

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

УТВЕРЖДАЮ

Проректор-директор ЭНИИ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Ю.С. Боровиков

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ю.К. Кривогузова

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА  
ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

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 компенсационного метода измерения напряжения.

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 метода измерения напряжения с помощью компенсационного метода измерения, исследования точности компенсационного метода при различных схемах включения источника питания.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение принципа действия компенсационной схемы измерения напряжения;
- проведение серии экспериментов для различных значений напряжения;
- определение погрешности измерения напряжения компенсационным методом при различных схемах включения источника питания.

## КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Для измерения малых значений (от долей до нескольких вольт) ЭДС и напряжений с высокой точностью используется компенсационный метод измерений, основанный на сравнении неизвестной ЭДС  $E_x$  или напряжения с известными. Приборы, использующие этот метод измерения, называются компенсаторами. Компенсационный метод измерения является одним из вариантов метода сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (добиваются нулевого показания измерительного прибора). Компенсационный метод измерения отличается высокой точностью. Она зависит от чувствительности нулевого прибора (нуль-индикатора), контролирующего осуществление компенсации, и от точности определения величины, компенсирующей измеряемую величину.

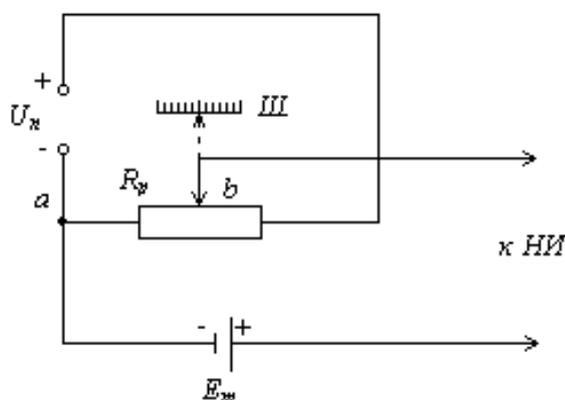


Рисунок 1 – измерительная схема потенциометра

Простейшая измерительная схема потенциометра изображена на рис. 1. Источник ЭДС неизвестной величины подключен к делителю напряжения

(реохорду)  $R_p$  таким образом, что падение напряжения  $U_{ab}$  между точками а и в на части делителя напряжения  $R_p$  подключено навстречу ЭДС  $E_T$ . Перемещая движок реохорда  $R_p$ , можно найти такое положение движка, при котором  $U_{ab}=E_T$ . В этом случае ЭДС  $E_T$  уравновешена падением напряжения  $U_{ab}$  на участке реохорда между точками а и в, ток в цепи источник  $E$  отсутствует и стрелка – указатель нуль-индикатора НИ устанавливается на нулевой отметке. Значение ЭДС определяют по шкале Ш.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. Эксперимент № 1

1. Соединить измерительный контакт  $VHz\Omega$  Мультиметра 2 с контактом К4 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания.
2. Соединить общий контакт СОМ Мультиметра 2 с контактом К3 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания.
3. Измеренное значение напряжения занести в таблицу 1.
4. Отключить питание лабораторной установки.
5. Отключить Мультиметр 2 от источника напряжения.
6. Собрать электрическую схему, представленную на рис. 2.

