

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

УТВЕРЖДАЮ

Проректор-директор ЭНИН

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Ю.С. Боровиков

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ю.К. Кривогузова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУНТИРУЮЩЕГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине  
«Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов направления  
140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Издательство  
Томского политехнического университета  
2012

УДК 621.317.3

Исследование влияния шунтирующего сопротивления на предел измерения электроизмерительных приборов.

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов направления 140400 – Электроэнергетика и электротехника / Ю.К. Кривогузова, Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 12 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Заведующий кафедрой АТП,  
канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ И.П. Озерова

Председатель учебно-методической  
комиссии \_\_\_\_\_ В.С. Андык

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2012  
© Кривогузова Ю.К., 2012  
© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2012.

## ВВЕДЕНИЕ

Цель работы заключается в изучении методов измерения больших значений силы тока и напряжения, определении зависимости верхнего предела измерения электроизмерительных приборов от значения шунтирующего сопротивления.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение схем подключения шунтирующего сопротивления к амперметру и вольтметру;
- проведение серии экспериментов для различных значений шунтирующего сопротивления;
- установление зависимости полученного шунтированием предела измерения прибора от значения сопротивления шунта.

## РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Для измерения напряжения и силы тока в электрических цепях обычно используются измерительные приборы, которые из-за их технических особенностей (измерительный механизм с подвижной катушкой, дополнительные резисторы) обладают омическим сопротивлением, так называемым внутренним сопротивлением. Наличие внутреннего сопротивления приводит к тому, что подключение измерительных приборов к тестируемой цепи влияет на её параметры. Так амперметры включаются в цепь последовательно, так чтобы измеряемый ток проходил через них. При этом наличие внутреннего сопротивления  $R_A$  у амперметра приводит к тому, что общее сопротивление тестируемого участка цепи возрастает, и поэтому сила тока в цепи с амперметром меньше чем сила тока без него. Чем меньше внутреннее сопротивление, тем меньшее изменение силы тока происходит на том участке цепи, куда включается амперметр.

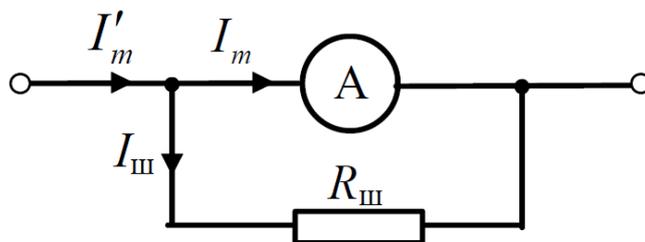


Рисунок 1 – схема подключения шунта к амперметру

Для увеличения предела измерения амперметра применяется его шунтирование – подключение параллельно амперметру сопротивления  $R_{ш}$ ,

называемого шунтом. Схема подключения приведена на рисунке 1. При этом часть тока  $I_{ш}$  проходит через шунт, а общий измеряемый ток  $I'_m$  становится больше, чем предел измерения амперметра  $I_m$ . Такое соединение можно рассматривать как амперметр с новым пределом измерения, равным  $I'_m$ . По законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} I'_m = I_m + I_{ш}, \\ I_m \cdot R_A - I_{ш} R_{ш} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Решение системы уравнений (1) относительно  $I'_m$  будет иметь вид:

$$I'_m = I_m \left( 1 + \frac{R_A}{R_{ш}} \right). \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что чем меньше будет сопротивление шунта  $R_{ш}$ , тем больше будет новый предел измерения  $I'_m$ . Сопротивление  $R_{ш}$  определяется выражением:

$$R_{ш} = \frac{R_A}{\frac{I'_m}{I_m} - 1} = \frac{R_A}{n - 1}, \quad (3)$$

где  $n = \frac{I'_m}{I_m}$  – коэффициент шунтирования.

Вольтметры предназначены для измерения разности потенциалов на участке цепи. Для однородного участка цепи разность потенциалов равна напряжению на участке. Для того, чтобы при подключении вольтметра токи в схеме изменялись мало, необходимо, чтобы его внутреннее сопротивление  $R_V$  было как можно большим.

