

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Коротков Сергей Леонидович
Должность: Директор ИТЖТ - филиал ПривГУПС
Дата подписания: 06.12.2024 13:55:56
Уникальный программный ключ:
705b520be7c208010fd7fb4dfc76dbd29d240bbe

Дидактический материал по ОП. 11.

**«Электрические измерения»
для студентов специальности**

27.02.03. Автоматика и телемеханика

на транспорте (железнодорожном транспорте)

Базовая подготовка среднего профессионального образования
(квалификация - техник)

Год начала подготовки - 2021

Занятие 1. Введение.

Изучение явлений природы, развития науки и техники неразрывно связаны с измерениями. Измерения играют важную роль как наиболее надежный и самый объективный способ контроля производственных процессов. В последнее время широкое применение получили электрические измерения. История их развития связана с накоплением научных и прикладных знаний в области электричества и магнетизма.

Огромное значение для развития техники электрических измерений имели исследования М.В. Ломоносова. Он впервые выдвинул идею возможности измерения электрических величин. Изучая грозовые явления, М.В. Ломоносов предложил оригинальный прибор для определения "максимальной электрической силы". В нем впервые была применена пружина для создания противодействующего момента.

Сподвижник М.В. Ломоносова русский ученый Г.В. Рихман провел ряд экспериментов по определению с помощью весов силы взаимодействия между заряженными телами. Он создал первый в мире электроизмерительный прибор, который назывался "указатель электрической силы".

Дальнейшее развитие учения об электричестве и практическое применение его выдвигали необходимость совершенствования и развития электроизмерительной техники. В практику электрических измерений по инициативе акад. Б.С. Якоби были введены отградуированные и снабженные шкалами измерительные приборы. Большое практическое значение имели работы акад. Э.Х. Ленца. Он впервые применил баллистический способ измерения индуктированных токов.

Особенно велики заслуги выдающегося русского электротехника М.О. Доливо-Добровольского в развитии техники электрических измерений. Он изобрел индукционный измерительный механизм и ряд измерительных приборов ферродинамической системы.

Большой вклад в развитие метрологии - науки о точных измерениях - в создание эталонов международных единиц внесли русские метрологи. На рубеже прошлого и настоящего столетия по инициативе Д.И. Менделеева в главной палате мер и весов в Петербурге было создано специальное отделение для проверки электроизмерительных приборов.

В 19 веке электроизмерительная техника и электроприборостроение развивалось слабо ввиду отсутствия собственной производственной базы. Потребность в электроизмерительных приборах почти полностью удовлетворялась ввозом из-за границы.

В начале 20 века широкий размах приняла электрификация страны. Благодаря чему стало развиваться и электроприборостроение - построен ряд электроприборостроительных заводов, опытных мастерских и научно-исследовательский учреждений.

Электротехнические устройства, используемые на железнодорожном транспорте в настоящее время, представляют сложный комплекс воздушных и кабельных линий связи и сигнализации, линий электропередачи, контактных сетей, различной электронной аппаратуры, вычислительных машин, устройств электросилового и электротягового оборудования, средств автоматики, обеспечивающей безопасность движения поездов.

Объективная оценка рабочего состояния электротехнических устройств железнодорожного транспорта может быть произведена только сопоставлением результатов электрических измерений параметров и режимов работы устройств с техническими условиями и нормами, установленными для них. По результатам электрических измерений можно заранее обнаружить различные изменения в состоянии оборудования, приборов, воздушных и кабельных линий, что важно для предупреждения нарушений их работы.

Правильное использование электроизмерительной техники в сочетании с соответствующими методами электрических измерений во всех областях применения электротехнических устройств на железнодорожном транспорте обеспечивает их безаварийную работу и способствует правильной организации и безопасности движения поездов.

Занятие.2 Общие сведения об измерениях. Единицы физических величин.

Тема 1. Методы измерений. Погрешности.

Все предметы и явления в природе можно определить качественно и количественно. Свойства, общие для многих объектов в качественном отношении, но индивидуальные в количественном, называют **физическими величинами**.

Измерение - это нахождение количественного значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Количественная и качественная оценки различных физических явлений осуществляются с помощью измерительных приборов. Технический прогресс сопровождается повышением требований к надежности измерительной техники, приборов и достоверности измерительной информации. Последнюю из этих задач решает метрология.

Классификация методов измерений

Измерения дают количественную оценку исследуемых объектов. Измерить данную величину - значит, определить методом физического сравнения, сколько раз в ней содержится величина, принятая за единицу.

Физические величины измеряют с помощью электрических средств измерений. В зависимости от способа получения результата существуют различные виды измерений: прямые, косвенные, совокупные и совместные (рис. 1.2).

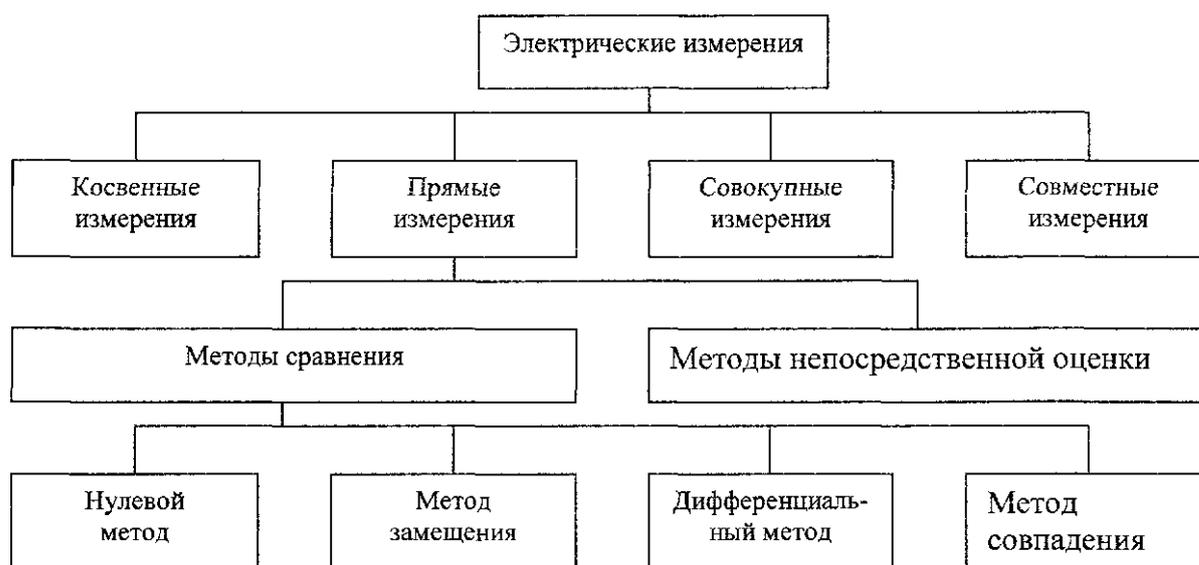
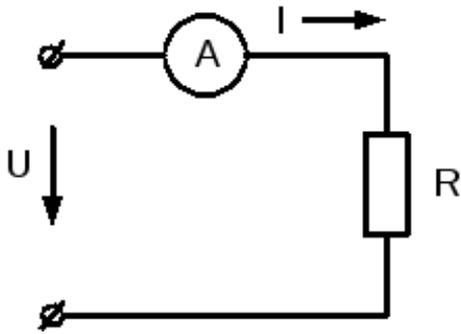


Рис. 1.2. Структура видов и методов измерений.

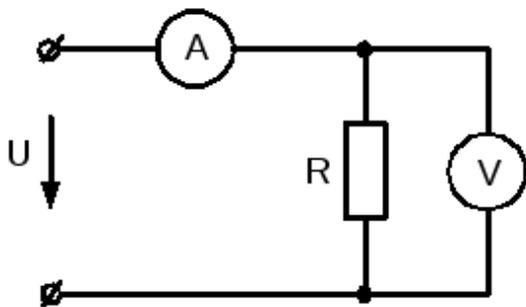


Прямые измерения: $X = X_{изм}$;

– измеряемая величина находится непосредственно по показанию прибора.

Пример: косвенные: $X = F(X_1, X_2; X_3 \dots)$;

– измеряемая величина находится по известной зависимости от других величин, измеренных прямым способом.



Пример:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{Применяют:}$$

- при отсутствии приборов прямого измерения;
- при невозможности применения приборов прямого измерения;
- если можно получить более высокую точность.

Одновременные измерения двух или нескольких величин называются *совместными*, если уравнения измерения для этих величин образуют систему линейных независимых уравнений.

Совокупные измерения отличаются от совместных только тем, что при совокупных измерениях одновременно измеряют несколько одноименных величин, а при совместных — разноименных.

Погрешности измерений и приборов.

Из-за несовершенства методов и средств измерений истинное значение измеряемой величины остается неизвестным, можно только приближаться к нему с различной степенью точности.

Отклонения результатов измерений от истинных значений измеряемых величин называют **погрешностью измерений**.

Важнейшей характеристикой измерительного прибора является *класс точности*, который указывается на приборе. Класс точности характеризуется наиболее допустимой приведенной погрешностью, величина которой равна номеру класса и определяется по следующей формуле :

$\gamma_d = \Delta A_{\text{НАИБ.}} * 100\% / A_n$, где A_n - номинальное значение измеряемой величины (верхний ее предел);

$\Delta A_{\text{НАИБ.}}$ - наибольшая абсолютная погрешность, т.е. наибольшая разность между показанием прибора $A_{\text{и}}$ и действительным значением измеряемой величины $A_{\text{д}}$.

По классу точности прибора и его верхнему пределу измерения можно подсчитать наибольшую абсолютную погрешность, которую может иметь прибор в любой точке шкалы: $\Delta A_{\text{НАИБ.}} = \gamma_d * A_n / 100$.

Пределы, в которых находится действительное значение измеряемой величины, следует вычислять по формуле: $A_{\text{д}} = A_{\text{и}} \pm \Delta A_{\text{НАИБ.}}$.

Точность измерения характеризуется также наибольшей возможной относительной погрешностью:

$$\gamma_{\text{н.в.}} = \pm \Delta A_{\text{НАИБ.}} * 100\% / A_{\text{и}} \text{ или } \gamma_{\text{н.в.}} = \pm \gamma_d * A_n / A_{\text{и}}$$

Поправка прибора - это величина, численно равная абсолютной погрешности измерений и противоположная ей по знаку. Выражается поправка в единицах измеряемой величины.

Методическая погрешность – это погрешность, возникающая по следующим причинам:

- 1) неточность построения модели физического процесса, на котором базируется средство измерения;
- 2) неверное применение средств измерений.

Единицы, эталоны и меры электрических величин.

Единицей физической величины называют физическую величину, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице. Единицы измерений делят на *основные, производные, внесистемные, кратные и дольные*.

Совокупность основных и производственных единиц, относящихся к некоторой системе величин, называют **системой единиц** физических величин.

В целях унификации единиц физических величин по решению XI Генеральной конференции по мерам и весам (1960 г.) принята единая Международная система единиц (СИ), основанная на семи основных единицах: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела и моль.

Производные единицы физических величин, входящих в систему СИ, — это обязательные единицы, которые могут быть выражены через основные, как правило, образуют с помощью простейших уравнений связи между величинами (определяющих уравнений), в которых числовые коэффициенты равны 1. Например, $к\lambda = A * c$.

Кратная единица – единица физической величины, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы. Например, кОм, ГГц.

Дольная единица – единица физической величины, в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Например, мм, мкА, пФ.

Внесистемная единица – это единица физической величины, не входящая ни в одну из принятых систем единиц. Например, литр и каллория.

Занятие 3. Эталоны, меры электрических величин. Автоматизация измерений.

Эталоны и меры электрических величин

Правильное значение измеряемой величины определяется с помощью средств измерений, то есть технических средств, имеющих нормированные метрологические свойства. *Свойствами измерений* являются меры, измерительные приборы, преобразователи, установки и системы.

Мера - это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Меры делятся на *одно-* и *многозначные*. **Однозначные меры** воспроизводят физическую величину одного размера (измерительный резистор, конденсатор постоянной емкости, гиря и т. д.), а **многозначные** - ряд значений одноименных величин различного размера (линейка с делениями, конденсатор переменной емкости и т. д.).

Первичный эталон единицы силы тока (ампера) представляет собой комплекс средств измерения в составе электродинамической системы и равноплечих рычажных весов с дистанционным управлением.

Образцовой мерой э. д. е., предназначенной для передачи размера единицы э. д. с. от первичного эталона рабочим средствам, служит нормальный элемент с насыщенным или ненасыщенным раствором сернистого кадмия.

Мерами емкости являются образцовые и рабочие конденсаторы с постоянным или регулируемым значением емкости.

Меры емкости должны иметь постоянные значения емкости, минимальные потери энергии в диэлектрике и высокую изоляцию.

До 1980 г. единица индуктивности воспроизводилась с помощью эталона, основанного на применении расчетных катушек индуктивности. С 1980 г. первичный эталон единицы индуктивности (генри) воспроизводят с помощью индуктивно-емкостного моста. В эталон входят четыре тороидальные катушки с индуктивностью $10 \cdot 10^3$ Гн и индуктивно-емкостный мост. Погрешность эталона не превышает $5 \cdot 10^{-6}$.

Мерами индуктивности и взаимной индуктивности являются образцовые катушки, магазины индуктивности и вариометры.

Автоматизация измерений на железнодорожном транспорте

Устройства автоматизации являются важнейшими элементами технического вооружения железнодорожного транспорта. Эти устройства позволяют эффективно решать задачи перевозочного процесса, способствуя увеличению пропускной способности железнодорожных линий, обеспечивая безопасность движения поездов, бесперебойную связь между всеми подразделениями железнодорожного транспорта.

Применяемые на железнодорожном транспорте устройства автоматизации и связи включают: средства автоматики и телемеханики, регулирующие движение поездов на перегонах (электрожелезная система, полуавтоматическая блокировка, автоблокировка); устройства АТ, управляющие стрелками и сигналами на станции (электрическая и механическая централизация стрелок); диспетчерскую централизацию, объединяющую АБ и централизацию стрелок; телефонную, телеграфную и другие виды проводной связи, радиосвязь; пассажирскую автоматику. Оснащенность этими устройствами таково, что железные дороги России имеют оптимальный уровень оборудования этими системами и могут обеспечить в 2 раза больший объем перевозок, чем в настоящее время.

Работниками хозяйства автоматики и связи отводится важная роль в выполнении основной задачи транспортного производства, так как устройства АТ и связи являются важнейшим элементом технической вооруженности железнодорожного транспорта. Эти устройства позволяют полнее и производительнее использовать все технические средства транспорта, повышают эффективность работы отрасли. Внедрение более современных устройств АТ, связи и вычислительной техники, качество их содержания определяют повышение безопасности движения, перерабатывающую способность станций, пропускную способность железнодорожных линий. Основным назначением хозяйства ШЧ является техническое обслуживание и ремонт устройств СЦБ и связи.

Для железнодорожного транспорта важной задачей является увеличение объема перевозок за счет более эффективного использования подвижного состава при хорошем качестве обслуживания. Этого можно достигнуть повышением роли диспетчерского управления, реализуемого с помощью новых информационных технологий.

Электрическая централизация позволяет в 2 раза повысить пропускную способность станций, сократить эксплуатационный штат работников и обеспечить безопасность движения поездов. Наиболее просто с этой проблемой на станции может справиться централизация компьютерного типа, обеспечивающая безопасное управление стрелками и сигналами. Микропроцессорные системы повышают уровень безопасности, занимают значительно меньше площади, потребляют меньше электроэнергии, уменьшают объем строительно-монтажных работ и снижают эксплуатационные расходы.

Наряду с созданием практически необслуживаемых устройств железнодорожной АТ разрабатывается малообслуживаемое оборудование низовой автоматики. Это новые светофоры со светодиодными оптическими системами, стрелочные винтовые электроприводы и другое напольное оборудование. Его внедрение позволит обеспечить повышение уровня безопасности движения, снизить затраты при производстве и эксплуатации, а также улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Внедрение современных многофункциональных и высокопроизводительных измерительных систем и мобильных комплексов (МИКАР) позволит автоматизировать многие технологические операции и, как следствие, сократить трудозатраты.

Основные автоматизированные системы на железнодорожном транспорте:

- Автоматизированная связь на железнодорожном транспорте ("Экспресс");
- Автоматизированные системы управления устройствами электроснабжения железных дорог (АСУ Э);
- Диспетчерское управление движением поездов (АДЦУ);
- Автоматизированные системы управления сортировочными станциями (АСУ СС);
- Автоматическая переездная сигнализация (АПС);
- Автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС);
- Полуавтоматическая блокировка (ПАБ);

Данные АСУ позволяют эффективно решать задачи перевозочного процесса, способствуя увеличению пропускной способности железнодорожных линий, обеспечивая безопасность движения поездов, бесперебойную связь между всеми подразделениями железнодорожного транспорта.

Занятие 4. Основные характеристики электрических сигналов и цепей.

Параметрические представления периодических сигналов

Периодические сигналы электрических напряжений, токов, мощностей (как и некоторые элементы и характеристики электрических цепей) могут быть выражены числовыми значениями (параметрическое представление), а могут быть описаны функциями (функциональное представление). На рис. 1, *а* показан пример параметрического представления – показание индикатора цифрового мультиметра при измерении действующего значения сетевого напряжения, а на рис. 1, *б* – пример функционального представления – изображение кривой этого же сигнала напряжения на экране электронно-лучевого осциллографа.

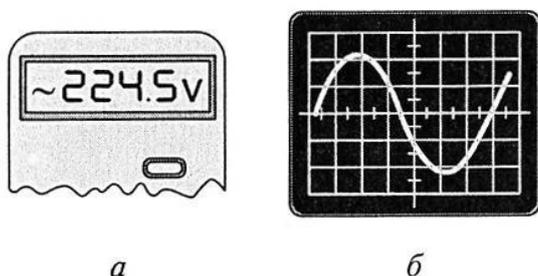


Рис.1.

Параметрическое представление характерно для статических (упрощенных) моделей объектов и процессов, а функциональное представление, наоборот, отражает динамические взгляды и подходы.

Основные параметры периодических сигналов.

Периодические сигналы напряжения, тока и мощности характеризуются временными и амплитудными параметрами (параметрами уровня).

К первой группе (временных параметров) относятся период T , частота сигнала f , фазовый сдвиг φ , а также связанные с ними параметры, например, круговая частота ω , а также $\cos \varphi$ (если речь идет о двух синусоидальных сигналах одной частоты).

Период T сигнала – длительность одного полного цикла изменения сигнала, измеряется в единицах времени [секундах (с), миллисекундах (мс), микросекундах (мкс) и т.д.].

Частота f сигнала – число периодов сигнала в единицу времени (чаще всего в секунду). Частота – это величина, обратная периоду $f = 1/T$. Основная единица измерения частоты – герц (Гц): 1 Гц = 1/с. Кроме основной единицы (Гц) используются кратные единицы: килогерц (кГц), мегагерц (МГц) и др. В нашей стране номинальное значение частоты электрической сети – 50 Гц. При этом номинальное значение периода $T = 1/f = 1/50 = 0,02 \text{ с} = 20 \text{ мс}$.

Фазовый сдвиг φ характеризует относительный временной сдвиг двух синусоидальных сигналов одной частоты и выражается в градусах (например $\varphi = 30^\circ$).

Круговая (угловая) частота ω связана с частотой f соотношением: $\omega = 2\pi f$ измеряется в радианах в секунду (рад/с). Период T сигнала при этом $T = 360^\circ$ или $T = 2\pi$ радиан.

Для периодических сигналов, близких по форме к прямоугольной, к временным параметрам относят также длительность импульса $t_{и}$ и скважность Q , представляющую собой отношение периода сигнала T к длительности импульса $t_{и}$.

К параметрам уровня относятся максимальное (амплитудное, пиковое), среднее, среднее выпрямленное и среднее квадратическое (действующее, ранее использовался термин эффективное) значения сигнала. Из них самым важным и полезным для оценки особенностей электрического сигнала является среднее квадратическое (действующее) значение, так как именно оно определяет способность совершать работу действовать (нагревать, двигать, светить и т. п.). Подавляющее большинство измерительных приборов, предназначенных для работы с периодическими напряжениями и токами, градуируются в средних квадратических (действующих) значениях при синусоидальном сигнале.

К параметрам уровня относятся также коэффициенты амплитуды и формы, коэффициент мощности ($\cos \phi$). При использовании статических моделей процессов (в статических измерениях) все указанные параметры сигналов предполагаются неизменными во времени.

На рис. 2 показана разница в определении некоторых параметров уровня на примере периодического напряжения $u(t)$ с периодом T .

U_{MAX} – максимальное (амплитудное, пиковое) значение сигнала.

$U_{C.K.}$ – среднее квадратическое (действующее, ранее использовался термин эффективное) значения сигнала.

$U_{C.B.}$ - среднее выпрямленное значения сигнала.

U_C - среднее значение сигнала

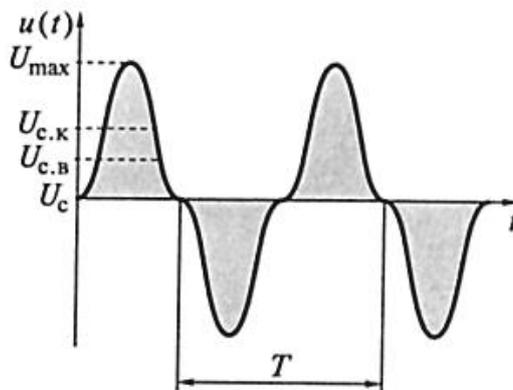


Рис.2

Коэффициенты амплитуды и формы

Характер периодического сигнала, его форма, степень его несинусоидальности могут быть в простейшем виде оценены коэффициентами амплитуды k_a и формы k_ϕ :

$$k_a = U_{\max} / U_{\text{с.к.}}, k_\phi = U_{\text{с.к.}} / U_{\text{с.в.}}$$

Для случая синусоидального сигнала (рис. 3, а) значения коэффициентов амплитуды и формы равны, соответственно, $k_a = \sqrt{2} = 1,41$; $k_\phi = 1,11$. Сигналы других форм могут иметь значения коэффициентов k_a и k_ϕ , сильно отличающиеся от указанных для синусоидального сигнала. Например, для несинусоидального сигнала (рис. 3, б) $k_a = 2$; $k_\phi = 1,2$, а для прямоугольного сигнала (рис. 3, в) $k_a = 1$; $k_\phi = 1$.

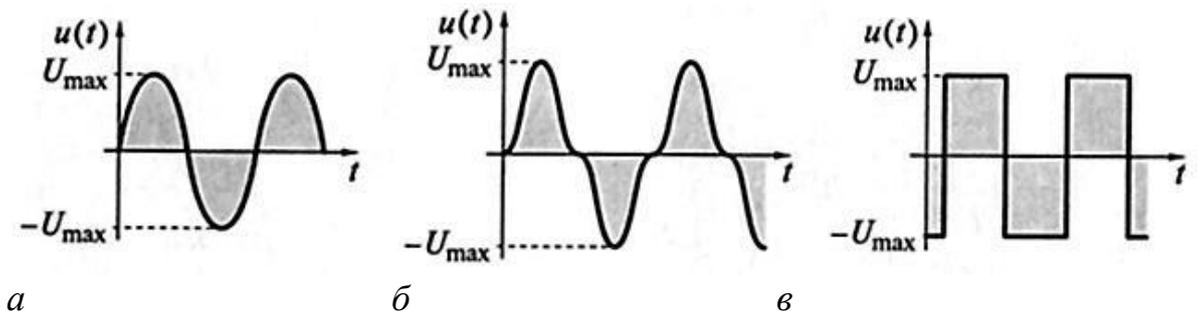


Рис. 3. Синусоидальный (а), несинусоидальный (б) и прямоугольный (в) сигналы

Знание особенностей исследуемого сигнала, специфики электрической цепи, возможностей и характеристик используемых приборов поможет избежать серьезных ошибок при измерениях. Например, типичный аналоговый универсальный измерительный прибор (тестер) содержит магнитоэлектрический измерительный механизм и полупроводниковый одно- или двухполупериодный выпрямитель, т.е. реагирует на средние выпрямленные значения переменных напряжений и токов, а не на действующие, как это чаще всего требуется. Такой измеритель дает удовлетворительные результаты измерения действующего значения только при форме сигналов, близкой к синусоидальной, а например, в случае сигнала, похожего на прямоугольный (см. рис. 3, в), ошибка в определении действующего значения может составить около 10 %.

Коэффициент мощности k_m и $\cos\phi$

Два периодических сигнала одной частоты (например, напряжения и тока в цепи) могут быть сдвинуты во времени по отношению друг к другу на некоторый интервал Δt . Если сигналы синусоидальны, то можно говорить об угле сдвига фаз (фазовом сдвиге) ϕ (рис. 3).

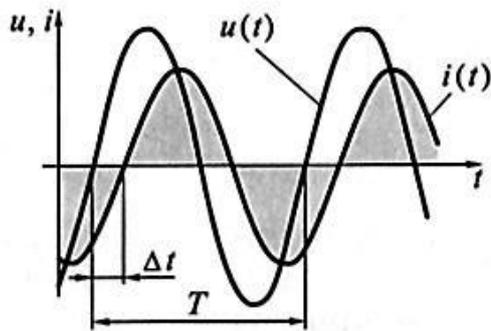


Рис. 2.5. Фазовый сдвиг

Фазовый сдвиг φ измеряется обычно в градусах, $^\circ$:

$$\varphi = (\Delta t / T) \cdot 360,$$

где Δt – временной сдвиг между сигналами; T – период.

Параметры $\cos\varphi$ и коэффициент мощности k_M определяют эффективность преобразования, передачи и использования электрической энергии (**качество электрической энергии**). Чем ближе к единице значения этих параметров, тем лучше (т.е. тем выше эффективность использования электрической энергии).

Формально понятие $\cos\varphi$ можно использовать только для синусоидальных сигналов. Однако на практике им часто пользуются в предположении, что форма реальных сигналов достаточно близка к синусоиде.

Нагрузка в реальной электрической цепи не является ни чисто активной, ни чисто реактивной, а представляет собой **комплексное сопротивление**. Если нагрузка имеет индуктивный характер (т.е. комплексное сопротивление нагрузки содержит активную и индуктивную составляющие), то синусоидальный ток в цепи отстает от приложенного синусоидального напряжения на некоторый угол φ , определяемый соотношением активной и индуктивной составляющих. При емкостном характере нагрузки ток в цепи опережает напряжение на угол, также зависящий от соотношения активной и емкостной составляющих. Именно угол φ определяет соотношение между активной и реактивной мощностями. Чем ближе к нулю значение φ (чем ближе к единице значение $\cos\varphi$), тем лучше.

Для более общего случая, т.е. для сигналов любых форм, применяется понятие *коэффициента мощности* k_M , который определяется отношением активной мощности P к полной S . Коэффициент k_M находится так:

$$k_M = P / S = P / (U_{c.k.} I_{c.k.}).$$

Занятие 5. Аналоговые измерительные приборы. Общие сведения.

Шкала прибора, условные обозначения на ней.

Показывающее устройство средства измерений – совокупность элементов, которые обеспечивают визуальное восприятие значений измеряемой величины или связанных с ней величин. Очевидно, показывающие устройства приборов чаще всего выполнены в виде системы шкала-указатель или числового табло.

Шкала – часть показывающего устройства, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией. Отметки на шкалах могут быть нанесены равномерно (равномерная шкала) или неравномерно (неравномерная шкала). **Отметка шкалы** – знак на шкале средства измерений (черточка, зубец, точка и др.), соответствующий некоторому значению физической величины. Отметку шкалы средства измерений, у которой проставлено число, называют **числовая отметка шкалы**, а промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерений называется **делением шкалы**.

Различают **начальное значение шкалы** (наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений) и **конечное значение шкалы** (наибольшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений). Так для медицинского термометра начальным значением шкалы является 34,3 °С, а конечным значением шкалы является 42 °С.

Классификация электроизмерительных приборов. Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

Электроизмерительные приборы классифицируют по различным признакам.

1. Основной характеристикой является *система прибора*, т. е. способ преобразования измеряемой электромагнитной величины в силу, перемещающую подвижную часть электроизмерительного прибора.

Система прибора	Условное обозначение	Система прибора	Условное обозначение
Магнитоэлектрическая: с подвижной рамкой и механической противодействующей силой		Электростатическая	
с подвижной рамкой и без механической противодействующей силы (логометр)		Тепловая	

Электромагнитная: с механической противодействующей силой		Вибрационная	
без механической противодействующей силы (логометр)		Термоэлектрическая: с контактным термопреобразователем	
Электродинамическая (без экрана): с механической противодействующей силой		с изолированным термопреобразователем	
без механической противодействующей силы (логометр)		Выпрямительная	
Ферродинамическая: с механической противодействующей силой		Электронная (ламповая)	
без механической противодействующей силы (логометр)		Фотоэлектрическая	
Индукционная: с механической противодействующей силой			
Без механической противодействующей силы			

2. По пределам измерений приборы делят на:

- однодиапазонные;
- многодиапазонные

3. По роду измеряемой величины. Условное обозначение прибора по роду измеряемой величины наносится на лицевую сторону прибора.

Наименование прибора	Условное обозначение
Амперметр	A
Вольтметр	V
В	льтамперметр VA
Ваттметр	W
Микроамперметр	μA
Миллиамперметр	mA
М	лливольтметр

	mV
Омметр	Ω
Мегаомметр	M Ω
Частотомер	Hz
Волномер	λ
Фазометр: измеряющий сдвиг фаз измеряющий коэффициент мощности	$\varphi \cos\varphi$
Счетчик ампер-часов	Ah
Счетчик ватт-часов	Wh
Счетчик вольт-ампер-часов реактивный	Varh

4. По роду измеряемого тока.

	Значение условного обозначения Условное обозначение
Прибор постоянного тока	—
Прибор постоянного и переменного тока	
Прибор переменного тока	
Прибор трехфазного тока	

5. По условиям эксплуатации (допустимые влажность, температура и т. д.) приборы делят на группы:

- А (используют в закрытых отапливаемых помещениях);
- Б (используют в закрытых неотапливаемых помещениях);
- В (В1 – в полевых условиях, В2 – в морских условиях).

6. По размерам:

- на миниатюрные;
- малогабаритные;
- среднегабаритные;
- крупногабаритные.

7. По форме представления информации. Измерительные приборы бывают аналоговыми и цифровыми. *Аналоговыми* называют измерительные приборы, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины. *Цифровыми* называют измерительные приборы, показания которых выражены в цифровой форме.

Вольтметр с цифровым отсчетом	
-------------------------------	---

8. От вида получаемой измерительной информации измерительные приборы подразделяют на показывающие, регистрирующие, самопишущие, печатающие, интегрирующие, суммирующие.

Вольтметр с непрерывной регистрацией	
Амперметр, подвижная часть которого отклоняется в обе стороны от нулевой отметки	
Гальванометр	
Осциллограф	

9. На шкалу электроизмерительного прибора наносят также обозначения класса точности прибора, испытательного напряжения изоляции, рабочего положения прибора и т. д. (табл. 9.2).

Класс точности - это важная характеристика прибора; представляет собой степень приближения показаний прибора к действительному значению измеряемой величины. Для большинства узкопредельных стрелочных приборов **класс точности** - это предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm\gamma_d$.

Рабочее положение шкалы горизонтальное	
Рабочее положение шкалы вертикальное	
Рабочее положение шкалы наклонное, под углом 60° к горизонту	
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 3 кВ	
Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу не соответствует нормам (знак выполняется красным цветом)	
Защита от внешних магнитных полей 3 мТл	

Защита от внешних электрических полей 10 кВ/м	10
Направление ориентировки прибора в магнитном поле Земли	
Прибор класса точности 0,5	0.5

Для контроля, установленных техническими указаниями требований к устройствам СЦБ и ЖАТ, применяются измерительные приборы, испытательное оборудование. Все измерения выполняются измерительными приборами, прошедшими калибровку или поверку в установленном порядке.

При измерении напряжения и силы постоянного тока, напряжения и силы переменного тока синусоидальной формы погрешность измерений не должна превышать 2,5%. При измерении напряжения и силы переменного тока кодовых рельсовых цепей и других сигналов сложной формы, погрешность измерений не должна превышать 5%, если иное не предусмотрено эксплуатационной документацией на конкретные виды (типы) аппаратуры СЦБ.

Занятие 6. Конструкция электромеханических приборов.

Детали измерительных механизмов

Большинство приборов имеет измерительную схему и измерительный механизм.

Измерительная схема служит для преобразования измеряемой величины X в электрическую Y , воздействующую на измерительный механизм, и состоит из

набора элементов: микросхем, резисторов, конденсаторов, преобразователей, переключателей, зажимов и т. д.

Измерительный механизм служит для преобразования электрических и магнитных воздействий в механические перемещения и для передачи этих перемещений отсчетным устройствам. Он состоит из подвижной и неподвижной частей, взаимодействующих в процессе измерений, причем подвижная часть перемещается относительно неподвижной так, что угол ее поворота пропорционален измеряемой величине.

Неподвижной частью прибора (рис. 1) служит катушка 5 (в приборах других систем — постоянный магнит, электромагнит, система катушек и т. д.). Подвижной частью является ось 8, упирающаяся в подпятники 2 и Р. На ней жестко прикреплены ферромагнитный сердечник 10 и стрелка 4, указывающая измеряемую величину на шкале 6. Спиральная пружина 3 обеспечивает пропорциональность угла поворота стрелки измеряемой величине. Для успокоения подвижной части служит успокоитель 7, для установки стрелки на нуль — корректор 1, для уравнивания подвижной части — противовесы 11.

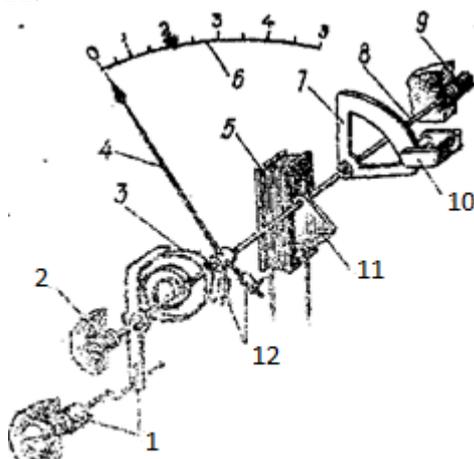


Рис.1. Схема устройства измерительного прибора непосредственной оценки.

Отсчетные устройства служат для определения значения измеряемой величины. Их подразделяют на:

- шкальные;
- цифровые;
- регистрирующие.

Шкалы бывают:

- **равномерные**, т. е. с равными расстояниями между соседними делениями (для приборов с линейной зависимостью угла поворота подвижной части от значения измеряемой величины);
- **неравномерные**, т. е. с разными расстояниями между отметками различных участков шкалы (для приборов с нелинейной зависимостью угла поворота от значения измеряемых величин).

Указательные стрелки шкальных отсчетных устройств имеют копье-, ноже- или нитевидную форму. Точность отсчета зависит от расстояния между шкалой и стрелкой, так как при больших расстояниях в зависимости от точки наблюдения получают разные отсчеты измеряемой величины—погрешности от параллакса (отклонения). Для уменьшения этого эффекта применяют ступенчатые и зеркальные шкалы.

Успокоители служат для уменьшения времени колебаний подвижной части и указателя перед остановкой. Обычно используют успокоители воздушного, магнитоиндукционного и жидкостного типов.

Применяют два вида воздушных успокоителей: крыльчатые и поршневые. На оси 1 подвижной части прибора крепят алюминиевое крылышко 2 (или поршень), которое перемещается в закрытом пространстве (камере), замедляясь из-за сопротивления воздуха.

Корректор служит для установки перед измерением стрелки отсчетного устройства на нуль.

Арретир — это устройство для закрепления и устранения колебаний подвижной части при переносках. Обычно его применяют в приборах с креплением подвижной части на растяжках или подвесе.

Корпус прибора предназначен для защиты измерительного механизма от механических воздействий, пыли и влаги. Корпус бывает пластмассовым или металлическим, имеет прямоугольную, цилиндрическую или овальную форму.

Вращающий, противодействующий и устанавливающий моменты

Измеряемая величина преобразуется в измерительном механизме прибора в механическую силу, создающую *вращающий момент* $M_{вр}$ и перемещающую подвижную часть прибора вокруг своей оси. Вращающий момент зависит от измеряемой величины $M_{вр} = f(X)$. Указанной зависимости недостаточно для получения значения измеряемой величины, так как при любом значении $M_{вр}$ подвижная часть будет поворачиваться до упора. Чтобы осуществить измерение, необходимо в измерительном механизме создать *противодействующий момент* $M_{пр}$, пропорциональный углу поворота а подвижной части прибора и удельному противодействующему моменту D упругого элемента измерительного механизма:

$$M_{пр} = Da.$$

Создание противодействующего момента осуществляется механическим (с помощью спиральных пружин, растяжек или подвесов) или электрическим способом (за счет энергии электромагнитного поля, воздействующего на противодействующую рамку или катушку с током).

Равновесие подвижной части прибора наступает при равенстве моментов $M_{вр} = M_{пр}$, или $f(X) = Da$, откуда $a == f(X)/D$.

Угол поворота a зависит от измеряемой величины и параметров противодействующего элемента.

При одном и том же значении D у приборов с большим значением $M_{уст}$ подвижная часть быстрее и надежнее устанавливается в равновесие.

Занятие 7. Основные технические характеристики приборов

Средства измерений обладают общими свойствами, определяющими их пригодность выполнять измерения с различной степенью точности. Эти свойства описываются техническими характеристиками, к которым относятся чувствительность и постоянная прибора, время успокоения, собственное потребление мощности, перегрузочная способность, прочность изоляции.

Метрологические показатели средств измерения

При выборе ЭИП необходимо учитывать их метрологические показатели. К ним относятся:

1. *Диапазон показаний* – область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.
2. *Цена деления шкалы* есть разность значений величины, которая соответствует двум соседним отметкам шкалы. Определение цены деления, например, вольтметра и амперметра производят следующим образом:

$C_U = U_H/N$ - число вольт, приходящееся на одно деление шкалы;

$C_I = I_H/N$ - число ампер, приходящееся на одно деление шкалы;

N - число делений шкалы соответствующего прибора.

3. *Чувствительность прибора* – отношение измерения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины на входе. Для вольтметра это значение определяют как число делений шкалы, приходящееся на 1 В, а для амперметра - число делений шкалы, приходящееся на 1 А.

В общем случае, чувствительность определяется как величина обратная цене деления шкалы. Для вольтметра S_U и амперметра S_I , определяют следующим образом:

$S_U = N/U_H$ - число делений шкалы, приходящееся на 1 В;

$S_I = N/I_H$ - число делений шкалы, приходящееся на 1 А.

4. *Время успокоения* прибора характеризует инертность его подвижной части. Время колебательного процесса должно быть минимальным. Время успокоения определяется с момента изменения измеряемой величины до момента, когда амплитуда колебаний указателя будет менее 1% длины шкалы, и не должно превышать 4 с.

