

# ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.

К электроизмерительным приборам относятся приборы для измерения величины тока (амперметры), напряжения (вольтметры), мощности (ваттметры) и сопротивления (омметры) в цепях постоянного и переменного тока.

На панелях электроизмерительных приборов указываются их технические характеристики:

- 1) единицы измеряемых величин (табл. 1);
- 2) класс точности прибора;
- 3) система прибора (табл. 2);
- 4) наличие защиты измерительной цепи от магнитных или электрических полей и вид преобразователя (табл. 3);
- 5) рабочее положение прибора и испытательное напряжение изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу (табл. 4);
- 6) род тока и число фаз (табл. 5);
- 7) устойчивость к климатическим воздействиям.

Здесь могут быть также указаны внутреннее сопротивление измерительного механизма, ток, отклоняющий стрелку на всю шкалу прибора, падение напряжения на внутреннем сопротивлении, год изготовления и заводской номер.

Таблица 1

Обозначение единиц измеряемых величин на приборах.

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Ампер	A	Ом	$\Omega$
Килоампер	kA	Килоом	k $\Omega$
Миллиампер	mA	Магом	M $\Omega$
Микроампер	$\mu$ A	Миллиом	m $\Omega$
Вольт	V	Микроом	$\mu\Omega$
Киловольт	kV	Микрофарада	$\mu$ F
Милливольт	mV	Пикофарада	pF
Ватт	W	Генри	H
Киловатт	kW	Миллигенри	mH
Мегаватт	MW	Микрогенри	$\mu$ H
Мегавар	Mvar	Коэффициент реак-	SinY

Коэффициент мощности	$\cos\gamma$	тивной мощности	
----------------------	--------------	-----------------	--

По устойчивости к климатическим воздействиям электроизмерительные приборы делятся на группы А, Б, В. Приборы группы А предназначены для работы в сухих, отапливаемых помещениях, Б – в не отапливаемых помещениях, В – для работы в полевых или морских условиях.

Таблица 2.

Условные обозначения систем приборов

Тип прибора	Обозначение систем электроизмерительных приборов	
	С механическим противодействующим моментом	Без механического противодействующего момента
Магнитоэлектрический с подвижной рамкой		
Магнитоэлектрический с подвижным магнитом		
Электромагнитный		
Электродинамический		
Ферродинамический		
Индукционный		
Электростатический		—
Вибрационный		—
Тепловой		—
Биметаллический		—
Термоэлектрический		—

Таблица 3.

Обозначения, характеризующие вид преобразователя и наличие защиты измерительной цепи

НАИМЕНОВАНИЕ	ОБОЗНАЧЕНИЕ
Выпрямитель полупроводниковый	
Выпрямитель электромеханический	





Электронный преобразователь	
Термоэлектрический преобразователь	
Защита от внешних магнитных полей	
Защита от внешних электрических полей	

Таблица 4.

Обозначения, характеризующие рабочее положение приборов и прочность изоляции по отношению к корпусу







Наименование	Обозначение
Вертикальное положение	
Горизонтальное положение	
Наклонное положение	
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением (например, 2 кВ)	
Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи не соответствует нормам!	
Внимание! Смотри дополнительные указания в паспорте прибора.	

Таблица 5.

Род тока измеряемого прибором.

РОД ТОКА	ОБОЗНАЧЕНИЕ
Постоянный	—
Переменный	•
Переменный и постоянный	•
Трехфазный	•
Трехфазный с неравномерной нагрузкой фаз	•/

Кроме того, в соответствии с ГОСТом 1969 г., электроизмерительные приборы классифицируются также:

а) по положению нулевой отметки на шкале: с односторонней шкалой, с двусторонней симметричной шкалой и двусторонней несимметричной и безнулевой шкалой;

б) по количеству диапазонов измерений: однопредельные и многопредельные (несколькими диапазонами измерений);

в) по конструкции отсчетного устройства: со стрелочным, световым или вибрационным указателем, с подвижной шкалой, с пишущим устройством, с цифровой индикацией;

г) по характеру шкалы: с равномерной шкалой, с неравномерной шкалой, (степенной, логарифмической)

Как уже указывалось, электроизмерительные приборы встречаются со стрелочным и световым указателем и цифровой индикацией, в которых применяются электронные методы измерения и представления информации без преобразования ее в механическое движение. Стрелочный указатель представляет собой перемещающийся по шкале стрелку, жестко скрепленную с подвижной частью прибора. Световой способ отсчета заключается в следующем: на оси подвижной части закрепляется зеркальце, освещаемое специальным осветителем; луч света, отраженный от зеркальца, попадает на шкалу и отображается на ней в виде светового пятна с темной нитью посередине. Световой отсчет позволяет существенно увеличить чувствительность прибора, во-первых, вследствие того, что угол поворота отраженного луча вдвое больше угла поворота зеркальца, а во-вторых, потому, что длину луча можно сделать весьма большой.

