

Содержание курса «Средства измерения электрической энергии»

1

Основные свойства электрической энергии

2

Источники электрической энергии

3

Основные даты в истории энергосистемы России

4

Основные математические выражения

5

История развития счетчиков

6

Счетчики электрической энергии



1.1 Основные свойства электрической энергии

- Нельзя запасти впрок (частота является критерием равновесия между производством и потреблением электроэнергии - если мощности не хватает – частота падает, если мощность в избытке – частота возрастает. Поэтому на электростанциях существует частотное регулирование.)
- Мгновенно передается на большие расстояния
- Существуют способы прямого и обратного преобразования в другие виды энергии

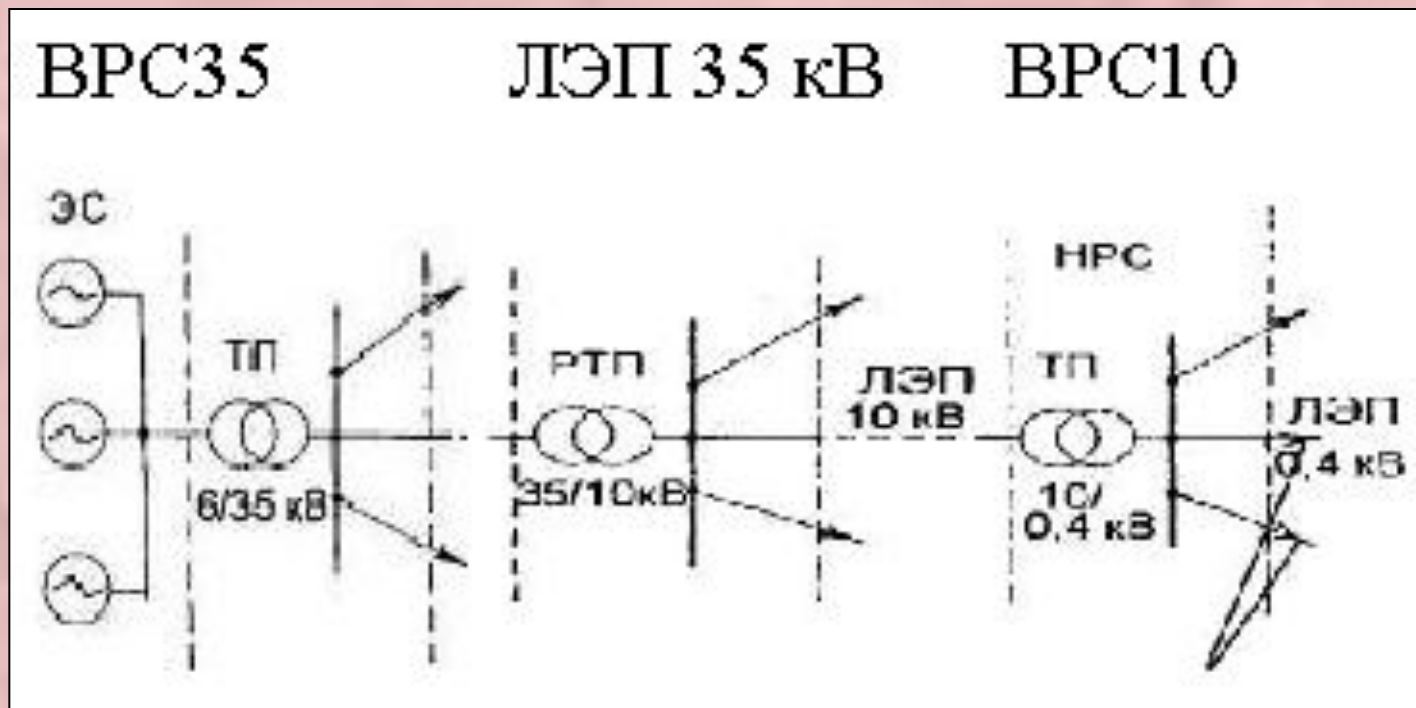


1.2 Энергетические потребности индустриальных стран определяются тремя основными факторами:

1. Коммунальное хозяйство и торговля
2. Промышленность и сельское хозяйство
3. Транспорт

Во многих странах каждая из этих позиций составляет примерно одну треть всех энергетических потребностей, хотя размер коммунального потребления существенно зависит от климатических особенностей страны

1.3 Схема подачи электрической энергии от источника до потребителя



ЭС — электростанция; ТП — потребительская трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ; РТП — районная трансформаторная подстанция 35/10 кВ; ВРС35, ВРС10 — вспомогательная распределительная сеть напряжением 35 и 10 кВ; НРС — низковольтная потребительская распределительная сеть напряжением 0,4/0,23 кВ; ЛЭП — линия электропередачи 35, 10, 0,4 кВ.

2. Источники электрической энергии



2.1 Источники электрической энергии



Многообразии существующих сегодня источников энергии можно разбить на три основные категории:

- **Возобновляемые источники энергии:** древесина и некоторые зерновые культуры, пригодные для производства, например, этилового спирта или метанола.
- **Невозобновляемые источники энергии:** уголь, газ и нефть (органические топливные ресурсы), уран и торий (энергия расщепления), тритий и дейтерия (энергия синтеза) .
- **Возобновляемые естественные источники энергии:** солнечная теплота и свет, энергия ветра, энергия океанских волн, энергия течения рек, геотермальное тепло, океанские температурные градиенты.