- При измерениях часть энергии, потребляемой прибором, расходуется на нагрев его измерительной схемы, вихревые токи и т. д. В маломощных цепях это может заметно влиять на результат измерения. *Потребляемая*

мощность зависит от системы, конструкции прибора и должна быть по возможности минимальной. Мощность потерь для различных приборов составляет от сотых долей до десятков ватт.

Приборы характеризуют также *перегрузочной способностью*. Токоведущие части измерительных приборов рассчитаны на длительную работу при номинальных значениях токов. Эксплуатация приборов при перегрузках неблагоприятно влияет на точность, срок службы и надежность приборов, поэтому время работы с перегрузками ограничивают. Щитовые и переносные приборы должны выдерживать нагрузку током или напряжением, равными 120% номинальных, в течение 2 ч.

Приборы должны обладать заданной чувствительностью, точностью и минимальным временем успокоения; иметь допускаемые основную и дополнительные погрешности, по возможности равномерную шкалу; потреблять минимальную мощность, выдерживать нормированные перегрузки и нагрев, иметь простую конструкцию и невысокую стоимость.

Маркировка приборов. Чтобы получить представление об особенностях прибора, не изучая техническое описание и паспорт, на шкалу и частично на лицевую панель прибора наносят маркировку.

Занятие 8. 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 недостаточно однородное качество железа сердечников понижает точность приборов, отградуированных 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 постоянного и переменного тока. Большая	Большая чувствительность к перегрузкам (у приборов с фотокомпенсационным усилителем чувствительность к перегрузкам значительно снижена)	Измерение силы тока в цепях переменного тока промышленной и высокой частоты

Система	Достоинства	Недостатки	Область применения
	чувствительность. Малое потребление электроэнергии		
Электростатическая	Малое потребление электроэнергии. Независимы от частоты, температуры и внешних магнитных полей. Возможность непосредственно 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 15A автоматической защиты. Меры безопасности: при работе с напряжением более 30V 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 $0,001\text{V}$ до 500V + и -; переменного тока от $0,01$ до 500V сложной формы частотой 8Гц - 30кГц с коэффициентом гармоник $K_g < 50\%$; измерение среднеквадратичного значения напряжения переменного тока сигналов 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 200V без учета пауз на фиксированных частотах $25, 50, 75, 175\text{Гц}$; б) $0,01$ до 150V с учетом пауз на частотах в диапазоне 175Гц - 5555Гц ; - измерение сопротивления постоянному току от $0,1\text{Ом}$ до 2МОм ; - измерение силы постоянного тока, «+» и «-» полярностей от $0,001$ до 20A ; - измерение среднеквадратичного значения силы ~ тока сложной формы от $0,01$ до 2A в диапазоне частот 20Гц - 10кГц с $K_g < 50\%$ и от 2 до 20A 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 КЕУЮЗ.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 сопротивление 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 ZB (волновому сопротивлению). $Rб$ (Ом.км) определяется из формулы $Rб = ZB Z$ где ZB - волновое сопротивление р.ц., Z - километрическое сопротивление рельсов. Для измерения используется высокоомный генератор, $RBHT$ 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 $ZB ZB 2$

6.3. Измерение. Лист 3. Паспорт.

6.4. Электропитание ЛЗ-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 TP 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 PT . 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 по напряжению, 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 ± 10	250 ± 25	500 ± 50	1000 ± 100	2500 ± 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, РШ, 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 брани 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 $>\pm 10\%$ 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 $U=240V$



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 СОППР-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 остряка 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 свободности 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 методы 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.

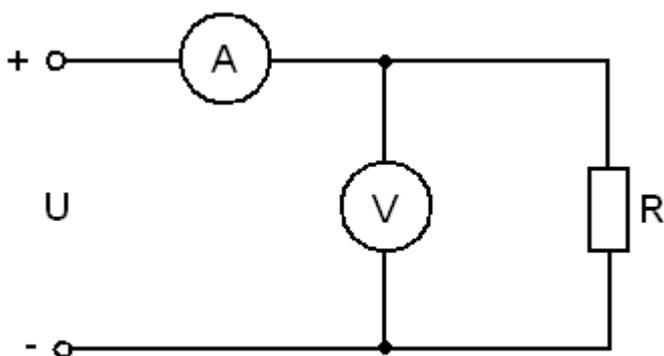


Рис.1. Схема включения амперметра и вольтметра в цепь постоянного тока.

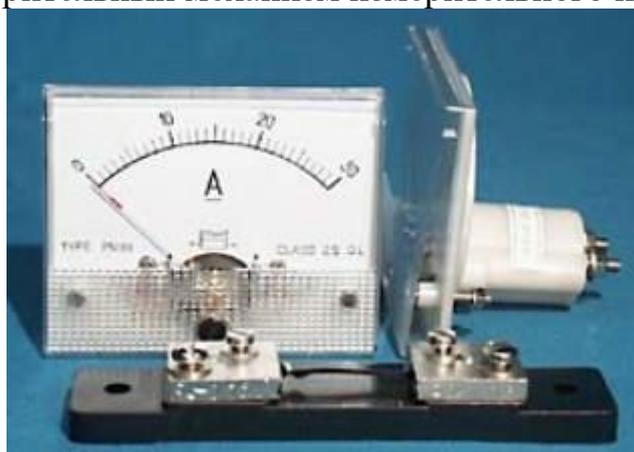
Занятие 10. Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров.

§1. Измерительные шунты

Шунты предназначены для *расширения пределов измерения по току* измерительного механизма магнитоэлектрической системы. Через ИМ магнитоэлектрического прибора можно пропустить длительно ток не более нескольких десятков миллиампер.

Измерительный шунт представляет собой четырехзажимный резистор. Два входных зажима шунта, к которым подводится ток I , называются токовыми, а два выходных зажима, с которых снимается напряжение U , называются потенциальными.

К потенциальным зажимам шунта обычно присоединяют измерительный механизм измерительного прибора.



Измерительный шунт характеризуется номинальным значением входного тока $I_{ном}$ и номинальным значением выходного напряжения $U_{ном}$. Их отношение определяет номинальное сопротивление шунта:

$$R_{ш} = U_{ном} / I_{ном}$$

Шунты применяются для расширения пределов измерения измерительных механизмов по току, при этом большую часть измеряемого тока пропускают через шунт, а меньшую — через измерительный механизм. Шунты имеют небольшое сопротивление и применяются, главным образом, в цепях постоянного тока с магнитоэлектрическими измерительными механизмами.

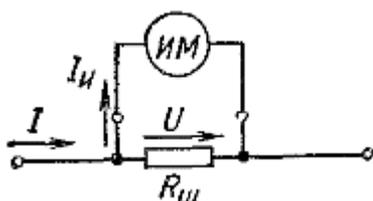


Рис. 1. Схема соединения измерительного механизма с шунтом

На рис. 1 приведена схема включения магнитоэлектрического механизма измерительного прибора с шунтом $R_{ш}$. Ток I_i протекающий через измерительный механизм, связан с измеряемым током I зависимостью

$$I_i = I (R_{ш} / R_{ш} + R_i),$$

где R_i — сопротивление измерительного механизма.

Если необходимо, чтобы ток I_i был в n раз меньше тока I , то сопротивление шунта должно быть:

$$R_{ш} = R_i / (n - 1),$$

где $n = I / I_i$ — коэффициент шунтирования.

Шунты изготавливают из манганина. Если шунт рассчитан на небольшой ток (до 30 А), то его обычно встраивают в корпус прибора (внутренние шунты). Для измерения больших токов используют приборы с наружными шунтами. В этом случае мощность, рассеиваемая в шунте, не нагревает прибор.

На рис. 2 показан наружный шунт на 2000 А. Он имеет массивные наконечники из меди, которые служат для отвода тепла от манганиновых пластин, впаянных между ними. Зажимы шунта А и Б — токовые.

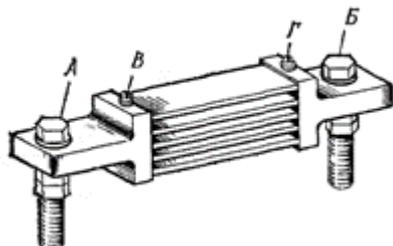


Рис 2 Наружный шунт

Измерительный механизм присоединяют к потенциальным зажимам В и Г, между которыми и заключено сопротивление шунта. При таком включении измерительного механизма устраняются погрешности от контактных сопротивлений.

Наружные шунты обычно выполняются калиброванными, т. е. рассчитываются на определенные токи и падения напряжения. Калиброванные шунты должны иметь номинальное падение напряжения 10, 15, 30, 50, 60, 75, 100, 150 и 300 мВ.



Для переносных магнитоэлектрических приборов на токи до 30 А внутренние шунты изготавливают на несколько пределов измерения.

На рис. 3, а, б показаны схемы многопредельных шунтов. Многопредельный шунт состоит из нескольких резисторов, которые можно переключать в зависимости от предела измерения рычажным переключателем (рис. 3, а) или путем переноса провода с одного зажима на другой (рис. 3, б).

При работе шунтов с измерительными приборами на переменном токе возникает дополнительная погрешность от изменения частоты, так как сопротивления шунта и измерительного механизма по-разному зависят от частоты.

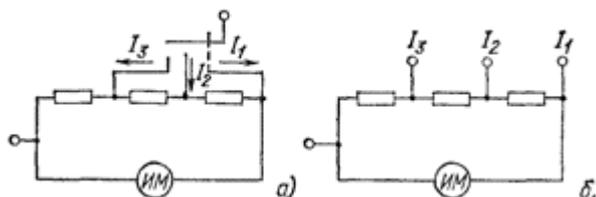


Рис.3. Схемы многопредельных измерительных шунтов: а — шунта с рычажным переключателем, б — шунта с отдельными выводами

Шунты разделяются на классы точности 0,02; 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5. Число, определяющее класс точности, обозначает допустимое отклонение сопротивления шунта в процентах его номинального значения.



§2. Добавочные резисторы

Добавочные резисторы служат для *расширения пределов измерения по напряжению* вольтметров различных систем и других приборов, имеющих параллельные цепи, подключаемые к источнику напряжения. Сюда относятся, например, ваттметры, счетчики энергии, фазометры и т. д.

Добавочный резистор включают последовательно с измерительным механизмом (рис. 4). Ток $I_{и}$ в цепи, состоящий из измерительного механизма с сопротивлением $R_{и}$ и добавочного резистора с сопротивлением $R_{д}$, составит:

$$I_{и} = U / (R_{и} + R_{д}),$$

где U — измеряемое напряжение.

Если вольтметр имеет предел измерения $U_{ном}$ и сопротивление измерительного механизма $R_{и}$ и при помощи добавочного резистора $R_{д}$ надо расширить предел измерения в n раз, то, учитывая постоянство тока $I_{и}$, протекающего через измерительный механизм вольтметра, можно записать:

$$U_{ном} / R_{и} = n U_{ном} / (R_{и} + R_{д})$$

откуда

$$R_D = R_{и} (n - 1)$$

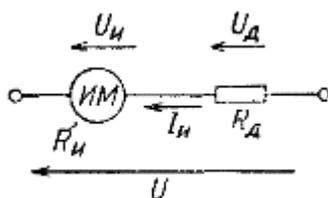


Рис 4. Схема соединения измерительного механизма с добавочным резистором

Добавочные резисторы изготавливаются обычно из изолированной манганиновой проволоки, намотанной на пластины или каркасы из изоляционного материала. Они применяются в цепях постоянного и переменного тока.

Добавочные резисторы, предназначенные для работы на переменном токе, имеют бифилярную обмотку для получения безреактивного сопротивления.

При применении добавочных резисторов не только расширяются пределы измерения вольтметров, но и уменьшается их температурная погрешность.



В переносных приборах добавочные резисторы изготавливаются секционными на несколько пределов измерения (рис. 5).

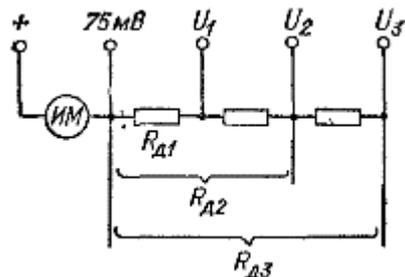


Рис. 5. Схема многопредельного вольтметра

Добавочные резисторы бывают внутренние и наружные. Последние выполняются в виде отдельных блоков и подразделяются на индивидуальные и калиброванные. Индивидуальный резистор применяется только с тем прибором, который с ним градуировался. Калиброванный резистор может применяться с любым прибором, номинальный ток которого равен номинальному току добавочного резистора.



Калиброванные добавочные резисторы делятся на классы точности 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1,0. Они выполняются на номинальные токи от 0,5 до 30 мА.

Добавочные резисторы применяются для преобразования напряжений до 30 кВ.

Занятие 11. Конструкция приборов непосредственной оценки.

§1. Приборы магнитоэлектрической системы

Принцип действия. Подвижная часть в приборах магнитоэлектрической системы перемещается в результате взаимодействия поля постоянного магнита с магнитным полем проводника с током. Подвижную часть чаще выполняют в виде рамки, размещаемой в воздушном зазоре постоянного магнита (рис. 1,а), реже — в виде небольшого постоянного магнита (рис. 1,б)

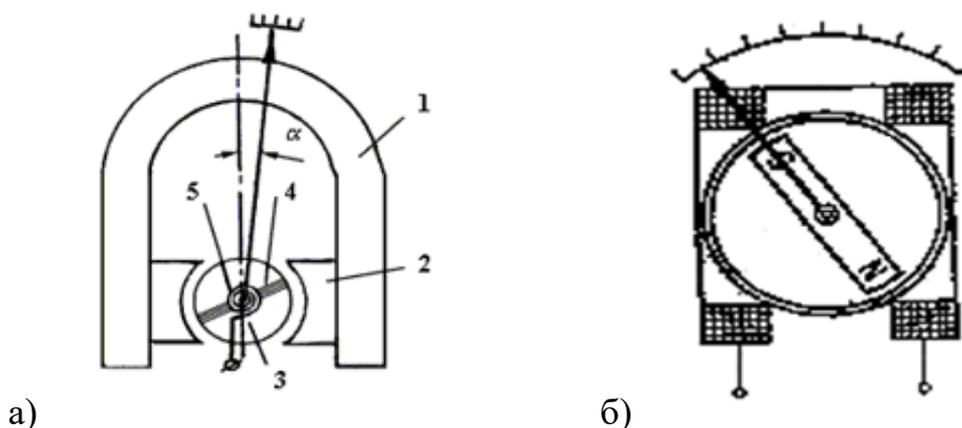


Рис.1. Устройство магнитоэлектрической системы.

При протекании постоянного тока по обмотке рамки возникает магнитное поле, которое взаимодействует с полем постоянного магнита. В результате создается вращающий момент $M_{вр}$. На рамку действуют силы F , направление которых определяют по правилу левой руки. Под действием этих сил рамка поворачивается на определенный угол α . Сила $F = B \cdot I \cdot l \cdot n$, где B — магнитная индукция в зазоре; I — сила тока, протекающего по рамке; l — длина стороны рамки; n — число витков обмотки рамки.

Вращающий момент $M_{вр} = F \cdot b$, где b — ширина рамки.

При повороте рамки на угол α возникает противодействующий момент $M_{пр} = D \cdot \alpha$. В установившемся режиме $M_{вр} = M_{пр}$, поэтому угол поворота рамки

$\alpha = I \cdot B \cdot s \cdot n / D = I \cdot S_I$, где $S_I = B \cdot s \cdot n / D$ — чувствительность прибора по току.

Устройство. Измерительный механизм (см. рис. 1, а) состоит из постоянного магнита 1, изготовленного из высококачественной стали, магнитопроводов 4, б с полюсными наконечниками 2, между которыми строго по центру установлен неподвижный цилиндрический сердечник 3. В воздушном зазоре между цилиндром и полюсными наконечниками создается радиальное магнитное поле с постоянной магнитной индукцией В.

Достоинства и недостатки. Общими достоинствами приборов магнитоэлектрической системы являются: высокая чувствительность (например ток полного отклонения равен 0,01 мкА), высокая точность (класс точности 0,05; 0,1), малая потребляемая мощность (до десятых долей ватта), незначительное влияние внешних магнитных полей из-за наличия сильного собственного магнитного поля.

К недостаткам приборов с подвижной рамкой относят: сложность, высокую стоимость конструкции, низкую перегрузочную способность в результате изменения свойств или перегорания спиральных противодействующих пружин, приборов с подвижным магнитом — большую массу и инерционность подвижной части, низкую чувствительность;

Область применения. Приборы применяют в качестве вольтметров, милливольтметров, амперметров, миллиамперметров, микроамперметров и малогабаритных индикаторов.

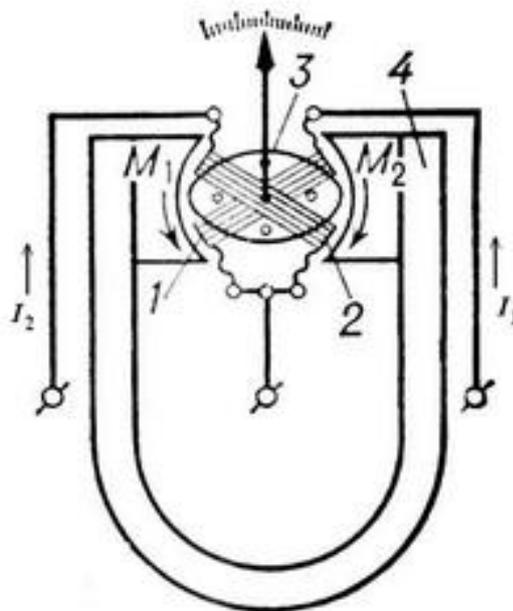
Логометры магнитоэлектрической системы

Логометры — это приборы для измерения отношения двух электрических величин.

Принцип действия логометров магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии полей постоянного магнита и полей двух жестко связанных между собой рамок с током, которые могут вращаться в поле постоянного магнита (рис. 2).

Логометр состоит из рамок 1 и 2, расположенных под углом 30—90 на сердечнике 3, имеющем эллиптическую форму для создания неравномерного магнитного поля. Сердечник с рамками закрепляют между полюсами постоянного магнита 4. Токи к рамкам подводят с помощью тонких металлических ленточек, тактически не создающих противодействующих моментов.

Рис.2. Устройство логометра



По обмоткам рамок протекают токи I_1 и I_2 , направление которых выбирают так, чтобы возникающие вращающие моменты $M_{вр1}$ и $M_{вр2}$ были направлены навстречу друг другу. В логометрах нет устройства, создающего противодействующий момент, поэтому подвижная система будет поворачиваться в ту сторону, в которую направлен больший по значению вращающий момент. Равновесие подвижной части наступает при $M_{вр1} = M_{вр2}$. Угол поворота a зависит от отношения токов I_1 и I_2 , т. е. $a = f(I_1 / I_2)$, и каждому отношению токов соответствует свое положение равновесия.

Логометры магнитоэлектрической системы используют для измерения отношения двух токов или в качестве составной части приборов для измерения других величин, например сопротивлений в логометрическом мегаомметре.

§2. Приборы электромагнитной системы

Принцип действия. В приборах электромагнитной системы перемещение подвижной части измерительного механизма происходит в результате взаимодействия магнитных полей неподвижной катушки и подвижного ферромагнитного сердечника из магнитомягкого материала (см. рис. 3). При протекании тока по катушке возникает магнитное поле, сердечник намагничивается и втягивается в щель каркаса катушки, поворачивая ось со стрелкой.

Сила F , действующая на сердечник, пропорциональна магнитной индукции в щели катушки B_1 и в сердечнике B_2 :

$$F = k \cdot B_1 \cdot B_2,$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Сила F создает вращающий момент, который также пропорционален квадрату тока, $M_{вр} = \kappa_4 * I^2$.

При измерении переменного тока или напряжения сердечник одновременно с изменением магнитного поля рабочей катушки перемагничивается. Направление вращающего момента не изменяется, что позволяет измерять переменные токи и напряжения без дополнительных преобразователей. Противодействующий момент создается спиральной пружиной. Равновесие подвижной части наступает при равенстве моментов $M_{вр} = M_{пр}$, или $\kappa_4 * I^2 = D * a$, откуда $a = (\kappa_4 / I^2)$. Коэффициент κ_5 зависит от конструкции особенностей измерительного механизма.

Устройство. Прибор (см. рис. 3) состоит из неподвижной плоской катушки 5 и подвижного сердечника 10 скрепленного на оси. Дополнительно с осью соединены спиральная противодействующая пружина 3 и успокоитель 7. С помощью поводка корректора устанавливают стрелку 4 на нуль шкалы 6.

Измерительные механизмы с круглой катушкой (рис. 4). Такой механизм состоит из неподвижной катушки 9, помещенной в экран 8, внутри которой неподвижно укреплена пластинка II из мягкого ферромагнитного материала. Вторая подобная пластинка 12 жестко скреплена с осью 13 и размещена над пластинкой 11, не касаясь ее. Ось упирается в подпятники 1 и 10. На оси укреплены указательная стрелка 5 и алюминиевый лепесток 4 магнитоиндукционного успокоителя, расположенный над полюсами постоянного магнита 6. С осью жестко скреплена противодействующая пружина 3, противоположный конец которой припаян к рычажку корректора 2.

При протекании тока по катушке 9 пластинки 11 и 12 намагничиваются одинаковой полярностью и, отталкиваясь, создают вращающий момент. Противодействующий момент обеспечивается спиральной пружиной 3. При равенстве моментов стрелка указывает на шкале 7 значение измеряемой величины. Балансные грузики 14 служат для уравнивания подвижной части измерительного механизма.

Для устранения воздействия на приборы внешних магнитных полей их помещают в металлический корпус. В лабораторных приборах с этой же целью применяют астатический измерительный механизм.

Достоинства и недостатки. Приборы пригодны для измерения в цепях постоянного и переменного тока, устойчивы к кратковременным перегрузкам, просты по конструкции и относительно дешевы.

Недостатками являются неравномерность шкалы, восприимчивость к внешним магнитным полям, относительно низкая чувствительность, невысокая точность показаний и большое собственное потребление энергии.

Область применения. Щитовые приборы широко используют для измерения токов и напряжений на подвижных и стационарных объектах. Переносные и лабораторные приборы этой системы используют реже. Переносные используют для измерения токов и напряжений в устройствах

автоматики, телемеханики, связи и энергетики, лабораторные — для измерения параметров реле автоблокировки и других устройств в КИПах.

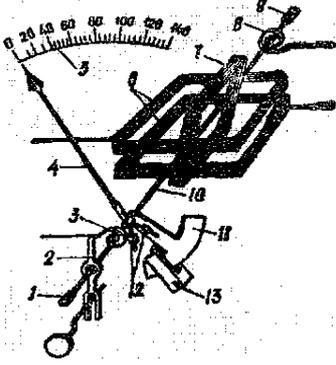


Рис.3

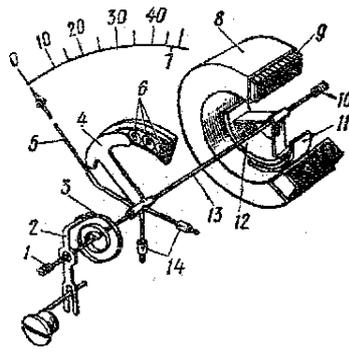


Рис 4.

Механизмы электромагнитной системы рис. 3. с плоской, рис. 4 с круглой катушкой.

§3. Приборы электродинамической системы.

Приборы электродинамической системы основаны на принципе механического взаимодействия проводников, по которым протекает ток.

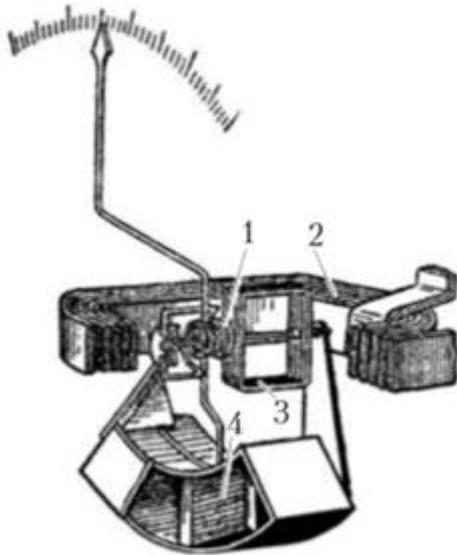


Рис. 5

Устройство прибора поясняется рис. 5. Катушка 2 неподвижна, катушка 3 помещается на оси и может поворачиваться вместе с закрепленной на ней стрелкой. Ток к подвижной катушке подводится с помощью пружинок 1, которые одновременно служат для создания противодействующего момента. Успокоение подвижной системы осуществляется воздушным демпфером 4.

Амперметры и вольтметры электродинамической системы имеют квадратичную шкалу.

Широко распространены электродинамические ваттметры — приборы для измерения электрической мощности в цепях постоянного и переменного токов. Электродинамические ваттметры имеют равномерную шкалу.

Основное достоинство приборов электродинамической системы — большая точность измерений в цепях переменного тока. К недостаткам этих приборов следует отнести значительное собственное потребление энергии и подверженность воздействию внешних магнитных полей.

Разновидностью приборов электродинамической системы являются ферродинамические приборы, у которых для повышения величины вращающего момента магнитный поток неподвижной катушки создается в специальном магнитопроводе.

Конструкция ферродинамического прибора напоминает конструкцию прибора магнитоэлектрической системы, у которого постоянный магнит заменен электромагнитом. Для уменьшения потерь на вихревые токи магнитопровод ферродинамического прибора изготавливают из тонких листов электротехнической стали или прессуют из ферромагнитного порошка с электроизоляционным наполнителем.

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

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

§4. Приборы ферродинамической системы

Принцип действия. У приборов ферродинамической и электродинамической систем одинаковый принцип действия. Особенности являются усиление магнитной индукции за счет дополнительного магнитопровода и, как следствие, значительное увеличение вращающего момента и повышение чувствительности приборов.

Устройство. Соединенные между собой неподвижные катушки 2 (рис.6) заключены в магнитопровод 3, набранный из листов электротехнической стали. Внутри неподвижных катушек закреплен неподвижный ферромагнитный цилиндр 4. В воздушном зазоре между катушками и цилиндром помещена подвижная катушка 1, укрепленная на полуосях. Она может перемещаться, не касаясь цилиндра и катушек. Прибор имеет детали, общие для всех систем: противодействующие пружины, стрелку, шкалу, магнитоиндукционный успокоитель и корректор.

Схемы включения определяются видами измеряемых величин и аналогичны включению амперметра, вольтметра и ваттметра электродинамической системы.

Достоинства и недостатки. Достоинствами приборов являются незначительное влияние внешних магнитных полей, большой вращающий

момент, прочная конструкция, устойчивость к вибрациям и ударам, а также небольшая потребляемая мощность.

Недостатками являются дополнительные погрешности из-за влияния гистерезиса и вихревых токов, а также зависимость показаний от частоты. Класс точности щитовых приборов невысок.

Область применения. Приборы чаще всего применяют для измерений в цепях переменного тока в качестве ваттметров, частотомеров, фазометров, реже — в качестве вольтметров и амперметров, а также в самопишущих устройствах. Приборы устанавливают на щитах и пультах для контроля электрических цепей, переносные приборы используют для лабораторных и технических измерений.

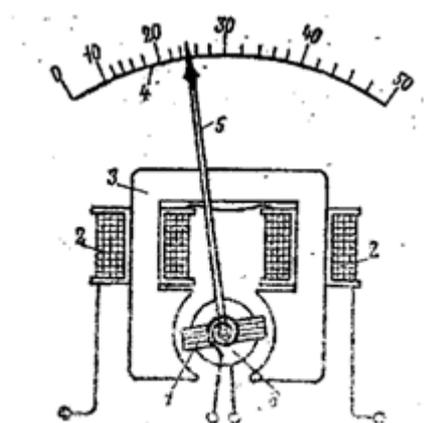


Рис. 6. Устройство прибора ферродинамической системы.

§5. Приборы выпрямительной системы.

Выпрямительные приборы широко применяются для измерения тока в звуковом диапазоне частот. Принцип работы таких приборов основан на использовании выпрямительных свойств полупроводникового диода. Постоянная составляющая выпрямленного диодом тока измеряется прибором магнитоэлектрической системы.

Обычно используются выпрямители двух основных типов: однополупериодные и двухполупериодные. В однополупериодных схемах ток $I_{пр}$ через микроамперметр, включенный последовательно с диодом V_1 , пропускается только один полупериод переменного напряжения $u(t)$. В отрицательный полупериод, для которого сопротивление диода V_1 велико, ток протекает через диод V_2 , включенный параллельно прибору. Диод V_2 защищает диод V_1 от пробоя. Для уравнивания сопротивлений параллельных ветвей последовательно со вторым диодом включен резистор R , сопротивление которого равно сопротивлению цепи измерительного механизма (рис. 7, а). Подвижная часть магнитоэлектрического микроамперметра из-за ее инерционности при частотах выше 20 Гц не

успевают следить за мгновенными значениями вращающего момента, поэтому реагирует на среднее значение момента.

Приборы выпрямительной системы измеряют среднее значение переменного тока, а не среднеквадратическое. Для однополупериодного выпрямителя (рис.7, б):

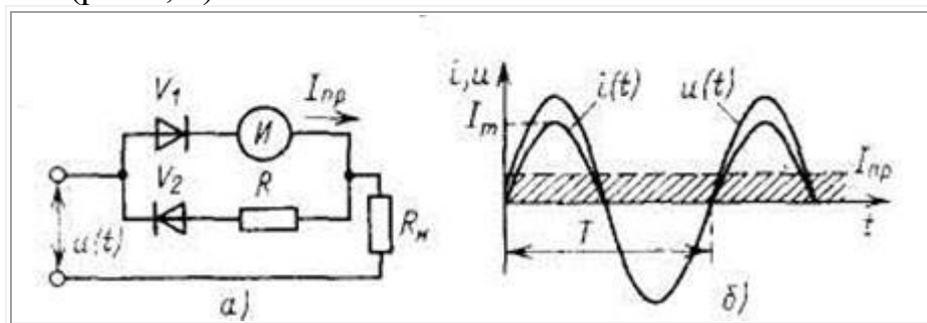


Рис. 7. Однополупериодная схема выпрямительного миллиамперметра (а) и токи, протекающие в нем (б)

Если форма кривой тока несинусоидальная, то $k_{\phi} \neq 1,11$ и показания прибора неверны. Если коэффициент формы несинусоидального тока известен, можно определить новую постоянную прибора и с ее помощью производить правильные измерения этого несинусоидального тока.

В двухполупериодных схемах выпрямителя (рис. 8 а) ток I_{np} , протекающий через микроамперметр, увеличивается вдвое по сравнению с током, протекающим в схеме на рис. 7, а. В положительный полупериод ток проходит через диод V_1 , микроамперметр, диод V_3 , в течение отрицательного полупериода — через диоды V_2 , V_4 и микроамперметр. Таким образом, через микроамперметр ток I_{np} проходит в одном и том же направлении в оба полупериода.

Мостовая цепь с четырьмя диодами требует подбора диодов и специальной температурной компенсации, так как прямое и обратное сопротивление диода зависят от температуры окружающей среды. Практическое применение находят мостовые схемы с двумя диодами и двумя резисторами (рис. 8, б). Эта схема имеет меньшую чувствительность, так как измеритель I зашунтирован резисторами R_1 и R_2 .

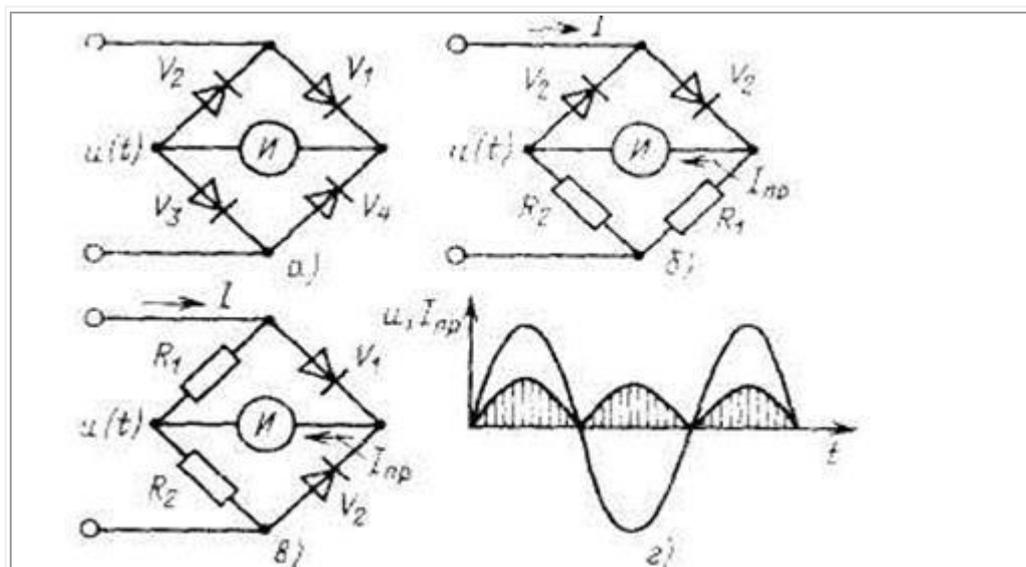


Рис. 8. Двухполупериодные схемы выпрямительных миллиамперметров (а - в) и токи, протекающие в нем (г)

Если поменять местами диагонали моста, то получим схему последовательно моста (рис. 8, в), позволяющую измерять значительные токи, так как сопротивления R_1 и R_2 в этом случае шунтируют измеритель вместе с диодом, а не только измеритель, как в схеме параллельного моста (рис. 8, б).

Выпрямительные приборы для измерения токов широко применяются как ее составные элементы комбинированных приборов: тестеров, авометров, используемых для измерения токов, напряжений, сопротивлений и других электрических величин.

При использовании соответствующего типа диода выпрямительные приборы для измерения токов могут применяться в диапазоне высоких и сверхвысоких частот. Германиевые и кремниевые диоды обеспечивают частотный диапазон измерения токов до 100 МГц.

Основными достоинствами выпрямительных приборов являются высокая чувствительность, малое собственное потребление энергии и возможность измерения в широком диапазоне частот. Недостатком этих приборов является их невысокая точность. Основными источниками погрешностей при этом являются изменение параметров диодов с течением времени, нелинейность шкалы, влияние внешней температуры.

Класс точности выпускаемых выпрямительных приборов 1,5 и 2,5; пределы измерения по току от 2 мА до 600 А, по напряжению от 0,3 до 600 В.

§6. Приборы термоэлектрической системы

Устройство. Приборы состоят из термоэлектрического преобразователя (нагревателя и термопары), соединенного с измерительным механизмом магнитоэлектрической системы.

Термопреобразователи бывают контактные (рис. 9, а), бесконтактное (рис. 9,б) и многоэлементные, содержащие несколько термопар для получения большей термо-э. д. с. (рис. 9, в). В контактном преобразователе нагреватель 1-2 и термопара 3-4 соединяются в точке 5 посредством сварки или пайки. В бесконтактном преобразователе нагреватель и термопара разделены изолятором — стеклом, фарфором, окисью тантала и т. д. Для повышения чувствительности и уменьшения излучения тепла термопреобразователи помещают в стеклянный баллон, в котором создают вакуум.

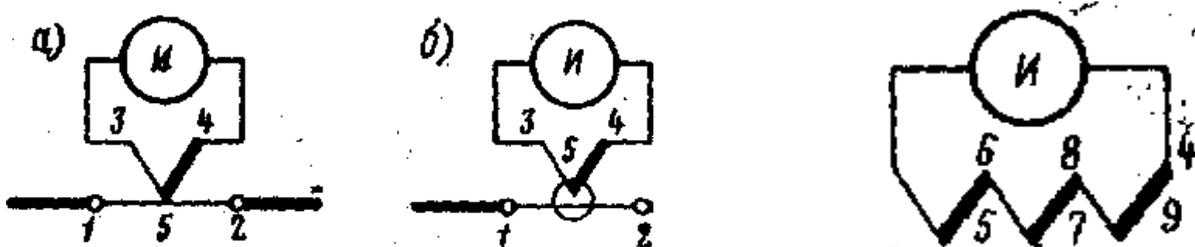


Рис. 9, а) контактные термопреобразователи; б) бесконтактные термопреобразователи; в) многоэлементные термопреобразователи.

Принцип действия. Измеряемой электрический ток, проходя по нагревателю, подогревает место соединения термопары, на концах которой создается э. д. с., зависящая от разности температур места соединения термопары и ее свободных концов. Под действием э. д. с. E в цепи измерителя протекает постоянный ток

$$I_u = E/R,$$

где R — общее сопротивление цепи термопары и измерителя.

Э. д. с. E пропорциональна тепловой мощности, выделяемой током в нагревателе, т. е. $E = k \cdot R_H \cdot I_H^2$, отсюда $I_H = k \cdot R_H \cdot I_H^2 / R = k_T \cdot I^2 \cdot S$.

Достоинства и недостатки. Контактные термопреобразователи обладают высокой чувствительностью, но развивают небольшую термо-э. д. с., зависящую от направления тока. Бесконтактные преобразователи не имеют указанных недостатков, но их чувствительность ниже, чем у контактных, а тепловая инерция довольно велика и составляет 4—5 с.

Недостатки — малая перегрузочная способность, малый срок службы термопар, зависимость показаний от температуры окружающей среды и невысокая точность (не выше 1,0).

Область применения. Приборы применяют в основном для измерения высокочастотных токов в контурах и антеннах, в цепях высокой и звуковой частот. В качестве вольтметров приборы применяют реже из-за трудностей изготовления безреактивных добавочных сопротивлений. Приборы используют для измерений в цепях переменного и постоянного токов. Термоэлектрические амперметры используют в установках для высокочастотной закалки и плавки металлов.

§7. Приборы электростатической системы

Принцип действия. Перемещение подвижной части приборов этой системы происходит в результате взаимодействия электрически заряженных пластин (проводников), разделенных диэлектриками. При перемещении подвижной части изменяется емкость между пластинами вследствие изменения их площади или расстояния между ними.

В приборах с изменяющейся площадью пластин при включении в измеряемую цепь неподвижные пластины заряжаются одноименными зарядами, а подвижная — зарядом противоположного знака. Под действием сил электрического поля подвижная пластина притягивается к неподвижным, поворачивается на оси и входит в зазор между ними, перемещая стрелку вдоль шкалы. $M_{вп} = k_2 * F = k_1 k_2 U^2 = k_3 U^2$.

При равновесии $M_{вп} = M_{пр}$, или $k_3 * U^2 = D * a$.

Шкала прибора квадратична.

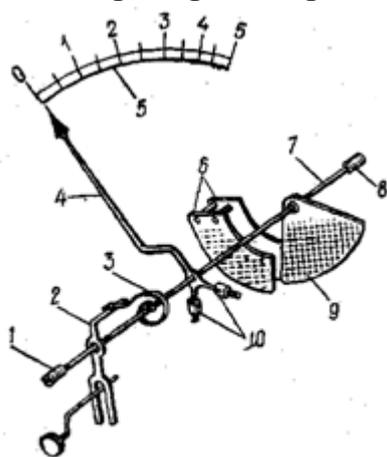


Рис. 10. устройство прибора электростатической системы.

