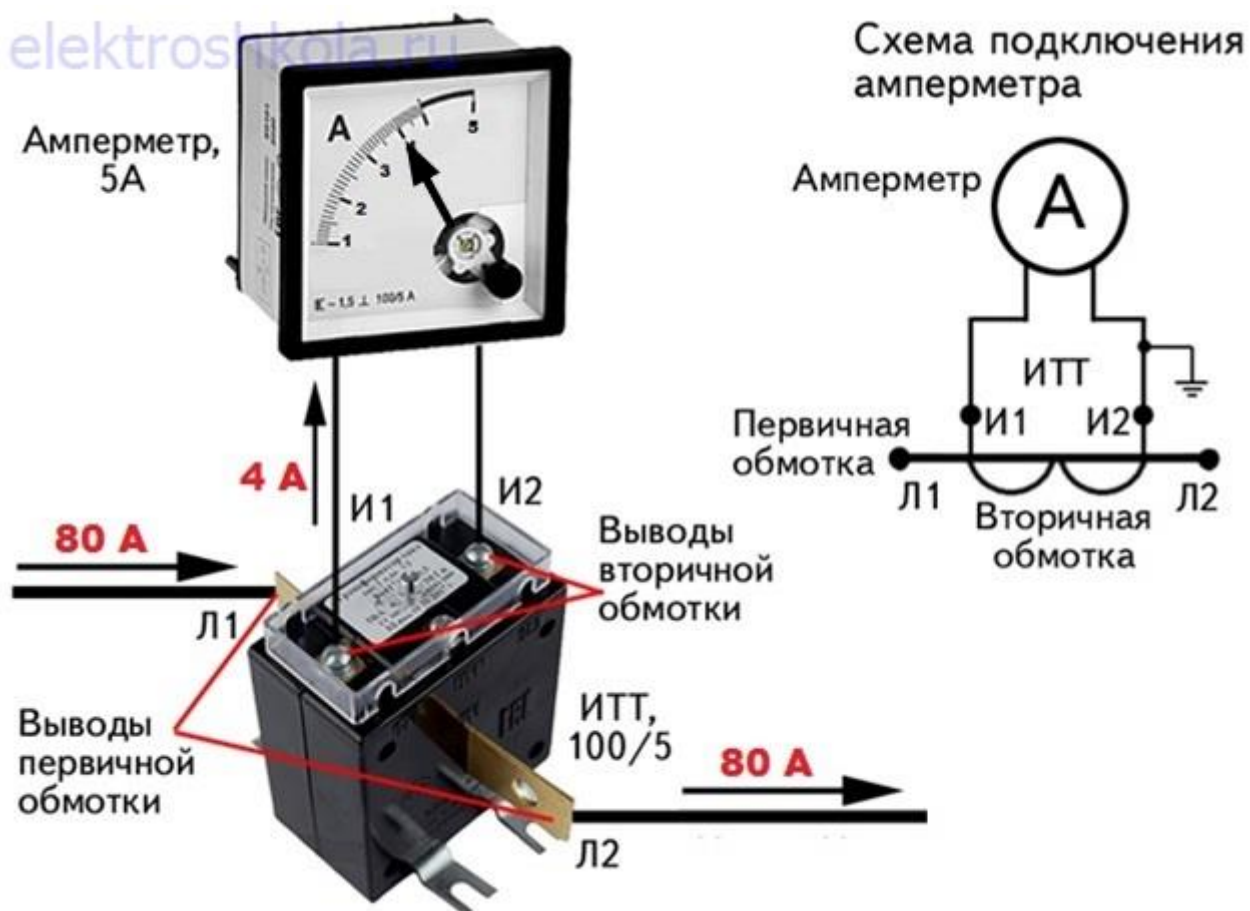
Для измерения больших напряжений (выше 1000 Вольт) и токов (более 100 Ампер) нецелесообразно строить приборы на измерение таких больших величин. Это и экономически невыгодно, и приборы в этом случае будут слишком громоздкими. Не говоря про опасность непосредственной работы с такими большими значениями напряжения и тока.

Поэтому, как правило, при напряжениях свыше 1000 Вольт и токах более 100 Ампер перед измерительными приборами ставят соответствующие трансформаторы, чтобы уменьшить контролируемые электрические параметры до величин удобных для измерения: **измерительные трансформаторы напряжения (далее — ИТН)** — для измерения напряжений, **измерительные трансформаторы тока (далее — ИТТ)** — для измерения токов.

При использовании измерительных трансформаторов (далее — ИТ) измерительный прибор подключается к сети не напрямую, а опосредованно (косвенно) через ИТ который снижает (как правило, в десятки раз) измеряемый параметр до значения допустимого для измерительного прибора.

Таким образом, что бы считать показания с прибора подключенного через ИТ необходимо знать во сколько раз ИТ снизил измеряемый параметр, а что бы это узнать необходимо знать так называемый **коэффициент трансформации ИТ** — отношение входного (первичного) тока или напряжения к выходному (вторичному), этот параметр для ИТ является основным и указывается на их корпусах и в паспортах

Зная коэффициент трансформации ИТ достаточно просто умножить на него показания измерительного прибора для точного определения измеряемого параметра сети. Для наглядности разберем следующий пример:



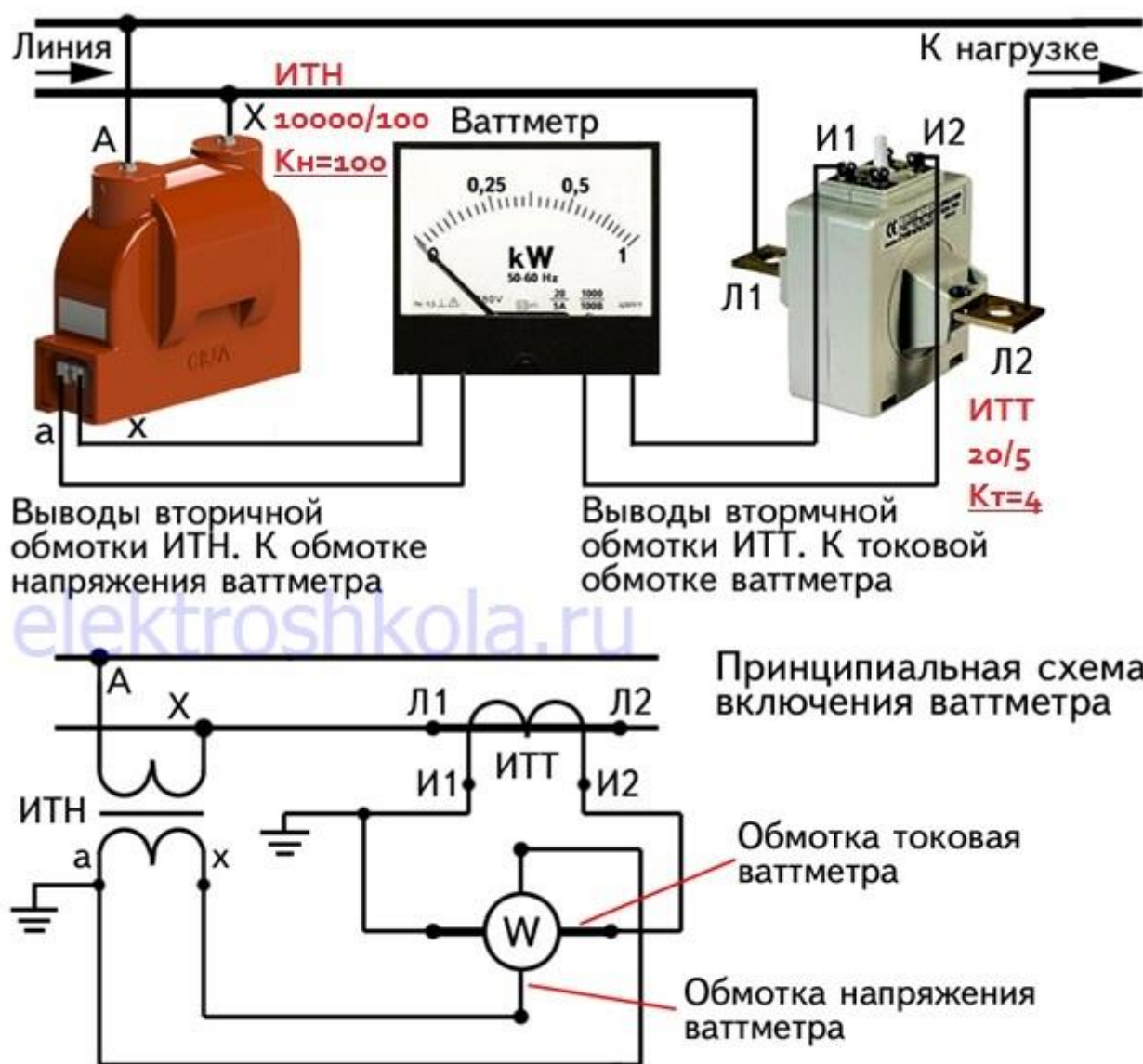
Имеется сеть в которой протекает ток до 80 Ампер и нам необходимо постоянно контролировать в ней величину тока, при этом имеющийся амперметр имеет номинальный ток 5 Ампер, соответственно подключить его в сеть с током 80 Ампер невозможно. Здесь нам и поможет ИТТ, его номинальный ток конечно должен быть больше либо равен максимальному току сети возьмем ИТТ 100/5, где 100 — номинальный ток первичной обмотки, а 5 — номинальный ток вторичной обмотки, таким образом его коэффициент трансформации составит $K_t = 100/5 = 20$.

Соответственно, чтобы в нашем случае определить какой ток протекает в сети необходимо показания амперметра умножить на коэффициент трансформации ИТТ через который он подключен (в нашем случае $K_t = 20$), таким образом если амперметр показывает нам 4 Ампера, значит ток в сети составляет 80 Ампер (4×20), если показания 1,5 Ампера — значит 30 Ампер ($1,5 \times 20$) и т.д.

Аналогично может измеряться и напряжение с помощью измерительного трансформатора напряжения и вольтметра.

Некоторые приборы, такие как ваттметры и счётчики электрической энергии устанавливаемые в электроустановках напряжением выше 1000 Вольт подключаются к электрической сети через ИТТ совместно с ИТН.

Для примера ниже приведена схема включения ваттметра в сеть высокого напряжения через ИТН и ИТТ (схемы подключения счетчиков аналогичны схеме подключения ваттметров, подробнее читайте статью: [Подключение счетчика через трансформаторы](#))



$$\underline{K_{\text{общ}} = K_n \times K_t = 100 \times 4 = 400}$$

Что бы определить мощность в контролируемой сети необходимо показания ваттметра умножить на общий коэффициент трансформации который является произведением коэффициентов трансформации ИТН (K_n) и ИТТ (K_t), как видно из схемы в нашем случае общий коэффициент трансформации составляет 400.

Аналогичным образом определяется и расход электроэнергии по электросчетчикам подключенным через ИТ. При этом следует учитывать, что в некоторых случаях шкала измерительного прибора может быть отградуирована с учетом коэффициента трансформации ИТ, т.е. в них изначально заложен коэффициент трансформации ИТ через которые они должны подключаться, а в

некоторых электронных измерительных приборах, например электронных счетчиках, коэффициент трансформации можно устанавливать в настройках, такие приборы показывают измеряемую величину уже с учетом коэффициента трансформации, соответственно никаких дополнительных действий по ее пересчету выполнять не требуется.

2. Типы (виды) измерительных трансформаторов и их маркировка

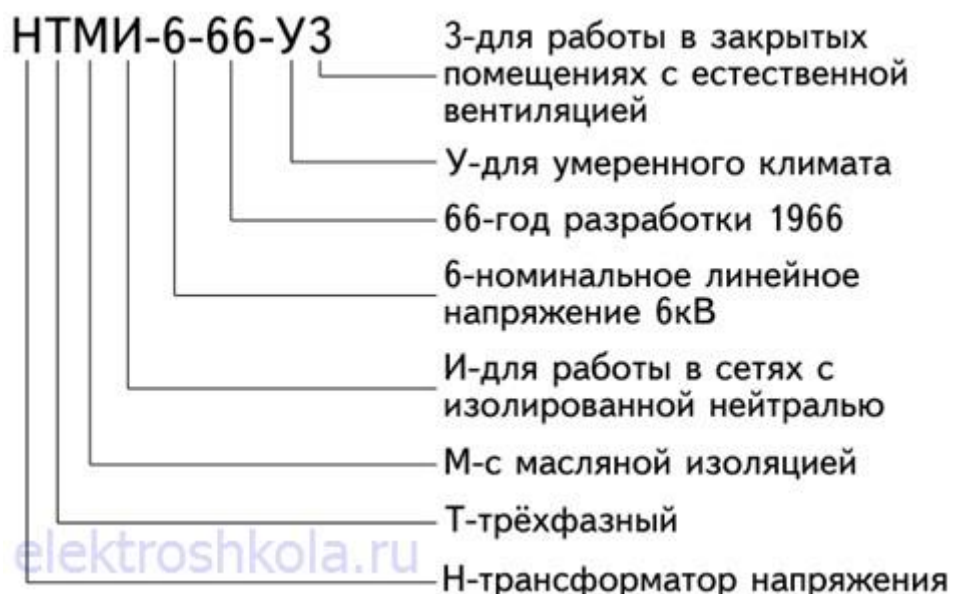
Как уже было сказано выше ИТ бывают двух видов измерительные трансформаторы тока и измерительные трансформаторы напряжения, которые в зависимости от места и способа установки и других особенностей могут иметь различные типы исполнения.

Измерительные трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения подразделяются по следующим основным типам:

- a. **По конструктивному исполнению:** О — однофазные, Т — трехфазные, З — защищенные, В — водозащищенные, А — антирезонансные, П — со встроенным предохранителем, Г — герметичные, З — заземляемые, ДЕ — с емкостным делителем;
- b. **По способу охлаждения:** воздушного охлаждения, масляного охлаждения;
- c. **По виду изоляции:** Л — литая, С — воздушно-бумажная, К — компаунд битумный, Ф — фарфоровая покрывка, М — масляная, Г — газовая, П — полимерная;
- d. **По количеству обмоток:** двухобмоточные, трёхобмоточные;
- e. **По классу точности:** по допустимым значениям погрешностей;
- f. **По числу ступеней трансформации:** одноступенчатые, многоступенчатые (каскадные).

Маркировка ИТН выглядит следующим образом:



Буквы после чисел – климатическое исполнение: У — климат умеренный; цифра 3 — для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией.

Для работы на открытом воздухе нужно использовать аппараты с цифрой 1 после букв У или ХП – холодное помещение, а в помещениях со свободным доступом наружного воздуха — с цифрой 2.

Примеры некоторых типов ИТН:



Трёхфазный типа НТМИ
масляное охлаждение с
естественной циркуляцией
масла и воздуха



Двухполюсный незаземляемый
типа НИОЛ-СТ с литой изоляцией
воздушным охлаждением



Высоковольтный типа НИОЛ
заземляемый литой корпус со
встроенным предохранителем



Трёхфазная антирезонансная
группа типа ЗНОЛ литой
корпус с предохранителями



Однофазный заземляемый
типа НИОЛ-СТ с литым
корпусом встроенным
предохранителем



Однофазный типа ЗНОЛП
с литой изоляцией со
встроенным предохранителем



Заземляемый в виде опорной
конструкции типа ЗНОЛ-НТЗ
в литом корпусе



Однофазный с масляной
изоляцией типа ЗНОМ с
естественным охлаждением



Однофазный опорный с
литой изоляцией типа НОЛ

Измерительные трансформаторы тока

По конструктивному исполнению и применяемой изоляции трансформаторы тока бывают следующих типов:

- a. **По конструктивному исполнению:** О — опорные, П — проходные, Ш — шинные, В — встроенные, Р — разъёмные, электроизмерительные клещи;
- b. **По виду изоляции:** Л — литая изоляция, Ф — фарфоровая крышка, М — маслонаполненные, Г — газонаполненные, Т — твердая изоляция (кроме фарфоровой и литой), П — в пластмассовом корпусе (полимерном), бескорпусные;
- c. **По количеству вторичных обмоток:** с одной вторичной обмоткой, с несколькими вторичными обмотками;
- d. **По назначению вторичных обмоток:** для измерения, для учёта, для защиты, для измерения и защиты;
- e. **По числу коэффициентов трансформации:** с одним коэффициентом трансформации, с несколькими коэффициентами трансформации;
- f. **По числу ступеней трансформации:** одноступенчатые, многоступенчатые (каскадные).

Маркировка ИТТ имеет следующий вид:



Зачастую в маркировке после класса точности можно увидеть букву «S», например: ТОП- 0,66-1-5-**0,5S** 300/5, как можно увидеть данный трансформатор имеет класс точности 0,5S, 0,5 обозначает, что погрешность данного трансформатора составляет всего пол процента, но это номинальная погрешность, фактически погрешность может быть больше в зависимости от нагрузки на ИТ, например если проходящий ток через ИТТ слишком мал, то его погрешность будет больше 0,5, что конечно же не очень хорошо, буква S в маркировке ИТТ обозначает, что он входит в свой номинальный класс точности при меньших нагрузках в сравнении с обычными ИТТ.

На рисунке ниже представлены некоторые типы трансформаторов тока:



Опорный. Для установки на опорной плоскости. С литой эпоксидной изоляцией



Проходной. Используется в качестве ввода, как проходной изолятор



Шинный. Первичной обмоткой служит одна или несколько параллельно включённых шин РУ



Встраиваемый. Встроены в полости электрических аппаратов и машин. Первичной обмоткой является ввод устройства



Разъёмный. Без первичной обмотки, магнитная цепь которого может размыкаться и замыкаться вокруг проводника с током



Одноступенчатый. Имеет одну первичную и одну вторичную обмотки. Один неизменяемый коэффициент трансформации



Газонаполненный. Изоляция инертным газом (элегазом)



С фарфоровой покрывкой. Фарфоровая изоляция токонесущих частей



Маслонаполненный. Изоляция масляным наполнителем

Каскадный. С несколькими последовательными ступенями трансформации тока. Может иметь несколько коэффициентов трансформации



В пластмассовом корпусе (полимерном). Корпус из высокопрочной пластмассы



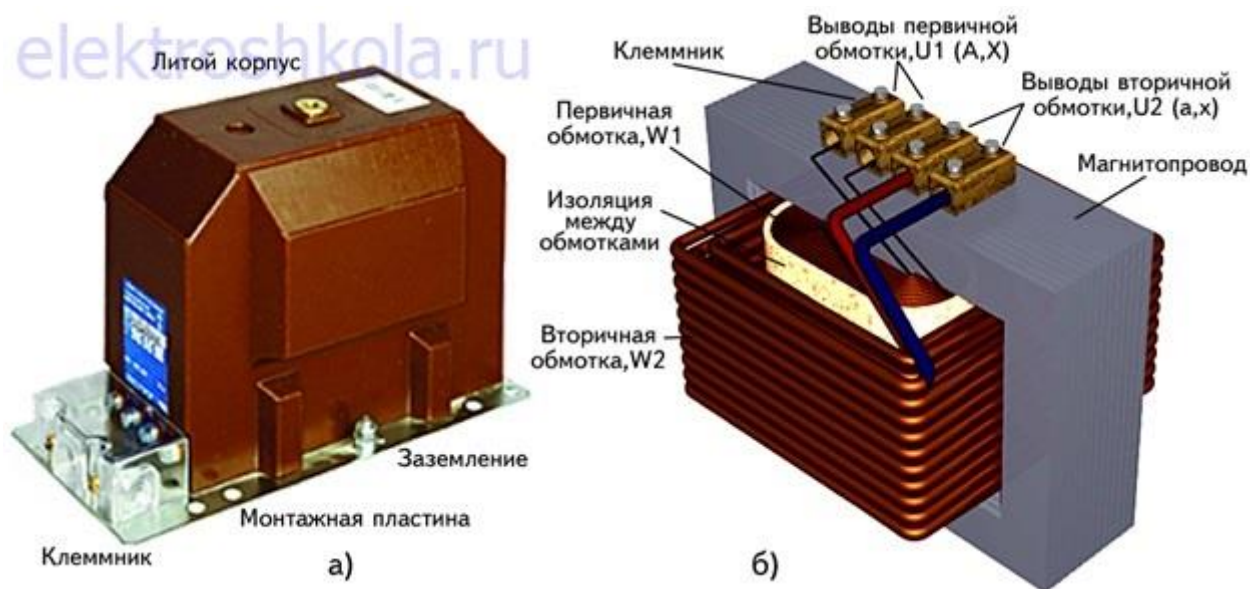
Электроизмерительные клещи. Переносный разъёмный ТТ с измерительным прибором в единой конструкции

3. Устройство и принцип действия измерительных трансформаторов

Принцип действия измерительных трансформаторов, как и других трансформаторов основан на [законе электромагнитной индукции](#)

Устройство измерительных трансформаторов напряжения

ИТН по устройству принципу действия подобны обычным силовым трансформаторам. Они так же содержат две обмотки из медного изолированного провода, хотя их может быть и больше, расположенных на общем замкнутом магнитопроводе изготовленном из электротехнической листовой стали. Изоляция трансформатора напряжения представляет собой заливку эпоксидным компаундом, что создает монолитный блок с высокой степенью электрической прочности.



Устройство измерительного трансформатора тока

Самый простой распространенный трансформатор тока — двухобмоточный. Он имеет одну первичную обмотку с числом витков $W1$ и одну вторичную обмотку с числом витков $W2$. Обмотки находятся на общем магнитопроводе, благодаря которому между ними существует электромагнитная (индуктивная) связь. Вторичных обмоток может быть измерительная, другая — может использоваться в цепях защиты. Первичная обмотка в этом случае является общей для всех вторичных обмоток. Часто трансформаторы тока изготавливаются с двумя и более сердечниками, на которых размещаются обмотки, их называют кернами.

Первичная обмотка $W1$ может быть выполнена в виде катушки, намотанной на сердечник и содержать 1-3 витка провода большого сечения, рассчитанного на высокие измеряемые токи $I1$. Так же она может быть в виде шины встроенной в магнитопровод. В других конструкциях вообще не предусмотрена встроенная первичная обмотка — в них роль первичной обмотки выполняет шина (токопровод) распределительного устройства поверх которой закрепляется ИТТ. Вторичная обмотка $W2$ может иметь до нескольких сотен витков, благодаря чему ток во вторичной цепи $I2$ во много раз меньше тока первичной цепи: $I2 = I1 \cdot W1 / W2$



4. Основные характеристики и паспортные данные ИТ

К основным характеристикам измерительных трансформаторов напряжения относятся:

1) Номинальное первичное напряжение $U_{1ном}$, кВ:

Напряжение, приложенное к первичной обмотке ТН и подлежащее трансформации. Значения напряжения указываются в документации на трансформаторы конкретных типов, а так же выбираются из таблиц.

2) Номинальное вторичное напряжение $U_{2ном}$, В:

Напряжение, возникающее на зажимах вторичной обмотки ТН при приложении напряжения к его первичной обмотке.

Номинальные напряжения **основных вторичных обмоток**:

- для однофазных трансформаторов, включаемых на напряжение между фазами, а так же трёхфазных ТН-100В;
- для однофазных трансформаторов, включаемых на напряжение между фазой и землей - $100/\sqrt{3}$

Номинальные напряжения **дополнительных вторичных обмоток**:

- для однофазных трансформаторов, работающих в сетях с заземлённой нейтралью-100В;
- для однофазных трансформаторов, работающих в сетях с изолированной нейтралью — $100/3В$.

3) Номинальный коэффициент трансформации K_n ном.:

Отношение действующего значения номинального первичного напряжения к действующему значению номинального вторичного напряжения: $K_{ном} = U_{1ном}/U_{2ном}$.

4) Класс точности ТН:

Класс точности любого измерительного прибора представляет собой отклонение реальной величины от номинального значения. Класс точности для измерения, выбирается из ряда: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0, для защиты — 3Р; 6Р.

5) Номинальная мощность $S, В \cdot А$:

Значение полной мощности, указанное в паспорте ТН, которую он отдаёт во вторичную цепь при номинальном вторичном напряжении с обеспечением соответствующего класса точности.

6) Предельная мощность $S, В \cdot А$:

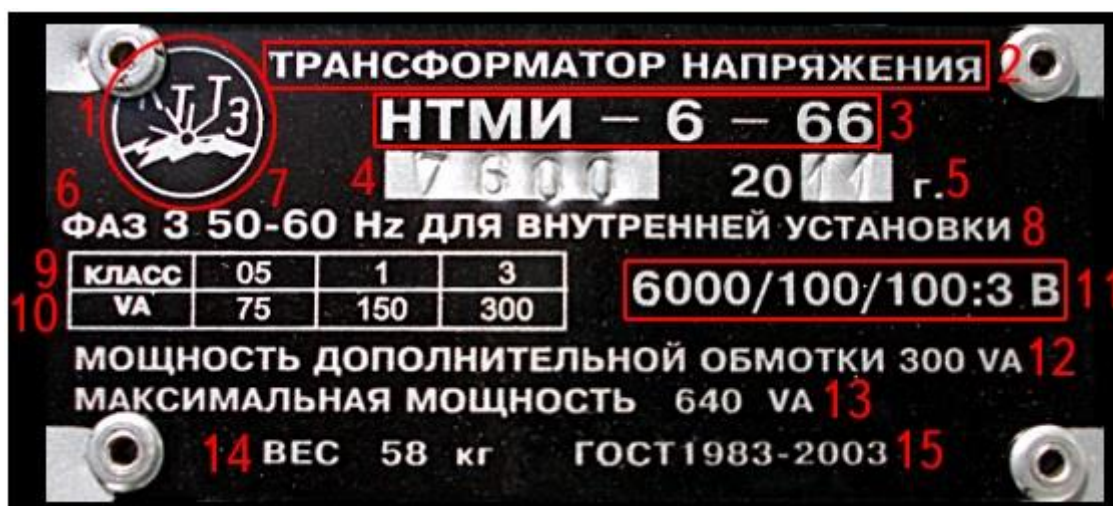
Кажущаяся мощность, которую трансформатор напряжения длительно отдаёт при номинальном первичном напряжении, вне класса точности, и при которой нагрев всех его частей не выходит за пределы, допустимые для класса нагревостойкости данного трансформатора.

7) Номинальная частота питающей сети $f_{ном}$, Гц:

Номинальная частота напряжения питающей сети должна быть 50 или 60 Гц (в отечественных электрических сетях она составляет 50 Гц).

Эти паспортные данные наносятся на специальную металлическую пластину, которая закрепляется на видном месте корпуса прибора и называется табличкой или шильдиком.

Измерительные трансформаторы напряжения по техническим характеристикам должны соответствовать ГОСТ 1983-2015.



1. товарный знак предприятия-изготовителя;
2. наименование «трансформатор напряжения»;
3. тип трансформатора;
4. порядковый номер по системе нумерации предприятия-изготовителя;
5. год выпуска;
6. количество фаз;
7. номинальная частота, Гц;
8. категория размещения (в данном случае для внутренней установки — У3);
9. классы точности;
10. соответствующие классам точности номинальные мощности, В·А;
11. номинальное напряжение первичной обмотки и номинальные напряжения каждой из вторичных обмоток, В;
12. мощность дополнительной обмотки, В·А;
13. предельная мощность, В·А;
14. полная масса трансформатора, кг;
15. дополнительная информация в соответствии с документацией на трансформаторы конкретных типов.

К основным характеристикам измерительных трансформаторов тока относятся:

1) Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ:

Выбирается из стандартного ряда напряжений: 0,66; 3; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750. Кроме встроенных трансформаторов.

2) Номинальный первичный ток $I_{1ном}$, А:

Ток, протекающий в первичной обмотке ТТ и подлежащий трансформации. Может находиться в пределах от 1А до 40кА.

3) Номинальный вторичный ток $I_{2ном}$, А:

Ток, протекающий во вторичной обмотке трансформатора тока. Обычно это 5А, но может быть 2А и 1А. Причём ток 1А допускается только для трансформаторов тока с номинальным первичным током до 4000А. А так же при больших измерительных расстояниях, чтобы снизить номинальную нагрузку. По заказу допускается изготовление трансформаторов тока с номинальным вторичным током 2 или 2,5А.

4) Номинальный коэффициент трансформации $K_{ном}$:

Отношение действующего значения номинального первичного тока к действующему значению номинального вторичного тока в режиме холостого хода. Определяется по формуле: $K_{ном} = I_{1ном} / I_{2ном}$.

5) Номинальная вторичная нагрузка $S_{2ном}$, В·А:

Значение вторичной нагрузки, указанное на паспортной табличке ТТ, при котором гарантируется класс точности. Определяется характером нагрузки с коэффициентом мощности $\cos\varphi$.

6) Класс точности:

Обобщённая характеристика ТТ, определяемая установленными пределами допускаемых погрешностей при заданных условиях работы.

Для трансформаторов тока существуют следующие классы точности: 0,1; 0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 1,0; 3,0; 5P; 10P.

7) Номинальная частота питающей сети $f_{ном}$, Гц:

Номинальное значение частоты напряжения сети, для работы в которой предназначен ТТ, должна быть 50 или 60 Гц.

Так же как и трансформаторы напряжения, каждый трансформатор тока должен иметь табличку (шильдик), на которой указаны технические характеристики ТТ.

Измерительные трансформаторы тока по техническим характеристикам должны соответствовать ГОСТ 7746-2015.

Рассмотрим условные обозначения на такой табличке:



1. товарный знак предприятия-изготовителя;
2. наименование «трансформатор тока»;
3. тип трансформатора и климатическое исполнение;
4. порядковый номер по системе нумерации предприятия-изготовителя;
5. номинальное напряжение, кВ (кроме встроенных трансформаторов);
6. номинальный коэффициент трансформации обмоток;
7. номинальная частота, Гц;
8. номера вторичных обмоток;
9. номинальная вторичная нагрузка, В·А;
10. класс точности для вторичных обмоток;
11. год выпуска;
12. масса трансформатора;
13. обозначение документа на трансформатор конкретного типа.

5. Особенности эксплуатации измерительных трансформаторов

Трансформаторы тока

Особенность эксплуатации ИТТ заключается в необходимости замыкания вторичной обмотки через измерительные приборы и реле или шунты (замыкания накоротко) — в случае если измерительные приборы отсутствуют. То есть **ИТТ всегда должен работать в режиме короткого замыкания**.

Большую опасность представляет обрыв вторичной обмотки. В этом случае в магнитопроводе создаётся очень большой магнитный поток, который не будет уравниваться размагничивающим действием вторичной обмотки. Это приводит к тому, что во вторичной, разомкнутой, обмотке может наводиться напряжение в десятки тысяч вольт, опасное для изоляции приборов и обслуживающего персонала. Поэтому, вторичная обмотка ИТТ всегда должна быть заземлена и замкнута накоротко через подключенный к ней измерительный прибор, а в случае необходимости его демонтажа (например с целью замены), должен устанавливаться шунт закорачивающий выводы вторичной обмотки ИТТ и снимается данный шунт только после установки и подключения измерительного прибора.

Трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения, в отличие от трансформаторов тока, работают в режиме, близком к холостому ходу, так как сопротивление параллельных катушек приборов и реле большое, а ток, потребляемый ими, невелик.

Для обеспечения нормальной работы, ИТН должен быть защищен от токов короткого замыкания со стороны нагрузки, поскольку они вызывают перегрев и повреждение изоляции обмоток, а также приводят к возникновению короткого замыкания в самом трансформаторе. С этой целью во всех незаземлённых проводах устанавливаются автоматические выключатели или предохранители. Защита первичной обмотки от повреждений выполняется при помощи предохранителей.

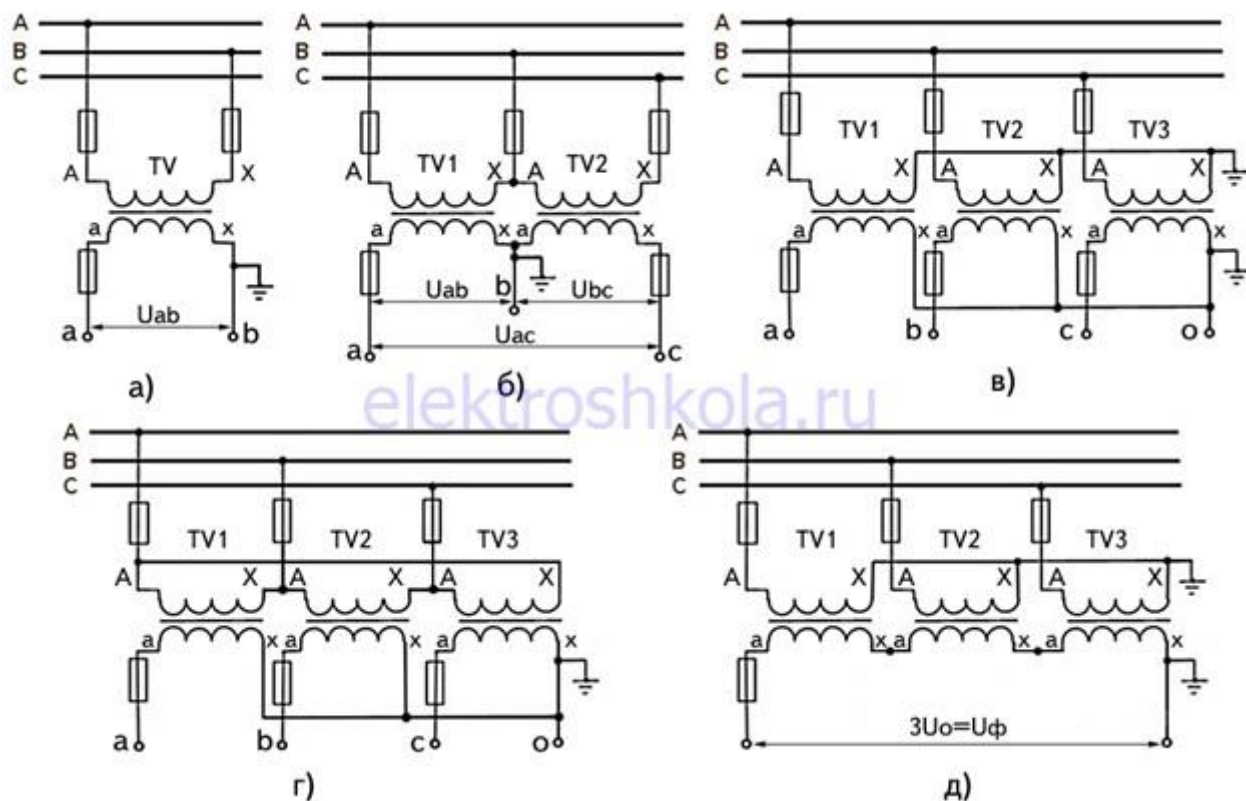
Подключая измерительные приборы и устройства защиты к ИТН, следует учитывать тот факт, что включение большого количества электроприборов приводит к повышению значения тока во вторичной обмотке и увеличению погрешности измерения.

ВАЖНО! Для обеспечения безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов и устройств релейной защиты, все вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока и напряжения должны иметь постоянное заземление.

6. Схемы подключения измерительных трансформаторов

Трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения выполняются в однофазном и трехфазном исполнении. В зависимости от требуемой информации они могут соединяться в различные схемы, как на рисунке ниже.



На рисунке «а» приведена схема включения одного трансформатора напряжения на междуфазное напряжение АВ. Эта схема применяется, когда для защиты или измерений нужно только одно междуфазное напряжение.

На рисунке «б» показана схема соединения двух ИТН в открытый треугольник или в неполную звезду. Эта схема применяется, когда для защиты или измерений нужно иметь два или три междуфазных напряжения.

На рисунке «в» приведена схема соединения трёх однофазных или одного трёхфазного ИТН в звезду. Эта схема используется, когда для защиты и измерений нужны фазные напряжения или же одновременно фазные и междуфазные напряжения.

а рисунке «г» схема соединения трёх ИТН в треугольник–звезда. В этом случае на вторичной стороне будет повышенное напряжение, равное $U_2 173V$. Схема может использоваться для питания электромагнитных корректоров напряжения для устройств автоматического регулирования.

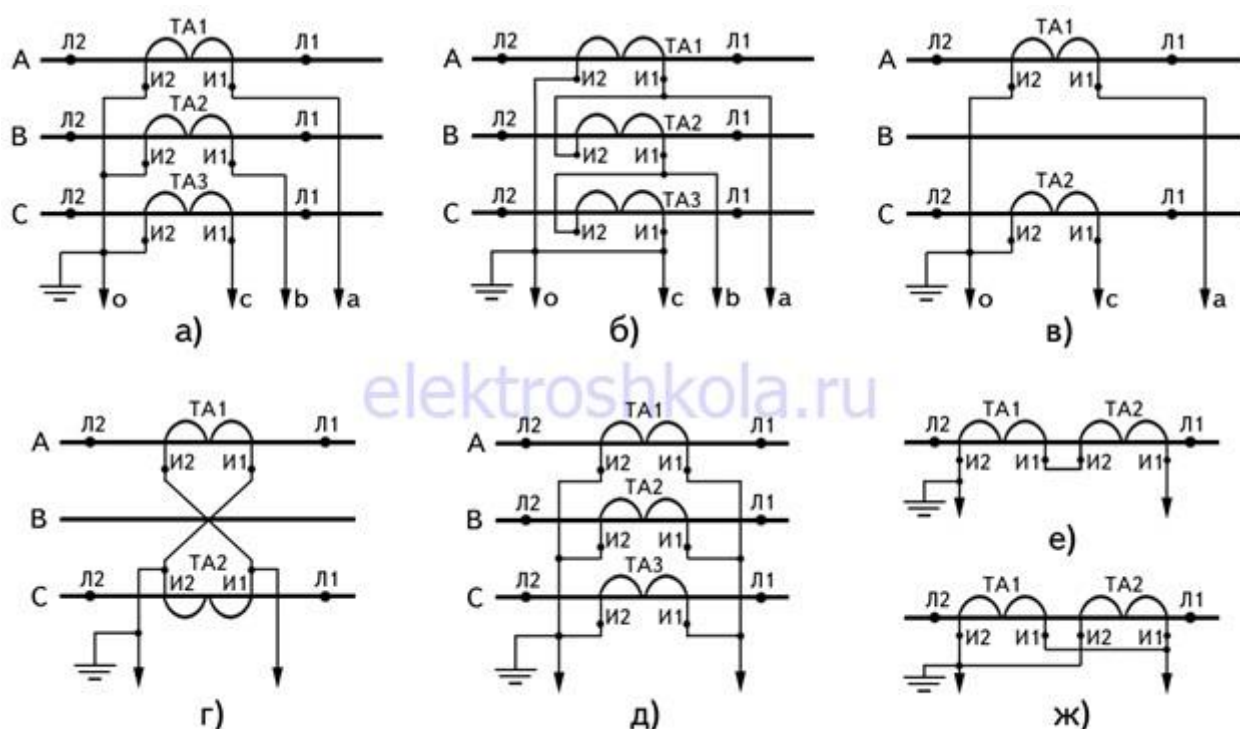
На рисунке «д» представлена схема соединения ИТН в схему разомкнутого треугольника – на сумму фазных напряжений. В этой схеме первичные обмотки соединяются в звезду, а вторичные соединяются последовательно, образуя разомкнутый треугольник. Такое соединение применяется для получения

напряжения нулевой последовательности ($3U_0$), необходимого для включения реле напряжения и реле мощности защиты от замыканий на землю.

Трансформаторы тока

Трансформаторы тока являются однофазными аппаратами и могут быть установлены в одну, две или три фазы измеряемой сети.

В трехфазной сети для подключения измерительных приборов и реле, вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются в различные схемы. Наиболее распространенные из них приведены ниже.



На рисунке «а» схема соединения в полную звезду, которая применяется при необходимости контроля тока во всех трех фазах электрической сети и для включения защиты от всех видов однофазных и междуфазных коротких замыканий.

На рисунке «б» схема соединения в треугольник, применяется для получения большей силы тока во вторичной цепи или сдвига по фазе вторичного тока относительно первичного на 30° или 330° . Так же она используется для получения разности фазных токов, например, для включения дифференциальной защиты трансформатора.

На рисунке «в» схема соединения в неполную звезду, используемая для включения защиты от междуфазных коротких замыканий в сетях с изолированной нейтралью.

На рисунке «г» схема соединения в неполный треугольник “восьмёрка”, которая используется для включения защиты от междупазных коротких замыканий. Ток равен разнице токов двух фаз, в которых установлены трансформаторы.

На рисунке «д» схема соединения на сумму токов трёх фаз (фильтр токов нулевой последовательности), используемая для включения защиты от коротких замыканий на землю.

На рисунке «е» схема последовательного соединения двух ИТТ, установленных на одной фазе. При таком соединении вторичных обмоток, с одинаковым коэффициентом трансформации, сила тока будет такая же, как при включении в цепь только одного из трансформаторов, при этом нагрузка распределяется поровну по двум. Эта схема применяется при использовании маломощных ИТТ.

На рисунке «ж» схема параллельного соединения вторичных обмоток ИТТ, установленных на одной фазе. Это позволяет уменьшить коэффициент трансформации, суммируя ток вторичных обмоток при данном токе в линии. Коэффициент трансформации этой схемы в два раза меньше коэффициента трансформации одного трансформатора тока. Так, для получения коэффициента трансформации 150/5, соединяют параллельно два стандартных трансформатора тока с коэффициентом трансформации 300/5.

ПРИМЕЧАНИЕ: такие измерительные приборы как электросчетчики и ваттметры могут подключаются одновременно и к ИТТ и к ИТН, ознакомиться со схемами подключения счетчиков через ИТ вы можете здесь: <https://elektroshkola.ru/uchet-elektroenergii/podklyuchenie-schetchika-cherez-transformatory/>

7. Выбор ИТ для подключения счётчиков и измерительных приборов

Данный вопрос рассмотрим на примере выбора измерительных трансформаторов для подключения электросчетчиков.

Трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения необходимо применять при необходимости подключения приборов учёта электроэнергии, а так же других измерительных приборов и реле, в высоковольтных электроустановках (выше 1000 Вольт). Их выбирают по номинальному напряжению, классу точности, вторичной нагрузке, а так же по сечению и длине проводов и кабелей.

Номинальное напряжение первичной обмотки ($U_{1ном.}$), должно быть равно номинальному напряжению сети ($U_{с.ном.}$): $U_{1ном.} = U_{с.ном.}$

Класс точности ИТН для присоединения расчётных счётчиков электроэнергии не должен быть более 0,5, для технического учёта – не более 1,0 (ПУЭ п.1.5.16).

Вторичная нагрузка, это мощность приборов и реле подключенных к ИТН. Нагрузка вторичных обмоток измерительных трансформаторов ($S_{2нагр.}$), к которым присоединяются счётчики, не должна превышать номинальных значений

ИТН ($S_{2ном.}$): $S_{2ном.} > S_{2нагр.}$. Это обеспечивает работу ИТН в заданном классе точности.

Присоединение расчетных счётчиков к трёхфазным трансформаторам напряжения не рекомендуется, т.к. они имеют несимметричную магнитную систему и увеличенную погрешность.

Трансформаторы тока

В цепях распределительных устройств выше 1кВ, а так же 0,4кВ при токах нагрузки более 100А, измерительные устройства, как правило, подключаются через трансформаторы тока.

Рассмотрим пример выбора ИТТ для подключения расчётного счётчика электрической энергии офисного здания.

Исходные данные:

Напряжении сети — 0,4кВ

Максимальная потребляемая мощность (дневное время) — 75кВт (120 А)

Минимальная потребляемая мощность (ночное время) — 22,5кВт (36 А)

1. Номинальное напряжение трансформатора тока.

Номинальное напряжение ИТТ должно быть не меньше максимального напряжения электроустановки, где требуется установить ИТТ. Выбирается из стандартного ряда по ГОСТ 7746-2015, в кВ: 0,66, 3, 6, 10, 15, 20, 24, 27, 35, 110, 150, 220, 330, 750.

В нашем случае измерительный трансформатор должен быть на 0,66кВ.

2. Номинальный ток вторичной обмотки.

Выбирается исходя из номинального (базового) тока счетчика, как правило составляет 5А.

3. Класс точности.

Класс точности ИТТ определяется в зависимости от назначения электросчётчика. Для коммерческого учёта в сетях 0,4кВ класс точности должен быть 0,5S.

4. Номинальный ток первичной обмотки.

Это наиболее важный параметр ТТ. Величина номинального тока ТТ должна быть больше значения максимального тока электроустановки, где монтируется ТТ. Он

выбирается из следующего ряда по ГОСТ 7746-2015, в А: 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 1600, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 25000, 28000, 30000, 32000, 35000, 40000.

Номинальный первичный ток ИТТ должен быть больше, чем максимальный рабочий ток линии ($I_{1\text{макс}}$, в нашем случае 120Ампер).

Выбираем ближайший больший из стандартного ряда – **150А**.

Этот ток определяет **коэффициент трансформации (K_t)** нашего измерительного трансформатора, который выражается отношением номинального тока первичной обмотки к номинальному току вторичной обмотки:

$$K_t = I_1/I_2 \rightarrow K_t=150/5=30$$

Таким образом нам необходим трансформатор тока **0,66кВ, 150/5, $K_t=30$, 0,5S**

Согласно пункту 1.5.17 ПЭУ, при максимальной нагрузке присоединения ток во вторичной обмотке трансформатора тока должен составлять не менее 40% номинального тока счётчика, а при минимальной рабочей нагрузке – не менее 5%.

