

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Улан-Удэнский колледж железнодорожного транспорта -  
филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»  
(УУКЖТ ИрГУПС)



И.В.Павлов

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению домашней контрольной работы

дисциплины ОП.11. Электрические измерения

для специальности

27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте  
(железнодорожном транспорте)

*Базовая подготовка  
среднего профессионального образования*

*Заочная форма обучения на базе среднего общего образования*

УЛАН-УДЭ 2021

УДК 621. 30  
ББК 32.85  
Ф – 32

Павлов И.В.

Ф. ОП.11 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ [Текст]: Методические указания по выполнению Лабораторных работ для обучающихся очной формы обучения специальности 27.02.03 «Автоматика и телемеханика на транспорте ( железнодороджном транспорте)»/ И.В.Павлов: Улан-Удэнский колледж железнодороджного транспорта ИрГУПС. – Улан-Удэ: Сектор информационного обеспечения учебного процесса УУКЖТ ИрГУПС, 2021. – 44 с.

Методические указания по выполнению практических работ дисциплины ОП.11 Электрические измерения содержат пояснительную записку, 7 лабораторных работ с указанием дидактических целей, перечень рекомендуемой учебной литературы, перечень лабораторного оборудования, порядок выполнения работ, контрольные вопросы

УДК 621.30  
ББК 32.85

Рассмотрено на заседании ЦМК протокол № 5 от 07.06.2021 и одобрено на заседании Методического совета колледжа протокол №7 от 07.06.21

## Содержание

Пояснительная записка	4
Задания для домашней контрольной работы	6
Содержание дисциплины	7
Задачи к домашней контрольной работе	10
Методические указания по выполнению домашней контрольной работы	27
Рекомендуемая учебная литература	35

## Пояснительная записка

Методические указания по выполнению домашней контрольной работы разработаны в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины ОП.08 Электрические измерения для специальности 27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте (железнодорожном транспорте) и требованиями к результатам освоения программы подготовки специалистов среднего звена ФГОС СПО данной специальности (базовая подготовка). Методические указания предназначены для студентов 1 курса заочной формы обучения.

Домашняя контрольная работа – это самостоятельная работа обучающихся, которая выполняется в установленное время и в установленном объеме индивидуально без непосредственной помощи преподавателя.

Самостоятельная работа обучающихся проводится с целью:

- формирования компетенций, предусмотренных ФГОС СПО по специальности 27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте (железнодорожном транспорте);
- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- развитию исследовательских умений.

Учебным планом специальности 27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте (железнодорожном транспорте) (заочная форма обучения) для дисциплины ОП.08 Электрические измерения предусмотрено 115 часов на самостоятельную работу обучающихся. Рабочей учебной программой дисциплины определены следующие виды ВСР: проработка учебной литературы, выполнение индивидуальной домашней контрольной работы.

Рабочей программой учебной дисциплины предусмотрено выполнение одной контрольной работы. К контрольной работе даны методические указания с примерами решения подобных задач. Материал дисциплины основывается на знаниях, полученных на занятиях электротехники, математики. Основную часть теоретического материала студенты – заочники изучают самостоятельно по рекомендуемой литературе.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:

- проводить электрические измерения параметров электрических

сигналов приборами и устройствами различных типов и оценивать качество полученных результатов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- приборы и устройства для измерения параметров в электрических цепях и их классификацию;
- методы измерения и способы их автоматизации;
- методику определения погрешности измерений и влияние измерительных приборов на точность их измерений.

## Задание для домашней контрольной работы

Задания на контрольную работу составлены в 50 вариантах. Вариант, подлежащий решению, определяется по двум последним цифрам шифра студента таблицы 1.

Таблица 1 - Варианты контрольных работ.

Две последние цифры шифра	Но-мер вари-анта	Номера задач	Две последние цифры шифра	Но-мер вари-анта	Номера задач
01 или 51	1	10 16 21 34 43	26 или 76	26	3 16 30 38 44
02 или 52	2	9 11 27 31 44	27 или 77	27	2 13 25 34 48
03 или 53	3	8 17 22 35 49	28 или 78	28	1 18 24 35 50
04 или 54	4	7 12 25 36 50	29 или 79	29	10 11 29 36 45
05 или 55	5	6 18 24 32 41	30 или 80	30	9 15 28 37 43
06 или 56	6	5 13 30 37 42	31 или 81	31	2 14 26 39 47
07 или 57	7	4 13 23 38 45	32 или 82	32	1 13 25 32 48
08 или 58	8	3 14 29 40 46	33 или 83	33	3 13 22 34 45
09 или 59	9	2 20 28 33 47	34 или 84	34	4 20 21 35 50
10 или 60	10	1 15 26 39 48	35 или 85	35	5 11 27 38 44
11 или 61	11	4 12 27 31 49	36 или 86	36	6 16 24 31 43
12 или 62	12	5 14 26 32 48	37 или 87	37	7 15 28 40 49
13 или 63	13	6 11 24 33 41	38 или 88	38	8 12 23 36 41
14 или 64	14	7 19 21 34 42	39 или 89	39	9 18 23 37 42
15 или 65	15	8 13 25 39 50	40 или 90	40	10 17 30 33 46
16 или 66	16	9 17 23 35 44	41 или 91	41	1 14 23 38 46
17 или 67	17	10 18 22 37 46	42 или 92	42	2 13 24 31 49
18 или 68	18	1 15 30 40 43	43 или 93	43	3 18 23 40 47
19 или 69	19	2 20 28 36 45	44 или 94	44	4 12 25 33 48
20 или 70	20	3 16 29 38 47	45 или 95	45	5 17 21 34 45
21 или 71	21	8 14 21 33 46	46 или 96	46	6 13 30 32 44
22 или 72	22	7 12 27 32 49	47 или 97	47	7 20 22 36 41
23 или 73	23	6 20 22 39 48	48 или 98	48	8 16 26 39 50
24 или 74	24	5 17 23 31 42	49 или 99	49	9 16 27 35 42
25 или 75	25	4 13 26 40 41	50 или 100	50	10 11 28 37 43

## Содержание дисциплины

### 5.1 Основы метрологии

Значение электрических измерений для обеспечения безопасности движения поездов, повышения пропускной способности. Классификация методов измерений. Погрешности измерений и приборов.

Основные понятия и определения, относящиеся к мерам и приборам.

### 5.2 Общие сведения об электроизмерительных приборах

Классификация по системам, степени точности и другим признакам.

Общая схема устройства электроизмерительного прибора непосредственной оценки. Детали, основные технические характеристики. Условные обозначения на шкалах. Требования, предъявляемые к измерительным приборам.

### 5.3. Приборы непосредственной оценки

Классификация приборов для измерения тока и напряжения. Устройство, принцип действия, достоинства, недостатки и область применения электроизмерительных приборов магнитоэлектрической, термоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, ферродинамической и электростатической систем.

### 5.4 Измерение мощности и энергии

Измерение мощности в цепи постоянного и однофазного переменного тока электродинамическим ваттметром. Включение прибора в цепь, определение цены деления. Ферродинамический ваттметр. Измерение активной мощности в цепях трехфазного тока одним, двумя и тремя ваттметра. Трехфазные ваттметры.

Понятие об измерении реактивной мощности.

Измерение энергии в цепях однофазного и трехфазного переменного тока. Схемы включения двух- и трехэлементных счетчиков в цепях трехфазного тока.

Понятие об измерении мощности и энергии в цепях переменного тока с применением измерительных трансформаторов напряжения и тока.

### 5.5. Измерение коэффициента мощности и частоты переменного тока

Измерение коэффициента мощности в цепях переменного тока, Электродинамический и ферродинамический фазометры однофазного и трехфазного тока.

Измерение частоты в цепях промышленного переменного тока. Электродинамический, ферродинамический и вибрационный частотомеры,

## 5.6. Измерение электрических сопротивлений

Классификация электрических сопротивлений по величине и методике измерений.

