

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО СВЯЗИ

ГОУВПО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»

Кафедра ЛС и ИТС

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**МЕТРОЛОГИЯ
В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ**

Составители: к.т.н. доцент Косова А.Л.
к.т.н. доцент Баскаков В.С.
к.т.н. доцент Прокопьев В.И.

Самара
2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел 1 Основы метрологии.....	
1.1 Общие сведения о метрологии.....	
1.2 Виды измерений.....	
1.3 Методы измерений.....	
1.4 Физические величины и шкалы измерений.....	
1.5 Международная система единиц SI.....	
1.6 Основы обеспечения единства измерений.....	
1.7 Вопросы и ответы по основам метрологии.....	
Раздел 2 Элементы теории погрешностей измерений	
2.1 Классификация погрешностей.....	
2.2 Случайная погрешность.....	
2.3 Методы обнаружения и исключения систематических погрешностей...	
2.4 Методы обнаружения и исключения грубых погрешностей.....	
2.5 Суммирование систематических и случайных погрешностей...	
2.6 Погрешности косвенных измерений.....	
2.7 Вопросы и ответы по погрешностям измерений.....	
Раздел 3 Средства измерений. Обработка результатов измерений.....	
3.1 Классификация средств измерений.....	
3.2 Классы точности средств измерений.....	
3.3 Стандартная форма записи результата однократных и многократных измерений	
3.4 Вопросы и ответы по средствам измерений и обработке результатов измерений.....	
3.5. Примеры решения задач по средствам измерений и обработке результатов измерений	
Раздел 4 Измерение тока и напряжения.....	
4.1 Параметры переменных напряжений.....	
4.2 Схемы и характеристики аналоговых вольтметров	
4.3 Вопросы и ответы по измерению напряжения.....	
4.4 Примеры решения задач по измерению напряжения.....	
Раздел 5 Осциллографические методы измерения параметров сигналов	
5.1 Измерение напряжения.....	
5.2 Измерение частоты.....	
5.2.1 Измерение частоты методом линейной калиброванной развертки	
5.2.2 Измерение частоты методом синусоидальной развертки.....	
5.3 Вопросы и ответы по осциллографическим методам измерения параметров сигналов.....	
5.4 Примеры решения задач по осциллографическим методам измерения параметров сигналов.....	
Раздел 6 Цифровой частотомер.....	
6.1. Схема частотомера в режиме измерения частоты.....	
6.2. Схема частотомера в режиме измерения периода.....	

6.2. Схема частотомера в режиме измерения отношения частот.....	
6.4 Вопросы и ответы по цифровому частотомеру.....	
Раздел 7 Автоматизация измерений	
7.1. Общие сведения.....	
7.2 Измерительные системы.....	
7.3 Виртуальные информационно-измерительные системы.....	
7.4 Интеллектуальные измерительные системы.....	
7.5. Вопросы и ответы по информационно- измерительным системам.....	
8. Вопросы и ответы по взаимозаменяемости	

Литература	
------------------	--

Раздел 1 Основы метрологии

1.1. Общие сведения о метрологии

Метрология – наука об измерениях, об обеспечении их единства, о способах достижения требуемой точности, а также о методах и средствах достижения указанных целей.

Задачи, решаемые метрологией, можно условно разделить на научные, практические, законодательные. В соответствии с этим **метрологию делят на общую, законодательную и прикладную.**

Общая (теоретическая) метрология решает научные задачи:

- разработки общей теории измерений;
- совершенствования системы единиц;
- разработке эталонов;
- исследования вопросов математической обработки результатов измерений.

Законодательная метрология – это раздел метрологии, включающий комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразие средств измерений.

Законодательная метрология реализуется через стандартизацию (установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности).

Прикладная метрология занимается решением практических задач. К практическим задачам метрологии относятся производство и выпуск в обращение рабочих средств измерений, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик продукции, государственные испытания средств измерений, организация ведомственной поверки средств измерений, ревизия состояния измерений на предприятиях и организациях.

Главное практическое применение метрологии - поверочное дело – передача истинных значений единиц от эталонов к рабочим мерам и измерительным приборам, применяемым в науке, технике и других областях народного хозяйства. Процесс и правила передачи единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений определяется поверочной схемой.

Основными задачами метрологии являются:

- обеспечение единства измерений;
- установление единиц физических величин;
- обеспечение единообразия средств измерений;
- установление национальных (государственных) эталонов и рабочих средств измерений, контроля и испытаний, а также передачи размеров единиц от эталонов или рабочих эталонов рабочим средствам измерений;

- установление номенклатуры, методов нормирования, оценки и контроля показателей точности результатов измерений и метрологических характеристик средств измерений;
- разработка оптимальных принципов, приемов и способов обработки результатов измерения и методов оценки погрешностей.

Одной из главных задач метрологии является обеспечение единства измерений. **Единство измерений** – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью. Единство измерений может быть выполнено при соблюдении двух основополагающих условий:

- выражение результатов измерений в узаконенных единицах;
- установление допускаемых погрешностей результатов измерений и пределов, за которые они не должны выходить при заданной вероятности.

1.2. Виды измерений

Измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения измеряемой величины с её единицей и получение значения этой величины.

Измерение – познавательный процесс, заключающийся в сравнении опытным путём измеряемой величины с некоторым значением, принятым за единицу измерения.

Из определения измерений следуют **признаки измерений**:

- 1) измеряются только физические величины, т.е. параметры реальных объектов;
- 2) измерение требует проведения опытов;
- 3) для проведения опытов требуются особые технические средства-средства измерений;
- 4) результатом измерения является значение физической величины.

Основное уравнение измерения имеет следующий вид:

$$A = a X, \quad (1.1)$$

где A – измеряемая величина, a – единица измерения; X – численное значение измеряемой величины при выбранной единице измерения.

Из уравнения следуют **слагаемые процесса измерения**:

- 1) воспроизведение единицы физической величины в виде меры;
- 2) преобразование измеряемого сигнала;
- 3) сравнение измеряемой величины с мерой;
- 4) фиксация результата измерения.

В зависимости от способа нахождения значения измеряемой величины измерения разделяют на:

- 1) прямые;
- 2) косвенные;
- 3) совокупные;
- 4) совместные.

Прямым называется измерение, когда искомое значение физической величины находится непосредственно из опытных данных.

Это, например, измерение напряжения вольтметром и силы тока – амперметрами. Математически прямые измерения можно охарактеризовать элементарной формулой

$$A = x, \quad (1.2)$$

где x – значение величины, найденное путём её измерения и называемое **результатом измерения**.

Косвенным называется измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Косвенные измерения можно охарактеризовать следующей формулой:

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (1.3)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_m$ – результаты прямых измерений величин, связанных известной функциональной зависимостью f с искомым значением измеряемой величины A .

Это, например, измерение частоты и напряжения осциллографом, мощности методом амперметра-вольтметра, определение резонансной частоты колебательного контура по результатам прямых измерений ёмкости и индуктивности контура, определение расстояния до места неоднородности в оптическом кабеле методом обратного рассеяния и т.д.

При совокупных измерениях одновременно измеряют несколько одноимённых величин, а их искомые значения находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Например, измерения, при которых размер ёмкости набора конденсаторов находят по известному значению ёмкости одного конденсатора и результатам прямых сравнений размеров ёмкостей различных сочетаний конденсаторов.

Совместные измерения состоят в одновременном измерении двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними.

В зависимости от способа выражения результатов измерения разделяют на:

- 1) абсолютные;

2) относительные.

Абсолютные измерения – измерения одной или нескольких величин с использованием значений физических констант.

Относительные измерения – измерения отношения величины к одноименной величине, принимаемую за исходную.

Например, отношения напряжений или мощностей в форме уровней в децибелах.

В зависимости от числа проведенных испытаний измерения разделяют на:

1) **однократные** – с использованием одного наблюдения;

2) **многократные** – с использованием многократных наблюдений.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяют на:

1) **статические** – измеряемая величина остается неизменной в течение времени измерения;

2) **динамические** - измеряемая величина изменяется в течение времени измерения.

1.3. Методы измерений

Существует два основных метода измерения:

1) **Метод непосредственной оценки**, при котором размер измеряемой величины находится по шкале, по цифровому табло или экрану прибора, например, измерение напряжения вольтметром.

2) **Метод сравнения с мерой**, при котором значение измеряемой величины сравнивается со значением величины, воспроизводимой мерой. Данный метод имеет следующие **разновидности**:

2.1) **Метод противопоставления**, при котором значение величин измеряемой и воспроизводимой мерой, воздействует на прибор сравнения и с его помощью устанавливается отношение между этими величинами.

2.2) **Дифференциальный (разностный) метод**, при нём измеряемая величина определяется по разности между искомой величиной и величиной, воспроизводимой меры.

2.3) **Нулевой метод** – частный случай дифференциального, когда разность доводят до нуля.

2.4) **Метод замещения** – измеряемую величину замещают равной ей по величине мерой.

2.5) **Метод совпадений** - значение измеряемой величины определяют по совпадению сигналов, отметок или других признаков, относящихся к измеряемой и известной величинам.

1.4. Физические величины и шкалы измерений

Физическая величина – свойство физических объектов, общее в качественном отношении многим объектам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Качественная сторона понятия «физическая величина» определяет ее род (например, электрическое сопротивление как общее свойство проводников электричества), а количественная – ее «размер» (значение электрического сопротивления конкретного проводника, например $R = 100 \text{ Ом}$). Числовое значение результата измерения зависит от выбора единицы физической величины.

Физическим величинам присвоены буквенные символы, используемые в физических уравнениях, выражающих связи между физическими величинами, существующие в физических объектах.

Размер физической величины – количественная определенность величины, присущая конкретному предмету, системе, явлению или процессу.

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

Числовое значение физической величины – отвлеченное число, выражающее отношение значения физической величины к соответствующей единице данной физической величины (например, 220 В – значение амплитуды напряжения, причем само число 220 и есть числовое значение). Именно термин «значение» следует применять для выражения количественной стороны рассматриваемого свойства.

При выбранной оценке физической величины ее характеризуют истинным, действительным и измеренным значениями.

Истинным значением физической величины называют значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Определить экспериментально его невозможно вследствие неизбежных погрешностей измерения.

Это понятие опирается на два основных постулата метрологии:

- истинное значение определяемой величины существует и оно постоянно;
- истинное значение измеряемой величины отыскать невозможно.

На практике оперируют понятием действительного значения, степень приближения которого к истинному значению зависит от точности средства измерения и погрешности самих измерений.

Действительным значением физической величины называют ее значение, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для определенной цели может быть использовано вместо него.

Под **измеренным значением** понимают значение величины, отсчитанное по индикаторному устройству средства измерения.

Единица физической величины – величина фиксированного размера, которой условно присвоено стандартное числовое значение, равное единице.

Упорядоченная последовательность (совокупность) значений физической величины, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений - **шкалой физической величины**.

Различают следующие типы шкал:

- **шкала наименований**, значения которой используют для выявления различий между объектами;

- **шкала порядка**, в соответствии с которой размеры измеряемых величин располагают в порядке возрастания или убывания;

При определении твердости материала используется шкала порядка.

- **шкала интервалов** обеспечивает суммирование интервалов между различными количественными проявлениями свойств;

- **шкала отношений** (подобия) представляет собой шкалу разностей с естественным началом отсчета.

Наибольшее количество действий можно выполнить по шкале отношений.

1.5 Международная система единиц SI

Единицы физических величин делят на основные и производные и объединяют в **системы единиц физических величин**. Единица измерения устанавливается для каждой из физических величин с учетом того, что многие величины связаны между собой определенными зависимостями. Поэтому лишь часть физических величин и их единиц определяются независимо от других.

Физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы, **называется основной**.

Остальные физические величины – **производные** и их находят с использованием физических законов и зависимостей через основные.

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин, **называется системой единиц физических величин**. Единица основной физической величины является основной единицей системы.

Международная система единиц (система СИ; SI — франц. *Systeme International*) была принята XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г.

В основу системы СИ положены семь основных и две дополнительные физические единицы. Основные единицы: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Единицы Международной системы СИ

Единицы				
Наименование	Размер- ность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Основные				
Длина	L	метр	m	м
Масса	M	килограмм	kg	кг
Время	T	секунда	s	с
Сила электрического тока	I	ампер	A	А
Температура	Θ	кельвин	K	К
Количество вещества	N	моль	mol	моль
Сила света	J	кандела	cd	кд
Дополнительные				
Плоский угол	-	радиан	rad	рад
Телесный угол	-	стерадиан	sr	ср

В области измерений электрических и магнитных величин имеется одна основная единица – ампер (А). Через ампер и единицу мощности – ватт (Вт), единую для электрических, магнитных, механических и тепловых величин, можно определить все остальные электрические и магнитные единицы. Однако на сегодняшний день нет достаточно точных средств воспроизведения ватта абсолютными методами. Поэтому электрические и магнитные единицы основываются на единицах силы тока и производной от ампера единицы емкости – фарада.

К производным от ампера физическим величинам также относятся:

- единица электродвижущей силы (ЭДС) и электрического напряжения – вольт (В);
- единица частоты – герц (Гц);
- единица электрического сопротивления – ом (Ом);
- единица индуктивности и взаимной индуктивности двух катушек – генри (Гн).

В табл. 1.2 и 1.3 приведены производные единицы, наиболее употребляемые в телекоммуникационных системах и радиотехнике.

Таблица 1.2. **Производные единицы СИ**

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Частота	T^{-1}	герц	Hz	Гц
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	джоуль	J	Дж
Сила, вес	LMT^{-2}	ньютон	N	Н
Мощность, поток энергии	L^2MT^{-3}	ватт	W	Вт
Количество электричества	TI	кулон	C	Кл
Электрическое напряжение, электродвижущая сила (ЭДС), потенциал	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	V	В
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	F	Ф
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ω	Ом
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	S	См
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	T	Тл
Поток магнитной индукции	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb	Вб
Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	H	Гн

Таблица 1.3. **Единицы СИ, применяемые в практике измерений**

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Единица измерения	Обозначение	
			международное	русское
Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	ампер на квадратный метр	A/m^2	A/m^2
Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	вольт на метр	V/m	В/м
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$L^3M^{-1}T^4I^2$	фарад на метр	F/m	Ф/м
Удельное электрическое сопротивление	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	ом на метр	$\Omega \cdot m$	Ом·м
Полная мощность электрической цепи	L^2MT^{-2}	вольт-ампер	V·A	В·А
Реактивная мощность электрической цепи	L^2MT^{-3}	вар	var	В·Ар
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	A/m	А/м

Сокращенные обозначения единиц как международных, так и русских, названных в честь великих ученых, пишутся с заглавных букв, например, ампер – А; ом – Ом; вольт – В; фарад – Ф. Для сравнения: метр – м, секунда – с, килограмм – кг.

В системе СИ установлены десятичные кратные и дольные единицы, которые образуются с помощью множителей. Кратные и дольные единицы величин пишутся слитно с наименованием основной или производной единицы: километр (км), милливольт (мВ); мегаом (МОм).

Кратная единица физической величины – единица, большая в целое число раз системной, например килогерц (10^3 Гц).

Дольная единица физической величины – единица, меньшая в целое число раз системной, например микрогенри (10^{-6} Гн).

Наименования кратных и дольных единиц системы СИ содержат ряд приставок, соответствующих множителям (табл. 1.4).

Таблица 1.4. **Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц СИ**

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}	санتي	c	с
10^{-3}	милли	m	м
10^{-6}	микро	μ	мк
10^{-9}	нано	n	н
10^{-12}	пико	p	п
10^{-15}	фемто	f	ф
10^{-18}	атто	a	а

1.6. Основы обеспечения единства измерений

При проведении измерений требуется обеспечить их единство, что необходимо для достижения сопоставимых результатов измерений одних и тех же параметров, выполненных в разное время и в различных местах, с помощью разных методов и средств.

Под **единством измерений** понимают состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и они обеспечиваются с помощью единообразных средств измерений (СИ), а погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Понятие «единство измерений» охватывает ряд важнейших задач практической метрологии: унификацию единиц физических величин, разработку систем воспроизведения величин и передачу их размеров рабочим средствам измерений с установленной точностью и т. д.

На достижение единства измерений направлена деятельность государственных и ведомственных метрологических служб, проводимая в соответствии с установленными правилами, требованиями, нормами и порядками.

Для обеспечения единства измерений реализуют следующие научно-технические, методические и административные мероприятия:

1. Использование законодательно установленной системы единиц физических величин, разрешенных для применения.
2. Разработка и применение эталонов единиц физических величин, воспроизводящих единицы в соответствии с их определением.
3. Использование только аттестованных данных о физических константах и физико-химических свойствах материалов и веществ.
4. Государственные испытания при разработке, выпуске и импорте приборов.
5. Периодическая поверка находящихся в обращении средств измерений. Изъятие из обращения неисправных приборов.

Руководит деятельностью метрологической службы Российской Федерации и ее координирует **Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии** (в него 30 июня 2004 г. преобразован Госстандарт России).

Научно-методические основы обеспечения единства измерений в РФ разрабатываются Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС).

К субъектам метрологии относятся:

- Государственная метрологическая служба Российской Федерации (ГМС);
- Метрологические службы (МС) федеральных органов власти и юридических лиц;
- Международные метрологические организации.

Общие требования и основные метрологические правила установлены законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений». Конкретные метрологические нормы и правила изложены в нормативных документах (стандартах, правилах, рекомендациях и пр.). Комплекс стандартов и нормативных документов, обеспечивающий достижение и поддержание единства измерений, составляет государственную систему обеспе-

чения единства измерений (ГСИ), технической основой которой является государственная эталонная база. Эталонная база Российской Федерации состоит из 1176 государственных первичных и специальных эталонов.

Для проверки соблюдения метрологических правил и норм ГМС осуществляет государственный метрологический контроль и надзор. Объектами государственного метрологического контроля и надзора являются:

- средства измерений;
- эталоны;
- методики выполнения измерений;
- качество товаров;
- другие объекты, предусмотренные правилами законодательной метрологии.

Государственный метрологический контроль и надзор обеспечивает утверждение типа средств измерений, поверку средств измерений, лицензирование юридических и физических лиц, занимающихся изготовлением, ремонтом, продажей и прокатом средств измерений. ГМС осуществляет контроль и надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками измерений, эталонами, соблюдением метрологических правил и норм.

Государственные органы управления Российской Федерации, а также юридические и физические лица, виновные в нарушении метрологических норм и правил, изложенных в законах РФ «О техническом регулировании» и «Об обеспечении единства измерений», несут уголовную, административную или гражданско-правовую ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых градуированы все существующие средства измерений одной и той же физической величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения в специализированных учреждениях установочных единиц физических величин и передачи их размеров применяемым средствам измерений.

Воспроизведение единицы физической величины – совокупность операций по материализации единицы физической величины с наивысшей точностью посредством государственного эталона.

Передача размера единицы – приведение размера единицы величины, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке или калибровке. Размер единицы передают «сверху вниз» – от более точных средств измерений к менее точным.

Хранение единицы – совокупность операций, обеспечивающая неизменность во времени размера единицы, присущего данному средству измерений. Хранение эталона единицы физической величины предполагает проведение взаимосвязанных операций, позволяющих поддерживать метрологи-

ческие характеристики эталона в установленных пределах. При хранении первичного эталона выполняются регулярные его исследования, включая сличения с национальными эталонами других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера.

Поверка – это операция, заключающаяся в установлении пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и контроля их соответствия предъявляемым требованиям. Основной метрологической характеристикой, определяемой при проверке СИ, является его погрешность. Она находится на основании сравнения поверяемого СИ с более точным СИ – рабочим эталоном.

Поверке подвергаются СИ, выпускаемые из производства и ремонта, получаемые из-за рубежа, а также находящиеся в эксплуатации и хранении, при проведении инспекции или экспертизы.

Различают поверки: государственную и ведомственную, периодическую и независимую, внеочередную и инспекционную, комплексную, поэлементную и др.

Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ установлены ГОСТ “ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения”. Термин “поверка” введен ГОСТ “ГСИ. Метрология. Термины и определения” как “определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению”. В отдельных случаях при поверке вместо определения значений погрешностей проверяют, находится ли погрешность в допустимых пределах.

Поверку СИ проводят для установления их пригодности к применению. Пригодным к применению в течение определенного межповерочного интервала времени признают те СИ, поверка которых подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному СИ. **Средства измерений подвергают** первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

Первичной поверке подвергаются СИ при выпуске из производства или ремонта, а также СИ, поступающие по импорту.

Периодической поверке подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками.

Инспекционную поверку производят для выявления пригодности к применению СИ при осуществлении госнадзора и ведомственного метрологического контроля за состоянием и применением СИ.

Экспертную поверку выполняют при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам (МХ), исправности СИ и пригодности их к применению.

Метрологическая аттестация – это комплекс мероприятий по исследованию метрологических характеристик и свойств средства измерения с

целью принятия решения о пригодности его применения в качестве образцового.

Для метрологической аттестации составляют специальную программу работ, основными этапами которых являются: экспериментальное определение метрологических характеристик; анализ причин отказов; установление межповерочного интервала и др. Метрологическую аттестацию средств измерений, применяемых в качестве образцовых, производят перед вводом в эксплуатацию, после ремонта и при необходимости изменения разряда образцового средства измерений. Результаты метрологической аттестации оформляют соответствующими документами (протоколами, свидетельствами, извещениями о непригодности средства измерений).

Основные требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений приведены в правилах по метрологии и ряде различных рекомендаций. Поверку выполняют метрологические службы, на которые возложены данные обязанности.

Средству измерения, признанному годным к практическому применению, **выдается свидетельство** о поверке путем нанесения поверительного клейма или иными способами, установленными соответствующими нормативными документами.

Градуировка средств измерений – нанесение отметок на шкалу, соответственно показаниям образцового средства измерения

Поверочная схема – нормативный документ, который устанавливает соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений с указанием методов и погрешности, и который утвержден в установленном порядке

Поверочные схемы делят на государственные, ведомственные и локальные.

Государственная поверочная схема распространяется на все имеющиеся средства измерений данной физической величины.

Ведомственная поверочная схема распространяется на средства измерений данной физической величины, подлежащие ведомственной поверке.

Локальная поверочная схема распространяется на средства измерений данной физической величины, подлежащие поверке в отдельном органе метрологической службы.

Государственную поверочную схему разрабатывают в виде национального стандарта, состоящего из ее чертежа и текстовой части, содержащей пояснения к чертежу. Ведомственную и локальную поверочные схемы оформляют в виде чертежа. Ведомственные поверочные схемы не должны противоречить государственным поверочным схемам. Поверочная схема устанавливает передачу размера единиц одной или нескольких взаимосвязанных величин.

Основной метрологической характеристикой, определяемой при поверке СИ, является его погрешность. Она находится на основании сравнения поверяемого СИ с более точным СИ – рабочим эталоном.