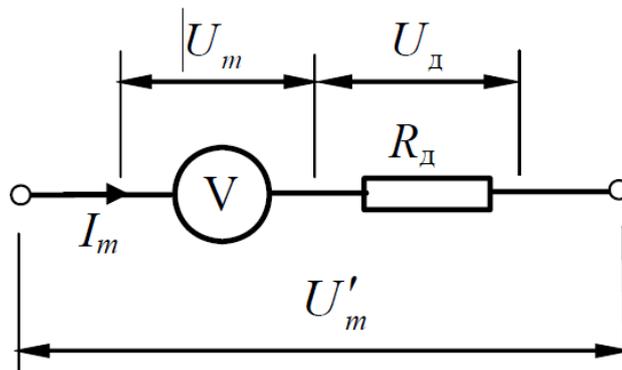


Рисунок 2 – схема подключения шунта к вольтметру

Пределу измерения вольтметра соответствует максимальный ток вольтметра:

$$I_m = \frac{U_m}{R_V}. \quad (4)$$

Для изменения предела измерения вольтметра последовательно с ним включают добавочное сопротивление  $R_d$ . При этом измеряемое напряжение  $U'_m$  равно:

$$U'_m = U_m + U_d, \quad (5)$$

где  $U_d$  – напряжение на добавочном сопротивлении. Так как ток через вольтметр равен току через добавочное сопротивление, напряжение на добавочном сопротивлении будет равно:

$$U_d = I_m \cdot R_d. \quad (6)$$

Путем подстановки выражения (6) в выражение (5) получается:

$$U'_m = U_m + I_m \cdot R_d, \quad (7)$$

откуда

$$R_d = \frac{U'_m - U_m}{I_m} = \frac{U'_m - U_m}{U_m} \cdot R_V = \left( \frac{U'_m}{U_m} - 1 \right) \cdot R_V = (m - 1) \cdot R_V, \quad (8)$$

где  $m = \frac{U'_m}{U_m}$  – коэффициент изменения предела измерения напряжения.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. Расширение предела измерения амперметра

Собрать электрическую схему, представленную на рис. 3.

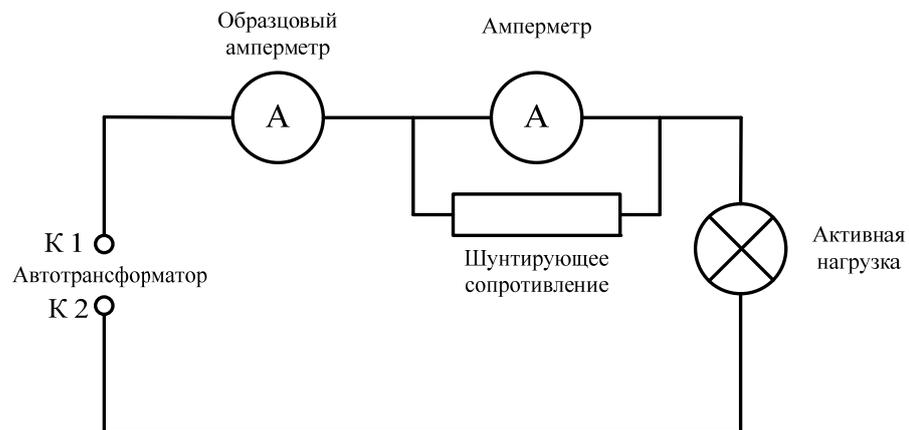


Рисунок 3 – схема экспериментальной цепи

1. Соединить контакт К1 выхода Автотрансформатора с контактом измерения mA Мультиметра.
2. Перевести Мультиметр в режим измерения переменного тока, предел измерений 200 мА.

