

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова**

Кафедра электроэнергетики и автоматики

Утверждено
научно-методическим советом
университета

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Методические указания к выполнению расчетно-
графического задания по курсу «Электрические измерения»
для студентов специальностей 130302 – электроэнергетика
и электротехника

**Белгород
2017**

УДК 621.3
ББК 31.221

Э45

Составители: Сибирцева Н.Б., ст. преп.
Паращук О.В., ст. преп.
Авербух М.А., канд.техн.наук,доц

Рецензент д-р техн. наук, проф. Рубанов В.Г.,

Э-45 Технические измерения приборы: методические указания
/ сост.: Н.Б. Сибирцева, О.В. Паращук, М.А. Авербух. –
Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 16 с.

Методические указания содержат варианты индивидуальных заданий и пример выполнения индивидуального домашнего задания 130302 – электроэнергетика и электротехника.

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 621.3
ББК
31.221

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2017

1. Общие положения

1.1. Расчетно-графическая работа имеет целью ознакомить студентов с измерениями из наиболее часто встречающихся в практике величин – активных и реактивных мощностей в трехфазных цепях. В процессе выполнения задания студент должен ознакомиться с текущей справочно-каталожной информацией, выбрать необходимые приборы и аппараты, произвести необходимые расчеты, определить ожидаемые погрешности результатов измерения и привести схему включения приборов с их спецификацией.

1.2. Студент очной формы обучения выполняет задание, номер варианта которого получает у преподавателя.

1.3. Студент заочной формы обучения определяет вариант по двум последним цифрам зачетной книжки по следующему алгоритму: если две последние цифры не превышают числа 45, то номер варианта соответствует этому числу; если две последние цифры представляют собой число от 46 до 99, то номер варианта получается путем деления его на 3 с округлением результата до целого числа.

Пример: две последние цифры зачетной книжки – 52. Для получения варианта РГЗ нужно разделить это число на 3 и округлить результат:

$52:3=17,3 \approx 17$, следовательно вариант для выполнения РГЗ -17.

2. Содержание задания №1

Составить схему измерения активной и реактивной мощностей потребителя в трехпроводной сети. В процессе выполнения задания необходимо:

2.1. Составить схему включения ваттметров, аналогичную приведенной на рис. 1, но для включения через измерительные трансформаторы с коэффициентами, указанными в табл. 2.1. В этой же таблице указаны схема соединения приемника и показания ваттметров. Выбрать лабораторные измерительные приборы и трансформаторы, дать их спецификацию с краткой технической характеристикой.

2.2. Определить активную и реактивную мощности, показание ваттметра P_{W3} , а также максимальную активную мощность, которую можно измерит данными приборами.