- Проверим выбранный ИТТ на соответствие данному условию:
- Определим ток во вторичной обмотке при максимальной нагрузке:

$$I_{2\text{макс.}} = I_{1\text{макс.}}/K_t = 120\text{А}/30 = 4\text{А}.$$

- Определим ток во вторичной обмотке при минимальной нагрузке:

$$I_{2\text{мин.}} = I_{1\text{мин.}}/K_t = 36\text{А}/30 = 1,2\text{А}.$$

- Определим значение полученного максимального вторичного тока ($I_{2\text{макс.}}=4\text{А}$) в процентах от номинального тока счётчика (5А):

$$I_{2\text{макс. в \%}} = (I_{2\text{макс.}} \times 100)/I_{\text{ном.сч.}} = (4\text{А} \times 100)/5\text{А} = 80\%.$$

- Определим значение полученного минимального вторичного тока ($I_{2\text{мин.}}=1,2\text{А}$) в процентах от номинального тока счётчика (5А):

$$I_{2\text{мин. в \%}} = (I_{2\text{мин.}} \times 100)/I_{\text{ном.сч.}} = (1,2\text{А} \times 100)/5\text{А} = 24\%.$$

- Проверяем по условиям пункта 1.5.17 ПУЭ:

80% > 40% и 24% > 5% — условия выполняются.

Следовательно ИТТ выбран верно.

8. Требования к вторичным цепям измерительных трансформаторов

Сечение и длина проводов и кабелей, согласно пункту 1.5.19

ПУЭ, в цепях напряжения расчётных счётчиков должны

выбираться такими, чтобы потери напряжения в этих цепях составляли не более 0,25% номинального напряжения при питании от трансформаторов напряжения класса точности 0,5

и не более 0,5% при питании от трансформаторов напряжения класса точности 1,0.

Потери напряжения от трансформаторов напряжения до счётчиков технического учёта должны составлять не более 1,5% номинального напряжения.

При этом, по условию механической прочности, сечение жил проводов и кабелей должно быть не менее 1,5 мм² для медных жил и не менее 2,5 мм² для алюминиевых жил. Для токовых цепей — 2,5 мм² для меди и 4 мм² для алюминия (ПУЭ 3.4.4).

Лекция

Измерением называют нахождение значения физической величины опытным путем, с помощью специальных технических средств – измерительных приборов.

Таким образом, измерение – это информационный процесс получения опытным путем численного отношения между данной физической величиной и некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения.

Результат измерения – именованное число, найденное путем измерения физической величины. Одна из основных задач измерения – оценка степени приближения или разности между истинным и действительным значениями измеряемой физической величины – погрешности измерения.

Основными параметрами электрических цепей являются: сила тока, напряжение, сопротивление, мощность тока. Для измерения этих параметров используют электроизмерительные приборы.

Измерение параметров электрических цепей осуществляется двумя способами: первый – прямой метод измерения, второй – косвенный метод измерения.

Прямой метод измерения подразумевает получения результата непосредственно из опыта. Косвенным измерением называют измерение, при котором искомая величина находится на основании известной зависимости между этой величиной и величиной, полученной в результате прямого измерения.

Электроизмерительные приборы – класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин. В группу электроизмерительных приборов входят также кроме собственно измерительных приборов и другие средства измерений – меры, преобразователи, комплексные установки.

Электроизмерительные приборы классифицируются следующим образом: по измеряемой и воспроизводимой физической величине (амперметр, вольтметр, омметр, частотомер и др.); по назначению (измерительные приборы, меры, измерительные преобразователи, измерительные установки и системы, вспомогательные устройства); по способу предоставления результатов измерений (показывающие и регистрирующие); по методу измерений (приборы непосредственно оценки и приборы сравнения); по способу применения и по конструкции (щитовые, переносные и стационарные); по принципу действия (электромагнитные – магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические, ферродинамические, индукционные, магнитодинамические; электронные; термоэлектрические; электрохимические).

Измерение силы тока

Амперметр – прибор для измерения силы тока в амперах (рис.1). Шкалу амперметров градуируют в микроамперах, миллиамперах, амперах или килоамперах в соответствии с пределами измерения прибора. В электрическую цепь амперметр включается последовательно с тем участком электрической цепи (рис.2) , силу тока в котором измеряют; для увеличения предела измерений — с шунтом или через трансформатор.

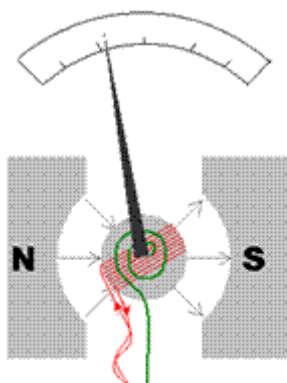


Рис. 1.

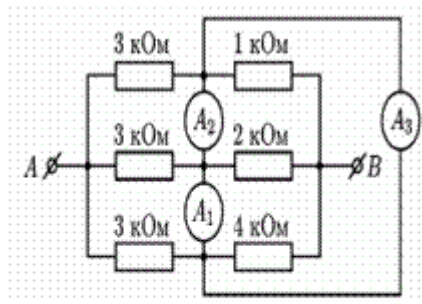


Рис. 2.

Подключение амперметра в цепь.

Наиболее распространены амперметры, в которых движущаяся часть прибора со стрелкой поворачивается на угол, пропорциональной величине измеряемого тока.

Амперметры бывают магнитоэлектрическими, электромагнитными, электродинамическими, тепловыми, индукционными, детекторными, термоэлектрическими и фотоэлектрическими.

Магнитоэлектрическими амперметрами измеряют силу постоянного тока; индукционными и детекторными — силу переменного тока; амперметры других систем измеряют силу любого тока. Самыми точными и чувствительными являются магнитоэлектрические и электродинамические амперметры.

Принцип действия магнитоэлектрического прибора основан на создании крутящего момента, благодаря взаимодействию между полем постоянного магнита и током, который проходит через обмотку рамки. С рамкой соединена стрелка, которая перемещается по шкале. Угол поворота стрелки пропорционален силе тока.

Электродинамические амперметры состоят из неподвижной и подвижной катушек, соединённых параллельно или последовательно. Взаимодействия между токами, которые проходят через катушки, вызывает отклонения подвижной катушки и соединённой с нею стрелки. В электрическом контуре амперметр соединяется последовательно с нагрузкой, а при высоком напряжении или больших токах — через трансформатор.

Технические данные некоторых типов отечественных амперметров, миллиамперметров, микроамперметров, магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, а также тепловой систем приведены в таблице 1.

Таблица 1. Амперметры, миллиамперметры, микроамперметры

Система прибора	Тип прибора	Класс точности	Пределы измерения
Магнитоэлектрическая	M109	0,5	1; 2; 5; 10 A
	M109/1	0,5	1,5-3 A
	M45M	1,0	75мВ
			75-0-75мВ

	M1-9	0,5	10-1000 мкА
	M109	0,5	2; 10; 50 мА
			200 мА
	M45M	1,0	1,5-150 мА
Электромагнитная	Э514/3	0,5	5-10 А
	Э514/2	0,5	2,5-5 А
	Э514/1	0,5	1-2 А
	Э316	1,0	1-2 А
	З316	1,0	2,5-5 А
	Э513/4	1,0	0,25-0,5-1 А
	Э513/3	0,5	50-100-200 мА
	Э513/2	0,5	25-50-100 мА
	Э513/1	0,5	10-20-40 мА
	Э316	1,0	10-20 мА
Электродинамическая	Д510/1	0,5	0,1-0,2-0,5-1-2-5 А
Тепловая	Е15	1,0	30;50;100;300 мА

Измерение напряжения

Вольтметр - измерительный прибор непосредственного отсчёта для определения напряжения или ЭДС в электрических цепях (рис. 3). Подключается параллельно нагрузке или источнику электрической энергии (рис.4).

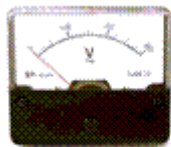


Рис.3.

ВОЛЬТМЕТР

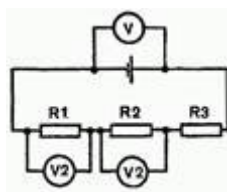


Рис. 4. Схема включения

ВОЛЬТМЕТР

По принципу действия вольтметры разделяются на: электромеханические — магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические, выпрямительные, термоэлектрические; электронные — аналоговые и цифровые. По назначению: постоянного тока; переменного тока; импульсные; фазочувствительные; селективные; универсальные. По конструкции и способу применения: щитовые;

переносные; стационарные. Технические данные некоторых отечественных вольтметров, милливольтметров магнитоэлектрической, электродинамической, электромагнитной, а также тепловой систем представлены в таблице 2.

Таблица 2. Вольтметры и милливольтметры

Система прибора	Тип прибора	Класс точности	Пределы измерения
Электродинамическая	Д121	0,5	150-250 В
	Д567	0,5	15-600 В
Магнитоэлектрическая	М109	0,5	3-600 В
	М250	0,5	3; 50; 200; 400 В
	М45М	1,0	75 мВ;
			75-0-75 мВ
			75-15-750-1500 мВ
	М109	0,5	10-3000 мВ
Электростатическая	С50/1	1,0	30 В
	С50/5	1,0	600 В
	С50/8	1,0	3 кВ
	С96	1,5	7,5-15-30 кВ
Электромагнитная	Э515/3	0,5	75-600 В
	Э515/2	0,5	7,5-60 В
	Э512/1	0,5	1,5-15 В
С электронным преобразователем	Ф534	0,5	0,3-300 В
Тепловая	Е16	1,5	0,75-50 В

Комбинированные приборы магнитоэлектрической системы

Для измерения в цепях постоянного тока используются комбинированные приборы магнитоэлектрической системы ампер-вольтметры. Технические данные о некоторых типах приборов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Комбинированные приборы магнитоэлектрической системы.

Наименование	Тип	Класс точности	Пределы измерения
Милливольт-миллиамперметр	М82	0,5	15-3000 мВ; 0,15-60 мА
Вольтамперметр	М128	0,5	75 мВ-600 В; 5; 10; 20 А
Ампервольтметр	М231	1,5	75-0-75 мВ; 100-0-

			100 В; 0,005-0-0,005 А; 10- 0-10 А
Вольтамперметр	M253	0,5	15 мВ-600 В; 0,75 мА-3 А
Милливольт-миллиамперметр	M254	0,5	0,15-60 мА; 15-3000 мВ
Микроампервольтметр	M1201	0,5	3-750 В; 0,3-750 мкА
Вольтамперметр	M1107	0,2	45 мВ-600 В; 0,075 мА-30 А
Миллиампервольтметр	M45M1	1	7,5-150 В; 1,5 мА
Вольтометр	M491	2,5	3-30-300-600 В; 30-300-3000 кОм
Ампервольтметр	M493	2,5	3-300 мА; 3-600 В; 3-300 кОм
Ампервольтметр	M351	1	75 мВ-1500 В; 15 мкА-3000 мА; 200 Ом-200 Мом

Технические данные о комбинированных приборах – ампервольтметрах и ампервольтваттметрах для измерения напряжения и тока, а также мощности в цепях переменного тока.

Комбинированные переносные приборы для измерения в цепях постоянного и переменного токов обеспечивают измерение постоянных и переменных токов и сопротивлений, а некоторые – также емкость элементов в весьма широком диапазоне, отличаются компактностью, имеют автономное питание, что обеспечивает их широкое применение. Класс точности этого типа приборов на постоянном токе 2,5; на переменном – 4,0.

Измерение средних сопротивлений

Для измерения средних сопротивлений могут быть использованы уже рассмотренные методы: метод вольтметра и амперметра, метод сравнения и метод с использованием мостовых измерительных схем.

.

Средние сопротивления наиболее часто встречаются на практике, в силу чего разработано большое количество методов, часть из которых будет рассмотрена далее.

При использовании *метода одного амперметра* измеряемое сопротивление может включаться последовательно с амперметром («последовательный» омметр) и параллельно к амперметру («параллельный» омметр).

Схема «последовательного» омметра приведена на рис. 24.6.

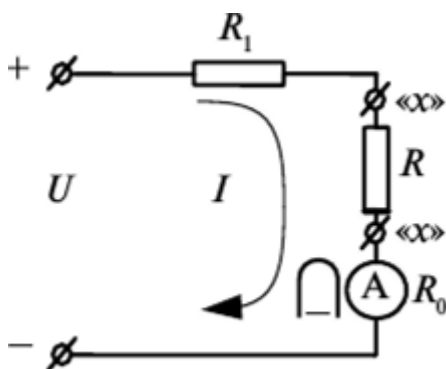


Рис. 24.6. Схема «последовательного» омметра:

R — измеряемое сопротивление; R_1 , — добавочное (известное) сопротивление;

R_0 — внутреннее сопротивление амперметра; A — амперметр магнитоэлектрической системы; U — напряжение питания; I — сила тока в схеме; «X»—«X» — зажимы, к которым подключается измеряемое сопротивление

Измерительный прибор (см. рис. 24.6) обозначен как амперметр. В действительности силы токов в цепи составляют тысячные и десятитысячные доли амперметра, т.е. фактически используются миллиамперметры и микроамперметры магнитоэлектрической системы.

Показания прибора определяются следующими соотношениями:

$$\alpha = KI;$$

$$I = \frac{U}{R_0 + R_1 + R};$$

$$\alpha = KU = \frac{I}{R_0 + R_1 + R}, \quad (24.22)$$

где K — коэффициент, характеризующий чувствительность прибора.

Из выражения (24.22) следует, что показания прибора α обратно пропорциональны измеряемому сопротивлению R . Зависимость $\alpha = f(R)$ приведена на рис. 24.7.

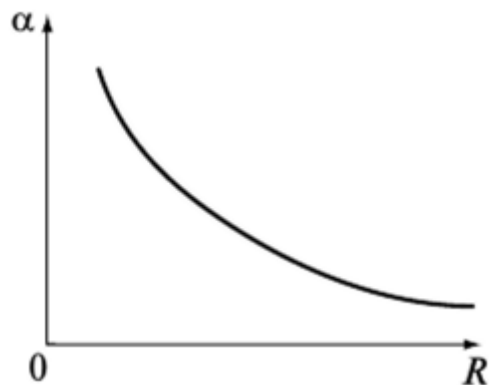


Рис. 24.7. График зависимости $\alpha = f(R)$ для «последовательного» омметра

Пример шкалы «последовательного» омметра приведен на рис. 24.8.

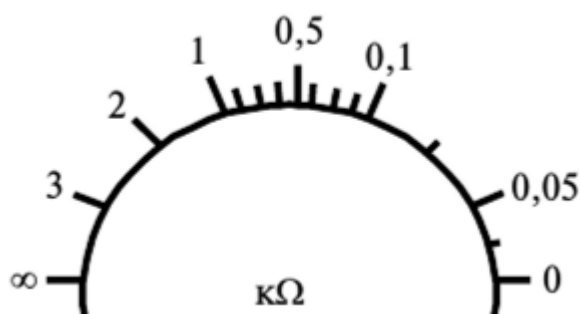


Рис. 24.8. **Пример шкалы «последовательного» омметра**

Выражение (24.22) и рис. 24.7 свидетельствуют, что при измеряемом сопротивлении $R = 0$ $a = a_{\text{тах}}$; при $R \rightarrow \infty$ $a \rightarrow 0$. Следует также отметить, что шкала рассматриваемого омметра градируется в единицах сопротивления, нелинейна и имеет ноль справа.

«Последовательные» омметры используются, как правило, для измерения сравнительно больших сопротивлений (тысячи и миллионы ом). Соответственно на шкалу прибора наносятся единицы измерений Ω (см. рис. 24.8) или $M\Omega$.

Схема «параллельного» омметра приведена на рис. 24.9.

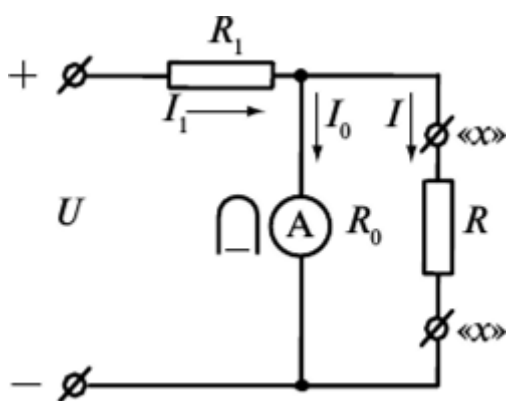


Рис. 24.9. **Схема «параллельного» омметра:**

I — сила тока через измеряемое сопротивление; I_0 — сила тока через амперметр

Аналогично «последовательным» омметрам в цепях «параллельных» омметров протекают небольшие токи (миллиамперы и микроамперы), так что использование в схеме рис. 24.9 амперметра является несколько условным и применено для общности рассуждений.

Показания прибора определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}
\alpha &= kI_0; \\
I_0 &= \frac{U - I_1 R_1}{R_0}; \\
I_1 &= \frac{U}{R_1 + R_2}; \\
R_2 &= \frac{R_0 R}{R_0 + R_1}; \\
\alpha &= U \frac{kR}{R_0 R_1 + R(R_1 + R_0)}, \quad (24.23)
\end{aligned}$$

где k — коэффициент, характеризующий чувствительность прибора.

Из выражения (24.23) следует, что показания прибора α пропорциональны измеряемому сопротивлению R . Зависимость $\alpha = f(R)$ для рассматриваемого случая приведена на рис. 24.10.

Выражение (24.23) и рис. 24.10 свидетельствуют, что при значении измеряемого сопротивления, равном нулю, $\alpha = 0$, а при $R \rightarrow \infty$ $\alpha \rightarrow \alpha_{\text{тах}}$. Шкала рассматриваемого омметра нелинейна и имеет ноль слева (рис. 24.11). Градуируется шкала в единицах сопротивления.

«Параллельные» омметры используются, как правило, для измерения сравнительно небольших сопротивлений (обычно это единицы, десятки и сотни ом).

При больших значениях измеряемого сопротив-

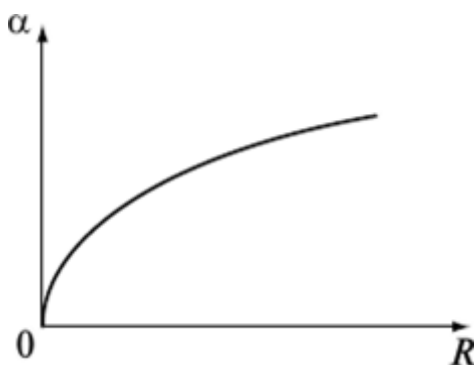


Рис. 24.10. График зависимости $\alpha = f(R)$ для «параллельного» омметра

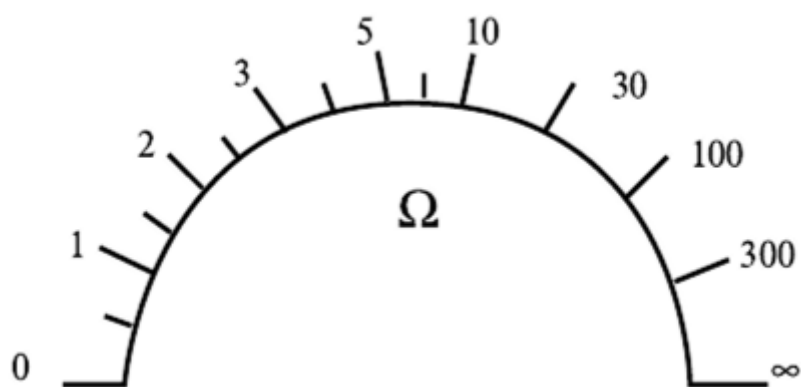


Рис. 24.11. Пример шкалы «параллельного» омметра

ления R (по сравнению с сопротивлением амперметра $R_{(t)}$) относительно значительные изменения R вызывают малое изменение показания прибора.

Схема устройства, реализующего измерение сопротивления *методом одного вольтметра*, приведена на рис. 24.12.

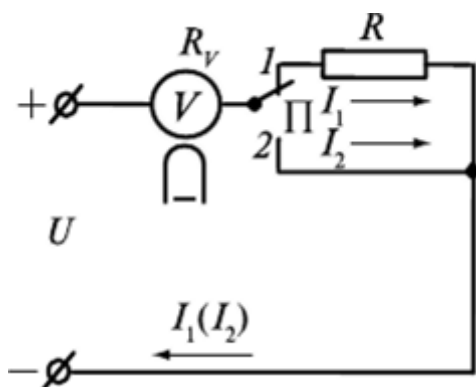


Рис. 24.12. Схема устройства при измерении сопротивления методом одного вольтметра:

I_1, I_2 — силы токов, протекающие в схеме при положениях 1,2 переключателя П соответственно

Показания прибора (см. рис. 24.12) определяются следующими соотношениями.

При переводе переключателя П в положение 1 сила тока в цепи

$$I_1 = \frac{U}{R_V + R}. \quad (24.24)$$

Показание вольтметра

$$\alpha_1 = kI_1 = k \frac{U}{R_V + R}. \quad (24.25)$$

При переводе переключателя П в положение 2 значение тока

$$I_2 = \frac{U}{R_V}. \quad (24.26)$$

Показание вольтметра

$$\alpha_2 = kI_2 = k \frac{U}{R_V}. \quad (24.27)$$

Решая уравнения (24.25) и (24.27) относительно U , получим:

$$U = \frac{\alpha_1(R_V + R)}{k}, \quad (24.28)$$

$$U = \frac{\alpha_2 R_V}{k}. \quad (24.29)$$

Приравнивая правые части равенств (24.28) и (24.29) и сокращая на k , получим:

$$\alpha_1 = (R_V + R) = \alpha_2 R_V. \quad (24.30)$$

Решая соотношение (24.30) относительно R , окончательно получим:

$$R = R_V \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{\alpha_1}. \quad (24.31)$$

Соотношение (24.31) правомерно, если напряжение питания U стабильно и не изменяется в ходе эксперимента по измерению искомого сопротивления.

Схема устройства для измерения сопротивления *методом замещения* приведена на рис. 24.13.

В качестве измерителя И может быть использован миллиамперметр или вольтметр (миллиамперметр используется, если $R > 1$ кОм, и используется вольтметр, если

измеряемое сопротивление $R < 1 \text{ кОм}$).

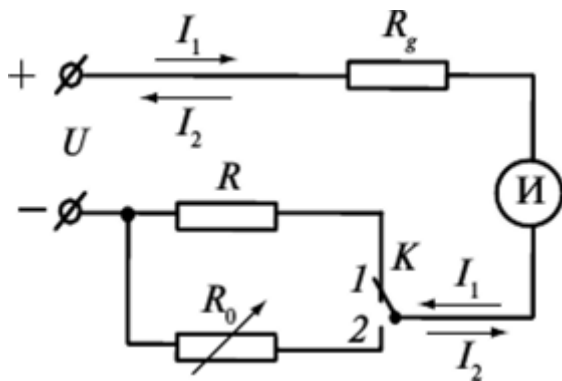


Рис. 24.13. Схема устройства для измерения сопротивления методом замещения:

R_0 — магазин сопротивлений; I_2 — силы токов в схеме (направление сил токов зависит от полярности напряжения питания); R — добавочное сопротивление (ограничивает силу тока в цепи измерителя и при малых K)

Для проведения измерения сопротивления методом замещения необходимо выполнить следующие операции.

Перевести ключ K в положение 1 и зафиксировать показания измерителя I при заданном напряжении питания U и заданном добавочном сопротивлении R_g .

Не меняя напряжение питания U и сопротивление R_g , перевести ключ K в положение 2.

Изменяя сопротивление R_0 , установить показание измерителя I то же самое, что было в первом случае (при положении ключа K в позиции 1).

При выполнении указанных условий измеряемое сопротивление R будет равно установленному сопротивлению R_0 . Напомним, что R_0 представляет собой магазин сопротивлений, что позволяет набирать и удобно считывать набранные значения в широком диапазоне измерений. Например, магазин сопротивлений типа Р-33 позволяет набирать сопротивления от 0 до 99 999,9 Ом с шагом 0,1 Ом.

Измерение искомого сопротивления повторяется при смене полярности напряжения питания контактных ЭДС и термоЭДС.

За результат измерения принимается среднее арифметическое значение по результатам двух экспериментов с разной полярностью напряжения питающего устройство источника

питания.

Отметим, что добавочное сопротивление R_g необходимо при использовании в качестве измерителя И миллиамперметра и не требуется при использовании в качестве измерителя вольтметра.

Как выполняется измерение сопротивления заземления

Защитное действие заземления всецело связано с величиной его сопротивления, а последнее зависит от многих факторов, метеорологических и гидрологических, не говоря уже о состоянии самих заземлителей и заземляющих проводов.

Поскольку величина сопротивления заземления подвержена большим колебаниям, становится ясным то громадное значение с точки зрения безопасности, которое приобретает испытание заземления, выражающееся главным образом в измерении сопротивления заземления. При этом важно не только начальное испытание перед сдачей в эксплуатацию, но и периодические испытания, через определенные промежутки времени.

Безопасность пользования электрической энергией зависит не только от правильного монтажа электроустановки, но и от соблюдения требований, заложенных нормативной документацией в ее эксплуатацию. Контур заземления здания, как составная часть защитного электрического оборудования, требует периодического контроля своего технического состояния.

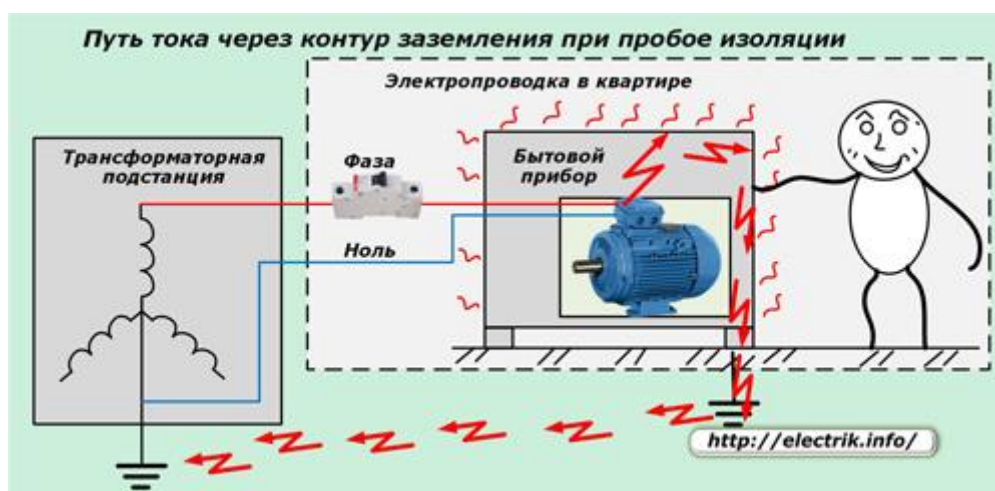
Как работает заземляющее устройство

В нормальном режиме электроснабжения контур заземления **РЕ-проводником** соединен с корпусами всех электроприборов, системой выравнивания потенциалов

здания и бездействует: через него, грубо говоря, не проходят никакие токи, за исключением небольших фоновых.

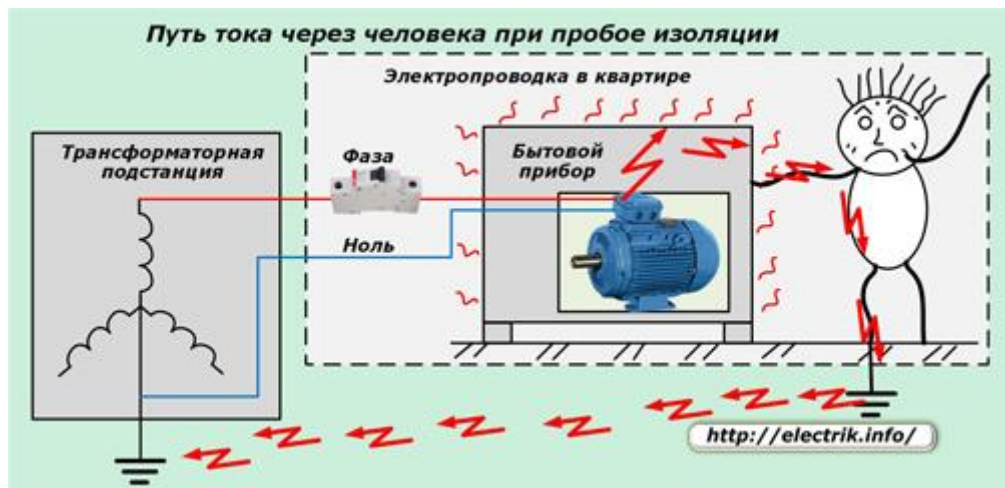
Как заземление защищает человека

При возникновении аварийной ситуации, связанной с пробоем слоя изоляции электропроводки, опасное напряжение появляется на корпусе неисправного электроприбора и по РЕ-проводнику через контур заземления стекает на потенциал земли.



За счет этого величина прошедшего на нетоковедущие части высокого напряжения должна снизиться до безопасного уровня, неспособного причинить электротравму человеку, контактирующему с корпусом неисправного оборудования через землю.

Когда РЕ-проводник или контур заземления нарушены, то отсутствует путь стекания напряжения и **ток станет проходить через тело человека**, оказавшегося между потенциалами поврежденного бытового прибора и землей.



Поэтому при эксплуатации электрооборудования важно поддерживать в исправном состоянии контур заземления и периодически электрическими замерами контролировать его состояние.

Как возникает неисправность у заземляющего устройства

В новом исправном контуре электрический ток аварии по РЕ-проводнику поступает на токоотводящие электроды, контактирующие своей поверхностью с грунтом и через них равномерно уходит на потенциал земли. При этом основной поток равномерно разделяется на составляющие части.



В результате длительного нахождения в агрессивной среде почвы металл тоководов покрывается поверхностной окисной пленкой. Начинающаяся коррозия постепенно ухудшает условия прохождения тока, повышает электрическое сопротивление контактов всей конструкции. Ржавчина, образуемая на стальных деталях, обычно носит общий, а на отдельных участках ярко выраженный местный характер. Связано это с неравномерным наличием химически активных растворов солей, щелочей и кислот, постоянно находящихся в почве.

Образующиеся частицы коррозии в виде отдельных чешуек отодвигаются от металла и этим прекращают местный электрический контакт. Со временем таких мест становится столько, что сопротивление контура увеличивается и заземляющее устройство, теряя электрическую проводимость, становится неспособным надежно отводить опасный потенциал в землю.



Определить момент наступления критического состояния контура позволяют только своевременные электрические замеры.

Принципы, заложенные в измерение сопротивления заземляющего устройства

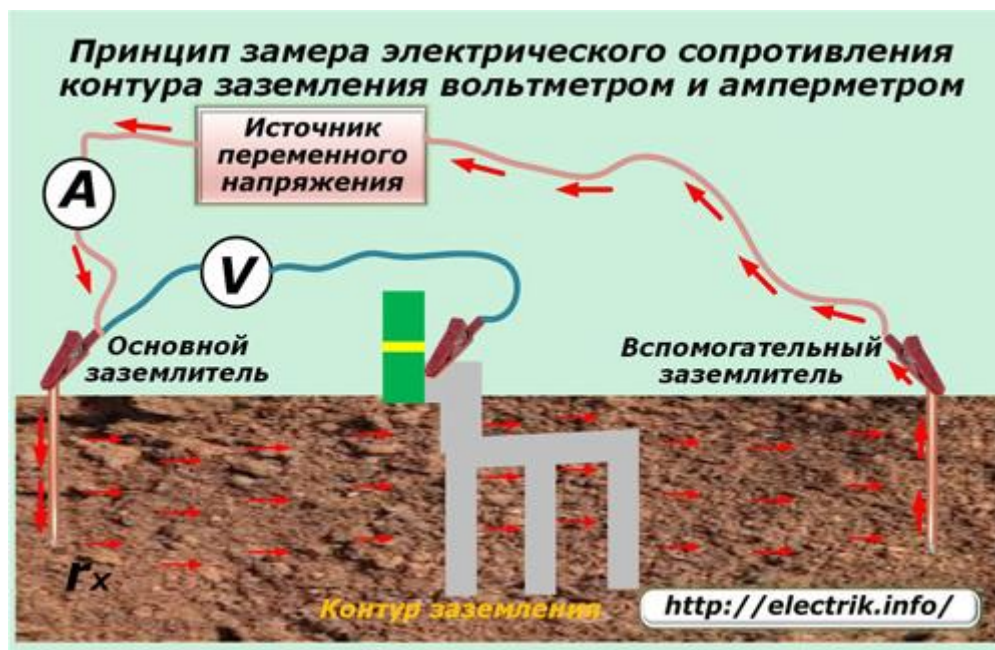
В основу метода оценки технического состояния контура заложен классический закон электротехники, выявленный Георгом Омом для участка цепи. С этой целью достаточно через контролируемый элемент пропустить ток от калиброванного источника напряжения и с большой степенью точности замерить проходящий ток, а потом вычислить величину сопротивления.

Метод амперметра и вольтметра

Поскольку контур работает в земле всей своей контактной поверхностью, то ее и следует оценивать при замере. Для этого в почву на небольшом удалении (порядка 20 метров) от контролируемого заземляющего устройства заглубляют электроды: основной и дополнительный. На них подают ток от стабилизированного источника переменного напряжения.

По цепи, образованной проводами, источником ЭДС и электродами с подземной токопроводящей частью грунта начинает протекать электрический ток, величина которого замеряется амперметром.

На очищенную до чистого металла поверхность контура заземления и контакт основного заземлителя подключается вольтметр.



Он замеряет падение напряжения на участке между основным заземлителем и контуром заземления. Разделив значение показания вольтметра на измеренный амперметром ток, можно вычислить общее сопротивление участка всей цепи.

При грубых замерах им можно ограничиться, а для вычисления более точных результатов потребуется скорректировать полученное значение вычитанием величины сопротивления соединительных проводников и влияния диэлектрических свойств почвы на характер токов растекания в грунте.

Уменьшенное на эту величину и замеренное по первому действию общее сопротивление и даст искомый результат.

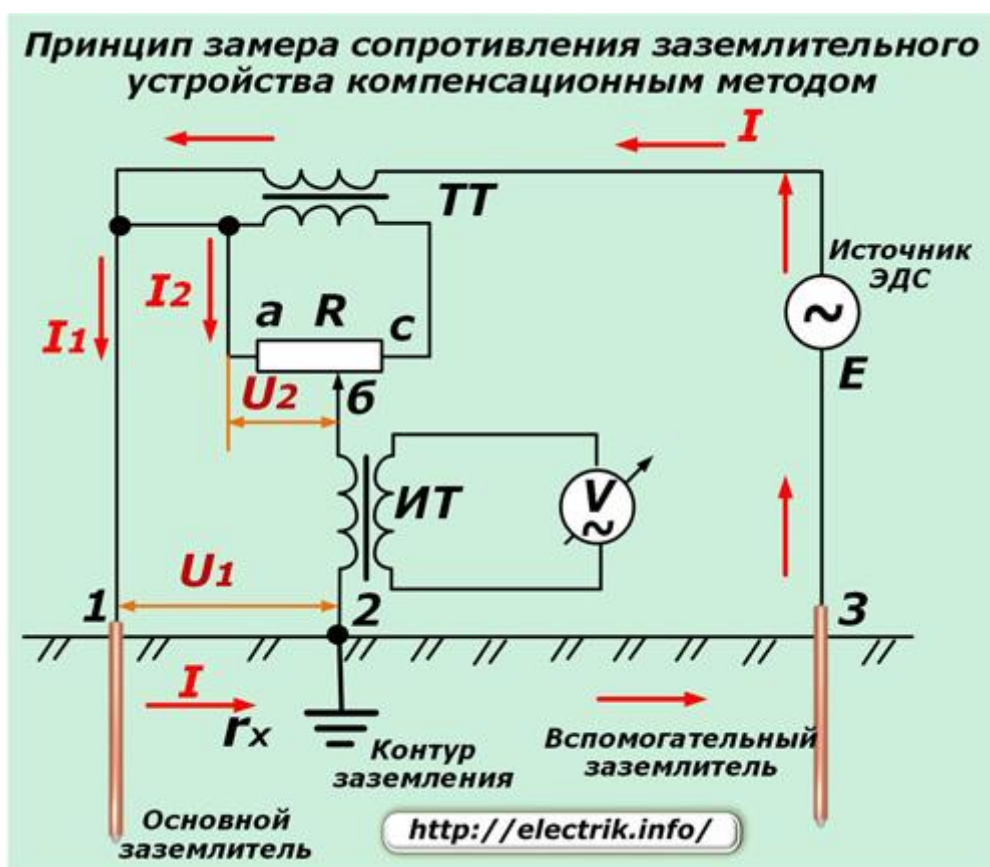
Описанный способ является довольно простым и неточным, имеет определенные недостатки. Поэтому для выполнения более качественных измерений, производимых специалистами электротехнических лабораторий, разработана более усовершенствованная технология.

Компенсационный метод

Замер основан на использовании уже готовых конструкций метрологических приборов высокого класса точности, выпускаемых промышленностью.

При этом способе тоже используется установка основного и вспомогательного электродов в почву.

Их разносят по длине около $10 \div 20$ метров и заглубляют на одной линии, захватывающей испытываемый контур заземления. К шине заземлительного устройства подключают измерительный зонд, стараясь разместить прибор поближе к контакту шины. Соединительными проводниками соединяют клеммы прибора с установленными в землю электродами.



Источник переменной ЭДС выдает в подключенную схему ток I_1 , который проходит по замкнутой цепи, образованной

первичной обмоткой трансформатора тока ТТ, соединительным проводам, контактам электродов и землей.

Вторичная обмотка трансформатора ТТ воспринимает ток I_2 , равный первичному и передает его на сопротивление реостата R , позволяющего реохордом «б» выставлять баланс между напряжениями U_1 и U_2 .

Изолирующий трансформатор ИТ транслирует проходящий по его первичной обмотке ток I_2 в свою вторичную цепь, замкнутую на измерительный прибор V .

Ток I_1 , протекающий по грунту на участке между основным заземлителем и контуром заземления, образует на замеряемом нами участке падение напряжения U_1 , которое вычисляется по формуле:

$$U_1 = I_1 \cdot r_x.$$

Ток I_2 , проходящий по участку реостата R «аб» с сопротивлением $r_{аб}$, формирует падение напряжения U_2 , определяемое выражением:

$$U_2 = I_2 \cdot r_{аб}.$$

Во время выполнения замера перемещают ручку реохорда таким образом, чтобы отклонение стрелки прибора V установилось на ноль. В этом случае будет выполнено равенство: $U_1 = U_2$.

$$\text{Тогда получим: } I_1 \cdot r_x = I_2 \cdot r_{аб}.$$

Поскольку конструкция прибора выполнена так, что $I_1 = I_2$, то соблюдается соотношение: $r_x = r_{аб}$. Остается только узнать сопротивление участка аб. Но, для этого достаточно ручку

потенциометра сделать побольше и на ее подвижную часть вмонтировать стрелку, которая будет перемещаться по неподвижной шкале, проградуированной заранее в единицах сопротивления реостата R.

Таким образом, положение стрелки–указателя реостата при компенсации падений напряжений на двух участках позволяет измерить сопротивление заземляющего устройства.

Используя изолирующий трансформатор ИТ и специальную конструкцию измерительной головки V, добиваются надежной отстройки прибора от блуждающих токов. Высокая точность измерительного механизма способствует малому влиянию **переходных сопротивлений** зонда на результат замера.

Приборы, работающие по компенсационному методу, позволяют точно измерять сопротивления отдельных элементов. Для этого достаточно на один конец измеряемой цепи подключить проводник, снятый с точки 1, а на второй — измерительный зонд (точка 2) и провод с точки 3 от вспомогательного электрода.

Приборы для измерения сопротивления заземляющего устройства

За время развития энергетики измерительные приборы постоянно совершенствовались в вопросах облегчения использования и получения высокоточных результатов.

Еще несколько десятилетий назад широко применялись только аналоговые измерители производства СССР таких

марок, как МС-08, М4116, Ф4103-М1 и их модификации. Они продолжают работать и в наши дни.



Сейчас их успешно дополняют многочисленные приборы, использующие цифровые технологии и микропроцессорные устройства. Они несколько упрощают процесс замера, обладают высокой точностью, хранят в памяти результаты последних вычислений.



Методика выполнения замера сопротивления заземлительного устройства

После доставки прибора на место проведения замера и извлечения его из транспортировочного кейса готовят шинопровод к подключению контактного проводника: отчищают от следов коррозии место для подключения

зажима типа крокодил напильником или устанавливают струбцину с винтовым зажимом, продавливающим верхний слой металла.

Замер сопротивления трехпроводным методом

Требования безопасной работы требуют выполнять измерения при отключенном автоматическом выключателе во вводном щите питания здания либо снятом с заземлителя РЕ-проводнике. Иначе при возникновении аварийного режима ток утечки пойдет через контур и прибор или тело оператора.

Соединительный проводник подключают к прибору и струбцине.



На установленной дистанции молотком забивают в грунт электроды заземлители. Навешивают на них катушки с соединительными проводниками и подключают их концы.

**Установка основного и дополнительного электродов,
подключение проводников на них**

**Забивание электродов в грунт
молотком**



**Навешивание катушки с
проводником**



**Подключение провода на
основной электрод**



**Подключение провода на
дополнительный электрод**



<http://elektrik.info/>

Устанавливают контакты проводов в гнезда прибора, проверяют готовность схемы к работе и величину напряжения помехи между установленными электродами. Она не должна превышать 24 вольт. Если это положение не выполнено, то придется менять места установки электродов и перепроверять этот параметр.

Остается только нажать кнопку выполнения автоматического замера и снять вычисленный результат с дисплея.

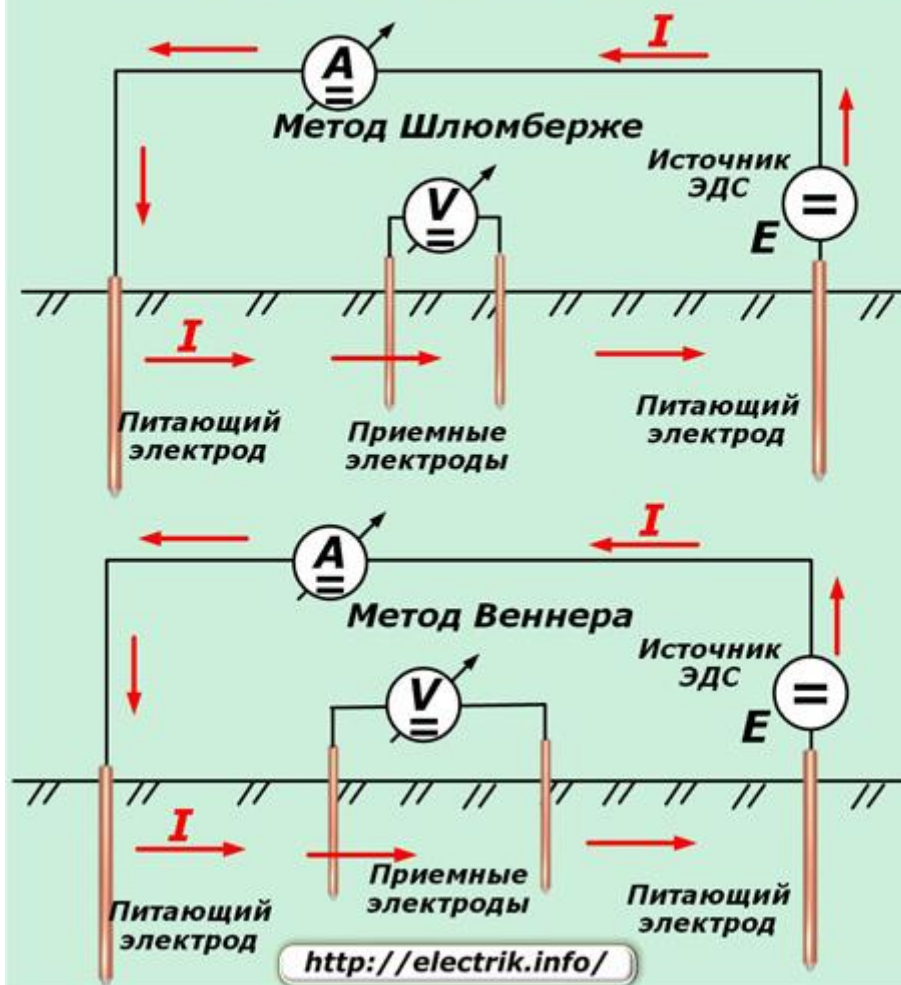


Однако, успокаиваться после получения результата первого замера нельзя. Чтобы проверить свою работу необходимо выполнить небольшую серию контрольных измерений, переставляя потенциальный штырь на небольшие дистанции. Расхождение всех полученных значений сопротивлений не должны расходиться более чем на 5%.

Замер сопротивления четырехпроводным методом

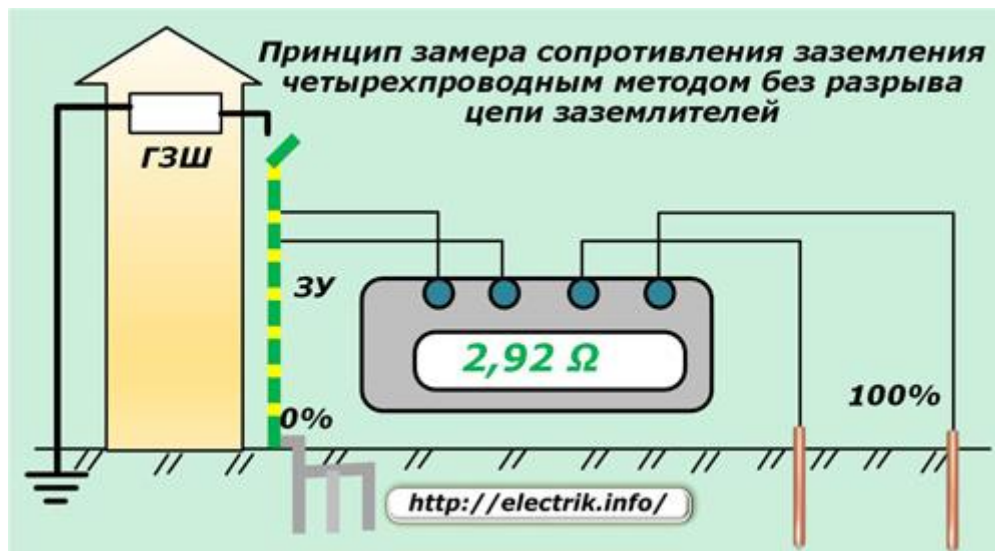
Для использования способов вертикального электрического зондирования измерители сопротивления контура заземления можно использовать по четырехпроводной схеме, расставляя приемные электроды по методике Веннера или Шлюмберже.