На корпусе приборов как правило устанавливается **корректор** – приспособление, предназначенное для установки прибора в нулевое положение, и **арретир** - устройство, предназначенное для предохранения подвижной части прибора от повреждений при переноске, транспортировке и хранении.

## 2. ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.

### 2.1. Абсолютная погрешность. Относительная погрешность.

Важнейшей характеристикой электроизмерительного прибора является его погрешность. В качестве действительного значения измеряемой величины принимается величина, измеренная образцовым прибором. Разность между показанием образцового прибора  $a_0$  и показанием прибора  $a$ , которым определяется искомая величина, называется **абсолютной погрешностью**:  $Da = a_0 - a$ .

Точность измерения обычно характеризуются **относительной погрешностью**  $e$ , которая представляет собой отношение абсолютной максимальной погрешности к действительному значению измеряемой величины.

В большинстве случаев для характеристики электроизмерительных приборов пользуются **приведенной погрешностью**  $e_n$ . Приведенной погрешностью называется отношение максимальной абсолютной погрешности к предельному значению измеряемой величины:  $e_n = Da_{max} / a_{пред. max}$

Если прибор имеет двухстороннюю шкалу, то  $a_{пред.}$  определяется как  $a_1 + a_2 / 2$ , где  $a_1$  и  $a_2$  – значения максимального предела измерений слева и справа от нуля. Для приборов с безнулевой шкалой  $e_n = Da_{max} / a_2$ , где  $a_2$  – конечное значение рабочей части шкалы.

Необходимость введения приведенной ошибки объясняется тем, что даже при постоянстве абсолютной погрешности по всей шкале прибора относительная погрешность не остается постоянной. Рассмотрим пример:

Прибор предназначенный для измерения постоянного тока до 200 мА. Максимальная абсолютная погрешность прибора  $Da = \pm 3$  мА. Причем эта погрешность условно принимается постоянной для каждой точки шкалы прибора. Относительная же погрешность прибора изменяется, например, при измерении тока величиной 50 мА

$$e_1 = \frac{3 \text{ мА}}{50 \text{ мА}} * 100\% = 6\%;$$

при измерении тока величиной 100 мА

$$e_2 = \frac{3 \text{ мА}}{100 \text{ мА}} * 100\% = 3\%;$$

при измерении тока величиной 200 мА

$$e_3 = \frac{3 \text{ мА}}{200 \text{ мА}} * 100\% = 1,5\%.$$

То есть наибольшая относительная погрешность в первой части шкалы прибора. В связи с этим измерения рекомендуется проводить в третьей части шкалы прибора, то есть там, где относительная ошибка наименьшая.

## 2.2. Класс точности прибора.

Приведенная погрешность, выраженная в процентах, называется **классом точности** прибора:  $e_n = Da_{max} / a_{пред. max} * 100\%$ . Класс точности указывается на шкале прибора в одном из трех вариантов, например, для класса точности 1,5 возможны обозначения: 1,5; 1,5 и ~~1,5~~. Первые два обозначения следует читать так: приведенная погрешность не превышает 1,5%. Третий же вариант читается: приведенная погрешность не превышает 1,5% от длины шкалы прибора.

В настоящее время электроизмерительным приборам в соответствии со стандартом присвоено девять классов точности: 0,01; 0,02; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Приборы классов точности от 0,01 до 0,5 включительно называются прецизионными и используются для точных лабораторных исследований. Приборы классов точности от 1,0 до 4,0 включительно – технические, выше 4,0 – внеклассовые.

## 2.3. Чувствительность электроизмерительного прибора.

Важной характеристикой электроизмерительного прибора является **чувствительность**, которая характеризуется способностью прибора реагировать на изменение измеряемой величины. Оценивается она отношением изменения положения указателя на шкале к изменению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение:  $S = Db/Da$ , где  $b$  – угловое или линейное перемещение указателя измеряемая;  $a$  – измеряемая величина. Если шкала прибора равномерная, чувствительность будет постоянной

( $S=Const$ ). Если шкала не равномерная, чувствительность определяется для каждой точки шкалы:  $S_a=db/da$ . Величина, обратная чувствительности прибора, называется **постоянной прибора**:  $C=1/S=Da/Db$ . Порог чувствительности – такое изменение измеряемой величины, которое вызывает наименьшее изменение его показаний.

