

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего профессионального образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Линий связи и измерений в технике связи

В.С.Баскаков, А.Л. Косова, В.И. Прокопьев

**КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К
ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ
«МЕТРОЛОГИЯ,
СТАНДАРТИЗАЦИЯ И
СЕРТИФИКАЦИЯ»**

Учебное пособие

Самара
2015

УДК
ББК
Б

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ
Протокол № , от 2015г.

Баскаков В.С., Косова А.Л., Прокопьев В.И.

Контрольные задания и методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»: учебное пособие / В.С. Баскаков, А.Л. Косова, В.И. Прокопьев. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 90 с.

Учебное пособие к практическим занятиям по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» разработано в соответствии с требованиями ФГОС ВПО по направлениям: 11.03.12 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 09.03.02 – «Информационные системы и технологии», 27.03.04 – «Управление в технических системах», 27.03.05 – «Инноватика», 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника», 210.400 – «Радиотехника», 12.03.03. – «Фотоника и оптоинформатика». Предназначено для студентов III курса факультетов: ТР, БТО, ИСТ, для проведения практических занятий по дисциплинам : «Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях», «Метрология и радиоизмерения». Пособие предусматривает закрепление знаний полученных студентом при изучении базовых и вариативных дисциплин ООП бакалавриата и приобретение практических навыков по профилю подготовки. Положительная оценка результатов практических занятий является обязательной, при допуске студента к экзаменационной сессии.

ISBN
Баскаков В.С.
Косова А.Л.
Прокопьев В.И., 2015

Содержание

Введение.....	5
1.Основные и производные единицы измерения физических величин системы СИ; десятичные приставки и множители.....	6
1.1 Основные положения	6
1.2 Десятичные приставки и множители.....	8
1.3.Задача	9
1.4 Пример решения задачи варианта N	17
2.Определение номинальных значений резисторов постоянного сопротивления по маркировке. Определение полей допуска по заданному классу точности	19
2.1. Общие сведения	19
2.2 Задача. Определение величин сопротивлений резисторов и их соединений.....	21
2.3 Пример решения задачи варианта N	22
3. Определение номинальных значений конденсаторов постоянной емкости по маркировке	25
3.1 Общие сведения	25
3.2. Задача. Определение величин емкостей конденсаторов и их соединений.....	26
3.3 Пример решения задачи варианта	26
4. Уровни передачи	29
4.1 Основные положения.....	29
4.2. Задачи	30
4.3. Примеры решения задачи M,L.....	33
5. Обработка результатов прямых однократных измерений	38
5.1. Основные положения.....	38
5.2. Текст задания и условие задачи	43
5.3 Примеры решения задач.....	50
6. Обработка результатов прямых многократных равноточных измерений	52

6.1 Основные положения.....	52
6.2 Текст задания и условие задачи	55
6.3 Примеры решения задач.....	59
7. Обработка результатов косвенных однократных измерений.	60
7.1 Основные положения.....	60
7.2 Текст задания и условие задачи	61
8. Определение параметров переменных напряжений и показаний вольтметров различных типов	63
8.1.Основные положения.....	63
8.2. Текст задания и условие задачи.....	68
8.3 Примеры решения задач.....	74
9. Осциллографические измерения параметров сигналов	76
9.1 Основные положения.....	76
9.2 Измерение напряжения.....	77
9.3 Измерение частоты	78
9.4 Текст задания и условие задачи.....	80
9.5 Примеры решения задач.....	85
Список рекомендуемой литературы.....	89

Введение

Данные контрольные задания посвящены изучению международной системы единиц измерения СИ, применению десятичных приставок и множителей, определению номинальных значений резисторов постоянного сопротивления и конденсаторов постоянной емкости, определению уровней передачи, изучению способов обработки результатов измерений основных параметров телекоммуникационных систем. Контрольные задания включают в себя базовый комплект задач и примеры их решения по основополагающим разделам курса: обеспечения единства измерений, элементам теории погрешностей; нормированию погрешностей средств измерений; определению параметров переменных напряжений и показаний вольтметров различных типов; осциллографическим измерениям параметров сигналов. Задания расположены в порядке возрастания сложности. В текстах задания приведены алгоритмы решения задач и основные положения курса, необходимые для выполнения заданий.

Задания размещены на сайте кафедры ЛС и ИТС (lsits@psati.ru)

Для более детального освоения рассматриваемых вопросов необходимо изучить литературу из рекомендуемого списка и конспект лекций по «Метрологии, стандартизации и сертификации».

Выбор варианта задач определяется: для разделов 1-3 – в соответствии с порядковым номером N группы; для разделов 4-9 – двумя последними цифрами номера зачетной книжки M,L; где M - предпоследняя цифра, L - последняя цифра.

1. Основные и производные единицы измерения физических величин системы СИ; десятичные приставки и множители

1.1 Основные положения

В Р.Ф. к обязательному применению введена международная система единиц измерения физических величин СИ (фр. LeSystème International d'Unités, SI).

Она включает в себя 7 основных, две дополнительных и неограниченное число производных единиц измерения физических и дополнительных величин. Основные и дополнительные системы СИ : представлены в табл. 1.1

Таблица 1.1

Величина	Обозначение размерности	Единица измерения		
		Наименование	Обозначение	
			русское	международное
Основные единицы СИ				
Длина	L	метр	м	m
Масса	M	килограмм	кг	kg
Время	T	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	ампер	A	A
Термодинамическая температура	θ	кельвин	K	K
Количества вещества	N	моль	моль	mol
Сила света	J	кандела	кд	cd
Дополнительные единицы СИ				
Плоский угол	-	радиант	рад.	rad.
Телесный угол	-	стерадиант	ср.	sr.

Производные единицы измерения определяются по основным в соответствии с известными законами. Наиболее распространённые производные единицы измерения представлены в табл.1.2

Таблица 1.2

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
			международное	русское	
Частота	T^{-1}	герц	Hz	Гц	s^{-1}
Сила	$LM T^{-2}$	ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	$L^{-1} M T^{-2}$	паскаль	Pa	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	J	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	$L^2 M T^{-3}$	ватт	W	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Электрический заряд, количество электричества	TI	Кулон	C	Кл	$s \cdot A$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	вольт	V	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$

Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	F	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ω	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	S	См	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$

1.2 Десятичные приставки и множители

Численное значение любой физической величины может изменяться в широких пределах. При этом, в случае применения единиц измерения системы СИ возникает необходимость использования десятичных дольных и кратных приставок и множителей. Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц измерения физических величин представлены в табл. 1.3

Таблица 1.3

Наименование	Множитель	Обозначение		Примеры записи	русск	междун
		русск	междун			
экса	10^{18}	Э	E	эксаграмм	Эг	Eg
пета	10^{15}	П	P	петаВольт	ПВ	PV
тера	10^{12}	Т	T	тераОм	ТОм	T Ω
гига	10^9	Г	G	гигаГерц	ГГц	GHz
мега	10^6	М	M	мегаОм	МОм	M Ω
кило	10^3	к	k	килограмм	кг	kg
гекто	10^2	г	h	гектоватт	гВт	hW
дека	10^1	дк	dc	декалитр	дкл	dcl
деци	10^{-1}	д	d	децибел	дБ	dB
санти	10^{-2}	с	c	сантиметр	см	cm
милли	10^{-3}	м	m	миллиампер	мА	mA
микро	10^{-6}	мк	μ	микрогенри	мкГ	μ H
нано	10^{-9}	н	n	наносекунда	нс	ns
пико	10^{-12}	п	p	пикофарада	пФ	pF
фемто	10^{-15}	ф	f	фемтосименс	фСм	fS
атто	10^{-18}	а	a	аттокулон	аКл	aC

1.3.Задача

Произвести запись значения заданного параметра, используя дольные и кратные приставки. Результат представить в виде десятичной дроби либо целого числа необходимой разрядности, а также с применением сомножителя 10^n . Исходные данные и единицы измерения представляемого результата сведены в табл. 1.1÷1.8.

Таблица 1.4 Частота

NN п.п	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
		3	4	5
1	3500 Гц	кГц	МГц	ГГц
2	0.15 кГц	Гц	МГц	ГГц
3	34.5 кГц	ГГц	Гц	МГц
4	0.003 ГГц	Гц	МГц	кГц
5	18 300 Гц	кГц	ГГц	МГц
6	348 кГц	МГц	Гц	ГГц
7	0.35 МГц	ГГц	Гц	кГц
8	1.45 кГц	Гц	ГГц	МГц
9	0.024 ГГц	кГц	МГц	Гц
10	0.00019 ГГц	МГц	Гц	кГц
11	157 000 Гц	кГц	ГГц	МГц
12	75.4 МГц	ГГц	Гц	кГц
13	135.3 МГц	кГц	ГГц	Гц
14	0.063 ГГц	МГц	кГц	Гц
15	2.55 кГц	МГц	Гц	ГГц
16	950 Гц	ГГц	кГц	МГц
17	185 кГц	МГц	Гц	ГГц
18	0.00027 ГГц	Гц	МГц	кГц
19	0.047 ГГц	МГц	Гц	кГц
20	470 МГц	кГц	ГГц	Гц
21	290 кГц	Гц	МГц	ГГц
22	650000 Гц	МГц	кГц	ГГц
23	185 кГц	ГГц	Гц	МГц
24	3.1 МГц	ГГц	кГц	Гц
25	14.8 кГц	МГц	Гц	ГГц
26	0.0035 ГГц	Гц	кГц	МГц
27	24500 Гц	кГц	ГГц	МГц
28	57.3 кГц	МГц	Гц	ГГц
29	68.1 МГц	ГГц	кГц	Гц
30	3400000 Гц	МГц	ГГц	кГц

Таблица 1.5 Сила тока

NN п.п	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
1	2	3	4	5
1	1.5 А	нА	мА	мкА
2	150000 нА	мкА	мА	А
3	45000 нА	А	мкА	мА
4	0.75 А	мА	нА	мкА
5	354 мА	мкА	А	нА
6	0.12 А	мкА	А	нА
7	473мА	А	мкА	нА
8	1300мкА	А	нА	мА
9	85мА	мкА	А	нА
10	0.045 А	мА	нА	мкА
11	345мкА	нА	А	мА
12	0.051 А	нА	мА	мкА
13	62мА	мкА	А	нА
14	27000 нА	А	мкА	мА
15	472мкА	мА	нА	А
16	0.225 А	нА	мА	мкА
17	173мА	нА	А	мкА
18	437000 нА	мкА	А	мА
19	48мкА	мА	нА	А
20	39мА	нА	мкА	А
21	510мкА	А	нА	мА
22	3.4 А	нА	мА	мкА
23	450мА	мкА	А	нА
24	13мА	А	нА	мкА
25	184мкА	нА	А	мА
26	615мА	нА	А	мкА
27	0.0005 А	мкА	мА	нА
28	480мА	А	нА	мкА
29	0.91 А	нА	мА	мкА
30	350000 нА	мА	А	мкА

Таблица 1.6 Напряжение

NN п.п	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
		3	4	5
1	30В	кВ	мВ	мкВ
2	0.042 кВ	мкВ	В	мВ
3	450000 мВ	В	кВ	мкВ
4	356000 мкВ	кВ	мВ	В
5	47380 мкВ	В	кВ	мВ
6	560 мВ	кВ	мкВ	В
7	120 В	мкВ	кВ	мВ
8	9.0 В	кВ	мкВ	мВ
9	0.380 кВ	В	мВ	мкВ
10	0.008 кВ	мкВ	В	мВ
11	35мВ	кВ	мкВ	В
12	0.053 кВ	мкВ	В	мВ
13	84 В	мВ	кВ	мкВ
14	0.470 В	мкВ	кВ	мВ
15	240 мВ	кВ	мкВ	кВ
16	1463 мкВ	В	мВ	В
17	6 В	мкВ	кВ	мВ
18	740 мВ	кВ	В	мкВ
19	0.017 кВ	мВ	В	мкВ
20	5200 мкВ	В	мВ	кВ
21	4700 мВ	В	мкВ	кВ
22	86 В	мВ	кВ	мкВ
23	0.175 кВ	мВ	В	мкВ
24	250 В	кВ	мкВ	мВ
25	610 мВ	кВ	В	мкВ
26	35700 мкВ	мВ	кВ	В
27	7300 мВ	В	кВ	мкВ
28	320500 мкВ	В	мВ	кВ
29	7.3 В	мкВ	кВ	мВ
30	0.037 кВ	мВ	В	мкВ

Таблица 1.7 Мощность

NN п.п	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
1	2	3	4	5
1	0.047кВт	мВт	Вт	мкВт
2	8.6 Вт	мкВт	кВт	мВт
3	430700 мкВт	Вт	мВт	кВт
4	8150мВт	Вт	кВт	мкВт
5	640мВт	кВт	кВт	мВ
6	560 мВ	кВ	Вт	мкВт
7	220 Вт	кВт	мкВт	мВт
8	0.139 кВт	мВт	Вт	мкВт
9	74 Вт	мВт	кВт	мкВт
10	5300мВт	Вт	мкВт	кВт
11	3800мкВт	Вт	мВт	кВт
12	0.021 кВт	мВт	Вт	мкВт
13	570мВт	кВт	Вт	мкВт
14	8.6 Вт	мкВт	кВт	мВт
15	2361мкВт	Вт	мВт	кВт
16	420мВт	кВт	мкВт	Вт
17	0.375 Вт	мкВт	кВт	мВт
18	93.7 Вт	мВт	кВт	мкВт
19	0.042 кВт	мкВт	Вт	мВт
20	97.6мВт	кВт	мкВт	Вт
21	0.007 кВт	мкВт	Вт	мВт
22	0.165 кВт	кВт	мВт	мкВт
23	8.45 Вт	кВт	мкВт	мВт
24	372.4 Вт	мкВт	кВт	мВт
25	725мВт	кВт	мкВт	Вт
26	54273мкВт	Вт	кВт	мВт
27	617344мкВт	кВт	мВт	Вт
28	435600мВт	Вт	кВт	мкВт
29	0.034 кВт	мкВт	Вт	мВт
30	32.47 Вт	кВт	мВт	мкВт

Таблица 1.8 Длина волны

NN n.n	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
1	2	3	4	5
1	1550 нм	мм	см	мкм
2	0.93 м	нм	мм	мкм
3	375 мм	см	нм	мкм
4	0.006 м	мкм	мм	нм
5	518 мм	нм	см	мкм
6	238 мкм	нм	см	мм
7	37.6 мм	м	нм	мкм
8	345.7 мм	мкм	см	нм
9	1.13 м	нм	мм	мкм
10	947 мкм	см	нм	мм
11	58.4 мм	нм	нм	см
12	42.8 мкм	мм	нм	см
13	287164 нм	мкм	см	мм
14	143 мм	нм	см	мкм
15	0.316 м	нм	см	мкм
16	851мм	мм	нм	см
17	1310 нм	см	мкм	мм
18	48.3 мм	мкм	см	нм
19	0.545 см	нм	мм	мкм
20	325 мкм	нм	см	мм
21	0.064 см	мм	нм	мкм
22	74.5 мм	см	нм	мкм
23	2315 мкм	мм	нм	см
24	54000 нм	мкм	см	мм
25	23.2 мм	см	нм	мкм
26	276 мкм	нм	см	мм
27	850 нм	мм	см	мкм
28	0.06 м	нм	мм	мкм
29	437 мм	см	нм	мкм
30	0.008 м	мкм	нм	мм

