

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Политехнический институт (ИПТ)

Кафедра «Технология машиностроения»

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Учебный модуль для направления 15.04.05 - Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств.
Профиль - Технология машиностроения.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Принято на заседании Ученого совета
института

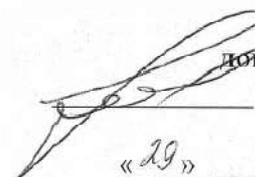
Протокол № 17 от 19.09 2017 г.

Зам. директора института



А.М. Гаврилов

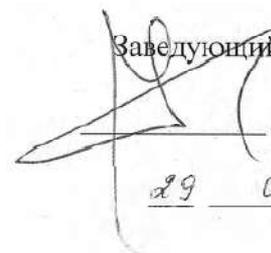
«19» 09 2017 г.



Разработал
доцент кафедры ТМ
О.В. Никуленков
«29» 06 2017 г.

Принято на заседании кафедры

Протокол № 9 от «29» 06
2017 г.



Заведующий кафедрой ТМ
Д.А. Филиппов
29 06 2017 г.

Паспорт фонда оценочных средств
по дисциплине «Методы и средства контроля параметров точности изделий»
по направлению подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

Учебный модуль, раздел (в соответствии с РП)	ФОС		Контролируемы е компетенции (или их части)
	Вид оценочного средства	Количество вариантов заданий	
Учебный модуль "Методы и средства контроля параметров точности изделий"			
Раздел 1. Общие сведения о методах и средствах измерений.	разноуровневые задачи	15	ПК-7
Раздел 2. Применение средств измерений.	разноуровневые задачи	15	ПК-7
Раздел 3. Основные сведения об испытаниях и контроле.	разноуровневые задачи	15	ПК-7
Раздел 4. Актуальные проблемы измерений.	Опрос	15	ПК-7
Аттестация: дифференцированный зачёт	Комплект контрольных вопросов	15	ПК-7

Характеристика оценочного средства №1

РАЗНОУРОВНЕВЫЕ ЗАДАЧИ В СООТВЕТСТВИИ С ПАСПОРТОМ ФОС

1.1 Общие сведения об оценочном средстве

Практическая работа является одним из средств текущего контроля в освоении учебного модуля УМ «Методы и средства контроля параметров точности изделий». Практическая работа используется для проверки и оценивания знаний, умений и навыков студентов заочников после завершения изучения.

Практическая работа проводится в письменном виде во время внеаудиторной самостоятельной работы. Количество вариантов соответствует количеству студентов в группе. Практическая работа охватывает весь теоретический и практический материал УМ. Максимальное количество баллов, которые может получить студент, равно 160 баллов. В случае неудовлетворительной сдачи практической работы студенту разрешается ее переписать до итоговой аттестации.

Во время проведения практической работы оценивается способность студента правильно сформулировать ответ, умение применять полученные в ходе лекций и практик знания.

1.2 Параметры проведения и оценивания практической работы

Критерии оценки контрольных работ:

полнота и правильность решения каждого задания.

Условия оценки практической работы	
Предел длительности контроля знаний	1 акад. час
Предлагаемое количество задач	3
Максимальное количество баллов за задание	20
Критерии оценки:	
«удовлетворительно»	10 – 13 баллов – испытывает трудности при выполнении заданий
«хорошо»	14 – 17 баллов – допускает неточности при выполнении заданий
«отлично»	18 – 20 баллов – демонстрирует четкое и безошибочное выполнение заданий

Характеристика оценочного средства № 2

ОПРОС В СООТВЕТСТВИИ С ПАСПОРТОМ ФОС

1.1 Общие сведения об оценочном средстве

Опрос является одним из средств текущего контроля в освоении учебного модуля УМ «Методы и средства контроля параметров точности изделий». Опрос используется для проверки и оценивания знаний, умений и навыков студентов после изучения тем учебного модуля УМ.

Контрольный опрос проводится в форме индивидуального устного опроса студентов. Вопросы ставит преподаватель по своему усмотрению, используя ориентировочный вопросник, который охватывает все основное содержание тем, выносимых на контрольном опросе. Во время проведения опроса оценивается способность студента правильно сформулировать ответ, умение выразить свою точку зрения по данному вопросу, ориентироваться в терминологии и применять полученные в ходе лекций и практических работ знания. Список возможных вопросов для опроса находится в Приложении Б.

1.2 Параметры проведения опроса

Предел длительности контроля	не более 20 мин на одно занятие
Предлагаемое количество вопросов	по 2 вопроса на занятие
Критерии оценки:	Максимально 30 баллов. Каждое опрос по 5 баллов.
«5» 5 баллов	имеет целостное представление материала; четко объясняет значение всех терминов, четко и безошибочно описывает алгоритмы действий.
«4» 4 балла	допускает неточности при демонстрации знаний; недостаточно четко объясняет значение терминов и описание алгоритмов действий.
«3» 3 балла	испытывает трудности при демонстрации знаний; испытывает трудности в определении терминов и описании алгоритмов действий.

Характеристика оценочного средства № 3

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ЗАЧЁТ В СООТВЕТСТВИИ С ПАСПОРТОМ ФОС

1.1 Общие сведения об оценочном средстве

Зачёт является аттестацией знаний студента по УМ «Методы и средства контроля параметров точности изделий».

Студенты выполняют задания в письменном виде в течение 30 мин. В случае неудовлетворительной оценки студенту даётся перезачёт.

Во время ответа оценивается способность студента найти правильный ответ на поставленный вопрос, умение применять полученные в ходе лекций и лабораторных работ знания и умения. Максимальное количество баллов, которые может получить студент за зачёт, равно 50 баллам.

