ЗАДАЧА № 1 (Шифр 04)

ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Технический амперметр магнитоэлектрической системы с номинальным током $I_H = 5$ А числом номинальных делений $\alpha_H = 100$ имеет оцифрованные деления от нуля до номинального значения, проставленные на каждой пятой части шкалы (стрелки обесточенных амперметров занимают нулевое положение).

Поверка технического амперметра осуществлялась образцовым амперметром той же системы.

1. Указать условия поверки технических приборов.
2. Определить поправки измерений.
3. Построить график поправок.
4. Определить приведенную погрешность.
5. Указать, к какому ближайшему стандартному классу точности относится данный прибор.

Если прибор не соответствует установленному классу точности, указать на это особо.

Написать ответы на вопросы:

1) Что называется измерением?

2) Что такое мера и измерительный прибор? Как они подразделяются по назначению?

3) Что такое погрешность? Дайте определение абсолютной, относительной и приведенной погрешности.

Таблица 1

Абсолютная погрешность	-0,03	0,05	0,04	-0,08	-0,06

Примечание. Абсолютная погрешность Δ_I в табл. 1 указана для каждого оцифрованного деления шкалы после нуля в порядке их возрастания, включая номинальный ток амперметра.

1. Условия поверки технических приборов:
- номинальная температура;
- наличие эталонного прибора;
- электрическая цепь для проверки.

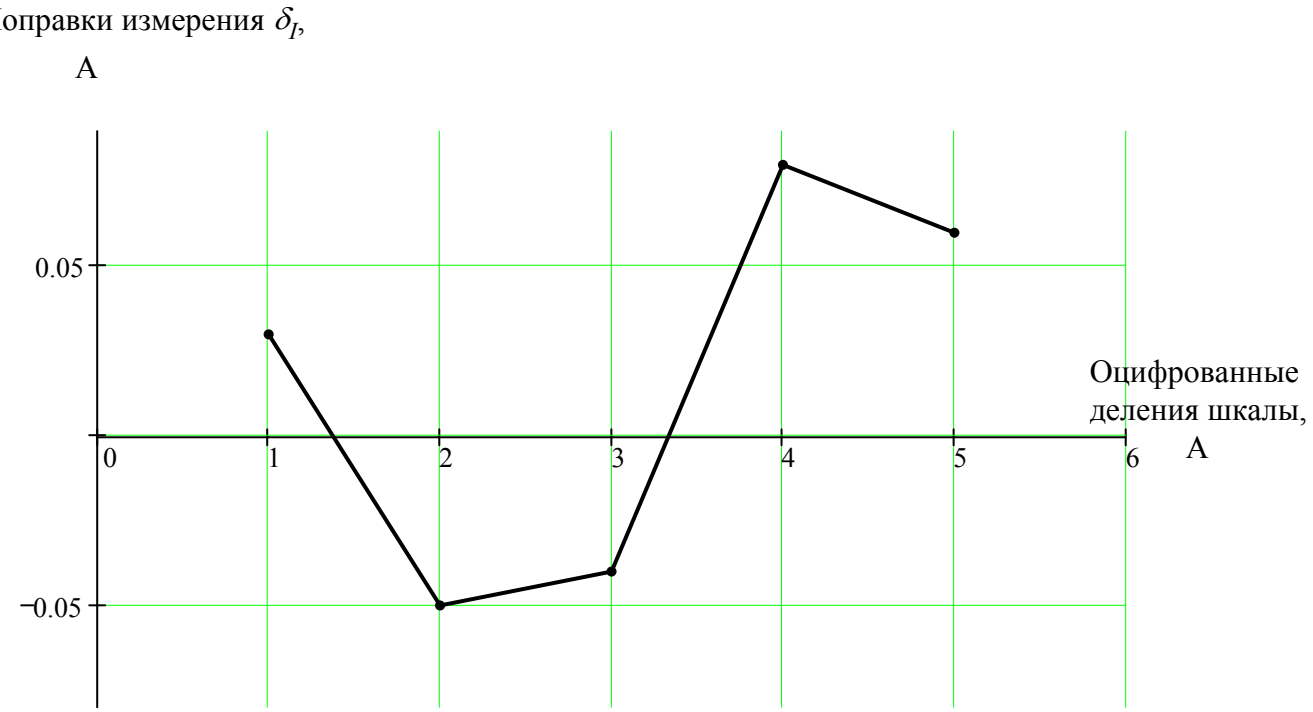
2. Поправки измерений.

Абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком, называется *поправкой.* Занесем в таблицу 2 поправки измерений для каждого оцифрованного деления шкалы после нуля.

Таблица 2

Оцифрованные деления шкалы, А	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Поправки измерений, А	0,03	-0,05	-0,04	0,08	0,06

3. График поправок.



4. Относительная погрешность.

Относительная погрешность δ_O есть выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности Δ_I к истинному значению измеряемой величины $I_\partial = I + \delta_I$ (таблица 3).

Таблица 3

Оцифрованные деления шкалы, А	1	2	3	4	5
Относительная погрешность, %	-2,91	2,56	1,35	-1,96	-1,19

5. Приведенная погрешность.

Приведенная погрешность $\delta_П$ есть выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности Δ_I к нормирующему значению I_H (таблица 4).

Таблица 4

Оцифрованные деления шкалы, А	1	2	3	4	5
Приведенная погрешность, %	-0,6	1	0,8	-1,6	-1,2

6. Класс точности прибора.

Число, обозначающее класс, является наибольшей приведенной погрешностью прибора на всех отметках рабочей части его шкалы.

В зависимости от степени точности электроизмерительные приборы согласно ГОСТ 8.401-80 (взамен ГОСТ 13600-68) делятся на девять классов: **0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.**

Данный прибор относится к ближайшему стандартному классу точности $K = 2.5$.

Результаты решения задачи запишем в таблице 5.

Таблица 5

№ п.п.	Оцифрованные деления шкалы	Погрешности			Класс точности
		абсолютная	относительная	приведенная	
	А	А	%	%	%
1	1	-0,03	-2,91	-0,6	2,5
2	2	0,05	2,56	1	
3	3	0,04	1,35	0,8	
4	4	-0,08	-1,96	-1,6	
5	5	-0,06	-1,19	-1,2	

1) *Измерение* – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Под измерением понимается процесс экспериментального сравнения данной физической величины с однородной физической величиной, значение которой принято за единицу.

2) *Мера* — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Мера, воспроизводящая ряд одноименных величин различного размера, называется *многозначной*. Часто используется набор мер – специально подобранный комплект мер, применяемых не только отдельно, но и в различных сочетаниях для воспроизведения ряда одноименных величин различного размера.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы классифицируются по различным признакам. Например, измерительные приборы можно построить на основе аналоговой схемотехники или цифровой. Соответственно их делят на аналоговые и цифровые. Ряд приборов, выпускаемых промышленностью, допускают только отсчитывание показаний. Эти приборы называются показывающими. Измерительные приборы, в которых предусмотрена регистрация показаний, носят название регистрирующих.

