

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

**РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ПОМОЩИ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И 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

Расширение пределов измерения электроизмерительных приборов при помощи трансформаторов тока и 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 методов измерения больших значений силы тока и напряжения, освоении принципа действия трансформатора.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение схем подключения трансформаторов к амперметру и вольтметру;
- проведение серии экспериментов для различных значений силы тока и напряжения;
- определение коэффициента трансформации по полученным экспериментальным данным.

## РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Трансформатором тока называется трансформатор, в котором при нормальных условиях применения вторичный ток практически пропорционален первичному току и при правильном включении сдвинут относительно него по фазе на угол, близкий к нулю.

Трансформатором напряжения называется трансформатор, в котором при нормальных условиях применения вторичное напряжение практически пропорционально первичному напряжению и при правильном включении сдвинуто относительно него по фазе на угол, близкий к нулю.

Принцип действия трансформатора основан на использовании электромагнитной индукции, т.е. на создании ЭДС переменным магнитным полем.

Трансформатор состоит из замкнутого сердечника, набранного из тонких листов электротехнической стали, и двух обмоток – первичной и вторичной. Первичную обмотку включают последовательно в контролируемую цепь, ко вторичной обмотке присоединяют токовые катушки различных приборов и реле.

Принципиальная схема трансформатора показана на рис. 1.

По первичной обмотке трансформатора проходит ток  $i_1$ , называемый первичным током. Он зависит только от параметров первичной цепи. При прохождении первичного тока по первичной обмотке в магнитопроводе создается переменный магнитный поток  $\Phi$ , изменяющийся с той же частотой, что и первичный ток.

Магнитный поток  $\Phi$  охватывает витки как первичной, так и вторичной обмоток. Пересекая витки вторичной обмотки, магнитный поток  $\Phi$  при своем изменении индуцирует в ней напряжение.

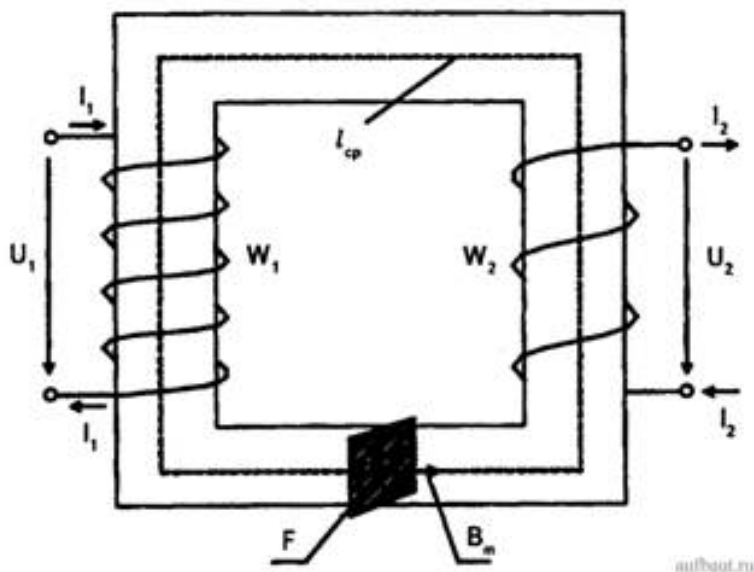


Рисунок 1 – принципиальная схема трансформатора

В соответствии с законом электромагнитной индукции напряжение (мгновенное значение), созданное током  $i$  на обмотке с индуктивностью  $L$ , равно

$$u = L \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

или

$$u = \frac{d\psi}{dt}, \quad (2)$$

где  $\psi$  – потокосцепление обмотки.

Потокосцеплением или полным магнитным потоком называется физическая величина, представляющая собой сумму магнитных потоков, проходящих через каждый виток катушки индуктивности.

