

Федеральное агентство по образованию
«Уральский государственный технический университет – УПИ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»



В.В. Громов, А.Л. Веницкий, О.Н. Медунина

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

Учебное электронное текстовое издание
Подготовлено кафедрой «Теоретическая электротехника
и технологии электроснабжения»
Научный редактор: проф., д-р техн. наук И.М. Серый

Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Информационно-измерительная техника и электроника» и «Метрология, стандартизация, сертификация» для студентов всех форм обучения направлений 140200 – Электроэнергетика и 140600 – Электротехника, электромеханика и электротехнологии.

Описан экспериментальный способ измерения активной и реактивной мощности в трехфазных цепях с симметричной и несимметричной нагрузкой с помощью ваттметров. Приведенные схемы включения приборов пригодны для измерения активной и реактивной электрической энергии счетчиками.

© ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2009

Екатеринбург

2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЕЕ СОДЕРЖАНИЕ	3
1 ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....	3
2 ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....	5
3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	6
4 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	8
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	9

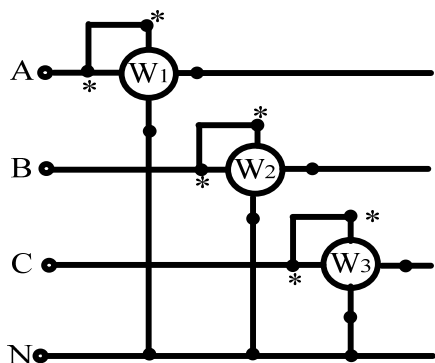
ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЕЕ СОДЕРЖАНИЕ

Цель работы состоит в освоении на практике способов измерения активной и реактивной мощности в трёхфазных цепях с помощью ваттметров. Используемые в работе схемы включения ваттметров применяются также и при включении счетчиков активной и реактивной энергии.

1 ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

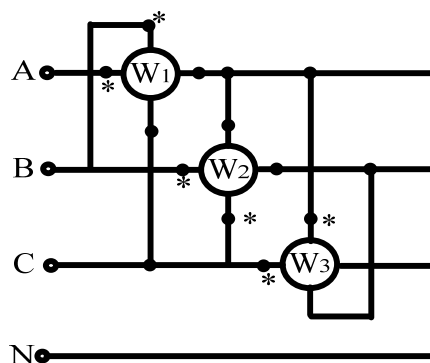
В симметричной трехфазной цепи достаточно одного ваттметра, включенного на измерение мощности одной из фаз. Например, на рис. 1 каждый ваттметр измеряет мощность одной из фаз. Для определения мощности всей цепи его показание необходимо утроить.

В несимметричной трехфазной цепи в общем случае необходимо использовать три ваттметра, подключая их к каждой из фаз, как показано на рис. 1. Мощность всей цепи получают арифметической суммой показаний всех ваттметров. При этом должен быть обеспечен доступ к нейтральной точке электроприемника либо источника. При отсутствии такового создают искусственную нейтральную точку, соединяя цепи напряжения ваттметров в звезду (рис. 4) и выдерживая условия её симметрии. Схема трёх приборов универсальна: работает в любой трёхфазной цепи, в симметричном и несимметричном режимах.



$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

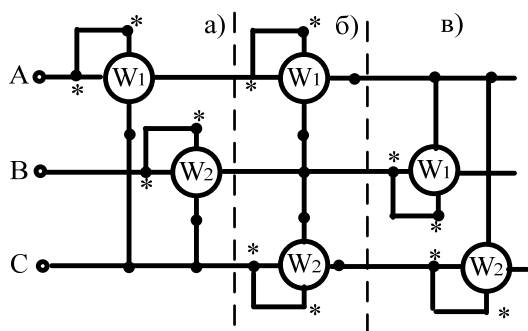
Рис. 1



$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (P_1 + P_2 + P_3)$$

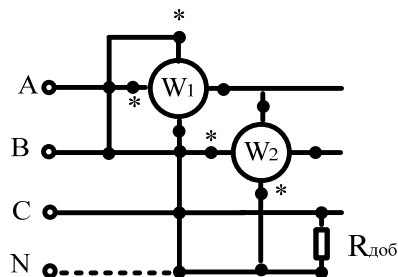
Рис. 2

Однако в трехпроводных трехфазных цепях (без нейтрального провода) существует возможность вместо трех ваттметров использовать только два, что даёт выгодный экономический эффект. Схема двух ваттметров называется по фамилии её автора – схема Арона. На рис. 3 показаны три тождественных варианта (а, б, в) включения ваттметров по схеме Арона.