***Все коммутации проводить при выключенном питании лабораторной установки и выключенных мультиметрах!***

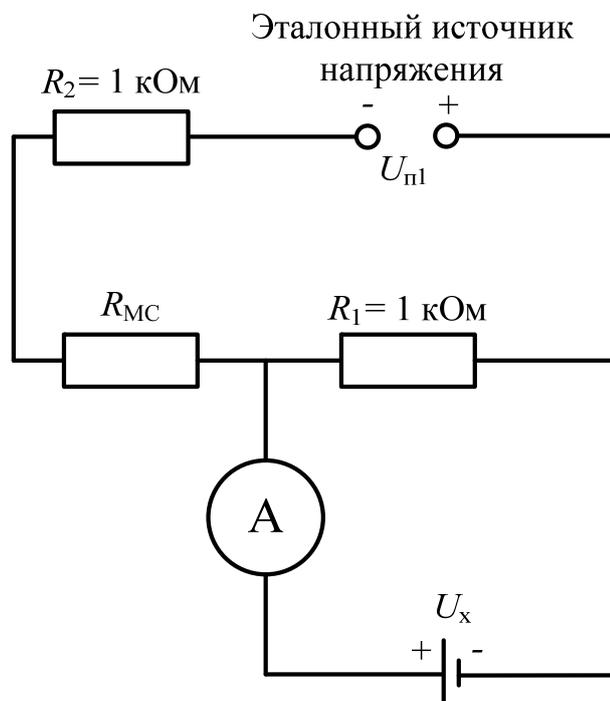


Рисунок 2 – схема экспериментальной цепи

Для сборки схемы необходимо:

1. Подключить контакт К4 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания к контакту К7.1 сопротивления R2 панели Наборное поле.
2. Подключить контакт К 8.1 сопротивления R2 панели Наборное поле к контакту 99999,9Ω Магазина сопротивлений.
3. Подключить контакт 0 Магазина сопротивлений к контакту К5.1 сопротивления R1 панели Наборное поле.
4. Подключить контакт К5.2 сопротивления R1 к контакту mA Мультиметра 1.
5. Подключить контакт К6.1 сопротивления R1 к контакту К3 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания.

Порядок проведения эксперимента № 1

1. Соединить общий контакт СОМ Мультиметра 2 с контактом К7 источника регулируемого напряжения панели Блок питания.
2. Соединить контакт VHz Мультиметра 2 с контактом К8 источника регулируемого напряжения панели Блок питания.
3. Перевести Мультиметр 2 в режим измерения постоянного напряжения.
4. Включить питание лабораторной установки.
5. Установить с помощью регулятора напряжения значение напряжения  $U_{1-1}$  (см. табл. 4).
6. Отключить питание лабораторной установки.
7. Отключить Мультиметр 2 от источника напряжения.
8. Подключить общий контакт СОМ Мультиметра 1 к контакту К8 источника регулируемого напряжения панели Блок питания.
9. Подключить контакт К7 источника регулируемого напряжения панели Блок питания к контакту К6.2 сопротивления R1 панели Наборное поле.
10. Перевести Мультиметр в режим измерения **постоянного тока**, предел измерения 20 мА.
11. Включить питание лабораторной установки, мультиметр 1.
12. Установить переключатель «x10 000» Магазина сопротивлений в положение, соответствующее минимальному по модулю значению тока, измеряемого Мультиметром 1.
13. Последовательно установить переключатели «x1 000», «x100», «x10», «x1», «x0,1» Магазина сопротивлений в такое положение, при котором ток, измеряемый Мультиметром 1, будет равен 0.
14. Значение сопротивления Магазина сопротивлений занести в таблицу 1.
15. Отключить питание лабораторной установки, мультиметр 1.

16. Отключить проводники от контактов К7 и К8 источника регулируемого напряжения панели Блок питания.
17. Соединить измерительный контакт VHzΩ Мультиметра 2 с контактом К8 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания.
18. Соединить общий контакт СОМ Мультиметра 2 с контактом К7 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания.
19. Перевести Мультиметр 2 в режим измерения постоянного напряжения.
20. Включить питание лабораторной установки.
21. Установить с помощью регулятора напряжения значение напряжения  $U_{1-i}$  (см. табл. 4).
22. Повторить п.п. 6-21 порядка проведения эксперимента №1 для остальных значений измеряемого напряжения.
23. Отключить питание лабораторной установки, мультиметры.