3. Соединить общий контакт измерения Мультиметра с контактом К1.1 электромагнитного Амперметра панели «Приборы магнитоэлектрические».
4. Соединить контакт К2.1 электромагнитного Амперметра панели «Приборы магнитоэлектрические» с контактом К1.1 Активной нагрузки Блока нагрузок.
5. Соединить контакт К2.1 Активной нагрузки Блока нагрузок с общим контактом К2 Автотрансформатора.
6. Соединить контакт К1.2 электромагнитного Амперметра панели «Приборы магнитоэлектрические» с контактом «99999,9  $\Omega$ » Магазина сопротивлений.
7. Соединить контакт К2.2 электромагнитного Амперметра панели «Приборы магнитоэлектрические» с контактом «0» Магазина сопротивлений.
8. Повернуть регулятор напряжения Автотрансформатора против часовой стрелки до упора (установить указатель на отметку «0»).
9. Включить электропитание лабораторной установки, установив переключатели автоматических сетевых выключателей АВ1 и АВ2, мультиметр.
10. С помощью галетных переключателей « $\times 10$ » и « $\times 1$ » Магазина сопротивлений установить сопротивление шунта равным  $R_1$  (см. табл. 3).
11. Плавно поворачивая регулятор напряжения Автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать силу тока в цепи. Показания образцового амперметра, соответствующие показаниями « $I_i$ » (см. табл. 3) электромагнитного амперметра, занести в таблицу 1.
12. Отключить питание лабораторной установки, выключить мультиметр.
13. С помощью галетных переключателей « $\times 10$ » и « $\times 1$ » Магазина сопротивлений установить сопротивление шунта равным  $R_2$  (см. табл. 3).
14. Включить питание установки, мультиметр.
15. Плавно поворачивая регулятор напряжения Автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать силу тока в цепи. Показания образцового амперметра, соответствующие показаниями « $I_i$ » (см. табл. 3) электромагнитного амперметра, занести в таблицу 1.

Таблица 1 – результаты эксперимента № 1

Показания электро-магнитного амперметра, мА	Показания образцового амперметра при сопротивлении шунта $R_1$ , мА	Коэффициент шунтирования при сопротивлении и шунта $R_1$	Показания образцового амперметра при сопротивлении шунта $R_2$ , мА	Коэффициент шунтирования при сопротивлении шунта $R_2$
$I_1$				
...				
$I_6$				

## 2. Расширение предела измерения вольтметра

Собрать электрическую схему, представленную на рис. 4.

