

Министерство путей сообщения Российской Федерации

Московский государственный университет
путей сообщения (МИИТ)

Кафедра "Электротехника, метрология, электроэнергетика"

Рабочая тетрадь

к лабораторным работам по дисциплине

«Метрология и измерительная техника»

Москва 1999

Лабораторная работа №1

Метрологические характеристики аналоговых приборов электромеханической группы.

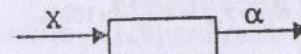
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить статические и динамические метрологические характеристики приборов типов М2038 и АВО-5.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

К статическим характеристикам относятся:

- градуировочная характеристика



На простейшей структурной схеме прибора зависимость $\alpha = \varphi(X)$ определяет функциональную связь угла отклонения прибора α от входной измеряемой величины X . Функция преобразования $\alpha = \varphi(X)$ может быть линейной у приборов с равномерной шкалой и нелинейной у приборов с неравномерной шкалой;

- чувствительность к измеряемой величине

для неравномерной шкалы

для равномерной шкалы

$$S_x = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X},$$

$$S_x = \frac{\alpha_n}{X_n};$$

- цена деления измеряемой величины

для неравномерной шкалы

для равномерной шкалы

$$C_x = \frac{\Delta X}{\Delta \alpha},$$

$$C_x = \frac{X_n}{\alpha_n};$$

- внутреннее сопротивление прибора

$$r = \frac{U_n}{I_n};$$

«Метрология и измерительная техника»

к лабораторным работам по дисциплине

Рабочая тетрадь

Составитель: Ю. В. Темлякова

Подписано к печати 09.06.99.

Изд. № 425-99

Тираж 200 экз. Цена 3 руб. 00 коп.

Заказ № 692

475, Москва, ул. Образцова, 15.

Государственная типография МИИТА

Измеряемая величина	(I, U, R)						
Классы подчинения	прибора						
Шкала равномерная или неравномерная							
Диапазон измерения	шкалы в делениях						
Пределы значения	измеряемой величины						
Класс точности							
Пределы значения	абсолютной погрешности прибора ΔX						
Чувствительность	прибора к измеряемой величине						
Цена деления	измеряемой величины						
Трафик зависимости	предела значения абсолютной погрешности от измеряемой величины						
Запись результатов измерения	предела значения с учетом погрешности						

Определить соответствие указанному классу точности $K_t=4$ технического миллиамперметра магнитоэлектрической системы с номинальным током $I_{на} \dots$ мА, оцифрованными значениями $\dots$, сравнивая его показания с образцовым прибором, у которого следует выбрать номинальное значение тока $I_{н0}$ и его класс точности $K_{т0}$. В цепи поверяемого миллиамперметра следует также определить метрологические характеристики регулировочного реостата (R_p , I_p), который должен обеспечить регулировку и $\dots$ поверки от минимального до максимального значений. Напряжение питания схемы $U = \dots$ В.

При ведомственной периодической поверке технических приборов определяются

- относительная приведенная погрешность упр , значение которой соответствует указанной на шкале цифре класса точности K_t

$$\gamma_{np} = K_T = \pm \left| \frac{\Delta I}{I_H} \right| \times 100\%$$

где I_n - номинальное (предельное или конечное)
значение поверяемого прибора,
 $\Delta I = I - I_0$ - абсолютная погрешность,
здесь I - показания поверяемого миллиамперметра,
 I_0 - показания образцового миллиамперметра.

Полученные расчетные значения $\gamma_{пр}$ не должны превышать цифры класса точности поверяемого прибора ни на одном значении.

- вариация «В», характеризующая устойчивость показаний к данному замеру

$$B = \pm \left| \frac{I'_0 - I''_0}{I_n} \right| \times 100\%,$$

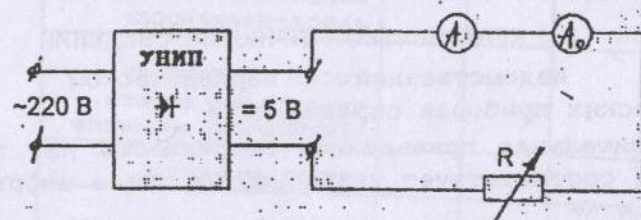
где I'_0 - показание стрелки при движении вверх,
 I''_0 - показание стрелки в обратном направлении.