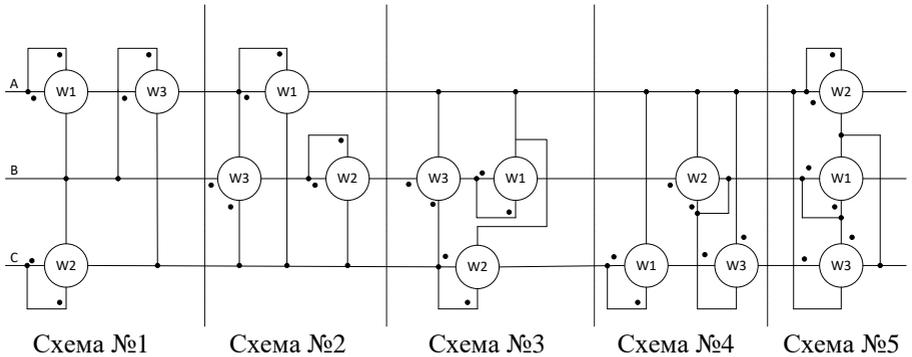


Рис. 1. Схема включения ваттметров

Табл. 2.1

Исходные данные для выполнения задания №1

| Вариант | P_{W1} , Вт | P_{W2} , Вт | Коэффициент трансформации | | Схема соединения нагрузки | Схема соединения ваттметров |
|---------|---------------|---------------|---------------------------|----------|---------------------------|-----------------------------|
| | | | K_{Tn} | K_{Tl} | | |
| 1 | 433 | 433 | 60 | 50 | Y | 1 |
| 2 | 91 | 82 | 100 | 20 | Δ | 2 |
| 3 | 123 | 114 | 350 | 10 | Y | 3 |
| 4 | 142 | 193 | 350 | 2 | Δ | 4 |
| 5 | 161 | 247 | 100 | 4 | Y | 5 |
| 6 | 299 | 172 | 60 | 10 | Δ | 1 |
| 7 | 175 | 350 | 60 | 50 | Δ | 2 |
| 8 | 169 | 398 | 100 | 4 | Y | 3 |
| 9 | 444 | 154 | 350 | 2 | Y | 4 |
| 10 | 483 | 130 | 60 | 50 | Δ | 5 |
| 11 | 470 | 87 | 100 | 10 | Y | 1 |
| 12 | 91 | 9 | 350 | 4 | Δ | 2 |
| 13 | 130 | 0 | 60 | 20 | Y | 3 |
| 14 | 164 | 18 | 100 | 10 | Y | 4 |
| 15 | -44 | 192 | 60 | 4 | Δ | 5 |
| 16 | -78 | 212 | 100 | 10 | Δ | 1 |
| 17 | 275 | -120 | 350 | 10 | Y | 2 |
| 18 | 230 | -169 | 60 | 20 | Y | 3 |
| 19 | -225 | 225 | 60 | 50 | Δ | 4 |
| 20 | 433 | 433 | 100 | 10 | Y | 5 |
| 21 | 242 | 65 | 350 | 50 | Δ | 1 |
| 22 | 19 | 200 | 60 | 10 | Y | 2 |
| 23 | 75 | 160 | 350 | 20 | Δ | 3 |
| 24 | 100 | 42 | 100 | 4 | Y | 4 |
| 25 | 50 | 20 | 60 | 4 | Δ | 5 |
| 26 | 113 | 23 | 100 | 10 | Y | 1 |
| 27 | -10 | 98 | 60 | 10 | Δ | 2 |

| Вариант | P_{W1} , Вт | P_{W2} , Вт | Коэффициент трансформации | | Схема соединения нагрузки | Схема соединения ваттметров |
|---------|---------------|---------------|---------------------------|----------|---------------------------|-----------------------------|
| | | | $K_{ТН}$ | $K_{ТТ}$ | | |
| 28 | 19 | 90 | 100 | 4 | Y | 3 |
| 29 | 185 | 56 | 350 | 20 | Δ | 4 |
| 30 | 113 | 23 | 100 | 10 | Y | 5 |
| 31 | 156 | -17 | 60 | 4 | Δ | 1 |
| 32 | -53 | 114 | 100 | 10 | Y | 2 |
| 33 | -36 | 205 | 60 | 4 | Δ | 3 |
| 34 | 190 | 18 | 350 | 50 | Y | 4 |
| 35 | 174 | 20 | 350 | 20 | Δ | 5 |
| 36 | 146 | 33 | 100 | 10 | Y | 1 |
| 37 | -47 | 63 | 60 | 4 | Δ | 2 |
| 38 | -49 | 134 | 100 | 10 | Y | 3 |
| 39 | 46 | -23 | 350 | 20 | Δ | 4 |
| 40 | 71 | -13 | 100 | 4 | Y | 5 |
| 41 | 132 | -97 | 60 | 10 | Δ | 1 |
| 42 | -117 | 133 | 100 | 4 | Y | 2 |
| 43 | -21 | 39 | 60 | 4 | Δ | 3 |
| 44 | 98 | -72 | 350 | 20 | Y | 4 |
| 45 | 134 | -105 | 100 | 10 | Δ | 5 |

Показания P_{W1} и P_{W2} получены при $U = 100$ В.

2.3. Построить векторную диаграмму, на которой указать токи и напряжения, действующие на ваттметры.

2.4. Определить потребляемую приборами мощность.

2.5. Определить систематическую и вероятную погрешности измерения (с учетом влияния измерительных трансформаторов).

3. Содержание задания №2

В трехпроводной сети с равномерной нагрузкой фаз, порядком их чередования А, В, С приемник потребляет активную мощность P и реактивную мощность Q (табл.3.1).