2.2 Источники электрической энергии



ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (ТЭС), электростанция, вырабатывающая электрическую энергию в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива

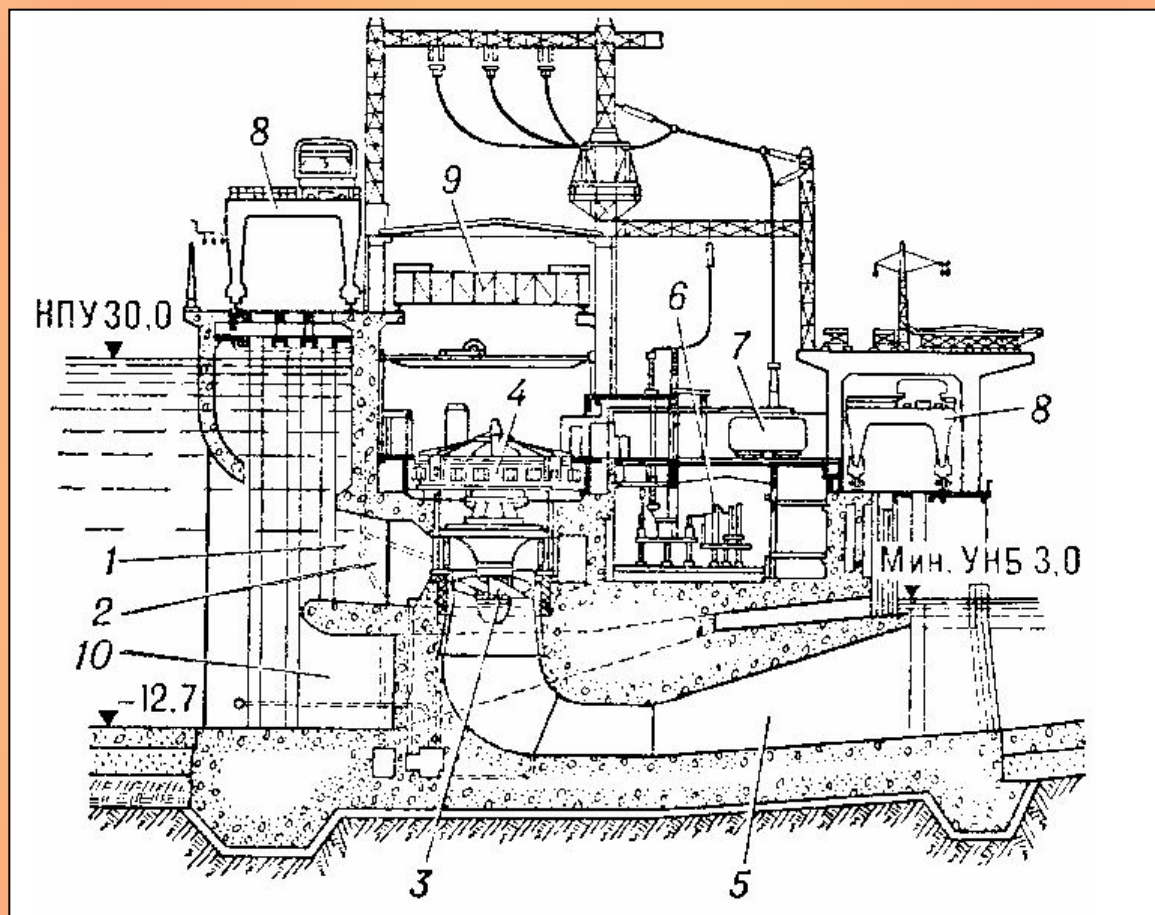
- *тепловые паротурбинные электростанции (ТПЭС).*
- *газотурбинные электростанции (ГТЭС).*
- *парогазотурбинные электростанции (ПГЭС).*

2.3 Источники электрической энергии



ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, гидроэлектростанция (ГЭС), комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия потока воды преобразуется в электрическую энергию. ГЭС состоит из последовательной цепи гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в механическую энергию вращения которая, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию.