Принцип замера сопротивления заземлительного устройства четырехпроводным методом



Этот способ больше подходит для глубинных исследований и вычисления удельного электрического сопротивления грунта.

Вариант подключения прибора марки ИС-20/1 по этой схеме показан на картинке.

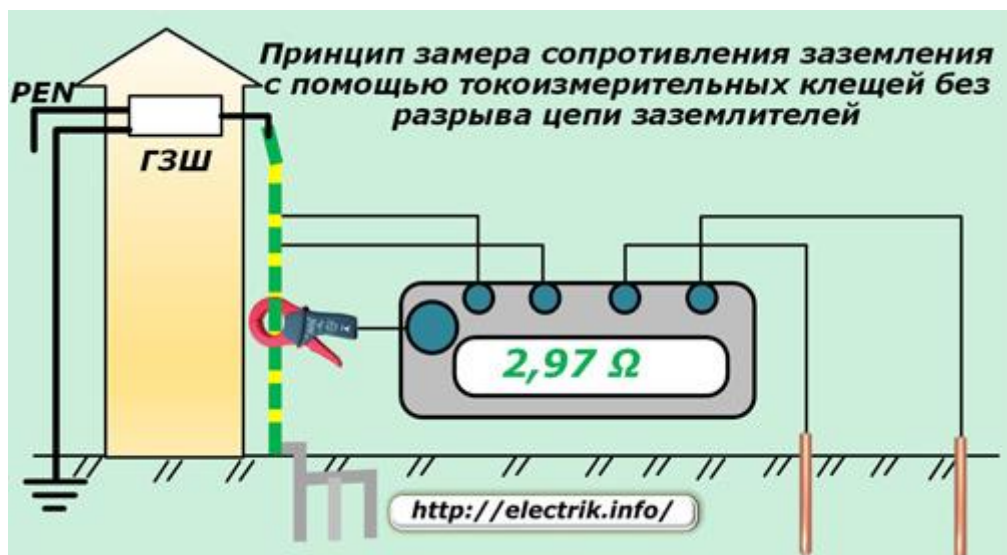


Замер сопротивления заземлителя с применением токоизмерительных клещей

При использовании метода необходимо иметь фоновый ток от электроустановки здания в контур заземления. Его величина у большинства приборов, работающих по этому типу, не должна превышать 2,5 ампера.

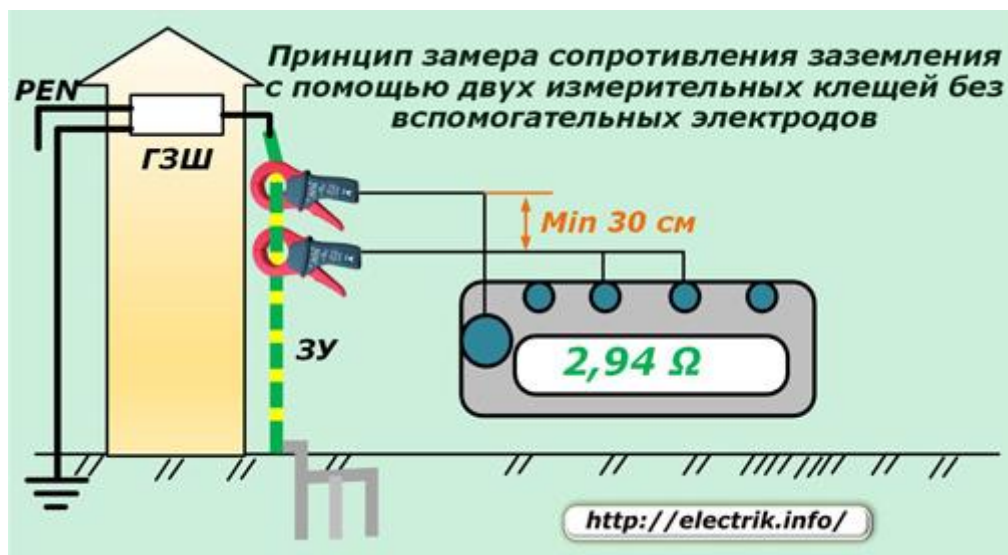
Замер сопротивления контура без разрыва цепи заземлителей с применением измерительных клещей

Используя измеритель ИС-20/1м можно выполнить электрическую оценку состояния заземлительного устройства здания по следующей схеме.



Замер сопротивления контура без вспомогательных электродов с применением двух измерительных клещей

При этом способе не требуется устанавливать дополнительные электроды в землю, а можно выполнить работу пользуясь двумя **токовыми клещами**. Их потребуется разнести по шинопроводу заземлительного устройства на расстояние большее чем 30 сантиметров.



Выбор методики проведения замера зависит от конкретных условий эксплуатации оборудования и определяется специалистами лаборатории.

Оценку состояния заземлительного устройства можно выполнять в разное время года. Однако, следует учитывать, что в период большого нахождения влаги в почве во время осенне-весенней распутицы условия для растекания токов в земле наиболее благоприятные, а в сухую жаркую погоду — наихудшие.

Летние замеры при высушенном грунте наиболее качественно отражают реальное состояние контура.

Некоторые электрики рекомендуют для снижения значения сопротивления проливать почву около электродов растворами солей. Следует понимать, что это мера временная и неэффективная. С уходом влаги состояние проводимости вновь ухудшится, а ионы растворенной соли будут разрушать металл, расположенный в почве.

Измерение индуктивности

Мосты для измерения индуктивности. Измерение емкости и индуктивности в основном производится с помощью *мостов переменного тока*. Они

обеспечивают высокую точность чувствительности при относительной простоте.

Для измерения индуктивности и добротности катушек применяются схемы, показанные на (рис. 7.7). Схема (рис. 7.7 а) используется при *малых добротностях* ($Q < 30$), а схема (рис. 7.7 б) — при *больших добротностях* ($Q > 30$). Измеряемая катушка с индуктивностью L_x и сопротивлением R_x включается в первое плечо моста, образцовый конденсатор C_4 и переменный резистор R_4 — в противоположное плечо. Еще одним переменным элементом является резистор R_3 . Резистор R_4 может быть включен либо *параллельно* (см. рис. 7.7 а), либо *последовательно* (см. рис. 7.7 б) с образцовым конденсатором C_4 . Питание осуществляется от источника переменного тока G . В соответствии с равенством комплексных сопротивлений плеч ($Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$) запишем условие равновесия моста для (рис. 7.7 а):

$$(R_x + j\omega L_x)[1/(1/R_4 + j\omega C_4)] = R_2 R_3, \quad (7.6)$$

где ω — частота напряжения питания; j — показатель мнимой составляющей комплексного сопротивления; R_2 , R_3 и R_4 — плечи моста.

Разделение действительных и мнимых составляющих уравнения приводит к соотношениям

$$R_x = R_2 R_3 / R_4; \quad (7.7)$$

и

$$L_x = C_4 R_2 / R_3. \quad (7.8)$$

В уравнения (7.7) и (7.8) *не входит частота*, следовательно, мост может быть *уравновешен*, даже если *форма кривой питающего напряжения не чисто синусоидальная*. Добротность катушки определяется по формуле

$$Q_x = \omega L_x / R_x = \omega C_4 R_4.$$

При фиксированной частоте напряжения питания ω и постоянной емкости C_4 шкалу переменного тока резистора R_4 можно проградуировать в значениях добротности Q_x .

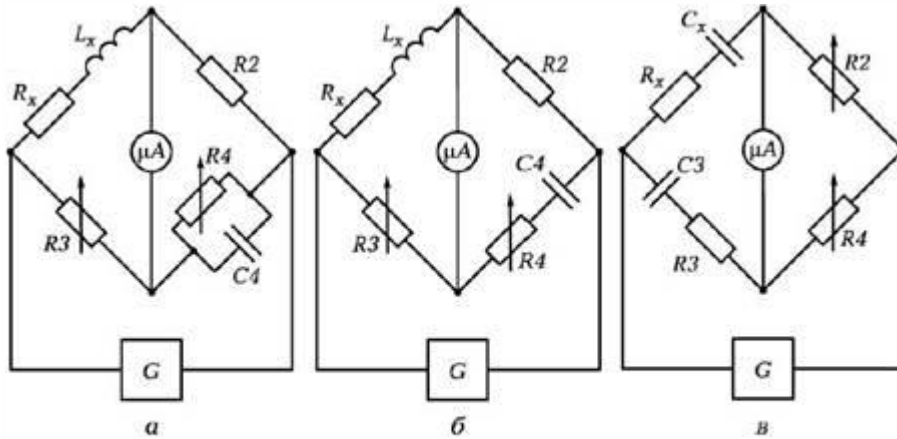


Рис. 7.7. Схемы для измерения индуктивности и емкости:
а — измерение индуктивности при малых добротностях; *б* — при больших добротностях; *в* — схема моста для измерения емкости

Схеме моста, представленной на (рис. 7.7 *б*), соответствует следующее условие равновесия:

$$(R_x + j\omega L_x)[R_4 + 1/(j\omega C_4)]R_2R_3. \quad (7.9)$$

Условие равновесия (7.9) соответствует системе уравнений

$$R_x R_4 + L_x / C_4 = R_2 R_3;$$

$$\omega L_x + R_4 = R_4 / (\omega C_4),$$

решение которой относительно R_x и L_x имеет следующий вид:

$$R_x = \omega^2 C_4^2 R_2 R_3 R_4 / [1 + (\omega C_4 R_4)^2]; \quad (7.10)$$

$$L_x = C_4 R_2 R_3 / [1 + (\omega C_4 R_4)^2] \quad (7.11)$$

и

$$Q_x = \omega L_x / R_x = 1 / (\omega C_4 R_4).$$

Итак, шкала переменного резистора R_4 снова может быть отградуирована в значениях добротности Q_x .

В отношения (7.10) и (7.11) для R_x и L_x входит **частота**, поэтому мост является **частотнозависимым**. Равновесие имеет место только при некоторой частоте ω питающего напряжения. Если ее изменить, то **равновесие нарушится**.

Мосты для измерения емкости. При измерении емкости используется схема с образцовым конденсатором C_3 и переменными резисторами R_2 и R_4 (см. рис. 7.7 в). Исследуемый конденсатор в этой схеме представлен (**замещен**) последовательным соединением емкости C_x и активного сопротивления R_x . Введение R_x необходимо в связи с наличием **потерь в конденсаторе**. Питание осуществляется от источника переменного тока G . Условие равновесия имеет вид

$$R_x = R_2 R_3 / R_4, \quad (7.12)$$

и

$$C_x = C_3 R_4 / R_2. \quad (7.13)$$

Принято характеризовать потери в конденсаторе значением **тангенса угла потерь $\operatorname{tg} \delta$** , который в случае последовательной схемы замещения связан с R_x соотношением

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x.$$

С учетом условий (7.12) и (7.13) это соотношение можно записать следующим образом:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_3 C_3.$$

Контрольные вопросы

1Каким способом измеряется индуктивность катушек?

2Чем различаются мосты для измерения малых и больших значений добротности катушек?

3Как измерить добротность катушек?

4Каким прибором можно измерить тангенс угла потерь конденсатора?

5Как измеряется добротность катушек?

6Какова схема двойного моста и для каких измерений он применяется?

Как измерить емкость и индуктивность

Приборы непосредственной оценки и сравнения

К измерительным приборам непосредственной оценки значения измеряемой емкости относятся **микрофарадметры**, действие которых базируется на зависимости тока или напряжения в цепи переменного тока от значения включенной в нее измеряемой емкости. Значение емкости определяют по шкале стрелочного измерителя.

Более широко для измерения параметров конденсаторов и индуктивностей применяют **уравновешенные мосты переменного тока**, позволяющие получить малую погрешность измерения (до 1 %). Питание моста осуществляется от генераторов, работающих на фиксированной частоте 400—1000 Гц. В качестве индикаторов применяют выпрямительные или электронные милливольтметры, а также осциллографические индикаторы.



Измерение производят балансированием моста в результате попеременной подстройки двух его плеч. Отсчет показаний берется по лимбам рукояток тех плеч, которыми сбалансирован мост.

В качестве примера рассмотрим измерительные мосты, являющиеся основой измерителя индуктивности ЕЗ-3 (рис. 1) и измерителя емкости Е8-3 (рис. 2).

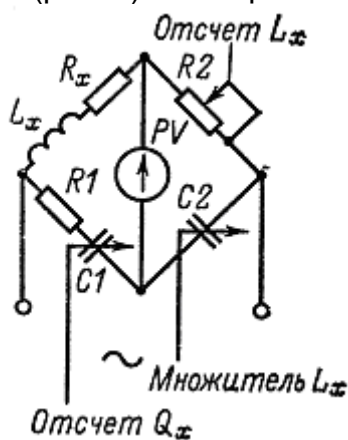


Рис. 1. Схема моста для измерения индуктивности

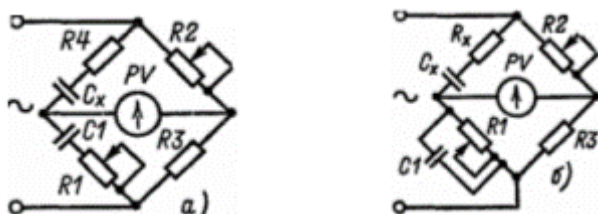


Рис. 2. Схема моста для измерения емкости с малыми (а) и большими (б) потерями

При балансе моста (рис. 1) индуктивность катушки и ее добротность определяют по формулам $L_x = R_1 R_2 C_2$; $Q_x = \omega R_1 C_1$.

При балансе мостов (рис. 2) измеряемая емкость и сопротивление потерь определяют по формулам

$$C_x = C_1 \frac{R_3}{R_2}; R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3}.$$

Измерение емкости и индуктивности методом амперметра-вольтметра

Для измерения малых емкостей (не более 0,01 - 0,05 мкФ) и высокочастотных катушек индуктивности в диапазоне их рабочих частот широко используют резонансные методы. Резонансная схема обычно включает в себя генератор высокой частоты, индуктивно или через емкость связанный с измерительным LC-контуром. В качестве индикаторов резонанса применяют чувствительные высокочастотные приборы, реагирующие на ток или напряжение.



Методом амперметра-вольтметра измеряют сравнительно большие емкости и индуктивности при питании измерительной схемы от источника низкой частоты 50 - 1000 Гц.

Для измерения можно воспользоваться схемами рис. 3.

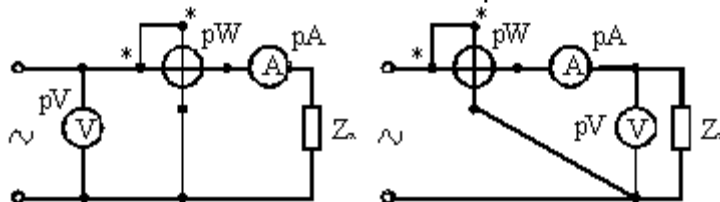


Рисунок 3. Схемы измерения больших (а) и малых (б) сопротивлений переменному току

По показаниям приборов полное сопротивление

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{U}{I},$$

где

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_x}; \quad X_L = 2\pi f L_x; \quad R = \frac{P}{I^2};$$

из этих выражений можно определить

$$L_x = \frac{1}{2\pi f I^2} \sqrt{U^2 I^2 - P^2};$$

$$C_x = \frac{I^2}{2\pi f \sqrt{U^2 I^2 - P^2}}.$$

Когда можно пренебречь активными потерями в конденсаторе или катушке индуктивности, используют схему рис. 4. В этом случае

$$Z \approx X = \frac{U}{I}; \quad L_x = \frac{U}{2\pi f I}; \quad C_x = \frac{1}{2\pi f U}.$$

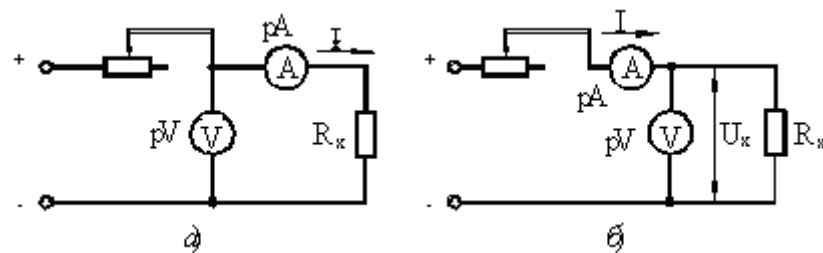


Рис. 4. Схемы измерения больших (а) и малых (б) сопротивлений методом амперметра — вольтметра



Измерение взаимной индуктивности двух катушек

Измерение взаимной индуктивности двух катушек можно произвести по методу амперметра-вольтметра (рис. 5) и методу последовательно соединенных катушек.

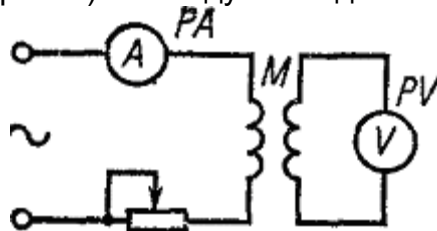


Рис. 5. Измерение взаимной индуктивности по методу амперметра-вольтметра
Значение взаимной индуктивности при измерении по методу амперметра-вольтметра

$$M = \frac{E}{I\omega},$$

При измерении по второму методу измеряют индуктивности двух последовательно соединенных катушек при согласном L' и встречном L'' включении катушек. Взаимоиндуктивность вычисляется по формуле

$$M = \frac{L' - L''}{4}.$$

Измерение индуктивности может быть произведено одним из описанных ранее методов.

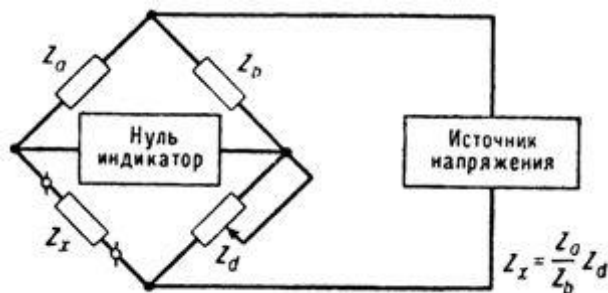
Мостовые измерения, типы мостов, измерительные схемы

Для чего используются мостовые схемы

Мостовая схема — схема соединения элементов электрической цепи (сопротивлений, выпрямительных диодов и т.д.), характеризующаяся наличием мостовой ветви между двумя точками схемы, не соединенными непосредственно с источником электрической энергии. В основу мостовой схемы положена схема **измерительного моста Уитстона** (Wheatstonebridge).

Принцип действия мостовой схемы основан на том, что при равенстве отношений полных сопротивлений в плечах моста $Z_a/Z_b = Z_x/Z_d$ в диагонали моста (в индикаторном устройстве) нет тока.

Повышая чувствительность нуль-индикатора, можно добиться в мостовой схеме весьма точного соблюдения равенства отношений полных сопротивлений. На этом принципе основаны мостовые измерения.



Мостовая схема (схема моста Уитстона)

Мостовая схема Уитстона используется в различных формах для точного измерения сопротивления от долей ома до нескольких мегаом.

Источниками питания мостовых схем могут служить источники напряжения как постоянного так и переменного тока.

Балансировка мостовой схемы совершенно не зависит от колебаний напряжения источника питания (изменение величины напряжения питания моста не влияет на условие баланса).

Являясь электрическим аналогом механических балансировочных весов, мостовые схемы являются прародителями всех электрических дифференциальных методов измерений.

Мостовые методы измерения

Мостовые измерения — методы измерения параметров электрических цепей на постоянном токе (сопротивления пост, току) и на переменном токе (активного сопротивления, емкости, индуктивности, взаимной индуктивности, частоты, угла потерь, добротности и др.) посредством мостовых схем.

Мостовые измерения широко распространены также для электрических измерений неэлектрических величин при помощи датчиков — промежуточных преобразователей измеряемой величины в функционально связанный с ней параметр электрической цепи.



Измерительный мост

Мостовые измерения осуществляются с помощью измерительных мостов (мостовых установок), относящихся к категории приборов сравнения.

В общем случае они основаны на применении некоторой электрической цепи, состоящей из нескольких известных и одного неизвестного (измеряемого) сопротивлений, питаемой одним источником и снабженной указывающим прибором.

Изменением известных сопротивлений эта цепь регулируется до достижения определенного, отмечаемого указателем, распределения напряжений на отдельных участках цепи.

Очевидно, что заданному соотношению напряжений соответствует также определенное соотношение сопротивлений цепи, по которому можно вычислить неизвестное сопротивление, если остальные сопротивления известны.

Измерение мостовыми методами основано на достижении баланса между ветвями моста. Этот баланс определяется **гальванометром**, включенным между противоположными узлами.

Затем источник питания переменного или постоянного тока подключается к противоположным узлам в соответствии с измеренной величиной: переменный ток для емкости и индуктивности, постоянный и переменный ток для сопротивлений.

Общим признаком является источник питания, который подключается к одной диагонали моста, а также способ индикации: индикатор подключается к другой диагонали, балансировка ветвей одинаковая, с помощью переменного резистора, подключенного как реостат.

Неизвестное сопротивление не обязательно должно быть только резистором. Это может быть термометр, терморезистор, тензодатчик или другой полупроводниковый компонент, сопротивление которого изменяется из-за внешних параметров (изменение температуры, освещенности и т. д.).

Мостовые измерения применяются как для измерения значений сопротивлений, так и для определения отклонений этих значений от заданного номинала. Они относятся к числу самых распространенных и совершенных методов измерения.

Применение мостов в автоматике

Мостовые схемы особенно полезны для преобразования изменений сопротивления в сигналы напряжения, которые могут быть введены непосредственно в [системы автоматического управления](#).

Так, например, мостовая схема Уитстона идеально подходит для достижения высокой точности, необходимой для измерения типичных небольших изменений сопротивления (доля номинального сопротивления для полного смещения), обусловленных пределами упругости материалов [тензорезистора](#) и испытуемого образца.

Можно использовать несколько конфигураций моста — четверть, полумост или полный мост — с одним-четырьмя активными тензорезисторами для измерения деформации из-за дисбаланса моста с помощью точного вольтметра. Каждая конфигурация приводит к другому уравнению для определения деформации, таким образом, смещение.

Различные комбинации могут быть сделаны с положениями тензорезисторов на мосту, делая их активными или нет, действующими в направлении деформации или противоположно ему, или даже перпендикулярно измеряемой деформации, что приводит к другому уравнению и к различной чувствительности измерений.



Мост Уитстона

История

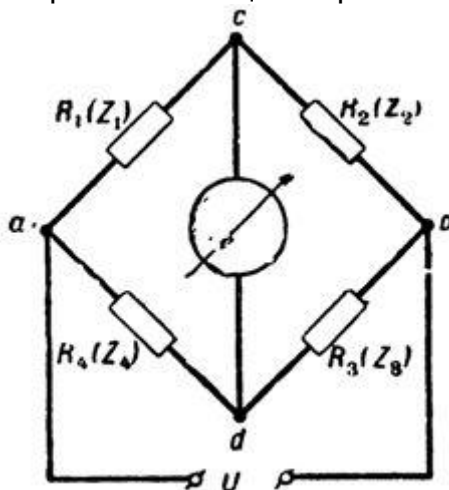
В 1833 году Сэмюэл Хантер Кристи (1784–1865) опубликовал свой «алмазный» метод, предшественник моста Уитстона, в статье о магнитных и электрических свойствах металлов как методе сравнения сопротивления проводов разной толщины.

Однако этот метод оставался непризнанным до 1843 года, когда сэр Чарльз Уитстон (1802–1875) предложил его в другом документе для Королевского

общества по измерению сопротивления в электрических цепях. Хотя Уитстон представил этот метод как изобретение Кристи, его имя теперь связано с этим устройством.

Мостовые измерительные схемы

Исторически первый, простейший и наиболее распространенный вариант мостовых измерений был реализован посредством **четырёхплечего уравновешенного моста**, представляющего собой кольцевую цепь из 4 сопротивлений ("плечи" моста), в которой источник питания и указатель включаются диагонально, к противоположащим вершинам, в виде "мостов".

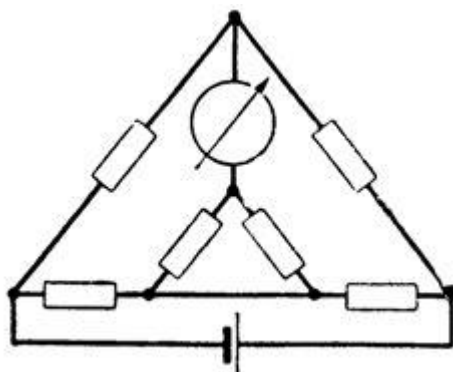


Четырёхплечий уравновешенный мост

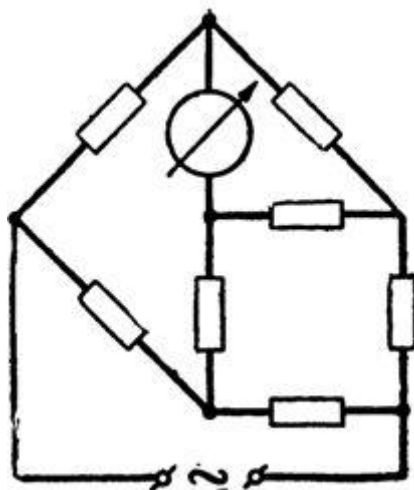
При соблюдении условия $R_1R_3 = R_2R_4$ (соответственно $Z_1Z_3 = Z_2Z_4$ на переменном токе) напряжение на выходе мостовой цепи (независимо от питающего напряжения) равно нулю ($U_{cd}=0$), т. е. мост "уравновешен", что отмечается нулевым указателем.

Состояние равновесия моста постоянного тока, соответствующее условию $R_1R_3 = R_2R_4$, может быть достигнуто регулировкой только одного переменного параметра и позволяет определить также только одно неизвестное сопротивление.

Для достижения комплексного условия равновесия на переменном токе $Z_1Z_3 = Z_2Z_4$, распадающегося при подстановке комплексных значений сопротивлений $Z=R+jx$ на два самостоятельных условия, требуется регулировка не менее двух переменных параметров. При этом можно одновременно определять две составляющие комплексного сопротивления (например, L и R или L и Q , C и т. д.). Разновидностью четырехплечих мостов переменного тока являются **мосты резонансные**. Помимо четырехплечих применяются более сложные мостовые цепи — двойные мосты на постоянном токе и многоплечие (шести- или семиплечие) — на переменном. Условия равновесия для этих цепей, естественно, отличаются от приведенных выше.



Двойной измерительный мост



Многоплечий измерительный мост

Мосты могут использоваться как в уравновешенном, так и в неуравновешенном режиме. В последнем результат измерения определяется без регулировки сопротивлений, непосредственно по току или напряжению на выходе мостовой цепи, которые являются функциями измеряемого сопротивления и напряжения источника питания (последнее должно быть стабильным). Выходной прибор при этом градуируется непосредственно в значениях измеряемой величины.



Электронный измерительный мост переменного тока

Мостовые измерения на переменном токе могут применяться еще в двух режимах: квазиуравновешенном и полууравновешенном.

Последний характеризуется тем, что обычная четырехплечая цепь регулируется при помощи только одного переменного параметра до получения минимального выходного напряжения (полное равновесие, т. е. $U_{cd}=0$, при котором требуется регулировка двух параметров, в данном случае недостижимо).

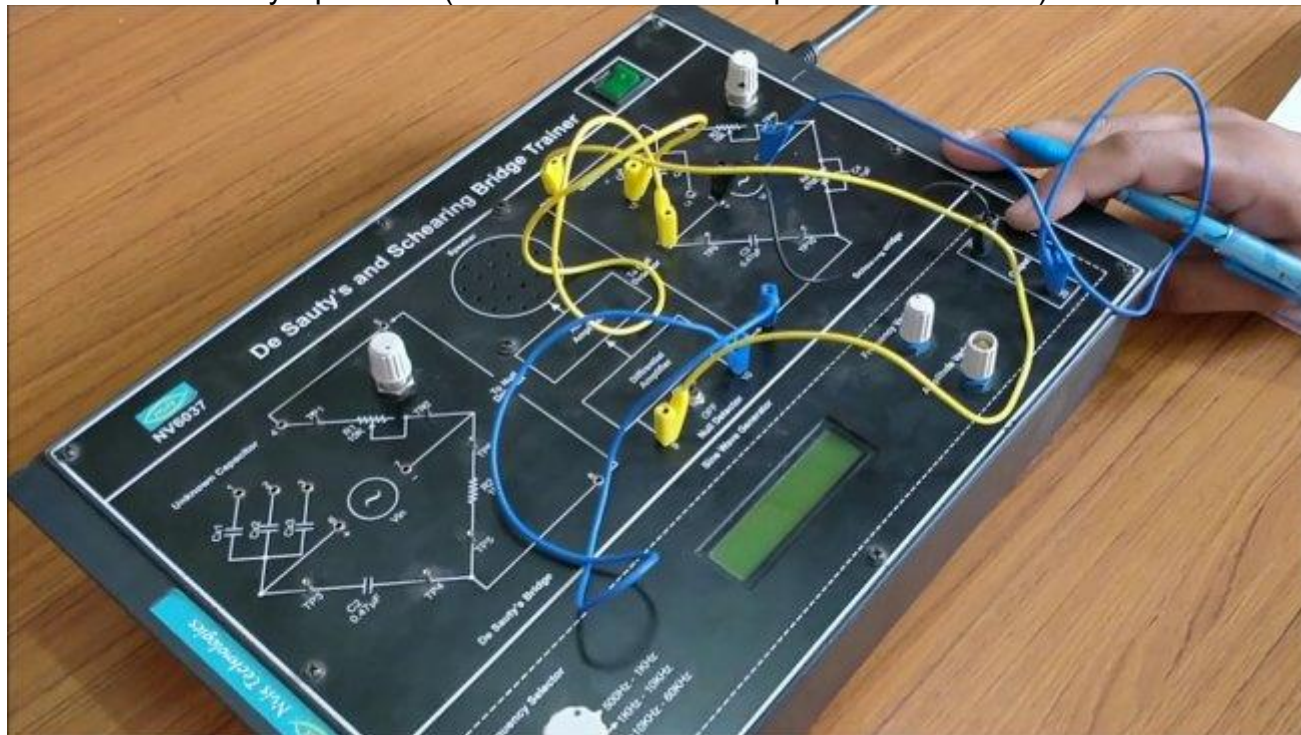
Момент достижения минимума напряжения U_{cd} может быть определен непосредственно обычным указателем на выходе цепи или более точно — косвенно — на основании, например, фазовых соотношений векторов напряжений мостовой цепи, имеющих место в момент полууравновесия.

Во втором случае эксперимент и указывающая аппаратура аналогичны применяемым при квазиуравновешенном режиме.

Составляющие измеряемого сопротивления определяются: одна — по значению переменного параметра в момент полуравновесия, другая — по напряжению на выходе моста.

Напряжение питания необходимо стабилизировать.

Уравновешивание измерительных мостов может производиться как непосредственно человеком (мосты с ручной наводкой), так и при помощи автоматического устройства (автоматические измерительные мосты).



Проведение мостовых измерений в учебной лаборатории

Типы измерительных мостов

- Мост Уитстона — используется для измерения малых значений сопротивления,
- Мост Томсона — используется для измерения очень малых значений сопротивления,
- Мост Де Соти — используется для измерения емкости,
- Мост Шеринга — используется для измерения емкости,
- Мост КэриФостера — используется для измерения малых сопротивлений,
- Мост Вина — используется для измерения емкости,
- Мост Кэмпбелла — используется для измерения индуктивности или емкости,
- Мост Максвелла — используется для измерения индуктивности или емкости,
- Мост Оуэна — используется для измерения индуктивности,
- Мост Андерсона — используется для точных измерений индуктивности.

Серийно выпускаемые измерительные мосты имеют классы точности от 0,02 до 5 на пост, токе и от 0,1 до 5 — на переменном.

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

Общие сведения

Измерение мощности в цепях постоянного тока, активной и реактивной мощности в цепях переменного тока, однофазных и трехфазных, трехпроводных и четырехпроводных, производится в абсолютном большинстве случаев электродинамическими и ферродинамическими ваттметрами, выпускаемыми в соответствии с ГОСТ 8476—93.

В лабораторной практике применяются, главным образом, электродинамические ваттметры классов точности 0,1; 0,2; 0,3 и 0,5. В промышленности при технических измерениях широко применяются ферродинамические ваттметры классов точности 1,0; 1,5 и 2,5.

Шкалы ваттметров проградуированы в значениях измеряемой величины, т. е. в ваттах, киловаттах и т. д. Как электродинамические, так и ферродинамические ваттметры имеют равномерную шкалу.

Электродинамические ваттметры применяются для измерения мощности в цепях постоянного тока и цепях переменного тока частотой до нескольких тысяч герц.

Ферродинамические ваттметры применяются для измерения мощности в цепях переменного тока, главным образом, промышленной частоты.

Измерение мощности в цепях постоянного тока

Из выражения, определяющего мощность, выделяемую в какой-либо нагрузке Y ,

нетрудно видеть, что мощность P может быть определена косвенно путем проведения двух прямых измерений: напряжения на нагрузке u с помощью вольтметра и тока в нагрузке i с помощью амперметра. Наиболее целесообразно применение в этом случае вольтметра и амперметра магнитоэлектрической системы (рис. 11.1).

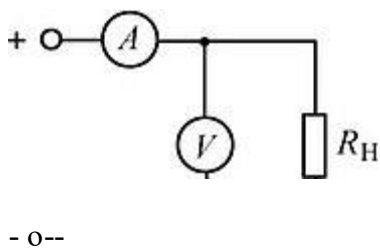


Рис. 11.1. Схемы включения приборов для измерения мощности

в цепи постоянного тока

Несмотря на кажущуюся простоту и доступность, метод амперметра и вольтметра для измерения мощности P на практике применяется крайне редко. Это объясняется тем, что названный метод требует одновременного отсчета показаний двух приборов и последующего вычисления P .

Наиболее просто и с необходимой точностью измерение мощности производится непосредственно с помощью одного одноэлементного электродинамического ваттметра. Включение такого ваттметра в цепь постоянного тока необходимо осуществлять с соблюдением правильности соединения генераторных зажимов обмотки цепи тока и напряжения. На рис. 11.2 показано включение ваттметра PW для измерения мощности P .

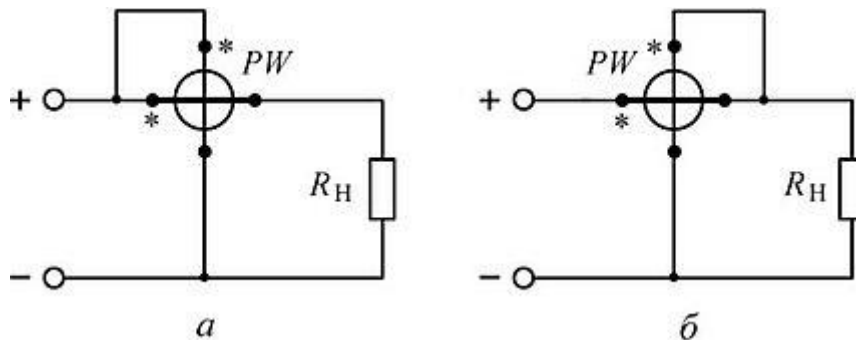


Рис. 11.2. Схемы включения ваттметра в цепь постоянного тока (знаком * отмечены генераторные зажимы): *a* — сопротивление нагрузки относительно большое; *б* — сопротивление нагрузки относительно малое

Генераторный зажим токовой обмотки ваттметра всегда включается в сторону источника питания.

Генераторный зажим обмотки напряжения, в целях уменьшения методической погрешности, может быть включен так, как это показано на рис. 11.2, *a* или *б*.

Схема рис. 11.2, *a* применяется при относительно большом значении сопротивления нагрузки R_H , а схема рис. 11.2, *б* — при относительно малом значении сопротивления нагрузки R_H , когда сопротивление нагрузки соизмеримо с сопротивлением токовой цепи. Значение сопротивления токовой цепи всегда указывается на циферблате прибора.

В большинстве случаев применения ваттметров сопротивление нагрузки R_H относительно велико (значение сопротивления нагрузки намного больше сопротивления последовательной токовой цепи ваттметра) и, следовательно, ваттметр необходимо включать по схеме рис. 11.2, *a*.

Несоблюдение правильности включения генераторного зажима любой из обмоток ваттметра приводит к изменению направления вращающего момента и выходу указателя ваттметра за пределы шкалы.

$I_{AB}/3$. Следовательно, показание ваттметра

$$P_w = I_{AB} \cos \phi = U_{AB} I_{AB} \cos \phi.$$

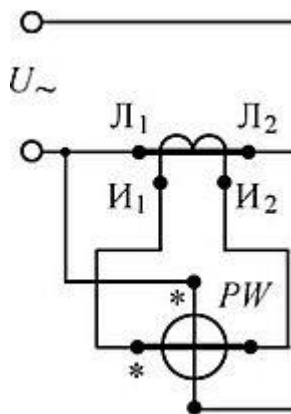
Для получения мощности всей трехфазной цепи во всех трех рассматриваемых случаях необходимо показание ваттметра утроить:

$$P = 3P_w$$

Эти рассуждения справедливы лишь при измерении мощности в симметричных цепях, т. е. при симметрии напряжений и равенстве комплексных сопротивлений фаз.

Расширение диапазона измерения ваттметра по току в цепях с большими токами производится с помощью измерительного трансформатора тока. Диапазон измерения по напряжению расширяют с помощью измерительного трансформатора напряжения.

Для примера на рис. 11.6, *а* показано включение ваттметра для измерения мощности в однофазной цепи через измерительный трансформатор тока, а на рис. 11.6, *б* — через измерительный трансформатор тока и измерительный трансформатор напряжения.



X

X

a

г

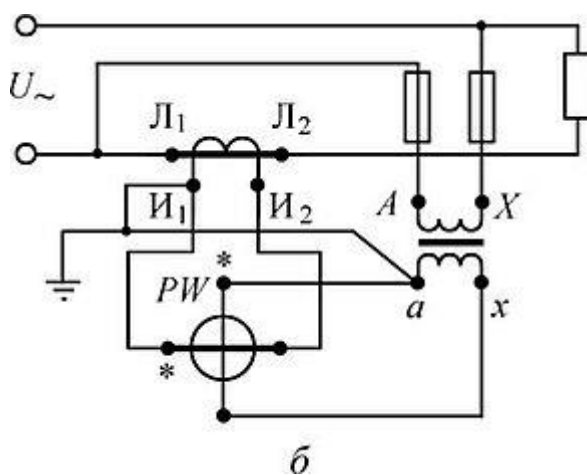


Рис. 11.6. Схемы включения ваттметра в однофазную цепь переменного тока: *а* — с использованием измерительного трансформатора тока; *б* — с использованием измерительных трансформаторов тока и напряжения

2

Следует обращать внимание на правильность подключения генераторных зажимов ваттметра и соответствующих зажимов измерительных трансформаторов. В схеме рис. 11.6, *а* значение измеряемой мощности P вычисляется умножением показания ваттметра $P_{цг}$ на номинальный коэффициент трансформации $K_{Iном}$ применяемого измерительного трансформатора тока:

$\Lambda \sim \Lambda_{\text{ном}} I_{\text{ном}}$

В схеме рис. 11.6, б значение измеряемой мощности определяется по формуле

$$P = \frac{U_{\text{Щ}}}{K_{\text{ном}}} \frac{I}{I_{\text{ном}}}$$

где $K_{\text{ном}}$ — номинальный коэффициент трансформации используемого измерительного трансформатора напряжения.

Измерение мощности методом двух приборов. Метод двух приборов используется при измерении мощности в трехфазной трехпроводной цепи с помощью двух одноэлементных ваттметров. Метод дает правильные результаты независимо от схемы соединения и характера нагрузки как при симметрии, так и при асимметрии токов и напряжений.

На рис. 11.7, а изображена схема включения двух одноэлементных ваттметров. Обычно токовая обмотка одного ваттметра, например PW_1 , включается в фазу А, а токовая обмотка другого ваттметра — PW_2 — в фазу С. Обмотки напряжения ваттметров включаются на линейные напряжения так, как это показано на рисунке.

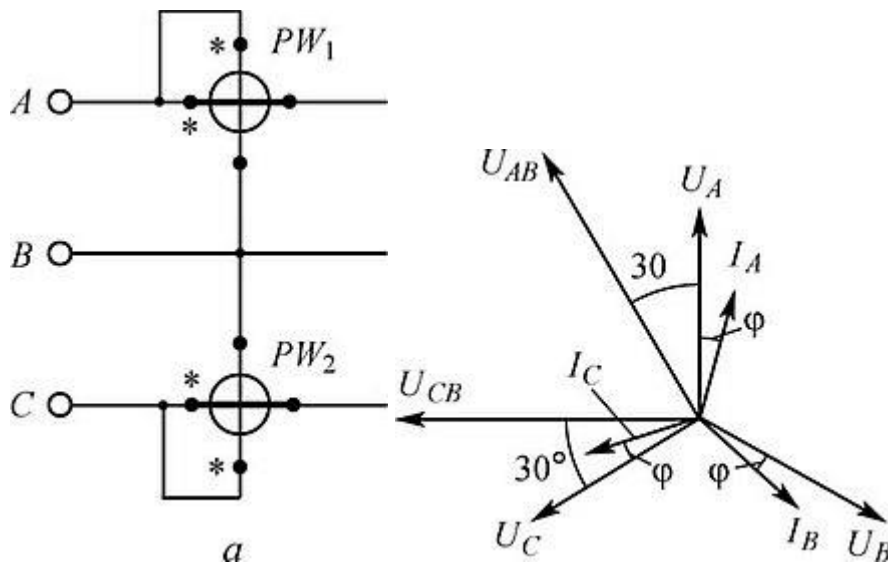


Рис. 11.7. Схема включения двух ваттметров в трехфазную трехпроводную цепь

(а) и векторная диаграмма (б)

На рис. 11.7, б представлена векторная диаграмма цепи для частного случая — случая симметрии токов и напряжений.

Показание ваттметра PW_1 в этом случае равно

$$PW_1 = U_{AB} I_A \cos (30^\circ + \phi) = u_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos (30^\circ + \phi), \quad (11.1)$$

а показание ваттметра PW_2 есть

$$PW_2 = U_{CB} I_C \cos (30^\circ - \phi) = u_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos (30^\circ - \phi). \quad (11.2)$$

Учитывая, что при измерении мощности с использованием метода двух приборов общая мощность цепи равна алгебраической сумме показаний ваттметров, а из выражения (11.1) и (11.2), получаем:

$$P = PW_x + PW_2 = U_n I_{\varphi} \cos (30^\circ + \varphi) + U_n I_{\varphi} \cos (30^\circ - \varphi).$$

После несложных преобразований имеем:

$$P = u_n I_{\varphi} 2 \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3} U_n I_{\varphi} \cos \varphi. \quad (11.3)$$

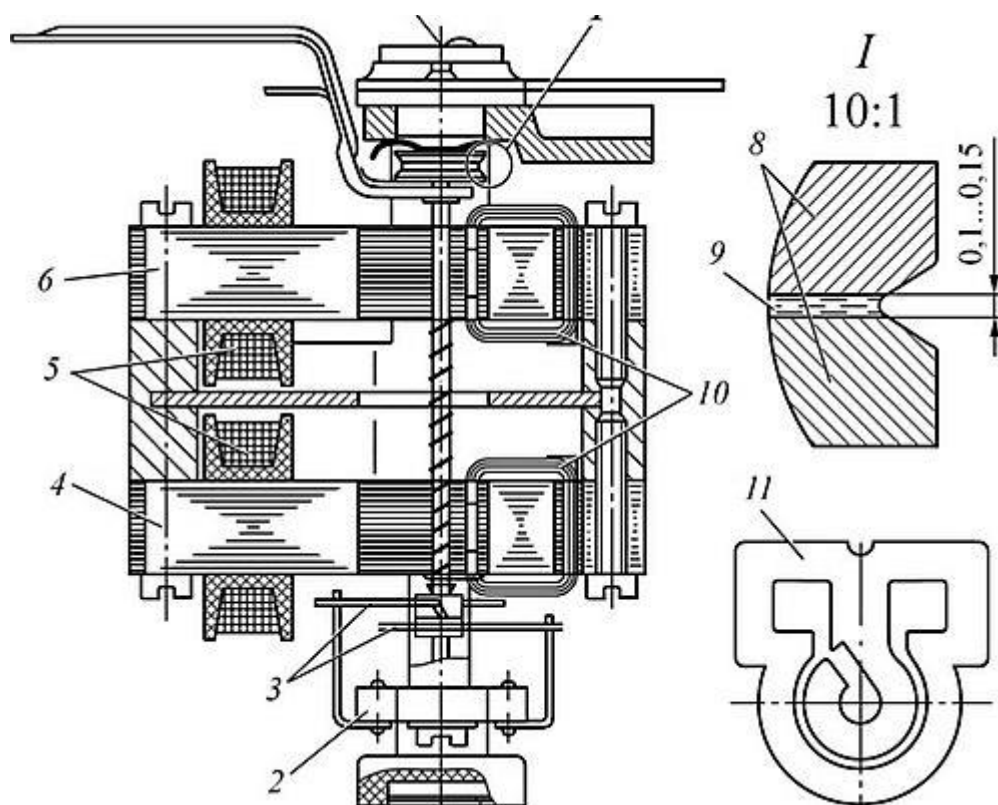
Таким образом, сумма показаний ваттметров PW_x и PW_2 , определяемая (11.3), есть не что иное, как мощность трехфазной цепи.