Таблица 1.9 Электрическая емкость

NN п.п	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
1	2	3	4	5
1	3500 пФ	мФ	мкФ	нФ
2	4.31 мФ	пФ	мкФ	нФ
3	50.0 мФ	нФ	мкФ	пФ
4	47.3 мкФ	мФ	пФ	нФ
5	7500 пФ	нФ	мФ	мкФ
6	21.2 нФ	мФ	пФ	мкФ
7	147.5 нФ	мкФ	мФ	пФ
8	345.1 мкФ	пФ	мФ	нФ
9	150.6 пФ	мФ	мкФ	нФ
10	34500 пФ	мкФ	нФ	мФ
11	910 нФ	пФ	мФ	мкФ
12	45.1 мкФ	нФ	мФ	пФ
13	39 нФ	мФ	пФ	мкФ
14	101 мФ	нФ	мкФ	пФ
15	330 мкФ	нФ	пФ	мФ
16	18.2 мФ	мкФ	пФ	нФ
17	247.3 нФ	мФ	пФ	мкФ
18	19.6 мкФ	пФ	мФ	нФ
19	128.7 пФ	нФ	мкФ	мФ
20	9.1 мФ	мкФ	пФ	нФ
21	3100 пФ	мкФ	нФ	мФ
22	29300 пФ	мФ	мкФ	нФ
23	33.6 мФ	нФ	мкФ	пФ
24	215 мкФ	пФ	мФ	нФ
25	47.8 мкФ	нФ	мФ	пФ
26	0.75 мФ	нФ	пФ	мкФ
27	8100 пФ	мФ	мкФ	нФ
28	650 мкФ	мФ	пФ	нФ
29	39.5 нФ	мкФ	пФ	мФ
30	471 нФ	мФ	мкФ	пФ

Таблица 1.10 Индуктивность

NN п.п	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
		3	4	5
1	0.018 Г	мкГ	нГ	мГ
2	0.47 мкГ	мГ	Г	нГ
3	181 нГ	мкГ	Г	мГ
4	0.51 мГ	нГ	мкГ	Г
5	0.0007 Г	мГ	нГ	мГ
6	1.19 мГ	Г	нГ	мкГ
7	2.34 мкГ	мГ	Г	нГ
8	345 нГ	мкГ	мГ	Г
9	0.514 Г	мкГ	нГ	мГ
10	1.25 Г	нГ	Г	мГ
11	2.17 мГ	Г	нГ	мкГ
12	0.273 Г	мГ	нГ	мкГ
13	0.814 мГ	мкГ	Г	нГ
14	24.7 мкГ	мГ	Г	нГ
15	13.8 мГ	нГ	мкГ	Г
16	0.063 Г	мкГ	нГ	мГ
17	0.947 мГ	Г	мкГ	нГ
18	475 мкГ	мГ	Г	нГ
19	3515 нГ	мГ	мкГ	Г
20	735 нГ	мкГ	Г	мГ
21	0.009 Г	мкГ	мГ	нГ
22	5.47 М	Г	нГ	мкГ
23	0.038 Г	нГ	мГ	мкГ
24	4.65 мкГ	мГ	нГ	Г
25	237 нГ	мГ	Г	мкГ
26	27.4 мГ	мкГ	нГ	Г
27	935 нГ	Г	мкГ	мГ
28	368 мкГ	мГ	Г	нГ
29	2183 нГ	мкГ	Г	мГ
30	1.75 мГ	Г	нГ	мкГ

Таблица 1.11 Сопротивление

NN п.п	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
1	2	3	4	5
1	0.012 ТОм	МОм	кОм	ГОм
2	15.4 кОм	Ом	ТОм	МОм
3	33.7 МОм	ТОм	кОм	ГОм
4	47.3 ГОм	кОм	МОм	ТОм
5	680 Ом	МОм	ТОм	кОм
6	560 кОм	ТОм	Ом	МОм
7	220 Ом	МОм	кОм	ГОм
8	0.152 ТОм	кОм	ГОм	МОм
9	82.3 Ом	МОм	кОм	ГОм
10	180 кОм	ТОм	МОм	ГОм
11	0.27 ГОм	кОм	ТОм	МОм
12	390 Ом	кОм	МОм	ТОм
13	4.72 ГОм	МОм	ТОм	кОм
14	5100 Ом	МОм	кОм	ГОм
15	0.091 ТОм	ГОм	кОм	МОм
16	5.62 МОм	ТОм	кОм	Ом
17	2.27 кОм	Ом	МОм	ГОм
18	68000 Ом	МОм	ГОм	кОм
19	7.5 МОм	кОм	Ом	ТОм
20	0.471 ГОм	ТОм	кОм	МОм
21	330 кОм	Ом	МОм	ТОм
22	0.43 МОм	ТОм	кОм	ГОм
23	0.0051 ТОм	кОм	ГОм	МОм
24	2.71 МОм	Ом	ГОм	кОм
25	8.27 ГОм	ТОм	кОм	МОм
26	39.5 ГОм	ТОм	кОм	МОм
27	0.012 ТОм	МОм	ГОм	кОм
28	33500 Ом	кОм	ТОм	МОм
29	750 кОм	ГОм	Ом	МОм
30	39.4 МОм	ТОм	ГОм	кОм

Результаты решения задачи представить в форме таб.1.12

Таблица 1.12

Наименование параметра	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
1	2	3	4	5
Частота				
Сила тока				
Напряжение				
Мощность				
Длина волны				
Электрическая емкость				
Индуктивность				
Сопротивление				

Номер варианта N выбирается в соответствии с порядковым номером по списку группы.

1.4 Пример решения задачи варианта N

Таблица 1.13

Наименование параметра	Значение параметра	Единицы измерения параметра		
1	2	3	4	5
Частота	3400 000 Гц	3.4 МГц $0.34 \cdot 10^6$ Гц	0.0034 ГГц $34 \cdot 10^{-4}$ ГГц	3400 кГц $3.4 \cdot 10^3$ кГц
Сила тока	350 000 нА	0.35 мА $3.5 \cdot 10^{-1}$ мА	0.00035 А $35 \cdot 10^{-5}$ А	350 мкА $3.5 \cdot 10^2$ мкА

Напряжение	7300 м В	0.0073 к В $0.73 \cdot 10^{-2}$ кВ	7300000 мкВ $73 \cdot 10^5$ мкВ	7.3 В $73 \cdot 10^{-1}$ В
Мощность	435600 мВт	435.6 Вт $4.356 \cdot 10^2$ Вт	0.4356 кВт $43.56 \cdot 10^{-2}$ кВт	435600000 мкВт $435.6 \cdot 10^6$ мкВт
Длина волны	0.008 м	8000мкм $8 \cdot 10^3$ мкм	8000000 нм $80 \cdot 10^5$ нм	8 мм $0.8 \cdot 10^1$ мм
Электрическая емкость	650 мкФ	0.65 мФ $65 \cdot 10^{-2}$ мФ	650000000 пФ $6.5 \cdot 10^8$ пФ	650000 нФ $650 \cdot 10^3$ нФ
Индуктивность	2183 н Г	2.183 мкГ $218.3 \cdot 10^{-2}$ мк Г	0.000002183 Г $2.183 \cdot 10^{-6}$ Г	0.002183 мГ $2.183 \cdot 10^{-3}$ мГ
Сопротивление	1247 к Ом	0.001247 ГОм $1.247 \cdot 10^{-3}$ ГОм	1.247 МОм $124.7 \cdot 10^{-2}$ МОм	0.000001247 ТОм $1.247 \cdot 10^{-6}$ ТОм

2.Определение номинальных значений резисторов постоянного сопротивления по маркировке. Определение полей допуска по заданному классу точности

2.1. Общие сведения

Маркировка элементов радиоэлектронной аппаратуры заключается в нанесении на корпус некоторых основных параметров этих элементов.

В электрических цепях наиболее часто встречающимися соединениями элементов являются последовательное и параллельное соединение.

Полное сопротивление или эквивалентное сопротивлению участка цепи, состоящего из двух последовательно соединительных проводников (рис.2.1),равно $R_{\Sigma} = R_1 + R_2$.

Величина, обратная полному сопротивлению участка цепи аб, состоящего из двух параллельно соединенных проводников (рис.2.2),равна:

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

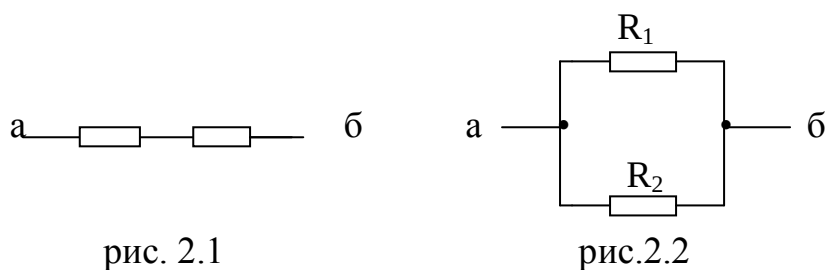


рис. 2.1

рис.2.2

Отсюда следует, что

$$R_{\Sigma} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

При маркировке резистора постоянного сопротивления на корпусе наносится обозначение типа резистора с указанием номинальной мощности рассеяния $P_{ном}$, т.е. мощности, которую резистор может длительное время рассеивать без недопустимо большого перегрева, например, ВС-0,125 ($P_{ном} = 0,125 \text{ Вт}$), МЛТ -2 ($P_{ном} = 2 \text{ Вт}$).

Кроме того на корпусе резистора наносится условное обозначение завода изготовителя и номинальное значение сопротивления $R_{ном.}$

Фактическое сопротивление резистора может отличаться от обозначенного на величину, не превышающую допустимого отклонения.

Величина допустимого отклонения сопротивления от номинала для резисторов широкого применения может составлять : 5%; 10%; 20%.

Соответственно такие резисторы подразделяются на I; II и III-й классы точности. На корпусах малогабаритных резисторов может отсутствовать условные обозначения завода изготовителя, типа резистора, номинальной мощности и др. Однако, номинальное значение сопротивления, как правило, наносится.

Ряды номинальных сопротивлений резисторов широкого применения приведены в табл.2.1

Таблица 2.1

Допускаемые отклонения от номинального сопротивления, %	5%	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30
	10%	10				15		18		22			
	20%	10				15				22			
	5%	33				47	51	56	62	68	75	82	91
	10%	33				47		56		68		82	
	20%	33				47				68			

Приведенные ряды продлевают в сторону больших или меньших значений путем умножения или деления на 10. 100. 1000 и т.д.

На корпусах резисторов относительно больших размеров номинальные сопротивления маркируют, применяя общепринятые от номинала в процентах, например, 1,2 кОм +10%.

На малогабаритных резисторах номинальные сопротивления маркируют с помощью следующего кода :

1) единицу Ом обозначению буквой Е, килоОм -буквой К, мегаОм-буквой М, ГигаОм (1тыс МОм)- буквой Г и тероОм (1млн.МОм)-Т. При этом сопротивления от 100 до 910 Ом выражают в сотых долях килоОма, а сопротивление от 100 до 910 тыс.Ом в сотых долях МегаОма;

2)если сопротивление выражается целыми числом, то обозначение единицы ставят после этого числа, а если сопротивление выражается целым числом с десятичной дробью, то целое число ставится впереди буквы, обозначающей единицу, а дробью - после буквы (буква заменяет запятую). Например, сопротивление 47 Ом обозначают 47Е, 4,7 кОм -4к7, 47 кОм -47к, 4,7 МОм -4М7;

3)когда же сопротивление выражается десятичной дробью, меньшей единицы, буквенное обозначение единицы измерения располагается перед числом, а нуль и запятая из маркировки исключается. Например, сопротивление 470 Ом =0.47 кОм обозначают к47, а 470 кОм = 0,47 МОм - М 47.

2.2 Задача. Определение величин сопротивлений резисторов и их соединений.

2.2.1.По маркировке нанесенной на корпусах двух резисторов широкого применения R_1 и R_2 определить величины номинальных значений сопротивлений $(R_n)_1$ и $(R_n)_2$.

2.2.2. Рассчитать поля допусков возможных значений сопротивлений для каждого резистора при заданных классах точности (табл.2.2).

2.2.3.В выбранном масштабе представить на двух шкалах сопротивлений рассчитанные поля допусков и номинальные значения сопротивлений.

2.2.4.Определить величины полных (эквивалентных) сопротивлений участков цепей составленных из двух последовательно $(R_3)_э$ и параллельно $(R_4)_э$ соединенных резисторов R_1 и R_2 .

2.2 Численные значения заданных величин к задаче 2.2 выбираются из табл.2.2 согласно заданному варианту.

2.3 Пример решения задачи варианта N

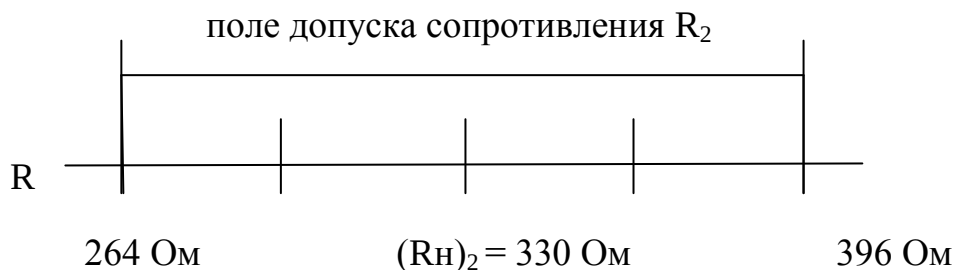
По заданному варианту из табл.2.2 выбираем соответствующие обозначения номинальных сопротивлений резисторов в R_1 и R_2 . Например, для варианта N3, для резистора R_1 номинальное сопротивление обозначено в виде 1 к 5. Следовательно, его величина будет $(R_n)_1 = 1,5$ кОм. Для резистора R_2 обозначение номинала приведено в виде к 33. Следовательно, его величина будет $(R_n)_2 = 0,33$ кОм. Рассчитаем поля допусков возможных значений сопротивлений для резисторов R_1 и R_2 .

Класс точности для резистора R_1 задан II-ой, что соответствует "разбросу" $\pm 10\%$. Поэтому поле допуска для значений сопротивлений определится как $\Delta R_2 = 0.2 (R_n) = 0.2 \times 0.33$ кОм = 66 Ом.