1.2 Параметры оценки за зачёт по УМ

Параметры оценочного средства (дифференцированного зачёта)

Предел длительности контроля	не более 30 мин на одного студента
Предлагаемое количество вопросов	по 2 вопроса
Критерии оценки:	Максимально 15 баллов
«зачёт» 26-50 баллов	<ol style="list-style-type: none">1. Даны полные и исчерпывающие ответы на все вопросы.2. Содержание ответов свидетельствует об уверенных знаниях выпускника и о его умении решать профессиональные задачи, соответствующие его будущей квалификации.3. Теоретический материал дополняется практическими примерами.4. При изложении ответов используется профессиональная терминология, приводятся ссылки на нормативные документы. В ответах содержится графический материал по существу поставленных вопросов
«незачёт» 1-25 баллов	<ol style="list-style-type: none">1. Частично ответы на все вопросы.2. Содержание ответов свидетельствует о недостаточных знаниях выпускника и о его ограниченном умении решать профессиональные задачи. При изложении ответов больше используется бытовая речь, использование профессиональной терминологии ограничено.

Приложение А

Методические указания к выполнению практических заданий

На практических занятиях рассматривается решение типовых задач.

Практическое занятие №1. Анализ и оценка метрологических характеристик средств измерений

Цель занятия: приобретение практических навыков анализа и расчета МХ СИ (на примере измерительных преобразователей).

а) В качестве измерительного преобразователя использован пассивный фильтр RC (нижних и верхних частот) – ФНЧ и ФВЧ, требуется по ГОСТ 8.009-84.ГСИ «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» выбрать, вывести и рассчитать динамические МХ аналогового измерительного преобразователя (фильтра) – полные и частную (граничная частота), после чего представить их в табл. 1 в аналитическом виде.

Построить графики $K(\omega)$; $\varphi(\omega)$, используя логарифмический масштаб по оси частот.

Таблица 1

ДМХ					Частная
Полные				h(t) переходная	
Передаточная		АЧХ K(ω)	ФЧХ φ(ω), град		h(t) переходная
K(jω)	K(p)				

В табл. 2 приведены исходные данные

Таблица 2

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R, кОм	1	10	30	5	3	10	30	1	5	3
C, мкФ	1	0,1	0,5	1	0,1	0,01		0,1		
Тип фильтра	ФНЧ					ФВЧ				

Указание

Следует вывести выражение для передаточной характеристики фильтра (частотно-зависимого делителя напряжения); по ней определить АЧХ и ФЧХ как модуля и аргумента комплексного числа; по таблице Лапласа выбрать выражение для переходной характеристики.

Пример решения

Исходные данные: ФВЧ; R=1 кОм; C=1 мкФ.

Передаточная характеристика:
в спектральном виде:

$$K(j\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = K_1(\omega) + jK_2(\omega);$$

в операторном виде (p – оператор Лапласа): $K(p) = \frac{pRC}{1 + pRC}$.

АЧХ:

$$K(\omega) = \frac{\omega RC}{\sqrt{[K_1(\omega)]^2 + [K_2(\omega)]^2}} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + \omega RC}}$$

где $\omega = 2\pi f$ (круговая частота),

f – частота.

При $R=1$ кОм; $C=1$ мкФ: $R(\omega) = \frac{2\pi f \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1 + (2\pi f \cdot 10^{-3})^2}}$.

В табл. 3 приведены результаты расчета АЧХ

Таблица 3

f , Гц	10	100	10^3	10^4
ω , рад/с	$6,3 \cdot 10$	$6,3 \cdot 10^2$	$6,3 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^4$
ωRC	0,063	0,63	6,3	63
$K(\omega)$	0,06	0,52	0,99	0,999
$\varphi(\omega)$, град	$\arctg 15$	$\arctg 1,5$	$\arctg 0,15$	$\arctg 0,015$

На основании полученных данных следует построить АЧХ и ФЧХ, используя логарифмический масштаб по оси частот.

Переходная характеристика для передаточной характеристики

$K(p) = \frac{pRC}{1 + pRC}$ определяется с помощью таблиц Лапласа:

$$h(t) = e^{-at}, \text{ где } a = \frac{1}{RC} = 10^3 \text{ (1/с)}.$$

Граничная частота определяется по АЧХ (на этой частоте происходит спад АЧХ на 3 дБ).

б) Вывести выражение и построить статическую МХ (функцию преобразования) линейного аналогового измерительного преобразователя – резистивного делителя напряжения. Определить относительную погрешность коэффициента преобразования при заданном допуске резисторов делителя.

Указание

Функция преобразования резистивного делителя напряжения (масштабирующего преобразователя):

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{\text{вх}} = K \cdot U_{\text{вх}},$$

где R_1 и R_2 – сопротивление резисторов плеч делителя напряжения;

$U_{\text{вх}}$ – входное напряжение;

K – коэффициент преобразования.

Относительная погрешность коэффициента преобразования:

$$\pm \delta_k = \frac{R1_n}{R1_n + R2_n} \sqrt{\delta_{R1}^2 + \delta_{R2}^2},$$

где $R1_n$; $R2_n$ - номинальные значения сопротивлений делителя;

δ_{R1} и δ_{R2} - относительные погрешности (допуски) резисторов.

Исходные данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Данные	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R1_n$, кОм	50	40	30	20	10	50	40	30	20	10
$R2_n$, кОм	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
$\pm \delta_{R1}$, %	2		5		10		15		20	
$\pm \delta_{R2}$, %	5		2		15		20		20	

в) В табл. 5 приведены показания различных СИ. Определить основные статические МХ этих СИ и привести их значения в табл. 5.