3) *Погрешность* является одной из основных характеристик средств измерений.

Погрешностью меры называется отклонение номинального значения меры (заданного размера меры), воспроизводящей ту или иную физическую величину, от истинного значения воспроизводимой ею величины.

Под *погрешностью* электроизмерительных приборов, измерительных преобразователей и измерительных систем понимается отклонение их выходного сигнала от истинного значения входного сигнала.

В зависимости от изменения во времени измеряемой величины, различаются следующие погрешности средств измерений:

а) статическая погрешность – погрешность при измерении постоянной во времени величины;

б) динамическая погрешность – разность между погрешностью в динамическом режиме и статической погрешностью, соответствующей значению измеряемой величины в данный момент времени.

В зависимости от характера изменения погрешностей средств измерений различают:

а) систематические погрешности — погрешности, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся;

б) случайные погрешности – погрешности, изменяющиеся случайным образом.

В зависимости от условий возникновения погрешностей различают:

а) основную погрешность – погрешность средств измерений, используемых в нормальных условиях;

б) дополнительную погрешность изменения погрешности средства измерений, вызванного отклонением одной из влияющих величин от нормального значения или выходом за пределы нормальных значений.

Абсолютная погрешность Δ прибора есть разность между показанием прибора $\boldsymbol{a_{изм}}$ и истинным значением $\boldsymbol{a_{д}}$ измеряемой величины, т.е.

$$\Delta = a_{изм} - a_{д}.$$

Абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком, называется *поправкой*.

Относительная погрешность $\boldsymbol{\delta_O}$ представляет собой отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Относительная погрешность, обычно выражаемая в процентах, равна

$$\delta_O = \frac{\Delta}{a_д} \cdot 100.$$

Приведенная погрешность $\boldsymbol{\delta_П}$ есть выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности Δ к нормирующему значению $\boldsymbol{a_Н}$:

$$\delta_П = \frac{\Delta}{a_Н} \cdot 100.$$

Нормирующее значение — условно принятое значение, могущее быть равным:

а) для приборов с нулевой отметкой на краю или вне шкалы – конечному значению диапазона измерений;

б) для приборов, предназначенных измерять величины, имеющие номинальное значение, – этому номинальному значению;

в) для приборов, имеющих двустороннюю шкалу, т.е. с отметками шкалы, расположенными по обе стороны от нуля, – арифметической сумме конечных значений диапазона измерений.

Помимо указанных, наиболее распространенных нормирующих значений, встречаются и другие, устанавливаемые в стандартах на отдельные виды приборов.

При установлении классов точности приборов нормируется приведенная погрешность, а не относительная. Причина этого заключается в том, что относительная погрешность по мере уменьшения значений измеряемой величины увеличивается.

ЗАДАЧА №2

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Измерительный механизм (ИМ) магнитоэлектрической системы рассчитан на ток $I_И$ и напряжение $U_И$ и имеет шкалу на $\alpha_Н$ делений.

1. Составить схему включения измерительного механизма с шунтом и дать вывод формулы $r_Ш$.

2. Определить постоянную измерительного механизма по току C_I, величину сопротивления шунта $r_Ш$ постоянную амперметра C'_I, если этим прибором нужно измерять ток $I_Н$.

3. Определить мощность, потребляемую амперметром при, номинальном значении тока $I_Н$.

4. Составить схему включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением и дать вывод формулы $r_Д$.

5. Определить постоянную измерительного механизма по напряжению C_U, величину добавочного сопротивления $r_Д$ и постоявшую вольтметра C'_U, если этим прибором нужно измерять напряжение $U_Н$.

6. Определить мощность, потребляемую вольтметром при номинальном значении напряжения $U_Н$.

Дано: $U_И = 0.075$ В; $I_И = 0.015$ А; $\alpha_Н = 150$ дел; $U_Н = 30$ В; $I_Н = 1.5$ А.

Решение

1. Схема включения измерительного механизма с шунтом (рис. 1) и вывод формулы $r_Ш$.

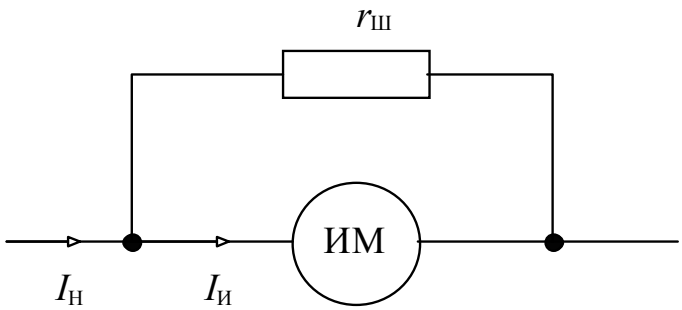


Рис. 1. Схема включения измерительного механизма с шунтом

Вывод формулы $r_Ш$

$$I_И = \frac{U_И}{r_И} = \frac{I_Н \dfrac{r_И \cdot r_Ш}{r_И + r_Ш}}{r_И} = I_Н \frac{r_Ш}{r_И + r_Ш};$$

$$\frac{r_И + r_Ш}{r_Ш} = \frac{I_Н}{I_И} = n; \qquad \frac{r_И}{r_Ш} = n - 1;$$

$$r_Ш = \frac{r_И}{n-1};$$

где n - коэффициент шунтирования.

2. Определим постоянную измерительного механизма по току C_I, величину сопротивления шунта $r_Ш$ постоянную амперметра C'_I, если этим прибором нужно измерять ток $I_Н$.

$$C_I = \frac{I_И}{\alpha_Н} = \frac{0.015}{150} = 0.0001 \text{ А/дел};$$

$$n = \frac{I_Н}{I_И} = \frac{1.5}{0.015} = 100 \ ;$$

$$r_И = \frac{U_И}{I_И} = \frac{0.075}{0.015} = 5 \text{ Ом};$$

$$r_Ш = \frac{r_И}{n-1} = \frac{5}{100-1} = 0.05051 \text{ Ом};$$

$$C'_I = \frac{I_Н}{\alpha_Н} = \frac{1.5}{150} = 0.01 \text{ А/дел};$$

3. Определим мощность, потребляемую амперметром при, номинальном значении тока $I_Н$.

$$P_Н = I_Н{}^2 \cdot R = I_Н{}^2 \cdot \frac{r_И \cdot r_Ш}{r_И + r_Ш} = \left(I_И \cdot n\right)^2 \frac{r_И \cdot \dfrac{r_И}{n-1}}{r_И + \dfrac{r_И}{n-1}} = I_И{}^2 r_И \cdot n = U_И I_И \cdot n;$$

$$P_Н = U_И I_И \cdot n = 0.075 \cdot 0.015 \cdot 100 = 0.113 \text{ Вт.}$$

4. Схема включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением (рис. 2) и вывод формулы $r_Д$.