При графическом изображении поля допуска для резистора R_1 выберем масштаб по оси сопротивлений таким, чтобы данное поле ΔR_1 можно было расположить на рисунке. Например если выбранный отрезок соответствует 50 Ом, то поле допуска и номинальное значение резистора R_1 может быть изображено в виде поле допуска сопротивлений R_1



По аналогии выбираем масштаб сопротивлений для резистора R_2 и изображаем поле допуска на оси сопротивления



Рассчитать величины эквивалентных сопротивлений по приведенным формулам.

1) Для случая последовательно соединенных резисторов

$$(R_3)_э = (R_n)_1 + (R_n)_2 = 1.5 \text{ кОм} + 0.33 \text{ кОм} = 1.83 \text{ кОм}$$

2) Для случая двух параллельно соединенных резисторов

$$(R_4)_{\ominus} = \frac{1.5 \cdot 0.33}{1.5 + 0.33} = 0.271 \text{ кОм}$$

Таблица 2.2

NN	Значение			
Вар.	параметров			
	R	Кл.точнR	R	Кл.точнR
1	2	3	4	5
1	M12	I	K47	III
2	100E	III	1K2	II
3	1K5	II	K33	III
4	1K8	I	16K	I
5	82E	II	5K1	I
6	2K2	III	120E	II
7	18K	II	M33	III
8	1к2	I	150E	III
9	1M6	II	62K	I
10	470K	III	5K6	II
11	91K	I	M33	III
12	22K	III	1K6	I
13	180E	II	2K7	I
14	K66	I	3K3	III
15	110E	I	1к8	II

16	43κ	I	M56	II
17	5κ6	II	680E	III
18	220E	III	3κ9	I
19	6κ8	III	κ82	II
20	κ91	I	750E	I
21	39κ	II	1κ3	I
22	3κ6	I	68κ	III
23	180E	II	κ12	II
24	κ33	III	5κ1	I
25	κ75	I	82κ	II
26	2κ4	I	33κ	III
27	3κ9	II	22κ	III
28	82κ	I	4κ7	III

3. Определение номинальных значений конденсаторов постоянной емкости по маркировке

3.1 Общие сведения

На конденсаторах постоянной емкости указывается номинальная емкость $C_{ном}$. Конденсаторы постоянной емкости широкого применения выпускают с номинальными емкостями, совпадающие с постоянными резисторами, и значения которых указаны в табл.2.1

Номинальную емкость маркируют на конденсаторе полностью (может быть не обозначена единица "пФ") или же с использованием следующего кода (для миниатюрных конденсаторов).

1. Емкости менее 100пФ выражают в пикофарадах; для обозначения этой единицы измерения используют букву п.

2. Емкости от 100 до 9100 пФ выражают в долях нанофарад, а от 0,01 до 0,091 мкФ - в нанофарадах; для обозначения нанофарады применяют буквы н.

3. Емкости 0,1 мкФ и выше выражают в микрофарадах ; для обозначения этой единицы применяют букву М.

4. Если номинальная емкость выражается целым числом, то обозначение единицы ставят после этого числа . Например, емкость выражается целым числом, то обозначение единицы ставят после этого числа .Например, емкость 15пФ обозначают 15п, а емкость 0,015 мкФ = 15 нФ обозначают 15н.

5. Если номинальная емкость выражается десятичной дробью, меньшей единицы, то нуль целых и запятая маркировки исключается, а буквенное обозначение единицы измерения располагается перед числом. Например, емкость 150 пФ = 0,15 нФ обозначают 15Н.

6. Если номинальная емкость выражается целым числом с десятичной дробью, то целое число ставят впереди, а десятичную дробь после буквы, т.е. буква, обозначающая единицу измерения заменят запятой. Например, емкость 1,5 пФ обозначают 1П5, а емкость 1500 пФ = нФ обозначают 1н5.

Допускаемое отклонение от номинальной емкости соответствует определенным классам точности.

Таблица 3

Класс точности	001	002	005	00	0	I	II	III	IV	V	VIII
Допускаемые отклонения %	+0.1	+0.2	+0.5	+0.1	+2.0	+5	+10	+20	+30- -20	+50- -20	+100- -40

3.2. Задача. Определение величин емкостей конденсаторов и их соединений

3.2.1. По маркировке нанесенной на корпусах конденсаторов C_1 и C_2 определить величины номинальных значений емкостей $(C_n)_1$ и $(C_n)_2$

3.2.2. Рассчитать поля допусков возможных значений емкостей для каждого конденсатора при заданный классах точности (табл.).

3.2.3. В выбранном масштабе на двух шкалах емкостей представить рассчитанные поля допусков и номинальные значения емкостей.

3.2.4. Определить величины полных (эквивалентных) емкостей участков цепей составленных из двух последовательно $(C_3)_э$ и параллельно $(C_4)_э$ соединенных конденсаторов C_1 и C_2 .

Численные значения заданных величин к задаче №2 выбираются из табл. согласно варианту.

3.3 Пример решения задачи варианта

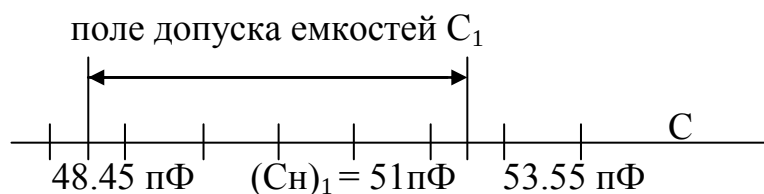
По заданному варианту из табл. выбираем соответствующие обозначения номинальных емкостей конденсаторов C_1 и C_2 . Например, для варианта №3 для конденсатора C_1 номинальная емкость обозначена в виде 51п (обозначение может быть в виде 51). Учитывая, что буква обозначает единицу измерения (в случае обозначения номинала емкостей : п - пФ; н - нФ; м - мкФ) а ее место в обозначении - положение запятой в номинальной емкости, приходим к выводу, что данный конденсатор обладает номинальной емкостью $(C_n)_1 = 51$ пФ. Для конденсатора C_2 обозначение приведено в виде 8н2. Следовательно, данный конденсатор обладает номинальной емкостью 8,2 нФ.

Рассчитаем поля допусков возможных значений емкостей для конденсаторов C_1 и C_2 . Класс точности для конденсатора C_1 задан I- ый, что соответствует "разбросу" емкостей в диапазоне +5% от номинала.

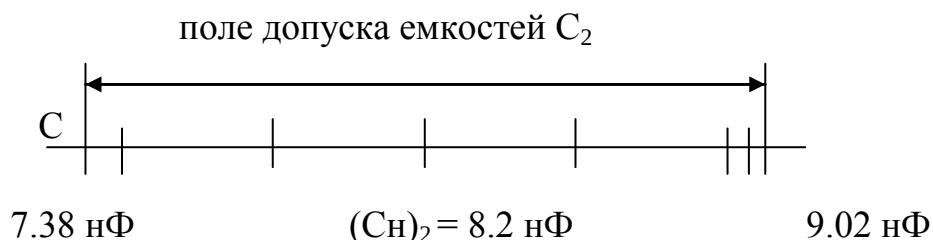
Поэтому, поле допуска для значений емкостей конденсатора C_1 определится как $\Delta C_1 = 0,05 (C_H)_1 = 0,05 \cdot 51 = 2,55$ пФ.

Для конденсатора C_2 задан II-ой класс точности, что соответствует "разбросу" емкостей в диапазоне +10% от номинала. Поле допуска в этом случае определится как $\Delta C_2 = 0,1 (C_H)_2 = 0,1 \cdot 8,2 = 0,82$ нФ.

При графическом изображении поля допуска емкости конденсатора C_1 выбираем масштаб по оси емкостей таким образом, чтобы величина ΔC_1 могла быть расположена на поле рисунка. Например, если данному отрезку соответствует 1 пФ, то поле допуска и номинальное значение емкости конденсатора C_1 может быть изображено на оси емкостей в виде



По аналогии выбираем масштаб по оси емкостей для случая изображения поля допуска и номинала конденсатора C_2



Рассчитаем величины эквивалентных емкостей по приведенным формулам. Вычисления производим в одних единицах измерения емкости.

1. Для случая параллельного соединения конденсаторов :

$$(C_4)_3 = (C_H)_1 + (C_H)_2 = 0.051 + 8.2 = 8.25 \text{ нФ}$$

2. Для случая последовательного соединения конденсаторов C_1 и C_2 :

$$(C_4)_3 = \frac{(C_H)_1(C_H)_2}{(C_H)_1 + (C_H)_2} = \frac{8.2 \cdot 0.051}{8.2 + 0.051} \approx 0.051 \text{ н}$$

Таблица 3.1

NN Вар.	Значение параметров			
	С	Кл.точн С	С	Кл.точнС
1	2	3	4	5
1	1н2	II	м22	III
2	н33	III	3н6	I
3	51п	I	8н2	II
4	м39	II	6н8	III
5	1н8	II	м43	I
6	22к	III	2н7	II
7	м36	I	47н	III
8	100п	III	1н2	II
9	1м8	I	16н	I
10	1н5	II	н33	III
11	82п	II	5н1	I
12	1н2	I	150п	III
13	2н2	III	120п	II
14	18н	II	м33	III
15	1н2	I	150п	III
16	1м8	II	62н	I
17	470н	III	5н6	II
18	91н	I	м33	III
19	22н	III	1н6	I
20	180п	II	2н7	I
21	н68	I	3н3	III
22	110п	I	1н8	II
23	43н	I	м56	II
24	5н6	II	680п	III
25	220п	III	3н9	I
26	6н8	III	н82	II
27	н91	I	750п	I
28	39н	II	1н3	I

4. Уровни передачи

4.1 Основные положения

В технике связи широко используются безразмерные логарифмические единицы - уровни передачи.

Различают абсолютные нулевые уровни, абсолютные, относительные и измерительные уровни передачи.

4.1.1. Абсолютные уровни - уровень в произвольной точке цепи отсчитанный относительно абсолютного нулевого уровня .

Абсолютные нулевые уровни установлены для активных мощностей $P_0 = 1$ мВт, для кажущихся мощностей - $S_0 = 1$ мВА. Абсолютные нулевые уровни по напряжению и току соответственно равны

$$U_0 = \sqrt{P_0 R_H}, I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{R_H}} \quad (4.1)$$

При $R_H = R_0 = 600$ Ом имеет

$$U_0 = 0.775 \text{ В и } I_0 = 1.29 \text{ мА}$$

4.1.2. Абсолютные уровни выражаются через абсолютные нулевые уровни следующим образом :

по напряжению

$$L_U = 20 \lg \left(\frac{U}{U_0} \right) \text{ дБ} \quad (4.2)$$

по току

$$L_I = 20 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ дБ} \quad (4.3)$$

по мощности

$$L_P = 10 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ дБ} \quad (4.4)$$

4.1.3. Относительные уровни напряжения, тока и мощности определяются логарифмами отношений

$$L_{U12} = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right); L_{I12} = 20 \lg \left(\frac{I_1}{I_2} \right); L_{P12} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right); \quad (4.5)$$

где U_1, I_1, P_1 - напряжение, ток и мощности в заданной точки цепи 1;
 U_2, I_2, P_2 - напряжение, ток и мощность в точке 2, принятые за исходные .

Относительный уровень можно определить через абсолютные

$$L_{U12} = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_1 U_0}{U_2 U_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_0} \right) - 20 \lg \left(\frac{U_2}{U_0} \right) = L_{U1} - L_{U2} \quad (4.6)$$

4.1.4. Измерительный уровень определяется как абсолютный уровень в измеряемой точке цепи, если на ее вход подан абсолютный нулевой уровень по определенному параметру.

4.2. Задачи

4.2.1 Определить абсолютные уровни сигнала по напряжению L_U , току L_I и мощности L_P на выходе четырехполюсника, нагруженного на активное сопротивление R_n (табл.4.1). значение напряжения на нагрузке четырехполюсника равно U_n (табл.4.2).

Таблица 4.1

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_n Ом	150	1300	480	600	750	540	1000	360	820	2200

Таблица 4.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_n В	1.8	2.6	0.9	1.4	2.1	3.6	1.6	1.3	2.0	2.4

Решение задачи излагается подробно, с соответствующими пояснениями. Исходные данные и результаты решения свести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

№ варианта	R_n Ом	U_n В	L_U дБ	L_I дБ	L_P дБ
M,L	200	1.5	10.5	10.5	10.5

4.2.2 Определить абсолютный уровень по уровню напряжению L_U , если величина напряжения в заданной точке U_H , а сопротивление нагрузки R_H . Исходные данные для решения приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_H (Ом)	00	200	50	00	00	10	800	000	80	500
L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_H (В)	1.2	2.5	3.2	0.8	2.1	1.9	3.5	2.8	0.6	2.3

4.2.3 Определить величину мощности сигнала P если абсолютный уровень мощности в заданной точке L_P . Исходные данные для решения приведены в таблице 4.5

Таблица 4.5

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_P (дБ)	-3	6	-10	-6	3	0	8	-12	-8	12

4.2.4 Определить абсолютные уровни сигнала по напряжению L_U , току L_I и мощности L_P на выходе четырехполюсника, нагруженного на активное сопротивление R_H .

Напряжение на нагрузке U_H . Исходные данные для решения приведены в таблице 4.6., в таблице 4.7

Таблица 4.6

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_H (Ом)	150	190	250	600	750	540	680	350	1000	300

Таблица 4.7

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_H (В) Вар. I	1.8	2.6	0.9	1.4	3.5	2.1	1.6	1.3	3.1	0.8
U_H (В) Вар. II	3.2	1.0	2.2	1.8	0.7	1.2	2.8	3.4	1.5	2.5

4.2.5 Определить мощность P_2 и абсолютный уровень мощности L_{P2} сигнала в точке 2 тракта передачи, если в точке 1 величина мощности P_1 , а

относительный уровень мощности в точке 2 относительно точки 1 $L_{P1,2}$. Исходные данные для решения приведены в таблице 4.8 и таблице 4.9

Таблица 4.8

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_1(\text{Вт})$	0.5×10^{-4}	5×10^{-6}	0.1×10^{-6}	2×10^{-4}	5×10^{-4}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	7×10^{-3}	3×10^{-5}	0.8×10^{-3}

Таблица 4.9

L		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_{P1,2}$ (дБ)	Вар. I	3	-10	-6	-5	6	8	10	2	-9	8
	Вар. II	-3	6	3	2	-3	-6	6	-7	3	7
	Вар. III	10	-6	5	-3	2	3	-4	5	4	-3

Результаты решения свести в таблицу 4.10

Таблица 4.10

M, L	P_1 (Вт)	L_{P1} (дБ)	L_{P2} (дБ)	P_2 (Вт)
Вар. I				
Вар. II				
Вар. III				

4.2.6 Определить напряжение U_2 и абсолютный уровень напряжения L_{U2} в точке 2 тракта передачи, если абсолютный уровень напряжения в точке 1 L_{U1} , а относительный уровень напряжения в точке 2 по отношению к точке 1 $L_{U1,2}$. При этом величины сопротивлений нагрузки составляют: в точке 1 – R_{H1} , в точке 2 – R_{H2} . Исходные данные для решения приведены в таблице 4.11, таблице 4.12

Таблица 4.11

M		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_{U1} (дБ)		5	-7	6	9	-3	8	-5	2	7	-9
$L_{U1,2}$ (дБ)	Вар. I	3	-3	-5	-12	5	4	8	-6	-4	12
	Вар. II	-8	5	9	3	-1	-7	-2	8	6	-3

Таблица 4.12

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R _{H1} (Ом)	120	430	740	160	320	820	270	1100	510	910
R _{H2} (Ом)	780	680	220	820	110	240	560	75	330	180

Результаты решения свести в табл. 4.13

Таблица 4.13

M,L	L _{U1} (дБ)	U ₁ (В)	U ₂ (В)	L _{U2} (дБ)
Вар. I				
Вар. II				

$$L_{P1,2} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg \frac{P_2 P_0}{P_0 P_1} = L_{P2} - L_{P1}$$

$$L_{U1,2} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

$$L_{U1} = 20 \lg \frac{U_1}{U_0}$$

4.3. Примеры решения задачи M,L

Пример решения задачи 4.2.1

4.3.1 В соответствии с вариантом M,L известны R_H = 200 Ом, U_H = 1.5 В.