При переменном синусоидальном напряжении для обмотки с ферромагнитным сердечником справедливо выражение:

$$B_m = \frac{U}{4 \cdot k_\phi \cdot f \cdot w \cdot F}, \quad (3)$$

где  $B_m$  – амплитуда магнитной индукции в сердечнике;  $U$  – действующее значение напряжения на обмотке;  $f$  – частота напряжения;  $k_\phi$  – коэффициент формы синусоидального тока или напряжения;  $w$  – число витков обмотки;  $F$  – площадь сечения сердечника,  $m^2$ .

Во вторичной обмотке будет проходить ток, который согласно закону Ленца будет иметь направление, противоположное направлению первичного тока.

Преобразование уровня напряжения с помощью трансформатора объясняется следующим образом. Пусть имеется магнитопровод с обмотками, имеющими число витков  $w_1$  (первичная обмотка) и  $w_2$  (вторичная обмотка). К первичной обмотке приложено переменное синусоидальное напряжение  $U_1$ , которое создает ток  $I_1$  в первичной обмотке и магнитное поле в магнитопроводе с индукцией  $B_m$  и, соответственно, магнитный поток  $\Phi$  в магнитопроводе. Указанный поток создает потокосцепление  $\psi_2$  вторичной обмотки, которое определяется как  $\psi_2 = \Phi \cdot w_2$  и первичной обмотки –  $\psi_1 = \Phi \cdot w_1$ . Потокосцепления обмоток определяются по формулам:

$$\psi_1 = w_1 \cdot \Phi = \frac{U_1}{4 \cdot k_\Phi \cdot f}; \quad (4)$$

$$\psi_2 = w_2 \cdot \Phi = \frac{U_2}{4 \cdot k_\Phi \cdot f}. \quad (5)$$

Из выражений (4) и (5) получается:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}. \quad (6)$$

Отношение числа витков обмоток называется коэффициентом трансформации.

Коэффициент трансформации это величина, выражающая масштабирующую характеристику трансформатора относительно параметра электрической цепи (силы тока, напряжения).

Для изменения величины напряжения первичную обмотку трансформатора подключают параллельно к источнику напряжения. Такая схема подключения приведена на рис. 2.

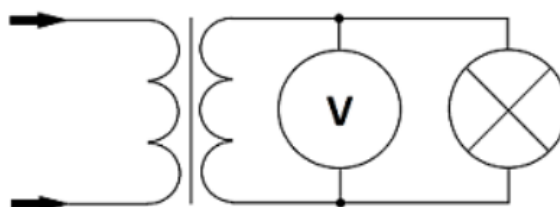


Рисунок 2 – схема включения трансформатора напряжения

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения определяется по формуле:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon \cdot w_1 + i_1 \cdot R_1}{\varepsilon \cdot w_2 - i_2 \cdot R_2}, \quad (7)$$

где  $U_1$ ,  $U_2$  – значения входного и выходного напряжения соответственно;

$\varepsilon$  – ЭДС, наводимая в каждой витке обмотки трансформатора;

$R_1, R_2$  – значения активных сопротивлений первичной и вторичной обмоток.

Если пренебречь падениями напряжений в обмотках, коэффициент трансформации равен:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}. \quad (8)$$

Для изменения величины силы тока первичную обмотку трансформатора подключается последовательно к источнику тока. Такая схема подключения приведена на рис. 3.

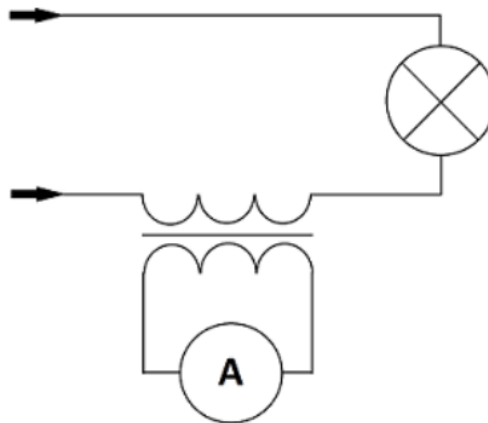


Рисунок 3 – схема включения трансформатора тока

Первичный и вторичный токи связаны зависимостью:

$$i_1 \cdot w_1 = i_2 \cdot w_2 + i_0, \quad (9)$$

где  $i_0$  – ток «холостого хода», состоящий из тока намагничивания и активных потерь в магнитопроводе.