Табл. 3.1

Исходные данные для выполнения задания №2

| Вариант | P , кВт | Q , квар | Соединение |
|---------|-----------|------------|------------|
| 1 | 2000 | 1232 | Y |
| 2 | 520 | 866 | Δ |
| 3 | 842 | -200 | Y |
| 4 | 500 | 710 | Δ |
| 5 | 867 | 0 | Y |
| 6 | 1862 | -400 | Δ |
| 7 | 614 | 614 | Δ |
| 8 | 1600 | 1000 | Y |
| 9 | 600 | 626 | Y |
| 10 | 1640 | -1640 | Δ |
| 11 | 300 | 150 | Y |

| Вариант | P, кВт | Q, квар | Соединение |
|---------|--------|---------|------------|
| 12 | 770 | -400 | Y |
| 13 | 870 | 150 | Δ |
| 14 | 2000 | 300 | Δ |
| 15 | 1000 | -500 | Y |
| 16 | 247 | 0 | Y |
| 17 | 380 | -220 | Δ |
| 18 | 527 | 380 | Y |
| 19 | 442 | 250 | Δ |
| 20 | 350 | -300 | Y |
| 21 | 17 | 35 | Δ |
| 22 | 194 | 267 | Y |
| 23 | 274 | 315 | Y |
| 24 | 490 | 634 | Δ |
| 25 | 455 | 5152 | Y |
| 26 | 9 | 48 | Δ |
| 27 | 50 | 71 | Y |
| 28 | 145 | 134 | Δ |
| 29 | 142 | 100 | Y |
| 30 | 126 | -727 | Y |
| 31 | 20 | -76 | Δ |
| 32 | 40 | -100 | Y |
| 33 | 109 | -123 | Δ |
| 34 | 1645 | -1030 | Y |
| 35 | 9 | -259 | Δ |
| 36 | 17 | -189 | Y |
| 37 | 61 | -300 | Y |
| 38 | 609 | -1321 | Δ |
| 39 | 52 | -75 | Y |
| 40 | 36 | 398 | Δ |
| 41 | 784 | 216 | Y |
| 42 | 83 | 180 | Δ |
| 43 | 358 | 509 | Y |
| 44 | 5372 | 5365 | Y |
| 45 | 7 | 99 | Δ |

Напряжение сети во всех вариантах $U = 6$ кВ.

Составить схему измерения мощностей P и Q, для чего:

3.1. Выбрать технические щитовые приборы и технические измерительные трансформаторы и составить их спецификацию с краткой технической характеристикой.

3.2. Определить максимальную мощность, которая может быть измерена выбранным комплектом приборов.

3.3. Определить потребляемые приборами мощности.

3.4. Определить систематическую и случайную погрешности измерения, выразив их в абсолютных и относительных величинах.

3.5. Построить векторную диаграмму, на которой показать токи и напряжения, действующие на приборы.

4. Методические указания к расчетным заданиям

4.1. Выбор приборов

При выборе измерительных приборов следует руководствоваться следующими соображениями:

а) вид приборов нужно выбирать в соответствии с заданием, так как в реальных условиях это однозначно определяет способ их монтажа на щитах и пультах (утопленный или выступающий и т.д.). Кроме того, формы и размеры корпусов выбираемых технических приборов должны быть взаимосвязаны между собой, а так же с другими приборами.

При выборе лабораторных приборов указанные ограничения не накладываются, и основным критерием выбора прибора является класс точности (КТ) и диапазон измерения.

Сказанное выше в равной степени относится к измерительным трансформаторам:

б) для приборов должны быть точно указаны номинальные напряжения и ток, градуировка шкалы, способ включения.

Пример. Ваттметр Д309 ферродинамической системы, 5 А, 100 В, шкала 0-1 кВт, диапазон измерения [0,01-1] кВт, КТ=0,5.

Прибор в этом случае может быть включен через любые измерительные трансформаторы со вторичными напряжениями 5 А и 100 В, но показания прибора для получения значения мощности должны быть умножены на произведение коэффициентов трансформации.

Для стационарных условий выбор приборов, имеющий градуировку, рассчитанную на применение определенных трансформаторов, предпочтительнее, так как при этом обеспечивается отсчет измеряемых величин.

4.2. Определение собственного потребления мощности

Собственное потребление мощности приборами зависит от их конструкции. Для лабораторных приборов непосредственно на шкале указываются сопротивления обмоток или потребление мощности при номинальных напряжениях и тока ($P_{н.пар}$; $P_{н.посл}$). в последнем случае действительное потребление мощности обмотками:

$$P_{пар} = P_{н.пар} \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 \text{ и } P_{посл} = P_{н.посл} \cdot \left(\frac{I}{I_n}\right)^2$$

Для технических приборов в каталогах указывается ориентировочное собственное потребление в номинальном режиме,

которое может быть приведено к действительному по вышеуказанным соотношениям.