Так как R_H ≠ 600 Ом необходимо определить абсолютные нулевые уровни по току

$$I_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{200}} = 2.24 \text{ мА}$$

по напряжению $U_0 = \sqrt{P_0 R_H} = \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \cdot 200} = 0.447 \text{ В}$

Тогда абсолютный уровень по напряжению будет равен

$$L_U = 20 \lg \left(\frac{U_H}{U_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{1.5}{0.447} \right) = 10.5 \text{ дБ}$$

по току $L_I = 20 \lg \left(\frac{I_H}{I_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_H}{I_0 R_H} \right) = 10.5 \text{ дБ}$

по мощности $L_P = 10 \lg \left(\frac{P_H}{P_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{U_H^2}{P_0 R_H} \right) = 10.5 \text{ дБ}$

Все уровни получились одинаковыми т.к. их можно представить в виде

$$L_U = L_I = L_P = 20 \lg \frac{U_H}{\sqrt{P_0 R_H}}$$

Исходные данные и результаты решения сведены в таблицу 4.3

№ варианта	R _н Ом	U _н В	L _U дБ	L _I дБ	L _P дБ
М, L	200	1.5	10.5	10.5	10.5

Пример решения задачи 4.2.2

4.3.2 В соответствии с вариантом известны : напряжение в заданной точке системы передачи U_н = 1.5 В и сопротивление нагрузки R_н = 110 Ом.

Решение:

1. Так как R_н ≠ 600 Ом необходимо определить абсолютный нулевой уровень по напряжению $U_0 = \sqrt{P_0 \cdot R_H} = \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \cdot 110} = 0.332 \text{ В}$.

2. Абсолютный уровень по напряжению будет равен

$$L_U = 20 \lg \left(\frac{U_H}{U_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{1.5}{0.332} \right) = 0.655 \text{ дБ}$$

Ответ $L_U = 0.655 \text{ дБ}$

Пример решения задачи 4.2.3

4.3.3 В соответствии с вариантом известен абсолютный уровень мощности $L_P = -5 \text{ дБ}$.

Решение:

Абсолютный уровень мощности по определению равен $L_P = 10 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right)$;

Где: P₀ - абсолютный нулевой уровень мощности P₀ = 1 · 10⁻³ Вт.

Тогда $\frac{P}{P_0} = 10^{\frac{L_P}{10}} = P_0 \cdot 10^{\frac{L_P}{10}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{10}} \approx 0.32 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$

Ответ P = 0.32 мВт = 0.32 · 10⁻³ Вт

Пример решения задачи 4.2.4

4.3.4 В соответствии с номером зачетной книжки М, L известно сопротивление нагрузки $R_H = 270 \text{ Ом}$ и напряжение на нагрузке : для варианта I $U_{H1} = 0.7 \text{ В}$; для варианта II

$$U_{H2} = 3.1 \text{ В}.$$

Решение:

1. Так как сопротивление $R_H \neq 600 \text{ Ом}$ необходимо определить абсолютный нулевой уровень по напряжению и току

$$U_0 = \sqrt{P_0 \cdot R_H} = \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \cdot 270} = 0.52 \text{ В}$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{R_H}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{270}} = 1.92 \text{ мА} = 1.92 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

2. Тогда, абсолютные уровни по напряжению, току и мощности определяется : для варианта I

$$(L_U)_I = 20 \lg \frac{U_{H1}}{U_0} = 20 \lg \frac{0.7}{0.52} = 2.58 \text{ дБ}$$

$$(L_I)_I = 20 \lg \frac{U_{H1}}{R_H I_0} = 20 \lg \frac{0.7}{270 \cdot 1.92 \cdot 10^{-3}} = 2.58 \text{ дБ}$$

$$(L_P)_I = 10 \lg \frac{U_{H1}}{R_H P_0} = 10 \lg \frac{P_H}{P_0} = 10 \lg \frac{0.7}{270 \cdot 10^{-3}} = 2.58 \text{ дБ}$$

для варианта II

$$(L_U)_{II} = 20 \lg \frac{U_{H2}}{U_0} = 20 \lg \frac{3.1}{0.52} = 15.52 \text{ дБ}$$

$$(L_I)_{II} = 20 \lg \frac{U_{H2}}{R_H I_0} = 20 \lg \frac{3.1}{270 \cdot 1.92 \cdot 10^{-3}} = 15.52 \text{ дБ}$$

$$(L_P)_{II} = 10 \lg \frac{U_{H2}}{R_H P_0} = 10 \lg \frac{U_{H2}^2}{P_0} = 10 \lg \frac{3.1^2}{270 \cdot 10^{-3}} = 15.52 \text{ дБ}$$

Исходные данные и результаты решения сведем в таблицу 4.14

Таблица 4.14

Вариант М, L	R_H Ом	U_H В	L_U дБ	L_I дБ	L_P дБ
Вар I	270	0.7	2.58	2.58	2.58
Вар II	270	3.1	15.52	15.52	15.52

Пример решения задачи 4.2.5

4.3.5 В соответствии с номером зачетной книжки (М, L) мощность сигнала в точке 1 тракта передачи $P_1 = 0.9 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}$, а относительный уровень мощности в точке 2 относительно точки 1 составляют : для

варианта I $(L_{P1,2})_I = -8 \text{ дБ}$; для варианта II $(L_{P1,2})_{II} = 4 \text{ дБ}$; для варианта III $(L_{P1,2})_{III} = -2 \text{ дБ}$.

Решение варианта I

1-ый способ решения

1) Абсолютный уровень мощности в точке 1

$$L_{P1} = 10 \lg \frac{P_1}{P_0} = 10 \lg \frac{0.9 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-3}} = -10.46 \text{ дБ}$$

2) Относительный уровень по определению

$$L_{P1,2} = L_{P2} - L_{P1}; \text{ Отсюда } L_{P2} = L_{P1,2} + L_{P1} = -8 - 10.46 = -18.46 \text{ дБ}$$

3) Абсолютный уровень мощности в точке 2

$$L_{P2} = 10 \lg \frac{P_2}{P_0}; \text{ Тогда } P_2 = (10^{\frac{L_{P2}}{10}}) \cdot P_0 = 10^{-1.846} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 14.26 \cdot 10^{-6} = 14.26 \text{ мкВт.}$$

2-ой способ решения

1) Относительный уровень по определению

$$L_{P1,2} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}; \text{ По условию } -8 = L_{P1,2} = 10 \lg \frac{P_2}{0.9 \cdot 10^{-4}}$$

$$\text{Тогда } \frac{P_2}{0.9 \cdot 10^{-4}} = 10^{-0.8} P_2 = \left(\frac{0.9 \cdot 10^{-4}}{10^{0.8}} \right) = 14.26 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} = 14.26 \text{ мкВт.}$$

2) Абсолютный уровень мощности в точке 2

$$L_{P2} = 10 \lg \frac{P_2}{P_0} = 10 \lg \frac{14.26 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-3}} = -18.46 \text{ дБ}$$

Выбор способа решения студент производит самостоятельно.

Исходные данные и результаты решения сведем в таблицу 4.15

Таблица 4.15

Вариант М, L	P_1 Вт	L_{P1} дБ	L_{P2} дБ	P_2 Вт
Вар I	$0.9 \cdot 10^{-4}$	-10.46	-18.46	$14.26 \cdot 10^{-6}$
Вар II	$0.9 \cdot 10^{-4}$			
Вар III	$0.9 \cdot 10^{-4}$			

Пример решения задачи 4.2.6

4.3.6В соответствии с номером зачетной книжки (М, L) абсолютный уровень напряжения в точке 1 $L_{U1} = 1.0 \text{ дБ}$, а относительный уровень напряжения в точке 2 по отношению к точке 1 составляет: для варианта I $(L_{U1,2})_I = 6 \text{ дБ}$, для варианта II $(L_{U1,2})_{II} = -5 \text{ дБ}$. При этом, величины

сопротивлений нагрузки составляют: в точке 1 $R_{H1} = 330 \text{ Ом}$, в точке 2 $R_{H2} = 860 \text{ Ом}$

Решение варианта I

По определению $L_{U1} = 20 \lg \frac{U_1}{U_{01}}$,

где U_{01} – абсолютный нулевой уровень напряжения в точке 1 $U_{01} = \sqrt{R_{H1} \cdot P_0}$

Тогда $U_1 = 10^{0.05} \cdot \sqrt{P_0 R_{H1}} = 10^{0.05} \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \cdot 330} = 0.645 \text{ В}$.

По определению $L_{U1,2} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$, Отсюда $U_2 = (10^{\frac{L_{U1,2}}{20}}) \cdot U_1 = 10^{\frac{6}{20}} \cdot 0.645 = 1.287 \text{ В}$.

Можно показать, что $L_{U1,2} = L_{U2} - L_{U1} + 20 \lg \left(\frac{R_{H2}}{R_{H1}} \right)^{\frac{1}{2}} = 6 + 1 - 20 \lg \sqrt{\frac{860}{330}} = 2.84 \text{ дБ}$

Исходные данные и результаты решения сведем в таблице 4.16

Таблица 4.16

Вариант М, L	L_{U1} дБ	U_1 Вт	U_2 Вт	L_{U2} дБ
Вар I	1.0	0.654	1.287	2.84
Вар II	1.0			

5. Обработка результатов прямых однократных измерений

5.1. Основные положения

Метрологическая оценка результата измерений сводится к получению результата измерения с учетом погрешности.

Погрешность результата прямого однократного измерения зависит от многих факторов, но в основном определяется погрешностью используемых средств измерений (СИ). В первом приближении погрешность результата прямого однократного

измерения можно принять равной погрешности, которой характеризуется используемое средство измерений в данной точке X .

Процедура простейшей метрологической оценки погрешности результата измерений по паспортным данным используемых СИ основывается на системе государственных стандартов, обеспечивающих единство измерений, в частности, ГОСТ 8.401 -80 ГСИ "Классы точности средств измерений".

Абсолютную погрешность средств измерений ΔX определяют разностью между показанием средства измерений X и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины X_0 и выражают в единицах измеряемой величины

$$\Delta X = X - X_0 \quad (5.1)$$

Для рабочего средства измерений за действительное значение физической величины принимают показания образцового средства измерений, для образцового СИ – значение физической величины, полученное с помощью эталона. Абсолютная погрешность не может служить самостоятельно показателем точности измерений, поэтому для характеристики точности результатов измерения введено понятие относительной погрешности

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

где X_0 - действительное значение измеряемой величины (в первом приближении - показание прибора)

Относительная погрешность в формуле (5.2) не всегда удобна для нормирования погрешности многопредельных СИ, поэтому специально для указания и нормирования погрешности СИ введена приведённая

погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

где X_N - нормирующее значение измеряемой величины. В общем случае, для шкал, градуированных в единицах измеряемой величины, $X_N = X_{max} - X_{min}$, где X_{max} и X_{min} — максимальное и минимальное значения шкалы СИ соответственно.

Для аналоговых приборов с нулем в левой части шкалы X_N — предел шкалы СИ. Если шкала СИ имеет резко нелинейный характер (резко сужающиеся деления), то X_{max} и X_{min} измеряются в единицах измерения длины шкалы, т.е. в см, мм или в условных единицах.

Приведенная погрешность удобна тем, что для многих многопредельных СИ она имеет постоянное значение, как для всех точек каждого поддиапазона, так и для всех его поддиапазонов.

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,

$$\Delta = \pm a; \quad (5.4)$$

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

$$\Delta = \pm (a + bx); \quad (5.5)$$

— в виде уравнения

$$\Delta = f(x) \quad (5.6)$$

При сложной зависимости (5.6.) допускается представлять погрешность в виде графика и таблицы. Пределы допускаемой относительной погрешности для случая (5.4.) в процентах выражают формулой

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% = \pm \frac{a}{X} \cdot 100\% = \pm q \quad (5.7)$$

для случая (5.5) – формулой

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \quad (5.8)$$

где X_k - предел измерений;

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

$d = a / X_k$ - имеет смысл приведенной погрешности в начале диапазона измерений (при $X = 0$), причем $c > d$. Предел допускаемой приведенной погрешности в процентах выражается формулой

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\% = \pm p$$

где p - отвлеченное положительное число.

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

С использованием чисел указанного ряда разработаны следующие условные обозначения классов точности СИ, наносимые на них.

1. Класс точности указывают просто одним из чисел приведенного выше предпочтительного ряда (например, 1,5). Это используют для СИ, у которых предел допускаемой приведенной погрешности постоянен (присутствует только аддитивная погрешность), как в (5.4), X_N в (5.3) 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 указывают числом из приведенного выше ряда, под которым ставится треугольная скобка, например $\triangle^{1,5}$. Такое обозначение применяют для приборов с резко не равномерной 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. 1,5

3. Число, обозначающее класс точности, обводят кружком, например, 1,5. Такое обозначение применяют для СИ, у которых предел допускаемой относительной погрешности постоянен во всем диапазоне измерений (имеется только мультипликативная погрешность, d в (5.5) равна нулю) и его определяют по (5.7). 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 (5.8). Таким способом указывают классы точности цифровых вольтметров, высокоточных потенциометров постоянного тока и других высокоточных приборов.

При оценивании результата измерений вычисляются:

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

Процедура метрологической оценки прямого однократного измерения по паспортным данным используемого СИ приведена на рис 5.1.

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 оканчивается 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.

