



УКРАИНА
Коллективное предприятие МИКРОЛ

УТВЕРЖДЕНО
на заседании
технического совета
КП МИКРОЛ

27.01.2003 г.

СОГЛАСОВАНО
Главный инженер
КП МИКРОЛ

_____ Р. Й. Слободян

24.01.2003 г.

ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ И НАСТРОЙКЕ
Виды и методы измерений. Погрешности измерений

Инструкция

ПРМК.400000.001 И1

<http://www.microl.com.ua>
e-mail: support@microl.com.ua

TN-001_Metrology
Rev.1.05, 29.11.2004

Разработал
Главный конструктор
КП МИКРОЛ

_____ А. Ю. Симановский

21.01.2003 г.

г. Ивано-Франковск
2003

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
УКАЗАНИЯ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ	2
1 ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ И НАСТРОЙКЕ	3
1.1 Основные понятия об измерительной технике	3
1.2 Виды и методы измерений	4
1.3 Погрешности измерений	4
1.4 Обработка результатов измерений	7
2 ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА	10
2.1 Измерительная аппаратура для регулировки и настройки. Классификация, обозначение	10
2.2 Классы точности средств измерений	11
2.3 Основные характеристики измерительных приборов	12
2.4 Требования, предъявляемые к выбору измерительных приборов	13
2.5 Особенности выбора измерительных приборов	14
ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ	16

ВВЕДЕНИЕ

Данная инструкция предназначена для наладчиков электронного оборудования, персонала испытательной лаборатории, персонала отдела технического контроля в части использования измерительной техники и оборудования, проведения и обработки измерений.

Инструкция содержит информацию по измерениям при регулировке и настройке, основные понятия об измерительной технике, понятия видов и методов измерений, классификацию погрешностей измерений, а также информацию по обработке результатов измерений.

Раздел «Измерительная аппаратура» содержит информацию по классификации и обозначениям измерительного оборудования, классам точности средств измерений, основным характеристикам измерительных приборов, также представлены требования, предъявляемые к выбору измерительных приборов и особенности выбора измерительных приборов.

УКАЗАНИЯ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

Наладчики электронного оборудования при производстве работ **обязаны выполнять требования безопасности**, изложенные в инструкции по охране труда и технике безопасности, действующей на предприятии, разработанной с учетом действующих строительных норм и правил Украины, Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей, а также требований инструкций заводов-изготовителей по эксплуатации применяемого оборудования, приспособлений, механизированного инструмента, технологической оснастки и средств защиты, применяемых в процессе работы.

Ивл. № докум.				
Подп. и дата				
Взамен ивл. №				
Ивл. № дубл.				
Подп. и дата				

					ПРМК.400000.001 И1			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ И НАСТРОЙКЕ Виды и методы измерений. Погрешности измерений Инструкция	Лит.	Лист	Листов
						2	16	
Разработал		Симановский				КП МИКРОЛ		
Проверил		Слободян						
Реценз.								
Н. контр.		Симановский						
Утверд.		Демчина						

1 ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ И НАСТРОЙКЕ

1.1 Основные понятия об измерительной технике

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

1.1.2 **Средства измерений** - это технические средства, которые имеют нормированные метрологические характеристики. При этом значение физической величины, отсчитываемое по отсчетному устройству средства измерения, строго соответствует определенному количеству физических единиц, принятых в качестве единиц измерения.

К средствам измерения относятся:

- мера,
- измерительные приборы,
- измерительные преобразователи,
- измерительные системы,
- установки, комплексы.

1.1.3 **Мера** - это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Меры бывают *однозначные и многозначные*. К однозначным мерам относятся катушки сопротивления, катушки индуктивности, нормальные элементы и др.; к многозначным - магазины сопротивлений, конденсаторы переменной емкости, калибраторы напряжения и тока и др.

1.1.4 **Измерительный прибор** - средство измерений, предназначенное для выдачи количественной информации об измеряемой величине в доступной для восприятия форме.

По способу отсчета значений измеряемой величины измерительные приборы делятся на *аналоговые и цифровые*. В аналоговых измерительных приборах значение измеряемой величины определяется непосредственно по шкале со стрелкой или другими указателями. В цифровых измерительных приборах значение измеряемой величины определяется по цифровому индикатору прибора.

