

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение**  
**высшего образования**  
**«Майкопский государственный технологический университет»**

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

учебно-методическое пособие для студентов очной и заочной форм обучения по  
направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**УДК 681.2(07)**

**ББК 34.9**

**И 74**

**Составитель: Старков Н.Н., кандидат технических наук, доцент**

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные определения метрологии.....	4
2. Виды средств измерений .....	4
3. Виды измерений.....	6
4. Методы измерений.....	6
5. Классификация электрических сигналов.....	7
6. Основные характеристики электрического сигнала .....	8
7. Импульсные сигналы.....	9
8. Классификация измерительных приборов и их характеристики.....	9
9. Принципы построения электроизмерительных приборов.....	11
10. Характеристики измерительных приборов .....	11
11. Класс точности прибора.....	14
12. Погрешности измерений и оценка результатов измерений.....	15
13. Аналоговые электромеханические приборы.....	16
13.1. Общие сведения.....	16
13.2. Вывод уравнения отклонения подвижной части измерительного механизма.....	
13.3. Отсчётное устройство аналоговых ЭИП.....	
13.4. Узлы и детали измерительных приборов.....	
14. Магнитоэлектрические измерительные приборы.....	
14.1. Структурная схема магнитоэлектрического измерительного прибора .....	
14.2. Достоинства ИМ.....	
14.3. Недостатки ИМ.....	
15. Электродинамические измерительные приборы.....	
15.1. Электродинамические амперметры и вольтметры.....	
16. Электромагнитные измерительные приборы.....	
16.1. Электромагнитные амперметры и вольтметры.....	
17. Электростатические измерительные приборы.....	
18. Аналоговые электронные вольтметры.....	
18.1. Общие сведения.....	
18.2. Свойства аналоговых электронных вольтметров и особенности их включения.....	
18.3. Основные узлы аналоговых электронных вольтметров перемен- ного тока.....	
19. Цифровые вольтметры .....	
19.1. Цифровое кодирование.....	
19.2. Особенности построения цифровых вольтметров .....	
Библиографический список источников информации.....	

# 1. Основные определения метрологии

**Метрология** - наука об измерениях, методах и средствах

**Измерения** – процесс, заключающийся в определении значения физической величины с помощью специальных технических средств.

**Результат измерения** – некоторое число, принятое для данной физической величины единиц, дающее количественную информацию о свойствах измеряемой физической величины.

Основное уравнение измерения:  $X = A_x \cdot X_e$ , где  $X$  - физическая величина.

$A_x$  - числовое значение физической величины.  $X_e$  – выбранная единица измерения.

Физическая величина имеет два значения:

**Истинное значение физической величины** – значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство данного физического объекта.

**Действительное значение физической величины** – значение, определенное экспериментально и настолько приближающееся к истинному, что может быть использовано вместо него.

**Погрешность измерений** – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

**Точность измерения** отражает близость результатов измерений к истинному значению измеряемой величины.

## 2. Виды средств измерений

**Средства измерений** – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства, т.е. свойства, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерения.

По назначению средства измерений делятся на следующие категории:

1. меры
2. измерительные преобразователи
3. измерительные приборы
4. измерительные установки
5. измерительные системы

**Меры** – средства измерения, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера с определенной точностью.

**Измерительные преобразователи** – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи дальнейшего преобразования, обработки (хранения), но неподдающееся непосредственному восприятию наблюдателя.

**Измерительные приборы** – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для восприятия наблюдателем (например, вольтметр)

**Измерительная установка** – совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме удобной для восприятия наблюдателем, и расположенных в одном месте.

**Измерительные информационные системы** – комплекс средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в автоматических системах управления.

1. измерительные
2. диагностические.
3. автоматического контроля.

Классификация средств измерений по метрологическим функциям:

1. образцовые средства измерения.
2. рабочие средства измерения.
3. эталонные средства измерения.

**Государственный эталон измерения** – комплекс средств измерений, обеспечивающий воспроизведение и (или) хранение единиц измерения с наибольшей достигнутой в метрологии точностью измерения.

**Проверка средств измерений** – определение метрологической организации погрешностей средств измерений и установление его пригодности к применению.

**Образцовое средство измерения** – мера, измерительный преобразователь, измерительный прибор, служащие для проверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

**Рабочее средство измерения** – средство, применяемое для измерений в широкой практике и не связанные с передачей размера единиц.

### 3. Виды измерений.

По способу нахождения числового значения физической величины измерения делятся на виды:

1. прямые измерения.
2. косвенные измерения.
3. совокупные измерения.
4. совместные измерения.

**Прямые измерения** — измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных.

**Косвенные измерения** — измерения, при которых искомое значение физической величины находят на основании известной математической зависимости между искомой величиной и величинами аргументами, получаемыми при их прямом измерении.

**Совокупные измерения** — одновременное измерение нескольких одноименных величин.

**Обыкновенные измерения** — измерения, выполняемые с однократными наблюдениями.

**Статические измерения** - измерения, выполняемые с многократными наблюдениями.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени некоторые из измерений делятся на:

**Статические измерения** — измерения, при которых измеряемая величина постоянна во времени и в процессе измерения.

**Динамические измерения** — измерения, при которых измеряемая величина изменяется в процессе измерения.

По условиям, определяющим точность результата измерения делятся на:

1. измерения максимальной точности.
2. контрольно-проверочные, погрешность которых не должна превышать некоторого заданного значения.
3. технические, погрешность которых определяется характеристиками средств измерения

### 4. Методы измерений

**Метод измерения** - совокупность приемов использования физических явлений, на которых основаны измерения принципов сравнения измеряемой величины с мерой и средств измерений.

Методы измерений делятся на:

**Непосредственная оценка** - непосредственное определение физической величины по отсчетному устройству измерительного прибора заранее градуированного в единицах измеряемой величины.

**Сравнения** — определение значения физической величины сравнением измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой.  
(дифференциальный метод, метод совпадения, нулевой метод, метод противопоставлений)

а) дифференциальный метод: на измерительный прибор воздействует разность  $\delta X$  между измеряемой величиной  $X$  и  $X_0$   
$$\delta X = X - X_0$$

б) нулевой дифференциальный метод. Результирующий эффект воздействия измеряемой величины и известной величины на прибор сравнения доводят до нуля.

в) метод противопоставления. Метод, в котором измеряемая известная величины одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью показаний, которого устанавливается соотношение между ними. применяется для измерения ЭДС, напряжения, тока.

г) метод замещения - метод, при котором измеренную величину замещают известной величиной, равной по значению замещенной.

д) метод совпадений — метод, при котором используется разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой. Используются совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

**Методика измерения** — намеченный порядок измерений, регламентирующий методы, средства, алгоритм выполняемых измерений, которые в определенных условиях обеспечивают измерения с заданной точностью.

**Алгоритм измерения** — точное предписание о выполнении в определенном порядке совокупности операций, обеспечивающих измерение значения физической величины.

## 5. Классификация электрических сигналов

По характеру изменения электрический сигнал может быть детерминированным или случайным.

**Детерминированный** — сигнал, заданный в виде некоторой определенной функции времени, т.е. сигнал, мгновенное значение которого в данный момент известно.

Детерминированный сигнал может быть по значению непрерывным или

дискретным. Периодические детерминированные сигналы – это сигналы, для которых выполняются условия:

$$f(t)=f(t+T)$$

т.е. мгновенное значение сигнала повторяется через равные промежутки времени.

## 6.Основные характеристики электрического сигнала

Среднее значение сигнала за период:

$$U_{cp}=1/T \int U(t)dt=U_0$$

Средневыпрямленное значение сигнала за период:

$$U_{cp.в.}=1/T \int |U(t)|dt$$

Среднеквадратичное значение сигнала за период:

$$U(t)=1/T \sqrt{\int U^2(t)dt}$$

Для синусоидального сигнала среднеквадратичное значение называют действующим( эффективным) значением.