Метрологическая оценка результата прямого однократного измерения по
паспортным данным используемого СИ ГОСТ 8.401-80 ГСИ
«Классы точности средств измерения»

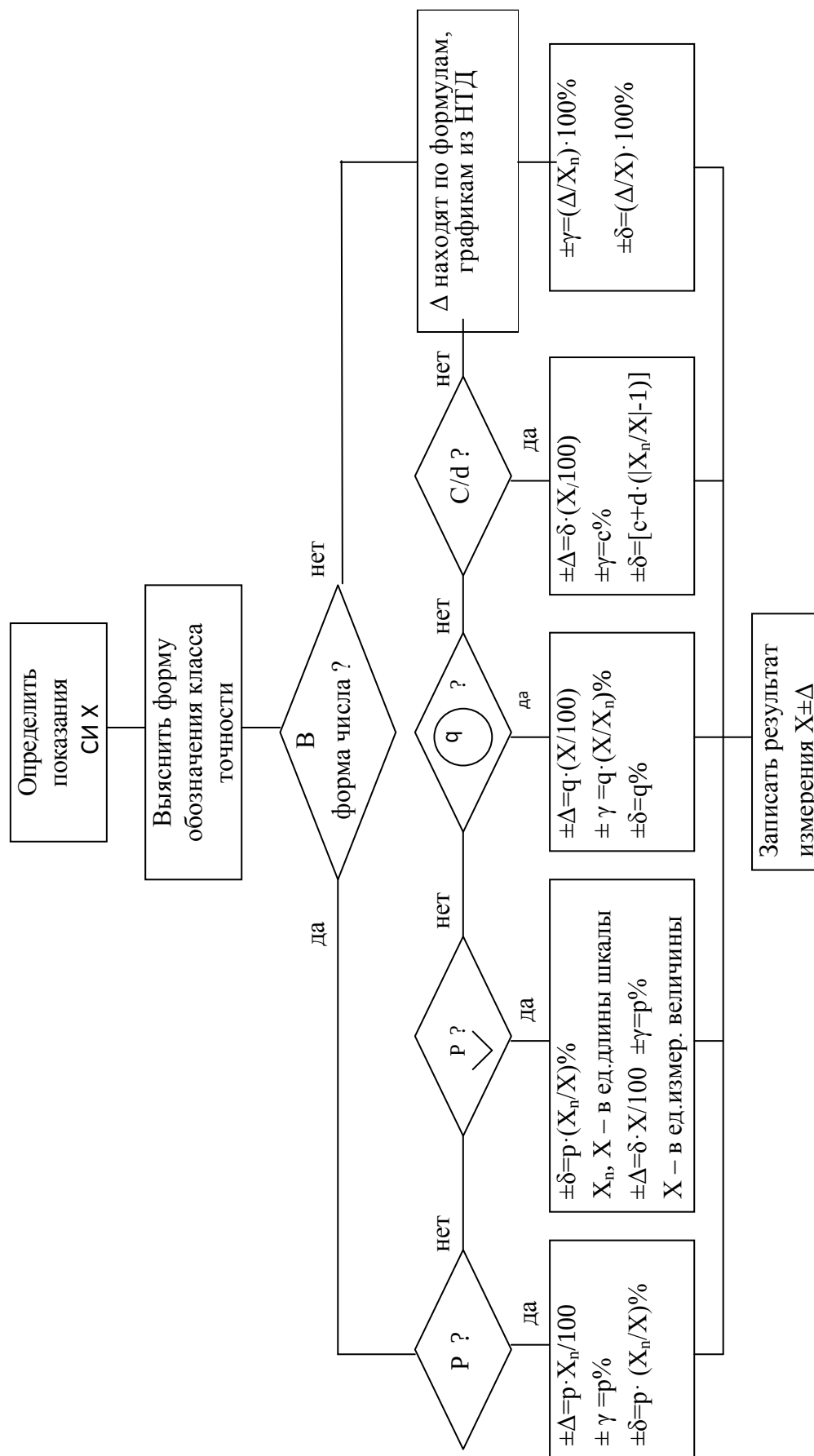


Рис. 5.1

5.2. Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 5 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где М- предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 5 необходимо решить три задачи:

5.2.1 - две задачи в соответствии с таблицами вариантов 5.1, 5.2, тексты задач приведены в таблице 5.3.

Примеры решения задач даны в разделе 5.3.

5.2.2 – одну задачу, приведенную в разделе 5.2.2.

5.2.1 Таблицы вариантов первых двух задач

Таблица 5.1

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	5.7	5.5	5.10	5.6	5.2	5.9	5.3	5.4	5.1	5.8

Таблица 5.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	5.12	5.14	5.19	5.17	5.15	5.11	5.18	5.16	5.20	5.13

Таблица 5.3

Задача	Исходные данные
5.1. Определить приведённую погрешность и класс точности аналогового вольтметра с пределом 30В.	Максимальная абсолютная погрешность равна 1.08 В.
5.2. Определить максимальные абсолютную и приведённую погрешности и класс точности аналогового вольтметра с пределом 3В.	Показания образцового вольтметра 1.0; 2.0; 3.0, поверяемого соответственно 0.95; 2.063; 3.03;
5.3. Определить абсолютную, относительную погрешности и класс точности аналогового вольтметра на пределе 10В.	Показания образцового вольтметра $U_0=7.5$ В, поверяемого вольтметра $U_X=7.65$ В.

5.4. Определить максимальную абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра с пределом 10В.	Класс точности 1.5, отсчет напряжения 5В.
5.5. Определить абсолютную, относительную и приведённую погрешность аналогового вольтметра на пределе 30В.	Показания образцового вольтметра $U_0=25\text{В}$, поверяемого вольтметра $U_X=25.60\text{В}$.
5.6. Определить максимальную абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра на пределе 10В.	Класс точности 2.5, отсчет напряжения 7.5 В.
5.7. Определить приведённую погрешность и класс точности аналогового вольтметра с пределом 10В.	Максимальная абсолютная погрешность равна 0.35В.
5.8. Определить абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра с пределом 30В.	Показания образцового вольтметра $U_0=28\text{В}$, поверяемого вольтметра $U_X=28.9\text{В}$.
5.9. Определить максимальную абсолютную погрешность и класс точности аналогового вольтметра на пределе 3В.	Показания образцового вольтметра 1,0; 2,0; 3,0; поверяемого вольтметра 0,993; 2,06; 3,069.
5.10. Определить абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра с пределом 10 В.	Показания образцового вольтметра $U_0=5\text{ В}$, поверяемого вольтметра $U_X=5.15\text{ В}$.
5.11. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока	Отсчет на пределе «100В» равен 53.86В.

цифровым вольтметром с классом точности 0.1/0.05.	
5.12. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения активного сопротивления цифровым омметром с классом точности 0.2/0.05.	Отсчет на пределе «1000кΩ» равен 573 кОм
5.13. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0.03/0.01.	Отсчет на пределе «1000V» равен 346.4В.
5.14. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока цифровым вольтметром с классом точности 0.3/0.1.	Отсчет на пределе «100V» равен 83.74 В
5.15. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения активного сопротивления цифровым вольтметром с классом точности 0.4/0.1.	Отсчет на пределе «1кΩ» равен 0.784кОм.
5.16. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0.05/0.02.	Отсчет на пределе «1V» равен 0.375 В.
5.17. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения	Отсчет на пределе «100V» равен 72.8 В.

постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0.15/0.03.	
5.18. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения активного сопротивления цифровым вольтметром с классом точности 0.15/0.05.	Отсчет на пределе «1кΩ» равен 0.968 кОм.
5.19. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока цифровым вольтметром с классом точности 0.2/0.1.	Отсчет на пределе «100V» равен 65.78 В.
5.20. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока цифровым вольтметром с классом точности 0.2/0.04.	Отсчет на пределе «1000V» равен 724.8 В.

5.2.2 Задача

Для трех приборов:

- аналогового вольтметра, данные которого даны в таблице 5.4;
- цифрового вольтметра (таблица 5.4);
- третьего прибора, выбираемого по таблице 5.5, определить пределы допустимой абсолютной, относительной приведенной погрешностей и сделать запись результатов измерений. Решение задачи излагается подробно, с соответствующими пояснениями. Исходные данные и результаты решения свести в таблицу 5.6.

Таблица 5.4

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Класс точности	Класс точности	Класс точности	Класс точности	Класс точности	Класс точности	Класс точности	Класс точности	Класс точности	Класс точности
Аналоговый вольтметр										
Диапазон измерений	0-100 мВ	0-250 В	0-1 В	0-30 В	0-100 мВ	0-3 В	0-100 мВ	0-300 мВ	0-10 В	0-1 В
Показание	48.3 мВ	220 В	0.87 В	27.5 В	67.2 мВ	1.69 В	65.8 мВ	275.8 мВ	7.36 В	0.84 В
Цифровой вольтметр										
Класс точности	0.2/0.1	0.5/0.2	0.1/0.05	0.01/0.002	0.2/0.1	0.05/0.02	0.1/0.01	0.06/0.02	0.5/0.2	0.15/0.05
Диапазон измерений	0-2.9 В	0-100 мВ	0-10 В	0-10 В	0-100 мВ	0-10 В	0-1 В	0-1 В	0-10 В	0-350 В
Показание	1.85 В	57.8 В	7.93 В	8.34 В	87.35 мВ	7.3 В	0.67 В	617 мВ	7.93 В	327 В

Таблица 5.5

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наименование прибора	Ом-метр	Мост	Ом-метр	Мост	Ом-метр	Мульти-метр	Ом-метр	Магазин	Ом-метр	Потенциометр
Класс точности	1,5	0,05	2,5	5,0	1,0	1,0	0,5	0,01	4,0	0,02
Диапазон измерения (длина шкалы)	70 мм	-2 8 10÷10 Ом	100 мм	5 6 10÷10 Ом	20 см	4 5 10÷10 Ом	20 см	0,01÷100 Ом	50 дел.	0÷1,2 В
Отсчёт	5 мм	—	79 мм	—	89 мм	—	16 см	—	34 дел.	—
Показание	3 Ом	4,6 кОм	505 Ом	680 кОм	110 Ом	25 кОм	530 кОм	67,4 Ом	2 кОм	0,8764 В

Таблица 5.6
Исходные данные и результаты решения варианта М, L

Наименование прибора	Класс точности	Диапазон измерений (длина шкалы)	Отсчёт	Показание	Пределы допускаемой погрешности			Результат измерения
					абсолютной	относительной	приведённой	
Аналоговый вольтметр								
Цифровой вольтметр								

5.3 Примеры решения задач

Задача 1

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

Решение

Для аналогового вольтметра с классом точности $p = 1,5$ максимальная абсолютная погрешность равна (рис. 5.1):

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

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:

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

В соответствии с правилами округления результат измерения имеет вид

$$0,870 \pm 0,015 \text{ В}$$

Задача 2

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.5.1):

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

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:

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

В соответствии с правилами округления результат измерения имеет вид

$$7,930 \pm 0,009 \text{ В}$$

6. Обработка результатов прямых многократных равноточных измерений

6.1 Основные положения

При однократных измерениях оценку погрешности производят на основе класса точности используемых средств измерений (раздел 5).

Получаемый при этом предел допускаемой погрешности СИ неполно характеризует качество измерений, т. е. остается неизвестным закон распределения вероятностей погрешностей и не ясно, какая из составляющих систематическая Δ_c или случайная Δ доминируют в сумме

$$\Delta = \Delta_c + \overset{\circ}{\Delta} \quad (6.1)$$

Для того, чтобы оценить случайную погрешность и определить более точно усредненный результат измерения проводят многократные наблюдения и статистическую обработку их.

Структура погрешности в каждой точке шкалы СИ полностью характеризуется плотностью распределения вероятностей. Определение оценки плотности распределения вероятностей (гистограммы) требует проведения нескольких сотен измерений

В практике электроизмерений чаще всего имеют дело с нормальным распределением.

Результаты наблюдений, являющихся случайными величинами X , распределены по нормальному закону (закону Гаусса), если их плотность вероятностей имеет вид

X - математическое ожидание.

Для решения многих задач не требуется знания функции и плотности распределения вероятностей, а вполне достаточными характеристиками случайных погрешностей служат их простейшие числовые характеристики: математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение. Числовые вероятностные характеристики погрешностей, представляющие собой неслучайные величины, теоретически определяются при конечном числе опытов.

$$f(x) = (\sigma \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \cdot \left[\exp - \left(\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right) \right] \quad (6.2)$$

Где σ - дисперсия;

Практически число опытов всегда ограничено, поэтому реально пользуются числовыми характеристиками, которые принимают за искомые вероятностные характеристики и называют оценками характеристик. Определение оценок числовых характеристик может быть выполнено по значительно меньшему числу наблюдений N порядка 10-20).

Пусть при измерении величины A , N раз получен ряд значений $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$. Если число измерений N достаточно велико, то за истинное значение измеряемой величины принимают наиболее достоверное значение - среднее арифметическое (действительное)

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad (6.3)$$

Зная среднее арифметическое значение, можно определить отклонение результата единичного измерения от среднего значения

$$\Delta i = \bar{X}_i - \bar{X} \quad (6.4)$$

Это отклонение может быть вычислено для каждого измерения. Следует помнить, что сумма отклонения результата измерений от среднего значения равна нулю, а сумма их квадратов минимальна. Эти свойства используются при обработке результатов измерений для контроля правильности вычислений.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) погрешности однократного измерения σ равно

$$\sigma \cong S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (6.5)$$

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

$$\sigma_{\bar{x}} \cong S_{\bar{x}} = \pm \frac{S}{\sqrt{N}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \quad (6.6)$$

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

При оценке результатов измерений пользуются понятием предельно допустимой (максимальной) погрешности ряда измерений

$$\Delta_{\text{макс}} = 3 \sigma \quad (6.7)$$

Рассмотренные оценки результатов измерений, выражаемые одним числом, называют точечными оценками. 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

$$P\{(\bar{X} - \Delta) < A < (\bar{X} + \Delta)\} = \alpha \quad (6.8)$$

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

$$\Delta = \pm t_{\alpha}(N) \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (6.9)$$

где $t_{\alpha}(N)$ - табулированный коэффициент распределения Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности α и числа измерений N (таблица 6.1).

Результат измерения записывается в виде

$$\bar{X} \pm \Delta; \alpha \quad (6.10)$$

При расчетах необходимо пользоваться правилами округления, изложенными в разделе 5.

