

Электрические измерения

Конспект лекций

По дисциплине **ОП. 07.**

Составил преподаватель

Полевой А.В.

2020г.

Содержание

1.	Государственная система обеспечения единства и точности измерений	
1.1	Классификация основных видов средств измерений.	Стр.3
1.2	Основные методы и принципы измерений.	Стр.11
1.3	Методы и средства обеспечения единства и точности измерений. Виды погрешностей измерений.	Стр.17
2.	Аналоговые и цифровые измерительные приборы	
2.1	Измерение тока и напряжения электромеханическими измерительными приборами. Тестеры.	Стр.34
2.2	Аналоговые и цифровые электронные вольтметры. Измерение мощности.	Стр.54
3.	Измерительные генераторы	
3.1	Генераторы низкой и высокой частоты.	Стр.73
3.2	Импульсные генераторы и генераторы шумовых сигналов.	Стр.79
4.	Исследование формы и измерения параметров сигнала	
4.1	Осциллографические методы измерений.	Стр.84
4.2	Измерение частоты и временных интервалов электрических сигналов.	Стр.97
4.3	Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС).	Стр.112
5.	Методы и способы автоматизации измерений	
5.1	Основные направления автоматизации измерительных приборов.	Стр.119
5.2	Микропроцессоры в измерительных приборах.	Стр.120
5.3	Компьютерно-измерительные системы (КИС).	Стр.121
5.4	Виртуальные измерительные приборы.	Стр.121
6.	Приложение А. Вопросы для самопроверки.	Стр.123
7.	Приложение Б. Литература.	Стр.129

1. Государственная система обеспечения единства и точности измерений

1.1. Классификация основных видов средств измерений.

1.1.1 Значение физической величины и ее измерение.

Физическая величина - характеристика одного из свойств физического объекта, общая в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта.

Значение физической величины - оценка ее размера в виде некоторого числа принятых для нее единиц или числа по принятой для нее шкале.

Числовое значение физической величины - отвлеченное число, выражающее отношение значения физической величины к соответствующей единице данной физической величины.

Размер физической величины – количественная определенность величины, присущая конкретному предмету, системе, явлению или процессу.

Истинным значением физической величины называют значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы, называется **основной**.

Остальные физические величины – **производные** и их находят с использованием физических законов и зависимостей через основные.

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин, **называется системой единиц физических величин**.

Единица основной физической величины является **основной** единицей **системы**.

Проект такой системы единиц был утвержден XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 году.

В Российской Федерации действует Единая Международная система единиц SI

(СИ) - Systeme International), которая регламентируется ГОСТ

8.417-81. В таблице 1 представлена система СИ.

За единицу времени принята **секунда**, равная 9.192.631.770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия - 133.

Таблица 1 - Единицы Международной системы СИ

Основные				
Наименование физической величины	Размерность	Наименование единицы измерения	Обозначение	
			Международное	Российское
Длина	L	метр	m	м
Масса	M	килограмм	kg	кг
Время	T	секунда	s	с
Сила электрического тока	I	ампер	A	А
Температура	Θ	кельвин	K	К
Количества вещества	N	моль	mol	моль
Сила света	J	кандела	cd	кд
Дополнительные				
Плоский угол	-	радиан	rad	рад
Телесный угол	-	стерадиан	sr	ср

Эталоном единицы силы тока принят **ампер** - сила неизменяющегося во времени электрического тока, который, протекая в вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создаёт на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия 2×10^{-7} Н.

Единицей термодинамической температуры является **кельвин**, составляющий 1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды.

В электротехнических измерениях применяют логарифмические единицы измерения, основанные на десятичной системе логарифмов:

- а) **белы** (Б);
- б) **децибелы** (дБ).

В этих единицах измеряют перепады мощности или напряжения:

$$\Delta B = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_1} \right), \Delta B = 20 \lg \left(\frac{U^2}{U_1} \right)$$

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц системы СИ приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Множители и приставки единиц системы СИ

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		Международное	Российское
¹⁸ 10	экса	Е	Э
¹⁵ 10	пета	Р	П
¹² 10	тера	Т	Т
⁹ 10	гига	Г	Г
⁶ 10	мега	М	И
³ 10	кило	к	к
² 10	гекто	h	г
10	дека	da	да
⁻¹ 10	деци	d	д
⁻² 10	санти	с	с
⁻³ 10	милли	m	м
⁻⁶ 10	микро	μ	мк
⁻⁹ 10	нано	n	н
⁻¹² 10	пико	p	п
⁻¹⁵ 10	фемто	f	ф
⁻¹⁸ 10	атто	a	а

1.1.2 Основные виды и средства измерений и их классификация.

Средство измерения представляет собой техническое средство, имеющее нормированные метрологические характеристики.

К средствам измерения относятся: а)

измерительный прибор;

б) мера;

в) измерительная система;

г) измерительный преобразователь;

д) совокупность измерительных систем.

Измерительный прибор это средство измерений, вырабатывающее информационный сигнал в такой форме, которая была бы понятна для непосредственного восприятия наблюдателем;

Мера это средство измерений, воспроизводящее физическую величину заданного размера.

Например, если прибор аттестован как средство измерений, его шкала с оцифрованными отметками является мерой;

Измерительная система, воспринимаемая как совокупность средств измерений, которые соединяются друг с другом посредством каналов передачи информации для выполнения одной или нескольких функций;

Измерительный преобразователь это средство измерений, которое производит информационный измерительный сигнал в форме, удобной для хранения, просмотра и трансляции по каналам связи, но не доступной для непосредственного восприятия;

По действию измерительные приборы разделяют на: а)
интегрирующие;

б) суммирующие;

в) аналоговые;

г) цифровые;

д) самопишущие;

е) печатающие.

Измерительная установка и система – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов и других устройств, предназначенных для измерений одной или нескольких величин и расположенная в одном месте (установка) или в разных местах объекта измерений (система).

Измерительные системы, как правило, являются автоматизированными и по существу они обеспечивают автоматизацию процессов измерения, обработки и представления результатов измерений.

По метрологическому назначению средства измерений делятся на: *а)*

рабочие;

б) эталоны.

Рабочее средство измерений - средство измерений, предназначенное для измерений, не связанное с передачей размера единицы другим средствам измерений.

Рабочее средство измерений может использоваться и в качестве индикатора.

Индикатор – техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо физической величины или превышения уровня ее порогового значения.

Индикатор не имеет нормированных метрологических характеристик.

Эталон - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера другим средствам измерений.

Среди них можно выделить рабочие эталоны разных разрядов, которые ранее назывались образцовыми средствами измерений.

Классификация средств измерений проводится и по другим различным признакам. **Например**, по видам измеряемых величин, по виду шкалы (с равномерной или неравномерной шкалой), по связи с объектом измерения (контактные или бесконтактные) и так далее.

1.1.3 Основные метрологические понятия и определения.

Метрология (от греческих слов «metron» мера «logos» учение, слово) наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, о способах достижения требуемой точности.

Задачами метрологии являются обеспечение единства измерений, а также методов передачи размеров единиц от эталонов к образцовым и далее к рабочим мерам и измерительным приборам.

К основным направлениям метрологии относятся:

- а) общая теория измерений;
- б) единицы физических величин и их системы;
- в) методы и средства измерений;
- г) методы определения точности измерений;
- д) основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений;
- е) эталоны и образцовые средства измерений;
- ж) методы передачи размеров единиц от эталонов и образцовых средств

измерений рабочим средствам измерений.

Единство во всех областях измерений и руководство всеми метрологическими работами осуществляет **метрологическая служба Российской Федерации**.

Важнейшая задача метрологической службы - создание эталонов наивысшей точности, достижимой при данном состоянии измерительной техники, и передача единиц измерений от эталонов к рабочим приборам с минимальной потерей точности.

Термины и определения основных понятий метрологии установлены стандартом **РМГ 29-99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения**.

При измерениях используют единицы величин Международной системы единиц, принятой Генеральной конференцией по мерам и весам и рекомендованной Международной организацией законодательной метрологии.

Основные понятия метрологии:

а) **измерение** - процесс сравнения путем физического эксперимента данной величины с величиной того же рода, принятой за единицу измерения;

б) **измерительный прибор** - это средство измерения в виде устройства, в котором измеряемая величина преобразуется в показания или сигнал, пропорциональный физической величине;

в) **мера** - средство измерения в виде устройства, служащего для воспроизведения одного или нескольких значений данной физической величины.

К мерам и измерительным приборам относятся:

Эталоны - средства измерения, обеспечивающие воспроизведение и хранение физической величины с целью передачи размера единицы образцовым средствам измерения, а от них - рабочим средствам измерения **Уровни эталонов:**

а) **рабочие эталоны** - являются основными измерительными средствами в отраслевой лаборатории.

Используются для контроля и калибровки лабораторного инструмента в данной отрасли производства и для выполнения некоторых точных измерений. Они периодически сверяются с вторичными эталонами;

б) **вторичные эталоны** - хранятся в различных лабораториях отрасли производства. Их основная функция контроль и калибровка рабочих эталонов. Периодически эти эталоны можно отсылать в национальные метрологические лаборатории для контроля и калибровки. Их сравнивают с первичным эталоном;

в) **первичные эталоны** - хранятся в национальных лабораториях различных стран. Они не доступны для использования вне данной национальной лаборатории, их можно использовать для калибровки присланных в лабораторию вторичных эталонов;

г) **международный эталон** - воспроизводится с максимально возможной

точностью, обеспечиваемой принятым методом измерения. Они хранятся в Международном бюро мер и весов в Севре (вблизи Парижа) и не подлежат использованию для измерений или калибровки.

Образцовые меры и измерительные приборы - им размер физической величины передается непосредственно от рабочего эталона. Они предназначены только для поверки рабочих средств измерений.

Рабочие меры и измерительные приборы - их используют для проведения измерений в лабораториях и на производстве.

Примеры меры единиц электрических величин.

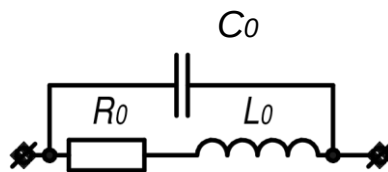
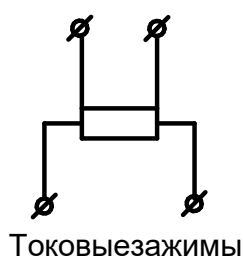
Мера электрического сопротивления - выполняется в виде катушек сопротивления (от 10 до 10 Ом).

Образцовые катушки сопротивления выполняются из манганина, обладающего малым температурным коэффициентом сопротивления, большим удельным сопротивлением, малой термо-э.д.с. при контакте с Cu (сплав манганина: Si (84 %), Ni (4 %), Mn (12 %)).

Образцовые катушки сопротивления должны иметь возможно меньшие собственную емкость и индуктивность.

Катушки снабжаются четырьмя зажимами: два токовых и два потенциальных (см. рисунок 1).

Потенциальные зажимы



Эквивалентная схема

Рисунок 1 - Образцовая катушка сопротивления

Классы точности (наибольшие относительные допустимые погрешности):

0,0005; 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2.

На практике приходится использовать меры электрического сопротивления с самыми различными значениями номинальных величин. Промышленность выпускает

магазины сопротивлений, представляющие собой набор катушек сопротивлений, смонтированных в едином корпусе.

Мера индуктивности - выполняется в виде катушек индуктивности, которые должны сохранять постоянство с течением времени, обладать малым активным сопротивлением независимостью индуктивности от величины тока, малыми зависимостями индуктивности от частоты и температуры

Образцовые катушки индуктивности представляют собой пластмассовый или фарфоровый каркас наложенной обмоткой из медной изолированной проволоки.

Образцовые катушки взаимной индуктивности представляют собой две обмотки, жестко закрепленные на общем каркасе.

Набор различных катушек, смонтированных в одном корпусе, называют магазинами индуктивности.

Мера ёмкости - конденсаторы постоянной или переменной емкости, к которым предъявляются следующие требования:

- а) минимальная зависимость емкости от времени, температуры, частоты;
- б) малые потери в диэлектрике; высокое сопротивление;
- в) прочность изоляции.

Этим требованиям отвечают воздушные конденсаторы.

1.1.4 Выбор средств измерений.

При выборе средств измерений в первую очередь должно учитываться допустимое значение погрешности для данного измерения, установленное в соответствующих нормативных документах.

В случае, если допустимая погрешность не предусмотрена в соответствующих нормативных документах, предельно допустимая погрешность измерения должна быть регламентирована в технической документации на изделие.

При выборе средств измерения должны также учитываться:

- а) допустимые отклонения;
- б) методы проведения измерений и способы контроля.

Главным критерием выбора средств измерений является *соответствие средств измерения требованиям достоверности измерений, получения*

настоящих (действительных) значений измеряемых величин с заданной точностью при минимальных временных и материальных затратах.

Для оптимального выбора средств измерений необходимо обладать следующими исходными данными:

- а) номинальным значением измеряемой величины;
- б) величиной разности между максимальным и минимальным значением измеряемой величины, регламентируемой в нормативной документации;
- в) сведениями об условиях проведения измерений.

Если необходимо выбрать измерительную систему, руководствуясь критерием точности, то ее погрешность должна вычисляться как сумма погрешностей всех элементов системы (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей), в соответствии с установленным для каждой системы законом.

Предварительный выбор средств измерений производится в соответствии с критерием точности, а при окончательном выборе средств измерений должны учитываться следующие требования:

- а) к рабочей области значений величин, оказывающих влияние на процесс измерения;
- б) к габаритам средства измерений;
- в) к массе средства измерений;
- г) к конструкции средства измерений.

При выборе средств измерений необходимо учитывать предпочтительность стандартизированных средств измерений.

1.2 Основные методы и принципы измерений.

1.2.1 Методы измерений.

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Найденное значение называют ***результатом измерения***.

Основными слагаемыми измерения являются:

- а) воспроизведение единицы физической величины;
- б) преобразование измеряемого сигнала;
- в) сравнение значения измеряемой физической величины с единицей, воспроизводимой мерой;

г) фиксация результата сравнения.

Принято различать несколько видов измерений.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения: а) *статические* (измеряемая величина остается постоянной);

б) *динамические* (измеряемая величина изменяется). Динамические измерения в свою очередь могут быть: непрерывными (применяемые технические средства позволяют непрерывно следить за значениями измеряемой величины) и дискретными (значения фиксируются только в определенный момент времени);

По способу получения информации измерения подразделяются как (см. рисунок 2):

а) *прямые измерения* (искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных);

Пример прямых измерений. Измерение напряжения вольтметром, силы тока амперметром.

б) *косвенные измерения* (искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям);



Рисунок 2 - Классификация измерений по способу получения измеряемой величины

Пример косвенных измерений. Коэффициент усиления усилителя K_y по измеренным значениям $U_{вх}$ и $U_{вых}$ равен:

$$K_y = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$

в) **совокупные измерения** (одновременно измеряют несколько одноименных величин, и искомые значения находят, решая систему уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин);

в) **совместные измерения** (производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними).

Пример совместных измерений. Определение зависимости сопротивления резистора от температуры.

По используемому методу измерения делятся как:

а) **метод непосредственной оценки** (в котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия);

б) **метод сравнения с мерой** (в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой).

1.2.2 Принципы измерений.

Решение любой измерительной задачи связано с реализацией того или иного принципа измерений.

Принцип измерений - физическое явление или эффект, положенный в основу измерений тем или иным средством измерений. **Примерами** принципов измерений являются:

- а) применение эффекта Джозефсона для измерений электрического напряжения;
- б) применение эффекта Доплера для измерения скорости;
- в) использование силы тяжести при измерении массы взвешиванием;
- г) зависимость сопротивления платины от температуры, реализованная в платиновых термометрах сопротивления;
- д) зависимость термоЭДС от разности температур, реализованная в термоэлектрических термометрах.

Однако выбором принципа измерений не исчерпывается определение метода измерений. Это гораздо более общее понятие, описывающее способ решения поставленной задачи. Оно определяется следующим образом.

Метод измерения - это способ экспериментального нахождения значения физической величины.

Методы измерения подразделяются как:

а) **метод непосредственной оценки** - когда искомое значение определяется непосредственно по шкале измерительного прибора;

б) **метод сравнения** - при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, значение которой известно.

При этом методе действие измеряемой величины на какую-либо систему сравнивается с действием на эту же систему меры.

Мера принимает непосредственное участие в процессе измерения.

Пример метода сравнения. Измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями.

Такой метод реализуется в измерительной практике в виде следующих модификаций:

а) **нулевой (компенсационный)** при котором результирующий эффект воздействия обеих величин на измерительный прибор доводится до нуля. Измеряемая величина или величина, зависящая от неё, уравнивается образцовой. Индикаторный прибор регистрирует исчезновение какой-либо величины (тока или напряжения), которое будет наблюдаться при равенстве сравниваемых величин (особенность: высокая точность); **Примеры:**

- методы компенсации, уравновешенного моста, нулевых биений; - измерение частоты осциллографом при помощи фигур Лиссажу.

б) **дифференциальный** - при котором прибором измеряют разность между искомой величиной и известной эталонной. Полного уравнивания не происходит, а прибор должен быть отградуирован в единицах измеряемой величины (особенность: метод обеспечивает высокую точность, если сравниваемые величины мало отличаются друг от друга); **Примеры:**

- неуравновешенные мосты, компенсаторы с неполной компенсацией;
- измерение частоты цифровым частотомером с гетеродинным переносчиком частоты.

в) **замещении** - измеряемую величину замещают на протяжении измерения образцовой.

Метод позволяет исключить систематическую погрешность измерения (особенность: эффект от воздействия сравниваемых величин наблюдается не одновременно, а поочередно).

Пример. Измерение ослабления аттенюатора с помощью образцового переменного аттенюатора.

1.2.3 Метрологические показатели средств измерений.

При выборе средства измерения в зависимости от заданной точности изготовления деталей необходимо учитывать их метрологические показатели. К ним относятся:

- а) **длина деления шкалы** - это расстояние между серединами двух соседних отметок (штрихов, точек и т. п.) шкалы;
 - б) **цена деления шкалы** - это разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы (у микрометра она равна 0,01 мм);
 - в) **градуированная характеристика** - зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений;
 - д) **диапазон показаний** - область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, то есть наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины;
 - г) **диапазон измерений** - область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерения;
 - е) **чувствительность прибора** - отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины (сигнала) на входе. Так, если изменение измеряемой величины составило $\Delta d = 0,01$ А, что вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на $\Delta l = 10$ мм, то абсолютная чувствительность прибора составляет $S = \Delta l / \Delta d = 10 / 0,01 = 1000$.
- Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению;
- ж) **вариация (нестабильность) показаний прибора** - алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим результатами измерений при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях;
 - и) **стабильность средства измерений** - свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний);
 - к) **точность средства измерений** - качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешностей;
 - л) **класс точности средства измерений** - обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливают в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Примечание. Класс точности средств измерения характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств.

1.2.4 Результат измерений и его характеристика.

Задачей измерения является нахождение по полученным наблюдениям наилучшей оценки измеряемой величины - *результата измерения и оценки*

точности этого результата, т.е. степени его близости к истинному значению величины - погрешности измерений.

При этом считается, что закон распределения наблюдений и погрешностей известен.

Под оценкой в данном случае понимается нахождение значений параметров этих распределений случайных величин по ограниченному числу наблюдений.

Полученные оценки параметров распределений являются лишь приближениями к истинным значениям этих параметров и используются в качестве *результата измерений* и его погрешности.

Для того чтобы оценку, получаемую по результатам многократных наблюдений, можно было использовать в качестве параметра функции распределения случайной величины, она должна отвечать ряду требований:

- а) быть состоятельной;
- б) несмещенной;
- в) эффективной.

Состоятельная оценка - это оценка, которая при увеличении числа наблюдений стремится к истинному значению оцениваемого параметра.

Несмещенная оценка - оценка, математическое ожидание которой равно истинному значению оцениваемого параметра.

Эффективная оценка - оценка, имеющая наименьшую дисперсию по сравнению с любой другой оценкой данного параметра.

Методы нахождения оценок параметров распределений, а по ним результатов измерений и их погрешностей зависят от вида функции распределения и от тех соглашений по обработке результатов измерений, которые нормируются в рамках законодательной метрологии в нормативной документации.

1.2.5 Выбор метода измерений.

При выборе метода измерений необходимо руководствоваться рекомендациями документа МИ 1967-89 "ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения".

Выбор методов осуществляется на основании следующих задаваемых исходных данных:

а) вида и, при необходимости, описания: объектов измерений; свойства объекта, которое должно быть определено в соответствии с поставленной задачей измерений; других свойств объекта измерений, способных влиять на погрешности измерений;

б) вида измеряемой величины, диапазона ее возможных значений, наибольшей возможной частоты (скорости) ее изменения, вида (определенная детерминированная функция, случайная функция и т.п.) и частотного спектра

процесса (сигнала), информативным параметром которого является измеряемая величина (если она является параметром или функционалом какого-либо процесса).

Последние данные принимаются в качестве исходных в тех случаях, когда в соответствии с поставленной задачей измерений и видом объекта измерений не возникают затруднения в выборе величины, которая должна быть принята за измеряемую.

Если этот выбор не очевиден, на основании остальных заданных исходных данных должна быть сформирована модель объекта измерений и в качестве измеряемой величины должен быть выбран определенный параметр или функционал параметров модели объекта измерений. После этого устанавливаются необходимые для выбора методов и средств измерений характеристики измеряемой величины;

в) характеристики внешних условий проведения измерений и режимов работы объектов измерений (далее - внешних условий), способных влиять на погрешности измерений;

г) пределы допускаемых характеристик погрешности измерений, которым должны удовлетворять все (любые) результаты измерений, полученные путем применения реализаций в заданных условиях.

Степень конкретности задаваемых исходных данных существенно влияет на близость характеристик погрешности измерений, определяемых расчетным путем в процессе выбора методов и средств измерений, к действительным характеристикам погрешности измерений.

1.3 Методы и средства обеспечения единства и точности измерений. Виды погрешностей измерений.

1.3.1 Методы и средства обеспечения единства и точности измерений.

Единство измерений - такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Точность – величина, обратная погрешности.

Государственное регулирование в области обеспечения единства измерений согласно Федерального закона № 102-ФЗ "Об обеспечения единства измерений" осуществляется в следующих формах:

- а) утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;
- б) поверка средств измерений;
- в) метрологическая экспертиза;
- г) федеральный государственный метрологический надзор;
- д) аттестация методик (методов) измерений;
- е) аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации - периодической поверке.

Применяющие средства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно представлять эти средства измерений на поверку.

1.3.2 Средства обеспечения единства и точности.

Точность - показывает как близко измеренное значение к истинному значению измеряемого параметра.

Пример. Прибору, имеющему полную шкалу 10 В, приписывается точность $\pm 1\%$. Это значит, что при любом отсчете стрелка прибора может отклоняться от истинного значения не более, чем на $\pm 0,1$ В.

Если прибор показывает 9 В, то истинное значение может быть от 8,9 до 9,1 В.

Если прибор показывает 2 В, то ошибка будет возрастать до 10 %.

Следовательно, для большей точности следует выбирать подходящий диапазон шкалы измерительного прибора.

Прецизионность - показывает как точно или отчетливо можно произвести отсчет.

Она определяется тем, насколько близки друг к другу результаты двух идентичных измерений.

Разрешение прибора - наименьшее изменение измеряемого значения, на которое прибор будет реагировать.

Диапазон прибора - определяется минимальным и максимальным значениями входного сигнала, для приема которого он предназначен.

Полоса пропускания прибора - разность между минимальной и максимальной частотами, для которых он предназначен.

Если сигнал находится за пределами полосы пропускания прибора, то будут возникать ошибки, так как прибор не сможет следовать изменениям измеряемого сигнала.

Чувствительность - определяется отношением выходного сигнала (показания прибора) к входному сигналу (измеряемой величине).

Шумы - любой сигнал, который не несет полезной информации, может быть назван шумом и служит источником ошибок.

Шумы могут быть механическими, электрическими, магнитными.

Они могут быть уменьшены путем защиты прибора от вибраций, электростатических и магнитных полей.

Шумы могут возникать в самом приборе и уменьшение их уровня обеспечивается тщательным конструированием.

Значащие цифры — указывают на прецизионность прибора.

1.3.3 Классификация и характеристика погрешностей.

Погрешность - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Классификационные признаки погрешностей.

В зависимости от источника возникновения:

а) **субъективная** - зависит от оператора, несовершенства его органов чувств, небрежности, невнимания;

б) **аппаратурная** - обусловлена погрешностями применяемых средств измерений;

в) **внешняя** - обусловлена внешними условиями;

г) **методическая** - происходит от несовершенства метода измерений;

д) **энергетическая** - обусловлена потреблением средством измерения

мощности от объекта исследования, к которому средство измерения подключается.

В зависимости от условий применения средства измерения: а)

основная - возникает при нормальных условиях,

б) **дополнительная** - возникает при отклонении значения одной из влияющих величин от нормального значения.

В зависимости от способа выражения:

а) **погрешности измерительных приборов** (абсолютная, относительная, приведенная);

б) **погрешности измерения** (абсолютная и относительная).

По закономерностям проявления погрешности бывают:

а) **систематическая** - не изменяет от измерения к измерению ни величину, ни знак, или изменяется по известному закону. Ее можно исключить путем внесения поправок;

б) **случайная** - не подчиняется какому-либо известному закону и возникает от различных причин. Учесть и исключить ее невозможно;

в) **промах** - грубая погрешность, сильно искажающая результат измерения;

По характеру поведения измеряемой величины в процессе измерения погрешности бывают:

а) **статическая** - погрешность средства измерения, используемого для измерения постоянной величины;

б) **погрешность средства измерения в динамическом режиме** - погрешность средства измерения, используемого для измерения переменной во времени величины;

в) **динамическая** - разность между погрешностью средства измерения в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

1.3.4 Виды погрешностей и основные причины их возникновения.

Виды погрешностей средств измерений:

а) **абсолютная погрешность**, Δ - разность между показанием прибора X и действительным значением измеряемой величины X_d :

$$\Delta = X - X_{\text{д}}$$

За истинное (действительное) значение измеряемой физической величины принимают показания эталонного измерительного прибора или среднее арифметическое значение ряда измерений;

б) **относительная погрешность**, δ , которая более полно характеризует точность измерения, выражается в процентах и бывает двух видов:

- **действительная относительная погрешность**, $\delta_{\text{д}}$ - равная отношению абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выраженная в процентах:

$$\delta_{\text{д}} = \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} 100$$

- **номинальная относительная погрешность**, $\delta_{\text{н}}$ - равная отношению абсолютной погрешности к измеренному значению исследуемой величины:

$$\delta_{\text{н}} = \frac{\Delta}{X} 100$$

в) **приведенная (класс точности прибора)**, γ - отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению, выраженная в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta_{\text{макс}}}{L} 100$$

$$\Delta_{\text{макс}} = \alpha \cdot c$$

где L - верхний предел измерений (нормирующее значение); α - число делений шкалы прибора;
c - цена деления.

Для приборов с равномерной шкалой за нормирующее значение принимают большее из значений шкалы, если нулевая отметка находится в начале шкалы, либо арифметическая сумма обоих конечных значений шкалы, если нулевая отметка находится внутри рабочей части шкалы.

1.3.5 Способы определения погрешностей измерений.

Общие сведения об обработке результатов измерений.

При измерениях любую искомую физическую величину определяют всегда с некоторой погрешностью.

В задачу измерений входит не только получение наиболее вероятного значения искомой величины, но и оценка допущенной при измерениях

В задачу измерений входит не только получение наиболее вероятного значения искомой величины, но и оценка допущенной при измерениях погрешности.

Многократные измерения проводят для нахождения более точного значения измеряемой величины.

При достаточно большом количестве измерений наиболее достоверным является результат, полученный как среднее арифметическое отдельных результатов

измерений $A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$:

$$A_{cp} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n}$$

где n - количество измерений.

Чаще всего случайная погрешность δ оценивается средней квадратичной погрешностью:

$$\delta = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}}$$

где $\Delta_1 = A_1 - A_0$

$\Delta_2 = A_2 - A_0$

$\Delta_n = A_n - A_0$ - абсолютные погрешности;

На практике действительное значение измеряемой величины, как правило, неизвестно. Поэтому вместо него используют среднее арифметическое, а вместо абсолютных случайных погрешностей Δ - остаточные погрешности α (это разность между средним арифметическим значением и результатом отдельного измерения)

$$\alpha_1 = A_{cp} - A_1$$

$$\alpha_2 = A_{cp} - A_2$$

$$\alpha_n = A_{cp} - A_n$$

Среднеквадратичная погрешность результата отдельного измерения:

$$\delta = \sqrt{\frac{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \dots + \alpha_n^2}{n-1}}$$

Так как среднее арифметическое значение результата является наиболее вероятным, то и случайная погрешность его будет меньше, чем у результата отдельного измерения.