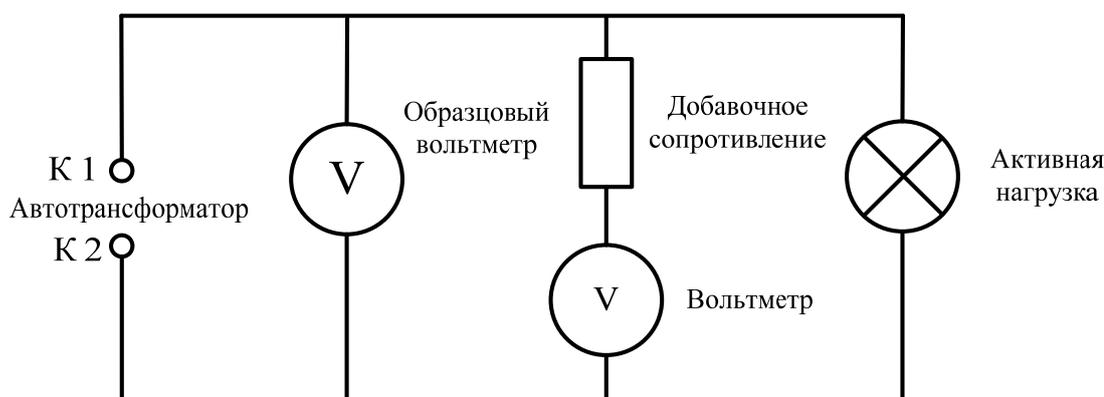


Рисунок 4 – схема экспериментальной цепи

1. Соединить контакт выхода Автотрансформатора К1 с контактом К1.1 Наборного поля.
2. Соединить контакт К1.2 Наборного поля с измерительным контактом V  $\Omega$  Hz Мультиметра.
3. Перевести Мультиметр в режим измерения переменного напряжения, предел измерения 200 В.
4. Соединить общий контакт измерения Мультиметра СОМ с контактом К3.1 Наборного поля.
5. Соединить контакт К3.2 Наборного поля с контактом выхода Автотрансформатора К2.
6. Соединить контакт К1.3 Наборного поля с контактом К4.1 Наборного поля.
7. Соединить контакт К4.2 Наборного поля с контактом «99999,9  $\Omega$ » Магазины сопротивлений.
8. Соединить контакт К3.1 панели «Приборы магнитоэлектрические» Вольтметра с контактом «0» Магазины сопротивлений.
9. Соединить контакт К4.1 панели «Приборы магнитоэлектрические» с контактом К2.1 Наборного поля.

10. Соединить контакт К4.3 Наборного поля с контактом К1.1 Активной нагрузки панели «Блок нагрузок».
11. Соединить контакт К2.1 Активной нагрузки панели «Блок нагрузок» с контактом К2.2 Наборного поля.
12. Соединить контакт К2.3 Наборного поля с контактом К3.3 Наборного поля.
13. С помощью галетных переключателей « $\times 10000$ » и « $\times 1000$ » Магазина сопротивлений установить сопротивление шунта равным « $R_1$ » (см. табл. 3).
14. Включить питание установки, мультиметр.
15. Плавно поворачивая регулятор напряжения Автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать напряжение в цепи. Показания образцового вольтметра, соответствующие показаниями « $U_1$ » (см. табл. 3) электромагнитного вольтметра, занести в таблицу 2.
16. Отключить питание лабораторной установки, выключить мультиметр.
17. С помощью галетных переключателей « $\times 10000$ » и « $\times 1000$ » Магазина сопротивлений установить сопротивление шунта равным « $R_2$ » (см. табл. 3).
18. Включить питание установки, мультиметр.
19. Плавно поворачивая регулятор напряжения Автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать напряжение в цепи. Показания образцового вольтметра, соответствующие показаниями « $U_1$ » (см. табл. 3) электромагнитного вольтметра, занести в таблицу 2.

Таблица 2 – результаты эксперимента № 2

Показания электромагнитного вольтметра, мА	Показания образцового вольтметра при сопротивлении шунта $R_1$ , мА	Коэффициент изменения предела измерения напряжения при сопротивлении и шунта $R_1$	Показания образцового вольтметра при сопротивлении шунта $R_2$ , мА	Коэффициент изменения предела измерения напряжения при сопротивлении шунта $R_2$
$U_1$				
...				
$U_6$				

Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – варианты индивидуальных заданий