Вариация B также не должна превышать указанной цифры класса точности поверяемого прибора ни на одном значении;

- поправка $\delta I = -\Delta I$, равная абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Схема проверки технического миллиамперметра.



3.1. Выбор образцового миллиамперметра A_0

$$I_{n_0} = I_n = 30 \text{ мА}$$

$$K_{T_0} = \frac{K_T}{n} = \frac{4}{5} = 0,8$$

принимая $n=5$ т.е. класс точности образцового прибора будет в 5 раз выше поверяемого. Выбираю по стандарту ближайший класс точности $K_{T_0} = 0,5$.

3.2. Выбор регулировочного реостата.

Регулировочный реостат должен обеспечить плавную регулировку тока в цепи от минимального до максимального значений.

Требуется реостат:

$$R_p = \frac{U}{I_{\min}} = \frac{5}{0,001} \text{ Ом}$$

$$I_p = I_n = 30 \text{ мА}$$

На стенде есть реостат:

$$R_p = \dots \text{ Ом}$$

$$I_p = \dots \text{ мА}$$

который обеспечит требуемую регулировку тока в схеме проверки.

3.3. Методика выполнения эксперимента

Плавню регулируя ток поверяемого прибора по заданным значениям при движении стрелки вверх I'_0 и обратно по тем же значениям I''_0 вниз, записываем данные в табл.1. В этой таблице записываются абсолютные погрешности с учетом знака:

$$\Delta I' = I - I'_0$$

$$\Delta I'' = I - I''_0$$

приведенные погрешности

$$\gamma'_{np} = \pm \left| \frac{\Delta I'}{I_n} \right| \times 100\%$$

$$\gamma''_{np} = \pm \left| \frac{\Delta I''}{I_n} \right| \times 100\%$$

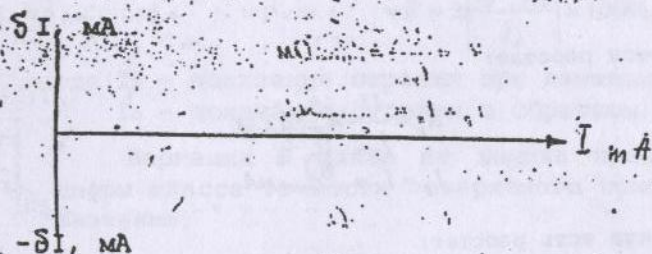
вариации

$$B = \pm \left| \frac{I'_0 - I''_0}{I_n} \right| \times 100\%$$

поправки

$$\delta I = - \left(\frac{\Delta I' + \Delta I''}{2} \right)$$

3.4. Кривая поправок технического миллиамперметра
№... $I_n = \dots$, $K_T = 4$.



3.5. Предельно допустимые значения абсолютной погрешности поверяемого и образцового миллиамперметров.

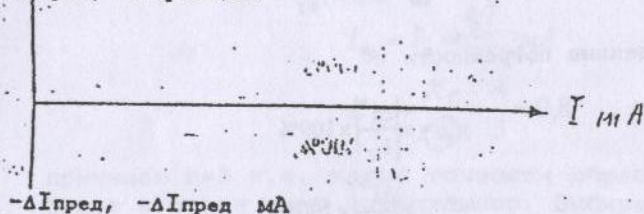
Как известно, зная классы точности приборов, определяют:

$$\Delta I_{пред} = \pm \frac{K_T \times I_n}{100} = \dots \text{мА} \quad 1,2$$

$$\Delta I_{пред_0} = \pm \frac{K_{T_0} \times I_{n_0}}{100} = \dots \text{мА} \quad 0,15$$

В одних осях координат построить графики аддитивных погрешностей приборов

$\Delta I_{пред}$, $\Delta I_{пред_0}$ мА



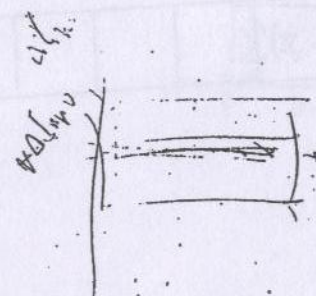
3.6. Записать результаты измерения с учетом предельно допустимых погрешностей для номинального значения поверяемого и образцового приборов.

$$I = I_n \pm \Delta I_{пред} = \dots \text{мА}$$

$$I_0 = I_{n_0} \pm \Delta I_{пред_0} = \dots \text{мА}$$

4. ВЫВОДЫ:

Дать анализ полученных расчетных данных и графиков.