Измерительные приборы разделяют на показывающие и регистрирующие. Показывающие измерительные приборы предназначены для отсчитывания результата измерений в аналоговой или цифровой форме, регистрирующие - для регистрации результата измерения.

1.1.5 **Измерительный преобразователь** - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но неподдающейся непосредственному восприятию, К измерительным преобразователям относятся делители напряжения, усилители, измерительные трансформаторы и др.

1.1.6 **По метрологическому назначению средства измерений делятся на:**

- эталоны,
- образцовые,
- рабочие.

Рабочие средства измерений применяются для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Образцовые средства измерений предназначены для передачи размера единиц от эталонов к рабочим средствам измерения, то есть служат для их поверки.

Эталон - средство измерений, обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины для передачи ее размера средствами измерения, нижестоящим по поверочной схеме.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата	Изн. № докум.	Лист	ПРМК.400000.001 И1	Лист

1.2 Виды и методы измерений

В зависимости от получения результата - непосредственно в процессе измерения или после измерения путем последующих расчетов - различают *прямые, косвенные и совокупные измерения*.

1.2.1 Прямые измерения - измерения, при которых искомое значение физической величины определяется непосредственно из опытных данных. Например, определение значения протекающего тока в цепи при помощи амперметра.

1.2.2 Косвенные измерения - измерения, при которых измеряется не сама физическая величина, а величина, функционально связанная с ней. Измеряемая величина определяется на основе прямых измерений величины, функционально связанной с измеряемой, с последующим расчетом на основе известной функциональной зависимости. Например, измерение мощности постоянного тока при помощи амперметра и вольтметра с последующим расчетом мощности по известной зависимости $P = V \cdot I$.

1.2.3 Совокупные измерения - измерения нескольких однородных величин, на основании которых значения искомой величины находят путем решения системы уравнений.

Сущность измерения физических величин измерительными приборами заключается в сравнении (сопоставлении) их с однородной физической величиной, принятой за единицу. И прежде, чем производить измерения, необходимо в зависимости от требуемой точности и от наличия измерительных приборов выбрать соответствующий метод измерения.

1.2.4 Метод измерения - совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Измерения производятся одним из двух методов: методом непосредственной оценки или методом сравнения с мерой.

1.2.5 Метод непосредственной оценки - метод, при котором значение искомой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора. Пример метода непосредственной оценки - измерение тока амперметром.

1.2.6 Метод сравнения с мерой - метод измерения, при котором измеряемую искомую величину сравнивают с однородной величиной, воспроизводимой мерой. Метод сравнения с мерой имеет ряд разновидностей: *дифференциальный метод, нулевой метод, метод замещения* и др. При дифференциальном методе на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой и образцовой величинами, воспроизводимой мерой. Чем меньше разность, тем точнее результат. Предельным случаем дифференциального метода является нулевой метод, при котором разность доводится до нуля. При использовании метода замещения, измеряемая величина замещается известной величиной, воспроизводимой мерой. При этом замещение измеряемой величины производят так, что никаких измерений в схеме не происходит, то есть показания прибора будут одинаковы в обоих случаях.

1.3 Погрешности измерений

Результат измерений физической величины всегда отличается от истинного значения на некоторую величину, которая называется погрешностью. Классификация погрешностей в зависимости от источника возникновения, условий проведения измерений, характера проявления измеряемой величины во времени и способа ее выражения приведена на рис. 1.1.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						4

1.3.4 **Основная погрешность** - погрешность, возникающая в нормальных условиях применения средства измерения (температура, влажность, напряжение питания и др.), которые нормируются и указываются в стандартах или технических условиях.

1.3.5 **Дополнительная погрешность** обуславливается отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормального значения. Например, изменение температуры окружающей среды, изменение влажности, колебания напряжения питающей сети. Значение дополнительной погрешности нормируется и указывается в технической документации на средства измерения.

Дополнительная погрешность от воздействия влияющей величины – это изменение оцененной статической функции преобразования, которое вызвано отклонением одной из влияющих величин от установленного при нормальных условиях номинального значения или номинального диапазона, причем все другие влияющие величины сохраняют свое номинальное значение или свой номинальный диапазон.

