

## Приборы сравнения. Электронные измерительные приборы. Регистрирующие приборы. Цифровые приборы

1. Общие свойства приборов сравнения. Мосты постоянного тока. Мосты переменного тока.
2. Электронные измерительные приборы. Классификация. Электронные вольтметры. Электронные осциллографы.
3. Регистрирующие приборы.
4. Цифровые измерительные приборы.

1

Прибор сравнения – измерительный прибор, предназначенный для сравнения измеряемой величины с какой-то известной величиной. При этом измеряемую величину можно определить *двумя способами*:

- Отсчетом при полном уравнивании (компенсации) воздействия неизвестной величины ее мерой.
- По воздействию на прибор разности измеряемой величины и ее меры.

В зависимости от способа определения измеряемой величины приборы сравнения используются в **равновесном** и **неравновесном** режимах.

Воздействие на механизм прибора, работающего в *равновесном* режиме (рис. 1) измеряемой величины  $X$  полностью компенсируется воздействием меры  $M$ . Значение меры (или ее части), необходимое для компенсации измеряемой величины, определяют при помощи **отсчетного устройства ОУ**. Положение равновесия определяется при помощи **указателя равновесия УР**, в качестве которого используются *магнитоэлектрический гальванометр* или *электронный прибор*. Оба эти прибора должны иметь диапазон показаний равномерно слева и справа от начального значения шкалы.

При работе прибора сравнения в **неравновесном режиме** (рис.2) на измеритель И прибора одновременно воздействуют неизвестная величина  $X$  и мера  $M$ . Разность этих величин отражается на шкале отсчетного устройства ОУ. При этом прибор градуируется в единицах измеряемой величины.

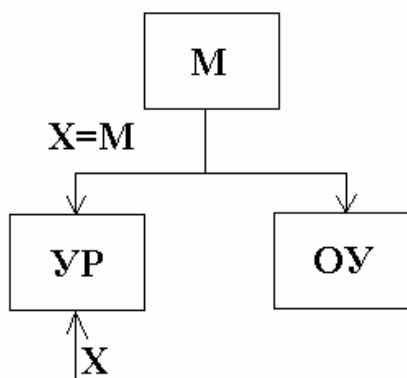


Рис. 1

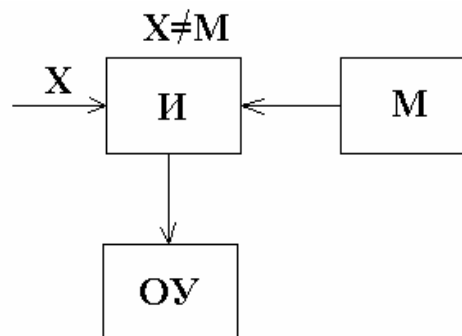


Рис. 2.

Приборы сравнения отличаются высокой точностью измерений и сложностью обслуживания. Их используют в качестве *мостов* и *компенсаторов* (потенциометров) для измерения электрических и неэлектрических величин.

Мосты постоянного тока бывают **одинарные** и **двойные**.

**Одинарный мост постоянного тока** – это четырехполюсник, составленный из активных резисторов.

В ветвь BD, так называемую **диагональ питания** включают источник питания G. Ветвь AC – **измерительная диагональ**. В нее включают **указатель равновесия P** – нуль-прибор. Четыре сопротивления, включенные в мост, образуют **плечи моста**. Резисторы  $R_1, R_2, R_3$  – **образцовые** (обычно регулируемые), а  $R_x$  – **измеряемый**.

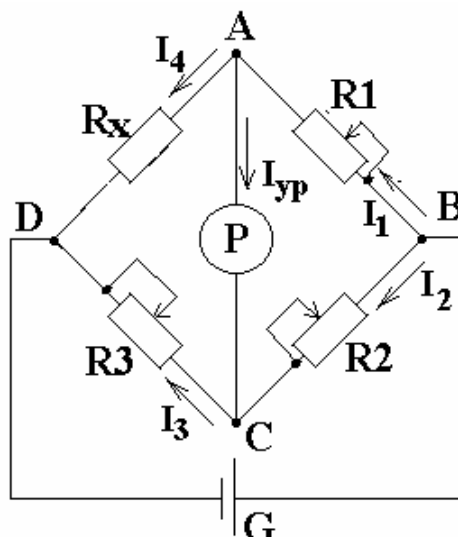


Рис.3

Схема работает следующим образом. При подаче питания через резисторы  $R_x, R_1 \dots R_3$  протекают токи  $I_1, I_2, I_3, I_4$ . Эти токи вызовут в резисторах