Средняя квадратичная погрешность среднего арифметического значения:

$$\frac{\sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \dots + \alpha_n^2}}{n} \frac{\delta}{\sqrt{n}} = \delta_A$$

Таким образом, увеличение количества повторных измерений n приводит к уменьшению случайной погрешности среднего арифметического значения результата.

Многократные измерения одной и той же физической величины позволяют уменьшить случайную составляющую погрешности измерения.

Если бы можно было найти среднее значение результата отдельного измерения, то случайная составляющая погрешности измерения была бы полностью исключена, так как среднее значение случайной величины есть величина не случайная.

Однако для этого потребовалось бы бесконечное количество измерений.

На практике оно всегда конечно, и вместо среднего значения можно найти лишь его оценку.

Оценки числовых характеристик законов распределения вероятности случайных величин (среднего значения, дисперсии), изображаемые точкой на числовой оси, называются *точечными*, а интервалом - *интервальными*.

В отличие от самих числовых характеристик оценки являются случайными величинами, причем их значения зависят от числа измерений, а распределение вероятности - от закона распределения вероятности отдельного измерения. Оценки должны удовлетворять *трем условиям*:

а) быть состоятельными (т.е. при увеличении числа измерений оценка сходится по вероятности к истинному значению оцениваемого параметра);

б) несмещенными (математическое ожидание ее должно равняться истинному значению оцениваемого параметра);

в) эффективными (т.е. дисперсия данной оценки должна быть меньше, чем дисперсия любой другой оценки).

Перечисленным требованиям удовлетворяет такая точечная оценка среднего значения как *среднеарифметическое*:

$$A = \frac{1}{n} \sum a_i$$

где a_i - результат отдельного измерения с учетом поправок; n - число измерений.

Дисперсия среднеарифметического выражается следующей формулой:

$$D(A) = \frac{\sum (A - a_i)^2}{n} = \frac{\delta^2}{n}$$

т.е. в n раз меньше дисперсии отдельного измерения.

Среднеквадратическое отклонение отдельного измерения δ , также как и среднее значение A нельзя оценить экспериментально.

При конечном числе измерений n вместо него можно найти лишь его состоятельную, несмещённую и эффективную оценку:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (a_i - A)^2}$$

откуда следует, что точечная оценка среднеквадратического отклонения результата многократного измерения равна:

$$s_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (a_i - A)^2}$$

Таким образом, увеличивая число измерений, случайную составляющую погрешности многократного измерения можно сделать пренебрежимо малой по сравнению с систематической.

Такой прием называется **фильтрацией** случайной составляющей погрешности измерения.

Косвенные методы измерения можно разделить на два вида.

Определяемое значение зависит:

- а) от одного измеряемого значения;
- б) нескольких измеряемых значений.

Формулы для расчета абсолютных среднеквадратических, а также относительных ошибок для обоих видов косвенных измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3- Формулы для расчета абсолютных среднеквадратических и относительных ошибок для обоих видов косвенных измерений

Функция	Погрешность	
	Абсолютная	Относительная
AX	$\pm A \Delta X$	$\pm \frac{\Delta X}{X}$
$AX+B$	$\pm A \Delta X$	$\pm \frac{A \Delta X}{AX+B}$
$X+Y+Z$	$\pm \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$	$\pm \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}}{X+Y+Z}$
$X-Y$	$\pm \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$	$\pm \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}{X-Y}$
XY	$\pm \sqrt{Y^2 \Delta X^2 + X^2 \Delta Y^2}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2}$
$\frac{X}{Y}$	$\pm \sqrt{\frac{Y^2 \Delta X^2 + X^2 \Delta Y^2}{Y^4}}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2}$

Необходимо обратить внимание на то, что измерение значения функции ($X Y$) может сопровождаться большими относительными погрешностями при малых разностях, поэтому такое измерение не всегда допустимо.

Для исключения прогрессирующей систематической погрешности, являющейся линейной функцией времени, применяют **способ симметричных наблюдений**.

Он заключается в том, что наблюдения выполняют через одинаковые промежутки времени в течение определенного временного интервала.

При обработке результатов наблюдений используется тот факт, что погрешность среднего значения любой пары наблюдений, симметричных относительно середины временного интервала, равна погрешности результата наблюдения, соответствующего средней точке интервала.

Так удается исключить влияние погрешностей, обусловленных постепенным падением напряжения источника питания (батареи или аккумулятора), уменьшением электронной эмиссии катодов в радиолампах и другими факторами.

Эффективным способом уменьшения систематических погрешностей является их **рандомизация**, т. е. перевод в случайные.

Например, если измерить напряжение несколькими вольтметрами разных типов одновременно и усреднить результаты наблюдений, то можно ожидать, что систематические методические и инструментальные погрешности, присущие каждому прибору, вследствие случайного выбора приборов в какой-то мере компенсируются.

Того же эффекта добиваются, изменяя случайным образом методику и условия эксперимента или те параметры, от которых не зависит значение измеряемой величины, но могут зависеть систематические погрешности ее измерения.

Во время обработки результатов наблюдений обнаруживают и оценивают те систематические погрешности, которые не удалось исключить, и в результат измерения вносят поправки.

Поправкой называется величина, одноименная с измеряемой, добавление которой к результату измерения исключает систематическую погрешность.

Поправочный множитель — это число, на которое умножается результат измерения с целью исключения систематической погрешности.

Поправки (поправочные множители) прилагают к паспорту прибора в виде таблиц, графиков или формул. Они могут быть функциями времени, значения измеряемой величины, частоты, температуры и т. д.

Поправка, прибавляемая к результату, измерения, должна быть численно равна систематической составляющей погрешности, но противоположна ей по знаку.

Если систематическая погрешность является функцией какого-либо параметра, то поправку представляют в виде обратной функции того же аргумента.

Так как источников систематических погрешностей много, то и поправок может вноситься множество.

Некоторые из них, например определяемые экспериментально, бывают известны не точно.

Нужно следить, чтобы погрешность, с которой известно значение поправки, не увеличивала погрешности измерения.

Следует помнить, что из-за неточного знания поправок систематическая составляющая погрешности измерения компенсируется не полностью.

1.3.6 Классы точности измерительных приборов.

Класс точности - обобщенная характеристика средства измерения, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Класс точности измерительного прибора характеризует его свойство в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, проводимых с помощью этого прибора.

Возможные значения статической погрешности будут тем меньше, чем ближе показания прибора к конечному значению шкалы.

Класс точности равен **приведенной погрешности**, выраженной в %.

Класс точности определяет наибольшую (предельную) допустимую погрешность прибора в рабочей част шкалы.

Согласно **ГОСТ 8.401-80** для указания нормированных пределов допускаемых погрешностей значения выражаются в процентах и выбираются из ряда чисел:

(1;1,5;2;2,5;3;4;5 и 6) 10^p , где

$p=+1; 0; -1; -2; -3$ и т.д.

Согласно ГОСТу стрелочные измерительные приборы делятся на 9 классов точности.

По классу точности показывающих приборов можно определить их наибольшую абсолютную погрешность, которую может иметь прибор в любой точке шкалы без учета знака (см. таблицу 3).

Класс точности устанавливают на заводе при калибровке по образцовому прибору в нормальных условиях.

При этом показание образцового прибора принимают за действительное значение измеряемой величины.

Пример 1. Имеется вольтметр со шкалой 0 - 100 В, класса точности 1,5. Определить основную абсолютную погрешность прибора на любой отметке его шкалы.

Решение.

$$\frac{\gamma}{100} \Delta = L = \frac{1,5}{100} 100 = 1,5$$

При этом на отдельных отметках шкалы она может быть 1,5 В; < 1,5 В или равна нулю

Пример 2. Пусть в результате калибровки вольтметра магнитоэлектрической системы со шкалой 0 - 50 В на отметках шкалы прибора: 0, 10, 20, 30, 40, 50 В получены следующие значения абсолютной погрешности: 0,2, 0,2, 0, 0,3, 0,5, 0,9 В.

Определить приведенную погрешность поверяемого вольтметра.

Решение.

$$\gamma = \frac{\Delta_{\text{макс}}}{L} 100 = \frac{0,9}{50} 100 = 1,8\%$$

По ГОСТу класса точности 1,8 нет, поэтому класс точности вольтметра определяют как 2,5.

Таблица 4- Класс точности и приведённая погрешность показывающих приборов

Класс точности	Приведённая погрешность, %	Группа приборов
1	0,02	Образцовые приборы
2	0,05	Лабораторные приборы
3	0,1	
4	0,2	
5	0,5	
6	1,0	Технические приборы
7	1,5	
8	2,5	
9	4,0	

1.3.7 Понятие о вариации показания прибора.

Вариация показаний измерительного прибора это наибольшее экспериментально найденное расхождение между показаниями прибора, полученными при повторных измерениях одной и той же величины.

Вариация показаний вызывается такими причинами, как трение в опорах подвижной части измерительного прибора, явлениями гистерезисного характера и т.п.

Она служит источником одной из составляющих погрешностей измерительного прибора.

Абсолютная вариация показаний прибора ε – разность между показаниями прибора при многократных повторных измерениях одной и той же физической величины.

На практике вариацию показаний прибора определяют как разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней сначала со стороны меньших, а затем со стороны больших значений измеряемой величины

$$\varepsilon = |x_{\text{хода прямого}} - x_{\text{хода обратного}}|$$

Значения $x_{\text{хода прямого}}$ получают при увеличении измеряемого параметра, значения $x_{\text{хода обратного}}$ – при уменьшении измеряемого параметра.

Абсолютная вариация показаний прибора обусловлена наличием эффектов гистерезиса, является частью абсолютной погрешности прибора.

Относительная вариация показаний прибора δ_ϵ - отношение абсолютной вариации к истинному (действительному, измеренному) значению измеряемой величины, обычно выражается в процентах:

$$\delta_\epsilon = \frac{\epsilon}{X_{изм}} 100\% \approx \frac{\epsilon}{X_{дейст}} 100\%$$

где $X_{дейст}$ - действительное значение измеряемой величины;

$X_{изм}$ - измеренное значение измеряемой величины.

Приведенная вариация показания прибора γ_ϵ - отношение абсолютной вариации к нормирующему значению, обычно выражается в процентах:

$$\gamma_\epsilon = X \frac{\epsilon}{X_{норм}} 100\%$$

где $X_{норм}$ - нормирующее значение измеряемой величины.

1.3.8 Основная и дополнительная погрешности измерительного прибора.

Осиновая погрешность — это погрешность средства измерений в нормальных условиях.

Под нормальными понимают такие условия, при которых влияющие на результаты измерения величины (такие, как температура, влажность, частота и напряжение питания, внешние электрические и магнитные поля, положение прибора в пространстве и т. д.) находятся в установленных пределах.

Нормальные условия определены разными организациями зачастую по-разному.

Например, IUPAC (Международный союз практической и прикладной химии) определяет нормальные условия следующим образом:

Атмосферное давление 101325 Па = 760 мм рт. ст.

Температура воздуха 273,15 К = 0° С.

В Великобритании стандартные условия SATP (Standard Ambient Temperature and Pressure) равны:

Давление 1 Бар = 105 Па = 750,06 мм рт. ст.; Температура
298,15 К = 25 °С.

В России используют ГОСТ 2939—63, по которому нормальные условия равны:

Температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$;

Давление 760 мм рт. ст. (101325 Н/м^2 или $101,3 (100) \text{ кПа}$); Относительная влажность, % 60.

Напряжение питания — $220 \text{ В} \pm 10\%$ и т. д.

Дополнительная погрешность — это погрешность, вызываемая действием влияющих величин вследствие отклонения рабочих условий от нормальных.

Нормальные и рабочие (условия измерений) указывают в стандартах технических требований и другой нормативно-технической документации на конкретные виды средств измерений.

1.3.9 Поверка приборов на соответствие требованиям государственных стандартов.

Поверка измерительных приборов — определенный набор операций, которые выполняют орган Государственной метрологической службы (находится в ведении Росстандарта) или юридические лица, аккредитованные метрологическими службами.

Выполняет поверку физическое лицо, имеющее Аттестат поверителя, полученный в порядке, определенном Росстандартом.

Цель поверки — подтверждение соответствия средств измерения (СИ) установленным техническим требованиям.

Поверка измерительных приборов является методом государственного регулирования, целью которого является создание системы единства измерений в России.

Поверка является формой подтверждения соответствия определенным требованиям к измерительным приборам в области метрологии.

Суть поверки СИ - привязка рабочих измерительных устройств к государственному эталону для требуемой физической величины.

Поверка выполняется на основе нормативных документов, которые утверждаются после получения документа типа средства измерений по результатам испытаний.

Результат поверки СИ — подтверждение пригодности измерительного прибора к использованию или признание непригодными для проведения измерений.

Оформляется форма «Свидетельство о поверке» или на измерительный прибор, на техническую документацию наносится оттиск поверительного клейма.

Единство средств измерений на основе Федерального закона № 184 «О техническом регулировании» является одной из сфер безопасности, регулируемых государством.

Установить, относится ли СИ к типу, обязательному для поверки или нет, часто бывает непросто.

Не являются для этого основаниями сложность, тип, востребованность прибора для производства.

Необходимость поверки СИ определяется путем оценки устройства: попадает оно в сферу государственного регулирования в рамках обеспечения единства измерений или нет.

Федеральный закон № 102 от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства средств измерений» установил список отраслей промышленности, которые в обязательном порядке должны выполнять поверку измерительных приборов.

Это следующие сферы:

- а) здравоохранение и ветеринарная деятельность;
- б) охрана окружающей среды и обеспечение безопасности при чрезвычайных ситуациях;
- в) обеспечение безопасных условий и охраны труда;
- г) контроль требований промышленной безопасности к опасным производственным объектам;
- д) расфасовка товаров;
- е) осуществление государственных учетных операций;
- ж) для услуг почтовой связи;
- и) для услуг электросвязи операторами связи;
- к) в области безопасности государства и обороны;
- л) в геодезии и в картографии;
- м) в гидрометеорологии;
- н) для банковских, таможенных, налоговых операций;
- п) при подтверждении соответствия продукции обязательным требованиям РФ;
- р) при выполнении поручений государственных структур;
- с) при осуществлении государственного надзора;
- т) в области использования атомной энергии.

Федеральный закон разделил уровни ответственности за проведение поверки СИ между центральным аппаратом Государственной метрологической службы и его региональными центрами.

С 01.01.2012 г. начало действовать Постановление правительства № 250 от 20.04.2010 г. Оно утвердило перечень СИ, которые должны проходить обязательную

поверку измерительных приборов аккредитованными региональными центрами метрологии.

Федеральный закон № 102 предусматривает возможность добровольной поверки СИ. Ее могут пройти любые измерительные устройства, на которые не распространяется действие государственного регулирования в сфере обеспечения единства измерений.

Порядок поверки установлен ПР 50.2.006-94, утвержденным Госстандартом РФ.

Он начал действовать в 1994 году. В 2009 году он был приведен в соответствие с начавшим функционирование Федеральным законом № 102.

Виды поверок СИ: а)

первичная;

б) периодическая;

в) инспекционная;

г) внеочередная.

Средства измерений должны при изготовлении предусматривать необходимость нанесения клейма поверки, видимое потребителям, использующим это СИ для работы.

Если производитель занимается изготовлением СИ, то при их серийном изготовлении он должен зарегистрировать тип устройства в Государственном реестре СИ.

Если СИ относится к утвержденному типу, то при выпуске такого устройства из производства и ремонта, при ввозе импортной продукции, проводится первичная поверка.

Каждый экземпляр средств измерений проходит первичную поверку. Выборочная поверка также применяется.

Субъекты хозяйственной деятельности для выполнения первичной и периодической поверки (по истечении срока предыдущей поверки) должны сформировать список СИ, которые используются на предприятии и являются объектами обязательных поверок. Этот перечень рекомендуется согласовать с региональным метрологическим центром.

Для импортных средств измерения обязательна первичная поверка, кроме тех, на которые существует международный договор о признании результатов поверки СИ, выполненной в стране производителя.

Внеочередная поверка производится в случае утраты Свидетельства о поверке, при повреждении знака поверительного клейма, при вводе в эксплуатацию СИ после

длительного хранения, при неудовлетворительной работе прибора и в других случаях.

Инспекционная поверка – поверка СИ при осуществлении государственного метрологического надзора.

2 Аналоговые цифровые измерительные приборы

2.1 Измерение тока и напряжения электромеханическими измерительными приборами. Тестеры.

2.1.1 Классификация и условное обозначение, наносимое на шкалу аналоговых электроизмерительных приборов.

Электроизмерительные приборы классифицируются:

а) в зависимости от метода измерения:

- *приборы непосредственной оценки*, показывающие цифровое значение измеряемой величины; - *приборы сравнения*;

б) от способа выдачи результатов измерения:

- *показывающие* (с визуальным отсчетом);
- *регистрирующие* (самопишущие и печатающие);
- *интегрирующие* (суммируют значения за промежуток времени); г) по

принципу действия:

- *электромеханические* (магнитоэлектрические, электромагнитные, электростатические, электродинамические);
- *электронные* (аналоговые и цифровые).

Аналоговый измерительный прибор - средство измерения, показания которого являются непрерывной функцией измеряемой величины.

Аналоговые измерительные приборы делятся на четыре группы:

а) *приборы для измерения параметров и характеристик активных и пассивных элементов электрических схем*;

б) *приборы для измерения параметров и характеристик сигналов* (осциллографы, вольтметры, частотомеры, анализаторы спектра);

в) *измерительные генераторы*;

г) *элементы измерительных схем* (фазовращатели, преобразователи, аттенюаторы).

Цифровым измерительным прибором называется средство измерения, автоматически вырабатывающее дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

Распределение измерительных приборов по назначению приведено в таблице 5.

Таблица 5 - Распределение измерительных приборов по назначению

Литера	Подгруппа	Литера	Подгруппа
А	Приборы для измерения силы тока	П	Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех
Б	Источники питания для измерения и радиоизмерительных приборов	Р	Приборы для измерения параметрОВ элементов и трактов с распределенными постоянными
В	Приборы для измерения напряжения	С	Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала и спектра
Г	Генераторы измерительные	У	Усилители измерительные
Д	Аттенюаторы и приборы для измерения ослаблений	Ф	Приборы для измерения разности фаз и группового времени запаздывания
Е	Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными	Х	Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств
И	Приборы для импульсных измерений.	Ц	Анализаторы логических устройств.
К	Комплексные измерительные установки	Ч	Приборы для измерения частоты и времени
Л	Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов	Ш	Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов
М	Приборы для измерения мощности	Э	Измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов
Н	Меры и калибраторы	Я	Блоки радиоизмерительных приборов

Классификация электроизмерительных приборов по принципу действия: а) *электромеханические*;
б) *магнитоэлектрические*;
в) *электромагнитные*;
г) *электродинамические*;
д) *электростатические*;
е) *ферродинамические*;
ж) *индукционные*;
и) *магнитодинамические*;
к) *электронные*;
л) *термоэлектрические*;
м) *электрохимические*.

Отсчетное устройство измерительного устройства служит для визуального отсчитывания значений измеряемой величины и состоит из шкалы и указателя.

По форме шкалы делятся на: а) *прямолинейные*;

б) *дуговые*;

в) *круговые* (угол дуги больше 180^0).

По соотношению длин делений в пределах одной шкалы они разделяются на: а) *равномерные*;

б) *неравномерные*, когда отношение длины наибольшего деления к наименьшему (коэффициент неравномерности шкалы) превышает 1,3;

По числу шкал разделяются на: а) *одношкальные*;

б) *многошкальные*.

Шкалы и все надписи, характеризующие прибор, наносятся на основание (циферблат) и нормируются *ГОСТ 5365- 83*.

На шкалах электромеханических приборов наносятся следующие условные обозначения:

а) *обозначение рода тока* (например, "-" - ток постоянный; "~" - ток переменный; "~-" - ток постоянный и переменный;

б) *обозначение единицы измеряемой величины* (например, mA, V);

в) *обозначение рабочего положения прибора*:

П - для горизонтального положения шкалы;

- прибор применять в вертикальном положении шкалы;

45° - для установления под углом 45^0 ;

г) **обозначение класса точности** (например, 1,5; 2,5 ; 1,5);

д) **обозначение испытательного напряжения изоляции** измерительной цепи по отношению к корпусу, **например**, 2- испытательное напряжение, например, 2 кВ;

е) год выпуска и заводской номер.

Кроме этого на шкале приводится условное изображение принципа действия и буквенное обозначение прибора.

В таблице 6 приведены условные обозначения некоторых типов приборов.

Таблица 6 - Условные обозначения некоторых типов приборов

Механизм Противодействующий момент	Магнитоэлектрический с подвижной рамкой	Электромагнитный	Электродинамический	Ферродинамический	Электростатический	Индукционный
С механическим противодействующим моментом						
С электрическим противодействующим моментом						

Наименьшее значение измеряемой величины, указанное на шкале прибора, называется **начальным** значением, а наибольшее - **конечным**.

Диапазон показаний определяют по начальному и конечному значениям шкалы.

Диапазон измерений - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений.

При равномерных шкалах обычно диапазон измерений и диапазон показаний совпадают, а при неравномерных - не совпадают (см. таблицу 7).

По расположению **нулевой отметки** шкалы бывают: а)

«0» в начале или в конце шкалы;

б) со смещенным нулем;

в) «0» в середине шкалы.

Основной характеристикой отсчетных шкал является **цена деления C** , которая выражается измеряемой величиной, соответствующей одному делению шкалы (А/дел; В/дел):

$$C = \frac{A_{\text{пред}}}{n_{\text{шк}}}$$

где $A_{\text{пред}}$ - значение предела шкалы, определяемое по положению переключателя пределов или по надписи у входных зажимов;

$n_{\text{шк}}$ - число делений шкалы, определяемое по значениям оцифрованных точек с учетом количества делений между ними.

Таблица 7- Шкалы приборов

Равномерная шкала	Неравномерная шкала
Диапазон показаний и диапазон измерений совпадают	Диапазон показаний и диапазон измерения не совпадают
Равномерную шкалу имеют приборы на базе измерительного механизма магнитоэлектрической системы	Неравномерную шкалу имеют приборы, выполненные на базе измерительных механизмов электромагнитной, электродинамической и электростатической системы
Цена деления постоянна	Цена деления не является постоянной

Величина обратная цене деления - чувствительность S .

Она выражается числом делений, соответствующих единице измеряемой величины (дел/А; дел/В):

$$S = \frac{1}{C}$$

Шкалы измерительных приборов могут быть отградуированы:

- а) в абсолютных единицах (В, мА, Ом);
- б) в делениях (дел);
- в) в относительных единицах (дБ).

Точность электрорадиоизмерительных приборов определяется пределами погрешностей (основной и дополнительной) и оценивается абсолютными, относительными и приведенными погрешностями.

Для радиоизмерительных приборов наиболее характерным является выражение точности измерения через абсолютную и относительную погрешности, а для электроизмерительных приборов через приведенную.

Погрешности прибора характеризуют отличие его показаний от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Измерительный прибор нужно выбирать с таким верхним пределом, чтобы при измерении положение стрелки прибора находилось в *последней трети* (или половине) его шкалы. Это уменьшает относительную погрешность измерения.

В многопредельных приборах, где одна и та же шкала используется на разных пределах измерения, показание прибора равно отсчету, умноженному на цену деления для соответствующего предела измерения.

Многопредельные шкалы могут быть заданы также множителем ($\times 10$; $\times 10$ и т.д.).

С целью повышения точности измерений в некоторых приборах предельные значения измеряемых параметров выбирают из ряда чисел 1, 5, 20, 100, 500 и т.д., применяя для отсчета общую шкалу с несколькими рядами числовых отметок.

Иногда предельные значения выбирают из ряда чисел 1, 3, 10, 30, 100, 300 и т.д., что позволяет исключить отсчет по первой трети шкалы.

Однако при этом шкала должна иметь два ряда от меток, программированных в значениях, кратных соответственно 3 и 10.

Промышленность выпускает разнообразные элементы отображения информации в виде буквенно-цифровых индикаторов. Индикаторы строятся по разным принципам:

а) газоразрядные знаковые индикаторы (недостаток - высокое управляющее напряжение);

б) светодиодные индикаторы (семисегментные);

в) индикаторные устройства на жидких кристаллах.

Пример шкалы комбинированного прибора Ц4313 приведён на рисунке 3

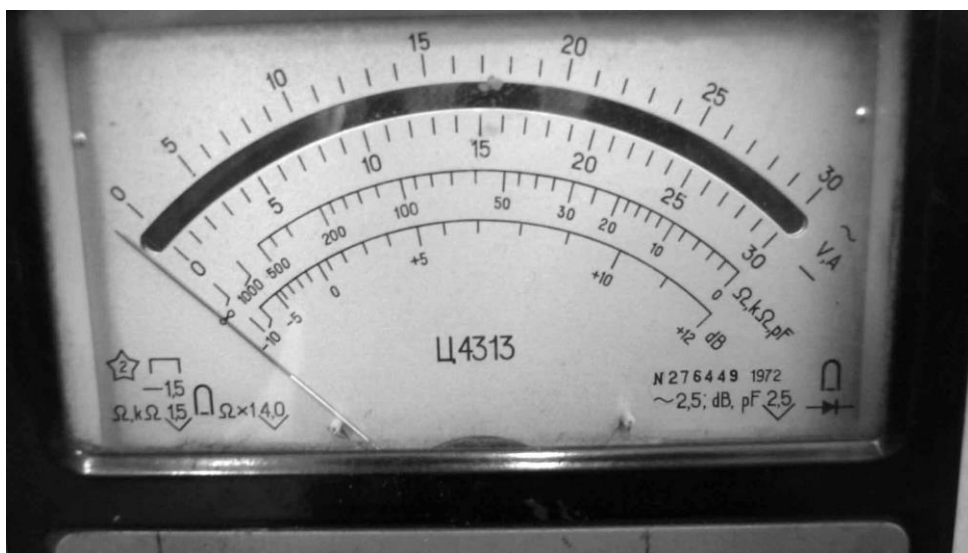


Рисунок 3 - Шкала комбинированного прибора Ц4313

2.1.2 Основные системы измерительных механизмов и измерительных приборов и их свойства.

2.1.2.1 Обобщенная структурная схема аналогового электромеханического измерительного прибора

приведена на рисунке 4.

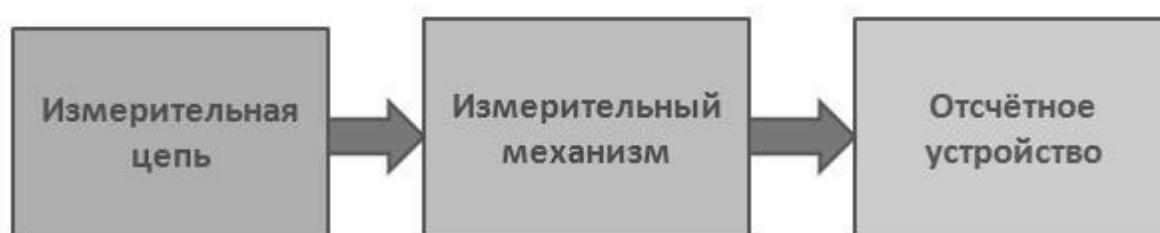


Рисунок 4 - Обобщенная структурная схема аналогового электромеханического измерительного прибора.

Основными узлами измерительного механизма являются:

- устройство, создающее вращающий момент. Его принцип действия определяется системой прибора;
- устройство, создающее противодействующий момент.

Для этих целей используют одну или две плоские спиральные пружины, которые одним концом крепятся к оси, а другим - к корректору.

Корректор предназначен для установки стрелки прибора на нулевую отметку перед измерением. Одновременно пружины являются токопроводящими частями.

Существуют приборы с электрическим противодействующим моментом

(логометры);

в) успокоитель - обеспечивает быстрое затухание колебаний подвижной части измерительного механизма около положения равновесия.

Они могут быть воздушными и магнитоиндукционными; г)

отсчетное устройство - шкала. Достоинства

измерительного механизма:

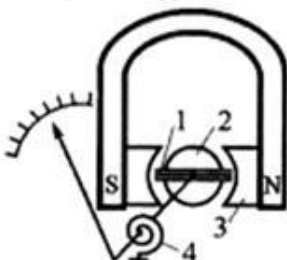
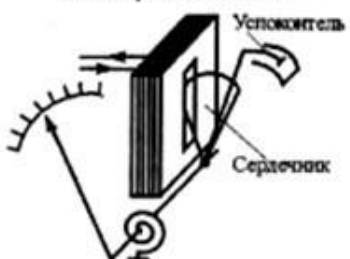
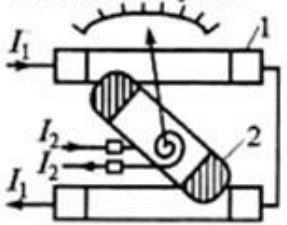
а) просты по устройству и в эксплуатации;

б) обладают высокой надежностью;

в) на переменном токе реагируют на действующее значение сигнала.