1.7. Вопросы и ответы по основам метрологии

Задание	Варианты ответов
1.1. В определение «измерение» не входит следующее утверждение...	1. применение технического средства, хранящего единицу физической величины 2. это совокупность операций 3. результаты выражаются в узаконенных единицах 4. нахождение соотношения измеряемой величины с её единицей
1.2. По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяют...	1.однократные и многократные 2.статические и динамические 3. абсолютные и относительные 4. прямые, косвенные, совокупные, совместные
1.3. По способу нахождения значения измеряемой величины измерения разделяют...	1.однократные и многократные 2.статические и динамические 3. абсолютные и относительные 4. прямые, косвенные, совокупные, совместные
1.4. По числу проведенных испытаний измерения разделяют...	1.однократные и многократные 2.статические и динамические 3. абсолютные и относительные 4. прямые, косвенные, совокупные, совместные
1.5. По способу выражения результатов измерения разделяют...	1.однократные и многократные 2.статические и динамические 3. абсолютные и относительные 4. прямые, косвенные, совокупные, совместные
1.6. Если результаты измерений изменяющейся во времени величины сопровождаются указанием моментов измерений, то измерения называют...	1. совокупными 2. статистическими 3. многократными 4. динамическими
1.7. Если измеряемую величину определяют по известной зависимости её и результатов прямых измерений, то измерения называются....	1. динамическими 2. совокупными 3. косвенными 4. статистическими
1.8. Если измеряемую величину определяют непосредственно из опытных данных, то измерения называются..	1.динамическими 2.совокупными 3.косвенными 4. прямые

1.9. Если определяются характеристики случайных процессов, то измерения называются ...	1. совокупными 2. динамическими 3. статистическими 4. косвенными
1.10. Раздел метрологии, занимающийся решением научных задач, называется...	1. прикладной 2. законодательной 3. теоретической 4. расчетной
1.11. Раздел метрологии, занимающийся решением законодательных задач, называется...	1. прикладной 2. законодательной 3. теоретической 4. расчетной
1.12. Раздел метрологии, занимающийся решением практических задач измерений, называется...	1. прикладной 2. законодательной 3. теоретической 4. расчетной
1.13. Если для нахождения результата измерений проведено несколько измерений, то такие измерения называют...	1. статические 2. однократные 3. многократные 4. косвенные
1.14. Если напряжение измеряют аналоговым вольтметром, то такие измерения называют...	1. прямые 2. косвенные 3. совокупные 4. совместные
1.15. Если напряжение измеряют цифровым вольтметром, то такие измерения называют...	1. косвенные 2. совокупные 3. совместные 4. прямые
1.16. Если напряжение измеряют осциллографом, то такие измерения называют...	1. прямые 2. косвенные 3. совокупные 4. совместные
1.17. Если частоту измеряют цифровым частотомером, то такие измерения называют...	1. косвенные 2. совокупные 3. совместные 4. прямые
1.18. Если частоту измеряют осциллографом, то такие измерения называют...	1. прямые 2. совместные 3. совокупные 4. косвенные
1.19. Если измеряется разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой, то применен метод...	1. противопоставления 2. дифференциальный 3. непосредственной оценки 4. совпадения

1.20. Если сопротивление измеряют цифровым омметром, то такие измерения называют...	1. косвенные 2. совокупные 3. прямые 4. совместные
1.21. Если сопротивление измеряют методом двух приборов: амперметра и вольтметра, то такие измерения называют...	1. косвенные 2. совокупные 3. прямые 4. совместные
1.22. Если мощность измеряют ваттметром, то такие измерения называют...	1. косвенные 2. совокупные 3. совместные 4. прямые
1.23. Одно из свойств в качественном отношении общее для многих физических объектов, а в количественном - индивидуальное для каждого из них, называется...	1. единицей измерения 2. единством измерения 3. физической величиной 4. показателем качества
1.24. Упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений - ... физической величины	1. шкала 2. ряд 3. строй 4. перечень
1.25. Основной единицей системы физических величин SI не является ...	1. Кельвин 2. Ампер 3. кандела 4. Вольт
1.26. Основной единицей системы физических величин SI является...	1. ватт 2. Ампер 3. Герц 4. Вольт
1.27. Приставками SI для обозначения увеличения значений физических величин являются...	1. пико 2. микро 3. мега 4. милли
1.28. По международной системе единиц физических величин сила тока измеряется...	1. Вебер 2. Генри 3. Кулон 4. Ампер
1.29. Приставками SI для обозначения уменьшения значений физических величин являются...	1. деци 2. кило 3. мега 4. гекто

1.30. Метод непосредственной оценки заключается...	1. в сравнении измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой 2. в том, что измеряемая и воспроизводимая величина одновременно воздействуют на прибор сравнения 3. в определении значения физической величины по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия 4. в доведении до нуля результирующего эффекта воздействия обеих величин на прибор сравнения
1.31. Выражение $Q = q[Q]$, где $[Q]$ – единица измерения, q – числовое значение, является...	1. математической моделью измерений 2. основным постулатом метрологии 3. линейным преобразованием 4. основным уравнением измерений по шкале отношений
1.32. Физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы, называется...	1. специальной 2. производной 3. основной 4. дополнительной
1.33. Достоинством метода непосредственной оценки является...	1. сравнительно небольшая инструментальная составляющая погрешность измерений 2. высокая чувствительность 3. возможность выполнять измерения величины в широком диапазоне без перенастройки 4. эффективность при контроле в массовом производстве
1.34. Раздел метрологии, включающий комплексы взаимных и взаимообусловленных общих правил, требований, норм, направленных на обеспечение единства измерений – это....метрология	1. практическая 2. законодательная 3. юридическая 4. теоретическая
1.35. Процесс установления взаимно однозначного соответствия между размерами двух величин при измерении называют...	1. измерительным преобразованием 2. сертификацией 3. регулированием 4. упорядочением
1.36. Учение об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется...	1. Государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ) 2. квалиметрией 3. стандартизацией 4. метрологией

1.37. Поверочная схема, распространяющая на средства измерений, подлежащие поверке в отдельном органе метрологической службы - ...	1. локальная 2. государственная 3. региональная 4. ведомственная
1.38. Поверочные схемы, регламентирующие передачу информации о размере единицы физической величины всему парку средств измерений в стране, называют...	1. ведомственными 2. рабочими 3. государственными 4. локальными
1.39. Поверочная схема, распространяющая на все средства измерений данной физической величины, подлежащие ведомственной поверке - ...	1. министерская 2. общая 3. ведомственная 4. государственная
1.40. Нормативной основой метрологического обеспечения является...	1. национальная система стандартизации 2. система государственных эталонов единиц физических величин 3. государственная система поверки и калибровки средств измерений 4. Государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ)
1.41. Научно-методические основы обеспечения единства измерений в РФ разрабатываются...	1. Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС) 2. НПО ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева (Санкт-Петербург) 3. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Госстандартом России) 4. метрологическими службами государственных органов управления

1.42. Система единиц физических величин – это...	1. количественная определенность единицы физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерений 2. характеристика одного из свойств физического объекта, общая в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта 3. совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, заключающихся в сравнении измеряемой величины с ее единицей с целью получения этой величины в форме, наиболее удобной для использования 4. совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин
1.43. Если физические величины нельзя вычитать (параметры их сигналов невозможны для непосредственного сравнения), то для измерения таких величин следует...	1. преобразовать их в другие величины, удобные для сравнения 2. оценивать их ориентировочно 3. стабилизировать условия измерения 4. определять расчетами
1.44. Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин, называется системой...	1. стандартизации 2. классификации 3. обеспечения единства измерений 4. единиц физических величин
1.45. Миллиметр ртутного столба (мм.рт.ст.) является единицей...	1. системной 2. допускаемой к применению наравне с единицами SI 3. изъятой из употребления 4. допускаемой к применению в специальных областях
1.46. Основной единицей системы SI не является...	1. секунда 2. Вольт 3. метр 4. кандела
1.47. По способу получения результатов измерений методы измерений разделяют на ...	1. прямые, косвенные 2. приведенные 3. абсолютные 4. относительные

1.48. Методом измерений называется совокупность...	1. операции по повышению надежности 2. использования принципов измерений физических явлений, приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей 3. операций по повышению точности 4. способов отсчета измеряемой величины
1.49. Физическая величина, определяемая через основные величины системы SI с использованием физических законов, называется...	1. основной 2. производной 3. специальной 4. дополнительной
1.50. Выражение физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц называется...	1. шкалой физической величины 2. значением физической величины 3. единицей физической величины 4. измерением
1.51. Отвлеченное число, выражающее отношение значения величины к соответствующей единице данной физической величины называется...	1. размером величины 2. единицей физической величины 3. размерностью 4. шкалой физической величины
1.52. Измерением называется совокупность операций по нахождению значения величины...	1. с помощью специального технического средства, хранящего единицу физической величины 2. математическими исследованиями 3. экспертным методом 4. прогнозированием
1.53. Измерением называется совокупность операций по нахождению значения величины...	1. математическими исследованиями 2. экспертным методом 3. прогнозированием 4. опытным путем
1.54. Давление определяется по уравнению $p = F/S$, где $F = m \cdot a$, m – масса, a – ускорение, S – площадь поверхности, воспринимающей усилие. Размерность давления будет иметь вид...	1. MT^2 2. $L^{-1}MT^{-2}$ 3. L^3MT^{-2} 4. LMT^{-2}
1.55. Кинетическая энергия тела массой m , движущегося со скоростью v , равна $A_x = \frac{mv^2}{2}$. Скорость тела равна $v = l/t$, где l – пройденный путь, а t – время. Размерность этой величины ...?	1. $L^2MT^{-2}T$ 2. L^2MT^2 3. $L^{-2}MT^2$ 4. L^2MT^{-2}
1.56. Работа определяется по уравнению $A = F \cdot l$, где сила $F = m \cdot a$, m – масса, a –	1. L^2M 2. L^2MT^{-2}

ускорение, l – длина перемещения. Укажите размерность работы A .	3. L^3MT^{-2} 4. MT^{-2}
1.57. Организационной основой обеспечения единства измерений являются...	1. метрологические службы 2. местные администрации 3. министерства и ведомства 4. службы стандартизации
1.58. Основными единицами системы физических величин являются...	1. секунда 2. ом 3. Генри 4. Вольт
1.59. Основными единицами системы физических величин являются...	1. ватт 2. метр 3. Герц 4. Вебер
1.60. В технические основы обеспечения единства измерений не входит система...	1. стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов 2. стандартных справочных данных о физических константах и свойствах материалов и веществ 3. эталонов единиц физических величин 4. единиц физических величин
1.61. Научной основой обеспечения единства измерений является...	1. систематизация 2. теоретическая база стандартизации 3. метрология 4. стандартизированные методики выполнения измерений
1.62. Энергия определяется по уравнению $E = m \cdot c^2$. где m -масса, c -скорость света. Размерность энергии E будет иметь вид...	1. LMT^{-2} 2. L^2MT^{-2} 3. $L^{-2}MT^2$ 4. LM^2T^{-2}
1.63. К физическим величинам относятся...	1. сила тока 2. уровень знаний 3. степень мастерства 4. производительность труда
1.64. Видами измерений являются...	1. количественные 2. систематизированные 3. динамические 4. качественные
1.65. Видами измерений являются...	1. статические 2. систематизированные 3. качественные 4. количественные
1.66. Наибольшее количество действий можно выполнить по шкале ...	1. интервалов 2. порядка

	3. отношений 4. наименований
1.67. Государственному метрологическому надзору не подлежит ...	1. калиброванные средства измерений 2. соблюдение метрологических правил и норм 3. поверенные средства измерений 4. количество товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций
1.68. Метрологическая служба государственного органа управления выполняет работы по обеспечению единства измерений в пределах...	1. отдельного предприятия 2. края или республики 3. министерства (ведомства) 4. стран содружества независимых государств (СНГ)
1.69. Государственный метрологический контроль не устанавливается за ...	1. лицензированием деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений 2. поверкой средств измерений 3. процессом сертификации продукции и услуг 4. утверждением типа средств измерений
1.70. В задачи метрологической службы предприятия не входит ...	1. метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации 2. постоянное совершенствование средств измерений (СИ) 3. выбор оптимального количества и состава контролируемых параметров 4. обеспечение надлежащего состояния СИ
1.71. Основные задачи, права и обязанности метрологических служб определены в ...	1. международных стандартах ИСО серии 9000 2. МИ 2277-93 «ГСИ. Система сертификации средств измерений. Основные положения и порядок проведения работ» 3. правила по метрологии «Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления и юридических лиц РФ» 4. законе «Об обеспечении единства измерений»
1.72. Нормативными документами по обеспечению единства измерений не являются ...	1. рекомендации межгосударственной стандартизации (РМГ) 2. правила по метрологии (ПР)

	3. методические инструкции (МИ) 4. отраслевые стандарты (ОСТ)
1.73. Право поверки предоставляется...	1. испытательным лабораториям по сертификации однородной продукции 2. аккредитованным метрологическим службам юридических лиц 3. органам по аккредитации 4. измерительным лабораториям ВУЗов
1.74. Центр стандартизации и метрологии (ЦСМ) осуществляет государственный метрологический контроль и надзор...	1. на всех предприятиях одной отрасли 2. на определенном предприятии 3. на определенной закрепленной за ним части территории РФ 4. на всей территории РФ
1.75. Метрологической аттестацией подвергаются средства измерений...	1. единичного производства (или ввозимого единичными экземплярами по импорту) 2. высокоточные средства измерений 3. рабочие средства измерений, изготовленные серийно 4. рабочие средства измерений низкой точности
1.76. Частота сигнала F связана с периодом T уравнением $F = 1/T$. Размерность частоты F будет иметь вид...	1. T^{-1} 2. T 3. T^{-2} 4. T^2
1.77. Заряженный конденсатор обладает энергией $W = CU^2/2$, зная, что размерность напряжения U равна $L^2 MT^{-3} I^{-1}$, а размерность емкости C равна $L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$, определить размерность W ?	1. $L^2 MT^{-2}$ 2. TI 3. $L^2 MT^4 I^2$ 4. $L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$
1.78. Электрическое сопротивление определяется выражением $R = U/I$. Размерность U равна $L^2 MT^{-3} I^{-1}$, а размерность тока I равна I . Определите размерность R ...	1. LMT^{-2} 2. $L^2 MT^{-3} I^{-2}$ 3. $L^{-2} MT^2$ 4. $LM^2 T^{-2}$
1.79. При определении силы инерции по зависимости $F = m \cdot a$, m – масса, a – ускорение, получены по два показания: весов – 100 и 98 кг, акселерометра – 2,1 1,9 м/с ² . Значение измеряемой силы будет	1. 205,8 Н 2. 190 Н 3. 210 Н 4. 198 Н

равно...	
1.80. Основная деятельность метрологических служб направлена на ...	1. контроль качества продукции 2. обеспечение единства и достоверности измерений 3. организацию сертификации продукции и услуг 4. контроль соответствия продукции предприятия обязательным требованиям стандартов
1.81. основополагающим документом по метрологическому обеспечению в РФ является...	1. система государственного метрологического контроля и надзора 2. рекомендации государственных научных метрологических центров 3. правила по метрологии 4. закон «Об обеспечении единства измерений»
1.82. Поверочной схемой называют...	1. нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений для передачи единицы физической величины от исходного эталона рабочим средствам измерений 2. документ, устанавливающий порядок определения погрешности средства измерения с целью установления его пригодности к эксплуатации 3. документ, удостоверяющий пригодность средства измерения к эксплуатации 4. блок-схему взаимосвязей средства измерений по точности
1.83. Руководство государственной метрологической службой осуществляет...	1. Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС) 2. правительство России 3. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Госстандартом России) 4. центральные органы по сертификации продукции и услуг
1.84. Исходным эталоном в поверочной схеме является эталон...	1. получающий размер единицы непосредственно от первичного 2. служащий для проверки сохранности государственный эталон и замены его в случае порчи 3. служащий для сличения эталонов

	4. обладающий наивысшей точностью в данной лаборатории или организации
1.85. Метрологические службы юридических лиц создаются для...	1. выполнения работ по обеспечению единства измерений на своих предприятиях 2. контроля качества продукции, выпускаемой предприятием 3. внедрения системы качества на предприятии 4. контроля соответствия продукции предприятий обязательным требованиям стандартов
1.86. Первичным эталоном является эталон...	1. обеспечивающий постоянство размера единицы физической величины во времени 2. изготовленный впервые в стране 3. воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью 4. изготовленный впервые в мире
1.87. Плановые проверки предприятий по обнаружению нарушений метрологических правил и норм проводятся не реже 1 раза в ...	1. 3 года 2. в 6 лет 3. 5 лет 4. 1 год
1.88. Процесс получения и обработки информации об объекте с целью установления его функциональной пригодности называют...	1. контролем 2. калибровкой 3. сертификацией 4. метрологической аттестацией
1.89. В поверочной схеме средства измерений делятся на...	1. основные 2. рабочие 3. дополнительные 4. вспомогательные
1.90. В поверочной схеме средства измерений делятся на...	1. основные 2. эталон 3. дополнительные 4. вспомогательные
1.91. Государственным эталоном метра является...	1. расстояние, проходимое светом за 1/299792458 с 2. платиноиридиевый брусок 3. часть длины Парижского меридиана 4. длина волны излучения криптона 86
1.92. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Госстандарт России) не выполняет функции	1. осуществления государственного метрологического контроля и надзора 2. участие в деятельности международных организаций по вопросам единства

	измерений 3. руководства предприятиями по производству средств измерений 4. руководство деятельностью государственной метрологической службы
1.93. Руководство Государственной метрологической службой осуществляется...	1. Ростехрегулированием (Госстандартом) 2. ведомственными организациями 3. метрологическими службами государственных органов управления 4. президентом
1.94. Нормативный документ по метрологии, начинающийся с букв МИ , называется...	1. метрологическое издание 2. меры и измерители 3. методические инструкции 4. методы измерений
1.95. Существенным признаком эталона не является ...	1. высокое качество изготовления 2. воспроизводимость 3. сличаемость 4. неизменность
1.96. Одним из видов Государственного метрологического контроля, установленным в законе «Об обеспечении единства измерений» является ...	1. аттестация методик выполнения измерений 2. соблюдение метрологических правил и норм 3. контроль за выпуском и применением средств измерений 4. утверждение типа средств измерений
1.97. Нормативный документ, начинающийся с букв РД , называется...	1. рекомендации достоверные 2. руководящий документ 3. расчетные данные 4. российский документ
1.98. Физическая система, процесс, явление и т.д., которые характеризуются одной или несколькими измеряемыми физическими величинами – это... измерения	1. цель 2. фактор 3. задача 4. объект

Раздел 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

2.1. Классификация погрешностей

При любом измерении неизбежны обусловленные различными причинами отклонения результатов измерений от истинного значения измеряемой величины. Истинное значение является объективной оценкой объекта. Результаты измерения представляют собой приближённые оценки значений величин, найденные путём измерения. Они зависят от метода измерения, от средств измерений, от оператора.

Погрешностью называется отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины. Классификация погрешностей осуществляется по различным признакам.

1. **В зависимости от условий применения средств измерения (СИ)** погрешности делят на:

- 1) **основную** – составляющая погрешности измерения, которой обладает СИ в нормальных условиях эксплуатации;
- 2) **дополнительную** – погрешность СИ при отклонении условий измерений от нормальных.

2. **В зависимости от слагаемых процесса измерения** погрешности делят на:

- 1) погрешность меры;
- 2) погрешность преобразования;
- 3) погрешность сравнения измеряемой величины с мерой;
- 4) погрешность фиксации результатов измерения.

3. **В зависимости от характера проявления** погрешности делят на:

- 1) **систематические погрешности** – составляющие погрешности, которые при повторных измерениях одной и той же физической величины остаются постоянными, или изменяются по определённому закону;
- 2) **случайные погрешности** – составляющие погрешности, которые при повторных измерениях одной и той же физической величины изменяются случайным образом;
- 3) **грубые погрешности** – составляющие погрешности, которые существенно превышают ожидаемые.

4. **В зависимости от причины возникновения** погрешности делят на:

- 1) **аппаратурная (инструментальная) погрешность**, возникающая из-за несовершенства средства измерений, т.е. от погрешностей средств измерений.
- 2) **внешние погрешности**, зависящие от условий проведения измерений, т.е. от отклонения влияющих величин от нормальных значений.

3) **методическая погрешность**, обусловленная несовершенством выбранного метода измерений или неполным знанием особенностей изучаемых явлений:

4) **субъективные погрешности**, обусловленные индивидуальными особенностями экспериментатора.

5. В зависимости от способа математического выражения погрешности делят на:

1) **абсолютная погрешность**

$$\Delta x = x - x_0 \quad (2.1)$$

где x – результат измерения, x_0 – истинное значение измеряемой величины;

2) **относительная погрешность**

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

На практике вместо истинного значения измеряемой величины используют действительное значение, определяемое экспериментальным путём и максимально приближённое к истинному значению.

3) **приведённая погрешность**

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

где x_N – нормированный множитель, равный длине шкалы.

$$x_N = x_k - x_{k0} \quad (2.4)$$

где x_{k0} и x_k – начальное и конечное значения на шкале прибора соответственно.

2.2. Случайная погрешность

Наличие случайных погрешностей в результате при повторении измерений в неизменных условиях эксперимента объясняется самой природой этих погрешностей. Строго говоря, условия не остаются неизменными и их колебания вызывают непостоянство результата, т.е. случайные погрешности всегда будут присутствовать в результате измерений.

Характером проявления случайной погрешности определяется и способ их учета. Учесть влияние случайных погрешностей на результат измерения можно только путем анализа всей совокупности случайных погрешностей.

Случайная погрешность считается случайной величиной, и поэтому ее оценивают методами математической статистики и теории вероятности. Наиболее полной характеристикой случайной погрешности является закон распределения, представляющий собой зависимость вероятности появления случайной погрешности от величины этой погрешности. Большинство результатов измерений содержит случайную погрешность, подчиняющуюся нормальному закону распределения:

$$W(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.5)$$

где $W(\Delta)$ – плотность вероятности случайной погрешности отдельного измерения $\Delta_i = x_i - \bar{x}$, это отклонение может быть вычислено для каждого измерения. Следует помнить, что сумма отклонений результата измерений от среднего значения равна нулю, а сумма их квадратов минимальна. Эти свойства используются при обработке результатов измерений для контроля правильности вычислений;

σ – параметр, характеризующий степень случайного разброса результатов отдельных измерений относительно истинного значения X_0 , называют средним квадратическим отклонением случайной величины измерения;

$\bar{X}$ – математическое ожидание результатов наблюдений.

$\bar{X}$, σ – являются точечными оценками случайной погрешности.

При случайных погрешностях результат каждого измерения X_i будет отличаться от истинного значения X_0 измеряемой величины:

$$X_i - X_0 = \Delta \quad (2.6)$$

Эту разность называют случайной погрешностью отдельного измерения (результата наблюдения).

Истинное значение X_0 неизвестно, поэтому на практике его заменяют наиболее достоверным значением измеряемой величины, определяемым на основании экспериментальных данных.

Если проводить серию измерений исследуемой величины и определить среднее арифметическое значение, то оно является наиболее достоверным значением измеряемой величины. При вычислении среднего арифметического большого числа измерений погрешности отдельных измерений, имеющие разный знак, взаимно компенсируются.

Среднее арифметическое значение принимают за результат измерения:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.7)$$

где x_i – численный результат отдельного измерения;

n – число измерений.

В теории случайных погрешностей вводится понятие о среднем квадратическом отклонении результата отдельного измерения σ (средняя квадратическая погрешность результата наблюдения)

$$\sigma \cong S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.8)$$

Характер кривых, описываемых (2.5), показан на рисунке 2.1а для трёх значений σ . Функция (2.5) графически изображается колоколообразной кривой, симметричной относительно ординат, асимптотически приближающейся к оси абсцисс. Максимум этой кривой получается в точке $\Delta=0$, а величина этого максимума $W(\Delta) = 1/\sigma\sqrt{2\pi}$. Как видно из рисунка 2.1, чем меньше σ , тем уже кривая и, следовательно, реже встречаются большие отклонения, т.е. тем точнее выполняются измерения.