Таблица 6.1 Коэффициенты Стьюдента t_{α} для заданных значений α , N

α N	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
5	2,132	2,227	2,333	2,456	2,601	2,776	2,999	3,298	3,747	4,604
6	2,015	2,008	2,191	2,298	2,422	2,571	2,757	3,003	3,365	4,032
7	1,943	2,019	2,105	2,202	2,314	2,447	2,613	2,829	3,163	3,707
8	1,895	1,967	2,047	2,137	2,241	2,365	2,517	2,715	2,998	3,499
9	1,860	1,938	2,005	2,091	2,190	2,306	2,449	2,634	2,896	3,355
10	1,833	1,900	1,973	2,056	2,151	2,262	2,399	2,574	2,821	3,250
11	1,812	1,877	1,949	2,029	2,121	2,228	2,260	2,528	2,764	3,169
12	1,796	1,859	1,929	2,007	2,097	2,201	2,329	2,491	2,718	3,106
13	1,782	1,845	1,913	1,989	2,077	2,179	2,303	2,461	2,681	3,055
14	1,771	1,832	1,899	1,974	2,061	2,160	2,282	2,436	2,650	3,012
15	1,761	1,822	1,888	1,962	2,047	2,145	2,264	2,415	2,624	2,477
16	1,753	1,813	1,878	1,951	2,034	2,131	2,249	2,398	2,602	2,947

6.2 Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 6 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где М- предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 6 необходимо решить **две** задачи:

6.2.1 – первую задачу в соответствии с таблицей вариантов 6.2, тексты задач приведены в таблице 6.3.

Примеры решения задач даны в разделе 6.3.

6.2.2 –вторую задачу, приведенную в разделе 6.2.2.

6.2.1 Таблицы вариантов первой задачи

Таблица 6.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	6.2	6.4	6.9	6.7	6.5	6.1	6.8	6.6	6.10	6.3

Таблица 6.3

Задача	Исходные данные
6.1. Определить доверительный интервал и записать результат измерения напряжения 37,186 В при СКО погрешности однократного измерения 0,249 В	Число измерений равно 8, доверительная вероятность 0,95.
6.2. Определить доверительный интервал и записать результат измерения мощности 87,35 Вт при СКО погрешности однократного измерения 0,164 Вт	Число измерений равно 7, доверительная вероятность 0,92
6.3. Определить доверительный интервал и записать результат измерения тока 61,93 мА при СКО погрешности однократного измерения 0,37 мА	Число измерений равно 9, доверительная вероятность 0,98
6.4. Определить доверительный интервал и записать результат измерения сопротивления 0,836 Ом при СКО погрешности однократного измерения 0,0142 Ом	Число измерений равно 6, доверительная вероятность 0,93
6.5. Определить границы результата измерения напряжения 43,62 мВ при СКО погрешности однократного измерения 0,579 мВ	Число измерений равно 8, доверительная вероятность 0,99
6.6. Определить границы результата измерения сопротивления 27,48 МОм при СКО погрешности однократного измерения 0,79 мВ	Число измерений равно 11, доверительная вероятность 0,91

6.7. Определить доверительный интервал и записать результат измерения напряжения 74,526 В при СКО погрешности однократного измерения 0,237 В	Число измерений равно 7, доверительная вероятность 0,98.
6.8. Определить доверительный интервал и записать результат измерения мощности 47,38 Вт при СКО погрешности однократного измерения 0,156 Вт	Число измерений равно 8, доверительная вероятность 0,95
6.9. Определить доверительный интервал и записать результат измерения сопротивления 0,714 Ом при СКО погрешности однократного измерения 0,0263 Ом	Число измерений равно 9, доверительная вероятность 0,96
6.10. Определить доверительный интервал и записать результат измерения тока 57,28 мА при СКО погрешности однократного измерения 0,46 мА	Число измерений равно 6, доверительная вероятность 0,97

6.2.2 Задача

В одинаковых условиях производятся прямые измерения коэффициента усиления K на фиксированной частоте партии из N усилителей. Считая, что случайные погрешности имеют нормальный закон распределения, определить на основании заданного количества измерений (табл.6.4 и 6.6):

- 1)наиболее достоверное (среднее арифметическое) значение K ;
- 2)среднее квадратическое отклонение погрешности однократного измерения;
- 3)среднее квадратическое отклонение погрешности результата измерения;
- 4)максимальную погрешность;
- 5)доверительный интервал результата измерения при заданной доверительной вероятности α (табл. 6.5);
- 6) записать результат измерения (с учетом округления) в стандартной форме.

Решение задачи излагается подробно с соответствующими пояснениями.

Исходные данные и результаты решения свести в таблицу 6.8.

Таблица 6.4 Исходные данные и результаты решения варианта М L

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	4- 15	2- 14	9- 20	4- 14	3- 16	1- 14	10- 20	7- 18	8- 20	6- 17

Таблица 6.5 Исходные данные и результаты решения варианта М L

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α	0.9 5	0.9 9	0.9 0	0.9 5	0.9 8	0.9 2	0.94	0.9 7	0.9 3	0.9 1

Таблица 6.6

N _{изм}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K _i	28. 11	27. 86	27. 71	27. 93	27. 51	27. 62	27. 66	26. 99	27. 42	27. 65
N _{изм}	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
K _i	27. 78	27. 95	27. 47	27. 47	27. 08	27. 60	27. 35	27. 28	27. 18	27. 46

Таблица 6.8

Число измерений N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NN										
Наблюдений i										
K_i										
$\bar{K}$										
σ										
$\sigma_{\bar{E}}$										
$\Delta_{\max}$										
t_α										
Δ										
Результат измерения										

6.3 Примеры решения задач

Задача

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 (6.9):

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

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

При $\alpha=0,93$ и $N=5$ в соответствии с табл.6.1 имеем значение $t_\alpha = 2,456$.

Средняя квадратическая погрешность результата измерений σ_x равна (6.6)

$$\sigma_{\bar{x}} \cong \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0,14}{\sqrt{5}} = 0,062 \text{ В}$$

Доверительный интервал результата измерения получается равным

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

Результат прямых многократных измерений напряжения записывается в виде (6.10)

$$37,86 \pm 0,15 \text{ В}; 0,93$$

7. Обработка результатов косвенных однократных измерений.

7.1 Основные положения.

Косвенными называют измерения, при которых искомое значение физической величины определяют на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Определения погрешностей результата косвенного измерения базируется на следующей теореме из теории погрешностей.

Пусть физическая величина Z , значение которой измеряют косвенным путем представляет собой нелинейную дифференцируемую функцию

$$Z = f(X_1, X_2, \dots, X_q) \quad (7.1)$$

и $X_1, X_2, \dots, X_q$ - 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

$$A = f(X_1, X_2, \dots, X_q) \quad (7.2)$$

содержит абсолютную систематическую погрешность

$$\Delta_A \approx \frac{\partial Z}{\partial X_1} \Delta_1 + \frac{\partial Z}{\partial X_2} \Delta_2 + \dots + \frac{\partial Z}{\partial X_q} \Delta_q \quad (7.3)$$

и характеризуется абсолютной среднеквадратической случайной погрешностью

$$\sigma_A = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_2}\right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_q}\right)^2 \sigma_q^2} \quad (7.4)$$

где dZ/dX - частные производные.

При расчете относительных погрешностей результата измерений выражения (7.3) и (7.4) делят на A . Тогда относительная систематическая погрешность получается равной:

$$\delta_{сист} = \Delta_A/A = (\partial Z/\partial X_1)(\Delta_{x1}/A) + (\partial Z/\partial X_2)(\Delta_{x2}/A) + \dots + (\partial Z/\partial X_q)(\Delta_q/A) \quad (7.5)$$

и относительная среднеквадратическая случайная погрешность вычисляется по формуле

$$\delta_{сл} = \frac{\sigma_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X_1}\right)^2 \left(\frac{\sigma_1}{A}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_2}\right)^2 \left(\frac{\sigma_2}{A}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_q}\right)^2 \left(\frac{\sigma_q}{A}\right)^2} \quad (7.6)$$

7.2 Текст задания и условие задачи

При определении расстояния до места обрыва жилы кабеля $L_x = C_L/C_p$, измеренная величина емкости поврежденной жилы оказалась равной C_L при рабочей емкости пары C_p . Определить погрешность Δ_x однократного измерения расстояния до места повреждения, если известны систематические погрешности: Δ_L - емкости поврежденной жилы; Δ_p - рабочей емкости. Произвести запись результата измерения.

Случайными составляющими погрешностей пренебречь. Исходные данные для расчета сведены в таблицы 7.1, 7.2. 1.9, 1.10

Расчет погрешности Δ_x определения расстояния до места повреждения по методике раздела.7.1 приводится полностью. Исходные данные и результаты расчета свести в таблицу 7.3.

Таблица. 7.1

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип кабеля	МКСА 1х4	ТПС	ТПП	МКСГ	ЗКПБ	МКСГ	КСПП 1х4х0.9	МКСГ	МКСА 7х4	КСПП 1х4х1.2
C_p , нФ/км	25,6	45	45	23,8	37	24,0	35	24,2	24,0	43,5
$\pm\Delta p$, нФ/км	0,8	6	5	0,9	0,8	0,7	3,0	0,6	0,8	3,0

Таблица 7.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C_L , нФ	53,2	37,5	71,4	29,3	41,6	62,7	48,1	34,8	43,5	51,7
$\pm\Delta_L$ нФ	0,5	0,6	1,1	0,4	0,6	0,9	0,7	0,5	0,6	0,8

Таблица 7.3

М	L	Тип	C_p	Δp	C_L	ΔL	Δx	$L=L_x \pm \Delta x$
		кабеля	нФ/км	нФ/км	нФ	нФ	км	км

8. Определение параметров переменных напряжений и показаний вольтметров различных типов

8.1. Основные положения

Для характеристики переменного напряжения используют следующие параметры: — среднее значение (постоянная составляющая) U_0

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} S_{u(t)} \quad (8.1)$$

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

- средневывпрямленное значение $U_{св}$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (8.2)$$

- среднеквадратическое (действующее, эффективное) значение

$$U_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (8.3)$$

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

$$u(t) = U_0 + \sum_{i=1}^N U_{m_i} \cdot \sin(i\omega t + \varphi_i) \quad (8.4)$$

$$U_{\text{н\acute{e}}} \approx \sqrt{U_0^2 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_{m_i}}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (8.5)$$

Среднеквадратическое значение напряжения получается равным 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:

$$K_{\phi} = U_{\text{СК}} / U_{\text{СВ}} \quad (8.6)$$

$$K_A = U_{\text{П}} / U_{\text{СК}} \quad (8.7)$$

$$K_y = K_{\phi} K_A = U_{\text{П}} / U_{\text{СВ}} \quad (8.8)$$

Для того, чтобы рассчитать эти коэффициенты, необходимо:

- записать математическую модель исследуемого напряжения $u(t)$;
- вычислить $U_{\text{СВ}}$ по (8.2) и $U_{\text{СК}}$ по (8.3) или (8.5);
- подставить полученные значения в выражения (8.6) ... (8.8).

Для того, чтобы найти 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 (8.1) среднее значение сигнала U_0 и записать

$$u'(t) = u(t) - U_0 \quad (8.9)$$

— вычислить напряжение, на которое откликается вольтметр $u_{\text{отк}}$;

— найти показание вольтметра U на основании $u_{\text{отк}}$ и коэффициента градуировки C

$$U = C \cdot U_{\text{отк}} \quad (8.10)$$

Значение $U_{\text{отк}}$ и C для различных типов аналоговых вольтметров можно определить по таблице 8.1.

Таблица 8.1

Тип вольтметра	Магнит о электр М/Э	Электро - магн. Э/М	Электро - дин Э/Д	Электро - стат. Э/С	Теромо- электр. Т/Э	Выпря- мит. В1 В2	Средне- -квadr. знач. С/К	Средне- выпрям. знач. С/В	Импульс -ный И/В	Уни- версаль -ный У/В
Тип преобразователя	—	—	—	—	Средне- квadr. знач.	Средне- выпрям. знач.	Средне- -квadr. знач.	Средне- выпрям. знач.	Макс. значе- ние	Макс. значе- ние
Значение напряжения, на которое отключается вольтметр, $U_{отк}$	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	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск1}$	$U_{ск}$	U_m	$U_{ск}$
Значение коэффициента градуировки, С	1	1	1	1	1	2.22 – В/2 1.11 – В/1		1.11	1	0.71

В/1 – выпрямительный с однополупериодной схемой выпрямления

В/1 – выпрямительный с двухполупериодной схемой выпрямления

Структурные схемы аналоговых вольтметров, указанных в таблице 8.1, 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.8.1.

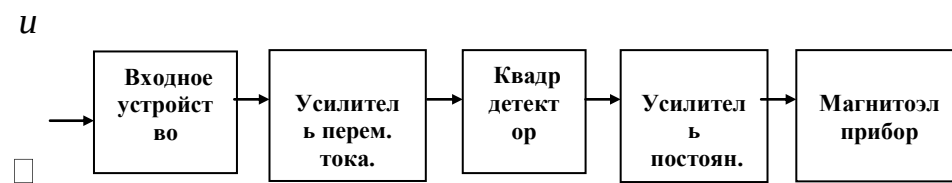


Рис. 8.1

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 средневыпрямленных значений приведена на рис. 8.2.

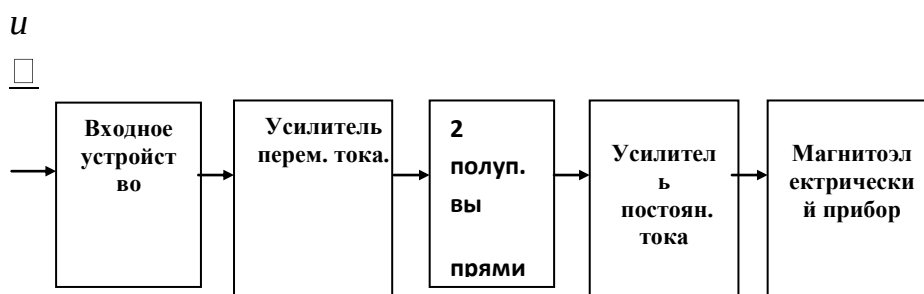


Рис. 8.2

В таких вольтметрах в качестве преобразователя используется линейный детектор, преобразующий переменное напряжение в постоянный ток, пропорциональный средневыпрямленному значению

измеряемого напряжения. Такие преобразователи выполняются по схемам двухполупериодного выпрямления. Эти вольтметры откликаются на средневывпрямленное 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. 8.3.

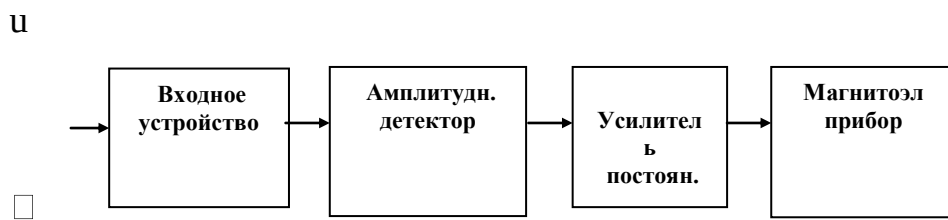


Рис. 8.3

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. 8.4.