Таблица 5

Данные	Показания СИ		
	Цифровой термометр (диапазон 0... 50 °С). Показание 49,9 °С	Стрелочный амперметр (диапазон 0... 10 мА), количество делений шкалы 100	Цифровой вольтметр (диапазон 2 В). Показание 1,345 В
Цена деления	-		-
Единица наименьшего разряда кода индикации		-	
Число разрядов кода индикации		-	

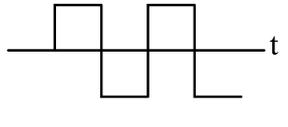
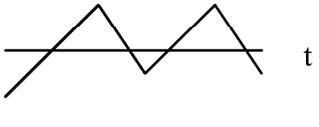
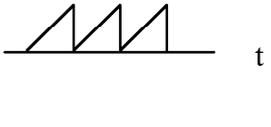
Практическое задание № 2. Выбор методов и средств измерений физических величин

Цель занятия: приобретение практических навыков выбора методов и средств измерений ФВ.

Задание 1: в качестве измеряемой ФВ предложено характерное значение напряжения переменного тока. Требуется выбрать метод и средство

измерений средневыпрямленного значения напряжения сложной формы с амплитудой U_m . Форма сигнала и измеряемое значение напряжения приведены в табл. 6.

Таблица 6

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Форма сигнала										
Амплитуда сигнала, U_m , В	8			24				16		
Относительная погрешность результата измерений, %, не более	± 0,5			± 1,0				± 4,0		

Пример: Форма сигнала – последовательность импульсов прямоугольной формы со скважностью $Q=4$. Амплитуда напряжения $U_m \leq 6$ В. Относительная погрешность результата измерений средневеличинного значения напряжения не должна превышать ± 5%.

Решение:

Проанализируем исследуемый сигнал. Он содержит постоянную и переменную составляющие.

Постоянная составляющая: $U_{\text{пост}} = \frac{U_m}{Q}$;

Амплитуда переменной составляющей:

$$U_{m-} = U_m - \frac{U_m}{Q} = U_m \left(1 - \frac{1}{Q}\right).$$

Промышленность выпускает вольтметры переменного тока следующих типов (входы всех вольтметров закрыты для постоянной составляющей сигнала):

- а) детектор амплитудный, шкала вольтметра проградуирована в амплитудных значениях сигнала любой формы;
- б) детектор амплитудный, шкала вольтметра проградуирована в среднеквадратических значениях сигнала синусоидальной формы;
- в) детектор среднеквадратический, шкала вольтметра проградуирована в среднеквадратических значениях сигнала любой формы;
- г) детектор средневеличинного значения, шкала вольтметра проградуирована в среднеквадратических значениях сигнала синусоидальной формы.

Показание любого вольтметра $U_{\text{пок}}$ всегда соответствует тому значению сигнала, каков тип детектора:

В случае а):

$U_{\text{пок}} \equiv U_{m\sim}^{(\text{пок})}$ (амплитудному значению переменной составляющей, определенному по показанию).

Переход от тождества к равенству происходит с помощью градуировочного коэффициента $K_{\text{гр}}$:

$$U_{\text{пок}} = K_{\text{гр}} U_{m\sim}^{(\text{пок})}.$$

В данном случае (с учетом типа градуировки шкалы вольтметра):

$$U_{\text{пок}} = U_{m\sim}^{(\text{пок})}$$

Далее:

$$U_{\text{пок}} = U_m^{(\text{пок})} \left(1 - \frac{1}{Q}\right).$$

Это выражение позволяет определить любое значение сигнала. В данном случае:

$$U_{\text{пок}} = U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} \cdot K_A \left(1 - \frac{1}{Q}\right),$$

где коэффициент амплитуды сигнала $K_A = \frac{U_m}{U_{\text{ск}}} = \sqrt{Q}$.

$$\text{Тогда: } U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} = \frac{U_{\text{пок}}}{\sqrt{Q} \left(1 - \frac{1}{Q}\right)} \quad (*).$$

$$\text{В случае б): } U_{\text{пок}} \equiv U_{m\sim}^{(\text{пок})} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{m\sim}^{(\text{пок})} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m^{(\text{пок})} \left(1 - \frac{1}{Q}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} \sqrt{Q} \left(1 - \frac{1}{Q}\right).$$

Отсюда следует:

$$U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} = \frac{\sqrt{2} U_{\text{пок}}}{\sqrt{Q} \left(1 - \frac{1}{Q}\right)} \quad (**).$$

В случае в): $U_{\text{пок}} \equiv U_{\text{ск}\sim}^{(\text{пок})}$;

$$U_{\text{пок}} = \frac{U_{m\sim}^{(\text{пок})}}{\sqrt{Q}}; \text{ (коэффициент формы этого сигнала: } K_{\phi} = \frac{U_m}{U_{\text{ск}}} = \sqrt{Q}\text{)}.$$

$$U_{\text{пок}} = U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} \left(1 - \frac{1}{Q}\right);$$

Откуда:

$$U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} = \frac{U_{\text{пок}}}{\left(1 - \frac{1}{Q}\right)}. \quad (***)$$

В случае г):

$$U_{\text{пок}} \equiv U_{\text{св}\sim} = 1,11 U_{\text{св}\sim}^{(\text{пок})} = 1,11 \frac{U_{m\sim}^{(\text{пок})}}{\sqrt{Q} \sqrt{Q}} = 1,11 \frac{U_m^{(\text{пок})} \left(1 - \frac{1}{Q}\right)}{\sqrt{Q} \sqrt{Q}} = 1,11 \frac{U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} \left(1 - \frac{1}{Q}\right)}{\sqrt{Q}},$$

отсюда $U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} = \frac{U_{\text{пок}} \sqrt{Q}}{1,11(1 - \frac{1}{Q})}$ (****).

Сравнение четырех выражений доказывает, что использование **варианта в)** позволяет существенно упростить обработку полученных данных.