Вероятность появления погрешности в пределах между Δ_1 и Δ_2 определяется площадью заштрихованного участка на рис. 4.1 б, т.е. определённым

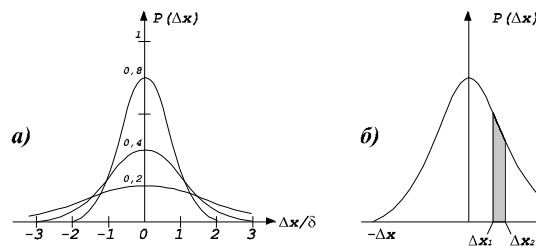


Рисунок 2.1

интегралом от функции $W(\Delta)$:

$$p(\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2) = \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta}{\sigma}\right)^2} d(\Delta) \quad (2.9)$$

Значения интеграла вычислены для различных пределов и сведены в таблицы. Интеграл, вычисленный для пределов $\Delta_1 = -\infty$ и $\Delta_2 = +\infty$, равен единице, т. е. вероятность появления случайной погрешности в интервале от $-\infty$ до $+\infty$ равна единице.

Из таблиц, приведенных в математических справочниках, следует что:

$$\begin{aligned} P(-\sigma \leq \Delta \leq \sigma) &= 0,683 \\ P(-3\sigma \leq \Delta \leq 3\sigma) &= 0,9973 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Таким образом, с вероятностью 0,683 случайные погрешности измерения не выходят за пределы $\pm\sigma$. С вероятностью 0,997 случайная погрешность

находится в пределах $\pm 3\sigma$, т.е. только 3 измерения из 1000 могут дать погрешность, превышающую $\pm 3\sigma$. Это соотношение называется законом трёх сигм.

Так как на практике число измерений не превышает нескольких десятков, то появление погрешности равной $\pm 3\sigma$, маловероятно. Поэтому погрешность $\pm 3\sigma$ считается максимально возможной случайной погрешностью. Погрешности более $\pm 3\sigma$ считаются промахами и при обработке результатов измерений не учитываются.

В теории случайных погрешностей вводится также понятие о среднем квадратическом отклонении среднего арифметического $\sigma_{\bar{x}}$ (средняя квадратическая погрешность результата измерений)

$$\sigma_{\bar{x}} = S_{\bar{x}} = \pm \frac{S}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (2.11)$$

где $S_{\bar{x}}$ - оценка средней квадратической погрешности $\sigma_{\bar{x}}$ ряда из n измерений.

Рассмотренные оценки результатов измерений $\bar{X}$, σ , выражаемые одним числом, называют **точечными оценками случайной погрешности**. Поскольку подобную оценку обычно принимают за действительное значение измеряемой величины, то возникает вопрос о точности и надежности полученной оценки. Судят об этом по вероятности α того, что результат измерений (действительное значение) отличается от истинного не более чем на Δ .

Это можно записать в виде

$$P \left\{ \bar{X} - \Delta \leq A < \bar{X} + \Delta \right\} = \alpha \quad (2.12)$$

Вероятность α называется доверительной вероятностью или коэффициентом надежности, а интервал значений от $\bar{X} - \Delta$ до $\bar{X} + \Delta$ — доверительным интервалом. Обычно его выражают в долях средней квадратической погрешности

$$\Delta = \pm t_{\alpha}(n) \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (2.13)$$

где $t_{\alpha}(n)$ - табулированный коэффициент распределения Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности α и числа измерений n , значения которого можно найти в математических справочниках.

Доверительную вероятность и доверительный интервал называют **интервальными оценками случайной погрешности**.

2.3. Методы обнаружения и исключения систематических погрешностей

Для учёта и устранения систематических погрешностей применяют методы, которые условно можно разбить на две группы: теоретические и экспериментальные способы.

1. **Теоретические способы** возможны, когда может быть получено аналитическое выражение для искомой погрешности на основании априорной информации.
2. **Экспериментальные способы** также предполагают наличие априорной информации, но лишь качественного характера. Для получения количественной оценки необходимо проведение дополнительных исследований.

Для устранения систематических погрешностей применяются следующие методы:

1. Постоянные систематические погрешности.

а) **Метод замещения** - осуществляется путем замены измеряемой величины известной величиной так, чтобы в состоянии и действии средства измерений не происходило изменений;

б) **Метод противопоставления.**

Измерения выполняются с двумя наблюдениями, проводимыми так, чтобы причина постоянной погрешности оказывала разные, но известные по закономерности воздействия на результаты наблюдений.

в) **Метод компенсации погрешности по знаку.**

Измерения также проводятся дважды так, чтобы постоянная систематическая погрешность входила в результат измерения с разными знаками. За результат измерения принимается среднее значение двух измерений.

2. Прогрессирующие систематические погрешности.

а) **Метод симметричных наблюдений.**

Измерения производят с несколькими наблюдениями, проводимыми через равные интервалы времени, затем обрабатывают результаты, вычисляют среднее арифметическое симметрично расположенных наблюдений. Теоретически эти средние значения должны быть равны. Эти данные позволяют контролировать ход эксперимента, а также устранять систематические погрешности.

б) **Метод рандомизации.**

Этот метод основан на переводе систематических погрешностей в случайные. При этом измерение некоторой физической величины проводят рядом однотипных приборов с дальнейшей статистической обработкой полученных результатов. Уменьшение систематической погрешности достигается и при изменении случайным образом методики и условий проведения измерений. При определении значений систематической погрешности, результаты измерений исправляют, то есть вносят либо поправку, или поправочный

множитель, но исправленные результаты обязательно содержат не исключенные остатки систематических погрешностей (НСП)

2.4. Методы обнаружения и исключения грубых погрешностей

При измерении физической величины может появиться результат наблюдения x_B , резко отличающийся от остальных, который называют аномальным. При этом необходимо проверить, не является ли он промахом, который следует исключить.

При обнаружении грубых погрешностей ставится вопрос об учёте или отбрасывании аномального результата наблюдения. Решение этой задачи осуществляется статистическими методами теории вероятности и зависит от проведенного числа измерений.

Если проведено большое число измерений ($n \geq 30$), то пользуются критерием грубых погрешностей.

$|x_B - \bar{x}| > 3\sigma$ - такой результат отбрасывают.

При малом числе измерений ($n < 30$) пользуются критерием, рекомендуемым положениями ГОСТ 8.207 – 76. Для исключения грубых погрешностей из результатов измерений по этому критерию проводят следующие операции.

1. Результаты группы из n наблюдений упорядочивают по возрастанию и по формулам (4.7) и (4.8) вычисляют оценки среднего арифметического $\bar{x}$ и среднеквадратического отклонения наблюдений σ данной выборки. Для аномального результата рассчитывается коэффициент

$$t = \frac{|x_B - \bar{x}|}{\sigma} \quad (2.14)$$

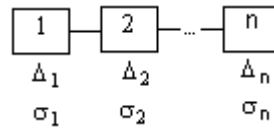
2. Задаются уровнем значимости критерия ошибки α , т.е. наибольшей вероятностью того, что используемый критерий может дать ошибочный результат. Этот уровень должен быть достаточно малым (0.05-0,1), чтобы вероятность ошибки была невелика. Далее по справочным данным для заданных значений n и α находят предельное (граничное) $t_{гр}$.

3. Выполняют сравнение коэффициентов $t_{гр}$ и t :
если $t > t_{гр}$ – аномальный результат относят к промахам и исключают;
если $t < t_{гр}$ – аномальный результат учитывают при обработке результатов наблюдений.

2.5. Суммирование систематических и случайных погрешностей

Погрешность сложных измерительных приборов зависит от погрешностей отдельных его блоков. Суммирование погрешностей производится по определенным правилам. В общем случае измерительный прибор состоит из

n блоков, каждый из которых обладает как систематической Δ_i , так и случайной среднеквадратической σ_i погрешностями.



1. Суммирование систематических погрешностей производится по алгебраическому закону с учётом знаков

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

2. Суммирование случайных погрешностей производится по квадратическому закону с учётом коэффициента корреляции. На практике обычно пользуются двумя крайними случаями, когда корреляция отсутствует, т. е. $\kappa=0$, тогда

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 2 \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \kappa + \sigma_2^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \quad (2.15)$$

$\kappa=1$ - жёсткая корреляция.

$$\sigma = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2} = \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (2.16)$$

3. Результирующая погрешность определяется квадратическим суммированием систематической и случайной погрешностей с учётом коэффициента корреляции.

При суммировании погрешностей используют критерий ничтожной погрешности: если частная погрешность меньше 0,3 общей погрешности, то этой частной погрешностью можно пренебречь.

2.6. Погрешности косвенных измерений

Погрешность косвенных измерений находится в соответствии с теоремой:

пусть физическая величина Z , значение которой определяют косвенным путём, представляет собой нелинейную дифференцируемую функцию $Z=f(x_1, x_2, \dots, x_q)$ и $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_q$ - независимые результаты прямых измерений значений аргументов $X_1, X_2, \dots, X_q$, полученные с абсолютными среднеквадратическими случайными погрешностями $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_q$, и содержащие соответственно абсолютные систематические погрешности $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_q$.

Тогда результат косвенного измерения, определяемый из выражения

$$A = f(X_1, X_2, \dots, X_q)$$

содержит абсолютную систематическую погрешность, определяемую соотношением:

$$\Delta = \left(\frac{d}{dx_1} Z \right) \cdot \Delta_1 + \left(\frac{d}{dx_2} Z \right) \cdot \Delta_2 + \dots + \left(\frac{d}{dx_n} Z \right) \cdot \Delta_n, \quad (2.17)$$

относительную систематическую погрешность:

$$\delta_c = \frac{\Delta}{A} = \left(\frac{d}{dx_1} Z \right) \cdot \frac{\Delta_1}{A} + \dots + \left(\frac{d}{dx_n} Z \right) \cdot \frac{\Delta_n}{A}, \quad (2.18)$$

абсолютную случайную среднеквадратическую погрешность:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{d}{dx_1} Z \right)^2 \cdot (\sigma_1)^2 + \left(\frac{d}{dx_2} Z \right)^2 \cdot (\sigma_2)^2 + \dots + \left(\frac{d}{dx_n} Z \right)^2 \cdot (\sigma_n)^2}, \quad (2.19)$$

относительную случайную погрешность:

$$\delta_{сл} = \frac{\sigma}{A} = \sqrt{\left(\frac{d}{dx_1} Z \right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_1}{A} \right)^2 + \left(\frac{d}{dx_2} Z \right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_2}{A} \right)^2 + \dots + \left(\frac{d}{dx_n} Z \right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_n}{A} \right)^2}. \quad (2.20)$$

При оценке погрешности косвенных измерений необходимо пользоваться критерием ничтожных погрешностей.

Если частная погрешность составляет менее 30% от результирующей - её отбрасывают (на практике используют даже 40%).

2.7 Вопросы и ответы по погрешностям измерений

2.1. Источником погрешности измерения не является ...	1. возможное отклонение измеряемой величины 2. примененный метод измерения 3. примененное средство измерений 4. отклонение условий выполнения измерений от нормальных
2.2. Погрешность результатов косвенных измерений определяется...	1. наибольшей погрешности из всех измеряемых величин 2. суммой произведений погрешностей измеряемых величин на коэффициенты их влияния 3. суммой погрешностей измеряемых величин 4. произведением погрешностей измеряемых величин
2.3. Доверительными границами результата измерения называют...	1. предельные значения случайной величины X при заданной вероятности P 2. возможные измерения случайной величины 3. границы, за пределами которых погрешность встретить нельзя 4. результаты измерений при допускаемых отклонениях условий измерений от нормальных
2.4. По характеру изменения результатов измерений погрешности разделяют на...	1. систематические, случайные и грубые 2. методические, инструментальные и субъективные 3. основные и дополнительные 4. абсолютные и относительные
2.5. Основой описания случайных погрешностей является...	1. матричная алгебра 2. операционное исчисление 3. математическая физика 4. математическая статистика
2.6. В основе определения предела допускаемой погрешности измерения лежит принцип...	1. пренебрежимо малого влияния погрешности измерения на результат измерения 2. реальная погрешность измерения всегда имеет предел 3. случайности значения отсчета 4. погрешность средства измерения значительно больше других составляющих
2.7. При измерении физической величины прибором погрешность, возникающую при отклонении температуры среды от нормальной, следует рассматривать как...	1. относительную 2. методическую 3. субъективную 4. инструментальную

2.8. Интервальными оценками случайной погрешности называют...	1. среднее арифметическое значение 2. результат отдельного измерения 3. доверительный интервал 4. среднее квадратическое отклонение результата отдельного измерения
2.9. Интервальными оценками случайной погрешности называют...	1. среднее квадратическое отклонение результата отдельного измерения 2. доверительную вероятность 3. среднее арифметическое значение 4. результат отдельного измерения
2.10. Точечными оценками случайной погрешности называют...	1. плотность вероятности случайной погрешности отдельного измерения 2. результат отдельного измерения 3. среднее арифметическое значение 4. доверительную вероятность
2.11. Точечными оценками случайной погрешности называют...	1. результат отдельного измерения 2. среднее квадратическое отклонение результата измерения 3. плотность вероятности случайной погрешности отдельного измерения 4. среднее квадратическое отклонение результата отдельного измерения
2.12. За результат многократных равноточных измерений принимают...	1. среднее арифметическое значение результатов отдельных измерений 2. среднее квадратическое отклонение результата отдельного измерения 3. среднее квадратическое отклонение результата измерения 4. плотность вероятности случайной погрешности отдельного измерения
2.13. Появление результата наблюдения, резко отличающегося от остальных, свидетельствует о наличии... погрешностей	1. случайных 2. систематических 3. грубых 4. нормальных
2.14. В соответствии с критерием ничтожных погрешностей частную погрешность отбрасывают, если она составляет... от результирующей	1. 50% 2. 70% 3. 20% 4. 60%
2.15. Суммирование систематических погрешностей производится...	1. по критерию ничтожных погрешностей 2. по алгебраическому закону 3. по квадратическому закону 4. суммированием коэффициентов корреляции

2.16. Действительным значением величины не является значение, которое...	1. воспроизводит или хранит единицу величины 2. имеет нормированные метрологические характеристики 3. имеет измеряемая величина 4. близко к истинному
2.17. При контроле линейных размеров ГОСТ 8.051 рекомендует принимать предел допускаемой погрешности измерения равным...	1. величине допуска контролируемого размера 2. погрешности используемого средства измерения 3. 0,5 величины допуска контролируемого размера 4. 0,35...0,2 величины допуска контролируемого размера
2.18. Составляющая погрешности средства измерения, принимаемая постоянной или закономерно изменяющейся,- ... погрешность	1. относительная 2. случайная 3. частная 4. систематическая

Раздел 3 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Классификация средств измерений

Средства измерений – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики.

1. По назначению средства измерения подразделяют на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы и вспомогательные средства. Совокупность различных средств измерений может образовывать измерительные установки и измерительные системы.

Мера – средство измерения, предназначенное для воспроизведения и хранения единиц физической величины.

Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для преобразования, передачи, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

По принципу действия преобразователи делятся на **генераторные и параметрические**. Выходным сигналом генераторных преобразователей являются ЭДС, напряжение, ток или электрический заряд, функционально связанные с измеряемой величиной и вырабатываемые ей.

К измерительным преобразователям генераторного типа относятся индукционные, термоэлектрические и гальванические преобразователи.

К измерительным преобразователям параметрического типа относятся магнитоупругий преобразователь.

Измерительный прибор – средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного считывания.

Вспомогательные средства измерений – средства измерения величин, влияющих на метрологические свойства других средств измерений.

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

Измерительные системы – совокупность средств измерений, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки и использования в АСУ.

2. В зависимости от точности (метрологического назначения) средства измерения делят на эталоны, образцовые средства измерения и рабочие средства измерения.

Эталон называется средство измерения, обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерения и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Образцовые средства измерения – средства измерения, служащие для поверки по ним других средств измерения, и утвержденные в качестве образцовых.

Рабочие средства измерения – средства измерения, применяемые для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

3. В зависимости от принципа действия (от формы преобразования используемых измерительных сигналов) средства измерения делят аналоговые и цифровые.

Аналоговый измерительный прибор - средство измерения, показания которого являются непрерывной функцией изменения измеряемой величины, например, электронные вольтметры с отсчетным устройством в виде стрелки и шкалы.

Цифровой измерительный прибор (ЦИП) - средство измерения, в котором автоматически вырабатываются дискретные сигналы измерительной информации, а показания представляются в цифровой форме.

ЦИП по сравнению с аналоговыми приборами имеют следующие **преимущества:**

- удобство и объективность отсчета измеряемых величин;
- высокая точность результатов измерения;
- широкий динамический диапазон;
- высокое быстродействие и возможность автоматизации процесса измерения;
- возможность использования новых достижений цифровой и аналоговой микроэлектроники.

Недостатками цифровых измерительных приборов по сравнению с аналоговыми приборами являются:

- схемная сложность;
- относительно высокая стоимость.

Отличительной особенностью цифровых измерительных приборов от аналоговых является преобразование аналогового измерительного сигнала в цифровой код путем:

- дискретизации измеряемой величины по времени;
- квантования измеряемой величины по уровню;
- кодирования полученной цифровой последовательности.

ЦИП включает в себя два обязательных функциональных узла:

- аналого-цифровой преобразователь (АЦП), определяющий сущность ЦИП;
- цифровое отсчетное устройство (ЦОУ).

3.2. Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности

Основные погрешности средств измерения нормируются путем задания пределов допускаемой основной погрешности, при которой средство измерения (СИ) по техническим требованиям может быть допущено к применению.

Для того чтобы оценить погрешность, которую внесет данное СИ в конечный результат, пользуются предельными значениями погрешности для данного типа СИ.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности Δ может быть представлен одним из трех способов:

- постоянным для любых значений X числом, характеризующим аддитивную погрешность,

$$\Delta = \pm a; \quad (3.1)$$

- в виде двухчленной формулы, включающей аддитивную и мультипликативную погрешности,

$$\Delta = \pm (a + bx); \quad (3.2)$$

- в виде уравнения

$$\Delta = f(x) \quad (3.3)$$

При сложной зависимости (3.3) допускается представлять погрешность в виде графика и таблицы.

Пределы допускаемой относительной погрешности для случая (3.1) в процентах выражают формулой

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% = \pm \frac{b}{X} \cdot 100\% = \pm q \quad (3.4)$$

для случая (3.2) – формулой

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| \right) - 1 \right]$$

где X_k – предел измерений;

$c = b + \frac{a}{X_k}$ - имеет смысл приведенной погрешности в конце диапазона измерений (при $X = X_k$);

$d = \frac{a}{X_k}$ - имеет смысл приведенной погрешности в начале диапазона измерений (при $X = 0$), причем $c > d$.

Предел допускаемой приведенной погрешности в процентах выражается формулой

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} \cdot 100\% = \pm p \quad (3.5)$$

где p – отвлеченное положительное число.

Согласно ГОСТ 8.401-80 для указания нормированных пределов допускаемых погрешностей значения p , q , s , d выражаются в процентах и выбираются из ряда чисел: $(1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5 \text{ и } 6) \times 10^n$, где $n = +1; 0; -1; -2; -3$ и т.д.

В настоящее время в эксплуатации большое число средств измерений, метрологические характеристики которых нормируются на основе классов точности.

Класс точности – обобщенная характеристика средства измерения, определяемая пределами допустимых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значение которых устанавливают в соответствующих стандартах.

Класс точности позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность средств измерений одного типа, но не характеризует точности измерений, выполняемых такими средствами, так как погрешность зависит и от метода измерений, и от условий измерений и т.д.

С использованием чисел указанного выше ряда чисел разработаны следующие **условные обозначения классов точности СИ, наносимые на корпус средств измерений**.

1. Класс точности указывают просто одним из чисел приведенного выше предпочтительного ряда p (например, 1,5). Это используют для СИ, у которых предел допускаемой приведенной погрешности постоянен (присутствует только аддитивная погрешность), как в (3.1), X_n в (3.5) выражена в единицах измеряемой величины. Таким способом обозначают классы точности вольтметров, амперметров, ваттметров и большинства других однопредельных и многопредельных приборов с равномерной шкалой или степенной (с показателем степени не более двух) шкалой.

2. Класс точности указывает числом из приведенного выше ряда, под которым ставится треугольная скобка, например, $\triangle 1,5$. Такое обозначение применяют для приборов с резко неравномерной шкалой, для которых X_n выражают в единицах длины шкалы (мм, см, условных делениях). В этом случае при измерении, кроме значения измеряемой величины, обязательно должен быть записан отсчет X в единицах длины шкалы и предел X_n в этих же единицах, иначе нельзя будет вычислить погрешность результата. Таким способом обозначают класс точности омметров.

3. Число, обозначающее класс точности, обводят кружком например, $\textcircled{1,5}$. Такое обозначение применяют для СИ, у которых предел допускаемой относительной погрешности постоянен во всем диапазоне измерений (имеется только мультипликативная погрешность, (a в (3.2) равна нулю) и его определяют по (3.4). Таким способом нормируют погрешности измерительных мостов, магазинов, масштабных преобразователей. При этом обычно указывают границы рабочего диапазона, для которых справедлив данный класс точности.

4. Класс точности обозначается двумя числами, записываемыми через косую черту, т. е. в виде условной дроби c/d , например, 0,02 / 0,01. Такое обозначение применяют для СИ, у которых погрешность нормирована по двухчленной формуле (3.2). Таким способом указывают классы точности цифровых вольтметров, высокоточных потенциометров постоянного тока и других высокоточных приборов.

Обработка результатов однократных измерений выполняется по паспортным данным используемого СИ и приведена на рис 3.1.

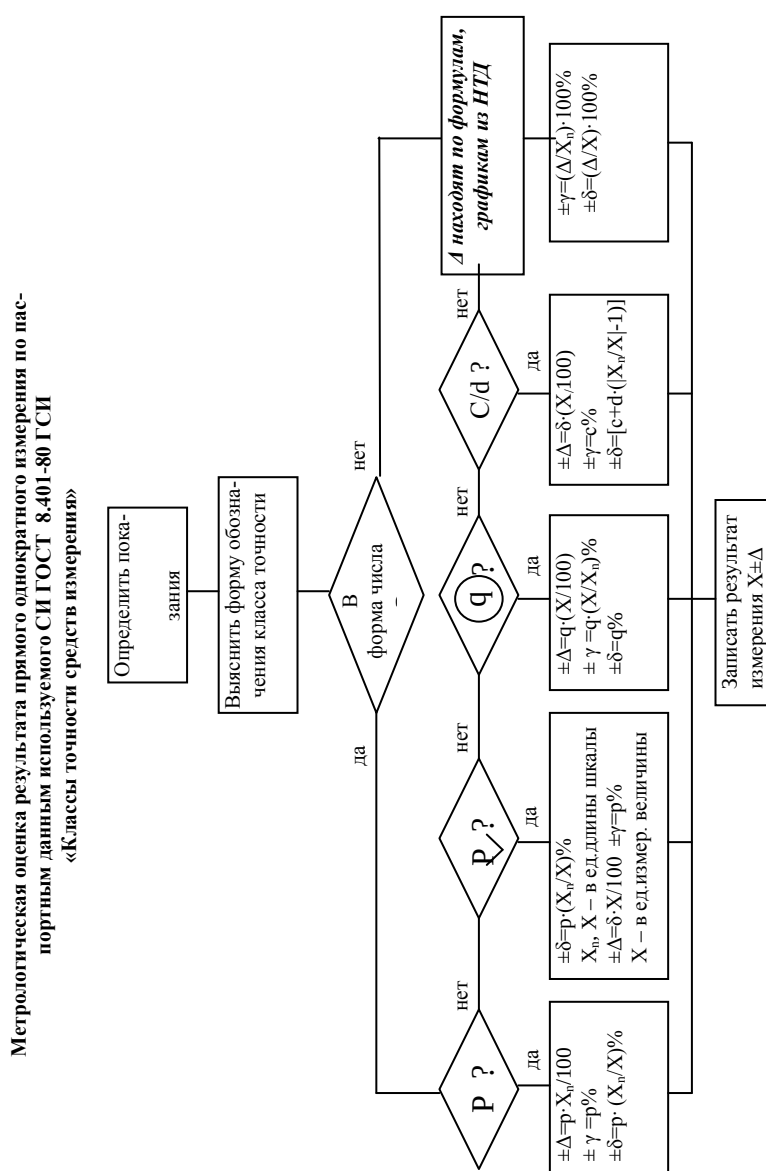


Рис. 3.1

3.3. Стандартная форма записи результата однократных и многократных измерений

Запись результата однократного измерения производится следующим образом:

$$A = X \pm \Delta \quad (3.6)$$

Где X – показание измерительного прибора,

Δ - предел допустимой абсолютной погрешности, определяемой по паспортным данным (классу точности) измерительного прибора (рис. 1.1).