Среднеквадратичное значение сигнала сложной формы :

$$U=\sqrt{\sum U_k^2}$$

Коэффициент амплитуды:

$$K_a=U_m/U$$

Коэффициент фазы:

$$K_f=U/U_{cp.в.}$$

Спектр частот сигнала можно условно разделить на следующие диапазоны:

- 1) Инфранизкие частоты (до 20 Гц)
- 2) Низкие частоты
- 3) Ультразвуковые (до 200 кГц)
- 4) Высокие (200кГц-30 мГц)
- 5) Ультравысокие ( 30-300 м Гц)
- 6) Сверхвысокие (более 300 мГц)



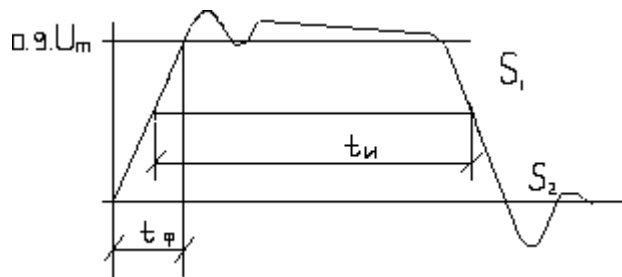
## 7. Импульсные сигналы

**Импульсные сигналы** - детерминированные сигналы конечной энергии, существенно отличные от нуля в течение ограниченного интервала времени.

Импульсные сигналы подразделяются на:

1) видеоимпульсы (однополярные импульсы тока и напряжения, которые могут быть положительной или отрицательной полярности относительно определенного уровня, принятого за нулевой).

2) радиоимпульсы (серия высокочастотных колебаний, образуемая при воздействии видеоимпульсов на колебания высокой частоты).



прямоугольный импульс

$$S_1=S_2$$

**Длительность фронта импульса** - время нарастания на  $0.9U_m$

**Случайный сигнал** — сигнал, мгновенное значение которого является случайным, т.е. принимает одно из множества возможных значений.

Основной характеристикой случайного сигнала является закон распределения вероятности.

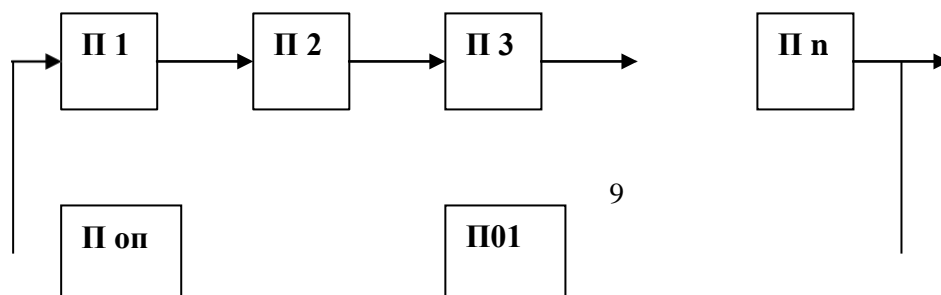
## 8. Классификация измерительных приборов и их характеристики.

### Виды измерительных приборов

Приборы, используемые для измерения электрических величин, можно разделить на электроизмерительные и электронные.

Электроизмерительные приборы в большинстве случаев являются электромеханическими.

По схеме преобразования различают структурные схемы измерительных приборов прямого преобразования и компенсационного преобразования.



—      ←      ←      ←

Цепь прямого преобразования обеспечивает передачу значения величины  $\Delta X$ , к показывающему выходному прибору.

Цепь обратного преобразования обеспечивает изменение величины  $X_u$ .

По способу сравнения измеряемой величины с мерой измерения приборы делятся на приборы посредственной оценки и приборы сравнения.

Приборы непосредственной оценки могут быть заранее градуированными в единицу измеряемой величины, и мера участвует в процессе градуировки.

Мера присутствует в процессе каждого измерения.

Приборы непосредственной оценки выполняются по схеме либо прямого преобразования, либо по схеме смешанного преобразования. Они всегда выполняются по компенсационной схеме.

По способу выдачи измерительной информации измерительные приборы делятся на показывающие и регистрирующие.

***Показывающие приборы*** позволяют осуществить отсчитывание показателей.

***Регистрационные приборы*** осуществляют отсчитывание, а также регистрацию измерительной величины либо в функции времени, либо в функции другой величины.

***Аналоговые приборы*** – это измерительные приборы, показания которых непрерывными функциями измерений измеряемых величин.

***Цифровые приборы*** – это измерительные приборы, в которых непрерывно измеряемая величина автоматически преобразовывается в дискретную и результат измерения выдается в цифровом коде.

По роду измерительные величины ИП делятся на: вольтметры, амперметры, омметры и т.д.

По характеру применения – стационарные или переносные. По степени защищенности – водозащищенные, герметичные, пылезащищенные и обычные.

## **9. Принципы построения электроизмерительных приборов.**

ЭИП можно разделить на 4 группы:

1. ***Измерительные генераторы*** – это маломощные источники сигналов различной формы, амплитуды и частоты, предназначенные для

калиброванного воздействия на исследуемую настраиваемую аппаратуру, а также для питания измеряемых цепей и использования в качестве меры.

2. Приборы, предназначенные для измерения значения физических величин, параметров и характеристик сигналов.

К этой группе относятся: электронные осциллографы, вольтметры, фазометры, анализаторы спектров и другие.

3. Приборы, предназначенные для измерения характеристик и параметров компонент, входящих в радиоэлектронные цепи: измерители емкостей, конденсаторов, индуктивностей катушек, сопротивлений резисторов, добротности контуров и резонаторов, параметров электронных ламп и т.д.
4. Специальные элементы измерителей: ослабители сигналов (аттенюаторы), фазовращатели и т.д.

## 10. Характеристики измерительных приборов

Основными характеристиками измерительных приборов являются:

1. уравнение преобразования
2. чувствительность
3. порог чувствительности
4. диапазон измерений
5. область рабочих частот
6. статические и динамические погрешности
7. собственная мощность, потребляемая прибором
8. быстродействие
9. надежность
10. экономичность

**Уравнение преобразования** – графическая характеристика:  $Y=f(X)$  – это функциональная зависимость между входным сигналом  $Y$  и выходным сигналом  $X$ .

### **Чувствительность.**

Она характеризует способность прибора реагировать на изменение входного сигнала. Чувствительность определяется из уравнения преобразования  $S=\Delta Y/\Delta X$  – изменение сигнала  $\Delta Y$  на выходе прибора к вызвавшему ему изменению  $\Delta X$  на входе сигнала.

**Порог чувствительности** – это изменение входного сигнала, вызывающего наименьшее изменение выходного сигнала, который может быть обнаружен наблюдателем с помощью данного прибора без дополнительных устройств.

**Диапазон измерений** – область значений измеряемого сигнала, для которого нормированы измеряемые погрешности. Эта область ограничена пределами измерений наибольшими и наименьшими значениями диапазона измерений.

$D=X_{кз}/X_{п}$ , где  $X_{кз}$ -конечное значение шкалы приборов,  $X_{п}$ - порог

чувствительности приборов.

Диапазон измерений может состоять из нескольких поддиапазонов:

**Показания измерительных приборов** - то значение измеряемой величины, определяемой по отчетному устройству прибора.

**Вариация показаний** - это наибольшая возможная разность между отдельными показаниями прибора, соответствующие одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменяемых внешних условиях (вариация характеризует устойчивость прибора)

***Область рабочих частот*** - это полоса частот, в пределах которой погрешность прибора, вызванная изменением частоты, не превышает допустимого предела.

По способу выражения различают абсолютную, относительную, основную и дополнительную погрешности измерительных приборов.

***Абсолютная погрешность измерительных приборов***  $\Delta n$  - это разность между показаниями прибора и истинным значением измеряемой величины.

$$\Delta n = X_n - X_0 = \text{const}$$

Абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком - ***поправка***.

$$\Pi = -\Delta n$$

***Относительная погрешность прибора***  $G_{\text{отн.}}$  - отношение абсолютной погрешности прибора к истинному значению измерительной величины.

$$G_{\text{отн.}} = (X_n - X_0) / X_0$$

***Приведенная погрешность прибора***  $G_n$  - это отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению.

$$G_n = (X_n - X_0) / X_N$$

Нормирующее значение принимается равным конечному значению шкалы прибора, если нулевая отметка прибора находится на краю или вне шкалы; равным номинальному значению, если прибор предназначен измерить величины, имеющие значение 220В.