2.4 Источники электрической энергии



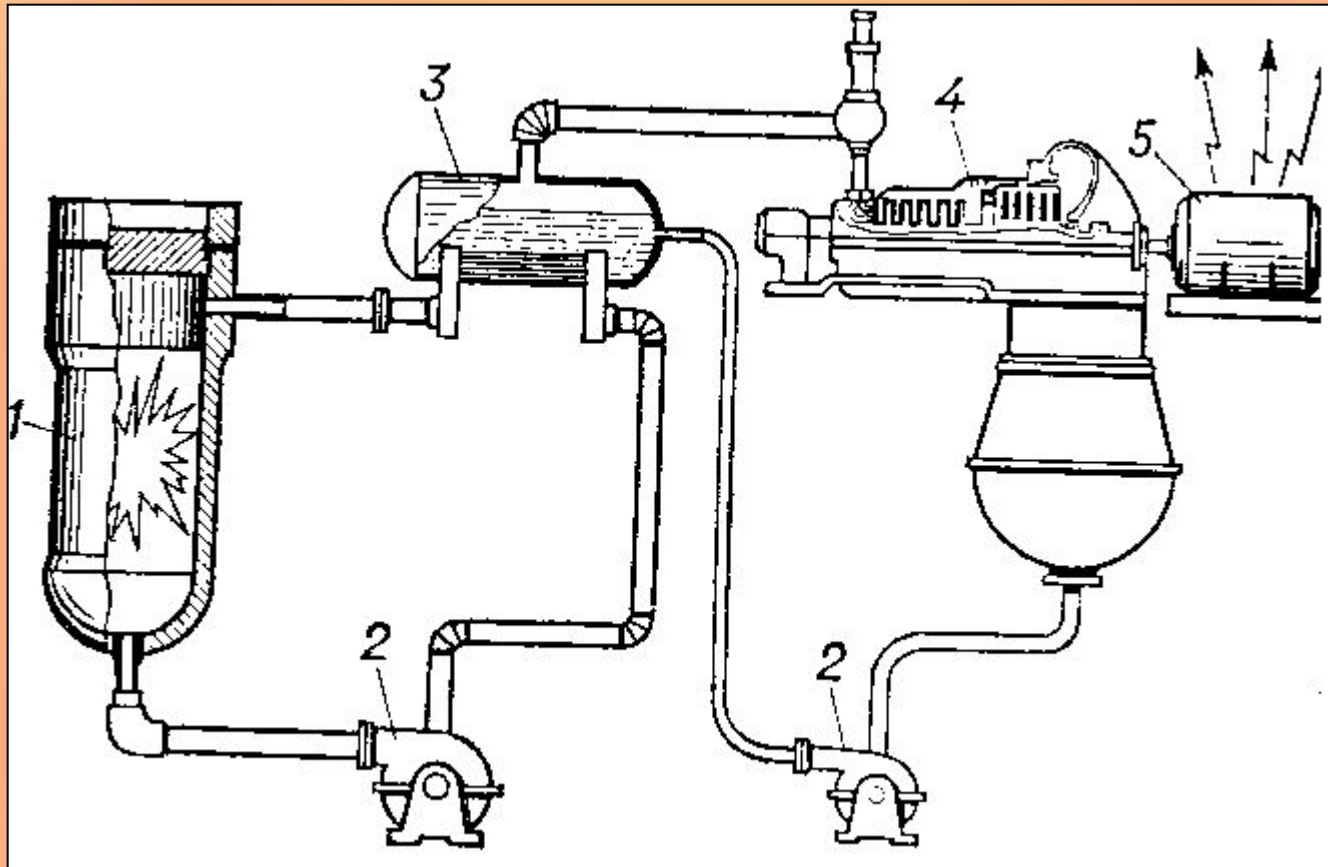
Разрез здания Волжской ГЭС : 1 - водоприемник; 2 - камера турбины; 3 - гидротурбина; 4 - гидрогенератор; 5 - отсасывающая труба; 6 - распределительные устройства (электрические); 7 - трансформатор; 8 - порталные краны; 9 - кран машинного зала; 10 - донный водосброс; НПУ – нормальный подпорный уровень, м; УНБ – уровень нижнего бьефа, м.

2.5 Источники электрической энергии



АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (АЭС), электростанция, в которой атомная (ядерная) энергия преобразуется в электрическую. Генератором энергии на АЭС является атомный реактор. Тепло, которое выделяется в реакторе в результате цепной реакции деления ядер некоторых тяжёлых элементов, затем так же, как и на обычных *тепловых электростанциях* (ТЭС), преобразуется в электроэнергию. В отличие от ТЭС, работающих на органическом топливе, АЭС работает на *ядерном горючем*. При делении 1 г изотопов урана или плутония высвобождается 22 500 квт • ч, что эквивалентно энергии, содержащейся в 2800 кг условного топлива.

2.6 Источники электрической энергии



Принцип работы АЭС: 1-ядерный реактор, 2-циркуляционный насос, 3-теплообменник, 4-турбина, 5-генератор электрического тока.



2.7 Источники электрической энергии



В наше время также используются и другие источники энергии – такие, как солнечная энергия, энергия ветра и энергия нагретых земных недр.

3. Основные даты в истории энергосистемы России



3.1 История создания энергосистемы России



1. Первые энергосистемы – МОГЭС в Москве и “Электроток” в Ленинграде – были образованы в 1921 году. Их создание стало важным этапом реализации государственного плана электрификации России (плана ГОЭЛРО).
2. 1926 г. – в Московской энергосистеме была создана первая в стране центральная диспетчерская служба (ЦДС)
3. 1958 г. – организована параллельная работа ОЭС Центра и ОЭС Предуралья (Татарская и Башкирская энергосистемы).
4. 1959 г. – на параллельную работу вышли энергосистемы Центра, Средней Волги, Предуралья и Урала.
5. 1960 г. – энергосистемы Центрально-Черноземной области вошли в состав ОЭС Центра.
6. Вторая половина 50-х годов – объединение энергосистем Закавказья, Северо-Запада, формирование ОЭС Казахстана и Востока.
7. 1960 г. – начало формирования ОЭС Сибири и Средней Азии.
8. 1962 г. - на параллельную работу с ОЭС Юга присоединилась ОЭС Северного Кавказа.