Характеристики некоторых аналоговых электромеханических измерительных приборов приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Характеристики некоторых аналоговых электромеханических измерительных приборов

Наименование системы, функциональная схема	Уравнение шкалы, применение	Частотный диапазон, потребление мощности, класс точности
Магнитоэлектрическая: 1 – рамка с измеряемым током и стрелкой; 2 – неподвижный сердечник; 3 – полюсные наконечники; 4 – возвратная пружина 	$\alpha = I \frac{\Psi_0}{W},$ где $\Psi_0 = BS\omega$; B – индукция в зазоре; S – площадь рамки; ω – число витков рамки; W – удельный противодействующий момент, создаваемый пружиной Переносные, лабораторные, многопредельные амперметры, вольтметры постоянного тока	Постоянный ток Класс точности 0,05...0,5 $P_{\text{срб}} \approx 10^{-5} \dots 10^{-4}$ Вт
Электромагнитная 	$\alpha = \frac{1}{2W} I^2 \frac{dL}{d\alpha},$ где $I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$; L – индуктивность катушки Щитовые и лабораторные переносные низкочастотные амперметры, вольтметры	$F = 0 \dots 5$ кГц Класс точности 0,5...2,5 $P_{\text{срб}} \approx 1 \dots 6$ Вт
Электродинамическая 1 – неподвижная катушка 2 – подвижная катушка 	$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \cos\theta \frac{dM}{d\alpha},$ где θ – угол между токами; M – коэффициент взаимной индуктивности катушек Лабораторные приборы низкочастотные высокого класса точности	$F = 0 \dots 5$ кГц Класс точности 0,1...0,2 $P_{\text{срб}} = 1$ Вт
Электростатическая 	$\alpha = \frac{1}{2W} U^2 \frac{dC}{d\alpha}, \quad U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt$ C – емкость между пластинами Высокочастотные лабораторные и высоковольтные вольтметры	$F = 0 \dots 30$ МГц Класс точности 0,5...1,5 $P_{\text{срб}} < 1$ мВт

2.1.2.2 Приборы магнитоэлектрической системы.

Принцип действия основан на взаимодействии магнитного поля постоянного и неподвижного (или подвижного) магнита с током, проходящим по обмотке измерительного механизма.

Устройство прибора магнитоэлектрической системы приведена на рисунке 5.

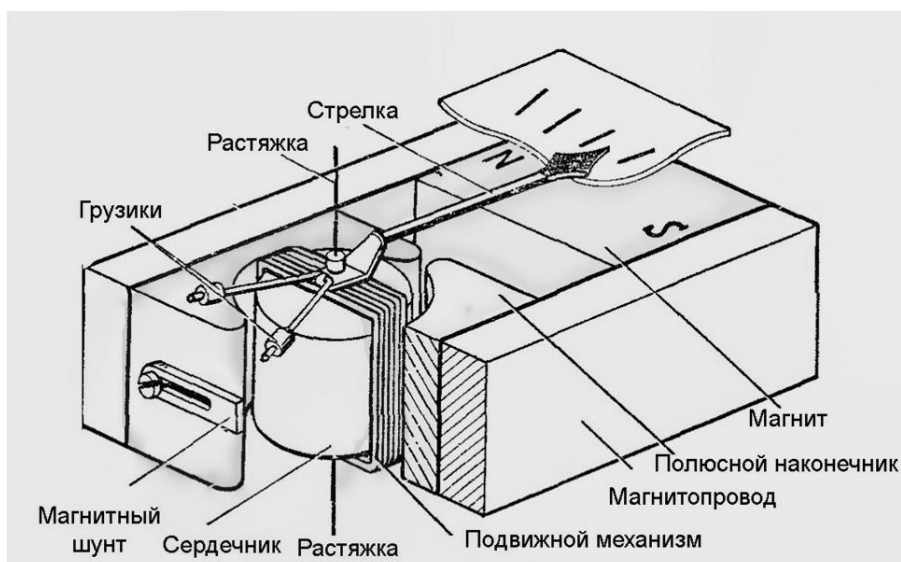


Рисунок 5 - Магнитоэлектрический механизм с внешним магнитом

В воздушном зазоре между полюсами постоянного магнита образуется почти равномерное радиальное магнитное поле. В этом поле свободно вращается вокруг неподвижного магнитного сердечника легкая алюминиевая рамка, на которой намотана обмотка из тонкого изолированного медного провода. Рамка закреплена на полуосях и поворачивается при протекании по ней тока, так как при этом на нее воздействует сила, направление которой определяется по правилу левой руки.

Стрелка жестко закреплена на оси, и значение измеряемой величины определяется по шкале.

Равномерность шкалы прибора зависит от равномерности магнитного поля в зазоре между рамкой и магнитом.

Особенности приборов магнитоэлектрической системы:

- а) являются наиболее точными (классы точности 0,05 - 0,5);
- б) обладают высокой чувствительностью, которая определяется величиной отклонения стрелки прибора при измерении тока на единицу измерения;
- в) шкала равномерная;
- д) невозможность их использования без специальных преобразователей в цепях переменного тока;
- е) малая стойкость к перегрузкам.

Применение: в качестве гальванометров, амперметров, вольтметров, омметров, логометров (см. рисунок 6).

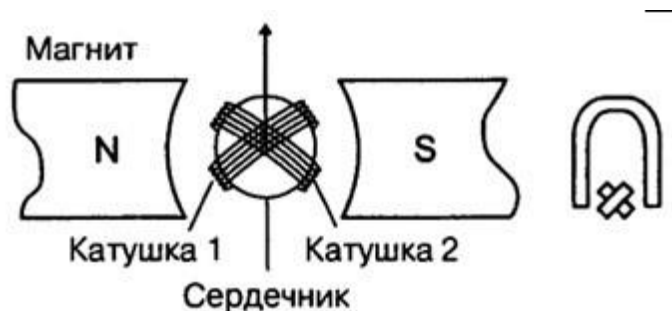


Рисунок 6 - Логометр

2.1.2.3 Приборы электромагнитной системы

Принцип действия основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого в обмотке измеряемым током, с ферромагнитным сердечником.

Существуют *два конструктивных варианта*: а)

с плоской катушкой;

б) с круглой катушкой.

Неподвижная катушка имеет воздушный зазор в виде щели. Подвижный плоский сердечник эксцентрично закреплен на оси. При протекании измеряемого тока по обмотке создается магнитное поле, и сердечник, втягиваясь в зазор, поворачивает ось вместе с закрепленной на ней стрелкой. Противодействующий момент создается закручивающейся при повороте пружиной.

Устройство электромагнитного измерительного механизма приведено на рисунке 7.

Особенности приборов электромагнитной системы: а)

шкала неравномерна (квадратичная);

б) показания прибора не зависят от направления тока, текущего по обмотке;

в) используют в цепях переменного тока на частотах до 8 кГц;

г) точность ниже, чем в магнитоэлектрических (0,5-2,5);

д) устойчивы к перегрузкам;

е) потребляют большую мощность;

ж) низкая чувствительность.

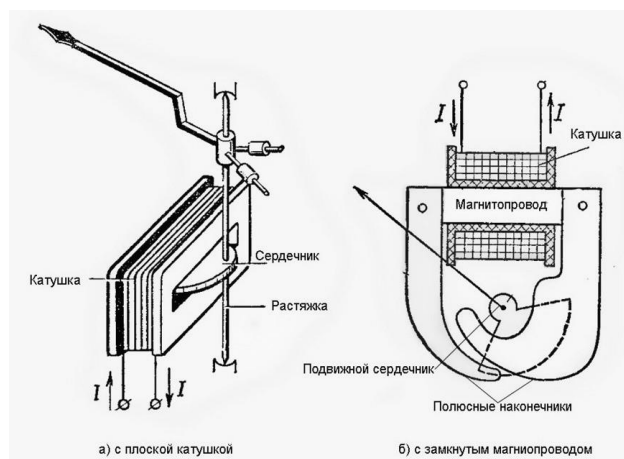


Рисунок 7 - Электромагнитный измерительный механизм

Применение: в цепях переменного тока в качестве амперметров и вольтметров, в частотомерах, в фазометрах, микрофарадометрах.

2.1.2.4. Приборы электродинамической системы

Принцип действия основан на взаимодействии магнитных полей, создаваемых измеряемым током, проходящим по двум обмоткам катушек измерительного механизма.

Устройство электродинамического измерительного механизма приведено на рисунке 7.

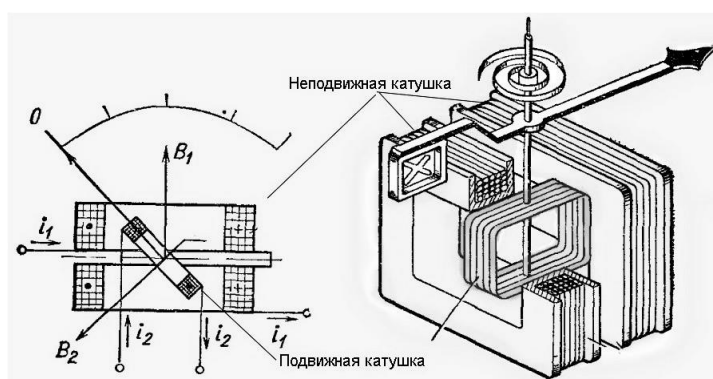


Рисунок 8 - Электромагнитный измерительный механизм

Особенности приборов электродинамической системы

- а) высокая точность измерений при достаточной экранировке;
- б) возможность применения на постоянном и переменном токах;

- в) используют на частотах до 1 кГц;
- г) неравномерная шкала;
- д) низкая чувствительность;
- е) большая потребляемая мощность;
- ж) чувствительность к влиянию внешних магнитных полей (специальные экраны);
- и) классы точности (0.1 -0,2).

Применение: в качестве амперметров, вольтметров, ваттметров, электронных логометров (измерение частоты, емкости угла сдвига фаз).

2.1.2.5 Приборы электростатической системы

Принцип действия основан на взаимодействии электрически заряженных пластин.

Измеряемое напряжение подводится к подвижной и неподвижной пластинам. Между ними возникает электростатическое поле. В результате подвижная пластина втягивается в зазор неподвижной, создавая, таким образом, вращающий момент. Для увеличения вращающего момента увеличивают количество пластин. Пружина создаст противодействующий момент.

Устройство электростатического измерительного механизма приведено на рисунке 9.

Особенности приборов электростатической системы:

- а) классы точности (0,5- 1,5);
- б) большое входное сопротивление - достоинство;
- в) практически не потребляют активной мощности,
- д) шкала неравномерна и сжата в начале;
- г) имеют низкую чувствительность и измеряют малые напряжения;
- е) широкий частотный диапазон (до 10 МГц).

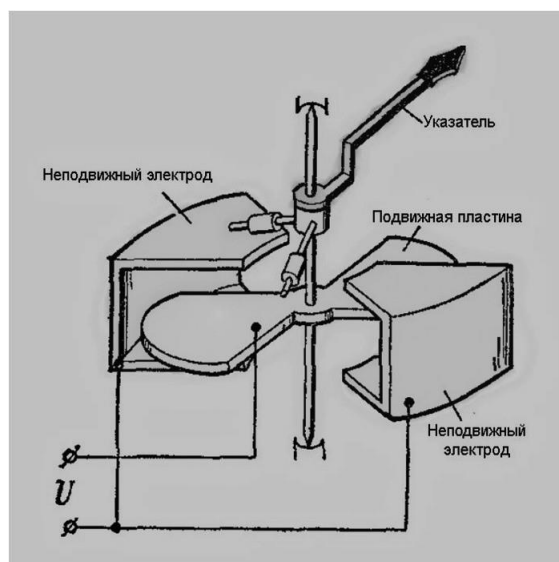


Рисунок 9 - Устройство электростатического измерительного механизма

2.1.3 Измерение постоянного тока и напряжения.

2.1.3.1 Измерение тока.

Для измерения постоянного тока наиболее часто используют приборы *магнитоэлектрической* системы из-за высокой точности измерения, а для измерения переменного тока промышленной частоты в основном - измерительные механизмы электромагнитной и электродинамической систем.

Включение амперметра в измерительную цепь влияет на ее сопротивление, что особенно сильно проявляется на высоких частотах.

Это может привести к короткому замыканию входа прибора или отдельных участков исследуемой схемы. На очень высоких частотах погрешности измерения тока становятся очень большими, и настолько меняется электрический режим цепи при включении амперметра, что измерение тока теряет практический смысл.

Включение амперметра в исследуемую цепь рекомендуется производить в точки с наименьшим потенциалом относительно земли, так как при этом появляется наименьший ток утечки, не учитываемый прибором.

Частотный диапазон применения амперметров составляет до 3000 МГц.

Подгруппы амперметров:

A2 - амперметр постоянного тока;

A3 - амперметр переменного тока; A7 -

универсальным амперметр, A9 -

преобразователь тока.

Измерительные механизмы магнитоэлектрической системы без дополнительных устройств позволяют измерять сравнительно малые токи.

Для расширения пределов измерения применяют специальные резисторы, называемые шунтами.

Для расширения пределов измерения по току в 100-1000 раз используют шунты, изготовленные из манганина. Шунты имеют две пары зажимов:

а) **токовые** (при помощи которых шунт последовательно включается в исследуемую цепь)

б) **потенциальные** (к которым подключают измерительный механизм).

Такое включение уменьшает погрешность измерения тока, которая может возникать за счет соединительных проводов и дополнительных сопротивлений.

Шунт представляет собой простейший измерительный преобразователь тока в напряжение.

Принцип расширения пределов измерения тока при помощи шунта заключается в том, что большую часть измеряемого тока неразветвленной части цепи пропускают через шунт, а меньшую - через измерительный механизм.

При этом ток прибора составляет определенную часть всего измеряемого тока. Этот принцип расширения пределов измерения характеризуется **коэффициентом шунтирования p** :

$$p = \frac{I}{I_{им}}$$

$$R_{ш} = p - 1 \frac{R_{вт}}$$

где $R_{вт}$ - внутреннее сопротивление измерительного механизма; p -

коэффициент шунтирования;

$I_{им}$ - ток через измерительный механизм; I -
измеряемый ток;

$R_{ш}$ - сопротивления шунта.

Схема соединения измерительного механизма с шунтом приведена на рисунке 10.

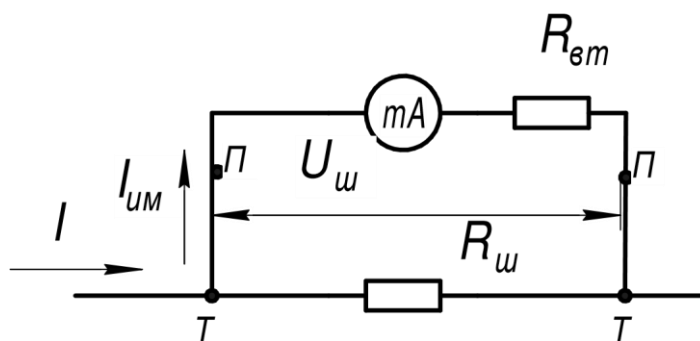


Рисунок 10 - Схема соединения измерительного механизма с шунтом

Шунты, выпускаемые промышленностью, имеют различные классы точности. 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

При измерении токов до 30 А шунты монтируются непосредственно внутри измерительного прибора, и его шкала градуируется с учетом коэффициента шунтирования.

Применение шунтов дополнительно увеличивает погрешность измерения прибора за счет изменения параметров шунта во времени, за счет разных температурных коэффициентов измерительного механизма и шунта, за счет увеличения мощности потребления и уменьшения чувствительности. Их чаще используют в цепях постоянного тока, так как на переменном токе влияют частоты и индуктивность элементов.

Многопредельные миллиамперметры могут быть выполнены с универсальным шунтом.

2.1.3.2 Измерение напряжения

Для измерения напряжения используют вольтметры, подключенные параллельно к тому участку цепи, на котором измеряется напряжение.

Для уменьшения методической погрешности измерения собственное потребление вольтметра должно быть мало, а его входное сопротивление должно быть большим.

Для измерения постоянного напряжения используют вольтметры магнитоэлектрической системы, а также электронные.

Для измерения переменного напряжения промышленной частоты электромагнитные и электродинамические.

Переменное напряжение звуковой частоты измеряют выпрямительными вольтметрами.

Переменное напряжение высокой частоты измеряют электронными вольтметрами.

Шкалы всех вольтметров, кроме импульсных, отградуированы в *действующих значениях*.

К *основным параметрам* вольтметра относятся: а)

- пределы измерения;
- б) частотный диапазон;
- в) погрешность измерения;
- г) входное сопротивление;
- д) входная емкость;
- е) характер шкалы.

Подгруппы вольтметров:

В2 - вольтметры постоянного тока;

В3 - вольтметры переменного тока;

В4 - импульсные вольтметры;

В5 - фазочувствительные вольтметры;

В6 - селективные вольтметры;

В7- универсальные вольтметры;

В8 - измерители отношений; В9 -

преобразователи напряжения.

Добавочные резисторы применяют для расширения пределов измерения напряжения.

Их включают последовательно с измерительным механизмом (см.рисунок 11).

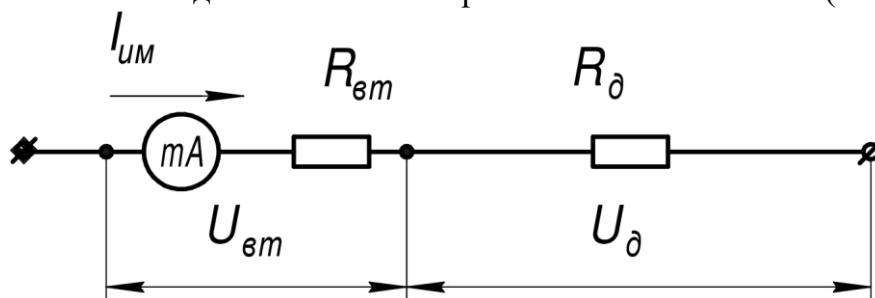


Рисунок 11 - Схема включения добавочного сопротивления

В результате включения добавочного резистора, входное сопротивление вольтметра значительно повышается и становится равным:

$$R_{\text{вх.вольт}} = R_{\text{вм}} + R_{\text{д}}$$

где $R_{вт}$ - внутреннее сопротивление измерителя; $R_{д}$ - добавочное сопротивление.

Добавочное сопротивление уменьшает температурную погрешность вольтметров.

Предел измерения вольтметра - это его **номинальное напряжение**.

Сопротивление добавочного резистора $R_{д}$ рассчитывается по формуле:

$$R_{д} = R_{вт} (n-1)$$

$$n = \frac{U_{пр}}{I_{им} R_{вт}}$$

где: n - число, показывающее во сколько раз нужно увеличить предел измерения;

$U_{пр}$ - напряжение предела измерения.

Многопредельный вольтметр можно выполнять в двух вариантах:

а) с отдельными добавочными резисторами (см. рисунок 12);

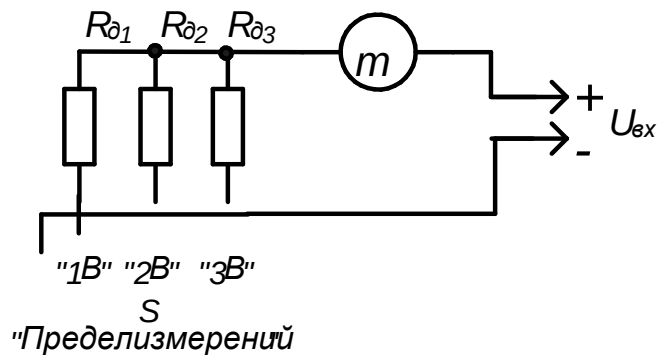


Рисунок 12 - Многопредельный вольтметр

б) с универсальным добавочным резистором (см. рисунок 13);

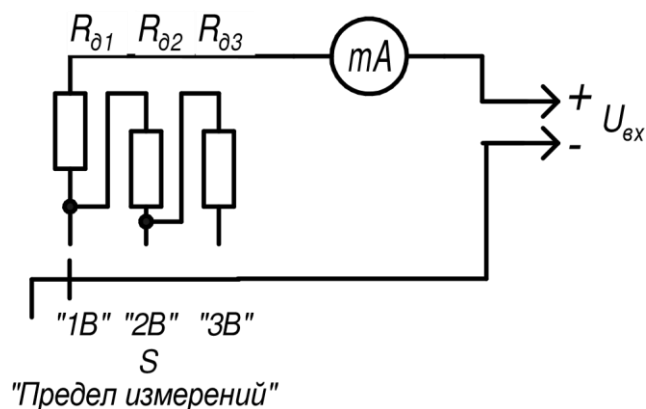


Рисунок 13 - Многопредельный вольтметр с универсальным добавочным сопротивлением

2.1.3.4 Измерение переменного напряжения и тока

Измерение постоянных напряжения и силы тока заключается в нахождении их значения (величины) и полярности.

Целью измерения переменных напряжения и силы тока является определение какого-либо их параметра. **Параметры напряжения переменного тока:**

- а) **мгновенное значение** - наблюдают на осциллографе и определяют для каждого момента времени;
- б) **амплитуда U_m** - наибольшее мгновенное значение напряжения за время наблюдения или за период;
- в) **размах сигнала $U_{разм}$** - значение напряжения от максимального до минимального ($U_{разм} = 2U_m$);
- г) **действующее значение U** (его также называют эффективным) - это среднеквадратичное из мгновенных значений напряжения за время измерения (или за период).

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}$$

- д) **среднее значение** (постоянная составляющая) $U_{ср}$:

$$U_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$$

е) **средневыпрямленное** $U_{cp.в}$ определяется как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период:

$$U_{cp.в} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$$

Связь между пиковым (амплитудным), действующим (среднеквадратичным) и средневыпрямленным значениями напряжения данной формы устанавливается посредством **коэффициента амплитуды**, равного отношению пикового значения к действующему:

$$K_a = \frac{U_m}{U_{д}}$$

и **коэффициента формы** кривой, определяемого отношением действующего значения к средневыпрямленному:

$$K_f = \frac{U_{д}}{U_{cp.в}}$$

Для синусоидального напряжения справедливы соотношения:

$$U_m = \sqrt{2} U_{д} = 1,41 U_{д}$$

$$U_{cp.в} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{д} = 0,9 U_{д}$$

Следовательно, коэффициент амплитуды $K_a=1,41$, а коэффициент формы $K_f=1,11$.

Некоторые значения коэффициентов амплитуды и формы приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Значения коэффициентов амплитуды и формы

Форма сигнала	Коэффициент амплитуды K_a	Коэффициент формы K_f

Синусоидальная	$\sqrt{2}$	1,11
Прямоугольная	1	1
Треугольная	1,73	1,16

2.1.4 Влияние прибора на измерительную цепь.

Включение измерительного прибора в исследуемую электрическую цепь в некоторой степени изменяет ее режим работы.

Это изменение вызывается тем, что работающий прибор потребляет определенную энергию.

Поэтому при исследовании объектов малой мощности могут существенно исказиться результаты.

Желательно, чтобы собственное потребление энергии измерительным прибором было возможно меньше.

В зависимости от местоположения измерительного прибора через него могут проходить наряду с рабочим током те или иные паразитные токи, что и определяет ошибку.

Включение измерительного прибора в цепь может изменить эквивалентное сопротивление цепи, режим ее работы, а следовательно, и измеряемую величину. Особенно сильно сказывается влияние измерительных приборов на режим цепи при измерениях токов и напряжений высокой частоты.

Значительное изменение режима работы цепи может произойти в связи с резонансными явлениями.

Включение измерительных приборов в электрические цепи приводит к возникновению определенных погрешностей.

Так при включении амперметра (последовательно с нагрузкой) увеличивается общее сопротивление цепи, а при включении вольтметра (параллельно нагрузке) сопротивление уменьшается.

2.2 Аналоговые и цифровые электронные вольтметры. Измерение мощности.

2.2.1 Классификация электронных вольтметров.

Электронные аналоговые вольтметры классифицируются: а)
по видам:

- постоянные (В2);
- переменные (В3);
- импульсные (В4);
- фазочувствительные (В5);
- селективные (В6);
- универсальные (В7);

б) по типу индикатора: -

стрелочные;

- цифровые;

в) по методу измерения:

- приборы непосредственной оценки;

- приборы сравнения;

г) по измеряемому параметру напряжения (определяется типом детектора): - пиковые (амплитудные);

- среднеквадратические (действующего значения); - средневыпрямленные; **д) по схеме входа:**

- с открытым входом (пропускают на вход прибора постоянную составляющую измеряемого напряжения); - с закрытым входом.

Наиболее распространенными и надежными являются аналоговые электронные вольтметры.

Структурная схема аналогового электронного вольтметра приведена на рисунке 14.

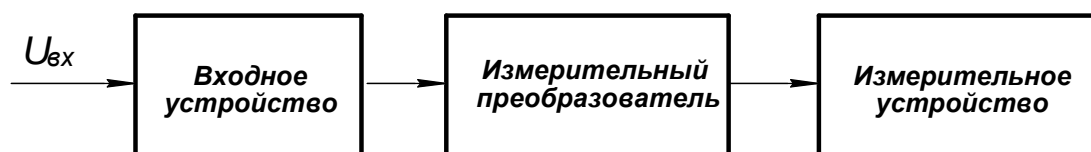


Рисунок 14- Структурная схема аналогового электронного вольтметра

Входное устройство представляет собой аттенюатор (делитель напряжения), с помощью которого расширяются пределы измерения вольтметра.

В качестве измерительного преобразователя применяют:

а) в вольтметрах постоянного тока усилители постоянного тока;

б) в вольтметрах переменного тока - детекторы в сочетании с усилителями постоянного или переменного тока;

г) в селективных вольтметрах преобразователь помимо детектирования и

усиления должен обеспечивать избирательность сигнала по частоте;

д) в фазочувствительных вольтметрах - давать возможность изменения амплитудных и фазовых параметров исследуемого сигнала.

Вольтметры переменного и импульсного тока в зависимости от назначения могут проектироваться по двум структурным схемам:

а) с детектором на входе (схема имеет широкий частотный диапазон, но недостаточно высокую чувствительность) (см.рисунок 15);

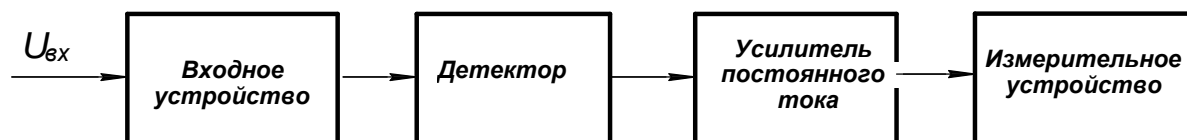


Рисунок 15 - Вольтметр с детектором на входе

в) с усилителем переменного тока на входе (схема имеет более высокую чувствительность, но сравнительно узкий частотный диапазон) (см.рисунок 16).



Рисунок 16 - Вольтметр с усилителем на входе

2.2.2 Выпрямительные миллиамперметры

Выпрямительные миллиамперметры используются для измерения тока звуковых частот (НЧ - от 20 Гц до 20 кГц, ультразвука от 20 кГц до 200 кГц).

Принцип их работы основан на использовании выпрямительных свойств полупроводникового диода. Постоянная составляющая выпрямленного диодом тока измеряется приборами магнитоэлектрической системы. Особенности выпрямительных приборов:

- а) градуируются в *среднеквадратических* значениях измеряемого тока;
- б) шкалы приборов на постоянных и переменных токах различны;\;
- в) имеют высокую чувствительность;
- г) классы точности: 1,5; 2,5;
- д) диапазон рабочих частот до 200 кГц;

- е) показания приборов не зависят от формы кривой измеряемой величины;
- ж) широкие пределы измерений:
 - тока от 0,2 мА до 10А;
 - напряжения от 0,3 В до 100 В.

Однополупериодная схема выправления измеряемого сигнала (см.рисунок 17).