Устройство. Неподвижная часть (рис.10) состоит из системы параллельных неподвижных пластин 1. Подвижная часть — секторообразная алюминиевая пластина 4 и стрелка 2 — укреплены а оси 3. Остальные детали — подпятники, противодействующая пружина, балансные грузики, корректор, шкала, воздушный или магнитоиндукционный успокоитель — подобны деталям приборов других систем.

Приборы пригодны только для измерения напряжения (постоянного и переменного). Включаются в измеряемую цепь по схеме включения вольтметра (см. рис. 1).

Достоинства и недостатки. Приборы практически нечувствительны к внешним магнитным полям, к изменениям частоты измеряемых токов и температуры окружающей среды, имеют ничтожную потребляемую мощность, пригодны для измерений в цепях переменного и постоянного токов. К недостаткам относят нелинейность шкалы, зависимость показаний от внешних электрических полей и низкую чувствительность.

Область применения. Электростатические приборы применяют в основном для лабораторных измерений в высоковольтных маломощных цепях устройств проводной и радиосвязи.

Занятие 12. Авометры.

Ампервольтметры (авометры) получили наибольшее распространение среди переносных приборов. Они являются комбинированными приборами, предназначенными для измерений постоянных и переменных токов к напряжений, а также электрических сопротивлений в широких пределах. Наиболее совершенные приборы позволяют дополнительно измерять емкости, импульсные токи и уровни передачи.

Схемы авометров представляют собой сочетание в различных комбинациях многопредельных амперметров, вольтметров и омметров. Отсчет всех видов измеряемых величин производится по разным шкалам общего стрелочного магнитоэлектрического измерителя (микроамперметра) с током полного отклонения 50—200 мкА. Для повышения чувствительности в некоторых приборах применяют усилители постоянного тока.

Предельные значения измеряемых токов для большинства авометров составляют от нескольких единиц миллиампер до 10 А, напряжений — от 10 мВ до 1000 В, сопротивлений — от нескольких ом до 10 МОм.

Некоторые современные устройства дополнительно предлагают еще и такие функции, как прозвонка, тестирование диодов, измерение частоты, температуры и др.

Рассмотрим устройство авометров (мультиметров) на примере мультиметра типа М-838.



Общие положения

Серия карманных 3 1/2 – разрядных мультиметров для контроля постоянного и переменного напряжения, постоянного тока, сопротивления и проверки диодов. некоторые из них позволяют проверять температуру и h_{21E} транзисторов, снабжены звуковым пробником (прозвонкой) и генератором звукового сигнала. есть защита от перегрузок на всех пределах и индикатор разряда батареи идеальны для использования в лаборатории, мастерских, хобби и домашнем хозяйстве.

описание передней панели

1. Переключатель режимов и пределов

Переключателем выбирают род работы и желаемый предел, а также включают мультиметр для продления срока службы батареи переключатель должен быть в положении «off», когда мультиметром не пользуются

2. дисплей

3 1/2 – разрядный, 7 – сегментный жидкокристаллический индикатор с высотой знака 1/2дюйма (12,7)

3. Гнездо «общий»

гнездо для черного (отрицательного) щупа.

3. Гнездо «V, A»

4. Гнездо для красного (положительного), для напряжения, сопротивления, и тока (исключение 10A)

5. Гнездо «10A»

Гнездо для красного(положительного) щупа для тока до 10A.

Технические характеристики

Точность гарантирована в течение 1 года, при 23±5 С и относительной влажности менее 75%

Постоянное напряжение

предел	разрешение	точность
200мВ	100мкВ	0.25% 2ед.счета
2000мВ	1мВ	0.5% 2 ед. счета
20В	10мВ	0.5% 2 ед.счета
200В	100мВ	0.5% 2 ед. счета
1000В	1мВ	0.5% 2 ед.счета

защита от перегрузок 200В эфф. на пределе 200мВ и 1000в пост или 750В эфф. пер. на остальных пределах.

Переменное напряжение

предел	разрешение	точность
200В	100В	1.2% 10 ед. счета
750В	1В	1.2% 10 ед. счета

защита от перегрузок : 1000 В пост. или 750 В эфф. на всех пределах в эфф. значениях син сигнала 45 Гц- 450 Гц

Постоянный ток

предел	разрешение	точность
200 мКа	100нА	1% 2ед. счета (м830В)
2 мА	1мкА	1% 2 ед. счета
20ма	10мКа	1% 2 ед. счета
200мА	100 мКа	1% 2 ед. счета
10А	10мКа	1.2% 2 ед. счета

защита от перегрузок 200 ма, 250 В – плавкий предохранитель, предел 10А – без предохранителя.

падение напряжения 200 мВ

Сопротивление

предел	разрешение	точность
200 ом	100 мом	0.8% 2 ед.счета
2000ом	1Ом	0.8% 2 ед.счета
20 Ком	10Ом	0.8 %2 ед. счета
200кОм	100 Ом	0.8 % 2 ед.счета
2000кОм	1 кОм	1 % 2 ед. счета

максимальное напряжение

на разомкнутых щупах 2,8В

защита от перегрузок 15с максимум 200 В эфф.на всех пределах

Звуковые пробки (прозвонка), кроме М830В

предел	описание	
	встроенный зуммер звучит, если сопротивление менее 1кОм	
защита от перегрузок	15с максимум	200 В эфф
	звучит сигнал.	
температура (термопара типа «К»), только М837, М838		
предел	разрешение	точность
от -20 с	1 С	3 % 2 ед. счета (до 150)
до 1370 с		3 % (выше 150)
защита от перегрузок: 220 в эфф. пер. тока		

РУКОВОДСТВО ПО РАБОТЕ С МУЛЬТИМЕТРОМ

ВНИМАНИЕ!

1. Во избежание поражения электрическим током и \ или порчи мультиметра, не проверяйте напряжения, которые могут превысить 500В относительно земли.
2. Перед применением мультиметра проверьте провода, соединители и щупы на отсутствие в них трещин, разрывов или растрескиваний изоляции.

Контроль постоянного напряжения

1. Вставьте красный щуп в гнездо, черный щуп – в гнездо «СОМ»
2. Установите переключатель пределов на желаемый предел постоянного напряжения. Если проверяемое напряжение не известно заранее, поставьте переключатель на наибольший предел и понижайте его до получения удовлетворительного отсчета.
3. Присоедините щупы к проверяемому устройству или схеме
4. Включите питание устройства или проверяемой схемы – значения напряжения появятся на цифровом дисплее вместе с полярностью.

Контроль переменного напряжения

1. Красный щуп в гнезде «V,А», черный - в гнездо «СОМ»
2. Переключатель пределов на нужный предел переменного напряжения
3. Подключить щупы к проверяемому устройству или схеме
4. Считать напряжение на цифровом дисплее.

Контроль постоянного тока

1. Красный щуп в гнездо «V,А», черный – в гнездо «СОМ».
(для измерений от 200 мА до 10А вставьте красный щуп в гнездо).
2. Переключатель пределов на нужный предел постоянного тока.
3. Разорвите проверяемую цепь, и включите щупы ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО.
3. Считайте значение тока на цифровом дисплее.

Проверка сопротивления

1. Красный щуп – в гнездо «V,A», черный – в «COM».
2. Переключатель пределов на желаемый предел Ом.
3. Если проверяемое сопротивление включено в схему, отключите питание и разрядите все емкости перед проверкой.
4. Присоедините щупы к проверяемой схеме.
5. Считайте значение сопротивления на цифровом дисплее.

Проверка диодов

1. Красный щуп - в гнездо «V,A», черный - в «COM».
2. Переключатель пределов в положение
3. Соединить красный щуп с анодом, а черный - с катодом проверяемого диода.
4. На дисплее будет прямое падение напряжения в мЕ. если диод включен наоборот, то будет выведена цифра «1».

Контроль h_{21E} транзисторов (кроме м 833, м 837)

1. Переключатель пределов в предел h_{21E}
2. Определить тип транзистора: ‘NPN’ или ‘PNP’ и найти выводы эмиттера, базы и коллектора. вставить выводы в соответствующие отверстия панельки на перенесенной панели
3. На дисплее будет значение при токе базы 10 мкА а напряжении V_{CE} 2,8В.

Контроль температуры (M837, M838)

1. Переключатель пределов на пределе TEMP и температура корпуса прибора появится на дисплее со знаком С
2. Подключите термопару типа К к гнездам “V.A» и «COM»
3. Коснитесь проверяемого объекта термопарой
4. Считайте температуру в С на дисплее

Звуковые пробки (прозвонка), кроме M830B

1. Красный щуп – в “V,A», черный - в «COM»
2. Переключатель пределов в положение
3. Подключить щупы к двум точкам проверяемой схемы. если сопротивление ниже 1 кОм, звучит зуммер.

Использование встроенного генератора меандр 50 гц – M832, M837; син 1000 гц M833

1. Переключатель пределов в положение
2. Тестовый сигнал (50гц или 1000 гц , в зависимости от модели мультиметора) появится между гнездами . выходное напряжение будет примерно 5 В с постоянной составляющей, поэтому может понадобится разделительный конденсатор

Замена батареи или предохранителя

Плавкий предохранитель редко нуждается в замене и если сгорает, то почти всегда из – за ошибки оператора. Если на дисплее появляются буквы «ВАТ», это означает, батарея должна быть заменена.

для замены батареи и предохранителя (200 мА\250В) удалите два винта в дне корпуса. Просто выньте старые и замените на новые. Будьте внимательны, соблюдайте полярность батареи.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ!

перед открыванием корпуса мультиметра, убедитесь, что щупы отключены от цепей под напряжением, во избежание поражения током.

ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- руководство
- набор из двух измерительных щупов
- коробка
- термопара типа К (М837, М838).

Цифровой мультиметр дает возможность получить более точные показания. Существует функция «авто-полярности», с помощью которой аппарат предотвращает различные проблемы, связанные с неправильной полярностью цепи.

Скорость считывания возрастает в несколько раз. Во время работы с цифровым мультиметром отпадает необходимость в установке нуля. Дальнейшая обработка и запись обеспечивается наличием специального цифрового входа.

Цифровая индикация повышает точность тех результатов, которые вы получили. В современных моделях есть функция автонастройки, которая позволяет выбрать подходящий диапазон измерения. В результате счетчик не повредится, если вы ошиблись во время выбора диапазона. Также у цифровых мультиметров высокий уровень входного сопротивления.

Однако у данного оборудования есть и свои недостатки, о которых тоже стоит упомянуть. ЖК-дисплей работает от батареи. Если вдруг аккумулятор разрядился, то вы не разберете показания на экране.

Если вдруг произошли небольшие колебания, то устройство зафиксирует ошибку. Счетчик во время работы нагревается, поэтому измерения могут быть неточными. Уровень напряжения ограничен определенными показателями, превышать которые строго запрещено.

Цифровые мультиметры не помогут вам отрегулировать настройки контуров. Также они непригодны для пика настраиваемых ответов. Стоимость такого оборудования довольно высока, поэтому они не по карману многим людям.

Проверка приборов непосредственной оценки.

Среди основных факторов, влияющих на результаты измерений, можно указать на объект и субъект измерения, метод измерения, средство измерения и условия измерения.

Обо всех факторах мы уже говорили на лекциях, кроме последнего.

Условия измерения оказывают существенное влияние на результат измерения и включают температуру окружающей среды, влажность, атмосферное давление, напряжение в сети и многое другое. Рассмотренные факторы в совокупности и каждый в отдельности оказывают влияние на результаты измерений. Поэтому необходимо предпринимать меры к исключению этих факторов, их компенсации, к учету их влияния путем введения поправок, а также стремиться создавать нормальные условия измерений.

Поверкой называется установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверке подвергают средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору. При поверке используют эталон. Поверку проводят в соответствии с обязательными требованиями, установленными нормативными документами по поверке. Поверку проводят специально обученные специалисты, аттестованные в качестве поверителей органами Государственной метрологической службы.

Результаты поверки средств измерений, признанных годными к применению, оформляют выдачей *свидетельства о поверке*, нанесением *поверительного клейма* или иными способами, установленными нормативными документами по поверке.

Другими официально уполномоченными органами, которым может быть предоставлено право проведения поверки, являются аккредитованные метрологические службы юридических лиц. *Аккредитация на право поверки средств измерений* проводится уполномоченным на то государственным органом управления

Первичная поверка средств измерений.

Поверка, выполняемая при выпуске средства измерений из производства или после ремонта, а также при ввозе средства измерений из-за границы партиями, при продаже.

Периодическая поверка средств измерений.

Поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени.

Примечание - *Межповерочные интервалы* для периодической поверки устанавливаются нормативными документами по поверке в зависимости от стабильности того или иного средства измерений и могут устанавливаться от нескольких месяцев до нескольких лет.

Внеочередная поверка средств измерений.

Поверка средства измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.

Необходимость внеочередной поверки может возникнуть вследствие разных причин: ухудшение метрологических свойств средства измерений или подозрение в этом, нарушение условий эксплуатации, нарушение поверительного клейма и др.

Инспекционная поверка средств измерений.

Поверка, проводимая органом государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением средств измерений.

комплектная поверка средств измерений;

Комплектная поверка.

Поверка, при которой определяют метрологические характеристики средства измерений, присущие ему как единому целому.

Поэлементная поверка средств измерений.

Поверка, при которой значения метрологических характеристик средств измерений устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов или частей.

Поэлементную поверку обычно проводят для измерительных систем или измерительных установок, когда неосуществима комплектная поверка.

Выборочная поверка.

Поверка группы средств измерений, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности всей партии.

Занятие 13. Измерение параметров электрических сигналов.

На практике приходится измерять следующие параметры электрических сигналов: ток, напряжение 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 напряжения и тока, в том числе и параметров электрических сигналов. Резюмируем кратко эти сведения.

Измерение тока и напряжения осуществляется в цепях постоянного, переменного токов широкого диапазона частот и импульсных цепях.

В цепях постоянного тока наиболее высокая точность измерений, в цепях переменного тока она понижается с повышением частоты; здесь кроме оценки среднеквадратического, средневыпрямленного и максимального значений иногда требуется наблюдение формы исследуемого сигнала и знание мгновенных значений тока и напряжения.

Измерители тока и напряжения независимо от их назначения должны при включении не нарушать режима работы цепи измеряемого объекта; обеспечивать малую погрешность измерений, исключив при этом влияние внешних факторов на работу прибора, высокую чувствительность измерения

на оптимальном пределе, быструю готовность к работе и высокую надежность.

Выбор приборов, выполняющих измерения тока и напряжения, определяется совокупностью многих факторов, важнейшие из которых:

- род измеряемого тока;
 - примерные диапазон частот измеряемой величины и амплитудный диапазон;
 - форма кривой измеряемого напряжения (тока);
 - мощность цепи, в которой осуществляется измерение;
- мощность потребления прибора;
- возможная погрешность измерения.

Измерение напряжения выполняют методами непосредственной оценки и сравнения.

Если необходимая точность измерения, допустимая мощность потребления и другие требования могут быть обеспечены амперметрами и вольтметрами электромеханической группы, то следует предпочесть этот простой метод непосредственного отсчета. В маломощных цепях постоянного и переменного токов для измерения напряжения обычно пользуются цифровыми и аналоговыми электронными вольтметрами. Если необходимо измерить напряжение с более высокой точностью, следует использовать приборы, действие которых основано на методах сравнения, в частности, на методе противопоставления.

Измерение тока возможно прямое – методом непосредственной оценки аналоговыми и цифровыми амперметрами и косвенное. При этом напряжение измеряется на резисторе с известным сопротивлением. Для исследования формы и определения мгновенных значений напряжения и тока применяют осциллографы.

Измерение напряжения в цепях постоянного тока.

Метод непосредственной оценки.

При использовании данного метода вольтметр подключают параллельно тому участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение. При измерении напряжения на нагрузке R в цепи с источником энергии, ЭДС которого E и внутреннее сопротивление R_0 , вольтметр включают параллельно нагрузке (рис. 1.).

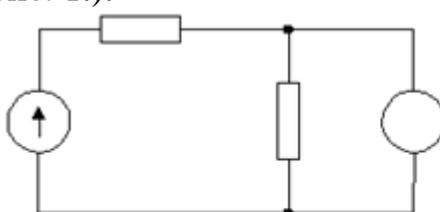


Рис.1 Схема подключения вольтметра для измерения напряжения на участке цепи с сопротивлением R .

Если внутреннее сопротивление вольтметра R_V , то относительная погрешность измерения напряжения

$$\delta_U = \frac{U_x - U}{U} = \dots = - \frac{R/R_V}{1 + R/R_V + R/R_0},$$

где U – действительное значение напряжения на нагрузке R до включения вольтметра; U_x – измеренное значение напряжения на нагрузке R .

Отношение сопротивления R/R_V обратно пропорционально отношению мощности потребления вольтметра P_V к мощности цепи P , поэтому

$$\delta_U = - \frac{P_V/P}{1 + P_V/P + R/R_0}.$$

Для уменьшения погрешности измерения напряжения мощность потребления вольтметра должна быть мала, а его внутреннее сопротивление велико ($R_V \rightarrow \infty$).

Напряжение в цепях постоянного тока можно измерить любым измерителем напряжения, работающим на постоянном токе (аналоговыми магнитоэлектрическим, электродинамическим, электромагнитным, электростатическим, аналоговым и цифровым электронными вольтметрами). Выбор измерителя напряжения обусловлен мощностью объекта измерения и необходимой точностью. Диапазон измеряемых напряжений лежит в пределах от микровольт до десятка киловольт. Если объект измерения мощный, используют электромеханические вольтметры и мощность потребления ими не учитывается; если же объект измерения маломощный, то мощность потребления нужно учитывать либо использовать электронные вольтметры.

Методы сравнения.

Компенсационный метод (метод противопоставления) обеспечивает высокую точность измерения. Это метод сравнения с мерой. Средства измерений, использующие метод сравнения, называются *компенсаторами* или *потенциометрами*.

Принцип действия компенсатора основан на уравновешивании (компенсации) измеряемого напряжения известным падением напряжения на образцовом резисторе. Момент полной компенсации фиксируется по показаниям нуль-индикатора.

Упрощенная схема компенсатора постоянного тока приведена на рис. 2. Схема содержит источник образцовой ЭДС E_0 , образцовый резистор R_0 , вспомогательный источник питания $E_{всп}$, переменный резистор R_K , регулировочный реостат R_p и нуль-индикатор. Нуль-индикатором служит обычно гальванометр с нулем по середине шкалы. В качестве источника образцовой ЭДС (меры ЭДС) используется нормальный элемент – изготавливаемый по специальной технологии гальванический элемент, среднее значение ЭДС которого при температуре 20°C известно с точностью до пятого знака и равно $E_H = 1.0186 \text{ В}$. Образцовый резистор представляет

собой катушку сопротивления специальной конструкции с точно известным и стабильным сопротивлением.

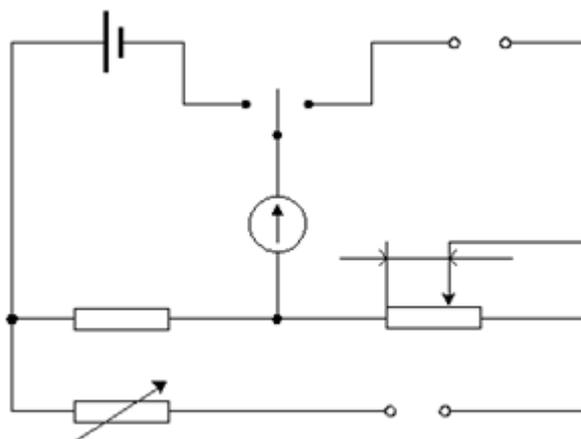


Рис. 2. Схема компенсатора постоянного тока.

Процесс измерения напряжения состоит из двух операций: установления рабочего тока и уравнивания измеряемого напряжения. Для установления рабочего тока переключатель Π ставят в положение 1 и, регулируя сопротивление R_p , добиваются отсутствия тока в гальванометре. Это будет иметь место в том случае, когда падение напряжения на резисторе R_0 станет равным ЭДС нормального элемента:

$$IR_0 = E_0.$$

При этом рабочий ток в цепи R_p, R_0, R_K $I = E_{всп} / (R_p + R_0 + R_K)$.

После установки рабочего тока переключатель Π устанавливается в положение 2 и, не изменяя рабочего тока, устанавливают такое значение сопротивления $R_K = R_x$, при котором измеряемое напряжение U_x будет уравновешено падением напряжения IR_x и ток в цепи гальванометра снова будет отсутствовать. Отсюда

$$E_0 / R_0 = U_x / R_x \text{ и } U_x = (R_x / R_0)E_0.$$

При постоянстве значений E_0 и R_0 шкала сопротивления R_K может быть проградуирована непосредственно в единицах напряжения постоянного тока.

Так как в момент равновесия ток в цепи индикатора отсутствует, то можно считать, что входное сопротивление $R_{вх}$ компенсатора (со стороны измеряемого напряжения) равно бесконечности, т.е. $R_{вх} = \infty$. Отсюда следует одно из основных достоинств компенсатора – отсутствие потребления мощности от объекта измерения.

Современные компенсаторы постоянного тока выпускаются классов точности от 0.0005 до 0.2. Верхний предел измерения до 1 ...2.5 В. При достаточной чувствительности индикатора нижний предел измерения может составлять единицы нановольт.

Компенсационные методы используются также для измерения на переменном токе.

Дифференциальный метод основан на измерении разности между измеряемым и известным напряжением при их неполной компенсации. Схема измерения представлена на рис. 3.

Высокоомный электронный вольтметр $V1$ с чувствительным пределом служит для измерения разностного напряжения между измеряемым U_x и известным U_k напряжениями. Аналоговый магнитоэлектрический или цифровой вольтметр $V2$ используется для измерения напряжения U_k . Рекомендуется при $U_k=0$ измерить вольтметром $V1$ ориентировочное значение U_x , а уж затем установить по вольтметру $V2$ удобное для отсчета напряжение U_k . Измеряемое напряжение U_x при указанной полярности включения вольтметра $V1$ определяется как $U_x = U_k \Delta + U$.

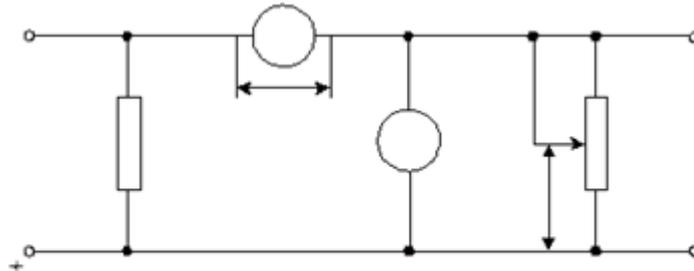


Рис 3. Схема измерения напряжения дифференциальным методом.

При измерении напряжений в высокоомных цепях входное сопротивление магнитоэлектрических и электронных вольтметров может быть недостаточно большим. Дифференциальный метод измерения позволяет увеличить входное сопротивление схемы до необходимых значений, которые определяются из следующей формулы:

$$R_{вх} = \frac{U_x}{I} = \frac{U_k + \Delta U}{\Delta U / R_{V1}} = R_{V1} \left(\frac{U_k}{\Delta U} + 1 \right)$$

Чем ΔU , тем $R_{вх}$.

Дифференциальный метод обеспечивает высокую точность измерения напряжения. Погрешность измерения определяется в основном погрешностью вольтметра, измеряющего U_k .

Для измерения малых постоянных напряжений (порядка $10^{-8} В$) используют гальванометрические компенсаторы.

Измерение постоянного тока.

Прямое измерение тока. Амперметр включается последовательно в разрыв исследуемой цепи.

Последовательное включение амперметра с внутренним сопротивлением R_A в цепь с источником ЭДС E и сопротивлением R (сопротивление нагрузки и источника) приводит к возрастанию общего сопротивления и уменьшению протекающего в цепи тока. Относительная погрешность δ_I измерения тока I_x определяется как

$$\delta_I = \frac{I_x - I}{I} = \dots = - \frac{R_A / R}{1 + R_A / R},$$

где I – действительное значение тока в цепи до включения амперметра; I_x – измеренное значение тока в цепи R .

Отношение сопротивлений можно заменить отношением мощностей P_A и P потребления соответственно амперметра и самой цепи:

$$\delta_I = - (P_A / P) / (1 + P_A / P).$$

Погрешность измерения тем меньше, чем меньше мощность потребления амперметра P_A по сравнению с мощностью потребления цепи P , в которой осуществляется измерение. Поэтому амперметр, включаемый последовательно в цепь измерения, должен обладать малым сопротивлением, т.е. $R_A \rightarrow 0$.

Диапазон значений постоянных токов, с измерением которых приходится встречаться в различных областях, чрезвычайно велик (от токов 10^{-17} А до десятков и сотен тысяч ампер). Поэтому, естественно, методы и средства измерения их различны.

Измерение постоянного тока можно выполнить любым измерителем постоянного тока: аналоговыми магнитоэлектрическими, электродинамическими; аналоговыми и цифровыми электронными амперметрами. При необходимости измерения весьма малых токов, значительно меньших тока полного отклонения I_n магнитоэлектрического измерителя, этот измеритель принимают совместно с УПТ.

Токи 10^{-9} – 10^{-6} А можно измерить непосредственно с помощью высокочувствительных магнитоэлектрических зеркальных гальванометров и гальванометрических компенсаторов.

Косвенное измерение тока.

Кроме прямого измерения тока амперметрами возможно косвенное измерение токов с помощью резисторов с известным сопротивлением R_0 , включаемых в разрыв цепи, и высокочувствительных измерителей напряжения. Измеряемый ток определяется как $I_x = U_0 / R_0$, где U_0 – падение напряжения на резисторе R_0 , измеренное вольтметром либо компенсатором постоянного тока.

Для получения минимальных погрешностей измерения тока сопротивление резистора R_0 должно быть много меньше сопротивления цепи, в которой измеряется ток.

Косвенный способ реализован в электронных аналоговых и цифровых измерителях тока.

Измерение напряжения и тока промышленной частоты.

Измерение напряжения и тока промышленной частоты можно выполнить любыми вольтметрами и амперметрами, работающими на частоте 50 Гц. Когда объект измерения мощный, то измерения выполняют

электромагнитными и электродинамическими вольтметрами и амперметрами.

Для измерения напряжений промышленной частоты в таких цепях, в которых включение обычного прибора непосредственной оценки может нарушить режим этой цепи вследствие потребления мощности и тем самым исказить результаты измерений, применяют *компенсаторы переменного тока*. Чтобы уравновесить измеряемое

напряжение $\dot{U}_x = U_x e^{j\phi_x}$ компенсирующим напряжением $\dot{U}_k = U_k e^{j\phi_k}$, необходимо выполнение следующих условий: равенство напряжений U_x и U_k по модулю; противоположность их фаз ($\phi_x - \phi_k = 180^\circ$); равенство частот; одинаковая форма измеряемого и компенсирующего напряжений. Компенсаторы переменного тока менее точны по сравнению с компенсаторами постоянного тока.

Занятие 14. Измерительные трансформаторы напряжения.

§1. Назначение и классификация

В современной технике переменных токов используют высокие напряжения от 1000 кВ и выше и токи порядка нескольких тысяч ампер.

Наибольший переменный ток, который можно измерить, включив прибор непосредственно в цепь, около 200 А. Расширить пределы измерения приборов электромагнитной, электродинамической и индукционной систем с помощью шунтов нельзя, так как эти приборы малочувствительны, а на шунтах должно быть создано относительно большое падение напряжения, что приводит к увеличению их сопротивления, размеров и потребляемой мощности.

Наибольшее напряжение, которое можно измерить, включив прибор непосредственно в цепь, 600 В. При измерении переменных напряжений свыше 600 В нецелесообразно применять добавочные сопротивления, так как на них теряется большая мощность. Кроме того, при измерениях в цепях высокого напряжения трудно обеспечить безопасность обслуживающего персонала и повышенное сопротивление изоляции приборов. Поэтому для расширения пределов измерения приборов в цепях переменного тока применяют измерительные трансформаторы, которые служат для

преобразования больших переменных напряжений и токов в относительно малые напряжения и токи. Этим достигается безопасность обслуживающего персонала, так как отсутствует гальваническая связь между первичной цепью и приборами, включенными в цепь низкого напряжения.

Различают трансформаторы напряжения, через которые подключают вольтметры, частотомеры, обмотки напряжения ваттметров и счетчиков, и трансформаторы тока, через которые подключают амперметры и токовые обмотки ваттметров и счетчиков.

Измерительные трансформаторы потребляют меньшую, чем шунты и добавочные резисторы, мощность и обеспечивают большую точность измерения больших токов и высоких напряжений.

§2. Трансформаторы напряжения

Измерительные трансформаторы напряжения предназначены для расширения пределов измерения по напряжению ваттметров, счетчиков, частотомеров, вольтметров, фазометров и т. д.

Устройство трансформаторов напряжения (рис. 1) аналогично устройству маломощного силового трансформатора. Его первичная обмотка содержит относительно большое число витков w_1 и подключается к сети измеряемого напряжения. К зажимам вторичной обмотки с меньшим числом витков w_2 присоединяют вольтметры, обмотки напряжения ваттметров, счетчиков и т. д.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала на случай пробоя изоляции между обмотками один из зажимов вторичной обмотки трансформатора, его корпус (если он металлический) и сердечник заземляют. Зажимы первичной обмотки трансформатора напряжения обозначены буквами A (начало) и X (конец), а зажимы вторичной обмотки — соответственно a и x . Так как сопротивления обмоток напряжения измерительных приборов велики, то трансформаторы напряжения работают в режиме, близком к холостому ходу, т. е. для них опасны короткие замыкания. Поэтому первичные обмотки трансформаторов включают через предохранители FU .

Трансформатор рассчитывают на определенное значение номинального напряжения в первичной обмотке $U_{1ном}$. Отношение номинального напряжения в первичной обмотке к номинальному напряжению во вторичной обмотке $U_{2ном}$ называют номинальным **коэффициентом трансформации**:

$$K_U ном = U_{1ном} / U_{2 ном} = w_1 / w_2$$

Помимо погрешности по напряжению, трансформаторы обладают угловой погрешностью δ , представляющей собой угол (в минутах) между вектором напряжения первичной обмотки и повернутым на 180° вектором напряжения вторичной обмотки.

1)

2)

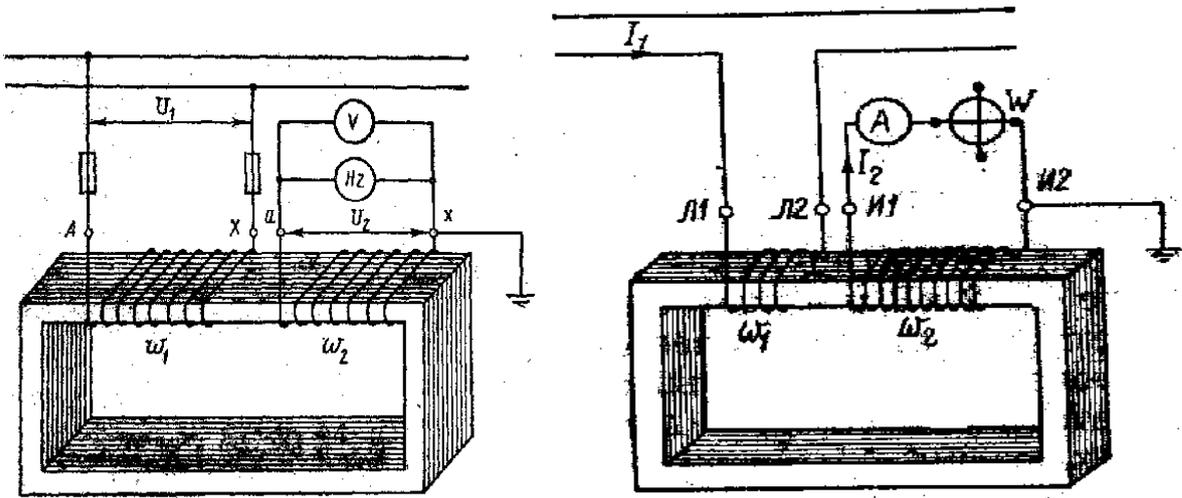


Рис.1. Устройство измерительного трансформатора напряжения

Рис.2. Устройство измерительного трансформатора тока

§3. Трансформаторы тока

Измерительные трансформаторы тока предназначены для расширения пределов измерения по току ваттметров, счетчиков, амперметров и для включения приборов защиты. Кроме того, в высоковольтных цепях трансформаторы тока используют для защиты измерительных приборов и обслуживающего персонала от высоких напряжений.

Первичная обмотка трансформатора тока (рис. 2) содержит небольшое число витков w_1 и включается последовательно в цепь измеряемого тока I_1 . К зажимам вторичной обмотки, содержащей большее число витков w_2 , подключают последовательно токовые обмотки измерительных приборов. Сопротивления токовых обмоток малы (0,2—2 Ом), поэтому трансформаторы тока работают в режиме, близком к короткому замыканию.

Зажимы первичной обмотки трансформаторов тока обозначены $Л1$ и $Л2$ (линия), а вторичной — $И1$ и $И2$ (измеритель). Один из зажимов вторичной обмотки соединяют с корпусом и заземляют.

По основным конструктивным признакам трансформаторы тока подразделяют на стационарные и переносные, высоко- и низковольтные, много- и одновитковые, проходные и опорные. Переносные лабораторные трансформаторы тока в основном многопредельные и имеют следующие классы точности: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2.

Стационарные трансформаторы тока изготавливают следующих классов точности: 0,2; 0,5; 1,0; 3; 10.

Особой разновидностью трансформаторов тока являются токоизмерительные клещи. Они представляют собой переносный трансформатор тока с разъемным сердечником. Клещи используют для измерений без предварительного разрыва цепи тока. Первичной обмоткой служит провод цепи, который охватывают половинами разъемного сердечника.

На щитках измерительных трансформаторов тока указывают номинальный коэффициент трансформации в виде отношения номинальных токов, например 30/5; номинальную частоту или область частот, на которой данный трансформатор вносит минимальные погрешности; номинальную нагрузку; класс точности, тип, номер и год выпуска трансформатора.

§4. Трансформаторы постоянного тока

Принцип действия и устройство трансформаторов постоянного тока существенно отличается от обычных измерительных трансформаторов, но выполняют они одну и ту же задачу и могут обеспечить высокую точность измерений при надлежащей изоляции измерительных цепей по отношению к высоковольтным. Принципиальная схема трансформатора постоянного тока, иллюстрирующая идею устройства, показана на рис.3.

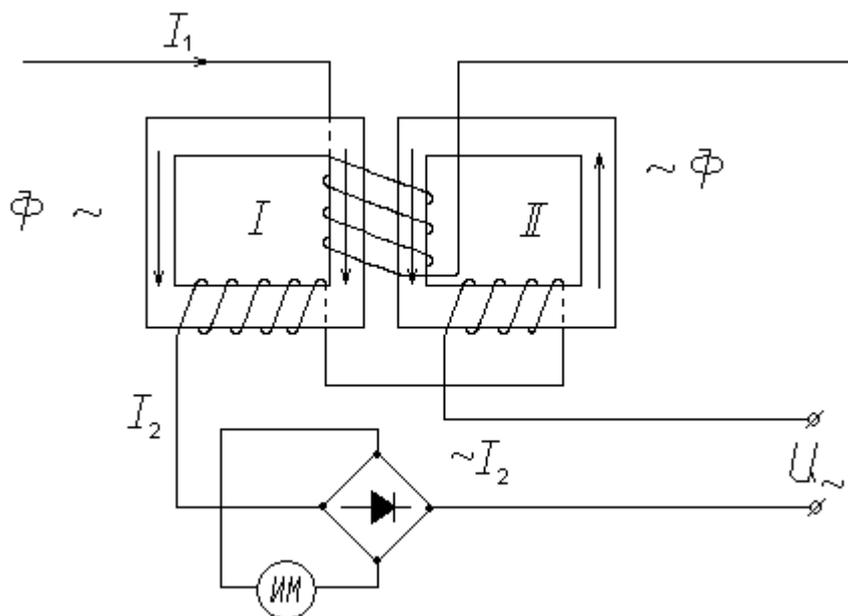


Рис.3 Принципиальная схема измерительного трансформатора постоянного тока.

Сердечники I и II трансформаторов, совершенно одинаковые по своим размерам, изготовляют из ферромагнитного материала с высокой магнитной проницаемостью (например, из пермаллоя).

Первичные обмотки этих сердечников соединяют последовательно, и по ним протекает измеряемый постоянный ток. Вторичные обмотки соединяют параллельно или последовательно и через выпрямители подключают к вспомогательному источнику переменного тока.

Действительным коэффициентом трансформации измерительного трансформатора постоянного тока называется отношение величин токов в первичной обмотке и выпрямленного, т. е.

$$k = \frac{I_1}{I_2}$$

Уменьшение погрешности трансформатора постоянного тока может быть достигнуто применением ферромагнитного материала с возможно меньшей коэрцитивной силой и кривой намагничивания, наиболее близкой к идеализированной кривой, а также возможно осуществление различных компенсационных схем.

Например, могут быть использованы потоки рассеяния для дополнительного перемагничивания сердечников и другие способы, позволяющие расширить пределы измерения тока.

Занятие 19. Измерение параметров электрических цепей.

Сопротивление — один из важнейших параметров электрической цепи, определяющий работу любой цепи или установки.

Электрическое сопротивление - основная электрическая характеристика проводника, величина, характеризующая противодействие электрической цепи или ее участка электрическому току. Также сопротивлением могут называть деталь (её чаще называют резистором) оказывающую электрическое сопротивление току. Электрическое сопротивление обусловлено преобразованием электрической энергии в другие виды энергии и измеряется в Омах.

Сопротивление (часто обозначается буквой R) считается, в определённых пределах, постоянной величиной для данного проводника и её можно определить как

$$R = \frac{U}{I}, \text{ где}$$

R — сопротивление;

U — разность электрических потенциалов на концах проводника, измеряется в вольтах;

I — ток, протекающий между концами проводника под действием разности потенциалов, измеряется в амперах.

Получение определенных величин сопротивлений при изготовлении электрических машин, аппаратов, приборов при монтаже и эксплуатации электроустановок является необходимой предпосылкой для обеспечения нормального режима их работы.

Одни сопротивления сохраняют свою величину практически неизменной, другие, наоборот, в очень сильной степени подвержены изменению от времени, от температуры, влажности, механических усилий и т. д. Поэтому, как при производстве электрических машин, аппаратов,

приборов, так и при монтаже эксплуатации электроустановок неизбежно приходится производить измерение сопротивлений.

Весьма разнообразны условия и требования к производству измерений сопротивлений. В одних случаях нужна высокая точность, в других, наоборот, достаточно нахождение приближенного значения сопротивления.

В зависимости от величины электрические сопротивления делятся на три группы:

- 1 ом и меньше — малые сопротивления,
- от 1 ом до 0,1 Мом — средние сопротивления,
- от 0,1 Мом и выше — большие сопротивления.

При измерении малых сопротивлений необходимо принимать меры для устранения влияния на результат измерения сопротивления соединительных проводов, контактов и термо-ЭДС.