падение напряжений  $U_{DA}$ ,  $U_{BA}$ ,  $U_{DC}$ ,  $U_{BC}$ . Если эти падения напряжений будут разными, то потенциалы точек  $\varphi_A$ ,  $\varphi_B$ ,  $\varphi_C$ ,  $\varphi_D$  будут неодинаковыми, что вызовет протекание тока  $I_{ур}$  через указатель равновесия  $P$ . Такой режим моста называется **неравновесным**.

Если же  $U_{DA} = U_{DC}$  и  $U_{BA} = U_{BC}$ , то разность потенциалов на измерительной диагонали  $AC$  равна нулю (ток через указатель равновесия отсутствует). Такой режим моста называется **равновесным**.

Используя параметры схемы, представим полученные равенства в виде

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \qquad I_3 R_3 = I_4 R_4$$

По первому закону Кирхгофа при  $I_{ур}=0$

$$I_4 = I_1 \quad \text{и} \quad I_3 = I_2$$

Тогда 
$$I_1 R_X = I_2 R_3, \qquad I_1 R_1 = I_2 R_2$$

**Условие равновесия** моста постоянного тока определяется в результате деления полученных равенств

$$I_1 R_X / I_1 R_1 = I_2 R_3 / I_2 R_2 \quad \text{или} \quad R_X / R_1 = R_3 / R_2$$

Откуда 
$$R_1 R_3 = R_X R_2$$

Отсюда **измеряемое сопротивление** определится по формуле

$$R_X = R_1 R_3 / R_2$$

В реальном приборе для достижения равновесия изменяют сопротивление резистора  $R_1$ , либо соотношение резисторов  $R_3/R_2$ .

Кроме одинарных мостов используются также **двойные мосты** для измерения малых сопротивлений. Для измерения сопротивлений в широких диапазонах используются **одинарно-двойные мосты**.

**Мост переменного тока** представляет собой четырехполюсник, составленный из трех переменных комплексных сопротивлений и одного измеряемого (рис.4).

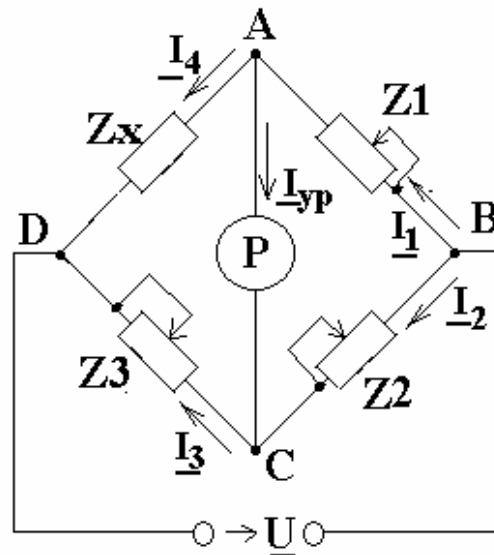


Рис.4

Мост питается от источника переменного тока промышленной частоты или же внутри прибора устанавливают генератор переменного тока с частотой 1...10кГц.

$$\text{При } I_{yp} = 0; \quad I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \\ \text{и } I_3 Z_3 = I_4 Z_x$$

По первому закону Кирхгофа аналогично мосту постоянного тока

$$I_4 = I_1 \quad \text{и} \quad I_3 = I_2; \quad I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \quad \text{и} \quad I_2 Z_3 = I_1 Z_x$$

Тогда **условие равновесия моста**

$$I_1 Z_1 / I_1 Z_x = I_2 Z_2 / I_2 Z_3 \Rightarrow Z_1 / Z_x = Z_2 Z_3 \\ Z_1 Z_3 = Z_2 Z_x$$

Следовательно

$$Z_x = Z_1 Z_3 / Z_2$$

На практике большое распространение получили мосты переменного тока, у которых в две ветви включены резисторы, а в две другие – реактивные элементы. Такая схема моста позволяет значительно упростить процесс его уравнивания. Например, мост для измерения индуктивностей содержит индуктивные и активные составляющие.