***Основная погрешность прибора*** - приведенная погрешность при нормальных условиях применения прибора (мощность, влажность, частота, помехи)

***Дополнительная погрешность прибора***  $\Delta n_{\text{доп}}$  - это погрешность, вызываемая действием отдельных влияющих величин, вследствие отклонения их значений от нормального.

## 11. Класс точности прибора.

Его характеристика определяется пределами допускаемых, основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на точность.

Значение класса точности устанавливается в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Класс точности характеризует свойства приборов в отношении точности, но не являются непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих приборов.

**Аддитивная погрешность (погрешность нуля)** – это погрешность не зависящая от чувствительности прибора и постоянная для всех значений входной величины в пределах диапазона измерений.

**Мультипликативная погрешность** – погрешность, зависящая от чувствительности прибора и измеряемая пропорционально текущему значению входной величины.

**Статические погрешности** - это погрешности, возникающие при постоянной во времени величины.

**Динамические погрешности** – это разность между погрешностью приборов в динамическом режиме и его статической погрешностью. Динамическая погрешность зависит как от свойств прибора, так и от характера изменения измеряемой величины во времени.

**Быстродействие** – это время, затрачиваемое на одно измерение.

**Время установления показаний** – это промежуток времени с момента изменения измеряемой величины до момента установления показаний прибора. Для цифровых приборов быстродействие (Б.) определяется как отношение числа измерений  $n$  к промежутку времени  $\Delta t$ , в течение которого эти измерения были приведены:

$$Б = n / \Delta t$$

Быстродействие цифровых приборов от 1 до 100000 измерений в секунду.

**Надежность** – в способность прибора сохранять эксплуатационные параметры заданных пределах в течение заданного интервала времени. Существует государственная система приборов – ГСП.

По ГСП существуют специальные критерии надежности:

- вероятность безотказной работы в течение заданного времени
- интенсивность отказов
- среднее время безотказной работы

**Экономичность** – это простота конструкций в обращении и оправданная экономическая стоимость

## 12. Погрешности измерений и оценка результатов измерений

**Погрешность** – это оценка достоверности результатов измерений.

Способы классификации погрешностей:

1) По способу численного выражения различают абсолютную и относительную погрешности.

Относительная погрешность характеризует качество измерений. Погрешности считаются положительными, если результат измерения превышает действительное значение.

2) В зависимости от источника возникновения, погрешности делятся на:

- методические
- инструментальные
- субъективные
- внешние

**Методические погрешности:** могут возникать из-за недостаточной разработанности теории явлений, положенной в основу методов измерений, а также неточности соотношений, используемых для нахождения оценки измеряемой величины.

К методическим погрешностям относятся погрешности воздействия на объект измерения измерительного прибора; погрешности, связанные с некоторой неопределенностью параметров самого объекта измерения.

**Инструментальные (аппаратурные) погрешности-** погрешности применяемых средств измерения, вызванные схемными и конструктивными недостатками измерительных приборов, а также состоянием прибора в процессе эксплуатации.

**Субъективные погрешности-** погрешности, связанные с несовершенством органов чувств оператора, его тренированностью, вниманием при измерениях и его индивидуальными особенностями.

**Внешние погрешности** - обусловленные влиянием внешних условий, как на измеряемый объект, так и на измерительный прибор.

3) По закономерностям применения погрешности делятся на систематические, случайные, грубые, промахи.

**Систематические погрешности измерения** - это составляющие

погрешности, которые остаются постоянными и закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины.

Погрешности бывают:

- прогрессирующие (возрастающие, убывающие)
- периодические
- изменяющиеся по непериодическому закону

К постоянным систематическим погрешностям относят погрешность градуировки шкалы, температурная погрешность и т.д.

К переменным систематическим погрешностям относят погрешность, обусловленную нестабильностью источника питания.

Погрешность обусловлена влиянием электромеханических полей и других влияющих величин.

**Поправка** – значение величины, одноименной с измеряемой, прибавленная к полученному при измерении значения с целью исключения систематической погрешности.

**Поправка множитель** – число, на которое умножают результат измерений с целью исключения систематической погрешности.

**!** Полностью устранить систематические погрешности невозможно. Уменьшение влияния систематической погрешности может быть достигнуто за счет перевода систематической погрешности в случайную.

**Случайные погрешности измерения** - это составляющие погрешности измерения, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Значение и знак случайной погрешности определить невозможно, т. к. случайные погрешности обязаны своим происхождением причинам, действия которых не одинаково в каждом эксперименте и не может быть учтено.

Обнаруживаются случайные погрешности при многократных измерениях одной и той же величины, следовательно, их влияние на результат измерений учитывается методами математической статистики и теории вероятности.

**Грубые погрешности** – погрешности, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях погрешности.

**Промахи** – погрешности, которые явно и резко искажают результат измерений. Это следствие неправильных действий экспериментатора и неисправности в схемах и приборах (пробой трансформатора тока).

## 13. Аналоговые электромеханические приборы.

### 13.1. Общие сведения.

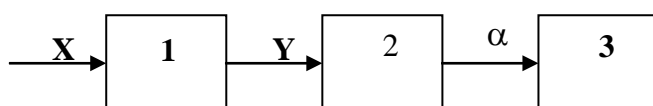
В аналоговых электромеханических измерительных приборах (ЭИП) непосредственной оценки электромагнитная энергия, подведенная к прибору непосредственно из измеряемой цепи, преобразуется в механическую энергию углового перемещения относительно неподвижной.

ЭИП применяют для измерения тока, напряжения, мощности, частоты, фаз сдвигов, сопротивления и других электрических величин на постоянном и переменном токах преимущественно промышленной частоты 50 Гц.

ЭИП относятся к приборам прямого преобразования.

Состоят ЭИП из:

- электрического преобразователя (измерительной цепи)
- электромеханического преобразователя (измерительного механизма)
- отчетного устройства



Измерительная цепь прибора обеспечивает преобразование электрической измеряемой величины  $X$  в некоторую промежуточную величину  $Y$  (ток или напряжение), функционально связанную с измеряемой величиной  $X$ . Величина  $Y$  непосредственно воздействует на измерительный механизм.

В зависимости от характера преобразования измерительная цепь может представлять собой совокупность элементов (резисторов, конденсаторов, выпрямителей, термопар).

Различные измерительные цепи позволяют использовать один и тот же измерительный механизм при измерениях разнородных величин, напряжения, тока, сопротивления, меняющихся в широких пределах.

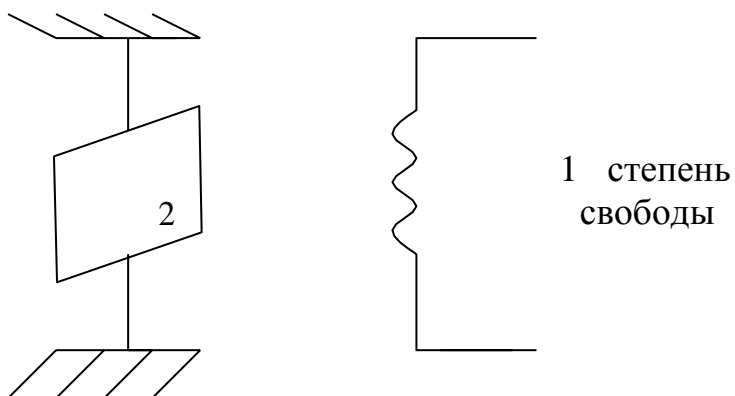
Измерительный механизм, являясь основной частью конструкции прибора, преобразует электромагнитную энергию, необходимую для угла отклонения  $\alpha$  его подвижной части относительно неподвижной.

### 13.2. Вывод уравнения отклонения подвижной части измерительного механизма.

Угол отклонения  $\alpha = f(Y) = F(X)$

Подвижная часть измерительного механизма представляет собой систему с одной степенью свободы.