1.3.6 **Систематическая погрешность** - постоянная или закономерно изменяющаяся погрешность при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях измерения. Например, погрешность, возникающая при измерении сопротивления ампервольтметром, обусловленная разрядом батареи питания.

Систематическая составляющая основной погрешности при одном и том же значении информативного параметра входного сигнала в неизменных условиях применения остается постоянной или изменяется настолько медленно, что ее изменениями за время измерения можно пренебречь, или изменяется по определенному закону, если условия меняются.

1.3.7 **Случайная погрешность** - погрешность измерения, характер изменения которой при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях случайный. Например, погрешность отсчета при нескольких повторных измерениях.

1.3.8 **Грубая погрешность** (промах) - погрешность измерения, которая существенно превышает ожидаемую в данных измерениях.

1.3.9 **Статическая погрешность** - погрешность при измерении постоянной по времени величины. Например, погрешность измерения неизменного за время измерения напряжения постоянного тока.

1.3.10 **Динамическая погрешность** - погрешность измерения изменяющейся во времени величины. Например, погрешность измерения коммутируемого напряжения постоянного тока, обусловленная переходными процессами при коммутации, а также ограниченным быстродействием измерительного прибора.

1.3.11 **Абсолютная погрешность измерения Δ** - разность между *результатом измерения X* и *истинным значением X_0* измеряемой величины:

$$\Delta = X - X_0. \quad (1)$$

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины.

1.3.12 **Относительная погрешность измерения δ** - отношение *абсолютной погрешности измерения Δ* к *истинному значению* измеряемой величины X_0 :

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} = \frac{X - X_0}{X_0} * 100\%. \quad (2)$$

Относительная погрешность - безразмерная величина. Поскольку *истинное значение* измеряемой величины X_0 неизвестно, то практически используют *действительное значение* измеряемой величины X_d , и тогда погрешность определяется как разность между измеренным X и действительным значением X_d :

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						6

$$\Delta = X - X_{\text{д}}. \quad (3)$$

Действительное значение находят экспериментально, путем применения более точных методов и средств измерений. Обычно за действительное значение принимают показания образцовых средств измерения.

Значение относительной погрешности δ на практике определяется как отношение абсолютной погрешности к действительному значению:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} = \frac{X - X_{\text{д}}}{X_{\text{д}}} * 100\%. \quad (4)$$

1.3.13 **Приведенная погрешность измерения γ** - это отношение абсолютной погрешности Δ к нормирующему значению X_N :

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} * 100\%. \quad (5)$$

Нормирующее значение X_N - это установленное значение ширины диапазона или определенное значение, к которому относится выражение значения характеристики.

Нормирующее значение X_N принимается равным:

- 1) $X_N = X_{100\%}$ - конечному значению диапазона измерений - для приборов с односторонней шкалой;
- 2) $X_N = X_{100\%} + X_{0\%}$ - сумме конечных значений диапазона измерений - для приборов с двухсторонней шкалой;
- 3) $X_N = X_{100\%} - X_{0\%}$ - разности конечного и начального значений диапазона - для приборов с безнулевой шкалой.

При логарифмическом, гиперболическом и степенном характере шкалы прибора приведенную погрешность выражают в процентах от длины шкалы.

1.4 Обработка результатов измерений

Результат измерения, под которым понимают значение величины, определенное при ее измерении, получают после соответственной обработки результатов наблюдений: определяют систематическую составляющую погрешности и исключают промахи. Систематическую составляющую исключают путем введения поправки $\Delta П$. Значение поправки равно абсолютной систематической погрешности Δ , взятой с противоположным знаком:

$$\Delta П = - \Delta. \quad (6)$$

С учетом поправки результат измерения принимает значение:

$$X = X_{\text{д}} + \Delta П. \quad (7)$$

Влияние случайной составляющей погрешности можно уменьшить многократным повторением одного и того же измерения в одинаковых условиях (с последующей обработкой результата методами математической статистики). Так как вероятность появления положительных и отрицательных случайных погрешностей одинакова, то за результат измерений при достаточно большом их количестве принимают среднее арифметическое $X_{\text{ср}}$ из всех полученных результатов $X_1, X_2, X_3, \dots X_N$:

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						7

$$X_{CP} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N}, \quad (8)$$

где N - количество измерений.