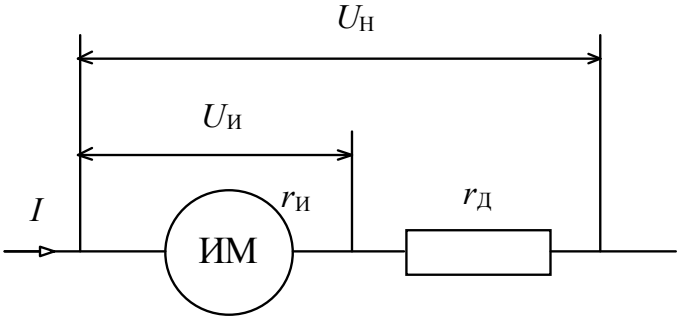


Рис. 2. Схема включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением

$$I = \frac{U_И}{r_И} = \frac{U_Н}{r_И + r_Д};$$

$$1 + \frac{r_Д}{r_И} = \frac{U_Н}{U_И} = m;$$

$$r_Д = r_И (m - 1).$$

5. Определим постоянную измерительного механизма по напряжению C_U, величину добавочного сопротивления $r_Д$ и постоявшую вольтметра C'_U, если этим прибором нужно измерять напряжение $U_Н$.

$$C_U = \frac{U_И}{\alpha_Н} = \frac{0.075}{150} = 0.0005 \text{ В/дел};$$

$$m = \frac{U_Н}{U_И} = \frac{30}{0.075} = 400 \;;$$

$$r_И = \frac{U_И}{I_И} = \frac{0.075}{0.015} = 5 \text{ Ом};$$

$$r_Д = r_И (m - 1) = 5 \cdot (400 - 1) = 1995 \text{ Ом};$$

$$C'_U = \frac{U_Н}{\alpha_Н} = \frac{30}{150} = 0.2 \text{ В/дел};$$

6. Мощность, потребляемая вольтметром при номинальном значении напряжения $U_Н$.

$$P_Н = \frac{U_Н^{\,2}}{R} = \frac{(U_И \cdot m)^2}{r_И + r_Д} = \frac{U_И^{\,2} \cdot m^2}{r_И + r_И (m-1)} = \frac{U_И^{\,2}}{r_И} m = U_И I_И \cdot m;$$

$$P_Н = U_И I_И \cdot m = 0.075 \cdot 0.015 \cdot 400 = 0.45 \text{ Вт}.$$

ЗАДАЧА №3

МЕТОДЫ И ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения сопротивления косвенным методом использовались два прибора: амперметр и вольтметр магнитоэлектрической системы.

Измерение сопротивления производилось при температуре t°С приборами группы *А, Б* или *В*.

Определить:

1) величину сопротивления r'_x по показаниям приборов и начертить схему;

2) величину сопротивления r_x с учетом схемы включения приборов;

3) наибольшие возможные (относительную γ_r и абсолютную Δr) погрешности результата измерения этого сопротивления;

4) в каких пределах находятся действительные значения измеряемого сопротивления.

Дано:

1) данные вльтметра $U_H = 300$ В; $I_{max} = 0.0075$ А; $\gamma_{ДV} = 0.5$ %, $U = 240$ В;

2) данные амперметра $I_H = 0.3$ А; $U_{max} = 0.027$ В; $\gamma_{ДA} = 1$ %, $I = 0.2$ А;

3) Приборы группы Б; $t = 10$ °С.

Решение

1. Определим величину сопротивления r'_x по показаниям приборов и начертим схему включения приборов (рис. 1, 2).

Приближенное значение сопротивления согласно закону Ома определится как

$$r'_x = \frac{U}{I} = \frac{240}{0.2} = 1.2 \times 10^3 \text{ Ом.}$$

При измерении сопротивления методом двух приборов - амперметра и вольтметра, применяются две схемы (рис. 1 и рис. 2).

Первая схема (рис. 1) используется в тех случаях, когда $\frac{r'_x}{r_A} < \frac{r_V}{r'_x}$.

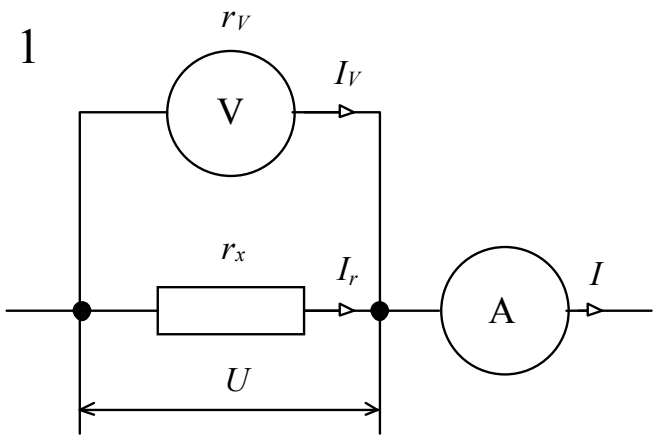


Рис. 1.

Вторая схема (рис. 2) используется в тех случаях, когда $\frac{r'_x}{r_A} > \frac{r_V}{r'_x}$.

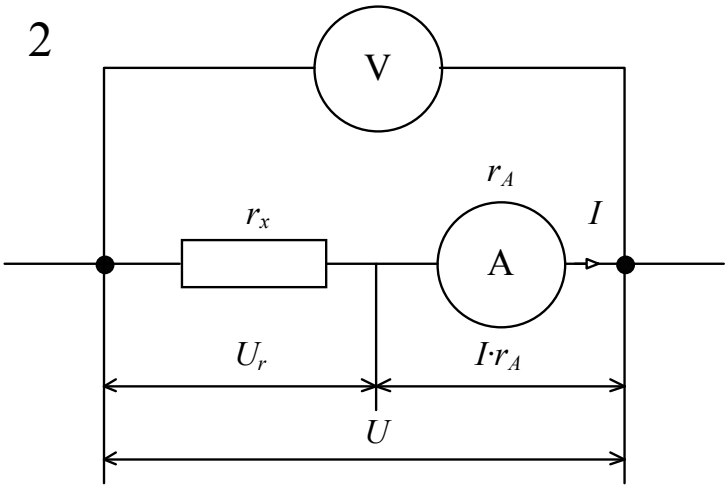


Рис. 2.