При измерении средних сопротивлений можно не считаться с сопротивлениями соединительных проводов и контактов, можно не учитывать влияния сопротивления изоляции.

При измерении больших сопротивлений необходимо учитывать наличие объемного и поверхностного сопротивлений, влияние температуры, влажности и других факторов.

Особенности измерения малых сопротивлений

К группе малых сопротивлений относятся: обмотки якорей электрических машин, сопротивления амперметров, шунтов, сопротивления обмоток трансформаторов тока, сопротивления коротких проводов шин и т. д.

При измерении малых сопротивлений всегда приходится считаться с возможностью влияния сопротивлений соединительных проводов и переходных сопротивлений на результат измерения.

Сопротивления измерительных проводов имеют значения $1 \times 10^4 - 1 \times 10^2$ ом, переходные сопротивления - $1 \times 10^5 - 1 \times 10^2$ ом.

Под переходными сопротивлениями или сопротивлениями на контактах понимают сопротивления, которые встречает электрический ток при переходе с одного проводника на другой.

Переходные сопротивления зависят от величины поверхности соприкосновения, от ее характера и состояния - гладкая или шероховатая, чистая или загрязненная, а также от плотности соприкосновения, силы нажатия и т. д. Выясним на примере влияние переходных сопротивлений и сопротивлений соединительных проводов на результат измерения.

Присоединив вольтметр, как показано на рис. 1, к потенциальным зажимам, расположенным между токовыми, мы исключим влияние на результат измерения величины сопротивления токовых зажимов.

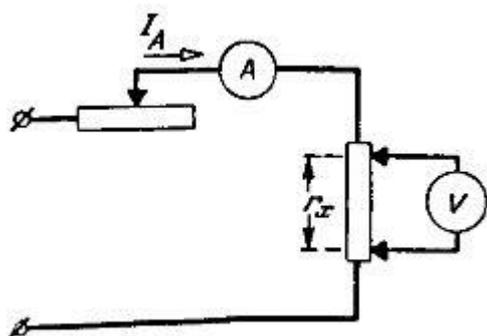


Рис. 1. Схема соединения для измерения малых сопротивлений амперметром и вольтметром

Таким образом, найденное значение будет равно действительному значению искомого сопротивления, так как вольтметр измерит действительное значение напряжения на искомом сопротивлении R_x между его потенциальными зажимами.

Применение двух пар зажимов, токовых и потенциальных, является основным приемом для устранения влияния сопротивлений соединительных проводов и переходных сопротивлений на результат измерений малых сопротивлений.

Нулевой (компенсационный) метод измерения малых сопротивлений

При точных измерениях, когда погрешности должны быть сведены к минимуму, получил распространение компенсационный метод измерения. Сущность компенсационного метода измерения сопротивления заключается в том, что производится сравнение падения напряжения на измеряемом резисторе и на образцовом резисторе, включенных последовательно (рис. 2).

Измерение падения напряжения на резисторах осуществляется, как правило, потенциометром. В этом случае напряжение питания не влияет на результаты измерения, а также полностью исключается влияние сопротивления соединительных проводов, так как в момент измерения ток в проводах, соединяющих потенциометр с резисторами, равен нулю.

Для удобства применения компенсационного метода измеряемые и образцовые резисторы имеют четыре вывода. Два токовых вывода – для подключения питания и два потенциальных – для подключения потенциометра.

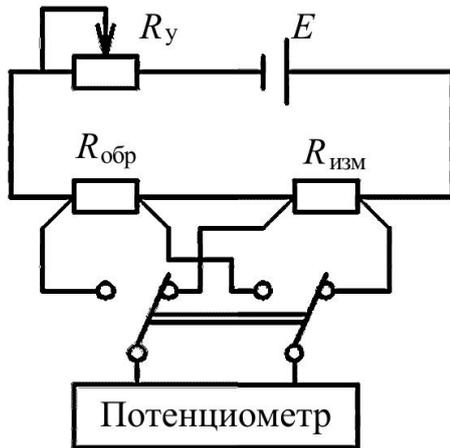


Рис. 2. Схема компенсационного метода измерения сопротивлений

На схеме (см. рис. 2) измеряемый резистор $R_{\text{изм}}$ включен последовательно с образцовым резистором $R_{\text{обр}}$. В качестве образцового резистора используется магазин сопротивлений. Измерительный ток в цепи устанавливают переменным резистором R_y , таким, чтобы нагрев сопротивления не вызывал изменения температуры больше допустимого.

С одной стороны, ток определяется по падению напряжения на образцовом резисторе,

$$I = \frac{U_{\text{обр}}}{R_{\text{обр}}}$$

где $U_{\text{обр}}$ – падение напряжения на образцовом резисторе; $R_{\text{обр}}$ – сопротивление образцового резистора.

С другой стороны,

$$I = \frac{U_{\text{изм}}}{R_{\text{изм}}}$$

где $U_{\text{изм}}$ – падение напряжения на измеряемом резисторе; $R_{\text{изм}}$ – неизвестное сопротивление измеряемого резистора.

Исходя из уравнений, получаем сопротивление измеряемого резистора

$$R_{\text{изм}} = \frac{U_{\text{изм}}}{U_{\text{обр}}} R_{\text{обр}}$$

Для определения сопротивления резистора необходимо поочередно измерить падение напряжения на измеряемом и образцовом резисторах и затем рассчитать сопротивление измеряемого резистора.

Метод вольтметра-амперметра

Измерение методом вольтметра-амперметра сводится к измерению тока и напряжения в цепи с измеряемым двухполюсником и последующему расчету его параметров по закону Ома.

Измерение активных сопротивлений производится на постоянном токе, при этом включение резистора R_x в измерительную цепь возможно по схемам, представленным на рис. 3, а и 3, б.

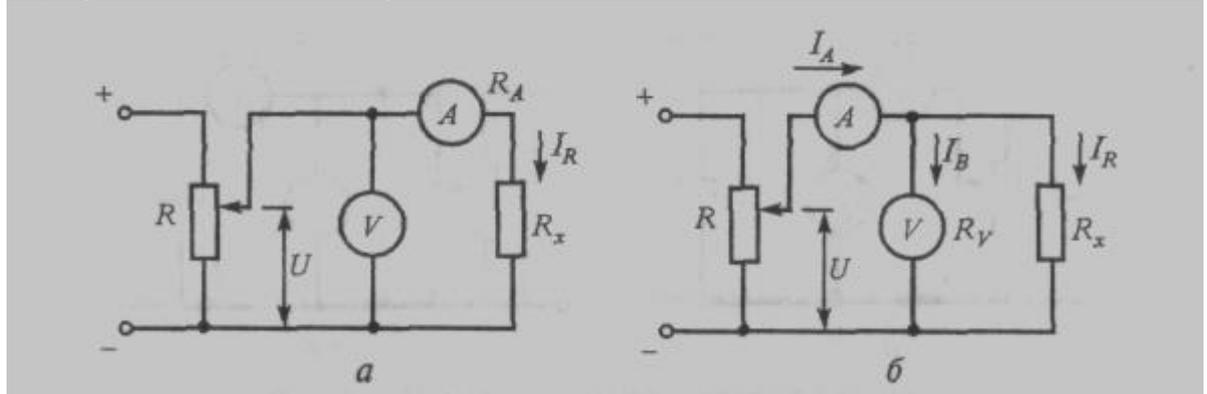


Рис. 3. Измерение активных сопротивлений методом вольтметра-амперметра

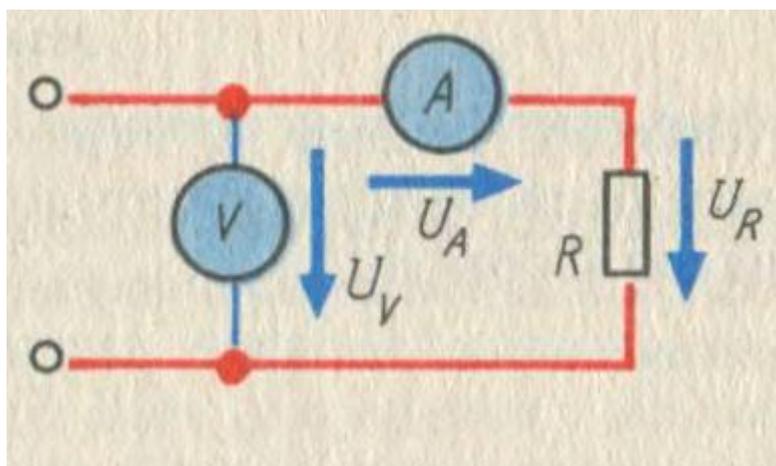
Обе схемы включения приводят к методическим погрешностям ΔR , зависящим от величины сопротивлений приборов. В схеме (см. рис. 3, а) методическая погрешность тем меньше, чем меньше сопротивление амперметра, а в схеме (см. рис. 3, б) эта погрешность тем меньше, чем больше сопротивление вольтметра. Таким образом, схемой, приведенной на рис. 3, а, следует пользоваться для измерения больших сопротивлений, а схемой, приведенной на рис. 3, б, – для измерения малых сопротивлений.

Занятие 20. Измерение средних сопротивлений.

Для практического измерения средних сопротивлений применяют следующие методы измерений: косвенный метод (амперметра-вольтметра), нулевой метод, метод непосредственной оценки.

Метод амперметра-вольтметра

Пожалуй, он самый простой для измерения средних сопротивлений R . При среднем значении R рекомендована такая схема:



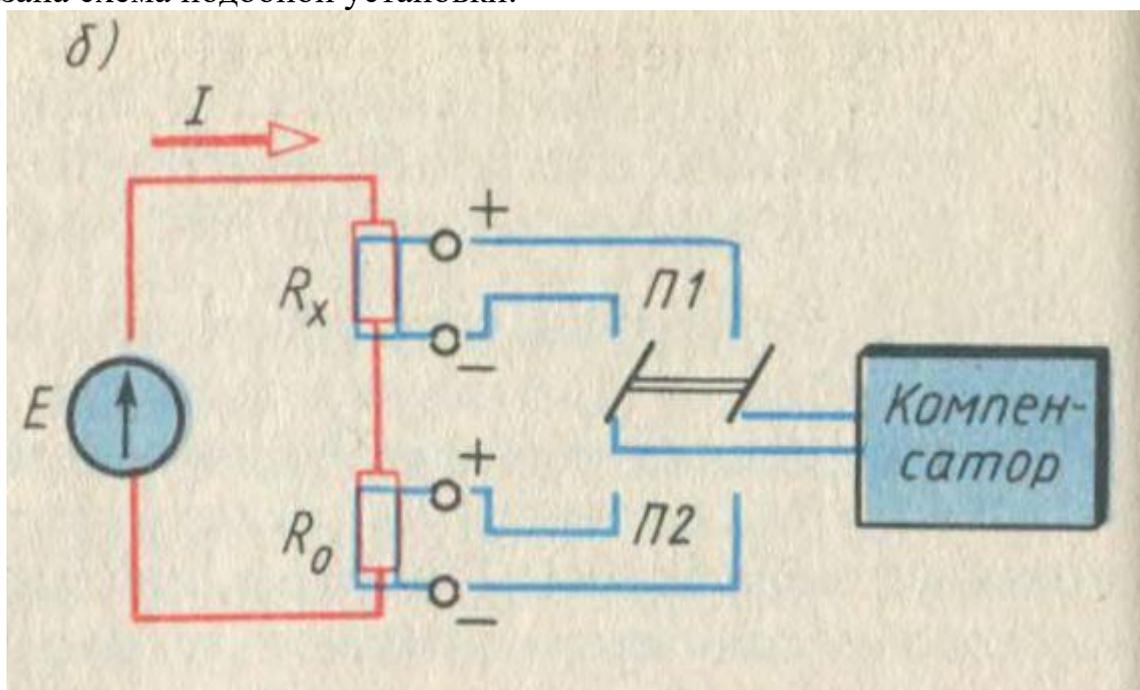
Так как в этом случае $U_V \approx U_R$ из-за очень малого внутреннего сопротивления амперметра. Соответственно применив закон Ома получим:

$$R = \frac{U_V}{I_A}$$

Из-за наличия внутренних сопротивлений в приборах возникает погрешность, что есть основным недостатком этого метода.

Нулевой (компенсационный) метод

Его применяют для получения повышенной точности измерения. Ниже показана схема подобной установки:

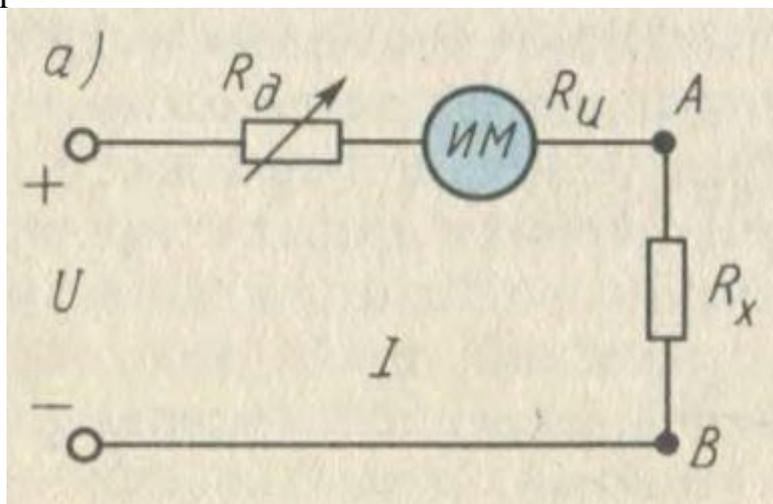


В данную схему входит компенсатор постоянного тока, двухпозиционный переключатель (П2 и П1), резистор образцовый R_0 , а также источник питания E и измеряемый резистор R_x . Измеряв падение напряжения на каждом из резисторов при двух разных положениях переключателя определяют – $U_{R_0} = R_0 I$ и $U_{R_x} = R_x I$. Из этих выражений можно получить следующую формулу:

При выполнении измерений необходимо ток I поддерживать постоянным и не допускать изменения его значения, для обеспечения точности измерения.

Метод непосредственной оценки

Чтоб реализовать такой метод необходимо применить омметр, схема которого ниже:



Данное устройство состоит из измерительного механизма ИМ (тип механизма магнитоэлектрический), шкала которого градуируется в омах. Также существует источник питания постоянным током U и резистор добавочный R_d . К выходным зажимам A и B производят подключения измеряемого сопротивления R_x . Соответственно в цепи будет протекать ток:

$$I = \frac{U}{R_d + R_u + R_x}$$

Где R_d , R_u , R_x – добавочный резистор и сопротивления измерительного механизма и соответственно объекта, который подлежит измерению. При этом угол отклонения стрелки прибора будет равен:

$$\alpha = S_1 I = S_1 U \frac{1}{R_d + R_u + R_x}$$

Где S_1 – чувствительность токового измерителя.

Если зажимы A и B разомкнуть ($R \rightarrow \infty$), то угол отклонения стрелки прибора будет равен нулю $\alpha=0$, а если их замкнуть ($R=0$), то угол отклонения будет максимален. Поэтому у омметра шкала обратная – ноль у него справа.

Омметры довольно таки удобны в практическом применении, но они имеют довольно высокую погрешность (класс точности 2,5). Это связано с нестабильностью источника питания и неравномерностью шкалы.

Занятие 21. Измерение сопротивления изоляции.

Изоляция — это диэлектрик, которым покрывается каждая токоведущая жила. *Оболочка* — это дополнительная защита поверх изолированных жил для механической защиты кабеля.

Жилой называется металлический сердечник каждого электропроводника.



К диэлектрикам, которые используются в качестве изоляции, относятся такие материалы как керамика, стекло, поливинилхлорид, целлулоид. Сейчас

для изоляции применяются материалы, предназначенные не только для выполнения своей основной функции – защиты человека от поражения его электротоком, но и обеспечивающие защиту кабелей от повреждений механического характера и негативного воздействия повышенной влажности или высоких температур.

Нарушение изоляции электрооборудования приведет к возникновению короткого замыкания, поэтому необходимо следить за её целостностью.

Измерение сопротивления изоляции установки, не находящейся под напряжением.

В процессе работы электроустановок изоляция подвергается воздействию окружающей среды, что неизменно сказывается на ее свойствах. Кроме того, из-за нагрева токоведущих проводов, она со временем изнашивается.

Из всего вышеперечисленного вполне очевидно, что только при регулярных измерениях параметров изоляции возможна безотказная работа электроустановок.

Основным параметром характеризующим изоляцию является - сопротивление изоляции постоянному току. Данный параметр нуждается в регулярном измерении для стабильной работы любой системы.

Кроме того, правилами эксплуатации электрооборудования определена периодичность замеров сопротивления изоляции - не менее одного раза за три года, но специалисты рекомендуют делать это чаще. Почему? Попробуем обосновать данную необходимость.

В первую очередь, регулярные измерения сопротивления изоляции обеспечивают безопасность людей, они помогут предотвратить многие несчастные случаи, в том числе и в результате возгорания.

Второй немаловажный момент это, естественно, возможные убытки, к которым могут привести поломки в системе электроснабжения.

Ну и конечно, последнее, что необходимо отметить, - данные замеры помогут вам минимизировать, а то и вовсе избежать потерь электроэнергии, благодаря чему будут сэкономлены изрядные средства.

Такие измерения производятся специальными приборами, называемыми мегаомметрами. Это приборы предназначенные для измерения очень больших значений сопротивления, и генерирующие высокие значения напряжения (от 500 до 2500 Вольт) для возможности измерения сопротивления на участках с таким напряжением.

Мегаомметр предназначен для измерения больших сопротивлений, в частности сопротивления изоляции. Источником питания в таких приборах служит генератор переменного тока с ручным приводом или специальный преобразователь. В отличие от других омметров на выходе мегаомметра в зависимости от модификации



прибора или предела измерения создается напряжение 100, 500, 1000 или 2500 В.

Для измерений необходимо выбрать мегаомметр по пределу измерения и рабочему напряжению. Предел измерения мегаомметра должен быть таким, чтобы ожидаемое сопротивление изоляции находилось в правой половине его шкалы (при нуле слева) или в левой половине (при нуле справа). Напряжение мегаомметра выбирают в зависимости от напряжения сети, в которой определяют сопротивление изоляции.



Измерение сопротивления изоляции кабеля осуществляют между фазными проводниками, фазными проводниками и нейтральными, фазными проводниками и землей, нейтральными проводниками и землей. Если проверка проводится в соответствии с нормами ПТЭЭП, то кабель обязательно демонтируется.

Перед началом измерений мегаомметр необходимо проверить. Для этого выводы прибора закорачивают и вращают его рукоятку (при ручном приводе) или нажимают кнопку в приборе со статическим преобразователем, пока стрелка прибора не установится против деления шкалы с цифрой 0.

После этого снимают закорачивающую перемычку и продолжают вращать рукоятку привода (нажимать кнопку). Стрелка прибора должна установиться против деления ∞ . Если прибор исправен, то им можно производить измерения. После измерения сопротивления изоляции необходимо кратковременно заземлить точку, к которой подключался провод от мегаомметра, для того, чтобы снять заряд, накопившийся в изоляции.

Измерение сопротивления изоляции установки, находящейся под рабочим напряжением

Если сеть (установка) находится под рабочим напряжением, то сопротивление ее изоляции можно определить, пользуясь вольтметром (рис. 1).

Для измерения изоляции определяем:

- 1) рабочее напряжение сети U ;
- 2) напряжение между проводом А и землей U_A (показание вольтметра при положении А переключателя);



3) напряжение между проводом В и землей U_B (показание вольтметра при положении В переключателя).

Подключив вольтметр к проводу А и обозначив r_v — сопротивление вольтметра, r_{xA} и r_{xB} — сопротивления изоляции проводов А и В относительно земли, можем написать выражение тока, идущего через изоляцию провода В;

$$I_1 = \frac{U - U_A}{r_{xB}} = \frac{U}{\frac{r_{xA} \cdot r_v}{r_{xA} + r_v} + r_{xB}}$$

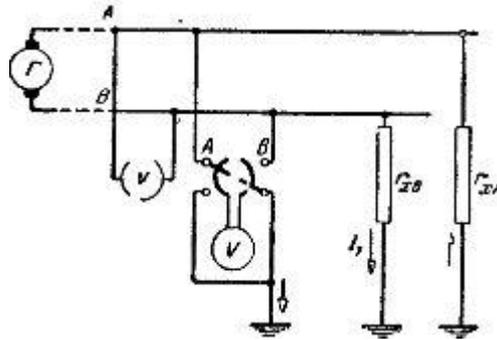


Рис 1. Схема измерения сопротивления изоляции двухпроводной сети вольтметром.

Подключив вольтметр к проводу В, можем написать выражение для тока, идущего через изоляцию провода А.

$$I_2 = \frac{U - U_B}{r_{xA}} = \frac{U}{\frac{r_{xB} \cdot r_v}{r_{xB} + r_v} + r_{xA}}$$

Решая совместно два полученных уравнения относительно r_{xA} и r_{xB} , найдем сопротивление изоляции провода А относительно земли:

$$r_{xA} = r_v \cdot \frac{U - U_A - U_B}{U_B}$$

и сопротивление изоляции провода В относительно земли

$$r_{xB} = r_v \cdot \frac{U - U_A - U_B}{U_A}$$

Замечая показания вольтметров при их включении и подставив эти показания в приведенные формулы, найдем значения сопротивления изоляции каждого из проводов относительно земли.

Если сопротивление изоляции провода А относительно земли велико по сравнению с сопротивлением вольтметра, то при положении А переключателя вольтметр будет соединен последовательно с сопротивлением изоляции r_{xB} , величину которого в этом случае можно определить по формуле:

$$r_{xB} = r_v \cdot \left(\frac{U}{U_A} - 1 \right)$$

Аналогично, если сопротивление r_{xB} велико по сравнению с сопротивлением вольтметра, то при положении В переключателя вольтметр

будет соединен последовательно с сопротивлением изоляции r_{xA} , величина которого

$$r_{xA} = r_v \cdot \left(\frac{U}{U_B} - 1 \right)$$

Из последних выражений видно, что показания вольтметра, включенного между одним проводом и землей, при постоянном напряжении сети U зависят только от сопротивления изоляции второго провода. Поэтому вольтметр может быть градуирован в омах, и по показанию его можно непосредственно судить о величине сопротивления изоляции сети. Такие вольтметры, градуированные в омах, также называются омметрами.

Измерение сопротивления заземления.

Защитное заземление - это преднамеренное соединение с землей металлических частей электроустановки, не находящихся под напряжением (рукояток приводов разъединителей, кожухов трансформаторов, фланцев опорных изоляторов, корпусов измерительных трансформаторов и т.п.).

Задача защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшейся под напряжением.

Принцип действия заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения.

Заземляющие устройства после монтажных работ и периодически не реже один раз в год испытываются по программе Правил устройства электроустановок. По программе испытания производится измерение сопротивления заземляющего устройства.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов или выводов источников однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4, 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380, и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Измерение сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра.

Метод амперметра – вольтметра применяется в основном для точных измерений при малых сопротивлениях заземлителей (до сотых долей ома). Измерение производят переменным током от понижающего трансформатора (рис. 2). Из условий безопасности вторичное напряжение принимают не более 60–70 В. Из-за большого тока в измерительной цепи регулируется обычно первичное напряжение. Измерение производят за пределами расположения заземлителя в месте, где нет протяженных металлических коммуникаций. Помимо испытываемого заземлителя необходимо иметь два электрода – вспомогательный В и зонд З. В качестве электродов В и З могут служить стальные стержни, забиваемые в землю. Количество стержней в

одном электроде зависит от требуемого сопротивления электрода и удельного сопротивления поверхностного слоя земли. Зонд 3 располагается в точке нулевого потенциала. Для уменьшения погрешности измерения из-за растекания тока вспомогательного электрода электроды желательно располагать по возможности дальше от испытуемого заземлителя. На рис. 36 показаны схемы расположения электродов В и 3 относительно заземлителя и минимальные расстояния между ними, при которых погрешность по указанной причине не превышает 5 %.

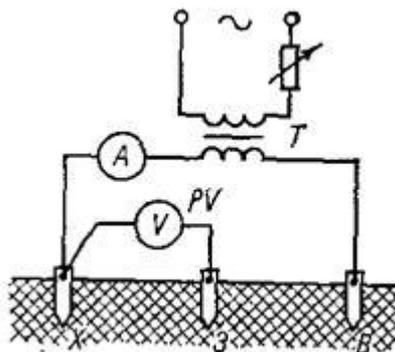


Рис. 2. Схема измерения сопротивления заземлителя по методу амперметра–вольтметра.

Измерения сопротивления контура заземляющего устройства производятся измерителем заземления МС - 416

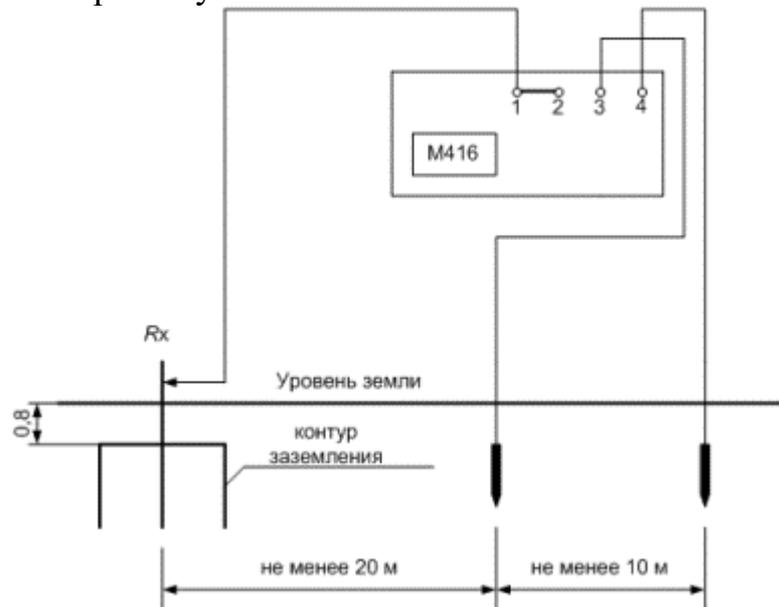
Описание измерителя заземления МС – 416

Измерители заземления МС - 416 предназначены для измерения сопротивления заземляющих устройств, активных сопротивлений и могут быть использованы для определения удельного сопротивления грунта. Диапазон измерения прибора от 0,1 до 1000 Ом и имеет четыре диапазона измерения: 0,1 ... 10 Ом, 0,5 ... 50 Ом, 2,0 ... 200 Ом, 100 ... 1000 Ом. Источником питания служат три соединенные последовательно сухие гальванические элемента напряжением по 1,5 В.



Порядок проведения измерения сопротивления контура защитного заземления

1. Установить элементы питания в измеритель заземления.
2. Установить переключатель в положение «Контроль», нажать кнопку и вращением ручки «реохорд» добиться установки стрелки индикатора в нулевую отметку шкалы.
3. Подключить соединительные провода к прибору, как показано на рисунке 1.
4. Углубить дополнительные вспомогательные электроды (заземлитель и зонд) по схеме рис. 1 на глубину 0,5 м и подключить к ним соединительные провода.
5. Переключатель установить в положение «X1».
6. Нажать кнопку и вращая ручку «реохорда» приблизить стрелку индикатора к нулю.
7. Результат измерения умножить на множитель.



Подключение прибора М416 для измерения сопротивления контура заземления

Занятие 25. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

Основным параметром, характеризующим контурные катушки, дроссели, обмотки трансформаторов является индуктивность L . В высокочастотных цепях применяются катушки с индуктивностью от сотых долей микрогенри до десятков миллигенри; катушки, используемые в низкочастотных цепях, имеют индуктивность до сотен и тысяч генри. Измерение индуктивности высокочастотных катушек, входящих в состав колебательных систем, желательно производить с погрешностью не более 5%; в большинстве других случаев допустима погрешность измерения до 10-20%.

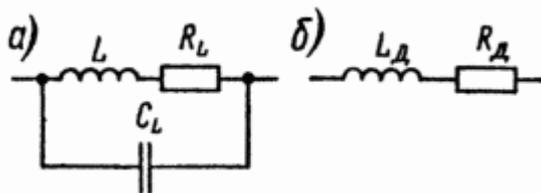


Рис. 1. Эквивалентные схемы катушки индуктивности.

Каждая катушка, помимо индуктивности L , характеризуется также собственной (межвитковой) ёмкостью C_L и активным сопротивлением потерь R_L , распределёнными по её длине. Условно считают, что L , C_L и R_L сосредоточены и образуют замкнутую колебательную цепь (рис. 1, а) с собственной резонансной частотой

$$f_L = 1/(LC_L)^{0,5}$$

Вследствие влияния ёмкости C_L при измерении на высокой частоте f определяется не истинная индуктивность L , а действующее, или динамическое, значение индуктивности

$$L_d = L / (1 - (2\pi f)^2 LC_L) = L / (1 - f^2 / f_L^2)$$

которое может заметно отличаться от индуктивности L , измеренной на низких частотах.

С повышением частоты возрастают потери в катушках индуктивности, обусловленные поверхностным эффектом, излучением энергии, токами смещения в изоляции обмотки и каркасе, вихревыми токами в сердечнике. Поэтому действующее активное сопротивление R_d катушки может заметно превышать её сопротивление R_L , измеренное омметром или мостом постоянного тока. От частоты f зависит и добротность катушки:

$$Q_L = 2\pi f L_d / R_d.$$

На рис. 1, б, представлена эквивалентная схема катушки индуктивности с учётом её действующих параметров. Так как значения всех параметров зависят от частоты, то испытание катушек, особенно высокочастотных, желательно проводить при частоте колебаний источника питания, соответствующей их рабочему режиму. При определении результатов испытания индекс «д» обычно опускают.

Для измерения параметров катушек индуктивности применяются в основном методы вольтметра - амперметра, мостовой и резонансный. Перед измерениями катушка индуктивности должна быть проверена на отсутствие в ней обрыва и короткозамкнутых витков. Обрыв легко обнаруживается с помощью любого омметра или пробника, тогда как выявление коротких замыканий требует проведения специального испытания.

Для простейших испытаний катушек индуктивности иногда используют электронно-лучевые осциллографы.

Индикация короткозамкнутых витков

Проверка на отсутствие короткого замыкания чаще всего производится помещением испытуемой катушки вблизи другой катушки, входящей в состав колебательного контура автогенератора, наличие колебаний в котором и их уровень контролируются с помощью телефонов, стрелочного, электронно-светового или иного индикатора. Катушка с короткозамкнутыми витками будет вносить в связанную с нею цепь активные потери и реактивное сопротивление, уменьшающие добротность и действующую

индуктивность цепи; в результате произойдёт ослабление колебаний автогенератора или даже их срыв.

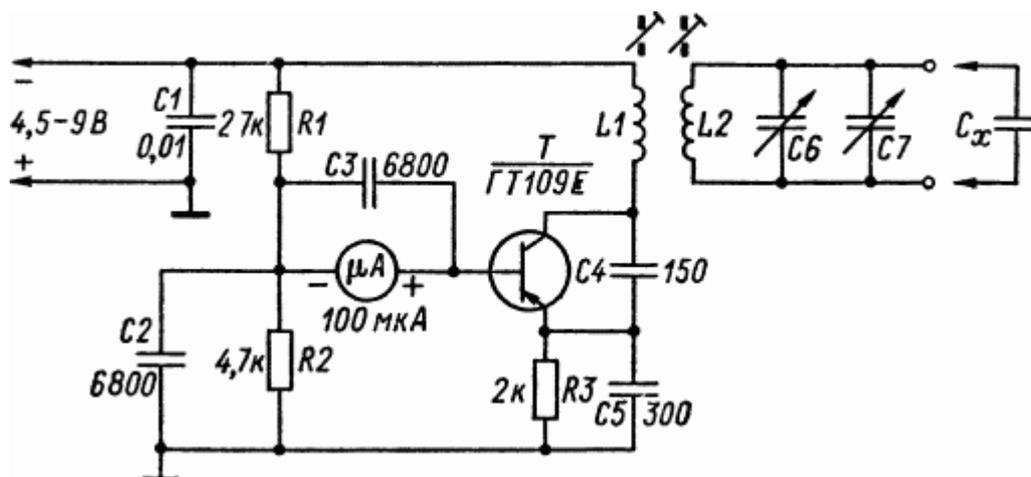


Рис. 2. Схема резонансного измерителя ёмкостей, использующего явление поглощения.

Чувствительным прибором подобного типа может служить, например, генератор, выполненный по схеме на рис. 2. Катушка с короткозамкнутыми витками, поднесённая к контурной катушке L_1 , будет вызывать заметное возрастание показаний микроамперметра μA .

Испытательная цепь может представлять собой настроенный на частоту источника питания последовательный контур; напряжение на элементах этого контура, контролируемое каким-либо индикатором, под влиянием короткозамкнутых витков проверяемой катушки будет уменьшаться вследствие расстройки и возрастания потерь. Возможно также использование уравновешенного моста переменного тока, одним из плеч которого в этом случае должна являться катушка связи (вместо катушки L_x); короткозамкнутые витки испытуемых катушек будут вызывать нарушение равновесия моста.

Чувствительность испытательного прибора зависит от степени связи между катушкой измерительной цепи и проверяемой катушкой, с целью её повышения желательно обе катушки насаживать на общий сердечник, который в этом случае выполняется разомкнутым.

При отсутствии специальных приборов для проверки высокочастотных катушек можно использовать радиоприёмник. Последний настраивают на какую-либо хорошо слышимую станцию, после чего вблизи одной из его действующих контурных катушек, например магнитной антенны (желательно на одной оси с нею), помещают проверяемую катушку. При наличии короткозамкнутых витков громкость заметно уменьшится. Уменьшение громкости может иметь место и в том случае, если частота

настройки приёмника окажется близкой к собственной частоте испытуемой катушки. Поэтому во избежание ошибки испытание следует повторить при настройке приёмника на другую станцию, достаточно удалённую от первой по частоте.

Измерение индуктивностей методом вольтметра - амперметра

Метод вольтметра - амперметра применяется для измерения сравнительно больших индуктивностей при питании измерительной схемы от источника низкой частоты $F = 50 \dots 1000$ Гц.

Схема измерений представлена на рис. 3, а. Полное сопротивление Z катушки индуктивности рассчитывается по формуле

$$Z = (R^2 + X^2)^{0,5} = U/I$$

на основе показаний приборов переменного тока V_{\sim} и mA_{\sim} . Верхний (по схеме) вывод вольтметра присоединяют к точке a при $Z \ll Z_B$ и к точке b при $Z \gg Z_a$, где Z_B и Z_a - полные входные сопротивления соответственно вольтметра V_{\sim} и миллиамперметра mA_{\sim} . Если потери малы, т. е. $R \ll X = 2\pi F L_x$, то измеряемая индуктивность определяется формулой

$$L_x \approx U / (2\pi F I).$$

Катушки большой индуктивности с целью уменьшения их габаритов обычно изготавливаются со стальными сердечниками. Наличие последних приводит к нелинейной зависимости магнитного потока от тока, протекающего через катушку. Эта зависимость становится особенно сложной для катушек, работающих с подмагничиванием, через обмотки которых протекают одновременно переменный и постоянный токи. Поэтому индуктивность катушек со стальными сердечниками зависит от значения и характера протекающего через них тока. Например, при большой постоянной составляющей тока происходит магнитное насыщение сердечника и индуктивность катушки резко уменьшается. Кроме того, проницаемость сердечника и индуктивность катушки зависят от частоты переменного тока. Отсюда следует, что измерение индуктивности катушек со стальными сердечниками необходимо проводить в условиях, близких к их рабочему режиму. В схеме на рис. 3, а это обеспечивается при дополнении её цепью постоянного тока, показанной штриховой линией. Необходимый ток подмагничивания устанавливается реостатом R_2 по показаниям миллиамперметра постоянного тока mA . Разделительный конденсатор C и дроссель Dr разделяют цепи питания постоянного и переменного тока, устраняя взаимное влияние между ними. Приборы переменного тока, применяемые в данной схеме, не должны реагировать на постоянные

составляющие измеряемого ими тока или напряжения; для вольтметра V_{\sim} это легко обеспечивается посредством включения последовательно с ним конденсатора ёмкостью в несколько микрофарад.

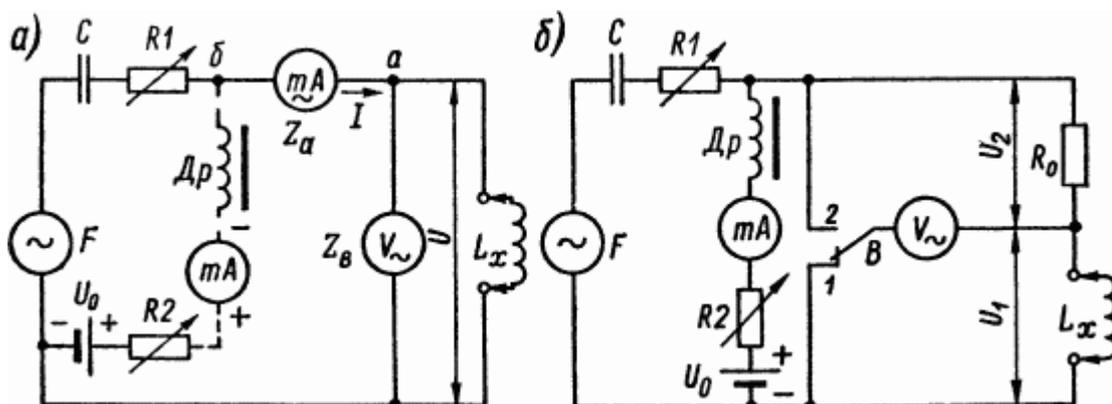


Рис. 3. Схемы измерения индуктивности методом вольтметра - амперметра.

Другой вариант измерительной схемы, позволяющий обойтись без миллиамперметра переменного тока, приведён на рис. 3, б. В этой схеме реостатами R1 и R2 (их можно заменить потенциометрами, включёнными параллельно источникам питания) устанавливают требуемый режим испытания по переменному и постоянному току. В положении 1 переключателя B вольтметр V_{\sim} измеряет переменное напряжение U_1 на катушке L_x . При переводе переключателя в положение 2 фактически контролируется значение переменного тока в цепи по падению напряжения U_2 на опорном резисторе R_0 . Если потери в катушке малы, т. е. $R \ll 2 \cdot \pi \cdot F \cdot L_x$, то измеряемую индуктивность можно рассчитать по формуле

$$L_x \approx U_1 \cdot R_0 / (2 \cdot \pi \cdot F \cdot U_2).$$

Резонансные измерители индуктивностей

Резонансные методы позволяют измерять параметры высокочастотных катушек индуктивности в диапазоне их рабочих частот. Схемы и способы измерений аналогичны применяемым при резонансных измерениях ёмкостей конденсаторов с учётом, конечно, специфики объектов измерений.

