

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### 1. Основные понятия метрологии

*Метрология* – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

*Физическая величина* – свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Физическими величинами, например, являются напряжение, электрическая емкость, мощность.

*Значение физической величины* – оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

*Истинное значение физической величины* – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Так как истинное значение, как правило, неизвестно, то вводят понятие действительного значения физической величины.

*Действительное значение физической величины* – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

*Единица физической величины* – физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице.

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

*Результат измерения* – значение величины, найденное путем ее измерения.

*Погрешность результата измерения* – отклонение результата измерения  $x$  от истинного значения измеряемой величины  $X$ .

*Абсолютная погрешность измерения* – погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины:

$$\Delta x = x - X.$$

Вместо истинного значения  $X$  иногда берут действительное значение  $X_d$ :

$$\Delta x \approx x - X_d.$$

*Относительная погрешность измерения* – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$\delta_x = \Delta x / X \approx \Delta x / X_{\text{д.}}$$

Так как в большинстве случаев  $X \approx x$ , то относительную погрешность часто определяют по формуле

$$\delta_x \approx \Delta x / x.$$

*Точность измерений* – качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность измерений выражается значением, обратным модулю относительной погрешности:  $T = |\delta_x|^{-1}$ .

Если относительная погрешность  $\delta_x = 10^{-4}$ , то точность измерений будет  $T = 10^4$ .

*Приведенная погрешность средства измерений* – относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность  $\Delta x$  средства измерений отнесена к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или части диапазона. Так если предел измерений прибора на данном поддиапазоне  $X_N$ , то приведенная погрешность  $\gamma$ , %, определяется по формуле

$$\gamma = (\Delta x / X_N) 100.$$

*Принцип измерения* – совокупность физических явлений, положенных в основу измерений средства измерений.

*Метод измерения* – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

*Единство измерений* – такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений позволяет сопоставлять результаты измерений, выполненные с использованием различных методов и средств измерений в различных местах и в разное время.

Мероприятия по обеспечению единства и требуемой точности измерений установлены законодательно.

## 2. Классификация погрешностей измерений

По характеру выражения погрешности подразделяются на абсолютные и относительные.

По характеру проявления погрешности можно подразделить на систематические и случайные.

*Систематическая погрешность* – это составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

В ряде случаев систематические погрешности можно предсказать, рассчитать или даже измерить, а затем учесть путем введения поправки в результат измерения.

*Случайная погрешность* – составляющая погрешности результата измерения случайно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Такие погрешности нельзя заранее учесть и ввести в виде поправки. Эти погрешности вызваны совместным действием ряда причин, носящих случайный характер: внутренними шумами измерительных приборов, наводками на входные цепи, пульсациями напряжения питания и т. д.

Таким образом, погрешность измерения можно представить в виде суммы систематической  $\theta$  и случайной  $\varepsilon$  погрешностей

$$\Delta = \theta + \varepsilon.$$

Наряду с перечисленными погрешностями могут возникать также грубые погрешности и промахи.

*Грубая погрешность* – это погрешность, существенно превышающая ожидаемое значение погрешности. Они могут возникать при возникновении скачков питающего напряжения. Эти погрешности исключают из дальнейшего рассмотрения.

*Промах* – погрешность, обусловленная неправильными действиями оператора, возникающими, например, при настройке прибора перед измерениями или при считывании результата измерения. Промахи тоже исключают из рассмотрения.

Выделяют также следующие составляющие погрешности: инструментальную, методическую и субъективную.

*Методическая погрешность*  $\Delta_M$  – это составляющая систематической погрешности, связанная с несовершенством принятого метода измерения.

На рис. П2.1 представлена схема генератора с внутренним сопротивлением  $R_i$  и ЭДС  $E$ , запитывающего нагрузку  $R_H$ , через которую течет ток  $I$ .

