

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автоматизированного электропривода,
электромеханики и электротехники

А.Т. Раимова, Н. Г. Семенова, И. К. Еремеев

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЕЙ, ПОТРЕБЛЯЕМЫМИ НИЗКОВОЛЬТНЫМИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКАМИ В ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Оренбург
2018

ББК 31.29-5я73
УДК 621.311(075.8)
Р 18

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Л. В. Быковская

Р 18 **Раимова А. Т.**
Измерение активной и реактивной мощностей, потребляемыми низковольтными электроприемниками в трехфазной электрической сети переменного тока : методические указания / А. Т. Раимова, Н. Г. Семенова, И. К. Еремеев; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 15 с.

Методические указания являются основным учебным руководством при выполнении лабораторных работ по курсу «Электроснабжение с основами электротехники» обучающимися по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, очной и заочной форм обучения.

ББК 31.29-5я73
УДК 621.311(075.8)

© Раимова А.Т.,
Семенова Н. Г.,
Еремеев И. К., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

1 Теоретическое введение	4
2 Лабораторная работа. Измерение активной и реактивной мощностей, потребляемых низковольтными электроприемниками в трехфазной электрической сети переменного тока	6
2.1 Описание лабораторной установки.....	6
2.2 Подготовка к работе.....	7
2.3 Выполнение лабораторной работы	7
2.4 Содержание отчета.....	13
3 Контрольные вопросы для самопроверки	14
Список использованных источников	15

1 Теоретическое введение

В трехфазной электрической сети (ТФЭС) различают три вида мощности: активная мощность P , реактивная мощность Q и полная мощность S .

Активной мощностью ТФЦ называется сумма активных мощностей всех фаз источников электрической энергии или всех фаз приемника. Активная мощность любой из фаз источника определяются как:

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}, \quad (1)$$

где U_{ϕ} – действующее значение фазного напряжения, В;

I_{ϕ} – действующее значение фазного тока, А;

φ – угол сдвига фаз между фазным напряжением \dot{U}_{ϕ} и фазным током \dot{I}_{ϕ} .

В электрических сетях трехфазного синусоидального тока различают симметричный и несимметричный режимы работы.

Активная мощность ТФЦ определяется при:

- *симметричном режиме работы* независимо от соединения приемников:

$$P = 3 \cdot P_{\phi} = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi_{\phi} = \sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot I_{Л} \cdot \cos \varphi_{\phi}. \quad (2)$$

- *несимметричном режиме работы*:

- соединение приемников звездой:

$$P = P_A + P_B + P_C + P_0, \quad (3)$$

где P_0 – активная мощность, выделяемая в сопротивлении, включенном в нулевом проводе:

$$P_0 = U_{00'} \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N = R_N \cdot I_N^2. \quad (4)$$

- соединение приемников треугольником:

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca}. \quad (5)$$

Реактивной мощностью ТФЦ называется сумма реактивных мощностей всех фаз источников электрической энергии или всех фаз приемника. Реактивная мощность любой из фаз источника определяются как:

$$Q_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi}, \quad (6)$$

Реактивная мощность ТФЦ определяется при:

- *симметричном режиме работы* независимо от соединения приемников:

$$Q = 3 \cdot Q_\phi = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi_\phi = \sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot I_{Л} \cdot \sin \varphi_\phi. \quad (7)$$

- несимметричном режиме работы:

- соединение приемников звездой:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_0, \quad (8)$$

где Q_0 – реактивная мощность в нулевом проводе:

$$Q_0 = U_{00'} \cdot I_N \cdot \sin \varphi_N = X_N \cdot I_N^2, \quad (9)$$

- соединение приемников треугольником:

$$Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca}. \quad (10)$$

Комплексом полной мощности ТФЭС называется сумма комплексных значений полных мощностей всех фаз источников или всех фаз приемника электроэнергии.

Комплекс полной мощности любой из фаз приемника определяется как:

$$\dot{S}_\phi = \dot{U}_\phi \cdot \bar{I}_\phi = S \cdot e^{\pm j\varphi}, \quad (11)$$

$$\dot{S}_\phi = P_\phi + jQ_\phi,$$

где \dot{U}_ϕ – комплекс фазного напряжения, В;

\bar{I}_ϕ – комплексно-сопряженный фазный ток, А;

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ – полная мощность.