Итак, следует выбрать вольтметр переменного тока (**вариант в)**.

$$U_{\text{пок}} = \frac{U_{\text{м}}^{(\text{пок})} (1 - \frac{1}{Q})}{\sqrt{Q}} = \frac{6(1 - 0,25)}{2} \approx 2,2 \text{ В.}$$

Далее следует выбрать тип вольтметра переменного тока с детектором среднеквадратического значения при требовании обеспечения относительной погрешности результата измерений не более $\pm 5\%$. Докажем возможность выбора вольтметра класса точности 2,5. На пределе 3 В вольтметр должен обеспечивать снятие показания порядка 2 В с относительной погрешностью:

$$\pm \delta_{\text{в}} \approx 2,5 \frac{3}{2,2} \approx 3,5\%, \text{ что удовлетворяет поставленным требованиям.}$$

Методические указания к выполнению контрольной работы.

В процессе изучения учебного модуля студенты должны в первом семестре выполнить контрольную работу. Перед решением задачи контрольной работы необходимо внимательно ознакомиться с исходными данными, проработать теоретический материал и методические указания к решению задачи.

На титульном листе контрольной работы указываются: название дисциплины, специальность, фамилия, инициалы и шифр студента.

Текст работы должен быть изложен четко, логично, с обязательным приведением условия задачи, исходных данных, необходимых формул, схем, единиц измерений ФВ. При оформлении контрольной работы оставляют поля размером 3-4 см для замечаний преподавателя.

Студенты допускаются к зачету по дисциплине (за первый семестр) только после рецензирования и защиты контрольной работы.

Ниже приводятся условия задач контрольной работы и исходные данные.

Задание 1

Напряжение постоянного тока измеряется двумя вольтметрами - класса точности **клт1** (используется предел измерений $I_{\text{пред1}}$) и класса точности **клт2** (используется предел измерений $I_{\text{пред2}}$).

Показания вольтметров составляют соответственно $I_{\text{пок1}}$ и $I_{\text{пок2}}$.

Определить, какой вольтметр предпочтительнее применять для обеспечения большей точности измерений.

Указать пределы, в которых находится значение измеряемого напряжения постоянного тока.

Влиянием входного сопротивления вольтметра пренебречь.

Значения **клт1**; **клт2** приведены в табл. 1, а значения $I_{\text{пред1}}$; $I_{\text{пред2}}$; $I_{\text{пок1}}$; $I_{\text{пок2}}$ в табл. 2.

Таблица 1

Предпоследняя цифра шифра	0 1	2 3	4 5	6 7	8 9
клт1	2,5	1,5 / 1,0	1,5	4,0	4,0
клт2	2,5	2,5	1,0 / 0,5	2,5 / 1,5	2,5 / 1,5

Таблица 2

Последняя цифра шифра	0 1		2 3		4 5		6 7		8 9	
$U_{\text{пред1}}, \text{В}$	500		300		150		100		50	
$U_{\text{пок1}}, \text{В}$	285	439	117	203	142	100	90,3	24,5	36,3	23,4
$U_{\text{пред2}}, \text{В}$	1000		500		300		150		100	
$U_{\text{пок2}}, \text{В}$	287	427	119	208	140	103	91,4	26,7	37,1	24,1

Указание

Пользуясь обозначениями классов точности вольтметров, с учетом используемых пределов измерений и полученных показаний вольтметров, следует определить относительную погрешность δ результата измерений напряжения для обоих вольтметров, что позволит сделать необходимый вывод.

Пределы, в которых находится измеряемое напряжение постоянного тока, определяются зависимостью:

$$U_{\text{пок1(2)}} - \varepsilon_{1(2)} \leq U \leq U_{\text{пок1(2)}} + \varepsilon_{1(2)},$$

где $\pm \varepsilon_{1(2)}$ – абсолютная погрешность результата измерения напряжения.

В табл. 3 приведены формулы для расчета величин $\pm \varepsilon$ и $\pm \delta$ для вольтметров различных классов точности.

Таблица 3

Характеристики	Условное обозначение класса точности		
	p	\textcircled{p}	c/d
Относительная погрешность результата измерения напряжения $\pm \delta, \%$	$p \frac{U_{\text{пред}}}{U_{\text{пок}}}$	p	$c + d \left(\frac{U_{\text{пред}}}{U_{\text{пок}}} - 1 \right)$
Абсолютная погрешность результата измерения напряжения $\pm \epsilon, \text{В}$	$U_{\text{пред}} \cdot p \cdot 10^{-2}$	$U_{\text{пок}} \cdot p \cdot 10^{-2}$	

Задание 2

Постоянный ток измеряется миллиамперметром, имеющим следующие характеристики: **клт** - класс точности, r_A - внутреннее активное сопротивление, указанные в табл. 4.

Таблица 4

Последняя цифра шифра	0 1	2 3	4 5	6 7	8 9
клт	2,5 / 1,5	4,0	4,0	2,5	2,5
$r_A, \text{кОм}$	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0

За показание $I_{\text{пок}}$ миллиамперметра принять расчетное значение тока (с учетом влияния r_A). Миллиамперметр имеет пределы измерений: 1; 2; 5; 10; 20 мА.

Указать пределы, в которых находится измеряемый ток, если на входе цепи действует напряжение E , а сопротивление нагрузки равно R_n . Значения E и R_n указаны в табл. 5.

Таблица 5

Последняя цифра шифра	0 1	2 3	4 5	6 7	8 9
$E, \text{В}$	10	15	20	25	30
$R_n, \text{кОм}$	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5

Указание

В данном случае (при детерминированной аддитивной поправке θ) измеряемый ток находится в пределах:

$$(I_{\text{пок}} + \theta) - \varepsilon \leq I \leq (I_{\text{пок}} + \theta) + \varepsilon,$$

где $\pm \varepsilon$ - абсолютная погрешность результата измерений тока, определяемая по формулам из табл. 3.