Таблица 1 – результаты экспериментальных и расчетных данных эксперимента № 1

Измеряемое напряжение, В		Значение сопротивления Магазина сопротивлений $R_{MC}$ , Ом
Показания мультиметра, В	Значение напряжения, измеренное компенсационным методом $U_{1-i_{км}}$ , В	
$U_{1-1}$		
...		
$U_{1-i}$		
...		
$U_{1-7}$		

#### Эксперимент № 2

1. Соединить измерительный контакт VHzΩ Мультиметра 2 с контактом К20 нормального элемента панели Наборное поле.
2. Соединить общий контакт СОМ Мультиметра 2 с контактом К21 нормального элемента панели Наборное поле.
3. Измеренное значение напряжения занести в таблицу 2.
4. Отключить питание лабораторной установки.
5. Отключить Мультиметр 2 от источника напряжения.
6. Собрать электрическую схему, представленную на рис. 3.

***Все коммутации проводить при выключенном питании лабораторной установки и выключенных мультиметрах!***

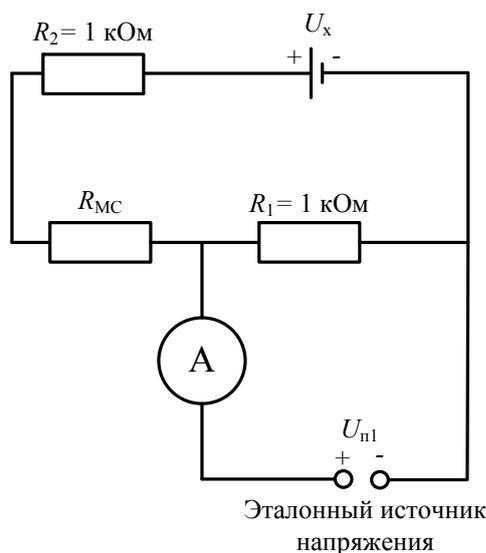


Рисунок 3 – схема экспериментальной цепи

Для сборки схемы необходимо:

1. Подключить контакт К20 нормального элемента панели Наборное поле к общему контакту СОМ Мультиметра 1.
2. Подключить контакт К21 нормального элемента панели Наборное поле к контакту К6.2 сопротивления R1 панели Наборное поле.
3. Подключить контакт mA Мультиметра 1 к контакту К5.2 сопротивления R1 панели Наборное поле.
4. Подключить контакт 0 Магазины сопротивлений к контакту К5.1 сопротивления R1 панели Наборное поле.
5. Подключить контакт К 8.1 сопротивления R2 панели Наборное поле к контакту 99999,9Ω Магазины сопротивлений.

Порядок проведения эксперимента № 2

1. Соединить общий контакт СОМ Мультиметра 2 с контактом К7 источника регулируемого напряжения панели Блок питания.
2. Соединить контакт VHz Мультиметра 2 с контактом К8 источника регулируемого напряжения панели Блок питания.
3. Перевести Мультиметр 2 в режим измерения постоянного напряжения.
4. Включить питание лабораторной установки.
5. Установить с помощью регулятора напряжения значение напряжения  $U_{2-1}$  (см. табл. 4).
6. Отключить питание лабораторной установки.
7. Отключить Мультиметр 2 от источника напряжения.
8. Подключить контакт К7.1 сопротивления R2 панели Наборное поле к контакту К8 источника регулируемого напряжения панели «Блок питания».

9. Подключить контакт К7 источника регулируемого напряжения панели Блок питания к контакту К6.2 сопротивления R1 панели Наборное поле.
10. Перевести Мультиметр 1 в режим измерения **постоянного тока**, предел измерения 20 мА.
11. Включить питание лабораторной установки, мультиметр 1.
12. Установить переключатель «x10 000» Магазина сопротивлений в положение, соответствующее минимальному по модулю значению тока, измеряемого Мультиметром 1.
13. Последовательно установить переключатели «x1 000», «x100», «x10», «x1», «x0,1» Магазина сопротивлений в такое положение, при котором ток, измеряемый Мультиметром 1, будет равен 0.
14. Значение сопротивления Магазина сопротивлений занести в таблицу 2.
15. Отключить питание лабораторной установки, Мультиметр 1.
16. Отключить проводники от контактов К7 и К8 источника регулируемого напряжения панели Блок питания.
17. Соединить измерительный контакт VHzΩ Мультиметра 2 с контактом К8 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания.
18. Соединить общий контакт СОМ Мультиметра 2 с контактом К7 источника стабилизированного напряжения панели Блок питания.
19. Перевести Мультиметр 2 в режим измерения постоянного напряжения.
20. Включить питание лабораторной установки.
21. Установить с помощью регулятора напряжения значение напряжения  $U_{2-i}$  (см. табл. 4).
22. Повторить п.п. 6-21 порядка проведения эксперимента №2 для остальных значений измеряемого напряжения.
23. Отключить питание лабораторной установки, мультиметры.

