МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Цель выполнения контрольной работы – закрепление у обучающихся теоретических знаний и приобретение практических навыков расчета параметров средств измерения.

Исходными данными для выполнения работы берутся в соответствии с вариантом. Номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки студента.

Выполнение контрольной работы обучающийся должен начинать с изучения методических указаний к ее выполнению и курса лекционных занятий.

Работа должна включать:

- задание;
- схему прибора;
- зависимости, характеризующие работу прибора;
- результаты расчетов.

Тематика контрольных работ.

- Определение метрологических характеристик средств измерения.
- Расчет шунтов трехпредельного аналогового микроамперметра постоянного тока.
- Расчет измерительного моста переменного тока

Выполненные работы загружаются в формате .doc, .pdf в соответствующие пункты в Educon.

Задание 1 Определение метрологических характеристик средств измерения

Теоретические положения

Погрешность является одной из основных характеристик средств измерений. Под погрешностью электроизмерительных приборов, измерительных преобразователей и измерительных систем понимается отклонение их выходного сигнала $a_{\text{изм}}$ от истинного значения входного сигнала a. Погрешность приборов характеризуют рядом параметров.

Класс точности прибора указывают числом. Он используется для измерительных приборов, у которых предел допускаемой приведенной погрешности постоянен на всех отметках рабочей части его шкалы.

Класс точности прибора задается выражением:

$$K = \frac{\Delta a}{a_{\text{пр}}} 100$$

где Δa - абсолютная погрешность,

$a_{\text{пр}}$ - нормирующее значение, принимаемое равным конечному значению диапазона измерений (предельному значению шкалы прибора).

При установлении классов точности приборов нормируется приведенная погрешность, а не относительная. Причина этого заключается в том, что относительная погрешность по мере уменьшения значений измеряемой величины увеличивается.

Приведенная погрешность - выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению постоянна и равна классу точности прибора:

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta a}{a_{\text{пр}}} 100 = K$$

Относительная погрешность однократного измерения - выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины, уменьшается к значению класса точности прибора с ростом измеренного значения к предельному значению шкалы прибора:

$$\delta = \frac{\Delta a}{a_{\text{изм}}} 100 = K \frac{a_{\text{пр}}}{a_{\text{изм}}}$$

Абсолютная погрешность однократного измерения постоянна на всех отметках рабочей части шкалы прибора:

:

$$\Delta a = K\frac{a_{\text{пр}}}{100}$$

Абсолютную погрешность Δa цифрового прибора принимается равной единице младшего разряда числа, высвечиваемого на цифровом индикаторе.

Задание

Электрическая величина измеряется цифровым прибором с цифровым индикатором заданной разрядности и аналоговым прибором с заданным классом точности и пределом измерения (табл. 1.1). Каким прибором величина будет измерена точнее?

Таблица 1.1

№	Измеряемая величина	Аналоговый прибор		Цифровой прибор
		Класс точности	Предел шкалы	Разрядность индикатора
0	159 мА	0,5	250 мА	3
1	10 В	1	30 В	3
2	0,5 А	0,25	1А	2
3	15 В	0,5	30 В	4
4	100 мА	1	300 мА	4
5	5 В	2,5	10 В	2
6	1,5 А	0,1	5 А	3
7	25 В	1,0	100 В	4
8	20 мА	0,5	50 мА	3
9	100 В	1,5	300 В	3

Задание 2. Расчет шунтов трехпредельного аналогового микроамперметра постоянного тока

Теоретические положения

Принципиальная электрическая схема трехпредельного аналогового микроамперметра изображена на рис.2.1.

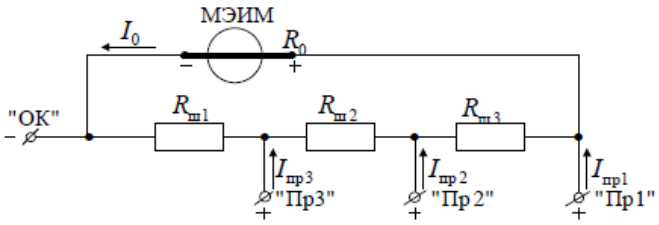


Рис.2.1. Упрощенная принципиальная электрическая схема трехпредельного аналогового микроамперметра