При помощи мостов переменного тока можно кроме индуктивностей измерять емкость, частоту, взаимную индуктивность, разные неэлектрические величины.

**Компенсаторы (потенциометры)** – приборы сравнения, в основу действия которых положен принцип компенсации ЭДС или напряжения и связанных с ними величин.

Различают компенсаторы **постоянного тока** и **переменного тока**.  
Данные приборы ИЗУЧИТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНО.

2

Одним из направлений совершенствования измерительной техники является разработка приборов с использованием элементной базы электроники. Измерительные приборы, в которых основными узлами являются электронные преобразователи и устройства, называются электронными. Выходными преобразователями в таких приборах являются магнитоэлектрические приборы или электронно-лучевые трубки (в осциллографах).

Электронные приборы имеют большие преимущества перед электромеханическими, такие, например, как значительное быстродействие, большой диапазон измерений, высокая точность.

Электронные приборы можно разделить на **несколько групп**:

- приборы для измерения параметров и характеристик электрических величин (вольтметры, частотомеры и т.д.);
- приборы для измерения параметров электрических цепей (омметры, измерители емкости и индуктивности и т.д.);
- источники электрических сигналов различного уровня (измерительные генераторы и т.д.).

В зависимости от измеряемой величины электронные приборы разделяют на **классы**:

- **В** - приборы для измерения напряжений;
- **Г** - измерительные генераторы и усилители;
- **Е** - приборы для измерения распределенных параметров электрических цепей (сопротивления, индуктивности, емкости и т.д.);
- **С** - приборы для наблюдения за формой сигналов и ее исследования (осциллографы);
- **Ч** – частотомеры;
- **Ф** – фазометры.

### Электронные вольтметры

Электронные вольтметры разделяют на вольтметры **постоянного и переменного** тока.

Рассмотрим структурную схему вольтметра постоянного тока (рис. 5).

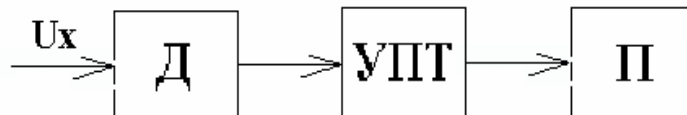


Рис. 5

Здесь измеряемое напряжение через делитель Д поступает на вход усилителя постоянного тока УПТ, на выходе которого включен магнитоэлектрический микроамперметр П.

Делитель напряжения служит для выбора диапазона измерения. Он собран из последовательно соединенных резисторов.

Усилитель предназначен для согласования сопротивлений делителя и измерительного механизма прибора.

Микроамперметр П проградуирован в единицах напряжения.

### Электронно-лучевые осциллографы

Это приборы, предназначенные для визуального наблюдения за процессами, изменяющимися во времени, и их регистрации. Устройство электронно-лучевого осциллографа подробно рассмотрено на лабораторном занятии.

3

Регистрирующие измерительные приборы предназначены для регистрации показаний, т.е. они позволяют не только определять значения измеряемых величин, но и регистрировать их характер во времени. Кроме того, при помощи регистрирующих приборов можно устанавливать функциональные связи между двумя или несколькими измеряемыми величинами.

По принципу преобразования измеряемых величин различают регистрирующие приборы **прямого действия** и **приборы сравнения**.

В зависимости от вида регистрирующего устройства и носителя информации, который используется в приборе, а также частотного диапазона регистрирующие приборы подразделяют на **самопишущие приборы, светолучевые осциллографы и магнитографы.**

Рассмотрим структурную схему регистрирующего прибора (рис.6). Здесь ИЦ – измерительная цепь, при помощи которой осуществляется выбор масштаба регистрации и преобразования измеряемой величины в пропорциональную силу тока для работы измерительного механизма ИМ. Измери-

тельный механизм преобразует силу тока в пропорциональное перемещение указателя отсчетного устройства ОУ и связанного с ним регистрирующего устройства РУ.