Измерение средних сопротивлений косвенным методом (при помощи амперметра-вольтметра) и одинарным измерительным мостом на постоянном токе.

Принцип действия и схемы омметров с однорамочным и двухрамочным (логометрическим) измерительными механизмами.

Понятие об измерении малых сопротивлений двойным измерительным мостом.

Измерение больших сопротивлений мегомметром. Измерение сопротивления изоляции.

Понятие о сопротивлении заземления. Методы измерения сопротивления заземления (амперметром-вольтметром и компенсационным методом). Приборы для измерения сопротивления заземлений типа МС-08 и М 416, принцип действия, схемы приборов. Схема и методика измерения этими приборами.

## 5.7. Цифровые измерительные приборы и аналого-цифровые преобразователи

Основные определения и принцип действия, характеристики, достоинства, недостатки, область применения.

Цифровые вольтметры постоянного и переменного тока, их структурные схемы, принцип действия, применение.

## 5.8. Регистрирующие приборы

Назначение, классификация и применение самопишущих приборов.

Принцип действия и устройство самопишущих приборов с непрерывной и точечной записью.

Осциллограф, принцип действия и область применения.

## 5.9. Измерение емкости, индуктивности и взаимной индуктивности

Измерение емкости косвенным методом и методом сравнения. Фарадометры.

Измерение индуктивности и взаимной индуктивности косвенным методом. Способ согласованного и встречного включения обмоток.

Теория моста переменного тока. Мосты с отношением и произведением плеч. Универсальный мост переменного тока Е7-4.



Измерение емкости и величины угла потерь конденсатора мостом переменного тока. Измерение индуктивности и взаимной индуктивности мостом переменного тока.

#### 5.10. Измерение неэлектрических величин электрическими методами

Общие принципы измерения неэлектрических величин электрическими методами. Параметрические преобразователи неэлектрических величин в электрические (реостатные, контактного сопротивления, термочувствительные, индуктивные и емкостные), их применение. Генераторные преобразователи (индукционные и термоэлектрические), их применение.

Методы преобразования магнитных величин в электрические.

Измерение характеристик магнитного потока в постоянном и переменном магнитном поле.

#### 5.11. Телеизмерения

Общие сведения о телеизмерениях. Классификация телеизмерительных систем. Частотная и импульсная системы измерений. Применение систем телеизмерений на железнодорожном транспорте.

## Задачи к домашней контрольной работе

### Задача 1.

При поверке технического вольтметра электромагнитной системы типа Э-378, имеющего предел измерения (номинальное напряжение) 250 В, была определена его наибольшая абсолютная погрешность:  $\Delta U_{\text{НАИБ}} = 3,75$  В.

Определите:

- 1) класс точности вольтметра  $\gamma_{\text{Д}}$ ;
- 2) пределы действительного значения измеряемой величины  $U_{1\text{Д}}$  и  $U_{2\text{Д}}$ , если показание вольтметра равно  $U = 220$  В.
- 3) наибольшую возможную относительную погрешность измерения, если вольтметр показал  $U_1 = 100$  В.
- 4) наибольшую возможную относительную погрешность измерения, если вольтметр показал  $U_2 = 200$  В.

Укажите, в какой части шкалы прибора измерения получают более точными. Поясните, на основании чего сделан вывод.

### Задача 2.

Для измерения напряжения в цепи постоянного тока использовались два вольтметра:

первый типа М I214 с пределом измерения (номинальным напряжением)  $U_{\text{Н1}} = 50$  В и классом точности  $\gamma_{\text{Д1}} = 1\%$ ,

второй типа С70 с пределом измерения  $U_{\text{Н1}} = 10$  В с классом точности  $\gamma_{\text{Д2}} = 1,5\%$ .

Определите:

- 1) наибольшую абсолютную погрешность первого вольтметра  $\Delta U_{\text{НАИБ1}}$ ;
- 2) наибольшую абсолютную погрешность второго вольтметра  $\Delta U_{\text{НАИБ2}}$ ;
- 3) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{\text{НВ1}}$  при измерении первым вольтметром  $U_1 = 9,5$  В ;
- 4) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{\text{НВ2}}$ , при измерении вторым вольтметром  $U_2 = 9,5$  В.

Укажите прибор, который выполнит измерение с большей точностью. Поясните, на основании чего сделан вывод.

### Задача 3.

Измерение мощности нагрузки в цепи постоянного тока выполнено косвенным методом при помощи амперметра и вольтметра. При этом были использованы: амперметр типа М 342, имеющий предел измерения (номинальный ток)  $I_{\text{Н}} = 20$  А и класс точности  $\gamma_{\text{Д}} = 2,5\%$ , вольтметр типа

М 717 с пределом измерения (номинальным напряжением)  $U_{НОМ1} = 150$  В и классом точности  $\gamma_D = 1,5\%$ . Показания приборов: амперметра  $I = 8$  А; вольтметра  $U = 100$  В.

Определите:

- 1) мощность потребителя  $P$ ;
- 2) наибольшую возможную относительную погрешность при измерении тока  $I = 8$  А -  $\gamma_{НВИ}$ ;
- 3) наибольшую возможную относительную погрешность при измерении напряжения  $U = 100$  В -  $\gamma_{НВU}$ ;
- 4) наибольшую возможную относительную погрешность при измерении мощности  $\gamma_{НВР}$ ;
- 5) наибольшую абсолютную погрешность измерения мощности  $\Delta P_{НАИБ}$ .

#### **Задача 4**

Ваттметр типа Д 5004, рассчитанный по напряжению на  $U_H = 300$  В и на ток  $I_H = 5$  А, имеет шкалу с числом делений  $\alpha_H = 150$ . Класс точности его  $\gamma_D = \pm 0,5\%$

Определите:

- 1) постоянную (цену деления) ваттметра;
- 2) величину мощности  $P$ , измеренную ваттметром, если его стрелка отклонилась на 100 делений;
- 3) наибольшую абсолютную погрешность прибора  $\Delta P_{НАИБ}$ ;
- 4) пределы действительного значения измеренной величины  $P_{Д1}$  и  $P_{Д2}$  при измерении мощности, определённой во 2-ом пункте задачи;
- 5) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{НВ}$  при измерении мощности  $P$ .

#### **Задача 5**

Миллиамперметр типа Э 513 имеет предел измерения (номинальный ток)  $I_H = 500$  мА, класс точности  $\gamma_D = 0,5\%$ , число делений шкалы  $\alpha_H = 100$  делений.

Определите:

- 1) постоянную прибора (цену деления шкалы)  $S_I$ ;
- 2) чувствительность прибора  $S_I$ ;
- 3) наибольшую абсолютную погрешность прибора  $\Delta I_{НАИБ}$ ;
- 4) величину тока  $I$ , протекающего в цепи, если стрелка миллиамперметра отклонилась на  $\alpha = 50$  делений;
- 5) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{НВ}$  при измерении тока  $I$ .

### Задача 6

При поверке технического вольтметра электромагнитной системы Типа Э-378, имеющего предел измерения (номинальное напряжение)  $U_{\text{НОМ}} = 300 \text{ В}$ , была определена его наибольшая абсолютная погрешность  $\Delta U_{\text{НАИБ}} = 4,25 \text{ В}$ .

Определите:

- 1) класс точности вольтметра  $\gamma_{\text{Д}}$ ;
- 2) пределы действительного значения измеряемой величины  $U_{\text{Д1}}$  и  $U_{\text{Д2}}$ , если показание вольтметра равно  $U = 250 \text{ В}$ ;
- 3) наибольшую возможную относительную погрешность измерения  $\gamma_{\text{НВ1}}$ , если вольтметр показал  $U_1 = 200 \text{ В}$ ;
- 4) наибольшую возможную относительную погрешность измерения  $\gamma_{\text{НВ2}}$ , если вольтметр показал  $U_2 = 240 \text{ В}$ .