Отметим, что в соответствии с (11.1) и (11.2) показания каждого ваттметра могут быть положительными или отрицательными в зависимости от значения угла φ и его знака. При $\varphi = 0$, т. е. при чисто активной нагрузке, показание ваттметра PW_x равно показанию ваттметра PW_2 .

Двухэлементные ваттметры, обычно называемые трехфазными ваттметрами, представляют собой конструкцию из двух измерительных механизмов одноэлементных ферродинамических ваттметров с одной общей подвижной частью.

Конструкция двухэлементного ферродинамического измерительного механизма, широко используемого для построения трехфазных ваттметров, показано на рис. 11.8. Два шихтованных

7 Т



~ ^

Рис. 11.8. Измерительный механизм двухэлементного ферродинамического ваттметра: 1 и 7 — пружина плоская для растяжки; 2 — мостик; 3 — токопроводы; 4 и 6 — магнитопроводы; 5 — токовые катушки; 8 — пластины успокоителя; 9 — жидкость ПСМ; 10 — токовые катушки; 11 — пластина магнитопровода

магнитопровода 6 имеют неподвижные токовые обмотки 5. Обмотки напряжения, выполненные в виде подвижных рамок 10, укреплены на общей оси.

Включение токовых обмоток и обмоток напряжения трехфазных двухэлементных ваттметров производится по схеме рис. 11.7.

Расширение диапазонов измерения трехфазных двухэлементных ваттметров так же, как и одноэлементных однофазных ваттметров, осуществляется с помощью измерительных трансформаторов тока и напряжения. На рис. 11.9 показано включение элементов двухэлементного трехфазного ваттметра в трехфазную трехпроводную цепь через измерительные трансформаторы тока. В этом случае для получения мощности цепи показание ваттметра необходимо умножить на номинальный коэффициент трансформации $AT_{\text{ном}}$ применяемых измерительных трансформаторов тока. Если измерение мощности осуществляется двумя одноэлементными ваттметрами, то на значение $AG_{\text{ном}}$ умножается арифметическая сумма показаний ваттметров.

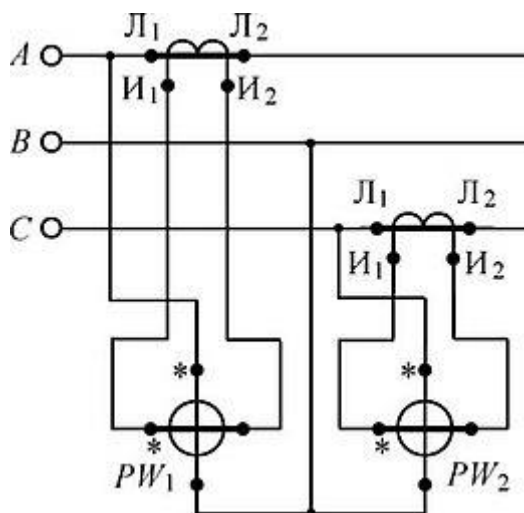


Рис. 11.9. Схема включения элементов двухэлементного ваттметра в трехфазную трехпроводную цепь с использованием трансформаторов тока

Измерение мощности методом трех приборов. Известно, что метод трех приборов применяется при измерении мощности в трехфазной четырехпроводной цепи (при этом используются три одноэлементных ваттметра). Так же, как и метод двух приборов, метод трех приборов дает правильные результаты независимо от схемы соединения и характера нагрузки как при симметрии, так и при асимметрии токов и напряжений. По схеме, реализующей метод трех приборов, включаются также элементы трехэлементных трехфазных ваттметров.

На рис. 11.10 приведена схема включения трех одноэлементных ваттметров по методу трех приборов в трехфазную четырехпроводную цепь, в этом случае каждый ваттметр измеряет мощность одной фазы:

$$L_{K,} = L^* =$$

$$Л_{К2} = P_{\phi} = u_{\phi} I_{\phi} \cos \phi_{\phi},$$

$$Л_{К3} = P_{\psi} = u_{\psi} I_{\psi} \cos \phi_{\psi},$$

где u_{ϕ} , u_{ψ} и u_{ψ} — фазные напряжения; I_{ϕ} , I_{ψ} — фазные токи; ϕ_{ϕ} , ϕ_{ψ} и ϕ_{ψ} — фазовые сдвиги между соответствующими фазными напряжениями и фазными токами.

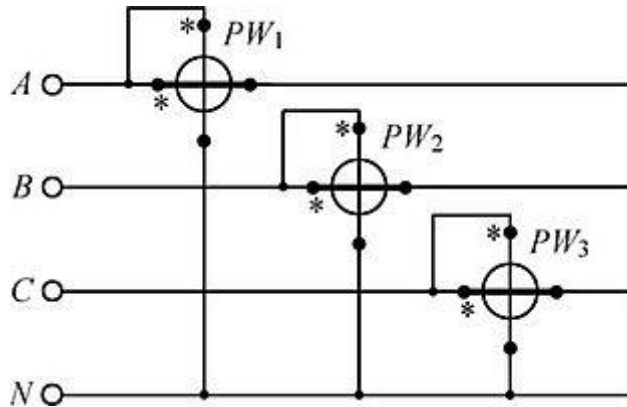


Рис. 11.10. Схема включения трех ваттметров в трехфазную

четырёхпроводную цепь

Очевидно, что для нахождения мощности трехфазной четырехпроводной цепи необходимо взять алгебраическую сумму показаний всех ваттметров:

$$P = P_A + P_{\phi} + P_{\psi} = P_{\psi} + Л_{К2} + Л_{К3}.$$

Конструктивная схема трехэлементного трехфазного ферро-динамического ваттметра приведена на рис. 11.11.

Каждый элемент содержит выполненный из магнитомягкого материала шихтованный магнитопровод с неподвижной токовой обмоткой 3. Подвижные рамки элементов 2 жестко укреплены на одной оси. Таким образом, на подвижную часть трехфазного трехэлементного ваттметра действует арифметическая сумма моментов всех трех элементов. Непосредственное включение элементов ваттметра в трехфазную четырехпроводную цепь осуществляется по схеме, изображенной на рис. 11.10.

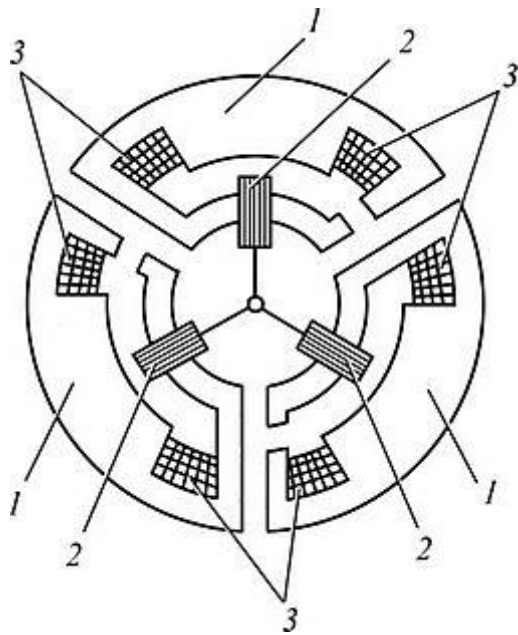


Рис. 11.11. Трехэлементный ферродинамический измерительный механизм: 1 — магнитопровод; 2 — подвижные рамки; 3 — неподвижные обмотки

Расширение диапазонов измерения трехэлементных трехфазных ваттметров осуществляется так же, как и двухэлементных ваттметров, — с помощью измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Контрольные вопросы

- 1. На что следует обращать внимание при подключении электродинамического ваттметра?
- 2. Как создается искусственная нулевая точка?
- 3. Какие ваттметры применяются в трехфазной четырехпроводной цепи?

Измерение частоты переменного тока

Частоту переменного тока измеряют частотомерами. Обычно применяют резонансные электромагнитные или ферродинамические приборы.

Электромагнитный резонансный частотомер имеет электромагнит 2 (рис. 344, а), в поле которого расположены стальной якорь 1 и соединенный с ним стальной брусок 5. Этот брусок укреплен на упругих пружинах 4 и на нем размещен ряд гибких стальных пластинок 3, площадь поперечного сечения которых подобрана таким образом, что каждая следующая пластинка имеет частоту собственных колебаний на 0,5 Гц больше, чем предыдущая. Сво-

Рис. 344. Устройство электромагнитного резонансного частотомера

Рис. 345. Принципиальная схема ферродинамического частотомера

бодные концы пластинок введены в прорезь, имеющуюся на шкале прибора. Катушка электромагнита присоединена к сети переменного тока так же, как и катушка вольтметра.

При прохождении по катушке переменного тока электромагнит создает магнитное поле, пульсирующее с частотой изменения тока. Находящийся в этом поле якорь 1 также начнет совершать колебательные движения и вызывать колебания связанных с ним пластинок 3.

Колебания пластинок обычно бывают настолько незначительными, что они не могут быть замечены глазом. Однако если частота собственных колебаний какой-либо пластинки совпадает с частотой изменения переменного тока, т. е. с частотой колебаний якоря, то наступит явление механического резонанса, при котором эта пластинка начнет колебаться с большой амплитудой. Белый

квадратик на ее конце превращается при этом в белую полосу (рис. 344,б), против которой по шкале можно отсчитывать измеряемую частоту. Значительно слабее колеблются две пластинки, колебания же всех остальных пластинок обычно совершенно незаметны для глаза.

Ферродинамический частотомер (рис. 345) представляет собой логометр ферродинамической системы. Катушки логометра соединяются в две параллельные цепи, которые подключаются к двум точкам а и б, между которыми действует напряжение переменного тока U (так же, как и вольтметры). Последовательно с неподвижной 3 и одной из подвижных 1 катушек включены катушка индуктивности L и конденсатор C , а последовательно с другой подвижной катушкой 2 — резистор с сопротивлением R (могут быть и другие комбинации R , L и C). Поэтому ток I_1 в первой параллельной ветви зависит от частоты f , а ток I_2 во второй цепи не зависит от f .

В результате при изменении частоты f будут изменяться ток I_1 и положение подвижной части логометра до тех пор, пока не наступит равновесие моментов M_1 и M_2 , создаваемых его катушками. Показания такого прибора будут зависеть от частоты f .

Какие приборы можно использовать

Классификация частотомеров

Все данные приборы делятся на две основные группы по области их применения:

1. Электроизмерительные. Применяются для бытового или же производственного измерения частоты в цепях переменного тока. Их используют при частотной регулировке оборотов асинхронных двигателей, так как вид частотного измерения оборотов, в этом случае, самый эффективный и распространённый.
2. Радиоизмерительные. Нашли применение исключительно в радиотехнике и могут измерять широкий диапазон высокочастотного напряжения. По конструкции частотомеры делятся на щитовые, стационарные и переносные. Естественно, переносные более компактные, универсальные и мобильные устройства, которые широко применяются радиолюбителями.

Для любого типа частотомера самыми важными характеристиками, на которые, в принципе, и должен обращать внимание человек при покупке, являются:

- Диапазон частот, которые прибор сможет измерить. При планировании работы именно со стандартной промышленной величиной 50 Гц, нужно внимательно ознакомиться с инструкцией, так как не все приборы её смогут увидеть.
- Рабочее напряжение в цепях, в которых будут проходить измерительные работы.
- Чувствительность, эта величина более важна для радиочастотных устройств.
- Погрешность, с которой он может производить замеры.

Мультиметр с функцией измерения частоты переменного тока

Самый распространенный прибор, с помощью которого можно узнать величину частотных колебаний и который находится в свободном широком доступе — это мультиметр

Нужно обращать своё внимание на его функциональные возможности, так как не каждый такой прибор сможет измерить частоту переменного тока в розетке или же другой электрической цепи

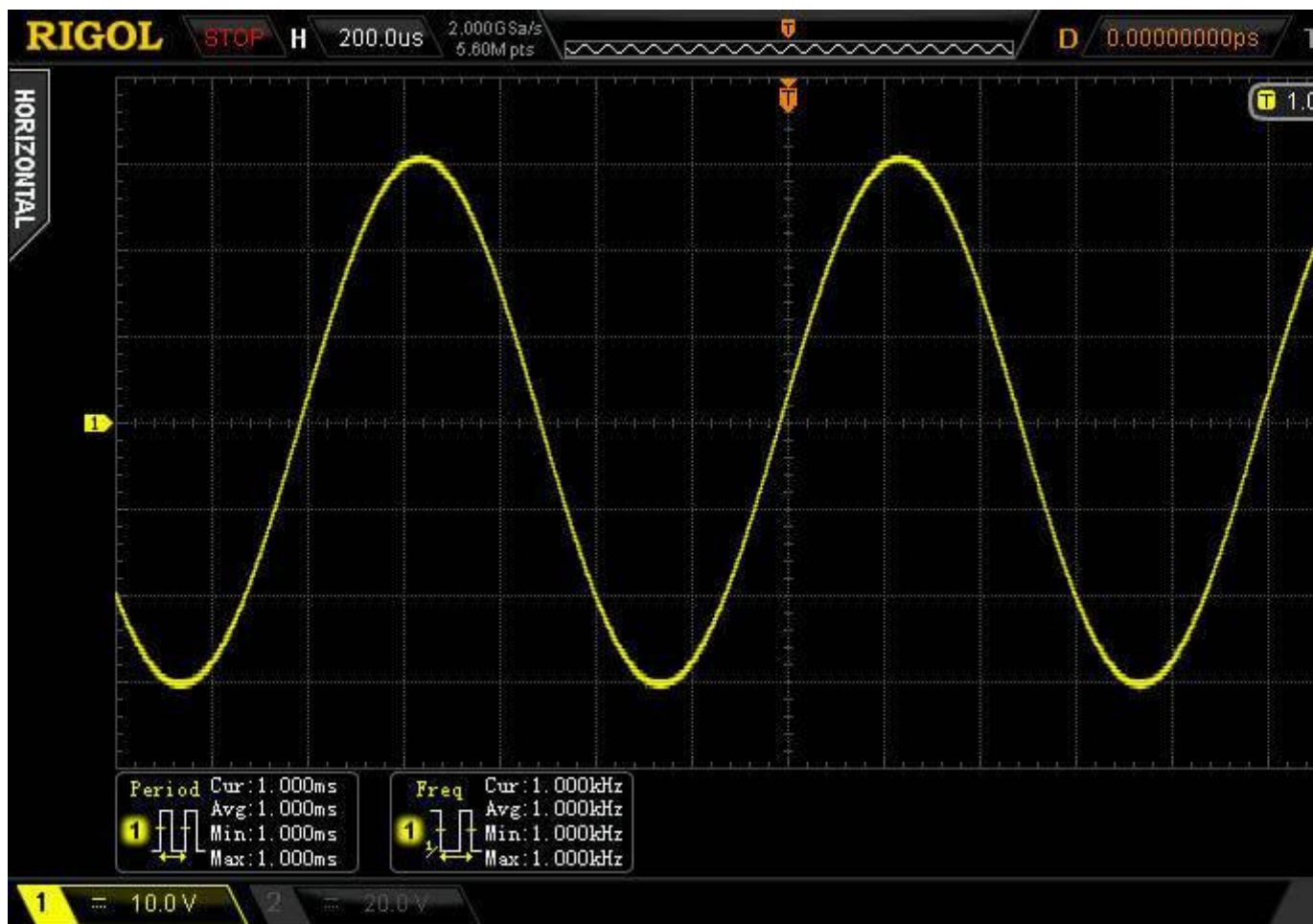


Такой тестер выполняется чаще всего очень компактным, для того чтобы в сумке он легко помещался, и был максимально функциональным, измеряющим помимо частоты также напряжение, ток, сопротивление, а иногда даже температуру воздуха, ёмкость и индуктивность. Современный вид мультиметра и его схема основаны чисто на цифровых электронных элементах, для более точного измерения. Состоит такой мультиметр из:

- Жидкокристаллического информативного индикатора для отображения результатов измерения, расположенного, чаще всего, в верхней части конструкции.
 - Переключателя, в основном, он выполнен в виде механического элемента, позволяющего быстро перейти от измерения одних величин к другим. Нужно быть очень осторожным, так как, допустим, если измерять напряжение, а переключатель будет стоять на отметке «I», то есть сила тока, тогда следствием этого неминуемо будет короткое замыкание, которое приведёт не только к выходу со строя прибора, но может вызвать и термический ожог дугой рук и лица человека.
 - Гнезд для щупов. С их помощью непосредственно происходит электрическая связь прибора с измеряемым токопроводящим объектом. Провода не должны иметь потрескиваний и изломов изоляции, особенно это касается их наконечников, которые будут находиться в руках измеряющего.
- Хотелось бы также упомянуть о специальных приставках к мультиметру, которые существуют и разработаны специально для того, чтобы увеличить число функций обычного прибора со стандартным набором.

Другие альтернативные методы измерения

Самый эффективный и простой способ проверки частоты — это использование осциллографа. Именно осциллографом пользуются все профессиональные электронщики, так как на нём можно визуально увидеть не только цифры, но и саму диаграмму. При этом нужно обязательно отключить встроенный генератор. Новичку в электронике будет довольно проблематично выполнить данные измерения с помощью этого прибора. О том, как пользоваться осциллографом, мы рассказали в отдельной статье.



Второй вариант — это измерение с помощью конденсаторного частотомера, имеющего диапазон измерений 10 Гц-1 МГц и погрешность около 2%. Он определяет среднее значение тока разрядки и зарядки, которое будет пропорционально частоте и измеряется косвенно с помощью магнитоэлектрического амперметра, со специальной шкалой.

Ещё один метод называется резонансный и основан он на явлении резонанса, возникающего в электрическом контуре. Тоже имеет шкалу с механизмом точной подстройки. Однако промышленную величину в 50 Гц этим способом невозможно проверить, работает он от 50 000 Гц.

Также вы должны знать, что существует реле частоты. Обычно на предприятиях, подстанциях, электростанциях — это основное устройство, которым контролируют изменение частоты. Данное реле воздействует на другие устройства защиты и автоматики для поддержания частоты на необходимом уровне. Есть разные типы реле частоты с разным функционалом, об этом мы расскажем в других публикациях.

Все же мультиметры и электронные цифровые частотомеры работают на обычном счёте импульсов, которые являются неотъемлемой частью, как импульсного так и другого переменного напряжения, необязательно синусоидального за определенный промежуток времени, обеспечивая при этом максимальную точность, а также широчайший диапазон.

Как выполняется измерение частоты

Перед тем как пользоваться мультиметром, а в частности, частотомером, внимательно нужно ознакомиться ещё раз с теми параметрами, которые он имеет возможность измерять. Для того чтобы правильно произвести их замер нужно освоить несколько этапов:

1. Включить прибор соответствующей кнопкой на корпусе, чаще всего она выделена ярким цветом.
2. Установить переключатель на измерение частоты переменного тока.
3. Взяв в руки два щупа и подключив их, согласно инструкции в соответствующие гнёзда, произведём опробование измерительного устройства. Для начала нужно попробовать узнать частоту напряжения в стандартной сети 220 Вольт, она должна равняться 50 Гц (отклонение может быть в несколько десятых). Эта величина чётко контролируется поставщиком электрической энергии, так как при её изменении могут выйти из строя электроприборы. Поставщик отвечает за качество предоставляемой электроэнергии и строго соблюдает все её параметры. Кстати, такая величина является стандартной не во всех странах. Присоединив выводы частотомера к выводам розетки, на приборе высветится величина около 50 Гц. Если показатель будет отличаться, то это будет его погрешностью и при следующих измерениях это нужно будет обязательно учесть. Далее, можно смело производить необходимые замеры, помня что частота есть только у переменного вида напряжения, постоянный ток не имеет изменяющегося периодически значения.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ

Общие сведения

Важнейшей характеристикой периодических процессов является частота, которая определяется числом полных циклов (периодов) колебаний за единичный интервал времени. Необходимость в **измерении частоты** возникает во многих областях науки и техники и особенно часто - в радиоэлектронике, которая охватывает обширную область электрических колебаний от инфранизких до сверхвысоких частот включительно.

Для измерения частоты источников питания электрорадиоустройств применяют электромагнитные, электро- и ферродинамические частотомеры с непосредственной оценкой по шкале логометрического измерителя, а также камертонные частотомеры. Эти приборы имеют узкие пределы измерений, обычно в пределах $\pm 10\%$ одной из номинальных частот 25, 50, 60, 100, 150, 200, 300, 400, 430, 500, 800, 1000, 1500 и 2400 Гц, и работают при номинальном напряжении 36, 110, 115, 127, 220 или 380 В.

Очень низкие частоты (менее 5 Гц) можно приближённо определить подсчётом числа полных периодов колебаний за фиксированный промежуток времени, например, с помощью магнитоэлектрического прибора, включённого в исследуемую цепь, и секундомера; искомая частота равна среднему числу периодов колебаний стрелки прибора в 1

с. Низкие частоты могут измеряться методом вольтметра, мостовым методом, а также методами сравнения с опорной частотой посредством акустических биений или электроннолучевого осциллографа. В широком диапазоне низких и высоких частот работают частотомеры, основанные на методах заряда - разряда конденсатора и дискретного счёта. Для измерения высоких и сверхвысоких частот (от 50 кГц и выше) применяются частотомеры, базирующиеся на резонансном и гетеродинном методах. На СВЧ (от 100 МГц и выше) широко применяется метод непосредственной оценки длины волны электромагнитных колебаний при помощи измерительных линий.

Если исследуемые колебания имеют форму, отличную от синусоидальной, то, как правило, измеряется частота основной гармоники этих колебаний. Если необходим анализ частотного состава сложного колебания, то применяются специальные приборы - анализаторы спектра частот.

Современная измерительная техника позволяет измерять высокие частоты с относительной погрешностью до 10^{-11} ; это означает, что частота примерно 10 МГц может быть определена с ошибкой не более 0,0001 Гц. В качестве источников высокостабильных образцовых частот используют кварцевые, молекулярные и атомные генераторы, а в области низких частот - камертонные генераторы. Методы стабилизации частоты, применяемые на радиовещательных станциях, позволяют поддерживать частоту с относительной погрешностью не более 10^{-6} , поэтому их несущие частоты можно успешно использовать в качестве опорных при частотных измерениях. Кроме того, через радиостанции Государственной службы времени и частоты СССР регулярно передаются колебания ряда образцовых частот (100 и 200 кГц, 2,5; 5; 10 и 15 МГц), которые представляют собой немодулированную несущую, периодически прерываемую подачей позывных и сигналов точного времени.

Во многих случаях радиотехнической практики при измерении низких частот можно допустить погрешность до 5-10%, а при измерении высоких частот - до 0,1-1%, что облегчает требования к схеме и конструкции применяемых частотомеров.

Измерение частоты при помощи вольтметра

Наиболее простым является косвенный способ измерения частоты, основанный на зависимости сопротивления реактивных элементов от частоты протекающего по ним тока. Возможная схема измерений представлена на рис. 1.

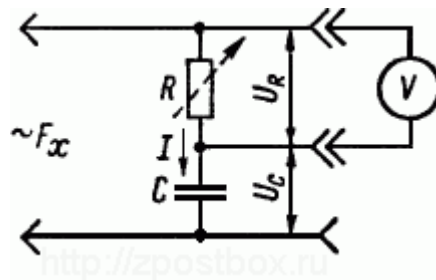


Рис. 1. Схема измерения частоты при помощи вольтметра

К источнику колебаний частоты F_x подключается цепочка из безреактивного резистора R и конденсатора C с малыми потерями, параметры которых точно известны. Высокоомным вольтметром переменного тока V с пределом измерения, близким к значению входного напряжения, поочерёдно измеряются напряжения U_R и U_C на элементах цепочки. Поскольку $U \cdot R = I \cdot R$, а $U_C = I / (2\pi F_x C)$ (где I - ток в цепи), то отношение $U_R / U_C = 2\pi F_x R C$, откуда следует:

$$F_x = 1 / (2\pi R C) \cdot U_R / U_C$$

Входное сопротивление вольтметра V должно по крайней мере в 10 раз превышать сопротивление каждого из элементов цепочки. Однако влияние вольтметра можно исключить, если использовать его лишь в качестве индикатора равенства напряжений U_R и U_C , достигаемого, например, плавным изменением сопротивления R . В этом случае измеряемая частота определяется простой формулой:

$$F_x = 1 / (2\pi R C) \approx 0,16 / (R C),$$

и при неизменной ёмкости конденсатора C переменный резистор R можно снабдить шкалой с отчётом в значениях F_x .

Оценим возможный порядок измеряемых частот. Если резистор R имеет максимальное сопротивление $R_M = 100$ кОм, то при $C = 0,01$ мкФ, 1000 и 100 пФ верхний предел измерений составит соответственно 160, 1600 и 16000 Гц. При выборе $R_M = 10$ кОм и тех же значениях ёмкостей эти пределы окажутся равными 1600 Гц, 16 и 160 кГц. Эффективность метода зависит от точности подбора номиналов и качества элементов RC-цепочки.

Ёмкостные частотомеры

Для практических целей наиболее удобны прямопоказывающие частотомеры, позволяющие вести непрерывные наблюдения за частотой исследуемых колебаний по шкале стрелочного измерителя. К ним относятся, прежде всего, ёмкостные частотомеры, действие которых основано на измерении среднего значения тока заряда или разряда опорного конденсатора, периодически перезаряжаемого напряжением

В положительный полупериод входного напряжения частоты f_x транзистор Т1 закрывается и напряжение на его коллекторе резко возрастает до значения U ; при этом происходит быстрый заряд до напряжения, близкого к U , одного из конденсаторов С, зарядный ток которого протекает через измеритель I и диод Д2. В отрицательный полупериод транзистор Т1 открывается, его сопротивление становится очень малым, что приводит к быстрому и почти полному разряду конденсатора С током, протекающим через диод Д1. За один период измеряемой частоты количество электричества, сообщаемое конденсатору при заряде и отдаваемое им при разряде, $q \approx CU$. Поскольку процесс заряда - разряда повторяется с частотой f_x , то

среднее значение I зарядного тока, регистрируемое измерителем I , оказывается пропорциональным этой частоте:

$$I = q \cdot f_x \approx C \cdot U \cdot f_x.$$

Это позволяет снабдить измеритель линейной шкалой, проградуированной непосредственно в значениях измеряемых частот.

Если известны ток полного отклонения измерителя I_n и постоянное напряжение U , то при заданном предельном значении измеряемых частот f_n конденсатор должен иметь ёмкость

$$C = I_n / (U \cdot f_n).$$

Например, при номиналах элементов схемы, указанных на рис. 2, частотомер может быть отрегулирован для работы при верхних пределах измерений 100 Гц, 1, 10 и 100 кГц.

В данной схеме коммутатор на транзисторе Т1 одновременно выполняет функции усилителя-ограничителя, благодаря чему показания частотомера мало зависят от формы входного напряжения. Любое периодическое входное напряжение с амплитудой примерно от 0,5 В и выше трансформируется в импульсное напряжение почти прямоугольной формы с неизменной амплитудой U_f которое питает измерительную (счётную) цепь частотомера. Конденсатор С3, шунтирующий измеритель, сглаживает пульсации стрелки последнего при измерении самых низких частот общего диапазона.

Подстроечный резистор R7, включённый параллельно измерителю, служит для коррекции шкалы частотомера в процессе его эксплуатации. При этом на вход частотомера подают напряжение опорной частоты от измерительного генератора или сети переменного тока (50 Гц) и регулировкой сопротивления R7 добиваются отклонения стрелки измерителя до соответствующего деления шкалы частот. Такую регулировку повторяют несколько раз, перемежая её с указанной выше установкой напряжения питания U , осуществляемой с помощью резистора R2.

Входное напряжение, меньшее 0,3-0,5 В, может оказаться недостаточным для запираания транзистора Т1 в течение большей части положительного полупериода; тогда конденсатор С не будет успевать заряжаться до напряжения U и показания частотомера окажутся заниженными. Для повышения чувствительности по входному напряжению до 20-50 мВ электронному ключу иногда предшествует усилительный каскад, выполняемый по схеме с общим эмиттером.

При чрезмерном входном напряжении входной транзистор может быть повреждён; это приводит к необходимости включения на входе ограничительных или регулировочных элементов, например потенциометра R1 в схеме на рис. 2. Входное напряжение следует повышать постепенно, следя за показаниями измерителя частотомера, и когда последние, после некоторого интервала возрастания, стабилизируются, можно производить оценку частоты f_x . Полезно осуществлять контроль входного напряжения с целью установки его на оптимальном для данного частотомера уровне, например 1,5 В. В данной схеме это имеет место в положении «U~» переключателя В, когда измеритель с диодами Д1, Д2 и резистором R4 образуют вольтметр переменного тока с пределом измерений примерно 3 В, контролирующий напряжение, снимаемое с потенциометра R1.

Частотомеры, выполненные по схемам, аналогичным рассмотренной, дают достаточно точные показания лишь при входных напряжениях, близких по форме к напряжениям (обычно синусоидальным), использованным при отладке и градуировке прибора. Универсальные ёмкостные частотомеры позволяют измерять частоты как непрерывных, так и импульсных напряжений любой формы и полярности в широком диапазоне частот и входных напряжений 1. В самом общем случае их функциональная схема содержит следующие последовательно включённые компоненты: входной делитель - согласующий каскад - усилитель - триггер Шмитта - дифференцирующая цепочка с фильтрующим диодом - ждущий мультивибратор - счётная схема. Высокоомный входной делитель, обычно ступенчатый, повышает максимально допустимые значения входных напряжений до сотен вольт. Эмиттерный или истоковый повторитель обеспечивает высокое входное сопротивление прибора, ослабляя его влияние на исследуемые цепи. Усилитель понижает максимально допустимое значение входного напряжения до десятков милливольт. Усиленные им колебания частоты f_x периодически запускают триггер Шмитта, который формирует прямоугольные импульсы с частотой повторения f_x .

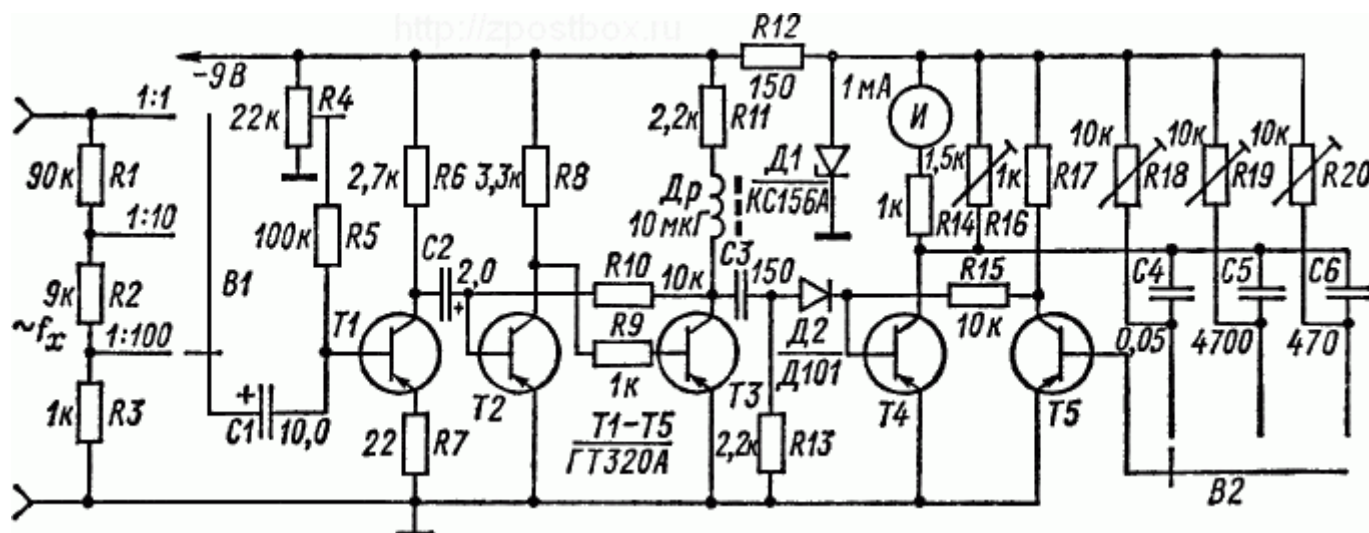


Рис. 3. Схема универсального ёмкостного частотомера

Поскольку длительность этих импульсов зависит от частоты и амплитуды входного сигнала, они непригодны для точного измерения частоты. Поэтому с помощью дифференцирующей RC-цепочки каждый прямоугольный импульс триггера преобразуется в пару остrokонечных импульсов различной полярности. Один из этих импульсов, возникающий при спаде прямоугольного импульса, отфильтровывается с помощью диода, а второй, соответствующий фронту прямоугольного импульса триггера, используется для запуска ждущего мультивибратора. Последний выдаёт прямоугольные импульсы строго определённой длительности и амплитуды, частота повторения которых, очевидно, равна f_x . В результате счётная схема с переключаемыми конденсаторами различных номиналов, выпрямительными элементами и стрелочным измерителем обеспечивает измерение частоты f_x при полной независимости отсчёта от амплитуды и формы входного напряжения. С целью уменьшения погрешности измерений (не превышающей в лучших образцах 1%) на каждом частотном пределе устанавливается оптимальная длительность импульсов мультивибратора, примерно равная половине периода наивысшей частоты этого предела измерений. Если питание универсального частотомера производится от сети переменного тока, то обязательно осуществляют параметрическую стабилизацию выпрямленного напряжения, причём частота сети 50 Гц или её удвоенное значение 100 Гц (частота пульсаций) используется в качестве опорной для коррекции шкалы.

В конкретных приборах рассмотренная функциональная схема реализуется в различных вариантах. На рис. 3 приведена схема сравнительно простого универсального частотомера с верхними пределами измерения 200, 2000 и 20 000 Гц, в котором может быть использован измеритель I с током полного отклонения 1-3 мА. Прибор содержит входной ступенчатый делитель $R1-R3$, усилитель на транзисторе $T1$, триггер Шмитта на транзисторах $T2$ и $T3$, дифференцирующую цепочку $C3, R13$ с диодом $D2$, пропускающим лишь импульсы положительной полярности, и ждущий мультивибратор на транзисторах $T4, T5$. Особенностью частотомера является отсутствие специальных выпрямительных элементов. Измеритель I включён в одно из плеч мультивибратора, открываемое на фиксированный интервал времени продифференцированными импульсами запуска, и регистрирует среднее значение коллекторного тока, пропорциональное частоте f_x . Верхние пределы измерений f_n определяются длительностью импульсов мультивибратора, которые устанавливаются подбором номиналов конденсаторов $C4-C6$ с использованием подстроечных резисторов $R18-R20$. Поскольку в данной схеме все счётные RC-цепочки взаимосвязаны, регулировку их следует производить в следующем

порядке: C4-R18, C5-R19 и C6-R20 с последующей повторной подстройкой всех пределов резисторами R18-R20.

Погрешность измерений частотомера определяется в основном точностью настройки и устойчивостью работы ждущего мультивибратора, поэтому напряжение питания последнего стабилизируется резистором R12 и стабилитроном Д1. Подстроечным резистором R4 подбирают оптимальное смещение на базе транзистора Т1 (4-5 В). При наличии высокочастотного предела измерений (например, до 200 кГц) для повышения быстродействия триггера и мультивибратора полезно включить параллельно резисторам R10 и R15 конденсаторы небольшой ёмкости (десятки пикофарад).

Поскольку усилитель на транзисторе Т1 работает в режиме ограничения амплитуды, то при входных напряжениях до 10-20 В можно обойтись без входного делителя напряжения; при этом на входе следует включить ограничительный резистор.

Электронно-счётные (цифровые) частотомеры

Электронно-счётные частотомеры по своим возможностям являются универсальными приборами. Их основное назначение - измерение частоты непрерывных и импульсных колебаний, осуществляемое в широком частотном диапазоне (примерно от 10 Гц до 100 МГц) при погрешности измерений не более 0,0005%. Кроме того, они позволяют измерять периоды низкочастотных колебаний, длительности импульсов, отношения двух частот (периодов) и т. д.

Действие электронно-счётных частотомеров основано на дискретном счёте числа импульсов, поступающих за калиброванный интервал времени на электронный счётчик с цифровой индикацией. На рис. 4 приведена упрощённая функциональная схема прибора. Напряжение измеряемой частоты f_x в усилительно-формирующем устройстве преобразуется в последовательность однополярных импульсов, повторяющихся с той же частотой f_x . Для этой цели часто используется система из усилителя-ограничителя и триггера Шмитта, дополненная на выходе дифференцирующей цепочкой и диодным ограничителем (см. [Ёмкостные частотомеры](#) и рис. 3). Временной селектор (электронный ключ с двумя входами) пропускает эти импульсы на электронный счётчик лишь в течение строго фиксированного интервала времени Δt , определяемого длительностью прямоугольного импульса, воздействующего на его второй вход. При регистрации счётчиком m импульсов измеряемая частота определяется формулой

$$f_x = m/\Delta t.$$

Например, если за время $\Delta t = 0,01$ с отмечено 5765 импульсов, то $f_x = 576,5$ кГц.

Погрешность измерения частоты определяется главным образом погрешностью калибровки выбранного интервала времени счёта. Задающим компонентом в системе формирования этого интервала является высокостабильный кварцевый генератор, положим, частоты 100 кГц. Создаваемые им колебания с помощью группы последовательно включённых делителей частоты преобразуются в колебания с частотами (f_0) 10 и 1 кГц, 100, 10, 1 и 0,1 Гц. которым соответствуют периоды (T_0) 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1 и 10 с (последние одно или два из указанных значений f_0 и T_0 у некоторых частотомеров отсутствуют).

Колебания выбранной (посредством переключателя В2) частоты f_0 (числовое значение последней является множителем к отсчёту по счётчику) с помощью триггера Шмитта преобразуются в прямоугольные колебания с частотой повторения f_0 . Под их действием в управляющем устройстве формируется интервальный импульс длительностью $\Delta t = T_0 = 1/f_0$ строго прямоугольной формы. Этот импульс вызывает сброс предыдущих показаний счётчика, а затем (с задержкой на несколько микросекунд) поступает на селектор и открывает его на время Δt для пропуска импульсов с частотой повторения f_x . После закрывания селектора число пропущенных им импульсов m фиксируется индикатором счётчика, а измеряемая частота определяется по формуле $f_x = m \cdot f_0$.

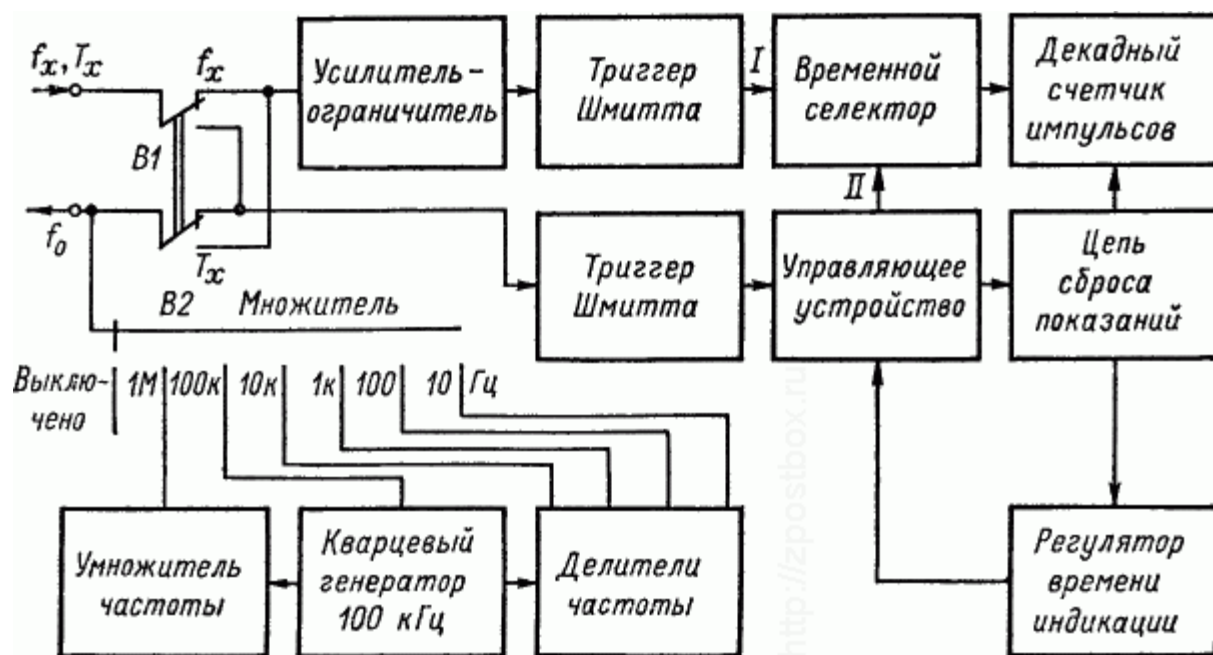


Рис. 4. Упрощённая функциональная схема электронно-счётного (цифрового) частотомера

Цепь управления селектором может запускаться вручную (нажатием кнопки «Пуск»); в этом случае управляющее устройство посылает на селектор одиночный импульс длительностью Δt и счётчик выдаёт разовый результат измерений с неограниченным временем индикации его. В режиме автоматического измерения частоты импульсы реле времени периодически повторяются и результаты измерения обновляются через выбранные интервалы времени.

Частотомер может служить источником колебаний ряда опорных частот f_0 , получаемых с помощью кварцевого генератора, умножителя и делителей частоты и снимаемых со специального выхода. Эти же колебания, поданные на вход частотомера, могут служить для проверки правильности показаний счётчика.

Счётчик частотомера собирается из 4-7 пересчётных декад на триггерных схемах и цифровых индикаторных лампах. Число декад определяет максимальное число значащих цифр (разрядов) в результатах измерений. Возможная ошибка счёта, называемая погрешностью дискретности, составляет одну единицу в цифре самого младшего разряда. Поэтому желателен выбор такого интервала времени счёта Δt , при котором используется максимальное число разрядов счётчика. Так, в рассмотренном выше примере при $\Delta t = 0,01$ с ($f_0 = 100$ Гц) для отсчёта оказалось достаточным четырёх разрядов счётчика и результат измерений $f_x = 576,5$ кГц ± 100 Гц. Предположим, что измерения повторены при $\Delta t = 0,1$ с ($f_0 = 10$ Гц) и получен отсчёт $m = 57653$ импульсов. Тогда $f_x = 576,53$ кГц ± 10 Гц. Ещё меньшая погрешность дискретности (± 1 Гц) будет получена при $\Delta t = 1$ с (в этом случае счётчик должен иметь не менее шести декад).

При расширении диапазона измерений частотомера в сторону высоких частот ограничивающим фактором является быстроедействие пересчётных декад. При выполнении триггерных схем на высокочастотных кремниевых транзисторах (например, типа КТ316А), имеющих время рассасывания заряда в базе примерно 10 нс, верхняя предельная измеряемая частота может достигать десятков мегагерц. В некоторых приборах при измерении высоких частот, превышающих, например, 10 МГц, их предварительно преобразуют в частоту, меньшую 10 МГц (например, частоту 86,347 МГц в частоту 6,347 МГц), пользуясь гетеродинным методом (см. [Гетеродинные частотомеры](#)).

Фактором, ограничивающим нижнюю предельную измеряемую частоту, является время измерений. Если, например, установить наибольший для многих частотомеров интервал времени счёта $\Delta t = 1$ с, то при регистрации счётчиком 10 импульсов результатом измерений явится частота $f_x = 10 = \pm 1$ Гц, т.е. погрешность измерения может достигать 10%. Для уменьшения погрешности, положим, до 0,01% необходимо было бы производить счёт импульсов в течение времени $\Delta t = 1000$ с.

Ещё большее время требуется для точного измерения частот, равных 1 Гц и менее. Поэтому в электронно-счётных частотомерах измерение очень низких частот f_x заменяют измерением периода их колебаний $T_x = 1/f_x$. Схема измерения периода колебаний образуется при установке переключателя $B1$ в положение « T_x » (рис. 4). Исследуемое напряжение после преобразования в триггере Шмитта воздействует на управляющее устройство, в котором формируется прямоугольный импульс длительностью T_x , поддерживающий временной селектор в открытом состоянии; в течение этого времени счётчик регистрирует импульсы, формируемые из колебаний одной из опорных частот f_0 , определяемой установкой переключателя $B2$. При числе m отмеченных импульсов измеряемый период

$$T_x = m/f_0.$$

Например, при $m = 15625$ и $f_0 = 1000$ Гц период $T_x = 15,625$ с, что соответствует частоте $f_x = 1/T_x = 0,054$ Гц. Измерения, в целях уменьшения их погрешности, желательно производить при возможно большем значении частоты f_0 (исключая, конечно, перегрузку счётчика). Если период $T_x < 1$ с ($f_x > 1$ Гц), то может оказаться рациональным использование колебаний частоты f_0 , равной 1 или 10 МГц, получаемых после умножителей частоты. При этом нижний предел измеряемых частот удаётся расширить до 0,01 Гц.

Измерению отношения двух частот f_1/f_2 ($f_1 > f_2$) соответствует установка переключателей $B2$ в положение «Выключено», а $B1$ - в положение « f_x ». Напряжение меньшей частоты f_2 подводят к зажимам « f_0 », и его период определяет интервал времени счёта Δt . Напряжение частоты f_1 , подводимое к входу преобразуется в импульсы, число которых (m) регистрируется счётчиком в течение времени $\Delta t = 1/f_2$. Искомое отношение частот $f_1/f_2 = m$ (с погрешностью до единицы). Очевидно, что данным способом имеет смысл находить отношение лишь значительно различающихся частот.