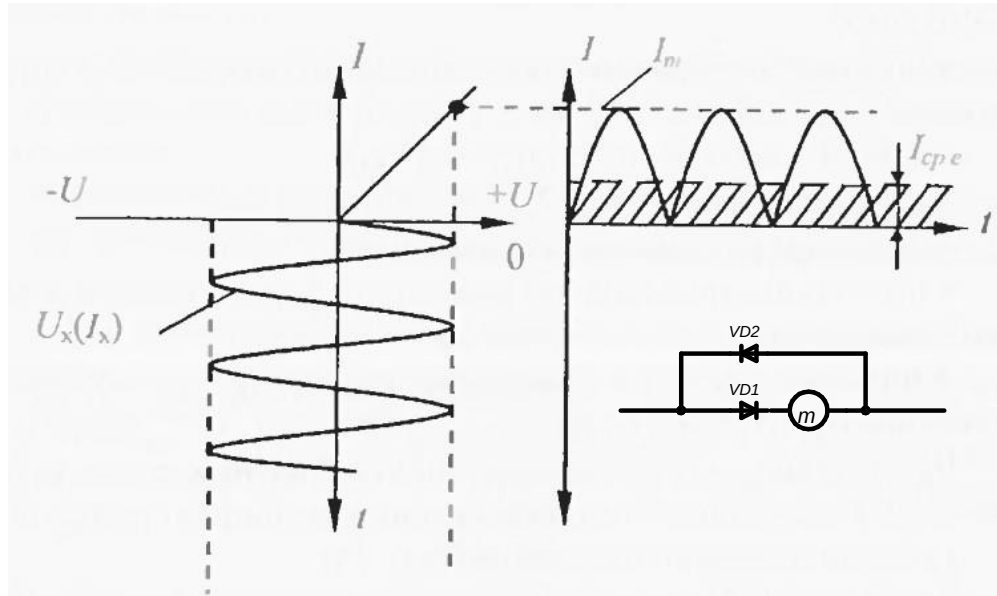


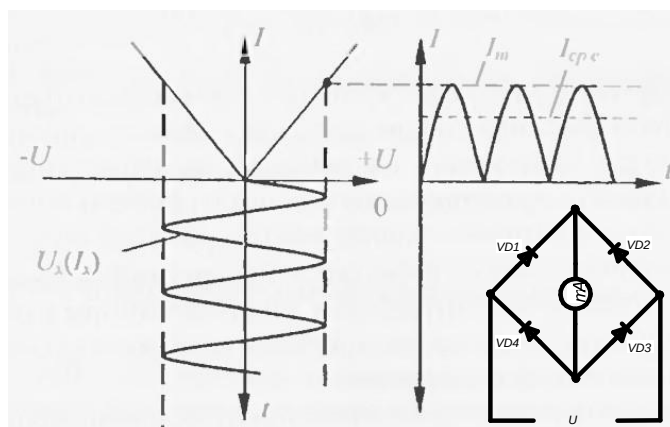
Рисунок 17 - Однополупериодная схема выправления измеряемого сигнала

Через диод $VD1$ проходит положительная полуволна. Для уменьшения вероятности пробоя диода $VD1$ полуволной обратного тока, а также для уменьшения сопротивления схемы в отрицательный полупериод, основной диод и измеритель шунтируют диодом $VD2$, который имеет малое сопротивление для полуволны обратного тока.

Между амплитудным I_m , действующим I_d и среднев्यпрямленным значением $I_{ср.в}$ тока при однополупериодной схеме выпрямления существует следующая зависимость при синусоидальной форме тока:

$$I_m = \sqrt{2} \cdot I_d; \quad I_{ср.в} = \frac{I_m}{\pi}; \quad I_d = 2,22 \cdot I_{ср.в}$$

Двухполупериодная схема выправления измеряемого сигнала (см.рисунок 18).



$$I_0 = 1,11 \cdot I_{cp.v}$$

Рисунок 18 - Двухполупериодная схема выправления измеряемого сигнала Схемы преобразователей амплитудных значений приведена на рисунке 19.

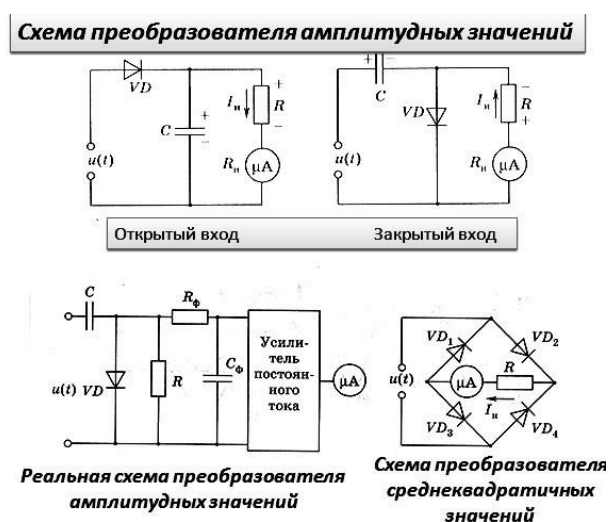


Рисунок 19 - Схемы преобразователей амплитудных значений

2.2.3 Измерение тока высокой частоты

Для измерения тока высокой частоты применяют термоэлектрические амперметры.

Термоэлектрический прибор состоит из термопреобразователя и прибора магнитоэлектрической системы.

Простейший термопреобразователь содержит подогреватель и термопару из двух разнородных проводников, спаянных между собой (см. рисунок 20).

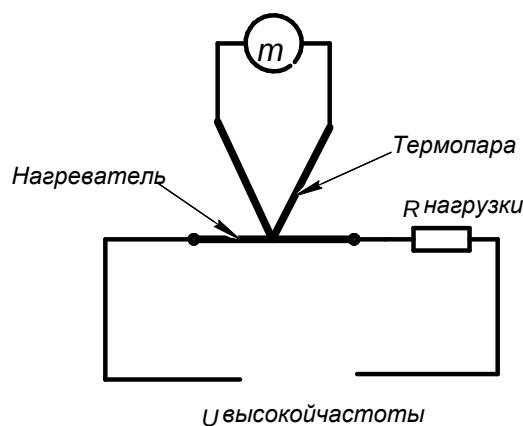


Рисунок 20 - Термоэлектрический прибор

Если место спая подогревателя и термопары нагреть, то в пограничном слое этих соприкасающихся проводников возникает термо-э.д.с. постоянного направления, величина которой зависит от свойств проводников термопары и разности температур горячего спая и холодных концов термопары.

Если через подогреватель термоэлемента пропускать измеряемый ток высокой частоты, то вследствие нагрева спая в цепи термопары и прибора будет протекать термоток постоянного напряжения, и прибор даст соответствующее показание.

Для увеличения чувствительности термоэлектрических приборов термопару изготавливают из возможно более тонких проводников.

Сам нагреватель изготавливают из нихрома с большим удельным сопротивлением, а термопару - из сплава золото-платина-палладий-платинородий (сплав даст высокую термо-э.д.с.).

Особенности этого метода измерения:

- а) шкала квадратичная (сжата вначале): $\alpha = S \cdot I_{cp}^2$;
- б) возможность измерения токов очень высокой частоты;
- в) малая перегрузочная способность;
- г) классы точности: I; 1,5 (высокие в широком диапазоне частот);
- д) показания приборов не зависят от формы кривых токов и напряжений;
- е) зависимость показания прибора от внешней температуры;
- ж) на основе термоэлектрических амперметров можно реализовать термоэлектрические вольтметры, но на практике их не используют из-за значительной частотной зависимости сопротивления добавочного резистора.

Для расширения пределов измерения ТОКОВ высокой частоты используют трансформаторы и реактивные делители тока.

По своему устройству термоэлектрические элементы разделяются на два типа: а) контактные;
б) бесконтактные.

2.2.4 Цифровые измерительные приборы

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) - это средство измерения, автоматически вырабатывающее дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

Классификация ЦИП.

ЦИП классифицируются следующим образом: а)

по виду измеряемых величин:

- вольтметры и амперметры постоянного и переменного тока (напряжения);
- омметры и мосты постоянного и переменного тока;
- комбинированные приборы;
- измерители частоты, интервалов времени и фазового сдвига;
- специализированные ЦИП;

б) по виду входных физических величин: -

постоянного и переменного тока (напряжения);

- параметров электрических цепей (L, R, C);
- временных параметров;

в) по способу преобразования входного сигнала:

- прямого преобразования (отсутствует связь выхода с входом); -
- уравновешивающего преобразования (охвачены цепью обратной связи); г)

по виду выходного дискретного сигнала:

- приборы с двоичной формой представления информации;
- приборы с десятичной формой представления информации;
- приборы с двоично-десятичной формой представления информации.

ЦИП содержат встроенные электронные схемы (обычно микропроцессоры), позволяющие подсоединить дополнительные устройства.

Некоторые приборы содержат различные диагностические устройства, что уменьшает время устранения отказов.

Большинство современных стендовых приборов имеют внутренние приспособления для калибровки.

Калибровка осуществляется с пульта прибора, а значения параметров хранятся в долговременной памяти. В последующие отсчеты вносятся поправки с учетом этих параметров.

Многие ЦИП снабжены шиной интерфейса и благодаря этому могут работать как части больших измерительных систем.

В цифровом приборе измеряемая величина X подается на входное устройство, предназначенное для выделения ее из помех и масштабного преобразования.

Аналого-цифровой преобразователь преобразует величину X в код N , который подается на цифровое отсчетное устройство, где индицируется в виде ряда цифр.

Цифровые коды могут выводиться и во внешнее устройство, например в компьютер для дальнейшей обработки или хранения. Управляет работой ЦИП устройство управления путем выработки и подачи определенной последовательности командных сигналов во все функциональные узлы прибора. Технические характеристики ЦИП: а) пределы измерения;

- б) цена деления;
- в) входное сопротивление;
- г) быстродействие;
- д) точность;
- е) помехоустойчивость,
- ж) надежность.

Структурная схема цифрового вольтметра с *промежуточным преобразованием* во временной интервал приведена на рисунке 21.

Измеряемое переменное напряжение подается на вход преобразователя, а при измерении постоянного напряжения - непосредственно на вход сравнивающего устройства.

Импульсом с устройства управления запускается генератор компенсирующего напряжения, с выхода которого пилообразное напряжение поступает на другой вход компаратора.

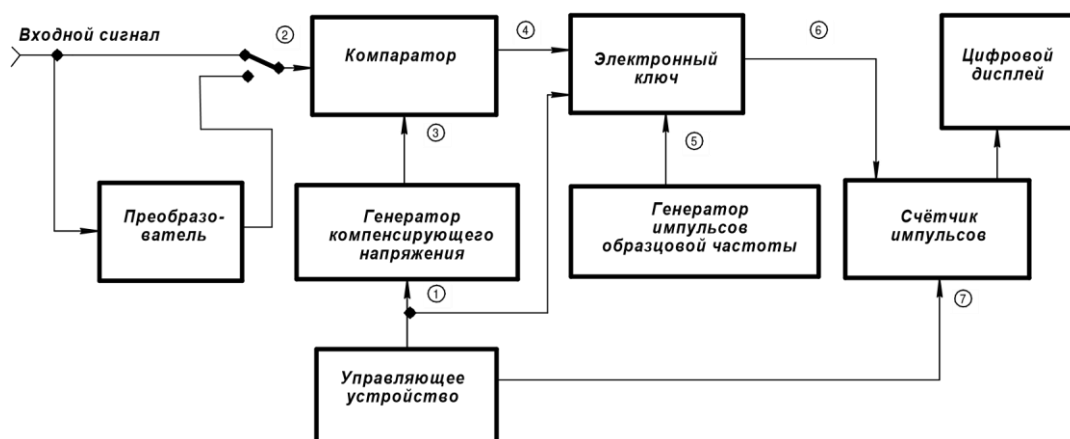


Рисунок 21 – Структурная схема цифрового вольтметра

Этот импульс запуска одновременно определяет передний фронт прямоугольного импульса на выходе сравнивающего устройства, т.е. открывает электронный ключ, пропускающий импульсы на счетчик.

Когда возрастающее пилообразное напряжение достигнет величины, равной измеряемому напряжению, компаратор срабатывает, вследствие чего заканчивается прямоугольный импульс на его выходе, и электронный ключ закрывается.

Показания цифрового вольтметра периодически повторяются и для их сбрасывания в конце каждого периода из устройства управления на счетчик поступают импульсы сброса, устанавливающие его в нулевое положение.

Измеряемое напряжение определяют по формуле:

$$U = nkT$$

где $n = \frac{t^x}{T}$ - количество импульсов, поступивших на электронный счетчик;

T - период следования импульсов образцовой частоты; k - коэффициент, характеризующий скорость нарастания пилообразного напряжения.

Временные диаграммы, поясняющие работу цифрового вольтметра, приведены на рисунке 22.

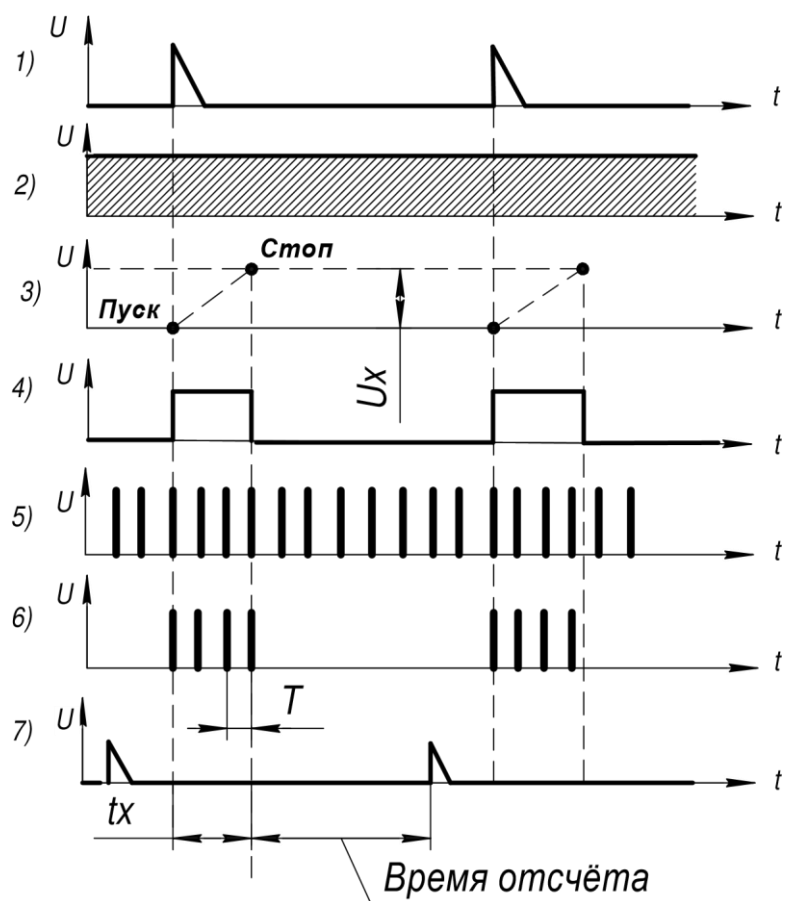


Рисунок 22 - Временные диаграммы, поясняющие работу цифрового вольтметра

2.2.5 Общие сведения о универсальных электронных мультиметрах.

2.2.5.1 Аналоговые мультиметры.

В аналоговом мультиметре применяется стандартная измерительная шкала с указателем.

Значение напряжения, тока или сопротивления отсчитываются от позиции указателя на измерительной шкале.

Определение показаний аналогового мультиметра производится по шкалестрелочным указателем.

Аналоговые мультиметры все еще широко используются, поскольку они недороги и надежны в работе.

В большинстве случаев погрешность аналогового мультиметра составляет менее 2% от пределов измерения по шкале прибора, что вполне приемлемо в большинстве практических применении. Тем не менее, во многих случаях желательны более точные измерения.

2.2.5.2 Цифровые мультиметры.

Цифровой мультиметр подобен аналоговому мультиметру в том отношении, что он также является универсальным измерительным прибором, способным измерять напряжение, ток и сопротивление.

Основным отличием является то, что результаты измерений выводятся на устройство десятичной цифровой индикации.

В большинстве цифровых мультиметров имеется жидкокристаллический индикатор (дисплей). Индикация в более старых цифровых мультиметрах осуществляется с использованием индикаторов на светоизлучающих диодах. В некоторых стендовых больших мультиметрах все еще используются светодиодные индикаторы.

В дополнение к удобствам, связанным с использованием десятичных дисплеев, цифровые мультиметры обеспечивают также более высокую точность измерений. Хороший цифровой мультиметр обеспечивает точность измерений от 0,5% до 1% от фактического значения.

Такие точные измерения предпочтительны при тестировании электронных схем, поскольку они дают наилучшую информацию о состояниях схем.

Цифровые мультиметры имеют также более высокую разрешающую способность измерительной системы, что обеспечивает более высокоточные измерения с большим числом десятичных разрядов.

На цифровых мультиметрах пределов измерений обычно больше, к тому же часто добавлены дополнительные функции, такие как звуковая "прозвонка" диодов, проверка переходов транзисторов, частотометр, измерение емкости конденсаторов и датчик температуры.

Для того, чтобы мультиметр не вышел из строя при измерениях напряжения или тока, особенно если их значение неизвестно, переключатель желательно установить на максимально возможный предел измерений, и только если показание при этом слишком мало, для получения более точного результата, переключайте мультиметр на предел ниже текущего.

2.2.6 Измерение мощности.

Измерение мощности в диапазоне звуковых и высоких частот имеет ограниченное значение, так как на частотах до нескольких десятков мегагерц часто удобнее измерять напряжение и токи, а мощность определять расчетным путем.

На частотах свыше 100 МГц, вследствие волнового характера процессов, значения напряжения и токов теряют однозначность, и результаты измерений начинают зависеть от места подключения прибора.

На постоянном токе, а также в диапазоне низких, средних и высоких частот используют косвенные методы измерения мощности.

Для измерения мощности постоянного и переменного однофазного тока используют электродинамические ваттметры (см. рисунок 23).

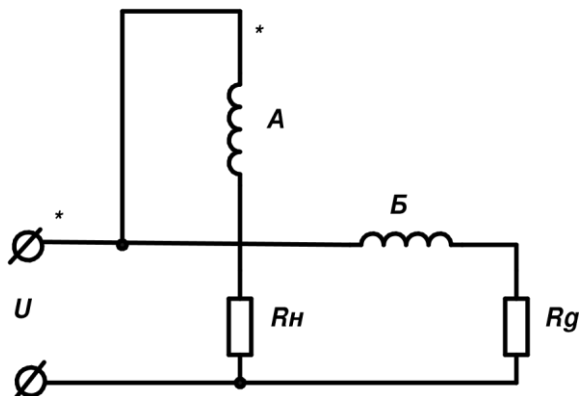


Рисунок 23 - Схема электродинамического ваттметра

Такой ваттметр, включенный в цепь переменного тока, измеряет активную мощность и имеет равномерную шкалу.

Косвенный метод используют от низких частот до 500 МГц.

Измерения проводят с помощью амперметра и вольтметра (см. рисунок 24). Таким методом нельзя пользоваться при изменяющихся значениях тока и напряжения из-за невозможности одновременного отсчета по двум приборам.

Недостатком такого метода является необходимость вычисления мощности после каждого измерения.

Активная (поглощаемая электрической цепью) мощность однофазного переменного тока:

$$P = UI \cos \phi$$

где U , I - действующие значения напряжения и тока;

ϕ - сдвиг фазы между ними.

Если нагрузка в цепи чисто активная ($\phi=0$), то мощность переменного тока:

$$P = UI$$

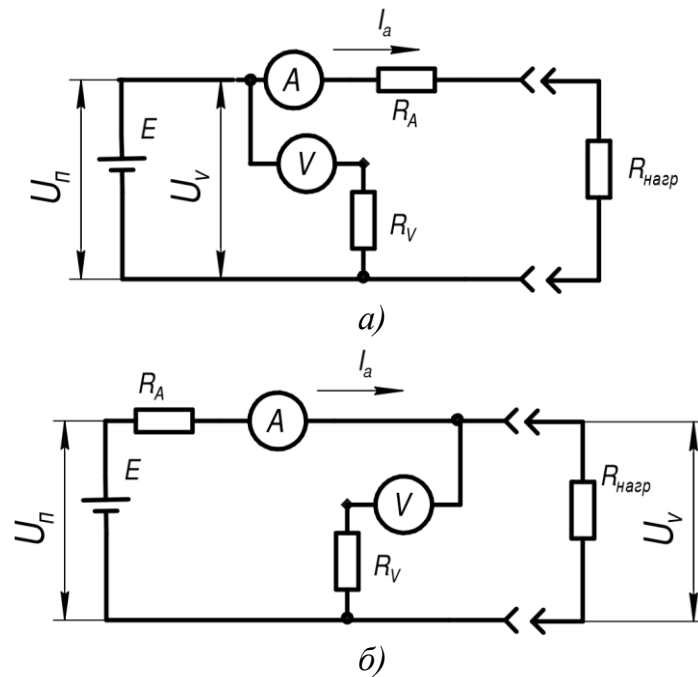


Рисунок 24 - Косвенный метод измерения мощности

Электрическую мощность переменного тока можно измерять с помощью ваттметров. Современные ваттметры на частоты до 1 МГц строятся на основе интегральных перемножителей с использованием термопреобразователей.

По уровню измеряемых электрических мощностей все измерители мощности делятся на ваттметры:

- а) малой мощности (до 10 мВт);
- б) средней мощности (от 10 мВт до 10 Вт);
- в) большой мощности (свыше 10 Вт).

Большое практическое значение имеет измерение мощности на СВЧ. В этом диапазоне используются методы преобразования электромагнитной энергии в другие виды, например в тепловую, и последующее измерение мощности преобразованной энергии.

2.2.7 Цифровые ваттметры.

Основным элементом схемы является микропроцессор (см. рисунок 25).

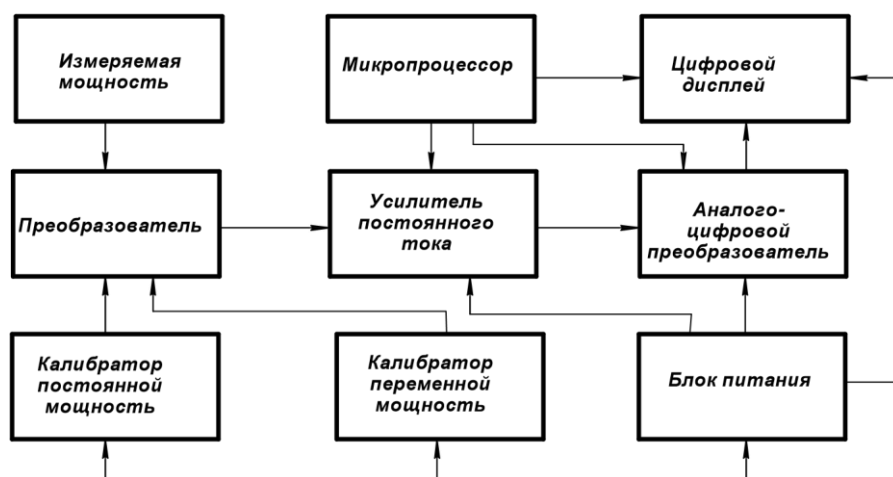


Рисунок 25 - Структурная схема цифрового ваттметра

Усилитель постоянного тока усиливает выходное напряжение термоэлектрического приемного преобразователя до значения, обеспечивающего устойчивую работу блока аналого-цифрового преобразователя.

Напряжение, пропорциональное измеряемой мощности, преобразуется в интервал времени, который заполняется импульсами опорной частоты.

Число импульсов, пропорциональное измеряемой мощности, отображается на цифровом дисплее или может вводиться в специализированное устройство обработки измерительной информации.

Микропроцессор содержит элементы автоматического управления режимами работы и дистанционного переключения пределов измерения.

Калибратор мощности переменного тока используется для самокалибровки ваттметра. Калибратор мощности постоянного тока применяется для калибровки цифрового ваттметра, работающего с преобразователями на средних и больших уровнях мощности.

Все узлы ваттметра запитываются от встроенного источника питания.

Приемный преобразователь состоит из отрезка коаксиальной линии (или волновода) со стандартным высококачественным разъемом поглощающего элемента, термоэлектрического модуля. «образца сравнения». Поглощающий элемент представляет собой тонкопленочный резистор на теплопроводящей (бериллиевой) керамике. Центральным проводником коаксиального тракта является тонкостенная трубка из нержавеющей стали, исключая тепловое влияние внешней среды на поглощающий элемент. Для уменьшения потерь па СВЧ трубка

покрывается медью и серебром. Поглощающий элемент за счет плотной посадки имеет электрический контакт с нейтральным проводником Другой его конец впаян в

согласующий медный экран с серебряным покрытием. В согласующем экране предусмотрено ступенчатое изменение диаметра, что обеспечивает согласование поглощающего элемента с трактом во всем диапазоне частот.

Термоэлектрический модуль представляет собой диск с отверстием и расположен так, что горячий спай имеет тепловой контакт с внешней поверхностью согласующего экрана в месте пайки поглощающего элемента, а холодный спай - с «образцом сравнения». К выводам термоэлектрического модуля припаиваются провода соединительного кабеля. Для защиты модуля от случайных внешних тепловых воздействий используются внутренний и внешний экраны. На внешнем экране укреплены ребра, образующие вместе с экраном радиатор. Применение радиатора позволяет увеличить мощность рассеивания преобразователя.

В цифровом ваттметре благодаря применению микропроцессора осуществляется автоматический выбор пределов измерения, автоматическая установка нуля и самокалибровка, кроме того, предусматривается выход информации на канал общего пользования при его включении в состав измерительной системы.

2.2.8 Электродинамические и ферродинамические ваттметры.

Электродинамические приборы имеют две катушки. Неподвижную катушку выполняют из двух частей, между которыми проходит ось. На оси укреплена подвижная катушка. Противодействующий момент создается двумя пружинами.

Через них осуществляют и присоединение подвижной катушки к цепи.

Приборы электродинамической системы применяют для измерения в цепях переменного и постоянного токов, так как направление вращающего момента не изменяется при изменении направления обоих токов.

В зависимости от способа взаимного включения катушек электродинамический прибор может быть использован как амперметр, вольтметр, ваттметр или фазометр.

При использовании электродинамического прибора в качестве амперметра на токи выше 0,5 А катушки нельзя включать последовательно из-за трудности подвода больших токов к подвижной катушке, так как подсоединение подвижной катушки к

цепи осуществляют через спиральные пружины, создающие противодействующий момент.

Благодаря различным конструктивным приемам (форме катушек, их расположению) оказывается возможным получить линейную шкалу для электродинамического амперметра начиная с 20% от верхнего предела измерения.

Совпадения по фазе переменных токов в обмотках подвижной и неподвижной катушек достигают включением последовательно с катушками элементов с активным и индуктивным сопротивлениями.

При использовании электродинамического прибора в качестве вольтметра обе обмотки прибора включают последовательно друг с другом и с добавочным резистором.

При использовании электродинамического прибора в качестве ваттметра обмотку неподвижной катушки включают в цепь последовательно, а обмотку подвижной катушки, соединенную последовательно с добавочным резистором, параллельно зажимам приемника.

Направление отклонения подвижной системы прибора зависит от взаимного направления токов в обеих обмотках. Поэтому для правильного включения обмоток их зажимы маркируют. У так называемых «генераторных» зажимов обмоток (зажимов, к которым следует присоединять провода со стороны источника питания) ставят знак * (звездочка). На электрических схемах эти зажимы обмоток обозначают точками.

При угле сдвига фаз $> 90^\circ$ (что возможно в некоторых случаях измерений) cos отрицателен и, следовательно, отклонение стрелки прибора также должно быть отрицательным. Чтобы иметь возможность измерить такие отрицательные мощности, в ваттметрах устанавливают переключатель для изменения направления тока в обмотке подвижной катушки.

Положение переключателя отмечено знаками плюс и минус. Измеренное значение нужно записывать с соответствующим знаком по положению переключателя. Электродинамические приборы имеют специальный экран, защищающий их от воздействия внешних магнитных полей.

2.2.9 Счётчики электрической энергии.

Для измерения расхода постоянного тока применяют электродинамические счётчики.

В основном, они используются в электрическом транспорте (трамваи, троллейбусы, метро, электропоезда).

Для учёта потребления реактивной и активной электрической энергии переменного тока применяют индукционные приборы (однофазные и трёхфазные). Счётный механизм регистрирует объём электроэнергии, пропорциональный количеству оборотов вращающейся части устройства.

В индукционных счётчиках при работе нагрузки крутится алюминиевый диск и вращает счётный механизм.

Он движется под действием вихревых токов, создаваемых магнитным полем специальной катушки счётного прибора.

В приборе учёта, основанном на электронике, переменное напряжение влияет на электронные компоненты, которые создают импульсы, учитываемые счётным устройством.

Приборы учёта электрической энергии классифицируют: а)
по типу конструкции;

б) виду измеряемых величин;

в) способу подключения. По типу
конструкции разделяют на: а)
индукционные;

б) электронные;

в) гибридные.