Для измерения этого тока последовательно с нагрузкой включают амперметр  $A$ , сопротивление которого равно  $R_A$  (рис. П2.1). Ток в цепи при этом изменяется на значение  $I'$ . Возникающая в то же время погрешность измерения равна

$$\Delta I = I - I' = E/(R_i + R_H + R_A) - E/(R_i + R_H).$$

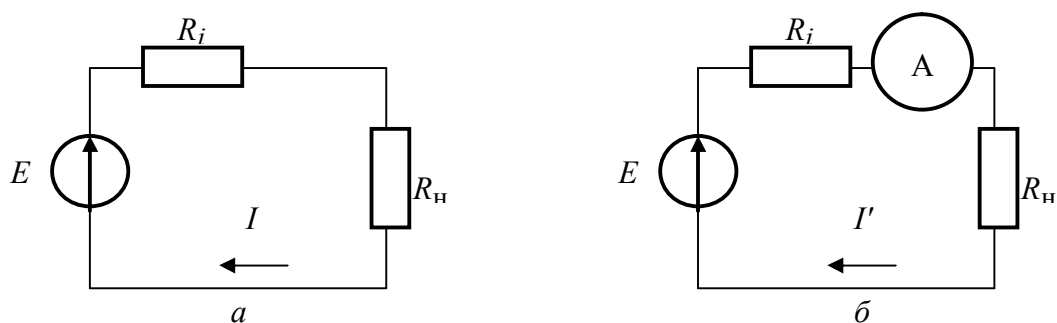


Рис. П2.1

Очевидно, что методическая погрешность в этом примере будет мала при условии, что

$$R_A \ll R_i + R_H.$$

*Инструментальная погрешность*  $\Delta_{\text{и}}$  – составляющая погрешности, обусловленная погрешностью применяемого средства измерения. Причинами появления инструментальных погрешностей являются неточности, допущенные при изготовлении и регулировке средств измерений, старение элементов электрических цепей, а также внешние воздействия на средство измерения климатических, электрических, механических факторов.

*Субъективная погрешность* – эта составляющая погрешности обусловлена индивидуальными особенностями оператора, проводящего измерения.

*Аддитивная погрешность*  $a$  – составляющая погрешности, не зависящая от измеряемой величины  $x$ .

*Мультипликативная погрешность*  $b x$  – составляющая погрешности измерений, зависящая от измеряемой величины  $x$  (прямо пропорциональная ей,  $b$  – коэффициент пропорциональности).

Суммарная абсолютная погрешность определяется выражением

$$\Delta = a + b x.$$

Источниками аддитивной погрешности служат трение в опорах подвижной части измерительного механизма, вибрации, наводки и т. д.

Источниками мультипликативной погрешности являются отклонения условий эксплуатации средств измерения от нормальных: повышенная или пониженная температура, влажность.

Аддитивная и мультипликативная погрешности могут носить как систематический, так и случайный характер.

В зависимости от скорости изменения измеряемой величины различают *статические* и *динамические погрешности*. Статическая погрешность имеет место при измерении постоянной во времени величины. Динамическая погрешность обусловлена реакцией средства измерения на скорость изменения измеряемой величины. Эта погрешность зависит от динамических свойств (инерционности) средства измерения, частотного спектра входного сигнала.

Классификация измерений по точности подразумевает наличие трех групп.

*Измерения с максимально возможной точностью*, которую могут обеспечить наиболее совершенные образцы современной измерительной техники. К этой группе относят измерения, связанные с созданием и эксплуатацией эталонов, а также измерения, проводимые при уникальных научных исследованиях. Для таких измерений характерна тщательная оценка погрешности измерений с широким применением математических методов.

*Контрольно-поверочные измерения*, проводимые с целью аттестации новых средств измерения, а также надзора за состоянием измерительной техники в процессе ее эксплуатации. Погрешность таких измерений не должна превышать заданного, заранее установленного предела.

*Технические измерения*, при которых погрешность, как правило, оценивают приближенно по метрологическим характеристикам средств измерений.

Для оценки точности измерений очень важно установить, как оценивать систематические, методические и инструментальные погрешности, какие характеристики случайных погрешностей необходимы для такой оценки, как рассчитывать такие характеристики.