3.2 История создания энергосистемы России



9. 1972 г. – в состав ЕЭС СССР вошла ОЭС Казахстана.
10. 1973 г. – на параллельную работу с ОЭС Северо-Запада подключилась Кольская энергосистема.
11. 1978 г. – на параллельную работу с ЕЭС СССР присоединилась ОЭС Сибири.
12. В конце 1991 г. на территории СССР функционировало 13 объединенных энергосистем, в составе которых работало 102 энергосистемы. Их них 92 энергосистемы были объединены в ЕЭС СССР.
13. 1992 г. было зарегистрировано РАО “ЕЭС России”, в рамках которого в параллельном режиме работают энергосистемы Центра, Средней Волги, Урала, Сибири, Северо-Запада, Северного Кавказа и Янтарьэнерго. Оперативный контроль за деятельностью Единой энергосистемы страны осуществляет Центральное диспетчерское управление ЕЭС России.
14. В 2007 г. почти половина электростанций и 22 сбытовые компании России были приватизированы. С 1 июля 2008 года РАО ЕЭС разделилось на 23 независимые компании, лишь две из них остались государственными.
15. 2008 г. – Системный оператор ЕЭС завершил работу над технико-экономическим обоснованием (ТЭО) объединения ЕЭС/ОЭС с UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) – энергообъединением европейских стран

4. Основные математические выражения

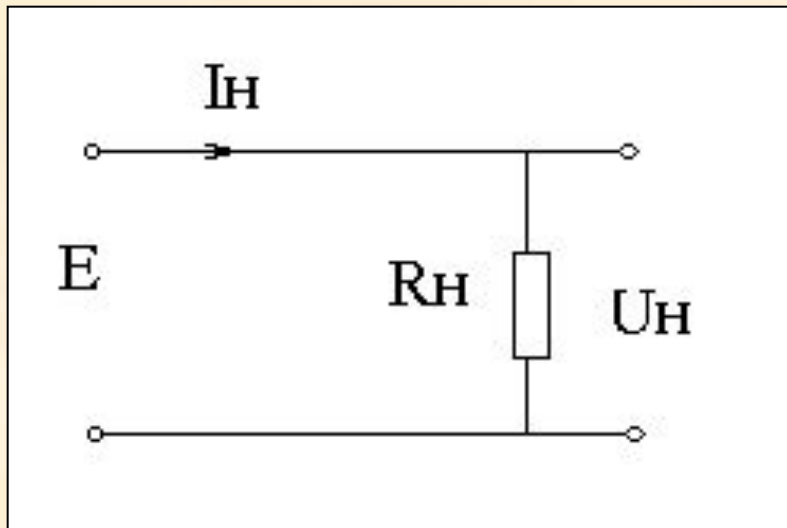
- 4.1** Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.
- 4.2** Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.
- 4.3** Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.
- 4.4** Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.
- 4.5** Измерение коэффициента мощности.



4.1.1 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.



Для постоянного тока:



Мощность:

$$P = I_H U_H = I_H^2 R_H = \frac{U_H^2}{R_H} \quad (4.1)$$

Энергия:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} i(t) U(t) dt \quad (4.2)$$

t_1, t_2 – начало и конец времени измерения

4.1.2 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.

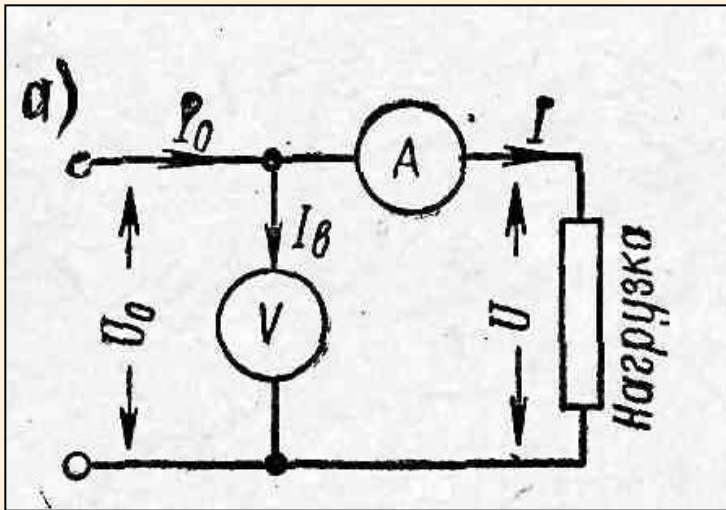


Рис. 4.2. Измерение мощности амперметром и вольтметром

$$P_1 = U_V I_A = I_A (U + U_A) = I_A U + I_A U_A = P + P_A \quad (4.3)$$

U_A – падение напряжения на зажимах амперметра

$U_A I_A$ - мощность P_A

4.1.3 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.