Случайную погрешность единичного измерения характеризуют среднеквадратичной погрешностью σ , которая равна:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(X_1 - X_{CP})^2 + (X_2 - X_{CP})^2 + \dots + (X_N - X_{CP})^2}}{N - 1}. \quad (9)$$

При этом максимальная случайная погрешность M равна:

$$M = \pm 3 \sigma. \quad (10)$$

С учетом систематической и случайной составляющих погрешности границы возможных значений измеряемой величины определяются следующими выражениями:

$$X = X_{CP} \pm (\Delta + 2 \sigma) \quad - \text{с вероятностью } 95,0\%. \quad (11)$$

$$X = X_{CP} \pm (\Delta + 3 \sigma) \quad - \text{с вероятностью } 99,7\%. \quad (12)$$

При обработке результатов косвенных измерений, если искомая измеряемая величина X равна произведению нескольких величин, измеренных прямым методом:

$$X = A^K * B^M * C^N, \quad (13)$$

где K, M, N - постоянные числа,
то предельная относительная погрешность косвенного измерения определяется следующим выражением:

$$\bar{\delta}_X = |K * \bar{\delta}_A| + |M * \bar{\delta}_B| + |N * \bar{\delta}_C| + \dots \quad (14)$$

Например, при определении мощности по известной формуле:

$$P = I^2 * R \quad (X=P; A=I; B=R; K=2; M=1), \quad (15)$$

относительная погрешность равна:

$$\bar{\delta}_P = 2 \bar{\delta}_I + \bar{\delta}_R. \quad (16)$$

При обработке косвенных измерений, если измеряемая величина X равна сумме (разности) нескольких однородных величин $X=X_1 \pm X_2 \pm \dots$, предельная относительная погрешность определяется выражением:

$$\bar{\delta}_X = \frac{|X_1 * \bar{\delta}_1| + |X_2 * \bar{\delta}_2| + \dots}{X}. \quad (17)$$

В результате обработки результатов наблюдений получаем числовое значение измеряемой искомой величины. Полученное значение погрешности измерения позволяет оценить числовые значения, которые являются достоверными.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						8

Существуют следующие правила округления результатов обработки:

1. В значении погрешности удерживается не более двух значащих цифр, причем последняя цифра округляется обычно до нуля или пяти.

2. Числовое значение результата измерений должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности. Пример: $235,732 \pm 0,15$ округляется до $235,73 \pm 0,15$.

3. Если первая из отбрасываемых цифр меньше пяти, то остающиеся цифры не изменяются. Пример: $442,741 \pm 0,4$ округляется до $442,7 \pm 0,4$.

4. Если первая из отбрасываемых цифр больше или равна пяти и за ней следует значащая цифра, то последняя остающаяся цифра увеличивается на единицу. Пример: $37,268 \pm 0,5$ округляется до $37,3 \pm 0,5$; $37,252 \pm 0,5$ округляется до $37,3 \pm 0,5$.

5. Если первая из отбрасываемых цифр равна пяти и за ней не следует значащих цифр, то округление производится до ближайшего четного. Пример: $21,35 \pm 0,2$ округляется до $21,4 \pm 0,2$; $21,45 \pm 0,2$ округляется до $21,4 \pm 0,2$; $21,55 \pm 0,2$ округляется до $21,6 \pm 0,2$.

Последнее правило затрудняет обработку результатов измерений при помощи ПЭВМ. В связи с этим, если первая из отбрасываемых цифр равна пяти, предлагается увеличивать последнюю из оставшихся цифр на единицу.

Инв. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПРМК.400000.001 И1					Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

2 ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

2.1 Измерительная аппаратура для регулировки и настройки. Классификация, обозначение

Для регулировочно-настроечных работ используется стендовая, сервисная, стандартная электро- и радиоизмерительная аппаратура.

2.1.1 **Стендовая аппаратура** включает источники питания, измерительные приборы, устройства коммутации, контроля и сигнализации.

2.1.2 **Регулировочный стенд**, как правило, полностью или частично имитирует работу регулируемого узла, блока в приборе, комплексе.