Таблица 2 – результаты экспериментальных и расчетных данных эксперимента № 2

Измеряемое напряжение, В		Значение сопротивления Магазина сопротивлений $R_{MC}$ , Ом
Показания мультиметра, В	Значение напряжения, измеренное компенсационным методом $U_{2-i \text{ км}}$ , В	
$U_{2-1}$		
...		
$U_{2-i}$		
...		
$U_{2-7}$		

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. По данным таблицы 1 определить значение напряжения, измеряемого компенсационным методом по схеме, представленной на рис. 2 по формуле:

$$U_{1-i \text{ км}} = U_{\text{п1}} \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_{\text{МС}i}}, \quad (1)$$

где  $R_1 = R_2 = 1 \text{ кОм}$  – постоянные сопротивления,  $R_{\text{МС}i}$  – значение сопротивления Магазина сопротивлений, соответствующее состоянию равновесия при  $i$ -м значении напряжения.

Полученные значения занести в таблицу 3.

2. По данным таблицы 1 определить абсолютную погрешность измерения напряжения компенсационным методом измерения по формуле:

$$\Delta = U_{1-i \text{ км}} - U_{1-i}, \quad (2)$$

где  $U_{1-i}$  – значение напряжения, определенное по мультиметру 2.

Полученные значения занести в таблицу 3.

3. По данным таблицы 1 определить относительную погрешность измерения напряжения компенсационным методом измерения по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{U_{1-i \text{ км}}} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

Полученные значения занести в таблицу 3.

4. По данным таблицы 2 определить значение напряжения, измеряемого компенсационным методом по схеме, представленной на рис. 3 по формуле:

$$U_{2-i \text{ км}} = U_{\text{п2}} \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_{\text{МС}i}}, \quad (4)$$

где  $R_1 = R_2 = 1 \text{ кОм}$  – постоянные сопротивления,  $R_{\text{МС}i}$  – значение сопротивления Магазина сопротивлений, соответствующее состоянию равновесия при  $i$ -м значении напряжения.

Полученные значения занести в таблицу 3.

5. По данным таблицы 2 определить абсолютную погрешность измерения напряжения компенсационным методом измерения по схеме, представленной на рис. 3 по формуле:

$$\Delta = U_{2-i \text{ км}} - U_{2-i}, \quad (5)$$

где  $U_{2-i}$  – значение напряжения, определенное по мультиметру 2.

Полученные значения занести в таблицу 3.

6. По данным таблицы 2 определить относительную погрешность измерения напряжения компенсационным методом измерения по схеме, представленной на рис. 3 по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{U_{2-i \text{ км}}} \cdot 100 \%. \quad (6)$$

Полученные значения занести в таблицу 3.

Таблица 3 – результаты расчета погрешностей

Эксперимент № 1			Эксперимент № 2		
Значение напряжения $U_{1-i}$ , В	Абсолютная погрешность измерения, В	Относительная погрешность измерения, %	Значение напряжения $U_{2-i}$ , В	Абсолютная погрешность измерения, В	Относительная погрешность измерения, %
$U_{1-1}$			$U_{2-1}$		
$U_{1-2}$			$U_{2-2}$		
...			...		
$U_{1-7}$			$U_{2-7}$		

Сделать вывод по данным таблицы 3.