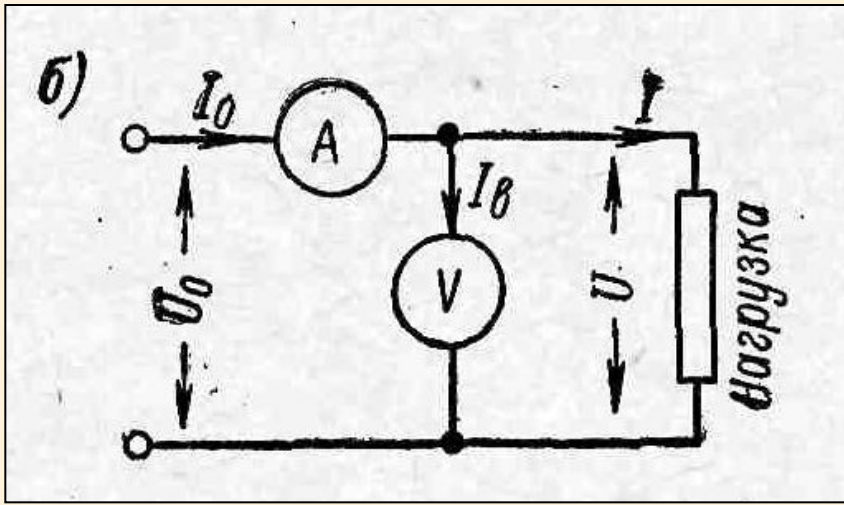


Рис. 4.3. Измерение мощности амперметром и вольтметром

$$P_2 = U_V I_A = U_V (I + I_A) = I_V U + I_V U_V = P + P_V \quad (4.4)$$

I_V – ток в цепи вольтметра

UI_V – мощность, потребляемая вольтметром



4.1.4 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.

В обоих представленных выше случаях имеет место положительная методическая погрешность, обусловленная тем, что сопротивления приборов имеют конечные значения

Относительная погрешность измерения по схеме рис. 4.2

$$\gamma_1 = \frac{P_A}{P} = \frac{I^2 r_A}{IU} = \frac{I r_A}{U} \quad (4.5)$$

Уменьшается с
уменьшением тока
нагрузки

Относительная погрешность измерения по схеме рис. 4.3

$$\gamma_2 = \frac{P_V}{P} = \frac{U I_V}{IU} = \frac{I_V}{I} \quad (4.6)$$

Растет с
уменьшением тока
нагрузки



4.1.5 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.

Определение мощности P_0 , отдаваемой сетью, а не мощности, потребляемой нагрузкой

$$P_1 = UI_A = U_0(I_0 - I_V) = I_0U_0 + I_VU_V = P_0 + P_V \quad (4.7)$$

$$P_2 = U_VI_A = I_0(U_0 - U_A) = I_0U_0 + I_AU_A = P_0 + P_A \quad (4.8)$$

Тогда имеет место отрицательная методическая погрешность в обеих схемах

4.1.6 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.



Погрешность измерения равна сумме погрешностей амперметра и вольтметра

$$P_1 = U_V I_A = I_A (U + U_A) = I_A U + I_V U_V = P + P_A \quad (4.9)$$

$$\ln P_1 = \ln U_V + \ln I_A; \quad (4.10)$$

$$\frac{dP_1}{P_1} = \frac{dU_V}{U_V} + \frac{dI_A}{I_A}, \quad (4.11) \quad \frac{dP_1}{P_1} = \frac{dU_V}{U_{Vn}} \cdot \frac{U_{Vn}}{U_V} + \frac{dI_A}{I_{An}} \cdot \frac{I_{An}}{I_A}, \quad (4.12)$$

U_{Vn} и I_{An} – номинальные показания (пределы измерений) вольтметра и амперметра.

приведенные погрешности вольтметра и амперметра $\frac{dU_V}{U_{Vn}} = \gamma_{Vn} \quad (4.13)$

$$\frac{dP_1}{P_1} = \gamma_p \quad \text{относительная погрешность измерения мощности} \quad (4.15)$$

$$\frac{dI_A}{I_{An}} = \gamma_{An} \quad (4.14)$$

4.1.7 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.



$$\gamma_p = \gamma_{Vn} \frac{U_{Vn}}{U_V} + \gamma_{An} \frac{I_{An}}{I_A}; \quad (4.16)$$

$$\frac{U_V}{U_{Vn}} = \lambda_V \frac{I_A}{I_{An}} = \lambda_A \quad \begin{array}{l} \text{относительные значения} \\ \text{показаний вольтметра и} \\ \text{амперметра} \end{array} \quad (4.17; 4.18)$$

$$\gamma_p = \frac{\gamma_{Vn}}{\lambda_V} + \frac{\gamma_{An}}{\lambda_A}. \quad (4.19)$$

для уменьшения погрешности измерения следует выбрать вольтметр и амперметр с такими пределами измерения, чтобы их показания были возможно ближе к концу шкалы, что будет соответствовать наибольшему приближению λ_V и λ_A к единице. В лучшем случае, когда $\lambda_V=1$ и $\lambda_A=1$, погрешность γ_p будет наименьшей и будет равна алгебраической сумме погрешностей амперметра и вольтметра.



4.1.8 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.

Погрешность измерения может быть уменьшена, если вместо двух приборов применить один – ваттметр.