При расширении пределов измерения цепей напряжение до величины U'_n за счет добавочного сопротивления потребляемая мощность $P'_{н.пар}$ увеличивается пропорционально напряжению и, в свою очередь может быть пересчитана аналогично предыдущим случаям при отклонениях напряжения от U'_n .

$$P'_{н.пар} = P_{н.пар} \cdot \left(\frac{U'_n}{U}\right)$$

4.3. Погрешности измерения

Возникающие при измерениях погрешности могут быть вызваны несколькими причинами.

4.3.1. Систематические погрешности, обусловленные несовершенством методов измерения. Например, при измерении мощности и энергии всегда возникает положительная погрешность, так как приборы при этом измеряют мощность большую, чем потребляемая нагрузкой, на величину собственного потребления обмотками или тока (рис 2,а) или напряжения (рис 2,б).

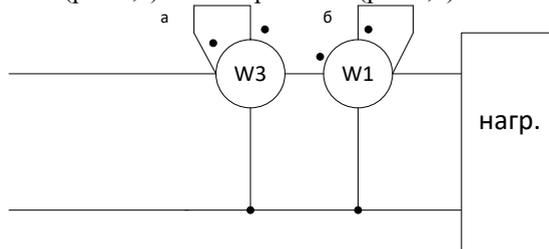


Рис. 2. Подключение ваттметра

Систематическая погрешность может быть устранена внесением поправки, если известно собственное потребление мощности обмотками прибора.

4.3.2. Случайные погрешности, обусловленные несовершенством прибора в прямых измерениях. При этом чаще всего можно указать только верхний уровень погрешности, зависящий от класса точности прибора:

$$\delta = \pm \gamma \cdot \frac{A_{max}}{A} = \pm \text{КТ} \cdot \frac{A_n}{A} \%,$$

где $\gamma = \text{КТ}$ – класс точности прибора, $A_{max}=A_n$, A – предел измерения прибора и измеряемая величина.

4.3.3. Случайные погрешности, обусловленные использованием косвенных методов измерения. Возникающие при этом погрешности зависят от погрешностей прямых измерений (см.п.2), входящих в расчетную формулу; от вида этой формулы; от

корреляции (взаимосвязи) между исходными величинами. Погрешность, вычислительную по техническим характеристикам средств измерений, можно принять за предельную. Ее принято называть допустимой ошибкой. При оценке погрешностей измерений в метрологии используется принцип достоверности. Этот принцип означает, что лучше преувеличить погрешность измерения, чем ее преуменьшить: в первом случае снижается только качество измерения, во втором возможно полное обесценивание результата измерения.

Основной формулой записи погрешности измерений является относительная погрешность в процентах. Для косвенных измерений:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \delta_i, n \leq 3$$

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \delta_i}, n > 3$$

где δ_i – погрешность прямых измерений;

$$K_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{x}{y}$$

- коэффициенты влияния, определяющие степень участия в общей погрешности измерений ее составляющих, входящих в функциональную зависимость $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Арифметическое суммирование при слабо коррелированных величинах завышает ожидаемую погрешность.

При прямых измерениях, если средства измерений включены последовательно друг за другом и между ними нет сильных корреляционных связей, погрешность измерений определяется аналогично косвенным измерениям с учетом $K_i = 1$.

Пример 1. Определить результат измерения сопротивления методом амперметра и вольтметра. Методической погрешностью измерений пренебречь.

Дано: $U_x = 100 \text{ В}$; $I_x = 10 \text{ А}$; $\delta_U = \pm 1\%$; $\delta_I = \pm 2,5\%$.

Решение: Измерения косвенные.

Общая схема измерений (ОИ – объект измерений, α – число делений на шкале прибора, C – цена деления), дана на рис.3.

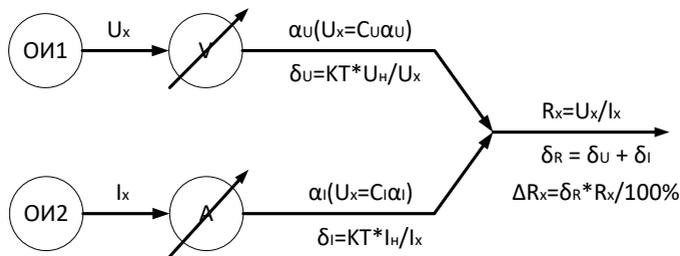


Рис.3. Общая схема измерений

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{100}{10} = 10 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_x = \frac{(\delta_U + \delta_I) \cdot R_x}{100\%} = \frac{3,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,35 \text{ Ом}$$

Ответ: $R_x = (10 \pm 0,35) \text{ Ом}$; $\delta_p = \pm 3,5\%$

Пример 2. Определить результат измерения мощности с помощью ваттметра и измерительного трансформатора тока.