Детерминированная поправка к показаниям миллиамперметра определяется по формуле:

$$\theta = \frac{E}{R_H} - \frac{E}{R_H + r_A}.$$

Показание миллиамперметра:

$$I_{\text{пок}} = \frac{E}{R_H + r_A}.$$

Задание 3

Определить пределы, в которых находится активная мощность, выделяемая в нагрузке цепи переменного тока промышленной частоты, измеряемая электромеханическим ваттметром электродинамической системы.

Характеристики ваттметра приведены в табл. 6, где:

клт - класс точности ваттметра;

r_{посл} - сопротивление последовательной обмотки ваттметра;

I_{пар} - номинальный ток параллельной обмотки ваттметра.

Таблица 6

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
клт	2,5		2,5	4,0			1,5	1,5 / 1,0		
r_{посл}, Ом	4,0			2,5				10		
I_{пар}, МА	30									

Напряжение сети U_c , ток сети I_c и угол ϕ сдвига фазы между током и напряжением в нагрузке приведены в табл. 7. За показание ваттметра принять расчетное значение. Ваттметр имеет пределы измерений 20; 40; 60 Вт.

Таблица 7

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_c, В$	150		75		60		30		120	
$I_c, А$	0,3	1,0	0,2	0,5	1,0	0,3	1,5	1,0	0,2	0,5
$\varphi, град$	5		10		8		6		4	

Указание

Измеряемая активная мощность находится в пределах:

$$(P_{\text{пок}} + \theta) - \varepsilon \leq P \leq (P_{\text{пок}} + \theta) + \varepsilon,$$

где $P_{\text{пок}}$ - показание ваттметра;

θ - абсолютная детерминированная поправка к показанию ваттметра, определяемая активными потерями в последовательной и параллельной обмотках ваттметра;

$\pm \varepsilon$ - абсолютная погрешность результата измерения активной мощности.

За показание ваттметра принимаем расчетное значение:

$$P_{\text{пок}} = (U_c - I_c r_{\text{посл}}) I_c \cos \varphi.$$

Абсолютная поправка к показаниям ваттметра может быть определена по формуле:

$$\theta = I_c^2 r_{\text{посл}} + U_c I_{\text{пар}}.$$

Задание 4

Для измерения толщины бумажной ленты применен емкостной принцип преобразования.

Чувствительный элемент имеет размеры (табл. 8):

- площадь пластин конденсатора S ;
- зазор между пластинами δ .

Рассчитать и построить функцию преобразования емкостного преобразователя. Определить по этой характеристике пределы изменений емкости преобразователя, если толщина ленты σ_l , протягиваемой между пластинами, изменяется от σ_{l1} до σ_{l2} (табл. 9).

Диэлектрическая постоянная воздуха $\varepsilon_{\text{возд}} = 8,85 \frac{\text{пФ}}{\text{М}}$, диэлектрическая

постоянная бумаги $\varepsilon_{\text{бум}} = 17,70 \frac{\text{пФ}}{\text{М}}$.

Таблица 8

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S \cdot 10^3, \text{м}^2$	60			40			90			
$\delta, \text{мм}$	8		10		6		8		12	

Таблица 9

Данные	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

$\sigma_{л1}, \text{ мм}$	0,4	0,7	0,5	0,9	1,5
$\sigma_{л2}, \text{ мм}$	0,1	0,2	0,3	0,4	1,0

Указание

Функция преобразования емкостного преобразователя данного типа определяется аналитической зависимостью:

$$C = \frac{S}{\frac{\delta - \sigma_{л}}{\epsilon_{\text{возд}}} + \frac{\sigma_{л}}{\epsilon_{\text{бум}}}},$$

где C - емкость чувствительного элемента.

Построив эту характеристику в координатах $C=f(\sigma_{л})$, можно на ней отметить пределы изменений емкости при изменении толщины ленты от $\sigma_{л1}$ до $\sigma_{л2}$.

Пример: $S = 60 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$

$\delta = 12 \text{ мм}$

$\sigma_{л1} = 4 \text{ мм}$

$\sigma_{л2} = 10 \text{ мм}$.

Решение

Упростим выражение для функции преобразования, подставив в него известные значения:

$$C = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{10^{-3} \left[\frac{2 - \sigma_{л}}{8,85} + \frac{\sigma_{л}}{17,70} \right]} = \frac{60 \cdot 17,70}{2(12 - \sigma_{л}) + \sigma_{л}} = \frac{1050}{24 - \sigma_{л}}.$$

Зададим функцию преобразования таблично (табл. 10).

Таблица 10

$\sigma_{л}, \text{ мм}$	0	10
$C, \text{ пФ}$	44	75

На основании этих данных функция преобразования может быть представлена графически в координатах $C = f(\sigma_{л})$.

На этом графике можно указать пределы изменения выходного информативного параметра (емкости) при изменении преобразуемой величины (толщины $\sigma_{л}$ бумажной ленты) в указанных пределах.

Задание 5

Для измерения амплитудного значения, периода и частоты следования сигнала синусоидальной формы использовался электронно-лучевой осциллограф, причем были выбраны положения органов управления

(коэффициент отклонения $K_{откл}$, коэффициент развертки $K_{разв}$), приведенные в табл. 11.

Отклонение луча на экране осциллографа, соответствующие измеряемым параметрам: по вертикали ℓ_y , по горизонтали ℓ_x , а также относительная погрешность результата измерений β напряжения и временного интервала приведены в табл. 12. Определить пределы, в которых находятся амплитуда, период и частота следования сигнала.