### 3. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ.

#### 3.1. Магнитоэлектрическая система.

Приборы этой системы предназначены для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. Схема отклоняющего механизма показана на рисунке 1.

Прямоугольная рамка с  $n$  витками изолированного провода (3), по которым проходит измеряемый ток  $J$ , находится в кольцевом зазоре.

За счет постоянного магнита с полюсным наконечником (4) и цилиндрического сердечника (6) в зазоре создается радиальное магнитное поле величиной  $\vec{B}$ . Рамка удерживается в зазоре и может вращаться за счет осей (1). При отсутствии тока, рамка, с прикрепленным к ней указателем (5) (стрелка или зеркальце), удерживается на нулевом делении шкалы двумя пружинами (2). В чувствительных приборах вместо осей и спиральных пружинок используются две ленточные растяжки. Измеряемый ток подводится к виткам через пружины и растяжки.

При протекании через витки измеряемого тока появляется вращающий рамку момент сил  $\dot{M}_2 = \dot{m} \times \dot{B}$ , где  $\dot{m} = nJ\dot{S}$  – магнитный момент рамки с током  $J$ , вектор  $\dot{S}$  численно равен площади витка и направлен перпендикулярно их плоскости (в нашей геометрии магнитного поля вектор  $\dot{S}$  перпендикулярен  $\vec{B}$  при любом повороте рамки),  $n$  – число витков в катушке. Угол поворота определяется равенством моментов  $M_1 = k_1 j$  – момент сил спиральных пружин и  $M_2 = k_2 J$  – момент сил, обусловленный протеканием тока в рамке. Угол  $j = \frac{k_2}{k_1} J = kJ$  пропорционален измеряемому току, в котором и градуируется шкала прибора.

Характер прихода рамки к равновесию определяется уравнением:

$$I\ddot{j} + b\dot{j} + k_1 j = M_2, \quad (1)$$

которое делением всех членов уравнения на  $I$  обычно приводится к виду:

$$\ddot{j} + 2g\dot{j} + w_0^2 j = \frac{M_2}{I}, \quad (2)$$

где  $I$  – момент инерции рамки с указателем,  $\frac{1}{g} = t$ ,  $t \approx 0,1$  с – характерное время затухания колебаний.  $bj$  – зависимость момента сил трения от угло-

вой скорости;  $M_2 = k_2 J$  - момент сил, обусловленный протеканием тока в рамке;  $w_0 = \sqrt{\frac{I}{k_1}}$  - частота собственных колебаний рамки в отсутствии сил трения. Решение этого уравнения дает следующую зависимость от времени угла поворота рамки :

$$j(t) = j_0 (1 - e^{-gt} \sin \Omega t). \quad (3)$$

Здесь  $\Omega = w_0 \sqrt{1 - \frac{1}{(w_0 t)^2}}$  - частота колебаний подвижной системы, при наличии трения.

При включении постоянного тока рамка приходит к равновесию в

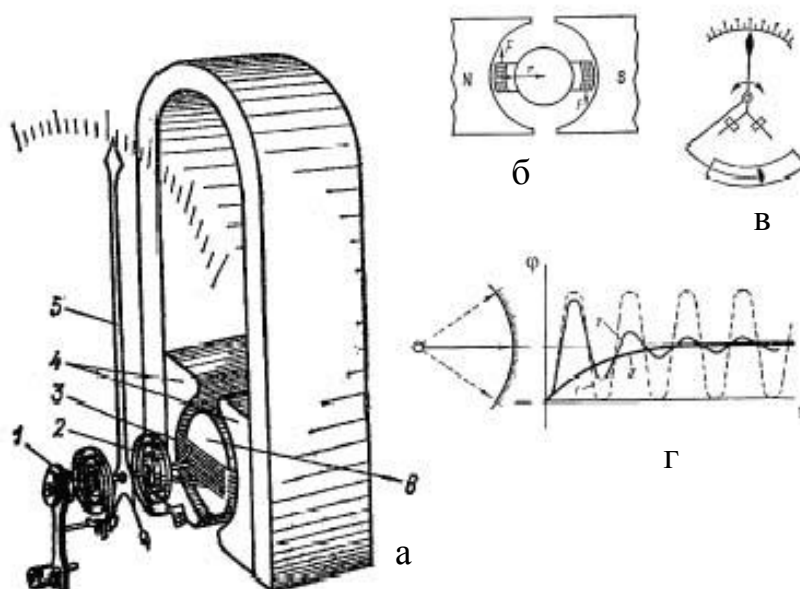


Рис.1. Магнитоэлектрический измерительный механизм с внешним магнитом

режиме затухающего колебательного процесса (рис.1г, кривая 2). Для сокращения времени установления равновесных показаний прибор конструируют так, чтобы частота колебаний подвижной системой стремилась к нулю и время прихода к равновесию было минимальным (рис.1г, кривая 3). Иногда для этого вводят специальные демпфирующие устройства: воздушные, электромагнитные (смотри рис.1в).