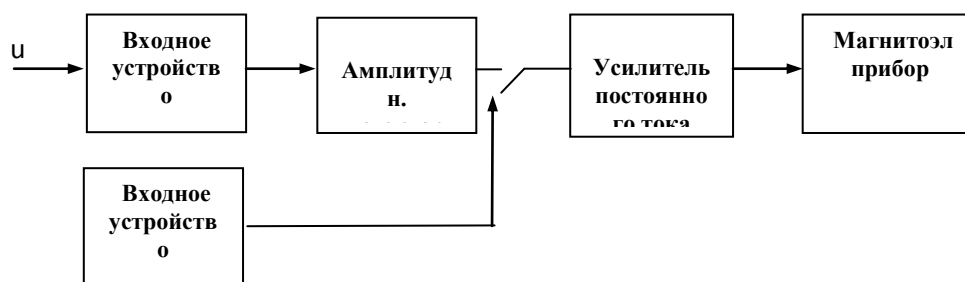


Рис. 8.4

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

8.2. Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 8 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки МЛ, где М- предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 8 необходимо решить четыре задачи:

8.2.1 – три задачи в соответствии с таблицами вариантов 8.2, 8.3, тексты задач приведены в таблицах 8.4, 8.5.

Примеры решения задач даны в разделе 8.3.

8.2.2 – одну задачу, приведенную в разделе 8.2.2.

Таблица 8.2

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	8.2	8.6	8.1	8.4	8.3	8.5	8.1	8.4	8.6	8.2

Таблица 8.3

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	8.13	8.11	8.7	8.12	8.15	8.8	8.14	8.10	8.9	8.16
	8.17	8.20	8.25	8.23	8.19	8.22	8.21	8.18	8.26	8.24

Таблица 8.4

Задача	Исходные данные			
8.1 Составьте структурную схему вольтметра средневыпрямленных значений	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
8.2 Составьте структурную схему вольтметра среднеквадратических значений	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
8.3 Составьте структурную схему импульсного вольтметра	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
8.4 Составьте структурную схему универсального вольтметра для измерения постоянного напряжения	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
8.5 Составьте структурную схему универсального вольтметра для измерения переменного напряжения	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор

8.6 Составьте структурную схему универсального вольтметра	1. Входное устройство	2. Усилитель пер. тока	3. Усилитель пост. тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор

Таблица 8.5

Задача	Исходные данные
8.7 Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 5 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.8 Определить показание импульсного вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 5 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.9 Определить показание универсального вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.10 Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.11 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.12 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.13 Определить показание магнитоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 21 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$

8.14 Определить показание электродинамического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 11 + 17\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.15 Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 16 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.16 Определить показание термоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 15 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.17 Определить показание магнитоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 13 + 12\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.18 Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 15 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.19 Определить показание импульсного вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 5 + 17\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.20 Определить показание универсального вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 19 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.21 Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 16\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.22 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 12\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.23 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 14 + 21\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.24 Определить показание электродинамического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 18 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$

8.25 Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 11 + 9\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.26 Определить показание термоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 19 + 3\sin(\omega t + \varphi_1)$

8.2.2.Задача

Определить:

- коэффициенты формы и амплитуды для двух заданных форм напряжения (таблица 8.6, рис.8.5 а...к);
- найти показания вольтметров трех типов (таблица 8.7).

Таблица 8.6

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рис 8.5	а,з	б,к	в,з	г,и	д,з	а,е	б,ж	д,з	в,и	з,к
Т,мкс	60	16	75	36	40	10	24	60	40	30
τ,мкс	15	4	25	12	40	5	12	60	20	30
U _м ,В	6	12	8	7	2	10	16	20	14	18

Таблица 8.7

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Типы вольт-метров	М/Э	Э/М	Э/Д	Э/С	Т/Э	М/Э	Э/М	Э/Д	Э/С	Т/Э
	СК/0	В/1	В/2	СВ/0	ИВ/3	ИВ/0	УВ/0	УВ/3	СК/0	СВ/0
	УВ/3	ИВ/3	УВ/3	СК/3	СВ/3	СК/3	СВ/3	СК/0	УВ/3	ИВ/3

В таблицах 8.6, 8.7 введены следующие обозначения:

/О -открытый вход;

/З - закрытый вход

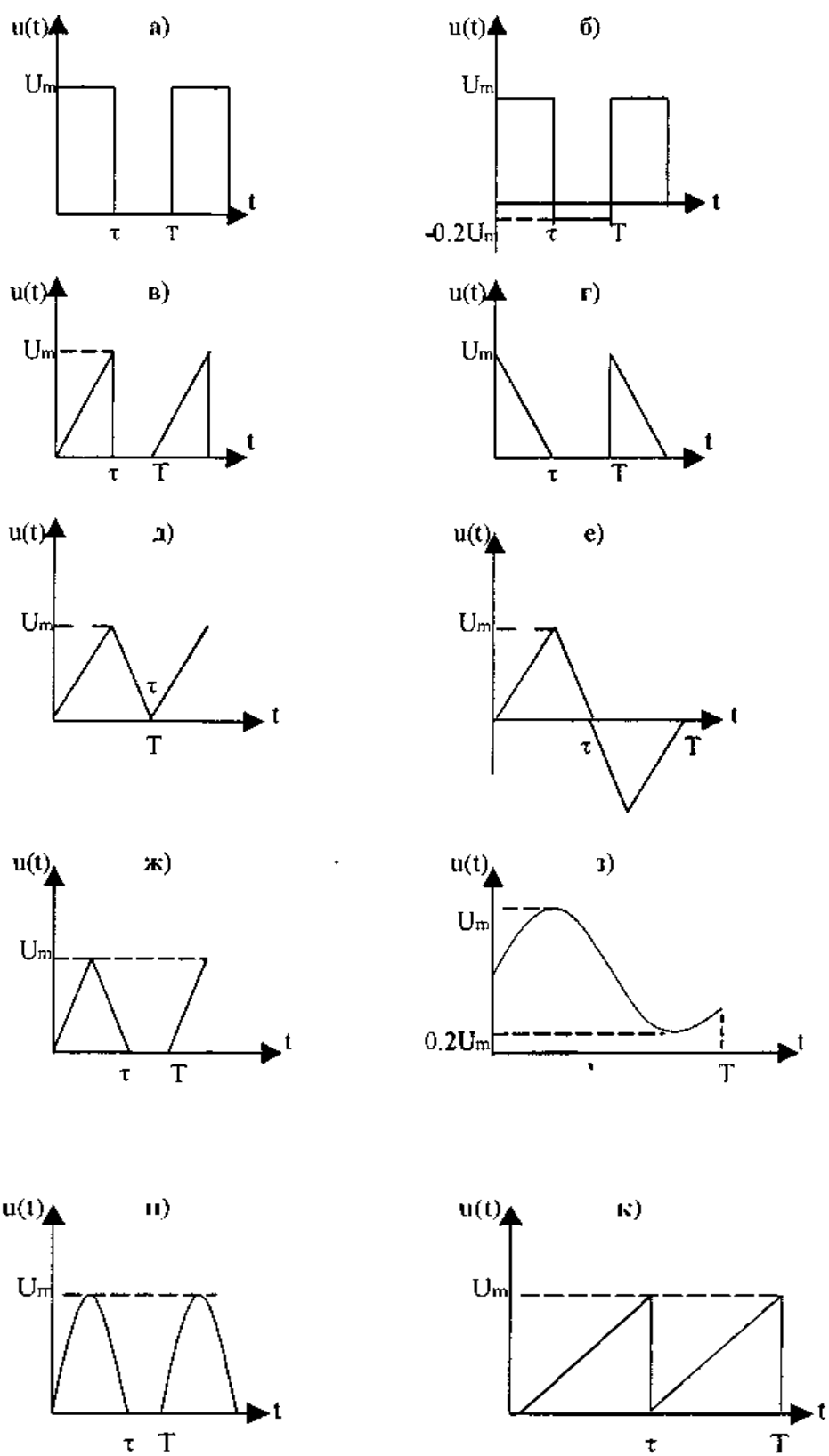


Рис. 8.5

Решение задачи приводится подробно, с соответствующими пояснениями. Исходные данные и результаты решения представляются в таблице 8.8.

Таблица 8.8

Форма напряже ния	Параметры напряжения						Значения коэффицие нтов		Показания вольтметров		
рис 3.1	τ мк с	T мк с	U_m В	U_0 В	$U_{св}$ В	$U_{ск}$ В	K_ϕ	K_A			

8.3 Примеры решения задач

Задача 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 8.1, 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.

Показание импульсного вольтметра с закрытым входом U равно

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

Задача 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 8.1, 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.

Показание универсального вольтметра с открытым входом U равно

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

Задача 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 8.1, электростатический вольтметр откликается на среднеквадратическое значение $U_{отк}=U_{ск}$ 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 $U_{отк}=U_{ск}$.

Определяем среднеквадратическое значение напряжения $U_{ск}$

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

Показание электростатического вольтметра U равно

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

9. Осциллографические измерения параметров сигналов

9.1 Основные положения

Для получения осциллограммы исследуемого сигнала необходимо управлять движением электронного пучка на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) в горизонтальном и вертикальном направлениях. Под действием сигнала, который подается на канал вертикального отклонения "Y", электронный луч движется в вертикальном направлении. При линейной развертке горизонтального отклонения генератор развертки вырабатывает пилообразное напряжение. Под действием генератора линейной развертки луч движется в горизонтальном направлении.

При одновременном действии сигнала на "Y" пластины и генератора развертки на "X" пластины луч движется по сложной траектории, описывая на экране ЭЛТ форму сигнала. Для того чтобы изображение сигнала на экране было неподвижным, необходимо, чтобы соблюдалось равенство:

$$T_p = k \cdot T_c \quad (9.1)$$

где T_p - период пилообразного напряжения генератора развертки;

T_c - период сигнала;

k – число, показывающее сколько периодов сигнала укладывается в периоде развертки.

При линейной развертке на экране ЭЛТ получаем изображение сигнала как функцию времени. При определении различных параметров сигнала (частоты, фазы) употребляется синусоидальная развертка. Для ее получения в осциллографе нужно отключить генератор развертки и на вход "X" подать синусоидальное напряжение. На экране получим фигуру Лиссажу.

Если известна частота сигнала, поданного на вход "Y", то можно определить частоту сигнала, поданного на вход "X", и наоборот, по формуле:

$$f_x n_x = f_y n_y \quad (9.2)$$

где f_x , f_y - частоты сигналов, поданных соответственно на входы "X" и "Y",

n_y , n_x — количество точек пересечения фигуры Лиссажу осями X и Y.

Если на входы "X" и "Y" подать сигналы равных частот, то в зависимости от сдвига фаз между сигналами на экране ЭЛТ получим частный случай фигуры Лиссажу: эллипс, круг, наклонная прямая. При равных частотах и сдвиге фаз, равном 90° , на экране будет круг. Круговую развертку часто используют для измерения частоты сигнала. Меньшую по величине частоту f_x подают на вход "Y" и со сдвигом в 90° на вход "X". Большую по величине частоту подают на вход "Z" (модулятор яркости). На экране получится круг с яркостными метками. Измеряемую частоту можно рассчитать по формуле:

$$f_x = f_z / N \quad (9.3)$$

где N - количество яркостных меток.

9.2 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 $u_{ГР}(t)$.

$$\begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{ГР}(t) \end{cases} \quad (9.4)$$

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. 9.1.

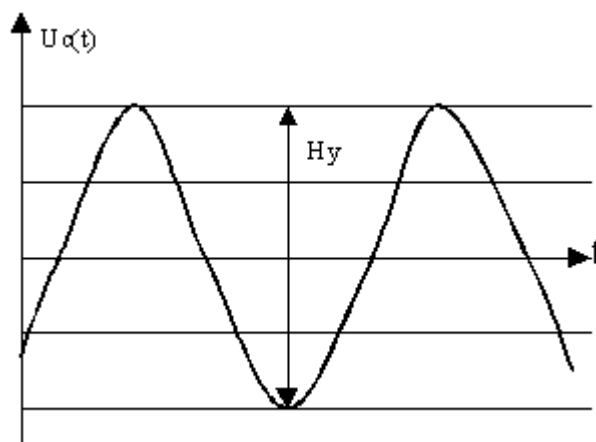


Рис. 9.1

При симметричном двухполярном сигнале его амплитуда определяется из соотношения

$$U_m = \frac{H_y \cdot m_y}{2} \quad (9.5)$$

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

$$U_m = H_y \cdot m_y \quad (9.6)$$

9.3 Измерение частоты

9.3.1 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 $u_{ГР}(t)$.

Пример осциллограммы для синусоидального сигнала приведен на рис. 9.2.

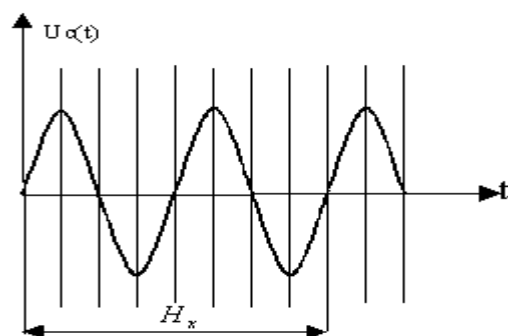


Рис. 9.2

Период и частота исследуемого сигнала определяются из соотношений

$$T_c = \frac{H_x \cdot m_x}{n} \quad (9.7)$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{n}{H_x \cdot m_x} \quad (9.8)$$

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) $\left[\frac{\text{время}}{\text{дел}} \right]$.

9.3.2 Измерение частоты методом синусоидальной развертки

Измерение частоты методом синусоидальной развертки производится во втором основном режиме работы осциллографа - режиме усиления (сравнения, фигур Лиссажу). Гармонические сигналы подаются на входы Y и X осциллографа одним из двух указанных способов:

$$1) \begin{cases} u_Y(t) = u_c(t) \\ u_X(t) = u_{обр}(t) \end{cases} \quad 2) \begin{cases} u_Y(t) = u_{обр}(t) \\ u_X(t) = u_c(t) \end{cases} \quad (9.9)$$

На экране наблюдается фигура Лиссажу, вид которой зависит от частотных и фазовых соотношений поданных сигналов. Пример фигуры Лиссажу приведен на рис. 9.3.

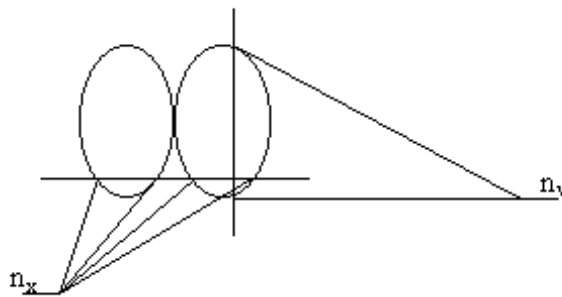


Рис. 9.3

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. 9.3).