Дано: $P_W = 500 \text{ Вт}$; $\delta_{P_W} = 1,5\%$; $K_{ТТ} = 10$; $K_T = 0,5$.

Решение: измерения прямые.

$$P_x = P_W \cdot K_{ТТ} = 500 \cdot 10 = 5000 \text{ Вт}; \quad \delta_p = 1,5 + 0,5 = \pm 2\%;$$

$$\Delta P_x = \frac{5000 \cdot 2}{100} = \pm 100 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P_x = (5000 \pm 100) \text{ Вт}$; $\delta_p = \pm 2\%$.

4.4. Построение векторной диаграммы

Для построения векторной диаграммы необходимо определить линейные и фазные напряжения и токи. Если вид соединения эквивалентного приемника не задан, то он может быть принят любым. Нужно определить знак φ (характер нагрузки) или он должен быть принят условно.

Диаграмму целесообразно изобразить так, чтобы все векторы напряжений и токов исходили из начала координат. При таком изображении легче определить сдвиг по фазам между различными векторными величинами.

Необходимо помнить, что угол φ всегда является углом сдвига по фазе между фазным напряжением и фазным током.

Диаграмма должна быть построена в стандартных масштабах, которые должны быть указаны.

4.5. Пример выполнения задания №1.

Схема включения ваттметров приведена на рис. 4. Из показания при прямом включении на напряжение $U = 100$ В, $P_{W1} = -160$ Вт, $P_{W2} = 240$ Вт, соединение приемника Y, коэффициенты трансформации $K_{TH} = 100$, $K_{TT} = 50$.

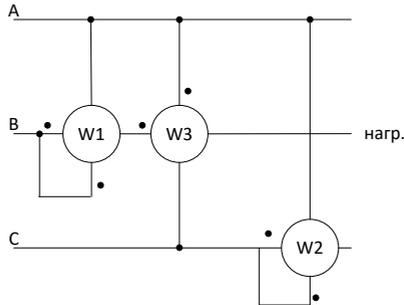


Рис. 4. Схема включения ваттметров

Выбрать лабораторные ваттметры и трансформаторы, составить полную схему включения их, определить активную и реактивную мощности, коэффициент мощности, показания третьего ваттметра P_{W3} , определить потребляемую приборами мощность, систематическую и вероятную погрешности.

Решение:

1. Активная мощность при напряжении 100 В:

$$P = P_{W1} + P_{W2} = -160 + 240 = 80 \text{ Вт.}$$

2. Реактивная мощность:

$$Q = \sqrt{3}(P_{W2} - P_{W1}) = \sqrt{3}(240 + 160) = 692 \text{ вар.}$$

3. Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \cos \arctg \frac{Q}{P} = \cos \arctg \left(\frac{692}{80} \right) = 0,114; \varphi = \pm 83,4^\circ.$$

4. При включении ваттметра через измерительные трансформаторами с заданными коэффициентами трансформации, мощности соответственно:

$$P' = P \cdot K_{TT} \cdot K_{TH} = 80 \cdot 50 \cdot 100 = 400 \text{ кВт;}$$

$$Q' = Q \cdot K_{TT} \cdot K_{TH} = 692 \cdot 50 \cdot 100 = 3460 \text{ квар.}$$

5. Выбираем лабораторные приборы и трансформаторы:

а) ваттметры Д539 ферродинамические, на $5 \div 10$ А; 30, 75, 150, 300 В, с классом точности 0,5, номинальная частота 45-65 Гц, с номинальным током параллельной обмотки $I_{н.пар} = 3$ мА, сопротивлением последовательной обмотки $R_{посл} = 0,006$ Ом и ее индуктивностью $L_{посл} = 0,05$ мГн;

б) Трансформаторы ввиду высокого напряжения сети выбираем стационарные: трансформаторы напряжения НТМИ-10-10000/100В У3 с номинальной мощностью 1000 ВА, с классом точности 0,5

соответственно-2 шт. Трансформаторы тока ТРН-35М 250/5 А, 35 кВ, нагрузка 2,4 Ом с классом точности 0,5 соответственно – 2 шт.