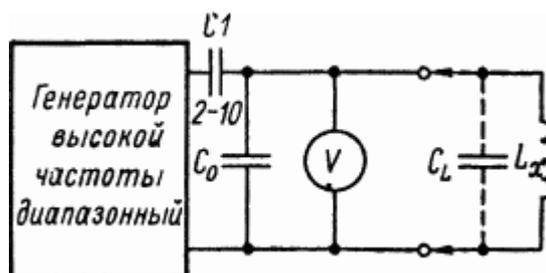


Рис. 7. Резонансная схема измерения индуктивностей с отсчётом по шкале генератора

Исследуемая катушка индуктивности может включаться в высокочастотный генератор как элемент его колебательного контура; В этом случае индуктивность L_x определяется на основе показаний частотомера, измеряющего частоту колебаний генератора.

Чаще катушку L_x подключают к измерительному контуру, связанному с источником высокочастотных колебаний, например генератором (рис. 2) или входной цепью радиоприёмника, настроенного на частоту радиовещательной станции (рис. 8). Предположим, что измерительный контур состоит из катушки связи L с подстроечным сердечником и конденсатора переменной ёмкости C_0 .

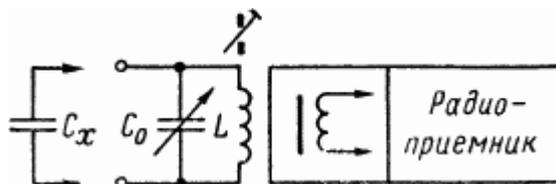


Рис. 8. Схема измерения ёмкостей резонансным методом с помощью радиоприёмника

Тогда применима следующая методика измерений. Измерительный контур при максимальной ёмкости C_{01} конденсатора C_0 регулировкой индуктивности L настраивают в резонанс с известной частотой f источника колебаний. Затем в контур последовательно с его элементами включают катушку L_x , после чего резонанс восстанавливают уменьшением ёмкости C_0 до некоторого значения C_{02} . Измеряемую индуктивность рассчитывают по формуле

$$L_x = [1/(2 \cdot \pi \cdot f)^2] \cdot (C_{01} - C_{02}) / (C_{01} C_{02}).$$

В широкодиапазонных резонансных измерителях измерительный контур составляется из опорного конденсатора C_0 и исследуемой катушки L_x . Контур связывают индуктивно, а чаще через конденсатор C_1 небольшой ёмкости (рис. 7 и 9) с высокочастотным генератором. Если известна частота колебаний генератора f_0 , соответствующая резонансной настройке контура, то измеряемая индуктивность определяется формулой

$$L_x = 1 / [(2 \cdot \pi \cdot f_0)^2 \cdot C_0]. \quad (3)$$

Возможны два варианта построения измерительных схем. В схемах первого варианта (рис. 7) конденсатор C_0 берётся постоянной ёмкости, а резонанс достигается изменением настройки генератора, работающего в плавном диапазоне частот. Каждому значению L_x отвечает определённая резонансная частота

$$f_0 = 1/(2*\pi*(L_x C_x)^{0,5}), \quad (4)$$

поэтому контурный конденсатор генератора можно снабдить шкалой с отсчётом в значениях L_x . При широком диапазоне измеряемых индуктивностей генератор должен иметь несколько частотных поддиапазонов с отдельными шкалами для оценки L_x на каждом поддиапазоне. Если в приборе используется генератор, имеющий шкалу частот, то для определения L_x по значениям f_0 и C_0 можно составить таблицы или графики.

Для исключения влияния собственной ёмкости C_L катушки на результаты измерений ёмкость C_0 должна быть большой; с другой стороны, ёмкость C_0 желательно иметь малой, чтобы обеспечить при измерении малых индуктивностей достаточно большое отношение L_x/C_0 , необходимое для получения заметных показаний индикатора при резонансе. Практически берут $C_0 = 500...1000$ пФ.

Если высокочастотный генератор работает в ограниченном диапазоне частот, не разбитом на поддиапазоны, то для расширения пределов измерения индуктивностей применяют несколько переключаемых конденсаторов C_0 ; если их ёмкости различаются в 10 раз, то на всех пределах оценка L_x может производиться по одной и той же шкале генератора с использованием множителей к ней, кратных 10. Однако такая схема имеет существенные недостатки.

Измерение относительно больших индуктивностей, имеющих значительную собственную ёмкость C_L , происходит на пределе с малой ёмкостью C_0 , и, наоборот, измерение малых индуктивностей производится на пределе с большой ёмкостью C_0 при невыгодном отношении L_x/C_0 и малом резонансном напряжении на контуре.

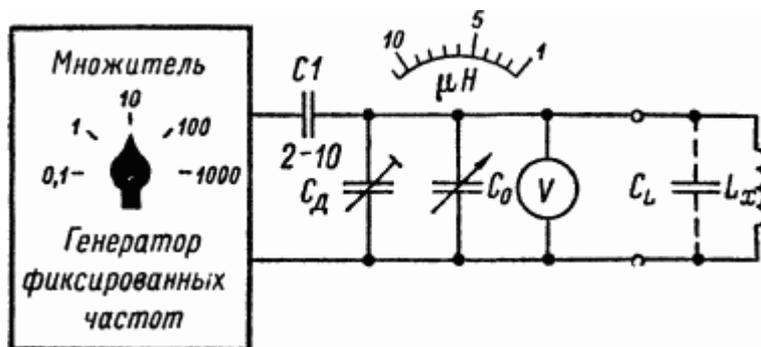


Рис. 9. Резонансная схема измерения индуктивностей с отсчётом по шкале опорного конденсатора

В резонансных измерителях, схемы которых выполнены по второму варианту (рис. 9), индуктивности измеряются при фиксированной частоте генератора f_0 . Измерительный контур настраивают в резонанс с частотой генератора с

помощью конденсатора переменной ёмкости C_0 , отсчёт по шкале которого в соответствии с формулой (3) может производиться непосредственно в значениях L_x . Если обозначить через C_M и C_H соответственно максимальную и начальную ёмкости контура, а через L_M и L_H - максимальное и наименьшее значения измеряемых индуктивностей, то пределы измерения прибора будут ограничиваться отношением

$$L_M/L_H = C_M/C_H.$$

Типовые конденсаторы переменной ёмкости имеют перекрытие по ёмкости, равное примерно 30. С целью уменьшения погрешности при измерении больших индуктивностей начальную ёмкость C_H контура увеличивают посредством включения в контур дополнительного конденсатора C_d , обычно подстроечного типа.

Если обозначить через ΔC_0 наибольшее изменение ёмкости конденсатора C_0 , равное разности его ёмкостей при двух крайних положениях ротора, то для получения выбранного отношения L_M/L_H контур должен иметь начальную ёмкость

$$C_H = \Delta C_0 : (L_M/L_H - 1). \quad (5)$$

Например, при $\Delta C_0 = 480$ пФ и отношении $L_M/L_H = 11$ получаем $C_H = 48$ пФ. Если значения C_H и L_M/L_H при расчёте являются исходными данными, то необходимо применить конденсатор C_0 , имеющий разность ёмкостей

$$\Delta C_0 \geq C_H(L_M/L_H - 1).$$

При больших значениях C_H и L_M/L_H может потребоваться применение двойного или строенного блока конденсаторов переменной ёмкости.

Частота f_0 , на которой должен работать генератор, определяется формулой (4) при подстановке в неё значений L_M и C_H или L_H и C_M . Для расширения общего диапазона измерений предусматривают работу генератора на нескольких переключаемых фиксированных частотах. Если соседние частоты генератора различаются в $10^{0.5} \approx 3,16$ раза, то на всех пределах можно использовать общую шкалу индуктивностей конденсатора C_0 с множителями к ней, кратными 10 и определяемыми установкой переключателя частот (рис. 9). Плавное перекрытие всего диапазона измеряемых индуктивностей обеспечивается при отношении ёмкостей контура $C_M/C_H \geq 10$. Если конденсатор C_0 логарифмического типа, то шкала индуктивностей близка к линейной.

Вместо генератора фиксированных частот можно применить измерительный генератор с плавным изменением частоты, которую устанавливают в зависимости от требуемого предела измерения индуктивностей.

Резонансные схемы измерения индуктивностей и ёмкостей часто совмещаются в одном приборе, поскольку они имеют ряд идентичных элементов и сходную методику измерений.

Пример. Рассчитать резонансный измеритель индуктивностей, работающий по схеме на рис. 9, на диапазон измерений 0,1 мкГн - 10 мГн при использовании сдвоенного блока переменных конденсаторов, ёмкость секций которого можно изменять от 15 до 415 пФ.

Решение

1. Наибольшее изменение ёмкости контура $\Delta C_0 = 2 \cdot (415 - 15) = 800$ пФ.
2. Выбираем отношение $L_M/L_H = 11$. Тогда прибор будет иметь пять пределов измерений: 0,1-1,1; 1-11; 10-110; 100-1100 мкГн и 1-11 мГн.
3. Согласно (5) контур должен иметь начальную ёмкость $C_H = 800/10 = 80$ пФ. Учитывая начальную ёмкость блока конденсаторов, равную 30 пФ, включаем в контур подстроечный конденсатор C_D с максимальной ёмкостью 50...80 пФ.
4. Максимальная ёмкость контура $C_M = C_H + \Delta C_0 = 880$ пФ.
5. Согласно (4) на первом пределе измерений генератор должен работать на частоте
 $f_{01} = 1/(2 \cdot \pi \cdot (L_H C_M)^{0.5}) \approx 0,16 \cdot (0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 880 \cdot 10^{-12}) \approx 17$ МГц.
Для других пределов измерений находим соответственно: $f_{02} = 5,36$ МГц;
 $f_{03} = 1,7$ МГц; $f_{04} = 536$ кГц; $f_{05} = 170$ кГц.
6. Шкалу индуктивностей выполняем для предела измерений 1-11 мкГн.

Измерители добротности (куметры)

Приборы, предназначенные для измерения добротности элементов высокочастотных цепей, часто называют куметрами. Действие куметров основано на использовании резонансных явлений, что позволяет измерение добротности сочетать с измерением индуктивности, ёмкости, собственной резонансной частоты и ряда других параметров испытуемых элементов.

Куметр, упрощённая схема которого приведена на рис. 10, содержит три основных компонента: генератор высокой частоты, измерительный контур и индикатор резонанса. Генератор работает в широком, плавно перекрываемом диапазоне частот, например от 50 кГц до 50 МГц; это позволяет многие измерения проводить на рабочей частоте испытуемых элементов.

Исследуемая катушка индуктивности L_x , R_x через зажимы 1 и 2 включается в измерительный контур последовательно с опорным конденсатором

переменной ёмкости C_0 и конденсатором связи C_2 ; ёмкость последнего должна удовлетворять условию: $C_2 \gg C_{0,м}$, где $C_{0,м}$ - максимальная ёмкость конденсатора C_0 . Через ёмкостный делитель C_1 , C_2 с большим коэффициентом деления

$$N = (C_2 + C_1)/C_1$$

в контур вводится от генератора опорное напряжение U_0 требуемой высокой частоты f . Возникающий в контуре ток создаёт падение напряжения U_C на конденсаторе C_0 , которое измеряется высокочастотным вольтметром V_2 .

Входное сопротивление вольтметра V_2 в пределах рабочих частот куметра должно быть очень велико. При достаточно высокой чувствительности вольтметр подключают к измерительному контуру через ёмкостный делитель напряжения, входную ёмкость которого учитывают как компонент начальной ёмкости конденсатора C_0 . Поскольку все конденсаторы, входящие в состав измерительного контура, имеют весьма малые потери, то можно считать, что активное сопротивление контура в основном определяется сопротивлением потерь R_x исследуемой катушки.

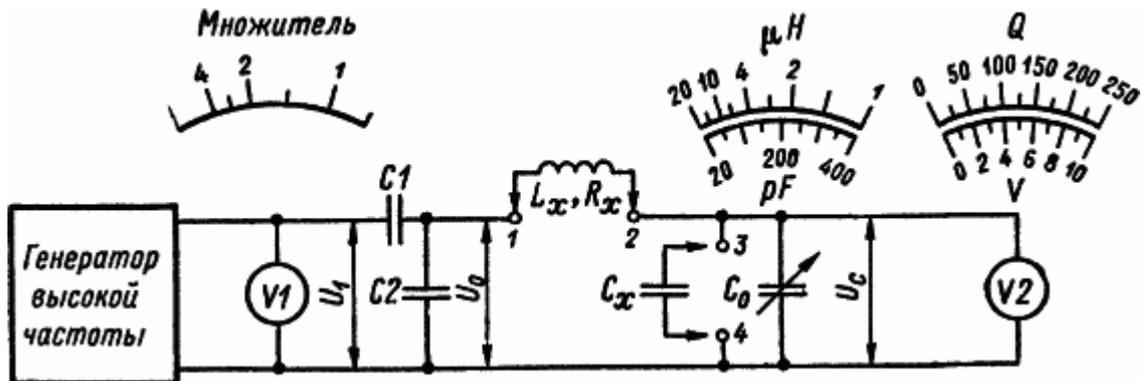


Рис. 10. Упрощённая схема куметра

Изменением ёмкости конденсатора C_0 измерительный контур настраивают в резонанс с частотой генератора f по максимальным показаниям вольтметра V_2 . При этом в контуре будет протекать ток $I_p \approx U_0/R_x$, создающий на конденсаторе падение напряжения

$$U_C = I_p / (2 * \pi * f * C_0) \approx U_0 / (2 * \pi * f * C_0 R_x).$$

Учитывая, что при резонансе $1 / (2 * \pi * f * C_0) = 2 * \pi * f * L_x$, находим

$$U_C \approx U_0 (2 * \pi * f * L_x) / R_x = U_0 Q_L,$$

где $Q_L = (2 * \pi * f * L_x) / R_x$ есть добротность катушки L_x при частоте f . Следовательно, показания вольтметра V_2 пропорциональны добротности Q_L . При фиксированном напряжении U_0 шкалу вольтметра можно линейно

градуировать в значениях $Q_L \approx U_C/U_o$. Например, при $U_o = 0,04$ В и пределе измерений вольтметра $U_n = 10$ В напряжениям на входе вольтметра 2, 4, 6, 8 и 10 В будут соответствовать добротности Q_L , равные 50, 100, 150, 200 и 250.

Номинальное напряжение U_o устанавливают регулировкой режима выходного каскада генератора. Контроль этого напряжения осуществляют по показаниям высокочастотного вольтметра $V1$, измеряющего напряжение $U_1 = U_o N$ на выходе генератора. Например, если шкала добротностей вольтметра $V2$ выполнена при напряжении $U_o = 0,04$ В, а коэффициент деления $N = 20$, то на выходе генератора должно поддерживаться напряжение $U_x = 0,04 * 20 = 0,8$ В. Предел измерений вольтметра $V1$ должен несколько превышать расчётное значение напряжения U_1 и равен, например, 1 В.

Повышение верхнего предела измерения добротностей достигается уменьшением напряжения U_o до значения, в несколько раз меньшего номинального. Предположим, что при напряжении $U_o = 0,04$ В обеспечивается непосредственный отсчёт добротностей до значения $Q_L = 250$. Если же уменьшить напряжение U_o в два раза, до 0,02 В, то стрелка вольтметра $V2$ будет отклоняться на всю шкалу при добротности $Q_L = U_n/U_o = 10/0,02 = 500$. Соответственно для повышения верхнего предела измерений в четыре раза, до значения $Q_L = 1000$, измерения следует проводить при напряжении $U_o = 40/4 = 10$ мВ.

Уменьшить напряжение U_o до требуемого значения можно двумя способами: изменением коэффициента деления N посредством переключения конденсаторов C_1 различных номиналов либо регулировкой выходного напряжения U_1 генератора. Для удобства измерения больших добротностей вольтметр $V1$ (или переключатель коэффициентов деления) снабжают шкалой (маркировкой), отсчёт по которой, характеризующий степень уменьшения напряжения U_o по сравнению с его номинальным значением, является множителем к шкале добротностей вольтметра $V2$.

В куметрах промышленного изготовления погрешность измерения добротности составляет 5-10%. Она увеличивается при испытании катушек с высокой добротностью и большой собственной ёмкостью. Погрешность возрастает и с повышением частоты вследствие уменьшения входного сопротивления вольтметров и усиления влияния паразитных наводок на измерительный контур. Для уменьшения этих наводок генератор тщательно экранируют, весь прибор в целом также помещают в экран; испытываемые элементы присоединяют к прибору жёсткими проводниками, а их экраны надёжно соединяют с металлическим кожухом прибора. Неэкранированные катушки при испытании по возможности удаляют от кожуха прибора.

Для проверки работы куметра и расширения его возможностей используют опорные катушки L_o с известными индуктивностью и добротностью. Обычно

имеется комплект из нескольких сменных катушек L_0 , которые вместе с конденсатором переменной ёмкости C_0 обеспечивают резонансную настройку измерительного контура в пределах всего диапазона рабочих частот генератора.

При измерении **добротности катушек индуктивности** Q_L за 10-15 мин до начала работы включают питание прибора и настраивают генератор на требуемую частоту. После прогрева производят установку нуля вольтметров $V1$ и $V2$. Испытуемую катушку подключают к зажимам 1 и 2. Постепенным повышением выходного напряжения генератора добиваются отклонения стрелки вольтметра $V1$ до отметки номинала. Конденсатором C_0 настраивают контур в резонанс с частотой генератора. Если при этом стрелка вольтметра $V2$ заходит за шкалу, выходное напряжение генератора уменьшают. Значение добротности Q_L определяют как произведение отсчётов по шкале добротностей вольтметра $V2$ и по шкале множителей вольтметра $V1$.

Добротность колебательного контура Q_K измеряют в том же порядке при подключении катушки контура к зажимам 1 и 2, а его конденсатора - к зажимам 3 и 4. При этом конденсатор C_0 устанавливают в положение минимальной ёмкости. Если конденсатор исследуемого контура имеет переменную ёмкость, то им производят настройку контура в резонанс на требуемую частоту генератора f ; если этот конденсатор постоянный, то резонансную настройку осуществляют изменением частоты генератора.

Измерение куметром **индуктивности катушек** L_x производят способом, рассмотренным выше в связи со схемой на рис. 9. Генератор настраивают на опорную частоту, выбираемую согласно таблице в зависимости от ожидаемого значения L_x . Испытуемую катушку подключают к зажимам 1 и 2. Измерительный контур настраивают в резонанс конденсатором C_0 , по специальной шкале которого оценивают значение L_x с учётом цены деления, указанной в таблице. Одновременно способом вариации параметров контура можно определить и **собственную ёмкость катушки** C_L . При двух произвольных значениях ёмкостей C_{01} и C_{02} конденсатора C_0 изменением настройки генератора находят резонансные частоты контура f_1 и f_3 . Искомая ёмкость

$$C_L = (C_{02}f_4^2 - C_{01}f_1^2) : (f_1^2 - f_2^2)$$

Измерение куметром ёмкостей выполняют методом замещения. Испытуемый конденсатор C_x присоединяют к зажимам 3 и 4, а к зажимам 1 и 2 подключают одну из опорных катушек L_0 , обеспечивающую резонансную настройку контура в выбранном диапазоне частот. Одновременно можно определить и тангенс угла потерь (добротность) конденсатора:

$$\text{tg } \delta = 1/(2*\pi*f*C_xR_n)$$

(где $R_{\text{п}}$ - сопротивление потерь). Для этого при двух значениях ёмкостей C_{01} и C_{02} , соответствующих резонансным настройкам контура без конденсатора C_x и при подключении последнего, находят добротности контура Q_1 и Q_2 , а затем совершают вычисление по формуле

$$\text{tg } \delta = Q_1 Q_2 / (Q_1 - Q_2) * (C_{01} - C_{02}) / C_{01}$$

При необходимости генератор куметра можно использовать в качестве измерительного генератора, а электронные вольтметры - для измерения напряжений в широком диапазоне частот.

Занятие 26. Измерение параметров конденсаторов

Основными параметрами, характеризующими конденсаторы, являются их электрическая ёмкость и угол потерь.

В электронных устройствах применяются конденсаторы многих типов и различных назначений. Возможные значения их ёмкостей лежат примерно в пределах от 1 пФ до 1000 мкФ. В области высоких и сверхвысоких частот объектами измерений могут также явиться весьма малые межэлектродные ёмкости электронных приборов и паразитные ёмкости между различными элементами схемы (ёмкости монтажа).

Допустимая погрешность измерения ёмкостей конденсаторов зависит от области применения последних. Ёмкость конденсаторов, входящих в состав колебательных систем, должна определяться особенно тщательно, с погрешностью, по крайней мере, 1%. При выборе конденсаторов блокировочных, разделительных, связи и т. п. обычно допускается значительный (до 20-50%) разброс ёмкостей и измерение их можно производить простейшими методами.

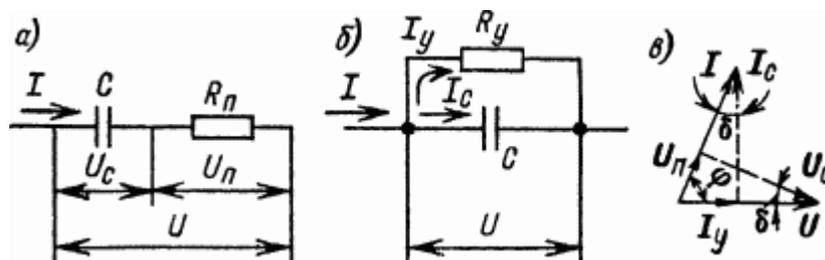


Рис. 1. Эквивалентные схемы (а, б) и векторная диаграмма (в) цепи с конденсатором

В каждом конденсаторе, включённом в электрическую цепь, имеют место потери энергии, возникающие главным образом в материале диэлектрика, а также вследствие несовершенства изоляции между выводами. С учётом потерь эквивалентную схему конденсатора можно представить в двух вариантах: либо в виде ёмкости C , включённой последовательно с

сопротивлением потерь R_n (рис. 1, а), либо в виде той же ёмкости C , шунтированной сопротивлением утечки R_y (рис. 1, б). При переходе от одной эквивалентной схемы к другой для пересчёта значения активного сопротивления пользуются формулой

$$R_y = 1/((2*\pi*f*C)^2 * R_n) ,$$

где f - частота тока в цепи конденсатора.

Из векторной диаграммы на рис. 1, в, справедливой для обоих вариантов эквивалентных схем, следует, что в цепи с конденсатором из-за наличия потерь фазовый сдвиг φ между током I и напряжением U всегда меньше 90° . Потери в конденсаторе обычно характеризуют углом потерь $\delta = 90^\circ - \varphi$, определяемым в соответствии с обозначениями на рис. 1 из формулы

$$\text{tg } \delta = U_n/U_c = I_y/I_c = 2*\pi*f*C*R_n = 1/(2*\pi*f*C*R_y).$$

Потери в конденсаторе иногда выражают коэффициентом мощности $\cos \varphi$ или током утечки I_y , определяемым при стандартных условиях. Для большинства конденсаторов потери очень малы ($\text{tg } \delta < 0,001$), поэтому можно считать

$$\text{tg } \delta \approx \delta \approx \sin \delta = \sin (90^\circ - \varphi) = \cos \varphi .$$

Наибольшие потери имеют место в электролитических и бумажных конденсаторах, применение которых в основном ограничивается областью низких частот.

При некоторых методах измерений потери в конденсаторе определяются одновременно с измерением его ёмкости. При этом следует иметь в виду, что с повышением частоты потери заметно возрастают (что соответствует увеличению значения R_n и уменьшению R_y), тогда как ёмкость C практически не зависит от частоты. На очень высоких частотах возможно заметное возрастание действующей (измеренной по приборам) ёмкости конденсаторов из-за влияния индуктивности обкладок и подводящих проводов.

Параметры конденсатора (C , R_n , R_y , δ) зависят от внешних условий его работы - температуры, влажности, атмосферного давления, а также от приложенного к нему напряжения. Поэтому в ответственных случаях испытание конденсаторов осуществляется не только на их рабочих частотах, но и в условиях, близких к эксплуатационным.

Простейшие проверки конденсаторов можно производить и без специальных измерительных приборов. С помощью омметра или пробника легко обнаружить короткое замыкание или пробой между обкладками

конденсатора (следует лишь учитывать, что пробой иногда проявляется только при значительном напряжении на конденсаторе, близком к его рабочему напряжению). Проверка на обрыв неэлектролитических конденсаторов ёмкостью от 0,01 мкФ и выше проще всего производится включением конденсатора в цепь переменного тока, например осветительную или трансляционную, последовательно с какой-либо нагрузкой - лампой накаливания, громкоговорителем и т. п. Нормальное или несколько ослабленное свечение лампы или звучание радиопередачи будет свидетельствовать об отсутствии обрыва.

Конденсатор, сопротивление утечки которого велико, способен удерживать длительное время без заметного уменьшения полученный им заряд; это позволяет простыми средствами оценить качество конденсаторов ёмкостью более 0,01 мкФ. При подключении к такому конденсатору омметра стрелка измерителя последнего за счёт тока заряда несколько отклонится, а затем (при большом сопротивлении утечки) возвратится в исходное или близкое к нему положение. Последующие кратковременные подключения к конденсатору омметра, повторяемые с интервалом в несколько секунд, не должны вызывать отклонения стрелки измерителя. При малом сопротивлении утечки заметное отклонение стрелки будет наблюдаться при каждом подключении омметра. Для проверки на утечку конденсаторов ёмкостью более 100 пФ можно применить головные телефоны, соединённые последовательно с низковольтной батареей. При малом сопротивлении утечки каждое подключение индикатора к конденсатору вызывает щелчок в телефонах, тогда как при хорошем конденсаторе щелчок прослушивается лишь при первом подключении. Измерение значения сопротивления утечки (на постоянном токе) может производиться индукторными или электронными мегомметрами.

Электролитические конденсаторы следует подсоединять к испытательному прибору с учётом полярности включения источника питания. При измерении сопротивления утечки таких конденсаторов рекомендуется отсчёт производить через 10 мин после их включения под напряжение, когда процесс заряда можно считать завершившимся.

Для измерения параметров конденсаторов применяются методы вольтметра - амперметра, непосредственного измерения при помощи микрофарадметров, сравнения (замещения), мостовой и резонансный.

Напряжение, приложенное к конденсатору при любом его испытании, не должно превосходить допустимого рабочего напряжения. Если в процессе испытания конденсатор заряжается до значительного напряжения, необходимо производить его разряд по окончании испытания (например, с помощью кнопки, включённой параллельно конденсатору).

Измерение ёмкостей методом вольтметра - амперметра

Метод вольтметра - амперметра применяют для измерения сравнительно больших ёмкостей. Питание измерительной схемы обычно производят от источника тока низкой частоты: $F = 50 \dots 1000$ Гц, поэтому оказывается возможным пренебречь активными потерями в конденсаторах, а также влиянием реактивных параметров измерительных приборов и паразитными связями.

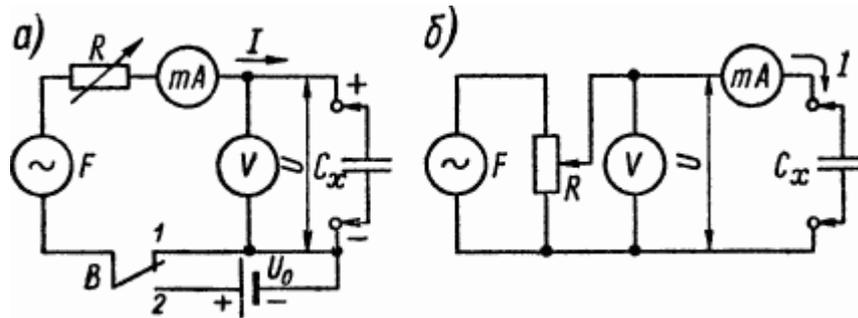


Рис. 2. Схемы измерения ёмкостей методом вольтметра-амперметра

Схема измерений представлена в двух вариантах на рис. 2. Проверяемый конденсатор C_x включается в цепь переменного тока известной частоты F , и реостатом (или потенциометром) R устанавливают требуемое по условиям испытания либо удобное для отсчёта значение тока I или напряжения U . По показаниям приборов переменного тока V и mA можно рассчитать полное сопротивление конденсатора

$$Z = (R^2 + X^2)^{0,5} = U/I, \quad (1)$$

где R и $X = 1/(2\pi F C_x)$ - соответственно его активная и реактивная составляющие.

Если потери малы, т. е. $R \ll X$, то измеряемая ёмкость определяется формулой

$$C_x = I/(2\pi F U). \quad (2)$$

Схема на рис. 2, а, даёт достаточно точные результаты при измерении больших ёмкостей, сопротивление которых X значительно меньше входного сопротивления вольтметра V . Схема на рис. 2, б, применяется для измерения меньших ёмкостей, сопротивление которых в десятки и более раз превышает сопротивление миллиамперметра mA . Предположим, что требуется измерять ёмкости в пределах $0,1-1$ мкФ на частоте 50 Гц при наличии миллиамперметра переменного тока на 3 мА. Так как сопротивление этих ёмкостей $X = 3200 \dots 32000$ Ом во много раз больше любого возможного сопротивления миллиамперметра, то измерение следует проводить по схеме на рис. 2, б, при напряжении питания $U \geq I \cdot X = 0,003 \cdot 3200 \approx 10$ В.

Схема на рис. 2, а может быть применена и для измерения ёмкостей электролитических конденсаторов. Если напряжение питания не превышает 1-2 В, то измерение допустимо проводить при установке переключателя *B* в положение 1. При больших переменных напряжениях возможно повреждение конденсаторов вследствие разложения электролита. Эта опасность устраняется, если переключатель *B* установить в положение 2. При этом последовательно с источником переменного тока частоты *F* включается источник постоянного тока, напряжение на зажимах которого U_0 должно превышать амплитуду переменного напряжения. Тогда в цепи будет действовать пульсирующее напряжение, безопасное для конденсатора при условии правильной полярности его включения в схему. Пульсирующее напряжение можно также получить при последовательном включении в измерительную схему диода. Во всех случаях вольтметр *V* и миллиамперметр *mA* должны измерять лишь переменные составляющие напряжения и тока, для чего они выполняются с закрытой схемой входа.

Микрофарадметры с последовательной и параллельной схемами измерения

Приборы, у которых оценка измеряемых ёмкостей производится непосредственно по шкале стрелочного измерителя, называются микрофарадметрами. Действие этих приборов может базироваться на использовании зависимости тока или напряжения в цепи, питаемой источником переменного тока, от значения измеряемой ёмкости включённого в неё конденсатора. Схемы таких приборов во многом аналогичны схемам омметров и мегомметров.

Микрофарадметры могут иметь последовательную или параллельную схему измерения. Последовательная схема (рис. 3) применяется для измерения ёмкостей средних значений (примерно от 100 пФ до 10 мкФ). Напряжение *U* частоты *F* подводится от источника к цепи, в которой последовательно включены конденсатор опорной ёмкости C_0 , испытуемый конденсатор C_x и микро- (или милли) амперметр переменного тока *mA*. Перед началом измерений при коротком замыкании входных зажимов (что эквивалентно $C_x = \infty$) реостатом *R* устанавливают в цепи микроамперметра *mA* ток полного отклонения I_n ; это обеспечивается при выборе ёмкости опорного конденсатора

$$C_0 \geq I_n(2*\pi*F*U). \quad (3)$$

При подключении конденсатора C_x ток через микроамперметр снизится до некоторого значения I_x , тем меньшего, чем меньше ёмкость C_x , что позволяет измеритель снабдить шкалой с отметками значений измеряемых ёмкостей.

Градуировочная характеристика прибора не зависит от частоты и формы кривой напряжения питания и приближённо определяется формулой

$$I_x/I_n \approx C_x/(C_0 + C_x), \quad (4)$$

идентичной формуле, определяющей градуировочную характеристику параллельных схем омметров. Аналогично изменяется и погрешность измерений: наименьшая в середине шкалы, она возрастает к её краям. Середине шкалы соответствует ёмкость $C_x \approx C_0$, а диапазон измерений ограничивается значениями $0,1 C_0$ и $10 C_0$. Необходимое напряжение питания определяется из условия

$$U \geq I_n/(2 \cdot \pi \cdot F \cdot C_0).$$

Например, при $I_n = 1$ мА, $F = 50$ Гц и $C_0 = 20000$ пФ источник питания должен обеспечивать напряжение $U \geq 160$ В, но если частота колебаний источника $F = 1000$ Гц, то потребное напряжение питания снижается до 8-10 В.

Для измерения ёмкостей в широком диапазоне микрофарадметр должен иметь несколько пределов измерений, которые целесообразно задавать средними значениями шкалы C_0 при переходном коэффициенте N , кратном 10.

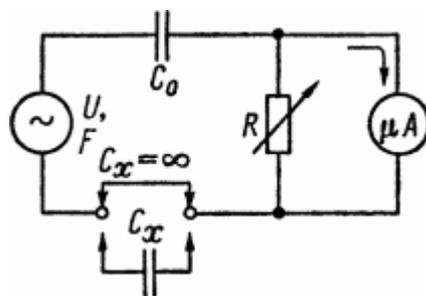


Рис. 3. Последовательная схема микрофарадметра с измерителем тока

Наиболее удобным источником питания микрофарадметра является сеть переменного тока частотой 50 Гц, позволяющая с помощью малогабаритного трансформатора получить любое требуемое напряжение. Высокое значение последнего необходимо лишь на пределах с самыми малыми ёмкостями C_0 . Если ограничить максимальное напряжение питания значением 200 В, то при наличии выпрямительного микроамперметра mA на 100 мкА можно получить, согласно (3), ёмкость C_0 до 1600 пФ. Высоковольтное питание допустимо включать лишь после разряда конденсатора C_0 и присоединения к схеме испытуемого конденсатора. Для замыкания входных зажимов с целью установки стрелки измерителя на отметку «∞» желательно использовать кнопку. Конденсаторы C_0 и C_x должны быть рассчитаны на рабочее напряжение, не меньшее испытательного. Для предотвращения повреждения

измерителя в случае пробоя конденсатора C_0 , последний целесообразно составлять из двух последовательно включённых конденсаторов, каждый ёмкостью $2C_0$. Возможно также включение в цепь питания ограничительного резистора с сопротивлением, в 5-10 раз меньшим ёмкостного сопротивления конденсатора C_0 .

Для расширения диапазона измерений в сторону больших значений C_0 в начале обычно уменьшают в N раз напряжение питания (пока оно не достигнет единиц вольт), используя отводы от обмоток силового трансформатора или с помощью резистивного делителя напряжения. Переход к пределам с ещё большим значением C_0 может сопровождаться понижением чувствительности индикатора посредством его шунтирования, подобно тому, как это делается в многопредельных омметрах. Верхний предел измеряемых ёмкостей обычно не превосходит 1-10 мкФ, поскольку при сопротивлении конденсатора C_0 , сравнимым с внутренним сопротивлением индикатора и цепи питания, сильно возрастает погрешность измерений.

При расширении диапазона измерений в сторону малых значений C_0 для получения приемлемых значений напряжения питания U схему приходится питать от внутреннего или внешнего генератора - источника напряжения повышенной частоты F в тысячи герц. При этом необходимо принимать меры к устранению влияния собственных ёмкостей схемы и монтажа.

Схема микрофарадметра по рис. 3 будет действовать и при замене опорного конденсатора C_0 на опорный резистор R_0 . В этом случае выбранное среднее значение C_0 шкалы измерения ёмкостей будет достигаться при сопротивлении

$$R_0 \approx (4 \cdot U^2 / I_{\text{п}}^2 - 1 / (2 \cdot \pi \cdot F \cdot C_0)^2)^{0,5}$$

Такой прибор можно одновременно использовать и как омметр с последовательной схемой для приближённого измерения (на частоте F) активных сопротивлений при условии выполнения отсчёта по специальной шкале, сходной со шкалой ёмкостей, но обратного расположения.

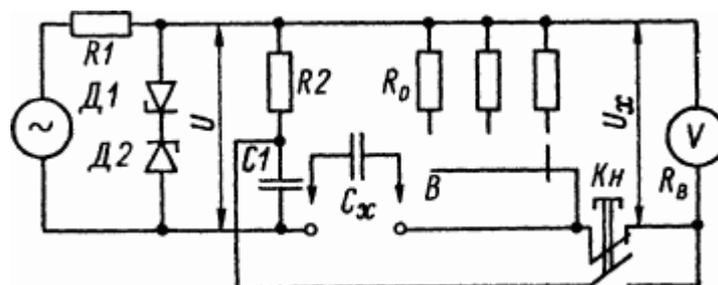


Рис. 4. Последовательная схема многопредельного микрофарадметра с измерителем напряжения

При наличии электронного вольтметра переменного тока с большим входным сопротивлением $R_{в}$ за основу микрофарадметра может быть принята схема, приведённая на рис. 4. Переменное напряжение U , стабилизированное цепочкой $R1, D1, D2$ и равное примерно пределу измерения $U_{п}$ вольтметра V , при замыкании входных зажимов воздействует на вольтметр. Регулировкой чувствительности последнего добиваются отклонения стрелки его измерителя до конца шкалы. При включении в схему испытуемого конденсатора C_x образуется делитель напряжения R_0, C_x , с которого к вольтметру подводится напряжение U_x , тем меньшее, чем меньше ёмкость C_x . Выбранное среднее значение C_0 шкалы ёмкостей будет достигаться при сопротивлении $R_0 \approx 1/(11 \cdot F \cdot C_0)$. Переключением резисторов R_0 различных номиналов осуществляется смена пределов измерений ёмкостей. Минимально возможное значение ёмкости C_0 ограничивается предельно допустимым значением сопротивления $R_0 \approx 0,1 R_{в}$. Например, при $R_{в} = 1 \text{ МОм}$ и частоте $F = 50 \text{ Гц}$ получаем ёмкость $C_0 \approx 1/(11 \cdot F \cdot R_{в}) = 1820 \text{ пФ}$.

Микрофарадметр в рассматриваемом режиме его работы имеет крайние отметки шкалы ёмкостей «0» и «∞». Однако если использовать в приборе чувствительный милливольтметр с пределом измерения $U_{п} \ll U$, допускающий кратковременную случайную перегрузку до напряжения, равного U , то верхние пределы измерения прибора могут быть ограничены выбранными значениями ёмкостей $C_{п}$, которым должны соответствовать сопротивления

$$R_0 \approx U_{п} / (U \cdot 2 \cdot \pi \cdot F \cdot C_{п}) ;$$

при этом значительно расширяется рабочий участок шкалы. В данном случае при допустимом сопротивлении $R_{в} = 1 \text{ МОм}$, частоте $F = 50 \text{ Гц}$ и отношении напряжений $U_{п}/U = 1/30$ получаем $C_{п} \approx 100 \text{ пФ}$, что позволяет производить измерение ёмкостей от 10 пФ и более. Если порядок измеряемой ёмкости C_x неизвестен, то переключателем B следует первоначально установить предел измерений наибольших ёмкостей, при котором возможная перегрузка вольтметра ограничивается из-за возрастания падения напряжения на резисторе $R1$.

В микрофарадметре с ограниченными пределами измерения перед началом измерений необходимо производить калибровку прибора. В схеме на рис. 4 для этой цели служит цепочка $R2, C1$. При нажатии кнопки K_n с конденсатора $C1$ на вход вольтметра подаётся напряжение, при котором стрелка его измерителя должна отклоняться до конца шкалы (или до определённой метки на шкале), чего добиваются регулятором чувствительности. Обычно берут $R2$ равным сопротивлению R_0 одного из пределов измерения, а $C1$ равной ёмкости $C_{п}$ того же предела.