В схему микроамперметра входит магнитоэлектрический измерительный механизм (МЭИМ) с током полного отклонения I_0 и внутренним сопротивлением постоянному току R_0. Резисторы $R_{ш1}$, $R_{ш2}$ и $R_{ш3}$.– выполняют роль шунтов. Микроамперметр имеет четыре клеммы для присоединения внешних электрических проводников. Клемма «ОК» – общая клемма (отрицательная клемма). Клеммы «Пр1», «Пр2» и «Пр3» соответствуют пределам измерения микроамперметра с токами соответственно $I_{пр1}$, $I_{пр2}$, и $I_{пр3}$ (положительные клеммы). Предполагается, что при достижении токами через микроамперметр своих предельных значений $I_{пр1}$, $I_{пр2}$, и $I_{пр3}$ ток через МЭИМ достигает значения I_0.

При расчете рассматриваются три варианта электрических схем, характеризующих работу микроамперметра на каждом из трех пределов: «Пр1», «Пр2» и «Пр3». Работа микроамперметра на пределе «Пр1» характеризуется электрической схемой рис. 2.2.

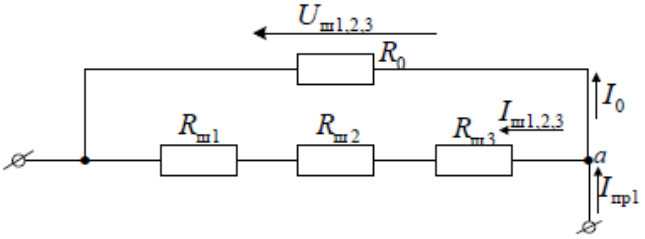


Рис.2.2. Электрическая схема микроамперметра на пределе «Пр1»

На основании закона Ома для цепи можно записать два уравнения:

$$U_{ш123} = I_{пр1}\frac{(R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3})R_0}{R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3} + R_0}$$

$$U_{ш123} = I_{ш123}(R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3})$$

Из первого закона Кирхгофа для узла *a* следует уравнение

$$I_{пр1} = I_0 + I_{ш123}$$

Работа микроамперметра на пределе «Пр2» характеризуется электрической схемой рис. 2.3

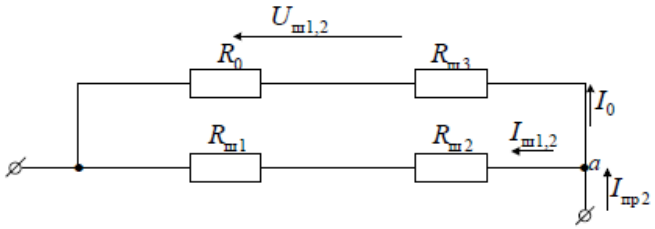


Рис.2.3. Электрическая схема микроамперметра на пределе «Пр2

По аналогии с предыдущей электрической схемой составим три уравнения, описывающих электрическую схему рис. 2.3

$$U_{ш12} = I_{пр2}\frac{(R_{ш1} + R_{ш2})(R_0 + R_{ш3})}{R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3} + R_0}$$

$$U_{ш12} = I_{ш12}(R_{ш1} + R_{ш2})$$

$$I_{пр2} = I_0 + I_{ш12}$$

Работа микроамперметра на пределе «Пр3» характеризуется электрической схемой рис. 2.4.

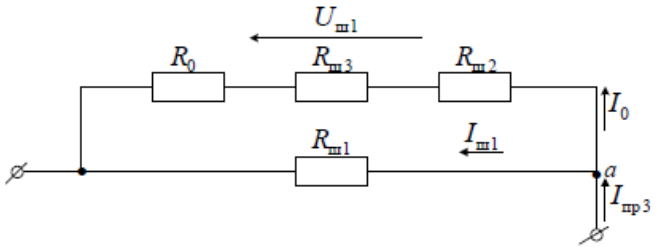


Рис. 2.4. Электрическая схема микроамперметра на пределе «Пр3

По аналогии составим три уравнения, описывающих электрическую схему рис. 2.4

$$U_{ш1} = I_{пр3}\frac{R_{ш1}(R_0 + R_{ш2} + R_{ш3})}{R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3} + R_0}$$

$$U_{ш1} = I_{ш1}R_{ш1}$$

$$I_{пр3} = I_0 + I_{ш1}$$

В результате получается система из девяти линейных уравнений, описывающая все рабочие состояния микроамперметра. Указанная линейная система содержит девять неизвестных: $R_{ш1}, R_{ш2}, R_{ш3}, U_{ш1}, U_{ш12}, U_{ш123}, I_{ш1}, I_{ш12}, I_{ш123}$ и может быть решена любым из известных методов.