Дифференциальное уравнение моментов для измерительного прибора:

$$J^* \left( \frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2} \right) = \sum M$$

**J** – момент инерции подвижной части измерительного механизма

$\alpha$  - угол отклонения неподвижной части

$\frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2}$  - угловое ускорение

На подвижную часть измерительного механизма при ее движении воздействуют:

- вращающийся момент

$$M = \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

- противодействующий момент

$$M_\alpha = - W_\alpha$$

**W** – удельный противодействующий момент на единицу угла закручивания пружины.

- момент успокоения

$$M_{\text{усп.}} = - R \left( \frac{\partial \alpha}{\partial t} \right)$$

**R** – коэффициент ускорения (демпфирования).

**Таким образом**

$$J^* \left( \frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2} \right) = M + M_\alpha + M_{\text{усп.}}$$

**Преобразовав, получаем:**

$$J^* \left( \frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2} \right) + P \left( \frac{\partial \alpha}{\partial t} \right) + W \alpha = M$$

В зависимости от способа преобразования электромагнитной энергии в механическое угловое перемещение подвижной части измерительного механизма приборы делятся на:

- магнитоэлектрические
- электродинамические
- ферродинамические
- электромагнитные
- электростатические

### 13.3. Отсчетное устройство аналоговых ЭИП

Оно состоит из указателя, жестко связанного с подвижной частью измерительного механизма и неподвижной шкалы.

Шкала представляет собой совокупность отметок, которые расположены вдоль какой – либо линии и изображают ряд последовательных чисел, соответствующих значениям измеряемой величины.

***По начертанию шкалы*** бывают:

- прямолинейные (горизонтальные, вертикальные)
- дуговые (при дуге до 180 градусов включительно)
- круговые (при дуге более 180 градусов)

***По характеру расположения отметок*** различают шкал равномерные и неравномерные, односторонние относительно нуля, двусторонние и безнулевые.

***Числовое значение измеряемой величины*** равно произведению числа делений, прочитанных по шкале, на цену деления (постоянную) прибора.

***Цена деления*** - значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы.

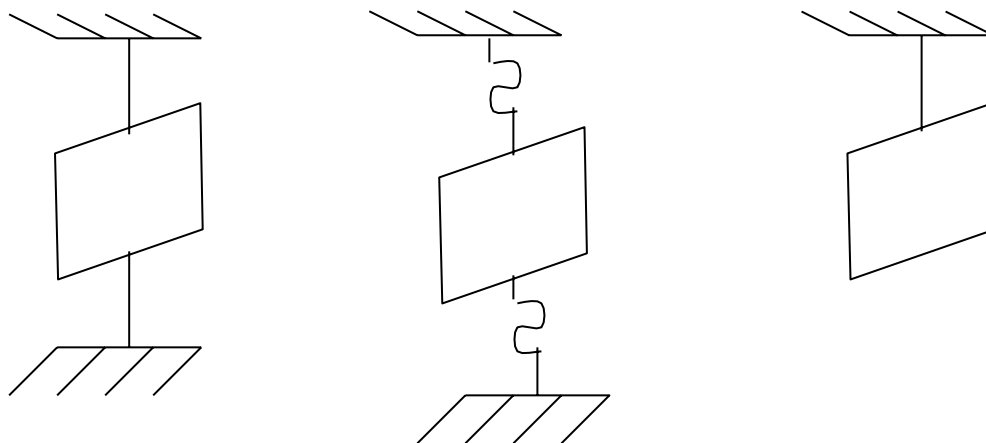
### 13.4. Узлы и детали измерительных приборов.

Для большинства ЭИП, несмотря на разнообразие измерительных приборов, можно выделить общие узлы и детали.

- 1) устройство для установки подвижной части измерительного механизма, для создания противодействующего момента, уравнивания и успокоения.

- 2) успокоители
- 3) арретир
- 4) корректор

Так как измерительный механизм ЭИП состоит из подвижной и неподвижной части, то для обеспечения свободного перемещения подвижной части ее устанавливают на опорах, растяжках, подвесе.



Установка подвижной части измерительного механизма на растяжках наиболее распространено в измерительных приборах.

Наличие растяжек обеспечивает отсутствие трения в опорах, облегчает подвижную систему, повышает виброустойчивость. Растяжки используют для подведения тока к обмотке рамки и создания противодействующего момента.

Установка подвижной части измерительного механизма на подвесах используют в слабочувствительных приборах. Подвижную часть измерительного механизма подвешивают на тонкой металлической (иногда кварцевой) нити. Ток в рамку подвижной части подводят через нить подвеса и специальный безмоментный токоподвод из золота или серебра.

***Арретир*** – устройство, которое закрепляет эту рамку.

Противодействующий момент в измерительном механизме создается плоскими спиральными пружинами.

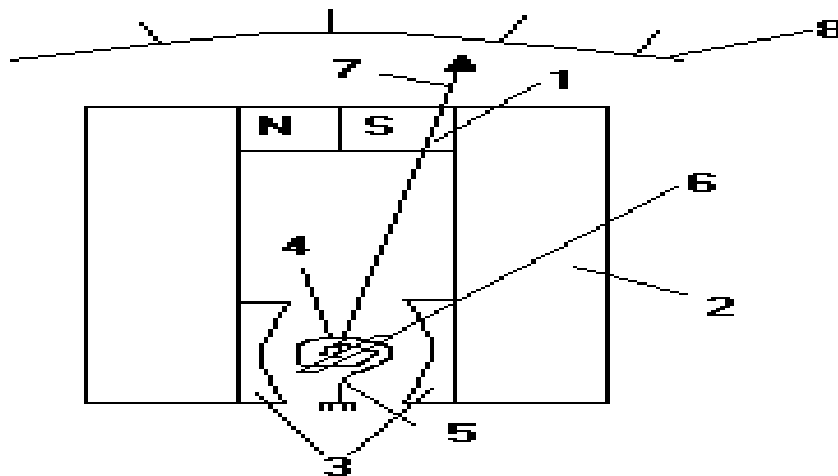
Для создания необходимого успокоения измерительный механизм снабжают успокоителями, развивающими момент, направленный навстречу движению (время успокоения не более 4 с). В измерительных механизмах наиболее часто применяют магнитоиндукционные и воздушные успокоители, реже – жидкостные (когда требуется очень большое успокоение).

## 14. Магнитоэлектрические измерительные приборы

Работа магнитоэлектрических измерительных механизмов (ИМ) основана на принципе взаимодействия катушки с током и магнитного потока постоянного магнита. Один из взаимодействующих моментов – катушка (рамка) с током или постоянный магнит. Наиболее распространены ИМ с подвижной рамкой.

Магнитоэлектрические приборы бывают с внешним или внутренним магнитом.

### 14.1. Структурная схема магнитоэлектрического измерительного Механизма



- 1 – постоянный магнит для создания магнитного поля
- 2 – магнитопровод для уменьшения магнитного сопротивления и подведения поля магнита к зоне взаимодействия с полями катушки.
- 3 – полюсные наконечники, служат для создания равномерного магнитного поля.
- 4 – цилиндрический неподвижный сердечник для снижения магнитного сопротивления и создания равномерного радиального поля в зазоре.
- 5 – спиральная катушка для создания, противодействующего момента.
- 6 – подвижная катушка для создания второго магнитного поля.
- 7 – указатель (стрелка)
- 8 – шкала

При протекании по обмотке рамки постоянного тока на активные стороны обмотки действует пара сил, создающая вращающий момент:

$$M = \frac{\partial W_{\Sigma}}{\partial \alpha} = \left( \frac{\partial \Psi}{\partial \alpha} \right) I = 2F \frac{a}{2} = B * L * \omega * a * I$$

$W_{\omega}$  – энергия магнитного поля системы, состоящая из постоянного магнита и рамки с током.

$\psi$  – магнитный поток постоянного магнита, сцепленный с обмоткой рамки, по которой протекает ток.