2. Величина сопротивления r_x с учетом схемы включения приборов. Находим

$$r_A = \frac{U_{\max}}{I_H} = \frac{0.027}{0.3} = 0.09 \quad \text{Ом};$$

$$r_V = \frac{U_H}{I_{\max}} = \frac{300}{0.0075} = 40000 \quad \text{Ом};$$

Так как

$$\frac{r'_x}{r_A} = \frac{1200}{0.09} = 1.33 \times 10^4 \qquad > \qquad \frac{r_V}{r'_x} = \frac{40000}{1200} = 33.3$$

то выбираем схему рис. 2.

$$U_r = U - I \cdot r_A;$$

$$r_x = \frac{U_r}{I} = \frac{U - I \cdot r_A}{I} = \frac{U}{I} - r_A = \frac{240}{0.2} - 0.09 = 1199.9 \quad \text{Ом}.$$

3. Наибольшие возможные (относительную γ_r и абсолютную Δr) погрешности результата измерения этого сопротивления

Относительная погрешность измерения приборов

$$\pm\gamma = \pm\gamma_Д \pm \gamma_t .$$

1) для вольтметра

$$\pm\gamma_V = \pm 0.5 \pm 0.4 = \pm\ 0.9\ \%$$

2) для амперметра

$$\pm\gamma_A = \pm 1 \pm 0.8 = \pm\ 1.8\ \%$$

Относительная погрешность результата измерения сопротивления при косвенном методе измерения

$$\pm\gamma_r = \pm\gamma_U \pm \gamma_I = \pm\gamma_V \frac{U_H}{U} \pm \gamma_A \frac{I_H}{I} =$$

$$= \pm 0.9 \cdot \frac{300}{240} \pm 1.8 \cdot \frac{0.3}{0.2} = \pm\ 3.825\ \%$$

Абсолютная погрешность результата измерения сопротивления

$$\Delta r = \pm \frac{\gamma_r}{100\%} \cdot r_x = \ \pm\ \frac{3.825}{100} \cdot 1.2 \times 10^3 = \pm\ 45.9\ \text{Ом}$$

4. Действительные значения измеряемого сопротивления находятся в пределах

$$r_x - \Delta r \le r_x \le r_x + \Delta r$$

$$1154.0 \le r_x \le 1245.8 \quad \text{Ом.}$$

ЗАДАЧА № 4

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Для измерения активной мощности трехпроводной цепи трехфазного тока с симметричной активно-индуктивной нагрузкой, соединенной *треугольником,* необходимо выбрать два одинаковых ваттметра с номинальным током I_H, номинальным напряжением U_H и числом делении шкалы $\alpha_H = 150$ дел.

1. По данным варианта для нормального режима работы цепи:
   а) начертить схему включения ваттметров в цепь;
   б) доказать, что активную мощность трехпроводной цепи трехфазного тока можно представить в виде суммы двух слагаемых;
   в) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;
   г) определить мощности P_1 и P_2, измеряемые каждым из ваттметров;
   д) определить число делений шкалы α_1 и α_2, на которые отклоняются стрелки ваттметров.
2. По данным варианта при обрыве одной фазы приемника энергии:
   а) начертить схему включения ваттметров в цепь;
   б) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив па ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;
   в) определить мощности P_1 и P_2, измеряемые каждым из ваттметров;
   г) определить число делений шкалы α_1 и α_2, на которые отклоняются стрелки ваттметров.

Результаты расчетов записать в табл. 1.

Примечание. Заданная трехпроводная цепь трехфазного тока представляет собой соединение трех неподвижных магнитно-несвязанных катушек

Дано: $S = 3200$ В·А; $cos\phi = 0.82$; $U_\Phi = 380$ В; схема включения - *треугольник*; последовательные обмотки ваттметров включены в провода *B* и *C*; обрыв фазы *BC*.

-

1. По данным варианта для нормального режима работы цепи:

а) начертим схему включения ваттметров в цепь (рис. 1).

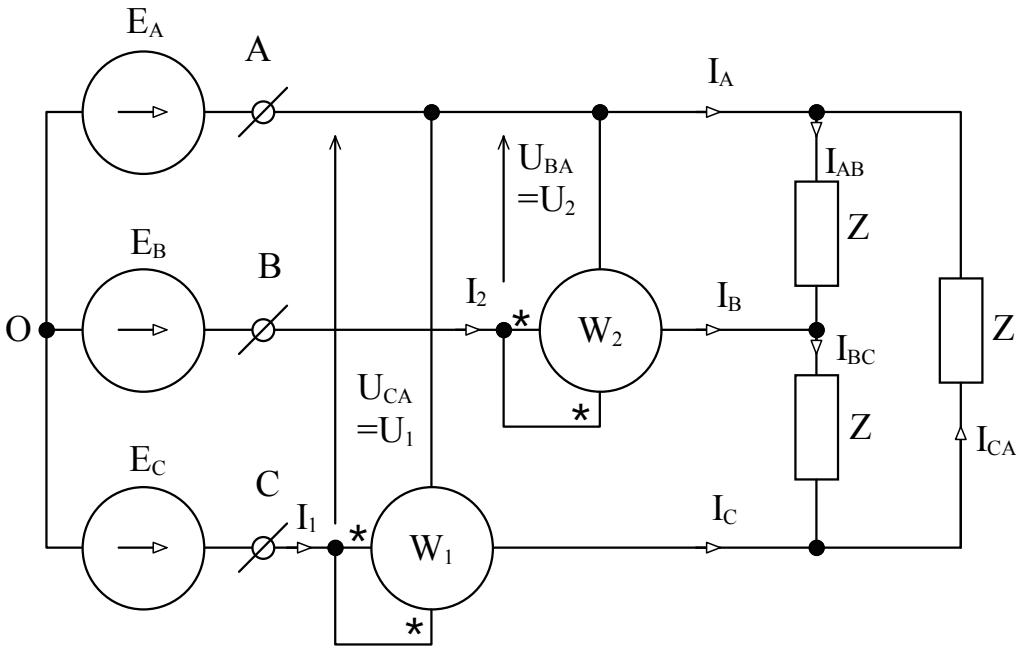


Рис. 1. Схема включения ваттметров в цепь.

б) докажем, что активную мощность трехпроводной цепи трехфазного тока можно представить в виде суммы двух слагаемых.

При равномерной нагрузке вне зависимости от способа соединения в звезду или треугольник полная мощность S, активная мощность P, реактивная мощность Q цепи

$$S = \sqrt{3}U_Л I_Л = 3U_Ф I_Ф;$$
$$P = S\cos\phi;$$
$$Q = S\sin\phi.$$

Для цепи (рис. 1)

$$p = p_{AB} + p_{BC} + p_{CA} =$$
$$= u_{AB}\cdot i_{AB} + u_{BC}\cdot i_{BC} + u_{CA}\cdot i_{CA} = \{u_{AB} + u_{BC} + u_{CA} = 0\} =$$
$$= u_{AB}\cdot i_{AB} + (-u_{AB} - u_{CA})\cdot i_{BC} + u_{CA}\cdot i_{CA} =$$
$$= -u_{AB}(i_{BC} - i_{AB}) + u_{CA}(i_{CA} - i_{BC}) = u_{BA}\cdot i_B + u_{CA}\cdot i_C = p_2 + p_1$$

в) построим в масштабе векторную диаграмму (рис. 2), выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров

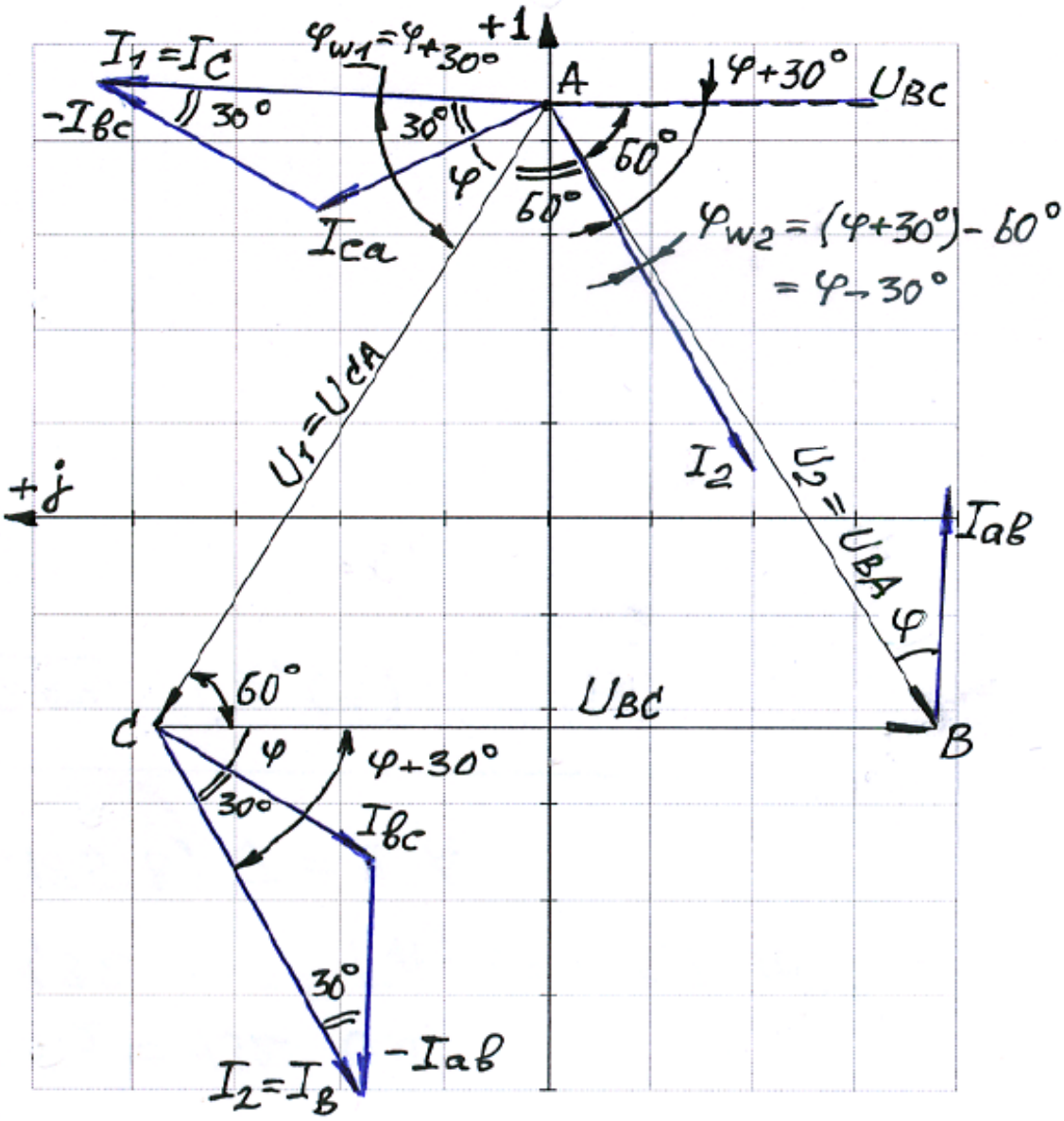


Рис. 2. Векторная диаграмма токов и напряжений
(1 дел = 50 В, 1 дел = 1.25 А).

г) мощности P_1 и P_2, измеряемые каждым из ваттметров.

Для симметричного *треугольника*

$$I_Л = \frac{S}{\sqrt{3}U_Ф} = \frac{3.2 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 4.862 \quad А.$$

$$I_Ф = \frac{I_Л}{\sqrt{3}} = \frac{4.862}{\sqrt{3}} = 2.807 \quad А.$$

$$U_Л = U_Ф = 380 \ В.$$

$$\phi = \arccos(\cos\phi) = \quad arccos(0.82) \ = 34.915 \ ^\circ$$

$$P_1 = U_Л I_Л \cos(\phi + 30^\circ) = \quad 380 \cdot 4.862 \cdot cos(34.915° + 30°) \ = 783 \quad \text{Вт}$$

$$P_2 = U_Л I_Л \cos(\phi - 30^\circ) = \quad 380 \cdot 4.862 \cdot cos(34.915° - 30°) \ = 1841 \quad \text{Вт}$$

$$P = P_1 + P_2 = 783 + 1841 \ = 2624 \ \text{Вт}$$

$$P = S \cdot \cos\phi = 3200 \cdot 0.82 \ = 2624 \ \text{Вт}$$

д) число делений шкалы α_1 и α_2, на которые отклоняются стрелки ваттметров; постоянная ваттметра:

$$C_P = \frac{U_H I_H}{\alpha_H} = \quad \frac{600 \cdot 5}{150} \ = 20 \quad \text{Вт/дел;}$$

$$\alpha_1 = \frac{P_1}{C_P} = \quad \frac{783}{20} \ = 39 \ \text{дел;}$$

$$\alpha_2 = \frac{P_2}{C_P} = \quad \frac{1841}{20} \ = 92 \ \text{дел;}$$

2. при обрыве фазы *BC* приемника энергии:
а) схему включения ваттметров в цепь изображена на рис. 3.

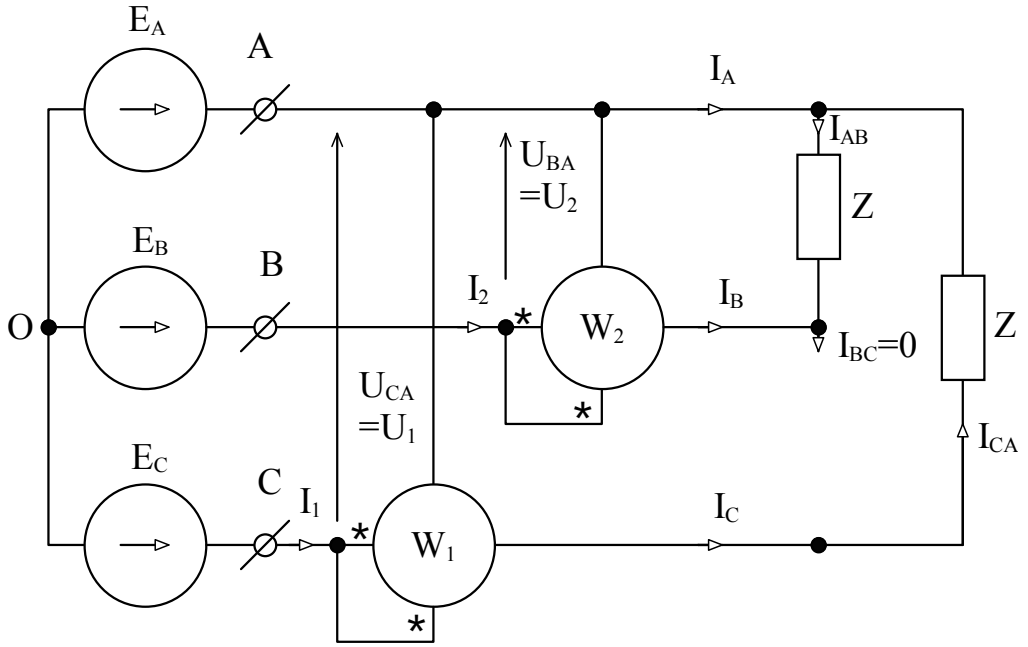


Рис. 3. Схема включения ваттметров в цепь при обрыве фазы *BC*.