[illegible]

Изучить методику обработки прямых многократных измерений партии резисторов $n=10$ с номинальными данными $R_n = \dots \text{ Ом}$, $\gamma = \pm 5\%$, для которой по паспорту гарантирован технологический разброс

$$\Delta R = \frac{\gamma \times R_n}{100} = \dots\dots O_M,$$

т.е. $R = R_H \pm \Delta R = \dots\dots\dots \text{Ом.}$

Сбор статистической совокупности измерений резисторов выполнять с помощью ЦИП (цифрового измерительного прибора). У цифрового омметра следует выбрать предел измерения (конечное значение R_k), которое должно быть

$$R_{F, \text{min}} \geq R_H$$

и погрешность $\Delta R_{\text{изп}}$, которая должна быть в 3-5 раз меньше ΔR .

В результате обработки результатов измерений данной партии резисторов следует определить доверительные границы или доверительный интервал, который не должен превышать заданных 5% границ, т.е.

$$\Delta R_{\text{доп}} \leq \Delta R.$$

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для статистической совокупности резисторов определяют

- арифметическое среднее

$$R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

- среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_{cp})^2}{n-1}}$$

доверительную границу

$$\Delta R_{\text{доп}} = \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

где t - коэффициент Стьюдента из табл.1 для заданной преподавателем доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$.

Запись результата многократных измерений представляют в форме доверительных границ с $P_{\text{дов}} =$

$$R = R_{\text{ср}} \pm \Delta R_{\text{доп}}$$

или в форме доверительного интервала с $P_{\text{дов}} =$

$$R_{\text{ср}} - \Delta R_{\text{доп}} < R < R_{\text{ср}} + \Delta R_{\text{доп}}$$

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Выбор метрологических характеристик цифрового омметра для сбора статистических данных

Относительная погрешность цифрового омметра типа равна

$$\delta_{\text{цип}} = \pm \left[c + d \left(\frac{R_x}{R} - 1 \right) \right] \%$$

где

- численные значения коэффициентов c и d указаны в паспорте прибора,
- R_x - конечное значение предела измерения ЦИП,
- R - измеряемое сопротивление, (в данном случае $R = R_{\text{н}}$).

Зная значение относительной погрешности прибора $\delta_{\text{цип}}$, определяют абсолютную погрешность

$$\Delta R_{\text{цип}} = \pm \frac{\delta \times R_{\text{ср}}}{100} = \dots \text{Ом},$$

численное значение которой должно быть в 3-5 раз меньше допустимого значения абсолютной погрешности резисторов ΔR .

$R_{\text{н}}$ выбрать из 1000 Ом, 10.000 Ом, 100.000 Ом

$c = 0,2$ $d = 0,05$

$R_{\text{н}} < R_{\text{ср}}$
 $P = 0,95$

коэф. студента

В результате расчетов получили:

$\Delta R_{\text{доп}} = \dots \text{Ом}$

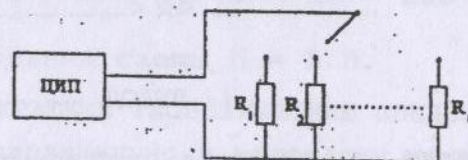
$\Delta R_{\text{цип}} = \dots \text{Ом}$

$\Delta R = \dots \text{Ом}$

Эти данные показывают, что $\Delta R_{\text{доп}}$ в раз меньше ΔR . На этом основании можно сделать вывод, что ЦИП выбран правильно для измерения заданных резисторов.

3.2. Методика проведения эксперимента.

Схема прямых измерений резисторов с помощью ЦИП.



Поочередно измеряя каждый резистор цифровым омметром, записать данные в табл.2

Таблица 2

Статистическая обработка результатов измерения сопротивления резисторов с номинальными данными $R_{\text{н}} = \dots \text{Ом}$, $\gamma = \pm 5\%$, $\Delta R = \dots \text{Ом}$ цифровым омметром типа

№ резисторов	$R_{\text{н}}$ Ом	$R_{\text{ср}}$ Ом	σ Ом	$\Delta R_{\text{доп}}$ Ом	$P_{\text{дов}}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

3.2.1. Записать полученные данные партии резисторов с учетом доверительных границ

$$R = R_{cp} \pm \Delta R_{дог} = \dots \text{Ом},$$

с учетом доверительного интервала

$$R_{cp} - \Delta R_{дог} < R < R_{cp} + \Delta R_{дог}$$

$$\dots < R < \dots$$

4. ВЫВОД

Дать анализ соответствия экспериментальных данных расчетным.