2.1.3 **Сервисная аппаратура** предназначена для регулировочно-настроечных работ в условиях эксплуатации аппаратуры. Это ее основное назначение, но она с успехом применяется для регулировочно-настроечных работ в условиях производства аппаратуры. Сервисная аппаратура - ряд самостоятельных, конструктивно законченных переносных многофункциональных приборов и блоков.

2.1.4 **Стандартную измерительную аппаратуру** можно разделить на две группы приборов - *электроизмерительные* и *радиоизмерительные*.

2.1.4.1 **Электроизмерительные приборы** предназначены для измерений на постоянном токе и в области низких частот (20...2500 Гц) (измерений токов, напряжений, электрических мощностей, частот, фазовых сдвигов, сопротивлений, емкостей и других величин, характеризующих режим работы электрических цепей и параметры их элементов).

2.1.4.2 **Радиоизмерительные приборы** применяются для измерения разнообразных электрических и радиотехнических величин и параметров, как на постоянном токе, так и в широкой полосе низких, высоких и сверхвысоких частот, для исследования и наблюдения характеристик радиоэлектронных устройств, формы сигналов, а также для генерирования сигналов, как синусоидальной формы, так и специальной.

2.1.5 Электро- и радиоизмерительные приборы получают свое *наименование* в соответствии с видом, родом и предельным значением измеряемых величин. Например, приборы для измерения напряжения. В зависимости от предела измерения различают милливольтметры, вольтметры или киловольтметры; универсальный прибор для измерения напряжения, сопротивления и емкости называют вольтфарадоомметром (тип Р385).

2.1.6 *По принципу действия* электроизмерительные приборы разделяются на подгруппы:

- магнитоэлектрические М;
- электромагнитные Э;
- электродинамические, ферродинамические Д;
- индукционные И;
- электростатические С;
- самопишущие Н;
- термоэлектрические Т;
- электронные, фотоэлектронные, фотокомпенсационные, цифровые Ф;
- выпрямительные, комбинированные Ц;
- меры, измерительные преобразователи, приборы для измерения параметров элементов электрических цепей: потенциометры постоянного и переменного токов, омметры, микрофарадоомметры и др. Р.

Обозначение большинства радиоизмерительных приборов состоит из буквы, характеризующей принцип действия, и числа, определяющего вид и тип прибора.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен изн. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата
---------------	--------------	---------------	--------------	--------------

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						10

2.2 Классы точности средств измерений

2.2.1 **Класс точности** - это обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющих на их точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

2.2.2 **Пределы допускаемых основной и дополнительных погрешностей** средств измерений устанавливаются в виде абсолютных, относительных и приведенных погрешностей или в виде определенного числа делений.

Пределы допускаемой основной погрешности - это установленные для нормальных условий экстремальные (наибольшие и наименьшие) отклонения значений номинальной статической функции преобразования, при заданной доверительной вероятности, расположенные симметрично по обе стороны от этой функции.

Пределы допускаемой основной погрешности содержат случайную и систематическую составляющие погрешности.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности - это наибольшее и наименьшее допускаемые значения дополнительной погрешности.

1) Если для средств измерений предел допускаемых погрешностей установлен в виде определенного числа делений или в виде абсолютных погрешностей и выражается одним значением:

$$\Delta_d = \pm a. \quad (18)$$

или двухчленной формулой:

$$\Delta_d = \pm(a + b \cdot X), \quad (19)$$

где a, b - постоянные величины, X - номинальное или измеренное значение,

то для данных средств измерений присваивается класс точности, обозначенный порядковым номером, причем больший порядковый номер указывает на больший предел допускаемых погрешностей.

Пример обозначения для 3-го класса точности - Кл. 3.

2) Если для средств измерений предел допускаемых погрешностей установлен в виде относительных погрешностей δ в процентах от значения измеряемой величины X и выражается одним числом C по формуле:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} * 100 = \pm C, \quad (20)$$

то для данных средств измерений класс точности обозначается ©.

Пример обозначения для $\delta = 0,2\%$ - (0,2).