При оценивании результата измерений вычисляются:

- абсолютная погрешность, которая используется для округления результата и его правильной записи;
- относительная и приведенная погрешности, применяемые для сравнения точности результата и прибора

Запись результата прямых многократных измерений производится следующим образом:

$$A = \bar{x} \pm \Delta; \alpha \quad (3.7)$$

где $\bar{x}$ - среднее арифметическое значение измеряемой величины, вычисляемое по формуле

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.8)$$

Δ - доверительный интервал, определяемый соотношением

$$\Delta = \pm t_{\alpha}(n) \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (3.9)$$

где $t_{\alpha}(n)$ - табулированный коэффициент распределения Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности α и числа измерений n , значения которого можно найти в математических справочниках;

$\sigma_{\bar{x}}$ - среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (средняя квадратическая погрешность результата измерений)

$$\sigma_{\bar{x}} = S_{\bar{x}} = \pm \frac{S}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (3.10)$$

где $S_{\bar{x}}$ - оценка средней квадратической погрешности $\sigma_{\bar{x}}$ ряда из n измерений;

α -доверительная вероятность, задаваемая условиями проведения эксперимента.

При записи результата измерения необходимо пользоваться правилами округления.

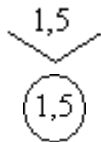
Правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного экспериментального результата:

- погрешность результата измерения указывают двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной, если первая равна 3 и более;
- результат измерения округляют до того же десятичного разряда, которым заканчивается значение абсолютной погрешности;
- округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления выполняются с одним - двумя лишними разрядами.

Значащими цифрами называют все цифры, включая 0, если он стоит в середине или конце числа.

3.4. Вопросы и ответы по средствам измерений и обработки результатов измерений

Задание	Варианты ответов
3.1. По назначению средства измерений подразделяют на...	1. эталон 2. рабочее 3. мера 4. образцовое
3.2. По назначению средства измерений подразделяют на...	1. эталон 2. измерительный прибор 3. рабочее 4. образцовое
3.3. По назначению средства измерений подразделяют на...	1. эталон 2. образцовое 3. рабочее 4. измерительный преобразователь
3.4. По точности (метрологическому назначению) средства измерений подразделяют на...	1. эталон 2. мера 3. измерительный преобразователь 4. измерительный прибор
3.5. По точности (метрологическому назначению) средства измерений подразделяют на...	1. мера 2. образцовое 3. измерительный преобразователь 4. измерительный прибор
3.6. По точности (метрологическому назначению) средства измерений подразделяют на...	1. мера 2. измерительный преобразователь 3. измерительный прибор 4. рабочее
3.7. По назначению средства измерений подразделяют на...	1. эталон 2. измерительные системы 3. рабочее 4. образцовое
3.8. По назначению средства измерений подразделяют на...	1. эталон 2. образцовое 3. рабочее 4. измерительная установка
3.9. По точности (метрологическому назначению) средства измерений подразделяют на...	1. измерительная установка 2. образцовое 3. измерительный преобразователь 4. измерительный прибор
3.10. В зависимости от способа математического выражения погрешности	1. основной и дополнительной 2. абсолютные и относительные

средств измерений подразделяют на...	3. инструментальные 4. случайные
3.11. Технические характеристики, описывающие свойства средств измерений и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называется...	1. метрологическими характеристиками 2. метрологическими нормами 3. динамическими характеристиками 4. нормативно-техническими требованиями
3.12. При оценке реальной погрешности измерений Δ необходимо учитывать...	1. инструментальную, методическую и субъективную составляющие погрешности измерений 2. величину возможного изменения измеряемой величины 3. цель измерения 4. стоимость средств измерений
3.13. Определение «средство измерений» не характеризует следующий признак ...	1. воспроизводит или хранит единицу величины 2. имеет нормированные метрологические характеристики 3. имеет высокий уровень качества 4. это техническое средство
3.14. Выберите обозначение класса точности, соответствующее аналоговому вольтметру	1. 1,5 2. 0,05/0,02 3.  4. 
3.15. Классом точности называется обобщенная характеристика, выражаемая пределами допускаемых погрешностей...	1. случайной 2. грубой 3. основной и дополнительной 4. систематической
3.16. Классы точности наносят на:	1. стойки 2. корпуса средств измерений, циферблаты 3. указатели 4. стрелки
3.17. Выберите обозначение класса точности, соответствующее цифровому вольтметру	1. 1,5 2. 0,05/0,02 3. 

	4. $\textcircled{1,5}$
3.18. Выберите обозначение класса точности, соответствующее аналоговому омметру	1. 1,5 2. 0,05/0,02 3. $\textcircled{1,5}$ 4. $\textcircled{1,5}$
3.19. Выберите обозначение класса точности, соответствующее цифровому омметру	1. 1,5 2. 0,05/0,02 3. $\textcircled{1,5}$ 4. $\textcircled{1,5}$
3.20. Выберите обозначение класса точности, соответствующее аналоговому вольтметру	1. 1,3 2. 2,7 3. 2,5 4. 3,2
3.21. Выберите обозначение класса точности, соответствующее аналоговому вольтметру	1. 3,3 2. 1,7 3. 4,0 4. 3,9
3.22. Выберите обозначение класса точности, соответствующее цифровому вольтметру	1. 3,3/1,7 2. 0,02/0,01 3. 1,0/1,5 4. 3,9/2,3
3.23. Выберите запись результата измерения напряжения 53,86 В, если абсолютная погрешность равна 0,074 В	1. $53,86 \pm 0.074 \text{ В}$ 2. $53,860 \pm 0.074 \text{ В}$ 3. $53,9 \pm 0.1 \text{ В}$ 4. $53,86 \pm 0.07 \text{ В}$
3.24. Выберите запись результата измерения напряжения 17,92 В, если абсолютная погрешность равна 0,013 В	1. $17,92 \pm 0.013 \text{ В}$ 2. $17,920 \pm 0.013 \text{ В}$ 3. $17,9 \pm 0.01 \text{ В}$ 4. $17,92 \pm 0.01 \text{ В}$
3.25. Выберите запись результата измерения напряжения 72,8 В, если абсолютная погрешность равна 0,123 В	1. $72,80 \pm 0,123 \text{ В}$ 2. $72,800 \pm 0.123 \text{ В}$ 3. $72,80 \pm 0.12 \text{ В}$ 4. $72,8 \pm 0.123 \text{ В}$
3.26. Выберите запись результата измерения напряжения 0,375 В, если абсолютная погрешность равна 412 мкВ	1. $375,0 \pm 0,4 \text{ мВ}$ 2. $375,0 \pm 0,41 \text{ мВ}$ 3. $375,0 \pm 0,412 \text{ мВ}$ 4. $375 \pm 0,4 \text{ мВ}$
3.27. Выберите запись результата измерения напряжения 724,8 В, если абсо-	1. $725 \pm 2 \text{ В}$ 2. $724,80 \pm 1,63 \text{ В}$

лютная погрешность равна 1,63 В	3. $724,8 \pm 1,63 \text{ В}$ 4. $724,8 \pm 1,6 \text{ В}$
3.28. Выберите запись результата измерения напряжения 53,86 В, если доверительный интервал равен 0,074 В при доверительной вероятности 0,92	1. $53,86 \pm 0,074 \text{ В}; 0,92$ 2. $53,860 \pm 0,074 \text{ В}; 0,92$ 3. $53,86 \pm 0,07 \text{ В}; 0,92$ 4. $53,9 \pm 0,1 \text{ В}; 0,92$
3.29. Выберите запись результата измерения напряжения 17,92 В, если доверительный интервал равен 0,013 В при доверительной вероятности 0,96	1. $17,92 \pm 0,013 \text{ В}; 0,96$ 2. $17,920 \pm 0,013 \text{ В}; 0,96$ 3. $17,9 \pm 0,01 \text{ В}; 0,96$ 4. $17,92 \pm 0,01 \text{ В}; 0,96$
3.30. Выберите запись результата измерения напряжения 72,8 В, если доверительный интервал равен 0,123 В при доверительной вероятности 0,95	1. $72,80 \pm 0,12 \text{ В}; 0,95$ 2. $72,800 \pm 0,123 \text{ В}; 0,95$ 3. $72,80 \pm 0,123 \text{ В}; 0,95$ 4. $72,8 \pm 0,123 \text{ В}; 0,95$
3.31. Выберите запись результата измерения напряжения 0,675 В, если доверительный интервал равен 321 мкВ при доверительной вероятности 0,98	1. $675,0 \pm 0,32 \text{ мВ}; 0,98$ 2. $675,0 \pm 0,3 \text{ мВ}; 0,98$ 3. $675,0 \pm 0,321 \text{ мВ}; 0,98$ 4. $675 \pm 0,3 \text{ мВ}; 0,98$
3.32. Выберите запись результата измерения напряжения 724,8 В, если доверительный интервал равен 1,63 В при доверительной вероятности 0,92	1. $724,8 \pm 1,6 \text{ В}; 0,92$ 2. $724,80 \pm 1,63 \text{ В}; 0,92$ 3. $724,8 \pm 1,63 \text{ В}; 0,92$ 4. $725 \pm 2 \text{ В}; 0,92$
3.33. По способу выражения погрешности средств измерений могут быть...	1. абсолютные 2. систематические 3. случайные 4. грубые
3.34. По способу выражения погрешности средств измерений могут быть...	1. случайные 2. систематические 3. относительные 4. грубые
3.35. Главным параметром для средств измерений является...	1. долговечность 2. цена изделия 3. погрешность измерения 4. диапазон измерения
3.36. Если пределы допускаемой основной погрешности выражены в форме абсолютной погрешности средств измерений, то класс точности обозначается...	1. римскими цифрами 2. малыми буквами римского алфавита 3. буквами арабского алфавита 4. буквами греческого алфавита
3.37. Если пределы допускаемой основной погрешности выражены в форме абсолютной погрешности средств измере-	1. буквами арабского алфавита 2. прописными буквами латинского алфавита

ний, то класс точности обозначается...	3. малыми буквами римского алфавита 4. буквами греческого алфавита
3.38. Мультиметр класса точности 2/1 на диапазоне до 2 мкФ показывает при измерении электрической емкости 0,8 мкФ. Предел допускаемой относительной погрешности прибора равен...	1. 3,0% 2. 1,0% 3. 3,5% 4. 2,0%
3.39. Омметр класса точности 1/0,5 на диапазоне до 20 кОм при измерении сопротивления показывает 10 кОм. Предел допускаемой относительной погрешности прибора равен...	1. 2% 2. 1,5% 3. 3% 4. 3,5%
3.40. Вольтметр класса точности 0,2/0,1 на диапазоне до 10 В при измерении напряжения показывает 2,5 В. Предел допускаемой относительной погрешности прибора равен...	1. 0,5% 2. 1% 3. 0,3% 4. 1,5%
3.41. Диапазон измерения средств измерения выбирается в зависимости от...	1. наибольшего и наименьшего возможных значений измеряемой величины 2. необходимого быстродействия проведения измерения 3. его стоимости 4. предела допускаемой погрешности измерения
3.42. Обобщенная характеристика средств измерений (СИ) данного типа, определяемая пределами допускаемой погрешности называется ...	1. классом точности 2. комплексным показателем качества СИ 3. метрологической характеристикой 4. интегральным показателем качества СИ
3.43. Обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых и дополнительных погрешностей это...	1. цена деления 2. класс точности средства измерения 3. диапазон средства измерения 4. функция влияния
3.44. При выборе средства измерений целесообразно обеспечить соотношение предела допускаемой Δ_p и реальной Δ погрешностей измерения:	1. $\Delta_p = \Delta$ 2. $\Delta_p \leq \Delta$ 3. $\Delta_p \gg \Delta$ 4. $\Delta_p \geq \Delta$
3.45. Выбор средства измерения следует начинать с определения...	1. оценки реальной погрешности измерения 2. наличия в организации средств измерений 3. предела допускаемой погрешности

	измерения 4. условия выполнения измерений
3.46. Приведенной погрешностью средств измерений (СИ) при указании классов точности является:	1. отношение предела допускаемой погрешности СИ к значению измеряемой величины в % 2. отношение предельной погрешности СИ к нормирующему значению в % 3. отношение погрешности средства поверки к погрешности данного СИ 4. абсолютное значение предела допускаемой погрешности
3.47. Средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, в процессе эксплуатации подвергаются...	1. поверке 2. метрологической аттестации 3. сертификации 4. калибровке
3.48. Технические средства, хранящие единицу величины и позволяющие сопоставить измеряемую величину с ее единицей- ...	1. средства измерений 2. измерительные возможности 3. создание запаса поверенных КИП 4. устройства для измерений
3.49. Рабочие эталоны (образцовые средства измерений) предназначены...	1. для измерений физических величин, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений 2. для передачи размера единицы измерений средствам измерений, нижестоящим по поверочной схеме 3. для воспроизведения физической величины заданного размера 4. для преобразования измеряемой неэлектрической величины в электрическую
3.50. Совокупность функционально и конструктивно объединенных средств измерений и других устройств в одном месте для рационального решения задачи измерений или контроля называют.	1. информационно-измерительной системой 2. измерительным прибором 3. информационно-вычислительным комплексом 4. измерительной установкой
3.51. Функция преобразования измерительного преобразователя относится к группе метрологических характеристик средств измерений:	1. динамическим 2. чувствительности СИ к влияющим величинам 3. для определения результатов измерений 4. погрешности
3.52. Блок в структурной схеме цифрового измерительного прибора (ЦИП), опре-	1. цифровым отсчетным устройством 2. устройством сравнения

деляющий его сущность, называется...	3. устройством управления 4. аналого-цифровым преобразователем
3.53. Отличительной особенностью цифровых измерительных приборов от аналоговых является...	1. обеспечение длительного монотонного сигнала 2. квантование измеряемой величины по уровню; дискретизация измеряемой величины по времени 3. преобразование дискретного сигнала в непрерывный 4. чувствительность к влияющим величинам
3.54. Преимуществами цифровых измерительных приборов перед аналоговыми являются...	1. высокая устойчивость к внешним механическим и климатическим воздействиям 2. удобство и объективность отсчета 3. быстрое действие, за счет наличия подвижных электромеханических элементов 4. сравнительно низкая стоимость
3.55. В цифровую часть схемы цифрового измерительного прибора может входить ...	1. выпрямитель 2. АЦП, устройство управления 3. резонансный усилитель 4. выходной аналоговый преобразователь
3.56. Аналого-цифровой преобразователь может выполнять операцию ...	1. сравнения аналоговой величины с мерой 2. определение скорости передачи аналоговой величины 3. кодирования информации 4. преобразования входного сигнала в аналоговый вид
3.57. Кодирование измерительной информации обеспечивает ...	1. непрерывность выходного сигнала 2. возможность длительного хранения в запоминающих устройствах 3. монотонность измерительного сигнала 4. снижение стоимости прибора
3.58. Кодирование измерительной информации обеспечивает ...	1. непрерывность выходного сигнала 2. снижение стоимости прибора 3. монотонность измерительного сигнала

	нала 4. удобство ее регистрации и обработки
3.59. В цифровую часть схемы цифрового измерительного прибора может входить ...	1. выпрямитель 2. цифро-аналоговый преобразователь 3. резонансный усилитель 4. выходной аналоговый преобразователь
3.60. Эталонную базу страны составляют...	1. совокупность специальных эталонов 2. совокупность государственных первичных и вторичных эталонов страны 3. совокупность рабочих эталонов 4. совокупность эталонов основных единиц SI
3.61. Милливольтметр термоэлектрический класса точности 0,5 с пределами измерения от 200 до 600 мВ, показывает 300мВ. Укажите предел допускаемой абсолютной погрешности прибора в мВ.	1. 1,5 2. 1 3. 3 4. 2
3.62. Электрическое сопротивление нагрузки определяется по закону Ома $R=U/I$. При измерении силы тока и напряжения получены значения $U=100\pm1$ В, $I=2\pm0,1$ А. Возможное отклонение истинного значения электрического сопротивления от измеренного будет равно ...	1. $\pm 1,1$ Ом 2. ± 10 Ом 3. $\pm 2,2$ Ом 4. ± 3 Ом
3.63. Электрическое сопротивление нагрузки определяется по закону Ома $R=U/I$. При измерении силы тока и напряжения получены значения $U=100\pm1$ В, $I=2\pm0,1$ А. Результат измерения следует записать в виде:	1. $R = 50,0 \pm 1,1$ Ом 2. $R = 48 \pm 10$ Ом 3. $R = 50,0 \pm 2,2$ Ом 4. $R = 50 \pm 3$ Ом
3.64. Сопротивление нагрузки определяется по закону Ома $R=U/I$. Показания вольтметра $U=100$ В, амперметра $I=2$ А. Средние квадратические отклонения показаний: вольтметра $\sigma_U=0,5$ В, амперметра $\sigma_I=0,05$ А. доверительные границы истинного значения сопротивления с вероятностью $P=0,95$ ($t_p=1,96$) равны...	1. $48,5 \text{ Ом} \leq R \leq 51,5 \text{ Ом}$, $P=0,95$ 2. $40,0 \text{ Ом} \leq R \leq 60,0 \text{ Ом}$, $t_p=1,96$ 3. $47,5 \text{ Ом} \leq R \leq 52,5 \text{ Ом}$, $P=0,95$ 4. $48,9 \text{ Ом} \leq R \leq 51,1 \text{ Ом}$, $P=0,95$
3.65. При измерении индуктивности катушки L получено значение 30 мГн с погрешностью 0,01 мГн при доверительной вероятности $P=0,95$. Результат измерения	1. $L=30,01$ мГн 2. $L=30,000\pm0,010$ мГн; $P=0,95$ 3. $L=30$ мГн; $P=0,95$ 4. $L=29,99$ мГн

следует записать...	
3.66. При измерении растягивающего усилия кабеля динамометр показывает 1000 Н, погрешность градуировки равна -50 Н. Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_F=10$ Н. Укажите доверительные границы для истинного значения измеряемого усилия с вероятностью $P=0,9544(t_p=2)$.	1. $F=1000\pm60$ Н, $P=0,9544$ 2. $F=1050\pm20$ Н, $P=0,9544$ 3. $F=1000\pm20$ Н, $t_p=2$ 4. $F=950\pm20$ Н, $P=0,9544$
3.67. При многократном измерении влажности воздуха получены значения: 65, 64, 66, 65, 63, 64, 66, 67. Укажите доверительные границы истинного значения влажности воздуха в % с вероятностью $P=0,928(t_p=2,16)$.	1. $65,0\pm2,8$ %, $P=0,928$ 2. $63\dots67$ %, $t_p=2,16$ 3. $65,0\pm1,0$ %, $P=0,928$ 4. 65 ± 2 %, $P=0,928$
3.68. При многократном взвешивании массы m получены значения в кг: 94, 98, 101, 96, 94, 93, 97, 95, 96. Укажите доверительные границы истинного значения массы с вероятностью $P=0,98(t_p=2,986)$.	1. $m=96\pm6,6$ кг, $t_p=2,986$ 2. $m=97\pm2,2$ кг, $P=0,98$ 3. $m=96\pm3$ кг, $P=0,98$ 4. $m=96,0\pm2,2$ кг, $P=0,98$
3.69. При многократном измерении емкости конденсаторов получены отклонения от номинального размера C в мкФ: 0, +1, +2, +3, +1, -1. При вероятности $P=0,982$ коэффициент Стьюдента $t_p=3,465$. Результат измерения следует записать...	1. $-4\text{мкФ} \leq C \leq +6\text{ мкФ}$, $P=0,982$ 2. $-2\text{мкФ} \leq C \leq +3\text{ мкФ}$, $P=0,982$ 3. $-1\text{мкФ} \leq C \leq +3\text{ мкФ}$, $t_p=3,465$ 4. $-1\text{мкФ} \leq C \leq +3\text{ мкФ}$, $P=0,982$
3.70. При многократном измерении постоянного напряжения U получены значения в В: 14,2; 13,8; 14,0; 14,8; 13,9; 14,1; 14,5; 14,3. Укажите доверительные границы истинного значения напряжения с вероятностью $P=0,99(t_p=3,499)$.	1. $U=14,3\pm0,4$ В, $P=0,99$ 2. $U=14,2\pm1,1$ В, $t_p=3,499$ 3. $U=14,2\pm0,4$ В, $P=0,99$ 4. $U=14,2\pm0,3$ В, $P=0,99$
3.71. При многократном измерении длины L получены значения в мм: 30,2; 30,0; 30,4; 29,7; 30,3; 29,9; 30,2. Укажите доверительные границы истинного значения длины с вероятностью $P=0,98(t_p=3,143)$.	1. $L=30,3\pm0,3$ мм, $P=0,98$ 2. $L=30,1\pm0,3$ мм, $P=0,98$ 3. $L=30,1\pm0,2$ мм, $P=0,98$ 4. $L=30,1\pm0,8$ мм, $t_p=3,143$
3.72. При многократном измерении температуры T в производственном помещении получены значения в градусах Цельсия : 20,4; 20,2; 20,0; 20,5; 19,7; 20,3; 20,4; 20,1. Укажите доверительные гра-	1. $T=20,1\pm0,2$ ° С, $P=0,95$ 2. $T=20,2\pm0,6$ ° С, $t_p=2,365$ 3. $T=20,2 \pm 0,3$ ° С, $P=0,95$ 4. $T=20,2\pm0,2$ ° С, $P=0,95$

ницы истинного значения температуры с вероятностью $P=0,95$ ($t_p=2,365$).	
3.73. Амперметр с пределами измерений от -10А до +25А класса точности 1,0 показывает 5А. Предел допускаемой погрешности прибора равен ...	1. 0,25А 2. 0,35А 3. 0,05А 4. 0,15А
3.74. Счетчик электрической энергии класса точности ② показывает 500 кВт-час. Предел допускаемой абсолютной погрешности прибора равен...	1. 2,5 кВт-час 2. 5 кВт-час 3. 10 кВт-час 4. 2 кВт-час
3.75. Вольтметр показывает 230 В. Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_U=2$ В. Погрешность от подключения вольтметра в цепь (изменение напряжения) равна -1 В. Истинное значение напряжения с вероятностью $P=0,9544$ ($t_p=2$) равно...	1. $U=231 \pm 4$ В, $P=0,9544$ 2. $U=230 \pm 3$ В, $P=0,9544$ 3. $U=231 \pm 2$ В, $t_p=2$ 4. $U=230 \pm 5$ В, $P=0,9544$
3.76. При измерении напряжения в сети получены 3 показания вольтметра в В: 228, 230, 235. Значением измеряемой величины будет...	1. 235 В 2. 228 В 3. 231 В 4. 230 В
3.77. При измерении электрического сопротивления нагрузки омметр показывает 85 Ом. Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_R=1$ Ом. Погрешность от подключения омметра в сеть $\Delta_S=-2$ Ом. Доверительные границы для истинного значения сопротивления с вероятностью $P=0,9544$ ($t_p=2$) можно записать...	1. $82 \text{ Ом} \leq R \leq 88 \text{ Ом}$, $t_p=2$ 2. $81 \text{ Ом} \leq R \leq 85 \text{ Ом}$, $P=0,9544$ 3. $83 \text{ Ом} \leq R \leq 87 \text{ Ом}$, $P=0,9544$ 4. $85 \text{ Ом} \leq R \leq 89 \text{ Ом}$, $P=0,9544$
3.78. При выборе средства измерения температуры производственного помещения $20 \pm 3^\circ \text{C}$ предел допускаемой погрешности измерения следует принять...	1. $1,5^\circ \text{C}$ 2. $0,5^\circ \text{C}$ 3. $6,0^\circ \text{C}$ 4. $3,0^\circ \text{C}$
3.79. При измерении падения напряжения вольтметр показывает 36 В. Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_U=0.5$ В. Погрешность от подключения вольтметра в сеть $\Delta_S=-1$ В. доверительные границы для истинного значения па-	1. $34 \text{ В} \leq U \leq 38 \text{ В}$, $t_p=1,96$ 2. $36 \text{ В} \leq U \leq 38 \text{ В}$, $P=0,95$ 3. $34 \text{ В} \leq U \leq 36 \text{ В}$, $P=0,95$ 4. $35 \text{ В} \leq U \leq 37 \text{ В}$, $P=0,95$