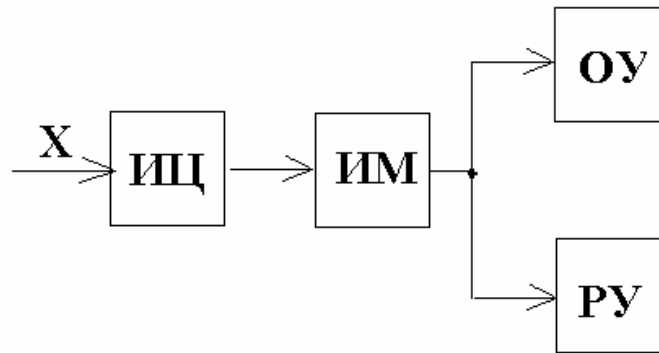


Рис.6

### Самопишущие приборы

**Самопишущим** называют прибор, в котором предусмотрена запись показаний в форме диаграммы. Устройство самопишущего прибора показано на рис.7.

Основной элемент самопишущего прибора – измерительный механизм с большим вращающим моментом для обеспечения перемещения указателя и возможности регистрации информации на бумажный носитель. Для перемещения носителя (бумажной ленты) служит лентопротяжный механизм.

Информация регистрируется на ленте в виде точек при помощи регистрирующего устройства, механически связанного с указателем отсчетного устройства.

В зависимости от конструкции этих устройств запись кривой изменения измеряемой величины может быть непрерывной (сплошной линией) и точечной.

В приборах с непрерывной записью график изменений измеряемой величины наносится на специальную диаграммную бумагу пером, связанным с подвижной частью измерительного механизма. Запись может осуществляться на бумажной ленте, диске или барабане при помощи специальных чернил и паст.

В приборах с точечной записью диаграммная лента перемещается точно так же, что и в предыдущем случае, но запись делается не пером, а специальным печатающим механизмом, который представляет собой специальную стрелку, которая надавливает на диаграммную бумагу через красящую ленту. Иногда применяется электроискровая запись на специальной бумаге, одна сторона которой металлизирована и имеет светлую окраску. Искра, образуемая импульсом высокого напряжения, выжигает на этой стороне узкую полосу.

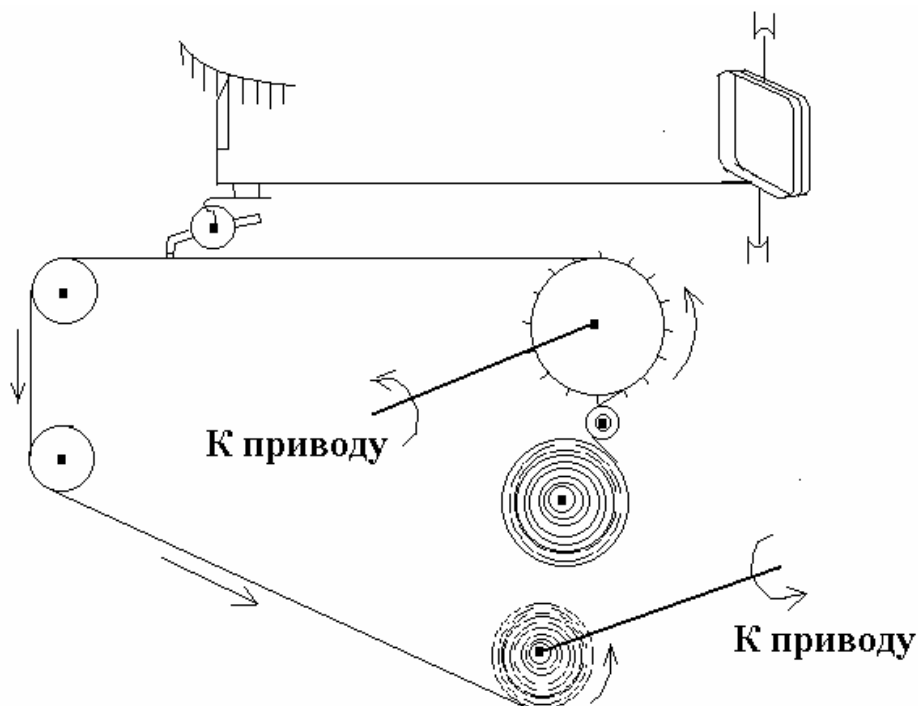


Рис.7

Измерительный механизм самопишущего прибора должен развивать большой вращающий момент, необходимый для преодоления сил трения в регистрирующем устройстве. Этому требованию наиболее удовлетворяют **магнитоэлектрические** и **электромагнитные** механизмы, получившие наибольшее распространение.