3) Если для средств измерений предел допускаемых погрешностей установлен в виде относительных погрешностей δ в процентах от значения измеряемой величины X по двухчленной формуле:

$$\delta = \pm [c + d * (|\frac{X_k}{X} - 1|)], \%, \quad (21)$$

где c, d - постоянные числа, X_k - наибольшее из конечных значений диапазона измерений или диапазона значений сигнала на входе, то для данных средств измерений класс точности обозначается c/d .

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						11

Пример обозначения для:

$$\delta = \pm [0,05 - 0,02 * (|\frac{X_k}{X} - 1|)] - 0,05/0,02.$$

Если для средств измерений предел допускаемых погрешностей установлен в виде приведенной погрешности в процентах от нормирующего значения X_N , определенного в единицах измеряемой величины по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} * 100\%, \quad (22)$$

то класс точности обозначается - γ . Пример обозначения $\gamma = \pm 1,5\% - 1,5$.

Если для средств измерения предел допускаемых погрешностей установлен в виде приведенной погрешности γ в процентах от нормирующего значения X_N , определенного длиной шкалы, по формуле:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} * 100\%, \quad (23)$$

то класс точности обозначается - V . Пример обозначения для $\gamma = \pm 0,2\% - V$.

Для средств измерений, применяемых в акустике, светотехнике и электронике, отсчетные устройства которых градуированы в децибелах, других логарифмических единицах (белах, неперах и др.), пределы допускаемых погрешностей выражают в соответствующих логарифмических единицах, а в обозначении класса точности указывается величина предела и размерность.

Пример обозначения для $\Delta = 2\text{дБ} - \text{Кл. } 2\text{дБ}$.

2.3 Основные характеристики измерительных приборов

Применение электро- и радиоизмерительных приборов определяется их характеристиками, основными из которых являются: диапазон измерений, диапазон рабочих частот, чувствительность, точность, стабильность, входное или выходное сопротивление, потребляемая мощность и др.

Диапазон измерений - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений. Средства измерений обычно многопредельны, то есть диапазон измерений разбивается на поддиапазоны. Например, для вольтметра В7-16 диапазон измерения напряжения постоянного тока ($10^{-4} \dots 999,9\text{В}$) разбит на поддиапазоны $10^{-4} \dots 0,9999\text{В}$; $10^{-3} \dots 9,999\text{В}$; $10^{-2} \dots 99,99\text{В}$; $10^{-1} \dots 999,9\text{В}$.

Диапазон частот - область рабочих частот средства измерений, в пределах которой нормированы допускаемые погрешности. Например, для вольтметра В7-16 диапазон частот напряжения переменного тока на поддиапазоне 1В равен 20Гц...10кГц при измерении напряжений низкой частоты и 10 кГц...100 кГц при измерении напряжений высокой частоты.

Точность средства измерения - качество, характеризующее диапазон, в пределах которого находятся составляющие погрешности измерения, обусловленные применением данного средства, то есть чем меньше погрешность средства, тем оно точнее, что в конечном результате уменьшает погрешность измерения. Точность средства измерения определяет его класс точности.

Входное сопротивление средства измерения характеризует мощность, отбираемую от источника сигнала при измерении. Чем больше входное сопротивление, тем меньше влияет на характеристики источника сигнала средство измерения, тем выше точность измерений.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						12

Выходное сопротивление характеризует величину выходной мощности сигнала измерительного устройства, потребляемую объектом испытания. При равенстве выходного сопротивления измерительного устройства и входного сопротивления объекта испытания мощность отдаваемого сигнала максимальна.

Цена деления шкалы - это разность значений величины, соответствующая двум соседним отметкам шкалы. Для цифровых измерительных приборов цена деления постоянна и определяет минимально возможную разрешающую способность прибора.

Разрешающая способность измерительного прибора - наименьшее различимое прибором изменение измеряемой величины. Для цифровых измерительных приборов обычно изменение цифрового отсчета на единицу младшего разряда.

Чувствительность средства измерения - это отношение изменения отсчета к вызывающему его изменению измеряемой величины. Для осциллографов чувствительность указывает значение отклонения луча при соответствующем ему изменению входного сигнала на входе канала.