$F$  – сила Ампера

$a$  – ширина рамки

$B$  – магнитная индукция в воздушном зазоре

$L$  – активная длина рамки

$L * a = S$  – площадь рамки

$$M = B * S * \omega * I = \psi_o * I$$

$\psi_o$  – потокосцепление обмотки рамки при повороте ее на угол  $\alpha = 1$  рад.

Вращающий момент ИМ с равномерным радиальным магнитным полем в воздушном зазоре не зависит от угла отклонения  $\alpha$  подвижной части. Под действием момента  $M$  подвижная часть поворачивается вокруг оси, тем самым, закручивая спиральные пружины, создающие противодействующий момент.

$$M_{\alpha} = W * \alpha$$

$W$  – удельный противодействующий момент на единицу угла поворота.

При отклонении рамки на некоторый угол,  $\alpha$  вращающий и противодействующий моменты станут равными по значению, дальнейшее отклонение рамки прекратится.

$$M = M_{\alpha}$$

$$\psi_o * I = W * \alpha$$

Следовательно, угол отклонения подвижной части механизма равен

$$\alpha = \frac{B * S * \omega * I}{W} = \frac{\psi_o * I}{W} = S_I * I$$

$S_I$  - чувствительность измеряемого механизма по току.

Из этого уравнения следует, что отклонение  $\alpha$  подвижной части измерительного механизма линейно растет с увеличением тока  $I$ , т. е. шкала прибора равномерная.

Повышение чувствительности ИМ может быть достигнуто за счет увеличения индукции  $B$  в зазоре, числа витков рамки или уменьшения удельного противодействующего момента  $W$  пружин.

При изменении направления тока изменяется направление отклонения подвижной части ИМ.

#### **14.2. Достоинства магнитоэлектрических ИМ:**

- 1) высокая чувствительность (ИМ сильным собственным магнитным полем, поэтому даже при малых токах создается достаточный вращающий момент)
- 2) большая точность (из – за высокой стабильности элементов ИМ, незначительного влияния внешних магнитных полей)
- 3) незначительные влияния на режим измеряемой цепи, т.к. мощность потребляемая ИМ мала.
- 4) хорошее успокоение
- 5) равномерность шкалы

#### **14.3. Недостатки ИМ:**

- 1) сложность изготовления
- 2) плохая перегрузочная способность, обусловленная легким перегревом пружин и изменением их свойств
- 3) температурное влияние на точность измерения

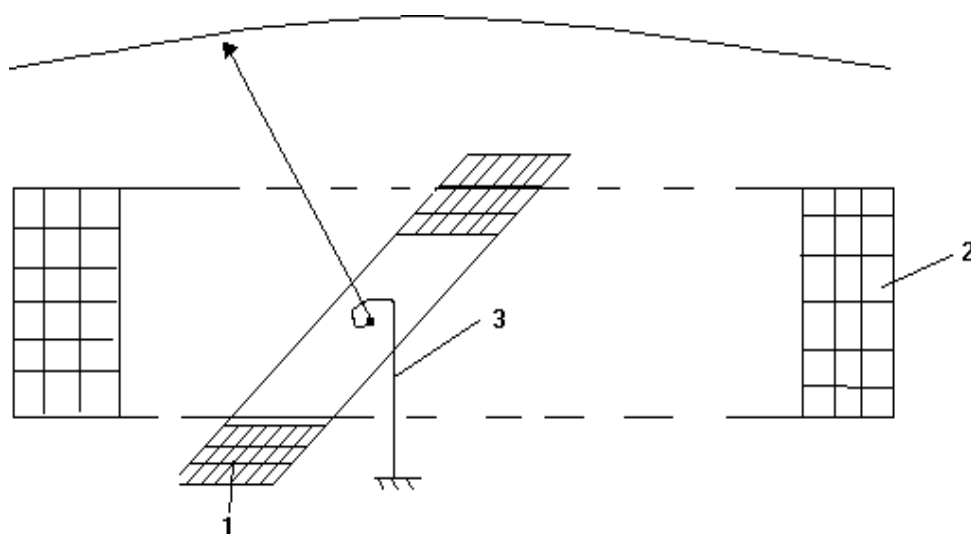
**Магнитоэлектрические ИМ используют:**

- в многопредельных, широкодиапазонных магнитоэлектрических амперметрах, вольтметрах для непосредственных измерений в цепях постоянного тока.
- в гальванометрах, светолучевых осциллографах (при наблюдении и записи мгновенных значений тока, напряжения, мощности и частоты)
- в аналоговых омметрах, электронных вольтметрах, частотомерах, фазометрах.

### **15. Электродинамические измерительные приборы**

Электродинамические ИМ работают на принципе взаимодействия магнитных потоков двух катушек, по которым протекают токи. Измерительные механизмы состоят из пары неподвижных катушек, соединенных последовательно или параллельно.

Внутри этих катушек на оси находится бескаркасная рама. Для подвода тока в подвижную катушку и создания противодействующего момента используют спиральные пружины.



- 1 – бескаркасная подвижная катушка
- 2 – неподвижные катушки
- 3 - пружина

Чтобы получить вращающий момент используют электромагнитную энергию  $W_{\text{э}}$  системы.

$$W_{\text{э}} = 0.5 \cdot I_1^2 \cdot L_1 + 0.5 \cdot I_2^2 \cdot L_2 \pm I_1 \cdot I_2 \cdot \mu$$

$L_1, L_2$  – индуктивности катушек

$\mu$  - взаимная индуктивность катушек

+  $\mu$  - потоки в одну сторону

-  $\mu$  - потоки в разные стороны

При повороте подвижной катушки на угол  $\alpha$  изменяется взаимная индуктивность  $\mu$ , зависящая от формы и взаимного расположения катушек, а индуктивности  $L_1$  и  $L_2$  остаются постоянными.

Вращающий момент для стрелки

$$M = I_1 \cdot I_2 \frac{\partial \mu}{\partial \alpha}$$

Чем больше ток  $I_1$ , тем больше  $M$ , тем больше отклоняется стрелка.

При некоторых определенных соотношениях размеров подвижной и неподвижной катушек можно получить следующее равенство

$$\frac{\partial \mu}{\partial \alpha} = \text{const} \quad \text{в пределах рабочей части шкалы}$$

Под действием вращающего момента подвижная катушка стремится занять

такое положение, при котором направление ее магнитного поля совпадало бы с направлением магнитного поля неподвижных катушек. При этом она будет поворачиваться до тех пор, пока вращающий и противодействующий моменты не сравняются, т. е.  $\mu = \mu_\alpha$

$$\alpha = \frac{1}{W} \mathbf{I1} * \mathbf{I2} \frac{\partial \mu}{\partial \alpha}$$

W- удельный противодействующий момент

Если прибор включить в цепь переменного тока мгновенное значение вращающего момента:

$$\mathbf{m} (t) = \mathbf{i1} * \mathbf{i2} \frac{\partial \mu}{\partial \alpha}, \text{ где}$$

$$\mathbf{i1} = \mathbf{I}_{MAX} \mathbf{1sin} (\omega \mathbf{t} + \psi \mathbf{1}); \quad \mathbf{i2} = \mathbf{I}_{MAX} \mathbf{2sin} (\omega \mathbf{t} + \psi \mathbf{2})$$

$\psi \mathbf{1}, \psi \mathbf{2}$ - начальные углы сдвига.

Среднее значение вращающего момента за период, на который реагирует подвижная часть ИМ, определяется следующим образом:

$$\mathbf{M} = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{m}(t) dt = \mathbf{I1} * \mathbf{I2} \cos \psi \frac{\partial \mu}{\partial \alpha}$$



Следовательно, находим угол отклонения подвижной части механизма

$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{\mathbf{I}_1 * \mathbf{I}_2 \cos \psi}{\partial \alpha}$$

Данное выражение, что при не совпадении по фазе токов в катушках отклонение подвижной части  $\alpha$  пропорционально произведению среднеквадратических значений этих токов на косинус угла сдвига фаз между ними.

Электродинамические ИМ содержат две цепи тока, поэтому являются множительными устройствами и обладают фазочувствительностью. Данная особенность позволяет применять их не только для измерения тока, напряжения, но мощности и фазы.