Таблица 4 – варианты исходных данных

№ варианта	Значения измеряемого напряжения						
1	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 0,5 \text{ В}$	$U_{1.2}= 1 \text{ В}$	$U_{1.3}= 1,5 \text{ В}$	$U_{1.4}= 2 \text{ В}$	$U_{1.5}= 2,5 \text{ В}$	$U_{1.6}= 2,5 \text{ В}$	$U_{1.7}= 3 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 5,5 \text{ В}$	$U_{2.2}= 6 \text{ В}$	$U_{2.3}= 6,5 \text{ В}$	$U_{2.4}= 7 \text{ В}$	$U_{2.5}= 8 \text{ В}$	$U_{2.6}= 8,5 \text{ В}$	$U_{2.7}= 9 \text{ В}$
2	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 0,3 \text{ В}$	$U_{1.2}= 0,6 \text{ В}$	$U_{1.3}= 0,9 \text{ В}$	$U_{1.4}= 1,2 \text{ В}$	$U_{1.5}= 1,5 \text{ В}$	$U_{1.6}= 1,8 \text{ В}$	$U_{1.7}= 2,1 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 6 \text{ В}$	$U_{2.2}= 6,3 \text{ В}$	$U_{2.3}= 6,6 \text{ В}$	$U_{2.4}= 6,9 \text{ В}$	$U_{2.5}= 7,2 \text{ В}$	$U_{2.6}= 7,5 \text{ В}$	$U_{2.7}= 7,8 \text{ В}$
3	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 0,6 \text{ В}$	$U_{1.2}= 1,2 \text{ В}$	$U_{1.3}= 1,8 \text{ В}$	$U_{1.4}= 2,4 \text{ В}$	$U_{1.5}= 3 \text{ В}$	$U_{1.6}= 3,6 \text{ В}$	$U_{1.7}= 4,2 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 5,8 \text{ В}$	$U_{2.2}= 6,3 \text{ В}$	$U_{2.3}= 6,8 \text{ В}$	$U_{2.4}= 7,3 \text{ В}$	$U_{2.5}= 7,8 \text{ В}$	$U_{2.6}= 8,3 \text{ В}$	$U_{2.7}= 8,8 \text{ В}$
4	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 0,3 \text{ В}$	$U_{1.2}= 1 \text{ В}$	$U_{1.3}= 2 \text{ В}$	$U_{1.4}= 3 \text{ В}$	$U_{1.5}= 4 \text{ В}$	$U_{1.6}= 5 \text{ В}$	$U_{1.7}= 6 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 6,4 \text{ В}$	$U_{2.2}= 6,8 \text{ В}$	$U_{2.3}= 7,2 \text{ В}$	$U_{2.4}= 7,6 \text{ В}$	$U_{2.5}= 8 \text{ В}$	$U_{2.6}= 8,4 \text{ В}$	$U_{2.7}= 8,8 \text{ В}$
5	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 0,4 \text{ В}$	$U_{1.2}= 0,8 \text{ В}$	$U_{1.3}= 1,2 \text{ В}$	$U_{1.4}= 1,6 \text{ В}$	$U_{1.5}= 2 \text{ В}$	$U_{1.6}= 2,4 \text{ В}$	$U_{1.7}= 2,8 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 8 \text{ В}$	$U_{2.2}= 9 \text{ В}$	$U_{2.3}= 10 \text{ В}$	$U_{2.4}= 11 \text{ В}$	$U_{2.5}= 12 \text{ В}$	$U_{2.6}= 13 \text{ В}$	$U_{2.7}= 14 \text{ В}$
6	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 3 \text{ В}$	$U_{1.2}= 3,5 \text{ В}$	$U_{1.3}= 4 \text{ В}$	$U_{1.4}= 4,5 \text{ В}$	$U_{1.5}= 5 \text{ В}$	$U_{1.6}= 5,5 \text{ В}$	$U_{1.7}= 6 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 6,1 \text{ В}$	$U_{2.2}= 7,1 \text{ В}$	$U_{2.3}= 8,1 \text{ В}$	$U_{2.4}= 9,1 \text{ В}$	$U_{2.5}= 10,1 \text{ В}$	$U_{2.6}= 11,1 \text{ В}$	$U_{2.7}= 12,1 \text{ В}$