Если период колебаний тока  $T \ll t$ , постоянная составляющая вращающего момента пропорциональна среднему току:

$$j = k\bar{J} = k \frac{1}{T} \int_0^T J(t) dt. \quad (4)$$

При  $J = J_0 \sin wt$  среднее значение тока, а соответственно и  $j$ , равны нулю, т.е. при любой величине протекающего переменного тока показания прибора отсутствуют. Если период колебаний тока мал, т.е.  $T \gg t$ , стрелка

прибора будет колебаться с частотой  $\omega$ . Некоторые приборы магнитоэлектрической системы, имеющие на шкале рисунок диода, снабжены устройством, выпрямляющим ток – “детектором” и могут использоваться для измерения в цепях переменного тока.

Достоинствами магнитоэлектрических приборов являются высокая чувствительность – до  $3 \cdot 10^{-11}$  А, высокая точность – до 0,1%, малое потребление мощности – до  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  Вт, низкая чувствительность к внешним магнитным полям, равномерность шкалы.

Недостатки проявляются в сложности изготовления и ремонта, недопустимость перегрузок по току (отламываются стрелки, перегорают токоподводящие пружинки, растяжки, обмотка рамки). Об этих недостатках часто забывают студенты.

Обычно сопротивление обмотки рамки, выполняемой тонким проводом, составляет 100-1000 Ом, ток полного отклонения 0,1 – 1,0 мА и при непосредственном включении рамки в цепь прибор может использоваться в качестве микроамперметра, миллиамперметра или милливольтметра.

### 3.2. Электромагнитная система.

Работа гальванометров электромагнитной системы основана на эффекте втягивания железного сердечника катушкой, по которой проходит ток (рис. 2). Такой гальванометр состоит из неподвижной катушки 1 и железной пластинки 2, вращающейся вокруг оси, на которой закреплены удерживающая пластинку пружина и стрелка. При пропускании по катушке электрического тока любого направления железная катушка втягивается в катушку, поворачиваясь на своей оси и перемещая стрелку. Для уменьшения колебаний стрелки применяется “успокоитель” (демпфер), состоящий из цилиндра, в котором движется поршень 3, связанный с железной пластинкой. Электромагнитные приборы менее точны, чем магнитоэлектрические, но проще по конструкции.

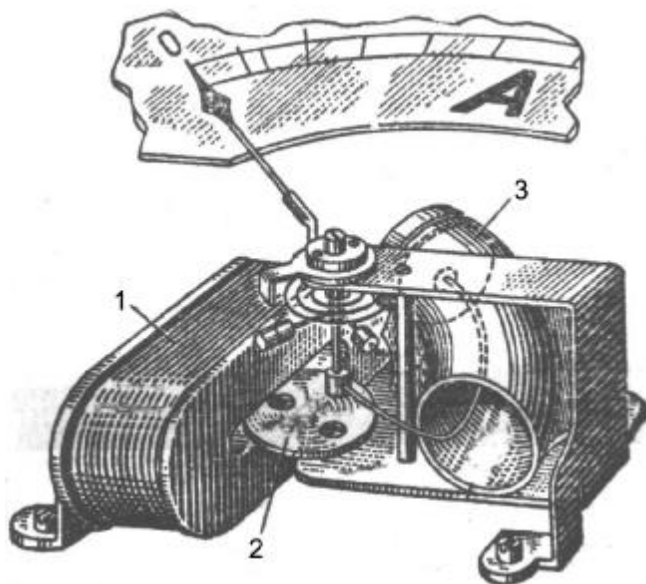


Рис. 2. Электромагнитная система.



Магнитное поле катушки пропорционально значению измеряемого тока. Поскольку намагничивание железной пластинки также пропорционально величине измеряемого тока, то момент пары сил, действующий на сердечник, равен:  $M = k_1 J^2$ , где  $k_1$  – коэффициент пропорциональности;  $J$  – ток в катушке. Противодействующий момент пружины при закручивании на угол  $\varphi$  равен:  $M_2 = k_2 j$ , где  $k_2$  – постоянная кручения пружины. Для состояния равновесия  $M_1 = M_2$ , откуда  $j \approx kJ^2$ . Вследствие квадратичной зависимости знак отклонения не зависит от направления тока, и, следовательно, приборы электромагнитной системы могут применяться в цепях как постоянного, так и переменного тока.