Комплекс полной мощности ТФЭС определяется при:

- симметричном режиме работы независимо от соединения приемников:

$$\dot{S} = 3 \cdot \dot{S}_\phi = 3 \cdot \dot{U}_\phi \cdot \bar{I}_\phi = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_{Л} \cdot \bar{I}_{Л} \quad \text{или} \quad (12)$$

$$\dot{S} = \dot{Z}_H \cdot I^2.$$

- несимметричный режим работы:

- соединение приемников звездой:

$$\dot{S} = \dot{S}_A + \dot{S}_B + \dot{S}_C + \dot{S}_0, \quad (13)$$

где \dot{S}_0 – комплекс полной мощности в нулевом проводе.

- соединение приемников треугольником:

$$\dot{S} = \dot{S}_{ab} + \dot{S}_{bc} + \dot{S}_{ca} \quad (14)$$

2 Лабораторная работа. Измерение активной и реактивной мощностей, потребляемых низковольтными электроприемниками в трехфазной электрической сети переменного тока

Цель работы: Изучить прямые и косвенные методы измерения активной и реактивной мощностей, потребляемые низковольтными электроприемниками (ЭП) в ТФЭС.

Для измерения потребляемой мощности обычно используются *прямые методы* измерения, т.е. мощность измеряется с помощью ваттметра. Но часто имеют место и *косвенные методы* измерения.

В этом случае для измерения потребляемой мощности применяются амперметр, вольтметр и фазометр.

2.1 Описание лабораторной установки

Элементы ЭЦ и измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, размещены на лицевой панели универсального стенда.

В качестве источника электрической энергии используется трехфазная сеть переменного тока, к которой подключены первичные обмотки трехфазного понижающего трансформатора.

На лицевую панель стенда выведены клеммы фаз «А», «В», «С» вторичных обмоток этого трансформатора.

В качестве приемников электроэнергии используются:

- набор катушек индуктивностей $L_1 - L_4$;
- магазин емкостей $C_1 - C_2$;
- проволочные резисторы $R_1 - R_3$.

Для измерения токов служат миллиамперметры М 42300.

Для измерения напряжения используется цифровой мультиметр ВР-11А.

Для измерения активной и реактивной мощности используются ваттметры электродинамической системы Д539 и Д5004.

2.2 Подготовка к работе

2.2.1 Повторить разделы курса «Электроснабжение с основами электротехники».

2.2.2 Подготовить бланк отчета по лабораторной работе, содержащую схемы испытаний, таблицы для записи результатов измерений и расчетов, расчетные формулы.

2.2.3 Ознакомиться с приборами, записать данные приборов в отчет.

2.2.4 Ответить на контрольные вопросы.

2.3 Выполнение лабораторной работы

2.3.1 Измерение потребления активной мощности в четырехпроводной ТФЦ при чисто активной нагрузке прямым и косвенным методами.

Опыт 1. *Симметричный режим работы ЭЦ.*

Рабочее задание опыта 1:

а) собрать ТФЦ в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1, обратив внимание на правильность включения зажимов токовой катушки и катушки напряжения ваттметра;

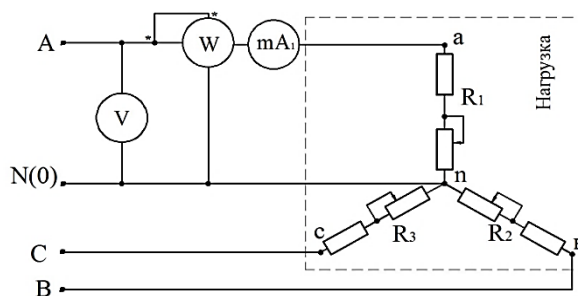


Рисунок 1 – Симметричная трехфазная четырехпроводная ЭЦ

- б) установить симметричную нагрузку трехфазного низковольтного ЭП;
- в) после проверки преподавателем подключить схему к источнику трехфазного напряжения;
- г) определить потребляемую нагрузкой активную мощность:

- прямым методом, т.е. измерением ваттметром, включенным в одну из фаз ТФЭС:

$$P_{\Sigma} = 3 \cdot P_w;$$

- косвенным методом, т.е. измерением напряжения и тока, используя мультиметр и миллиамперметр, включая их в одну из фаз ТФЭС, согласно рисунка 1, и дальнейшим расчетом активной мощности по формуле (1). Поскольку имеет место чисто активная нагрузка ($\varphi = 0^\circ$), то формула (1) примет вид:

$$P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi}, \quad (2)$$

тогда потребляемая активная мощность всей ТФЭС определится утроенным значением активной мощности фазы:

$$P_{\Sigma} = 3 \cdot P_{\phi};$$

д) результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1;

е) сравнить результаты, полученные прямыми и косвенными измерениями.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений (опыт 1 и опыт 2)

Режим работы ЭЦ	Показания измерительных приборов									Вычислено P_{Σ}		β , %
	Ваттметр, Вт			Вольтметр, В			Миллиамперметр, mA			Метод		
	P_a	P_b	P_c	U_a	U_b	U_c	I_a	I_b	I_c	Прямой	Косвенный	
Симметричный												
Несимметричный												

Опыт 2. Несимметричный режим работы ТФЭС

Схема включения измерительных приборов в четырехпроводную ТФЭС показана на рисунке 2.

Рабочее задание опыта 2:

а) установить несимметричную нагрузку трехфазного низковольтного ЭЦ;

б) измерить потребляемую нагрузкой активную мощность:

- прямым методом (три ваттметра, включенными в каждую фазу ТФЭС или одним ваттметром, последовательно включаемым в каждую фазу ТФЭС);

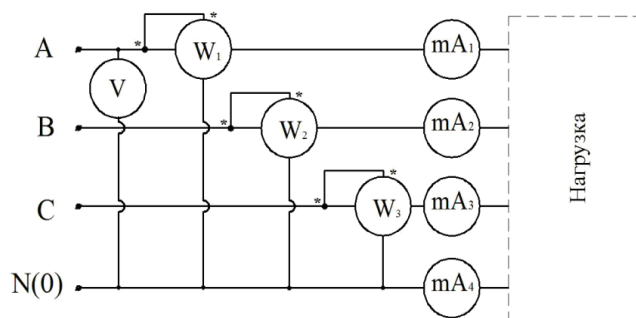


Рисунок 2 – Схема включения измерительных приборов в ТФЭС

- косвенным методом (используя амперметры mA_1-mA_3 , включенными в каждую фазу ТФЭС, и вольтметр, включенным между линейным и нулевым проводами);
- в) определить потребляемую активную мощность в каждой фазе при чисто активной нагрузке косвенным методом, используя уравнение (2).
- г) определить потребляемую активную мощность всей ТФЭС, как сумму активных мощностей всех трех фаз:

- прямой метод:

$$P_{\Sigma} = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3} ,$$

где P_{w1}, P_{w2}, P_{w3} – показания ваттметров;

- косвенный метод:

$$P_{\Sigma} = U_a \cdot I_a + U_b \cdot I_b + U_c \cdot I_c .$$

- д) результаты измерений и вычислений прямым и косвенным методами занести в таблицу 1.
- е) сравнить результаты, полученные прямыми и косвенными измерениями.

2.3.2 Измерение потребления активной мощности в трехпроводной ТФЭС при активной нагрузке прямым и косвенным методами

Опыт 3. Симметричный режим работы ТФЭС.

Рабочее задание опыта 3:

- а) собрать трехпроводную ТФЭС в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3;

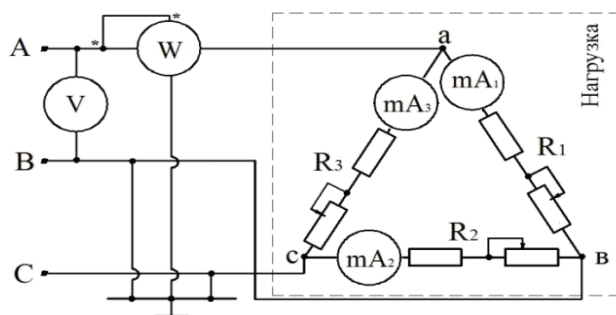


Рисунок 3 – Симметричная трех проводная ТФЭС

б) установить симметричную нагрузку трехфазного низковольтного ЭП, соединенного треугольником (в симметричной трехпроводной ТФЭС используется искусственная нулевая точка, как показано на рисунке 3);

в) после проверки преподавателем подключить ее к источнику трехфазного напряжения;

г) измерить потребляемую нагрузкой активную мощность:

- прямым методом (ваттметром, включенным, как показано на рисунке 3, в одну из фаз трехпроводной ТФЭС);

- косвенным методом (мультиметром и миллиамперметром, как показано на рисунке 3).