#### **Достоинства электродинамических ИМ:**

- высокая точность
- возможность использования в цепях как постоянного, так и переменного тока

#### **Недостатки электродинамических ИМ:**

- малая чувствительность
- влияние внешних магнитных полей на показания ИМ
- большая потребляемая мощность
- ограниченный диапазон частот (до 1.5 кГц)

Для уменьшения влияния внешних магнитных полей на показания приборов применяют магнитное экранирование ИМ, или астазирование.

При астатическом исполнении имеются два измерительных механизма с общей осью. Собственные магнитные поля ИМ направлены в противоположные стороны. Внешнее равномерное магнитное поле, усиливая поле одного измерительного механизма на какое-то другое значение, на это же значение ослабляет поле другого, но не изменяет их суммарного вращающего момента.

## **15.1. Электродинамические амперметры и вольтметры**

Если неподвижные и подвижные катушки соединить последовательно, то

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_2 = \mathbf{I}$$

Тогда угол отклонения подвижной части ИМ:

$$\alpha = \frac{1}{W} \mathbf{I}^2 \frac{\partial \mu}{\partial \alpha} = \frac{1}{W} \mathbf{K} \mathbf{U}^2 \frac{\partial \mu}{\partial \alpha}$$

$$W \propto \alpha \quad W \propto \alpha$$

**К** – коэффициент пропорциональности закона Ома.

Следовательно, отклонение подвижной части пропорционально квадрату тока (напряжения). При изменении направления токов в обеих катушках отклонение подвижной части прибора останется прежним. Так как токи **I1** и **I2** совпадают по фазе, то прибор может иметь одну шкалу для посторонних и переменных токов.

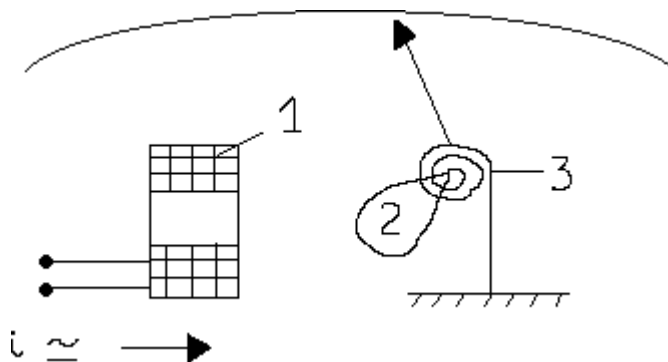
Электродинамические амперметры используют для измерения токов 0.1 – 10 А. Использование их для измерения токов миллиамперного диапазона ограничивается большой мощностью потребления и малой чувствительностью. Изменение пределов измерения достигается секционированием неподвижных катушек, а также комбинацией последовательно – параллельного соединения секций неподвижных катушек с подвижной катушкой.

В электродинамических вольтметрах неподвижная и подвижная катушки соединяются последовательно с добавочным резистором и по ним проходит один и тот же ток.

Электродинамические вольтметры впускают на несколько пределов напряжения (до 300 В) и используют в основном для точных измерений. Внутреннее сопротивление их мало (до 1 кОм).

Пределы измерения амперметров и вольтметров могут быть расширены с помощью измерительных трансформаторов токов и напряжений.

## 16. Электромагнитные измерительные приборы



1-неподвижная катушка.

2-эксцентрично укрепленный на оси ферромагнитный сердечник.  
(пермалловый лепесток)

3-спиральная пружина

В электромагнитных машинах для создания вращающего момента используется действие магнитного катушки с током на подвижный

пермалловый лепесток. Противодействующий момент создается спиральной пружиной. При прохождении по неподвижной плоской катушке измеряемого тока возникает магнитное поле, которое, воздействуя на лепесток, стремится расположить его так, чтобы энергия магнитного поля была наибольшая, т.е. втянуть лепесток внутрь катушки. Подвижная часть механизма поворачивается до тех пор, пока вращающий момент не станет равным противодействующему моменту.

$$W_{\text{э}} = L \cdot i^2 / 2$$

$$M_{\text{э}} = dW_{\text{э}} / d\alpha = I^2 \cdot dl / d\alpha / 2$$

$$\alpha = 0.5 \cdot I^2 \cdot dl / W \cdot d\alpha \quad M = M_{\alpha}$$

Шкала прибора квадратична. Т.к. угол  $\alpha$  - функция квадрата тока, знак угла поворота не зависит от направления тока в катушке, поэтому э/м приборы одинаково пригодны для проведения измерений в цепях как переменного, так и постоянного тока. Если по катушке пропустить переменный ток  $i$ , то мгновенное значение вращающего момента

$$m(t) = 0.5 \cdot i^2 \cdot dl / d\alpha$$

Прибор реагирует на среднее значение вращающего момента.

$$M := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T m(t) dt$$

$$M := 0.5 \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{dt}$$

$I$  - среднеквадратичное значение тока. Отклонение подвижной части механизма пропорционально среднеквадратичному значению измеряемого тока.

В э/м измерительных приборах применяется воздушное или магнитоиндукционное успокоение.

**К достоинствам э/м приборов можно отнести:**

- 1) простота и надежность исполнения.
- 2) хорошая перегрузочная способность.
- 3) одинаковая пригодность для измерения в цепях постоянного и переменного тока.

**К недостаткам э/м приборов можно отнести:**

- 1) большое собственное потребление энергии.
- 2) Невысокая точность (при измерении в цепях постоянного тока сказывается явление гистерезиса в пермалловом лепестке)
- 3) малая чувствительность.
- 4) влияние внешних магнитных полей из-за слабого собственного магнитного поля.

Э/м приборы применяют как измерители тока, напряжения преимущественно в цепях изменяемого тока промышленной частоты в качестве счетовых приборов классов точности 1, 1.5 и многопредельных лабораторных приборов классов точности 0.5, 1. Использование данных приборов в цепях повышенной частоты недопустимо из-за больших дополнительных частотных погрешностей.

## 16.1. Электромагнитные амперметры и вольтметры.

В э/м амперметрах диапазон измерения токов весьма широк. Для стационарных измерений используют однопредельные амперметры, для переносных многопредельные с секционированными катушками. Переключение одинаковых секций катушки с последовательного соединения

на параллельное позволяет получать пределы измерения у амперметра в соотношениях 1:2:4. Секции катушки можно выполнять с разным числом витков из проволоки разного диаметра. Применение шунтов для расширения пределов измерения э/м амперметрами нерационально, т.к. приводит к увеличению мощности потребления приборами, их дороговизне и громоздкости.

Измерительная цепь э/м вольтметра представляет собой последовательное соединение подвижной катушки и добавочного резистора. Ток полного отклонения вольтметра равен 25-50 мА. С понижением предела измерения это значение возрастает и достигает 100-200 мА при напряжении 15-30 В. Добавочные резисторы применяют в многопредельных вольтметрах

с наибольшим пределом измерения 600В. Пределы измерения э/м вольтметров могут быть расширены с помощью трансформатора напряжения.

Расширение пределов измерения э/м амперметров и вольтметров сопряжено с ростом их погрешности.

## **17. Электростатические измерительные приборы.**

Принцип работы э/с измерительных приборов на взаимодействии заряженных электродов, разделенных диэлектриком.

Конструктивно э/с приборы представляют собой разновидность плоского конденсатора, т.к. в результате перемещения подвижной части изменяется емкость системы. Практическое применение нашли приборы с поверхностным механизмом, т.е. когда изменение емкости осуществляется за счет изменения активной площади электродов. В приборах с линейным механизмом изменение емкости осуществляется за счет изменения расстояния между электродами.

$$W_{\text{э}} = C \cdot U^2 / 2$$

**С-емкость между электродами.**

Электростатические силы взаимодействия заряженных электродов создают вращающий момент, под действием которого подвижные электроды втягиваются в пространство между неподвижными и изменяют активную площадь электродов тем самым, меняя емкость С. Подвижные электроды втягиваются до тех пор, пока вращающий момент не станет равным противодействующему моменту.

$$M = dW_{\text{э}} / d\alpha = U^2 \cdot dC / d\alpha$$

$$\alpha = 0.5 \cdot U^2 \cdot dC / W_{\text{э}} \cdot d\alpha$$

Шкала прибора квадратичная, поэтому изменение полярности приложенного напряжения не изменяет направление вращения. При приложенном переменном напряжении прибор реагирует на среднее значение момента за период.