Поскольку все уравнения являются неполными, одним из простых методов решения указанной системы может быть метод подстановки. В результате последовательной подстановки и преобразования получим следующие решения:

$$R_{ш1} = R_0\frac{i_3(1 + i_1)}{1 + i_3}$$

$$R_{ш2} = R_0\frac{(1 + i_1)(i_2 - i_3)}{(1 + i_2)(1 + i_3)}$$

$$R_{ш3} = R_0\frac{(i_1 - i_2)}{(1 + i_2)}$$

где i_1, i_2 и i_3 – расчетные коэффициенты, определяемые соотношениями:

$$i_1 = \frac{I_0}{I_{пр1} - I_0}$$

$$i_2 = \frac{I_0}{I_{пр2} - I_0}$$

$$i_3 = \frac{I_0}{I_{пр3} - I_0}$$

Задание

Заданы параметры магнитоэлектрического измерительного механизма: ток полного отклонения I_0, мкА; сопротивление постоянному току R_0, Ом и предельные токи для

пределов измерения: $I_{\text{пр1}}$, мкА; $I_{\text{пр2}}$, мкА; $I_{\text{пр3}}$, мкА (табл.2.1). Требуется определить значения резисторов для шунтов $R_{\text{ш1}}$, $R_{\text{ш2}}$ и $R_{\text{ш3}}$.

Таблица 2.1

№	I_0, мкА	R_0, Ом	$I_{\text{пр1}}$, мкА	$I_{\text{пр2}}$, мкА	$I_{\text{пр3}}$, мкА
0	7	1000	8	15	30
1	5	800	15	30	100
2	10	600	50	90	300
3	15	500	100	200	250
4	13	1500	75	150	300
5	6	500	7	10	50
6	15	500	50	100	150
7	10	400	25	50	200
8	25	1000	35	100	150
9	30	300	60	145	200

Задание 3. Расчет измерительного моста переменного тока

Теоретические положения

Принципиальная электрическая схема измерительного моста переменного тока представлена на рис.3.1. Сопротивления Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 называются плечами измерительного моста, точки соединения плеч обозначены буквами *а*, *б*, *в*, *г* и называются вершинами измерительного моста. Цепи, соединяющие противоположенные вершины измерительного моста, называются его диагоналями. Одна из диагоналей (*а–в*) содержит источник напряжения (~*U*) переменного тока, а другая (*б–г*) – указатель равновесия *PV* (нуль–индикатор), в качестве которого обычно служит электронный микровольтметр.

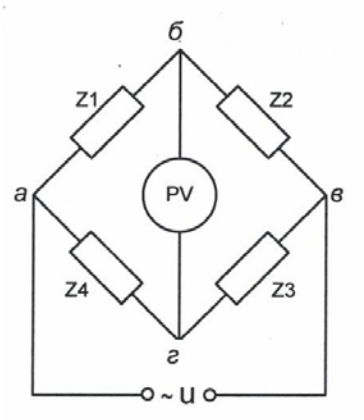


Рис.3.1. Принципиальная электрическая схема измерительного моста переменного тока

Измерения с помощью моста переменного тока производятся в состоянии его равновесия, при котором разность потенциалов между точками *б* и *г* равна нулю. Для схемы рис.3.1 условие равновесия записывается в виде:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \qquad (1)$$

В выражении величины *Z*1, *Z*2, *Z*, *Z*4 являются в общем случае полными сопротивлениями (комплексными числами).

При представлении комплексного числа в показательной форме

$$Z = ze^{j\varphi} \qquad (2)$$

где z и φ - соответственно модуль и фаза комплексного числа, условию равновесия соответствуют два действительных уравнения:

$$z_1 \cdot z_3 = z_2 \cdot z_4 \quad (3)$$

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4 \quad (4)$$

При представлении комплексного числа в алгебраической форме:

$$Z = R + jX \quad (5)$$

где R и X – соответственно вещественная и мнимая часть Z.