д) при симметричной чисто активной нагрузке, как и в предыдущих опытах, достаточно произвести измерения только для одной фазы и определить потребляемую этой фазой:

- активную мощность: $P_{ab} = U_{ab} \cdot I_{ab}$;

- суммарную активную мощность, потребляемую всей ТФЭС: $P_{\Sigma} = 3 \cdot P_{ab}$;

е) результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений (Опыт 3)

Режим работы ЭЦ	Показания измерительных приборов			Вычислено P_{Σ} , Вт		β , %
	Ваттметр	Вольтметр	Миллиамперметр	Метод		
	P_{ab} , Вт	U_{ab} , В	I_{ab} , мА	Прямой	Косвенный	
Симметричный						

ж) сравнить результаты прямых и косвенных измерений.

Опыт 4. Несимметричный режим работы ТФЭС.

Рабочее задание опыта 4:

а) установить несимметричную нагрузку ТФЭС;

б) измерить потребляемую нагрузкой активную мощность:

- *прямой метод измерения*: активная мощность, потребляемая в ТФЭС при несимметричной нагрузке, может определяться с помощью двух ваттметров, включаемых в ТФЭС по одной из схем, приведенных на рисунке 4, с последующим суммированием показаний этих ваттметров (схема Арона).

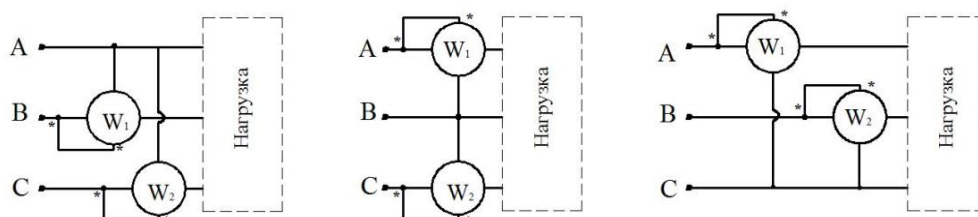


Рисунок 4 – Измерение активной мощности методом двух ваттметров

Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты измерений и вычислений (опыт 4)

Измерительная схема	Показания измерительных приборов								Вычислено P_{Σ}		β , %
	Ваттметр, Вт		Вольтметр, В			Миллиамперметр, мА			Метод		
	P_1	P_2	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	I_{ab}	I_{bc}	I_{ca}	Прямой	Косвенный	
Общий узел – фаза А											
Общий узел – фаза В											
Общий узел – фаза С											

- *косвенный метод измерения*: как и в предыдущих опытах при использовании данного метода для измерения фазных токов используют миллиамперметры $mA_1 - mA_3$, включенные в фазные провода ТФЭС, а мультиметр используют для измеряемый линейного напряжения ТФЭС:

- потребляемая активная мощность в каждой фазе при активной нагрузке определяется как:

$$P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi} = U_{л} \cdot I_{\phi};$$

- потребляемая активная мощность всей ТФЭС определяется как сумма мощностей всех трех фаз ЭП:

$$P_{\Sigma} = U_{ав} \cdot I_{ав} + U_{bc} \cdot I_{bc} + U_{ca} \cdot I_{ca} .$$

- результаты измерений и вычислений занести в таблицу 3.

в) сравнить результаты измерений.

2.3.3 Измерение потребления реактивной мощности в трехпроводной ТФЭС при активно-реактивной нагрузке прямым методом

Опыт 5. Измерение реактивной мощности двумя ваттметрами

В ТФЭС без нулевого провода реактивную мощность как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке фаз можно измерить двумя ваттметрами, собрав схему Арона. Схема Арона обладает таким свойством, что, если показания ваттметров при нормальном отклонении их стрелок не складывать, а вычесть одно из другого, а полученную разность умножить на 3, то получится значение реактивной мощности ТФЭС.