Среднеквадратичное значение U:

$$M := \frac{1}{2T} \cdot \int_0^T U^2(t) dt \cdot \frac{d}{d\alpha} C$$

$$M := 0.5 \cdot U^2 \cdot \frac{d}{d\alpha} C$$

**Достоинства э/с приборов:**

- 1) высокое входное напряжение.
- 2) малая, но переменная входная емкость.
- 3) малая мощность потребления.
- 4) возможность использования в цепях постоянного и переменного тока.
- 5) широкий частотный диапазон.
- 6) независимость показаний от формы кривой измеряемого напряжения.
- 7) показания прибора соответствуют среднеквадратичному значению измеряемого напряжения.

**Недостатки э/с приборов:**

- 1) квадратичная шкала
- 2) чувствительность из-за слабого собственного электрического поля.
- 3) невысокая точность.
- 4) возможность пробоя между электродами.
- 5) необходимость экрана.

Э/с вольтметры применяют в цепях с маломощными источниками и при лабораторных исследованиях в цепях высокого напряжения. Совместно с электронными усилителями э/с вольтметры используют как высокочувствительные электрометры и вольтметры переменного тока.

## **18. Аналоговые электронные вольтметры.**

### **18.1. Общие сведения.**

Аналоговый электронный вольтметр – это измерительный прибор, представляющий собой сочетание электрического преобразователя, выполненного на полупроводниковых элементах, интегральных микросхемах и магнитоэлектрического измерителя.

Различают аналоговые электронные вольтметры постоянного и переменного импульсного токов.

Фазочувствительные, селективные, универсальные вольтметры используются для измерения напряжения в радиоэлектронных цепях.

Аналоговые электронные вольтметры постоянного тока по сравнению с магнитоэлектрическими вольтметрами имеют большое входное сопротивление порядка 30 МОм и высокую чувствительность.

Значение входного сопротивления неизменно при переключении пределов измерения.

Аналоговые электронные вольтметры состоят из следующих узлов:

- 1) входное устройство - высокоомный резистивный делитель напряжения.
- 2) электрический преобразователь – усилитель постоянного тока.
- 3) электромеханический преобразователь – магнитоэлектрический амперметр (микроамперметр)

Усилитель постоянного тока (УПТ) должен обладать высоко линейной амплитудной характеристикой, постоянством коэффициента усиления малым дрейфом нулевого уровня.

Линейность амплитудной характеристики обеспечивается правильным выбором режимов работы транзисторов и микросхем усилителя.

Отрицательная связь, образуемая в усилителе, повышает стабильность коэффициента усиления и повышает линейность амплитудной характеристики.

Для понижения дрейфа нулевого уровня кроме стабилизации питающих напряжений усилитель выполняют по мостовой балансовой схеме.

Расширение пределов измерения осуществляется с помощью делителя и сопротивления обратной связи.

**Аналоговые электронные вольтметры переменного тока строятся по следующим схемам:**

- 1) схема преобразования переменного напряжения в постоянное и дальнейшего усиления постоянного напряжения.
- 2) схема усиления переменного напряжения и дальнейшего преобразования переменного напряжения в постоянное.

Вольтметры, построенные по 1 схеме, характеризуются широким частотным диапазоном, но недостаточной чувствительностью.

Вольтметры, построенные по 2 схеме, характеризуются сравнительно узким частотным диапазоном, определяемым полосой пропускания усилителя постоянного тока.

Универсальные аналоговые электронные вольтметры, предназначенные для измерения в цепях постоянного и переменного токов, реализуются по схеме, включающей в себя два входных устройства, одно из которых предназначено для измерения в цепях переменного тока, а второе – в цепях постоянного тока.

Характеристики аналоговых электронных вольтметров и характер их шкал в основном определяются схемой электронного преобразователя (детекторы).

Различают преобразователи амплитудного, среднеквадратичного, средневывпрямленного значения, преобразующие переменное напряжение в постоянное, пропорциональное по уровню соответственно амплитудному средневывпрямленному и среднеквадратичному значениям измеряемого напряжения.

Вход преобразователей относительно постоянной составляющей может быть либо открытым, либо закрытым (с разделительным конденсатором)

По частотному диапазону аналоговые электронные вольтметры переменного тока делятся на низкочастотные, высокочастотные, сверхвысокочастотные.

## **18.2. Свойства аналоговых электронных вольтметров и особенности их включения**

Свойства электронных вольтметров определяются схемой входа, полным входным сопротивлением, схемой и характеристикой преобразователя, зависимостью показаний прибора от формы и частоты измеряемого напряжения, диапазоном измерений и погрешностью.

Измерительные преобразователи напряжения характеризуются:

- 1) полным диапазоном измерений преобразуемой величины.
- 2) частотным диапазоном.
- 3) основной и дополнительными погрешностями.

Погрешность обусловлена изменением неинформативных параметров, наличием методических погрешностей, нелинейностью функции преобразования, ограниченной точностью средств градуировки, воздействием дестабилизирующих факторов.

Входное сопротивление вольтметра состоит из активной и реактивной составляющих. Активная составляющая входного сопротивления зависит от схемы входа, от вида преобразователя, от типа применяемого линейного элемента, от вида используемого диэлектрика во входном конденсаторе.

Входная емкость электронного вольтметра обусловлена наличием емкости входных элементов токопроводящих проводников, а также межэлектродной емкостью входных нелинейных элементов.

На высоких частотах учитывается также входная индуктивность. С ростом входное сопротивление уменьшается, поскольку уменьшается сопротивление электрических потерь во входной емкости. Для понижения частотной погрешности измерения собственная частота входной цепи вольтметров должна быть в 5-10 раз выше частоты измеряемого вольтметром напряжения.

Поскольку входное напряжение определяет мощность потребления вольтметра, оно должно быть в 50-100 раз выше сопротивления участка цепи, к которому вольтметр подключается параллельно.

Для исключения погрешностей, вызываемых влиянием паразитных емкостей, клеммы эл. вольтметра и объекта измерения, соединенные с корпусом должны быть соединены вместе и закреплены.

По пределам измерения напряжений вольтметр выбирают так, чтобы нижний предел обеспечивал достаточно высокую чувствительность, а верхний позволял по возможности обходиться без всяких усилителей напряжения.

Шкалы большинства вольтметров независимо от типов преобразователя градуируют в среднеквадратичных значениях синусоидального сигнала на



частоте 50 Гц. Поэтому градуировка справедлива только для измерения сигналов в синусоидальной форме.

По сравнению с эл. механическими вольтметрами **аналоговые электронные вольтметры имеют следующие достоинства:**

- 1) Широкий частотный диапазон измеряемого напряжения.
- 2) Слабую зависимость показаний от частоты измеряемого напряжения в рабочем диапазоне частот.
- 3) Высокую чувствительность, практически постоянную в рабочем диапазоне частот.
- 4) Широкий динамический диапазон.

**К недостаткам аналоговых электронных вольтметров относят:**

- 1) Сравнительно большая основная погрешность (2,5-4 %) , обусловленная влиянием смены отдельных элементов на градуировку вольтметров.
- 2) Частотная погрешность.
- 3) Необходимость вспомогательных источников питания.

### 18.3. Основные узлы аналоговых электронных вольтметров переменного тока

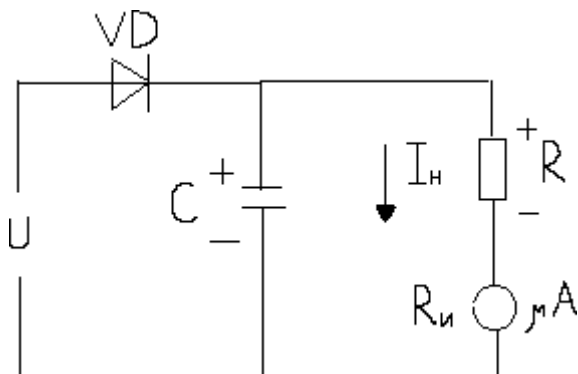
В зависимости от амплитудного и частотного значений измеряемого напряжения входное устройство представляет собой либо высокоомный вход преобразователя, либо резистивный делитель, либо резистивно-конденсаторный делитель.

