

Лабораторная работа № 19

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: изучение методов измерения мощности в цепях переменного тока, исследование чувствительности и точности схем измерения.

1. Теоретические сведения

Метод двух приборов используется при измерении мощности в трехфазной трехпроводной цепи с помощью двух одноэлементных ваттметров. Метод дает правильные результаты независимо от схемы соединения и характера нагрузки как при симметрии, так и при асимметрии токов и напряжений. Кроме того, метод двух приборов применяется для включения элементов двухэлементного ваттметра при измерении с помощью его мощности в трехфазной трехпроводной цепи.

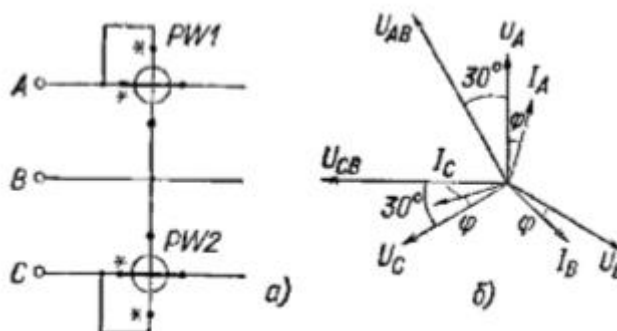


Рисунок 1 - Схема включения двух ваттметров в трехфазную трехпроводную цепь (а) и векторная диаграмма (б).

На рисунке 1, а изображена схема включения двух одноэлементных ваттметров. Обычно токовая обмотка одного ваттметра, например PW1, включается в фазу А, а токовая обмотка другого ваттметра — PW2 — в фазу С. Обмотки напряжения ваттметров включаются на линейные напряжения так, как это показано на рисунке.

На рисунке 1, б представлена векторная диаграмма цепи для частного случая — случая симметрии токов и напряжений. Нетрудно видеть, что показание ваттметра PW1 в этом случае равно:

$$P_{W1} = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + \varphi) = U_L I_L \cos(30^\circ + \varphi) \quad (1)$$

Аналогично нетрудно определить и показание ваттметра PW2:

$$P_{W2} = U_{BC} I_C \cos(30^\circ - \varphi) = U_L I_L \cos(30^\circ - \varphi) \quad (2)$$

Учитывая, что при измерении мощности с использованием метода двух приборов общая мощность цепи равна алгебраической сумме показаний ваттметров, а также учитывая выражения P_{W1} и P_{W2} , получаем:

$$P = P_{W1} + P_{W2} = U_L I_L \cos(30^\circ + \varphi) + U_L I_L \cos(30^\circ - \varphi) \quad (3)$$

После несложных преобразований имеем:

$$P = U_L I_L \cdot 2 \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L I_L \cos \varphi \quad (4)$$

Таким образом, сумма показаний ваттметров P_{W1} и P_{W2} , есть не что иное, как мощность трехфазной цепи.

Следует отметить, что в соответствии с P_{W1} и P_{W2} показания каждого ваттметра могут быть положительными или отрицательными в зависимости от значения угла φ и его знака. Более того, при $\varphi = +60^\circ$ показание ваттметра P_{W1} равно нулю, а при $\varphi = -60^\circ$ нулевое показание будет у ваттметра P_{W2} . При $\varphi = 0$, т. е. при чисто активной нагрузке, показание ваттметра P_{W1} равно показанию ваттметра P_{W2} .

Двухэлементные ваттметры, обычно называемые трехфазными ваттметрами, представляют собой конструкцию из двух измерительных механизмов одноэлементных ферродинамических ваттметров с одной общей подвижной частью.

Примерное конструктивное выполнение двухэлементного ферродинамического измерительного механизма, широко используемого для построения трехфазных ваттметров, показано на рисунке 9.8. Два шихтованных магнитопровода 1 имеют неподвижные токовые обмотки 2. Обмотки напряжения, выполненные в виде подвижных рамок 3, укреплены на общей оси.

Включение токовых обмоток и обмоток напряжения трехфазных двухэлементных ваттметров производится по схеме рисунок 9.7, в которой используется метод двух приборов.