Укажите, в какой части шкалы прибора измерения получаются более точными. Поясните, на основании чего сделан вывод.

### Задача 7

Для измерения напряжения в цепи постоянного тока использовались два вольтметра:

первый типа М1214 с пределом измерения (номинальным напряжением)  $U_{\text{Н1}} = 100 \text{ В}$  и классом точности  $\gamma_{\text{Д1}} = 1\%$ , второй типа С70 с пределом измерения  $U_{\text{Н2}} = 50 \text{ В}$  и классом точности  $\gamma_{\text{Д2}} = 1,5\%$ .

Определите:

- 1) наибольшую абсолютную погрешность первого вольтметра  $\Delta U_{\text{НАИБ1}}$ ;
- 2) наибольшую абсолютную погрешность второго вольтметра  $\Delta U_{\text{НАИБ2}}$ ;
- 3) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{\text{НВ1}}$  при измерении первым вольтметром  $U_1 = 42 \text{ В}$ ;
- 4) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{\text{НВ2}}$  при измерении вторым вольтметром  $U_2 = 42 \text{ В}$ .

Укажите прибор, который выполнит измерение с большей точностью. Поясните, на основании чего сделан вывод.

### Задача 8

Измерение мощности нагрузки в цепи постоянного тока выполнено косвенным методом при помощи амперметра и вольтметра. При этом были использованы: амперметр типа М342, имеющий предел измерения (номинальный ток)  $I_{\text{Н}} = 10 \text{ А}$  и класс точности  $\gamma_{\text{Д}} = 1,5\%$ ; вольтметр типа М717 с пределом измерения (номинальным напряжением)  $U_{\text{Н}} = 200 \text{ В}$  и классом точности  $\gamma_{\text{Д}} = 1,0\%$ . Показания приборов: амперметра  $I = 6 \text{ А}$ ;

вольтметра  $U = 140 \text{ В}$ .

Определите:

- 1) мощность потребителя  $P$ ;
- 2) наибольшую возможную относительную погрешность при измерении тока  $I = 6 \text{ А}$  -  $\gamma_{\text{НВ}I}$ ;
- 3) наибольшую возможную относительную погрешность при измерении напряжения  $U = 140 \text{ В}$  -  $\gamma_{\text{НВ}U}$ ;
- 4) наибольшую возможную относительную погрешность при измерении мощности  $\gamma_{\text{НВ}P}$ ;
- 5) наибольшую абсолютную погрешность измерения мощности  $\Delta P_{\text{НАИБ}}$ ;

### **Задача 9**

Ваттметр типа Д 5004, рассчитанный на напряжение  $U_{\text{Н}} = 450 \text{ В}$  и на ток  $I_{\text{Н}} = 10 \text{ А}$ , имеет шкалу с числом делений  $\alpha_{\text{Н}} = 150$ . Класс точности его  $\gamma_{\text{Д}} = \pm 0,5\%$ .

Определите:

- 1) постоянную (цену деления) ваттметра;
- 2) величину мощности  $P$ , измеренную ваттметром, если его стрелка отклонилась на 120 делений;
- 3) наибольшую абсолютную погрешность прибора  $\Delta P_{\text{НАИБ}}$ ;
- 4) пределы действительного значения измеренной величины  $P_{\text{Д1}}$  и  $P_{\text{Д2}}$  при измерении мощности, определенной во 2-ом пункте задачи;
- 5) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{\text{НВ}}$  при измерении мощности  $P$ .

### **Задача 10**

Миллиамперметр типа Э 513 имеет предел измерения (номинальный ток)  $I_{\text{Н}} = 250 \text{ мА}$ , класс точности  $\gamma_{\text{Д}} = 5\%$ , число делений шкалы  $\alpha_{\text{Н}} = 100$  делений.

Определите:

- 1) постоянную прибора (цену деления шкалы)  $C_I$ ;
  - 2) чувствительность прибора  $S_I$ ;
  - 3) наибольшую абсолютную погрешность прибора  $\Delta I_{\text{НАИБ}}$ ;
  - 4) величину тока  $I$ , протекающего в цепи, если стрелка амперметра отклонилась на 65 делений;
  - 5) наибольшую возможную относительную погрешность  $\gamma_{\text{НВ}}$  при измерении тока;
- Расшифруйте обозначение типа прибора.

## Задача 11

А. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы, рассчитанный на номинальный ток  $I_H = 20$  мА, имеет сопротивление  $R_H = 5$  Ом и шкалу на 50 делений. Прибор, используемый в качестве амперметра, включается с шунтом, имеющим сопротивление  $R_{Ш} = 0,01235$  Ом.

Начертите схему включения амперметра с шунтом в цепь нагрузки. Определите:

- 1) номинальное напряжение шунта  $U_{Ш}$ ;
- 2) ток шунта  $I_{Ш}$ ;
- 3) предельное значение тока, которое может измерить измерительный прибор с шунтом  $I_H$ ;
- 4) постоянную (цену деления) амперметра, включенного совместно с шунтом  $S_1$ ;
- 5) величину тока  $I$ , измеряемого амперметром, если стрелка прибора отклонилась на  $\alpha = 40$  делений.

Поясните, для чего применяют шунты. Приведите установленные ГОСТом номинальные напряжения и классы точности шунтов.

Б. Измерительный механизм вольтметра магнитоэлектрической системы имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 6000$  Ом и рассчитан на номинальное напряжение  $U = 30$  В. Встроенный внутри вольтметра добавочный резистор имеет сопротивление  $R_{Д} = 115$  кОм. Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) ток вольтметра  $I$ ;
- 2) предельное значение напряжения, которое можно измерить вольтметром с добавочным резистором  $U_H$ ;

## Задача 12

А. Многопредельный амперметр магнитоэлектрической системы рассчитан на три номинальных значения тока:  $I_{H1} = 0,5$  А;  $I_{H2} = 1,0$  А;  $I_{H3} = 2,5$  А. Номинальный ток измерительного механизма  $I_H = 20$  мА и номинальное напряжение  $U_H = 100$  мВ.

Начертите схему включения измерительного механизма с многопредельным шунтом для измерения тока нагрузки и обозначьте выводы шунта для каждого из пределов измерения амперметра.

Определите:

- 1) сопротивление рамки измерительного механизма  $R_{И}$ ;
- 2) необходимые сопротивления участков многопредельного шунта  $R_{Ш1}$ ,  $R_{Ш2}$ ,  $R_{Ш3}$  для каждого из пределов измерения амперметра;
- 3) каждое из трех сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , из которых состоит измерительный шунт.

Б. Измерительный механизм вольтметра магнитоэлектрической системы имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 2500$  Ом и включается с добавочным резистором, сопротивление которого  $R_{Д} = 20$  кОм. При этом предельное значение измеряемого вольтметром напряжения  $U_{Н} = 600$  В. Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) напряжение, которое может измерить измерительный механизм без добавочного резистора;
- 2) падение напряжения на добавочном резисторе  $U_{Д}$ ;
- 3) потери мощности в добавочном резисторе  $P_{Д}$ .

### **Задача 13**

А. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 2,5$  Ом; постоянная прибора (цена деления)  $C_1 = 0,5$  мА/дел; число делений шкалы  $\alpha_{Н} = 100$ .

Используя данный измерительный механизм, необходимо создать амперметр с пределами измерения (номинальным током)  $I_{Н} = 20$  А.

Начертите схему включения измерительного механизма с шунтом в цепь нагрузки.

Определите:

- 1) номинальный ток измерительного механизма  $I_{Н}$ ;
- 2) ток шунта  $I_{Ш}$ ;
- 3) сопротивление шунта  $R_{Ш}$ ;
- 4) потери мощности в шунте  $P_{Ш}$  и в измерительном механизме  $P_{И}$ ;
- 5) постоянную (цену деления) миллиамперметра, включенного совместно с шунтом;
- 6) величину тока  $I$ , измеряемого миллиамперметром, если стрелка прибора отклонилась на  $\alpha = 60$  делений.