7	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 0,5 \text{ В}$	$U_{1.2}= 1,4 \text{ В}$	$U_{1.3}= 2,3 \text{ В}$	$U_{1.4}= 3,2 \text{ В}$	$U_{1.5}= 4,1 \text{ В}$	$U_{1.6}= 5,0 \text{ В}$	$U_{1.7}= 5,9 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 12 \text{ В}$	$U_{2.2}= 12,5 \text{ В}$	$U_{2.3}= 13 \text{ В}$	$U_{2.4}= 13,5 \text{ В}$	$U_{2.5}= 14 \text{ В}$	$U_{2.6}= 14,5 \text{ В}$	$U_{2.7}= 15 \text{ В}$
8	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 2,4 \text{ В}$	$U_{1.2}= 3,0 \text{ В}$	$U_{1.3}= 3,6 \text{ В}$	$U_{1.4}= 4,2 \text{ В}$	$U_{1.5}= 4,8 \text{ В}$	$U_{1.6}= 5,4 \text{ В}$	$U_{1.7}= 6 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 6,7 \text{ В}$	$U_{2.2}= 7,4 \text{ В}$	$U_{2.3}= 8,1 \text{ В}$	$U_{2.4}= 8,8 \text{ В}$	$U_{2.5}= 9,5 \text{ В}$	$U_{2.6}= 10,2 \text{ В}$	$U_{2.7}= 10,9 \text{ В}$
9	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 1,8 \text{ В}$	$U_{1.2}= 2,5 \text{ В}$	$U_{1.3}= 3,2 \text{ В}$	$U_{1.4}= 3,9 \text{ В}$	$U_{1.5}= 4,6 \text{ В}$	$U_{1.6}= 5,3 \text{ В}$	$U_{1.7}= 6 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 7,4 \text{ В}$	$U_{2.2}= 8,5 \text{ В}$	$U_{2.3}= 9,6 \text{ В}$	$U_{2.4}= 10,7 \text{ В}$	$U_{2.5}= 11,8 \text{ В}$	$U_{2.6}= 12,9 \text{ В}$	$U_{2.7}= 14 \text{ В}$
10	Эксперимент № 1						
	$U_{1.1}= 0,7 \text{ В}$	$U_{1.2}= 1,4 \text{ В}$	$U_{1.3}= 2,1 \text{ В}$	$U_{1.4}= 2,8 \text{ В}$	$U_{1.5}= 3,5 \text{ В}$	$U_{1.6}= 4,2 \text{ В}$	$U_{1.7}= 4,9 \text{ В}$
	Эксперимент № 2						
	$U_{2.1}= 7,8 \text{ В}$	$U_{2.2}= 8,0 \text{ В}$	$U_{2.3}= 8,2 \text{ В}$	$U_{2.4}= 8,4 \text{ В}$	$U_{2.5}= 8,6 \text{ В}$	$U_{2.6}= 8,8 \text{ В}$	$U_{2.7}= 9 \text{ В}$

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) описание компенсационного метода измерения напряжения;
- 2) порядок выполнения работы;
- 3) порядок обработки экспериментальных данных;
- 4) таблицы, содержащие результаты экспериментов и расчетов;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Объясните, какая из приведенных схем (на рис. 2 или на рис.3) наиболее точна при измерении напряжения и почему?
- 2) К какому методу измерения относится компенсационный метод?
- 3) Назовите источники погрешностей при измерении напряжения компенсационным методом?
- 4) Определить верхний предел измерения напряжения с помощью схемы, приведенной на рис. 2, при напряжении источника питания  $U_{\text{пит}}=15$  В.
- 5) Определить верхний предел измерения напряжения с помощью схемы, приведенной на рис. 3, при напряжении источника питания  $U_{\text{пит}}=2,5$  В.