К недостаткам электронно-счётных частотомеров следует отнести сложность их схем, значительные габариты и массу, высокую стоимость.

Осциллографические методы измерения частоты

Измеряемая частота может быть определена сравнением её с известной опорной частотой f_0 . Такое сравнение чаще всего производится с помощью электроннолучевого осциллографа или методами биений.

Электроннолучевые осциллографы применяются для измерения частот колебаний главным образом синусоидальной формы в диапазоне частот примерно от 10 Гц до значения, определяемого верхней границей полосы пропускания каналов отклонения; погрешность измерений

практически равна погрешности калибровки источника колебаний (генератора) опорной частоты f_0 . Чаще всего измерения проводят при выключенной развёртке осциллографа, пользуясь схемой соединений, показанной на рис. 5. Напряжения измеряемой и известной частот подводят непосредственно или через усилители к различным парам отклоняющих пластин ЭЛТ (в зависимости от того, на какой вход осциллографа эти напряжения воздействуют, будем обозначать их частоты через f_x и f_y). Если эти частоты относятся друг к другу как целые числа, например 1:1, 1:2, 2:3 и т. п., то перемещение электронного луча приобретает периодический характер и на экране наблюдается неподвижное изображение, называемой фигурой Лиссажу. Форма этой фигуры зависит от соотношения амплитуд, частот и начальных фаз сравниваемых колебаний.

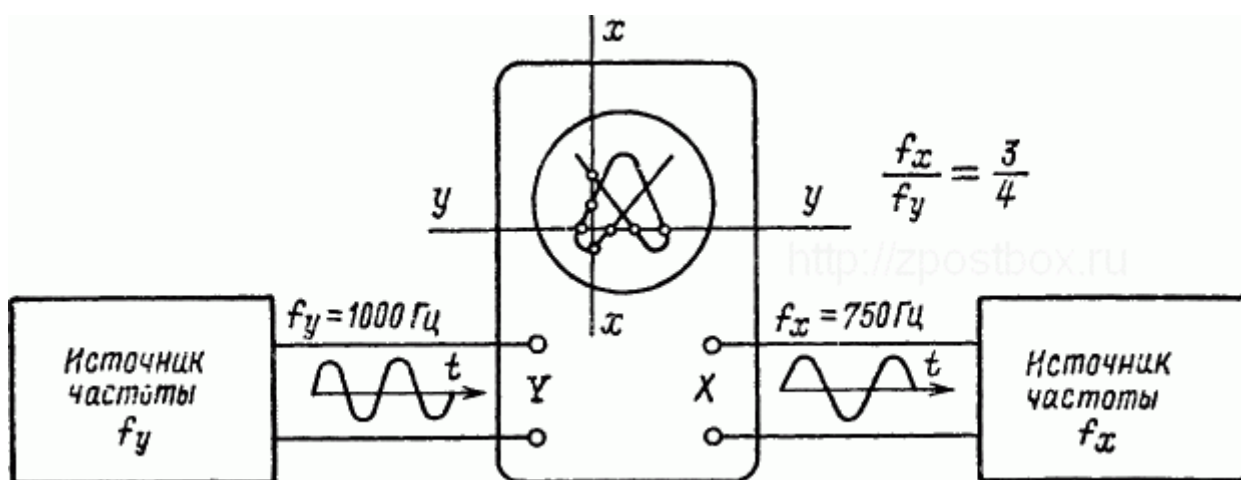


Рис. 5. Схема измерения частоты методом фигур Лиссажу

На рис. 6 показано образование фигуры Лиссажу при воздействии на отклоняющие пластины трубки двух синусоидальных колебаний одинаковой частоты и равных амплитуд, но имеющих различные начальные фазы. Эта фигура имеет вид наклонного эллипса, который при фазовых сдвигах между колебаниями в 0 и 180° сжимается в прямую наклонную линию, а при фазовых сдвигах 90° и 270° - превращается в окружность (условно считаем чувствительность по отклонению обеих пар пластин одинаковой). Если амплитуды напряжений частот f_x и f_y не равны, то в последнем случае вместо круга на экране будет наблюдаться эллипс с осями, параллельными плоскостям отклоняющих пластин.

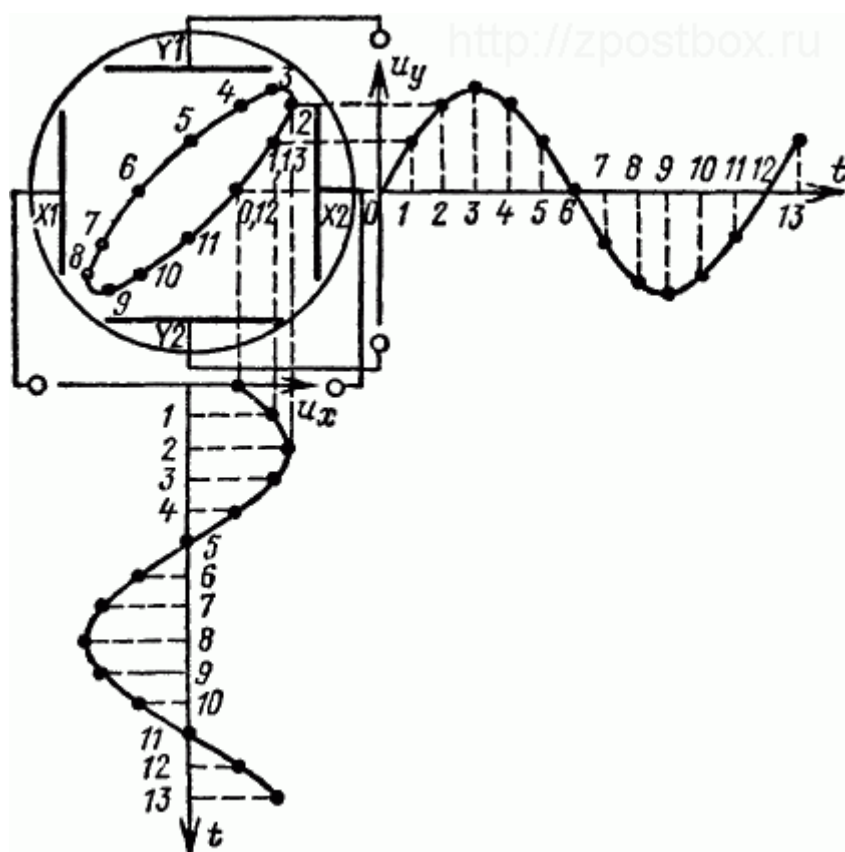


Рис. 6. Построение осциллограммы при отношении сравниваемых частот $f_x/f_y = 1$

Если отношение частот f_x/f_y (или f_y/f_x) равно двум, то фигура на экране принимает вид восьмёрки, которая при начальных фазовых сдвигах 90° и 270° стягивается в дугу. (Начальный фазовый сдвиг всегда оценивается по отношению к периоду напряжения более высокой частоты). Из таблицы, приведённой на рис. 7, видно, что чем больше числа дроби, характеризующей отношение сравниваемых частот, тем сложнее фигура Лиссажу, наблюдаемая на экране.

При измерении частоту опорного генератора f_0 (равную f_x или f_y) плавно изменяют до тех пор, пока на экране не возникнет одна из фигур Лиссажу возможно более простой формы. Эту фигуру мысленно пересекают линиями xx и yy , параллельными плоскостям отклоняющих пластин $X1$, $X2$ и $Y1$, $Y2$, и подсчитывают число пересечений каждой из линий с фигурой. Отношение полученных чисел точно равно отношению частот $f_x:f_y$ при условии, что проведённые линии не проходят через узловые точки фигуры или касательно к ней, а форма сравниваемых колебаний близка к синусоидальной.

$\frac{f_x}{f_y}$	Фазовый сдвиг φ				
	0	45°	90°	135°	180°
1:1					
1:2					
1:3					
2:3					

Рис. 7. Фигуры, наблюдаемые на экране при различных отношениях частот f_x/f_y

Определив отношение $f_x:f_y$ и зная одну из частот, например f_y , легко найти вторую частоту.

Предположим, что при известной частоте $f_y = 1000$ Гц на экране получена фигура, изображённая на рис. 5. Из приведённого на чертеже построения видно, что эта фигура соответствует отношению частот $f_x:f_y = 3:4$, откуда $f_x = 750$ Гц.

Вследствие некоторой нестабильности сравниваемых частот устанавливаемое между ними целочисленное или дробно-рациональное отношение постоянно нарушается, что приводит к постепенному изменению формы наблюдаемой фигуры, последовательно проходящей через все возможные фазовые состояния. Если зафиксировать время Δt , в течение которого фигура претерпевает полный цикл фазовых изменений (от 0 до 360°), то можно вычислить разность сравниваемых частот $|f_x - f_y| = 1/\Delta t$, знак которой легко определить экспериментально посредством небольшого изменения частоты f_0 . На высоких частотах даже весьма малая нестабильность одной из частот вызывает столь быстрые изменения фигуры Лиссажу, что становится невозможным определить отношение частот. Это ограничивает верхний предел измеряемых частот значением примерно 10 МГц.

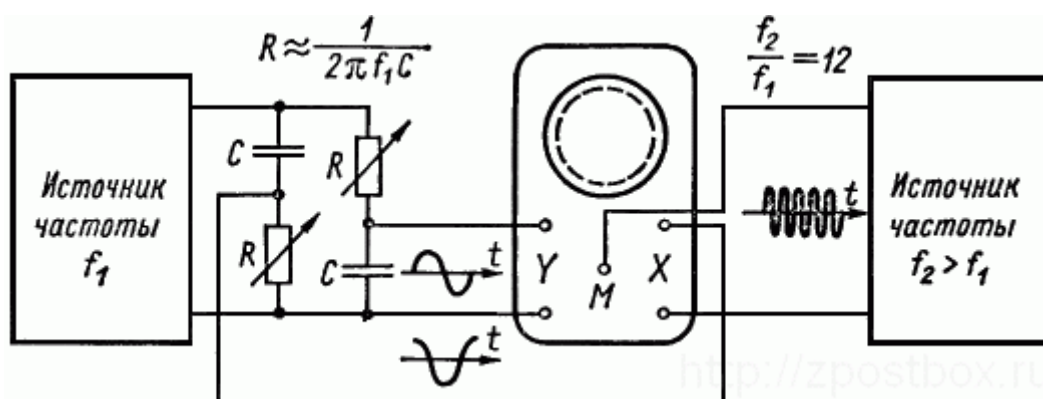


Рис. 8. Схема измерения частоты методом круговой развёртки с модуляцией яркости

При целочисленном отношении сравниваемых частот, превышающем 8-10, или дробном их отношении с числами в знаменателе или числителе, большими 4-5, из-за усложнения фигуры Лиссажу возрастает возможность ошибки в установлении истинного отношения частот. Точное определение сравнительно больших целочисленных отношений частот (до 30-50) может производиться методом круговой развёртки с модуляцией яркости изображения (рис. 8). В этом случае напряжение меньшей частоты f_1 с помощью двух одинаковых фазорасщепляющих RC-цепочек преобразуется в два напряжения той же частоты, взаимно сдвинутые по фазе на 90° . При воздействии этих напряжений соответственно на входы Y и X осциллографа и регулировке соотношения их амплитуд резисторами R и регуляторами усиления каналов Y и X световое пятно на экране будет перемещаться по кривой, близкой к окружности; последнюю с помощью регулятора яркости устанавливают чётко видимой. Напряжение более высокой частоты f_2 подводят к входу модулятора M (или канала Z) и оно периодически будет увеличивать и уменьшать интенсивность электронного луча, а следовательно, и яркость отдельных участков кривой развёртки на экране. При целочисленном отношении частот $f_2:f_1 = m$, достигаемом изменением одной из них, кривая наблюдаемой окружности становится штриховой, она состоит из f неподвижных светящихся отрезков равной длины, разделённых тёмными промежутками. При нарушении целочисленного отношения наблюдается вращение штриховой окружности, при большой скорости которого окружность представляется сплошной.

Рассмотренный метод можно применить и для измерения частоты повторения f_n импульсных колебаний. При этом напряжением опорной частоты f_0 осуществляют круговую развертку, регулятором яркости её устанавливают видимой или невидимой в зависимости от полярности (соответственно отрицательной или положительной) подводимых к модулятору импульсных колебаний. Последние будут создавать на линии развёртки в первом случае тёмные разрывы, а во втором - светящиеся точки. Плавным изменением частоты f_0 (от её минимально возможного значения) добиваются получения на линии развёртки одного

неподвижного или медленно перемещающегося следа импульса, при этом $f_n = f_0$.

Измерение частоты f_n импульсных колебаний можно производить и по схеме на рис. 5 при подаче синусоидального напряжения опорной частоты f_0 на вход X, а импульсного напряжения - на вход Y осциллографа. Частоту развёртки $f_0 = f_x$ постепенно повышают, начиная с её наименьшего значения, пока на экране не возникнет достаточно устойчивое изображение одного импульса, что имеет место при $f_n = f_0$. Такая методика измерений исключает возможность ошибки, поскольку одиночный импульс будет наблюдаться на экране и при других, больших единицы, целочисленных отношениях частот $f_0:f_n$.

Измерение частоты методами биений

Источником колебаний опорных частот обычно является измерительный генератор с плавной или плавно-ступенчатой настройкой, частоту которого f_0 можно установить равной измеряемой частоте f_x . Если частоты f_0 и f_x являются звуковыми, то об их равенстве можно приближённо судить, прослушивая поочерёдно тона создаваемых ими колебаний при помощи телефонов или громкоговорителя.

Погрешность измерений уменьшается практически до погрешности калибровки измерительного генератора, если одновременно подавать на телефоны электрические колебания обеих сравниваемых частот в соответствии со схемой на рис. 9, а. Если частоты f_0 и f_x близки друг к другу, то при сложении соответствующих им колебаний возникают акустические биения, которые проявляются в периодическом нарастании и спадании интенсивности прослушиваемого в телефонах T_Φ тона. Частота биений

$$F = |f_0 - f_x|$$

может быть определена подсчётом на слух числа нарастаний или спаданий интенсивности тона за фиксированный промежуток времени. Для того чтобы биения проявлялись достаточно резко, амплитуды колебаний частот f_0 и f_x нужно устанавливать примерно одинаковыми; это следует из рассмотрения рис. 9, б, где средняя кривая колебаний, пульсирующих с частотой F , представляет собой результат сложения верхней и нижней кривых колебаний, соответствующих частотам f_0 и f_x .

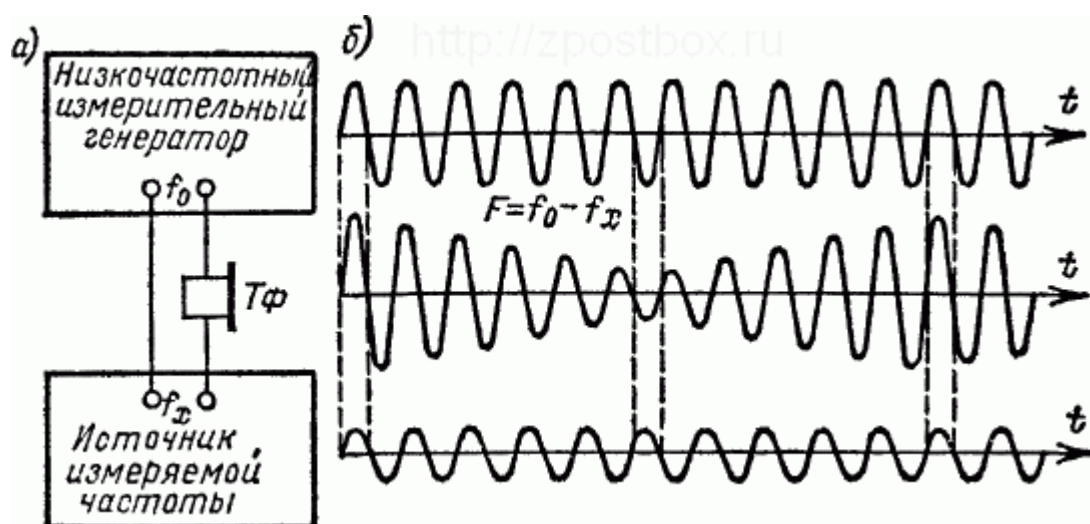


Рис. 9. К принципу измерения низких частот методом акустических биений

Изменением настройки генератора частоту f_0 приближают к частоте f_x , что обнаруживается по возрастанию периода биений. При совпадении сравниваемых частот биения пропадают и в телефонах слышен однообразный тон. Вместо телефонов в качестве индикатора биений можно применить вольтметр переменного тока; это особенно целесообразно при измерении частот выше 5 кГц, тон которых в телефонах прослушивается не чётко.

На высоких частотах сравнение частот f_0 и f_x чаще всего проводится методом нулевых биений. На рис. 10 представлена простейшая схема измерений. В цепь диода Д посредством катушек связи L_1 , L_2 и L одновременно вводятся колебания частот f_0 и f_x . В результате детектирования суммарного колебания в цепи диода возникает пульсирующий ток, содержащий составляющие основных частот f_0 и f_x , а также составляющие высших гармоник и комбинационных частот $f_0 + f_x$ и $|f_0 - f_x|$. Если частоты f_0 и f_x близки друг к другу, то разностная частота биений $F = |f_0 - f_x|$ может оказаться в пределах звуковых частот и тон этой частоты будет услышан в телефонах $Тф$, зашунтированных от токов высоких частот конденсатором C .

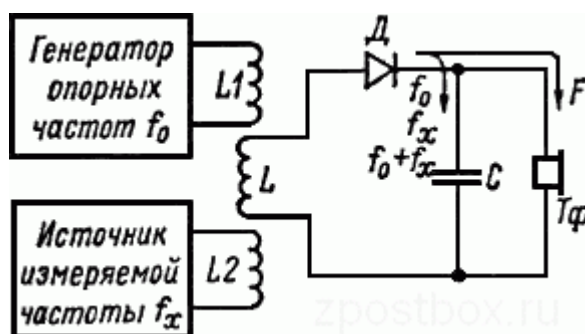


Рис. 10. К принципу измерения высоких частот методом нулевых биений

Если изменять одну из частот, например f_0 , приближая её к другой частоте f_x , тон в телефонах будет понижаться и при равенстве этих частот будут наблюдаться нулевые биения, обнаруживаемые по пропаданию звука в телефонах. Таким образом, измерение частоты сводится к определению частоты опорного генератора, при которой наступают нулевые биения. Как видно из графика на рис. 11, а, при отходе от точки нулевых биений разностная частота F возрастает как при увеличении, так и при уменьшении частоты генератора f_0 .

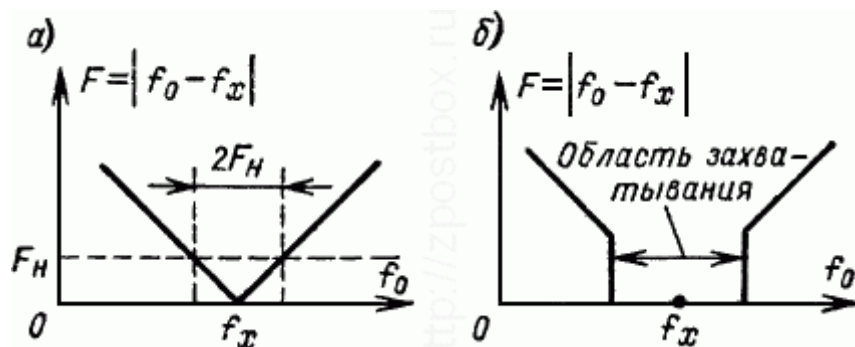


Рис. 11. Графики зависимости частоты биений от настройки генератора опорных частот

Погрешность измерения частоты определяется в основном погрешностью калибровки частоты f_0 опорного генератора. Однако при точных измерениях приходится учитывать возможную ошибку в несколько десятков герц, обусловленную тем, что слуховой аппарат человека не воспринимает тона с частотой ниже некоторой частоты F_H ; значения последней у различных людей лежат в пределах 10-30 Гц. Для исключения этой ошибки последовательно с телефонами T_f можно включить магнитоэлектрический измеритель тока, стрелка которого при очень низкой разностной частоте F будет пульсировать с этой частотой. При подходе к нулевым биениям колебания стрелки замедляются и их легко сосчитать за фиксированный промежуток времени.

Связь между опорным генератором и источником измеряемой частоты не должна быть сильной во избежание возникновения явления «захватывания», ведущего к возрастанию погрешности измерений. При сильной связи между двумя генераторами, разность частот настроек которых невелика, один из генераторов может навязать свою частоту другому и оба генератора будут создавать колебания одинаковой частоты. В этом случае частота биений F изменяется в соответствии с графиком на рис. 11, б, т. е. во всей области «захватывания» она оказывается равной нулю и звук в телефонах отсутствует.

В качестве чувствительного индикатора нулевых биений можно использовать электроннолучевой осциллограф, желательно с открытым входом по каналу Y . При этом в качестве нагрузки детекторной схемы (рис. 10) вместо телефонов включают резистор сопротивлением 50-200 кОм, напряжение с которого подаётся на вход Y осциллографа. При

включённой развёртке на экране просматривается кривая напряжения частоты биений F . С приближением к нулевым биениям период этого напряжения будет возрастать и при $f_0 = f_x$ на экране видна лишь горизонтальная линия развёртки. Если измерения проводятся при выключенной развёртке, то наблюдаемая на экране вертикальная линия при $f_0 = f_x$ превращается в точку.

На принципе измерения высоких частот методом нулевых биений основано действие кварцевых калибраторов и гетеродинных частотомеров.

Кварцевые калибраторы

Из приборов повышенной точности, применяемых для измерения высоких частот, самыми простыми являются кварцевые калибраторы. Они позволяют проверять шкалы радиоприёмных и радиопередающих (генераторных) устройств в ряде точек, соответствующих строго определённым (опорным) частотам.

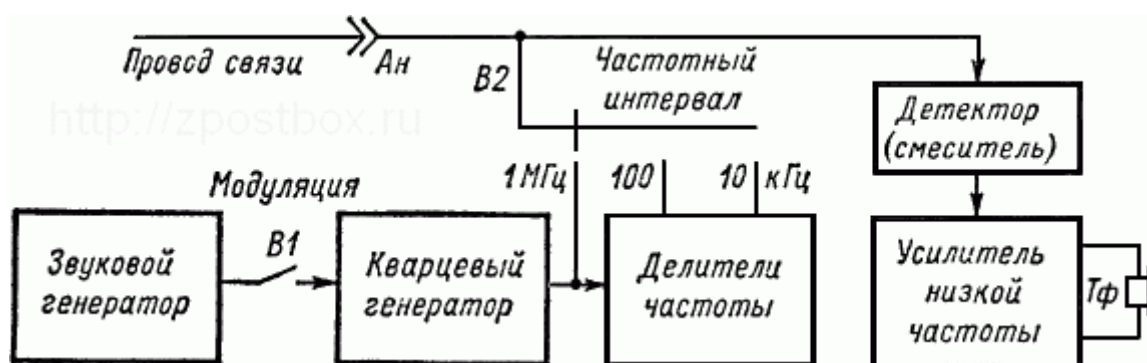


Рис. 12. Функциональная схема кварцевого калибратора

Функциональная схема кварцевого калибратора приведена в наиболее полном варианте на рис. 12. Основным компонентом прибора является кварцевый генератор, работающий в таком режиме, что возбуждаемые им колебания имеют форму, резко отличную от синусоидальной, и потому содержат, кроме составляющей основной частоты f_0 , большое число гармоник, частоты которых равны $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$ и т. д., а амплитуды постепенно убывают с повышением частоты. Обычно удаётся использовать для измерений от десятков до нескольких сотен гармоник, которые имеют такую же высокую стабильность (обычно в пределах 0,01 - 0,001%), как и частота f_0 стабилизированная кварцевым резонатором (кварцем) в условиях отсутствия специальных устройств (например, термостатов), повышающих эффект стабилизации.

Колебания, возбуждаемые кварцевым генератором, подводятся к гнезду (или зажиму) связи Ан, который вместе с присоединённым к нему небольшим проводником или штырём играет роль приёмной или передающей антенны в зависимости от характера использования

прибора. С целью экранировки прибор обычно помещают в металлический кожух.

При проверке шкал радиоприёмников калибратор служит источником колебаний ряда опорных частот, излучаемых через провод связи. Приёмник последовательно настраивают на различные гармоники кварцевого генератора и определяют соответствующие им точки шкалы. Если приёмник работает в телеграфном режиме, то его настройку на гармонику генератора фиксируют по нулевым биениям с частотой второго гетеродина, прослушиваемым в телефонах или громкоговорителе, подключённых к выходу приёмника. Шкалы приёмников прямого усиления проверяют при обратной связи, доведённой до генерации. Для проверки градуировки приёмников, работающих только в телефонном режиме, например радиовещательных, колебания кварцевого генератора необходимо промодулировать звуковой частотой, что требует введения в состав калибратора генератора колебаний частоты 400 или 1000 Гц (в приборах с сетевым питанием иногда используют для модуляции напряжение частотой 50 или 100 Гц). При этом настройку приёмника на гармонику кварцевого генератора производят по наибольшей громкости тона, воспроизводимого громкоговорителем, или, значительно точнее, по максимальным показаниям вольтметра, подключаемого к выходу приёмника.

Если кварцевый калибратор предназначен также для проверки шкал высокочастотных генераторов, например радиопередатчиков, то он дополняется детектором (смесителем), вход которого соединяется с гнездом связи Ан и выходом кварцевого генератора. Колебания проверяемого передатчика, наводимые в проводнике связи, создают биения с ближайшей к ним по частоте гармоникой кварцевого генератора; в результате детектирования выделяются колебания разностной частоты биений, которые после усиления прослушиваются в телефонах Т_ф. Передатчик последовательно настраивают на частоты ряда гармоник генератора по нулевым биениям и тем самым определяют соответствующие им точки частотной шкалы передатчика.

Основным недостатком кварцевых калибраторов является многозначность результатов измерений, поскольку нулевые биения позволяют установить лишь факт равенства измеряемой частоты одной из гармоник кварцевого генератора без фиксации номера этой гармоники. Во избежание ошибки в установлении частоты гармоники, создающей нулевые биения, желательно, чтобы исследуемое устройство имело шкалу частот, приближённо проградуированную с помощью какого-либо прибора с однозначной оценкой частоты (резонансного частотомера, измерительного генератора и т. п.), точность измерений которого может быть невелика.

Разность частот соседних опорных точек калибратора равна основной частоте кварцевого генератора f_0 . С целью охвата основных радиовещательных диапазонов частоту f_0 часто берут равной 100 кГц, что обеспечивает проверку шкал радиоустройств до частот порядка 10 МГц ($\lambda = 30$ м). Для расширения диапазона измеряемых частот в сторону более коротких волн и исключения ошибки в определении частоты используемой гармоники предусматривают возможность работы кварцевого генератора на двух стабилизированных и находящихся в 10-кратном отношении основных частотах, равных обычно 100 и 1000 кГц. Каждой из этих частот отвечает своя сетка опорных точек. Принцип совместного использования обеих основных частот можно уяснить из следующего примера. Предположим, что проверяется настройка передатчика на частоте 7300 кГц. Тогда калибратор первоначально включают на основную частоту 1000 кГц. Передатчик настраивают по нулевым биениям на ближайшую к искомой частоту, кратную 1000 кГц, т. е. на частоту 7000 кГц. На этой частоте возможность ошибки практически исключена, так как опорные точки расположены редко, через 1000 кГц. Затем калибратор переключают на основную частоту 100 кГц; при точной подгонке кварцев нулевые биения должны сохраниться. Настройку передатчика плавно изменяют по направлению к требуемой частоте и отмечают последовательно точки шкалы, соответствующие нулевым биениям на частотах 7100, 7200 и 7300 кГц.

Если требуется уменьшить интервал между соседними опорными частотами, то применяют делители частоты, которые обычно выполняются по схеме мультивибратора, синхронизируемого на субгармонике входного сигнала. Так, с помощью двух каскадов деления с коэффициентами деления, равными 10, при основной частоте кварцевого генератора 1 МГц можно получить колебания с основными частотами 100 и 10 кГц и большим числом гармоник. Тогда точка шкалы, отвечающая, например, частоте 7320 кГц, будет выявлена при последовательном прохождении опорных точек на частотах 7000, 7100, 7200, 7300, 7310 и 7320 кГц. При основной частоте кварца 100 кГц с помощью двух делителей можно получить колебания с основными частотами 10 и 1 (или 2) кГц, однако их гармоники на высоких частотах будут очень слабыми. Колебания комбинационных частот с малыми интервалами между опорными точками, но имеющие значительную интенсивность, могут быть получены методом смешивания колебаний нескольких основных частот.

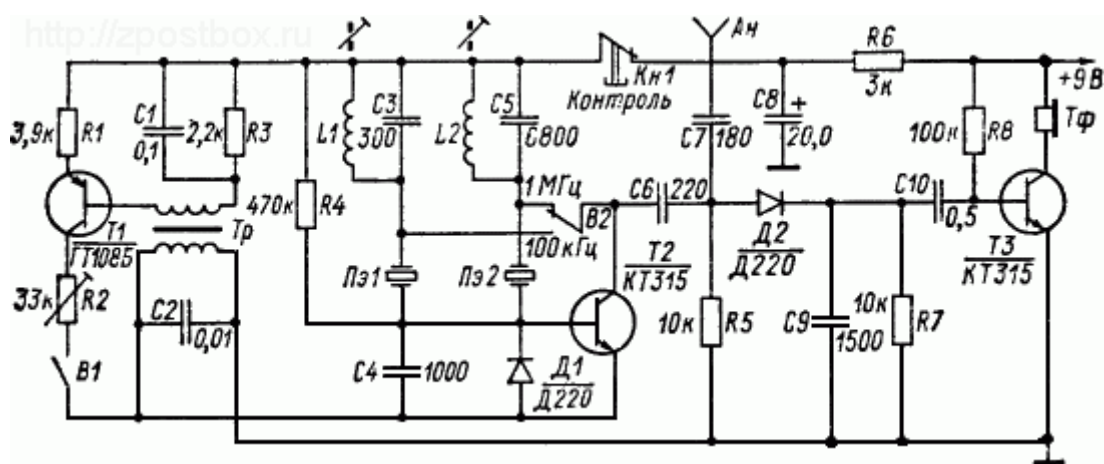


Рис. 13. Схема универсального кварцевого калибратора

На рис. 13 приведена схема простого кварцевого калибратора, пригодного для измерения частоты генераторных и радиоприёмных устройств. Кварцевый генератор на транзисторе Т2 возбуждает колебания основной частоты 100 или 1000 кГц в зависимости от установки переключателя В2. Точная подгонка основных частот под номиналы производится подстроечными сердечниками катушек L1 и L2. Искажение формы колебаний, необходимое для получения большого числа гармонических составляющих, достигается включением между эмиттером и базой транзистора Т2 диода Д1. При необходимости модуляции этих колебаний выключателем В1 запускается генератор низкой частоты на транзисторе Т1. Детектирование биений осуществляется диодом Д2, высокочастотные составляющие выпрямленного тока отфильтровываются конденсатором С9.

Напряжение частоты биений, усиленное транзистором Т3, создаёт звуковые колебания в телефонах Тф.

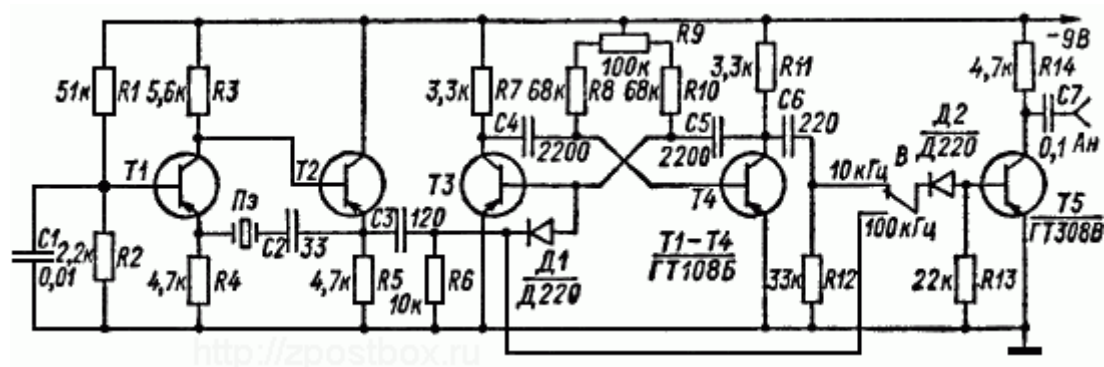


Рис. 14. Схема кварцевого калибратора с делителем частоты

На рис. 14 представлена схема кварцевого калибратора, предназначенного для градуировки частотных шкал радиоприёмников. Кварцевый генератор на транзисторах Т1 и Т2 возбуждает колебания частоты 100 кГц. Точная подгонка частоты под номинал может выполняться подбором ёмкости конденсатора С2 или подстроечным

конденсатором небольшой ёмкости, включаемым параллельно контактам кварцедержателя. Параметры мультивибратора на транзисторах Т3, Т4, служащего для деления частоты в 10 раз, подбираются такими, чтобы в режиме свободных автоколебаний он генерировал колебания с частотой, несколько меньшей 10 кГц. Тогда при воздействии на него колебаний кварцевого генератора он будет синхронизироваться на частоте 10 кГц; это должно быть тщательно проверено при наладке прибора: между колебаниями смежных гармоник частоты 100 кГц в 9 точках шкалы проверяемого устройства должны проявляться гармоники частоты 10 кГц. Обилию гармоник способствует уменьшение длительности импульсов с помощью дифференцирующих цепочек С3, R6 и С6, R12, а также усиление импульсов включённым на выходе импульсным усилителем на транзисторе Т5.

При эксплуатации кварцевых калибраторов следует учитывать, что вследствие старения собственная частота кварцевых резонаторов со временем несколько изменяется.

Гетеродинные частотомеры

Гетеродинные частотомеры применяются для точных частотных измерений в плавном диапазоне высоких частот. В принципе гетеродинный частотомер отличается от кварцевого калибратора, выполненного по функциональной схеме на рис. 12, лишь тем, что вместо кварцевого генератора в нем используется гетеродин, т. е. маломощный генератор с плавно регулируемой частотой настройки. Наличие смесителя позволяет использовать прибор не только для градуировки частотных шкал радиоприёмников, но и для измерения методом нулевых биений частоты генераторов. Индикация нулевых биений осуществляется телефонами, осциллографическими и электронно-световыми индикаторами, а также стрелочными измерителями.

Погрешность измерений гетеродинного частотомера в основном определяется стабильностью частоты гетеродина и погрешностью её установки. Поэтому часто предпочитают гетеродины выполнять на электронных лампах. Повышению стабильности частоты способствуют правильный выбор схемы и конструкции гетеродина, применение в нем деталей с малым температурным коэффициентом, включение буферного каскада между гетеродином и выходными цепями, стабилизация напряжений питания, длительный прогрев прибора под током перед измерениями. Для повышения плавности регулировки и точности установки частоты управление конденсатором настройки гетеродина обычно осуществляют через верньерный механизм с большим замедлением (до 100-300 раз). Непосредственный отсчёт частоты по шкале конденсатора переменной ёмкости производят лишь в самых простых конструкциях; в большинстве приборов шкала выполняется

равномерной с очень большим числом делений (до нескольких тысяч), а отсчёт по ней переводится в частоту при помощи таблиц или графиков.

С целью уменьшения числа частотных поддиапазонов и повышения устойчивости частоты гетеродины обычно работают в узком участке сравнительно невысоких частот (при коэффициенте перекрытия, равном двум), а для измерений используются как основные частоты генерируемых колебаний, так и ряд их гармоник; возникновение последних обеспечивается подбором режима работы гетеродина или буферного усилителя. Например, в частотомере широкого применения типа Ч4-1 с общим диапазоном измеряемых частот от 125 кГц до 20 МГц гетеродин имеет два плавных поддиапазона основных частот: 125-250 кГц и 2-4 МГц. На первом поддиапазоне при использовании первой, второй, четвёртой и восьмой гармоник удаётся плавно перекрыть полосу частот 125-2000 кГц; на втором поддиапазоне при использовании первой, второй, четвёртой и частично пятой гармоник перекрывается полоса частот 2-20 МГц. Таким образом, каждому положению ручки настройки гетеродина соответствуют три или четыре рабочие частоты, значения которых могут быть определены по градуировочной таблице. Например, измерение частот 175, 350, 700 и 1400 кГц производится при одной и той же настройке гетеродина на основную частоту $f_r = 175$ кГц.

Многозначность частот настройки гетеродина создаёт возможность ошибки в установлении гармоник, с которой колебания измеряемой частоты f_x создают биения. Поэтому, приступая к измерениям, необходимо знать приближённое значение частоты f_x . Однако последнюю можно определить и расчётным путём при помощи самого гетеродинного частотомера.

Предположим, что при изменении настройки гетеродина получены нулевые биения с частотой f_x при двух соседних значениях основных частот f_{r1} и f_{r2} одного и того же поддиапазона гетеродина. Очевидно, что частота f_x является одновременно гармоникой обеих этих частот, т. е.

$$f_x = n \cdot f_{r1} = (n+1) \cdot f_{r2}.$$

где n и $(n + 1)$ - номера гармоник соответственно для основных частот f_{r1} и f_{r2} (при $f_{r2} < f_{r1}$).

Решая полученное равенство относительно n , находим

$$n = f_{r2} / (f_{r1} - f_{r2}).$$

Следовательно, измеряемая частота

$$f_x = n \cdot f_{r1} = f_{r1} \cdot f_{r2} / (f_{r1} - f_{r2}).$$

Например, если нулевые биения получены при основных частотах $f_{r1} \approx 1650$ кГц и $f_{r2} \approx 1500$ кГц, то приближённо $f_x \approx 1650 \cdot 1500 / (1650 - 1500) = 16500$ кГц.

При измерении частоты следует остерегаться ошибки, обусловленной возможностью возникновения биений между колебаниями гетеродина и гармоникой измеряемой частоты; поэтому измерения следует проводить при слабой связи между частотомером и исследуемым генератором. Погрешность измерений возрастает и при воздействии на прибор модулированных колебаний; в этом случае биения с основной (несущей) частотой будут прослушиваться на шумовом фоне биений с боковыми частотами.

Гетеродинные частотомеры рассмотренного типа обеспечивают измерение высоких частот с погрешностью примерно 1%. Снижение погрешности измерений до 0,01% и менее достигается при дополнении частотомера кварцевым генератором, позволяющим перед началом измерений производить проверку и коррекцию шкалы гетеродина в ряде опорных точек.

Развёрнутая функциональная схема гетеродинного частотомера повышенной точности представлена на рис. 15. Гетеродин имеет два поддиапазона, подгонка которых осуществляется подстроечными конденсаторами С3 и С4. Частота основных колебаний задаётся прямоточным конденсатором переменной ёмкости С1. Уровень входного (выходного) сигнала регулируется потенциометром R. Кварцевый генератор создаёт богатые гармониками колебания, основная частота которых часто берётся равной 1 МГц. Выбор рода работы прибора производится без нарушения межкаскадных связей посредством включения или выключения питания отдельных компонентов. При установке переключателя В2 в положение 3 («Кварц») гетеродин выключен, а кварцевый генератор включён; при этом частотомер можно использовать как кварцевый калибратор для частотных измерений на гармониках генератора. В положении переключателя 1 («Гетеродин»), наоборот, кварцевый генератор выключен, а гетеродин включён. Это нормальный режим работы частотомера.

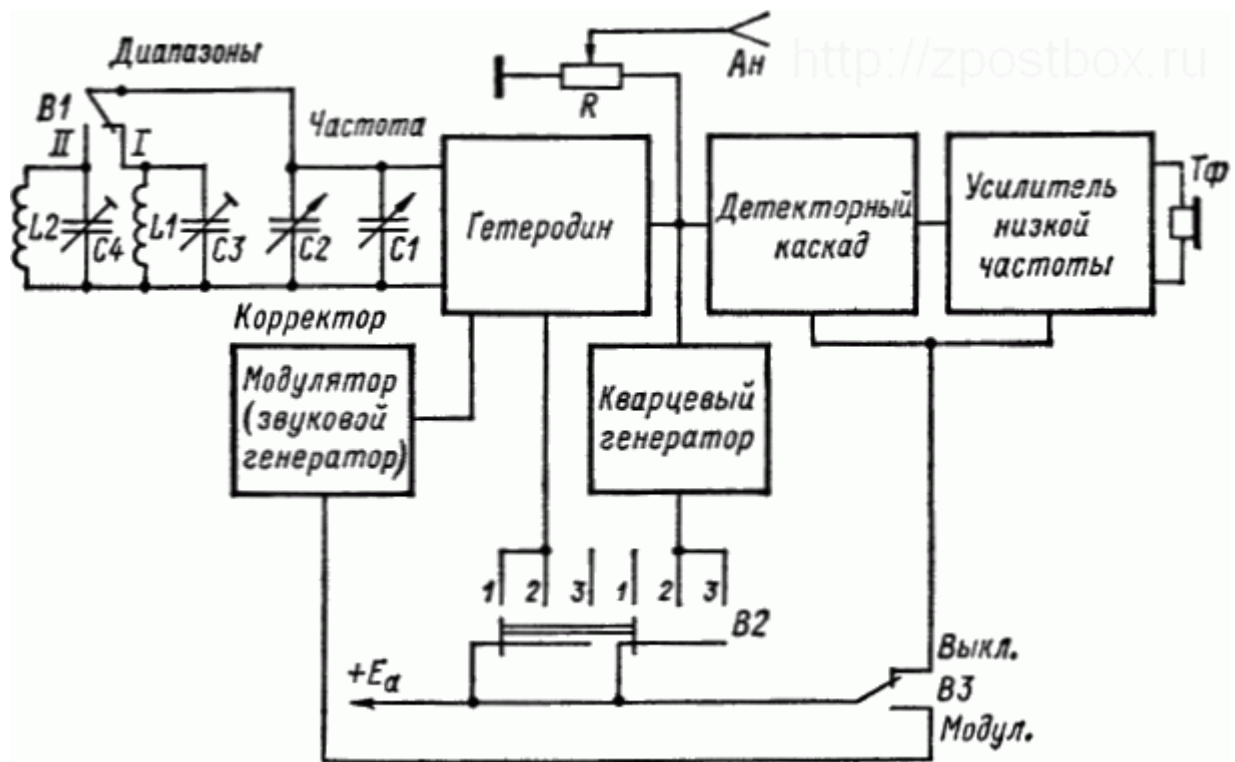


Рис. 15. Функциональная схема гетеродинного частотомера повышенной точности

Проверка шкалы частот гетеродина производится при установке переключателя В2 в положение 2 («Проверка»), когда одновременно включены и гетеродин, и генератор, колебания которых подводятся к детектору. При определённом соотношении частот или гармоник этих колебаний возникают звуковые биения, частота которых определяется формулой

$$F = |m \cdot f_{\text{г}} - n \cdot f_{\text{к}}|,$$

где $f_{\text{г}}$ и $f_{\text{к}}$ - основные частоты соответственно гетеродина и кварцевого генератора, а m и n - целые числа, отвечающие номерам взаимодействующих гармоник.

Частота биений оказывается равной нулю ($F = 0$) для ряда частот диапазона гетеродина, удовлетворяющих условию

$$f_{\text{г}} = (n/m) \cdot f_{\text{к}}.$$

Эти частоты называются опорными и специально выделяются в градуировочных таблицах. Найдём для примера опорные частоты (f_0) диапазона гетеродина 2000-4000 кГц, если основная частота кварцевого генератора $f_{\text{к}} = 1000$ кГц:

при $m = 1$ и $n = 2, 3$ и 4 $f_0 = 2000, 3000$ и 4000 кГц; при $m = 2$ и $n = 5$ и 7 $f_0 = 2500$ и 3500 кГц;

при $m = 3$ и $n = 7, 8, 10$ и 11 $f_0 = 2333, 2667, 3333$ и 3667 кГц и т. д.

Следует учитывать, что с возрастанием номеров взаимодействующих гармоник амплитуда биений уменьшается.

Если градуировка шкалы гетеродина нарушена, то при установке его ручки настройки на одну из опорных частот и включении кварцевого генератора вместо нулевых биений создаются колебания звуковой частоты, которые после усиления прослушиваются в телефонах T_{ϕ} . Для коррекции (калибровки) служит конденсатор C_2 небольшой ёмкости, включённый параллельно основному конденсатору настройки C_1 : с его помощью перед началом измерений добиваются нулевых биений в ближайшей к измеряемой частоте опорной точке.

Порядок настройки гетеродинного частотомера рассмотрим на следующем примере. Предположим, что требуется проверить правильность шкалы передатчика на частоте 10700 кГц. Обращаясь к градуировочной таблице частотомера, находим, что этой частоте соответствует основная частота $10700/4 = 2675$ кГц. По таблице или шкале основных точек определяем, что ближайшая опорная частота равна 2667 кГц. Тогда по шкале конденсатора C_1 устанавливаем частоту 2667 кГц и, поставив переключатель B_2 в положение «Проверка» (2), корректором C_2 добиваемся нулевых биений. Затем переключатель B_2 ставим в положение «Гетеродин» (1) и, установив частоту гетеродина 2675 кГц, производим на этой частоте проверку шкалы передатчика.

При измерении неизвестной частоты f_x калибровка шкалы гетеродина производится в опорной точке, ближайшей к предполагаемому значению этой частоты, а затем в режиме измерения устанавливают нулевые биения регулировкой частоты гетеродина.

При калибровке шкалы гетеродина, а также при измерении частоты генераторов модулятор должен быть выключен; при измерении частоты настройки приёмников не нужен низкочастотный узел прибора. Для выключения неиспользуемых компонентов частотомера служит переключатель B_3 .