#### Преобразователи амплитудного значения.

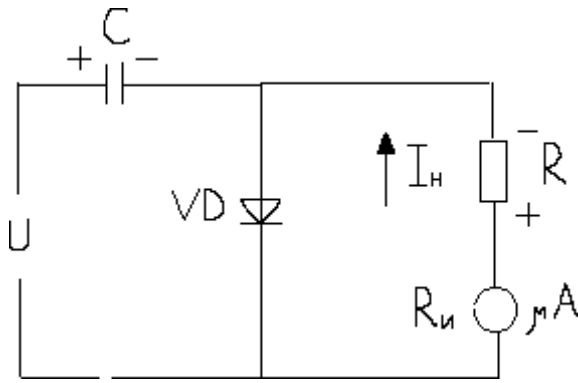
В таких преобразователях показания  $\alpha$  микроамперметра пропорциональны амплитудному значению измеряемого напряжения  $U(t)$  , т.е.

$$\alpha = k * U_{\max}$$

**a)**



б)



на рис. а), б) приведены преобразователи амплитудного значения с открытым и закрытым входами соответственно.

Рис. а): Параметры преобразователя подобраны так, что при первой положительной полуволне измеряемого напряжения  $U(t) = U_{\max} \sin(\omega t)$  большим импульсом тока  $i_d$  через открытый диод  $VD$  сопротивлением  $R_{пр}$  осуществляется быстрый заряд конденсатора  $C$  до некоторого значения напряжения  $U_{c1}$  и медленный разряд на резистор  $R_i + R$  с момента, когда  $U(t) < U_{c1}$  и при отрицательной полуволне напряжения  $U(t)$ .

При второй положительной полуволне  $U(t) = U_{\max} \sin(\omega t)$  конденсатор вновь подзарядится до напряжения  $U_{c2} > U_{c1}$ . При значении постоянной разряда, много большем периода измеряемого напряжения, примерно через  $(3-4)T$  конденсатор зарядится до амплитудного значения измеряемого напряжения  $U_{\max}$ , т.е.  $U_c \approx U_{\max}$ . Показания амперметра определяются средним разрядным током  $I_{ср} = I_i = U_c / R = U_{\max} / R$ , пропорциональным амплитудному значению измеряемого напряжения.

Рис. б): Диод  $VD$  включен параллельно высокоомному резистору  $R$ .

При положительной полуволне измеряемого напряжения  $U(t) = U_{\max} \sin(\omega t)$  конденсатор  $C$  заряжается через диод  $VD$  сопротивлением  $R_{пр}$  приблизительно до амплитудного значения  $U_{\max}$ , а при отрицательной полуволне измеряемого напряжения диод  $VD$  будет заперт, поэтому заряженный конденсатор разряжается на резистор  $R$ , но не успевает разрядиться за период и напряжение на нем остается примерно равным  $U_{\max}$ .  $U_r = U(t) - U_c = U_{\max} \sin(\omega t) - U_{\max}$ . Микроамперметр в преобразователе амплитудного значения с закрытым входом реагирует только, но переменную составляющую  $U(t)$ .

### Преобразователи средневыпрямленного значения.

В преобразователях средневыпрямленного значения показания  $\alpha$  микроамперметра пропорциональны средневыпрямленному значению  $U_{ср.в.}$  измеряемого напряжения  $U(t)$ , т.е.

$$\alpha = k * U_{ср.в.}$$

Наиболее распространенные схемы-мостовые. Они работают следующим образом. Ток через микроамперметр протекает в одном и том же направлении в течение обоих полупериодов переменного напряжения.

При использовании линейного участка характеристики диода и при открытом входе показания микроамперметра пропорциональны средневывпрямленному значению измеряемого напряжения

$$U_{\text{ср.в.}} = 1/T \int |U(t)| dt$$

Если же вход преобразователя закрыт, то показания микроамперметра пропорциональны только средневывпрямленному значению переменной составляющей измеряемого напряжения.

## 19. Цифровые вольтметры

### 19.1. Цифровое кодирование.

Цифровой код- последовательность цифр, подчиняющаяся особому закону, с помощью которого условно отображают числовое значение измеряемой величины.

В основе использования цифровых кодов лежат различные системы исчисления. С точки зрения выполнения арифметических и логических операций удобной является десятичная система, поэтому результаты измерений во всех измерительных приборах выражают в десятичной системе.

В цифровых измерительных приборах в основном применяют устройства с двумя устойчивыми состояниями (реле), позволяющие осуществить кодирование в двоичной системе исчисления.

Система исчисления основана на представлении любого числа в виде суммы:

$$K := \sum_{i=0}^n K_i \cdot P^i$$

n-число разрядов

K-коэффициент

Р-основание системы исчисления равное целому числу использованных в системе знаков.

## 19.2. Особенности построения цифровых вольтметров

Среди цифровых измерительных приборов особое место занимают цифровые вольтметры постоянного тока. В отличие от аналоговых приборов они содержат аналого-цифровой преобразователь (АЦП), на котором выполняются операции квантования по уровню и кодирование. Кроме того, в цифровой вольтметр входят устройства цифрового отсчета. Цифровые вольтметры классифицируют:

- 1) По способу преобразования непрерывной величины в дискретную.
- 2) По структурной схеме АЦП.
- 3) По способу уравнивания.

По способу преобразования различают цифровые вольтметры с кодоимпульсным, времяимпульсным и частотно - импульсным преобразованиями.

В цифровых вольтметрах с кодоимпульсным преобразованием происходит последовательное сравнение значений измеряемой величины рядом дискретных значений известной величины, изменяющейся по определенному закону.

Цифровой вольтметр с кодоимпульсным преобразованием называют также вольтметром поразрядного кодирования. В цифровых вольтметрах с времяимпульсным преобразованием измеряемая величина  $U_x$  преобразуется во временной интервал  $\delta t$  с последующим заполнением этого интервала импульсами  $N$  образцовой частоты, которые подсчитываются специальным счетчиком.

В цифровых вольтметрах с частотно-импульсным преобразованием измеряемое напряжение  $U_x$  преобразуется в частоту  $f$  исследования импульсов, которые подсчитываются, а определенный интервал времени цифровым счетчиком.

По структурной схеме аналого-цифровых преобразователей цифровые вольтметры делят на вольтметры прямого и уравнивающего преобразования. В вольтметрах прямого преобразования отсутствует обратная связь с выхода на вход, и непрерывная измеряемая величина непосредственно преобразуется в дискретную. В цепи прохождения сигнала имеется несколько преобразователей. Эти вольтметры отличаются относительно низкой точностью (из-за накопления погрешностей отдельных преобразователей), однако они могут обеспечить максимально возможное быстроедействие.

В вольтметрах уравнивающего преобразования обязательно есть обратная связь, т.е. входная величина в процессе преобразования уравнивается выходной, т.к. выходной величиной преобразователя является код, то обратный преобразователь – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

## **Библиографический список источников информации**

1. Измерительная информационная техника и метрология : лаб. практикум. В 5 ч. / В. А. Андрианов [и др.]; под общ. ред. Г. Н. Солопченко. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. Кнорринг В. Г.
2. Метрология, стандартизация, сертификация : учеб. пособие / В. Г. Кнорринг, М. Г. Марамзина. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 239 с.
3. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, метрологии, сертификации / Г. Д. Крылова. – М. : ЮНИТИ, 1999. – 711 с. Левшина Е. С.
4. Лифшиц И. М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации / И. М. Лифшиц. – М. : Юрайт, 2000. – 285 с.
5. Метрология и электро/радио измерения в телекоммуникационных системах / В.И. Нефедов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2001. – 383 с.