### 3. Единицы измерения Международной системы СИ

Наименование величины	Единицы		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
Основные единицы			
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Время	секунда	s	с
Сила электрического тока	ампер	A	А
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд
Дополнительные единицы			
Плоский угол	радиан	rad	рад
Телесный угол	стерадиан	sr	ср

Размерность физической величины ( $\dim$ ) – качественная ее характеристика, представляющая произведение основных величин данной системы единиц. Так для системы СИ размерность любой величины  $X$  может быть представлена в виде

$$\dim X = L^a M^b T^c I^d \theta^e J^f,$$

где  $L, M, T, I, \theta, J$  – размерности основных величин (соответственно длины, массы, времени, силы электрического тока, температуры и силы света);  $a, b, c, d, e, f$  – показатели степеней. Размерности некоторых наиболее часто встречающихся в радиоэлектронике производных единиц указаны далее в таблице.

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
1	2	3	4	5
Частота	$T^{-1}$	герц	Hz	Гц
Энергия	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	J	Дж
Мощность	$L^2 M T^{-3}$	ватт	W	Вт
Количество электричества, заряд	$T I$	кулон	C	Кл
Электрическое напряжение	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	вольт	V	В
Электрическая емкость	$L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$	фарад	F	Ф
Электрическое сопротивление	$L^2 M T^{-3} I^{-2}$	ом	$\Omega$	Ом
Электрическая проводимость	$L^{-2} M^{-1} T^3 I^2$	сименс	S	См
Поток магнитной индукции	$L^2 M T^{-2} I^{-1}$	вебер	Wb	Вб
Магнитная индукция	$M T^{-2} I^{-1}$	тесла	T	Тл
Индуктивность	$L^2 M T^{-2} I^{-2}$	генри	H	Гн

Окончание таблицы

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Напряженность электрического поля	$\text{LMT}^{-3}\text{I}^{-1}$	вольт на метр	V/m	В/м
Диэлектрическая проницаемость	$\text{L}^{-1}\text{M}^{-1}\text{T}^4\text{I}^2$	фарад на метр	F/m	Ф/м
Магнитная проницаемость	$\text{LMT}^{-2}\text{I}^{-2}$	генри на метр	H/m	Гн/м

#### Основное уравнение метрологии (измерений)

Если имеется некоторая физическая величина  $X$ , то результат ее измерения записывается в виде  $X = q[X]$ , где  $q$  – числовое значение величины  $X$ , а  $[X]$  – единица измерения.

Например, если за единицу измерения напряжения принят 1 В, то значение напряжения электрической сети  $U = q[U] = 220 [1 \text{ В}] = 220 \text{ В}$ .

*При записи результата измерения одинаково важны оба компонента: и численное значение и единица измерения. Отсутствие хотя бы одного из них делает результат измерения неопределенным.*

#### 4. Обозначение кратных и дольных приставок единиц физических величин

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		Международное	Русское
$10^{18}$	экса	E	э
$10^{15}$	пета	P	п
$10^{12}$	тера	T	т
$10^9$	гига	G	Г
$10^6$	мега	M	М
$10^3$	кило	k	к
$10^2$	гекто	h	г
$10^1$	дека	da	да
$10^{-1}$	деци	d	д
$10^{-2}$	санти	c	с
$10^{-3}$	милли	m	м
$10^{-6}$	микро	$\mu$	мк
$10^{-9}$	нано	n	н
$10^{-12}$	пико	p	п
$10^{-15}$	фемто	f	ф
$10^{-18}$	атто	a	а

## 5. Децибелы и отношения

Для двух мощностей  $P_1$  и  $P_2$  их отношение, выраженное в децибелах, равно

$$P_2/P_1 = 10 \lg (P_2/P_1). \quad (\text{П5.1})$$

1 децибел = 0,1 бел ( $1 \text{ Б} = \lg(P_2/P_1)$ ).

Для двух напряжений  $U_1$  и  $U_2$  их отношение, выраженное в децибелах равно

$$U_2/U_1 = 20 \lg (U_2/U_1). \quad (\text{П5.2})$$

Далее приведена таблица соответствия отношения двух величин в децибелах и относительных единицах.