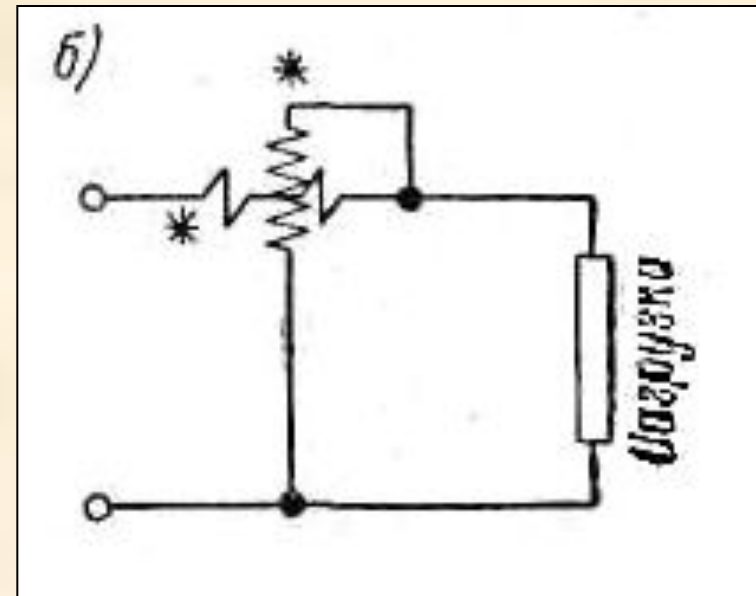
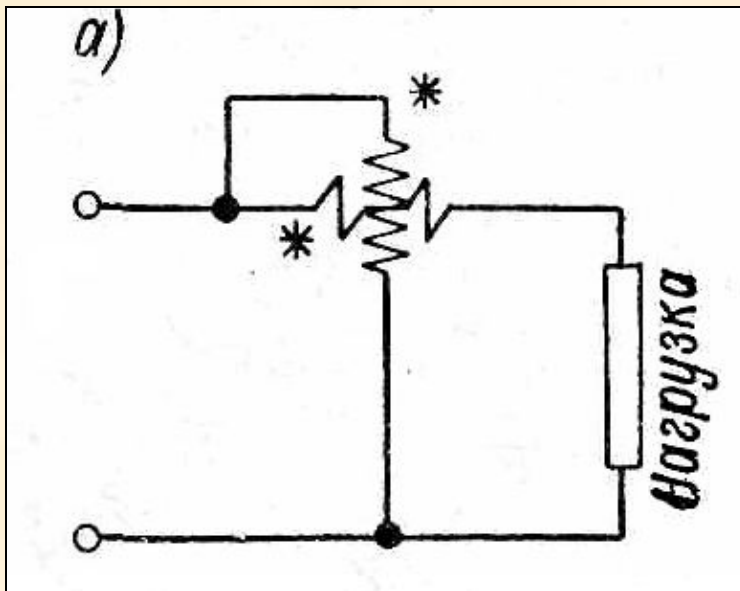


Рис. 4.4. Измерение мощность ваттметром

$$P = UI \quad (4.20)$$



4.1.9 Измерение мощности и энергии в цепях постоянного тока.

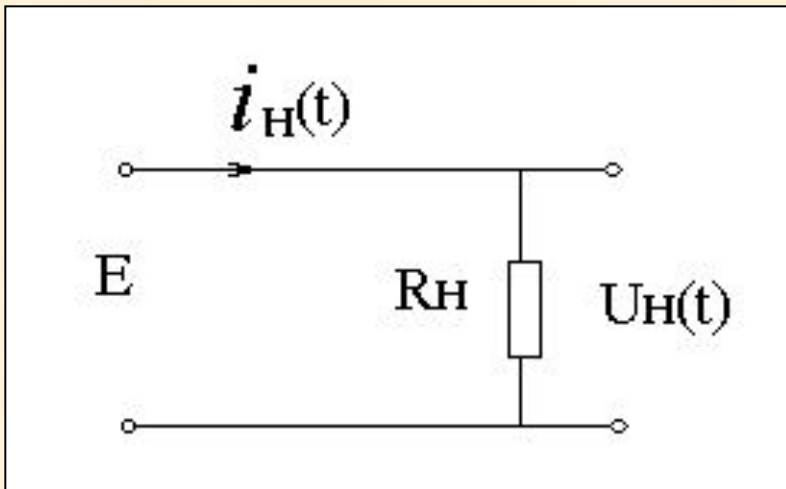
Измерение мощности ваттметром

К данным схемам могут быть применены приведенные выше выражения (кроме выражения для погрешности измерения γP), если в них под символами P_A и P_V понимать мощности, потребляемые соответственно последовательной и параллельной обмотками ваттметра. Здесь, как и в случае измерения мощности с помощью амперметра и вольтметра, предпочтительнее схема рис.4.4 а, так как в ней относительная погрешность измерения уменьшается с уменьшением тока нагрузки, тогда как в схеме рис.4.4 б она растет и при малых значениях I (относительно номинального тока ваттметра) может достигать весьма внушительных значений.



4.2.1 Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.

Для однофазного переменного тока:



$$P_H(t) = i_H(t)U_H(t) \quad (4.21)$$

среднее значение активной мощности

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i_H(t)U_H(t)dt = \frac{1}{T} \int_0^T P_H(t)dt \quad (4.22)$$



4.2.2 Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.

Для синусоидального тока и напряжения

$$P(t) = I_{\max} \sin \omega t \cdot U_{\max} \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.23)$$

среднее значение мощности для синусоидального тока и напряжения после тригонометрических преобразований равна:

$$P(t) = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} \cos \varphi \quad (4.24)$$

Учитывая что

$$\frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = I, \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = U \quad (4.25)$$

где U и I среднеквадратические значения, то

$$P(t) = UI \cos \varphi \quad (4.26)$$



4.2.3 Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.