№ вар.	Сопротивление шунта для амперметра		Значение измеряемой величины					
	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом						
1	Шунтирование амперметра							
	50	150	I <sub>1</sub> =20 мА	I <sub>2</sub> =25 мА	I <sub>3</sub> =30 мА	I <sub>4</sub> =35 мА	I <sub>5</sub> =40 мА	I <sub>6</sub> =45 мА
	Шунтирование вольтметра							
	10 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
2	Шунтирование амперметра							
	55	151	I <sub>1</sub> =22 мА	I <sub>2</sub> =32 мА	I <sub>3</sub> =42 мА	I <sub>4</sub> =52 мА	I <sub>5</sub> =62 мА	I <sub>6</sub> =65 мА
	Шунтирование вольтметра							
	15 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
3	Шунтирование амперметра							
	60	152	I <sub>1</sub> =24 мА	I <sub>2</sub> =30 мА	I <sub>3</sub> =36 мА	I <sub>4</sub> =42 мА	I <sub>5</sub> =48 мА	I <sub>6</sub> =54 мА
	Шунтирование вольтметра							
	20 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
4	Шунтирование амперметра							
	65	153	I <sub>1</sub> =26 мА	I <sub>2</sub> =32 мА	I <sub>3</sub> =38 мА	I <sub>4</sub> =44 мА	I <sub>5</sub> =50 мА	I <sub>6</sub> =56 мА
	Шунтирование вольтметра							
	25 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
5	Шунтирование амперметра							
	70	154	I <sub>1</sub> =38 мА	I <sub>2</sub> =44 мА	I <sub>3</sub> =50 мА	I <sub>4</sub> =56 мА	I <sub>5</sub> =62 мА	I <sub>6</sub> =68 мА
	Шунтирование вольтметра							
	30 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
6	Шунтирование амперметра							
	75	155	I <sub>1</sub> =20 мА	I <sub>2</sub> =28 мА	I <sub>3</sub> =36 мА	I <sub>4</sub> =44 мА	I <sub>5</sub> =52 мА	I <sub>6</sub> =60 мА
	Шунтирование вольтметра							
	35 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
7	Шунтирование амперметра							
	80	156	I <sub>1</sub> =22 мА	I <sub>2</sub> =30 мА	I <sub>3</sub> =38 мА	I <sub>4</sub> =46 мА	I <sub>5</sub> =54 мА	I <sub>6</sub> =62 мА
	Шунтирование вольтметра							
	45 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
8	Шунтирование амперметра							
	85	157	I <sub>1</sub> =30 мА	I <sub>2</sub> =40 мА	I <sub>3</sub> =50 мА	I <sub>4</sub> =60 мА	I <sub>5</sub> =70 мА	I <sub>6</sub> =80 мА
	Шунтирование вольтметра							
	50 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
9	Шунтирование амперметра							
	90	158	I <sub>1</sub> =28 мА	I <sub>2</sub> =38 мА	I <sub>3</sub> =48 мА	I <sub>4</sub> =58 мА	I <sub>5</sub> =68 мА	I <sub>6</sub> =78 мА
	Шунтирование вольтметра							
	55 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
10	Шунтирование амперметра							
	100	160	I <sub>1</sub> =36 мА	I <sub>2</sub> =46 мА	I <sub>3</sub> =56 мА	I <sub>4</sub> =66 мА	I <sub>5</sub> =76 мА	I <sub>6</sub> =86 мА
	Шунтирование вольтметра							
	60 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В