Гетеродинные частотомеры различных типов промышленного изготовления в совокупности перекрывают полосу измеряемых частот от 100 кГц до 80 ГГц при погрешности измерений в пределах $\pm(5 \cdot 10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-6})$. При очень высоких частотах получить нулевые биения трудно. Поэтому в частотомерах СВЧ иногда в качестве индикатора используют низкочастотный частотомер (например, ёмкостный); по нему определяют разностную частоту биений F , на размер которой вносится поправка в результаты измерений.

Очень малая погрешность измерений в весьма широком диапазоне частот (от низких до сверхвысоких) достигается при сочетании двух частотомеров: гетеродинного и электронно-счётного. Последний, помимо самостоятельного использования в присущем ему диапазоне частот, может быть применён для точного измерения частоты настройки гетеродина при достижении нулевых биений; при этом оказываются излишними кварцевый генератор, градуировочные таблицы и графики.

Резонансные частотомеры

Особенностями резонансных частотомеров, применяемых для измерения высоких и сверхвысоких частот, являются простота конструкции, быстрота функционирования и однозначность результатов измерений; погрешность измерений составляет 0,1-3%.

Резонансный частотомер представляет собой колебательную систему, настраиваемую в резонанс с измеряемой частотой f_x возбуждающих её колебаний, которые поступают от исследуемого источника через элемент связи. Резонансная частота определяется по показаниям калиброванного органа настройки. Состояние резонанса фиксируется с помощью встроенного или внешнего индикатора.

Частотомеры, измеряющие частоты от 50 кГц до 100-200 МГц, выполняются в виде колебательного контура из элементов с сосредоточенными постоянными: катушки индуктивности L_0 и конденсатора переменной ёмкости C_0 (рис. 16). В контуре частотомера наводится Э.Д.С. измеряемой частоты f_x , например за счёт индуктивной связи с источником колебаний через катушку L_0 или небольшую штыревую антенну, присоединяемую к гнезду Ан. При маломощном источнике связь с последним может быть ёмкостной через конденсатор связи $C_{св}$ (ёмкостью в несколько пикофарад) и проводник связи. Изменением ёмкости конденсатора C_0 контур настраивают в резонанс с частотой f_x по максимальным показаниям индикатора резонанса. При этом измеряемая частота f_x , равная собственной частоте контура:

$$f_0 = 1/(2\pi \cdot (L_0 C_0)^{0,5}),$$

определяется по шкале конденсатора C_0 .

При фиксированной индуктивности L_0 диапазон измеряемых частот ограничивается коэффициентом перекрытия под которым понимают отношение максимальной частоты настройки частотомера f_m к наименьшей частоте f_n при изменении ёмкости контура от начального значения C_n до максимального C_m . Начальная ёмкость контура C_n складывается из начальной ёмкости конденсатора C_0 , ёмкости монтажа и ёмкостей постоянных или подстроечных конденсаторов, включаемых в контур с целью получения требуемого коэффициента перекрытия или

для других целей (рис. 17). При необходимости расширения диапазона измеряемых частот частотомер снабжается несколькими катушками различной индуктивности, сменными (рис. 16) или переключаемыми (рис. 17). В последнем случае неиспользуемые катушки (если они не экранированы) желательно замыкать накоротко во избежание отсасывания ими энергии из контура частотомера при частотах настройки, близких к собственным частотам этих катушек; при этом связь с источником колебаний осуществляют через гнездо связи A_H или посредством выносной катушки связи L_{CB} из одного или нескольких витков, подключаемой к контуру гибким высокочастотным кабелем (рис. 17).

Индикаторы резонанса позволяют фиксировать состояние резонанса по максимуму тока в контуре или максимуму напряжения на элементах контура. Индикаторы тока должны быть низкоомными, а индикаторы напряжения - высокоомными; тогда потери, вносимые ими в контур, не будут вызывать заметного притупления резонансной характеристики контура.

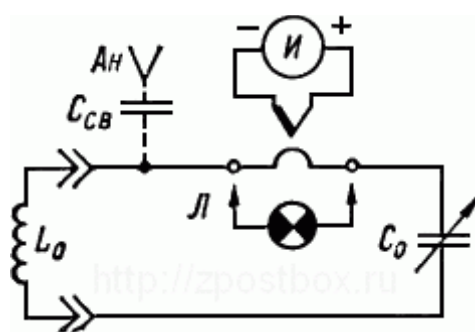


Рис. 16. Схема резонансного частотомера с индикатором тока и сменными контурными катушками

В качестве индикаторов тока иногда применяют термоэлектрические миллиамперметры с током полного отклонения до 10 мА, включаемые последовательно в контур частотомера (рис. 16); при эксплуатации такого частотомера следует весьма осторожно устанавливать связь с объектом измерений и не допускать перегрузки термоприбора при подходе к резонансу. Простейшим индикатором тока может служить миниатюрная лампочка накаливания Л; погрешность измерений при этом, естественно, возрастает.

В современных частотомерах чаще всего применяют индикаторы напряжения - высокочастотные вольтметры со стрелочными измерителями; они обеспечивают высокую точность индикации при хорошей стойкости к перегрузкам. Простейший такой индикатор (рис. 17, а) состоит из точечного диода Д и чувствительного магнитоэлектрического измерителя И, зашунтированного от высокочастотных составляющих выпрямленного тока конденсатором С2. Частотомер со стрелочным измерителем можно использовать в качестве

индикатора напряжённости поля при снятии диаграмм направленности передающих антенн.

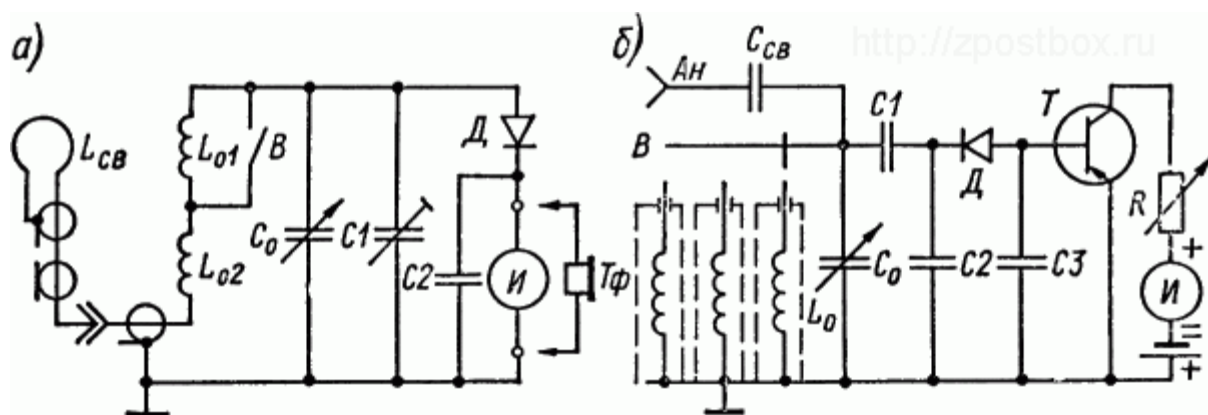


Рис. 17. Схемы резонансных частотомеров с индикаторами напряжения и переключаемыми контурными катушками

Если исследуемые колебания являются модулированными, то индикатором может служить высокоомный телефон T_{ϕ} (рис. 17, а). При этом резонанс отмечают по наибольшей громкости тона модулирующей частоты. Такой частотомер пригоден для слухового контроля качества работы радиотелефонных передатчиков.

Резонансные частотомеры характеризуются чувствительностью, т. е. минимальным значением подводимой к ним высокочастотной мощности, при котором обеспечивается чёткая индикация резонанса; обычно оно находится в пределах 0,1-5 мВт, а при использовании лампочки накаливания возрастает до 0,1 Вт. С целью повышения чувствительности в индикатор резонанса иногда вводят (после детектора) транзисторный усилитель постоянного тока с большим входным сопротивлением; простейшая схема такого усилителя показана на рис. 17, б.

На сверхвысоких частотах контуры из элементов с сосредоточенными постоянными становятся малоэффективными из-за резкого уменьшения их добротности. В диапазоне частот от 100 до 1000 МГц достаточно хорошие результаты достигаются в частотомерах с контурами смешанного типа, имеющими сосредоточенную ёмкость и распределённую индуктивность (рис. 18). В качестве элемента индуктивности L_0 используется криволинейный отрезок (виток) посеребренной медной проволоки или трубки диаметром 2-5 мм. Переключатель B определяет поддиапазон измерений. Настройка частотомера производится изменением рабочей длины витка индуктивности L_0 посредством поворотного контактного движка. Верхний предел измеряемых частот ограничивается значением ёмкости монтажа C_m . Связь с источником исследуемых колебаний осуществляется через виток связи L_1 .

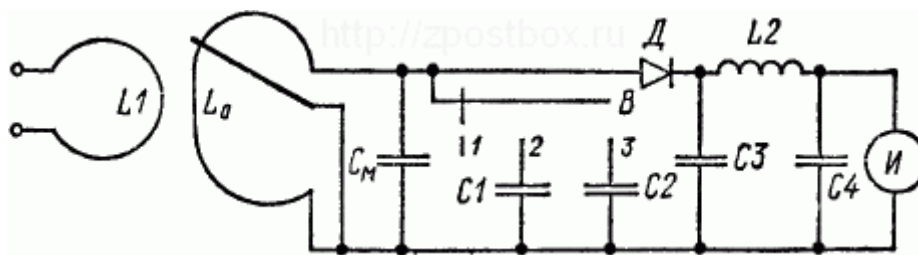


Рис. 18. Схема резонансного частотомера с контуром смешанного типа

На рис. 19 приведена схема широкодиапазонного однопредельного частотомера с коэффициентом перекрытия в пределах 5-10; здесь элементом индуктивности контура является металлическая пластинка Пл, согнутая в дугу и соединённая со статором St конденсатора переменной ёмкости. По пластинке скользит движок, механически и электрически связанный с ротором Rot конденсатора. При повороте ротора одновременно увеличиваются (или уменьшаются) как ёмкость контура, так и его индуктивность. Такие частотомеры наряду с широким диапазоном измерений имеют довольно высокую добротность при малых габаритах. В диапазонах метровых, дециметровых и сантиметровых волн для измерения параметров электромагнитных колебаний применяются приборы, использующие колебательные системы с распределёнными постоянными - отрезки линий передач и объёмные резонаторы.

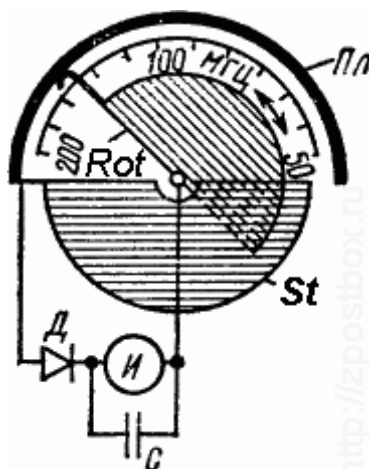


Рис. 19. Схема широкодиапазонного однопредельного резонансного частотомера СВЧ

Для повышения стабильности градуировочной характеристики элементы контура частотомера должны иметь прочную и жёсткую конструкцию и изготавливаться из материалов с малым температурным коэффициентом. Наибольшая погрешность, обусловленная влиянием внешних факторов, имеет место при измерении самых высоких частот каждого поддиапазона, когда ёмкость конденсатора C_0 мала. Для снижения этой погрешности иногда увеличивают начальную ёмкость контура посредством включения параллельно конденсатору C_0 постоянного или подстроечного конденсатора (C_1 на рис. 17, а). При этом уменьшается коэффициент перекрытия по частоте, что способствует снижению

погрешности измерения частоты, но одновременно увеличивает число потребных поддиапазонов. Погрешность измерений также уменьшается, если управление органом настройки производить через верньерное устройство с замедлением в несколько десятков раз. В приборах промышленного изготовления рукоятку верньера часто снабжают шкалой, разбитой на 100 делений, а на основной - шкале органа настройки частотомера наносят деления, отмечающие число полных поворотов рукоятки верньера. При совместном использовании обеих шкал удаётся получить несколько тысяч отсчётных точек; соответствующие им частоты определяются с помощью таблиц или графиков.

Перестройка частотомера, возбуждаемого источником колебаний частоты f_x , вызывает изменение тока в его контуре в соответствии с резонансной кривой последнего (рис. 20). Чем выше добротность контура, тем острее его резонансная кривая и тем меньше возможная ошибка при фиксации резонанса. Для достижения высокой добротности элементы контура должны иметь малые потери, а связь контура с индикатором резонанса и исследуемым источником должна быть возможно слабее.

Связь с индикатором можно уменьшить, применив, например, ёмкостный делитель напряжения (рис. 17, б) с отношением ёмкостей $C_2/C_1 \gg 1$. Следует, однако, учитывать, что ослабление связи с контуром ведёт к необходимости повышения чувствительности индикатора или усиления связи с исследуемым источником.

При использовании в частотомере прямочастотного конденсатора можно получить почти равномерную шкалу частот. Градуируют резонансные частотомеры при помощи образцовых гетеродинных частотомеров, а в диапазонах СВЧ для этого применяют измерительные линии. Приближённую градуировку можно выполнить, имея измерительный генератор или передатчик с плавным диапазоном частот.

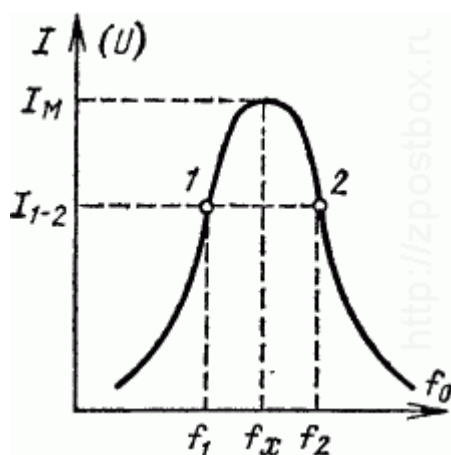


Рис. 20. Резонансная характеристика резонансного частотомера

При измерениях частотомер или его элемент связи вносят в зону излучения исследуемого источника. Подбором их взаимного расположения устанавливают такую связь, чтобы при резонансе стрелка индикатора находилась примерно в середине его шкалы.

При малой чувствительности частотомера приходится усиливать связь с источником колебаний; это ведёт к уплощению резонансной характеристики частотомера, что затрудняет точную фиксацию состояния резонанса. Для уменьшения возможной ошибки применяют способ двух отсчётов. После приближённой настройки частотомера в резонанс с измеряемой частотой f_x изменением ёмкости C_0 расстраивают контур сперва в одну, а затем в другую сторону от резонансной частоты до получения одного и того же показания индикатора (I_{1-2}) примерно в пределах 50-70% резонансного значения I_m (рис. 20). Так как при этом используются крутые склоны резонансной кривой, то определить частоты настройки контура f_1 и f_2 , соответствующие току можно с большой точностью. Измеряемая частота $f_x = (f_1 + f_2)/2$.

Если исследуемые колебания несинусоидальны, то возможна настройка частотомера на одну из гармоник. При этом частотомер обнаружит настройку и на ряд других частот, кратных основной частоте колебаний. Последняя определится как самая низкая из ряда найденных резонансных частот.

Если Э.Д.С., наводимая в контуре частотомера, недостаточна для нормальной работы индикатора резонанса, то измерение можно выполнить способом реакции (поглощения, абсорбции): настройку в резонанс определяют по воздействию частотомера на режим генератора, от которого измерительный контур поглощает некоторую энергию. Между контурами генератора и частотомера устанавливают достаточно сильную связь и плавно изменяют настройку последнего. При резонансе постоянная составляющая анодного (или коллекторного) тока генератора достигает максимума, а постоянная составляющая тока управляющей сетки (или базы) резко падает, что может быть обнаружено при включении чувствительного измерителя постоянного тока в одну из указанных цепей. На частоту генерируемых колебаний частотомер не влияет, ибо при резонансе он вносит в контур генератора лишь активное сопротивление.

Резонансный частотомер является прибором пассивного действия, так как его работа основана на поглощении энергии источника измеряемой частоты. Поэтому он непригоден для непосредственного измерения частоты настройки радиоприёмников и изолированных колебательных контуров. Однако несущую частоту радиостанции, на которую настроен приёмник, можно измерить достаточно точно способом реакции. Для этого контур частотомера связывают с антенной цепью приёмника посредством включаемой в эту цепь катушки связи или приближением к

магнитной антенне. Настройку частотомера изменяют до получения резонанса, который обнаруживается по резкому спаду громкости звуковых сигналов, воспроизводимых приёмником.

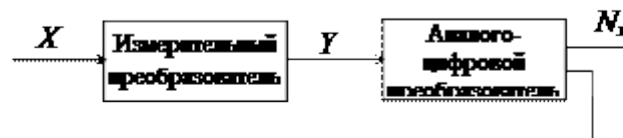


Рисунок 13.1

Цифровыми измерительными приборами (ЦИП) называют приборы автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации и представляющие показания в цифровой форме. Обобщенная структурная схема ЦИП для измерения напряжения, тока и сопротивления приведена на рисунке 13.1.

Измерительный преобразователь служит для преобразования измеряемой величины X (ток, напряжение, сопротивление) в величину Y , которая является входной величиной аналого-цифрового преобразователя. Обычно Y – это или напряжение, или ток.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) осуществляет преобразование непрерывной величины Y в цифровой код N_x , поступающий на цифровое отсчетное устройство (ЦОУ),

которое отображает значение X в цифровой форме, осуществляя преобразование кода N_x в десятичные символы.

В основе действия ЦИП лежат операции квантования по времени и по уровню.

Квантованием (дискретизацией) по времени непрерывной во времени величины $X(t)$ называется операция преобразования $X(t)$ в прерывную во времени, т.е. в величину, значения которой отличны от нуля и совпадают с соответствующими значениями $X(t)$ только в определенные моменты времени. Интервал между двумя соседними моментами времени называют шагом квантования по времени T_{KB} , а величину, обратную T_{KB} , называют частотой квантования $f_{\text{кк}} = \frac{1}{T_{\text{кк}}}$.

Квантованием по уровню непрерывной по уровню величины $X(t)$ называется операция преобразования $X(t)$ в квантованную величину X_{KB} . Квантованная величина — величина, которая может принимать в заданном диапазоне определенное конечное число значений. Фиксированные значения квантованной величины называют уровнями квантования, а интервал между двумя

соседними уровнями есть шаг q (ступень) квантования по уровню (рисунок 13.2).

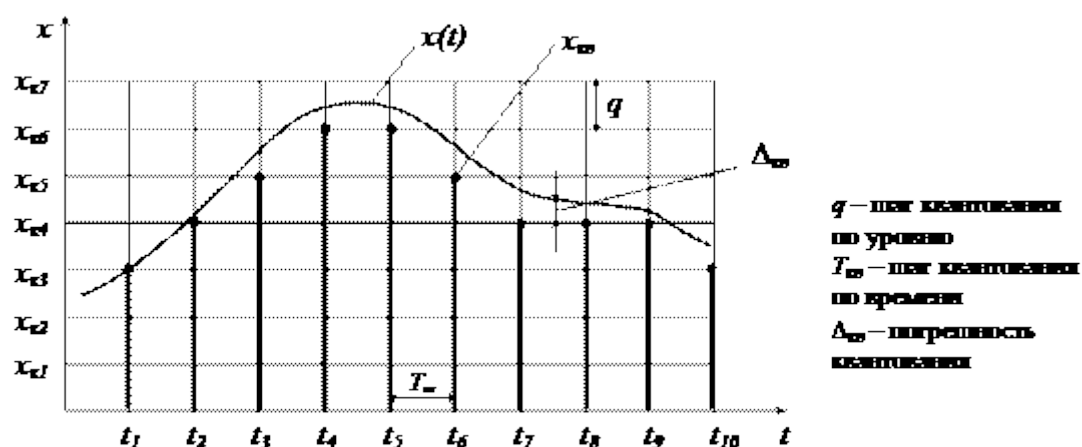


Рисунок 13.2

Цифровой код N_x формируется в соответствии с квантованным значением X_{KB} и связан с преобразуемой величиной следующим выражением:

$$N_x = Ent \frac{X(t)}{q}, \quad (13.1)$$

где символ Ent означает целую часть от деления $X(t)$ на q . Отбрасываемая часть представляет собой погрешность квантования D_{KB} , значения которой принадлежат диапазону от 0 до q . Для уменьшения погрешности D_{KB} число уровней квантования увеличивают до нескольких тысяч. Так, у прибора с максимальным значением кода 19999, число уровней квантования составляет 20000 (включая нулевой уровень). Следовательно,

максимальное значение погрешности квантования в относительной форме составляет:

$$\delta_{\text{кк}} = \frac{q}{20000 q} \cdot 100\% = 0,005\%$$

Данная погрешность присутствует во всех ЦИП и является методической погрешностью.

ЦИП делятся на два вида, отличающиеся построением структурной схемы:

- ЦИП прямого преобразования;
- ЦИП уравнивающего преобразования.

В ЦИП прямого преобразования отсутствует отрицательная обратная связь, хотя отдельные измерительные преобразователи (ИП) могут быть охвачены обратной связью (рисунок 13.3, а).

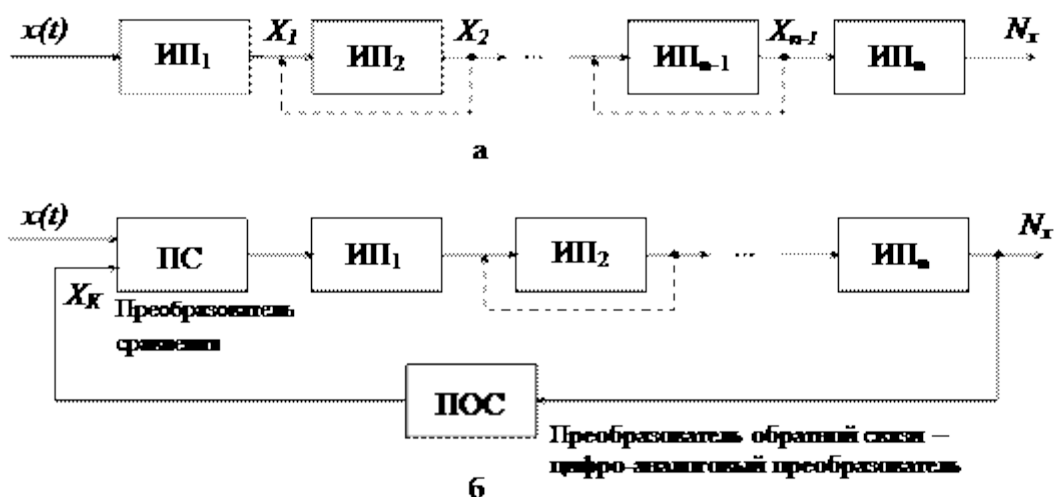


Рисунок 13.3

Основные характеристики ЦИП прямого преобразования – возможность получения высокого быстродействия, но более низкая точность по сравнению с ЦИП уравнивающего уравнивания за счет суммирования погрешностей отдельных преобразователей.

В ЦИП уравнивающего преобразования измеряемая величина уравнивается компенсирующей величиной, формируемой в преобразователе обратной связи, в качестве которого используется цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), представляющий собой по существу кодо-управляемую меру. В этом случае, погрешность ЦИП определяется, главным образом, погрешностью ЦАП и в лучших ЦИП составляет тысячные доли процента.

Основные достоинства ЦИП:

- широкий диапазон измерений;
- высокая точность (погрешность 0,001%);
- малое потребление мощности от объекта измерений;
- высокое быстродействие;
- полная автоматизация процесса измерений;
- возможность передачи цифрового кода на большие расстояния без потери точности и обработка этой информации в цифровом виде.

Укажем также, что цифровые вольтметры интегрирующего типа обладают также высокой помехоустойчивостью.

В настоящее время выпускается много комбинированных цифровых приборов для измерения постоянных и переменных напряжений, токов, а также сопротивления постоянному току. В основе этих приборов лежит цифровой вольтметр (ЦВ) постоянного тока и набор соответствующих измерительных преобразователей.

На рисунке 13.4 приведена классификация цифровых вольтметров по способу используемого преобразования.

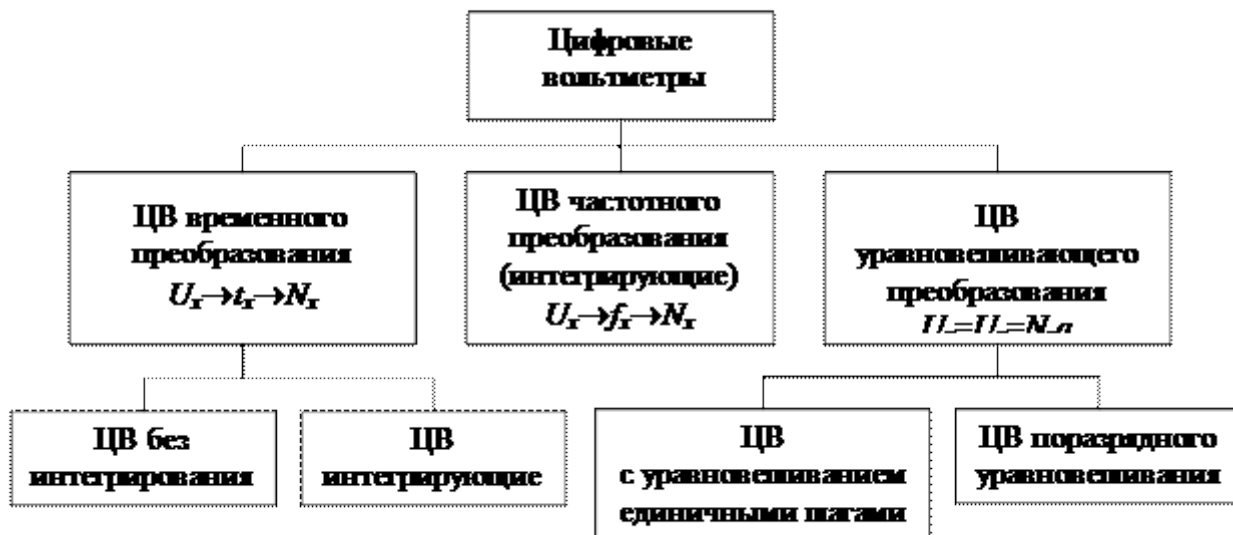


Рисунок 13.4

В ЦВ временного преобразования измеряемое напряжение преобразуется в пропорциональный интервал времени t_x , который заполняется импульсами опорной частоты, количество которых подсчитывается цифровым счетчиком. Данные вольтметры строятся как без интегрирования, так и с интегрированием входного напряжения.

В ЦВ частотного преобразования измеряемое напряжение U_x преобразуется в пропорциональную частоту f_x . Количество импульсов частотой f_x за определенный интервал времени подсчитывается цифровым счетчиком.

В ЦВ уравнивающего преобразования измеряемое напряжение U_x уравнивается компенсирующим напряжением, которое может изменяться либо единичными степенями, либо по определенной наперед заданной программе (поразрядное уравнивание).

Структурная схема ЦВ временного преобразования (без интегрирования) приведена на рисунке 13.5.

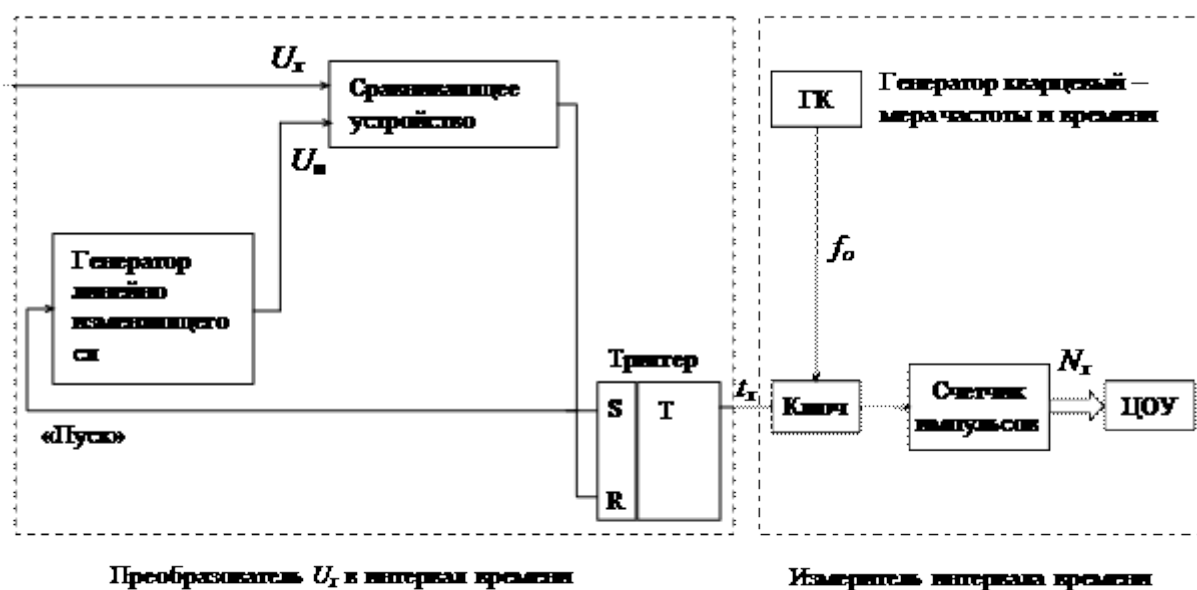


Рисунок 13.5

Работу вольтметра поясняют временные диаграммы на рисунке 13.6.

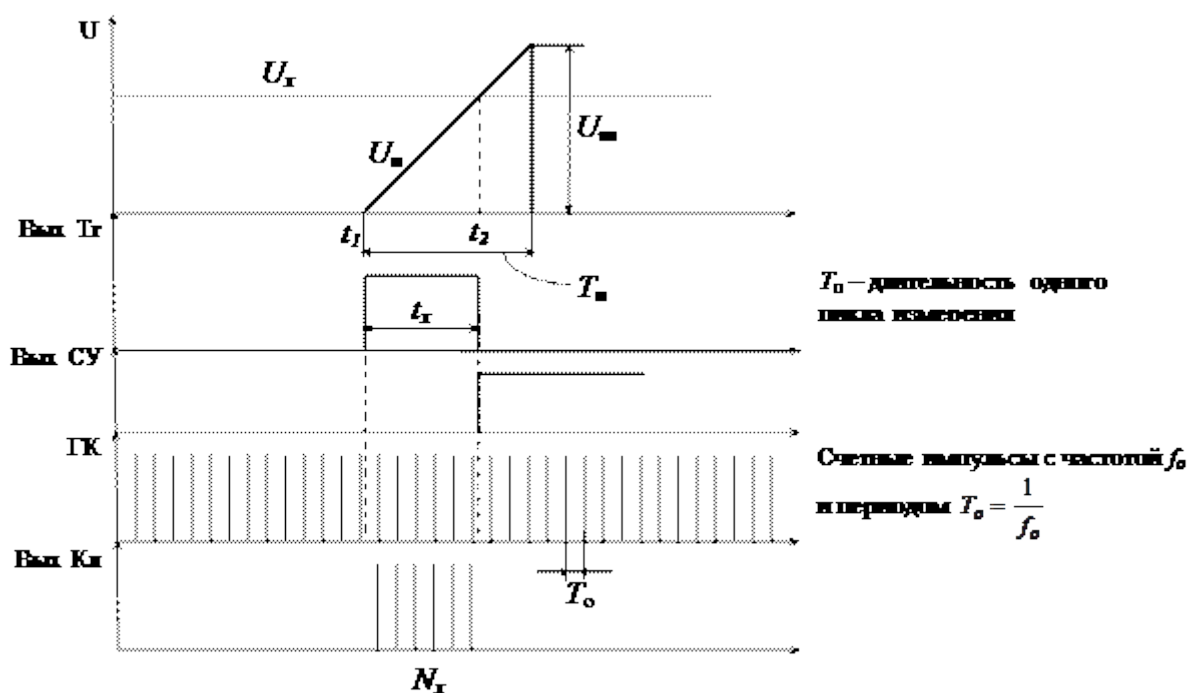


Рисунок 13.6

Измеряемое напряжение U_x подается на один вход сравнивающего устройства, а второй вход подключен к генератору линейноизменяющегося напряжения, который запускается в момент времени t_1 от сигнала «Пуск», формируемом устройством управления (на рисунке не показано). Этот же сигнал «Пуск» подается на отдельный вход S триггера T , который при этом переходит из нулевого в единичное состояние, то есть на его выходе появляется напряжение, соответствующее логической единице. Сигнал с выхода триггера открывает ключ и на счетчик импульсов поступают импульсы опорной частоты f_0 с квантового генератора ГК. Как только линейноизменяющееся напряжение U_n достиг

а при U_x срабатывает сравнивающее устройство, и на его выходе появляется скачок напряжения. Сигнал с выхода сравнивающего устройства возвращает триггер в исходное состояние, ключ закрывается, и дальнейшее поступление импульсов на счетчик прекращается.

Таким образом, цепочка преобразований в ЦВ может быть представлена в виде:

$$U_x \rightarrow t_x \rightarrow N_x$$

Интервал времени t_x и измеряемое напряжение U_x связаны соотношением:

$$t_x = \frac{T_m}{U_m} U_x, \quad (13.2)$$

где U_m – максимальное значение линейноизменяющегося напряжения;

T_m – длительность одного цикла измерения.

Цифровой код N_x на выходе ЦВ и t_x связаны следующим выражением:

$$N_x = \frac{t_x}{T_o} = f_o \cdot t_x, \quad (13.3) \text{ где } T_o \text{ – период опорной частоты.}$$

Подставляя t_x из выражения (13.2) в выражение (13.3), получим:

$$N_x = f_s \cdot \frac{T_s}{U_m} \cdot U_x, \quad (13.4)$$

Из выражения (13.4) следует, что цифровой код прямопропорционален измеряемому напряжению. Данное выражение носит название функции преобразования.

Функция преобразования позволяет судить о том, от чего будет зависеть погрешность ЦВ:

- от нестабильности параметров линейноизменяющегося напряжения (U_m , T_n);
- от нестабильности опорной частоты f_o ;
- от погрешности квантования.

Цифровые вольтметры

Принцип работы цифровых измерительных приборов основан на дискретном и цифровом представлении непрерывных измеряемых физических величин. Упрощенная структурная схема цифрового вольтметра (рис. 3.10) состоит из входного устройства, АЦП, цифрового отсчетного устройства ЦОУ и управляющего устройства.

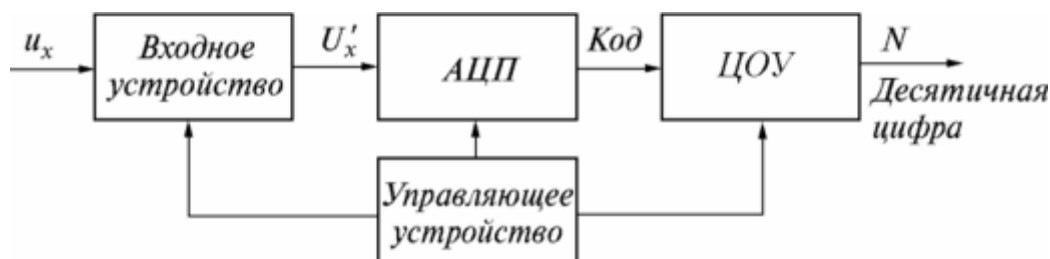


Рис. 3.10. Упрощенная структурная схема цифрового вольтметра

Входное устройство содержит делитель напряжения; в вольтметрах переменного тока оно включает в себя также преобразователь переменного тока в постоянный.

Аналого-цифровой преобразователь преобразует аналоговый сигнал в цифровой, представляемый цифровым кодом. Процесс аналого-цифрового преобразования составляет сущность любого цифрового прибора, в том числе и вольтметра. Использование в АЦП цифровых вольтметров двоично-десятичного кода облегчает обратное преобразование кода в десятичное число, отражаемое цифровым отсчетным устройством. Цифровое отсчетное устройство регистрирует измеряемую величину. Управляющее устройство объединяет все узлы вольтметра.

По типу АЦП цифровые вольтметры делят на две основные группы:

- • кодоимпульсные (с поразрядным уравниванием);
- • времяимпульсные.

Аналого-цифровой преобразователь вольтметров преобразуют сигнал постоянного тока в цифровой код, поэтому и цифровые вольтметры также считают приборами постоянного тока. Для измерения напряжения переменного тока на входе вольтметра ставится преобразователь в постоянное напряжение, чаще всего средневыпрямленного значения.

Проанализируем основные технические характеристики среднестатистического цифрового вольтметра постоянного тока:

- • диапазон измерения: 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В, 1000 В;
- • входное сопротивление — высокое, обычно более 100 МОм;

- порог чувствительности (другие названия — квант или единица дискретности) на диапазоне 100 мВ может быть 1 мВ, 100 мкВ, 10 нВ;
- количество знаков (длина цифровой шкалы) — отношение максимальной измеряемой величины на этом диапазоне к минимальной; например: диапазону измерения 100 мВ при уровне квантования 10 мкВ соответствует $(100 \cdot 10^6) / (10 \cdot 10^9) = 10^4$ знаков;
- помехозащищенность.

Точность цифровых вольтметров. Распределение погрешности по диапазону измерения определяется *пределом допускаемой относительной основной погрешности* (2.28), характеризующей класс точности СИ:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{U_k}{u} \right| - 1 \right) \right], \quad (3.9)$$

где u — измеряемое напряжение; U_k — конечное значение диапазона измерений.

Быстродействие. Современные схемы АЦП, применяемые в цифровых вольтметрах, могут обеспечить очень большое быстродействие, однако из соображений точной регистрации полученного результата у цифровых вольтметров оно уменьшается примерно до 20-50 измерений в 1 с.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

9.1. Общие сведения

Измерительные генераторы сигналов (автогенераторы) — источники электрических колебаний различных форм и частот, предназначенные для работы с электронными схемами. В зависимости от *формы выходных сигналов* различают *измерительные генераторы гармонических и релаксационных (импульсных) колебаний*.

По частотному диапазону генераторы делятся на: инфранизкочастотные (0,01...20 Гц), низкочастотные, или генераторы звукового диапазона (20...300000 Гц), генераторы высоких частот (0,3...300 МГц), и сверхвысокочастотные (СВЧ, свыше 300 МГц).

Независимо от назначения, принципа действия и схемотехнического выполнения генератор любых перечисленных колебаний состоит из *нелинейного усилителя, цепи положительной обратной связи и источника питания постоянного тока*. Форма и частота выходных колебаний определяются только параметрами самого генератора. Генератор гармонических колебаний должен содержать в своем составе *узкополосную колебательную систему*. Принцип действия релаксационных генераторов основан на зарядно-разрядных или накопительно-поглощающих явлениях, протекающих в *широкополосных энергоемких цепях* положительной обратной связи.

9.2. Измерительные генераторы гармонических колебаний

Рассмотрим условия самовозбуждения генератора гармонических колебаний. Для возбуждения и генерации колебаний часть их мощности с выхода усилителя (точнее, с колебательной системы) подают на его вход по специально введенной цепи положительной обратной связи (ОС). Говоря иначе, подобное устройство «возбуждает само себя» и поэтому называется *генератором с самовозбуждением*.

Генератор гармонических колебаний можно представить обобщенной структурной схемой (рис. 9.1), состоящей из нелинейного резонансного усилителя с комплексным коэффициентом усиления $K = K(j\omega)$ и цепи положительной ОС с комплексным коэффициентом передачи по напряжению $\beta = \beta(j\omega)$. В схеме этого генератора отмечены комплексные амплитуды следующих напряжений: входного — $U_{вх} = U_{вх}(j\omega)$; выходного — $U_{вых} = U_{вых}(j\omega)$ и обратной связи — $U_{ос} = U_{ос}(j\omega)$.

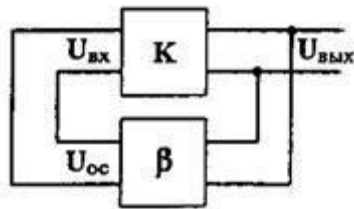


Рис. 9.1. Обобщенная структурная схема генератора

Выражение для напряжения обратной связи на любой частоте генерации ω запишем в виде

$$U_{ос} = U_{вх} = \beta U_{вых}. \quad (9.1)$$

Тогда выходное напряжение определяют как $U_{вых} = KU_{вх}$, или с учетом формулы (9.1) $U_{вых} = K\beta U_{вых}$. Отсюда следует, что генератор будет работать в стационарном режиме при условии, когда

$$K\beta = 1. \quad (9.2)$$

Если $K\beta > 1$, то амплитуда выходных колебаний нарастает, что определяет необходимое условие самовозбуждения генератора.

Представим формулу (9.2) следующим образом:

Контрольные вопросы

1. Как различают измерительные генераторы в зависимости от формы выходного сигнала?
2. Как подразделяются генераторы по частотным характеристикам?

3. Каковы условия самовозбуждения генератора гармонических колебаний? Какими методами они реализуются?

$$K(\omega)e^{j\varphi_K(\omega)}\beta(\omega)e^{j\varphi_\beta(\omega)} = K\beta e^{j(\varphi_K + \varphi_\beta)} = 1. \quad (9.3)$$

Электронно-оптические преобразователи.

Устройства отображения телевизионных сигналов

Кинескопы черно-белого телевидения.

Цветные кинескопы.

Жидкокристаллические панели – LCD.

Плазменные панели – PDP.

Дисплеи на основе органических светодиодов – OLED.

Устройства отображения телевизионных сигналов

Для обратного преобразования телевизионного сигнала в оптическое изображение необходимы устройства отображения или воспроизведения ТВ изображения – Рис. 4.1.



Рис. 4.1 Устройства отображения ТВ изображения

Все существующие устройства ТВ отображения можно разделить на два класса – устройства прямого наблюдения и проекционные.

Проекционные устройства основаны на оптическом проецировании сформированного ТВ изображения на обычный экран, и обычно

используются для формирования изображений большого размера. Эти устройства требуют применения достаточно сложных в производстве и дорогих оптических систем проецирования, и поэтому не получили широкого распространения, хотя и имеют ряд достоинств.

Гораздо более распространенными являются **устройства прямого наблюдения** - черно-белые (монохромные) и цветные электронно-лучевые трубки (кинескопы), жидкокристаллические и плазменные панели.

Основными требованиями, которые предъявляются к устройствам воспроизведения ТВ изображения являются: необходимый **размер экрана**, высокая **яркость** изображения, высокая **контрастность** изображения, высокая **разрешающая способность**, позволяющая различать на изображении мелкие детали, отсутствие или минимум геометрических искажений изображения, **размеры** и вес устройства, потребляемая **мощность**, **долговечность** и стабильность характеристик, **сложность** и технологичность производства, **стоимость**.

Кинескопы черно-белого телевидения

Исторически, первыми современными телевизионными электронно-оптическими преобразователями были черно-белые **кинескопы**.

Кинескоп – это приемная электронно-лучевая трубка с люминофорным экраном, преобразующая мгновенные значения сигнала в световые импульсы, положение которых на экране соответствует закону развертки, и совокупность которых образует ТВ изображение.

Принцип действия кинескопа основан на возбуждении свечения люминофорного экрана сфокусированным электронным лучом, который под действием отклоняющей системы описывает на экране точку за точкой телевизионный растр. Электронный луч кинескопа фокусируется электронным прожектором и модулируется по интенсивности телевизионным электрическим сигналом. Яркость свечения люминофорного экрана пропорциональна интенсивности электронного

луча. Таким образом, на экране получается черно-белое телевизионное изображение. Устройство черно-белого кинескопа изображено на Рис. 4.2.

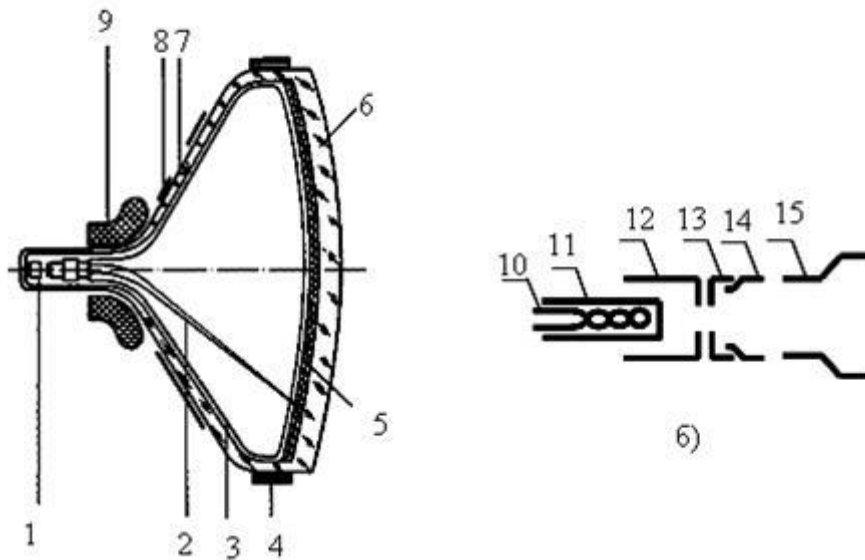


Рис. 4.2. Устройство черно-белого кинескопа

Конструктивно кинескоп состоит из 4-х основных частей: стеклянной **колбы** – 6, **электронного прожектора**, формирующего электронный луч – 1, **отклоняющей системы** – 9, и **люминофорного экрана** – 5.

В вакуумной стеклянной колбе – 6 располагается электронный прожектор – 1 и люминофорный экран 5. Внутренняя и внешняя поверхности колбы покрыты токопроводящими слоями 3 и 8. Отклонение электронного развертывающего луча – 2 осуществляется отклоняющей системой – 9 расположенной на горловине стеклянной колбы. Для крепления кинескопа в корпусе телевизионного приемника и придания дополнительной жесткости стеклянной колбе используется бандаж – 4.