$$P = P_1 + P_2$$

Рис. 3



$$Q = \sqrt{3} (P_1 + P_2)$$

Рис. 4

В такой цепи мгновенная мощность, а, следовательно, и её среднее значение за период, т.е. активная мощность, могут быть выражены через любые два линейных тока и напряжения. Например, для варианта (б) на рис. 3.

$$p(t) = u_{ab}i_a + u_{cb}i_c = (u_a + u_b)i_a + (u_c - u_b)i_c = u_a i_a + u_c i_c - u_b(i_a + i_c) = u_a i_a + u_c i_c + u_b i_b, \quad \text{т.к. } -(i_a + i_c) = i_b$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = U_{ab} I_a \cos(\hat{U}_{ab} \hat{I}_a) + U_{cb} I_c \cos(\hat{U}_{cb} \hat{I}_c) = P_1 + P_2$$

где P_1, P_2 – показания двух ваттметров. Следует отметить, что показания ваттметров зависят от характера нагрузки и в общем случае – даже в симметричной цепи – неодинаковы и могут иметь разный знак, т.е. они должны суммироваться алгебраически.

2 ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Суть возможности использования ваттметров (приборов измерения активной мощности) для измерения реактивной мощности заключается в подключении параллельных обмоток (цепей) ваттметров и счётчиков к напряжениям, отстающим по фазе на 90° по отношению к напряжениям, используемым при измерении активной мощности той же нагрузки. Это следует из общих соотношений:

$$P = UI \cos \Phi, \quad Q = UI \sin \Phi, \quad \sin \Phi = \cos (\Phi - 90^\circ)$$

Так, в симметричном режиме, так же как и в случае с активной мощностью, достаточно одного прибора, но его обмотку напряжения включают на линейное напряжение сети, отстающего на 90° от фазного напряжения той фазы, в которую включена токовая (последовательная) обмотка ваттметра.

В несимметричных режимах трёхфазной цепи можно использовать ваттметры только при так называемой *простой асимметрии*: токи (нагрузка) несимметричны, а напряжения сети (источник) симметричны, что, впрочем, чаще всего встречается на практике. Применяют схемы двух и трёх приборов.

Так, на рис. 2 показана схема включения ваттметров в четырехпроводной цепи; показание каждого ваттметра пропорционально реактивной мощности фазы, в которой находится токовая цепь ваттметра.

В трёхпроводной цепи, по аналогии со схемой Арона, можно обойтись двумя приборами, что и показано на рис. 4. Если нейтраль полностью недоступна, то создают искусственную нейтральную точку, включая катушки напряжения ваттметров симметричной звездой вместе с добавочным резистором $R_{доб}$.

Реактивную мощность подсчитывают по выражениям:

$$Q = \sqrt{3} (P_1 + P_2), \quad Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (P_1 + P_2 + P_3),$$

где присутствие коэффициента $\sqrt{3}$ связано с переходом от линейных к фазным напряжениям симметричного источника, либо наоборот. Суммы в общем случае алгебраические, потому что реактивная мощность индуктивного

потребителя положительна, а емкостного – отрицательна. При этом не следует забывать, что схема двух ваттметров пригодна только в трехпроводной цепи, тогда как схема трех ваттметров универсальна.

Рассмотренные схемы одного, двух, и трех приборов используются в основном в лабораторной практике. В производственных условиях применяются двух- и трехфазные ваттметры и счетчики, у которых в одном корпусе собраны два или три однофазных измерительных механизма, включенных по приведенным схемам и действующих на общую подвижную часть. У цифровых приборов те же функции реализуют блоки-модули.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В работе исследуется только случай трехфазной цепи без нейтрали как с симметричной так и несимметричной нагрузкой.