При протекании через катушку прибора переменного синусоидального тока отклонение стрелки будет определяться средним квадратом тока (шкала прибора размечается в единицах  $J_{эфф} = \sqrt{J^2}$  – так называемых эффективных или действующих значениях тока или напряжения). Для  $J = J_0 \sin \omega t$  эффективное значение тока равно:

$$J_{эфф} = \sqrt{\frac{1}{T} \int J_0^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{J_0}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Здесь  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .

К достоинствам приборов этой системы относится также простота конструкции, выносливость в отношении перегрузок, возможность измерения постоянных и переменных токов. Изменяя число витков и сечение провода обмотки легко изготовить приборы на разные токи полного отклонения (обычно от 100 мА до 100 А). Недостатками их являются неравномерность шкалы, меньшая точность по сравнению с магнитоэлектрическими приборами, зависимость показаний от внешних магнитных полей, поскольку собственное магнитное поле слабо, зависимость показаний от частоты. Полное сопротивление катушки  $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$  определяется ее активным сопротивлением  $R$  и индуктивностью  $L$  и зависит от частоты, поэтому величина тока через обмотку уменьшается с увеличением частоты, при неизменном напряжении  $J = U / \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ . Обычно приборы этого типа градуируют на частотах 50-400 Гц, когда активное сопротивление катушки много больше индуктивного. Эти частоты указываются на шкале прибора. Для защиты от внешних полей употребляются два способа – астатирование и экранирование.

В астатическом измерительном механизме на оси подвижной части укреплены два одинаковых сердечника, каждый из которых размещается в магнитном поле одной из катушек, включенных между собой последовательно. Направление обмоток выбрано так, что магнитные поля  $F_1$  и  $F_2$  катушек направлены навстречу друг другу. Ось подвижной части такого прибора будет находиться под действием суммы двух моментов, каждый

из которых создается одним из сердечников и действующей на него катушкой. Если такой измерительный механизм поместить в равномерное внешнее поле, то один из моментов, для которого направление собственного и возмущающего момента будут совпадать, увеличится, а второй, соответственно, уменьшится. Суммарный момент, действующий на ось, а следовательно, и показания прибора при этом не изменятся.

При магнитном экранировании измерительный механизм помещают внутри замкнутой оболочки из ферромагнитного материала с большой магнитной проницаемостью (чаще всего из пермаллоя). Для улучшения магнитной защиты иногда применяют экраны из двух или нескольких оболочек. Действие экрана состоит в том, что магнитные линии внешнего поля, стремясь пройти по пути с наименьшим магнитным сопротивлением, сгущаются внутри стенок экрана, почти не проникая во внутреннюю область.

### 3.3. Электродинамическая система.

Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии катушек, по которым проходит измеряемый ток (рис. 15). Внутри неподвижно закрепленной катушки 1 на оси может вращаться подвижная катушка 2, с которой жестко связана стрелка 3, перемещающаяся над шкалой. Противодействующий момент создается спиральными пружинами 4. Измеряемый ток проходит через обе катушки. В результате взаимодействия магнитного поля неподвижной катушки и тока в подвижной создается вращающий момент  $M_1 = k_1 J_1 J_2$ , под влиянием которого подвижная катушка будет стремиться повернуться так, чтобы плоскость ее витков стала параллельной плоскости витков неподвижной катушки, а их магнитные поля совпали бы по направлению. Этому противодействует пружина, вследствие чего подвижная катушка устанавливается в положение, когда вращающий момент  $M_2 = k_2 j = M_1$ ;  $k_1 J_1 J_2 = k_2 j$ . Тогда  $j = J_1 J_2 k_1 / k_2$ .

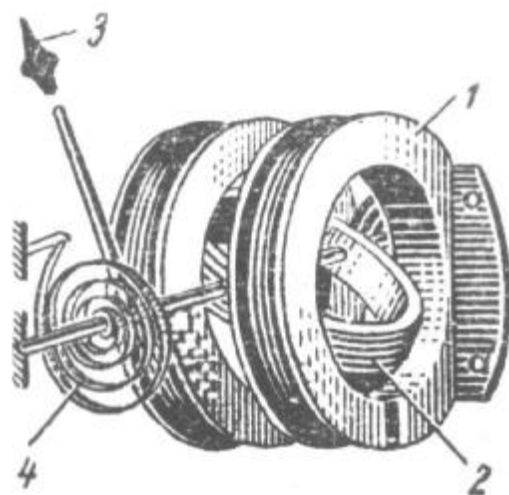


Рис. 3. Устройство гальванометра электродинамической системы

Катушки в электродинамических приборах в зависимости от назначения соединяются последовательно или параллельно. Если катушки прибора соединить параллельно, то он может быть использован как амперметр. Если же катушки соединить последовательно и присоединить к ним добавочное сопротивление, то он может быть использован как вольтметр. Если катушки соединены последовательно, то  $j = kJ^2$ .