Таблица 11

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{откл}$, В/дел	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02
$K_{разв}$, мс/дел	0,05	0,1	0,2	0,5	50	20	10	5	2	1

Таблица 12

Данные	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ℓ_y , дел	9,2	6,8	5,3	10,3	4,1	7,8	8,3	1,5	2,7	3,4
ℓ_x , дел	1,8	2,3	3,7	4,2	7,5	1,9	5,4	9,3	8,7	5,3
$\pm \beta$, %	5					10				

Указание

Необходимо вспомнить, как измеряют характерные параметры сигналов с помощью электронно-лучевого осциллографа.

Амплитудное значение, период и частота сигнала, определяются с учетом положений соответствующих переключателей, отклонений луча по вертикали и горизонтали, а также характеристик точности средства измерений.

Задание 6

Необходимо измерить частоту или период сигнала переменного тока синусоидальной формы с помощью типового цифрового мультиметра, основные технические характеристики которого приведены в табл. 13 ($F_{пок}$ и $T_{пок}$ – показания мультиметра).

Таблица 13

Диапазон измеряемых частот, Гц	$10 \dots 10^7$
Относительная погрешность результата измерения частоты $\pm \delta_f$, не более	$\pm \sqrt{\delta_0^2 + \left(\frac{1}{F_{пок} \cdot \tau_{сч}}\right)^2}$
Время счета $\tau_{сч}$, мс	1; 10; 10^2 ; 10^3 ; 10^4
Диапазон измеряемых периодов, с	$10^{-7} \dots 100$
Относительная погрешность результата измерения периода $\pm \delta_t$, не более	

	$\pm \sqrt{\delta_0^2 + \left(\frac{0,003}{n}\right)^2 + \left(\frac{T_m}{nT_{\text{пок}}}\right)^2}$
Цена метки времени T_m , мкс	0,01; 0,1; 1,0; 10; 10^2 ; 10^3
Относительная нестабильность частоты кварцеванной меры частоты, $\pm \delta_0$	$\pm 10^{-7}$
Множитель периода, n	1; 10; 10^2

Определить для значения частоты, приведенного в табл. 14, какой параметр (частоту или период) рационально измерить, исходя из требований наибольшей точности показаний.

Таблица 14

Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F, кГц	50	0,03	1,0	500	0,1	10	0,5	100	10^3	0,08

Указание

Необходимо использовать технические характеристики прибора, обратив внимание на точность показаний цифрового мультиметра частотно-временной группы при измерении частоты или периода. Сравнение δ_f и δ_T позволит сделать требуемый вывод.

Задание 7

Напряжение переменного тока частотой порядка 1кГц измеряется на выходе резистивного делителя напряжения R1-R2 с помощью вольтметра, особенности схемного решения, градуировки шкалы, а также основные МХ которого указаны в табл. 15, где тип детектора: А - пиковый; КВ - среднеквадратический; СВ - средневыпрямленного значения; вид входа: О - открытый; З - закрытый. Градуировка шкалы: U_m - в пиковых значениях напряжения любой формы; $U_{\text{ск}}$ - в среднеквадратических значениях напряжения любой формы; U_{sin} - в среднеквадратических значениях напряжения синусоидальной формы; $R_{\text{вх}}$ - активная составляющая входного сопротивления данного вольтметра.

Таблица 15

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип детектора	КВ			СВ				А		
Вид схемы входа	0		3		0		3		3	
Градуировка шкалы	$U_{\text{ск}}$			U_{sin}				U_m		
Класс точности	1,5	1,0/0,5	2,5	2,5	4,0	2,5/0,5	2,5	4,0	2,5/1,5	4,0

$R_{вх}, \text{МОм}$	1,0	5,0	10
$R1(R2), \text{МОм}$	0,1	0,5	1,0

Определить пиковое, среднеквадратическое или средневыпрямленное значение напряжения на выходе делителя напряжения, если оно имеет вид:

- однополярных пилообразных импульсов (ОПИ);
- однополярных импульсов прямоугольной формы со скважностью 3 (ОИ);
- двуполярных импульсов прямоугольной формы со скважностью 2 (ДИ);
- двуполярных импульсов треугольной формы со скважностью 2 (ТИ).

Форма исследуемого сигнала, показание вольтметра $U_{\text{пок}}$, предельное значение его шкалы $U_{\text{пред}}$ и определяемое значение напряжения приведены в табл. 16.

Нестабильностью резисторов делителя $R1(R2)$ пренебречь.

Таблица 16

Данные	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Форма сигнала	ОИ	ОПИ	ТИ	ДИ	ОИ	ОПИ	ТИ	ДИ	ОИ	ОПИ
$U_{\text{пред}}, \text{В}$	300			500			150			
$U_{\text{пок}}, \text{В}$	125	295	185	490	272	184	$\frac{14}{5}$	84,5	57,5	125
Определяемое значение напряжения	среднеквадратическое	пиковое	средневыпрямленное	среднеквадратическое	пиковое	средневыпрямленное	пиковое	средневыпрямленное	среднеквадратическое	пиковое

Указание

Для решения задачи необходимо вспомнить, что понимается под пиковым, среднеквадратичным и средневыпрямленным значениями переменного сигнала, а также понятие коэффициентов амплитуды и формы сигнала.

Из анализа схемных особенностей вольтметра следует выяснить, на какое значение сигнала будет реагировать детектор вольтметра, и какой коэффициент был использован при градуировке шкалы вольтметра.

Все вышеперечисленное позволит определить аналитическую зависимость между показанием вольтметра и любым значением напряжения.