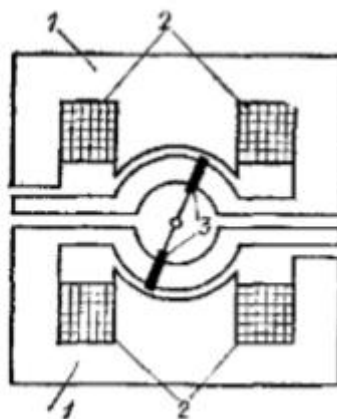


Рисунок 2 - Двухэлементный ферродинамический измерительный механизм

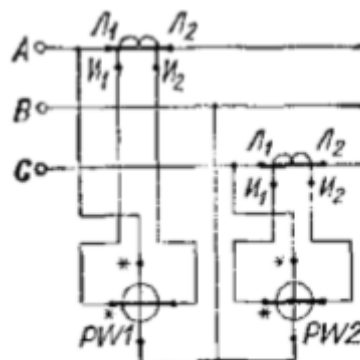


Рисунок 3 - Схема включения элементов двухэлементного ваттметра в трехфазную трехпроводную цепь с использованием трансформаторов тока

Расширение диапазонов измерения трехфазных двухэлементных ваттметров, так же как и одноэлементных однофазных ваттметров, осуществляется с помощью измерительных трансформаторов тока и напряжения. На рисунке 3 показано включение элементов двухэлементного трехфазного ваттметра в трехфазную трехпроводную цепь через измерительные трансформаторы тока. Очевидно, что в этом случае для получения мощности цепи показание ваттметра необходимо умножить на номинальный коэффициент трансформации $K_{I \text{ ном}}$ применяемых измерительных трансформаторов тока. Если измерение мощности осуществляется двумя одноэлементными ваттметрами, то на значение $K_{I \text{ ном}}$ умножается арифметическая сумма показаний ваттметров.

Метод трех приборов применяется при измерении мощности в трехфазной четырехпроводной цепи (при этом используются три одноэлементных ваттметра). Так же как и метод двух приборов, метод трех приборов дает правильные результаты независимо от схемы соединения и характера нагрузки как при симметрии, так и при асимметрии токов и напряжений. По схеме, реализующей метод трех приборов, включаются также элементы трехэлементных трехфазных ваттметров.

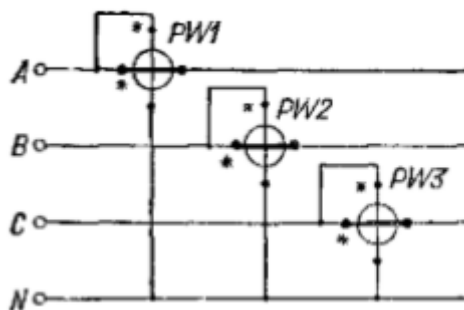


Рисунок 4 - Схема включения трех ваттметров в трехфазную трехпроводную цепь

На рисунке 4 приведена схема включения трех одноэлементных ваттметров по методу трех приборов в трехфазную четырехпроводную цепь.

Нетрудно видеть, что в этом случае каждый ваттметр измеряет мощность одной фазы:

$$\begin{aligned} P_{W1} &= P_A = U_A I_A \cos \varphi_A \\ P_{W2} &= P_B = U_B I_B \cos \varphi_B \\ P_{W3} &= P_C = U_C I_C \cos \varphi_C \end{aligned} \quad (5)$$

где U_A , U_B и U_C — фазные напряжения; I_A , I_B и I_C — фазные токи; φ_A , φ_B и φ_C — фазовые сдвиги между соответствующими фазными напряжениями и фазными токами. Очевидно, что для нахождения мощности трехфазной четырехпроводной цепи необходимо взять алгебраическую сумму показаний всех ваттметров:

$$P = P_A + P_B + P_C = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} \quad (6)$$

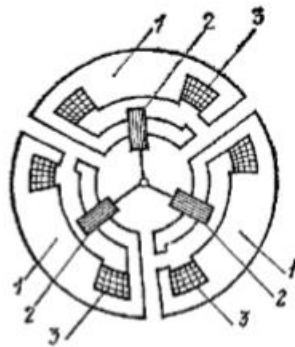


Рисунок 5 - Трехэлементный ферродинамический измерительный механизм

Принципиальная конструктивная схема трехэлементного трехфазного ферродинамического ваттметра приведена на 2. Каждый элемент содержит выполненный из магнитомягкого материала шихтованный магнитопровод 1 с неподвижной токовой обмоткой 3. Подвижные рамки элементов 2 жестко укреплены на одной оси. Таким образом, на подвижную часть трехфазного трехэлементного ваттметра действует арифметическая сумма моментов всех трех элементов. Непосредственное включение элементов ваттметра в трехфазную четырехпроводную цепь осуществляется по схеме, изображенной на рисунке 2.

Расширение диапазонов измерения трехэлементных трехфазных ваттметров осуществляется так же, как и двухэлементных ваттметров — с помощью измерительных трансформаторов тока и напряжения.

2. Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерение методом трех ваттметров

1. Собрать схему установки (рис. 6).