Опишите конструктивное выполнение шунтов, количество и назначение зажимов у шунтов.

Б. Измерительный механизм вольтметра магнитоэлектрической системы рассчитан на номинальный ток  $I_{Н} = 5$  мА при напряжении  $U = 75$  мВ. Предел измерения вольтметра  $U = 150$  В.

Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) сопротивление добавочного резистора  $R_{Д}$ ;
- 2) падение напряжения на добавочном резисторе  $U_{Д}$ ;
- 3) потерю мощности в вольтметре  $P_{V}$ .

### Задача 14

А. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы имеет сопротивление  $R_{И} = 300 \text{ Ом}$  и рассчитан на номинальный ток  $I_{И} = 5 \text{ мА}$ . Число делений шкалы  $\alpha_{Н} = 30$ .

Используя данный измерительный механизм, необходимо создать вольтметр, имеющий предел измерения (номинальное напряжение)  $U_{Н} = 150 \text{ В}$ . Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) напряжение  $U_{И}$ , которое может измерить измерительный механизм без добавочного резистора;
- 2) величину сопротивления добавочного резистора  $R_{Д}$ ;
- 3) падение напряжения на добавочном резисторе  $U_{Д}$ ;
- 4) потерю мощности в добавочном резисторе  $P_{Д}$ ;
- 5) постоянную (цену деления) вольтметра, включенного совместно с добавочным резистором;
- 6) величину напряжения  $U$ , измеряемого вольтметром с добавочным резистором, если стрелка прибора отклонилась на  $\alpha = 20$  делений.

Поясните, для чего применяют добавочные резисторы, какие величины указываются на добавочных резисторах.

Б. Рамка измерительного механизма магнитоэлектрической системы рассчитана на номинальное напряжение  $U_{Н} = 75 \text{ мВ}$  и номинальный ток  $I_{Н} = 15 \text{ мА}$ .

Используя данный измерительный механизм; необходимо создать амперметр с пределом измерения  $I_{Н} = 300 \text{ А}$ .

Начертите схему включения амперметра совместно с шунтом в цепь нагрузки.

Определите:

- 1) сопротивление цепи рамки измерительного механизма  $R_{И}$ ;
- 2) сопротивление измерительного шунта  $R_{Ш}$ .

### Задача 15

А. Многопредельный вольтметр магнитоэлектрической системы рассчитан на три номинальных значения напряжения:  $U_{Н1} = 15 \text{ В}$ ;  $U_{Н2} = 30 \text{ В}$ ;  $U_{Н3} = 150 \text{ В}$ . Сопротивление рамки измерительного механизма равно  $30 \text{ Ом}$ , номинальный ток измерительного механизма  $I_{Н} = 5 \text{ мА}$ .

Начертите схему включения измерительного механизма с многопредельным добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки и обозначьте выводы добавочного резистора для каждого из пределов измерения вольтметра.

Определите:

- 1) необходимое сопротивление добавочных резисторов  $R_{Д1}$ ,  $R_{Д2}$ ,  $R_{Д3}$  для



пределов измерения  $U_{Н1}, U_{Н2}, U_{Н3}$ ;

- 2) сопротивления  $R_1, R_2, R_3$ , из которых состоит добавочный резистор;
- 3) мощности, потребляемые прибором на каждом пределе измерения.

Б. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы, рассчитанный на номинальный ток  $I_N = 2,5$  мА, имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 0,8$  Ом и включается для измерения тока с измерительным шунтом, сопротивление которого  $R_{Ш} = 0,0250$  Ом.

Начертите схему включения амперметра совместно с шунтом в цепь нагрузки.

Определите предельную величину тока, которую можно измерить, указанным прибором, включенным совместно с шунтом  $I_{И}$ .

### **Задача 16**

А. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы, рассчитанный на номинальный ток  $I_N = 50$  мА, имеет сопротивление  $R_{И} = 2$  Ом и шкалу на 100 делений. Прибор включается с шунтом, имеющим сопротивление  $R_{Ш} = 0,0202$  Ом.

Начертите схему включения амперметра с шунтом в цепь нагрузки.

Определите:

- 1) номинальное напряжение шунта  $U_{Ш}$ ;
- 2) ток шунта  $I_{Ш}$ ;
- 3) предельное значение тока, которое может измерить измерительный прибор с шунтом  $I_{И}$ ;
- 4) постоянную (цену деления) амперметра, включенного совместно с шунтом  $C_I$ ;
- 5) величину тока  $I$ , измеряемого амперметром, если стрелка прибора отклонилась на  $\alpha = 70$  делений.

Поясните, для чего применяются шунты. Приведите установленные ГОСТом номинальные напряжения и классы точности шунтов.

Б. Измерительный механизм вольтметра магнитоэлектрической системы имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 4000$  Ом и рассчитан на номинальное напряжение  $U_N = 20$  В. Встроенный внутри вольтметра добавочный резистор имеет сопротивление  $R_D = 496$  кОм.

Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) ток вольтметра  $I_{И}$ ;
- 2) ПРЕДЕЛЬНОЕ

### **Задача 17**

А. Многопредельный амперметр магнитоэлектрической системы рассчитан на три номинальные значения тока:  $I_{Н1} = 1$  А;  $I_{Н2} = 2,5$  А;  $I_{Н3}$

= 5 А. Номинальный ток измерительного механизма  $I_{И} = 25$  мА и номинальное напряжение  $U_{Н} = 150$  мВ.

Начертите схему включения измерительного механизма с многопредельным шунтом для измерения тока нагрузки и обозначьте выводы шунта для каждого из пределов измерения амперметра.

Определите:

- 1) сопротивление рамки измерительного механизма
- 2) необходимые сопротивления участков многопредельного шунта  $R_{Ш1}, R_{Ш2}, R_{Ш3}$  для каждого из пределов измерения амперметра.
- 3) каждое из трех сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$ , из которых состоит измерительный шунт.

Б. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 2000$  Ом и включается с добавочным резистором, сопротивление которого  $R_{Д} = 30$  кОм. При этом предельное значение измеряемого вольтметром напряжения  $U_{Н} = 1400$  В.

Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) напряжение  $U_{И}$ , которое может измерить измерительный механизм без добавочного резистора;
- 2) падение напряжения на добавочном резисторе  $U_{Д}$ ;
- 3) потери мощности в добавочном резисторе  $P_{Д}$ .

### Задача 18

А. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 1,5$  Ом; постоянная прибора (цена деления)  $C_I = 0,2$  мА/дел; число делений шкалы  $\alpha_{Н} = 150$ .

Используя данный измерительный механизм, необходимо создать амперметр с пределами измерения (номинальным током)  $I_{Н} = 6$  А.

Начертите схему включения измерительного механизма с шунтом в цепь нагрузки.

Определите:

- 1) номинальный ток измерительного механизма  $I_{И \max}$ ;
- 2) ток шунта  $I_{Ш \max}$ ;
- 3) сопротивление шунта  $R_{Ш}$ ;
- 4) потери мощности в шунте  $P_{Ш}$  и в измерительном механизме  $P_{И}$ ;
- 5) постоянную (цену деления) миллиамперметра, включенного совместно с шунтом  $C_I$ ;
- 6) величину тока  $I$ , измеряемого миллиамперметром, если стрелка прибора отклонилась на  $\alpha = 120$  делений.

Опишите конструктивное выполнение шунтов, количество и назначение зажимов у шунтов.

Б. Измерительный механизм вольтметра магнитоэлектрической

системы рассчитан на номинальный ток  $I_{И} = 8$  мА при напряжении  $U_{Н} = 40$  мВ. Предел измерения вольтметра  $U_{Н} = 100$  В.

Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) сопротивление добавочного резистора  $R_{Д}$ ;
- 2) падение напряжения на добавочном резисторе  $U_{Д}$ ;
- 3) потерю мощности на вольтметре  $P_{V}$ .

### Задача 19

Измерительный механизм магнитоэлектрической системы имеет сопротивление  $R_{И} = 250$  Ом и рассчитан на номинальный ток  $I_{И} = 2$  мА. Число делений шкалы  $\alpha_{Н} = 50$ .

Используя данный измерительный механизм, необходимо создать вольтметр, имеющий предел измерения (номинальное напряжение)  $U_{Н} = 200$  В. Начертите схему включения вольтметра с добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки.

Определите:

- 1) напряжение  $U_{Нмакс}$ , которое может измерять измерительный механизм без добавочного резистора;
- 2) величину сопротивления добавочного резистора  $R_{Д}$ ;
- 3) падение напряжения на добавочном резисторе  $U_{Д}$ ;
- 4) потерю мощности в добавочном резисторе  $P_{Д}$ ;
- 5) постоянную (цену деления) вольтметра, включенного совместно с добавочным резистором  $S_{V}$ ;
- 6) величину напряжения  $U$ , измеряемого вольтметром с добавочным резистором, если стрелка прибора отклонилась на  $\alpha = 36$  делений.

Поясните для чего применяют добавочные резисторы, какие величины указывают на добавочных резисторах.

Б. РАМКА измерительного механизма магнитоэлектрической системы рассчитана на номинальное напряжение  $U_{И} = 40$  мВ и номинальный ток  $I_{И} = 5$  мА.

Используя данный измерительный механизм, необходимо создать амперметр с пределом измерения  $I_{Н} = 150$  А.

Начертите схему включения амперметра совместно с шунтом в цепь нагрузки.

Определите:

- 1) сопротивление цепи рамки измерительного механизма  $R_{И}$ ;
- 2) сопротивление измерительного шунта  $R_{Ш}$ .

## Задача 20

А. Многопредельный вольтметр магнитоэлектрической системы рассчитан на три номинальных значения напряжения:  $U_{Н1} = 50$  В;  $U_{Н2} = 150$  В;  $U_{Н3} = 300$  В. Сопротивление рамки измерительного механизма равно  $R_{И} = 20$  Ом, номинальный ток измерительного механизма  $I_{И} = 15$  мА.

Начертите схему включения измерительного механизма с многопредельным добавочным резистором для измерения напряжения в цепи нагрузки и обозначьте выводы добавочного резистора для каждого из пределов измерения вольтметра.

Определите:

- 1) необходимые сопротивления добавочных резисторов  $R_{Д1}$ ,  $R_{Д2}$ ,  $R_{Д3}$  для пределов напряжения  $U_{Н1}$ ,  $U_{Н2}$ ,  $U_{Н3}$ ;
- 2) сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  из которых состоит добавочный резистор;
- 3) мощности, потребляемые прибором на каждом пределе измерения;

Б. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы, рассчитанный на номинальный ток  $I_{И} = 4$  мА, имеет сопротивление рамки  $R_{И} = 0,5$  Ом и включается для измерения тока с измерительным шунтом, сопротивление которого  $R_{Ш} = 0,001002$  Ом.

Начертите схему включения амперметра совместно с шунтом в цепь нагрузки.

Определите предельную величину тока, которую можно измерить указанным прибором, включенным совместно с шунтом  $I_{И}$ .

## Задача 21

Для измерения активного сопротивления косвенным методом использовались два прибора: вольтметр на  $U_{Н} = 75$  В и  $I_{Н} = 5$  мА, амперметр на  $I_{Н} = 7,5$  А и  $U_{Н} = 150$  мВ.

Показания приборов составили:  $U = 70$  В,  $I = 2,5$  А.

Определите:

- 1) приближённую величину сопротивления  $R_X'$  по показаниям приборов;

2) соотношения  $\frac{R_X'}{R_A}$  и  $\frac{R_V}{R_X'}$ ; по наибольшему из них принять и вычертить схему включения приборов;

3) точное значение сопротивления  $R_X$  с учетом схемы включения приборов;

4) абсолютную  $\Delta R_X$  и относительную  $\gamma R_X$  погрешности измерения при приближенном расчете величины сопротивления.

Укажите приборы, которые применяются для измерения сопротивлений.

### Задача 22

Измерение сопротивления изоляции двухпроводной линии, находящейся под напряжением, производилось с помощью вольтметра, рассчитанного на номинальное напряжение  $U_H = 250$  В и номинальный ток  $I_H = 10$  мА. Измеренное напряжение между проводами А и В составило  $U_{AB} = 215$  В, а напряжения между каждым проводом и землей соответственно равны  $U_A = 50$  В и  $U_B = 75$  В.

1. Начертите схему измерения.
2. Определите:
  - 1) сопротивление вольтметра  $R_V$ ;
  - 2) сопротивление изоляции  $R_A$  между проводом А и землей;
  - 3) сопротивление изоляции  $R_B$  между проводом В и землей;
3. Укажите, какие приборы служат для непосредственного измерения сопротивления изоляции электроустановок.

### Задача 23

Измерение индуктивности катушки было проведено дважды при питании схемы измерения переменным током частотой  $f = 50$  Гц.

Сначала без учета активного сопротивления катушки индуктивность была определена по показаниям амперметра и вольтметра. При этом показания приборов были:  $I_1 = 24$  А,  $U_1 = 120$  В.

Затем измерение было проведено более точно с учетом активного сопротивления катушки. Для этого в схему был включен ваттметр. Показания приборов при этом были:  $I_2 = 24$  А,  $U_2 = 120$  В,  $P = 1728$  Вт.

1. Начертите обе схемы измерения, укажите системы применяемых приборов.
2. Определите значения измеренных индуктивностей для каждой из схем.
3. Вычислите относительную погрешность измерения  $\gamma$ , получившуюся при отсутствии учета активного сопротивления катушки.
4. Укажите, какими еще приборами может быть измерена индуктивность.

### Задача 24

Измерение взаимной индуктивности двух катушек выполнено методом последовательного соединения катушек с использованием амперметра и вольтметра. Активное сопротивление  $R = R_1 + R_2$  двух катушек равно 6 Ом.

При согласованном включении катушек показания приборов были:  $I_C = 5$  А,  $U_C = 120$  В.

При встречном включении катушек показания приборов были:  $I_B$

$= 6 \text{ A}$ ,  $U_B = 120 \text{ В}$ .

1. Начертите обе схемы измерения, укажите системы применяемых приборов.

2. Определите:

1) общую индуктивность двух согласованно включенных катушек  $L_C$ ;

2) общую индуктивность двух встречно включенных катушек  $L_B$ ;

3) взаимную индуктивность катушек  $M$ ;

3. Укажите, какими еще методами можно измерить взаимную индуктивность.

### Задача 25

Измерение емкости электроустановки проведено дважды при питании схемы измерения переменным током частотой  $f = 100 \text{ Гц}$ .

Сначала без учета активного сопротивления, емкость была определена по показаниям амперметра и вольтметра. При этом показания приборов были:  $I_1 = 0,9 \text{ А}$ ,  $U_1 = 7,2 \text{ В}$ ;

Затем измерение было проведено точнее, с учетом активного сопротивления. Для этого в схему был включен ваттметр. Показания приборов при этом были:  $I_2 = 0,9 \text{ А}$ ,  $U_2 = 7,2 \text{ В}$ ,  $P = 1,6 \text{ Вт}$ .

1. Начертите обе схемы измерения; укажите системы применяемых приборов.

2. Определите значения измеренных емкостей  $C_1$  и  $C_2$  для каждой из схем.

3. Вычислите относительную погрешность измерения  $\gamma$ , получившуюся при отсутствии активного сопротивления конденсатора;

4. Укажите, какими ещё приборами можно измерить емкость.