дения напряжения с вероятностью $P=0,95(t_p=1,96)$ можно записать...	
3.80. К измерительным преобразователям генераторного типа относится...	1.магнитоупругий 2.емкостной 3.индукционный 4.активного сопротивления
3.81. К измерительным преобразователям генераторного типа относится...	1.магнитоупругий 2.емкостной 3.термоэлектрический 4.активного сопротивления
3.82. К измерительным преобразователям генераторного типа относится...	1. реостатный 2. емкостной 3. гальванический 4.активного сопротивления
3.83. К измерительным преобразователям параметрического типа относится...	1.термоэлектрический 2. пьезоэлектрический 3. магнитоупругий 4. гальванический
3.84. Числу 13 в десятичной системе счисления соответствует число в двоичной -...(если в старшем разряде 0, то его не указывать)	1. 1101 2. 1110 3. 1011 4. 1100
3.85. Числу 10101 в двоичной системе счисления соответствует число в десятичной-...	1. 21 2. 31 3. 27 4.25
3.86. Среднее значение величины из ряда неравноточных измерений, определенное с учетом весов отдельных измерений, -...	1. среднеарифметическое взвешенное 2. суммарное среднее 3. среднее откорректированное 4. среднее стехиометрическое
3.89. При выборе универсального средства измерения для контроля изделий не следует рассматривать...	1. погрешность средств измерений 2. цену деления 3. диапазон измерений 4. конструктивное исполнение средств измерений
3.90. Метрологической аттестации подвергаются средства измерений...	1. рабочие средства измерений низкой точности 2. единичного производства (или ввозимого единичными экземплярами по импорту) 3. рабочие средства измерений, изготовленные серийно 4. высокоточные рабочие средства измерений

3.91. Поправка на показание весов, систематическая погрешность которых составляет +1,0 г, равна	1. 0,0 г 2. – 1,0 г 3. $\pm 1,0$ г 4. +1,0 г
3.92. Значение весового коэффициента h_3 алгоритма оценки истинного значения при неравноточных измерениях в 3-х сериях $Z=0.2y_1+0.7 y_2 + h_3 y_3$ равно...	1. 0,9 2. 0,2 3. 0,5 4. 0,1
3.93. Мера – это...	1. совокупность, функционально объединенных средств измерений, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации 2. средство измерений, предназначенное для выработки сигналов измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия человеком 3. совокупность средств измерений, соединенных между собой каналами связи и предназначенная для выработки сигналов измерительной информации 4. средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера

3.5. Примеры решения задач по средствам измерений и обработке результатов измерений

Задача № 3.1

Мультиметр класса точности 2/1 на диапазоне до 2 мкФ показывает при измерении электрической емкости 0,8 мкФ. Предел допускаемой относительной погрешности прибора равен...

Решение

В задании класс точности выражает относительную погрешность, которая определяется по выражению

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| \right) - 1 \right]$$

где $c = 2$, $d = 1$, $X_k = 2$ мкФ, $X = 0,8$ мкФ.

Следовательно, $\delta = 2 + 1(2/0,8 - 1) = 3,5\%$

Задача № 3.2

При многократном измерении температуры T в производственном помещении получены значения в градусах Цельсия : 20,4; 20,2; 20,0; 20,5; 19,7;

20,3; 20,4; 20,1. Укажите доверительные границы истинного значения температуры с вероятностью $P=0,95$ ($t_p=2,365$).

Решение

За результат многократного измерения принимают среднее арифметическое результатов наблюдений $\bar{x}$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{20,4 + 20,2 + 20,0 + 20,5 + 19,7 + 20,3 + 20,4 + 20,1}{8} = 20,2$$

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений

$$\Delta = \pm t_a(n) \cdot \sigma_{\bar{x}} = 2,365 \cdot 0,09 = 0,22^\circ \text{C}$$

где $t_a(N)$ ($t_p=2,365$)- табулированный коэффициент распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$ и числе измерений $N=8$;

среднее квадратическое отклонение среднего арифметического $\sigma_{\bar{x}}$ (средняя квадратическая погрешность результата измерений)

$$\sigma_{\bar{x}} \cong \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} = 0,09$$

Следовательно, $T=20,2 \pm 0,2^\circ \text{C}$, $P=0,95$

Задача № 3.3

Сопротивление нагрузки определяется по закону Ома $R=U/I$. Показания вольтметра $U=100 \text{ В}$, амперметра $I=2 \text{ А}$. Средние квадратические отклонения показаний: вольтметра $\sigma_U=0,5 \text{ В}$, амперметра $\sigma_I=0,05 \text{ А}$. доверительные границы истинного значения сопротивления с вероятностью $P=0,95$ ($t_p=1,96$) равны...

Решение

При косвенных измерениях, когда известны функция и средние квадратические отклонения погрешностей измерения аргументов, используется зависимость для определения среднего квадратического отклонения погрешности измерения искомой величины (функции). Доверительный ин-

тервал для искомой величины: $\frac{\varepsilon_y = \pm t_p \sigma_y}{2}$, где $\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_i^2}$, где k

- число измеряемых аргументов, $\frac{\partial y}{\partial x_i}$ - частные производные или коэффици-

циенты влияния аргументов на искомую величину, σ_i - средние квадратические отклонения погрешностей измерений соответствующих аргументов, t_p - коэффициент, определяемый по таблице распределения Лап-

са в зависимости от заданной доверительной вероятности. Здесь два аргумента U и I . Значение сопротивления равно $R=100/2=50 \text{ Ом}$. Средне квадратическое отклонение погрешности определения сопротивления:

$$\sigma_R = \sqrt{(R/\partial U)^2 \sigma_U^2 + (R/\partial I)^2 \sigma_I^2} = \sqrt{(1/I)^2 \sigma_U^2 + (U/I^2)^2 \sigma_I^2} = 1,275 \text{ Ом.}$$

Доверительные границы $\varepsilon_R = \pm 1,96 \cdot 1,275 = \pm 2,499 \text{ Ом} \approx 2,5 \text{ Ом}$.

Следовательно, $47,5 \text{ Ом} \leq R \leq 52,5 \text{ Ом}$, $P=0,95$

Задача № 3.4

Электрическое сопротивление нагрузки определяется по закону Ома $R=U/I$. При измерении силы тока и напряжения получены значения $U=100\pm 1 \text{ В}$, $I=2\pm 0,1 \text{ А}$. Результат измерения следует записать в виде:

Решение

При косвенных измерениях, когда известны функция и предельные погрешности измерения аргументов, используется зависимость для определения предельной погрешности измерения искомой величины (функции): $\Delta_y = \sum_{i=1}^k \left| \frac{\partial y}{\partial x_i} \right| \Delta x_i$, где k - число измеряемых аргументов, $\frac{\partial y}{\partial x}$ - частные

производные или коэффициенты влияния аргументов на искомую величину, Δx_i - предельные погрешности измерений соответствующих аргументов. Здесь два аргумента U и I . Значение сопротивления равно $R=100/2=50 \text{ Ом}$. Погрешность определения сопротивления:

$$\Delta_R = \partial R / \partial U \times \Delta_U + \partial R / \partial I \times \Delta_I = 1/I + U/I^2 \quad 1+100/4 \quad 0,1=3 \text{ Ом}.$$

Следовательно, $R = 50 \pm 3 \text{ Ом}$

Задача № 3.5

Вольтметр показывает 230 В. Среднее квадратическое отклонения показаний $\sigma_U = 2 \text{ В}$. Погрешность от подключения вольтметра в цепь (изменение напряжения) равна -1 В. Истинное значение напряжения с вероятностью $P=0,9544$ ($tp=2$) равно...

Решение

Здесь представлен результат однократного прямого измерения с наличием случайной и систематической составляющих погрешности измерения. Систематическая составляющая погрешности постоянна, т.к. указан знак. Поэтому сначала нужно ввести в показание поправку $q = -\Delta_s = +1 \text{ В}$. Исправленный результат будет равен: $U=230+1=231 \text{ В}$. Случайная составляющая погрешности измерения $\varepsilon_U = \pm t_p \sigma_U = \pm 2 \cdot 2 = \pm 4 \text{ В}$.

Следовательно, $U=231 \pm 4 \text{ В}$, $P=0,9544$

Задача № 3.6

При измерении электрического сопротивления нагрузки омметр показывает 85 Ом. Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_R = 1 \text{ Ом}$. Погрешность от подключения омметра в сеть $\Delta_s = -2 \text{ Ом}$. Доверительные границы для истинного значения сопротивления с вероятностью $P=0,9544$ ($tp=2$) можно записать...

Решение

В задании указаны 2 составляющие погрешности – постоянная систематическая Δ_s и случайная, выраженная стандартным отклонением σ_R . Постоянную систематическую погрешность можно компенсировать поправкой $q = -\Delta_s$. Доверительный интервал случайной составляющей погрешности измерения $\varepsilon = \pm t_p \sigma_R$.

Следовательно, $85 \text{ Ом} \leq R \leq 89 \text{ Ом}$, $P=0,9544$

Задача № 3.7

При выборе средства измерения температуры производственного помещения $20 \pm 3^\circ \text{C}$ предел допускаемой погрешности измерения следует принять...

Решение

Предел допуска погрешности измерения рекомендуется принимать 0,1 ... 0,3 от возможного изменения измеряемой величины (от допуска).

Следовательно, $1,5^\circ \text{C}$

Задача № 3.8

При измерении падения напряжения вольтметр показывает 36 В. Среднее квадратическое отклонение показаний $\sigma_U = 0.5 \text{ В}$. Погрешность от подключения вольтметра в сеть $\Delta_s = -1 \text{ В}$. доверительные границы для истинного значения падения напряжения с вероятностью $P=0,95$ ($t_p=1,96$) можно записать...

Решение

В задании указаны 2 составляющие погрешности - постоянная систематическая Δ_s и случайная, выраженная стандартным отклонением σ_R . Постоянную систематическую погрешность можно компенсировать поправкой $q = -\Delta_s$. Доверительный интервал случайной составляющей погрешности измерения $\varepsilon = \pm t_p \sigma_R$. Исправленный результат $U = 36 + 1 = 37 \text{ В}$, $\varepsilon = \pm 1,96 \cdot 0.5 = \pm 0.98 \text{ В}$. После округления $\varepsilon = 1.0 \text{ В}$.

Следовательно, $36 \text{ В} \leq U \leq 38 \text{ В}$, $P=0,95$

Задача № 3.9

Определить максимальную абсолютную, относительную, приведённую погрешности и сделать запись результата измерения напряжения аналоговым вольтметром с классом точности 1,5 с пределом 1В для показания 0,87 В.

Решение

Для аналогового вольтметра с классом точности $p = 1,5$ максимальная абсолютная погрешность равна (рис.3.1):

$$\pm \Delta = p \cdot \frac{X_N}{100},$$

где p – класс точности;

X_N – нормирующее значение измеряемой величины, равное пределу измерения

$$\pm \Delta = 1,5 \cdot \frac{1}{100} = 0,015 \text{ В.}$$

Приведённая погрешность: $\pm \gamma = p\% = 1,5\%$

Относительная погрешность:

$$\pm \delta = p \cdot \frac{X_N}{X} = 1,5 \frac{1}{0,87} = 1,72\%$$

Следовательно, в соответствии с правилами округления результат измерения имеет вид $0,870 \pm 0,015 \text{ В}$

Задача № 3.10

Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0,1/0,05 с пределом 10 В для показания 7,93 В

Решение

Для цифрового вольтметра относительная погрешность равна (рис. 3.1):

$$\pm \delta = \left[c + d \left(\left| \frac{X_K}{X} \right| - 1 \right) \right] = 0,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,93} \right| - 1 \right) = 0,113\%$$

Здесь $X_K = 10 \text{ В}$ предел измерений;

$c/d = 0,1/0,05$ – класс точности;

$X = 7,93 \text{ В}$ – показание цифрового вольтметра.

По относительной погрешности определяется абсолютная:

$$\pm \Delta = \delta \cdot \frac{X}{100} = 0,113 \cdot \frac{7,93}{100} = 0,009 \text{ В}$$

Следовательно, в соответствии с правилами округления результат измерения имеет вид $7,930 \pm 0,009 \text{ В}$

Задача № 3.11

Определить доверительный интервал и записать результат измерения напряжения 37,86 В при СКО погрешности однократного измерения 0,14 В, если число измерений равно 5, доверительная вероятность 0,93.

Решение

Доверительный интервал результата измерения при доверительной вероятности α равен :

$$\Delta = \pm t_{\alpha} \cdot \sigma_{\bar{K}},$$

где t_α - коэффициент распределения Стьюдента, зависящий от α и числа измерений N .

При $\alpha=0,93$ и $N=5$ в соответствии с табл.1.1 имеем значение $t_\alpha = 2,456$.

Средняя квадратическая погрешность результата измерений σ_x равна

$$\sigma_x \cong \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0,14}{\sqrt{5}} = 0,0625 \text{ В}$$

Доверительный интервал результата измерения получается равным

$$\Delta = \pm t_\alpha \sigma_{\bar{x}} = \pm 2,456 \cdot 0,0623 = 0,153 \text{ В}$$

Следовательно, результат прямых многократных измерений напряжения записывается в виде $37,86 \pm 0,15 \text{ В}; 0,93$

Задача № 3.12

Числу 13 в десятичной системе счисления соответствует число в двоичной - ... (если в старшем разряде 0, то его не указывать)

Решение

Значения чисел в десятичной системе $2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 16 + 8 + 4 + 2 + 1$.
Чтобы получилось число 13, необходимо оставить 2-е, 3-е и 5-е слагаемые.

Следовательно, число в двоичной системе будет 01101 или 1101.

Задача № 3.13

Числу 10101 в двоичной системе счисления соответствует число в десятичной-...

Решение

Значениям чисел в двоичной системе 10101 соответствует порядок значений в десятичной $2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0$.

Следовательно, число в десятичной системе будет равно $16 + 0 + 4 + 0 + 1 = 21$

Раздел 4 ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

4.1. Параметры переменных напряжений

Для характеристики переменного напряжения используют следующие параметры:

- среднее значение (постоянная составляющая) U_0

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} S_{u(t)} \quad (4.1)$$

где $S_{u(t)}$ - площадь, занимаемая кривой напряжения;

- средневыврямленное значение $U_{св}$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (4.2)$$

- среднеквадратическое (действующее, эффективное) значение

$$U_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (4.3)$$

Для несинусоидального напряжения, разложенного в ряд Фурье, т.е.

$$u(t) = U_0 + \sum_{i=1}^N U_{m_i} \cdot \sin(i\omega t + \varphi_i) \quad (4.4)$$

Среднеквадратическое значение напряжения получается равным

$$U_{ск} \approx \sqrt{U_0^2 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_{m_i}}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (4.5)$$

максимальное (амплитудное, пиковое) значение U_m — наибольшее мгновенное значение напряжения на интервале наблюдения, на периоде для периодических сигналов.

В соответствии с ГОСТ 16465-70 термины "амплитудное", "пиковое", "действующее" и "эффективное" значения сигнала являются недопустимыми.

Перечисленные параметры связаны между собой посредством следующих коэффициентов:

$$K_\phi = U_{ск}/U_{св} \quad (4.6)$$

$$K_A = U_m/U_{ск} \quad (4.7)$$

$$K_y = K_\phi K_A = U_m/U_{св} \quad (4.8)$$

Для того, чтобы рассчитать эти коэффициенты, необходимо:

- записать математическую модель исследуемого напряжения $u(t)$;
- вычислить $U_{св}$ по (4.2) и $U_{ск}$ по (4.3) или (4.5);
- подставить полученные значения в выражения (4.6) ... (4.8).

Для определения показания различных типов аналоговых вольтметров при подаче на их вход переменных напряжений необходимо:

- записать математическую модель измеряемого напряжения $u(t)$;

- учесть тип входа вольтметра, при закрытом входе вычислить по (2.1) среднее значение сигнала U_0 и записать

$$u'(t) = u(t) - U_0 \quad (4.9)$$

- вычислить напряжение, на которое откликается вольтметр $U_{отк}$;
- найти показание вольтметра U на основании $U_{отк}$ и коэффициента градуировки C

$$U = C \cdot U_{отк} \quad (4.10)$$

Значение $U_{отк}$ и C для различных типов аналоговых вольтметров можно определить по таблице 4.1.

Схемы и характеристики аналоговых вольтметров

Структурные схемы аналоговых вольтметров, указанных в таблице 4.1, назначение и реализация отдельных блоков приведены в конспекте лекций по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» (Лекция 7. Измерение тока и напряжения).

Вольтметры переменного тока (типа ВЗ)

Вольтметры переменного тока строятся по схеме усилитель-преобразователь. В качестве преобразователей могут использоваться квадратичные или линейные детекторы.

Структурная схема вольтметра среднеквадратических значений приведена на рис.4.1.



Рисунок. 4.1

Квадратичный детектор преобразует переменное напряжение в постоянное, пропорциональное квадрату среднеквадратического значения измеряемого напряжения. Эти вольтметры откликаются на среднеквадратическое значение, градуируются в среднеквадратических значениях и имеют коэффициент градуировки $C=1$.

Структурная схема вольтметра средневывпрямленных значений приведена на рис. 4.2.



Рисунок 4.2

В таких вольтметрах в качестве преобразователя используется линейный детектор, преобразующий переменное напряжение в постоянный ток, пропорциональный среднему значению измеряемого напряжения. Такие преобразователи выполняются по схемам двухполупериодного выпрямления. Эти вольтметры откликаются на среднее значение, градуируются в среднеквадратических значениях и имеют коэффициент градуировки $C=1,11$.

Импульсные вольтметры (типа В4)

Импульсные вольтметры строятся по схеме преобразователь - усилитель, в качестве преобразователя используется амплитудный детектор, напряжение на выходе которого соответствует максимальному (амплитудному) значению измеряемого сигнала. Структурная схема импульсного вольтметра приведена на рис. 4.3.

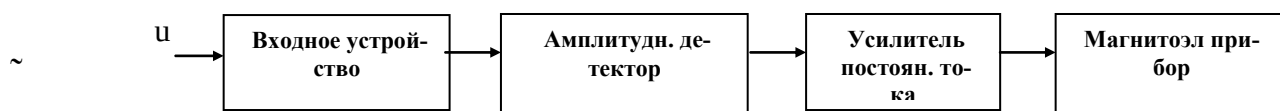


Рисунок 4.3

Амплитудный детектор осуществляет преобразование переменного сигнала в постоянный, пропорционально значению входного сигнала, поэтому такие вольтметры откликаются на максимальные значения, градуируются в максимальных значениях и имеют $C=1$.

Универсальный вольтметр (типа В7)

Универсальный вольтметр позволяет измерять как постоянный, так и переменный ток. При измерении переменного напряжения вольтметр имеет схему преобразователь - усилитель. В качестве преобразователя используется амплитудный (пиковый) детектор, напряжение на выходе которого соответствует максимальному (амплитудному) значению измеряемого сигнала. Структурная схема универсального вольтметра приведена на рис. 4.4.

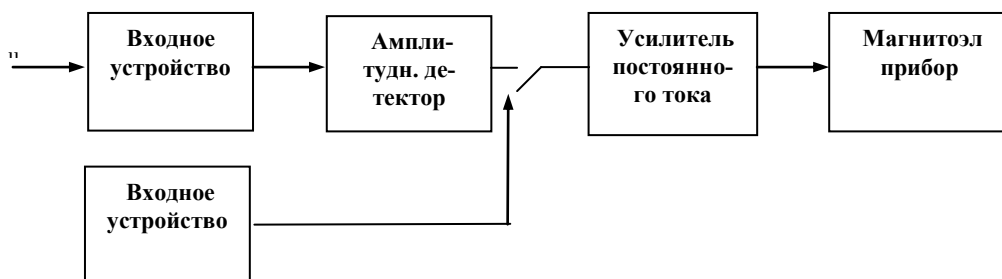


Рисунок 4.4

Эти вольтметры при измерении переменного напряжения откликаются на максимальное значение, градуируются в среднеквадратических значениях и имеют коэффициент градуировки $C=0,71$.