-

б) векторная диаграмма (рис. 4).

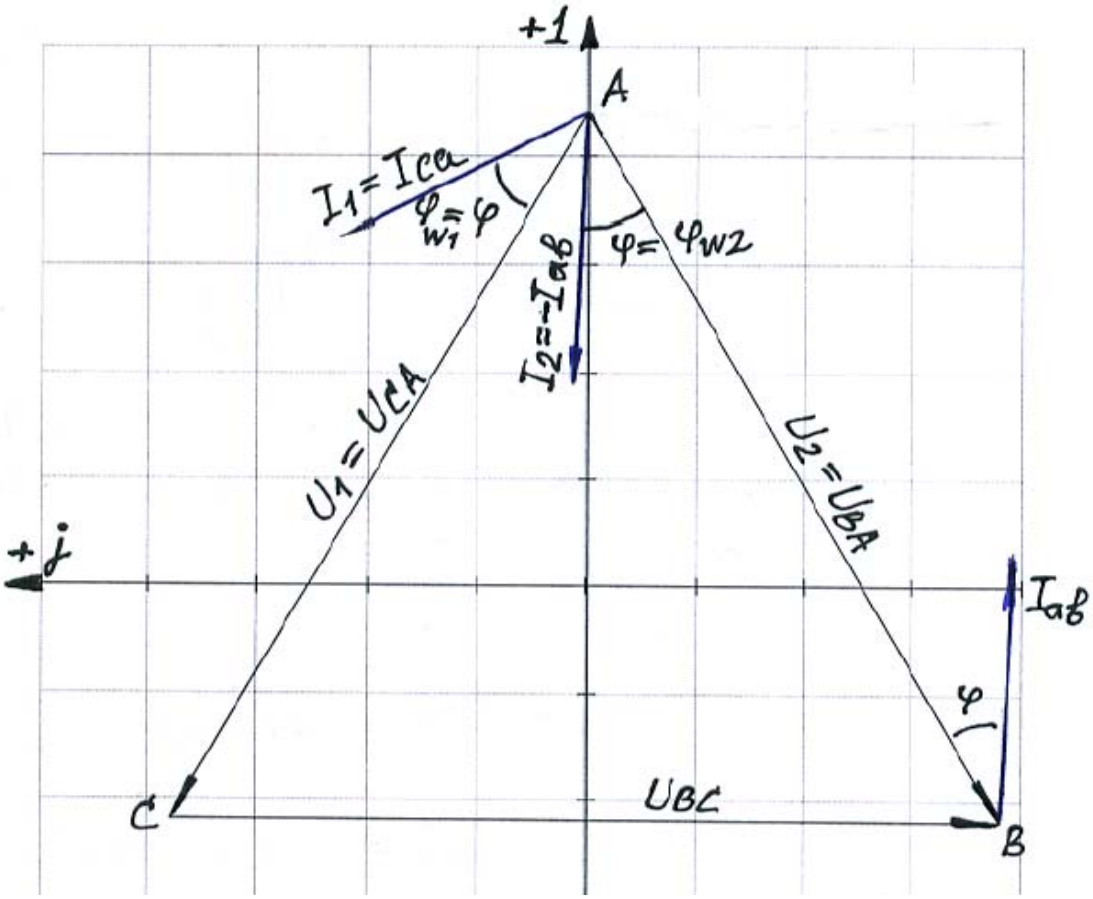


Рис. 4. Векторная диаграмма токов и напряжений
при обрыве фазы *BC*
(1 дел = 50 В, 1 дел = 1.25 А).

в) мощности P'_1 и P'_2, измеряемые каждым из ваттметров

$$\underline{U}'_1 = \underline{U}_{CA} = U_Л e^{j150^\circ}; \quad \underline{U}'_2 = -\underline{U}_{AB} = U_Л e^{-j150^\circ};$$

$$\underline{I}'_1 = \underline{I}_{CA} = I_Ф e^{j(150^\circ - \phi)}; \quad \underline{I}'_2 = -\underline{I}_{AB} = -I_Ф e^{j(30^\circ - \phi)} = I_Ф e^{j(210^\circ - \phi)};$$

$$P'_1 = U'_1 I'_1 \cos(\phi'^\circ_1) = \quad 380 \cdot 2.807 \cdot cos(34.915°) \; = \; 874.7 \quad Вт$$

$$P'_2 = U'_2 I'_2 \cos(\phi'^\circ_2) = \quad 380 \cdot 2.807 \cdot cos(34.915°) \; = \; 874.7 \quad Вт$$

$$P' = P'_1 + P'_2 = \quad 874.7 + 874.7 \; = \; 1749 \quad Вт$$

Таблица 1

Результаты расчетов

	Наименование величин	Единица измерения	Результаты расчета
По п. 1	Мощность цепи Р	Вт	2624,0
	Линейное напряжение Uл	В	380
	Линейный ток Iл	А	4,862
	Номинальное напряжение ваттметра Uн	В	600
	Номинальный ток ваттметра Iн	А	5
	Постоянная ваттметра Cр	Вт/дел	20
	Мощность, измеряемая первым ваттметром $P1$	Вт	783,3
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром $P2$	Вт	1840,7
	Число делений шкалы α_1	дел	39
	Число делений шкалы α_2	дел	92
По п. 2	Мощность, измеряемая первым ваттметром $P1$	Вт	874,7
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром $P2$	Вт	874,7
	Число делений шкалы α_1	дел	44
	Число делений шкалы α_2	дел	44

ЗАДАЧА №5

ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕПЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Симметричный трехфазный приемник электрической энергии соединен по схеме *звезда*.

Напряжение на фазе приемника $U_Ф$.

Активное и индуктивное сопротивления фаз приемника соответственно равны $r_Ф$, $x_Ф$.

В цепь приемника включен одноэлементный счетчик активной энергии для измерения реактивной энергии. Последовательная обмотка счетчика включена в провод *C* трехфазной цепи.

Приемник электрической энергии работает непрерывное время *t*.

1. Начертить схему включения счетчика в соответствии с данными варианта, сделать разметку генераторных зажимов его обмоток.

2. Определить линейное напряжение $U_Л$, линейный ток $I_Л$,. коэффициент мощности $\cos\phi$ и угол ϕ.

3. Для заданной цепи построить в масштабе векторную диаграмму, выделить в ней векторы напряжения и тока, под действием которых находятся параллельная и последоватьная обмотки счетчика.

4. Пользуясь векторной диаграммой, доказать, что счетчик, включенный по такой схеме, измеряет реактивную энергию.

Определить расход реактивной энергии, учитываемой счетчиком за время *t*.