Любые значения напряжения с учетом класса точности вольтметра находятся в пределах:

$$\begin{aligned} (U_m^{(\text{пок})} + \theta) - \varepsilon &\leq U_m \leq (U_m^{(\text{пок})} + \theta) + \varepsilon, \\ (U_{\text{св}}^{(\text{пок})} + \theta) - \varepsilon &\leq U_{\text{св}} \leq (U_{\text{св}}^{(\text{пок})} + \theta) + \varepsilon, \\ (U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} + \theta) - \varepsilon &\leq U_{\text{ск}} \leq (U_{\text{ск}}^{(\text{пок})} + \theta) + \varepsilon, \end{aligned}$$

где $U_m^{(\text{пок})}$, $U_{\text{св}}^{(\text{пок})}$, $U_{\text{ск}}^{(\text{пок})}$ - соответствующие значения напряжения, определенные по показанию;

θ - абсолютная детерминированная поправка к показанию вольтметра;

$\pm \varepsilon$ - абсолютная погрешность результата измерения напряжения.

При $R_1=R_2=R$ абсолютная поправка к показанию вольтметра может быть определена по формуле :

$$\theta = \frac{R / R_{\text{вх}}}{2 + R / R_{\text{вх}}} \cdot U_{\text{пок}}.$$

Пример: тип детектора – СВ;

вид схемы входа – О;

градуировка шкалы – U_{sin} ;

класс точности вольтметра – 2,5;

$R_{\text{вх}}$, МОм... .. .5;

$R_1(R_2)=R$; МОм... .. .5;

Форма сигнала... ОПИ;

Вольтметр на пределе $U_{\text{пред}}$ обеспечивает показание $U_{\text{пок}}$:

$U_{\text{пред}}$, В... .. .500;

$U_{\text{пок}}$, В... .. .184.

Решение:

Необходимо определить пределы, в которых находится средневыпрямленное значения напряжения.

При использовании любого вольтметра переменного тока справедливо тождество: показания всегда соответствуют такому значению исследуемого сигнала, каков в вольтметре детектор.

В данном случае: $U_{\text{пок}} \equiv U_{\text{св}}^{(\text{пок})}$.

Переход от тождества к равенство осуществляется с помощью градуировочного коэффициента (учет особенностей градуировки шкалы):

$$U_{\text{пок}} = 1,11 U_{\text{св}}^{(\text{пок})}.$$

Отсюда средневыпрямленное значение, определенное по показанию:

$$U_{\text{св}}^{(\text{пок})} = \frac{U_{\text{пок}}}{1,11}.$$

Средневыпрямленное значение исследуемого сигнала находится в интервале:

$$\left(\frac{U_{\text{пок}}}{1,11} + \theta\right) - \varepsilon \leq U_{\text{св}} \leq \left(\frac{U_{\text{пок}}}{1,11} + \theta\right) + \varepsilon.$$

Рассчитаем абсолютную детерминированную поправку к показаниям вольтметра:

$$\theta = \frac{\frac{R}{R_{\text{вх}}}}{2 + \frac{R}{R_{\text{вх}}}} \cdot U_{\text{пок}} = \frac{\frac{5}{50}}{2 + \frac{5}{50}} \cdot 184 = 9\text{В.}$$

Рассчитаем $\pm \epsilon$:

$$\pm \epsilon = U_{\text{пред}} \cdot p \cdot 10^{-2} = 500 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} = 12\text{В.}$$

Таким образом:

$$\left(\frac{184}{1,11} + 9\right) - 12 \leq U_{\text{св}} \leq \left(\frac{184}{1,11} + 9\right) + 12(\text{В})$$

$$167 \leq U_{\text{св}} \leq 191 (\text{В}).$$

Задание 8

Необходимо измерить постоянную и среднеквадратическое значение переменной составляющей пульсирующего тока, протекающего в установившемся режиме в цепях, образованных последовательным соединением резистора и катушки индуктивности (цепь RL), либо параллельным соединением резистора и конденсатора (цепь RC), при напряжении на входе цепи, изменяющемся по закону:

$$u(t) = U_0 + U_m \sin \omega t .$$

Расчетные значения R , L , C , U_0 , U_m , ω приведены в табл. 17.

Исследуемая цепь может находиться в сильном магнитном поле.

Для измерений имеется возможность использовать электромеханические амперметры магнитоэлектрической, электромагнитной (астатический прибор) и электродинамической систем с пределами измеряемого тока 0,1; 0,3; 1,0; 3,0 и 10А. Класс точности приборов 1,0.

Определить составляющие тока; выбрать средства измерений; обосновать место включения приборов в цепь; определить пределы, в которых находятся значения токов, с учетом класса точности приборов и поправки за счет влияния внутреннего активного сопротивления приборов r_A .

Таблица 17

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ω , рад/с	200	300	100	500	50	100	200	100	250	500
R, кОм	0,2	0,15	0,3	0,05	1,5	2,0	0,5	0,4	2,5	3,0
L, мГн	1	0,5	3	0,1	0,3	-	-	-	-	-
C, мкФ	-	-	-	-	-	5	10	25	2	1
U_0 , В	200	250	40	120	80	100	250	500	850	150
U_m , В	150	110	30	100	65	80	200	280	700	120
r_A , Ом	10	5	15	2	1	100	20	15	100	80
Наличие магнитного поля	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-

Указание

При заданном законе изменения напряжения на входе цепи ток в цепи в установившемся режиме имеет две составляющие (постоянную и переменную):

$$i(t) = I_0 + I_m \sin(\omega t \pm \varphi),$$

где знак "+" и "-" относятся соответственно к RL и RC схемам.

Обе составляющие могут быть рассчитаны по исходным данным с использованием законов Ома и Кирхгофа.