Электронный прожектор (пушка) состоит из нити накала – 10, катода – 11, управляющего электрода (модулятора) – 12, ускоряющего электрода – 13, первого – 14 и второго – 15 анодов. Питание всех электродов прожектора, кроме второго анода, осуществляется через цоколь горловины колбы. Высокое питающее напряжение второго анода (около

20 кВ) подается через вывод колбы - 7, электрически соединенный с внутренним проводящим покрытием. Люминофорный экран представляет собой пленку алюминия, покрытую люминофорным составом.

Электронный прожектор формирует луч с током в несколько сот мкА и диаметром луча в плоскости экрана не более 0,5 мм, а также модулирует ток луча видеосигналом изображения. Прожектор работает следующим образом.

Эмитируемые с поверхности катода электроны попадают в электрическое поле, создаваемое ускоряющими электродами и анодом трубки, и устремляются к экрану кинескопа. Этот пучок нужно сфокусировать таким образом, чтобы на подходе к плоскости экрана он имел как можно меньший диаметр (его диаметр будет определять размер пикселя изображения).

Фокусировка луча может осуществляться как электромагнитными, так и электростатическими полями. В большинстве современных кинескопов используется электростатическая фокусировка, чтобы отказаться от дополнительных фокусирующих катушек.

Для управления величиной тока электронного луча по закону принимаемого ТВ сигнала (величина тока определит яркость соответствующей точки на экране), между катодом и управляющим электродом прикладывают отрицательное напряжение, обратное ТВ видеосигналу. Эту процедуру называют модуляцией электронного луча. Чем больше отрицательное напряжение на модуляторе, тем меньше ток луча, и тем менее яркой будет точка на экране, и наоборот. Процедура электростатической фокусировки и модуляции электронного луча в кинескопе иллюстрируется Рис. 4.3.

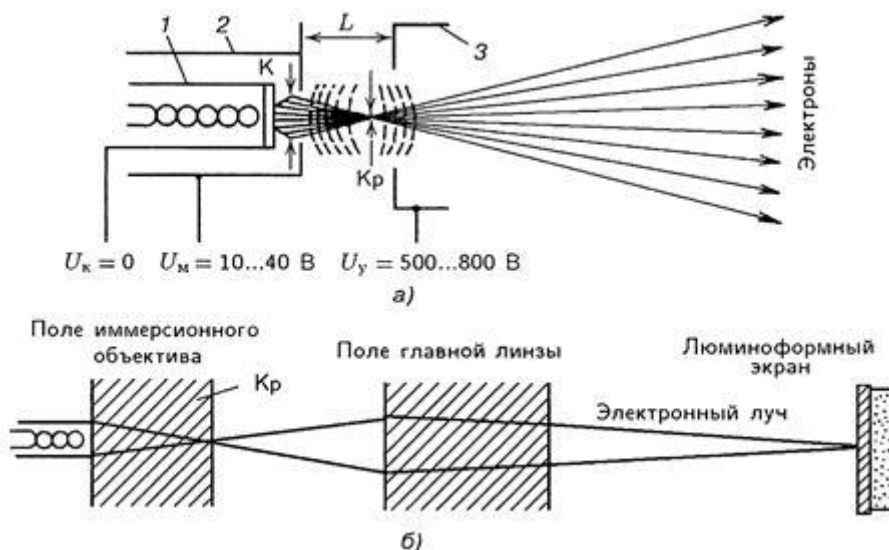


Рис. 4.3. Электростатическая фокусировка и модуляция электронного луча

Для преобразования электрического сигнала – тока пучка, в световое изображение используется явление **люминесценции**, заключающееся в способности некоторых веществ испускать свет при их бомбардировке электронными пучками. Люминофоры, используемые для экранов кинескопов, могут быть различного химического состава, но обычно это окислы или сульфиды цинка, кадмия, магния, кальция.

Важнейшими характеристиками люминесцентного экрана являются цвет свечения, инерционность и световая отдача.

Цвет свечения определяется типом выбранного люминофора, так в черно-белых телевизорах часто используется люминофор из смеси сульфида цинка ($\text{ZnS}(\text{AgZn})$ – 47%) и сульфида кадмия ($\text{Cd}(\text{Ag})$ – 53%), имеющий голубоватый оттенок свечения. Поэтому и говорят – “голубой экран”.

Инерционность определяет длительность возгорания (начала свечения) и послесвечения люминофора. Длительность возгорания достаточно мала, поэтому основной составляющей инерционности является длительность послесвечения (время, в течение которого яркость уменьшается до 1% максимальной после прекращения возбуждения). В телевизионных системах стремятся, чтобы время послесвечения было примерно равно времени передачи кадра. При этом уменьшается заметность мельканий. Дальнейшее увеличение этого времени нежелательно, так как может привести к размытости (смазыванию) изображений движущихся объектов (изображение следующего кадра будет накладываться на еще не погасшее изображение предыдущего).

Светоотдача экрана – эффективность преобразования энергии электронов в световое излучение, определяется как отношение силы света, излучаемой экраном, к мощности электронного луча.

Цветные кинескопы.

При переходе от черно-белого телевидения к цветному возникла необходимость в разработке устройств отображения цветных ТВ изображений. Их работа и конструкция основывается, как уже ранее отмечалось, на трехкомпонентной теории цветового зрения, утверждающей, что любой цвет можно синтезировать из трех независимых основных цветов – **R, G и B** методом пространственного смешения цветов. С учетом этого цветной кинескоп содержит в себе как бы три монохромных, с тремя достаточно хорошо совмещенными монохромными растрами, отображающими в одном пикселе цветного изображения три одноцветных пикселя – **R, G и B**.

Конструкция цветного кинескопа – Рис. 4.4 очень похожа на конструкцию черно-белого кинескопа. Основное различие состоит в электронном прожекторе, в структуре люминофорного покрытия экрана, каждая точка которого состоит из трех точек люминофора с различным цветом свечения, и в наличии так называемой теневой маски, предотвращающей попадание электронных лучей “не на те точки экрана”, тем самым, исключая искажения цветового фона.

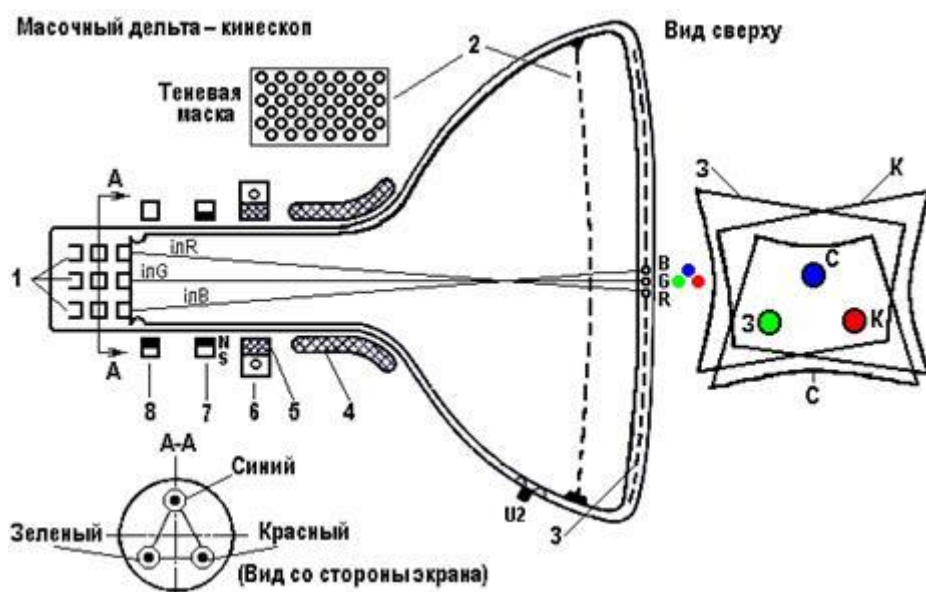


Рис. 4.4 Конструкция масочного цветного кинескопа

В отличие от черно-белого кинескопа в цветном электронные лучи формируются с помощью трех электронных прожекторов - 1, отдельно для красного, синего и зеленого цветов. Эти лучи фокусируются системой магнитной фокусировки – 5, сводятся системой сведения лучей таким образом, что в отверстиях теневой маски все три луча сходятся в один пучок, а потом снова расходятся, попадая на люминофорное покрытие в трех различных точках.

Люминофорное покрытие цветного кинескопа состоит из чередующихся элементов с красным, синим и зеленым цветами свечения. Одна группа, состоящая из разных элементов, называется *триадой*.

По геометрии расположения электронных пушек и люминофорных групп различают **дельта-кинескопы**, где пушки и люминофоры расположены в вершинах равностороннего треугольника и на **компланарные**, где пушки и люминофорные группы находятся в одной плоскости.

Дельта-кинескоп с теневой маской. Это самая первая, и наиболее распространенная конструкция цветного кинескопа. Принцип работы такого кинескопа поясняется Рис. 4.5.

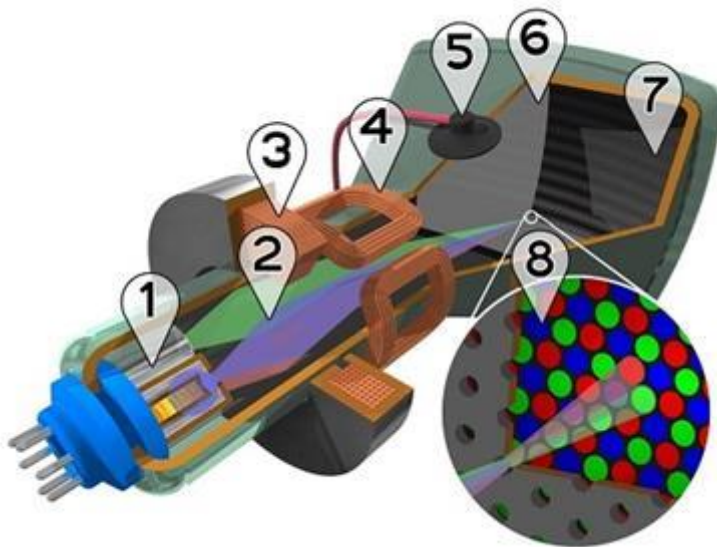


Рис. 4.5 Цветной дельта-кинескоп с теневой маской

Электронные пушки дельта-кинескопа – 1 расположены в вершинах равностороннего треугольника, сведение электронных пучков – 2, их фокусировка и отклонение по закону развертки производится с помощью магнитных фокусирующей – 3, и отклоняющей – 4 систем.

Теневая маска дельта-кинескопа – 8 состоит из металлической пластины с круглыми отверстиями – Рис. 4.6, которые занимают примерно 25% площади всей пластины. Большинство теневых масок изготавливают из

инвара – материала с очень низким термическим расширением, что предотвращает изменение геометрии маски при ее нагревании падающим электронным лучом. Отверстия в металлической маске работают как своеобразный прицел, обеспечивая попадание на каждую цветную точку **R**, **GiB** люминофорного покрытия экрана только “своего” электронного луча.

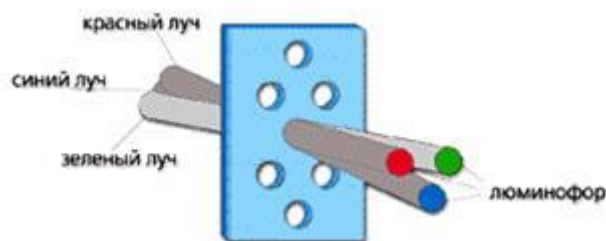


Рис. 4.6. Теневая маска цветного дельта-кинескопа

Кинескопы с теневой маской обладают рядом недостатков, обусловленных именно наличием самой маски.

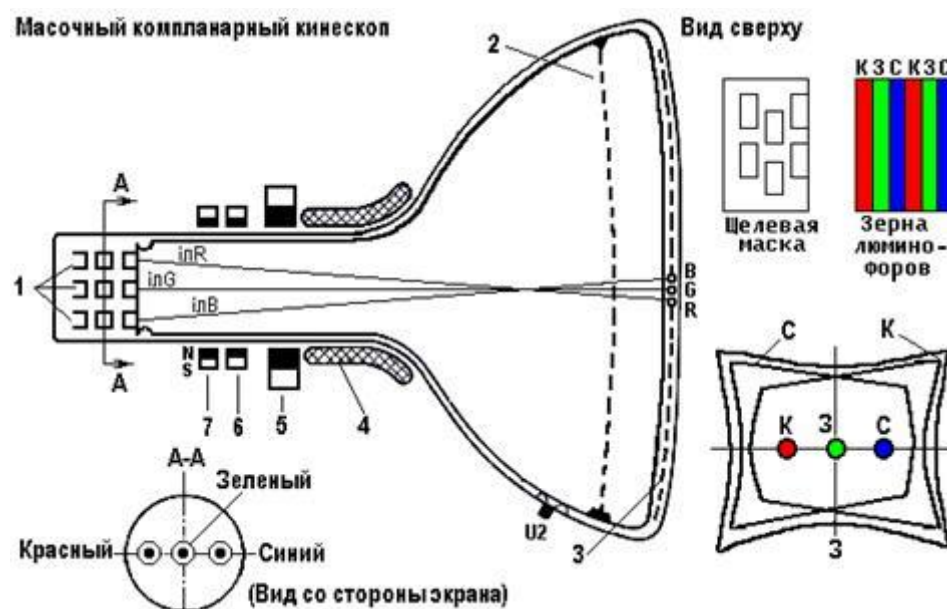
Во-первых, это малое соотношение пропускаемых и задерживаемых маской электронов (только около 20-30% проходит через нее, остальная часть падает на саму маску). Это в свою очередь требует применения люминофоров с большой светоотдачей, а они обладают худшей монохромностью свечения и меньшим диапазоном цветопередачи.

Во-вторых, поскольку большая часть лучей от электронно-лучевой пушки попадает на теневую маску, происходит ее нагрев и деформация. Возникающее при этом смещение отверстий теневой маски приводит к возникновению эффекта смещения цветов **RGB**.

В-третьих, из-за того, что электронные лучи **R**, **GiB** находятся не в одной плоскости, при отклонении всего пучка системой развертки, каждый из лучей пучка отклоняется по разному, что приводит к нарушению цветопередачи и требует так называемого “статического и динамического сведения лучей” - установки магнитов чистоты цвета – 7 и 8, корректирующих неточность установочных углов пушек, положение отклоняющей системы и магнитного поля Земли, устройства статического и динамического сведения лучей – 5 и 6, обеспечивающие точность сведения лучей в центре и по краям экрана.

Компланарный кинескоп с апертурной решеткой. Конструкция компланарного кинескопа – Рис. 4.7. в целом такая же, как и кинескопа с теневой маской. В компланарных кинескопах, так же, как и в масочных кинескопах, имеется три лучевые пушки, три катода и три модулятора. Но они расположены не в виде треугольника, а в одной плоскости – по горизонтали.

Апертурная решетка – это тип маски, представляющей из себя не металлическую решетку с отверстиями, как в случае с теневой маской, а решетку из вертикальных металлических струн – Рис. 4.8.



И, наконец, вместо точек с люминофорными элементами трех основных цветов, люминофорное покрытие компланарного кинескопа состоит из вертикальных полос с цветами свечения **R**, **G** и **B**.

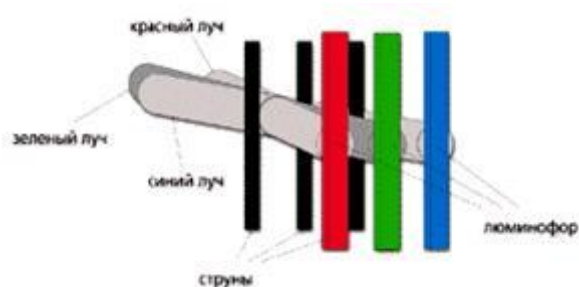


Рис. 4.8 Апертурная решетка и люминофорный слой планарного кинескопа

Основные преимущества планарного кинескопа:

- расположение прожекторов в одной плоскости упрощает механизм динамического сведения лучей, поскольку отклонения растров симметричны и совмещать их нужно только в горизонтальной плоскости;

- гораздо меньшие потери энергии электронного пучка на теневой маске, а значит большая эффективность преобразования сигнала в свет, большая яркость (коэффициент пропускания у щелевой маски составляет около 80%, против 30% у теневой маски),
- лучше чистота цвета, так как «чужой» луч может попасть на другую полосу только в горизонтальном направлении;
- более высокая разрешающая способность по вертикали, которая определяется уже не геометрическими размерами **RGB** триады, а только степенью фокусировки луча.

Существует еще один тип кинескопов, в которых объединены лучшие стороны теневых масок и апертурных решеток. Это так называемые **щелевые маски**. Технология представляет собой комбинацию теневой маски и апертурной решетки. Люминофорные элементы в таком кинескопе расположены в отдельных (как в кинескопе с теневой маской) вертикальных эллиптических ячейках, а сама маска сделана из вертикальных линий (как в кинескопе апертурной решеткой). На рисунке Рис. 4.9 приведена структура светоизлучающих покрытий экранов для перечисленных типов цветных кинескопов.

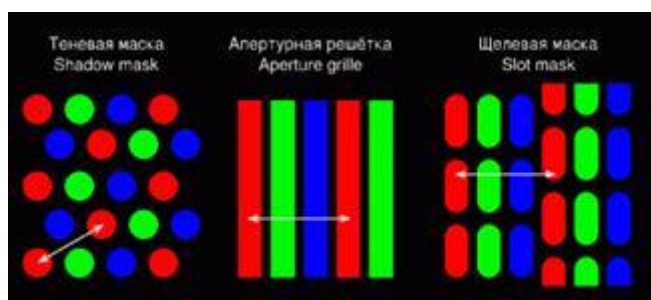


Рис. 4.9 Типы масок цветных кинескопов.

Различные типы кинескопов цветного изображения доминировали на рынке телевизионной техники с момента возникновения цветного телевидения – начала 50-х годов прошлого столетия до середины 90-х годов, когда были созданы первые жидкокристаллические и плазменные телевизионные экраны. Начиная с этого момента производство электронно-лучевых приборов стало резко падать, и они повсеместно начали заменяться плоскими экранами на основе жидкокристаллических, плазменных и лазерных технологий.

Измерение сопротивления изоляции. Общая методика

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации, все электроустановки, реконструируемые, либо вновь вводимые в эксплуатацию, должны быть подвергнуты приемо-сдаточным испытаниям согласно ГОСТ Р 50571.16-2019. То есть, испытания должны проводиться после окончания монтажа установки, перед сдачей в эксплуатацию, или после того, как были внесены изменения (дополнения) в уже существующую.

По результатам проведения проверки должен составляться технический отчет, в двух экземплярах, куда заносятся все протоколы испытаний. В случае выявления каких-либо дефектов, электротехнической лабораторией выдается перечень замечаний для принятия мер по их устранению.

В состав протокола испытаний должны входить следующие данные:

- Дата заявки на проведение испытания
- Полное наименование электроустановки и ее составных частей
- Адрес и название электролаборатории, проводившей испытания
- Дата и место проведения испытательных мероприятий
- Место проведения
- Цели и программа проверки испытаний
- Условия проведения измерений
- Результаты проверки

При проведении приемо-сдаточных испытаний, важная роль отводится проверке сопротивления изоляции кабелей, электрооборудования, вторичных цепей, о методах измерений которой и пойдет речь дальше. Цель данной проверки заключается в выявлении и устранении возможных нарушений соответствия сопротивления установленным нормам.

Помимо этого, в составе комплексных испытаний, проводятся визуальный осмотр, измерение токов короткого замыкания и полного сопротивления петли «фаза-нуль», измерение полного сопротивления заземляющего устройства, проверка соединений между заземлителями и заземленными элементами электрооборудования (металлосвязи) с измерением переходного сопротивления контактного соединения, прогрузка автоматических выключателей напряжением

до 1000 В, измерение параметров срабатывания устройств защитного отключения (УЗО).

В дальнейшем, после сдачи объекта, периодичность проведения испытаний, согласно ПТЭЭП, должна быть один раз в год для особо опасных объектов и наружных установок, в остальных случаях один раз в три года.

Методика проверки сопротивления изоляции

Сама методика проверки сопротивления изоляции основывается на том, что к испытываемому объекту подается повышенное испытательное напряжение, в зависимости от объекта измерения, 250 В, 500 В, 1000 В или 2500 В.

Сопротивление изоляции определяется на основании измеренного тока утечки и приложенного выпрямленного напряжения.

Ток утечки — это ток, протекающий с токоведущих частей, находящихся под напряжением, установки в землю при отсутствии повреждения изоляции.

Если изоляции соответствует нормам, то ток утечки не будет превышать допустимые пределы, соответственно и сопротивление будет очень большое. В случае ухудшения характеристик изоляции, обычно в следствии износа, ток утечки будет увеличиваться. При этом в обычном режиме работы эти значения достаточно малы, а вот при воздействии повышенного напряжения ток утечки увеличиваясь, становится при этом током КЗ, а сопротивление изоляции значительно уменьшается.

Помимо вышесказанного, на состояние изоляции влияют еще два параметра — коэффициент абсорбции и коэффициент поляризации.

Коэффициент абсорбции (DAR)

Коэффициент абсорбции определяет степень влажности изоляционного материала. Представляет собой отношение сопротивления, измеренного мегаомметром через 60 сек. с момента приложения напряжения, к отношению сопротивления измеренного через 15 сек. после начала приложения испытательного напряжения от мегаомметра: $K_{абс} = R_{60}/R_{15}$.

Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции будет значительно превышать единицу, в противном случае коэффициент абсорбции близок к единице.

Коэффициент поляризации (PI)

Коэффициент поляризации — это отношение сопротивлений, измеренных мегомметром через 600 сек. с момента приложения напряжения и 60 сек. после начала приложения испытательного напряжения от мегомметра: $K_{пол} = R_{600}/R_{60}$.

Данный коэффициент на основе изменения структуры диэлектрика, способности заряженных частиц перемещаться в диэлектрике под воздействием электрического поля, определяет степень старения изоляции, можно сказать прогнозирует остаточный ресурс.

Измерение данного коэффициента не является обязательным при проведении проверки измерения сопротивления изоляции и проводится только в составе комплексных испытаний.

Допустимые значения сопротивления изоляции

Ниже в таблице приведены минимально допустимые значения сопротивления изоляции для электроустановок, аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 В.

Данные значения приводятся в соответствии с ПУЭ (Правила устройства электроустановок) гл.1.8 и ПТЭЭП (Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей) приложение 3; 3.1

Наименование элемента	Напряжение мегаомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
Электроизделия и аппараты на номинальное напряжение, В:		Должно соответствовать указаниям изготовителей, но не менее 0,5	При измерениях полупроводниковые приборы в изделиях должны быть зашунтированы
до 50 свыше 50 до 100 свыше 100 до 380 свыше 380	100 250 500 — 1000 1000 — 2500		
Распределительные устройства, щиты и токопроводы	1000 — 2500	не менее 1	Измерения производятся на каждой секции распределительного устройства
Электропроводки, в том числе осветительные сети	1000	не менее 0,5	При измерениях в силовых цепях должны быть приняты меры для предотвращения повреждения устройств, в особенности микросэлектронных и полупроводниковых приборов. В осветительных сетях должны быть вывинчены лампы, штепсельные розетки и выключатели присоединены
Вторичные цепи распределительных устройств, цепи питания приводов выключателей и разъединителей, цепи управления, защиты, автоматики, телемеханики и т.п.	1000	не менее 1	Измерения производятся со всеми присоединенными аппаратами (катушки, контакторы, пускатели, выключатели, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов напряжения и тока)
Краны и лифты	1000	не менее 0,5	Производится не реже 1 раза в год
Стационарные	1000	не менее 1	Производится при

электроплиты			нагретом состоянии плиты не реже 1 раза в год
Шинки постоянного тока и шинки напряжения на щитах управления	500 — 1000	не менее 10	Производится при отсоединенных цепях
Цепи управления, защиты, автоматики, телемеханики, возбуждения машин постоянного тока на напряжение 500 — 1000 В, присоединенных к главным цепям	500 — 1000	не менее 1	Сопротивление изоляции цепей напряжением до 60 В, питающихся от отдельного источника, измеряется мегаомметром на напряжение 500 В и должно быть не менее 0,5 Мом
Цепи, содержащие устройства с микроэлектронными элементами, рассчитанные на рабочее напряжение, В:			
до 60	100	не менее 0,5	
свыше 60	500	не менее 0,5	

Условия при проведении измерений

Измерения проводят в помещениях при температуре $25 \pm 10^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не более 80%, если в стандартах или технических условиях на кабели, провода, шнуры и оборудование не предусмотрены другие условия.

Значение электрического сопротивления изоляции соединительных проводов измерительной схемы должно превышать не менее чем в 20 раз минимально допустимое значение электрического сопротивления изоляции испытуемого изделия.

Характеристики изоляции электрооборудования рекомендуется измерять по однотипным схемам и при одинаковой температуре. Сравнение характеристик изоляции должно производиться при одной и той же температуре изоляции или близких ее значениях (разница температур не более 5°C). Если это невозможно, то должен производиться температурный пересчет.

Требования безопасности

1. До начала проведения измерений убедитесь в отсутствии напряжения на измеряемом объекте.
2. Перед началом испытаний необходимо убедиться в отсутствии людей, работающих на той части электроустановки, к которой присоединен испытательный прибор, запретить находящимся вблизи него лицам прикасаться к токоведущим частям и, если нужно, выставить охрану.
3. Измерение сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путем предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

4. При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг).
5. При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединен, не разрешается. После окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путем их кратковременного заземления.

Подготовка к выполнению измерений

При подготовке к измерениям необходимо выполнить ряд технических мероприятий в соответствии с *Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок* ПОТ Р М-016-2001, а также требованиями ГОСТ 12.3.019-80 (*Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности*). При проведении испытаний руководствоваться требованиями *Инструкции по охране труда при измерении сопротивления изоляции*.

1. Измерения должны проводиться мегаомметрами различного типа и на различное напряжение, в зависимости от требований испытательного напряжения.
2. Проверить срок действия госповерки на мегаомметр.
3. При выполнении периодических профилактических работ в электроустановках, а так же при выполнении работ на реконструируемых объектах в электроустановках, подготовку рабочего места выполняет персонал предприятия, где выполняется работа.
4. Перед началом измерений необходимо изучить электроустановку здания и убедиться в отсутствии напряжения на испытываемом объекте, принять меры препятствующие допуску на испытываемый объект лиц, не участвующих в испытаниях, при необходимости выставить наблюдающего.
5. Произвести отключение электроприборов, снять предохранители, отключить аппараты (автоматические выключатели, переключатели), отсоединить электронные схемы и электронные приборы, электрические части электроустановки с пониженной изоляцией или пониженным испытательным напряжением.
6. Проверить исправность мегаомметра.

Мегаомметры

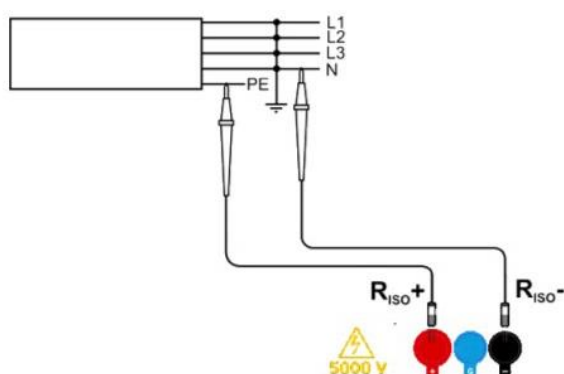
В качестве измерительных приборов применяются мегаомметры стрелочные аналогового типа, например М4100, ЭСО202 либо цифровые приборы, в последнее время получившие большое распространение.



Но в независимости от типа, все мегаомметры должны иметь действующие документы об их поверке или аттестации.

Выполнение измерений

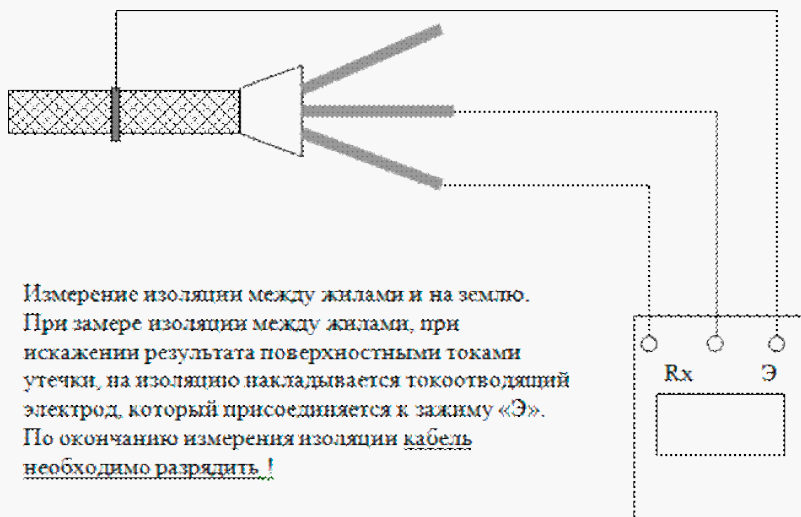
Измерения сопротивления изоляции проводятся методом прямого измерения сопротивления между каждой токопроводящей жилой, одной токопроводящей жилой и остальными жилами, соединенными между собой и относительно земли (заземляющей шины).



Для кабелей с металлической оболочкой, экраном или броней — между каждой токопроводящей жилой и остальными жилами, соединенными между собой и оболочкой, экраном, или броней.

Для электроустановок измерения проводят между всеми изолированными частями.

Для того, чтобы исключить влияние поверхностных токов при измерении сопротивления, необходимо использовать трёхпроводный метод измерения.



Сопротивление изоляции, измеренное при испытательном напряжении считается удовлетворительным, если оно соответствует минимально допустимым значениям, которые приведены в таблице. Если результаты замеров показали значения, отличные от данных допустимых значений, необходимо выполнить повторные измерения с отсоединением кабелей, проводов и шнуров от зажимов потребителей и разведением токоведущих жил.

Значение показаний мегаомметра фиксируются по истечении 1 мин. с момента приложения измерительного напряжения, но не более чем через 5 мин, если в стандартах или технических условиях на конкретные кабельные изделия или на другое измеряемое оборудование не предусмотрены другие требования.

Для повторного замера все металлические элементы кабельного изделия должны быть заземлены не менее чем за 2 мин.

При проведении замеров, должны учитываться погрешности, обусловленные погрешностями измерительных приборов и аппаратов, дополнительными емкостями и индуктивными связями между элементами измерительной схемы, воздействием температуры, влиянием внешних электромагнитных и электростатических полей на измерительное устройство, погрешностями метода и т.п

Пример протокола измерения сопротивления изоляции

ПРОТОКОЛ № 1														
Измерения сопротивления изоляции проводов и кабелей U _{раб.} до 1000В (система TN)														
июнь 2009г.														
№ пп	Наименование, № фидера	Марка кабеля	Испытательное напряжение	Сопротивление изоляции МОм										
				L1-L2	L2-L3	L1-L3	L1-N	L2-N	L3-N	L1-PE (PEN)	L2-PE (PEN)	L3-PE (PEN)	N-PE (PEN-3)	Закл. о соответствии
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Шкаф АО1												
1.	Ввод №2	ВВГ 4х95	2.5кВ	100	100	100				50	50	50	50	уд.
2.	Линия к насосу М3	КТВЭВ4х35	1кВ	100	100	100				50	50	50		уд.
3.	Эл. двиг. М3		1кВ							400				уд.
4.	Линия к насосу М1	КТВЭВ4х10	1кВ	100	100	100				50	50	50		уд.
5.	Эл. двиг. М1		1кВ							500				уд.
6.	Линия к насосу М2	КТВЭВ4х10	1кВ	100	100	100				50	50	50		уд.
7.	Насос М2		1кВ							400				уд.
8.	Линия к насосу М4	КТВЭВ4х2,5	1кВ	100	100	100				50	50	50		уд.
9.	Насос М4		1кВ							300				уд.
10.	Линия к насосу М5	КТВЭВ4х2,5	1кВ	100	100	100				50	50	50		уд.

Перечень применяемого оборудования и средств измерений							
№ п/п	Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Диапазон измерений МОм	Основная погрешность	Номер свидетельства	Дата последней поверки
1	Мегаомметр	ЭСО 20/2	07602	0-10000	1% от дл.	0154723	08.10.2008г.

Нормативный документ, на соответствие требованиям которого проведены испытания: ПУЭ (1.8.40 п.2); ПТЭЭП, п. 2.12.17, прил. 3 п.6
 Заключение: Кабели и провода пригодны к подаче рабочего напряжения.

Измерения проводили: _____ Руководитель ЭЛ _____

ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОГО СДВИГА

Общие сведения

Одним из основных параметров электрических колебаний, определяющих состояние колебательного процесса в любой заданный момент времени, является фаза. Наряду с фазой одного колебания интерес представляет соотношение фаз двух колебаний. Необходимость в измерениях этих параметров возникает при исследовании усилителей, фильтров, линейных цепей, градуировке фазовращателей, снятии фазочастотных характеристик различных радиотехнических устройств и т.п.

Понятие «фаза» характеризует гармоническое (синусоидальное) колебание в любой конкретный момент времени. Для гармонического колебания $u_x(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_1)$, имеющего амплитуду U_m и круговую частоту ω , текущая (мгновенная) фаза в любой момент времени t представляет собой весь аргумент функции $\sin(\omega t + \varphi_1) = \omega t + \varphi_1$, где φ_1 — начальная фаза.

Фазовым сдвигом $\Delta\varphi$ двух гармонических сигналов одинаковой частоты $u_1(t) = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$ и $u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$ называют модуль разности их начальных фаз

$$\Delta\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2|. \quad (7.1)$$

Общепринято величину $\varphi_1 - \varphi_2$ называть *разностью фаз* двух сигналов. Если начальные фазы φ_1 и φ_2 сигналов остаются неизменными, то фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ не зависит от времени.

Для двух гармонических колебаний с разными круговыми частотами ω_1 , ω_2 и начальными фазами φ_1 , φ_2 , у которых нулевые значения амплитуд при переходе через ось абсцисс сдвинуты на интервал времени τ , разность фаз

$$\Delta\varphi = (\omega_1 - \omega_2)\tau + \varphi_1 - \varphi_2.$$

Для негармонических колебаний понятие фазового сдвига заменяют понятием их сдвига во времени. В этом случае измеряют время задержки одного сигнала относительно другого.

В зависимости от конкретной измерительной задачи и диапазона частот, в котором производятся измерения, требования к точности измерения фазового сдвига могут быть разными — от достаточно грубых измерений (с погрешностью измерения $1...5^\circ$) до весьма точных ($0,01^\circ$).

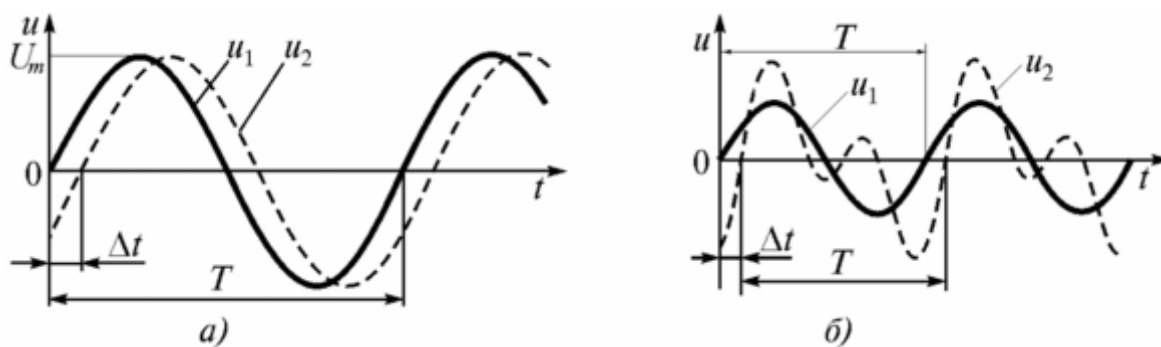


Рис. 7.1. Графики двух сигналов с одинаковыми периодами: а — гармонических; б — гармонического и негармонического

Измерение разности фаз колебаний с разными частотами редко представляет практический интерес. Поэтому обычно решают задачу измерения разности фаз двух гармонических колебаний с равными частотами. При этом фазовый сдвиг удобно представить в виде зависимости от *сдвига сигналов во времени*

Δt , соответствующего их идентичным фазам. В частности, для двух гармонических сигналов $u_1(t) = U_m \sin(\omega t)$ и $u_2(t) = U_m \sin(\omega t - \Delta\varphi)$ - АО, имеющих одинаковый период $T = 2\pi/\omega$ (рис. 7.1, а), фазовый сдвиг в радианах

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t = \frac{2\pi\Delta t}{T}. \quad (7.2)$$

Два сигнала с одинаковыми частотами называют *синфазными*, находящимися в *квадратуре* и *противофазными*, если фазовый сдвиг между ними равен 0, $\pi/2$ и π соответственно. Применительно к периодическим гармоническому и негармоническому сигналам (рис. 7.1, б) и двум негармоническим сигналам с одинаковым периодом T используют понятие об их *сдвиге* (задержке) во времени Δt .

Измерение фазового сдвига осуществляют приборами, называемыми фазометрами, а в качестве мер сдвига применяют *фазовращатели*, т.е. линейные четырехполюсники, у которых выходной сигнал сдвинут по фазе относительно входного. Фазовращатели бывают регулируемые и нерегулируемые.

Для измерения фазового сдвига применяют различные методы измерений: осциллографические, компенсационный, преобразования фазового сдвига во временной интервал, цифровой (дискретного счета), преобразования частоты. Приборы для измерений фазового сдвига, реализующие перечисленные способы (кроме осциллографических), представлены аналоговыми и цифровыми электронными фазометрами, обеспечивающими измерения в диапазоне от инфразвуковых до высоких частот.

Осциллографические методы измерения фазового сдвига

Для измерения фазового сдвига с помощью осциллографа применяют методы линейной, синусоидальной и круговой разверток, а также метод полуокружности и компенсационный метод.

Метод линейной развертки

Рассматриваемый метод реализуют при наблюдении на экране одновременно двух сигналов (рис. 7.1, а). Способ линейной развертки состоит в подаче напряжений $u_1(t) = u_1$ и $u_2(t) = u_2$ в каналы вертикального отклонения двухлучевого или двухканального осциллографа (на входы Y и Y_2) и последующем измерении интервалов Δt и T . Применяют и однолучевой осциллограф (рис. 7.2), если на его вход Y подавать исследуемые сигналы поочередно через быстродействующий электронный коммутатор. Электронный коммутатор периодически переключают с помощью импульсов типа «меандр», поступающих с генератора и следующих с частотой $F > 25 \dots 100$ Гц. В том и другом вариантах горизонтальные развертки осциллографов (*Внутр. синхр.*) должны быть синхронизированы одним из исследуемых сигналов. Полезно перед измерением уравнять амплитуды обоих входных напряжений.



Рис. 7.2. Метод линейной развертки

Измерив временные отрезки Δt и T (рис. 7.1), вычисляют фазовый сдвиг сигналов в радианах по формуле (7.2) или в градусах

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ \Delta t}{T}. \quad (7.3)$$

При данном методе измерения погрешность измерения фазового сдвига $\Delta\varphi$ составляет $\pm 5 \dots 7^\circ$ и вызвана нелинейностью развертки, неточностью замера интервалов Δt и T , а также ошибками определения положения оси времени.

Метод синусоидальной развертки или метод эллипса

Данный метод можно реализовать с помощью однолучевого универсального осциллографа при подаче одного сигнала на вход Y , а второго — на вход X отклонения луча. При этом генератор развертки осциллографа должен быть выключен. Пусть на входы X и Y осциллографа одновременно поданы исследуемые напряжения $u_1\{t\} = U_1 \sin(\omega t)$ и $u_2\{t\} = U_2 \sin(\omega t + \phi)$, для которых фазовый сдвиг $\Delta\phi = \phi$ (далее в формулах для $u_1\{t\}$ и $u_2\{t\}$ аргумент t для упрощения записей везде опущен). Мгновенные отклонения электронного луча на экране по горизонтали и вертикали равны (рис. 7.3):

$$x = h_x U_{m1} \sin \omega t = a \sin \omega t; \quad (7.4)$$

$$y = h_y U_{m2} \sin(\omega t + \phi) = b \sin(\omega t + \phi), \quad (7.5)$$

где коэффициенты h_x, h_y — соответственно чувствительности осциллографа к отклонению электронного луча по горизонтали и вертикали; $a = h_x U_{m1}$, $b = h_y U_{m2}$ — амплитуды отклонения луча.

Электронный луч вычертит на экране осциллографа эллипс (рис. 7.3).

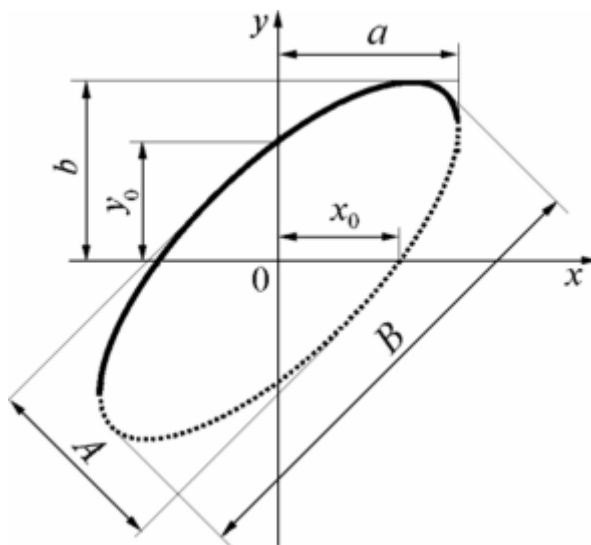


Рис. 7.3. К измерению разности фаз методом эллипса

Пусть амплитуды отклонений напряжений по входам $X = Y$. Это условие легко выполнить, подавая исследуемые напряжения поочередно на входы каналов вертикального и горизонтального отклонений осциллографа. Регулируя коэффициенты усиления каналов, добиваются равных отклонений луча. Если $a = b$, измеряемый фазовый сдвиг связан с размерами эллипса следующим выражением:

$$\operatorname{tg} (\Delta\phi/2) = A/B,$$

где A — малая, B — большая оси эллипса.

Таким образом, необходимо измерить малую A и большую B оси эллипса и вычислить фазовый сдвиг по формуле

$$\Delta\varphi = 2\arctg(A/B). \quad (7.6)$$

Метод эллипса не позволяет однозначно определить фазовый сдвиг в диапазоне $0...360^\circ$. Неоднозначность измерения имеет место для фазовых сдвигов:

$$0 < \Delta\varphi < 90^\circ \text{ и } 270^\circ < \Delta\varphi < 360^\circ;$$

$$90^\circ < \Delta\varphi < 180^\circ \text{ и } 180^\circ < \Delta\varphi < 270^\circ; \quad \Delta\varphi = 90^\circ \text{ и } \Delta\varphi = 270^\circ.$$

Для получения правильного результата измерения $\Delta\varphi$, необходимо подавать сигнал u_2 на вход Y осциллографа через фазовращатель, создающий дополнительный фазовый сдвиг на 90° . По изменению осциллограммы можно сделать вывод о значении $\Delta\varphi$.

Погрешность измерения фазового сдвига между синусоидальными сигналами методом эллипса составляет $\pm (2...5)^\circ$. Она зависит от точности измерения длин отрезков, входящих в выражение (7.6), размера осциллограммы и точности фокусировки луча на экране осциллографа. Эти причины оказывают тем большее влияние, чем ближе значение измеряемого сдвига фазы к нулю или к 90° .

211

Возможна и систематическая погрешность измерения из-за наличия разного фазового сдвига, создаваемого усилителями каналов вертикального и горизонтального отклонения. Для ее устранения можно (перед началом измерений) один из исследуемых сигналов подать на вход Y осциллографа непосредственно, а на вход X — через регулируемый фазовращатель. Изменяя настройку фазовращателя, надо добиться появления на экране осциллографа наклонной прямой линии, расположенной под углом 45° . Затем, сохраняя эту настройку, подают на вход фазовращателя второй сигнал и проводят измерение фазового сдвига.

Метод круговой развертки

Этот метод обеспечивает измерение фазового сдвига практически в пределах от 0 до 360° . Сущность метода поясняют схемы и диаграммы, показанные на рис. 7.4, для случая измерения фазового сдвига между сигналами $u_1 = U_{m1} \sin \omega t$ и $u_2 = U_{m2} \sin(\omega t - \Delta\varphi)$.