В **магнитоэлектрических приборах** увеличение вращающего момента и чувствительности измерительного механизма достигается за счет максимального использования энергии его постоянного магнита. Большое распространение получили магнитоэлектрические механизмы с **несимметричным расположением магнитов**.

В **электромагнитном механизме** применяются поляризованные устройства (рис.8). Механизм состоит из двух поляризующих **постоянных магнитов 1**, помещенных в **магнитопровод 2** с цилиндрическими наконечниками. Внутри магнитопровода помещен также **подвижный цилиндр 3** с выступами. Два обмотки управления **механизма 4** включены параллельно.

При подключении прибора в сеть возбуждаются два потока управления, которые, замыкаясь через подвижный сердечник, поляризуют его. В результате взаимодействия магнитного поля сердечника с полем постоянных магнитов создаются два вращающих момента, пропорциональные измеряемому току, которые перемещают сердечник до равенства вращающего и противодействующего моментов (создается спиральными пружинами).

Электромагнитные поляризованные механизмы по сравнению с магнитоэлектрическими имеют меньшие габариты и массу, но требуют дополнительных устройств для защиты от внешних магнитных полей.



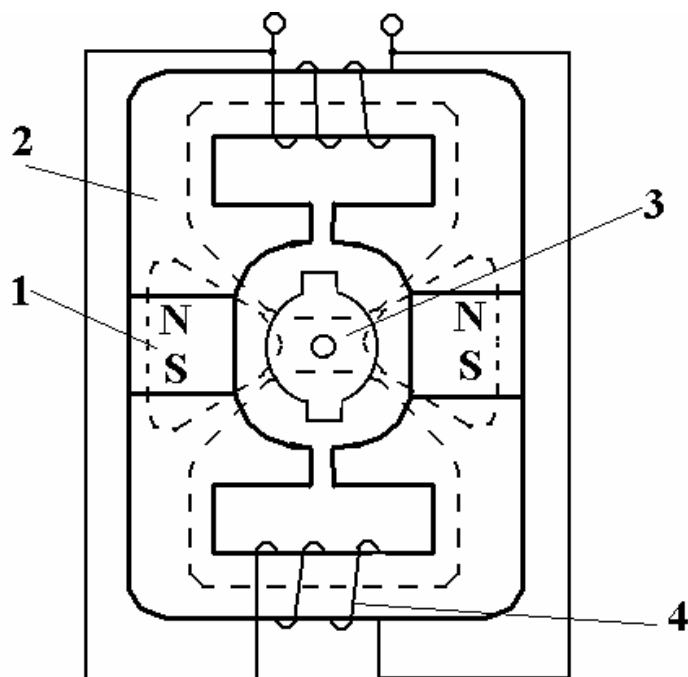


Рис.8

Современные самопишущие приборы могут быть **одноканальными** и **многоканальными**. Для расширения возможностей таких приборов используют быстродействующие аналого-цифровые преобразователи и микро-ЭВМ.

**В светолучевых осциллографах** регистрация осуществляется при помощи светового луча на светочувствительном носителе информации.

**Магнитографы** – регистрирующие устройства, в которых регистрация осуществляется на магнитный носитель, в качестве которого служит магнитная лента.

4

**Цифровой измерительный прибор** – прибор, автоматически вырабатывающий сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме. Такой прибор имеет существенные преимущества перед аналоговыми, так как существенно сокращает время на измерения (не надо высчитывать цену деления и т.д.). Кроме этого цифровые приборы имеют большую точность, они позволяют полностью автоматизировать процесс измерения и легко осуществить стыковку с ЭВМ. Действие цифровых приборов основано на преобразовании измеряемой аналоговой величины в соответствующую дискретную (числовую) с последующей индикацией результатов.