Измерение активной мощности

1. Собрать схему, показанную на рис. 5. При этом симметричную нагрузку составить из трёх имеющихся на стенде одинаковых катушек.
2. Проверить нахождение указателей приборов на нулевых отметках при отключенном электропитании. При необходимости выполнить их корректировку.
3. Определить (рассчитать) цену деления каждого прибора.
4. Снять показания всех приборов и занести в таблицу. Измерение линейных и фазных напряжений нагрузки предусмотрено на стенде одним вольтметром. Поэтому, держась за концы проводов, идущих к вольтметру, следует поочередно – попарно присоединить их к соответствующим гнездам на стенде и получить значения всех напряжений.
5. Заменить нагрузку на несимметричную, для чего в одной из фаз вместо катушки включить резистор (например, в фазе «с») и снова снять показания всех приборов.

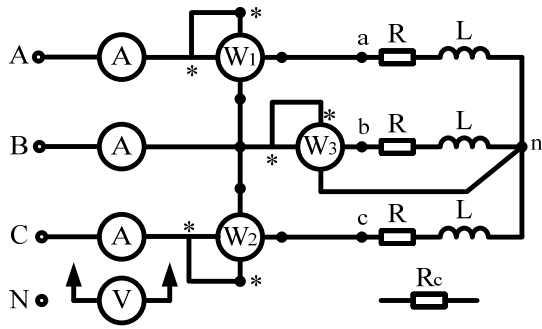


Рис. 5

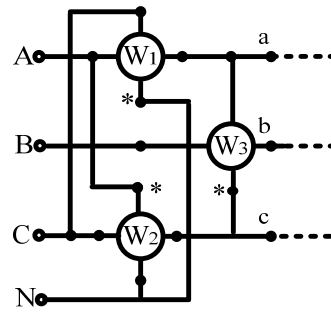


Рис. 6

Измерение реактивной мощности

1. Перейти к схеме включения ваттметров, показанной на рис. 6. Для этого цепи напряжения ваттметров (при отключенном электропитании) присоединить в соответствии со схемой.
2. Снять показания только трёх ваттметров и занести их в таблицу как для симметричной, так и для асимметричной нагрузки.

U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{an}	U_{bn}	U_{cn}	I_a	I_b	I_c	P_1	P_2	P_3	Нагрузка	Измерение
В	В	В	В	В	В	А	А	А	Вт	Вт	Вт		
												симм.	активной мощности
												несимм.	
												симм.	реактивной мощности
												несимм.	

4 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Для симметричной цепи проверить выполнение соотношений: в схемах рис. 5 и рис. 6 соответственно:

$$P=P_1 + P_2 = 3P_3 \text{ [Вт];} \quad Q=\sqrt{3} (P_1 + P_2) = \sqrt{3} P_3 \text{ [ВАр].}$$

2. Для несимметричной цепи проверить выполнение соотношений в соответствующих цепях:

$$P=P_1 + P_2 = P_a + P_b + P_c \text{ [Вт];} \quad Q=\sqrt{3} (P_1 + P_2) = Q_a + Q_b + Q_c \text{ [ВАр],}$$

где мощности фаз a , b , c рассчитать по известным выражениям (1). Коэффициент мощности катушек можно найти из показаний третьего ваттметра в симметричном либо несимметричном режимах (при расхождении – взять усредненное значение):

$$\cos \varphi_a = \cos \varphi_b = \frac{P_3}{U_{bn} \cdot I_b}.$$

3. Вычислить параметры катушек Z , R , X , L и сопротивление резистора R_c .
4. Сделать выводы по работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Калашников В.И.** Информационно-измерительная техника и технологии / В.И. Калашников, С.В. Нефедов, А.Б. Путилин и др.; под общ. ред. Г.Г. Раннева .– М. : Высшая школа, 2002. – 454 с.
2. **Евтихийев Н.Н.** Измерение электрических и неэлектрических величин; под общ. ред. Н.Н. Евтихьева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
3. **Авдеев Б.Я.** Основы метрологии и электрические измерения: учебник для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; под общ. ред. Е.М. Душина .– Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 480с.
4. **Орнатский П.П.** Теоретические основы информационно-измерительной техники. – Киев : Виша школа, 1983. – 294 с.

Учебное электронное текстовое издание

Громов Владимир Васильевич
Виницкий Андрей Львович
Медунина Ольга Николаевна

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

Редактор *О.В. Климова*
Компьютерная верстка *Н.А. Носкова*

Рекомендовано РИС ГОУ ВПО УГТУ–УПИ
Разрешен к публикации 29.12.09.

Электронный формат – pdf

Объем 0,42 уч.-изд. л.

Издательство ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Информационный портал
ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
<http://www.ustu.ru>