### Задача 26

Для измерения активного сопротивления косвенным методом использовались два прибора: вольтметр на  $U_H = 100 \text{ В}$  и  $I_H = 4 \text{ мА}$ , амперметр на  $I_H = 5 \text{ А}$  и  $U_H = 200 \text{ мВ}$ .

Показания приборов составили:  $U = 80 \text{ В}$ ;  $I = 3 \text{ А}$ ,

Определите:

1) приближенную величину сопротивления  $R_X'$  по показаниям приборов;

2) соотношения  $\frac{R_X'}{R_A}$  и  $\frac{R_V}{R_X'}$ ; по наибольшему из них принять и начертить схему включения приборов;

3) точное значение сопротивления  $R_X$  с учетом схемы включения приборов;

4) абсолютную  $\Delta R_X$  и относительную  $\gamma R_X$  погрешности измерения при приближенном расчете величины сопротивления.

Укажите приборы, которые применяются для измерения сопротивлений.

### **Задача 27**

Измерение сопротивления изоляции двухпроводной линии, находящейся под напряжением, производилось с помощью вольтметра, рассчитанного на напряжение  $U_H = 300$  В и номинальный ток  $I_H = 15$  мА. Измеренное напряжение между проводами А и В составило  $U = 270$  В, а напряжение между каждым проводом и землей равны  $U_A = 60$  В и  $U_B = 85$  В.

1. Начертите схему измерения.
2. Определите:
  - 1) сопротивление вольтметра  $R_V$ ;
  - 2) сопротивление изоляции  $R_A$  между проводом «А» и землей;
  - 3) сопротивление изоляции  $R_B$  между проводом «В» и землей;
3. Укажите, какие приборы служат для непосредственного измерения сопротивления изоляции электроустановок.

### **Задача 28**

Измерение индуктивности катушки проведено дважды при питании схемы измерения переменным током частотой  $f = 50$  Гц.

Сначала без учёта активного сопротивления катушки, индуктивность была определена по показаниям амперметра и вольтметра. При этом показания приборов были:  $U_1 = 150$  В,  $I_1 = 25$  А.

Затем измерение было произведено более точно с учётом активного сопротивления катушки индуктивности. Для этого в схему был включён ваттметр. Показания приборов при этом были:  $U_2 = 150$  В,  $I_2 = 25$  А,  $P = 1125$  Вт.

1. Начертите обе схемы измерения, укажите системы применяемых приборов;
2. Определите значения измеряемых величин индуктивностей  $L_1$  и  $L_2$  для каждой из схем;
3. Вычислите относительную погрешность измерения индуктивности  $\gamma$ , получившуюся при отсутствии учёта активного сопротивления;
4. Укажите, какими ещё приборами может быть измерена индуктивность.

### **Задача 29**

Измерение взаимной индуктивности двух катушек было выполнено методом последовательного соединения катушек с использованием амперметра и вольтметра. Активное сопротивление  $R = R_1 + R_2$  двух ка-

тушек равно 4 Ом.

При согласованном включении катушек показания приборов были:  $U_C = 140$  В,  $I_C = 7$  А.

При встречном включении катушек показания приборов были:  $U_B = 140$  В,  $I_B = 8$  А.

1. Начертите обе схемы измерения, укажите системы используемых приборов;

2. Определите:

а) общую индуктивность двух согласованно включенных катушек  $L_C$

;

б) общую индуктивность двух встречно включенных катушек  $L_B$ ;

в) взаимную индуктивность катушек  $M$ ;

3. Укажите, какими ещё методами можно измерить взаимную индуктивность;

### **Задача 30**

Измерение емкости электроустановки проведено дважды при питании схемы измерения переменным током частотой  $f = 50$  Гц.

Сначала без учета активного сопротивления емкость была определена по показаниям амперметра и вольтметра. При этом показания приборов были:  $I_1 = 1,2$  А,  $U_1 = 10$  В.

Затем измерение было проведено точнее с учетом активного сопротивления. Для этого в схему был включен ваттметр. Показания приборов при этом были:  $I_2 = 1,2$  А,  $U_2 = 10$  В,  $P = 2,4$  Вт.

1. Начертите обе схемы измерения, укажите системы применяемых приборов.

2. Определите значения измеренных емкостей  $C_1$  и  $C_2$  для каждой из схем.

3. Вычислите относительную погрешность измерения  $\gamma$ , полученную при отсутствии учета активного сопротивления конденсатора.

4. Укажите, какими еще приборами может быть измерена емкость.

### **Задачи 31-40**

В соответствии с номером варианта ответить на вопрос:

31. Охарактеризуйте погрешности приборов. В какой части шкалы прибора с равномерной шкалой относительная погрешность измерения будет наибольшей? Ответ обоснуйте.

32. В чем заключается косвенный метод измерения? Приведите примеры



косвенных измерений.

33. Запишите классификацию электроизмерительных приборов по системам, классу точности и другим признакам. Какие условные обозначения наносят на шкалу электроизмерительного прибора.

34. Объясните устройство и принцип действия приборов магнитоэлектрической системы, перечислите достоинства и недостатки, выполните рисунок.

35. Объясните устройство и принцип действия приборов электромагнитной системы, перечислите достоинства и недостатки, выполните рисунок.

36. Объясните устройство и принцип действия приборов электродинамической системы, перечислите достоинства и недостатки, выполните рисунок.

37. Объясните устройство и принцип действия приборов ферродинамической системы, перечислите достоинства и недостатки, выполните рисунок.

38. Охарактеризуйте методы измерения сопротивлений: косвенный, измерительным мостом, омметром, мегаомметром.

39. Начертите и объясните схемы включения ваттметров при измерении мощности в цепях постоянного, переменного однофазного и трехфазного тока.

40. Каким прибором измеряют электрическую энергию в цепях однофазного переменного тока. Запишите устройство прибора и его принцип действия, начертите схему подключения.

### **Задача 41**

Начертите схему измерения и опишите методы проверки электрических характеристик трансформаторов. Укажите технические данные электроизмерительных приборов, применяемых в схемах измерения (при проверке одного из конкретных типов трансформаторов).

### **Задача 42**

Начертите схему измерения и опишите методы измерения параметров рельсовых цепей постоянного тока; метод холостого хода и короткого замыкания; метод измерения параметров без отключения путевого реле.

Укажите технические данные измерительных приборов, применяемых в схемах измерения.

### **Задача 43**

Начертите схемы измерения и опишите методы измерения параметров рельсовых цепей переменного тока. Укажите технические данные электроизмерительных приборов, применяемых в схемах измерения.

### **Задача 44**

Начертите схемы измерения и опишите порядок проверки исправности изоляции рельсовых стыков и стрелочных переводов. Укажите технические характеристики электроизмерительных приборов, применяемых в схемах измерения.

### **Задача 45**

Начертите схему измерения при определении расстояния до места обрыва жилы в кабеле; опишите, как выполняется измерение с помощью моста на переменном токе.

### **Задача 46**

Начертите схему измерения сопротивления балласта ИСБ-1. Объясните назначение элементов схемы и опишите принцип работы этого прибора.

### **Задача 47**

Начертите схему измерения мешающих напряжений, наводимых контактной сетью постоянного тока, оказывающих влияние на работу устройств автоблокировки и АЛСН. Опишите назначение элементов и работу этой схемы.

### **Задача 48**

Начертите схемы передающего и приемного устройства телеизмерений на железнодорожном транспорте и кратко поясните их назначение и работу.

### **Задача 49**

Начертите различные схемы измерения переходных сопротивлений стыков. Опишите порядок работы при измерении этими методами.

Укажите характеристики приборов, применяемых в каждой схеме измерения.

### **Задача 50**

Опишите особенности измерений в рельсовых цепях. Начертите схему замещения рельсовой цепи и поясните значение всех элементов этой схемы.