На рис. 5, а представлен один из вариантов параллельной схемы микрофарадметра. При свободных входных зажимах (что эквивалентно ёмкости $C_x = 0$) регулировкой чувствительности вольтметра V добиваются отклонения стрелки его измерителя до конца шкалы. Включение в схему конденсатора C_x приводит к тому, что напряжение на вольтметре, первоначально равное U_n , снижается до значения U_x , тем меньшего, чем больше ёмкость C_x . Градуировочная характеристика микрофарадметра определяется формулой

$$U_x/U_n \approx C_0/(C_0 + C_x), \quad (5)$$

аналогичной формуле, определяющей градуировочную характеристику последовательных схем омметров.

Входное сопротивление вольтметра R_B и частота тока питания F ограничивают выбор опорной ёмкости конденсатора C_0 , определяющей среднее значение шкалы, условием

$$C_0 \geq 1,5/(F \cdot R_B).$$

Например, при $R_B = 1$ МОм и $F = 50$ Гц получаем $C_0 \geq 30000$ пФ, т. е. прибор оказывается пригодным для измерения лишь сравнительно больших ёмкостей (не электролитических!) При высокочастотном источнике питания возможно снижение допустимых значений C_0 до сотен пикофард, однако погрешность измерений может оказаться большой, если не учитывать входную ёмкость вольтметра.

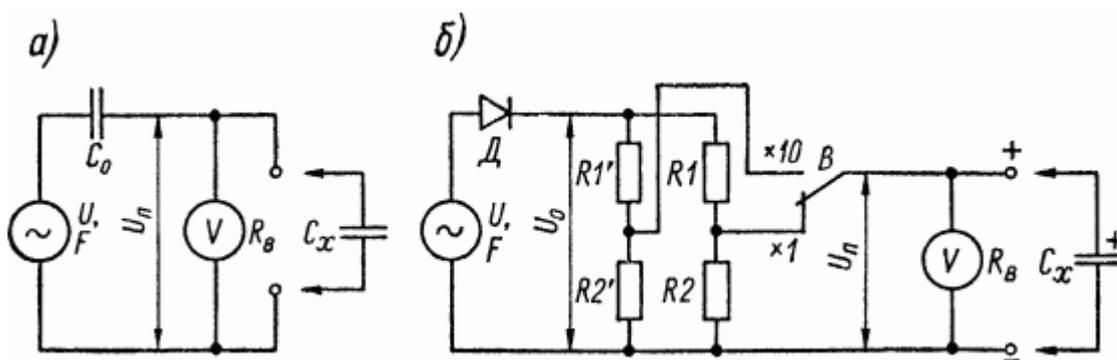


Рис. 5. Параллельные схемы микрофарадметров

Для измерения ёмкостей электролитических конденсаторов пригодна схема на рис. 5, б. Благодаря включению диода D на делителе напряжения $R1, R2$ действует пульсирующее напряжение U_0 . При $C_x = 0$ с резистора $R2$ на вольтметр V (он может быть сравнительно низкоомным, например выпрямительным) подаётся напряжение полного отклонения U_n . Включение конденсатора C_x приводит к снижению напряжения на вольтметре в соответствии с формулой (5). При выбранном среднем значении шкалы

ёмкостей C_0 и частоте $F = 50$ Гц необходимые значения сопротивлений делителя напряжения определяются формулами:

$$R1 = U_0 / (U_n * 180 * C_0); \quad R2 = R1 * U_n (U_0 - U_n).$$

Изменение пределов измерений осуществляется посредством использования нескольких делителей напряжения с одинаковым коэффициентом деления U_0/U_n , но различными значениями сопротивлений $R1$ и $R2$. Вольтметр переменного тока V должен иметь закрытую схему входа, иначе напряжение на него следует подавать через электролитический конденсатор большой ёмкости.

Все рассмотренные схемы микрофарадметров позволяют измерять ёмкости конденсаторов с погрешностью 5-10%, а иногда и более. Выполнить их шкалу на основе расчёта градуировочной характеристики не всегда удаётся вследствие влияния различных трудно учитываемых факторов, например внутренних сопротивлений источника питания и измерительных приборов, нелинейности шкалы напряжений вольтметра и т. п. Поэтому при регулировке и градуировке микрофарадметров необходимо использовать магазины ёмкостей или наборы конденсаторов с допусками по ёмкости не более 5%.

Пример 1. Рассчитать последовательную схему микрофарадметра по рис. 3 на предел измерений от $C_n = 200$ пФ до $C_m = 20000$ пФ при условии, что напряжение питания не должно превышать 10 В. В приборе применить в качестве измерителя миллиамперметр на 1 мА.

Указание. Середине шкалы соответствует ёмкость $C_0 \approx (C_n C_m)^{0,5}$.

Ответ: $C_0 = 2000$ пФ, $F \geq 8$ кГц. При выборе $F = 10$ кГц $U \geq 8$ В, $R = 3...5$ кОм

Пример 2. Рассчитать двухпределный микрофарадметр, работающий по параллельной схеме на рис. 5, б, для измерения ёмкостей от 1 до 100 мкФ, если напряжения $U_0 = 20$ В, а $U_n = 1$ В.

Ответ: $C_0 = 3$ мкФ, $R1 = 37$ кОм, $R2 = 2$ кОм; $C'_0 = 30$ мкФ, $R'1 = 3,7$ кОм, $R'2 \approx 200$ Ом.

Микрофарадметры с равномерной шкалой

Микрофарадметр с равномерной шкалой может быть выполнен по схеме, аналогичной схемам ёмкостных частотомеров, в принципе отличаясь от последних лишь тем, что объектом измерений является не частота, а ёмкость. Действие таких приборов базируется на измерении среднего значения тока

заряда или разряда проверяемого конденсатора, перезаряжаемого напряжением известной частоты.

На рис. 6, а, приведена схема измерительного блока микрофарадметра, питаемого импульсным напряжением u прямоугольной формы. Во время действия импульса через диод Д происходит заряд конденсатора C_x до максимального напряжения U_m . В интервале между импульсами конденсатор разряжается через измеритель (магнитоэлектрический микроамперметр) и до начального напряжения U_n . В установившемся режиме при частоте повторения входных импульсов f и их амплитуде $U_n = U_m - U_n$ среднее значение протекающего через измеритель тока $I_x = C_x U_n f$. При фиксированных значениях U_n и f измеритель можно снабдить равномерной шкалой с отсчётом в значениях C_x в соответствии с формулой

$$C_x = I_x / (U_n f).$$

Предельное значение измеряемых ёмкостей

$$C_n = I_w / (U_n f),$$

где I_w - ток полного отклонения измерителя. Для сглаживания пульсаций и устранения колебаний стрелки измерителя служит конденсатор C , сопротивление которого при частоте f должно быть значительно меньшим сопротивления R_w измерителя.

Результаты не изменятся, если измеритель включить в цепь зарядного тока последовательно с диодом Д2 (рис. 6, б); тогда разрядный ток конденсатора C_x будет замыкаться через диод Д1. При измерении малых ёмкостей иногда применяют двухполупериодную схему включения измерителя (рис. 6, в). В этом случае через измеритель протекают и зарядный и разрядный токи, что позволяет получить требуемый предел измерений при напряжении U_n или частоте f , вдвое меньших, чем в схемах с однополупериодным включением измерителя.

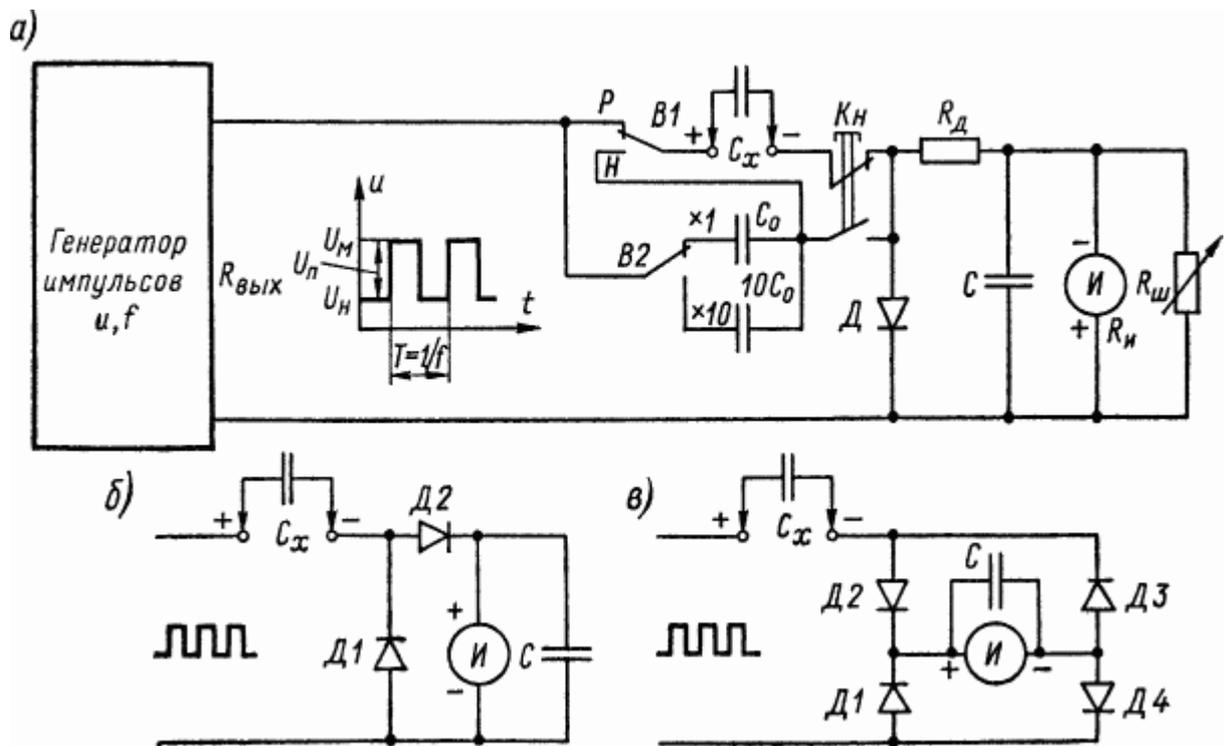


Рис. 6. Схемы измерительных блоков микрофарадметров с равномерной шкалой

Пределы измерений прибора задаются значениями C_n и для их обеспечения при переключении пределов изменяют частоту повторения импульсов источника питания, определяемую формулой

$$f = I_n(U_n C_n) . \quad (6)$$

Перед началом измерений на каждом пределе должна производиться калибровка микрофарадметра, для чего к нему нажатием кнопки Кн присоединяют конденсатор ёмкостью $C_o = C_n$ (рис. 6, а); при этом добиваются отклонения стрелки измерителя до конца шкалы посредством плавной регулировки частоты f , амплитуды импульсов U_n или чувствительности измерителя (например, с помощью шунтирующего реостата $R_{ш}$). Поскольку шкала прибора равномерна, то погрешность измерения ёмкостей в основном определяется погрешностью подбора опорной ёмкости C_o , отклонение которой от требуемого номинала (C_n) не должно превышать 1...5%.

Для получения правильных результатов измерений необходимо, чтобы за один период входного напряжения и конденсатор C_x успевал полностью зарядиться и разрядиться (в пределах напряжений $U_m - U_n$). Легче всего это обеспечивается при прямоугольной форме входных импульсов и надлежащем выборе частоты их повторения f .

Как известно, в цепи, состоящей из элементов R и C, длительность заряда (разряда) конденсатора C до значения приложенного к этой цепи постоянного напряжения определяется постоянной времени $\tau = RC$ и практически не превосходит 5τ . Для того чтобы заряд (разряд) заканчивался в течение полупериода $T/2$ напряжения частоты f , необходимо выполнение условия

$$5RC = 5\tau \leq T/2 = 1/(2*f),$$

которое удовлетворяется при частоте

$$f \leq 1/(10*RC). \quad (7)$$

Принимая максимально возможное сопротивление цепей заряда и разряда $R = 10$ кОм (с учётом выходного сопротивления $R_{\text{вых}}$ генератора импульсов), получаем практическую формулу для выбора частоты повторения импульсов (в килогерцах):

$$f \leq 10^4 / C_{\text{п}} \quad (8)$$

(где $C_{\text{п}}$ - в пикофарадах). В последнем условии часто принимают знак равенства. Тогда верхним пределам измерений $C_{\text{п}}$ - 100, 1000, 10 000 пФ и 0,1 мкФ будут соответственно отвечать частоты $f = 100, 10, 1$ и $0,1$ кГц.

Условие (8) и формула (6) определяют необходимую амплитуду импульсов (в вольтах):

$$U_{\text{п}} \geq 0,1 * I_{\text{и}}$$

(где $I_{\text{и}}$ - в микроамперах). Например, при работе с измерителем, имеющим ток полного отклонения $I_{\text{и}} = 100$ мкА, требуется амплитуда $U_{\text{п}} \geq 10$ В.

Сопротивление резистора $R_{\text{д}}$ (рис. 6, а) берётся таким, чтобы сопротивление цепи измерителя $R_{\text{д}} + R_{\text{и}}$ значительно превышало (по крайней мере, в десятки раз) прямое сопротивление диода Д; в то же время оно не должно увеличивать общее сопротивление цепи разряда сверх допустимого значения (10 кОм). Если оба условия не удаётся одновременно удовлетворить, то резистор $R_{\text{д}}$ заменяют диодом, пропускающим ток разряда; при этом измеритель оказывается включённым по схеме на рис. 6, б. При расчёте прибора учитывают также характер выходного сопротивления $R_{\text{вых}}$ генератора импульсов, которое в зависимости от схемы генератора может быть постоянным, регулируемым или даже нелинейным (большим во время действия импульса и малым в интервале между импульсами).

Микрофарадметры рассматриваемого типа обычно имеют верхние пределы измерений $C_{\text{п}}$ не менее 100 пФ из-за трудности генерирования

прямоугольных импульсов с высокой частотой повторения и влияния паразитных связей. Трудности возникают и при расширении диапазона измерений в сторону больших ёмкостей. Например, при выборе верхних значений пределов $C_{\text{п}} = 1$ и 10 мкФ, согласно условию (8), требуется питать схему импульсами с частотами повторения соответственно 10 и 1 Гц, однако при этом отсчёт по измерителю становится невозможным из-за сильных вибраций его стрелки, которые не удаётся устранить увеличением ёмкости конденсатора C . При измерении больших ёмкостей измерительную схему обычно питают импульсами с частотой повторения 50 Гц (их легко получить преобразованием напряжения сети переменного тока); одновременно для выполнения условия (7) уменьшают постоянные времени цепей заряда и разряда посредством выбора источника импульсов с весьма малым выходным сопротивлением (десятки Ом) и шунтирования измерителя. Последнее ведёт к возрастанию разрядного тока, вызывающего отклонение стрелки измерителя на всю шкалу, до нескольких миллиампер, что облегчает выполнение равенства (6). Коммутация цепей заряда и разряда должна автоматически управляться входными импульсами.

Помимо равномерной шкалы ёмкостей, микрофарадметры могут иметь неравномерную шкалу с диапазоном показаний от 0 до ∞ , подобную шкалам параллельных схем омметров. Характер шкалы (равномерная - P , неравномерная - H) в схеме на рис. 6, а, определяется установкой переключателя $В1$. В положении последнего «Н» испытуемый конденсатор C_x включается последовательно с опорным конденсатором C_0 , ёмкость которого задаёт предел измерений прибора и примерно соответствует середине его нелинейной шкалы.

Равномерная шкала измерения ёмкостей может быть получена и некоторыми другими методами. Так, если к выходу мультивибратора подключить дифференцирующую цепочку R, C_x , то среднее напряжение импульсов одной полярности, снимаемых с резистора R , оказывается пропорциональным ёмкости C_x . Для работы в таком приборе требуется чувствительный милливольтметр постоянного тока. Пределы измерений могут задаваться сопротивлениями резистора R . При частоте повторения импульсов $f = 100$ кГц были получены верхние пределы измерения ёмкостей $C_{\text{п}} = 10$ и 100 пФ.

Пример 3. Произвести ориентировочный расчёт измерительного блока микрофарадметра с равномерной шкалой (рис. 6, а) для измерения ёмкостей с верхними пределами 300 и 3000 пФ, $0,03$ и $0,3$ мкФ, если измеритель прибора имеет данные: $I_{\text{и}} = 50$ мкА, $R_{\text{и}} = 2600$ Ом.

Ответ: $C_0 = 300$ и 3000 пФ, $0,03$ и $0,3$ мкФ; $f = 30$ и 3 кГц, 300 и 30 Гц; $R_{\text{д}} = 1,5$ кОм; $R_{\text{ш}} = 10$ кОм; $C = 5..10$ мкФ; $U_{\text{п}} = 5$ В; $R_{\text{вых}} \leq 6$ кОм.

Измерение ёмкостей методом сравнения (замещения)

Данный метод базируется на сравнении действия, оказываемого измеряемой ёмкостью C_x и известной ёмкостью C_o на режим измерительной схемы.

Простейшая схема измерений, в которой ёмкости C_x и C_o сравниваются по значению их сопротивления переменному току, приведена на рис. 7. При включении конденсатора C_x потенциометром R устанавливают в цепи ток, удобный для отсчёта или контроля по миллиамперметру переменного тока mA или другому низкоомному индикатору. Затем вместо конденсатора C_x присоединяют к схеме магазин ёмкостей или образцовый (опорный) конденсатор переменной ёмкости и изменением его ёмкости C_o добиваются прежнего показания индикатора. Это будет иметь место при $C_o = C_x$. Погрешность измерений зависит от чувствительности индикатора и погрешности отсчёта ёмкости C_o ; она может быть получена равной примерно 1% и менее.

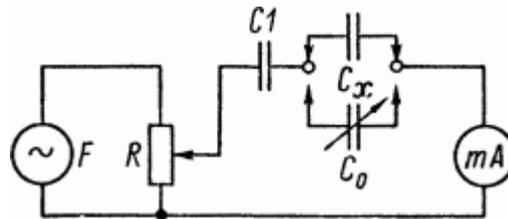


Рис. 7. Схема измерения ёмкостей

При измерении ёмкостей свыше методом сравнения 5000 пФ схему измерений можно питать от сети переменного тока частотой 50 Гц. Для измерения меньших ёмкостей необходим генератор, работающий на более высоких частотах. Во всех случаях для обеспечения безопасности индикатора в цепь следует включать ограничительный конденсатор ($C1$) или резистор.

Метод сравнения в различных вариантах широко применяется в мостовых и резонансных измерителях ёмкостей. Он может быть реализован и в микрофарадметрах, рассмотренных в предыдущих параграфах, при существенном снижении погрешности измерений.

Резонансные измерители ёмкостей

Помимо измерения частоты электрических колебаний резонансные методы широко применяются для измерения малых ёмкостей и индуктивностей, добротности, собственной или резонансной частоты настройки и других параметров радиодеталей и колебательных систем.

Резонансная схема измерения ёмкостей (рис. 10) обычно включает в себя генератор высокой частоты, с контуром которого LC слабо связывается индуктивно (или через ёмкость) измерительный контур, состоящий из

опорной катушки индуктивности L_0 и испытуемого конденсатора C_x . Изменением ёмкости конденсатора C генератор настраивают в резонанс с собственной частотой f_0 измерительного контура по экстремальным показаниям индикатора резонанса, например электронного вольтметра V . При известной частоте настройки генератора f_0 измеряемая ёмкость определяется формулой

$$C_x = 1 / ((2 * \pi * f_0)^2 * L_0) \approx 0,0253 / (f_0^2 * L_0) \quad (17)$$

При фиксированном значении L_0 конденсатор C можно снабдить шкалой с отсчётом в значениях ёмкостей C_x .

Пределы измерений ёмкостей определяются значением индуктивности L_0 и диапазоном частот генератора. Например, при $L_0 = 100$ мкГ и диапазоне генератора 160-3500 кГц прибор будет измерять ёмкости от десятков пикофард до сотых долей микрофард. Для расширения пределов измерений ёмкостей при ограниченном частотном диапазоне генератора применяют несколько сменных катушек L_0 различной индуктивности, а также включают испытуемые конденсаторы в измерительный контур последовательно с конденсаторами известной ёмкости. Ёмкости более 0,01-0,05 мкФ резонансным методом обычно не измеряются, так как на низких частотах резонансные кривые колебательных контуров становятся тупыми, что затрудняет фиксацию резонанса.

В качестве индикаторов резонанса используют чувствительные высокочастотные приборы, реагирующие на ток или напряжение, действующие в измерительном контуре, например электронные вольтметры со стрелочным или электронно-световым индикатором, электроннолучевые осциллографы, термоэлектрические приборы и др. Индикатор резонанса не должен вносить в измерительный контур заметного затухания.

Погрешность измерения ёмкостей резонансным методом достигает 5-10% из-за воздействия паразитных связей, некоторого влияния контура генератора на параметры измерительного контура, трудности точной фиксации состояния резонанса; она также зависит от устойчивости частоты генератора и погрешности её измерения.

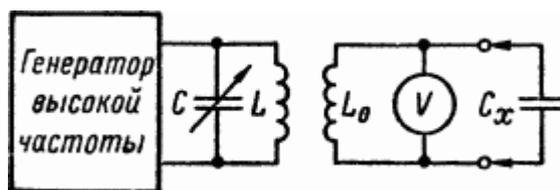


Рис. 10. Схема измерения ёмкостей резонансным методом

При сочетании резонансного метода с методом замещения устраняется зависимость результата измерения ёмкостей от точности измерения частоты

генератора и паразитных связей, благодаря чему погрешность измерений можно снизить до 1% и менее. Для этого к измерительному контуру (рис. 10) подключают опорный конденсатор переменной ёмкости C_0 и при максимальной ёмкости его C_{01} настраивают генератор на резонансную частоту контура. Затем параллельно конденсатору C_0 присоединяют конденсатор C_x ; нарушенный резонанс восстанавливают при неизменной настройке генератора посредством уменьшения ёмкости C_0 до некоторого значения C_{02} . Измеряемая ёмкость, очевидно, определяется формулой $C_x = C_{01} - C_{02}$.

Верхний предел измеряемых подобным методом ёмкостей равен разности между максимальной C_M и начальной C_H ёмкостями конденсатора C_0 . Конденсаторы, ёмкость которых превышает значение $C_M - C_H$, можно подключать к контуру последовательно с постоянным конденсатором известной ёмкости C_x . При этом порядок измерений остаётся прежним, но измеряемая ёмкость подсчитывается по формуле

$$C_x = C_1 (C_{01} - C_{02}) / (C_1 - C_{01} + C_{02}).$$

Например, при $C_1 = 600$ пФ, $C_{01} = 500$ пФ и $C_{02} = 100$ пФ получаем $C_x = 1200$ пФ. Применяя несколько сменных конденсаторов C_1 различных номиналов, можно получить ряд пределов измерений. Если задаться верхним пределом измеряемых ёмкостей C_n , то необходимая ёмкость C_x определится формулой:

$$C_1 = C_n (C_M - C_H) / (C_n - C_M + C_H).$$

Например, при $C_n = 2000$ пФ, $C_M = 500$ пФ и $C_H = 20$ пФ конденсатор должен обладать ёмкостью $C_1 = 630$ пФ.

Различные варианты резонансных методов реализуются в специальных измерительных приборах или посредством малогабаритных приставок к типовой, имеющей частотные шкалы, радиоаппаратуре (к последним относятся высокочастотные измерительные генераторы, радиоприёмники и т. п.).

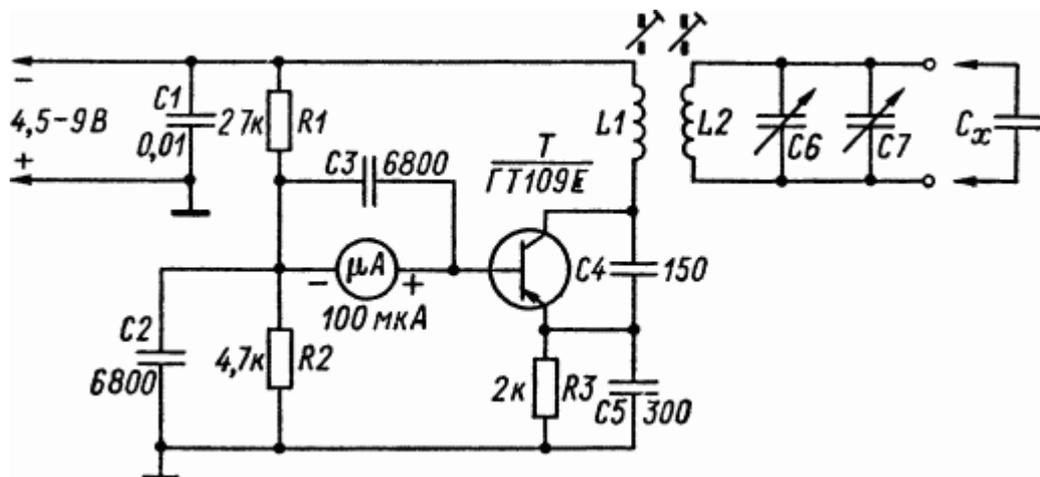


Рис. 11. Схема резонансного измерителя ёмкостей, использующего явление поглощения

На рис. 11 приведена схема резонансного измерителя ёмкостей, основанного на использовании явления поглощения (абсорбции). Прибор содержит маломощный генератор по схеме ёмкостной трёхточки, с колебательным контуром которого индуктивно связан измерительный контур L_2 , C_6 , C_7 . Связь между контурами устанавливается сравнительно сильной (например, посредством использования общего ферритового сердечника для катушек L_1 и L_2) с целью обеспечения заметного влияния измерительного контура на режим генератора. Индикатором резонанса служит микроамперметр постоянного тока mA , включённый в цепь базы транзистора T . При настройке измерительного контура в резонанс с частотой генератора энергия, поглощаемая контуром, оказывается наибольшей. Это вызывает резкое уменьшение постоянной составляющей тока базы, измеряемой микроамперметром mA , что обеспечивает чёткую фиксацию состояния резонанса.

Для уменьшения погрешности измерения малых ёмкостей можно в измерительный контур включить два конденсатора переменной ёмкости (C_6 и C_7 на рис. 11) с максимальными ёмкостями, например, 500 и 50 пФ. Перед измерениями оба конденсатора устанавливаются на максимальную ёмкость и с помощью подстроечного сердечника одной из катушек добиваются резонансной настройки генератора и измерительного контура. Затем, присоединив к контуру конденсатор C_x , в зависимости от предполагаемой ёмкости последнего одним из конденсаторов C_6 или C_7 восстанавливают резонанс. Отсчёт по шкалам конденсаторов C_6 и C_7 желательно производить непосредственно в значениях ёмкостей C_x .

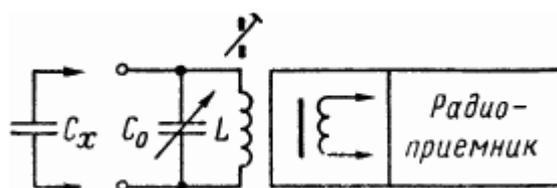


Рис 12. Схема измерения ёмкостей резонансным методом с помощью радиоприёмника

Рассмотренный вариант резонансного метода может быть реализован с помощью простейшей приставки к радиоприёмнику, имеющему внутреннюю магнитную антенну. Приставка (рис. 12) представляет собой измерительный контур L , C_0 , собственная частота которого при максимальном значении ёмкости C_0 должна находиться в пределах какого-либо частотного поддиапазона приёмника. Приёмник настраивают на частоту одной из хорошо принимаемых передающих радиостанций этого поддиапазона, а затем катушку L располагают вблизи приёмника, параллельно его магнитной

антенне. При наибольшей ёмкости C_0 подстроечным сердечником катушки L контур настраивают в резонанс с частотой настройки приёмника, который обнаруживается по ослаблению слышимости звуковых сигналов радиостанции, а затем производят измерение ёмкости C_x методом замещения.

Высокая точность фиксации состояния резонанса достигается при гетеродинном методе (методе нулевых биений). В гетеродинном измерителе ёмкостей имеется два одинаковых высокочастотных гетеродина, колебания которых смешиваются в детекторном каскаде, нагруженном на телефоны. При максимальной ёмкости основных контурных конденсаторов переменной ёмкости оба гетеродина подстраиваются на одну и ту же частоту, что контролируется по нулевым биениям. Затем параллельно одному из этих конденсаторов включают конденсатор C_x , ёмкость которого определяют методом замещения.

Если оба гетеродина выполнить совершенно идентичными, то прибор можно успешно применить для выравнивания ёмкостей вдвоенных и строенных блоков конденсаторов переменной ёмкости. Для этого к контурам обоих гетеродинов одновременно подключают по одной секции проверяемого блока конденсаторов и при их максимально введённой ёмкости добиваются нулевых биений. Если обе секции одинаковы, то при сопряжённом уменьшении их ёмкостей нулевые биения должны сохраняться.

Однозначная связь между ёмкостью колебательного контура генератора и частотой возбуждаемых колебаний позволяет создать измеритель ёмкостей, состоящий из генератора, в контур которого включаются конденсаторы C_x , и частотомера, имеющего шкалу с непосредственным отсчётом значений C_x .

Во всех вариантах применения резонансного метода предварительную регулировку измерительной схемы следует выполнять при подключённых к ней проводниках связи с объектом измерений, длина которых должна быть возможно меньшей.

Занятие 27. Измерительные мосты

Мосты, предназначенные для измерения параметров катушек индуктивности, формируются из двух плеч активного сопротивления, плеча с объектом измерений, сопротивление которого в общем случае является комплексным, и плеча с реактивным элементом - конденсатором или катушкой индуктивности.

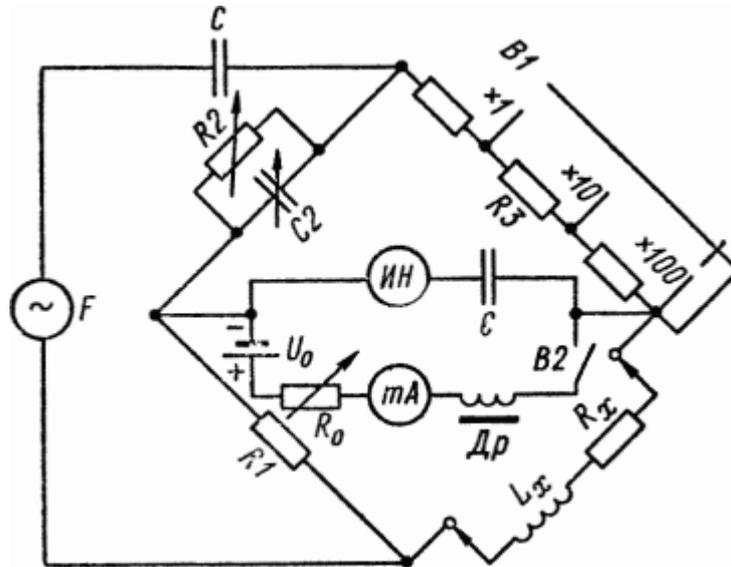


Рис. 4. Схема магазинного моста для измерения индуктивностей и сопротивлений потерь.

В измерительных мостах магазинного типа в качестве реактивных элементов предпочитают использовать конденсаторы, поскольку в последних потери энергии могут быть сделаны пренебрежимо малыми, а это способствует более точному определению параметров исследуемых катушек. Схема такого моста представлена на рис. 4. Регулируемым элементом здесь является конденсатор C_2 переменной ёмкости (или магазин ёмкостей), зашунтированный переменным резистором R_2 ; последний служит для уравнивания фазового сдвига, создаваемого сопротивлением потерь R_x в катушке с индуктивностью L_x . Применяя условие равновесия амплитуд ($Z_4 Z_2 = Z_1 Z_3$), находим:

$$(R_x^2 + (2\pi f L_x)^2)^{0,5} : ((1/R_2)^2 + (2\pi f C_2)^2)^{0,5} = R_1 R_3.$$

Так как фазовые углы $\varphi_1 = \varphi_3 = 0$, то условие равновесия фаз ($\varphi_4 + \varphi_2 = \varphi_1 + \varphi_3$) можно записать в виде равенства $\varphi_4 + \varphi_2 = 0$, или $\varphi_4 = -\varphi_2$, или $\text{tg } \varphi_4 = -\text{tg } \varphi_2$. Учитывая, что для плеча с L_x справедлива формула ($\text{tg } \varphi = X/R$), а для плеча с ёмкостью C_2 - формула ($\text{tg } \varphi = R/X$) при отрицательном значении угла φ_2 , имеем

$$2\pi f L_x / R_x = 2\pi f C_2 R_2$$

Решая совместно приведённые выше уравнения, получим:

$$L_x = C_2 R_1 R_3; \quad (1)$$

$$R_x = R_1 R_3 / R_2. \quad (2)$$

Из последних формул следует, что конденсатор C_2 и резистор R_2 могут иметь шкалы для непосредственной оценки значений L_x и R_x , причём регулировки амплитуд и фаз, производимые ими, взаимонезависимы, что позволяет быстро уравнивать мост.

Для расширения диапазона измеряемых величин один из резисторов R_1 или R_3 обычно выполняется в виде магазина сопротивлений.

При необходимости измерения параметров катушек со стальными сердечниками схема моста на рис. 4 дополняется источником постоянного напряжения U_0 , реостатом R_0 и миллиамперметром постоянного тока mA , служащими для регулировки и контроля тока подмагничивания, а также дросселем Dr и конденсатором C , разделяющими цепи переменный и постоянной составляющих тока.

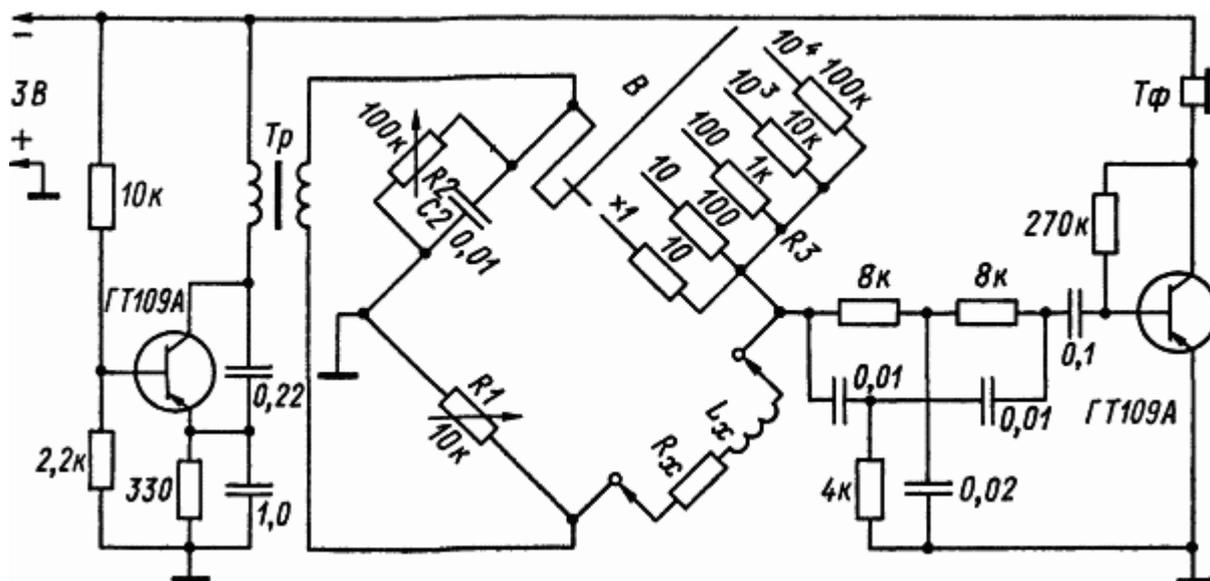


Рис. 5. Схема магазинного моста для измерения индуктивностей и добротностей

На рис. 5 приведена схема другого варианта магазинного моста, в которой конденсатор C_2 имеет постоянную ёмкость, а резисторы R_1 и R_2 взяты переменными. Расширение диапазона измерений осуществляется посредством включения в мост резисторов R_3 различных номиналов. Из формул (1) и (2) следует, что регулировки амплитуд и фаз в этой схеме оказываются взаимозависимыми, поэтому уравнивание моста достигается путём попеременного изменения сопротивлений резисторов R_1 и R_2 . Оценка индуктивностей L_x производится по шкале резистора R_1 с учётом

множителя, определяемого установкой переключателя B . Отсчёт по шкале резистора R_2 обычно производится в значениях добротности катушек

$$Q_L = 2 * \pi * F * L_x / R_x = 2 * \pi * F * C_2 R_2.$$

при частоте F источника питания. В справедливости последней формулы можно убедиться, если левую и правую части равенства (1) разделить на соответствующие части равенства (2).

При указанных на схеме данных измерительный мост позволяет измерять индуктивности примерно от 20 мкГн до 1, 10, 100 мГн; 1 и 10 Гн (без стальных сердечников) и добротности до значения $Q_L \approx 60$. Источником питания служит транзисторный генератор с частотой колебаний $F \approx 1$ кГц. Напряжение разбаланса усиливается транзисторным усилителем, нагруженным на телефоны $T\phi$. Двойной Т-образный RC-фильтр, настроенный на частоту $2F \approx 2$ кГц, подавляет вторую гармонику колебаний источника, что облегчает уравнивание моста и снижает погрешность измерений.

Мостовые измерители индуктивностей, ёмкостей и активных сопротивлений имеют ряд идентичных элементов. Поэтому они часто совмещаются в одном приборе - универсальном измерительном мосте. Универсальные мосты высокой точности базируются на магазинных схемах типа приведённых на рис. 5. Они содержат источник постоянного напряжения или выпрямитель (питающий схему измерения R_x), генератор низкой частоты с выходной мощностью в несколько ватт, многокаскадный усилитель напряжения разбаланса, нагруженный на магнитоэлектрический гальванометр; последний при измерении активных сопротивлений включается непосредственно в измерительную диагональ моста. Требуемая схема измерений формируется с помощью довольно сложной системы коммутации. В таких мостах иногда применяют индикаторы логарифмического типа, чувствительность которых резко падает, если мост не уравновешен.