5. Подсчитать за время *t* реактивную энергию всего приемника.

6. Найти численное соотношение между энергией, учитываемой счетчиком, и энергией приемника.

Дано: $t = 40$ ч; $U_Ф = 220$ В; $r_Ф = 15$ Ом; $x_Ф = 20$ Ом.

1. Схема включения счетчика (рис. 1).

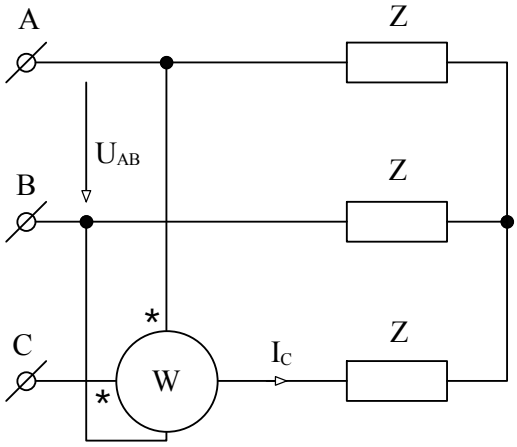


Рис. 1.

2. Линейное напряжение $U_Л$, линейный ток $I_Л$,. коэффициент мощности $\cos\phi$ и угол ϕ.

$$U_Л = \sqrt{3}U_Ф = \sqrt{3}\cdot 220 = 380\,\text{В};$$

Сопротивление Z симметричной звезды

$$Z = \sqrt{r_Ф^{\ 2} + x_Ф^{\ 2}} = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25 \quad \text{Ом.}$$

Линейный ток через сопротивление z симметричной звезды

$$I_Л = I_Ф = \frac{U_Ф}{Z} = \frac{220}{25} = 8.8 \quad \text{А.}$$

Коэффициент мощности

$$\cos\phi = \frac{r_Ф}{\sqrt{r_Ф^{\ 2} + x_Ф^{\ 2}}} = \frac{15}{25} = 0.6$$

Фаза

$$\phi = arccos(0.6) = 53.13\ ^\circ$$

3. Векторная диаграмма (рис. 2).

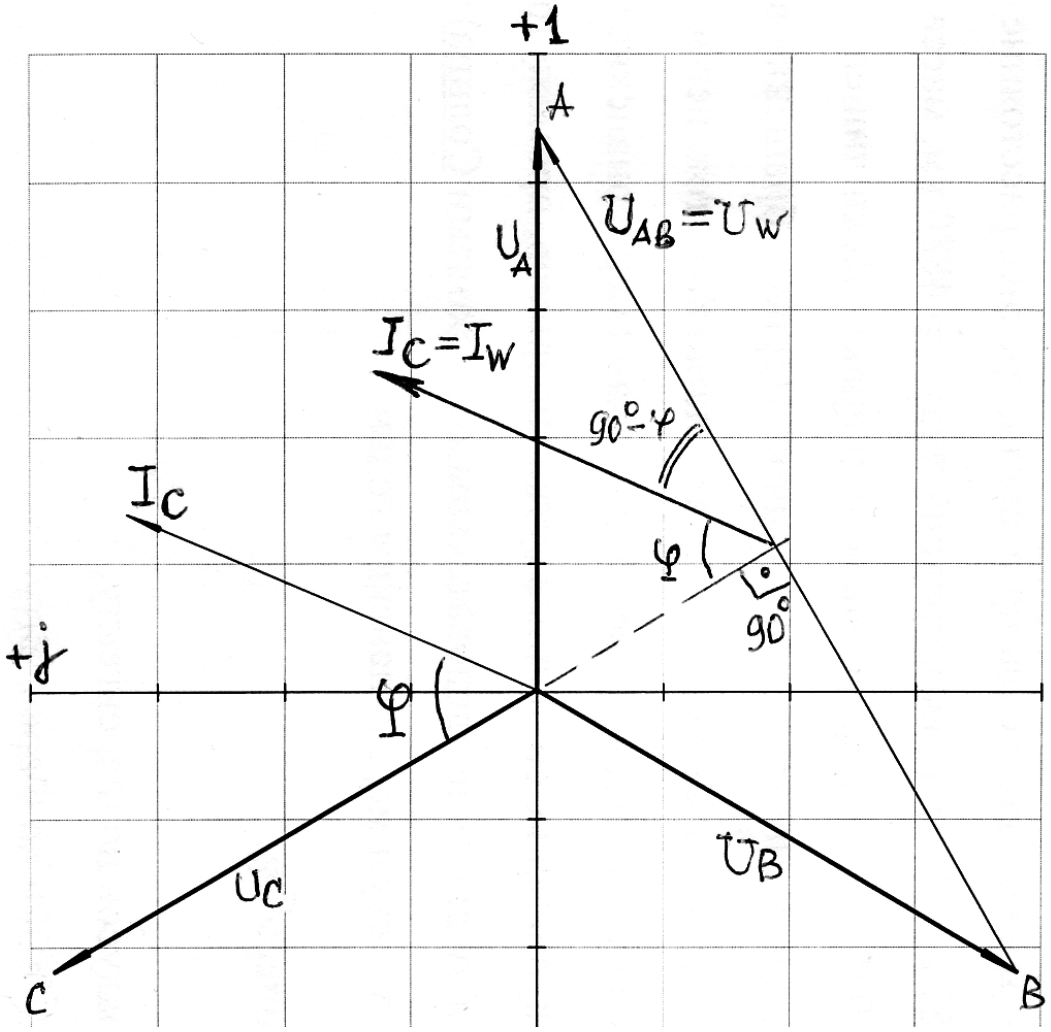


Рис. 2. Векторная диаграмма токов и напряжений
(1 дел = 50 В, 1 дел = 2.5 А).

Показания счетчика

$$Q_W = U_{AB} I_C \cos(\widehat{\dot{U}_{AB}\dot{I}_C}) = U_Л I_Л \cos(30^\circ - (120^\circ - \phi)) =$$
$$= U_Л I_Л \cos(-90^\circ + \phi) = U_Л I_Л \sin\phi$$

Реактивная энергия счетчика

$$Q_W = U_Л I_Л \sin\phi = \quad 380 \cdot 8.8 \cdot sin(53.13°) = 2.68 \times 10^3 \quad \text{Вар.}$$

Расход реактивной энергии, учитываемой счетчиком за время $t = 40$ ч

$$A_{сч} = Q_W \cdot t = 2.68 \cdot 40 = 107.2 \quad \text{кВар·ч}$$

5. Реактивная энергия всего приемника за время $t = 40$ ч

$$Q = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \sin\phi = \quad 3 \cdot 220 \cdot 8.8 \cdot sin(53.13°) = 4.646 \times 10^3 \quad \text{Вар.}$$

$$A = Q \cdot t = 4.646 \cdot 40 = 185.8 \quad \text{кВар·ч}$$

6. Численное соотношение между энергией, учитываемой счетчиком $A_{сч}$, и энергией приемника A

$$\frac{A}{A_{сч}} = \frac{185.8}{107.2} = 1.73$$

ЗАДАЧА №6
ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

В высоковольтной трехпроводной цепи трехфазного тока необходимо измерить линейные токи, линейное напряжение, коэффициент мощности цепи и расход активной энергии всей цепи.