## **Методические указания по выполнению домашней контрольной работы**

**Задачи 1-10** посвящены определению погрешностей при измерении электрических величин. Прежде чем решать эти задачи, необходимо изучить соответствующий материал по имеющемуся у Вас учебнику.

Важнейшей характеристикой измерительного прибора является класс точности, который указывается на приборе. Класс точности характеризуется наибольшей допустимой приведенной погрешностью, величина которой равна номеру класса и определяется по следующей формуле:

$$\gamma_{\text{д}} = \frac{\Delta A_{\text{наиб}}}{A_{\text{н}}} \cdot 100 \%$$

где:  $A_{\text{н}}$  - номинальное значение измеряемой величины (верхний ее предел);

$\Delta A_{\text{наиб}}$  - наибольшая абсолютная погрешность, т.е. наибольшая разность между показанием прибора  $A_{\text{и}}$  и действительным значением измеряемой величины  $A_{\text{д}}$ .

По классу точности прибора и его верхнему пределу измерения можно подсчитать наибольшую абсолютную погрешность, которую мо-

жет иметь прибор в любой точке шкалы:

$$\Delta A_{\text{наиб}} = \frac{\gamma_{\text{д}}}{100} \cdot A_{\text{н}}$$

Пределы, в которых находится действительное значение измеряемой величины, следует вычислять по формуле:

$$A_{\text{д}} = A_{\text{и}} \pm \Delta A_{\text{наиб}}$$

Точность измерения характеризуется также наибольшей возможной относительной погрешностью:

$$\gamma_{\text{нв}} = \pm \frac{\Delta A_{\text{наиб}}}{A_{\text{и}}} \cdot 100\%$$

или

$$\gamma_{\text{нв}} = \pm \gamma_{\text{д}} \frac{A_{\text{н}}}{A_{\text{и}}}$$

### Пример 1.

Сопротивление нагрузки  $R$  было измерено косвенным методом при помощи амперметра и вольтметра. Для измерения были использованы приборы: амперметр с  $I_{\text{н}} = 10$  А, класса точности  $\gamma_{\text{д}} = \pm 1,0$  % и вольтметр с  $U_{\text{н}} = 150$  В, класса точности  $\gamma_{\text{д}} = \pm 1,5$  %. Приборы показали: амперметр  $I = 8$  А, вольтметр  $U = 120$  В.

Определить:

- 1) наибольшую абсолютную погрешность приборов  $\Delta A_{\text{наиб}}$  и  $\Delta U_{\text{наиб}}$ ;
- 2) наибольшую возможную относительную погрешность при измерении тока и напряжения  $\gamma_{\text{нв} I}$  и  $\gamma_{\text{нв} U}$ ;
- 3) наибольшую возможную относительную погрешность измерения сопротивления  $\gamma_{\text{нв} R}$ .

### Решение

1. Наибольшая абсолютная погрешность амперметра  $\Delta I_{\text{наиб}}$  и вольтметра  $\Delta U_{\text{наиб}}$ :

$$\Delta I_{\text{наиб}} = \pm \frac{\gamma_{\text{д}}}{100} \cdot I_{\text{н}} = \pm \frac{1 \cdot 10}{100} = \pm 0,1 \text{ А}$$

$$\Delta U_{\text{наиб}} = \pm \frac{\gamma_{\text{д}}}{100} \cdot U_{\text{н}} = \pm \frac{1,5 \cdot 150}{100} = \pm 2,25 \text{ В}$$

2. Наибольшая возможная относительная погрешность при измерении тока  $I = 8$  А.

$$\gamma_{\text{нв } I} = \pm \frac{\Delta I_{\text{наиб}}}{I_{\text{н}}} \cdot 100 \% = \pm \frac{0,1}{8} \cdot 100 \% = \pm 1,25 \%$$

или

$$\gamma_{\text{нв } I} = \pm \gamma_{\text{д}} \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \pm 1 \cdot \frac{10}{8} = \pm 1,25 \%$$

Наибольшая возможная относительная погрешность при измерении напряжения  $U = 120$  В :

$$\gamma_{\text{нв } U} = \pm \frac{\Delta U_{\text{наиб}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100 \% = \pm \frac{2,25}{120} \cdot 100 \% = \pm 1,875 \%$$

или

$$\gamma_{\text{нв } U} = \pm \gamma_{\text{д}} \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} = \pm 1,5 \cdot \frac{150}{120} = \pm 1,875 \%$$

3. Наибольшая возможная относительная погрешность при измерении сопротивления косвенным методом :

$$\gamma_{\text{нв } R} = \pm (\gamma_{\text{нв } U} + \gamma_{\text{нв } I}) = \pm (1,25 + 1,875) = \pm 3,125 \%$$

**Задачи 11-20.** Для решения задач необходимо предварительно изучить назначение, конструкции, схемы включения в измерительную цепь шунтов и доба-вочных резисторов, а также отчетливо представлять способы их расчета.

Изучая материал данного раздела, следует запомнить, что шунты предназначены для расширения пределов измерения тока измерительного механизма магнитоэлектрической системы. Через ИМ магнитоэлектрического прибора можно пропустить длительно ток не более нескольких десятков миллиампер. Для измерения токов больших величин применяется шунт, который представляет собой четырёхзажимный резистор, величина сопротивления которого значительно меньше сопротивления рамки ИМ. Шунт включают последовательно в измеряемую цепь с помощью токовых зажимов  $T_1$  и  $T_2$ . ИМ присоединяют к шунту параллельно посредством потенциальных зажимов  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ . При правильно составленной схеме шунт и измерительный механизм соединяются параллельно и к ним применимы все соотношения для параллельных цепей. Отсюда можно вывести расчетную формулу для определения сопротивления шунта:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{и}}}{n-1}$$

где:  $n = \frac{I}{I_{\text{и}}}$  - шунтирующий множитель;

$I$  - измеряемый ток цепи;

$I_{\text{и}}$  - номинальный ток измерительного механизма;

$R_{\text{и}}$  - сопротивление рамки измерительного механизма.

Сопротивление шунтов необходимо вычислять с точностью до пятого знака.

При известных величинах сопротивлений шунта и измерительного механизма можно определить величину тока, проходящего через измерительный механизм, в зависимости от величины измеряемого тока:

$$I_{\text{и}} = I \frac{R_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}} + R_{\text{и}}}$$

Для расширения пределов измерения приборов по напряжению в сетях постоянного тока, а также в сетях переменного тока напряжением до 600 В применяют добавочные резисторы.

При правильно составленной схеме измерения измерительный прибор включается параллельно нагрузке, на которой выполняется измерение напряжения.

Так как добавочный резистор и измерительный механизм включаются последовательно, то к ним применимы все соотношения для последовательной цепи. Можно вывести расчетную формулу для определения сопротивления добавочного резистора:

$$R_{\text{д}} = R_{\text{и}} (m - 1)$$

где:  $m = \frac{U}{U_{\text{и}}}$  - множитель добавочного резистора;

$U$  - измеряемое напряжение;

$U_{\text{и}}$  - номинальное напряжение измерительного механизма;

$R_{\text{и}}$  - сопротивление рамки измерительного механизма.

### Пример 2

А. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы имеет внутреннее сопротивление  $R_{\text{и}} = 10$  Ом, шкалу на 30 делений и рассчитан

на номинальный ток  $I_{И} = 25$  мА. Используя этот измерительный механизм, необходимо создать амперметр, имеющий предел измерения (номинальный ток)  $I_{Н} = 15$  А.

Определить сопротивление шунта, ток шунта, падение напряжения на шунте, постоянную (цену деления) прибора с шунтом.

Б. Используя этот же измерительный механизм, требуется создать вольтметр с пределом измерения (номинальным напряжением)  $U_{Н} = 300$  В.

Определить величину сопротивления добавочного резистора.