В этом случае условие равновесия можно представить в виде системы двух действительных уравнений:

$$R_1 \cdot R_3 - X_1 \cdot X_3 = R_2 \cdot R_4 - X_2 \cdot X_4 \quad (6)$$

$$X_1 \cdot R_3 + X_3 \cdot R_1 = X_2 \cdot R_4 + X_4 \cdot R_2 \quad (7)$$

где R_1, R_2, R_3, R_4 и X_1, X_2, X_3, X_4 – соответственно активные и реактивные составляющими полных сопротивлений Z_1, Z_2, Z_3, Z_4.

Целью расчета измерительного моста переменного тока является определение значения измеряемой емкости или индуктивности (*Cx* или *Lx*)

При составлении и расчете измерительного моста переменного тока необходимо учитывать условия обеспечения его равновесия, которые обусловлены уравнением (4):

1) равновесие моста не достижимо при одном плече, имеющем реактивный характер, и остальных плечах, представляющих активные сопротивления;

2) оптимальный набор плеч: два активных и два реактивных плеча;

3) если два плеча моста имеют одинаковый характер реактивности (оба емкостные или оба индуктивные), а два остальных плеча активные, то реактивные плечи должны быть ***смежными***;

4) если два плеча моста имеют разный характер реактивности (одно емкостное, а другое индуктивное), а два остальных плеча активные, то реактивные плечи должны быть ***противоположными***.

Рассмотрим упрощенный вариант построения измерительных мостов переменного тока, построенных с учетом двух условий:

$$1: Z_1 \approx X_1 (R_1 \approx 0);\ Z_2 \approx X_2 (R_2 \approx 0);\ Z_3 \approx R_3 (X_3 \approx 0);\ Z_4 \approx R_4 (X_4 \approx 0) \quad (8)$$

$$2: Z_1 \approx X_1 (R_1 \approx 0);\ Z_2 \approx R_2 (X_2 \approx 0);\ Z_3 \approx X_3 (R_3 \approx 0);\ Z_4 \approx R_4 (X_4 \approx 0) \quad (9)$$

При подстановке набора значений условия 1 в уравнение (7) получается равенство

$$X_1 \cdot R_3 = X_2 \cdot R_4 \tag{10}$$

При подстановке набора значений условия 2 в уравнение (7) получается равенство

$$X_1 \cdot X_3 + R_2 \cdot R_4 = 0 \tag{11}$$

Индуктивные X_L и емкостные X_C реактивные сопротивления выражаются формулами:

$$X_L = \omega L \tag{12}$$

$$X_C = -\frac{1}{\omega C} \tag{13}$$

где ω– круговая частота переменного тока;

L и C – соответственно индуктивность и емкость реактивного сопротивления.

С учетом соотношений (10), (12) и (13) можно записать расчетные формулы, когда два плеча моста имеют одинаковый характер реактивности (оба емкостные или оба индуктивные):

$$C_1 = C_2 \frac{R_3}{R_4} \tag{14}$$

$$L_1 = L_2 \frac{R_4}{R_3} \tag{15}$$

С учетом соотношений (11) - (13) можно записать расчетные формулы, два плеча моста имеют разный характер реактивности (одно емкостное, а другое индуктивное):

$$C_1 = \frac{L_3}{R_2 R_4} \tag{16}$$

$$L_1 = C_3 R_2 R_4 \tag{17}$$

Результат определения искомых $L_x = L_1$ и $C_x = C_1$ должен быть округлен с необходимой точностью.

Задание

Составить мост переменного тока из заданных элементов (табл.3.1), нарисовать принципиальную схему, определить величину измеряемого элемента.

Таблица 3.1

№	Образцовое сопротивление, Ом	Магазин сопротивлений, Ом	Образцовая емкость, мкФ	Образцовая индуктивность, мГн	Измеряемый элемент
0	750	417	0,5	-	C
1	100	379	-	50	C
2	500	623	0,5	-	L
3	500	328	-	100	L
4	1000	389	0.25	-	C
5	750	500	-	25	C
6	300	1000	1,5	-	L
7	450	808	-	75	L
8	900	303	1,0	-	C
9	500	415	-	15	L