Лабораторная работа №4

РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

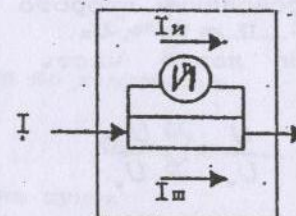
Расширить пределы измерения по току в $K_{ш} = 600$ раз и по напряжению в $K_{н} = 31$ раз для заданного измерителя магнитоэлектрической системы с номинальными данными:

$$I_n = 0,5 \text{ мА} ; U_n = 75 \text{ мВ} ; \alpha_n = 500 \text{ делений.}$$

Напряжение питания схемы $U = 5 \text{ В}$.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Включив параллельно к заданному измерителю шунт



можно записать на основании первого закона Кирхгофа

$$I = I_{и} + I_{ш}.$$

Разделив правую и левую часть равенства на $I_{и}$ получим:

$$\frac{I}{I_{и}} = 1 + \frac{I_{ш}}{I_{и}}$$

Обозначим отношение общего тока к току измерителя коэффициентом:

$$K_{ш} = \frac{I}{I_{и}}$$

а отношение тока шунта к току измерителя как обратное отношение сопротивлений:

$$\frac{I_{ш}}{I_u} = \frac{r_u}{r_{ш}}$$

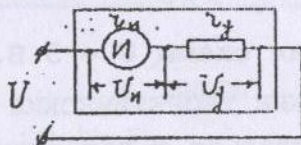
Запишем:

$$K_{ш} = 1 + \frac{r_u}{r_{ш}}$$

откуда, зная $K_{ш}$, можно определить сопротивление шунта:

$$r_{ш} = \frac{r_u}{K_{ш} - 1}$$

2.2. Включив последовательно к заданному измерителю добавочное сопротивление r_d



можно записать на основании второго закона Кирхгофа $U = U_u + U_d$.

Разделив правую и левую часть равенства на U_u получим

$$\frac{U}{U_u} = 1 + \frac{U_d}{U_u}$$

Обозначим отношение общего напряжения к напряжению измерителя коэффициентом

$$K_d = \frac{U}{U_u}$$

а отношение напряжения на добавочном сопротивлении к напряжению измерителя как отношение сопротивлений.

$$\frac{U_d}{U_u} = \frac{r_d}{r_u}$$

Запишем

$$K_d = 1 + \frac{r_d}{r_u}$$

откуда, зная K_d , можно определить добавочное сопротивление

$$r_d = r_u (K_d - 1)$$

т.е. зная коэффициент расширения прибора по напряжению, можно определить добавочное сопротивление и наоборот.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Определение метрологических характеристик заданного измерителя.

По паспортным данным измерителя рассчитать:

- внутреннее сопротивление измерителя

$$r_u = \frac{U_u}{I_u} = \dots \text{Ом},$$

- цену деления по току

$$C_I = \frac{I_u}{\alpha_u} = \dots \frac{\text{mA}}{\text{дел}},$$

- цену деления по напряжению

$$C_U = \frac{U_u}{\alpha_u} = \dots \frac{\text{mB}}{\text{дел}},$$

- сопротивление шунта

$$r_{ш} = \frac{r_u}{K_{ш} - 1} = \dots \text{Ом},$$

- добавочное сопротивление

$$r_d = r_u (K_d - 1) = \dots \text{Ом},$$

- цену деления по току для измерителя с расширенным пределом измерения

$$C'_I = C_I \times K_{ш} = \dots \frac{\text{mA}}{\text{дел}},$$

- цену деления по напряжению для измерителя с расширенным пределом измерения

$$C'_U = C_U \times K_D = \frac{4,45 \text{ мВ}}{\text{дел}},$$

- новый расширенный предел измерения по току

$$I'_u = I_u \times K_u = \dots \text{мА} \quad \text{или} \quad I'_u = C'_I \times \alpha_u = \dots \text{мА},$$

по которому выбирается предел измерения образцового миллиамперметра I_0 ;

- новый расширенный предел измерения по напряжению

$$U'_u = U_u \times K_D = \dots \text{мВ} \quad \text{или} \quad U'_u = C'_U \times \alpha_u = \dots \text{мВ},$$

по которому выбирается предел измерения образцового милливольтметра U_0 .