Из приведенных выражений следует, что шкалы электродинамических приборов неравномерны. При перемене тока в обеих катушках направление вращающего момента не меняется, следовательно, приборы этой системы пригодны для измерения как постоянного, так и переменного тока. Достоинством приборов электродинамической системы является также их достаточная точность. Электродинамические амперметры и вольтметры применяются главным образом в качестве контрольных приборов для измерений в цепях постоянного и переменного тока. К недостаткам приборов этой системы относится неравномерность шкалы, большая чувствительность к перегрузкам, чувствительность к внешним магнитным полям.

### 3.4. Цифровые измерительные приборы

Основой цифрового **вольтметра** является аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В настоящее время имеется множество схемотехнических принципов построения АЦП, однако общим из них является сравнение измеряемой величины с набором эталонов. Основными характеристиками АЦП являются точность преобразования (число разрядов в выходном коде) и быстродействие. Можно условно разделить АЦП на два класса: последовательного счета, когда выходной код определяется равенством измеряемого напряжения с дискретно растущим эталонным напряжением и параллельного, когда сигнал сравнивается с набором эталонных напряжений. Для снижения влияния сетевых наводок часто используют АЦП интегрирующего типа, в которых сигнал усредняют за время кратное нескольким периодам наводки. Поскольку среднее значение синусоидального сигнала за период равно нулю это позволяет снизить влияние помех. Заметим, что это далеко не полный перечень типов АЦП.

На рис.4 представлена блок-схема простейшего АЦП, последовательного типа (шагом эталонного напряжения является изменение напряжения пины за один такт импульсного генератора).

В состав АЦП входят прецизионный генератор пилообразного напряжения, устройство сравнения, импульсный генератор и счетчик импульсов. Устройство сравнения выполняет роль управляемого ключа, через который импульсы с генератора поступают на вход счетчика. Измеряемое напряжение  $U_0$  и пилообразное напряжение  $U(t)$  подаются на устройство сравнения. Как только  $U(t)$  достигнет уровня измеряемого напряжения, устройство сравнения вырабатывает сигнал, который закрывает вход счетчика импульсов (начало счета синхронизировано с моментом времени, когда

$U(t) = 0$ ). Таким образом, число импульсов, сосчитанное счетчиком, оказывается однозначно связанным с измеряемым напряжением.