Постоянная составляющая пульсирующего тока (для обеих схем):

$$I_0 = \frac{U_0}{R}.$$

Комплексное сопротивление цепи для схемы RL определяется по формуле:

$$\dot{Z} = R + j\omega L.$$

$$\text{Модуль этого выражения: } |\dot{Z}| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}.$$

Комплексная проводимость цепи для схемы RC определяется по формуле:

$$\dot{y} = \frac{1}{R} + j\omega C.$$

$$\text{модуль этого выражения: } |\dot{y}| = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2}.$$

Амплитудное значение переменной составляющей пульсирующего тока:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega C)^2}} \text{ (для схемы RL);}$$

$$I_m = U_m \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2} \text{ (для схемы RC).}$$

Среднеквадратическое значение переменной составляющей пульсирующего определяется по формуле:

$$I_{\text{ск}\sim} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Среднеквадратическое значение всего пульсирующего тока определяется по формуле:

$$I_{\text{ск}} = \sqrt{I_0^2 + I_{\text{ск}\sim}^2}.$$

Примем расчетные значения I_0 и $I_{\text{ск}}$ за показания соответствующих приборов.

Далее следует вспомнить особенности использования электромеханических амперметров различных систем – магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической. Амперметры магнитоэлектрической системы годны для измерения только постоянных токов. Они включаются последовательно с нагрузкой.

Пределы, в которых находится измеряемая постоянная составляющая пульсирующего тока:

$$(I_{\text{пок}}^m + \theta_0) - \varepsilon_m \leq I_{\text{пост}} \leq (I_{\text{пок}}^m + \theta_0) + \varepsilon_m,$$

где $I_{\text{пок}}^m$ – показание амперметра магнитоэлектрической системы;

θ_0 – абсолютная детерминированная поправка к показанию амперметра за счет влияния внутреннего активного сопротивления r_A амперметра;

$\pm \varepsilon_m$ – максимально допускаемое абсолютное отклонение показания амперметра магнитоэлектрической системы от измеряемого значения.

Абсолютная поправка к показанию в данном случае может быть определена по формуле:

$$\theta_0 = \frac{U_0}{R} - \frac{U_0}{R + r_A},$$

где r_A – внутреннее активное сопротивление прибора.

Среднеквадратическое значение всего пульсирующего тока может быть измерено с помощью амперметра электромагнитной или электродинамической системы, которые годны для использования в целях и переменного и постоянного тока, и показания которых определяются выражением: $I_{\text{пок}}^{\text{э.д}} = \sqrt{I_0^2 + I_{\text{ск}\sim}^2}$

Выбор амперметра электромагнитной или электродинамической системы определяется наличием внешнего магнитного поля, при его наличии следует применять астатический прибор.

Среднеквадратическое значение переменной составляющей пульсирующего тока может быть измерено при помощи двух приборов, измеряющих соответственно постоянную составляющую и среднеквадратическое значение пульсирующего тока с последующим вычислением по формуле:

$$I_{\text{пок}\sim} = \sqrt{(I_{\text{пок}}^m)^2 + (I_{\text{пок}}^{\text{э.д}})^2}$$

Среднеквадратическое значение переменной составляющей пульсирующего тока находится в пределах: $(I_{\text{пок}} + \theta_{\sim}) - \varepsilon_{\sim} \leq I_{\text{ск}} \leq (I_{\text{пок}} + \theta_{\sim}) + \varepsilon_{\sim}$,

где θ_{\sim} - абсолютная детерминированная погрешность к показанию $I_{\text{пок}}$:

$$\theta_{\sim} = \frac{U_m}{\sqrt{2}\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} - \frac{U_m}{\sqrt{2}\sqrt{(R + r_A)^2 + (\omega L)^2}} \quad (\text{для схемы RL});$$

$$\theta_{\sim} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2} - \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R + r_A}\right)^2 + (\omega C)^2} \quad (\text{для схемы RC});$$

$\pm \varepsilon_{\sim}$ - максимально допустимое абсолютное отклонение показания от среднеквадратического значения переменной составляющей:

$$\pm \varepsilon_{\sim} = \sqrt{\frac{(I_{\text{пок}}^{\text{э}})^2 \varepsilon_{\text{э}}^2 + (I_{\text{пок}}^{\text{м}})^2 \varepsilon_{\text{м}}^2}{(I_{\text{пок}}^{\text{э}})^2 - (I_{\text{пок}}^{\text{м}})^2}},$$

где $\varepsilon_{\text{э}}$ и $\varepsilon_{\text{м}}$ - абсолютные погрешности показаний приборов электромагнитной и магнитоэлектрической систем.

Приложение Б

Комплект контрольных вопросов

1. Дайте определение измерению.
2. Поясните термин «средство измерений».
3. Поясните термин «метод измерений».
4. Какие структурные схемы СИ используются, и каковы их достоинства?
5. Дайте определение метрологическим характеристикам.
6. Приведите примеры мер, измерительных преобразователей и приборов.
7. Поясните назначение измерительных установок и систем.
8. Приведите примеры метрологических характеристик СИ.
9. Поясните, в чем заключается подготовка к измерениям.
10. Поясните назначение МВИ.
11. Перечислите основные этапы разработки МВИ.
12. Перечислите типовые ФВ электрических и магнитных величин.
13. Поясните принципы действия электромеханических измерительных преобразователей электрических величин в неэлектрические.
14. Перечислите достоинства и недостатки электромеханических вольтметров магнитоэлектрической системы.
15. Перечислите достоинства и недостатки электромеханических вольтметров и амперметров электромагнитной системы.
16. Поясните, чем определяется применение электромеханических СИ в достаточно узком диапазоне измерительных токов и напряжений.
17. Перечислите достоинства электронных аналоговых (стрелочных) вольтметров.
18. Перечислите достоинства цифровых вольтметров.
19. Приведите примеры СИ активной мощности.
20. Приведите примеры СИ магнитных ФВ.