Время установления (время успокоения) характеризует быстроту измерений прибора со стрелочным индикатором и другими электромеханическими индикаторами. Для цифровых измерительных приборов быстрота измерений характеризуется быстродействием, которое определяется максимальным интервалом времени, необходимым для одного полного цикла измерения с заданной погрешностью.

Стабильность средства измерения - качество, отражающее неизменность его параметров (обычно точностных) во времени. Чем выше стабильность электронного измерительного прибора, тем реже в процессе измерений необходимо проводить установку нуля и калибровку, что способствует увеличению производительности, уменьшает погрешность измерения.

Габаритные размеры, масса, потребляемая мощность - характеристики средств измерений, не влияющие на точность измерения, но от их значений зависит организация рабочего места, производительность, стоимость проводимых работ.

2.4 Требования, предъявляемые к выбору измерительных приборов

Измерительные приборы в зависимости от области применения должны соответствовать определенным требованиям.

Наиболее общие из них следующие:

- *пределы измерений прибора* должны охватывать все необходимые значения измеряемой величины. Наиболее полно данному требованию удовлетворяют многопредельные приборы;

- *класс точности измерительного прибора* (его основные и дополнительные погрешности) должен соответствовать решаемой при измерении задаче. Для отыскания неисправностей при ремонте и проверке функционирования изделия допустимы относительные погрешности до 5%. При окончательной регулировке изделия и его проверке значения относительных погрешностей должны быть в три-пять раз меньше, чем регулируемого или проверяемого изделия;

- *измерительные приборы*, предназначенные для измерения режима электрических цепей и параметров сигналов, *не должны влиять на работу исследуемого изделия*;

- *измерительные приборы* должны удовлетворять требованиям эргономики, техники безопасности, то есть управление прибором - простое и удобное (при минимальном количестве органов управления), снятие показаний производится непосредственно со шкалы прибора без использования переводных таблиц, расчетных формул, графиков.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист 13

2.5 Особенности выбора измерительных приборов

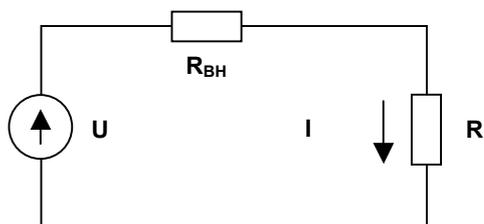
Измерительные приборы включают в электрическую цепь последовательно или параллельно.

Последовательно включают измерительные приборы при измерении тока, мощности (включение токовой катушки ваттметра) и др.

Приборы включают *параллельно* электрическим цепям, когда измеряют напряжение, исследуют форму сигналов осциллографом.

Для уменьшения влияния на работу исследуемого изделия при включении измерительного прибора последовательно в электрическую цепь внутреннее (выходное) сопротивление прибора должно быть намного меньше сопротивления участка цепи между точками включения измерительного прибора.

Так, при измерении постоянного тока I , протекающего в цепи с сопротивлением R , амперметром с внутренним сопротивлением $R_{вн}$ (рис. 2.1) возникает погрешность, обусловленная конечным значением равная:



$$\delta = \frac{R_{вн}}{R_{вн} + R} * 100, \% \quad (24)$$

Рис.2.1 – Эквивалентная схема измерения тока

При $R_{вн}/R \leq 1/100$ значение δ не превышает 1%.

Погрешность измерения тем меньше, чем меньше значение $R_{вн}$. Поэтому амперметр, включаемый последовательно в электрическую цепь, должен обладать минимальным значением $R_{вн}$. При этом его влияние на работу схемы минимально.

Для уменьшения влияния на работу исследуемого изделия измерительные приборы, включаемые параллельно цепям, должны иметь входное сопротивление, во много раз превышающее сопротивление цепи между точками подсоединения.

Так, при измерении напряжения U вольтметром с входным сопротивлением $R_{вх}$ возникают дополнительные погрешности вследствие конечного значения $R_{вх}$ и выходного сопротивления участка измеряемой цепи $R_{вых}$.

При измерениях вольтметром необходимо учитывать его шунтирующее действие. Так как схемы на электровакуумных приборах более высокоомны, чем транзисторные, то при измерениях в ламповых схемах входное сопротивление измерительного прибора должно быть намного больше, чем входное сопротивление прибора при измерении напряжения в транзисторных схемах.