Если пренебречь всеми потерями намагничивания и нагрева магнитопровода, то

$$i_1 \cdot w_1 = i_2 \cdot w_2, \quad (10)$$

откуда коэффициент трансформации равен:

$$n = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_1}{w_2}. \quad (11)$$

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Расширение предела измерения амперметра  
Собрать электрическую схему, представленную на рис. 4.

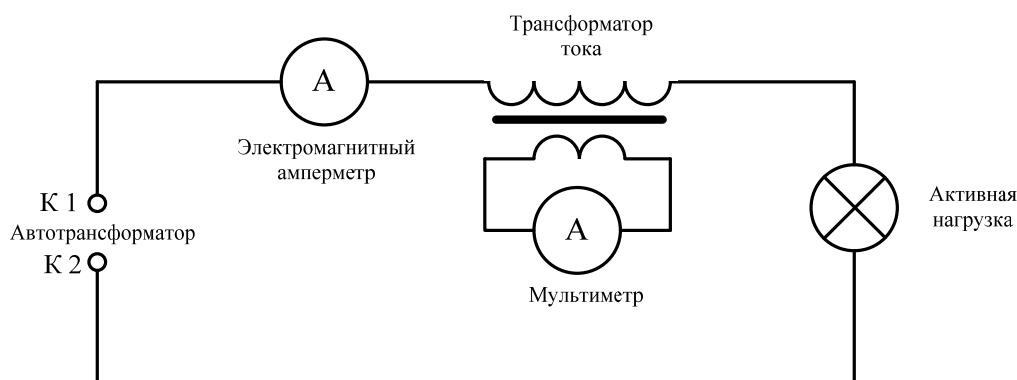


Рисунок 4 – схема экспериментальной цепи

1. Повернуть регулятор напряжения Автотрансформатора **ПРОТИВ** часовой стрелки до упора (установить указатель на отметку «0»).
2. Соединить контакт К1 выхода Автотрансформатора с контактом К1.1 электромагнитного амперметра панели Приборы магнитоэлектрические.
3. Соединить контакт К2.1 электромагнитного амперметра панели Приборы магнитоэлектрические с контактом К5.1 первичной обмотки трансформатора тока панели Приборы магнитоэлектрические.
4. Соединить контакт К7.2 первичной обмотки трансформатора тока панели Приборы магнитоэлектрические с контактом К1.1 активной нагрузки Блока нагрузок.
5. Соединить контакт К2.1 активной нагрузки Блока нагрузок с контактом К2 выхода автотрансформатора.
6. Соединить контакт К6.1 вторичной обмотки трансформатора тока панели Приборы магнитоэлектрические с измерительным контактом mA Мультиметра.
7. Соединить контакт К8.1 вторичной обмотки трансформатора тока панели Приборы магнитоэлектрические с общим контактом СОМ Мультиметра.
8. Установить галетный переключатель Мультиметра в режим измерения переменного тока, предел измерения 20 мА.
9. Включить питание лабораторной установки, переведя сетевые выключатели АВ1 и АВ2 в верхнее положение.
10. Плавно поворачивая регулятор напряжения Автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать силу тока в цепи. Показания мультиметра, соответствующие показаниями « $I_i$ » (см. табл. 3) электромагнитного амперметра, занести в таблицу 1.