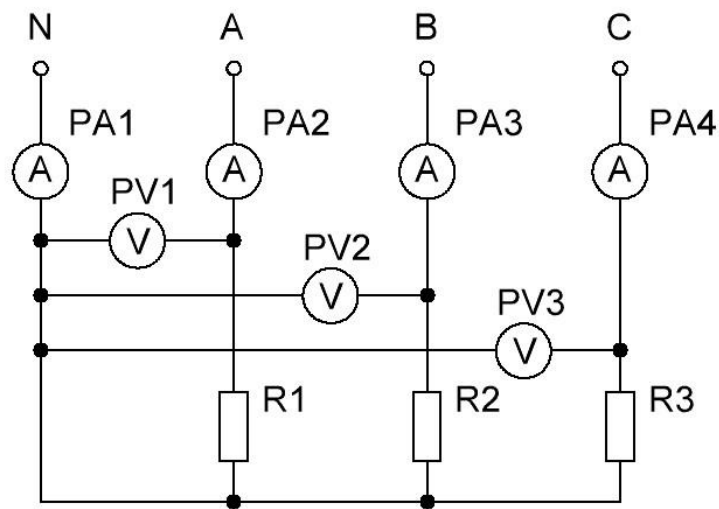


Рисунок 6 - Электрическая схема лабораторной установки метода трех приборов

2. Включить стенд автоматическим выключателем QF1.
3. Снять показания приборов:
 - PV3 – Напряжение фазы A;
 - PA3 - Ток фазы A;
 - PW3 - Мощность фазы A;
 - PV4 - Напряжение фазы B;
 - PA4 - Ток фазы B;
 - PW4 - Мощность фазы B;
 - PV5 - Напряжение фазы C;
 - PA5 - Ток фазы C;
 - PW5 - Мощность фазы C;
4. Выключить стенд в следующем порядке:
 - Выключить стенд автоматическим выключателем QF1;
 - Убрать все перемычки.
6. Вычислить мощность нагрузки в каждой фазе.
7. Сравнить сумму показаний трех ваттметров и рассчитанных мощностей, исходя из активной нагрузки $R_4=R_6=R_8 \approx 510 \text{ Ом}$.

Задание 2. Измерение методом двух ваттметров.

1. Собрать схему установки (рис. 7).

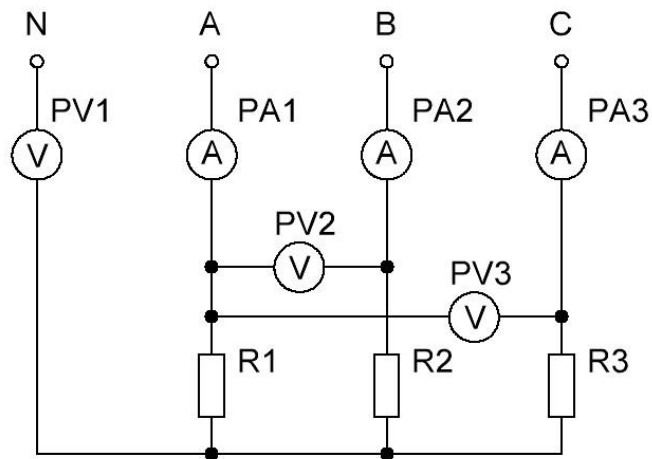


Рисунок 7 - Электрическая схема лабораторной установки метода двух ваттметров

2. Включить стенд автоматическим выключателем QF1.
3. Снять показания приборов:
 - PA3 - Ток фазы A;
 - PV4 – Линейное напряжение UAB;
 - PA4 - Ток фазы B;
 - PW4 – Первая часть активной трехфазной мощности;
 - PV5 - Напряжение фазы C;
 - PA5 - Линейное напряжение UAC;
 - PW5 - Вторая часть активной трехфазной мощности;
4. Выключить стенд в следующем порядке:
 - Выключить стенд автоматическим выключателем QF1;
 - Убрать все перемычки.
4. Сложить мощности PW4 и PW5, сравнить их показание с измеренной мощностью методом трех ваттметров.

Дополнительно можно исследовать измерение трехфазной мощности при равномерной, неравномерной и включённой в треугольник нагрузкой.

3. Содержание индивидуального отчета

1. Название, цель работы.
2. Схема лабораторной установки с описанием.
3. Таблица с результатами измерений.
4. Результаты расчетов.
5. Выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Опишите принцип работы схемы измерения мощности в цепях переменного методом трех приборов.
2. Опишите принцип работы схемы измерения мощности в цепях переменного методом двух ваттметров.
3. От каких параметров зависит точность определения мощности?
4. Опишите конструкцию двухэлементного ферродинамического измерительного механизма.
5. Опишите конструкцию трехэлементного ферродинамического измерительного механизма.