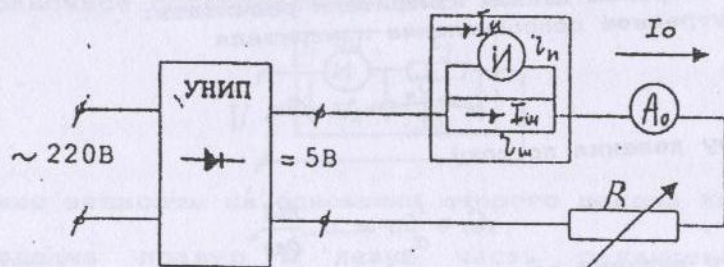


Рис.1. Схема расширения предела измерения по току.

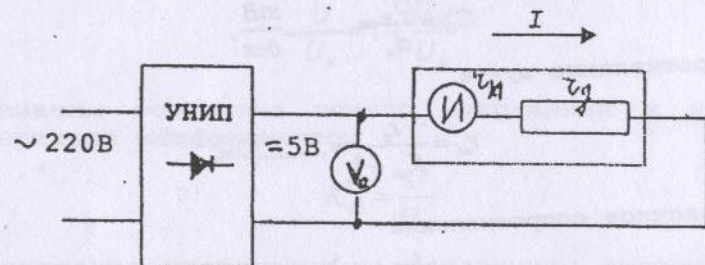


Рис.2. Схема расширения предела измерения по напряжению.

3.2. Методика проведения эксперимента.

3.2.1. Расширение предела измерения по току.

Регулируя в цепи ток (рис.1) с помощью регулировочного сопротивления нагрузки R по оцифрованным значениям угла отклонения заданного

измерителя $\alpha = 100, 200, 300, 400, 500$ делений записать значения общего тока I_0 в табл.1.

Определить теоретическое значение тока для каждого угла отклонения измерителя

$$I'_0 = C'_I \times \alpha$$

и сравнить его с экспериментальным значением I_0 .

Рассчитать:

- абсолютную погрешность

$$\Delta I = I_0 - I'_0,$$

- относительную приведенную погрешность

$$\gamma_{пр} = \pm \frac{|\Delta I|}{2I_n} \times 100\%,$$

максимальное значение которой определит класс точности прибора с расширенным пределом измерения.

Опытные и расчетные данные записать в табл.1.

3.2.2. Расширение предела измерения по напряжению.

Регулируя постоянное напряжение (рис.2) по оцифрованным значениям угла отклонения заданного измерителя $\alpha = 100, 200, 300, 400, 500$ делений, записать значения напряжения вольтметра U_0 .

Определить теоретическое значение напряжения для каждого угла отклонения измерителя

$$U'_0 = C'_U \times \alpha$$

и сравнить его с экспериментальным значением U_0 .

Рассчитать

- абсолютную погрешность

$$\Delta U = U_0 - U'_0,$$

- относительную приведенную погрешность

$$\gamma_{пр} = \pm \frac{|\Delta U|}{2U_n} \times 100\%,$$

максимальное значение которой определит класс точности прибора с расширенным пределом измерения по напряжению.

Опытные и расчетные данные записать в табл.2.

4. ВЫВОД

Дать анализ расчетных и экспериментальных данных по каждой схеме.

Таблица 1

Исходные, опытные и расчетные данные
при расширении предела измерения по току

Исходные и расчетные данные:							Опытные и расчетные данные:					присвоен K_T
I_n мА	C_t мА/дел	K_T %	K_m	R_m Ом	C_t мА/дел	I_n мА	α дел	I'_t мА	I_o мА	ΔI мА	γ_{mp} %	
							100					
							200					
							300					
							400					
							500					

Таблица 2

Исходные, опытные и расчетные данные
при расширении предела измерения по напряжению

Исходные и расчетные данные							Опытные и расчетные данные					присвоен K_T	
U_n мВ	C_u мВ/дел	K_T %	K_d	R_d Ом	C_u мВ/дел	U_n мВ	α дел	U'_n мВ	U_o мВ	ΔU мВ	$\gamma_{гр}$ %		
							100						
							200						
							300						
							400						
							500						