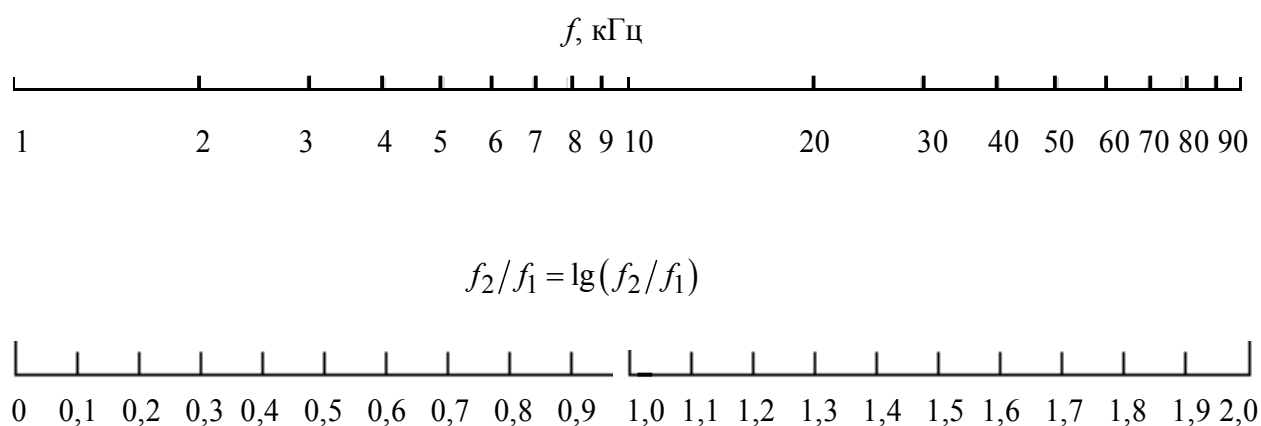
Децибелы	Отношение мощностей	Отношение напряжений	Децибелы	Отношение мощностей	Отношение напряжений
0	1,000	1,000	14,0	25,120	5,012
0,1	1,023	1,012	15,0	31,620	5,623
0,2	1,047	1,023	16,0	39,810	6,310
0,3	1,072	1,035	17,0	50,120	7,079
0,4	1,096	1,047	18,0	63,100	7,943
0,5	1,122	1,059	19,0	79,430	8,913
0,6	1,148	1,072	20,0	100,0	10,0
0,7	1,175	1,084	25,0	316,2	17,780
0,8	1,202	1,096	30,0	1000,0	31,620
0,9	1,230	1,109	35,0	3162,0	56,230
1,0	1,259	1,122	40,0	$10^4$	100,0
2,0	1,585	1,259	45,0	$3,162 \cdot 10^4$	177,80
3,0	1,995	1,413	50,0	$10^5$	316,20
4,0	2,512	1,585	55,0	$3,162 \cdot 10^5$	562,30
5,0	3,162	1,778	60,0	$10^6$	$10^3$
6,0	3,981	1,995	65,0	$3,162 \cdot 10^6$	$1,778 \cdot 10^3$
7,0	5,012	2,239	70,0	$10^7$	$3,162 \cdot 10^3$
8,0	6,310	2,512	80,0	$10^8$	$10^4$
9,0	7,943	2,818	90,0	$10^9$	$3,162 \cdot 10^4$
10,0	10,0	3,162	100,0	$10^{10}$	$10^5$
11,0	12,590	3,548	110,0	$10^{11}$	$3,162 \cdot 10^5$
12,0	15,850	3,981	120,0	$10^{12}$	$10^6$
13,0	19,950	4,467	150,0	$10^{15}$	$3,162 \cdot 10^7$



## 6. Логарифмический масштаб

Логарифмический масштаб часто используется наряду с линейным. Например, при построении графиков АЧХ можно использовать логарифмический масштаб по оси частот (П5.1). На рисунке показан принцип построения логарифмического масштаба частоты в диапазоне от 1 до 100 кГц (верхняя ось). На нижней оси показан десятичный логарифм отношения частот.