Подобрать для этой цели два измерительных трансформатора тока (ИТТ), два измерительных трансформатора напряжения (ИТН) и подключить к ним следующие измерительные приборы: два амперметра электромагнитной системы; два однофазных индукционных счетчика активной энергии; один трехфазный фазометр электромагнитной или электродинамической системы; один вольтметр электромагнитной системы.

Расстояние от трансформатора до измерительных приборов $l = 20$ м (провод медный $\rho = 1.72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, сечением $S = 2.5 \cdot 10^{-6}$ м^2), номинальное напряжение сети $U_1 = 15000$ В и линейный ток $I_1 = 20$ А. Начертить схему включения ИТТ и ИТН в цепь, а также показать подключение к ним всех измерительных приборов.

Выполнить разметку зажимов обмоток ИТТ, ИТН, счетчиков и фазометра. Показать заземление вторичных обмоток ИТТ и ИТН.

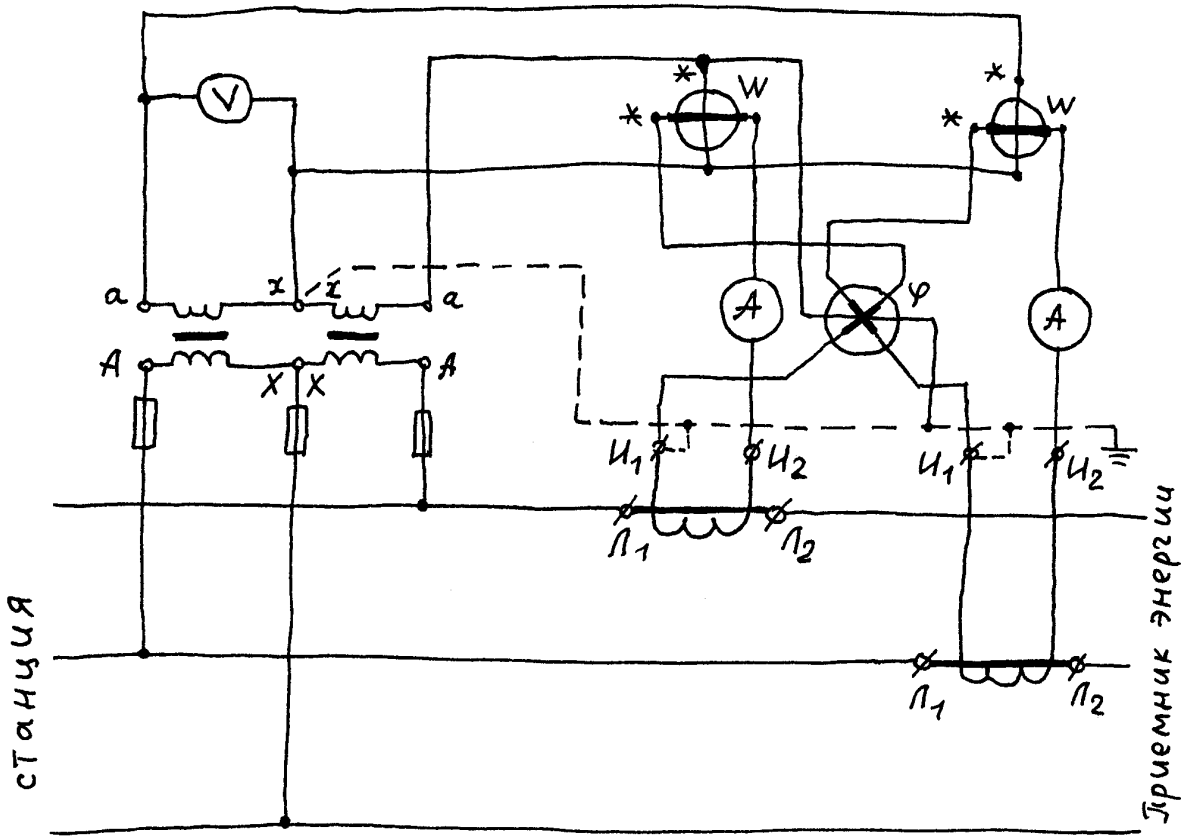


Рис. 1. Схема измерительной цепи

При подборе измерительных трансформаторов тока необходимо учитывать, что для обеспечения правильности их работы общее сопротивление всех проводов и обмоток приборов во вторичной цепи не должно превышать номинальной нагрузки. Номинальной нагрузкой трансформатора тока называется наибольшее сопротивление, на которое может быть замкнута вторичная обмотка при условии, что погрешности его не превысили допустимых значений.

Тип	Номинальный ток, А		Класс точности	Номинальная нагрузка, Ом	Коэффициент мощности, $\cos\varphi$
	первичный	вторичный			
И512	0,5-3000	5	0,05	**0,6**	1

Выбор трансформаторов напряжения производится по их допустимой номинальной мощности. Таким образом, к трансформатору напряжения можно подключить такое количество приборов, при котором их мощность при номинальном напряжении не превышает номинальной мощности трансформатора.

Тип	Номинальное напряжение		Класс точности	Номинальная мощность нагрузки вторичной цепи, В·А	Коэффициент мощности, $\cos\varphi$
	первичное, кВ	вторичное, В			
И510	15	100	0,1	**15**	0,8-1

Сопротивление проводов

$$R = 2 \cdot \rho \frac{l}{S} = \quad 2 \cdot 1.72 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{20}{2.5 \cdot 10^{-6}} = 0.275 \quad \text{Ом.}$$

Измерительные приборы

Тип	Номинальные величины		Класс точности	Номинальная область частот, Гц	Номинальное сопротивление обмоток, Ом	
	ток, А	напряжение, В			последовательной	параллельной
Амперметр Э514/3	5	-	0,5	40-100	0,008	-
Вольтметр Э515/3	-	150	0,5	40-60	-	20000
Счетчик одно-фазный СО-2М2	5	127	2,5	50	0,08	10700
Фазометр трех-фазного тока Д120	5	127	1,5	50	0,12	2500
					0,2	1840
				Спротивление проводов	0,3	
				Итого	0,5	< **0,6** Ом

Ток в обмотке трансформатора

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{1840} = 0.05 \quad \text{А}$$

Мощность при номинальном напряжении

$$P = U \cdot I = \quad 100 \cdot 0.05 = 5 < \mathbf{15} \text{ В·А.}$$

Список литературы

1. Электрические измерения / Под. Ред. А.В. Фремке. – М.: Энергия, 1973.

2. Справочник по электроизмерительным приборам / Под ред. К.К. Илюнина. – М.: Энергия, 1973.

3. Электрические измерения/Под ред. Е.Г. Шрамкова. – М..: Высшая школа, 1972.

4. Вострокнутов Н.Г. Электрические измерения. – М: Высшая школа, 1966.

5. Попов В.С. Электрические измерения. – М.: Энергия, 1974.