#### А. Решение

1. Шунтирующий множитель:

$$n = \frac{I_{Н}}{I_{И}} = \frac{15}{25 \cdot 10^{-3}} = \frac{15 \cdot 10^3}{25} = 600.$$

2. Сопротивление шунта:

$$R_{Ш} = \frac{R_{И}}{n-1} = \frac{10}{600-1} = 0,01669 \text{ Ом}$$

3. Ток шунта:

$$I_{Ш} = I_{Н} - I_{И} = 15 - 0,025 = 14,975 \text{ А}$$

4. Падение напряжения на шунте:

$$U_{Ш} = I_{Ш} \cdot R_{Ш} = 14,975 \cdot 0,01669 = 0,24999 = 250 \text{ мВ.}$$

5. Постоянная прибора с шунтом, т.е. постоянная амперметра:

$$C_I = \frac{I_{Н}}{\alpha_{Н}} = \frac{15}{30} = 0,5 \frac{\text{А}}{\text{дел}},$$

где:  $\alpha_{Н}$  - число делений шкалы прибора.

#### Б. Решение

1. Напряжение на измерительном механизме:

$$U_{И} = I_{И} \cdot R_{И} = 25 \cdot 10^{-3} = 0,25 \text{ В}$$

2. Множитель добавочного резистора:

$$m = \frac{U_{Н}}{U_{И}} = \frac{300}{0,25} = 1200$$

3. Величина сопротивления добавочного резистора:

$$R_d = R_{\text{и}}(m-1) = 10(1200-1) = 11990 \text{ Ом}$$

**Задачи 21-30** посвящены вопросам измерения параметров электрических цепей (сопротивления, индуктивности, взаимной индуктивности, емкости).

При измерении сопротивления методом амперметра и вольтметра (задачи 21, 26) применяется одна из двух возможных схем. Выбор верной схемы основан на сравнении двух отношений:

$\frac{R'_X}{R_A}$  и  $\frac{R_V}{R'_X}$ , где  $R'_X$  – приближенное значение измеряемого сопротивления, вычисленное по закону Ома, по данным опытов;  $R_A$ ,  $R_V$  – сопротивления амперметра и вольтметра. Точное значение измеряемого сопротивления определяется по указанным в учебниках формулам.

#### Пример 3

В схеме для измерения сопротивления применяются амперметр и вольтметр, имеющие следующие внутренние сопротивления:  $R_A = 0,1 \text{ Ом}$ ,  $R_V = 900 \text{ Ом}$ .

Амперметр показал:  $I = 2 \text{ А}$ ; вольтметр  $U = 10 \text{ В}$ . Выбрать схему измерения. Определить точное значение измеряемого сопротивления  $R_X$ . Вычислить абсолютную  $\Delta R_X$  и относительную  $\gamma$  погрешности измерения при приближенном расчете величины сопротивления.

#### Решение

1. Приближенное значение измеряемого сопротивления

$$R'_X = \frac{U}{I} = \frac{10}{2} = 5 \text{ Ом}$$

2. Для выбора схемы измерения определяем соотношения

$$\frac{R'_X}{R_A} = \frac{5}{0,1} = 50 \qquad \frac{R_V}{R'_X} = \frac{900}{5} = 180$$

Принимаем схему измерения с включением амперметра перед вольтметром (Л3 рис. 62б; Л5 рис. 6 – 13б), так как:



$$\frac{R_V}{R'_X} > \frac{R'_X}{R_A} \quad \text{и} \quad \frac{R_V}{R'_X} > 100$$

3. Точное значение измеряемого сопротивления:

$$R_X = \frac{U}{I - I_V}; \quad \text{где:} \quad I_V = \frac{U}{R_V} = \frac{10}{900} = 0,011 \text{ А}$$

$$R_X = \frac{10}{2 - 0,011} = 5,027 \text{ Ом}$$

4. Абсолютная погрешность измерения, которая получилась бы при приближенном расчете сопротивления.

$$\Delta R_X = R'_X - R_X = 5 - 5,027 = -0,027 \text{ Ом}$$

5. Относительная погрешность измерения, которая получилась бы при приближенном расчете величины сопротивления

$$\gamma_R = \frac{\Delta R_X \cdot 100}{R_X} = \frac{-0,027 \cdot 100}{5,027} = -0,537 \%$$

Задачи 22, 27 посвящены измерению сопротивления изоляции между каждым из проводов и землей двухпроводной линии, находящейся под напряжением, которое можно выполнить с помощью вольтметра.

Со схемой измерения и необходимыми расчетными формулам можно ознакомиться по разделу учебника Л5 "Измерение сопротивления изоляции установки находящейся под рабочим напряжением" (стр.204-205, рис. 6-33, формулы 6-20, 6-21).

В задачах 23, 28 и 25, 30 измерение индуктивности и емкости проводится дважды: сначала с помощью амперметра и вольтметра (без учёта активного сопротивления),  $L_1$  и  $C_1$ , а затем точнее, учитывая активное сопротивление, с помощью амперметра, вольтметра и ваттметра.

Схемы измерения, расчетные формулы для определения значений индуктивности и емкости приведены в [1] стр.216, рис.7-1, 7-2; стр.218-219, рис. 7-5, 7-6.

Принимая более точные значения ёмкости  $C_2$  и индуктивности  $L_2$  за действительные значения измеряемых ёмкости и индуктивности, можно вычислить относительную погрешность измерения  $\gamma$ .

В задачах 24 и 29 определяется взаимная индуктивность двух катушек методом последовательного соединения этих катушек. Измерительные схемы собираются дважды. Сначала катушки включаются последовательно при согласованном их соединении, когда намагничивающие силы катушек совпадают по направлению - это будет, соответствовать максимальному значению общей индуктивности катушек  $L_C$ , которая равна:  $L_C = L_1 + L_2 + 2M$

где:  $L_1$  и  $L_2$  - индуктивности каждой из катушек;

$M$  - взаимная индуктивность катушек.

Затем меняется направление тока в одной из последовательно соединенных катушек, что соответствует встречному включению катушек, когда намагничивающие силы катушек направлены навстречу друг другу. При этом будет минимальное значение общей индуктивности катушек, которое равно:  $L_B = L_1 + L_2 - 2M$

Вычитая из первого равенства второе, получаем:

$$L_C - L_B = 4M$$

Таким образом,  $M = \frac{L_C - L_B}{4}$  по этой формуле и следует определить искомую взаимную индуктивность катушек. Для получения значений  $L_C$  и  $L_B$  необходимо воспользоваться методом измерения индуктивности с помощью амперметра и вольтметра.

Полное сопротивление цепи определяется по закону Ома:

$$Z_K = \frac{U}{I}$$

Определение значений  $L_C$  и  $L_B$  производится по формуле

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_K^2 - R^2}$$

где:  $R$  - активное сопротивление двух последовательно включенных катушек.

Со схемами измерения следует ознакомиться по [1] стр.217, рис.7-4.

Надо иметь ввиду, что в [1] приведены схемы измерения с использованием только амперметра и вольтметра. Для составления требуемых

схем измерения с применением ваттметра надо воспользоваться схемой рис. 7-2.

**Задачи 31—40.** Ответы на вопросы подробно изложены в учебнике В.В. Панфилов. Электрические измерения. М.: Издательский центр «Академия», 2013.

**Задачи 41-50** требуется привести схемы измерений в устройствах АТМ и дать пояснения к ним. Для ответов на указанные вопросы необходимо изучить интернет - ресурсы.

#### Рекомендуемая учебная литература

1. Ким К.К. Электрические измерения неэлектрических величин: учебное пособие / Ким К.К., Анисимов Г.Н.— М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. 136— с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45337>

2. Волегов, А.С. Электронные средства измерений электрических величин : учебное пособие / А.С. Волегов, Д.С. Незнахин, Е.А. Степанова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. - 105 с. : ил., табл., схем. - ISBN 978-5-7996-1330-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275824> (03.11.2016).

3. Метрология конспект лекций. <http://refleader.ru/qasujgujgujg.html>