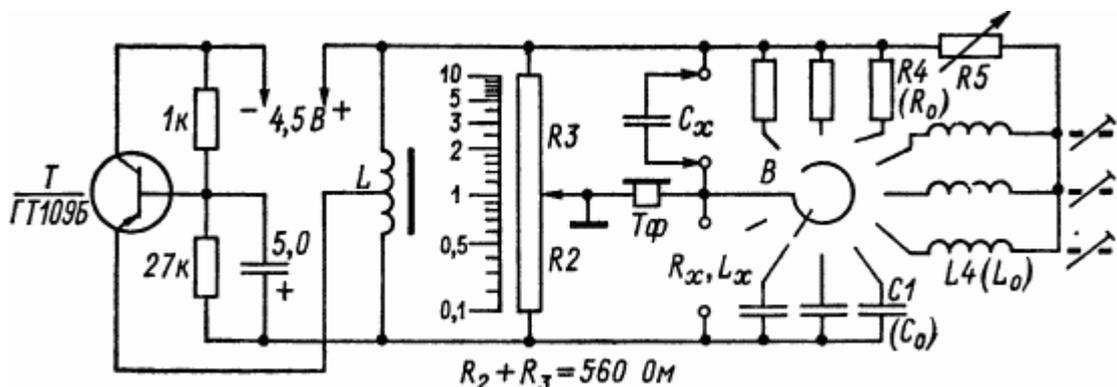


Рис. 6. Схема универсального реохордного моста для измерения сопротивлений, ёмкостей и индуктивностей

Значительно проще универсальные мосты реохордного типа, измеряющие параметры радиодеталей с погрешностью порядка 5-15%. Возможная схема такого моста представлена на рис. 6. Мост питается при всех видах измерений напряжением с частотой примерно 1 кГц, которое возбуждается транзисторным генератором, выполненным по схеме индуктивной трёхточки. Индикатором баланса служит высокоомный телефон Тф. Резисторы R2 и R3 заменены проволочным реохордом (или, чаще, обычным потенциометром), позволяющим уравнивать мост плавным изменением отношения сопротивлений R2/R3. Это отношение отсчитывается по шкале реохорда, диапазон показаний которой обычно ограничивается крайними значениями 0,1 и 10. Измеряемая величина определяется при уравновешенном мосте как произведение отсчёта по шкале реохорда на множитель, определяемый установкой переключателя В. Каждому виду и пределу измерений отвечает включение в схему моста соответствующего опорного элемента требуемого номинала - конденсатора C₀ (C1), резистора R₀ (R4) или катушки индуктивности L₀ (L4).

Особенностью рассматриваемой схемы является то, что измеряемые элементы R_x и L_x включаются в первое плечо моста (при опорных элементах R₀ и L₀, находящихся в четвёртом плече), а C_x, наоборот, - в четвёртое плечо (при C₀ - в первом плече). Благодаря этому оценка всех измеряемых величин производится по аналогичным формулам типа

$$A_x = A_0(R2/R3),$$

где A_x и A₀ - значения величин соответствующих измеряемого и опорного элементов.

Переменный резистор R5 служит для компенсации фазовых сдвигов и улучшения балансировки моста при измерении индуктивностей. С той же целью иногда включают переменный резистор небольшого сопротивления в цепь опорного конденсатора C₀ предела измерений больших ёмкостей, которые часто имеют заметные потери.

С целью исключения влияния руки оператора движок реохорда обычно соединяют с корпусом прибора.

Измерительные мосты переменного тока

Для измерения параметров конденсаторов и катушек индуктивности широко применяются уравновешенные мосты переменного тока.

В общем случае плечи измерительного моста переменного тока (рис. 8) обладают комплексными сопротивлениями Z1, Z2, Z3 и Z4, одно из которых,

например Z_4 , является объектом измерений. Питание моста производится от источника переменного тока частоты F , напряжение которого подводится непосредственно или через трансформатор Tr к одной из диагоналей моста. В другую диагональ включается индикатор нуля переменного тока $ИН$.

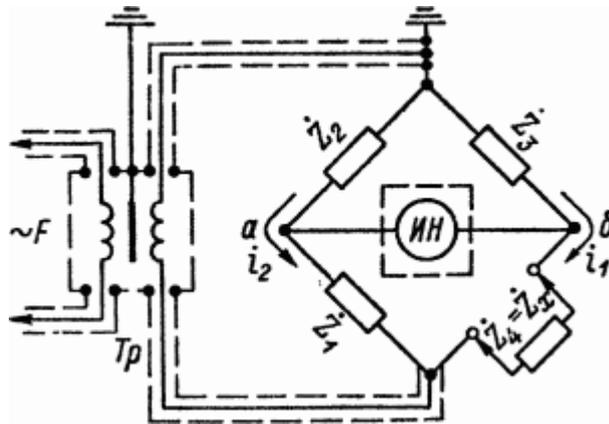


Рис. 8. Схема моста переменного тока

Так же как и в мостах постоянного тока, процесс измерения сводится к уравниванию моста переменного тока, которое характеризуется отсутствием разности потенциалов между вершинами a и b ; для этого необходимо, чтобы падения напряжения в плечах Z_1 и Z_4 (а также в плечах Z_2 и Z_3) были равны по амплитуде и совпадали по фазе. Равновесие достигается при выполнении двух условий:

- 1) равенстве произведений модулей полных сопротивлений противоположных плеч, т. е.

$$Z_4 Z_2 = Z_1 Z_3; \quad (9)$$

2) равенстве сумм фазовых углов этих же плеч, т. е.

$$\varphi_4 + \varphi_2 = \varphi_1 + \varphi_3. \quad (10)$$

Если плечо моста обладает активным R и реактивным (ёмкостным или индуктивным) X сопротивлениями, действующими последовательно, то модуль полного сопротивления плеча

$$Z = (R^2 - X^2)^{0,5}, \quad (11)$$

а его фазовый угол φ определяется из формулы

$$\operatorname{tg} \varphi = X/R. \quad (12)$$

Для чисто активных плеч ($X = 0$) фазовый угол $\varphi = 0$; для чисто ёмкостных и индуктивных плеч ($R = 0$) соответственно $\varphi = -90^\circ$ и $\varphi = +90^\circ$. Если

сопротивление плеча имеет смешанный (комплексный) характер, то фазовый угол $|\varphi| < 90^\circ$.

Если сопротивления R и X представляются в параллельном соединении, то модуль полного сопротивления плеча

$$Z = 1/(1/R^2 + 1/X^2)^{0,5}, \quad (13)$$

а фазовый угол φ находится из формулы

$$\operatorname{tg} \varphi = R/X. \quad (14)$$

В этом случае угол $\varphi = 0$ при отсутствии реактивного сопротивления ($X = \infty$) и $\varphi = +90^\circ$ при отсутствии активного сопротивления ($R = \infty$).

Для одновременного выполнения обоих условий равновесия приходится регулировать два параметра известных плеч моста; при этом оказывается возможным определить два параметра исследуемого плеча, например активную и реактивную составляющие его полного сопротивления.

Условие (9) можно выполнить всегда посредством регулировки элементов плеч моста. Второе же условие (10) выполнимо лишь при определённой компоновке схемы моста, например в случае, если все четыре плеча состоят из одинаковых элементов - резисторов, конденсаторов или катушек индуктивности. Обычно в целях упрощения схемы два плеча моста переменного тока составляются из элементов активного сопротивления - резисторов. Если эти плечи являются смежными (рис. 9), то два других плеча должны обладать реактивными сопротивлениями одинакового характера, т. е. оба должны содержать либо конденсаторы либо катушки индуктивности. Если плечи активного сопротивления являются противоположными, то два других плеча должны обладать реактивными сопротивлениями различного характера: одно - ёмкостного, а другое - индуктивного, имеющими фазовые углы разных знаков, сумма которых может быть сделана равной нулю.

В измерительных мостах переменного тока избегают применения катушек индуктивности (если, конечно, последние не являются объектами измерений), поскольку они обладают заметным активным сопротивлением и восприимчивы к магнитным полям; кроме того, при наличии стального сердечника индуктивность катушки не является стабильной. В качестве регулируемых элементов в мостах используются переменные резисторы и конденсаторы, а также магазины сопротивлений и ёмкостей.

Измерительные мосты, условия равновесия которых зависят от частоты, называются частотно-зависимыми; они используются для измерения частоты и в качестве фильтров. При других измерениях применяются частотно-независимые мосты, в условия равновесия которых частота не входит.

Однако из-за наличия паразитных ёмкостных связей между элементами моста и по отношению к окружающим предметам мост, уравновешенный для тока основной частоты, может оказаться неуравновешенным для гармонических составляющих тока, вследствие чего показания индикатора не будут спадать до нуля, что повышает погрешность измерений. Поэтому питание мостов желательно производить от источников синусоидального напряжения; для уменьшения влияния гармоник в цепи питания или индикатора иногда ставят фильтр нижних частот.

Мосты, питаемые от сети переменного тока, трудно использовать для измерения малых ёмкостей и индуктивностей: на частоте 50 Гц сопротивление первых оказывается чрезмерно большим, а вторых - ничтожно малым. Поэтому измерительные мосты, особенно универсального назначения, обычно питают от простейших ламповых или транзисторных генераторов типа LC или RC, работающих на фиксированной частоте, выбираемой чаще всего в пределах 400-1000 Гц. Паразитные связи на этих частотах проявляются сравнительно слабо при условии выполнения ряда защитных мер, к числу которых относятся: 1) удаление генератора от измерительной схемы; 2) применение симметрирующего трансформатора для подключения индикатора нуля; 3) экранировка генератора, трансформаторов и проводов питания; 4) заземление вершины моста, соединённой с источником питания, исследуемым элементом и регулируемым плечом; 5) изготовление лицевой панели из металла и её заземление (с целью устранения влияния руки оператора). Высокочастотные источники питания применяются редко из-за трудности исключения на высоких частотах влияния паразитных связей.

В простейших мостах, питаемых от источников звуковой частоты, индикаторами нуля часто служат головные телефоны. Мост уравнивают по минимальной слышимости тона основной частоты, что уменьшает ошибку измерений, обусловленную действием гармоник, и позволяет снизить требования к генератору питания.

В измерительных мостах промышленного изготовления в качестве индикаторов нуля применяют выпрямительные или электронные милливольтметры, а также осциллографические индикаторы на малогабаритных электроннолучевых трубках; последние в отличие от других индикаторов обладают фазочувствительностью, что позволяет определять направление, в котором следует производить уравнивание моста.

Достоинствами уравновешенных мостов переменного тока являются малая погрешность измерения, не превышающая в лучших образцах 1%, широкие пределы измерений, возможность универсального применения для измерения различных электрических величин. Главным их недостатком является сложность и длительность процесса уравнивания. В последнем

отношении определённые преимущества имеют неуравновешенные и автоматические мосты переменного тока.

В неуравновешенных мостах переменного тока амплитуда и фаза выходного напряжения на зажимах индикаторной диагонали зависят как от модуля, так и от состава объекта измерений Z_x . При сравнительно малом отклонении от состояния равновесия активная и реактивная составляющие выходного напряжения оказываются примерно пропорциональными приращением аналогичных составляющих комплексного сопротивления Z_x относительно тех значений, при которых мост уравновешен. Посредством двух фазочувствительных систем удаётся разделить составляющие выходного напряжения, сдвинутые по фазе на 90° , которые затем раздельно измеряются двумя индикаторами; отчёт по шкалам последних производится соответственно в значениях активной и реактивной составляющих сопротивления Z_x .

В автоматических мостах переменного тока выделенные фазочувствительными системами составляющие выходного напряжения приводят в действие два электродвигателя, которые посредством приводов воздействуют на элементы регулировки мостовой схемы до момента достижения состояния равновесия.

Мостовой метод измерения параметров конденсаторов

Мосты, применяемые для измерения параметров конденсаторов, разделяются на магазинные и реохордные (линейные). Простейший (однопредельный) магазинный мост, пригодный для измерения ёмкостей в десятки и сотни пикофард, может быть составлен из четырёх конденсаторов: измеряемого, переменного со шкалой ёмкостей (в смежном плече) и двух постоянных с одинаковой ёмкостью (сотни пикофард). При использовании в качестве индикатора головных телефонов источником питания моста может служить радиотрансляционная сеть. Широкодиапазонные магазинные мосты сложнее реохордных, однако они обеспечивают меньшую погрешность измерения и могут иметь равномерные отсчётные шкалы. Диапазон ёмкостей, измеряемых мостовым методом, лежит примерно в пределах от 10 пФ до 10...30 мкФ.

На рис. 9, а приведена схема многопредельного магазинного моста. Его уравновешивают с помощью конденсатора переменной ёмкости C_1 и переменного резистора R_1 . Применяя к данной схеме условие равновесия (9), получаем

$$R_2 * (R_x^2 + 1/(2 * \pi * F * C_x)^2)^{0,5} = R_3 * (R_1^2 + 1/(2 * \pi * F * C_1)^2)^{0,5}$$

Учитывая, что $\varphi_2 = \varphi_3 = 0$, второе условие равновесия (10) можно записать в виде равенства $\varphi_x = \varphi_1$ или $\text{tg } \varphi_x = \text{tg } \varphi_1$ или, согласно формуле (12),

$$1/(2*\pi*F*C_x*R_x) = 1/(2*\pi*F*C_1*R_1).$$

Решая совместно приведённые выше уравнения, находим:

$$C_x = C_1(R_2/R_3); \quad (15)$$

$$R_x = R_1(R_3/R_2). \quad (16)$$

При фиксированном отношении сопротивлений плеч R_2/R_3 конденсатор C_1 и резистор R_1 можно снабдить шкалами с отсчётом соответственно в значениях ёмкостей C_x и сопротивлений потерь R_x . Расширение диапазона измерений достигается применением группы переключаемых резисторов R_3 (или R_2) различных номиналов, обычно различающихся в 10 раз. Мост уравнивается быстро, поскольку регулировки, осуществляемые конденсатором C_1 и резистором R_1 , взаимонезависимы. Если мост предназначен для измерения ёмкостей, меньших 0,01 мкФ, для которых потери на низких частотах очень малы, то резистор R_1 может отсутствовать.

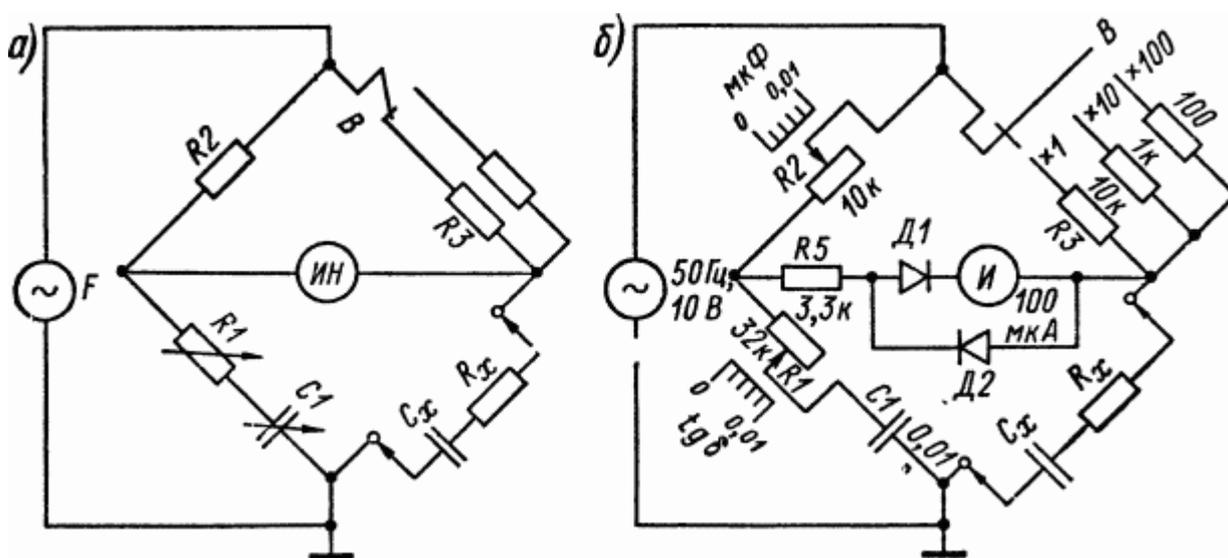


Рис. 9 Схемы магазинных мостов для измерения параметров конденсаторов

В целях упрощения конструкции в некоторых измерительных мостах конденсатор C_1 берётся постоянной ёмкости, а в качестве регулируемых элементов используются два переменных резистора, например R_1 и R_2 (рис. 9, б). Из формул (15) и (16) следует, что обе регулировки такого моста оказываются взаимосвязанными, поэтому его уравнивание, контролируемое по показаниям выпрямительного индикатора, должно осуществляться способом последовательного приближения к минимуму путем попеременного изменения сопротивлений R_1 и R_2 . Значения ёмкостей

C_x находятся по шкале резистора R_2 с учётом множителя, определяемого установкой переключателя B . Поскольку непосредственная оценка сопротивлений потерь R_x оказывается невозможной, то отсчёт по шкале резистора R_1 обычно выполняется в значениях тангенса угла потерь:

$$\operatorname{tg} \delta = 2 * \pi F * C_x * R_x = 2 * \pi * F * C_1 * R_1,$$

который при фиксированной частоте F однозначно определяется значением сопротивления R_1 . В справедливости последней формулы легко убедиться, если перемножить соответственно левые и правые части равенств (15) и (16).

Простые измерители ёмкостей выполняются по схеме реохордного моста, в котором обычно предусматривается возможность измерения и сопротивлений, а иногда и индуктивностей. Схема универсального реохордного моста приведена в статье Измерение параметров катушек индуктивности на рис. 5.

Для исключения влияния паразитных связей и погрешностей самого моста мостовой метод измерения ёмкостей часто сочетают с методом замещения. При этом к входным зажимам моста подключают магазин ёмкостей (или опорный конденсатор переменной ёмкости) и при каком-то значении его ёмкости C_1 , заведомо превышающем ёмкость C_x , уравнивают мост. Затем исследуемый конденсатор присоединяют параллельно магазину и уменьшением ёмкости последнего до некоторого значения C_2 вновь уравнивают мост. Очевидно, что измеряемая ёмкость $C_x = C_1 - C_2$.

Пример 4. Произвести поверочный расчёт схемы магазинного моста по рис. 9, б, для измерения ёмкостей на трех пределах с верхними значениями 10000 пФ, 0,1 и 1 мкФ, а также тангенса угла потерь от 0 до 0,01, если ёмкость $C_1 = 0,01$ мкФ, а полное сопротивление R_2 - 10 кОм. Напряжение питания 10 В, частота 50 Гц. Измеритель I имеет параметры: $I_n = 100$ мкА, $R_n = 900$ Ом.

Результаты расчёта приведены на схеме.

Занятие 31. Измерение мощности

Измерение мощности постоянного и переменного однофазного тока

Из выражения для мощности на постоянном токе $P = IU$ видно, что ее можно измерить с помощью амперметра и вольтметра косвенным методом. Однако в этом случае необходимо производить одновременный отсчет по двум приборам и вычисления, усложняющие измерения и снижающие его точность.



Для измерения мощности в цепях постоянного и однофазного переменного тока применяют приборы, называемые ваттметрами, для которых используют электродинамические и ферродинамические измерительные механизмы.

Электродинамические ваттметры выпускают в виде переносных приборов высоких классов точности (0,1 - 0,5) и используют для точных измерений мощности постоянного и переменного тока на промышленной и повышенной частоте (до 5000 Гц). Ферродинамические ваттметры чаще всего встречаются в виде щитовых приборов относительно низкого класса точности (1,5 - 2,5).

Применяют такие ваттметры главным образом на переменном токе промышленной частоты. На постоянном токе они имеют значительную погрешность, обусловленную гистерезисом сердечников.

Для измерения мощности на высоких частотах применяют термоэлектрические и электронные ваттметры, представляющие собой магнитоэлектрический измерительный механизм, снабженный преобразователем активной мощности в постоянный ток. В преобразователе мощности осуществляется операция умножения $u_i = p$ и получение сигнала на выходе, зависящего от произведения u_i , т. е. от мощности.

При измерении мощности, потребляемой нагрузкой, возможны две схемы включения ваттметра, отличающиеся включением его параллельной цепи (рис. 1).

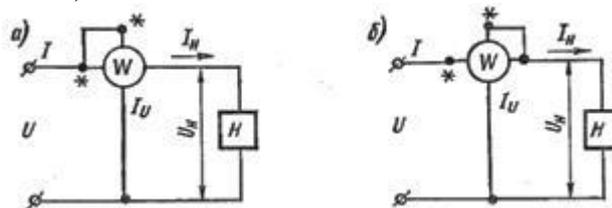


Рис. 1. Схемы включения параллельной обмотки ваттметра

Погрешности измерения могут иметь заметные значения лишь при измерениях мощности в маломощных цепях, т. е. когда P_i и P_u соизмеримы с P_H .

У ваттметра имеются две пары зажимов (последовательной и параллельной цепей), и в зависимости от их включения в цепь направление отклонения указателя может быть различным. Для правильного включения

ваттметра один из каждой пары зажимов обозначается знаком «*» (звездочка) и называется «генераторным зажимом».

Измерение активной мощности в однофазной цепи переменного тока

Значение активной мощности в однофазной цепи переменного тока определяют по формуле $P = UI \cos \varphi$, где U — напряжение приемника, I — ток приемника, а φ — фазовый сдвиг между напряжением и током.

Из формулы видно, что мощность в цепи переменного тока можно определить косвенным путем, если включить три прибора: амперметр, вольтметр и фазометр. Однако в этом случае нельзя рассчитывать на большую точность измерения, так как погрешность измерения мощности будет зависеть не только от суммы погрешностей всех трех приборов, но и от погрешности метода измерения, вызванной способом включения амперметра и вольтметра. Поэтому данный метод можно применять только в случае, когда не требуется большая точность измерений.

Если активную мощность нужно измерить точно, то лучше всего применить ваттметры электродинамической системы или электронные ваттметры. При грубых измерениях могут быть использованы ферродинамические ваттметры.

Если напряжение в цепи меньше предела измерений ваттметра по напряжению, ток нагрузки меньше допустимого тока измерительного прибора, то схема включения ваттметра в цепь переменного тока аналогична схеме включения ваттметра в цепь постоянного тока. То есть токовую катушку включают последовательно с нагрузкой, а обмотку напряжения — параллельно нагрузке.

При подключении электродинамических ваттметров следует учитывать, что они полярны не только в цепи постоянного, но и в цепи переменного тока. Чтобы обеспечить правильное (в сторону шкалы) отклонение стрелки прибора от нуля, начала обмоток на панели прибора обозначены точкой или звездочкой. Зажимы, помеченные таким образом, называют генераторными, так как именно их подключают к источнику энергии.

Неподвижную катушку ваттметра можно включать последовательно с нагрузкой только при токах нагрузки 10 - 20 А. Если ток нагрузки больше, то токовую катушку ваттметра включают через измерительный трансформатор тока.

Включение ваттметра в цепь переменного тока, при токе нагрузки больше допустимого

Если ток нагрузки больше допустимого тока ваттметра, то токовую катушку ваттметра включают через измерительный трансформатор тока (рис. 1, а).

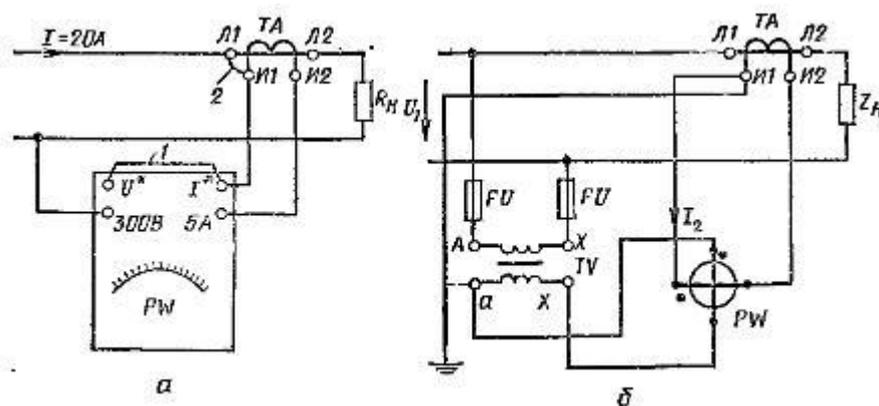


Рис. 1. Схемы включения ваттметра в цепь переменного тока с большим током (а) и в высоковольтную сеть (б).

Измерение мощности в цепи трехфазного переменного тока

Мощность в цепи трехфазного тока может быть измерена с помощью одного, двух и трех ваттметров. Метод одного прибора применяют в трехфазной симметричной системе. Активная мощность всей системы равна утроенной мощности потребления по одной из фаз.

При соединении нагрузки звездой с доступной нулевой точкой или если при соединении нагрузки треугольником имеется возможность включить обмотку ваттметра последовательно с нагрузкой, можно использовать схемы включения, показанные на рис. 1.

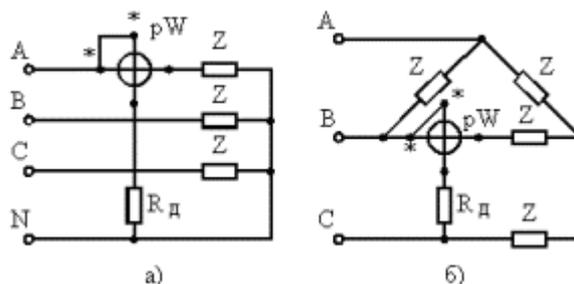


Рис. 1 Схемы измерения мощности трехфазного переменного тока при соединении нагрузок а - по схеме звезды с доступной нулевой точкой; б - по схеме треугольника с помощью одного ваттметра

Если нагрузка соединена звездой с недоступной нулевой точкой или треугольником, то можно применить схему с искусственной нулевой точкой (рис. 2). В этом случае сопротивления должны быть равны $R_{вт} + R_a = R_b = R_c$.

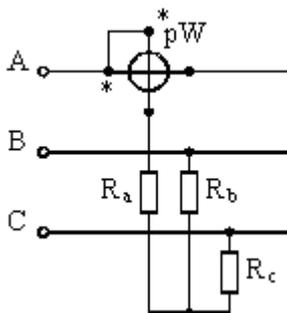


Рис 2. Схема измерения мощности трехфазного переменного тока одним ваттметром с искусственной нулевой точкой



Для измерения реактивной мощности токовые концы ваттметра включают в рассечку любой фазы, а концы обмотки напряжения - на две другие фазы (рис. 3). Полная реактивная мощность определяется умножением показания ваттметра на корень из трех. (Даже при незначительной асимметрии фаз применение данного метода дает значительную погрешность).

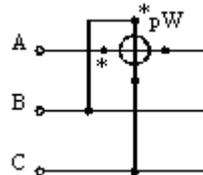


Рис. 3. Схема измерения реактивной мощности трехфазного переменного тока одним ваттметром

Методом двух приборов можно пользоваться при симметричной и несимметричной нагрузке фаз. Три равноценных варианта включения ваттметров для измерения активной мощности показаны на рис. 4. Активная мощность определяется как сумма показаний ваттметров.

При измерении реактивной мощности можно применять схему рис. 5, а с искусственной нулевой точкой. Для создания нулевой точки необходимо выполнить условие равенства сопротивлений обмоток напряжений ваттметров и резистора R. Реактивная мощность вычисляется по формуле

$$Q = \sqrt{3}(P_1 + P_2).$$

где P1 и P2 - показания ваттметров.

По этой же формуле можно вычислить реактивную мощность при равномерной загрузке фаз и соединении ваттметров по схеме рис. 4. Достоинство этого способа в том, что по одной и той же схеме можно определить активную и реактивную мощности. При равномерной загрузке фаз реактивная мощность может быть измерена по схеме рис. 5, б.

Метод трех приборов применяется при любой нагрузке фаз. Активная мощность может быть замерена по схеме рис. 6. Мощность всей цепи определяется суммированием показаний всех ваттметров.

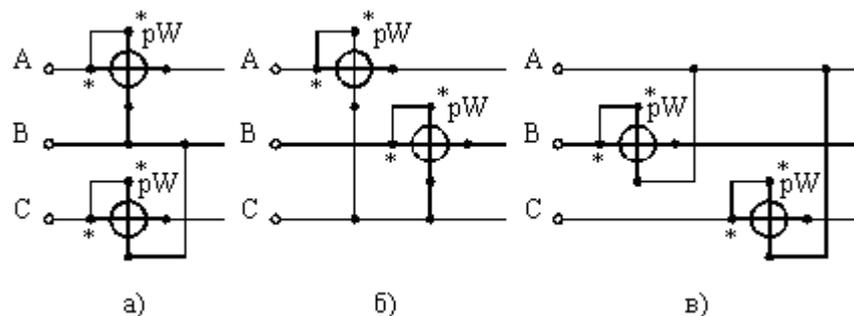


Рис. 4. Схемы измерения активной мощности трехфазного переменного тока двумя ваттметрами а - токовые обмотки включены в фазы А и С; б - в фазы А и В; в - в фазы В и С

Реактивная мощность для трех- и четырехпроводной сети измеряется по схеме рис. 7 и вычисляется по формуле

$$Q = \frac{P_A + P_B + P_C}{\sqrt{3}},$$

где P_A, P_B, P_C - показания ваттметров, включенных в фазы А, В, С.

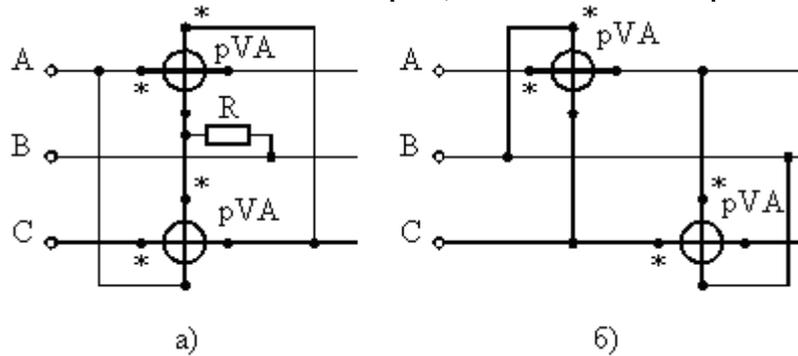


Рис. 5. Схемы измерения реактивной мощности трехфазного переменного тока двумя ваттметрами

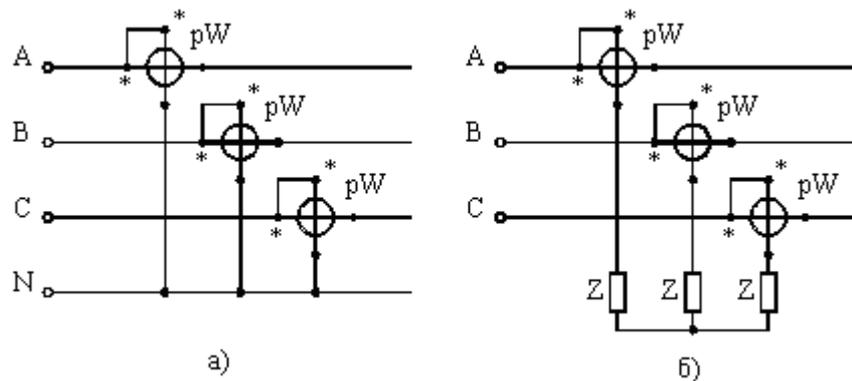


Рис. 6. Схемы измерения активной мощности трехфазного переменного тока тремя ваттметрами а - при наличии нулевого провода; б - с искусственной нулевой точкой

На практике обычно применяют одно-, двух- и трехэлементные трехфазные ваттметры соответственно методу измерения.

Чтобы расширить предел измерения, можно применить все указанные схемы при подключении ваттметров через измерительные трансформаторы тока и напряжения. На рис. 8 в качестве примера показана схема измерения мощности по методу двух приборов при включении их через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

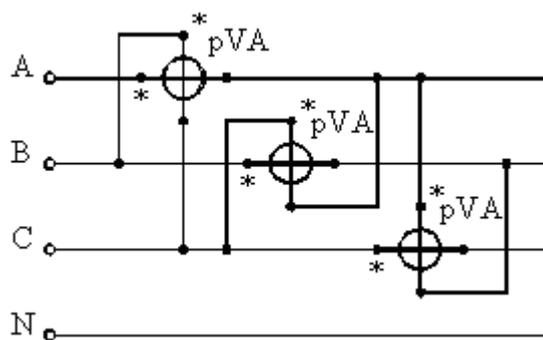


Рис. 7. Схемы измерения реактивной мощности тремя ваттметрами

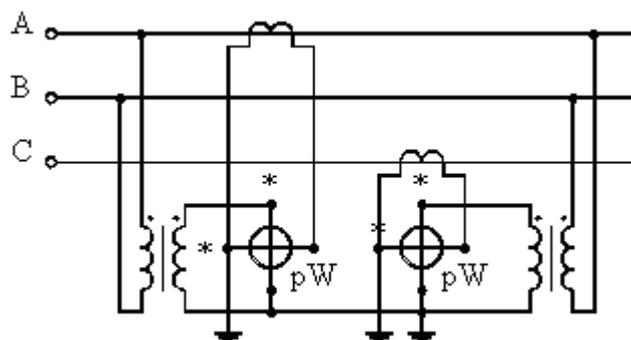


Рис. 8. Схемы включения ваттметров через измерительные трансформаторы.

Занятие 32. Измерение частоты переменного тока

Непосредственное измерение частоты производят **частотомерами**, в основу которых положены различные методы измерения в зависимости от диапазона измеряемых частот и требуемой точности измерения. Наиболее распространенными методами измерения частоты являются:

Метод перезаряда конденсатора за каждый период измеряемой частоты. Среднее значение тока перезаряда пропорционально частоте и измеряется магнитоэлектрическим амперметром, шкала которого проградуирована в единицах частоты. Выпускают конденсаторные частотомеры с пределом измерения 10 Гц - 1 МГц и погрешностью измерения $\pm 2\%$.

Резонансный метод, основанный на явлении электрического резонанса в контуре с подстраиваемыми элементами в резонанс с измеряемой частотой. Измеряемая частота определяется по шкале механизма подстройки. Метод применяется на частотах более 50 кГц. Погрешность измерения можно уменьшить до сотых долей процента.

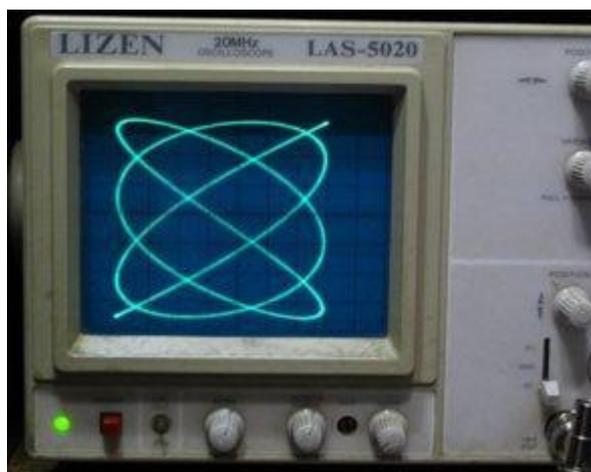


Метод дискретного счета лежит в основе работы **электронно-счетных цифровых частотомеров**. Он основан на счете импульсов измеряемой частоты за известный промежуток времени. Обеспечивает высокую точность измерения в любом диапазоне частот.

Метод сравнения измеряемой частоты с эталонной. Электрические колебания неизвестной и образцовой частот смешиваются таким образом, чтобы возникли биения некоторой частоты. При частоте биений, равной нулю, измеряемая частота равна образцовой. Смешение частот осуществляют гетеродинным способом (способ нулевых биений) или осциллографическим.

При последнем способе применяют осциллограф с отключенным генератором внутренней развертки. Напряжение образцовой частоты подают на вход усилителя горизонтальной развертки, а напряжение неизвестной частоты - на вход усилителя вертикального отклонения.

Изменяя образцовую частоту, получают неподвижную или медленно меняющуюся **фигуру Лиссажу**. Форма фигуры зависит от соотношения частот, амплитуд и фазового сдвига между напряжениями, подаваемыми на отклоняющие пластины осциллографа.



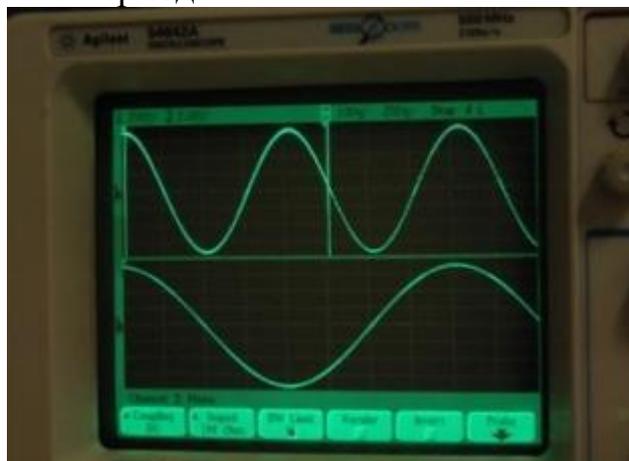
Если мысленно пересечь фигуру по вертикали и горизонтали, то отношение числа пересечений по вертикали m к числу пересечений по горизонтали n равно при неподвижной фигуре отношению измеряемой f_x и образцовой $f_{обр}$ частот.

При равенстве частот фигура представляет собой наклонную прямую, эллипс или окружность.

Частота вращения фигуры будет точно соответствовать разности df между частотами f_x' и f_x , где $f_x' = f_{обр} (m / n)$ и, следовательно, $f_x = f_{обр} (m / n) + df$. Точность способа определяется в основном погрешностью задания образцовой частоты и определения величины df .

Другой способ измерения частоты методом сравнения - с использованием осциллографа, имеющего калиброванное значение длительности развертки либо встроенный генератор калиброванных меток.

Зная длительность развертки осциллографа, и подсчитав, сколько периодов измеряемой частоты укладывается на выбранной длине центрального участка экрана осциллографа, имеющего наиболее линейную развертку, можно легко определить частоту. Если в осциллографе имеются калибрационные метки, то, зная временной интервал между метками и подсчитав их число на один или несколько периодов измеряемой частоты, определяют длительность периода.



Занятие 33. Измерение угла сдвига фаз

Фаза характеризует моментальное значение гармонического сигнала в определенный момент времени. Единица измерения фазы электрический градус или радиан. Определение сдвига фазы происходит двумя основными методами: непосредственной оценки и сравнения.

К фазометрам непосредственной оценки относят аналоговые электромеханические приборы с логометрическим механизмом, аналоговые электронные фазометры и цифровые фазометры.

Измерение методом сравнения производят посредством осциллографа. Такой метод применяется в маломощных цепях, при небольшом уровне измеряемых сигналов, когда не требуется высокой точности. Для более точных результатов применяют компенсационный метод, где осциллограф служит индикатором равенства фаз.

При измерениях в диапазоне частот сигналов от нескольких десятков до 6-8 кГц применяют логометрические приборы, что позволяет измерять сигналы большой амплитуды с невысокой точностью и большим собственным потреблением прибора.

Аналоговые электронные фазометры. В основу работы двухканальной схемы, аналогового электронного фазометра положено преобразование угла сдвига, между сигналами, в интервалы времени между импульсами T , с последующим преобразованием в разность токов I_{cp} , среднее значение которой пропорционально этому углу.