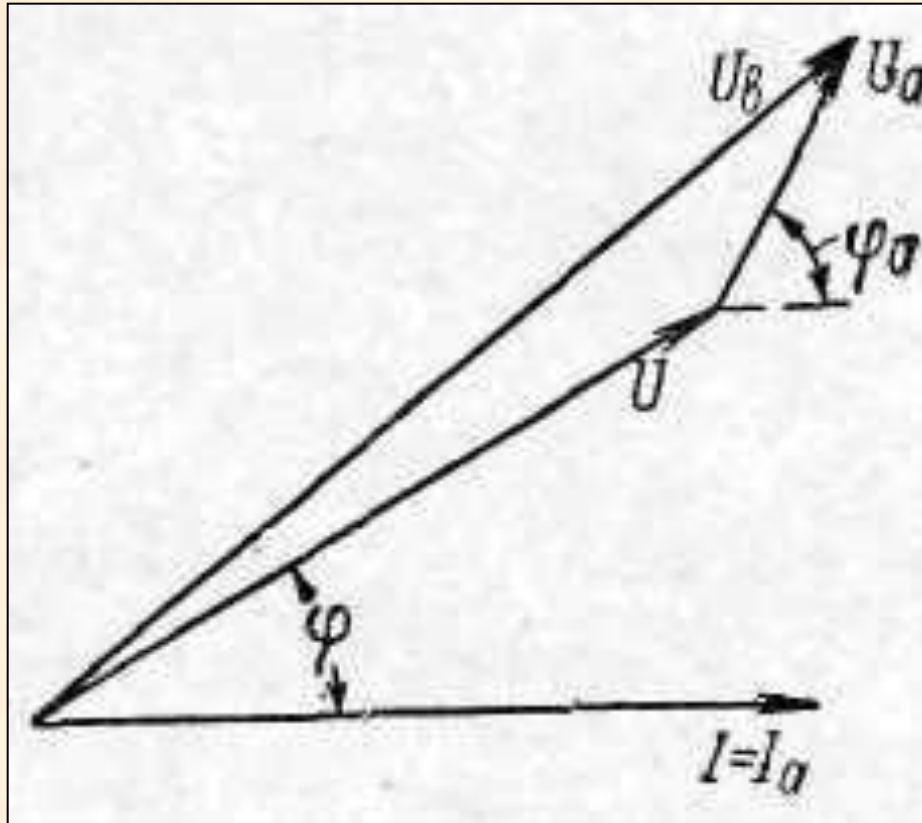


Рис.4.8. Диаграмма для измерения мощности ваттметра, рис. 4.4.(а) на переменном токе



4.2.4 Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.

показание ваттметра в схеме рис. 2, *a* на переменном токе синусоидальной формы

$$P_I = U_V I_A \cos(\angle U_V I_A) \quad (4.27)$$

Из диаграммы, построенной для схемы рис. 4.4. *a*, следует, что проекция U_V на вектор I_A состоит из суммы проекций векторов U и U_A на тот же вектор I_A :

$$U_V \cos(\angle U_V I_A) = U \cos \varphi + U_A \cos \varphi_A . \quad (4.28)$$

Учитывая это, а также имея в виду, что $I_A = I$, получаем:

$$P_I = UI \cos \varphi + U_A I_A \cos \varphi_A = P + P_A \quad (4.29)$$



4.2.5 Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.

мостовая цепь для измерения малой мощности при относительно большом токе, но малом напряжении