Индукционный (также называемый электромеханическим) представляет собой прибор (см. рисунки 26,27), в котором неподвижные катушки создают магнитное поле, которое приводит в действие подвижный элемент из токопроводящего вещества.

Как правило, это алюминиевый диск вращающийся токами, индуцированными катушками.

Количество оборотов диска прямо пропорционально объёму израсходованной энергии.

Индукционные приборы учёта постепенно вытесняются
электронными аналогами из-за присущих им **некоторых дефектов:**

а) высокая погрешность учёта;

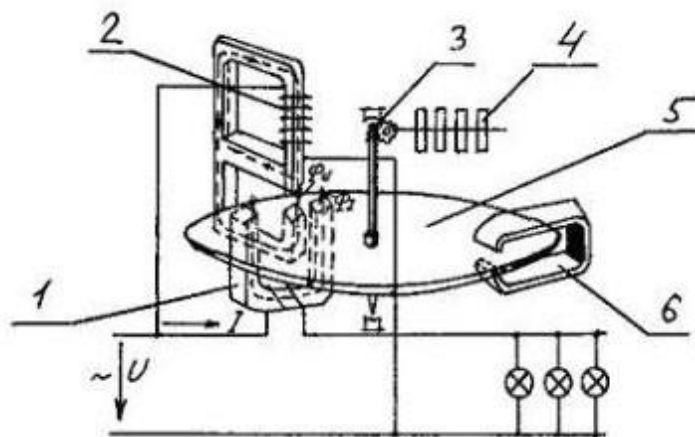
б) низкая функциональность;

в) невозможность автоматического снятия показаний на расстоянии;

г) однотарифность;

д) неудобства в эксплуатации.

Электронный или статический прибор учёта характеризуется электронной схемой, создающей счётные импульсы, учитываемые счётным устройством (механическое для холодного климата и электронное для нормальных условий эксплуатации).



1 - обмотка тока, 2 - обмотка напряжения, 3 - червячный механизм,
4 - счетный механизм, 5 - алюминиевый диск, 6 - магнит для притормаживания диска

Рисунок 26 - Схема устройства счетчика электрической энергии

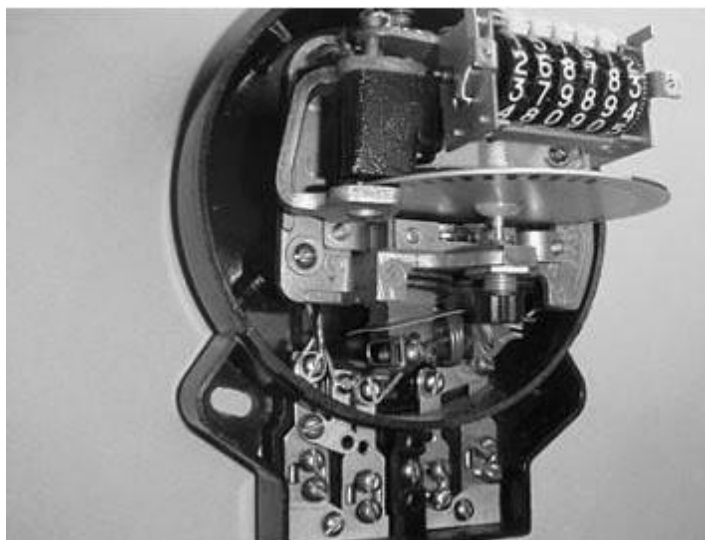


Рисунок 27- Устройство индукционного электросчетчика

Преимуществами электронного типа являются многотарифность, большой поверочный интервал (до 16 лет) и дистанционное снятие показаний.

Гибридные счётчики используются редко и представляют собой комбинацию из индукционных и электронных; По виду измеряемых величин делят на: а) однофазные; б) трёхфазные.

Первые измеряют бытовое потребление (50 герц и 220 вольт), вторые – в основном, промышленное (380 вольт и 50 герц).

Все сегодняшние трёхфазные счётчики могут измерять и однофазное потребление.

Для высоковольтных сетей существуют специальная разновидность трёхфазных приборов учёта на 100 вольт, которые присоединяют через измерительный трансформатор;

По способу присоединения подразделяют на:

а) устройства прямого включения в измеряемую цепь;

б) непрямого (трансформаторного) присоединения (включают в цепь через измерительные трансформаторы).

Также существуют двухтарифные счетчики электроэнергии, так называемые счетчики день/ночь. Они позволяют в ночное время суток существенно снизить затраты на электроэнергию (т.к. за ночное электричество оплата происходит по сниженному тарифу).

Из важнейших характеристик электросчётчиков необходимо выделить класс точности (от 0,5 до 3,0), рабочее напряжение и ток (220-380 вольт и 5-20 ампер) и передаточное число (количество оборотов диска равное единице измеряемой величины).

На российском рынке наибольшее распространение получили электросчетчики:

СЭТ, ПСЧ, Меркурий, Альфа, ЦЭ, СЕ, Нева, Счетэнергомаш и т.п.

3 Измерительные генераторы

3.1 Генераторы низкой и высокой частоты.

3.1.1 Назначение и классификация измерительных генераторов.

Измерительный генератор - это источник электрических колебаний с заранее известными параметрами, предназначенный для исследования, настройки и проверки функционирования электрорадиоизмерительных цепей и устройств.

Подгруппы генераторов:

Г1 - установки для поверки измерительных генераторов;

Г2 - генератор шумовых сигналов;

Г3 - низкочастотный генератор;

Г4 - высокочастотный генератор;

Г5 - генератор импульсов;

Г6 - генератор сигналов специальной формы; Г8

- генератор качающейся частоты (Swip).

Классификационные признаки генераторов: а)

по форме входного напряжения:

- синусоидальных сигналов (Г 3, Г4);
- импульсных сигналов;
- выходное напряжение в виде шума;
- специальной формы;

б) *по диапазону частот:*

- низкочастотные (от 20 Гц до 300 кГц);
- высокочастотные (от 0,1 до 100 МГц); - СВЧ (от 1 до 40 ГГц); в) от вида модуляции:
 - амплитудная;
 - частотная;
 - комбинированная;
 - фазовая.

- *Основные требования*, предъявляемые к измерительным генераторам:

- а) к ширине диапазона частот;
- б) точности установки частоты и её стабильности;
- в) сохранению заданной формы выходного напряжения;
- г) пределам изменения выходного напряжения (выходной мощности);
- д) минимальному влиянию выходные параметры генератора;
- е) экранировке генератора.

3.1.2 Основные параметры и обобщенная структурная схема измерительных генераторов.

Основные параметры измерительных генераторов:

- а) **частотные параметры** (характеризуют диапазон частот генерируемых колебаний, точность установки частоты и ее стабильность);
- б) **параметры выходного напряжения или мощности** (определяют напряжение на входе аттенюатора - опорное; пределы плавного или ступенчатого изменения выходного напряжения; сопротивление нагрузки, а также точность и стабильность установленного уровня выходного напряжения).

- Основными нормируемыми метрологическими характеристиками измерительных генераторов являются:

- а) пределы и диапазон частот;
- б) пределы и диапазон уровней воспроизводимых сигналов;
- в) погрешность установки частоты;
- г) нестабильность частоты;
- д) погрешность установки выходного напряжения;
- е) пределы искажения формы сигнала.

3.1.3 Обобщенная структурная схема измерительного генератора представлена на рисунке 28.

Задающий генератор это основной функциональный узел, определяющий частоту и форму генерируемых сигналов.

- В зависимости от вида измерительного генератора это может быть: а) генератор синусоидальных колебаний;
- б) генератор периодической последовательности импульсов;

в) генератор шума.

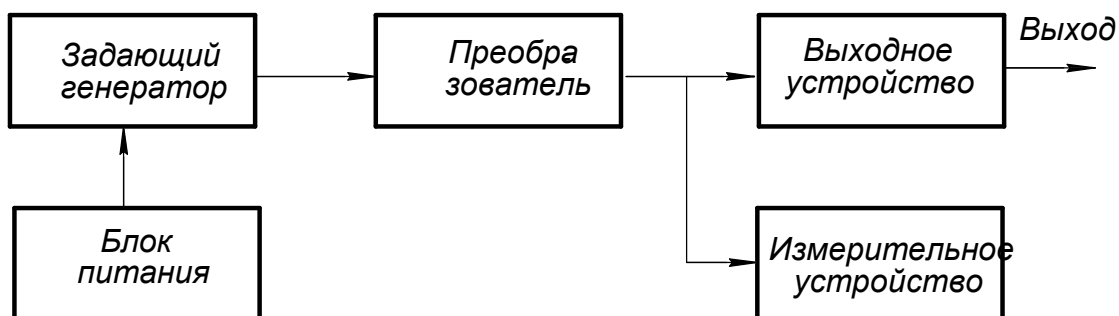


Рисунок 28 - Обобщенная структурная схема измерительного генератора

Преобразователь в зависимости от вида измерительного генератора может выполнять следующие функции:

- а) повышение уровня сигнала (усилитель напряжения или мощности);
- б) придавать сигналу определенную форму (модулятор).

Выходное устройство позволяет регулировать уровень выходного сигнала и изменять его выходное сопротивление, а в случае генератора импульсов - изменять полярность выходных импульсов. В его составе может быть аттенюатор, повторитель или согласующий трансформатор.

Аттенюаторы измерительных генераторов калибруются в децибелах (см.таблицу 9). При этом общий коэффициент ослабления сигнала определяется как сумма коэффициентов ослабления всех включенных звеньев.

Таблица 9 - Значение затухания в децибелах

Затухание,дБ	Уменьшение напряжения
1	на 11%
10	в 3,16 раза
20	в 10 раз
40	в 100 раз
60	в 1000 раз

Одному децибелу соответствует значение уровня напряжения равный 0,775 В.

Иногда применяют несколько последовательно соединенных аттенюаторов, каждый из которых позволяет ослабить напряжение различными ступенями.

Пример. При отсутствии ослабления установлено напряжение 1 В. Введение ослабления, равного 40 дБ, приводит к уменьшению напряжения на нагрузке в 100 раз, т.е. до 10 мВ.

Измерительное устройство предназначено для установки параметров генерируемых сигналов с нормированной погрешностью.

3.1.4 Низкочастотные генераторы.

Низкочастотные генераторы называют звуковыми генераторами. По диапазону частот их подразделяют:

- а) на источники инфразвуковых колебаний (от 0,01 до 20 Гц);
- б) источники звуковых колебаний (от 20 Гц до 20 кГц);
- в) ультразвуковых частот (от 20 кГц до 300 кГц).

Низкочастотные генераторы применяются при испытании и наладке низкочастотных усилителей, фильтров, электроакустических установок, устройств автоматики и вычислительной техники, для измерения частоты и фазового сдвига методом сравнения, а также для модуляции колебаний высокочастотных генераторов и питания различных измерительных устройств. К основным параметрам низкочастотных генераторов относятся:

- а) степень отличия формы сигнала от синусоидальной (коэффициент гармоник);
- б) уровень выходного сигнала;
- в) частота, характеризующая число колебаний в единицу времени.

Структурная схема низкочастотного генератора представлена на рисунке 29.

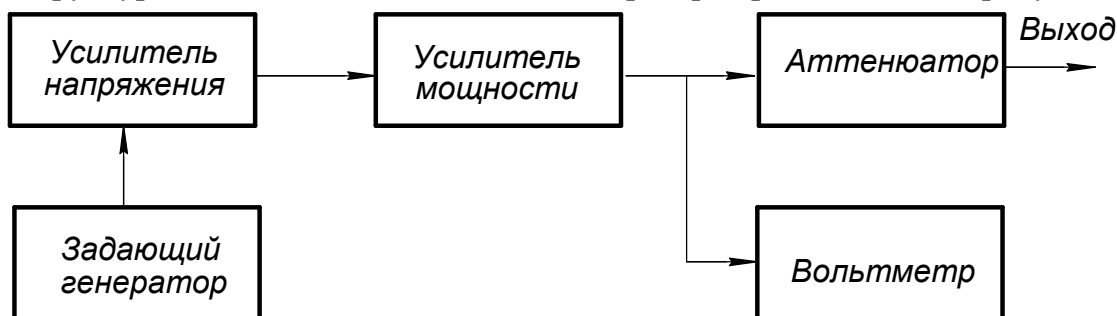


Рисунок 29 - Структурная схема низкочастотного генератора

Задающий генератор генерирует синусоидальные колебания в заданном диапазоне частот. Он является первичным источником гармонических колебаний, его схема должна обеспечивать широкие пределы и высокую точность установки частоты, высокую стабильность параметров гармонических колебаний и малый коэффициент нелинейных искажений. Он преобразует энергию питающей сети в энергию синусоидальных колебаний низкой частоты. В современных измерительных

генераторах в качестве задающих используют генераторы пьезоэлементов, интеграторы и RC-генераторы.

Усилитель напряжения, кроме основной функции, выполняет роль буферного каскада, уменьшающего влияние выходных цепей на режим работы задающего генератора.

Усилитель мощности обеспечивает получение заданной мощности выходного сигнала на нагрузке, служит для согласования относительно высокоомного выхода задающего генератора с низкоомным входным сопротивлением последующих аттенюаторов.

Вольтметр выпрямительной системы, показывающий среднеквадратическое значение выходного сигнала, служит для контроля уровня усиления сигнала, который затем через аттенюатор поступает на выход.

Аттенюатор - представляет собой делитель напряжения на резисторах. Его особенностью является независимость входных и выходных сопротивлений от частоты и вводимого ослабления. Коэффициент ослабления делителя напряжения, как правило, градуируется в децибелах.

Типовые измерительные генераторы звуковой частоты имеют два вида выхода:

- а) симметричный - образуют путем соединения средней точки вторичной обмотки трансформатора с корпусом прибора. Его использование способствует понижению уровня помех на входных зажимах внешней нагрузки;
- б) несимметричный.

3.1.5 Высокочастотные генераторы.

Высокочастотные генераторы делятся на:

- а) измерительные генераторы радиовещательного (от 30 кГц до 50 МГц) диапазона;
- б) измерительные генераторы метрового диапазона (от 50 МГц до 300 МГц).

Высокочастотные генераторы являются источниками маломощных немодулированных или модулированных высокочастотных колебаний с регулируемыми и контролируемыми амплитудой, частотой и формой выходного сигнала.

Применение высокочастотных генераторов:

- а) для настройки радиовещательных приемников,
- б) испытания приемно-передающих устройств, линий радиосвязи и питания антенн.

- В высокочастотных генераторах особые требования предъявляют к:
- а) точности установки частоты;
 - б) стабильности частоты;
 - в) стабильности выходного напряжения;
 - г) получению минимальных нелинейных искажений выходного сигнала.

Структурная схема высокочастотного генератора приведена на рисунке 30.

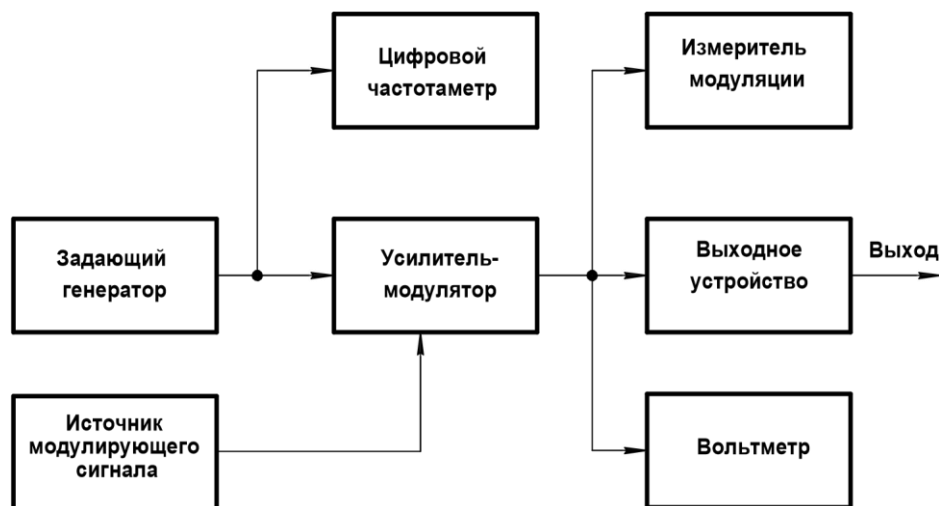


Рисунок 30 – Структурная схема высокочастотного генератора

Задающий генератор генерирует высокочастотные синусоидальные колебания. К генератору предъявляются специальные требования в отношении стабильности частоты, уровня искажений выходного сигнала и диапазона генерируемых частот, которые обычно перекрывают с помощью нескольких поддиапазонов.

Усилитель-модулятор является широкополосным усилителем с переменным коэффициентом усиления. Он осуществляет амплитудную или частотную модуляцию сигнала.

Источник модулирующего напряжения представляет собой внутренний генератор низкой частоты (обычно 1 кГц). Модулирующее напряжение можно создавать и внешним генератором

Выходное устройство представляет собой систему калиброванных аттенюаторов, уменьшающих напряжение в целое число раз, кратное 10, и потенциометра, обеспечивающего плавную регулировку выходного напряжения.

Выход генератора рассчитан на подключение типового коаксиального кабеля с выносным делителем напряжения.

В генераторах высокой частоты часто предусматривается вспомогательный выход для точного измерения частоты цифровым частотомером.

Высокая чувствительность радиоприемных устройств, для исследования и настройки которых в основном и предназначен высокочастотный генератор, обуславливает необходимость в малых калиброванных уровнях напряжения.

В связи с этим в высокочастотном генераторе большое значение имеет экранировка как всего прибора, так и его отдельных блоков.

Наиболее ответственные блоки (задающий генератор измерительный аттенуатор) экранируют двойным экраном.

3.2 Импульсные генераторы и генераторы шумовых сигналов.

3.2.1 Импульсные генераторы.

Импульсные генераторы применяются для исследования различных импульсных схем, низкочастотных усилительных устройств, широкополосных усилителей, а также в качестве импульсных модуляторов измерительных генераторов СВЧ.

Основные параметры импульсных генераторов: а)

частота повторения;

б) длительность;

в) амплитуда;

г) временной сдвиг между основными выходными импульсами;

д) форма и полярность выходного импульса, его задержка.

Структурная схема импульсного генератора приведена на рисунке 31.

Задающий генератор - обеспечивает работу в режиме внутреннего запуска и определяет частоту повторения основных импульсов. Его часто называют тактовым. В целом ряде случаев возникает необходимость генерировать импульсы синхронно с воздействием на измерительный генератор внешних пусковых сигналов. В таких

случаях измерительный генератор переводится в режим внешнего запуска и на устройство синхронизации вместо импульсов задающего генератора подаются внешние запускающие импульсы.

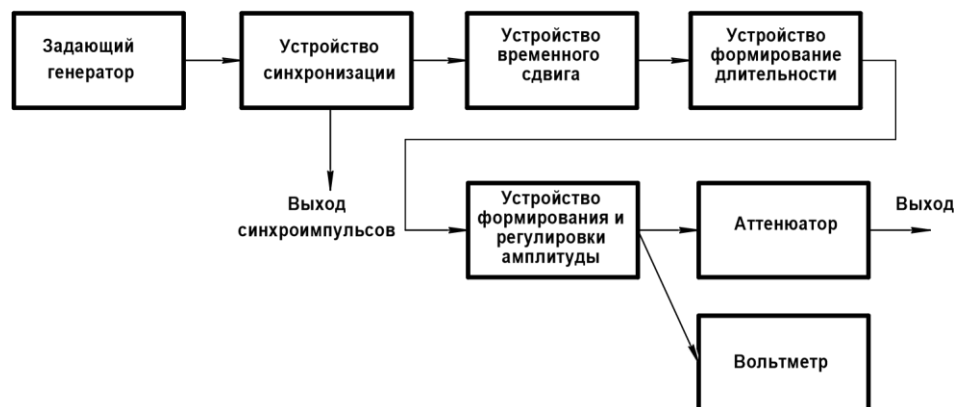


Рисунок 31 - Структурная схема импульсного генератора

Устройство синхронизации обеспечивает запуск всех последующих функциональных узлов измерительного генератора и выдает на отдельный выход синхроимпульсы, представляющие собой вспомогательные импульсы обеих полярностей, синхронные с основными и предназначенные для запуска внешних устройств.

Устройство временного сдвига выполняет две функции:

- а) в режиме генерации одинарных импульсов обеспечивает временной сдвиг основного импульса относительно синхроимпульса;
- б) в режиме генерации парных импульсов обеспечивает временной сдвиг второго импульса пары относительно первого.

Устройство формирования длительности - подаёт на последующее устройство два импульса: положительный, выполняющий функцию «старт»-импульса, и отрицательный, выполняющий функцию «стоп»-импульса.

Устройство формирования и регулирования амплитуды окончательно формирует основные импульсы по длительности фронта и спада, а также по амплитуде и неравномерности вершины.

Установка и измерение амплитуды основных импульсов обеспечивается с помощью импульсного вольтметра и выходного аттенюатора.

3.2.2 Генераторы шумовых сигналов.

Генератор шума предназначен для маскировки побочных, информативных электромагнитных излучений персональных компьютеров, компьютерных сетей и комплексов на объектах вычислительной техники первой, второй и третьей категорий путем формирования и излучения в окружающее пространство электромагнитного поля шума (ЭМПШ) в диапазоне частот 0,1 - 1000 МГц.

Примером такого генератора шума является генератор шума ГШ-1000М.

Работа генератора основана на использовании нелинейных свойств транзистора и организации широкополосной обратной связи для генерации широкополосного шумового сигнала и его усиления.

Сформированный шумовой сигнал излучается в окружающее пространство.

Его интенсивность значительно превышает интенсивность радиоизлучения от средств вычислительной техники, что обеспечивает надежную защиту обрабатываемой ими информации от несанкционированного доступа.

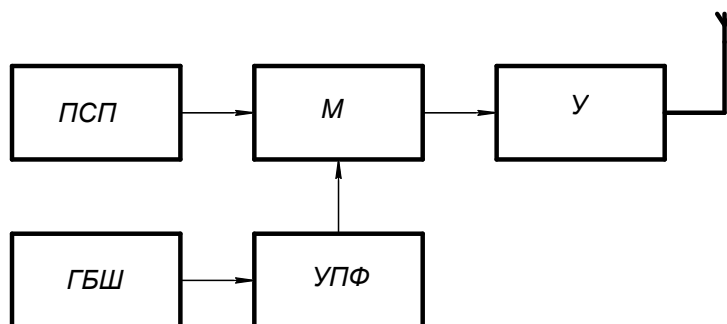


Рисунок 32 - Структурная схема генератора

Принцип работы генератора следующий.

Генератор белого шума (ГБШ) создает смесь сигнала и шума. Узкополосный фильтр (УПФ) выделяет определенную полосу частот из этой смеси и формирует квазигармонический процесс, который поступает на модулятор. Далее этот сигнал модулируется псевдослучайной последовательностью (ПСП) и через усилитель (У) сформированный генератором шумовой сигнал с помощью активной антенны излучается в пространство.

Спектральная плотность излучаемого электромагнитного поля равномерно распределена по частотному диапазону и обеспечивает требуемое превышение маскирующего сигнала над информационным в заданное число раз (как требуют нормативные документы Гостехкомиссии России) на границах контролируемой зоны объектов вычислительной техники 1-3 категорий по эфиру, а также наводит маскирующий сигнал на отходящие слаботочные цепи и на сеть питания. Статистические характеристики сформированных генератором маскирующих колебаний близки к характеристикам нормального белого шума.

В состав генератора шума входит также устройство контроля нормального режима работы генератора.

Если уровень сигнала на выходе генератора превышает заданный уровень, то горит светодиод «Контроль», служащий индикатором нормального режима работы генератора.

Если же уровень сигнала на выходе генератора окажется ниже заданного уровня, что может быть обусловлено как падением уровня выходной мощности генератора, так

и изменением характера спектра генерируемого им сигнала, то индикаторный светодиод гаснет и запускается генератор звукового сигнала. Это является признаком нарушения нормального режима работы генератора.

В состав генератора шума также входит устройство дистанционного контроля нормального режима работы генератора.

Внешнее контрольное и/или управляющее устройство может быть подключено к коаксиальному разъему DJK-10A, причем положительный контакт внешний, отрицательный внутренний.

Так как выходным элементом схемы дистанционного контроля является транзисторная оптопара АОТ128А, то значения параметров коммутируемых напряжения и тока не должны превышать максимально допустимых для этой оптопары, а именно, максимально допустимое коммутируемое напряжение не более 50В максимально допустимый ток нагрузки не более 8мА.

3.2.3 Технические характеристики генератора шума.

Технические характеристики генератора шума следующие.

а) значения спектральной плотности напряженности магнитного (рНш) и электрического (Еш) компонентов нормированного электромагнитного поля шума (ЭМПШ) децибелах к 1мкВ/м·ЦкГц, формируемого генератором на расстоянии d=1м для Нш и d=3м для Еш не ниже, значений указанных в таблице 10;

б) нормализованный коэффициент качества ЭПМШ (К), формируемого генератором не менее 0,8;

в) генератор обеспечивает визуальную и звуковую индикацию выполнения требований нормального режима работы;

г) генератор обеспечивает возможность дистанционного контроля выполнения требований нормального режима работы.

д) электропитание генератора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220±22 и частотой 50 Гц.

е) генератор сохраняет свои технические характеристики в интервале температур от +5 до +40°С.

Таблица 10 - Значения спектральной плотности напряженности магнитного (рНш) и электрического (Еш) компонентов нормированного электромагнитного поля шума

Частота, МГц	0,1	0,5	1	5	10	30	100	200	300	500	700	1000
Норма по ТУ Еш, дБ.	35	40	40	45	50	50	45	45	45	40	40	35

Результат измерения Еш, дБ.	42	56	64	65	73	65	46	57	46	44	43	37
Нормы по ТУ рНш, дБ.	60	55	55	55	50	45	-	-	-	-	-	-
Результат измерения рНш, дБ.	67	77	81	72	71	60	-	-	-	-	-	-

Внешний вид генератора шума ГШ-1000М приведён на рисунке 33.



Рисунок 33 - Внешний вид генератора шума ГШ-1000М

По сравнению с аналогичными по назначению изделиями типа «Гном», «Сфера», ГСС, «Смог», «Октава», генераторы шума ГШ-1000М выгодно отличаются повышенным коэффициентом качества маскирующего сигнала, формируют шумовое электромагнитное поле с круговой поляризацией, имеют меньшие габариты и массу, более удобны в эксплуатации.

Использование генератора для маскировки ПЭМИ помимо маскировки сигналов излучения со средств вычислительной техники, позволяет справляться и с несколькими иными задачами. А именно эти устройства позволяют блокировать работу боевых роботов. Кроме того, нельзя забывать о различных взрывных устройствах, которые так же управляются с использованием радиосвязи и могут быть локально заблокированы.

4. Исследование формы и измерения параметров сигнала

4.1. Осциллографические методы измерений.

4.1.1 Электронный осциллограф.

Осциллограф - это устройство, предназначенное для наблюдения формы и измерения амплитудных и временных параметров электрических сигналов («осцилум» (лат. слово) - колебания, «графо» (греч. слово) - пишу).

Основными техническими показателями электронного осциллографа (ЭО) являются:

- а) чувствительность;
- б) полоса пропускания;
- в) входное сопротивление МОм) и входная емкость (пФ);
- г) максимальное напряжение входного сигнала;
- д) искажения исследуемого сигнала;
- е) виды разверток;
- ж) тип электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) или размеры экрана;
- и) наибольшая частота синхронизации;
- к) погрешности измерения амплитуды и временных интервалов.

В зависимости от назначения осциллографы обозначаются:

- С1 - универсальные осциллографы;
- С2 - модуломеры;
- С3 - девиомстры;
- С4 - анализаторы спектра;
- С6 - измерители нелинейных искажений;
- С7 - скоростные и стробоскопические осциллографы;
- С8 - запоминающие осциллографы; С9 - специальные осциллографы.

4.1.2 Признаки классификации осциллографов.

Осциллографы классифицируют по следующим признакам: а) по назначению и принципу действия;

- **универсальный осциллограф**, в котором исследуемый сигнал через аттенуатор или усилитель подается на вертикальную отклоняющую систему электронно-лучевой трубки, а горизонтальное отклонение осуществляется генератором развертки;

- **стробоскопический осциллограф** (обеспечивает закономерный или случайный отбор мгновенных значений исследуемого сигнала и осуществляет его временное преобразование);

- **запоминающий осциллограф** (в котором при помощи запоминающих устройств - ЭЛТ с памятью, возможно сохранить на определенное время исследуемый сигнал и при необходимости возобновить его на экране); - **специальный осциллограф** (предназначен для целевой применения); б) по количеству одновременно наблюдаемых сигналов:

- многоканальный осциллограф (в котором специальными устройствами обеспечивается измерение двух и более сигналов поступивших по нескольким каналам на экран однолучевой трубки.