Таблица 1 – результаты эксперимента № 1

Показания электромагнитного амперметра, мА	Показания образцового амперметра, мА	Коэффициент трансформации
$I_1$		
...		
$I_6$		

## 2. Расширение предела измерения вольтметра

Собрать электрическую схему, представленную на рис. 5.

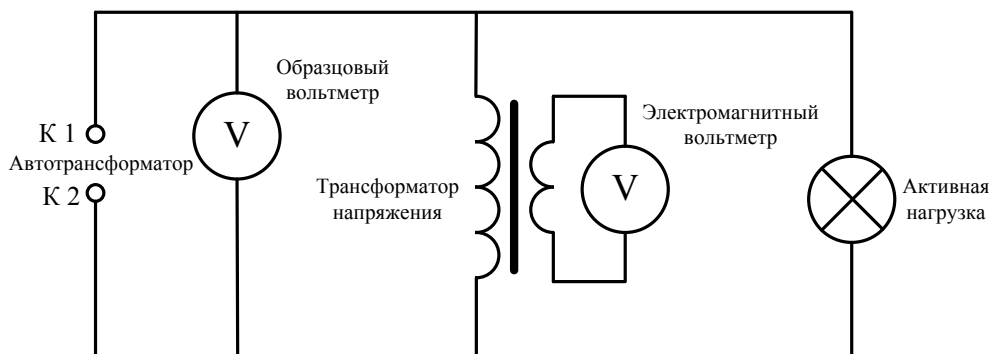


Рисунок 5 – схема экспериментальной цепи

1. Повернуть регулятор напряжения Автотрансформатора **ПРОТИВ** часовой стрелки до упора (установить указатель на отметку «0»).
2. Соединить контакт К1 Автотрансформатора с контактом К3.1 электромагнитного вольтметра панели Приборы магнитоэлектрические.
3. Соединить контакт К4.1 электромагнитного вольтметра панели Приборы магнитоэлектрические с общим контактом К2 Автотрансформатора.
4. Соединить контакт К3.2 электромагнитного вольтметра панели Приборы магнитоэлектрические с контактом К9.1 первичной обмотки Трансформатора напряжения панели Приборы магнитоэлектрические.
5. Соединить контакт К11.1 первичной обмотки Трансформатора напряжения панели Приборы магнитоэлектрические с контактом К4.2 электромагнитного вольтметра панели Приборы магнитоэлектрические.
6. Соединить контакт измерения V Ω Hz Мультиметра с контактом К10.1 вторичной обмотки Трансформатора напряжения панели Приборы магнитоэлектрические.
7. Соединить общий контакт измерений Мультиметра СОМ с контактом К12.1 вторичной обмотки Трансформатора напряжения панели Приборы магнитоэлектрические.



8. Перевести Мультиметр в режим измерения **переменного напряжения**, предел измерений 20 В.
9. Соединить контакт К9.2 первичной обмотки Трансформатора напряжения панели Приборы магнитоэлектрические с контактом К1.1 Активной нагрузки панели Блок нагрузок.
10. Соединить контакт К11.2 первичной обмотки Трансформатора напряжения с контактом К2.1 Активной нагрузки панели Блок нагрузок.
11. Плавно поворачивая регулятор напряжения Автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать напряжение в цепи. Показания мультиметра, соответствующие показаниями « $U_i$ » (см. табл. 3) электромагнитного вольтметра, занести в таблицу 2.

Таблица 2 – результаты эксперимента № 2

Показания электромагнитного вольтметра, В	Показания образцового вольтметра, В	Коэффициент трансформации
$U_1$		
...		
$U_6$		

Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные

№ вар.	Показания электромагнитных приборов					
1	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=20$ мА	$I_2=25$ мА	$I_3=30$ мА	$I_4=35$ мА	$I_5=40$ мА	$I_6=45$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=5$ В	$U_2=10$ В	$U_3=15$ В	$U_4=20$ В	$U_5=25$ В	$U_6=30$ В
2	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=22$ мА	$I_2=32$ мА	$I_3=42$ мА	$I_4=52$ мА	$I_5=62$ мА	$I_6=65$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=2$ В	$U_2=4$ В	$U_3=6$ В	$U_4=8$ В	$U_5=10$ В	$U_6=12$ В
3	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=24$ мА	$I_2=30$ мА	$I_3=36$ мА	$I_4=42$ мА	$I_5=48$ мА	$I_6=54$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=4$ В	$U_2=8$ В	$U_3=12$ В	$U_4=16$ В	$U_5=20$ В	$U_6=24$ В
4	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=26$ мА	$I_2=32$ мА	$I_3=38$ мА	$I_4=44$ мА	$I_5=50$ мА	$I_6=56$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=3$ В	$U_2=6$ В	$U_3=9$ В	$U_4=12$ В	$U_5=15$ В	$U_6=18$ В
5	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=38$ мА	$I_2=44$ мА	$I_3=50$ мА	$I_4=56$ мА	$I_5=62$ мА	$I_6=68$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=1$ В	$U_2=5$ В	$U_3=9$ В	$U_4=13$ В	$U_5=17$ В	$U_6=21$ В
6	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=20$ мА	$I_2=28$ мА	$I_3=36$ мА	$I_4=44$ мА	$I_5=52$ мА	$I_6=60$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=1$ В	$U_2=4$ В	$U_3=7$ В	$U_4=10$ В	$U_5=13$ В	$U_6=16$ В
7	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=22$ мА	$I_2=30$ мА	$I_3=38$ мА	$I_4=46$ мА	$I_5=54$ мА	$I_6=62$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=2$ В	$U_2=5$ В	$U_3=8$ В	$U_4=11$ В	$U_5=14$ В	$U_6=17$ В
8	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=30$ мА	$I_2=40$ мА	$I_3=50$ мА	$I_4=60$ мА	$I_5=70$ мА	$I_6=80$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=3$ В	$U_2=5$ В	$U_3=7$ В	$U_4=9$ В	$U_5=11$ В	$U_6=13$ В
9	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=28$ мА	$I_2=38$ мА	$I_3=48$ мА	$I_4=58$ мА	$I_5=68$ мА	$I_6=78$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=10$ В	$U_2=12$ В	$U_3=14$ В	$U_4=16$ В	$U_5=18$ В	$U_6=20$ В
10	Показания электромагнитного амперметра, $I_i$					
	$I_1=36$ мА	$I_2=46$ мА	$I_3=56$ мА	$I_4=66$ мА	$I_5=76$ мА	$I_6=86$ мА
	Показания электромагнитного вольтметра, $U_i$					
	$U_1=7$ В	$U_2=9$ В	$U_3=11$ В	$U_4=13$ В	$U_5=15$ В	$U_6=17$ В

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1. По данным таблицы 1 рассчитать коэффициенты трансформации силы тока по формуле (11).
2. По данным таблицы 2 рассчитать коэффициенты трансформации по формуле (8).
3. Для полученных совокупностей значений коэффициентов трансформации определить математическое ожидание по формуле:

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

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

$$D_x = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2. \quad (13)$$

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

$$\sigma_x = \pm \sqrt{D_x}. \quad (14)$$

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

6. По данным таблицы 1 построить график зависимости значений показаний мультиметра при подключении его к трансформатору тока от значений показаний электромагнитного амперметра.
7. По данным таблицы 2 построить график зависимости значений показаний мультиметра при подключении его к трансформатору напряжения от значений показаний электромагнитного вольтметра.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) теоретические сведения о расширении пределов измерения электромагнитных приборов с помощью трансформаторов;
- 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) От чего зависит величина тока в первичной обмотке трансформатора?
- 2) Что называется коэффициентом трансформации?
- 3) Трансформатор называется повышающим или понижающим, если коэффициент трансформации больше единицы?
- 4) На чем основан принцип действия трансформаторов?