При измерениях напряжения необходимо использовать вольтметры с большим входным сопротивлением.

Для измерений напряжения синусоидальной формы необходимо применять вольтметры с соответствующей областью рабочих частот. Если вольтметр предназначен для применения в расширенной области частот, то он, как правило, снабжается таблицами или графиками поправочных коэффициентов.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						14

При измерениях в цепях переменного тока необходимо учитывать влияние на измеряемую цепь и реактивной составляющей входного сопротивления вольтметра. Наиболее часто реактивная составляющая имеет емкостный характер. При этом входная цепь вольтметра эквивалентна параллельному соединению активного сопротивления и конденсатора. Поэтому при измерениях резонансные цепи могут быть расстроены входной емкостью вольтметра, а их добротность снижена из-за шунтирующего действия активной составляющей входной цепи вольтметра. Чтобы снизить влияние входной емкости вольтметра на резонансную цепь, необходимо подключать вольтметр через дополнительный конденсатор. Тогда действительное значение напряжения в резонансной цепи приблизительно равно:

$$U = U_{\text{пр}} * \left(1 + \frac{C_{\text{вх}}}{C_{\text{доп}}}\right), \quad (25)$$

где: $U_{\text{пр}}$ – показания прибора, $C_{\text{вх}}$ – входная емкость вольтметра; $C_{\text{доп}}$ – емкость дополнительного конденсатора, которую выбирают равной 1...2 пФ. При этом должно соблюдаться условие:

$$2 * \pi * f * C_{\text{вх}} \geq 1/R_{\text{вх}}, \quad (26)$$

где f – частота измеряемого напряжения; $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление прибора.

Для исследований формы сигналов в регулировочно-настроечных работах широко применяют осциллографические методы измерений электронным осциллографом. Входные цепи осциллографов обладают как активной, так и реактивной (емкостной) составляющими, что в некоторых случаях может привести к нарушению работоспособности схемы, к дополнительным погрешностям, аналогично, как и при измерениях вольтметром. Для увеличения входного сопротивления и уменьшения входной емкости осциллографы, как правило, снабжаются выносными делителями.

Обычно входное сопротивление осциллографов $R_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$, входная емкость $C_{\text{вх}} = 20...40 \text{ пФ}$, а с учетом кабеля $C_{\text{вх}} = 100...150 \text{ пФ}$; с выносным делителем $R_{\text{вх}} = 10 \text{ МОм}$, а входная емкость $C_{\text{вх}} = 10 \text{ пФ}$. Для большинства случаев величины $R_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$, $C_{\text{вх}} = 150 \text{ пФ}$ достаточны, но при работе с интегральными микросхемами и полупроводниковыми приборами на основе МОП-структур величина $R_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$ бывает недостаточна, так как осциллограф шунтирует участки схем. Тогда необходимо использовать выносной делитель. Его используют при исследовании временных характеристик импульсных сигналов и параметров – резонансных цепей для уменьшения влияния входной емкости.

При проведении осциллографических измерений напряжений синусоидальных сигналов частотой f_c минимальной погрешностью необходимо, чтобы верхняя граничная частота пропускания осциллографа была в три-пять раз больше частоты сигнала:

$$f_B \geq (3...5) * f_c. \quad (27)$$

Обычно осциллографы предназначены для исследования сигналов как постоянного, так и переменного напряжений различной формы и имеют открытый и закрытый вход.

Необходимо помнить: если при измерениях исследуемый или испытательный сигналы вводятся в прибор (или выводятся из него) посредством резистивной, индуктивной или емкостной связи, то эта связь должна быть минимальной. Измерительные приборы, включаемые в согласованные цепи (генераторы, осциллографы и др.), должны иметь входные или выходные сопротивления требуемого номинального значения, которые обычно равны 50, 75, 300, 600 Ом.

Изн. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПРМК.400000.001 И1	Лист
						15

Лист регистрации изменений

Изменение	Номера листов			Всего листов в документе	№ документа	Входящий № сопровождающего документа и дата	Подпись	Дата
	Измененных	Замененных	Новых					

Инов. № докум.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПРМК.400000.001 И1