- **многолучевой осциллограф** (ЭЛТ имеет два и более электронных луча, которыми можно управлять совместно или раздельно).

Главной составляющей любого осциллографа является ЭЛТ, на экране которой наблюдается сигнал. У всех ЭЛТ имеется:

а) катод, испускающий пучок электронов;

б) модулятор - управляющая сетка для регулировки луча;

в) две пары пластин, которые ускоряют и фокусируют луч (горизонтальные - X и вертикальные - Y).

При отсутствии напряжения на отклоняющих пластинах пучок электронов фокусируется в центре ЭЛТ и образует светящуюся точку.

Степень отклонения луча какой-либо парой пластин пропорциональна приложенному к ним напряжению.

ЭЛТ можно **классифицировать** по следующим признакам: а)

по числу электронных пучков;

б) по методу отклонения электронного луча;

в) по наличию или отсутствию послеускорения электронов;

г) по характеристикам экрана.

Световые параметры ЭЛТ:

- а) диаметр светового пятна при оптимальной яркости (разрешающая способность);
- б) максимальная яркость свечения экрана (яркость регулируется путем изменения отрицательного напряжения на модуляторе);
- в) цвет свечения экрана (зеленый и желтый - для наименьшей утомляемости глаза оператора);
- г) время послесвечения составляет порядка 100 мс (время свечения экрана должно быть больше времени воздействия на него электронов - времени послесвечения).

Эксплуатационные параметры ЭЛТ: а)

чувствительность по осям X и Y;

б) полоса пропускания ЭЛТ;

в) размер рабочей части экрана, в пределах которой искажение осциллограммы минимальное.

Виды развёрток.

Разверткой называют линию на экране осциллографа, которую вычерчивает луч в отсутствие сигнала. **Основные виды разверток:**

а) **линейная** (наиболее распространенная) развертка может быть однократной, ждущей и непрерывной.

В случае линейной развертки луч, двигаясь равномерно по экрану, прочерчивает прямую горизонтальную линию, как бы нанося на экран ось абсцисс декартовой системы координат ось времени. Если на вертикально отклоняющиеся пластины подать исследуемый сигнал, то луч будет смещаться от линии развертки, причем величина отклонения пропорциональна мгновенному значению сигнала в текущий момент времени;

б) **однократная развертка** применяется для наблюдения одиночных и непериодических процессов.

На пластины X подают линейно-изменяющийся (пилообразный) импульс от генератора развертки. Запуск генератора развертки осуществляют несколько раньше момент появления напряжения на пластинах X, для чего в осциллографах производится небольшая задержка входного сигнала. После того, как луч достигнет края экрана (при этом напряжение на пластине X равно амплитуде развертки U_p луч возвращается в исходное положение, и осциллограф готов к приходу следующего сигнала;

в) **непрерывная развёртка** (автоколебательный режим работы) используется для исследования непрерывных периодических процессов.

Напряжение развертки при этом непрерывно, и изображение образуется наложением осциллограмм, полученных на каждом периоде исследуемого сигнала или на нескольких периодах.

Период развертки следует выбирать так, чтобы изображение на экране было неподвижным. Это возможно при выполнении условия: отношение периода развертки T_p к периоду исследуемого сигнала T кратно целому числу :

$$\frac{T_p}{T} n =$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ ($n = 1$ соответствует изображению одного периода сигнала, $n = 2$ - двух периодов и т.д.).

Если кратность не выполняется то изображение сигнала на каждом периоде смещается. Это приводит к появлению бегущего изображения; наблюдать сигнал при этом невозможно. Кратность развертки периоду повторения сигнала обеспечивается устройством синхронизации осциллографа;

в) ждущая развертка.

Она применяется для исследования непериодических сигналов, а также импульсов малой длительности с большим периодом повторения, когда непрерывная развертка малоприменима.

Напряжение развертки вырабатывается только при наличии на входе осциллографа исследуемого сигнала. Кратность развертки в данном случае не играет роли.

г) синусоидальная (используют для получения фигур Лиссажу при измерении частоты методом сравнения);

д) круговая (используется при измерении частоты и разности фаз).

В этом случае линия развертки представляет собой окружность или эллипс, причем ее длина больше, чем в случае линейной развертки, и отсутствует обратный ход луча.

Для создания круговой развертки используется генератор синусоидального напряжения, сигнал с которого подается на пластины X со сдвигом 90° .

Равенство амплитуд напряжений на пластинах дает круговую развертку, при неравенстве - линия развертки представляет собой эллипс.

В современных осциллографах широко распространены генераторы двойной развертки (задерживающей и задержанной). Применение двойной развертки существенно увеличивает функциональные возможности осциллографа. В частности, это позволяет рассматривать отдельные участки сигнала в удобном масштабе, что повышает точность измерения.

Первая (задерживающая) развертка позволяет наблюдать полный сигнал. Она допускает все режимы работы линейной развертки.

Вторая (задержанная) развертка запускается с некоторой задержкой относительно начала первой развертки.

Период задержанной развертки можно выбрать независимо и, в частности, меньше периода первой развертки.

Задержка запуска второй развертки делается регулировкой, и при рассмотрении полного сигнала (когда на пластины подается напряжение первой развертки) область действия второй развертки выделяется яркостной отметкой.

Регулировкой задержки и длительности второй развертки можно установить яркостную отметку на интересующую часть сигнала. Переключение осциллографа на работу с задержанной разверткой позволяет наблюдать выбранную часть сигнала. При работе осциллографа попеременно от двух разверток производится обзор всего сигнала и измерение его параметров с повышенной точностью.

Погрешность измерения временных параметров сигнала зависит главным образом от линейности развертки, которую характеризуют коэффициентом нелинейности.

Коэффициент нелинейности выражает относительное изменение скорости нарастания напряжения в начале и в конце рабочего хода развертки. Для качественного изображения процесса требуется иметь нелинейность не более 1...3 %, однако для проведения измерений с высокой точностью необходимо иметь генератор развертки с нелинейностью не менее 1 %.

Осциллограмма на экране будет неподвижной в том случае, когда исследуемый сигнал и развертка будут синхронными.

Условие синхронизации:

$$T_p = nT_c \quad \text{или} \quad f_p = \frac{f_c}{n}$$

где T_p - период развертки;

T_c - период исследуемого сигнала; n

- целое число; f_p - частота

развёртки; f_c - частота исследуемого сигнала.

4.1.3 Структурная схема осциллографа.

Структурная схема осциллографа приведена на рисунке 34

Осциллограф имеет три канала: X, Y, Z:

а) **канал Y** — канал вертикального отклонения, на который подается исследуемый сигнал.

Он характеризуется:

- полосой пропускания;
- чувствительностью;
- нелинейностью амплитудной характеристики;
- временем задержки и установлением сигнала;
- амплитудой входного сигнала;
- входным сопротивлением и входной емкостью.

Основные блоки канала Y:

- входной аттенюатор обеспечивает большое входное сопротивление и ослабляет входной сигнал в определенное число раз;
- предусилитель предназначен для согласования большого входного сопротивления с малым сопротивлением линии задержки;
- линия задержки представляет собой коаксиальный кабель или искусственные длинные линии и обеспечивает неискаженное воспроизведение фронта сигнала в режиме ждущей развертки, при наблюдении сигналов в автоколебательном режиме задержку на 140 нс, что позволяет генератору развертки запускаться до поступления сигнала на вертикально отклоняющие пластины. Это дает возможность исследовать передний фронт сигнала при внутреннем запуске;
- выходной усилитель повышает чувствительность электронного осциллографа и усиливает слабые исследуемые сигналы.

б) **канал X** - канал горизонтального отклонения (на его вход может подаваться как сигнал внешней синхронизации, так и исследуемый).

Основные блоки:

- схема синхронизации предназначена для получения неподвижного изображения на экране ЭЛТ. В ней осуществляется выбор источника синхронизации (внутренний, внешний, от сети), вида связи с источником синхронизации (открытый, закрытый), полярности синхронизации;
- блок развертки предназначен для осуществления временной развертки луча и вырабатывания пилообразного напряжения;
- усилитель горизонтального отклонения усиливает до необходимого размера пилообразное напряжение, может умножать скорость развертки в 10 раз. С выхода этого усилителя пилообразное напряжение поступает на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ.

В осциллографе предусмотрена возможность подачи внешнего сигнала на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ через усилитель горизонтального отклонения, при этом внешний сигнал подается на вход X;

- калибратор амплитуды и длительности является внутренней мерой сигналов.

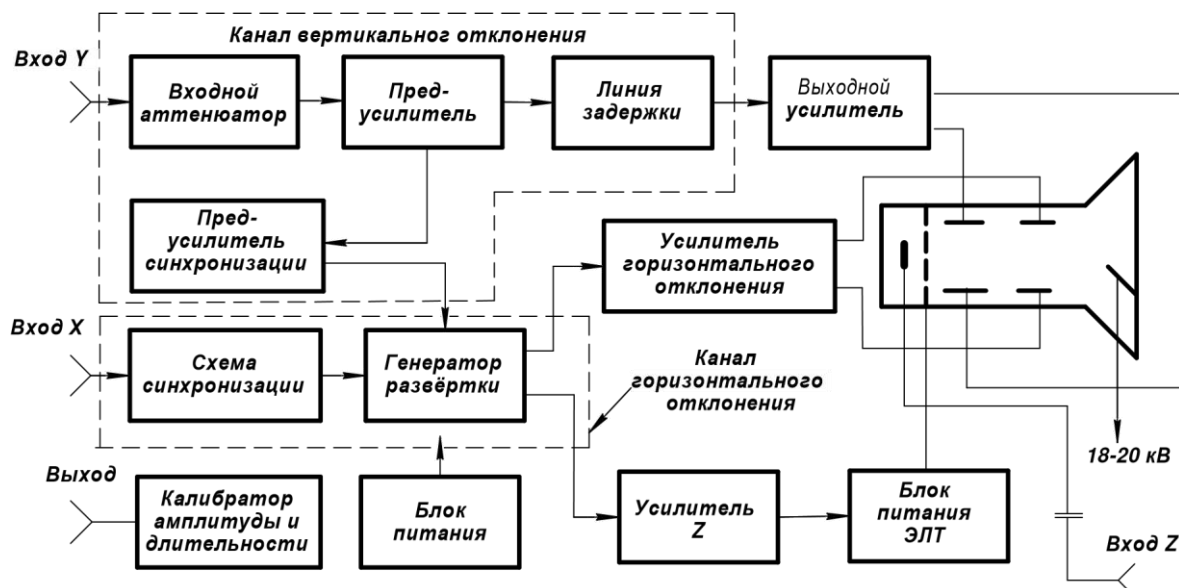


Рисунок 34 - Структурная схема осциллографа

При калибровке выходной сигнал калибратора подается на вход Y осциллографа, и на экране ЭЛТ наблюдается изображение калибровочного сигнала;

- блок питания выпрямляет и стабилизирует сетевое напряжение и обеспечивает питающим напряжением ЭЛТ и всю схему прибора.

в) **канал Z** предназначен для управления яркостью ЭЛТ.

С выхода усилителя Z (усилитель подсвета) снимаются импульсы для подсвета прямого хода развертки и гашения обратного хода.

Эти импульсы через блок питания ЭЛТ управляют его работой. На вход усилителя Z можно подавать внешний сигнал для получения яркостных меток времени.

4.1.4 Калибровка осциллографа.

Калибровка осциллографа необходима для проверки точностных характеристик каналов вертикального и горизонтального отклонения.

Внутренний калибратор осциллографа выдает прямоугольные импульсы. На вход Y ЭО подают образцовое калибровочное напряжение и так регулируют усиление,

чтобы высота прямоугольного импульса занимала на экране 4 - 5 см (в зависимости от типа осциллографа). В этом случае чувствительность будет соответствовать величине, указанной на шкале переключателя В/ДЕЛ.

Тогда значение напряжения U определится как :

$$U = L_y \cdot K_y$$

где L_y - высота сигнала в делениях;

K_y - величина чувствительности (коэффициент отклонения).

Измерение временных интервалов осуществляется с помощью калиброванной во времени линейной развертки.

Внутренний калибратор выдает сигнал с частотой 1 кГц.

Необходимо, чтобы на экране ЭО, подбором чувствительности по горизонтали, получить сигнал с периодом 1 мс.

Длительность импульса τ_u определится как:

$$\tau_u = p \cdot L_x \cdot K_x$$

где L_x - ширина импульса на уровне 0,5 от его высоты, в делениях; K_x

- цифровая отметка переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ; p - коэффициент, равный 1 или 0,1.

4.1.5 Осциллографические измерения.

Измерение временных и амплитудных параметров синусоидального (см.рисунок 35) и прямоугольного (см.рисунки 36,37) сигналов.

Отклонение луча l_y на экране пропорционально подаваемому на вход Y сигналу и будет характеризоваться коэффициентом отклонения $K_{откл}$, используя который можно определить амплитуду (размах) U_y входного сигнала:

$$U_y = K_{откл} \cdot l_y$$

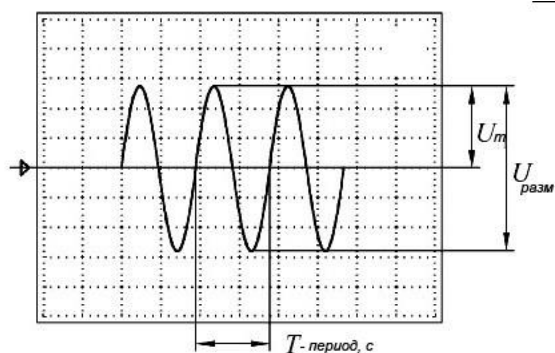
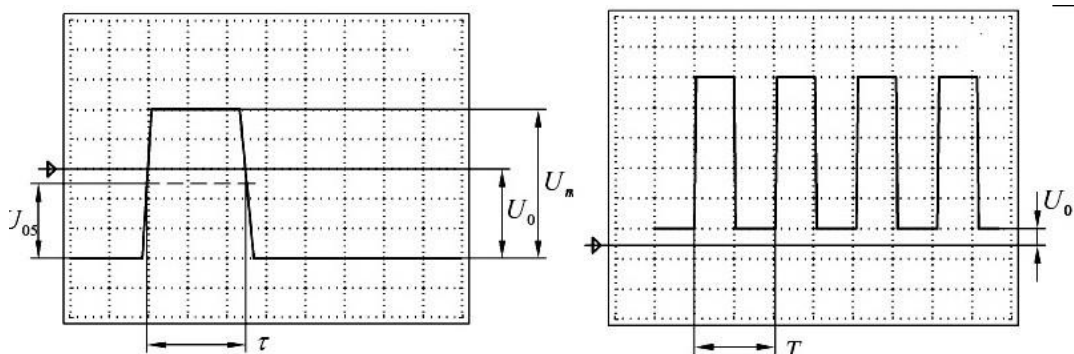


Рисунок 35 - Измерение временных и амплитудных параметров синусоидального сигнала.



а) импульсного двуполярного

б) однополярного импульсно
-периодического.

Рисунок 36 - Измерение временных и амплитудных параметров прямоугольного сигнала.

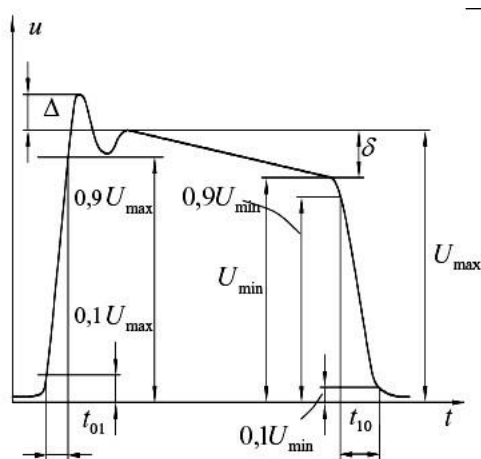


Рисунок 37 - Параметры импульсного сигнала

Коэффициент отклонения имеет фиксированные значения и размерность вольт/дел., и указан на положениях переключателя входного аттенюатора.

При измерении длительности импульса $\tau_{имп}$ необходимо “растянуть” его по горизонтали до величины не менее 0,4 размера экрана и, измерив на экране размер импульса l_x по уровню 0,5 амплитуды, определить длительность импульса

$$\tau_{имп} = K_{разв} \cdot l_x$$

4.1.6 Измерение частоты осциллографом.

Методы измерения частоты осциллографом следующие: а)

метод линейной развертки.

Сигнал измеряемой частоты f подается на вход Y осциллографа, измеряется интервал времени, в который попадает целое число периодов T сигнала, после чего частота находится по формуле:

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

где t_x - интервал времени; N -
число периодов.

б) **метод синусоидальной развертки** (фигур Лиссажу).

К отклоняющим пластинам Y подводят напряжение измеряемой частоты f_y , а к отклоняющим пластинам X- напряжение образцового генератора с частотой $f_0 = f_x$.

Частоту образцового генератора изменяют до тех пор, пока на экране осциллографа не получится фигура Лиссажу, которая должна быть наиболее простой и неподвижной (см.рисунок 38).

При этом следует иметь в виду, что с увеличением частоты генераторов и уменьшением их стабильности получить неподвижную фигуру Лиссажу становится труднее.

Определяют по кривой отношение частот n :

$$n = \frac{f_y}{f_x}$$

Практически величину n удобно находить как отношение числа точек

пересечения фигуры Лиссажу горизонтальной линией к числу точек пересечения фигуры вертикальной линией.

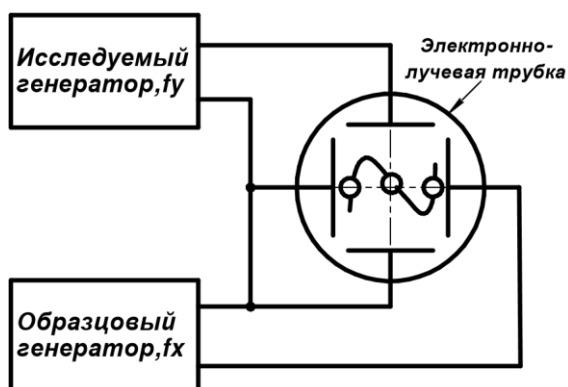


Рисунок 38 - Метод синусоидальной развертки (фигур Лиссажу)

Данный метод удобно использовать при измерении частоты, если величина n не превышает 10.

При большом отношении частот фигура получается неразборчивой вследствие меньшей скорости движения пятна в начале и конце синусоидальной развертки по сравнению со скоростью в ее средней части, и определить n невозможно.

В этом случае для измерения частоты удобно использовать метод круговой или эллиптической развертки.

в) **метод круговой развертки** (яркостных меток времени).

На входы Y и X осциллографа подаются сигналы образцовой частоты, сдвинутые по фазе друг от друга на 90° . На вход Z подается сигнал измеряемой частоты. В результате на экране осциллографа появляется прерывистая окружность, по количеству разрывов которой, находится отношение частот:

$$F_x = n \cdot F_o$$

где F_x - измеряемая частота; n -

количество разрывов окружности; F_o -

образцовая частота.

4.1.7 Измерения фазового сдвига.

Методы измерения фазового сдвига бывают: а)

метод линейной развертки.

Сигналы, сдвиг по фазе между которыми измеряется с помощью двухлучевого осциллографа, подаются на I и II входы канала вертикального отклонения.

Угол сдвига фаз находят при условии, что один из сигналов является опорным, а его начальная фаза равна нулю. Тогда второй сигнал имеет начальную фазу, совпадающую с углом сдвига фаз (см. рисунок 39).

Измеряя отрезки ab и ad на осциллограмме, определяют фазовый сдвиг по формуле

$$\phi = \frac{ab}{ad} \cdot 360^\circ$$

б) *измерение фазового сдвига по фигуре Лиссажу* в виде эллипса.

Сигналы, сдвиг по фазе между которыми измеряется, подаются на входы X и Y осциллографа. На экране получим фигуру Лиссажу в виде эллипса (см. рисунок 40). Угол сдвига фаз можно вычислить по длинам большой и малой осей эллипса:

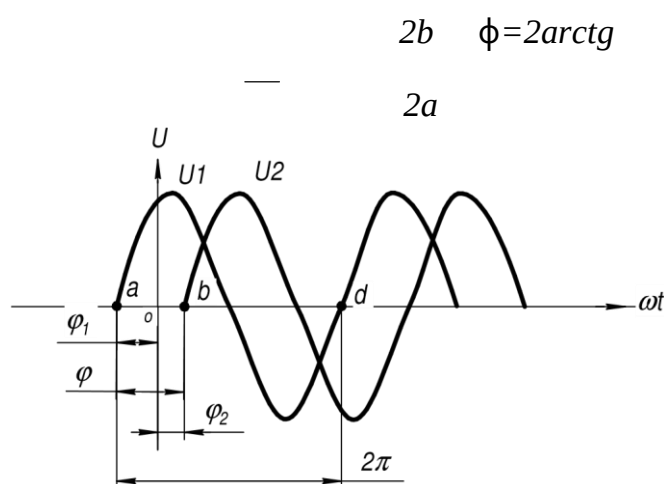


Рисунок 39 - Определение угла сдвига фаз

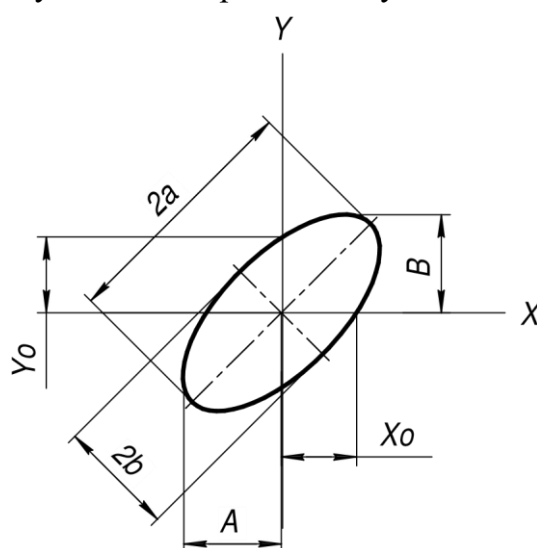


Рисунок 40 - Измерение фазового сдвига по фигуре Лиссажу в виде эллипса
4.1.8 Измерение коэффициента амплитудной модуляции.

Принцип амплитудной модуляции заключается в наложении низкочастотных колебаний (передаваемый сигнал) на высокочастотные (несущая частота).

Основным параметром амплитудно-модулированного колебания (см. рисунок 41) является коэффициент модуляции, характеризующий глубину изменения огибающей амплитуд.

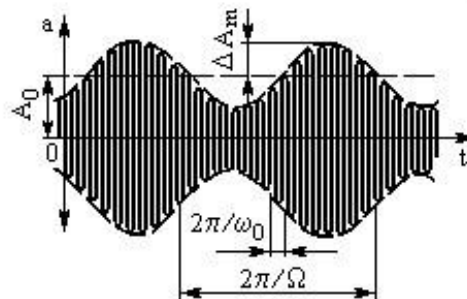


Рисунок 40 - Параметры модулированного сигнала

Отношение $M = \Delta A_m / A_0$ - **коэффициент модуляции**.

Максимальное изменение амплитуды не должно превышать ее значения, и поэтому максимальная величина коэффициента модуляции $M = 1$.

а) **метод линейной развёртки**.

Метод заключается в том, что к вертикально отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки осциллографа подводится исследуемое напряжение амплитудно-модулированных колебаний, а к горизонтально отклоняющим пластинам напряжение непрерывной линейной развертки, частота которых должна быть равна или в целое число раз меньше частоты модуляции. При этом на экране трубки получается осциллограмма модулированных колебаний (см. рисунок 41).

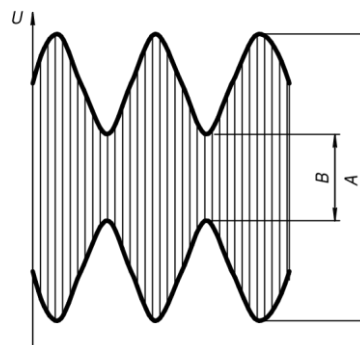


Рисунок 41 - Измерение коэффициента амплитудной модуляции методом линейной развёртки

Измерив на полученной осциллограмме расстояния А и В, определяют коэффициент модуляции (глубину модуляции) М по формуле:

$$M = \frac{(A-B)}{(A+B)} 100\%$$

б) измерение коэффициента амплитудной модуляции **методом трапеций** (синусоидальная развертка).

Метод, трапеции, основанный на использовании синусоидальной развертки, заключается в следующем.

К одной паре отклоняющихся пластин трубки осциллографа, подают исследуемое напряжение, а к другой паре напряжение с частотой модуляции.

При этом в зависимости от фазового сдвига между модулирующим напряжением и огибающей модулированных колебаний на экране осциллографа получают неподвижные трапеция (см. рисунок 42) или цилиндр (см. рисунок 43).

Определив А и В, вычисляют коэффициент амплитудной модуляции М по приведённой формуле

$$M = \frac{(A-B)}{(A+B)} 100\%$$

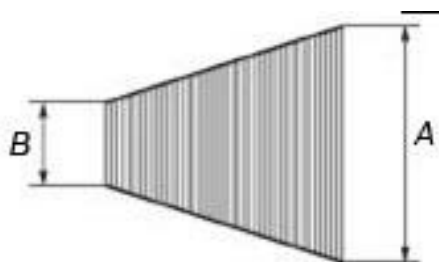


Рисунок 42 - Измерение коэффициента амплитудной модуляции методом трапеций

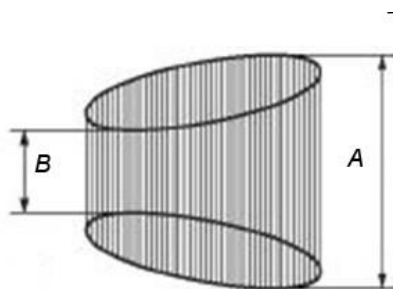


Рисунок 43 - Измерение коэффициента амплитудной модуляции методом цилиндров

4.2 Измерение частоты и временных интервалов электрических сигналов

4.2.1 Измерение частоты

В частотоизмерительной технике основополагающей величиной периодического сигнала является **период**, представляющий собой наименьший интервал времени, через который последовательно и регулярно повторяется произвольно выбранное мгновенное значение периодического сигнала, а чистота определяется как величина, обратная этому периоду.

Выбор прибора и метода измерения зависит от диапазона выбранных частот.

Для измерения промышленной частоты могут применяться стрелочные приборы электродинамической системы.

На низких частотах применяют цифровые и электронно-счетные частотомеры, а также осциллографы.

На высоких и сверхвысоких частотах применяют резонансные частотомеры

Приборы для измерения частоты **маркируются**:

Ч1	- стандарты частоты и времени,
Ч2	- частотомеры резонансные;
Ч3	- частотомеры электронно-счетные,
Ч4	- частотомеры гетеродинные, емкостные, мостовые;
Ч5	- синхронизаторы частоты, преобразователи частоты сигнала;
Ч6	- синтезаторы частот; делители и умножители частоты;
Ч7	- компараторы частотные, фазовые, временные

.

4.2.2 Методы измерения частоты.

Методы измерения частоты бывают:

а) **осциллографические**: - метод калибратора длительности.

Заключается в получении осциллограммы исследуемого напряжения, измерении его периода T и вычислении частоты f по формуле:

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

- метод фигур Лиссажу;

- метод круговой (эллиптической) развертки,

Заключается в том, что меньшей частотой от образцового генератора осуществляют круговую развертку, а большую измеряемую частоту подводят к модулирующему электроду электронно-лучевой трубки.

б) *метод заряда и разряда конденсатора.*

Метод основан на измерении среднего тока заряда или разряда образцового конденсатора, переключаемого с заряда на разряд с измеряемой частотой:

$$f = \frac{1}{C(U_z - U_p)}$$

Используется на частотах от 10 Гц до 100 кГц, в)

метод дискретного счета.

Метод основан на подсчете числа периодов измеряемой частоты за калиброванный интервал времени.

Частотомеры, работающие по этому принципу, являются цифровыми и позволяют измерять также интервалы времени.

Метод используется на частотах от 10 Гц до 100 МГц; г)

метод резонанса.

Используется в основном на высоких и сверхвысоких частотах (100 кГц - 100 ГГц). Частотомеры, использующие контуры с сосредоточенными параметрами, измеряют частоту; частотомеры, использующие контуры с распределенными параметрами, измеряют длину волны.

4.2.3 Измерение интервалов времени методом дискретного счета.

Измерение заключается в сравнении измеряемого интервала времени Δt_x с дискретным интервалом, воспроизводящим единицу времени.