Таблица 3 – варианты индивидуальных заданий

№ вар.	Сопротивление шунта для амперметра		Значение измеряемой величины					
	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом						
1	Шунтирование амперметра							
	50	150	I <sub>1</sub> =20 мА	I <sub>2</sub> =25 мА	I <sub>3</sub> =30 мА	I <sub>4</sub> =35 мА	I <sub>5</sub> =40 мА	I <sub>6</sub> =45 мА
	Шунтирование вольтметра							
	10 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
2	Шунтирование амперметра							
	55	151	I <sub>1</sub> =22 мА	I <sub>2</sub> =32 мА	I <sub>3</sub> =42 мА	I <sub>4</sub> =52 мА	I <sub>5</sub> =62 мА	I <sub>6</sub> =65 мА
	Шунтирование вольтметра							
	15 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
3	Шунтирование амперметра							
	60	152	I <sub>1</sub> =24 мА	I <sub>2</sub> =30 мА	I <sub>3</sub> =36 мА	I <sub>4</sub> =42 мА	I <sub>5</sub> =48 мА	I <sub>6</sub> =54 мА
	Шунтирование вольтметра							
	20 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
4	Шунтирование амперметра							
	65	153	I <sub>1</sub> =26 мА	I <sub>2</sub> =32 мА	I <sub>3</sub> =38 мА	I <sub>4</sub> =44 мА	I <sub>5</sub> =50 мА	I <sub>6</sub> =56 мА
	Шунтирование вольтметра							
	25 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
5	Шунтирование амперметра							
	70	154	I <sub>1</sub> =38 мА	I <sub>2</sub> =44 мА	I <sub>3</sub> =50 мА	I <sub>4</sub> =56 мА	I <sub>5</sub> =62 мА	I <sub>6</sub> =68 мА
	Шунтирование вольтметра							
	30 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
6	Шунтирование амперметра							
	75	155	I <sub>1</sub> =20 мА	I <sub>2</sub> =28 мА	I <sub>3</sub> =36 мА	I <sub>4</sub> =44 мА	I <sub>5</sub> =52 мА	I <sub>6</sub> =60 мА
	Шунтирование вольтметра							
	35 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
7	Шунтирование амперметра							
	80	156	I <sub>1</sub> =22 мА	I <sub>2</sub> =30 мА	I <sub>3</sub> =38 мА	I <sub>4</sub> =46 мА	I <sub>5</sub> =54 мА	I <sub>6</sub> =62 мА
	Шунтирование вольтметра							
	45 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
8	Шунтирование амперметра							
	85	157	I <sub>1</sub> =30 мА	I <sub>2</sub> =40 мА	I <sub>3</sub> =50 мА	I <sub>4</sub> =60 мА	I <sub>5</sub> =70 мА	I <sub>6</sub> =80 мА
	Шунтирование вольтметра							
	50 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
9	Шунтирование амперметра							
	90	158	I <sub>1</sub> =28 мА	I <sub>2</sub> =38 мА	I <sub>3</sub> =48 мА	I <sub>4</sub> =58 мА	I <sub>5</sub> =68 мА	I <sub>6</sub> =78 мА
	Шунтирование вольтметра							
	55 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В
10	Шунтирование амперметра							
	100	160	I <sub>1</sub> =36 мА	I <sub>2</sub> =46 мА	I <sub>3</sub> =56 мА	I <sub>4</sub> =66 мА	I <sub>5</sub> =76 мА	I <sub>6</sub> =86 мА
	Шунтирование вольтметра							
	60 000	95 000	U <sub>1</sub> =5 В	U <sub>2</sub> =10 В	U <sub>3</sub> =15 В	U <sub>4</sub> =20 В	U <sub>5</sub> =25 В	U <sub>6</sub> =30 В

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. По данным таблицы 1 рассчитать коэффициенты шунтирования амперметра  $n_1$  и  $n_2$  по формуле:

$$n = \frac{I'_m}{I_m}, \quad (9)$$

где  $I'_m$  – показания электромагнитного амперметра,  $I_m$  – показания образцового амперметра.

2. По данным таблицы 2 рассчитать коэффициенты шунтирования вольтметра  $m_1$  и  $m_2$  по формуле:

$$m = \frac{U'_m}{U_m}, \quad (10)$$

где  $U'_m$  – показания электромагнитного вольтметра,  $U_m$  – показания образцового вольтметра.

3. Для полученных совокупностей значений коэффициентов шунтирования определить математическое ожидание по формуле:

$$M_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (11)$$

4. Для полученных совокупностей значений коэффициентов шунтирования определить дисперсию по формуле:

$$D_x = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2. \quad (12)$$

5. Для полученных совокупностей значений коэффициентов шунтирования определить среднеквадратичное отклонение по формуле:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{D_x}. \quad (13)$$

Здесь  $x_i$  – значение результата в  $i$ -ом опыте;  $N$  – число опытов.

6. В одной системе координат построить графики зависимостей показаний образцового прибора при различных значениях шунтирующего сопротивления от показаний электромагнитного прибора.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) теоретические сведения о расширении пределов измерения электромагнитных приборов;
- 2) порядок выполнения работы;
- 3) порядок обработки экспериментальных данных;
- 4) таблицы, содержащие результаты экспериментов и расчетов;
- 5) графики искомых зависимостей;
- 6) ответы на контрольные вопросы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Почему шунт позволяет изменить предел измерения электроизмерительных приборов?
- 2) Шунт с каким сопротивлением необходимо использовать при измерении силы тока до 1000 мА амперметром с верхним пределом измерения 200 мА?
- 3) Почему шунт для расширения предела измерения амперметра включается параллельно амперметру, а шунт для расширения предела измерения вольтметра – последовательно вольтметру?
- 4) Определите действительное значение напряжения в цепи, если вольтметр показывает 125 В, величина добавочного сопротивления – 150 кОм.