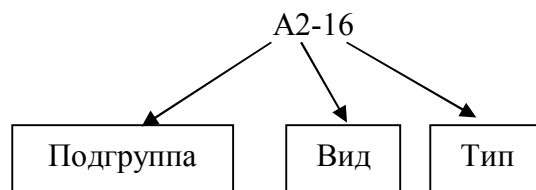
При этом принято  $f_1 = 1$  кГц ( $f_1$  не может быть равно 0 из-за невозможности деления на 0). Например, частоте  $f_2 = 2$  кГц соответствует  $\lg(f_2/f_1) = 0,3$ , частоте  $f_2 = 8$  кГц соответствует 0,9 и т. д.



При выборе логарифмического масштаба вертикальной оси обычно используется отношение величин по напряжению (П5.2).

## 7. Обозначения радиоизмерительных приборов







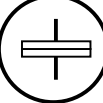



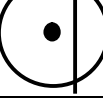

По характеру измеряемых величин радиоизмерительные приборы делятся на подгруппы, по основной выполняемой функции – на виды, а по совокупности технических характеристик и очередности разработки – на типы. Всего имеется 20 подгрупп для отечественных приборов, каждая из которых состоит из нескольких видов, вид приборов содержит несколько типов. Приборам подгруппы присваивают буквенное обозначение (буквы русского алфавита), например А – прибор для измерения тока. Виду приборов присваивают буквенно-цифровое обозначение. Например, А2 – амперметры постоянного тока. Приборам каждого типа присваивают порядковый номер модели, например А2-16.



Далее приведены обозначения наиболее часто используемых радиоизмерительных приборов, в том числе в лаборатории «Метрологии и радиоизмерений».

Обозначение	Прибор
В	Приборы для измерения напряжения
В1	Вольтметры постоянного тока
В3	Вольтметры переменного тока
В4	Вольтметры импульсного тока
В7	Вольтметры универсальные
Г	Генераторы измерительные
Г3	Генераторы сигналов низкочастотные
Г4	Генераторы сигналов высокочастотные
Г5	Генераторы импульсов
Е	Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными
Е4	Измерители добротности
Е7	Измерители параметров универсальные
С	Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала и спектра
С1	Осциллографы универсальные
С4	Анализаторы спектра
Ф	Приборы для измерения разности фаз и группового времени запаздывания
Ф2	Измерители разности фаз
Х	Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств
Х1	Приборы для исследования амплитудно-частотных характеристик
Ч	Приборы для измерения частоты и времени
Ч3	Частотомеры электронно-счетные

## 8. Условные обозначения, наносимые на электроизмерительные приборы и вспомогательные части

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой		Переменный ток	
Электромагнитный прибор		Постоянный и переменный ток	
Электродинамический прибор		Общий зажим для многопредельных приборов	
Ферродинамический прибор		Зажим, соединенный с экраном	
Электростатический прибор		Зажим для заземления	
Индукционный прибор		Класс точности при нормировании погрешности в процентах от предела шкалы	1,5
Постоянный ток		—	—

## 9. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- краткие теоретические сведения и основные расчетные соотношения;
- структурную схему измерительной установки;
- таблицы результатов измерений по установленной форме с внесенными расчетами;
- графики экспериментальных измерений и расчетных зависимостей;
- выводы.

К отчету прилагается протокол измерений, не заменяющий отчет.

### **Список рекомендуемой литературы**

Данилин А. А., Лавренко Н. С. Приборы и техника радиоизмерений: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.

Дворяшин Б. В. Метрология и радиоизмерения: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005.

Сигов А. С., Нефедов А. И. Метрология, стандартизация и технические измерения: учеб. для вузов / под ред. А. С. Сигова. М.: Высш. шк., 2008.

Метрология и радиоизмерения: учеб. для вузов / под ред. В. И. Нефедова. М.: Высш. шк., 2003.

Мирский Г. З. Электронные измерения. М.: Радио и связь, 1986.

Афонский А. А., Дьяконов В. П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. М.: СОЛОН\_ПРЕСС, 2007.

Дьяконов В. П. Современные измерительные генераторы сигналов. М.: ДМК ПРЕСС, 2011.

ГОСТ 16263–70 ГСОЕИ. Метрология. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1991.