6. Схема включения приборов через измерительные трансформаторы приведена на рис. 5. При этом к вторичным обмоткам трансформаторов может подключаться несколько приборов так, чтобы общая нагрузка не превышала паспортной.

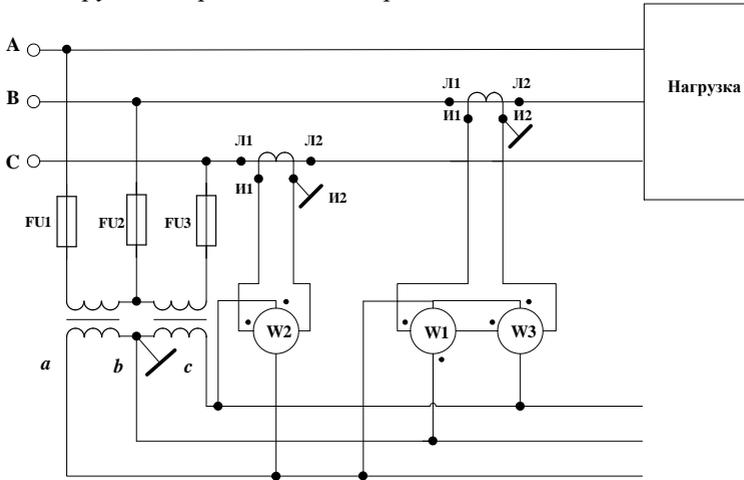


Рис. 5. Схема включения приборов через измерительные трансформаторы

7. Максимальная мощность, которую можно измерить, определяется номинальными токами и напряжениями трансформаторов:

$$P_{max} = \sqrt{3}U'_n \cdot I'_n = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10 \cdot 250 = 4325 \text{ кВт.}$$

8. Токи приемников и приборов соответственно:

$$I' = \frac{P'}{\sqrt{3} \cdot U' \cdot \cos \varphi} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,114} = 203 \text{ А.}$$

$$I = \frac{I'}{K_{ТТ}} = \frac{203}{50} = 4,06 \text{ А.}$$

9. Показание ваттметра P_{W3} будет

$$P_{W3} = U_{AC} \cdot I_B \cdot \cos \alpha = 100 \cdot 4,06 \cdot \cos \alpha = 403 \text{ Вт.}$$

Можно заметить, что показание ваттметра P_{W3} совпадает с разностью показаний ваттметров P_{W2} и P_{W1} , равной 400 Вт.

10. Приборы потребляют мощность – каждая обмотка напряжения:

$$P_{\text{пар}} = \frac{U_n^2}{R_{\text{пар}}} = \frac{U_n^2 \cdot I_{\text{н.пар}}}{U_{\text{н.пар}}} = \frac{100^2 \cdot 0,003}{150} = 0,2 \text{ Вт;}$$

каждая токовая обмотка:

$$P_{\text{посл}} = I^2 \cdot R_{\text{посл}} = 4,06^2 \cdot 0,006 = 0,1 \text{ Вт.}$$

11. Погрешность измерения:

а) систематическая погрешность, обусловленная собственным потреблением токовыми обмотками (так как обмотки напряжения трансформатора напряжения включены до трансформаторов тока):

$$\delta_{\text{сист}} = \frac{P_{\text{посл}}}{P_W} \cdot 100\% = \frac{0,1}{160} \cdot 100\% = 0,06\%,$$

где $P_W = P_{W2}$ – показание ваттметра, в качестве которого взято минимальное показание;

б) вероятные погрешности измерения, обусловленные классом точности приборов:

$$\delta_{\text{вер1}} = \pm \text{КТ} \cdot \frac{P_{WH}}{P_{W1}} = \pm 0,5 \frac{750}{160} = \pm 2,34\%;$$

$$\delta_{\text{вер2}} = \pm \text{КТ} \cdot \frac{P_{WH}}{P_{W2}} = \pm 0,5 \frac{750}{240} = \pm 1,56\%;$$

$$\delta_{\text{вер3}} = \pm \text{КТ} \cdot \frac{P_{WH}}{P_{W3}} = \pm 0,5 \frac{750}{403} = \pm 0,93\%,$$

где $P_{WH} = U_{\text{н.пар}} \cdot I_{\text{н.посл}}$ – номинальная мощность ваттметра;