Таблица 4.1

Тип вольтметра	Магнит. электр. М/Э	Электромагн. ЭМ	Электродин. ЭД	Электростат. ЭС	Термоэлектр. Т/Э	Выпрямит. В1 В2	Средне-кв. знач.	Средне-выпрям. знач. С/В	Импульс. И/В	Универсальный У/В
Тип преобразователя	—	—	—	—	Средне-кв. знач.	Средне-выпрям. знач.	Средне-кв. знач.	Средне-выпрям. знач.	Макс. значение	Макс. значение
Электронное напряжение, на которое отсчитывается вольтметр, U_0	U_0	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{св}$	$U_{ск}$	$U_{св}$	U_m	U_m
Значение напряжения, в котором отградуирован вольтметр, $U_{град}$	U_0	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{скI}$	$U_{ск}$	U_m	$U_{ск}$
Значение коэффициента градуировки, C	1	1	1	1	1	2.22 – В2 1.11 – В1		1.11	1	0.71

В/1 – выпрямительный с однополупериодной схемой выпрямления
В/1 – выпрямительный с двухполупериодной схемой выпрямления

4.3. Вопросы и ответы по измерению напряжения

4.1. Переменное напряжение характеризуется параметрами...	1. полярностью 2. амплитудного значения 3. трафиком 4. шумов
4.2. Переменное напряжение характеризуется параметрами...	1. мгновенного значения 2. полярностью 3. трафиком 4. шумов
4.3. Переменное напряжение характеризуется параметрами...	1. полярностью 2. шумов 3. среднеквадратического (действующего) значения 4. трафиком
4.4. Для изменения структурной схемы аналогового вольтметра, чтобы измерять амплитудное значение необходимо...	1. поменять индикатор 2. поменять детектор 3. изменить входной блок 4. поменять усилитель
4.5. Для изменения структурной схемы аналогового вольтметра, чтобы измерять среднеквадратичное значение необходимо...	1. поменять индикатор 2. поменять детектор 3. изменить входной блок 4. поменять усилитель
4.6. Для изменения структурной схемы аналогового вольтметра, чтобы измерять средневывпрямленное значение необходимо...	1. поменять детектор 2. поменять индикатор 3. изменить входной блок 4. поменять усилитель
4.7. Для изменения структурной схемы аналогового вольтметра, чтобы измерять максимальное значение необходимо...	1. поменять индикатор 2. поменять усилитель 3. изменить входной блок 4. поменять детектор
4.8. В структурной схеме импульсного вольтметра используется детектор	1. квадратичный 2. амплитудный 3. выпрямитель 4. не используется
4.9. В структурной схеме аналогового универсального вольтметра используется детектор	1. квадратичный 2. амплитудный 3. выпрямитель 4. не используется
4.10. В структурной схеме вольтметра средневывпрямленных значений используется детектор	1. квадратичный 2. амплитудный 3. выпрямитель 4. не используется

4.11. В структурной схеме вольтметра среднеквадратичных значений используется детектор	1. квадратичный 2. амплитудный 3. выпрямитель 4. не используется
4.12. В структурной схеме универсального вольтметра при измерении постоянного напряжения используется детектор	1. квадратичный 2. амплитудный 3. выпрямитель 4. не используется
4.13. В структурной схеме универсального вольтметра при измерении переменного напряжения используется детектор	1. квадратичный 2. амплитудный 3. выпрямитель 4. не используется
4.14. Вольтметр, содержащий квадратичный детектор, откликается на ... напряжение	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.15. Вольтметр, содержащий линейный детектор, откликается на ... напряжение	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.16. Импульсный вольтметр откликается на ... напряжение	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.17. Аналоговый универсальный вольтметр откликается на ... напряжение	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.18. Магнитоэлектрический вольтметр откликается на ... напряжение	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.19. Среднеквадратический вольтметр градуируется в ... значениях напряжения	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.20. Выпрямительный вольтметр градуируется в ... значениях напряжения	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.21. Импульсный вольтметр градуируется в ... значениях напряжения	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее

4.22. Универсальный вольтметр градуируется в ... значениях напряжения	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.23. Магнитоэлектрический вольтметр градуируется в ... значениях напряжения	1. амплитудное 2. средневывпрямленное 3. среднеквадратическое 4. среднее
4.24. Показание импульсного вольтметра с закрытым входом при входном напряжении. $u(t) = 5 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 5 В 2. 7 В 3. 12 В 4. 2 В
4.25. Показание импульсного вольтметра с открытым входом при. входном напряжении $u(t) = 6 + 3\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 6 В 2. 3 В 3. 8,4 В 4. 9 В
4.26. Показание универсального вольтметра с закрытым входом при входном напряжении $u(t) = 9 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 9 В 2. 4,3 В 3. 6,4 В 4. 10,7 В
4.27. Показание универсального вольтметра с открытым входом при входном напряжении $u(t) = 9 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 9 В 2. 4,3 В 3. 6,4 В 4. 10,7 В
4.28. Показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при входном напряжении $u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 4 В 2. 1,4 В 3. 2 В 4. 4,2 В
4.29. Показание вольтметра среднеквадратических значений с открытым входом при входном напряжении $u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 4,2 В 2. 1,4 В 3. 2 В 4. 4 В
4.30. Показание магнитоэлектрического вольтметра при входном напряжении $u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 4 В 2. 1,4 В 3. 2 В 4. 4,2 В
4.31. Показание электродинамического вольтметра при входном напряжении $u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 4 В 2. 1,4 В 3. 4,2 В 4. 2 В

4.32. Показание электростатического вольтметра при входном напряжении $u(t) = 4 + 2 \sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 4 В 2. 1,4 В 3. 2 В 4. 4,2 В
4.33. Показание термоэлектрического вольтметра при входном напряжении $u(t) = 4 + 2 \sin(\omega t + \varphi_1)$ равно	1. 4 В 2. 4,2 В 3. 2 В 4. 1,4 В

Примеры решения задач по измерению напряжения

Задача 4.1

Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения $u(t) = 8 + 4 \sin(\omega t + \varphi_1)$

Решение

Импульсный вольтметр имеет закрытый вход, поэтому постоянная составляющая $U_0 = 8$ В не проходит.

Как видно из таблицы 4.1, импульсный вольтметр откликается на максимальное значение измеряемого переменного напряжения (без постоянной составляющей) $U_{отк} = U_m$ и градуируется в этих же значениях, т.е. коэффициент градуировки равен $C=1$.

Напряжение, на которое откликается вольтметр $U_{отк} = U_m = 4$ В.

Следовательно, показание импульсного вольтметра с закрытым входом U равно

$$U = C U_{отк} = 1 \cdot 4 = 4 \text{ В}$$

Задача 4.2

Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения $u(t) = 8 + 4 \sin(\omega t + \varphi_1)$

Решение

Универсальный вольтметр имеет открытый вход, поэтому постоянная составляющая $U_0 = 8$ В проходит.

Как видно из таблицы 4.1, универсальный вольтметр откликается на максимальное значение измеряемого переменного напряжения (с учетом постоянной составляющей) $U_{отк} = U_m$ и градуируется в среднеквадратических значениях, т.е. коэффициент градуировки равен $C=0,71$.

Напряжение, на которое откликается вольтметр $U_{отк} = U_0 + U_m = 8 + 4 = 12$ В.

Следовательно, показание универсального вольтметра с открытым входом U равно

$$U = C U_{отк} = 0,71 \cdot 12 = 8,52 \text{ В}$$

Задача 4.3

Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения. $u(t) = 8 + 4\sin(\omega t + \varphi_1)$

Решение

Как видно из таблицы 4.1, электростатический вольтметр откликается на среднеквадратическое значение $U_{\text{отк}} = U_{\text{ск}}$ и градуируется в среднеквадратических значениях, т.е. коэффициент градуировки равен $C=1$.

Электростатический вольтметр измеряет как постоянную, так и переменную составляющие.

Напряжение, на которое откликается вольтметр $U_{\text{отк}} = U_{\text{ск}}$.

Определяем среднеквадратическое значение напряжения $U_{\text{ск}}$

$$U_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U(t)^2 dt} = \sqrt{U_0^2 + \left(\frac{U_m}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{8^2 + \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2} = 8,49 \text{ В}$$

Следовательно, показание электростатического вольтметра U равно

$$U = C U_{\text{отк}} = 1 \cdot 8,49 = 8,49 \text{ В}$$

Раздел 5 ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

5.1. Измерение напряжения

Измерение напряжения производится в первом основном режиме работы осциллографа - в режиме линейной калиброванной развертки.

Измеряемое напряжение $u_c(t)$ подается на вход Y осциллографа. На пластины X ЭЛТ поступает сигнал генератора развертки пилообразной формы $u_{rp}(t)$.

$$\begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{rp}(t) \end{cases} \quad (5.1)$$

В этом случае на экране наблюдается осциллограмма в виде зависимости поданного на вход Y сигнала от времени. Пример осциллограммы для синусоидального сигнала приведен на рис. 3.1.

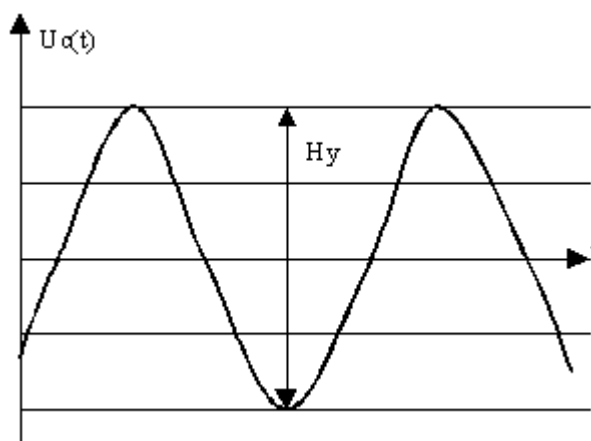


Рисунок 5.1

При симметричном двухполярном сигнале его амплитуда определяется из соотношения

$$U_m = \frac{H_y \cdot m_y}{2} \quad (5.2)$$

где H_y - геометрический размер по вертикали, соответствующий “размаху” осциллограммы (разности максимального и минимального отклонения луча) [дел];

m_y - коэффициент отклонения по шкале Y (цена деления по вертикали) [В/дел].

При несимметричном однополярном сигнале его амплитуда определяется по формуле

$$U_m = H_y \cdot m_y \quad (5.3)$$

5.2. Измерение частоты

5.2.1. Измерение частоты методом линейной калиброванной развертки

Измерение частоты методом линейной калиброванной развертки производится в первом основном режиме работы осциллографа - в режиме линейной развертки.

При измерении частоты методом линейной калиброванной развертки осциллографа измеряемый сигнал $u_c(t)$ подается на вход Y осциллографа. На пластины X ЭЛТ поступает сигнал генератора развертки пилообразной формы $u_{ГР}(t)$ – (5.1).

Пример осциллограммы для синусоидального сигнала приведен на рис. 5.2.

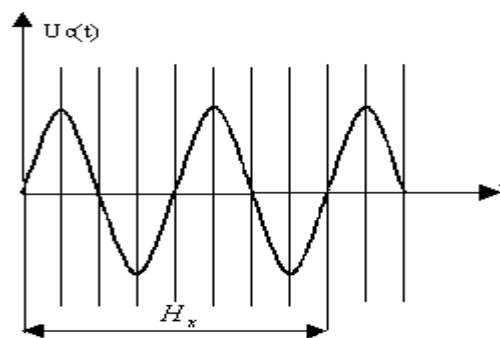


Рисунок 5.2

Период и частота исследуемого сигнала определяются из соотношений

$$T_c = \frac{H_x \cdot m_x}{n} \quad (5.4)$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{n}{H_x \cdot m_x} \quad (5.5)$$

где n – целое число периодов сигнала;

H_x - геометрический размер по горизонтали, соответствующий целому числу периодов сигнала [дел];

m_x - коэффициент отклонения (развертки) по шкале X (цена деления по горизонтали) $\left[\frac{\text{время}}{\text{дел}} \right]$.

5.2.2. Измерение частоты методом синусоидальной развертки

Измерение частоты методом синусоидальной развертки производится во втором основном режиме работы осциллографа - режиме усиления (срав-

нения, фигур Лиссажу). Гармонические сигналы подаются на входы Y и X осциллографа одним из двух указанных способов:

$$1) \begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{обр}(t) \end{cases} \quad 2) \begin{cases} u_y(t) = u_{обр}(t) \\ u_x(t) = u_c(t) \end{cases} \quad (5.6)$$

На экране наблюдается фигура Лиссажу, вид которой зависит от частотных и фазовых соотношений поданных сигналов. Пример фигуры Лиссажу приведен на рисунке 5.3.

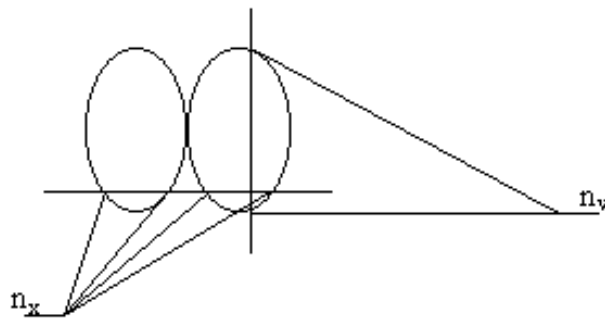


Рисунок 5.3

Полученная фигура мысленно пересекается двумя взаимно перпендикулярными осями (оси не должны проходить через узлы фигуры). Подсчитывается количество точек пересечения с осью X - n_x и осью Y - n_y (рис. 5.3). В этом случае выполняется соотношение

$$f_x \cdot n_x = f_y \cdot n_y \quad (5.7)$$

Частота напряжения, подаваемого на вход Y осциллографа, определяется из соотношения (3.7)

$$f_y = f_x \frac{n_x}{n_y} \quad (5.8)$$

где f_x - частота напряжения, подаваемого на вход X осциллографа.

В зависимости от способа подачи (3.6) напряжений измеряемой $u_c(t)$ и образцовой частот $u_{обр}(t)$ неизвестная частота f_c будет определяться:

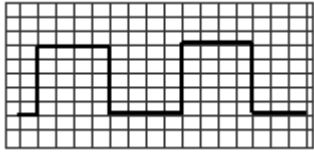
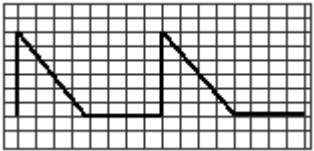
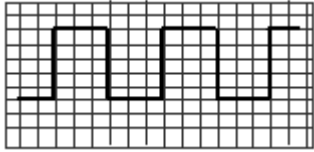
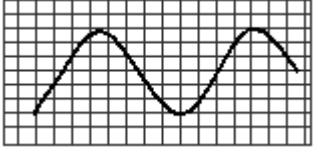
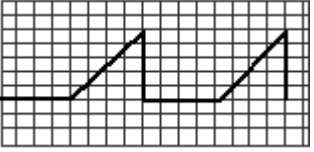
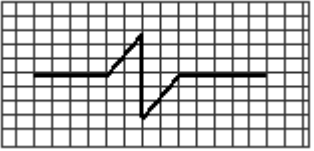
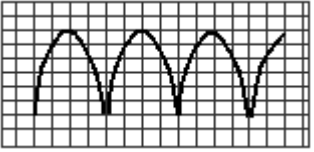
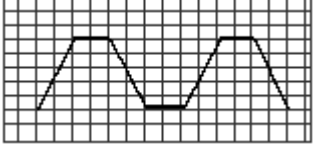
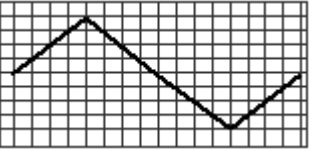
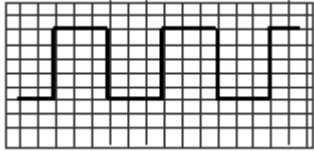
Первый способ

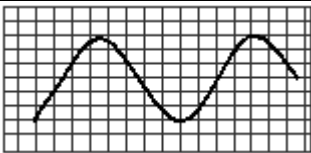
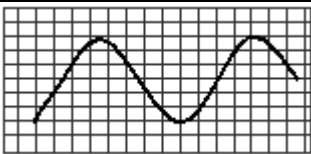
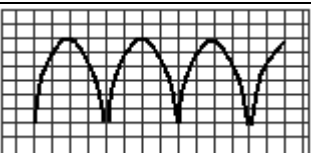
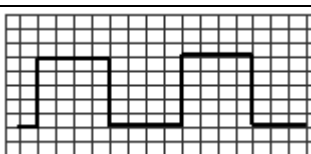
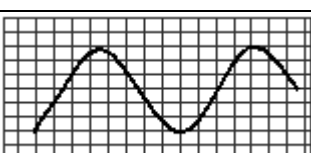
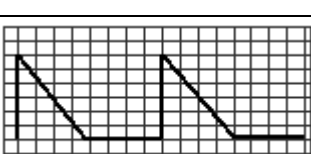
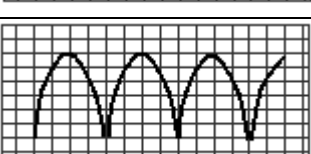
$$f_{обр} \cdot n_x = f_c \cdot n_y \quad f_c = f_{обр} \frac{n_x}{n_y} \quad (5.9)$$

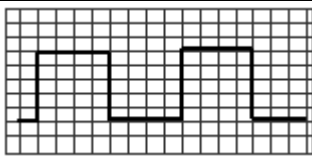
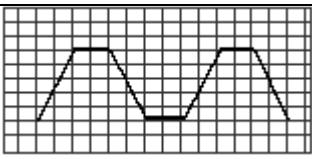
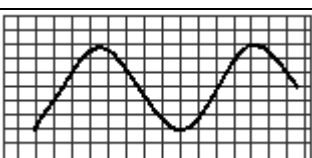
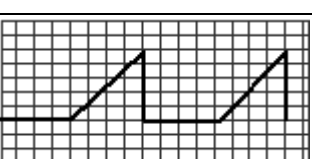
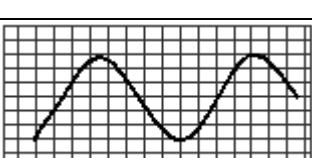
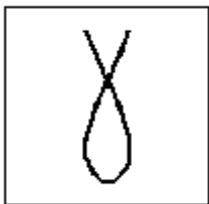
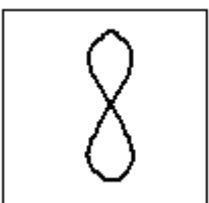
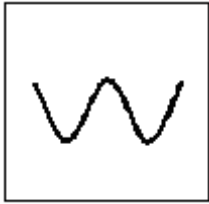
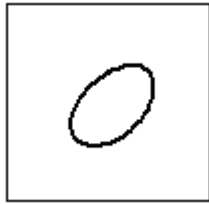
Второй способ

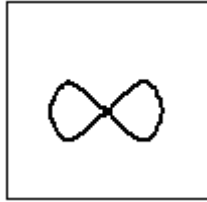
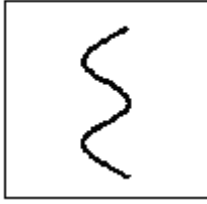
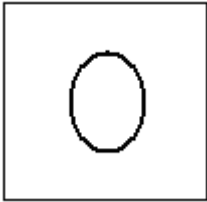
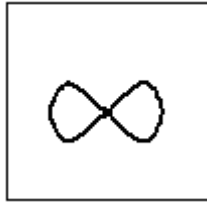
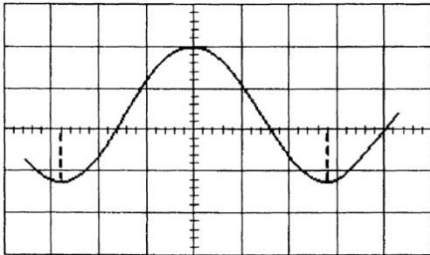
$$f_{обр} \cdot n_y = f_c \cdot n_x \quad f_c = f_{обр} \frac{n_y}{n_x} \quad (5.10)$$

5.3. Вопросы и ответы по осциллографическим методам измерения параметров сигналов

5.1. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 1 В/дел, то амплитуда однополярного сигнала равна		1. 4 В 2. 3 В 3. 5 В 4. 1 В
5.2. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 0,2 В/дел, то амплитуда однополярного сигнала равна		1. 2,4 В 2. 0,3 В 3. 0,6 В 4. 1,2 В
5.3. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 10 В/дел, то амплитуда двухполярного сигнала равна		1. 40 В 2. 50 В 3. 25 В 4. 10 В
5.4. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 2 В/дел, то амплитуда двухполярного сигнала равна		1. 6 В 2. 8 В 3. 4 В 4. 12 В
5.5. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 0,5 В/дел, то амплитуда однополярного сигнала равна		1. 4 В 2. 2 В 3. 2,5 В 4. 1,5 В
5.6. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 10 В/дел, то амплитуда двухполярного сигнала равна		1. 60 В 2. 30 В 3. 5 В 4. 10 В
5.7. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 5 В/дел, то амплитуда однополярного сигнала равна		1. 40 В 2. 30 В 3. 5 В 4. 10 В
5.8. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 2 В/дел, то амплитуда однополярного сигнала равна		1. 20 В 2. 2 В 3. 5 В 4. 10 В
5.9. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 10 В/дел, то амплитуда двухполярного сигнала равна		1. 40 В 2. 80 В 3. 25 В 4. 10 В
5.10. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 5 В/дел, то амплитуда двухполярного сигнала равна		1. 20 В 2. 25 В 3. 12,5 В 4. 10 В

5.11. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 1 В/дел, то среднеквадратическое значение двухполярного сигнала равно		1. 3 В 2. 4,2 В 3. 2,1 В 4. 6 В
5.12. Если коэффициент отклонения осциллографа равен 0,5 В/дел, то среднеквадратическое значение двухполярного сигнала равно		1. 1,5 В 2. 3 В 3. 2,14 В 4. 1,07 В
5.13. Если коэффициент развертки осциллографа равен 0,2 мс/дел, то период сигнала равен		1. 0,8 мс 2. 1,2 мс 3. 1,6 мс 4. 2 мс
5.14. Если коэффициент развертки осциллографа равен 1 мс/дел, то период сигнала равен		1. 2 мс 2. 8 мс 3. 1 мс 4. 4 мс
5.15. Если коэффициент развертки осциллографа равен 20 мкс/дел, то период сигнала равен		1. 160 мкс 2. 80 мкс 3. 40 мкс 4. 120 мкс
5.16. Если коэффициент развертки осциллографа равен 5 мс/дел, то период сигнала равен		1. 10 мс 2. 40 мс 3. 20 мс 4. 60 мс
5.17. Если коэффициент развертки осциллографа равен 2 мс/дел, то период сигнала равен		1. 16 мс 2. 8 мс 3. 12 мс 4. 4 мс
5.18. Если коэффициент развертки осциллографа равен 20 мкс/дел, то период сигнала равен		1. 20 мкс 2. 160 мкс 3. 40 мкс 4. 80 мкс
5.19. Если коэффициент развертки осциллографа равен 0,2 мс/дел, то частота сигнала равна		1. 1250 Гц 2. 833 Гц 3. 625 Гц 4. 500 Гц
5.20. Если коэффициент развертки осциллографа равен 1 мс/дел, то частота сигнала равна		1. 500 Гц 2. 125 Гц 3. 1 кГц 4. 250 Гц

5.21. Если коэффициент развертки осциллографа равен 20 мкс/дел, то частота сигнала равна		1. 6,25 кГц 2. 12,5 кГц 3. 25 кГц 4. 120 мкс
5.22. Если коэффициент развертки осциллографа равен 5 мс/дел, то частота сигнала равна		1. 10 Гц 2. 25 Гц 3. 50 Гц 4. 20 Гц
5.23. Если коэффициент развертки осциллографа равен 2 мс/дел, то частота сигнала равна		1. 62,5 Гц 2. 125 Гц 3. 83,3 Гц 4. 250 Гц
5.24. Если коэффициент развертки осциллографа равен 20 мкс/дел, то частота сигнала равна		1. 50 кГц 2. 6,25 кГц 3. 25 кГц 4. 12,5 кГц
5.25. Если коэффициент развертки осциллографа равен 50 мкс/дел, то частота сигнала равна		1. 1 кГц 2. 2,5 кГц 3. 5 кГц 4. 1,25 кГц
5.26. Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 600 Гц		1. 600 Гц 2. 400 Гц 3. 900 Гц 4. 300 Гц
5.27. Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 800 Гц		1. 800 Гц 2. 400 Гц 3. 1600 Гц 4. 200 Гц
5.28. Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1000 Гц		1. 2000 Гц 2. 1000 Гц 3. 250 Гц 4. 4000 Гц
5.29. Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 500 Гц		1. 1000 Гц 2. 500 Гц 3. 2000 Гц 4. 4000 Гц

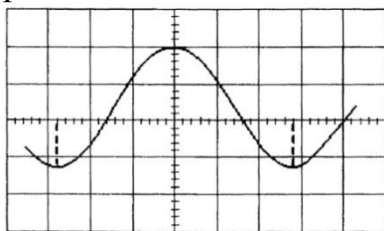
5.30. Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 900 Гц		1. 900 Гц 2. 1800 Гц 3. 2700 Гц 4. 1200 Гц
5.31. Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 100 Гц		1. 100 Гц 2. 50 Гц 3. 200 Гц 4. 400 Гц
5.32. Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 1600 Гц		1. 1600 Гц 2. 800 Гц 3. 3200 Гц 4. 400 Гц
5.33. Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 200 Гц		1. 400 Гц 2. 50 Гц 3. 200 Гц 4. 100 Гц
5.34. Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 1400 Гц		1. 700 Гц 2. 1400 Гц 3. 2800 Гц 4. 5600 Гц
5.35. При измерении частоты сигнала универсальным осциллографом плавная ручка переключателя «Время/дел.» должна быть в положении...	1. крайне левом 2. любом 3. среднем 4. крайне правом	
5.36. Если коэффициент развертки осциллографа равен 1 мс, то частота сигнала равна...	 1. 312,5 кГц 2. 178,5 МГц 3. 3,2 кГц 4. 178,5 кГц	

5.37. Если коэффициент развертки осциллографа равен 5 мкс, то частота сигнала равна... 	1. 5 кГц 2. 100 кГц 3. 50 кГц 4. 200 кГц
5.38. Если коэффициент развертки осциллографа равен 1 мс, то частота сигнала равна... 	1. 0,25 кГц 2. 4 кГц 3. 1 кГц 4. 2 кГц

5.4 Примеры решения задач по осциллографическим методам измерения параметров сигналов

Задача 5.1

Если коэффициент развертки осциллографа равен 1 мс, то частота сигнала равна...