Структурная схема цифрового прибора представлена на рис.9

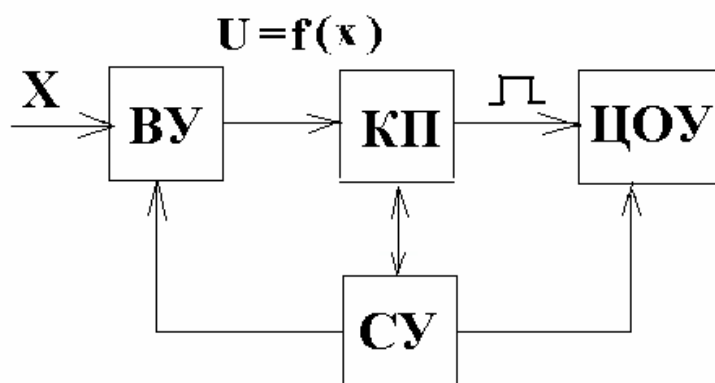


Рис.9

### Принцип действия такого прибора:

Измеряемая величина  $X$  поступает на входное устройство ВУ, где происходит масштабное преобразование, т.е. в вид, наиболее удобный для последующего преобразования. Затем преобразованный сигнал поступает на **аналого-цифровой (кодирующий) преобразователь КП**, где сигнал преобразуется в соответствующий код, который в десятичном виде индуцируется на **цифровом отсчетном устройстве ЦОУ**. Для получения всех управляющих сигналов в цифровом приборе предусмотрена **схема управления СУ**.

Основой всякого цифрового прибора служат **аналого-цифровые преобразователи** (АЦП, КП). Их строят с использованием различных методов преобразования. Наибольшее распространение получили методы **уравновешивания** и **интегрирования**.

**Метод уравновешивания** заключается в том, что происходит сравнение измеряемой величины с константой, изменяющей свое значение по заданной программе.

**Метод интегрирования** состоит в том, что измеряемая величина суммируется за определенный интервал времени.

В качестве отсчетных устройств в цифровых приборах используют **проекционные устройства** и различные **индикаторы**, причем последние получили в настоящее время большое распространение. Например, **неоновый индикатор (декатрон)** представляет собой электровакуумный или газонаполненный диод с одним анодом, выполненным в виде сетки и десятью катодами, выполненными в виде цифр от 0 до 9. При наличии разности потенциалов между анодом и соответствующим катодом происходит разряд и свечение газа вокруг катода, которое просматривается через стеклянную колбу лампы (рис.10).

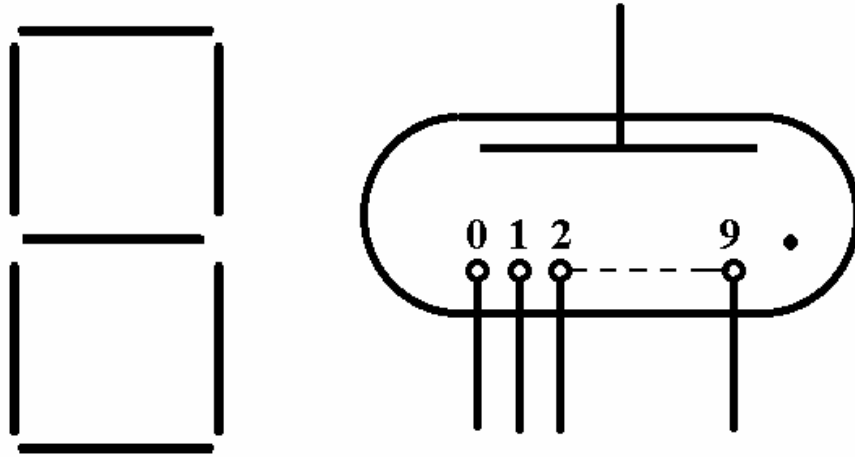


Рис.10

В качестве цифровых приборов наибольшее применение нашли: цифровые вольтметры, частотомеры, фазометры, мосты, комбинированные цифровые приборы и микропроцессорные цифровые приборы (вольтметры, частотомеры, осциллографы).

Структурная схема цифрового частотомера представлена на рис.11.