Для этого измеряемый интервал Δt_x заполняется импульсами с известным образцовым периодом следования $T_{обр} \ll f_x$ (см. рисунок 44), то есть. интервал преобразуется в отрезок периодической последовательности импульсов, число (m) которых, пропорциональное Δt_x , подсчитывается.

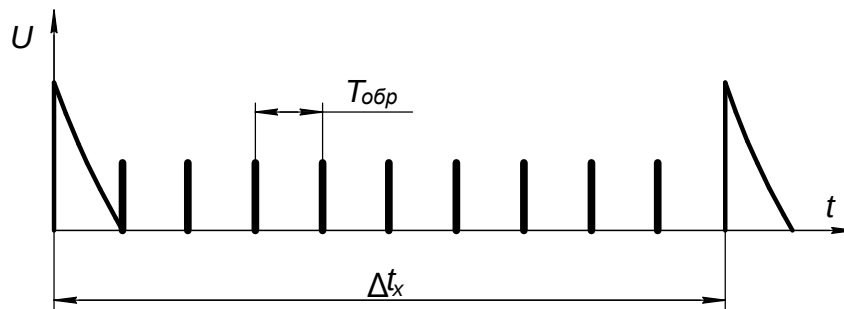


Рисунок 44 - Измерение интервалов времени методом дискретного счета

Импульсы, заполняющие интервал Δt_x , называют счетными, период их следования - $T_{сч}$.

Таким образом:

$$\Delta t_x = m T_{сч}$$

Для аппаратного осуществления описанного метода необходимы генератор счетных импульсов и счетчик, между которыми должна быть включена схема, открывающая счетчик на время Δt_x (см. рисунок 45).

Эту функцию выполняет временной селектор, представляющий собой логический элемент И.

Счетные импульсы, непрерывно поступающие на вход 1 временного селектора, могут проходить в счетчик только тогда, когда на входе 2 селектора действует стробирующий импульс.

Этот импульс формируется из исследуемого сигнала устройством, содержащимся в блоке формирования и управления.

За время действия стробирующего импульса, длительность которого равна измеряемому интервалу Δt_x , счетчик считает импульсы генератора. Число импульсов, зафиксированное счетчиком и наблюдаемое с помощью цифрового отображающего устройства - дисплея, однозначно соответствует измеряемому интервалу Δt_x .

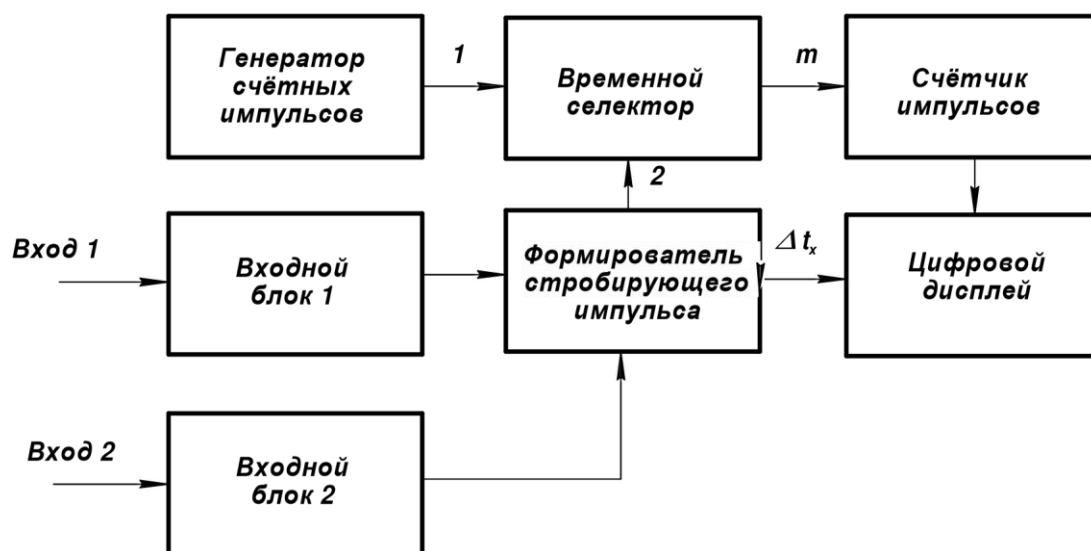


Рисунок 45 - Структурная схема измерителя интервалов времени

Если период следования счетных импульсов генератора $T_{сч}$ (частота следования $F_{сч}$), то за интервал Δt_x через импульс, вырезающий участок импульсной последовательности или задающий продолжительность счета (временные ворота), пройдет m импульсов:

$$m = \frac{\Delta t_x}{T_{сч}} = \Delta t_x F_{сч}$$

и, следовательно, измеряемый интервал:

$$\Delta t_x = m T_{сч} = F_{сч} m$$

Измерения оказываются косвенными.

Для получения прямого показания в приборах, построенных по схеме с жесткой логикой (без микропроцессора), частота следования импульсов выбрана равной $F_{сч} = 10^k$ Гц, где $k = 1, 2, 3$ тогда

$$\Delta t_x = m \cdot 10^{-k}$$

Таким же способом можно измерить и длительность прямоугольного импульса $\tau_{и}$.

В этом случае исследуемый импульс подается непосредственно на вход 2 селектора. Временные ворота получают равными длительности $\tau_{и}$.

Интервал времени можно преобразовать в пропорциональное число импульсов и с помощью генератора ударного возбуждения.

Для этого на вход последнего нужно подать стробирующий импульс, длительность которого равна измеряемому интервалу времени, т.е. $\tau_{стр} = \Delta t_x$.

За время действия стробирующего импульса $\tau_{стр}$ генератор вырабатывает пакет импульсов, число p которых однозначная функция частоты генерируемого сигнала и длительности стробирующего импульса:

$$p = \tau_{стр} \cdot F$$

следовательно:

$$F = \frac{p}{\Delta t_x}$$

4.2.4 Электронные цифровые частотомеры.

Частотомеры используют метод время-импульсного преобразования, то есть осуществляют подсчет числа периодов измеряемой частоты за определенный промежуток времени.

Напряжение измеряемой частоты f_x подается на формирующее устройство (см. рисунок 46).

На его выходе получают однополярные импульсы такой же частоты.

Эти импульсы поступают на счетчик только тогда, когда открыт временной селектор. Устройство управления формирует прямоугольный импульс, который отпирает и запирает селектор. Длительность этого импульса стабилизирована кварцевым генератором.

Делитель частоты позволяет получать интервалы времени, кратные десяти (0,001; 0,01; 0,1; 1; 10).

Измеряемая частота представляет собой число импульсов на выходе селектора в единицу времени:

$$f_x = \frac{n}{\Delta t}$$

Чем больше время счета при неизменной частоте, тем больше показание счетчика, а, следовательно, и точность измерения.

Особенности применения частотомера: а)

высокая точность;

б) позволяют измерять период, частоту и отношение частот;

в) при измерении низких частот прибор не обеспечивает высокой точности измерения, поэтому в диапазоне НЧ измеряют не частоту, а период.



Рисунок 46 - Структурная схема частотомера

4.2.4 Измерение угла сдвига фазы и параметров модулированных сигналов.

Общие сведения о фазе гармонических колебаний и фазовых сдвигах.

Физическая величина, характеризующая колебательный процесс в любой момент времени, называется **фазой колебаний** (см.рисунок 47).

Для измерения фазы единицами измерения являются **радианы**.

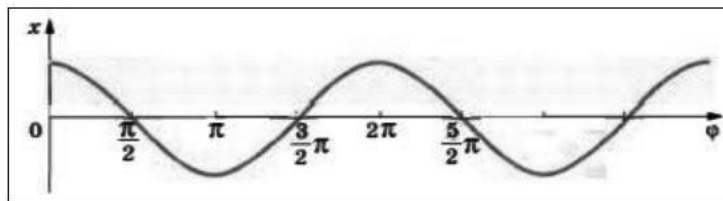


Рисунок 47 - Колебательный процесс

Фаза однозначно определяет не только координату тела в любой момент времени, но так же скорость или ускорение.

Поэтому считается, что фаза колебаний определяет состояние колебательной системы в любой момент времени.

Два колебания, у которых одинаковые частота и период колебаний могут отличаться друг от друга фазами (см. рисунок 48). Угол сдвига фаз приведён на рисунке 49.

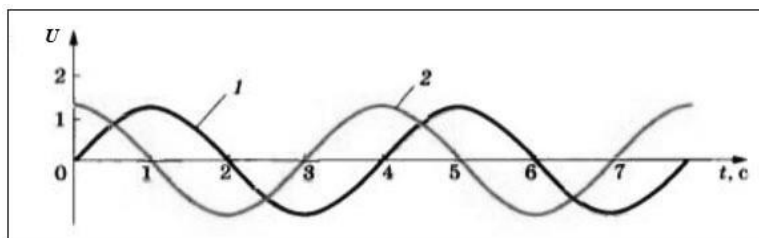


Рисунок 48 - Два колебания, отличающиеся друг от друга фазами

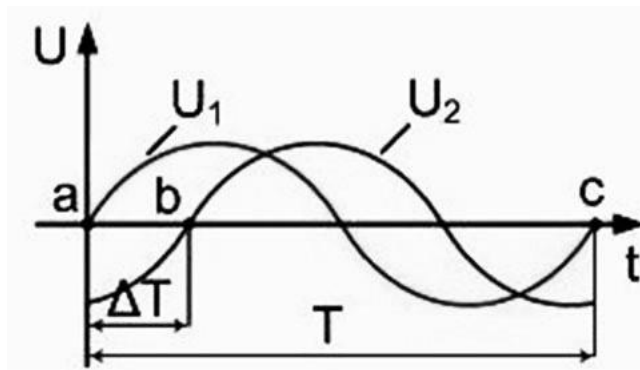


Рисунок 49 - Угол сдвига фаз

4.2.5 Измерение угла сдвига фаз с помощью осциллографа.

Для определения сдвига фаз методом сравнения применяют электронный осциллограф.

Угол сдвига фаз ψ находят по параметрам фигур изображенным на экране осциллографа, работающего в режиме линейной или круговой развертки.

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, аналогичная приведенной на рисунке 49. По измеренным в масштабе отрезкам ab и ac определяют:

$$\psi = \frac{360^\circ \Delta T}{T} \frac{ab}{ac}$$

Погрешность такого метода заключается:

- а) в неточности определения отрезков ab и ac ;
- б) неточном совмещении горизонталей;

в) толщине светового луча на экране.

При измерении угла сдвига фаз ψ по **фигурам Лиссажу** измеряемые напряжения подаются на горизонтальный и вертикальный входы осциллографа. На экране появляется фигура в виде эллипса (см. рисунок 50).

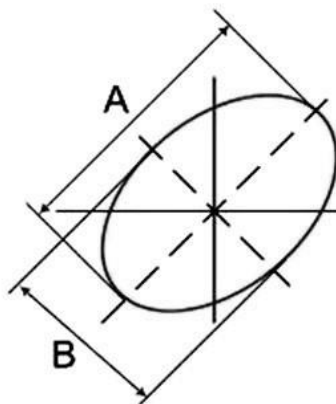


Рисунок 50 - Измерение угла сдвига фаз ψ по фигурам Лиссажу

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 угла сдвига фаз методом фигур Лиссажу составляет 5-10%.

Еще одним недостатком метода является измерение сдвига фаз без определения знака.

4.2.6 Определения угла сдвига фаз выполняют методом компенсации.

Наиболее точные измерения угла сдвига фаз 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 углу сдвига фаз.

При угле сдвига фаз ψ на экране осциллографа наклонная линия будет отклонена вправо от вертикали.

Если линия будет отклонена влево – сдвиг равен $(180^\circ - \psi)$.

4.2.7 Аналоговый электронный фазометр.

Структурная схема аналогового электронного фазометра приведена на рисунке 51.

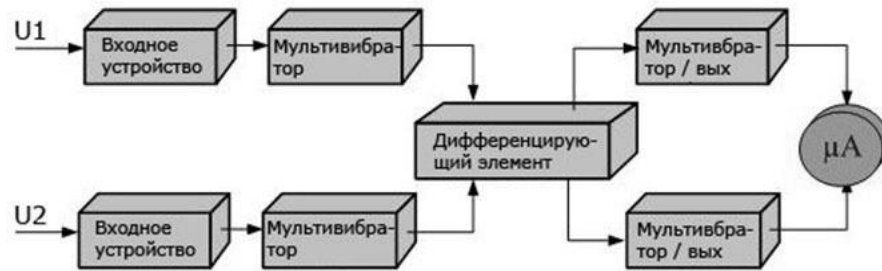


Рисунок 51 - Структурная схема аналогового электронного фазометра

Гармонические сигналы U_1 и U_2 подаются соответственно на опорный и сигнальный входные элементы схемы.

Входной элемент представляет собой усилитель-ограничитель входного сигнала и служит для преобразования сигналов синусоидальной формы в серию импульсов с постоянной крутизной фронта.

Временные диаграммы работы приведены на рисунке 52.

Синхронизированные мультивибраторы под воздействием входного сигнала вырабатывают импульсы прямоугольной формы (график 3). Выходные сигналы мультивибраторов имеют постоянную длительность $T/2$ и сдвинуты друг относительно друга на время ΔT , пропорциональное углу Ψ .

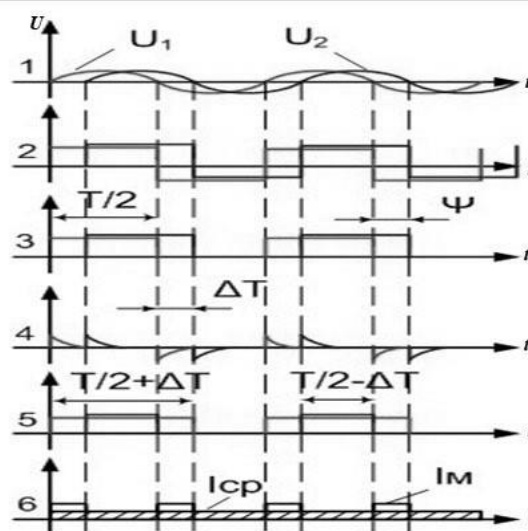


Рисунок 52 - Временные диаграммы работы аналогового фазометра

Выходной сигнал с опорной и сигнальной части схемы подаются на специальный дифференцирующий элемент, на выходе которого вырабатываются остроконечные сигналы.

Положительные импульсы преобразуются в фронты, отрицательные – в срезы (график 4).

На выходные мультивибраторы поступают следующие сигналы.

Выходной мультивибратор опорного канала: положительный импульс опорного канала и отрицательный импульс измерительного канала.

Выходной мультивибратор измерительного канала: положительный импульс измерительного канала и отрицательный импульс опорного канала.

При этом на выходе опорного мультивибратора получается сигнал длительностью $(T/2 + \Delta T)$, а на выходе измерительного мультивибратора – $(T/2 - \Delta T)$.

Измерительный микроамперметр, включенный на разность импульсов выходных мультивибраторов, показывает среднее значение разности токов:

$$I_{cp} = (2\Delta T/T) I_m$$

Если в данное выражение подставить формулы $\Psi = \omega \Delta T$, $\omega = 2\pi/T$, получим:

$$\Psi = 360^\circ \Delta T/T = (180^\circ I_{cp})/I_m$$

Шкала амперметра градуируется в единицах измерения угла сдвига фаз. Погрешность при использовании данного метода зависит от класса точности прибора.

4.2.8 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 .

Структурная схема цифрового фазометра приведена на рисунке 53.

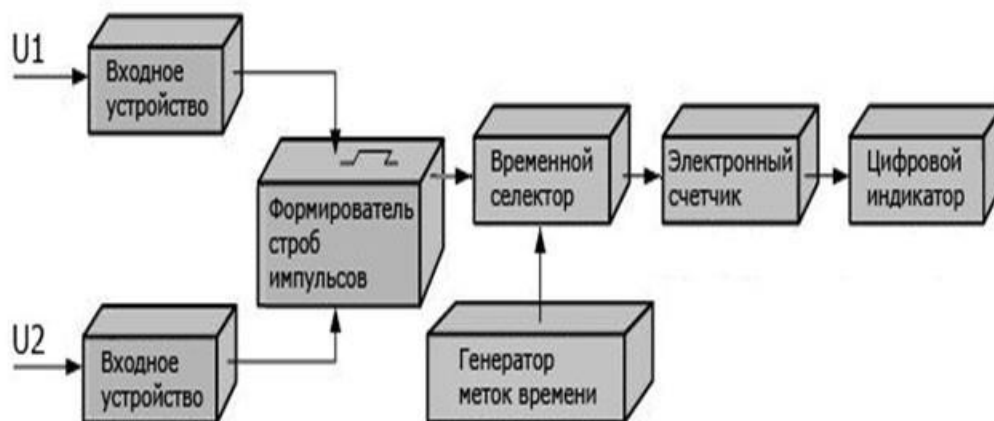


Рисунок 53 - Структурная схема цифрового фазометра

Число импульсов N за период T составит:

$$N = T/T_0$$

Входные сигналы $U1$ и $U2$ 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:

$$\Psi = N \cdot n \cdot 360^\circ \quad \text{или} \quad \Psi = 360^\circ (f_0/f)n;$$

Такие частотомеры применяют при условии, что образцовая частота более чем в 1000 раз превосходит частоту сигнала.

4.2.9 Методы измерения параметров модулированных сигналов.

В радиотехнических устройствах применяются виды модуляции : а)

амплитудная;

б) частотная;

в) фазовая;

г) импульсная;

д) комбинированные.

В первых трех видах модуляции амплитуда, частота или фаза синусоидального модулируемого сигнала изменяется по закону изменения модулирующего напряжения.

При импульсной модуляции высота, частота повторения, длительность или временное положение видеоимпульсов изменяются в соответствии с изменением модулирующего сигнала низкой частоты.

Применяются и другие, более сложные виды модуляции — кодо-импульсная, дельта-модуляция и др.

Виды модуляции представлены на рисунке 54.

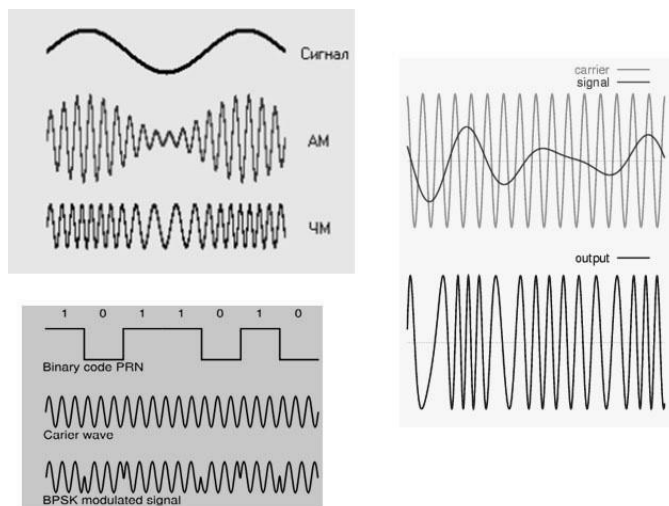


Рисунок 54 - Виды модуляции

Сигнал, модулированный:

- а) по амплитуде, характеризуется коэффициентом модуляции M ;
- б) по частоте, характеризуется девиацией частоты $2f$;
- в) по фазе, характеризуется индексом угловой модуляции Ψ .

Кроме того, все модулированные сигналы характеризуются глубиной модуляции, равной отношению данного коэффициента, девиации или индекса к максимальному значению, принимаемому за 100 %-ную модуляцию.

Для оценки модуляции импульсов необходимо измерять параметры импульсов и их последовательностей.

Амплитудная модуляция (см. рисунок 55).

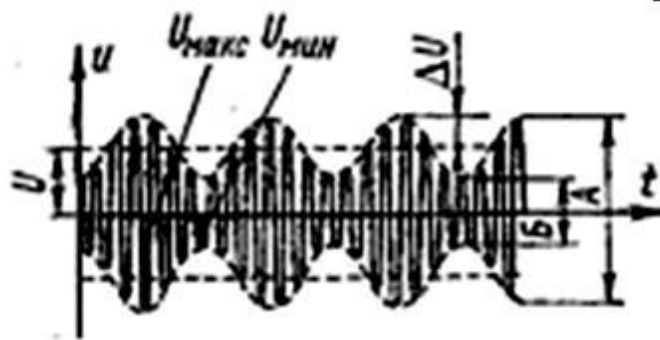


Рисунок 55 - Амплитудная модуляция

Сигнал, модулированный по амплитуде, записывается так:

$$u = U (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega t$$

$$\omega = 2\pi f \quad \Omega = 2\pi F \quad M = \frac{\pm U}{U}$$

где U - амплитуда немодулированного высокочастотного сигнала; f - несущая частота;

F - модулирующая частота;

M - коэффициент амплитудной модуляции;

ΔU — приращение высокочастотного напряжения при модуляции.

Коэффициент амплитудной модуляции измеряют двумя методами:

а) осциллографическим;

б) методом выпрямления (детектирования).

Осциллографический метод, в свою очередь, осуществляют двумя способами: **а) линейной развертки;**

б) синусоидальной развертки.

При **линейной развертке** в канал вертикального отклонения подают высокочастотный модулированный сигнал, частоту развертки устанавливают в 2-3 раза ниже модулирующей частоты и синхронизируют модулирующим напряжением.

На экране осциллографа появляется осциллограмма модулированного сигнала в виде $y = f(t)$.

Измерив с помощью масштабной сетки максимальное отклонение луча $A = 2U_{\text{макс}}$ и минимальное $B = 2U_{\text{мин}}$ согласно формуле получаем (в процентах):

$$M = \frac{A-B}{A+B} 100$$

При *синусоидальной развертке* в канал вертикального отклонения подают модулированный сигнал, а в канал горизонтального отклонения - модулирующее напряжение.

Верхняя огибающая модулированного сигнала определяется выражением:

$$y = U (1 + M \cos \Omega t)$$

Отклонение по горизонтали определяется как:

$$x = U \cos \Omega t$$

Подставляя из последнего выражения $\cos \Omega t$ в выражение для y , получаем

$$y = U + Mx,$$

т. е. верхняя огибающая имеет вид прямой линии с наклоном, определяемым значением M .

Аналогично, нижняя огибающая также прямая с наклоном - M .

Осциллограмма представляет собой светящуюся плоскость трапецеидальной формы (см. рисунок 56).

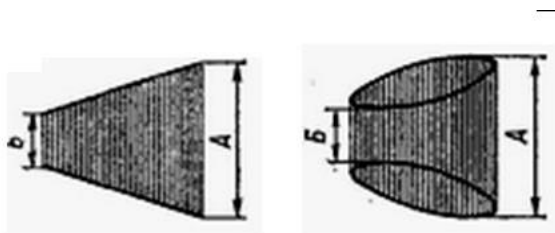


Рисунок 56 - Осциллограммы при определении коэффициента амплитудной модуляции методом синусоидальной развертки

Прямые, ограничивающие плоскость, являются фигурами Лиссажу, получившимися за счет взаимодействия огибающих модулированного сигнала с модулирующим напряжением при отсутствии фазового сдвига между ними.

Размеры A и B соответствуют максимальному и минимальному значениям модулирующего напряжения, поэтому M вычисляется по формуле: $\frac{A-B}{A+B}$

$$M = \frac{A-B}{A+B} 100$$

Осциллографический метод прост и удобен.

Погрешность составляет 5-10%.

Частотная модуляция.

Сигнал, модулированный по частоте синусоидальным напряжением, записывается в таком виде:

$$u = U (\cos \omega_0 t + m_f \sin \Omega t)$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \quad \Omega = 2\pi F \quad m_f = \frac{\Delta \omega}{\omega_0} = \frac{\Delta F}{F}$$

где U - амплитуда напряжения несущей частоты f_0 ;

F - частота модулирующего напряжения; m_f -
индекс частотной модуляции/

Здесь Δf - отклонение высокой частоты при модуляции, или девиация частоты.

Мгновенное значение частоты частотно-модулированного сигнала:

$$f = f_0 \pm \Delta f.$$

Девиация частоты пропорциональна амплитуде модулирующего напряжения и не зависит от его частоты:

$$\Delta f = \alpha U_F$$

Для измерения девиации существует несколько методов, но практически используется *метод частотного детектора*.

Сущность его состоит в том, что частотно-модулированный сигнал преобразуется в амплитудно-модулированный и детектируется.

В результате получается напряжение, пропорциональное напряжению модулирующей частоты.

Шкалу амплитудного вольтметра можно градуировать непосредственно в *единицах девиации частоты* - килогерцах.

Приборы, предназначенные для измерения девиации частоты, называются *девиометрами*.

Девиометр представляет собой высококачественный калиброванный радиоприемник частотно-модулированных сигналов, и его структурная схема подобна схеме модулометра.

4.3 Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС)

4.3.1 Измерение параметров интегральных микросхем.

Все существующие интегральные схемы (ИС) по степени интеграции подразделяются:

а) на ИС малой интеграции (МИС) с числом элементов от 10 до 20 (вентили, транзисторные сборки);

б) на ИС средней интеграции (СИС) с числом элементов от 100 до 200 (счетчики, регистры);

в) на большие ИС (БИС) с числом элементов до десятков тысяч (запоминающие устройства, микропроцессоры).

По функциональному назначению ИС делятся:

а) на аналоговые (линейные) ИС - предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону линейной функции;

б) на цифровые (логические) ИС - предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции.

Интегральные схемы подвергаются испытаниям трех типов:

а) статические - на постоянном токе (ток утечки, потребляемая мощность, напряжение пробоя, напряжения логического нуля и единицы);

б) функциональные (логические), которые подтверждают, что интегральная схема выполняет свои функции;

в) динамические, состоящие из измерения временных интервалов (время выборки из памяти, хранения, нарастания и спада).

Цифровые ИС (ЦИС) реализуют логические функции И, ИЛИ, НЕ и их комбинации.

Условные графические обозначения элементов И-НЕ, ИЛИ-НЕ, НЕ приведены на рисунке 57.

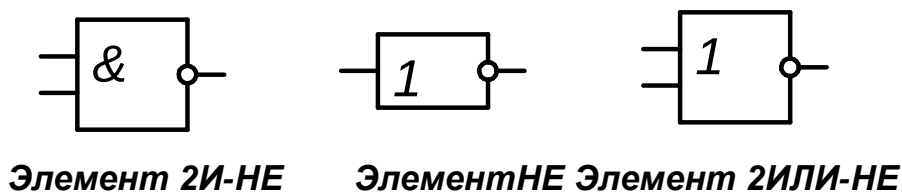


Рисунок 57 - Условно-графические обозначения микросхем

Цифровые ИС характеризуются большим количеством статических и динамических параметров.

Основными статическими параметрами цифровых ИС являются:

а) уровни выходных напряжений, соответствующих значениям логических «1» $U_{1\text{вых}}$ и «0» $U_{0\text{вых}}$;

б) входные и выходные токи, соответствующие значениям логических «1» $I_{1\text{вх}}$, $I_{1\text{вых}}$ и «0» $I_{0\text{вх}}$, $I_{0\text{вых}}$;

в) статическая помехоустойчивость;

г) коэффициент разветвления по выходу.

Под напряжением логического нуля ЦИС понимают значение низкого уровня напряжения для «положительной» логики и значение высокого уровня для «отрицательной» логики.

Напряжение логического тока определяется конечным значением высокого уровня для «положительной» логики и низкого уровня - для «отрицательной» логики.

Основными динамическими параметрами ЦИС являются (см. рисунок 58): а) время задержки включения $t_{з10}$;

б) время задержки выключения $t_{з01}$;

в) время задержки распространения сигнала при включении $t_{зр10}$;

г) время задержки распространения сигнала при выключении $t_{зр01}$;

д) среднее время задержки, которое характеризует быстродействие ЦИС:

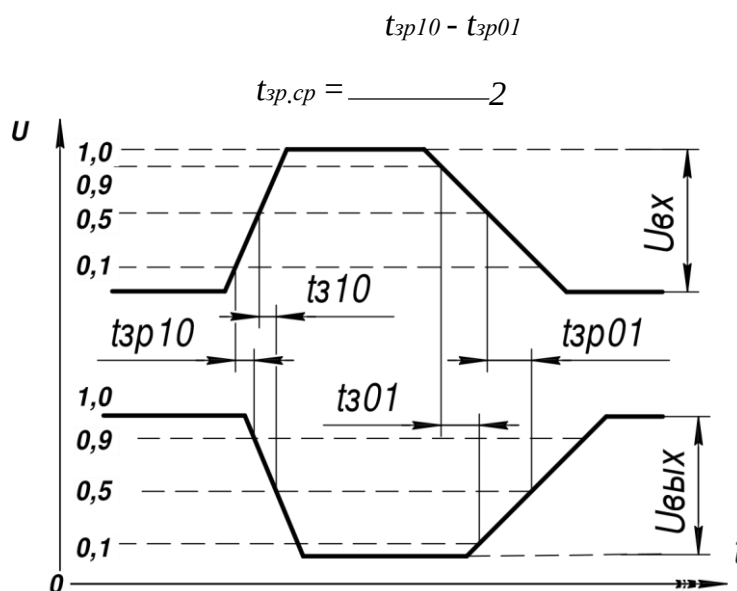


Рисунок 58 - Основные динамические параметры ЦИС

Измерение статических и динамических параметров ЦИС.