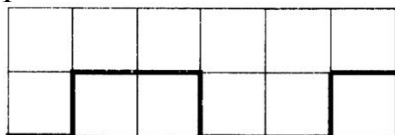
Решение

Частота сигнала $f = 1/T$, где T – период. Из рисунка видно, что период равен 5,6 делений. Цена деления 1мс.

Следовательно, $T = 5,6 \cdot 10^{-3}$ с. Тогда частота $f = 1/(5,6 \cdot 10^{-3}) = 178,5$ кГц.

Задача 5.2

Если коэффициент развертки осциллографа равен 5 мкс, то частота сигнала равна...



Решение

Частота сигнала $f = 1/T$, где T – период. Из рисунка видно, что период равен 4 делениям. Цена деления 5мкс.

Следовательно, $T = 4 \cdot 5 \text{ мкс} = 20 \cdot 10^{-6}$ с. Тогда частота $f = 1/(20 \cdot 10^{-6}) = 50$ кГц.

Раздел 6 ЦИФРОВОЙ ЧАСТОТОМЕР

6.1. Схема частотомера в режиме измерения частоты

Принцип действия цифрового частотомера основан на методе дискретного счета, который заключается в подсчете количества импульсов за определенный интервал времени. Для реализации данного метода счета имеется два канала: в одном канале формируются импульсы, во втором – интервал времени.

В зависимости от того, к какому каналу подведен исследуемый сигнал в частотомере, может быть реализовано измерение частоты, периода или отношения частот. Выбор режима измерения определяется соответствующей коммутацией блоков в канале формирования импульсов и канале формирования интервала времени.

Упрощенная структурная схема цифрового (электронно-счётного) частотомера в режиме измерения частоты изображена на рис. 6.1

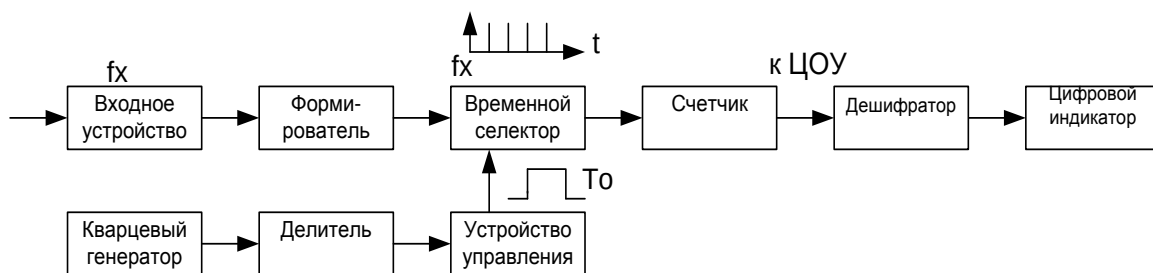


Рис. 6.1. Структурная схема цифрового частотомера при измерении частоты

В режиме измерения частоты входной сигнал через входное устройство, осуществляющее необходимое усиление и фильтрацию, запускает формирующее устройство. На его выходе образуется последовательность коротких счетных импульсов с частотой следования, равной измеряемой частоте « f_x ». Эта последовательность импульсов подается на один из входов временного селектора, представляющий собой управляемый ключ, который пропускает на электронный счетчик счетные импульсы только при наличии на втором управляющем входе разрешающего стробирующего импульса, длительность которого « T_0 » определяет время измерения. Стробирующий импульс вырабатывается устройством управления с помощью делителей частоты из сигнала опорного кварцевого генератора. Число импульсов « N », отсчитанное счетчиком, будет пропорционально частоте входного сигнала.

$$f_x = (1/T_0)N$$

Относительная погрешность измерений частоты частотомером не превышает суммарную:

$$\delta = \pm(\delta_0 + 1/(f_x * T_0)),$$

где δ_0 – относительная погрешность формирователя частоты кварцевым генератором (вследствие малости ей часто пренебрегают):

$1/(f_x \cdot T_0)$ – относительная погрешность дискретности счета:

f_x – значение измеряемой частоты, кГц:

T_0 – время измерения, мс.

6.2. Схема частотомера в режиме измерения периода

Упрощенная структурная схема цифрового частотомера в режиме измерения периода изображена на рис. 6.2

В режиме измерения периода входной сигнал через входное устройство, осуществляющее необходимое усиление и фильтрацию, поступает на формирующее устройство, которое формирует из него прямоугольный импульс, длительность которого « T_x » определяет время открытого состояния временного селектора.

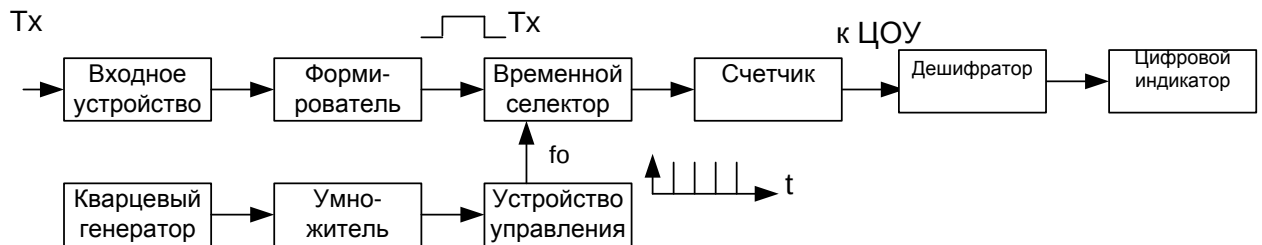


Рис. 6.2 Структурная схема цифрового частотомера при измерении периода

В это время через селектор на счетчик проходят счетные импульсы частотой f_0 , сформированные устройством управления в умножителе частоты из сигнала опорного кварцевого генератора, называемые иногда метками времени. Число импульсов « N », отсчитанное счетчиком, будет пропорционально периоду входного сигнала:

$$T_x = (1/f_0)N$$

Относительная погрешность измерения периода не превышает суммарную:

а) при синусоидальном сигнале $\delta = \pm (\delta_0 + \delta_1/n + 1/(n f_0 \cdot T_x))$

б) при импульсном сигнале $\delta = \pm (\delta_0 + 1/(n f_0 \cdot T_x))$

δ_0 – относительная погрешность формирования частоты кварцевым генератором (вследствие малости ей часто пренебрегают);

δ_1 – относительная погрешность формирования периода. При отношении U сигнала/ U помехи ≥ 40 дБ имеем $\delta_1 = \pm 0,003$:

$1/(n f_0 \cdot T_x)$ – относительная погрешность дискретности счета:

n – множитель периода (коэффициент усреднения):

f_0 – частота заполнения, кГц:

T_x – значение измеряемого периода, мс.

6.3. Схема частотомера в режиме измерения отношения частот

Упрощенная структурная схема цифрового частотомера в режиме измерения отношения частот изображена на рис. 6.3

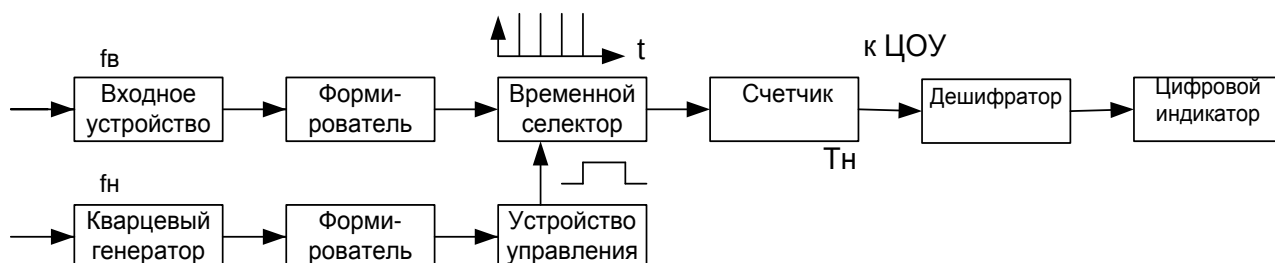


Рис. 6.3 Структурная схема цифрового частотомера при измерении отношения частот

При измерении отношения частот кварцевый генератор отключается. Из высшей частоты « f_v » в канале формирования импульсов формируются импульсы образцовой частоты. Из низшей частоты в канале формирования интервала времени формируется интервал времени счета « T_n ». Число импульсов, сосчитанное счетчиком, будет равно отношению частот

$$N = T_n \cdot f_v = f_v / f_n.$$

Относительная погрешность измерения отношения частот не превышает суммарную:

а) при синусоидальном сигнале $\delta = + (\delta_1/n + f_n/(f_v \cdot n));$

б) при импульсном сигнале $\delta = + f_n/(f_v \cdot n);$

где δ_1 - относительная погрешность формирования периода. При отношении U сигнала/ U помехи ≥ 40 дБ имеем $\delta_1 = \pm 0,003$:

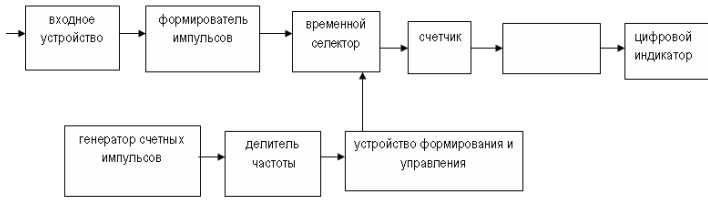
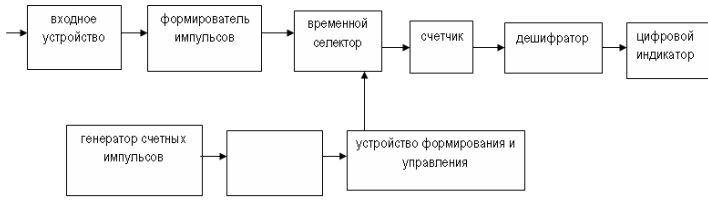
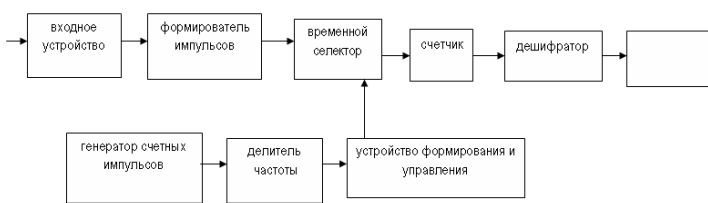
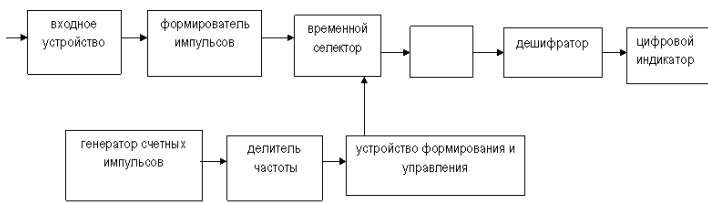
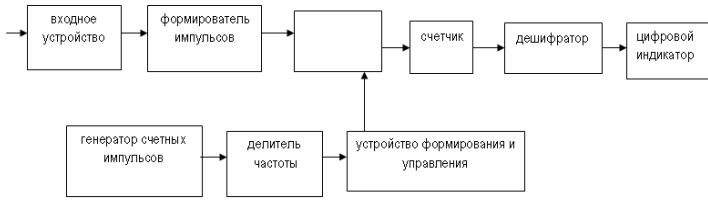
f_n/f_v - относительная погрешность дискретности счета:

n - множитель периода (коэффициент усреднения) сигнала низкой частоты:

f_v - значение высшей из сравниваемых частот:

f_n - значение низшей из сравниваемых частот.

6.4. Вопросы и ответы по цифровому частотомеру

6.1. На структурной схеме цифрового частотомера отсутствующий блок представляет... 	1. дешифратор 2. АЦП 3. детектор 4. усилитель
6.2. На структурной схеме цифрового частотомера отсутствующий блок представляет... 	1. АЦП 2. детектор 3. делитель частоты 4. усилитель
6.3. На структурной схеме цифрового частотомера отсутствующий блок представляет... 	1. усилитель 2. АЦП 3. детектор 4. цифровой индикатор
6.4. На структурной схеме цифрового частотомера отсутствующий блок представляет... 	1. усилитель 2. счетчик 3. детектор 4. АЦП
6.5. На структурной схеме цифрового частотомера отсутствующий блок представляет... 	1. временной селектор 2. АЦП 3. детектор 4. усилитель

Раздел 7 Автоматизация измерений

7.1. Общие сведения

Усложнение современных объектов исследований, рост числа и диапазонов измеряемых параметров, повышение требований к точности измерений и их быстродействию (при ограниченных возможностях оператора в восприятии и обработке больших объемов информации) приводят к необходимости автоматизации электрорадиоизмерений и, следовательно, к снижению загруженности и роли оператора в процессе измерений.

Разработка новых телекоммуникационных систем с использованием современных технологий, усложнение их производства, широкое развитие научных исследований, а также повышение требований к точности измерений и их быстродействию привели к необходимости одновременно измерять и контролировать множество различных физических величин.

Сейчас средства измерений достигли достаточно высокого уровня развития и в большинстве имеют наивысшие точности.

Естественная физиологическая ограниченность возможностей человека в восприятии и обработке больших объемов измерительной информации стала одной из основных причин появления таких средств измерений, как информационно-измерительные приборы (виртуальные приборы) и измерительные системы (ИС).

Структура современных ИС чрезвычайно разнообразна, быстро развивается и существенно зависит от решаемых задач, а их деление в настоящее время еще не имеет достаточно полного и четкого толкования.

Переход к построению цифровых средств измерений привел к созданию автоматизированных измерительных систем с использованием микропроцессоров. Автоматизированными средствами измерений считают автономные непрограммируемые приборы и гибкие измерительные системы, построенные на базе цифровой техники.

Автономные непрограммируемые приборы работают по жесткой программе и предназначены для измерений определенных параметров сигналов и характеристик цепей. В этих приборах автоматически выполняется только часть измерительных операций, например, определение полярностей входного сигнала и установка пределов измерений.

Гибкие интегральные системы позволяют программным способом перестраивать систему для измерения различных физических величин и менять режим измерений. При этом аппаратная часть измерительной системы не изменяется. По структурному построению они подразделяются на интерфейсные, микропроцессорные и компьютерно-измерительные.

Наиболее мощные – **измерительно-вычислительные комплексы (ИВК)** – создаются путем объединения с помощью соединительной многопроводной магистрали в одну измерительную систему компьютера, измерительных приборов и устройств отображения информации. Связь между компьютером и всеми остальными узлами и их совместимость обеспечивается с

помощью совокупности аппаратных, программных и конструктивных средств.

Устройство сопряжения компьютера со средствами измерений или любыми другими внешними системами называют **интерфейсом**. При этом для решения новой метрологической задачи достаточно сменить часть модулей, используемых в качестве источника или приемника информации, и программное обеспечение.

В микропроцессорных измерительных системах все узлы подключаются непосредственно к магистрали микропроцессора. Встроенные микропроцессоры осуществляют сервисные операции, обеспечивают различные режимы измерений и определяют ряд параметров сигнала или цепи. Работа таких приборов выполняется в соответствии с программами, заложенными в запоминающем устройстве.

Функциональные возможности традиционных измерительных приборов задаются при производстве и перестроить их или изменить число каналов измерения и анализа достаточно проблематично. И поскольку производитель не в состоянии охватить все многообразие реальных исследовательских задач, это в значительной степени затрудняет подбор оптимального комплекта оборудования с требуемыми параметрами и его настройку. Измерительные системы и виртуальные приборы снимают данное ограничение.

Информационные технологии вывели измерительную технику на новый уровень, позволяющий быстрее и с меньшими затратами разрабатывать информационно-измерительные приборы и системы различной сложности: от измерения параметров до ввода и обработки видеоизображений с передачей результатов через внешнюю сеть на любые расстояния.

Появление измерительных информационных комплексов и систем, а также приборов с применением специализированных микропроцессорных, компьютерных и виртуальных технологий вызвано следующими аспектами:

- широким распространением специализированных многофункциональных микропроцессоров и персональных компьютеров, имеющих высокое быстродействие, большие объемы памяти, стандартные интерфейсы (см. далее), практически неограниченные графические возможности, позволяющие создать функционирующие в реальном масштабе времени виртуальные измерительные устройства, с высокой степенью подобия воспроизводящие поведение тех или иных физических приборов и систем;
- созданием автоматизированных информационно-измерительных систем различного назначения, таких как автоматизированные системы научных исследований и комплексных испытаний, физические и космические объекты и пр.;
- возможностью реализации в весьма компактной форме измерительных приборов и модулей;
- появлением измерительного программирования, под которым понимается программирование для информационно-измерительной техники и систем, позволяющее ей проводить измерение, контроль, диагностирование или

распознавание образов, включая функции сбора, передачи, обработки, представления измерительной информации и управления измерительным экспериментом.

7.2. Измерительные системы

Назначение любой измерительной системы, ее необходимые функциональные возможности, технические параметры и характеристики в решающей степени определяются объектом исследования, для которого она создана. Из-за разнообразия структур современных ИС, динамичного развития и перечня решаемых задач, **классификация ИС в настоящее время еще полностью не завершена.**

В зависимости от выполняемых функций измерительные системы можно условно разделить на три основных вида:

- измерительные системы измерения и хранения информации (условно называемые измерительными системами прямого назначения);
- контрольно - измерительные (автоматического контроля);
- телеизмерительные системы.

К измерительным системам относят также системы распознавания образов и системы технической диагностики, которые в курсе, относящемся к радиоизмерениям, не изучаются.

По числу измерительных каналов измерительные системы подразделяются на одно-, двух-, трех- и многоканальные (многомерные). Для совместных и совокупных измерений часто используют многоканальные, аппроксимирующие системы.

Наиболее бурно в настоящее время разрабатываются и внедряются ИС прямого назначения, основной особенностью которых является возможность программным способом перестраивать их для измерений различных физических величин и менять режим измерений. Изменений в аппаратной части при этом не требуется.

Измерительные системы прямого назначения условно делят на:

- информационно-измерительные системы (часто их называют термином измерительные информационные системы; аббревиатура одинакова — ИИС);
- измерительно-вычислительные комплексы (ИВК);
- виртуальные информационно-измерительные приборы (устоявшееся у специалистов название — виртуальные приборы; или компьютерно-измерительные системы — КИС).

Информационно-измерительные системы

Измерительно-информационная система — это совокупность средств измерений, соединенных между собой каналами связи и предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки.

Назначение ИИС определяют как целенаправленное оптимальное ведение измерительного процесса и обеспечение смежных систем высшего уровня достоверной информацией. Основные функции ИИС,— получение измерительной информации от объекта исследования, ее обработка, передача, представление информации оператору или/и компьютеру, запоминание, отображение и формирование управляющих воздействий.

Информационно-измерительная система должна управлять измерительным процессом или экспериментом в соответствии с принятым критерием функционирования; выполнять возложенные на нее функции в соответствии с назначением и целью; обладать требуемыми показателями и характеристиками точности, помехоустойчивости, быстродействия, надежности, пропускной способности, адаптивности, сложности; отвечать экономическим требованиям, предъявляемым к способам и форме представления информации, размещения технических средств; быть приспособленной к функционированию с измерительными информационными системами смежных уровней иерархии и другими ИИС.

Основной функцией ИИС, как и любой другой технической системы является целенаправленное преобразование входной информации в выходную. Это преобразование выполняется либо автоматически с помощью аппаратуры технического обеспечения, либо совместно — оперативным персоналом и аппаратурой технического обеспечения в сложных ИИС, ИВК и виртуальных приборах.

Применение современных средств цифровой схемотехники коренным образом изменило принципы построения ИИС. Кроме того, методы обособленного распределения и направления информационных потоков дают возможность уменьшить их избыточность. Это позволяет ставить задачу о возможно максимальном переносе обработки измерительной информации к месту ее формирования, т.е. перейти к конвейерной обработке измерительной информации в распределенной ИИС. В целом такая система состоит из следующих основных частей: системы первичных преобразователей (датчиков), устройств сбора и первичной обработки информации, средств вторичной обработки информации, устройств управления и контроля, устройств связи с другими системами объекта, накопителей информации.

По организации алгоритма функционирования различают следующие виды ИИС:

- заранее заданным алгоритмом работы, правила функционирования которых не меняются, поэтому их можно использовать только для исследования объектов, работающих в постоянном режиме;
- программируемые, в которых изменяют алгоритм работы по программе, составляемой в соответствии с условиями функционирования объекта исследования;
- адаптивные, алгоритм работы которых, а часто и структура изменяются, приспособляясь к изменениям измеряемых величин и условной работы объекта;

- интеллектуальные, обладающие способностью к перенастройке в соответствии с изменяющимися условиями функционирования и иные выполнять все функции измерения и контроля в реальном и масштабе времени.

Математическое, программное и информационное обеспечение входит в состав лишь ИИС с вычислительными комплексами.

Математическое обеспечение — аналитические (математические) модели объекта исследования (измерения) и вычислительные алгоритмы.

В математическую модель объекта измерения входит описание взаимодействия между переменными входа и выхода для установившегося и переходного состояний, т.е. модель статики и динамики, а также граничные условия и допустимые изменения переменных процесса. Форма записи математической модели может быть различна: алгебраические и трансцендентные уравнения, дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных. Могут использоваться переходные и передаточные функции, частотные и спектральные характеристики и пр. различают 3 основных метода получения математических моделей исследования ИИС: аналитические, экспериментальные и экспериментально-аналитические.

В последние годы при создании большинства ИС наиболее часто используют математическое моделирование, реализующее цепочку: объект — модель — вычислительный алгоритм — программа для компьютера — расчет на компьютере — анализ расчетов — управление исследованием.

Алгоритм измерения может быть представлен программно, словесно, аналитически, графически или сочетанием этих методов. Последовательность действий при этом произвольна, а реализует тот или иной метод решения задачи. Во всех случаях поставленная задача должна быть на столько точно сформулирована, чтобы не осталось места различным двусмысленностям.

Программное обеспечение ИИС включает в себя системное и общее прикладное программное обеспечение, в совокупности образующее математическое обеспечение, которое реализуется программной подсистемой. Системное программное обеспечение — совокупность программного обеспечения компьютера, используемого в ИИС, и дополнительных программных средств, позволяющих работать в диалоговом режиме, управлять измерительными комплексами; обмениваться информацией внутри подсистем комплекса; автоматически проводить диагностику технического состояния.

По существу, программное обеспечение ИИС представляет собой взаимодополняющую, взаимодействующую совокупность подпрограмм, реализующих:

- типовые алгоритмы эффективного представления и обработка измерительной информации, планирование эксперимента и других измерительных процедур;
- архивирование данных измерений;
- метрологические функции комплекса (аттестацию, поверку, экспериментальное определение нормируемых метрологических характеристик и т. п.).

Информационное обеспечение определяет способы и конкретные нормы информационного отображения состояния объекта исследования в виде документов, диаграмм, графиков, сигналов для их предоставления обслуживающему персоналу и компьютеру для дальнейшего использования в управлении.

В структуру технической подсистемы ИИС входят:

- блок первичных измерительных преобразователей;
- средства вычислений электрических величин (измерительные компоненты);
- совокупность цифровых устройств и компьютерной техники (вычислительных компонентов);
- меры текущего времени и интервалов времени;
- блок вторичных измерительных преобразователей;
- устройства ввода-вывода аналоговых и цифровых сигналов с нормированными метрологическими характеристиками;
- совокупность элементов сравнения, мер и элементов описания;
- блок преобразователей сигнала, цифровых табло, дисплеев, элементов памяти и пр.;
- различные накопители информации.

Кроме указанных элементов в подсистемы ИИС может входить ряд устройств согласования со штатными системами исследуемого объекта, телеметрией и пр.