При отклонении стрелки одного из приборов в противоположную сторону показания приборов нужно сложить.

Рабочее задание Опыта 5:

а) собрать трехпроводную ТФЭС с искусственной нулевой точкой в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5 (фазу для измерений указывает преподаватель);

б) после проверки преподавателем схему подключить к источнику трехфазного напряжения;

в) установить симметричную нагрузку ТФЭС;

г) рассчитать потребляемую нагрузкой реактивную мощность;

д) результаты измерений и вычислений занесены в таблицу 4;

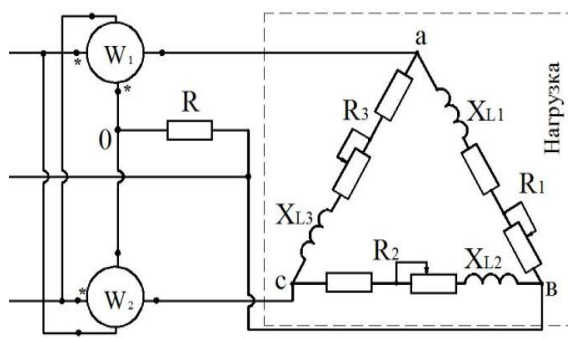


Рисунок 5 – Схема Арона для измерения реактивной мощности

Таблица 4 – Результаты измерений и вычислений (Опыт 5)

Измерительная схема	Показания ваттметра		Вычислено
	P_1 , Вт	P_2 , Вт	$Q_{\Sigma} = 3 \cdot (P_1 \pm P_2)$, Вт
Фаза А (В, С)			

2.4 Содержание отчета

2.4.1 Цель работы.

2.4.2 Схемы измерений.

2.4.3 Таблицы результатов измерений и вычислений.

2.4.4 Расчетные формулы.

2.4.5 Выводы по работе.

3 Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дать определение мощности.
2. В каких единицах измеряются активная и реактивная мощности?
3. Дать определение трехфазной электрической сети.
4. Перечислить достоинства трехфазных электрических сетей.
5. В чем особенность трехфазного источника электрической энергии?
6. В чем заключается баланс мощностей в трехфазных электрических сетях синусоидального тока?
7. Нарисовать схему включения ваттметра для измерения активной мощности участка электрической сети.
8. Какую мощность потребляют лампы осветительной сети?
9. Чему равна полная мощность электрической цепи при чисто активной нагрузке?
10. Какие виды мощности имеют место быть в трехфазных электрических сетях переменного тока?
11. Нарисовать схему для определения активной мощности, потребляемой в ТФЭС несимметричной нагрузкой методом двух ваттметров.
12. Перечислить пути снижения потерь мощности в электрических сетях.
13. На что тратится реактивная мощность в электрических сетях переменного тока?
14. Как определить реактивную мощность, потребляемую трехфазной нагрузкой, с помощью ваттметров?
15. Записать формулу, по которой можно вычислить активную мощность в каждой фазе трехфазного приемника, при измерениях косвенным методом.
16. В чем особенность схемы Арона?
17. Как снизить потери мощности при измерениях прямым и косвенным методами?
18. Изменится ли схема для измерения активной (реактивной) мощности в трехфазной электрической цепи, если чисто активную нагрузку заменить активно-реактивной?

Список использованных источников

1 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., испр. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2015. – 705 с.

2 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 11-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2011. – 704 с.

3 Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник / Т. В. Анчарова, М. А. Рашевская, Е. Д. Стебунова. – М. : Форум: НИЦ Инфра-М, 2012. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=326458>.

4 Метрология и электрические измерения: методические указания к лабораторным работам / А. Т. Раимова, О. Д. Юрк. – Оренбург : ОГУ, 2011. – 77 с.

5 Семенова, Н. Г. Исследование линейных электрических цепей [Электронный ресурс] : учебное пособие к лабораторному практикуму / Н. Г. Семенова, Н. Ю. Ушакова, Л. А. Семенова. – Оренбург : ОГУ. – 2014. – 65 с.

6 Электротехнические устройства. – Режим доступа : <http://www.vsyaelektrotehnika.ru>

7 Электротехнические устройства. – Режим доступа : https://electric-220.ru/news/trekhfaznye_transformatory/2017-01-05-1151