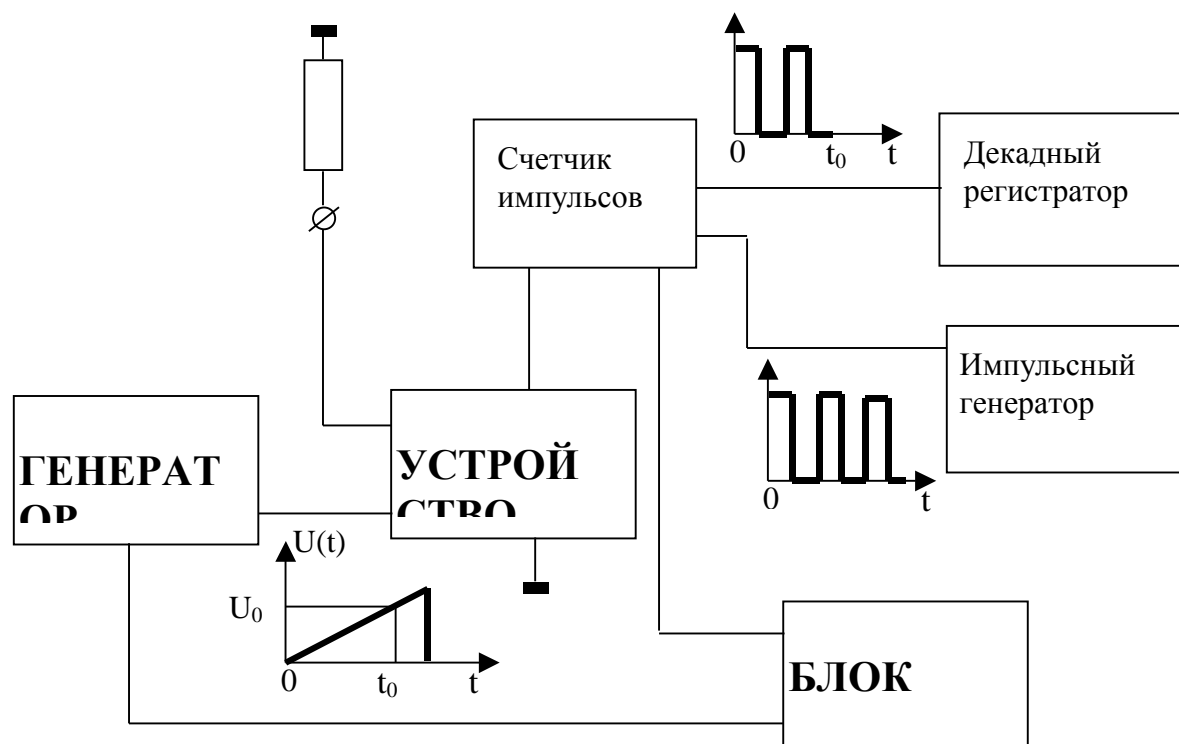


Рис.4. Блок-схема цифрового вольтметра.

Цифровой **амперметр** можно реализовать установив на входе цифрового вольтметра калиброванный резистор небольшой величины, через который протекает измеряемый ток. Падение напряжения на входном резисторе, пропорциональное протекающему току, измеряется цифровым вольтметром, табло которого соответствующим образом градуируется.

#### 4. ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИБОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

При подключении измерительного прибора к электрической цепи ее параметры в той или иной степени изменяются, что необходимо учитывать при проведении измерений. Основное требование к электроизмерительным приборам сводится к минимизации влияния прибора на параметры и режим работы объекта измерений.

##### 4.1. Измерение амперметром

Амперметр включается в электрическую цепь последовательно (в разрыв цепи) как показано на рисунке 5.

Ток в цепи до включения амперметра равен  $J = \frac{E}{R^*}$ , а при включении амперметра становится равен  $J' = \frac{E}{R^* + R_A}$ . Поэтому только при  $R_A \ll R^*$  амперметр не вносит заметных искажений ( $J' \approx J$ ).

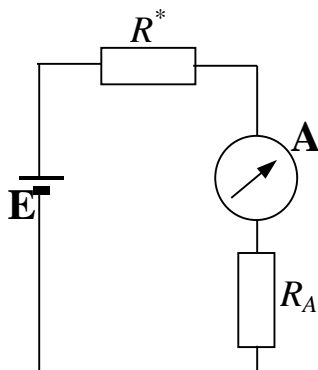


Рис. 5. Эквивалентная схема измерения тока амперметром.

$E$  – источник ЭДС;  $R^*$  – эквивалентное сопротивление цепи, включая внутреннее сопротивление источника ЭДС;  $A$  – измерительный механизм (“идеальный” амперметр с нулевым входным сопротивлением);  $R_A$  – входное (внутреннее) сопротивление амперметра.

## 4.2. Измерение вольтметром

Как видно из описания принципа действия приборов их измерительные механизмы реагируют либо на ток (в приборах магнитоэлектрической системы угол отклонения стрелки  $j \sim \bar{J}$ , в приборах электромагнитной системы  $j \sim \bar{J}^2$ ), либо на напряжение (в вольтметрах электростатической системы  $j \sim \bar{U}^2$ , в цифровых приборах показание пропорционально току, протекающему через входное сопротивление).

Системы, реагирующие на ток, могут использоваться и в качестве вольтметра. Для этого к измерительному механизму (обычно это микроамперметр с током полного отклонения 50-100 мкА) подключается последовательно большое добавочное сопротивление, тогда ток через прибор пропорционален напряжению, в единицах которого и градуируется шкала.

Рассмотрим, что происходит при подключении реального вольтметра к электрической цепи. До включения вольтметра падение напряжения на  $R$  равно:

$$U_{AB} = J \cdot R = \frac{E \cdot R}{R^* + R}$$

После включения вольтметра его внутреннее сопротивление  $R_V$  шунтирует  $R$  и показания вольтметра оказываются отличными от  $U_{AB}$ :

$$U'_{AB} = \frac{E \cdot \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}}{R^* + \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}}$$

Напряжения  $U_{AB}$  и  $U'_{AB}$  близки ( $U_{AB} \approx U'_{AB}$ ) только в том случае, если  $R_V \gg R$ . Следовательно, сопротивление вольтметра должно быть много больше сопротивления того участка цепи, к которому он подключен.