Важное значение для эксплуатации ИИС имеет эргономическое, эффективное и наглядное построение форм дисплея и управляющих элементов, называемых интерфейсом пользователя, обеспечивающих взаимодействие оператора с персональным (или специализированным) компьютером. В общем же случае **интерфейсом называют устройство сопряжения персонального компьютера со средствами измерений или любыми другими внешними техническими системами (иногда в это понятие включают и программное обеспечение измерительной системы). Эффективность работы интерфейса заключается** в быстром, насколько это возможно, развитии у пользователя простой концептуальной модели взаимодействия с ИИС. Другими важными характеристиками интерфейса пользователя являются его наглядность, дизайн и конкретность, что обеспечивают с помощью последовательно раскрываемых окон, раскрывающихся вложенных меню и командных строк с указанием функциональных «горячих» клавиш.

Измерительно-вычислительные комплексы

Одной из разновидностей ИИС являются измерительно-вычислительные комплексы. **Основными признаками ИВК** служат наличие компьютера, нормированных метрологических характеристик, программного управления средствами измерений, блочно-модульной структуры построения, состоящей из технической (аппаратной) и программной (алгоритмической) подсистем.

По назначению ИВК делятся на типовые, проблемные и специализированные.

Типовые ИВК предназначены для решения широкого круга типовых задач автоматизации измерений, испытаний или исследований независимо от области применения.

Проблемные ИВК разрабатывают для решения специфичной задачи в конкретной области автоматизации измерений.

Специализированные ИВК используют для решения уникальных задач автоматизации измерений, для которых разработка типовых и специализированных комплексов экономически нецелесообразна.

Измерительно-вычислительные комплексы предназначены для следующих задач:

- осуществления прямых, косвенных, совместных или совокупных методов измерений физических величин;
- представления оператору результатов измерений в нужном виде и управления процессом измерений и воздействия на объект измерений.

Чтобы реализовать эти функции, **ИВК должен:**

- эффективно воспринимать, преобразовывать и обрабатывать электрические сигналы от первичных измерительных преобразователей, а также управлять средствами измерений и другими техническими устройствами, входящими в его состав;
- вырабатывать нормированные электрические сигналы, являющиеся входными для средств воздействия на объект, оценивать метрологические характеристики и представлять результаты измерений в установленной форме.

7.3. Виртуальные информационно-измерительные системы

Современные решения в области промышленной автоматизации предполагают отказ от узкоспециализированных решений в пользу широкого использования персональных компьютеров, оснащенных платами АЦП/ЦАП, цифрового ввода-вывода информации, приборных, а также различных последовательных и параллельных устройств сопряжения — интерфейсов. Такие персональные компьютеры, работающие в режиме реального масштаба времени (в режиме on-line), могут выполнять все функции специализированного оборудования, сохраняя при этом достоинства компьютера общего назначения, прежде всего — гибкость и перенастраиваемость интерфейса.

Понятие «виртуальные приборы» (Virtual Instruments) появилось на стыке измерительной, информационной и компьютерной техники. **Виртуальный прибор представляет собой** комбинацию компьютера, универсальных аппаратных средств ввода-вывода сигналов и специализированного программного обеспечения, которое, собственно, и определяет конфигурацию и функционирование законченной системы. По сути, в руках создателя системы имеется конструктор (набор), из которого даже не искушенный в компьютерных технологиях инженер или исследователь может построить измери-

тельный прибор любой сложности. Теперь скорее требования задачи и соответствующее этому программное обеспечение, а не возможности прибора определяют функциональные характеристики законченного прибора.

В простейшем случае виртуальный прибор — это персональный компьютер в комплексе с соответствующим программным обеспечением и специальная плата сбора данных, устанавливаемая в него (в слот ISA или PCI) или внешнее устройство, подключаемое через LPT-порт, а также через современные внешние интерфейсы. Такими интерфейсами могут быть USB, RS-232, FieldBus, FireWire, IrDA, GPIB и т. д.

Персональный компьютер имитирует органы управления реального прибора и выполняет его функции, что позволяет инженеру, который умеет работать с этим прибором, продолжить работу с его виртуальным аналогом. Виртуальный прибор может содержать только те индикаторы и органы управления, которые необходимы для решения поставленной задачи. При этом обучение специалистов можно проводить на виртуальных аналогах реального оборудования, сохраняя его ресурс и не подвергая риску выхода его из строя из-за ошибок оператора.

К отличительным особенностям виртуальных приборов по сравнению с микропроцессорными приборами относятся:

- обширный фонд стандартных прикладных компьютерных программ, доступных для оператора, позволяющий решать широкий круг прикладных задач измерений (исследование и обработка сигналов, сбор данных с датчиков, управление различными промышленными установками и т. д.);
- возможность оперативной передачи данных исследований и измерений по локальным и глобальным компьютерным сетям (например, сети Интернет);
- высокоразвитый графический интерфейс пользователя, обеспечивающий быстрое освоение взаимодействия с системой;
- возможность использования внутренней и внешней памяти большой емкости, а также составления компьютерных программ для решения конкретных измерительных задач;
- возможность оперативного использования различных устройств документирования результатов измерений.

Архитектура построения виртуальных приборов

Виртуальный прибор можно строить двумя способами: с последовательной или параллельной архитектурой.

В виртуальном приборе с последовательной архитектурой (ее иногда называют централизованной системой) части системы, преобразующие анализируемые сигналы, обрабатывают их в последовательном режиме. Поэтому всю соответствующую электронику размещают на слотах компьютера.

Виртуальный прибор с параллельной архитектурой содержит ряд параллельных каналов измерения, каждый из которых имеет собственные узлы преобразования анализируемых сигналов и только процессор компьютера работает в режиме мультиплексирования (т. е. объединения сигналов). Подобный принцип построения виртуального прибора позволяет проводить оп-

тимизацию обработки сигналов в каждом канале независимо. В такой системе преобразование сигналов можно выполнять локально в месте расположения источника исследуемого сигнала, что позволяет передавать сигналы от измеряемого объекта в цифровой форме.

Одна из самых известных среди специалистов разработок виртуальных приборов — системы LabVIEW, BridgeVIEW и LookOut компании National Instruments (США). Кроме того, существует большое количество библиотек виртуальных приборов от независимых сторонних производителей. Программы в LabVIEW и именуются виртуальными приборами, так как способ общения с ними напоминает реальные приборы. Виртуальные приборы играют ту же роль, что и функции в обычных языках программирования.

Пользователь виртуального прибора включает объект графической панели с помощью клавиатуры, «мыши» или специализированной прикладной программы. **Виртуальные приборы сочетают большие вычислительные и графические возможности компьютера с высокой точностью и быстродействием АЦП и ЦАП**, применяемых в платах сбора данных. По существу виртуальные приборы выполняют анализ амплитудных, частотных, временных характеристик различных радиотехнических цепей и измеряют параметры сигналов с точностью примененных АЦП и ЦАП, а также формируют сигналы и для процесса собственно измерений, и для автоматизации ИС.

Программная часть виртуального прибора может эмулировать (создать) на экране дисплея компьютера виртуальную переднюю управляющую панель стационарного измерительного прибора. Сама управляющая панель с виртуальными кнопками, ручками и переключателями, сформированная на экране дисплея, становится панелью управления виртуального прибора. В отличие от реальной панели управления стационарного измерительного прибора, виртуальная панель может быть многократно перестроена в процессе работы для адаптации к конкретным условиям эксперимента. В зависимости от платы и программного обеспечения пользователь получает измерительный прибор под ту или иную метрологическую задачу.

Несколько лет назад на пути развития технологии программирования и создания виртуальных приборов появилось новое многообещающее направление. Оно называется IVI (Interchangeable Virtual Instruments — взаимозаменяемые виртуальные инструменты). Основная идея такова. Все приборы одного класса имеют большую, общую для всех приборов группу функций, например, все цифровые мультиметры (DMM) измеряют постоянное и переменное напряжение, сопротивление, а также выполняют другие функции. Если эти функции выделить в IVI Class Driver для класса DMM Class, то часть программы, отвечающая за управление цифровыми мультиметрами, не будет зависеть от конкретного прибора и его драйвера. Следует отметить высокое качество и надежность приборных драйверов VXI «Plug&Play», что не связано с концепцией классов драйверов IVI Class Driver, а реализуется другими средствами.

Современные программные системы немыслимы без удаленного доступа. Широкие вычислительные возможности виртуальных приборов позволяют реализовать программными методами многие методы повышения точности измерений, эффективности и быстродействия.

В настоящее время **развивается направление по разработке виртуальных измерительных систем**, широко использующих возможности современных компьютеров, компьютерной графики, перспективных методов и средств измерений, цифровой обработки информации и эффективных «Plug&Play» мультимедиа-технологий при создании программного и технологического обеспечения.

На основе виртуальных измерительных систем проводятся:

- экспериментальные научные измерения и исследования реализуемые в виде универсальных (функционально ориентированных) приборов в виртуальном исполнении (осциллографы, анализаторы, генераторы, синтезаторы сигналов, мультиметры, вольтметры, частотомеры, мультиплексоры и др.) и специальных (проблемно-ориентированных) систем, применяемых в спектроскопии, акусто- и сверхпроводниковой электронике, в поляризованных исследованиях оптических светодиодов, изучении распространения электромагнитного излучения в газах и атмосфере, дистанционном зондировании Земли и планет и т. д.;
- разработка семейства новых универсальных компьютерных приборов, синтезированных программным путем, среди которых можно выделить приборы с блоком оценки и представления точности характеристик прибора и измерений;
- создание виртуальных систем учебного назначения: практикумы и тренажеры, электронные каталоги и инструкции к серийно выпускаемым приборам, построенные на адекватных моделях устройств.

7.4. Интеллектуальные измерительные системы

Интеллектуальные измерительные системы — системы, которые можно индивидуально программировать на выполнение специфических задач, используя программируемый терминал (программатор) для ввода параметров конфигурирования. Подобные системы снабжены средствами представления анализируемой информации: дисплеем для визуализации мнемонических символов команд, цифровыми индикаторами, представляющими оператору необходимую информацию, и клавишами переключения видов работы. Блок бесперебойного питания обеспечивает сохранность программ при отключении питания на длительное время.

Интеллектуальные измерительные системы способны выполнять все функции измерения и контроля в реальном масштабе времени. Это позволяет осуществлять функции измерения и контроля «высокого уровня» без использования больших компьютеров. При автономном функционировании такая ИС обеспечивает непрерывные измерения и контроль заданных параметров, сбор данных и обработку сигналов.

Интеллектуальные измерительные системы имеют существенные преимущества перед традиционными, а именно:

- высокое быстродействие контуров управления процессами измерения, а также высокую скорость сбора данных;
- универсальность — стандартные интерфейсы обеспечивают простое подключение к любым системам и оборудованию;
- высокую надежность на каждом системном уровне — применение универсальных методов обеспечивает безотказную работу;
- взаимозаменяемость; поскольку интеллектуальные системы — стандартные устройства, индивидуально программируемые в расчет на их специфические функции, то каждое из них может быть заменено другим устройством того же функционального назначения; каждую систему можно рассматривать как резервную для любого типа систем того же класса, что уменьшает число дополнительных резервных средств измерения, контроля, управления и регулировки и сводит к минимуму аварийный период в маловероятном случае выхода из строя какого-либо элемента.

Принципы построения и структуры интеллектуальных ИС интегрируют в себе все лучшие стороны традиционных измерительных систем, но более насыщены микропроцессорной и компьютерной техникой. Интеллектуальные измерительные системы позволяют создать алгоритмы измерений, которые учитывают рабочую, вспомогательную и промежуточную информацию о свойствах объекта измерений и условиях измерений. Обладая способностью к перенастройке и перепрограммированию в соответствии с изменяющимися условиями функционирования, интеллектуальные алгоритмы позволяют повысить быстродействие и метрологический уровень измерений.

7.5. Вопросы и ответы по автоматизации измерений

7.1. В техническую систему информационно-вычислительного комплекса входят...	1. обменные устройства 2. самопишущие устройства 3. температурные датчики 4. вычислительные компоненты
7.2. ИИС, предназначенная для измерения функциональной характеристики резистивных датчиков и определения соответствия ее заданным требованиям относится к системе...	1. технической диагностики 2. автоматического контроля 3. телеизмерительной 4. распознавания образов
7.3. В техническую систему информационно-вычислительного комплекса входят...	1. обменные устройства 2. температурные датчики 3. средства ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов 4. вычислительные компоненты
7.4. Если средство измерения позволяет измерять физическую величину, автоматически выполнять только выбор предела измерения, суммирование нескольких результатов и проводить самокалибровку, то он относится к классу...	1. микропроцессорных приборов 2. информационно-вычислительных комплексов 3. компьютерно-измерительных систем 4. информационно-измерительных систем
7.5. Если средство измерения позволяет измерять несколько физических величин, представлять их в цифровом виде, дополнительно выполнять только функции накопления результатов и определения статистических характеристик, то он относится к классу...	1. компьютерно-измерительных систем 2. микропроцессорных приборов 3. информационно-вычислительных систем 4. информационно-измерительных систем

7.6. Измерительно-информационная система – это...	1. средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия 2. совокупность средств измерений, соединенных между собой каналами связи и предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки 3. совокупность средств измерений, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного наблюдения человеком и расположенная в одном месте 4. средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера
7.7. Цифровые индикаторы в автоматизированной системе контроля и управления сбором данных могут использоваться в качестве...	1. устройств вывода 2. каналов связи 3. устройств ввода 4. промежуточных преобразователей
7.8. Конструктивная совместимость информационно-измерительных систем обеспечивает согласованность...	1. конструктивных параметров 2. конструктивных сопряжений блоков при их совместном использовании 3. температурных датчиков 4. устройств ввода
7.9. Конструктивная совместимость информационно-измерительных систем обеспечивает согласованность...	1. конструктивных параметров 2. устройств ввода 3. адресации 4. температурных датчиков
7.10. Конструктивная совместимость информационно-измерительных систем обеспечивает согласованность...	1. конструктивных параметров 2. температурных датчиков 3. устройств вывода 4. информационных характеристик
7.11. Основными признаками измерительно-вычислительных комплексов является...	1. наличие нормированных метрологических характеристик 2. наличие системы электробезопасности 3. наличие компаратора 4. наличие температурных датчиков
7.12. Основными признаками измерительно-вычислительных комплексов является...	1. наличие системы электробезопасности 2. наличие температурных датчиков 3. наличие компаратора 4. наличие системы кодирования

7.13. Основными признаками измерительно-вычислительных комплексов является...	1 температурных датчиков 2. программное управление средствами измерений 3. наличие компаратора 4. наличие системы электробезопасности
7.14. Конструктивная совместимость измерительно-вычислительных систем обеспечивает согласованность ...	1. конструктивных сопряжений блоков при их совместном использовании 2. адресации 3. конструктивных параметров 4. промежуточных преобразователей
7.15 Конструктивная совместимость измерительно-вычислительных систем обеспечивает согласованность ...	1 промежуточных преобразователей 2. адресации 3. конструктивных параметров 4. информационных характеристик
7.16. Типовые измерительно-вычислительные комплексы предназначены для...	1 обеспечения согласованности характеристик блоков по надежности 2. решения задач автоматизации измерений 3. обеспечения согласованности характеристик блоков по стабильности 4. решения специфических задач
7.17. Типовые измерительно-вычислительные комплексы предназначены для...	1. настройки средств измерений 2. обеспечения согласованности характеристик блоков по стабильности 3. обеспечения согласованности характеристик блоков по надежности 4. решения специфических задач
7.18. Типовые измерительно-вычислительные комплексы предназначены для...	1 обеспечения согласованности характеристик блоков по надежности 2. обеспечения согласованности характеристик блоков по стабильности 3. испытаний или исследований 4. решения специфических задач
7.19. Измерительно-вычислительные комплексы предназначены для ...	1. управления процессом измерения 2. обеспечения согласованности характеристик блоков по надежности 3. обеспечения согласованности характеристик блоков по стабильности 4. решения специфических задач

7.20. Измерительно-вычислительные комплексы предназначены для ...	1. решения специфических задач 2. поддержания параметров в заданных пределах 3. обеспечения согласованности характеристик блоков по надежности 4. обеспечения согласованности характеристик блоков по стабильности
7.21. Измерительно-вычислительные комплексы предназначены для ...	1. обеспечения согласованности характеристик блоков по надежности 2. решения специфических задач 3. обеспечения согласованности характеристик блоков по стабильности 4. осуществления измерения физических величин
7.22. Измерительно-информационная система, предназначенная для измерения функциональной характеристики резистивных датчиков и определения соответствия ее заданным требованиям, относится к системе...	1. автоматического контроля 2. телеизмерительной 3. технической диагностики 4. распознавания образов
7.23. В измерительно-информационных системах различают совместимость...	1. весовую 2. органическую 3. электрическую 4. тепловую
7.24. В измерительно-информационных системах различают совместимость...	1. весовую 2. конструктивную 3. органическую 4. тепловую
7.25. В техническую систему измерительно-вычислительного комплекса входит...	1. обменные устройства 2. температурные датчики 3. вычислительные компоненты 4. средства ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов
7.26. В техническую систему измерительно-вычислительного комплекса входит...	1. обменные устройства 2. самопишущие устройства 3. вычислительные компоненты 4. температурные датчики

7.27. Результатом измерения измерительно-информационной системы является...	1. значение погрешности вычисления физической величины 2. состояние объекта измерения 3. значение физической величины 4. значение нескольких физических величин
7.28. Устройство, преобразующее пространственно-разделенные аналоговые сигналы в сигналы, разделенные во времени, называется...	1. интерфейсом 2. коммутатором 3. микропроцессом 4. усилителем
7.29. Основным элементом автоматизированных систем с каналом общего пользования является...	1. персональный компьютер 2. датчик 3. устройство воздействия на объект измерения 4. интерфейс
7.30. Измерительная система распознавания образов выполняет функции...	1. определения работоспособности элемента и локализации неисправности 2. определения принадлежности объекта к одной из известных групп объектов 3. контроля технологических процессов 4. получения максимального количества достоверной измерительной информации об объекте
7.31. Измерительная система технической диагностики выполняет функции...	1. получения максимального количества достоверной измерительной информации об объекте 2. определения работоспособности элемента и локализации неисправности 3. определения принадлежности объекта к одной из известных групп объектов 4. контроля технологических процессов
7.32. Измерительная система автоматического контроля выполняет функции...	1. определения работоспособности элемента и локализации неисправности 2. получения максимального количества достоверной измерительной информации об объекте 3. определения принадлежности объекта к одной из известных групп объектов 4. контроля технологических процессов

8. Вопросы и ответы по взаимозаменяемость

8.1. Действительным называется размер, ...	1. служащий началом отсчета отклонений 2. установленный измерением с допускаемой погрешностью 3. полученный в результате расчетов и округлений до стандартного значения до ГОСТ 6636 4. который необходимо получить при изготовлении
8.2. Частным случаем отклонения от округлости может быть ...	1. конусообразность 2. бочкообразность (выпуклость) 3. седлообразность 4. огранка
8.3. Микронеровности по высоте характеризуются параметрами шероховатости ...	1. S, S_m 2. S_m, t_p 3. R_a, R_z, R_{max} 4. t_p, S, R_{max}
8.4. Из наиболее широко применяемых классов точности 0, 2, 4, 5, 6 наибольшую точность имеют подшипники класса ...	1. 6 2. 2 3. 0 4. 4
8.5. Базой для отсчета значений отклонений формы следует принимать ...	1. поверхность или профиль, имеющий размеры, указанные на чертеже детали 2. среднюю линию профиля 3. поверхность, касательную к реальной поверхности изнутри материала 4. прилегающий профиль или прилегающую поверхность
8.6. Допуском размера называется ...	1. разность между наибольшими и номинальными размерами 2. возможное отклонение от номинального размера 3. разность между наибольшим и наименьшим размерами 4. разность между наименьшим и наибольшим размерами
8.7. Знак  , указанный на чертеже, означает ...	1. допуск цилиндричности 2. суммарное отклонение формы и расположения цилиндрической поверхности

	3. допуск круглости 4. допуск параллельности образующих цилиндрической поверхности
8.8. Верхним предельным отклонением размера отверстия является ...	1. $D_{max} - D_{min}$ 2. $D + T_D / 2$ 3. $D - D_{max}$ 4. $D_{max} - D$
8.9. В мм измеряются параметры шероховатости ...	1. S, S_m 2. R_z, S_m 3. R_a, R_z 4. R_{max}, t_p
8.10. Если на чертеже детали конус задан конусностью $C=1:10$, то угловой допуск следует указать в виде ...	1. AT_α 2. AT'_α 3. AT_h 4. AT_D
8.11. В ГОСТ 2789-73 при определении численных значений параметров шероховатости за базу принимается ...	1. средняя линия профиля на базовой длине 2. базовая длина 3. номинальный размер 4. прилегающий профиль
8.12. Условное обозначение на поверхности детали $\sqrt{\frac{R_a \ 1,6}{0,8}}$ означает, что	1. среднеарифметическое отклонение профиля 1,6 мкм, средний шаг неровностей 0,8 мм 2. среднеарифметическое отклонение профиля 1,6 мм, средняя высота неровностей профиля по 10 точкам 0,8 мм 3. среднеарифметическое отклонение профиля должно быть в пределах от 1,6 до 0,8 мкм 4. средняя высота неровностей профиля по 10 точкам должна быть в пределах от 1,6 до 0,8 мкм
8.13. Общие допуски и расположения в соответствии с ГОСТ 30893.2 устанавливаются для отклонений	1. плоскостности 2. позиционных 3. перекоса осей 4. цилиндричности
8.14. Посадки не характеризуются...	1. допуском посадки 2. минимальным натягом или зазором 3. максимальным натягом или зазором 4. значением размера

8.15. На выбор посадок с кольцами подшипников качения не влияет ...	1. условия сборки 2. режим работы изделия 3. вид нагружения колец подшипника 4. размер и тип подшипника
---	--

ЛИТЕРАТУРА

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебное пособие/ С.И. Боридько, Н.В. Дементьев, Б.Н. Тихонов, И.А. Ходжаев.; Под ред. Б.Н. Тихонова – М.: Горячая линия - Телеком, 2007
2. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах (Том 1): Учебник для вузов / Б.П. Хромой – М.: ИРИАС, 2007
3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2005
4. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001
5. Метрологическое обеспечение систем передачи, Учебное пособие для вузов/ Б.П. Хромой, В.С. Серебрин, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. проф. Б.П. Хромого – М.: Радио и связь, 1991-392с.
6. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи. Учебное пособие для вузов/ Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. проф. Б.П. Хромого – М.: Радио и связь, 1986-424с.
7. ГОСТ 8.009-84. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. РД50-453-84. Методический материал по применению ГОСТ 8.009-84. Издательство стандартов 1988г.
8. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12. 2002 года № 184 - ФЗ.
9. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. Учебное пособие для вузов. - М.: ЛОГОС, 2001-408с.
10. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2000-711с.
11. Мирский Г.Я. Электронные измерения. -М.: Радио и связь, 1986- 440с.
12. Кушнир В.Д. Электроизмерения.- М.: Радио и связь, 1985-368с.
13. Кушнир В.Д. Электроизмерения.-Л.: Энергоатомиздат., 11983-320с.
14. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством.- М.: Издательство стандартов, 1990.

15. Кушнир Ф.В., Савенко В.Г., Верник С.М. Измерения в технике связи.- М.: Связь, 1976.
16. Дворяшин Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения. -М.: Радио и связь, 1992. Методы измерений в системах связи. И.Г. Бакланов. М.:, Радио и связь. ИТЦ «Эко-Тренз», 1999 г.
17. Технологии измерений в первичной сети. Части 1 и 2. И.Г. Бакланов. М.:, Радио и связь. ИТЦ «Эко-Тренз», 2000г
18. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация. Учебное пособие для вузов./ Сергеев А.Г. , Латышев М.В., Терегеря В.В. - М.: ЛО-ГОС, 2005- 196с.