Для измерения параметров $U^1_{вых}$ и $U^0_{вых}$ на проверяемом выходе испытываемой микросхемы следует обеспечить соответствующий уровень напряжения и измерить результирующее выходное напряжение.

При этом с помощью источника тока нагрузки (ИТН), подключенного к выходу ЦИС, устанавливают заданный ток нагрузки, а на входы ЦИС подают необходимое напряжение $U^1_{вх}$ и $U^0_{вх}$.

При измерении параметров $I^1_{вх}$ или $I^0_{вх}$ на проверочный вход испытателя ЦИС подают соответственно напряжения $U^1_{вх}$ или $U^0_{вх}$ и измеряют результирующий ток, протекающий во входной цепи.

При измерении $I^1_{пот}$ или $I^0_{пот}$ на выходе ЦИС следует обеспечить соответствующий уровень напряжения при соответствующем сопротивлении нагрузки и измерить результирующий ток питания микросхемы.

Для снятия временных диаграмм $U_{вх}(t)$ и $U_{вых}(t)$ используют генератор прямоугольных импульсов и двухлучевой стробоскопический осциллограф.

Прямоугольные импульсы подают на один из входов ЦИС и на вход Y1 осциллографа, на остальные входы подают напряжения $U^1_{вх}$, $U^0_{вх}$ или их комбинацию, обеспечивающие переключение ЦИС от воздействия прямоугольного импульса. Импульсы с выхода нагруженной ЦИС поступают на вход Y2 осциллографа. По временным диаграммам, которые получают на экране осциллографа, определяют все временные параметры ЦИС. Осциллограф должен быть предварительно откалиброван по напряжению и времени, при наблюдении диаграмм используется внешняя синхронизация.

Испытатель цифровых интегральных схем Л2-60 предназначен для определения годности ЦИС с количеством выводов до 16 путем их проверки на выполнение логической функции.

Наличие сменных нагрузок и контактных головок позволяет проверять ЦИС в разных корпусах.

Для уменьшения погрешности измерения предусмотрена возможность подключения внешнего вольтметра.

Л2-60 позволяет измерять входные токи ЦИС, отличается широкими пределами установки логических уровней и режимов измерения, удобными адаптерами для подключения ЦИС.

Основные данные Л2-60:

- а) количество выводов проверяемых ЦИС - 16;
- б) диапазон измерения: напряжения постоянного тока $\pm 0,1 \dots 30$ В;
- в) погрешность измерения 4%.

4.3.2 Измерение параметров полупроводниковых приборов.

К основным параметрам диодов и стабилитронов малой мощности относятся:

- а) постоянное прямое напряжение диода при заданном постоянном прямом токе;

- б) постоянный обратный ток при заданном обратном напряжении;
- в) постоянное обратное напряжение;
- г) напряжение стабилизации (для стабилитронов) при протекании заданного тока стабилизации;
- д) емкость диода;
- е) дифференциальное сопротивление.

Свойства диодов на низких частотах достаточно полно определяют их вольт-амперные характеристики (ВАХ).

При оценке параметров прямой ветви ВАХ целесообразно задавать постоянный ток $I_{пр}$ и изменять прямое падение напряжения $U_{пр}$.

Схема измерения параметров прямой ветви ВАХ диода приведена на рисунке 59.

При измерении параметров диода в области пробоя (в области стабилизации напряжения для стабилитронов) следует задавать значение обратного тока $I_{обр}$ и определять обратное напряжение $U_{обр}$.

Схема измерения параметров обратной ветви ВАХ диода приведена на рисунке 60.

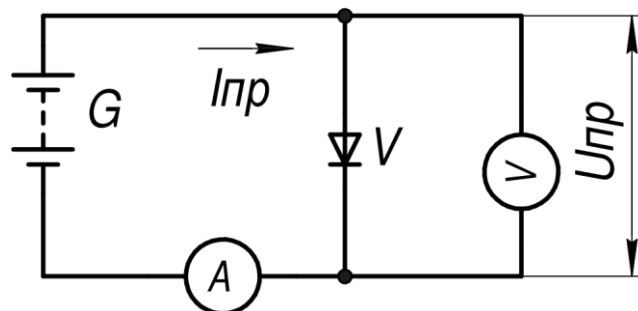


Рисунок 59 - Схема измерения параметров прямой ветви ВАХ диода

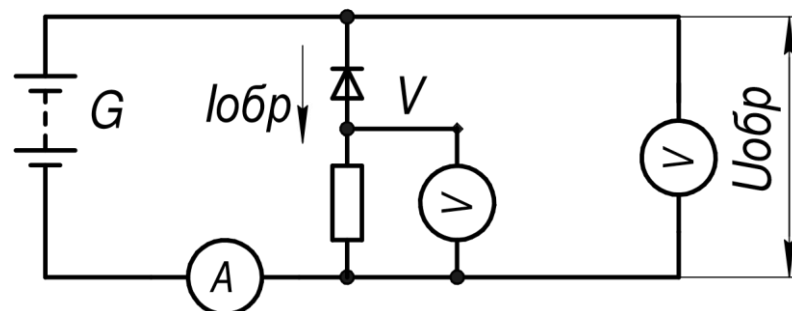


Рисунок 60 - Схема измерения параметров обратной ветви ВАХ диода

Измерение параметров биполярных транзисторов.

При работе на малых сигналах (сигнал считается малым, если при увеличении его амплитуды на 50 % измеряемый параметр изменяется не более, чем на 10 %) транзистор рассматривается как линейный активный четырехполюсник в различных вариантах включения:

- а) с общей базой;
- б) с общим эмиттером;
- в) общим коллектором.

Схема измерения параметров биполярных транзисторов приведена на рисунке 61.

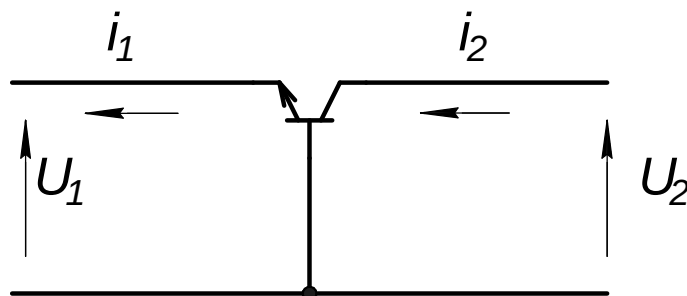


Рисунок 61 - Схема измерения параметров биполярных транзисторов

Если за независимые переменные выбрать i_1 и U_2 , то получим систему уравнений, описывающих четырехполюсник с использованием h-параметров:

$$U_1$$

$h_{12} = \frac{U_1}{U_2}$ - коэффициент обратной связи по напряжению при $i_1 = 0$ (холостой ход на входе);

$$i_2$$

$h_{21} = \frac{i_2}{i_1}$ - коэффициент обратной связи по току при $U_2 = 0$;

$\frac{i_2}{U_2} = h_{22}$ - выходная проводимость при $i_1 = 0$.

Испытатель маломощных транзисторов и диодов Л2-54 обеспечивает измерение основных параметров маломощных транзисторов и диодов малой и средней мощности, а также напряжения стабилизации.

Наличие комбинированного питания (от сети или от батареи) и портативность создают удобство при эксплуатации.

Испытателем Л2-54 можно измерить параметры h_{22b} , h_{21} , h_{21e} , обратный ток коллектора $I_{сбо}$, а также можно проверить наличие к.з. между коллектором и $сбо$ эмиттером испытуемого транзистора.

Обратный ток коллектора $I_{сбо}$ проходит через обратно смещенный коллекторный переход и измеряется при отключенном выводе эмиттера.

Величина $I_{сво}$ зависит от свойств применяемого полупроводникового материала и температуры. Для хорошей работы транзистора желательно иметь как можно меньшую величину $I_{сво}$.

Для маломощных транзисторов $I_{сво}$ составляет от 10 до 20 мкА. Транзисторы средней и большой мощности имеют значения $I_{сво}$ от 400 до 500 мкА.

5. Автоматизация электротехнических измерений

5.1 Основные направления автоматизации измерительных приборов

В измерительных приборах могут быть автоматизированы следующие процессы:

- а) выбор режимов и пределов измерения;
- б) настройка, калибровка и коррекция погрешностей;
- в) выполнение функциональных преобразований и вычислительных операций для получения прямого показания измеряемой величины;
- г) диагностика работоспособности;
- д) управление функционированием;
- е) выбор измерительной информации от различных источников.

Степень автоматизации может быть:

- а) частичная автоматизация, когда велика роль оператора:
 - замена косвенных измерений прямыми, увеличение числа приборов с непосредственным отсчетом;
 - построение прямопоказывающих приборов;
 - создание многофункциональных приборов;
 - применение панорамных приборов;
- б) непрерывный контроль (минимальное участие человека в измерительном процессе):
 - регистрация контролируемых значений;
 - сигнализация при выходе за пределы нормы;
 - использование отклонения от нормы в качестве сигнала, управляющего органом регулировки;
- в) полная автоматизация:
 - автоматизация регулировок в измерительных приборах;
 - регистрация результатов измерения: документальная (в напечатанном виде); запоминание и ввод в ЭВМ;
 - создание информационно-измерительных систем и измерительновычислительных комплексов.

Основные направления автоматизации электроизмерений:

- а) разработка средств измерения, в которых все необходимые регулировки выполняются автоматически;
- б) замена косвенных измерений прямыми и разработка на этой основе прямопоказывающих измерительных приборов;
- в) создание комбинированных (многофункциональных) измерительных приборов, позволяющих выполнять целый ряд функций и измерять целый ряд параметров;
- г) разработка панорамных измерительных приборов и обеспечение с их помощью визуального наблюдения на экране осциллографического индикатора картины (панорамы) определяемой характеристики в широком диапазоне частот. Основным функциональным узлом панорамных приборов является генератор качающейся частоты, который создает частотную ось панорамы;

д) применение микропроцессоров и разработка на их основе электрорадиоизмерительных приборов нового поколения с искусственным «интеллектом»;

е) разработка информационно-вычислительных комплексов (ИВК), имеющих в своем составе процессоры с необходимыми периферийными устройствами, измерительные и вспомогательные устройства, управляемые от процессора, и создание программного обеспечения такого комплекса;

ж) создание на основе ИВК различных информационно-измерительных систем.

5.2 Микропроцессоры в измерительных приборах.

Микропроцессоры и микро-ЭВМ позволяют полностью автоматизировать процесс управления.

Анализируя цифровую информацию о состоянии внешних (на лицевой панели) и внутренних органов управления работой измерительных приборов, команды и другую цифровую информацию, поступающую от интерфейса при работе измерительных приборов, а также информацию о самой измеряемой величине, неинформативных параметрах сигнала и влияющих величинах, микро-ЭВМ может вырабатывать команды для автоматической установки соответствующих режимов работы измерительных приборов в процессе измерения.

Наряду с автоматизацией выбора вида измерений в универсальных измерительных приборах, пределов измерения, вида обработки измерительной информации, возникает возможность автоматического выбора оптимального режима работы измерительных приборов, измерения режима по заданной программе, самонастройки и быстрой калибровки.

Широкие возможности математической обработки измерительной информации в микро-ЭВМ позволяют реализовать сложные виды измерений (косвенные, совместные, совокупные), измерение случайных величин и характеристик сигналов и процессов, расширить функциональные возможности измерительных приборов.

Математическая обработка также легко позволяет представить информацию в удобном виде.

Например, результат измерения напряжения в цифровых вольтметрах можно представить как в вольтах, так и в логарифмическом масштабе, результат измерения в цифровых частотомерах можно легко пересчитать из частоты в период и наоборот.

Микро-ЭВМ позволяет осуществлять диагностику и самодиагностику исправности измерительных приборов путем контроля режимов работы отдельных узлов и даже элементов прибора.

Для этого вводятся тестовые сигналы или дополнительные пороговые устройства, сигнализирующие об отклонении режимов работы от допустимых значений (например, для контроля питающих напряжений).

Самодиагностика осуществляется в микро-ЭВМ с помощью специальных диагностических программ. Эти меры позволяют предотвратить появление грубых погрешностей измерения.

С помощью микропроцессорных систем достигается:

- а) многофункциональность приборов;
- б) повышение точности и надежности приборов;
- в) расширение измерительных возможностей приборов;
- г) упрощение и облегчение управления прибором;

- д) возможность получения математических функции измеренных значений;
- е) миниатюризация и экономичность аппаратуры;
- ж) возможность объединения совокупности приборов в измерительно-вычислительный комплекс.

5.3 Компьютерно-измерительные системы (КИС).

КИС обязательно включает в себя компьютер, работающий в режиме реального масштаба времени (в режиме on-line).

КИС на основе компьютера заменяют стандартные измерительные приборы (вольтметры, осциллографы, генераторы) системой виртуальных приборов. Ряд этих приборов могут быть воспроизведены на одном компьютере одновременно.

Особенности КИС по сравнению с микропроцессорными приборами:

- а) обширный фонд стандартных прикладных компьютерных программ, позволяющий решать широкий круг задач измерений;
- б) возможность оперативной передачи данных исследований и измерений по локальным и глобальным (INTERNET) компьютерным сетям;
- в) высокоразвитый графический интерфейс пользователя обеспечивающий быстрое освоение взаимодействия с системой,
- г) возможность использования внутренней и внешней памяти большой емкости;
- д) возможность составления компьютерных программ для решения конкретных измерительных задач;
- е) возможность оперативного использования различных устройств документирования результатов измерений. КИС может быть построена двумя способами: а) с последовательной архитектурой.

Части системы, преобразующие анализируемые сигналы, обрабатывают их в последовательном режиме. Поэтому вся соответствующая электроника размещается на слотах компьютера.

Достоинства такой архитектуры очевидны благодаря использованию принципа разделения обработки по времени. Стоимость системы невелика;

- б) с параллельной архитектурой.

Содержит ряд параллельных каналов измерений и каждый канал имеет собственные узлы преобразования анализируемых сигналов и только процессор компьютера работает в режиме объединения сигналов (мультиплексирования).

Подобный принцип построения позволяет производить оптимизацию обработки сигналов в каждом канале независимо.

Преобразование сигналов можно выполнять локально и месте расположения источника исследуемого сигнала, что позволяет передавать сигналы от измеряемого объекта в цифровой форме.

5.4 Виртуальные измерительные приборы.

Одним из наиболее перспективных направлений в развитии КИС является разработка виртуальных (кажущихся) приборов.

Виртуальный прибор состоит из современного быстродействующего компьютера и одной-двух плат сбора данных (ПСД).

Плата устанавливается в компьютер (обычно в слот ISA или PSI) или внешнее дополнительное устройство, подключаемое через LPT-порт в комплексе с соответствующим программным обеспечением.

Пользователь виртуального прибора включает объект графической панели с помощью клавиатуры, «мыши» или специализированной прикладной программы.

Виртуальные измерительные приборы сочетают большие вычислительные и графические возможности компьютера с высокой точностью и быстродействием аналого-цифровых преобразователей и ЦАП, применяемых в платах сбора данных.

Программная часть виртуального прибора может создать на экране дисплея компьютера виртуальную переднюю управляющую панель стационарного измерительного прибора.

В отличие от реальной панели управления стационарного измерительного прибора, такая виртуальная панель может быть многократно перестроена в процессе работы для адаптации к конкретным условиям эксперимента. В зависимости от используемой платы и программного обеспечения пользователь получает измерительный прибор под ту или иную метрологическую задачу.

К преимуществам виртуальных приборов следует отнести их экономическую эффективность – любая плата сбора данных компьютерные программы обработки измерительной информации намного дешевле измерительного прибора

Приложение А

Вопросы для самопроверки

- 1 Основные слагаемые измерения.
- 2 Виды измерения.
- 3 Классификация измерений по характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения.
- 4 Классификация измерений по используемому методу.
- 5 Классификация измерений по способу получения информации.
- 6 Отличие метода непосредственной оценки от метода сравнения.
- 7 Модификации метода сравнения.
- 8 Суть метода замещения.
- 9 Суть компенсационного метода.
- 10 Суть дифференциального метода.
- 11 Дать определение метрологии.
- 12 Основные направления метрологии.
- 13 Что такое измерение?
- 14 Что такое измерительный прибор?
- 15 Что такое мера?
- 16 Назначение Метрологической службы.
- 17 Группы мер и измерительных приборов.
- 18 Уровни эталонов.
- 19 Назначение образцовых мер и измерительных приборов.
- 20 Назначение рабочих мер и измерительных приборов.
- 21 Что является мерой электрического сопротивления?
- 22 Что является мерой емкости?
- 23 Что является мерой индуктивности?
- 24 Перечислить факторы, влияющие на погрешность измерений
- 25 Что такое полоса пропускания прибора?
- 26 Чем определяется диапазон прибора?
- 27 Виды шумов и способы их уменьшения
- 28 Чем характеризуется прецизионность прибора?
- 29 Что такое погрешность?
- 30 Классификационные признаки погрешностей.
- 31 Классификация погрешностей в зависимости от источника возникновения.
- 32 Классификация погрешностей в зависимости от условий применения средств измерения.
- 33 Виды погрешности по закономерности проявления.
- 34 Погрешности измерений и измерительных приборов.
- 35 Классификация погрешностей по характеру поведения измеряемой величины в процессе измерения.
- 36 Абсолютная погрешность.
- 37 Виды относительной погрешности.
- 38 Что такое нормирующее значение?
- 39 Чем характеризуется класс точности измерительного прибора?

- 40 Классы точности стрелочных электроизмерительных приборов.
- 41 Что определяет класс точности?
- 42 Какие классы точности имеют приборы массового применения?
- 43 Почему на практике вместо среднего значения прямых многократных измерений можно найти лишь его оценку?
- 44 Что такое точечные и интервальные оценки?
- 45 Что представляет собой среднеарифметическое и его дисперсия?
- 46 Как определить точечную оценку среднеквадратического отклонения результата многократного измерения?
- 47 Виды косвенных методов измерений.
- 48 Значение абсолютной погрешности для функции $X + Y + Z$.
- 49 Формула для расчета относительной погрешности для функции XY .
- 50 Цель метрологического обеспечения.
- 51 Организационные основы метрологического обеспечения.
- 52 Технические основы метрологического обеспечения.
- 53 Какие требования предъявляются к средствам измерений?
- 54 Классификационные признаки электрорадиоизмерительных приборов.
- 55 Виды приборов в зависимости от выдачи результата измерений.
- 56 Группы приборов по типу измеряемой величины.
- 57 Классификация приборов по принципу действия.
- 58 Измерительные приборы прямого преобразования.
- 59 Измерительные приборы сравнения
- 60 Комбинированные приборы.
- 61 Перечислить параметры средств измерения.
- 62 Чем характеризуется надежность средства измерения?
- 63 Характеристики чувствительности.
- 64 Что определяют динамические характеристики средств измерения?
- 65 Перечислить измеряемые параметры тока и напряжения.
- 66 Как рассчитать среднеквадратическое значение напряжения, 67 Формулы для определения коэффициентов амплитуды и формы.
- 68 Что такое размах сигнала?
- 69 Основные узлы измерительного механизма.
- 70 Структурная схема электромеханического прибора.
- 71 Достоинства электромеханических приборов.
- 72 Перечислить виды отсчетных шкал.
- 73 Что является основной характеристикой отсчетных шкал?
- 74 Каким образом выбрать прибор для измерений?
- 75 Чем определяется точность измерительных приборов?
- 76 Диапазон показаний и диапазон измерений.
- 77 Равномерные и неравномерные шкалы.
- 78 Использование шкал в многопредельных приборах.
- 79 Особенности приборов магнитоэлектрической системы.
- 80 Условное обозначение на схемах.
- 81 Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы.
- 82 Особенности приборов электромагнитной системы.
- 83 Условное обозначение на схемах.
- 84 Принцип действия приборов электромагнитной системы.
- 85 Особенности приборов электродинамической системы.

- 86 Условное обозначение измерительных приборов на схемах.
- 87 Принцип действия приборов электродинамической системы.
- 88 Особенности приборов электростатической системы.
- 89 Принцип действия приборов электростатической системы.
- 90 Подгруппы амперметров.
- 91 Включение амперметра в цепь.
- 92 Измерение переменного тока промышленной частоты.
- 93 Назначение шунтов.
- 94 Принцип шунтирования.
- 95 Схемы шунтов.
- 96 Подгруппы вольтметров.
- 97 Параметры вольтметра.
- 98 Измерение постоянного напряжения.
- 99 Измерение переменного напряжения.
- 100 Назначение и расчет добавочных резисторов.
- 101 Схема с универсальным добавочным резистором.
- 102 Многопредельный вольтметр с отдельными добавочными резисторами.
- 103 Классификационные признаки электронных вольтметров.
- 104 Классификация вольтметров по частотному диапазону и по способу измерения.
 - 105 Классификация вольтметров по назначению и по характеру измеряемого напряжения.
- 106 Применение выпрямительных миллиамперметров.
- 107 Особенности выпрямительных приборов.
- 108 Однополупериодная схема выпрямления.
- 109 Двухполупериодная схема выпрямления.
- 110 Принцип действия термоэлектрических приборов.
- 111 Особенности термоэлектрических приборов.
- 112 Технические характеристики цифровых измерительных приборов.
- 113 Классификация цифровых измерительных приборов.
- 114 Структурная схема цифровых измерительных приборов, назначение основных узлов.
- 115 Принцип работы цифрового вольтметра с промежуточным преобразованием во временной интервал.
- 116 От чего зависит выбор метода измерения мощности?
- 117 Единицы измерения мощности.
- 118 Принцип действия цифрового ваттметра.
- 119 Дать определение измерительного генератора.
- 120 Какие требования предъявляют к измерительным генераторам?
- 121 По каким признакам классифицируют измерительные генераторы?

- 122 Что определяют параметры выходного напряжения (мощности)?
- 123 Что является основным функциональным узлом генератора?
- 124 Назначение выходного устройства.
- 125 Применение низкочастотных генераторов.
- 126 Назначение симметричного выхода генератора.
- 127 Основные блоки звукового генератора.
- 128 Применение низкочастотных генераторов.
- 129 Основные блоки звукового генератора.
- 130 Структурная схема высокочастотного генератора, назначение основных узлов.
- 131 Применение высокочастотных генераторов.
- 132 Почему в высокочастотных генераторах большое значение имеет экранировка?
- 133 Применение импульсных генераторов.
- 134 Основные параметры импульсного генератора.
- 135 Назначение устройства временного сдвига.
- 136 Что такое тактовый генератор и его назначение?
- 137 Перечислить подгруппы приборов для исследования формы, спектра и нелинейных искажений сигнала.
- 138 Дать определение электронного осциллографа.
- 139 Классификация осциллографов по количеству одновременно наблюдаемых сигналов.
- 140 Классификация осциллографов по назначению и принципу действия.
- 141 Перечислить основные технические показатели осциллографа.
- 142 Что такое развертка осциллографа?
- 143 Условие синхронизации.
- 144 Непрерывная развертка.
- 145 Ждущая развертка.
- 146 Круговая развертка.
- 147 Назначение канала X электронного осциллографа, основные блоки.
- 148 Назначение канала Y электронного осциллографа, основные блоки.
- 149 Назначение канала Z.
- 150 Для чего проводится калибровка осциллографа?
- 151 Какие параметры сигналов можно измерить с помощью осциллографа?
- 152 Измерение частоты методом синусоидальной и круговой развертки.
- 153 Методы измерения фазового сдвига.
- 154 Измерение коэффициента амплитудной модуляции.
- 155 Назначение стробоскопических осциллографов.

- 156 Применение запоминающих осциллографов.
- 157 Аналоговые осциллографы.
- 158 Цифровые осциллографы.
- 159 Назначение анализаторов спектра.
- 160 Классификация анализаторов спектра.
- 161 Основные характеристики анализаторов спектра.
- 162 Роль микропроцессора в анализаторах спектра.
- 163 Структурная схема сканирующего анализатора спектра с перестройкой кой частоты.
- 164 Принцип действия анализатора спектра.
- 165 Что представляют собой интермодуляционные искажения?
- 166 Где возникают искажения типа «ступенька»?
- 167 Нелинейные искажения.
- 168 Что представляют собой амплитудно-частотные искажения?
- 169 Фазовые искажения.
- 170 Причины возникновения нелинейных искажений.
- 171 Что представляют собой нелинейные искажения?
- 172 Что характеризует коэффициент гармоник?
- 173 Как зависит вид нелинейных искажений от характеристики цепи?
- 174 Что такое амплитудная, частотная и фазовая модуляция?
- 175 Физический смысл 100%-ной модуляции.
- 176 Параметры частотной модуляции.
- 177 Какими параметрами характеризуется амплитудная модуляция?
- 178 Суть метода осциллограммы модулированного сигнала.
- 179 Определение коэффициента модуляции методом трапеции.
- 180 Определение коэффициента модуляции методом эллипса.
- 181 Осциллографические методы измерения частоты.
- 182 Суть метода дискретного счета.
- 183 Подгруппы частотомеров.
- 184 Суть метода дискретного счёта измерения частоты.
- 185 Измерение длительности прямоугольного импульса.
- 186 Суть метода время импульсного преобразования измерения временных параметров.
- 187 Структурная схема цифрового частотомера.
- 188 Принцип действия цифрового частотомера.
- 189 Особенности цифрового частотомера.

- 190 Что представляют собой параметры цепей с сосредоточенными и распределенными постоянными?
- 191 Что такое приборы серий E2 ... E9?
- 192 Какие параметры цепей относят к идеальным, а какие - к вторичным?
- 193 Что такое приборы серий X1 ... X5?
- 194 Какие существуют методы для измерения параметров элементов с сосредоточенными постоянными?
- 195 Классификация измерительных мостов.
- 196 Мосты постоянного тока. Условие равновесия.
- 197 Мосты переменного тока. Условие равновесия
- 198 Мост для измерения емкости.
- 199 Мост для измерения индуктивности
- 200 Последовательная схема измерения сопротивления.
- 201 Параллельная схема измерения сопротивления.
- 202 От чего зависит расположение нулевой отметки на шкале омметра?
- 203 Суть метода вольтметра-амперметра при измерении сопротивления.
- 204 Измерение сопротивления.
- 205 Измерение емкости.
- 206 Суть резонансного метода измерения.
- 207 Принцип действия куметра.
- 208 Измерение индуктивности куметром.
- 209 Измерение емкости куметром.
- 210 Суть метода дискретного счета при измерении параметров цепи.
- 211 Принцип работы цифрового измерителя параметров цепи.
- 212 Измерение параметров прямой ветви ВАХ диода.
- 213 Измерение параметров обратной ветви ВАХ диода.
- 214 Эквивалентная схема транзистора с использованием h -параметров.
- 215 Пояснить понятия: холостой ход и короткое замыкание.
- 216 h -параметры транзистора.

Приложение Б

Литература

- Б.1 Атамальян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. - М. Дрофа, 2005.
- Б.2 Зайчик И.Ю., Зайчик Г.И. «Практикум по электрорадиоизмерениям», М., Высшая школа, 1985г.
- Б.3 Панфилов В.А. Электрические измерения, Москва. Академия, 2004 г.
- Б.4 Ранеев Г.Г. и др. Методы и средства измерений, Москва, Академия, 2006 г.
- Б.5 Садченков Д.А. Современные цифровые мультимеры.-М. СОЛОН- Прес, 2002.
- Б.6 Терешкин Г.М., Шишкин Г.Г. «Электрорадиоизмерения», М., Энергия, 1975г.
- Б.7 Хрусталева З.А. Электротехнические измерения. -М: «КноРус», 2009 г.
- Б.8 Хрусталева З.А Метрология, стандартизация и сертификация. Практикум. -М: «КноРус», 2011 г.
- Б.9 Измерения в электронике. Справочник./Под ред. В. А. Кузнецова. - М. Энергоатомиздат,1987.
- Б.10 Переносные комбинированные приборы.Справочное пособие. -М. Радио и связь,1991.
- Б.11 Полупроводниковые приборы: транзисторы.Справочник.М., Энергоиздат, 1986г.
- Б.12 Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры,оптоэлектронные приборы.Справочник.М., Энергоиздат, 1986г.