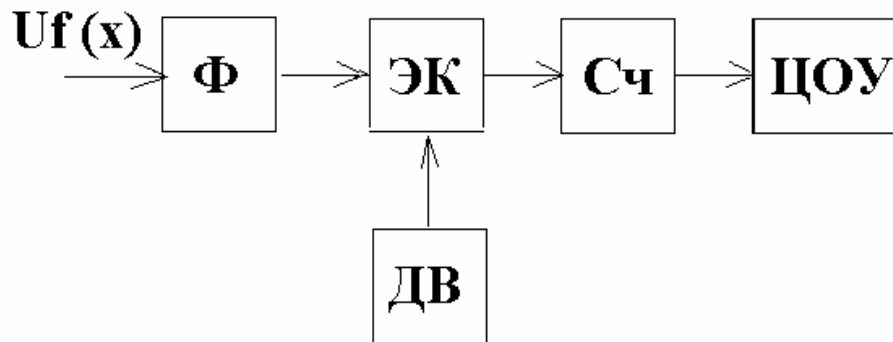


Рис. 11

В таких схемах используется частотно-импульсное преобразование. Напряжение известной частоты  $U_f(x)$  поступает на вход формирователя  $\Phi$ , где происходит преобразование его в импульсы прямоугольной формы и частоты, равной входной. Полученные импульсы подаются на вход электронного ключа  $\text{ЭК}$ , где сравниваются с импульсами, вырабатываемыми датчиком интервалов времени  $\text{ДВ}$ . Серия импульсов, полученных с входа электронного ключа, просчитывается счетчиком  $\text{Сч}$  и поступает на цифровое отсчетное устройство  $\text{ЦОУ}$ .

В качестве  $\text{ДВ}$  используется обычно высокочастотный генератор прямоугольных импульсов.

Большое распространение получили цифровые вольтметры постоянного тока. На рис.12 представлена структурная схема ЦВ с уравнивающим преобразованием.

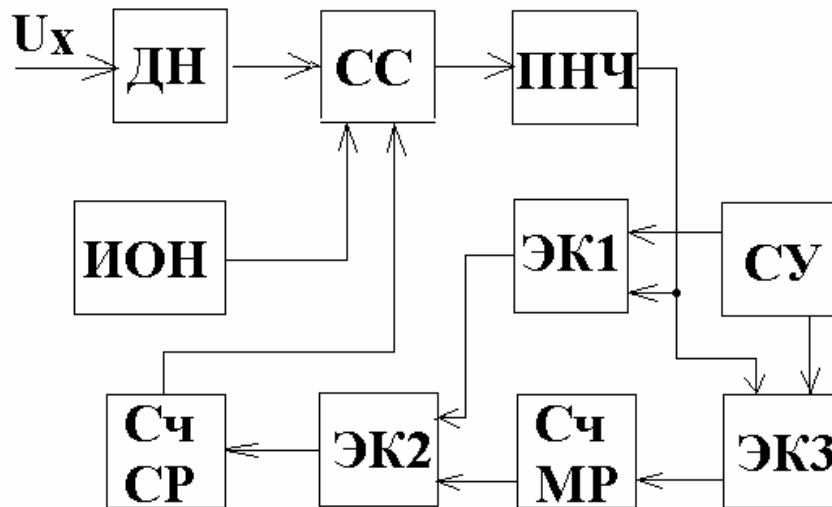


Рис. 12

Принцип действия: Измеряемое напряжение  $U_x$  через делитель напряжения ДН (для выбора диапазона измерений) поступает в схему сравнения СС. При наличии соответствующего напряжения ИОН (источник опорного напряжения) и при соответствующем состоянии счетчика старших разрядов СчСР схема управления выдает сигнал на преобразование напряжения в частоту ПНЧ. Если схема управления СУ откроет электронные ключи ЭК1 и ЭК2, фиксирующие состояние счетчика старших разрядов, то на выходе СчСР появится необходимый сигнал. Число, накопленное в старших разрядах счетчика, является результатом приближенного сравнения измеряемого напряжения и напряжения опорного. В схеме сравнения это число ( $U$ ) вычитается из измеряемого, а оставшаяся часть (разность) подвергается вторичной обработке и при открытом ключе ЭК3 подсчитывается младшими разрядами счетчика СчМР. После суммирования результатов сравнения схема управления выдает сигнал для индикации и цифровой индикатор (на рисунке не показан) воспроизводит соответствующее число.