в) погрешность, обусловленная косвенным методом измерения, т.е. применением трансформаторов ввиду некоррелированности величин:

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\delta_{\text{вер1}}^2 + \delta_{\text{вер2}}^2 + \delta_{\text{ТТ}}^2 + \delta_{\text{ТН}}^2} =$$

$$\pm \sqrt{2,34^2 + 1,56^2 + 0,5^2 + 0,5^2} = \pm 2,86\%.$$

Следовательно, абсолютные погрешности в измерении активной и реактивной мощностей будут иметь значения:

$$\Delta P = \frac{\delta_{\Sigma} P'}{100} = \pm \frac{2,86 \cdot 400}{100} = \pm 11,44 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = \frac{\delta_{\Sigma} Q'}{100} = \pm \frac{2,86 \cdot 3460}{100} = \pm 99,7 \text{ квар.}$$

12. Скорректированный результат измерения должен быть записан в следующем виде:

$$P_{\text{скор}} = P' - \frac{\delta_{\text{сист}} P'}{100} \pm \Delta P = 400 - \frac{0,06 \cdot 400}{100} \pm 11,44 =$$

$$= 399,8 \pm 11,44 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{скор}} = Q' - \frac{\delta_{\text{сист}} Q'}{100} \pm \Delta P = 3460 - \frac{0,06 \cdot 3460}{100} \pm 99,7 =$$

$$= 3457,9 \pm 99,7 \text{ квар.}$$

Видно, что систематической погрешностью ввиду ее малости можно пренебречь.

13. На основании вычислительных токов, напряжений и коэффициента мощности строится векторная диаграмма (рис. 6), из

Ближайшее стандартное значение первичного тока измерительного трансформатора тока составляет 200 А, следовательно сила тока через ваттметры:

$$I = \frac{U}{K_{TT}} = \frac{179}{40} = 4,475 \text{ А.}$$

3. Выбираем лабораторные приборы и трансформаторы:

а) ваттметры Д539 ферродинамические, на 5÷10А; 30, 75, 150, 300 В, с классом точности 0,5, номинальная частота 45-65 Гц, с номинальным током параллельной обмотки $I_{н.пар} = 3 \text{ мА}$, сопротивлением последовательной обмотки $R_{посл} = 0,006 \text{ Ом}$ и ее индуктивностью $L_{посл} = 0,05 \text{ мГн}$;

б) Трансформаторы ввиду высокого напряжения сети выбираем стационарные: трансформатор напряжения НОМЭ-6-У2(Т2) 6000/100 В с номинальными мощностями 50-75-200 В·А в классах 0,5-1-3 соответственно-2 шт. Трансформаторы тока ТОЛК-6-І 200/5 А, 6 кВ, нагрузка 5 Ом с классом точности 0,5 соответственно – 2 шт.

Схема включения приборов через измерительные трансформаторы приведена на рис. 7.

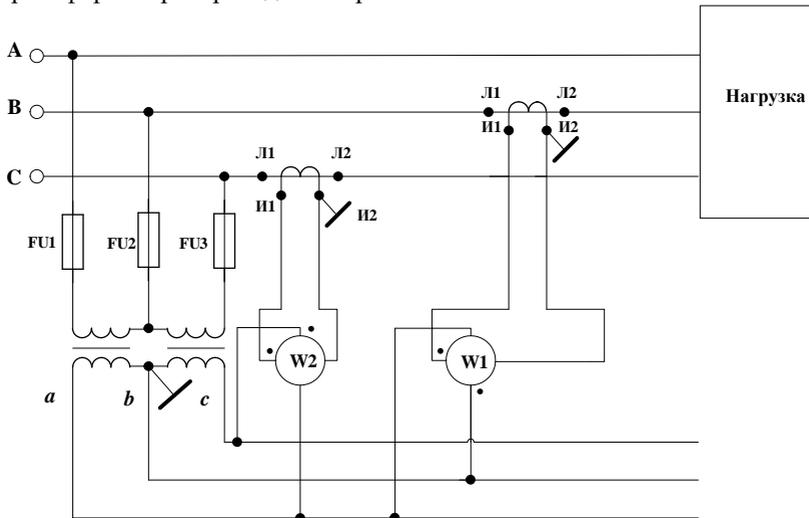


Рис. 7. Схема включения приборов через измерительные трансформаторы

4. Максимальная мощность, которую можно измерить, определяется номинальными токами и напряжениями трансформаторов:

$$P_{max} = \sqrt{3} U'_H \cdot I'_H = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 200 = 2 \text{ МВт.}$$

С учетом выбранных измерительных трансформаторов тока и напряжения:

$$P' = K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТН}} \cdot P = 40 \cdot 60 \cdot 611,28 = 1467 \text{ кВт} \approx 1466 \text{ кВт.}$$

Как видно, проверка показала, что расчетное значение активной мощности практически совпало с исходными данными.