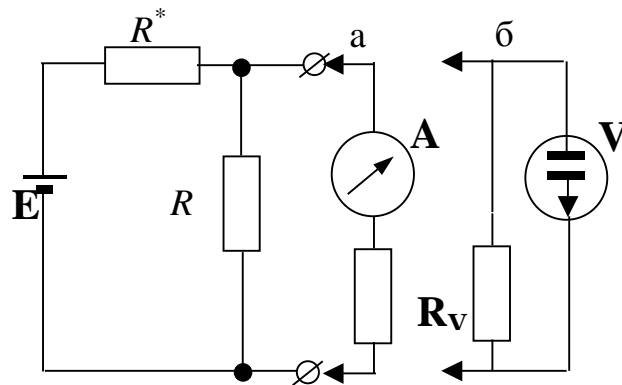


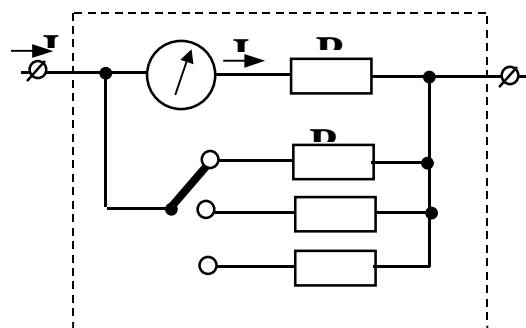
Рис. 6. Эквивалентная схема подключения реального вольтметра к цепи.

$E$  – источник ЭДС;  $R^*$  – эквивалентное сопротивление цепи, включая внутреннее сопротивление источника ЭДС;  $R$  – сопротивление участка цепи, на котором измеряется падение напряжения;  $R_V$  – внутреннее сопротивление вольтметра: **а** – реагирующего на ток, **б** – реагирующего на напряжение.

## 5. ИЗМЕНЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Часть измерительных приборов является многопредельными, тогда у соответствующего положения переключателя или клеммы указывается значение тока или напряжения при отклонении стрелки на всю шкалу.

В **амперметрах** изменение пределов достигается включением различных шунтов  $R_H$  (см. рис. 7, где  $R_A$  и  $R_H$  – сопротивления измерительной системы и шунта). При этом ток через прибор меньше тока  $J$  в цепи:



$$J_A = \frac{J}{1 + \frac{R_A}{R_H}}$$

Рис.7. Схема измерения тока многопредельным амперметром.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что называется классом точности прибора?
2. Что называется чувствительностью прибора?
3. Какие электроизмерительные приборы называются прецизионными переменного тока?
4. Могут ли приборы магнитоэлектрической системы употребляться для измерения переменного тока?
5. Какие приборы называются астатическими?
6. Объясните принцип действия приборов магнитоэлектрической системы, электродинамической, электромагнитной систем.
7. Каким знаком на панелях электроизмерительных приборов выполняется обозначение, указывающее, что прибор предназначен для работы в морских или полевых условиях, в сухих отапливаемых помещениях?
8. Что означает на приборах знак?
9. Для чего приборы высокого класса точности снабжаются зеркальной шкалой?
10. С какой целью используются в приборах корректор и арретир?
11. Можно ли считать, что абсолютная погрешность одинакова в любом месте шкалы прибора?
12. В какой части шкалы прибора измерения наиболее точные и почему?
13. Почему у приборов магнитоэлектрической системы равномерная шкала, а у приборов электромагнитной системы – неравномерная?
14. Как подразделяются приборы по конструкции отсчетного устройства?
15. Как подразделяются приборы по количеству диапазонов измерений?
16. Как обозначаются на панелях электроизмерительных приборов факт пригодности использования прибора для измерения в цепях трехфазного тока с равномерной нагрузкой фаз?
17. Объясните принцип действия термоэлектрического преобразователя.
18. От чего зависит величина отклонения стрелки амперметра, вольтметра, омметра?
19. В чем различие измерительных цепей амперметра и вольтметра?
20. Какое сопротивление называется шунтирующим? Приведите формулу для расчета сопротивления шунта к амперметру.
21. В каких случаях амперметры включаются в измерительную цепь без шунтов, вольтметры – без добавочных сопротивлений?
22. В каких случаях применяются наружные и внутренние шунты?
23. Какие шунты называют многопредельными?

24. Приведите формулу расчета добавочного сопротивления к вольтметру.
25. Нарисуйте схему многопредельного вольтметра.
26. Что значит проградуировать электроизмерительный прибор?
27. Как построить градуировочную кривую/ градуировочный график/ электроизмерительного прибора?
28. Исходя из вида градуировочного графика, определите, к какой системе относится электроизмерительный механизм прибора?