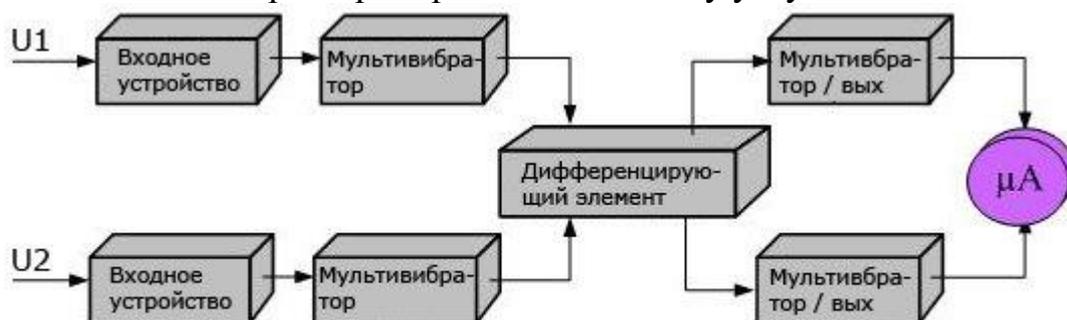


Рис. 1 Аналоговый электронный фазометр

Формула, выражающая зависимость угла сдвига от выходного тока схемы, записывается в следующем виде:

$$\Psi = (180 \cdot I_{cp}) / I_m;$$

где Ψ – угол сдвига фаз;
 I_{cp} – среднее значение разности токов на выходе схемы;
 I_m – амплитуда выходных импульсов.

Цифровые фазометры. Принцип работы этих цифровых приборов основан на зависимости $\psi = 360^\circ \Delta T / T$, но вместо множителя $\Delta T / T$ в формуле участвует значение количества образцовых импульсов N . Работа цифрового фазометра пояснена рисунком 2.

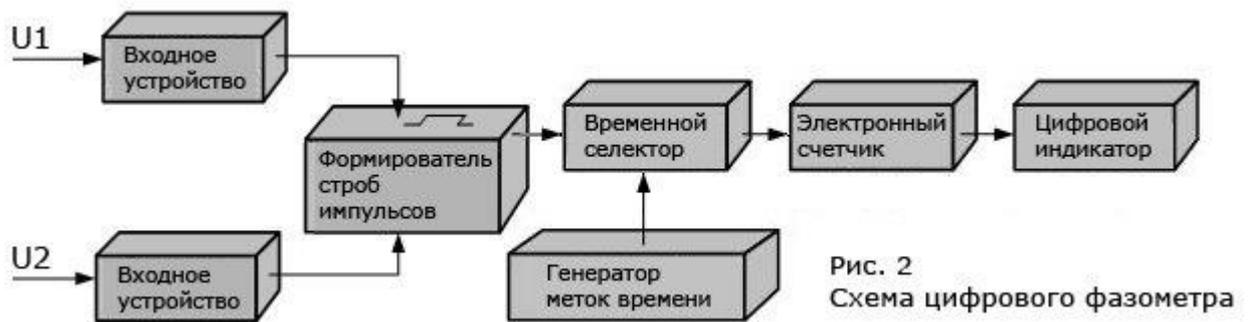


Рис. 2
Схема цифрового фазометра

Время открытого состояния временного селектора зависит от измеряемого периода T . За этот промежуток времени, через временной селектор проходит сигнал образцовой частоты f_0 и образцовой продолжительности T_0 , выдаваемый генератором меток времени. Число импульсов N за период T составит:

$$N = T/T_0;$$

Входные сигналы U_1 и U_2 посредством формирователя строб-импульсов преобразуются в серию импульсов, сдвинутых во времени на ΔT , пропорциональное сдвигу фаз сигналов. Время открытого состояния временного селектора равно ΔT , а число пропущенных импульсов образцовой частоты равно:

$$n = \Delta T/T_0;$$

Тогда зависимость ψ от частоты и количества импульсов образцовой частоты запишется так:

$$\psi = 360^\circ n/N \text{ или } \psi = 360^\circ (f_0/f)n;$$

Такие частотомеры применяют при условии, что образцовая частота более чем в 1000 раз превосходит частоту сигнала.

Для измерения среднего значения сдвига фаз, в схему цифрового фазометра добавляют еще один временной селектор, управляемый делителем напряжения. В данном случае через два последовательно включенных временных селектора пройдет несколько групп импульсов, пропорциональных по величине углу сдвига.

Измерение методом сравнения. Для определения сдвига фаз методом сравнения применяют электронный осциллограф. Сдвиг фаз ψ находят по параметрам фигур изображенным на экране осциллографа, работающего в режиме линейной или круговой развертки.

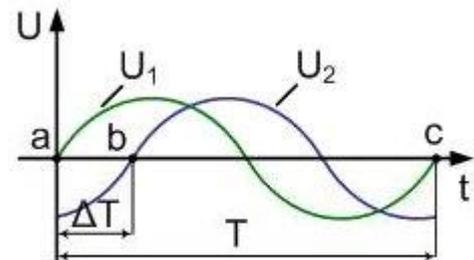


Рис. 3 Линейная развертка сигналов

При использовании двухлучевого осциллографа на вертикально-отклоняющие пластины подают два сигнала одинаковой частоты, между которыми измеряют сдвиг фаз. При совмещении горизонталей двух сигналов на экране осциллографа наблюдается диаграмма рис 3. По измеренным в масштабе отрезкам ab и ac определяют:

$$\psi = 360^\circ \Delta T/T = 360^\circ [ab/ac].$$

Погрешность такого метода заключается в неточности определения отрезков ab и ac , неточном совмещении горизонталей, и толщине светового луча на экране.

При измерении ψ по фигурам Лиссажу измеряемые напряжения подаются на горизонтальный и вертикальный входы осциллографа. На экране появляется фигура в виде эллипса.

Центр эллипса совмещают с центром системы координат. Измерив по экрану величину отрезков A и B , сдвиг фаз находят по формуле:

$$\psi = \arctg(A/B);$$

Погрешность измерений ψ методом фигур Лиссажу составляет 5-10%. Еще одним недостатком метода является измерение сдвига фаз без определения знака.

Этот недостаток решается следующим образом: напряжение u_2 подается одновременно на горизонтальные пластины и на модулятор электронно-лучевой трубки со сдвигом по фазе 90° . При этом в области положительных значений ψ ярче светится верхняя часть эллипса, а при отрицательных – нижняя.

Наиболее точные определения ψ выполняют методом компенсации. Для этого применяют образцовый фазовращатель (RC-цепочка, мостовая или трансформаторная схема), включенный в цепь одного из напряжений. Фазовращатель вносит сдвиг по фазе равный, но противоположно направленный измеряемому ψ .

При сдвиге ψ на экране осциллографа наклонная линия будет отклонена вправо от вертикали. Если линия будет отклонена влево – сдвиг равен $(180^\circ - \psi)$.

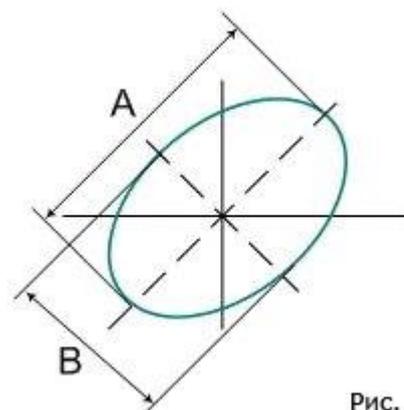


Рис. 4
Фигура Лиссажу

Занятие 34. Цифровые измерительные приборы. Общие сведения

Цифровыми измерительными приборами (ЦИП) называют приборы, содержащие аналого-цифровые преобразователи, устройства обработки цифровой информации и отображения результатов измерений в цифровой форме.

В настоящее время ЦИП занимают ведущее место на мировом рынке, хотя в промышленности еще имеется большой парк аналоговых измерительных приборов.

ЦИП имеют много достоинств:

- высокая точность измерений,
- широкий диапазон измеряемой величины,
- результат измерений в цифровой форме (возможность последующей обработки, сохранения, индикации),
- возможность внешнего управления, автоматизации и программирование процесса измерения.

Обобщенная структурная схема ЦИП представлена на рис. 1.

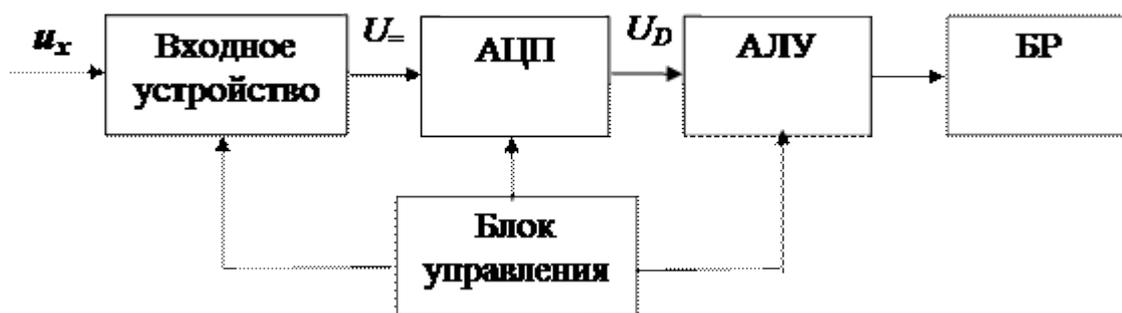


Рис. 1.

Входное устройство по сигналу Блока управления (БУ) каждый цикл измерений преобразует измеряемый электрический сигнал $u_x(t)$ в постоянное напряжение U_- в определенном диапазоне значений, который зависит от значения u_x и выбранного предела измеряемой величины. В следующем цикле при изменении значения u_x изменяется значение U_- .

АЦП – аналого-цифровой преобразователь преобразует циклически напряжение U_- в цифровую форму U_D (коды значений U_-).

АЛУ – арифметико-логическое устройство выполняет операции с отдельным значениям U_D , полученным в цикле или с набором их значением в множестве циклов.

Блок управления синхронизирует процессы обработки сигналов.

Таким образом, в любом ЦИП происходит два процесса:

- дискретизация – представление непрерывно изменяющихся значений напряжения измеряемой величины u_x в дискретный набор значений U_{-t} , для отдельных моментов времени, определяемых циклами измерений (рис. 2,а),
- квантование – преобразование отдельного значения U_{-t} в цифровой код U_{Dt} . (рис. 2,б).

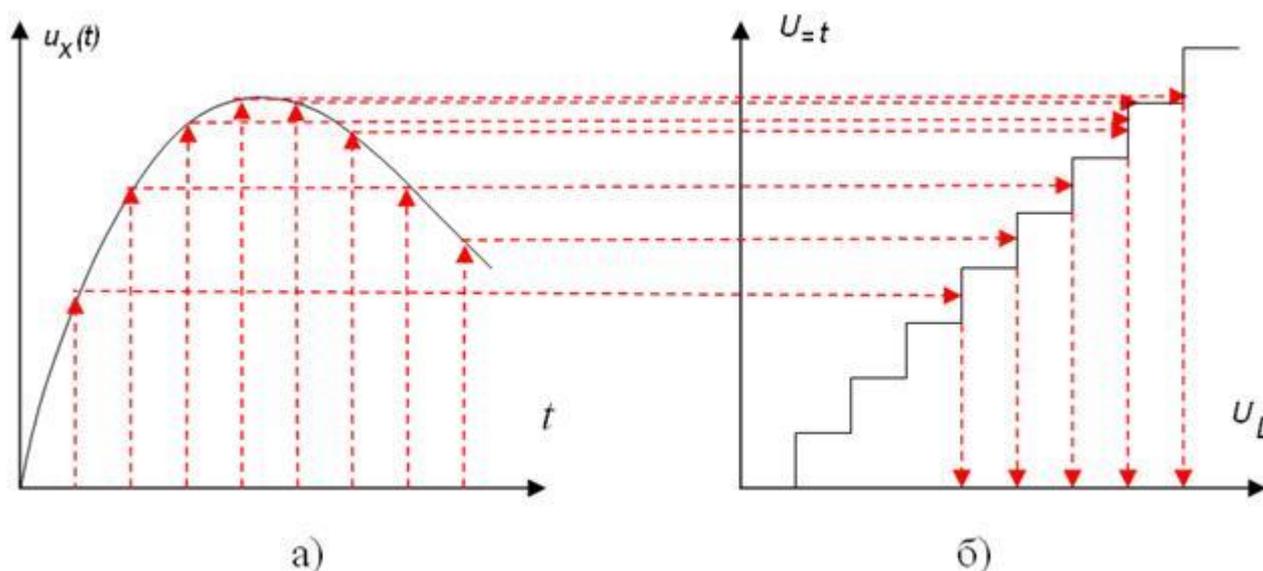


Рис. 2. а)- дискретизация во времени, б) квантование в двоичный код.

Погрешность квантования зависит от шага квантования, т.е. от разрядности АЦП. Чем выше разрядность, тем меньше погрешность квантования.

Период дискретизации $T_{\text{discr}} = 1/f_{\text{discr}}$ должен быть больше длительности процесса квантования $T_{\text{кв}}$, которая зависит от метода квантования.

В процессе квантования измеряемая величина сравнивается с известной мерой, составленной из суммы квантов разных разрядов.

При методе «последовательного счета» (самый медленный алгоритм) мера набирается последовательным наращиванием по единице младшего разряда (рис. 3,а).

Второй метод «поразрядного уравнивания» (рис. 3,б) заключается в последовательном уменьшении (или увеличении) меры, начиная со старшего разряда.

В третьем методе «считывания» (рис. 3,в) применяется одновременное сравнение с множеством мер, набранных с возрастающим количеством квантов.

Методы перечислены в порядке нарастания быстродействия. Однако, при этом возрастает так же сложность и стоимость ЦИП.

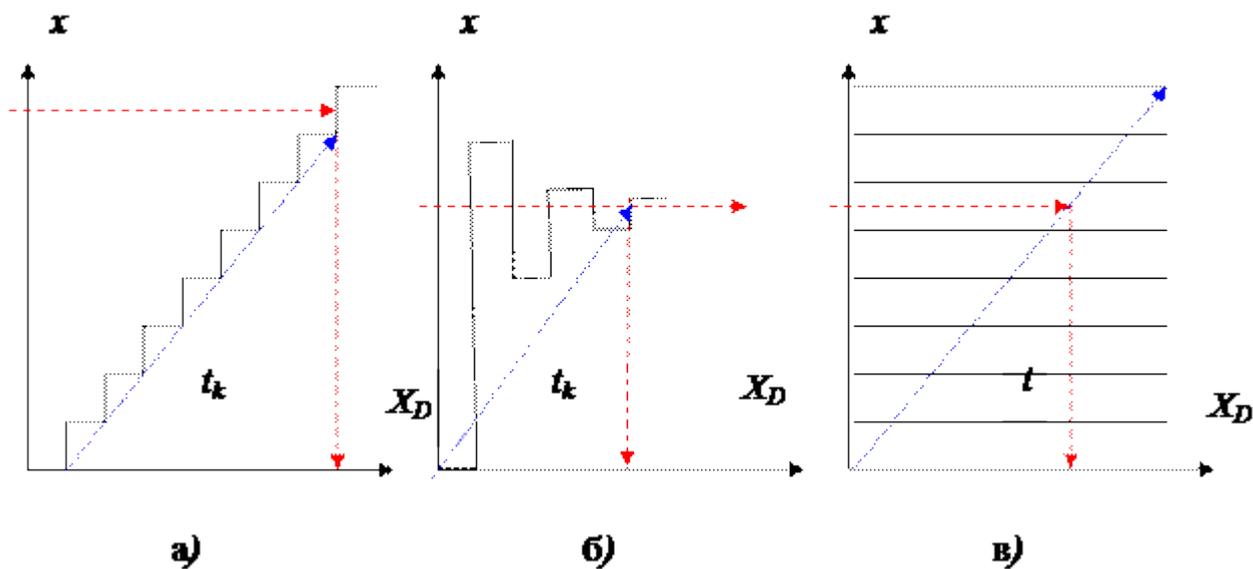


Рис. 3. К алгоритмам преобразования сигнала в цифровую форму.

ЦИП характеризуются следующими параметрами:

- измеряемая величина, т.е. какая электрическая величина измеряется,
- пределы измерения, т.е. переключаемые диапазоны измеряемой величины,
- чувствительность, т.е. наименьшая единица младшего разряда,
- количество разрядов индикатора,
- количество квантов,
- точность ЦИП, комплексная характеристика, выражаемая погрешностями,
- быстродействие.

Занятие 35. Цифровые вольтметры и цифровые генераторы

Цифровые вольтметры (постоянного -DC, переменного -AC напряжений)

Различают:

-по назначению, т.е. виду измеряемого напряжения – постоянного (DC) или переменного напряжения (AC- среднего, действующего, амплитудного значений), для импульсного напряжения, универсального назначения;

-по устройству – вольтметры с фиксированной логикой и программируемые (с микропроцессором);

-по методу аналого-цифрового преобразования :

-время-импульсные,

-поразрядного уравнивания,

-частотно-импульсные.

Ниже рассматриваются ЦИП с фиксированной (жесткой) логикой.

Упрощенный пример схемы вольтметра с время-импульсным преобразованием приведен на (рис. 1). В вольтметре имеется генератор непрерывной периодической импульсной последовательности (ГИ), генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), счетчик импульсов (СИ), компаратор (КМП), входное устройство (ВУ) и управляющее устройство (УУ).

Периодически по сигналу УУ запускаются ГЛИН и СИ, образуется линейно - нарастающее напряжение $u_{\text{лин}}(t)$ и начинается подсчет импульсов. с периодом $T_{\text{имп}}$. Напряжение $u_{\text{лин}}(t)$ сравнивается в компараторе с измеряемым напряжением U_x . В момент времени t , когда $u_{\text{лин}}(t) = U_x$, компаратор формирует импульс, который останавливает счетчик со значением K . Искомое напряжение оказывается равным $U_x = K * T_{\text{имп}}$.

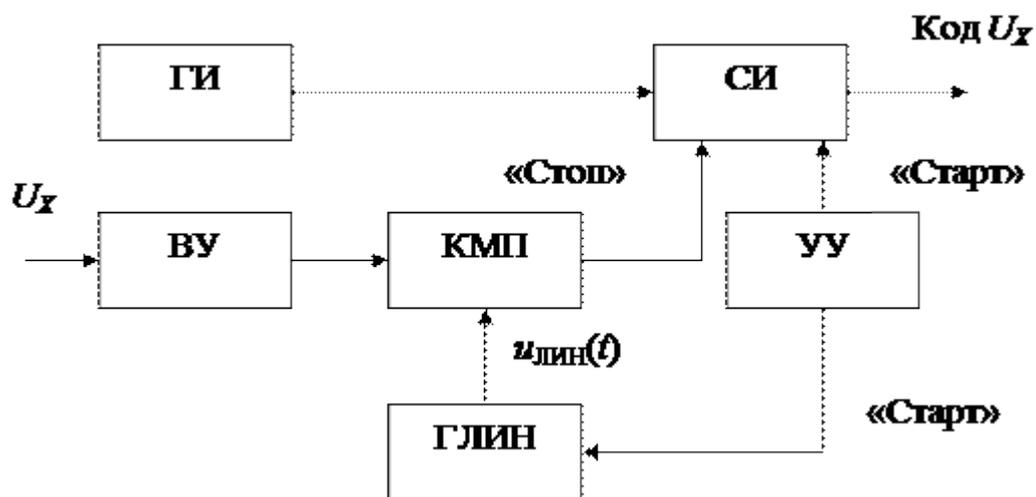


Рис. 1. Упрощенная схема цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием.

Для измерения переменных напряжений вольтметр постоянного тока дополняется преобразователем переменного напряжения в постоянное напряжение. При этом схема преобразователя зависит от измеряемой величины. Как показано, возможны измерения действующих, амплитудных и средних по модулю значений напряжения.

Цифровые генераторы сигналов

Генератор сигнала – прибор, применяемый для генерации сигналов различных частот, которые называются воздействующими или управляющими сигналами. По изменениям формы сигналов судят о поведении в работе диагностируемого оборудования. Генераторы сигналов необходимы при электроизмерениях, тестировании радио- и электронных устройств в процессе их разработки, диагностики или определения соответствия заявленным параметрам.

Принцип работы генератора сигналов

При разработке электронных модулей, компонентов схемы и прочих операциях генератор сигналов работает в качестве источника воздействующего сигнала.

Генератор формирует сигнал с изменяемой по времени амплитудой, который подается на тестируемый элемент или высокочастотный модуль, фильтр. Форма сигнала может быть произвольной, а может быть в виде любой периодической функции, например, синусоиды. Может представлять собой цифровой импульс или двоичную последовательность. Наиболее распространенные формы сигналов - синусоидальные сигналы, меандры и прямоугольные сигналы, пилообразные и треугольные сигналы.

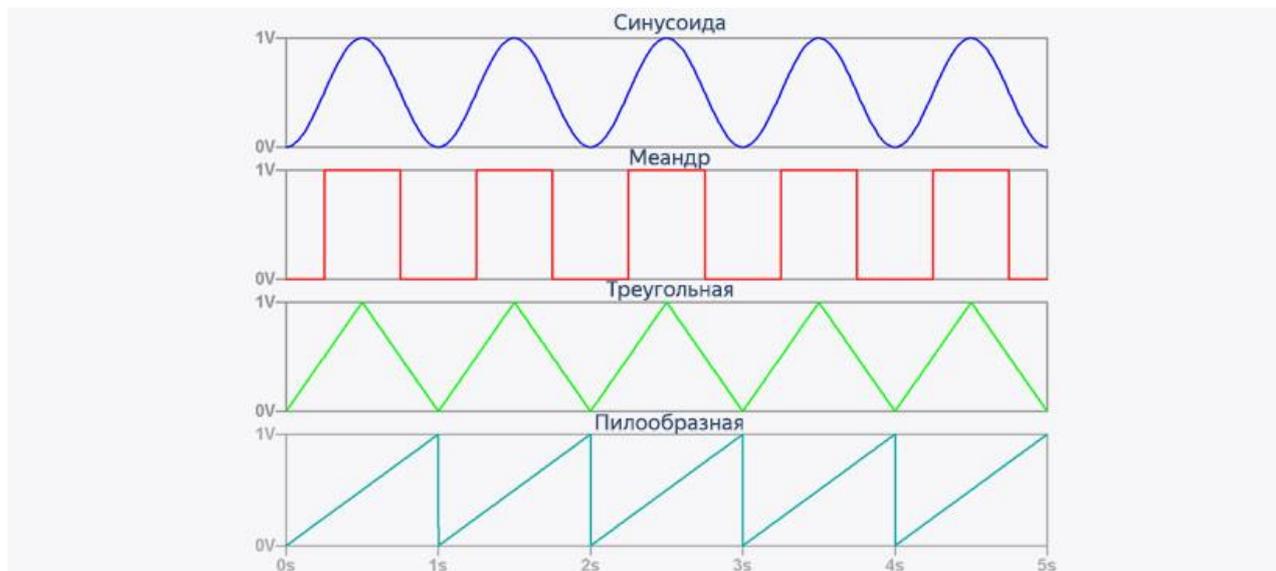


Рис. 2. Основные формы сигналов

Что представляет собой сигнал генератора?

Сигнал является биполярным истинным сигналом переменного тока с пиковыми значениями, которые колеблются относительно определенного уровня постоянного напряжения.

Также это могут быть сигналы со смещением, которые опускаются и поднимаются ниже или выше от расположения нулевого уровня (0 В). Под переменным током понимается любой изменяющий свое значение сигнал, независимо от привязки к нулю.

Таким образом, тестирование приборов заключается в подаче сигнала идеальной формы или с добавлением искажений, то есть ошибки, которая возможна в процессе работы диагностируемого прибора.

Главное достоинство генератора сигнала - это возможность имитации реальной ошибки, которую можно предсказать в определенном месте и в нужное время с помощью исследуемой схемы.

В итоге, способность реагировать тестируемого устройства на искажение демонстрирует его готовность работать в неблагоприятных условиях аварийного режима.

Как вывод можно сказать, что сигнал на выходе модуля анализируется осциллографом или другим прибором, например, анализатором спектра или измерителем мощности. По результатам анализа судят о корректной работе проверяемого устройства. По необходимости генератором можно добавить шум на тестируемый сигнал или имитировать замирание входного сигнала.



Рис. 3. Формирование генератором сигналов тестового сигнала для тестирования испытуемого устройства

Основные применения генератора сигналов

Вы спросите, а зачем он нужен. Например, такой прибор как генератор сигналов A96 DDS понадобится, чтобы получить в работе над радиопередатчиком и приемником требуемую форму сигналов, чтобы настраивать УМЗЧ и измерять искажения или фронты.

Даже простейший бюджетный прибор, такой как функциональный генератор сигналов на ICL8038 даст представление о кривой на выходе при подаче синуса, треугольника или меандра, позволит увидеть результат, который получается на выходе.

Подобные устройства используются в прикладных областях при формировании низкочастотных навигационных сигналов, применяются для мобильной сотовой связи, спутников и радиолокации с длинной волны от миллиметрового диапазона. Чтобы выполнять работу в любых условиях придуманы даже карманные генераторы синусоидальных сигналов, такие как Fg-100. Прибор используется вместе с осциллографом для тестирования и наладки электронных схем.

Устройства стабилизируют синтезированную частоту, поддерживают калиброванный выходной уровень сигнала и дают возможность дистанционного управления.

Иногда получается, что генератор сигналов востребован даже чаще, чем осциллограф. Например, он нужен:

1. Когда надо проверить часть схемы и сгенерировать ШИМ (широтно-импульсную модуляцию).
2. Когда нужно проверить ЦАП (цифровые-аналоговые преобразователи).
3. Для определения сигналов различной формы и для постоянного напряжения, например при подаче управляющего сигнала, а лабораторный блок питания уже задействован.
4. Когда нужно проверить нелинейность АЦП (аналого-цифрового преобразователя).
5. Чтобы определить коэффициент преобразования и частоты трансформатора.
6. Чтобы запитать микросхему или ее часть, когда не желателен большой ток.

7. Когда, благодаря невысокому сопротивлению до 50 Ом, нужно проверить динамик, зуммер или определить на какую частоту нужно настроить срез фильтра.

8. Когда надо проверить усилители, снять ампер-частотную характеристику фильтра, определиться с точностью мультиметра или частотомера, или токовых клещей.

Цифровой генератор сигналов или аналоговый, что лучше?

Аналоговые приборы формируют высококачественные ВЧ-сигналы, обеспечивают АМ/ЧМ, импульсную и ФМ-модуляцию. Аналоговые источники могут качать частоты в заданном диапазоне и даже формируют стандартные сигналы генератора, например, пилообразной и треугольной формы.

Аналоговые генераторы сигналов отличаются:

1. Высокой частотой спектра до 10 дБн и отсутствием гармоник.
2. Низким собственным широкополосным шумом до 160 дБн.
3. Низким однополосным фазовым шумом до 140 дБн/Гц с отстройкой от несущей 10 кГц, $f = 1$ ГГц, полоса измерений 1Гц.

Однако подавляющее большинство генераторов построены на цифровом принципе. Некоторые приборы универсальны и подходят под требования и аналоговых устройств, и цифровых. Принимать надо то решение, которое оптимально и отвечает выгоде.

Например, генераторы стандартных функций и произвольной формы, они работают с любыми сигналами и смешанными тоже. Для создания и изменения сигналов любой формы применяется метод дискретизации. Для синхронизации с другими приборами и цифровыми выводами генераторы дополнены выходами маркеров.

Для каких целей лучше всего использовать цифровые генераторы сигнала?

Это тестирование в предельных режимах шин компьютеров, телекоммуникационных устройств и прочих приборов цифрового типа.

Если подробнее, то векторные приборы бывают импульсные с потоком сигналов прямоугольной формы или с высокочастотными импульсами на небольшом числе выходов. Устройства формируют сигналы в пределах информационной пропускной способности системы с помощью встроенного I/Q модулятора.

Приборы обладают возможностью создавать комплексные виды модуляции QPSK и 1024QAM. Подобные устройства тестируют высокоскоростное цифровое оборудование.

Векторные генераторы сигналов, или как их еще называют генераторы данных цифровой последовательности, создают 8, 16 и более синхронных потоков импульсов.

Есть более сложные модели. Возьмем приборы, работа которых построена на прямом цифровом синтезе сигналов и отличается большей конструктивной сложностью и высокой функциональностью.

Прямой цифровой синтез сигналов (DDS) как основной метод генерации синусоидальных сигналов

Прямой цифровой, или когерентный синтез (Direct Digital Synthesis или DDS) – технология генерации сигналов специальной и произвольной формы. Прибор, основанный на такой технологии, синтезирует гармонические сигналы множественных частот с высокой точностью и стабильностью из одного или нескольких опорных колебаний.

Принцип работы устройств, работающих с синтезом синусоидальных сигналов построен без применения колебательных компонентов. Для работы используется функция с потоком цифровых данных, соответствующих нужной форме сигнала, закрепленная в памяти. Поток данных подается на вход цифро-аналогового преобразователя, где происходит их изменение в последовательность уровней напряжения, приближенных к сигналу требуемой формы.

Метод уникален цифровой определенностью, то есть частота, амплитуда и фаза сигнала точно известны и подконтрольны в любой момент времени. Устройства DDS стойкие перед температурным воздействием и не подвержены старению.

Достоинства метода DDS:

1. Цифровое управление частотой и фазой сигнала на выходе.
2. Высокое разрешение по частоте и фазе.
3. Переход на другую частоту или фазу, перестройка по частоте без разрыва фазы происходит быстро, без выбросов и прочих аномалий, связанных с переходными процессами.
4. Для архитектуры, основанной на ЦПС, не обязательно применять точную подстройку опорной частоты из-за ее малого шага перестройки, обеспечена возможность параметрической температурной компенсации.
5. Способность организации с помощью цифрового интерфейса микроконтроллерного управления.

Синтезатор частоты, применяемый в аппаратуре связи, служит ядром настройки и определяет ее главные технические параметры. Благодаря высокой степени интеграции, программному управлению и небольшим размерам, синтезатор удовлетворяет экономическим и техническим показателям. Например, генератор сигналов произвольной формы MHS-5200A.

Устройства цифрового синтеза выпускаются в интегральном виде с применением субмикронной CMOS-технологии, 3-вольтовой логики и миниатюрного корпуса.

Типы генераторов сигналов

1. **Генераторы синусоидальных сигналов модулированного или не модулированного типа** – это усилитель с положительной обратной связью, применяется для тестирования радиоэлектронных устройств.

2. **Генераторы смешанных сигналов/функциональные генераторы:**

○ **генераторы сигналов произвольной формы (AWG)** – устройство с высокой скоростью выборки за счет применения технологий сверхбыстрых переключающих гетеропереходных приборов на германии и арсениде галлия. Прибор, кроме синусоидального сигнала, может генерировать стандартные сигналы, такие как: меандр (1 мкГц - 50 МГц), пилообразный (1 мкГц – 1 МГц), импульсный (1 мкГц – 25 МГц), шумовой (полоса 50 МГц) и пользовательские сигналы с диапазоном частот от 1 мкГц до 10 МГц с возрастанием и убыванием по экспоненциальному закону, $\text{Sin}(x)/x$ и сигнал постоянного тока. Генераторы AWG легко формируют и сохраняют во внутреннюю память сигналы произвольной формы.



Рис. 4. Упрощенная функциональная схема генераторов класса AWG

○ **генераторы сигналов произвольной формы и стандартных функций (AFG)** – лучшее соотношение цена и качество в своем классе. Например, генератор сигналов JUNCE JDS2900 - 15M отличается стабильностью и быстрым откликом на изменение частоты. Имеет два канала с диапазоном частот до 25 МГц и амплитудой от 1 мВпик-пик до 10 Впик-пик во всем рабочем диапазоне. Генерирует все типы сигналов, нужные для проведения лабораторных работ. Может работать в нескольких режимах и обладает встроенным частотомером до 200 МГц.

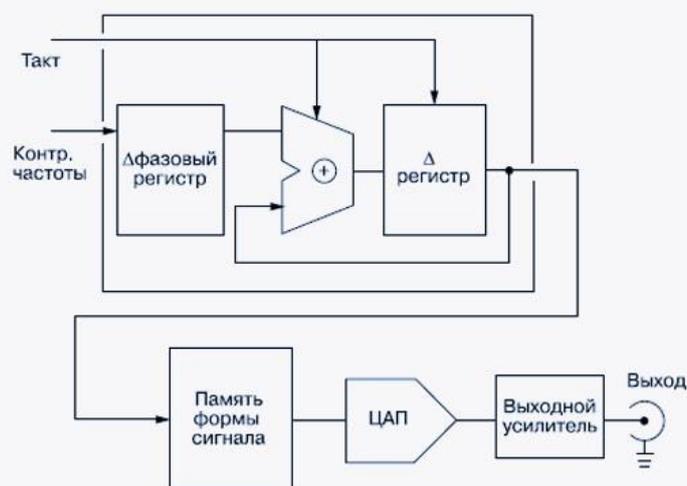


Рис. 5. Функциональная схема генератора AFG

3. **Источники логических сигналов.** Приборы для тестирования цифровой аппаратуры с длинными непрерывными двоичными последовательностями со специальным содержимым и временными характеристиками.

- **генераторы импульсов или генераторы временных соотношений (DTG)** создают двоичную информацию большого объема. Такие приборы также называются генераторами кодовых соотношений, тестирующими компьютерные шины, микропроцессоры, дисковые накопители, логические интегральные схемы и прочие цифровые элементы.

- **генераторы цифровых последовательностей (ARB) или генераторы импульсной последовательности** выводят поток импульсов или меандр на небольшое число выводов с высокой частотой. Высокая частота и крутой фронт позволяют тестировать высокоскоростное цифровое оборудование.

Дополнительно, генераторы подразделяют по частотному диапазону на:

- **генераторы НЧ-сигналов (низкочастотные)**, которые строятся как RC-генераторы, работают от 20 Гц до 200 кГц, иногда от до 2 или 20 МГц. Например, низкочастотный генератор сигналов Longwei TAG-101 с полосой пропускания от 10 Гц до 1 МГц с минимальным искажением в пределах нормы $\pm 5\%$.

- **генераторы ВЧ-сигналов (высокочастотные LC-генераторы)** для работы в радиочастотном диапазоне с различными видами модуляции на частоты до 100 – 150 МГц. Работают на основе LC-генераторов, обладают высокой степенью экранирования, без чего точные измерения при малых уровнях ВЧ-сигналов невозможны. Отличаются низким уровнем шумности, подходят для измерений с высоким уровнем требований.

Занятие 36. Электронно – лучевые преобразователи

Электронно-лучевой осциллограф является универсальным измерительным прибором широкого назначения, позволяющим визуально наблюдать и фиксировать случайные, одиночные непериодические и периодические электрические процессы в диапазоне частот от нуля (постоянный ток) до единиц гигагерц. Помимо качественной оценки исследуемых процессов осциллограф позволяет измерить:

- амплитуду и мгновенное значение тока и напряжения;
- временные параметры сигнала (скважность, частота, длительность фронта, фаза и т. д.);
- сдвиг фаз; частоту гармонических сигналов (метод фигур Лиссажу и круговой развертки),
- амплитудно-частотные и фазовые характеристики и т. д.



Осциллограф может быть использован как составная часть более сложной измерительной аппаратуры, например, в мостовых схемах в качестве нуль-органа, в измерителях частотных характеристик и т. д.

Высокая чувствительность осциллографа определяет возможность исследования очень слабых сигналов, а большое входное сопротивление обуславливает его малое влияние на режимы исследуемых цепей. По назначению электронно-лучевые осциллографы подразделяют на универсальные и общего назначения (тип С1), скоростные и стробоскопические (тип С7), запоминающие (тип С8), специальные (тип С9), регистрирующие с записью на фотобумагу (тип Н). Все они могут быть одно-, двух- и многолучевыми.

Универсальные осциллографы

Универсальные осциллографы обладают многофункциональностью за счет применения сменных блоков (например, предусилителей в С1-15). Полоса пропускания от 0 до сотен мегагерц, амплитуда исследуемого сигнала от десятков микровольт до сотен вольт. Осциллографы общего назначения применяют для исследования низкочастотных процессов, импульсных сигналов. Имеют полосу пропускания от 0 до десятков мегагерц, амплитуда исследуемого сигнала от единиц милливольт до сотен вольт.



Скоростные осциллографы

Скоростные осциллографы предназначены для регистрации однократных и повторяющихся импульсных сигналов в полосе частот порядка единиц гигагерц.

Стробоскопические осциллографы

Стробоскопические осциллографы предназначены для исследования быстродействующих повторяющихся сигналов в полосе частот от нуля до

единиц гигагерц при амплитуде исследуемого сигнала от единиц милливольт до единиц вольт.

Запоминающие осциллографы

Запоминающие осциллографы предназначены для регистрации однократных и редко повторяющихся сигналов. Полоса пропускания до 20 МГц при амплитуде исследуемого сигнала от десятков милливольт до сотен вольт. Время воспроизведения записанного изображения от 1 до 30 мин.

Для регистрации быстропротекающих и переходных процессов на фотобумаге применяют электронно-лучевые осциллографы с фотооптическим способом переноса луча на носитель записи, например Н023. Высокая скорость записи (до 2000 м/с) и большой диапазон регистрируемых частот (до сотен килогерц) позволяют применять эти осциллографы, если невозможно использование светолучевых, имеющих сравнительно небольшую скорость записи и диапазон регистрируемых частот. Основные технические характеристики осциллографов Н023 и Н063 приведены в справочниках.



Применение светолучевых осциллографов

Для получения видимой записи быстропротекающих процессов наибольшее распространение получили светолучевые осциллографы с записью на специальной осциллографической фотобумаге, чувствительной к ультрафиолетовым лучам.

Основным достоинством светолучевых осциллографов является возможность получения видимой записи в прямоугольных координатах в большом динамическом диапазоне (до 50 дБ). Рабочая полоса частот светолучевых осциллографов не превышает 15 000 Гц, Предельная скорость записи у светолучевых осциллографов до 2000 м/с, у электрографических светолучевых осциллографов 6-50 м/с. Для одновременного



наблюдения и регистрации нескольких электрических процессов осциллографы имеют несколько осциллографических гальванометров (обычно магнитоэлектрической системы), число которых может достигать 24 (в осциллографе Н043.2) и более.

Осциллографирование может производиться на фотобумагу УФ или фотоленту с химикофотографическим проявлением. Осциллографирование на бумагу УФ производится ртутной лампой с непосредственным проявлением на свету, что намного ускоряет процесс осциллографирования, и применяется в тех случаях, когда требуется получить, например, пробную осциллограмму. Недостаток фотобумаги УФ в том, что полученные на ней осциллограммы со временем теряют контрастность вследствие потемнения фона. Чувствительность фотобумаги и яркость освещения следует выбирать тем выше, чем больше скорость осциллографирования, и устанавливать снятием пробных осциллограмм.

Осциллографы обычно укомплектовывают гальванометрами с различными полосами рабочих частот. При использовании гальванометра, рабочая частота которого неизвестна, верхнюю границу частоты можно принять равной половине собственной частоты гальванометра. Собственная частота гальванометра указана на нем через тире после обозначения типа. Для ограничения рабочего тока гальванометра используют стандартные магазины шунтов и добавочных резисторов. Для случаев осциллографирования больших токов (более 6 А) или больших напряжений (более 600 В) обычно используют измерительные трансформаторы.

Чтобы получить наибольший размах луча на осциллограмме (70-80 % ширины применяемой бумаги), следует выбирать гальванометр, рабочий ток которого будет близок к максимальному.

Наиболее широко применяемые типы светолучевых осциллографов и их основные технические данные приведены в справочниках.