При измерениях генератор развертки осциллографа предва-

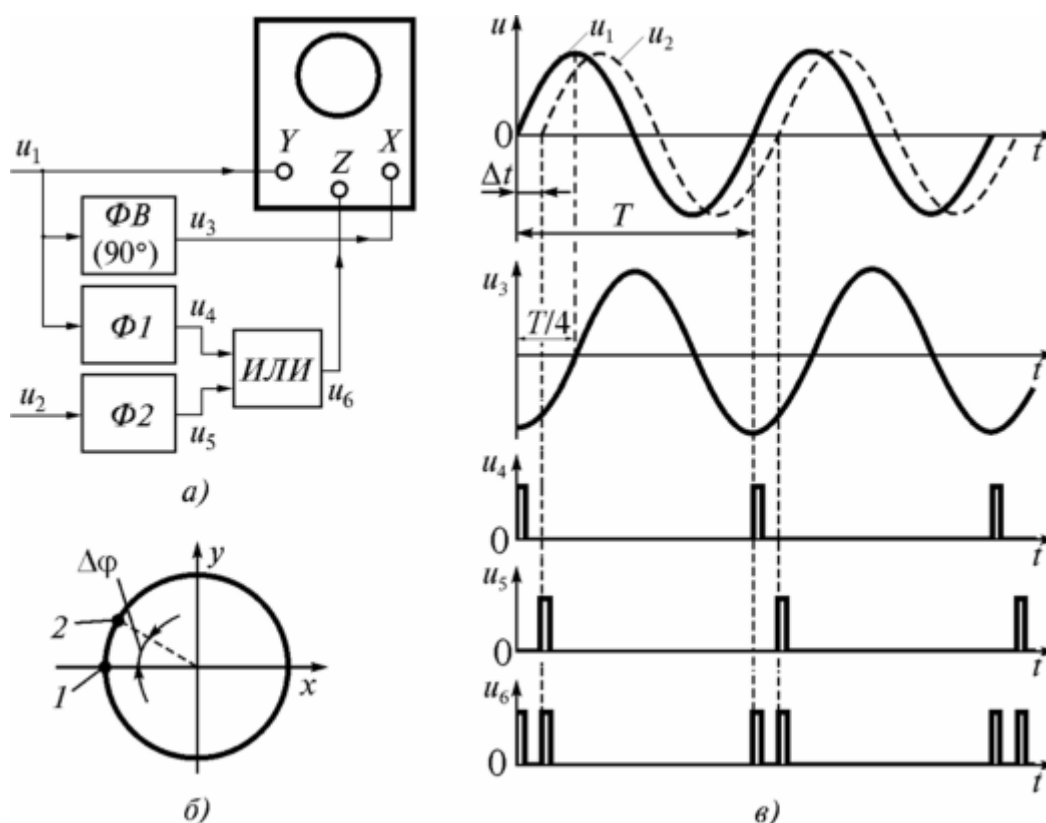


Рис. 7.4. Метод круговой развертки: *а* — схема измерения; *б* — осциллограмма; *в* — эюры сигналов рительно выключают и на входы *Y* и *X* подают сигнал u_x и сигнал u_y (рис. 7.4, *а*), задержанный относительно u_x по фазе на 90° с помощью дополнительного фазовращателя ФВ. При одинаковом отклонении электронного луча по горизонтали и вертикали на экране осциллографа будет наблюдаться осциллограмма, имеющая вид окружности (рис. 7.4, *б*).

Анализируемые напряжения u_1 и u_2 поступают также на входы идентичных формирователей Ф1 и Ф2, преобразующих синусоидальные колебания в последовательность коротких однополярных импульсов u_4 и u_5 (рис. 7.4, *в*). Передние фронты этих импульсов практически совпадают с моментом перехода синусоид через нулевое значение при их возрастании. Импульсные сигналы u_4 и u_5 объединяют с помощью логической схемы ИЛИ. Выходной сигнал этой схемы в виде двухимпульсной последовательности u_6 подают на вход *Z* управления яркостью луча осциллографа. В результате на окружности в точках 1 и 2 появляются отметки повышенной яркости (рис. 7.4, *б*).

Измерение фазового сдвига Дер между сигналами u_1 и u_2 выполняют как это показано на рис. 7.4, *б*. При измерении фазового сдвига данным способом удобно использовать прозрачный транспортир, который помещен перед экраном осциллографа; центр транспортира совмещают с центром окружности. Измеряемый фазовый угол отсчитывают по делениям транспортира. Данный метод измерения основан на следующем. Полную окружность, которой соответствует угол 360° , луч описывает за время, равное периоду T сигналов u_x или u_y , а дугу между точками 1 и 2, которой соответствует некоторый угол Дер, — за время задержки этих сигналов $At = \text{Дер} T/360^\circ$.

При измерениях фазового угла способом полуокружности (он не рассматривается, так как применяется редко) можно достичь более высокой точности (погрешность измерения $1...3^\circ$). Этот метод также позволяет получить прямой отсчет фазового угла с указанием

знака. На погрешность измерения фазового угла влияют точности формирования окружности и определения ее центра, а также степень идентичности порога срабатывания формирователей и точность измерения угла $\Delta(\rho)$ с помощью транспорта.

Компенсационный метод

Рассмотрим один из способов, реализующих компенсационный (нулевой) метод измерений, который является разновидностью метода сравнения. Его сущность состоит в сравнении измеряемого фазового сдвига с известным фазовым сдвигом, создаваемым мерой — образцовым фазовращателем. Структурная схема измерительной установки показана на рис. 7.5. В нее входит

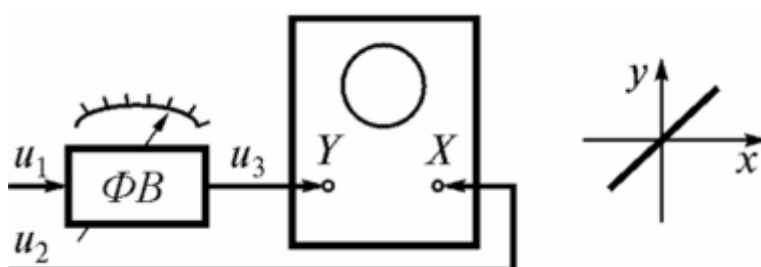


Рис. 7.5. К определению фазового сдвига компенсационным методом

измерительный фазовращатель ФВ и индикатор равенства фаз, в качестве которого использован осциллограф с отключенным генератором развертки. Сигнал u_x подают на вход Y ос-

циллографа через фазовращатель, а сигнал u_2 непосредственно на вход X .

Фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ между двумя исследуемыми напряжениями u_1 и u_2 определяют путем изменения фазы дополнительного сигнала u_3 с помощью образцового фазовращателя до момента появления на экране наклонной прямой линии (см. рис. 7.5), т.е. до момента равенства фаз сигналов u_2 и u_3 . При этом искомый фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ считывают по шкале образцового фазовращателя. Для более точных измерений следует проверить и скомпенсировать возможное неравенство фазовых сдвигов, вырабатываемых усилителями вертикального и горизонтального отклонения луча осциллографа. Это выполняют в порядке, изложенном при рассмотрении метода эллипса.

Компенсационный метод используют и в СВЧ-диапазоне для измерения фазового сдвига, создаваемого отрезком волновода, полосковой линии и т.п. Процесс измерений поясняет структурная схема, показанная на рис. 7.6. Измерение выполняют в два этапа. Вначале собирают установку, представленную на рис. 7.6, а. При включении генератора Γ в тракте устанавливается стоячая волна. В произвольное сечение ФВ вводится зонд, соединенный с диодом и индикатором. Перестраивая фазовращатель, добиваются совмещения узла напряжения стоячей волны с плоскостью сечения,

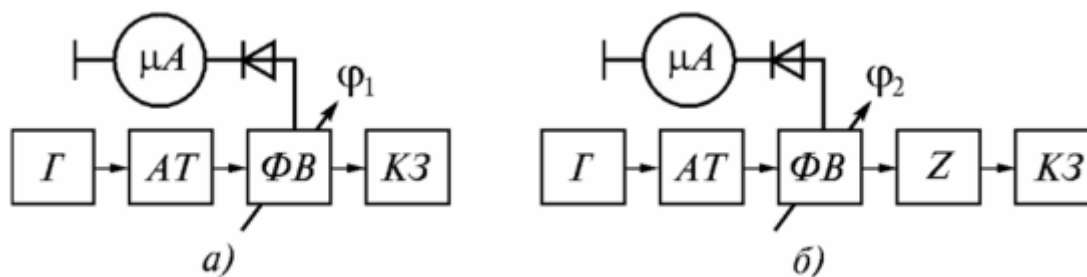


Рис. 7.6. Измерение фазового сдвига на СВЧ компенсационным методом: а — схема исходной установки; б — схема измерения; Г — СВЧ-генератор, АТ — развязывающий аттенюатор, ФВ — измерительный СВЧ-фазовращатель, Z — испытываемое устройство, КЗ — короткозамыкающая заглушка

в которую введен зонд. Момент совмещения устанавливают по нулевому показанию индикатора. Со шкалы ФВ считывают показание фазового угла φ_1 . Затем собирают установку, показанную на рис.7.6, б, в которой между ФВ и короткозамыкающей заглушкой вводится испытываемое устройство Z. В тракте распространения СВЧ-колебаний происходит смещение узла напряжения. Перестраивая ФВ, снова добиваются (по нулевому показанию индикатора) совмещения узла с плоскостью установки зонда. Со шкалы ФВ считывают новое показание φ_2 . Фазовый сдвиг, вносимый устройством Z, определяют по формуле $\Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2)/2$.

Процесс измерения фазового сдвига компенсационным методом легко автоматизировать, считая объектом автоматизации измерительный фазовращатель. Соответствующие фазометры называют *автокомпенсационными*.

Точность измерения компенсационным методом высокая. Погрешность измерения определяется в основном качеством градуировки шкалы фазовращателя и достигает $0,1...0,2^\circ$.

Метод преобразования фазового сдвига во временной интервал

Структурная схема устройства, преобразующего фазовый сдвиг во временной интервал и эпюры, поясняющие его работу, показаны на рис. 7.7. Устройство включает преобразователь $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ искомого фазового сдвига $\Delta\varphi$ в интервал времени Δt и измерительный прибор. Преобразователь $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ имеет одинаковые формирователи Ф1 и Ф2 и триггер Т. Принцип действия формирователей

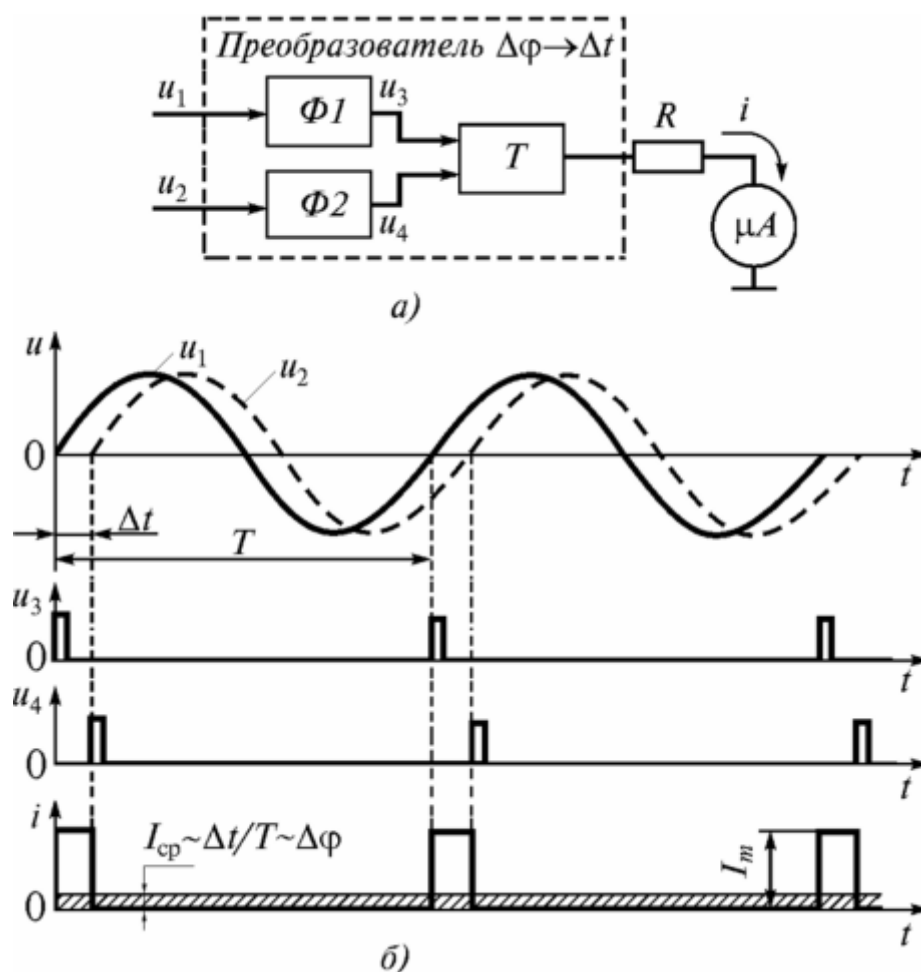


Рис. 7.7. Метод преобразования фазового сдвига во временной интервал: а — схема устройства; б — эпюры сигналов

был пояснен в разделе 6.3. Синусоидальные сигналы u_1 и u_2 , имеющие некоторый фазовый сдвиг $\Delta \phi$, подают на идентичные формирователи $\Phi 1$ и $\Phi 2$, преобразующие их в последовательности коротких импульсов u_3 и u_4 (рис. 7.7, б). Импульсы u_3 запускают, а импульсы u_4 сбрасывают триггер T в исходное состояние. В результате на выходе триггера формируют периодическую последовательность импульсов напряжения, период повторения и длительность которых равны периоду T и сдвигу во времени Δt исследуемых сигналов u_1 и u_2 .

Импульсы, поступая на резистор R , соединенный с измерительным прибором — микроамперметром μA , преобразуют в последовательность импульсов тока i с аналогичными периодом и длительностью и амплитудой I_m (рис. 7.7, б). В качестве измерительного прибора применяют микроамперметр магнитоэлектрической системы, реагирующий на среднее значение тока i за период T . Пусть 216

I_{cp} — среднее значение протекающего через прибор тока i . Тогда его показание с учетом формулы (7.3), определится как:

$$\alpha = I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T I_m dt = I_m \frac{\Delta t}{T} = I_m \frac{\Delta \phi}{360^\circ}, \quad (7.7)$$

где $\Delta \phi$ — измеряемый фазовый сдвиг.

Шкалу микроамперметра градуируют непосредственно в градусах. Измеренное значение фазового сдвига является средним за время измерения. Рассмотренное устройство — прямопоказывающий фазометр. Диапазон его рабочих частот ограничен снизу инерционностью магнитоэлектрического микроамперметра, а сверху — конечностью длительностей фронтов импульсов формирователей, влияющих на работу триггера Т. Аналоговые фазометры измеряют фазовый сдвиг сигналов в диапазоне частот $20 \dots 10^6$ Гц с погрешностью $\pm 1 \dots 2^\circ$.

Цифровые методы измерения фазового сдвига

Большинство цифровых фазометров близки по принципу действия к цифровым измерителям интервалов времени и работают по методу дискретного счета. Метод дискретного счета (более точно — *цифровой метод измерения фазового сдвига*), используемый в *цифровых фазометрах*, включает две операции: преобразование фазового сдвига в интервал времени и измерение интервала времени методом дискретного счета.

Цифровые фазометры

Структурная схема цифрового фазометра, реализующая метод дискретного счета, содержит преобразователь искомого фазового сдвига $\Delta\varphi$ в интервал времени Δt ($\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$), временной селектор ВС, формирователь счетных импульсов f/nf счетчик СЧ и цифровое отсчетное устройство ЦОУ (рис. 7.8, а). Схема и принцип действия преобразователя $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ полностью совпадает со схемой и принципом действия преобразователя, описанного в разд. 7.3. Временной селектор представляет собой ключевую логическую схему. Формирователь счетных импульсов построен на базе умножителя частоты входного сигнала и схемы формирования выходных импульсов.

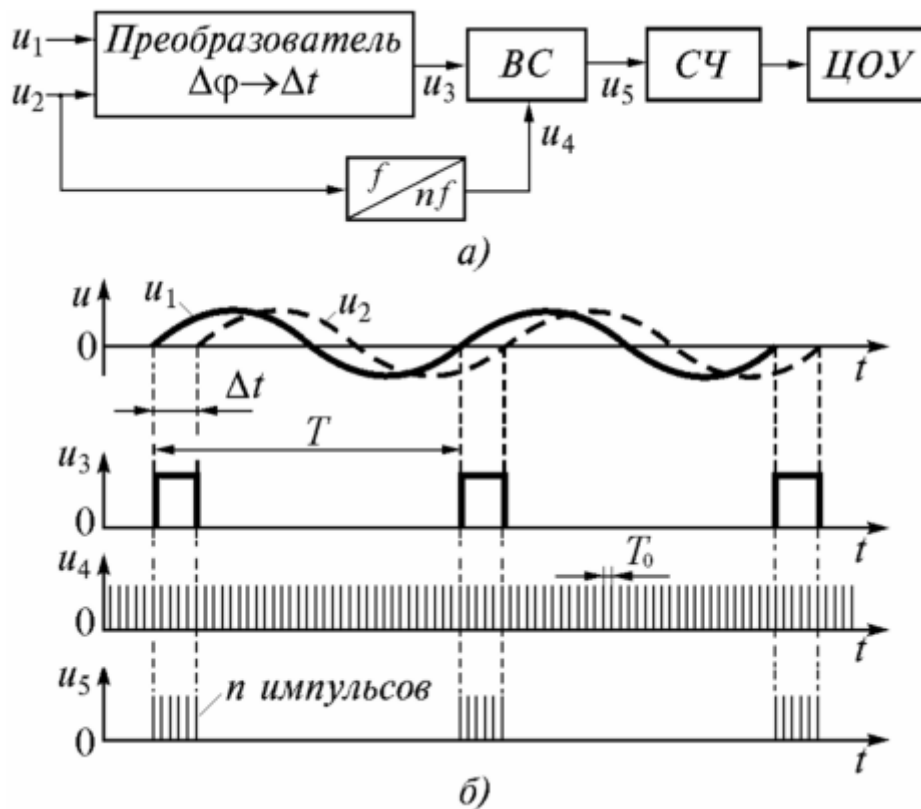


Рис. 7.8. Цифровой метод измерения фазового сдвига: а — структурная схема; б — временные диаграммы

Цифровой фазометр работает следующим образом. Преобразователь $\Delta\phi \rightarrow \Delta t$ из подаваемых на его входы синусоидальных сигналов u_1 и u_2 с фазовым сдвигом $\Delta\phi$ формирует последовательность прямоугольных импульсов u_3 (рис. 7.8, б), имеющих длительность Δt и период повторения T , равные соответственно сдвигу во времени и периоду сигналов u_1 и u_2 . Импульсы u_3 , а также счетные импульсы u_4 , вырабатываемые формирователем счетных импульсов, подают на входы временного селектора. Селектор открывают на время, равное длительности Δt импульсов u_3 , и в течение этого интервала пропускает на вход счетчика импульсы u_4 . На выходе селектора формируют пакеты импульсов u_5 , следующие с периодом T .

Измерение проводится за один период T следования сигналов u_3 и u_4 (схема управления, обеспечивающая такой режим измерения, на рис. 7.8, а для упрощения не приведена). При этом на счетчик с выхода селектора поступает количество импульсов, содержащееся в одном пакете:

$$n = \Delta t / T_0. \quad (7.8)$$

В цифровых фазометрах период следования счетных импульсов формирователя для удобства схемной реализации принимают $T_0 = T/(36 - \text{КГ})$, $\omega = (1, 2, 3, \dots)$.

Подставляя в (7.8) соотношение для Δt m (7.3), находим выражение для измеряемого фазового сдвига сигналов u_1 и u_2 :

$$\Delta\varphi = \frac{n}{10^{m-1}}. \quad (7.9)$$

Из (7.9) следует, что фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ пропорционален числу счетных импульсов n , поступивших на счетчик. Кодовый сигнал со счетчика, пропорциональный фазовому сдвигу $\Delta\varphi$, подают на ЦОУ, показания которого выдаются в градусах при $m = 1$, с учетом десятых долей градуса при $m = 2$ и т.д.

Погрешность данного цифрового фазометра определяется погрешностями дискретности и аппаратуры. Погрешность дискретности связана с тем, что интервал времени Δt можно измерить с точностью до одного периода счетных импульсов. Аппаратурная погрешность определяется отклонением длительности от Δt , нестабильностью преобразователя $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ и пр.

Для уменьшения погрешностей измерения используют *цифровые фазометры среднего значения*, результатом измерения которых является среднее значение измеряемого фазового сдвига за большое число периодов T анализируемого гармонического колебания. Структурная схема цифрового фазометра среднего значения с поясняющими эюрами представлена на рис. 7.9. Она отличается от схемы (см. рис. 7.8, а) рассмотренного выше фазометра наличием второго временного селектора ВС2, генератора импульсов ГИ и формирователя импульсов ФИ.

Принцип работы фазометра удобно анализировать, выделяя в нем функционально законченные устройства. К их числу относится преобразователь $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ искомого фазового сдвига $\Delta\varphi$ двух синусоидальных сигналов u_1 и u_2 и интервал времени Δt , формирующий импульсный сигнал u_3 (рис. 7.9, б), а также преобразователь $\Delta t \rightarrow n$ интервала Δt в соответствующее число (пакет) импульсов n . Преобразователь $\Delta t \rightarrow n$, формирующий пакеты импульсов u_5 , состоит из генератора импульсов ГИ и временного

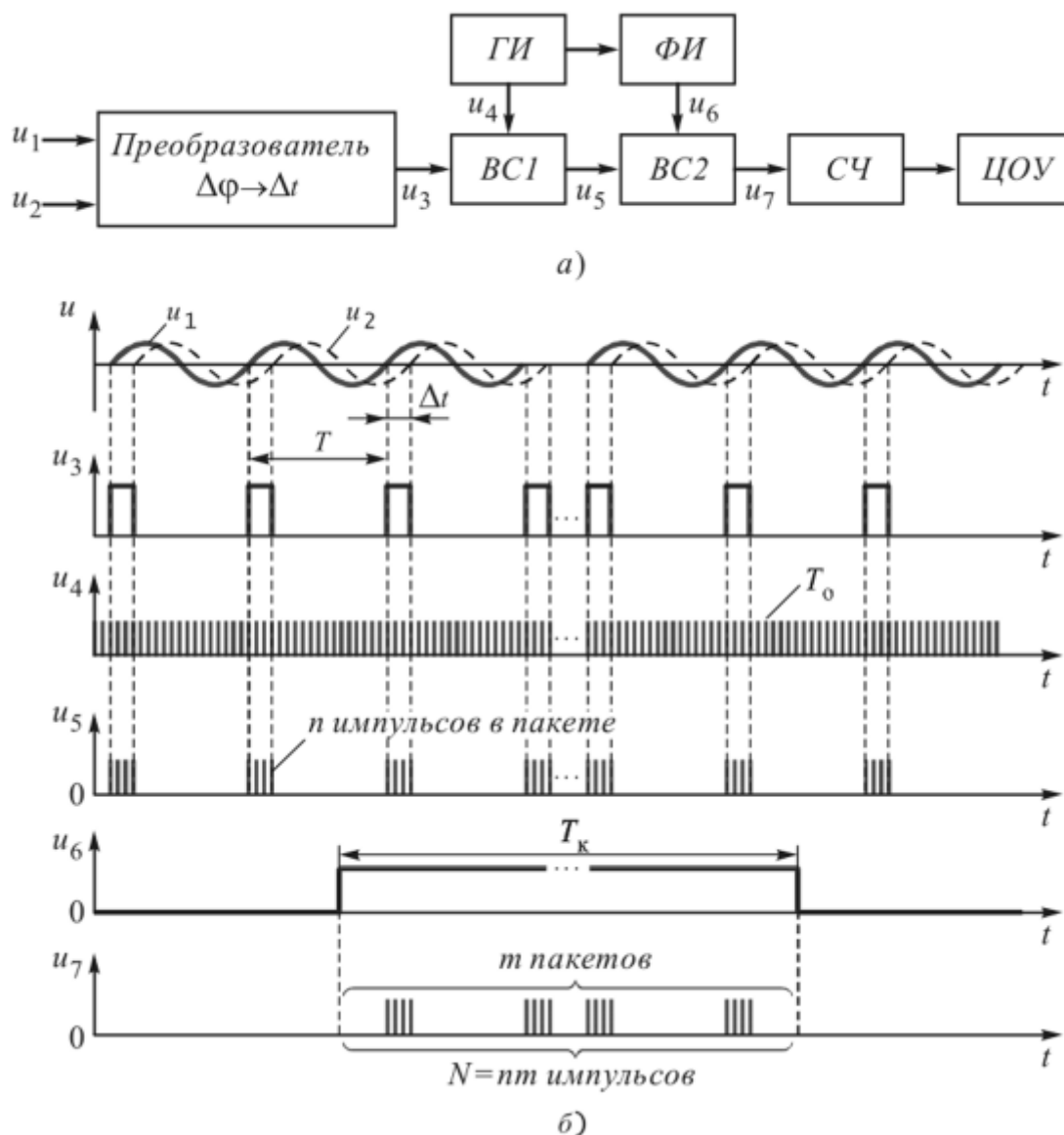


Рис. 7.9. Измерение сдвига фаз цифровым фазометром среднего значения: а — схема; б — эпюры к схеме

селектора ВС1. Номинальное число импульсов n в одном пакете определяется выражением (7.8).

Для усреднения результата измерения пакеты импульсов u_5 подают на устройство, выдающее m таких пакетов за калиброванный отрезок времени $T_k \gg T$ (T — период повторения исследуемых сигналов u_1 и u_2). В состав устройства входит формирователь импульса ФИ длительностью T_k и временной селектор ВС2. Схема ФИ построена на базе делителя частоты с коэффициентом деления K_d . На его вход поступают импульсы напряжения u_4 с периодом повторения T_0 (на рис. 7.9, б период T_0 показан стрелкой) от генератора импульсов. При этом на выходе ФИ формируют импульс u_6 длительностью $T_k = K_d T_0$, открывающий временной селектор ВС2. В результате на выход последнего проходит ряд пакетов импульсов u_5 , число которых

$$m = T_k / T = K_d T_0 / T. \quad (7.10)$$

Сигнал u_1 с выхода временного селектора ВС2 (рис. 7.9, б) поступает на счетчик СЧ, связанный с ЦОУ. Общее число импульсов, поступивших на этот счетчик, с учетом выражений (7.8), (7.10) и основной формулы (7.3) составит

$$N = nm = \frac{\Delta t}{T_0} \frac{K_d T_0}{T} = K_d \frac{\Delta t}{T} = K_d \frac{\Delta \varphi}{360^\circ}. \quad (7.11)$$

Из формулы (7.11) находим измеряемый фазовый сдвиг между гармоническими напряжениями u_1 и u_2 :

$$\Delta \varphi = N \frac{360^\circ}{K_d} = \frac{N}{k}. \quad (7.12)$$

В выражении (7.12) коэффициент k является постоянным и для данного прибора $k = 10^\circ$, где a — целое число. При этом на шкале ЦОУ показания фазового сдвига отражают в градусах. Чем больше a , тем выше разрешающая способность фазометра, определяемая коэффициентом k .

В фазометре (рис. 7.9, а) импульсы генератора ГИ и исследуемые сигналы M_1 и «2» не имеют взаимной синхронизации. Поэтому возможно изменение номинального числа импульсов n в одном пакете на ± 1 импульс (погрешность дискретности). Однако результирующая погрешность за время измерения T_k уменьшается, так как на счетчик поступают импульсы от m пакетов, в которых увеличение или уменьшение числа импульсов n на один импульс равновероятно. На погрешность показаний фазометра влияет также неточность фиксации преобразователем $\Delta \varphi \rightarrow \Delta t$ моментов перехода сигналов u_1 и u_2 через нулевой уровень. Однако погрешности от этих причин, как и погрешность дискретности, уменьшаются при усреднении результата измерения за интервал времени T_k , значительно больший периода исследуемых сигналов.

Микропроцессорные фазометры

Значительное расширение функциональных возможностей и повышение надежности фазометров обеспечивают при их построении на основе микропроцессора, работающего совместно с измерительными преобразователями. Такие фазометры позволяют измерять фазовый сдвиг между двумя периодическими сигналами за любой выбранный период, наблюдать флуктуации подобных сдвигов и оценивать их статистические характеристики: математическое ожидание, дисперсию, среднее квадратическое отклонение. Возможно так же как и в рассмотренных выше цифровых фазометрах, выполненных по схемам с жесткой логикой работы, измерение среднего значения фазового сдвига.

Структурная схема микропроцессорного фазометра приведена на рис. 7.10, а. Принцип измерения фазового сдвига между синусоидальными сигналами u_1 и u_2 за один их период T поясняют временные диаграммы на рис. 7.10, б. В фазометре в схеме импульсного преобразователя ИПР сигналы UHU_2 преобразуют соответственно в короткие импульсы u_1' и u_2' . Формирователь Ф1 с помощью первой пары данных импульсов вырабатывает импульс u_1 длительностью Δt , равной сдвигу во времени

сигналов w , и u_2 . Импульсом u_4 открывают временной селектор ВС1, который в течение времени Δt пропускает на вход счетчика СЧ1 счетные импульсы, следующие с периодом T_0 и вырабатываемые микропроцессорной системой МПС. Поступающий на вход СЧ1 пакет импульсов обозначен на рис. 7.10, б через u_3 . Число импульсов в пакете

$$n = \Delta t / T_0. \quad (7.13)$$

Формирователь Ф2 вырабатывает импульс u_5 , длительность которого равна периоду T исследуемых сигналов m_1 и m_2 . Импульс u_5 открывает на время T временной селектор ВС2, пропускающий от МПС на вход счетчика СЧ2 пакет импульсов u_6 . Период

$$N = T / T_0. \quad (7.14)$$

импульсов в пакете равен T_0 , а их число

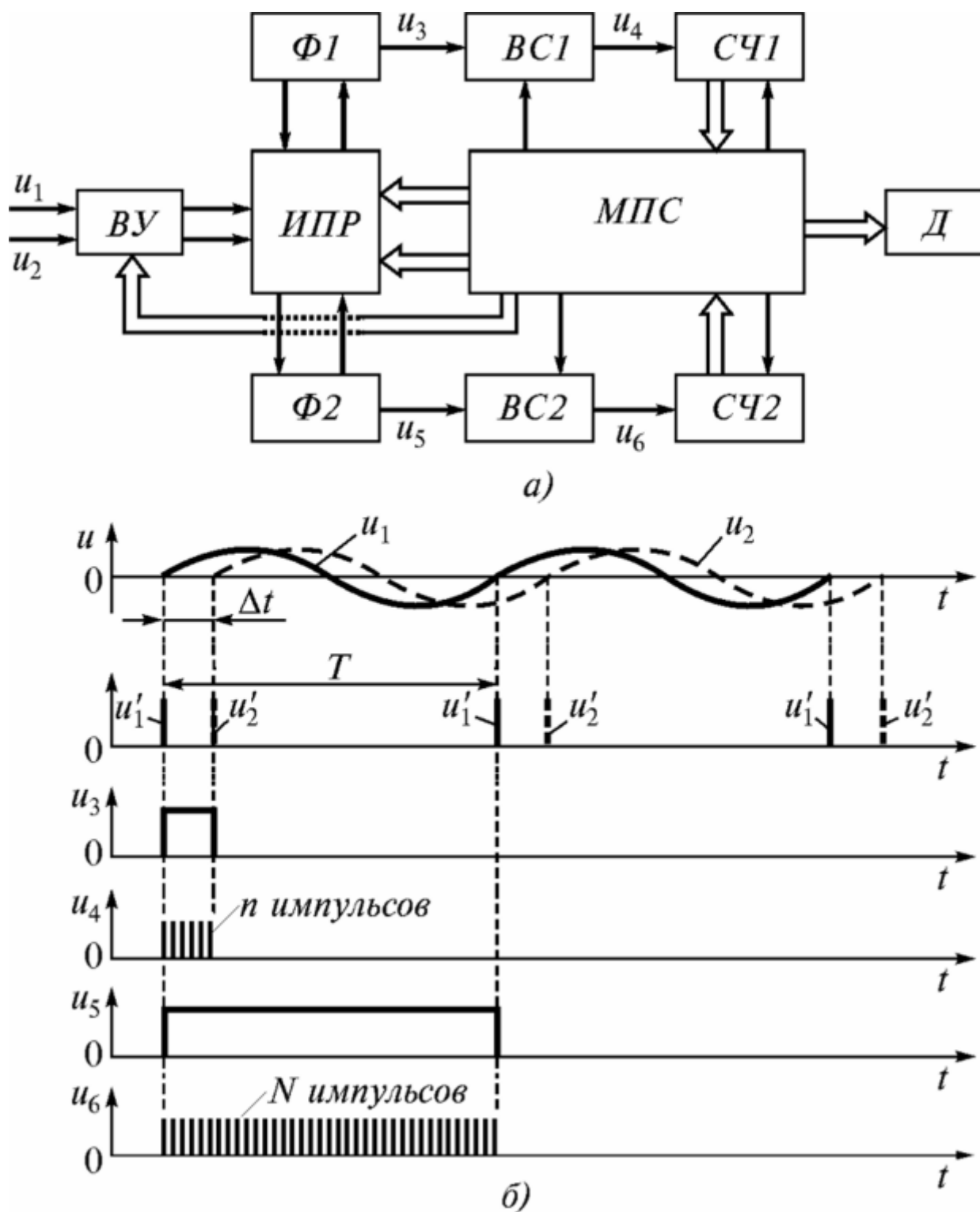


Рис. 7.10. Микропроцессорный цифровой фазометр: *а* — структурная схема; *б* — временные диаграммы

Для оценки искомого значения фазового сдвига $\Delta\varphi$ за выбранный период T требуется найти отношение величин (7.13) и (7.14), равное $n/N = \Delta t / T$, а затем, учитывая основную формулу (7.3), домножить это отношение на

$$360^\circ: \quad \Delta\varphi = 360^\circ n/N. \quad (7.15)$$

Вычисление выражения (7.15) выполняет МПС, на которую передают вырабатываемые счетчиками СЧ1 и СЧ2 коды чисел n и N . При соответствующей программе МПС на дисплее Д отображают значение фазового сдвига Дф для любого периода T . За счет сравнения сдвигов в разных периодах появляется возможность наблюдать флуктуации Дф и оценивать их статистические параметры. В режиме оценки фазометром среднего значения фазового сдвига Дф за заданное число z периодов T в счетчиках СЧ1 и СЧ2 происходит накопление кодов от числа импульсов, поступивших на их входы за z периодов, т.е. кодов чисел nz и Nz соответственно, которые затем передают в МПС.

Методы измерения фазового сдвига с преобразованием частоты

Для расширения диапазона частот фазометров применяют преобразование частоты исследуемых колебаний. Основным является гетеродинное преобразование частоты, позволяющее свести измерение фазового сдвига колебаний практически любых частот к измерению фазового сдвига на фиксированной промежуточной частоте.

Фазометр с гетеродинным преобразованием частоты

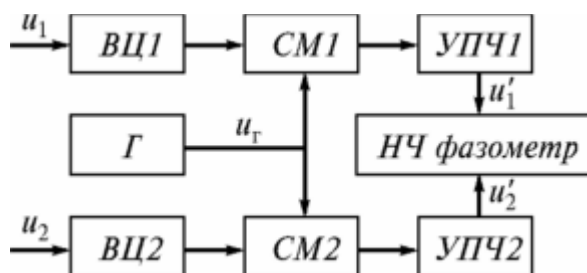


Рис. 7.11. Фазометр с гетеродинным преобразованием частоты

Структурная схема фазометра с подобным преобразованием показана на рис. 7.11. Пусть через входные цепи ВЦ1 и ВЦ2 на смесители СМ1 и СМ2 преобразователя частоты поступают соответственно сигналы $u_1 = U_{m1} \sin(\omega t)$ и $u_2 = U_{m2} \sin((\omega t - \varphi))$, имеющие фазовый сдвиг Дф = φ , а также гармоническое напряжение гетеродина $U_{m\Gamma} \sin(\omega_{\Gamma} t + \varphi_{\Gamma})$. На смеситель СМ1 воздействует напряжение $u_1 + u_{\Gamma}$, а на СМ2 — $u_2 + u_{\Gamma}$. На выходе каждого из смесителей появляются колебания с суммарными, разностными и комбинационными частотами, составленными из частот анализируемых входных сигналов и напряжения гетеродина. Сложные колебания с разностной

(промежуточной) частотой $\omega_{\text{пч}} = |\omega - \omega_{\Gamma}|$ выделяют усилителями промежуточной частоты УПЧ1 и УПЧ2 каждого канала. Если в измерителе фазы с гетеродинным преобразованием частоты каскады ВЦ1 и ВЦ2, СМ1 и СМ2, УПЧ1 и УПЧ2 идентичны, то выходные сигналы усилителей промежуточной частоты u'_1 и u'_2 после простых преобразований можно представить в следующем виде:

$$u'_1(t) = k U_{m1} U_{m\Gamma} \cos(\omega - \omega_{\Gamma})t; \quad (7.16)$$

$$u'_2(t) = k U_{m1} U_{m\Gamma} \cos[(\omega - \omega_{\Gamma})t - \varphi], \quad (7.17)$$

где k — коэффициент преобразования сигналов.

Из (7.16) и (7.17) следует, что фазовый сдвиг двух сигналов, полученных на выходах УПЧ, равен фазовому сдвигу исследуемых сигналов u_1 и u_2 . Сигналы u_1 и u_2 поступают на низкочастотный НЧ фазометр, измеряющий фазовый сдвиг на промежуточной частоте. Чтобы проводить измерения в широком спектральном диапазоне сигналов, применяют гетеродин с перестраиваемой частотой. Разработаны фазометры с гетеродинным преобразованием частоты, работающие в диапазоне от 20 Гц до 20 МГц, а также в диапазоне СВЧ — 0,1... 15 ГГц.

Фазометры с умножением частоты

Подобные фазометры применяют для измерения малых фазовых сдвигов. В фазометре используют два одинаковых умножителя, на один из которых подают сигнал u_1 , а на второй — u_2 . Если эти сигналы имеют фазовый сдвиг $\Delta\phi$, то после умножения их частоты в n раз, фазовый сдвиг в них увеличивается и становится равным $n\Delta\phi$. Такой фазовый сдвиг можно измерить с меньшей погрешностью. Искомый фазовый сдвиг определяют как $\Delta\phi = n\Delta\phi_i/n$.

Фазометры с умножением частоты могут иметь дополнительную погрешность измерения, вызванную усилением влияния сторонних шумов. Такие шумы, поступая на оба умножителя вместе с сигналами u_1 и u_2 , вызывают случайные отклонения фазы каждого из этих сигналов. Чем больше коэффициент умножения n , тем больше флуктуации фаз сигналов на выходе умножителей и погрешность измерений. Возможна также систематическая погрешность измерений, вызванная неидентичностью фазовых характеристик двух умножителей. Эту погрешность можно учесть и устранить, если подать на каждый умножитель частоты один и тот же сигнал (например, u_1). Показания фазометра, взятые с обратным знаком, следует использовать в качестве поправки для последующих измерений.

Измерение фазового сдвига фазовыми детекторами

Фазовый сдвиг между двумя гармоническими сигналами одной частоты можно измерить фазовым детектором, одна из возможных схем которого приведена на рис. 7.12. Сигналы u_1 и u_2 , между которыми измеряют фазовый сдвиг $\Delta\phi$, преобразуют фазовым детектором в постоянное напряжение. На его выходе включают вольтметр ЦФ, измеряющий постоянную составляющую напряжения между точками a и b , которое равно разности продетектированных напряжений U_1 и U_2 . Если амплитуды исследуемых напряжений поддерживать постоянными, шкалу вольтметра можно проградуировать непосредственно в значениях фазового угла. С помощью фазового детектора получают погрешность измерений около 2...3°. Погрешность зависит от выполнения условий, накладываемых на параметры схемы и амплитуды исследуемых напряжений, от стабильности этих величин во времени, чувствительности вольтметра и т.д.

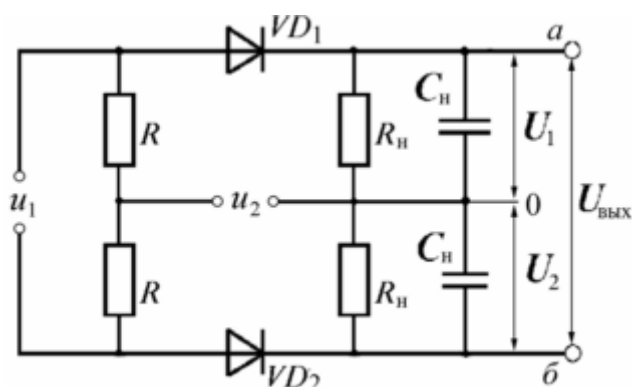


Рис. 7.12. Фазометр с фазовым детектором

Цифровые фазовые детекторы можно построить на различных цифровых логических схемах: элементе Ж-триггере, «Исключающее ИЛИ» и пр. При этом достаточно просто удастся получить длительность выходных импульсов, пропорциональную фазовому сдвигу между сигналами u и u_2 , после чего сгладить эти импульсы в ФНЧ.

На рис. 7.13, а в качестве примера приведена схема цифрового фазового детектора на элементе «Исключающее ИЛИ» {сумматор по модулю два}.

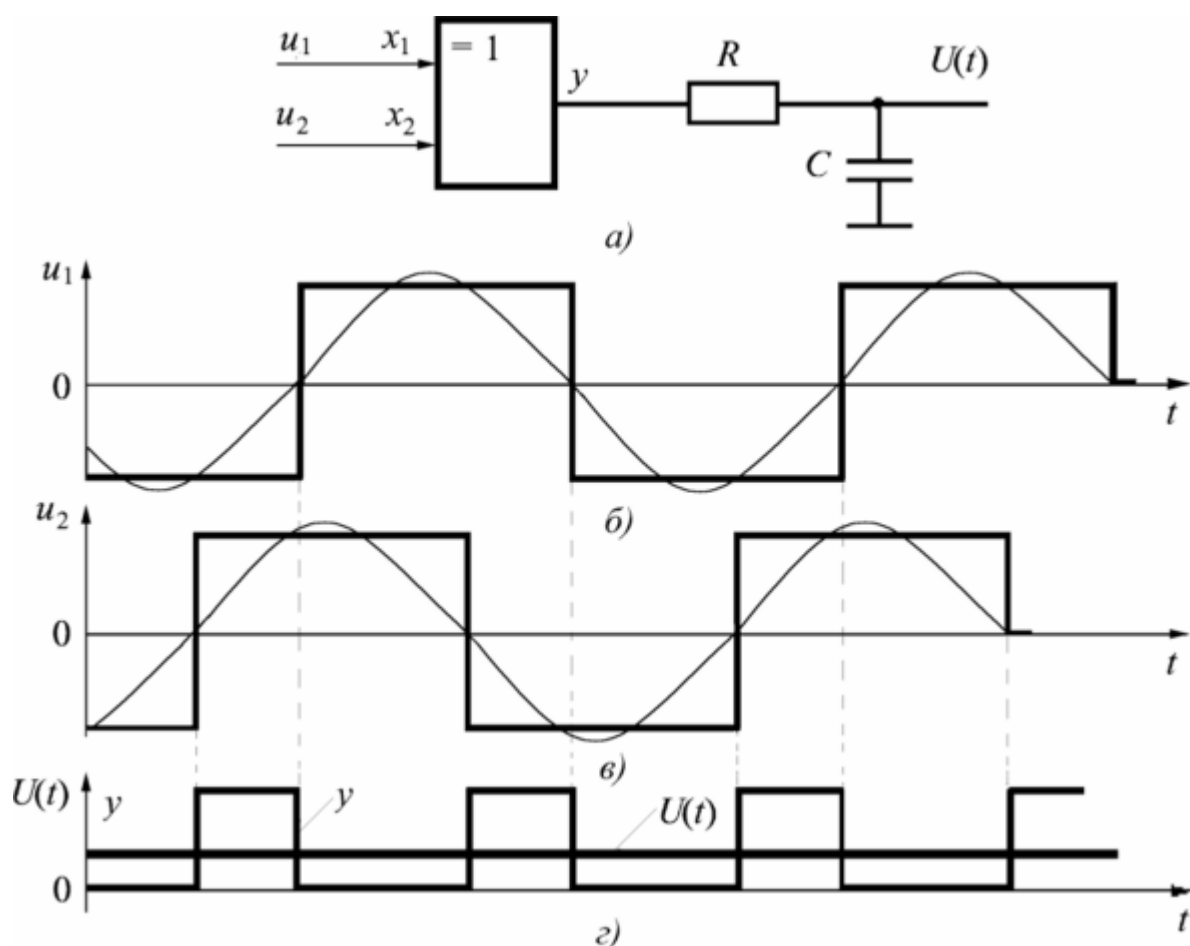


Рис. 7.13. Цифровой фазовый детектор на элементе «Исключающее ИЛИ»: а — схема; б — гармонический сигнал u и меандр; в — гармонический сигнал u_2 и меандр; г — выходные сигналы элемента и фазового детектора $U(t)$

Временные диаграммы работы рассматриваемой схемы показаны на рис. 7.13, б - г. В этом детекторе из исследуемых синусоид u_1 и u_2 формируют соответствующие напряжения типа «меандр» (рис. 7.13, б, в). На выходе логического элемента вырабатываются импульсы напряжения u , длительность которых пропорциональна фазовому сдвигу входных сигналов (рис. 7.13, г). Далее этот сигнал подают на ФНЧ. Напряжение $U(t)$ на выходе ФНЧ пропорционально сдвигу сигнала u относительно опорного u_{L2} .

Контрольные вопросы

- 1. Какой смысл вложен в понятие «фаза» сигнала?
- 2. Что называют фазовым сдвигом двух сигналов?
- 3. Перечислить основные методы измерения фазового сдвига.
- 4. В чем состоит метод линейной развертки измерения фазового сдвига с помощью осциллографа?
- 5. Как с помощью осциллографа измеряют сдвиг фазы, используя метод эллипса?
- 6. Как осуществляют измерение фазового сдвига методом круговой развертки?
- 7. На каком принципе работает фазометр с преобразованием фазы в интервал времени?
- 8. На каком принципе работают компенсационные фазометры?
- 9. Как измеряют фазовый сдвиг в СВЧ-диапазоне?
- 10. Пояснить принцип действия цифрового фазометра, измеряющего среднее значение фазы. Для пояснения нарисуйте временные диаграммы.
- 11. Как работает цифровой фазометр на основе микропроцессора?
- 12. Как действует фазометр с гетеродинным преобразованием частоты исследуемого сигнала?
- 13. В каких случаях применяют фазометры с умножением частоты?
- 14. Поясните принцип измерения сдвига фазы фазовым детектором.
- 15. Как измеряют фазовый сдвиг с помощью детектора на логическом элементе «Исключающее ИЛИ».