- Реактивная мощность:

$$Q = \sqrt{3}(P_{W2} - P_{W1}) = \sqrt{3}(443,64 - 167,64) = 478 \text{ ВАр.}$$

С учетом выбранных измерительных трансформаторов тока и напряжения:

$$Q' = K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТН}} \cdot Q = 40 \cdot 60 \cdot 478 = 1147 \text{ кВАр} \approx 1146 \text{ кВАр}$$

Как видно, проверка показала, что расчетное значение реактивной мощности практически совпало с исходными данными

9. Погрешность измерения:

а) систематическая погрешность, обусловленная собственным потреблением токовыми обмотками (так как обмотки напряжения трансформатора напряжения включены до трансформаторов тока):

$$\delta_{\text{сист}} = \frac{P_{\text{посл}}}{P_W} \cdot 100\% = \frac{0,12}{167,64} \cdot 100\% = 0,06\%,$$

где $P_W = P_{W1}$ – показание ваттметра, в качестве которого взято минимальное показание;

б) вероятные погрешности измерения, обусловленные классом точности приборов:

$$\delta_{\text{вер1}} = \pm \text{КТ} \cdot \frac{P_{WH}}{P_{W1}} = \pm 0,5 \frac{750}{167,64} = \pm 2,24\%;$$

$$\delta_{\text{вер2}} = \pm \text{КТ} \cdot \frac{P_{WH}}{P_{W2}} = \pm 0,5 \frac{750}{443,64} = \pm 0,85\%;$$

где $P_{WH} = U_{\text{н.пар}} \cdot I_{\text{н.посл}}$ – номинальная мощность ваттметра;

в) погрешность, обусловленная косвенным методом измерения, т.е. применением трансформаторов ввиду некоррелированности величин:

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\delta_{\text{вер1}}^2 + \delta_{\text{вер2}}^2 + \delta_{\text{ТТ}}^2 + \delta_{\text{ТН}}^2} = \\ \pm \sqrt{2,24^2 + 0,85^2 + 0,5^2 + 0,5^2} = \pm 2,49\%.$$

Следовательно, абсолютные погрешности в измерении активной и реактивной мощностей будут иметь значения:

$$\Delta P = \frac{\delta_{\Sigma} P'}{100} = \pm \frac{2,49 \cdot 1466}{100} = \pm 36,5 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q = \frac{\delta_{\Sigma} Q'}{100} = \pm \frac{2,49 \cdot 1146}{100} = \pm 28,5 \text{ кВАр.}$$

10. Скорректированный результат измерения должен быть записан в следующем виде:

$$P_{\text{скор}} = P' - \frac{\delta_{\text{сист}} P'}{100} \pm \Delta P = 1466 - \frac{0,06 \cdot 1466}{100} \pm 36,5 =$$

$$\begin{aligned} &= 1465,1 \pm 36,5 \text{ кВт}, \\ Q_{\text{скор}} &= Q' - \frac{\delta_{\text{сист}} Q'}{100} \pm \Delta P = 1145 - \frac{0,06 \cdot 1146}{100} \pm 28,5 = \\ &= 1145,3 \pm 28,5 \text{ квар}. \end{aligned}$$

Видно, что систематической погрешностью ввиду ее малости можно пренебречь.

Рекомендуемая литература

1. Электрические измерения / Под ред. А.В. Фремке и Е.М. Душина. – Л.: Энергия, 1980.
2. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах, учебное пособие для вузов / Под общей редакцией Б. Н. Тихонова 3-е изд., перераб. и доп., 2017 г. 398 стр.
3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникацион-М 54 ных системах: Учебник для вузов / В. И. Нефёдов, В. И. Хахин, Е. В. Федорова и др.; Под ред. В. И. Нефёдова. - М.: Высш. шк. , 2001..
4. Электроизмерительные приборы: каталог / ЦНИИТЭИ. – Т.8.
5. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987.
6. Атамаян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Высшая школа, 1989.