В этом случае выполняется соотношение

$$f_x \cdot n_x = f_y \cdot n_y \quad (9.10)$$

Частота напряжения, подаваемого на вход Y осциллографа, определяется из соотношения (9.10)

$$f_y = f_x \frac{n_x}{n_y} \quad (9.11)$$

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

В зависимости от способа подачи (9.9) напряжений измеряемой $u_c(t)$ и образцовой частот $u_{обр}(t)$ неизвестная частота f_c будет определяться соотношениями:

Первый способ

$$f_{обр} \cdot n_x = f_c \cdot n_y \quad f_c = f_{обр} \frac{n_x}{n_y} \quad (9.12)$$

Второй способ

$$f_{обр} \cdot n_y = f_c \cdot n_x \quad f_c = f_{обр} \frac{n_y}{n_x} \quad (9.13)$$

9.4 Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 9 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где M- предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 9 необходимо решить **пять** задач:

9.4.1 – **четыре** задачи в соответствии с таблицами вариантов 9.1, 9.2, тексты задач приведены в таблице 9.3.

Примеры решения задач даны в разделе 9.5.

9.4.2 – **одну** задачу, приведенную в разделе 9.4.2.

9.4.1 Таблицы вариантов первых четырех задач

Таблица 9.1

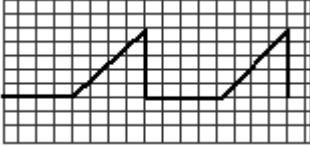
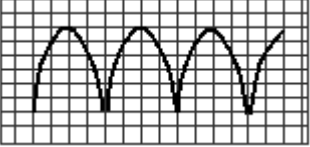
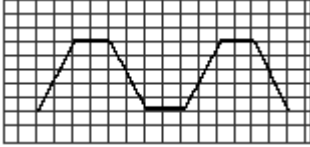
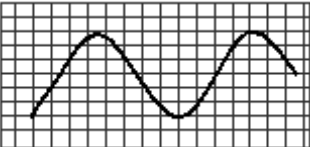
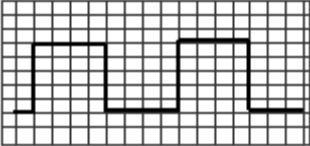
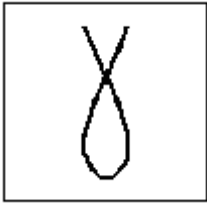
М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	9.1	9.7	9.5	9.2	9.4	9.8	9.3	9.5	9.6	9.9
	9.14	9.12	9.11	9.13	9.10	9.15	9.10	9.12	9.11	9.14

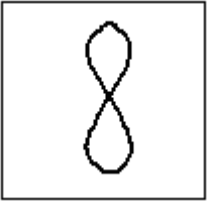
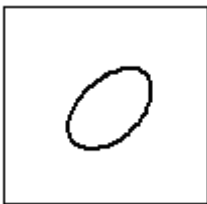
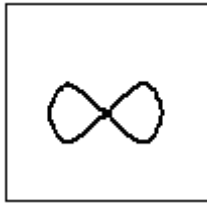
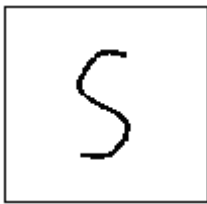
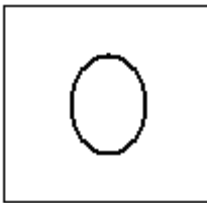
Таблица 9.2

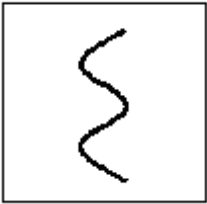
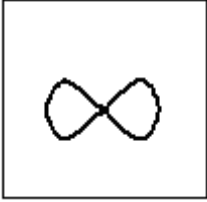
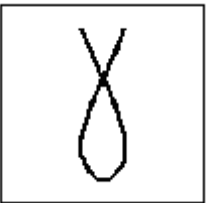
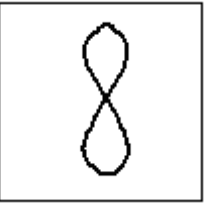
L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	9.19	9.21	9.16	9.23	9.20	9.17	9.24	9.25	9.18	9.22
	9.28	9.30	9.29	9.28	9.26	9.30	9.20	9.19	9.27	9.16

Таблица 9.3

Задача	Исходные данные
9.1 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 2 мс/дел и 5 В/дел	
9.2 Определить амплитуду и частоту сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 10 мкс/дел и 2 В/дел	
9.3 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 0,2 В/дел	
9.4 Определить амплитуду и период однополярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 5 В/дел	
9.5 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 1 В/дел	
9.6 Определить амплитуду и период двухполярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 2 В/дел	
9.7 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 2 В/дел	

9.8 Определить амплитуду и частоту сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,5 мс/дел и 0,5 В/дел	
9.9 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мкс/дел и 10 В/дел	
9.10 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 5 В/дел	
9.11 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 20 мкс/дел и 2 В/дел	
9.12 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел	
9.13 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 2 мс/дел и 8 В/дел	
9.14 Определить амплитуду и период двухполярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел	
9.15 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел	
9.16 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 600 Гц	

9.17 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 800 Гц	
9.18 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1000 Гц	
9.19 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 500 Гц	
9.20 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 900 Гц	
9.21 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1600 Гц	
9.22 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1500 Гц	
9.23 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 200 Гц	
9.24 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 400 Гц	

9.25 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1600 Гц	
9.26 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1400 Гц	
9.27 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 300 Гц	
9.28 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1800 Гц	
9.29 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 400 Гц	
9.30 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1600 Гц	

9.4.2 Задача

Построить графически осциллограммы, если известно, что к осциллографу с одинаковой чувствительностью к отклонению по вертикали и горизонтали приложены напряжения

а) при линейной развертке

к пластинам "Y"

$$U_p(t) = A \cdot U(\omega t + \varphi)$$

к пластинам "X"

$$U_p(t) = B \cdot U(t / T_p - 0,5), T_p = k \cdot T_c$$

Временем обратного хода луча можно пренебречь. Значения А, В, φ , к берутся из таблиц 9.4 и 9.5.

Таблица 9.4

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	2	1	4	1	3	2	1	4	3	2
φ, гр	180	90	0	270	90	0	180	90	270	180

Таблица 9.5

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
В	6	4	8	3	6	4	6	8	6	4
К	1	0.5	2	1	2	1	2	1	2	0.5

б) при синусоидальной развертке

к пластинам "Y"

$$U_p(t) = A \cdot U \sin(i\omega t + \varphi)$$

к пластинам "X"

$$U_p(t) = B \cdot U \sin(j\omega t)$$

Исходные данные взять из таблиц 9.4, 9.5 и 9.6

Таблица 9.6

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	1	2	4	3	1	3	2	1	2	3
j	2	3	1	2	4	1	3	3	1	2

9.5 Примеры решения задач

Задача 1

Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 1 В/дел для осциллограммы



Решение

Данная осциллограмма получена в первом основном режиме работы осциллографа - в режиме линейной развертки. Измерение частоты в этом режиме производится методом линейной калиброванной развертки.

Сигнал на осциллограмме является однополярным, поэтому амплитуда сигнала рассчитывается по формуле (9.6)

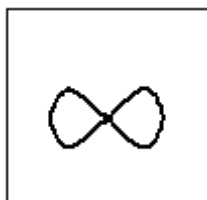
$$U_m = H_y \cdot m_y = 5 \text{ дел} \cdot 1 \text{ В/дел} = 5 \text{ В}$$

Измерение периода сигнала производится методом линейной калиброванной развертки, поэтому период сигнала рассчитывается по формуле (9.7)

$$T_c = \frac{H_x \cdot m_x}{n} = \frac{16 \cdot 0,2}{2} = 1,6 \text{ мс}$$

Задача 2

Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 100 Гц для осциллограммы



Решение

Данная осциллограмма в виде фигуры Лиссажу получена во втором режиме работы осциллографа - в режиме сравнения. Измерение частоты в этом режиме производится методом синусоидальной развертки.

По условию задачи напряжение измеряемой $u_c(t)$ подается на вход Y, образцовой частоты $u_{обр}(t)$ - вход X, что соответствует первому способу подачи напряжений (9.9). Тогда неизвестная частота f_c будет определяться соотношениями (9.12):

$$f_{обр} \cdot n_x = f_c \cdot n_y \quad f_c = f_{обр} \frac{n_x}{n_y} = 100 \cdot \frac{4}{2} = 200 \text{ Гц}$$

Задача 3

Построить осциллограмму при линейной развертке для следующих исходных данных:

$$U_c(t) = 2U \cdot \sin(\omega t + 180^\circ)$$

$$U_p(t) = 6U(t/T_p - 1/2)$$

$$T_p = 2 \cdot T_c$$

Решение

При построении осциллограмм выполняются следующие действия.

Поле чертежа разбивается на 4 квадранта. В первом изображается сигнал $U_c(t)$, поданный на пластины вертикального отклонения "Y", в третьем - сигнал $U_p(t)$, поданный на пластины горизонтального отклонения "X", во втором квадранте строится изображение, формируемое на экране осциллографа. При этом масштабы по осям времени и амплитуд в первом и третьем квадратах должны быть одинаковыми.

Решение задачи выполняется в следующей последовательности:

- 1) выбрать произвольно масштаб и построить напряжения развертки $U_p(t)$;
- 2) построить $U_c(t)$, учитывая, что в том же масштабе должно уложиться 2 периода ($K=2$) напряжения сигнала,
- 3) графически построить осциллограмму (рис 9.4)

Правило построения осциллограммы. Отложите на осях времени для $U_p(t)$ и $u_p(t)$ равные отрезки, разбейте их на одинаковое количество интервалов, и обозначьте их одинаковыми цифрами. Точки, обозначенные одинаковыми цифрами и соответствующие u_p и u_c , снесите пунктирными линиями до тех пор, пока они не пересекутся. Точки пересечения обозначьте теми же цифрами. Изображение на экране осциллографа получится путем последовательного соединения точек пересечения.

Построение осциллограммы при синусоидальной развертке производится аналогично при условии, что на пластины X и Y подается система гармонических напряжений согласно варианту ML.

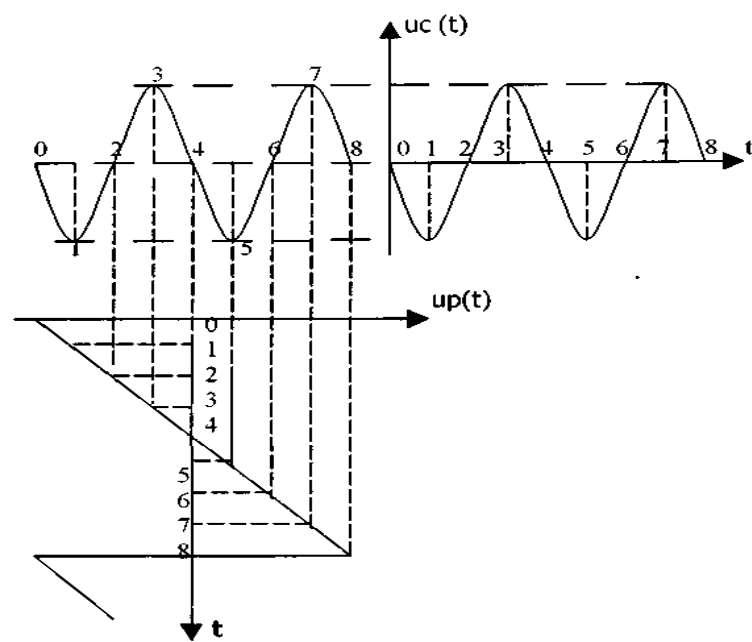


Рис. 9.4

Список рекомендуемой литературы

1. Бакланов, И.Г. Радио и связь. Курс лекций и материалы для практических занятий [Текст]: учеб. пособие для вузов/ И.Г. Бакланов. М.: ИТЦ «Эко-Тренз», 1999. – 210 с. (Учебное пособие).
2. Бакланов, И.Г. Технологии измерений в первичной сети [Текст]: учеб. для вузов / И.Г.Бакланов - части 1 и 2. - М.: Радио и связь. ИТЦ «Эко-Тренз», 2000. – 674 с. (Учебник для вузов).
3. Боридько, С.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах [Текст]: учеб. пособие/ С.И. Боридько. Н.В. Дементьев, Б.Н. Тихонов, И.А. Ходжаев. Под ред. Б.Н. Тихонова – М.: Горячая линия - Телеком, 2007.-375 с. – (Учебное пособие).
4. Дворяшин, Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения [Текст]: учебное пособие для вузов / Б.В. Дворяшин -М.: Радио и связь, 1992.-258 с. – (Методы измерений в системах связи).
5. Крылова, Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии [Текст]: учебное пособие для вузов./ Г.Д. Крылов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2000.-711с.- (Учебное пособие).
6. Кушнир, Ф.В. Измерения в технике связи: курс лекций [Текст]: учебное пособие для вузов / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, С.М. Верник .-М.: Связь, 1976.-113 с. (Учебное пособие).
7. Кушнир, В.Д. Электроизмерения [Текст]: учеб. для вузов / В.Д.Кушнир - М.: Радио и связь, 1985.-368с. - (Учебник для вузов).
8. Кушнир, В.Д. Электроизмерения [Текст]: учеб. для вузов / В.Д.Кушнир -Л.: Энергоатомиздат., 1983-320с. - (Учебник для вузов).
9. Мирский, Г.Я. Электронные измерения [Текст]: учебное пособие для вузов/ Г.Я.Мирский -М.: Радио и связь, 1986.- 440с.
10. Нефедов, В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах [Текст]: учеб. для вузов/ В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001.-417 с.- (Учебник для вузов).
11. Нефедов, В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах [Текст]: учеб. для вузов/ В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2005.-417 с.- (Учебник для вузов).
12. Сергеев, А.Г. Метрология [Текст]: учебное пособие для вузов/ А.Г. Сергеев, В.В. Крохин - М.: ЛОГОС, 2001.-408с. (Учебное пособие).
13. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст]: учебное пособие для вузов/ Сергеев А.Г. , Латышев М.В., Терегеря В.В. - М.: ЛОГОС, 2005.- 196с.- (Учебное пособие).

14. Хромой, Б.П. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи [Текст]: 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.- (Учебное пособие).

15. Хромой, Б.П. Метрологическое обеспечение систем передачи [Текст]: учеб. 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.-(Учебник для вузов)

16. Хромой, Б.П. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах [Текст]: учеб. пособие для вузов/ Б.П. Хромой – М.: ИРИАС, 2007.-380 с. - (Учебное пособие).

17. Шишкин, И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством [Текст]: учебное пособие для вузов / И.Ф.Шишкин -М.: Издательство стандартов, 1990. -198 с. - (Учебное пособие).

18. 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.

19. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12. 2002 года № 184 - ФЗ.

20. lsits@psati.ru