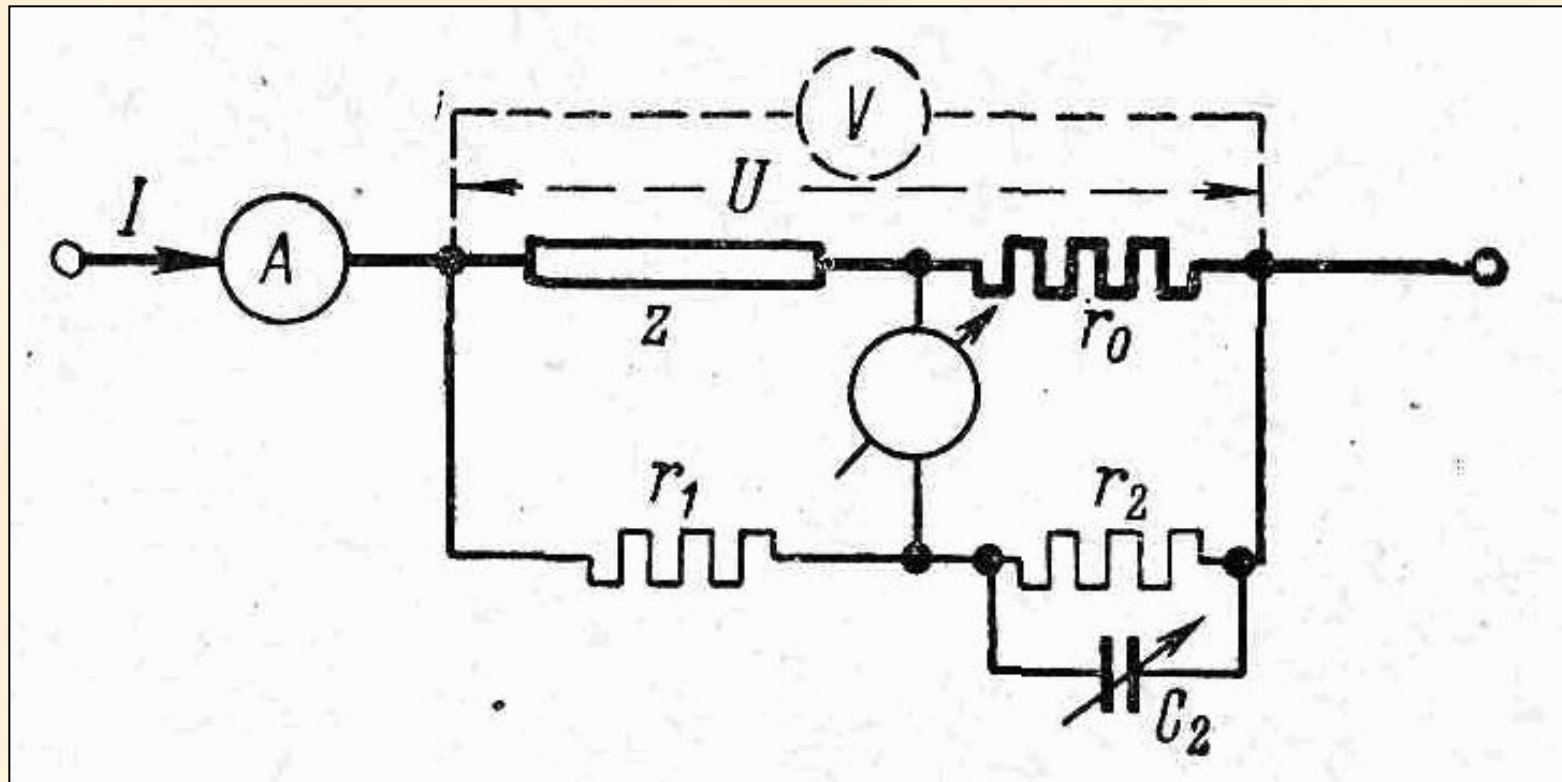


Рис. 4.9. Мостовая цепь измерения мощности



4.2.6 Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.

Активное сопротивление $r_x = r_0 \frac{r_1}{r_2},$ (4.30)

Мощность $P_x = I^2 r_x = I^2 r_0 \frac{r_1}{r_2}.$ (4.31)

Коэффициент мощности $\cos \varphi_x = \frac{r_x}{\sqrt{r_x^2 + \omega^2 L_x^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C_2^2 r_2^2}}.$ (4.32)

Эта же цепь может быть использована и для измерения малой мощности при относительно высоком напряжении и малом токе, если сопротивление r_1 взять достаточно большим по сравнению с сопротивлением r_0 и r_2 и измерить напряжение U ваттметром, как это показано на рис. 6 пунктиром. Тогда мощность, потребляемая испытуемым объектом, может быть вычислена по формуле

$$P_x = \frac{U^2 r_x}{(r_0 + r_x)^2 + \omega^2 L_x^2} = \frac{U^2}{r_1 r_0} \cdot \frac{r_2}{\left(1 + \frac{r_2}{r_1}\right)^2 + \omega^2 C_2^2 r_2^2}. \quad (4.33)$$



4.2.7 Измерение мощности и энергии в цепях однофазного переменного тока.

Следует отметить, что схема рис. 5 позволяет определить также и реактивную мощность, которая может быть вычислена, как

$$P_r = I^2 \omega L x = I^2 \omega C_2 r_0 r_1, \quad (4.34)$$

либо по формуле

$$P_r = \frac{U^2}{r_1 r_0} \cdot \frac{\omega C_2 r_2^2}{\left(1 + \frac{r_2}{r_1}\right)^2 + \omega^2 C_2^2 r_2^2}. \quad (4.35)$$

4.3.1 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.



Как известно из теории цепей, независимо от характера нагрузки и схемы соединения трехфазной системы активная мощность P и энергия W за время t_2-t_1 определяется выражениями:

$$P(t) = \frac{1}{T} \int_0^T p_i(t) dt = U_{1\phi}(t) I_{1\phi}(t) \cos \varphi_1 + U_{2\phi}(t) I_{2\phi}(t) \cos \varphi_2 + U_{3\phi}(t) I_{3\phi}(t) \cos \varphi_3 \quad (4.36)$$

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} (U_{1\phi}(t) I_{1\phi}(t) \cos \varphi_1 + U_{2\phi}(t) I_{2\phi}(t) \cos \varphi_2 + U_{3\phi}(t) I_{3\phi}(t) \cos \varphi_3) dt \quad (4.37)$$

Где индекс «ф» обозначает фазные напряжения и токи



4.3.2 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

При полной симметрии системы эти уравнения примут вид

$$P(t) = 3U_{\phi}(t)I_{\phi}(t)\cos\varphi = \sqrt{3}U_{л}(t)I_{л}(t)\cos\varphi \quad (4.38)$$

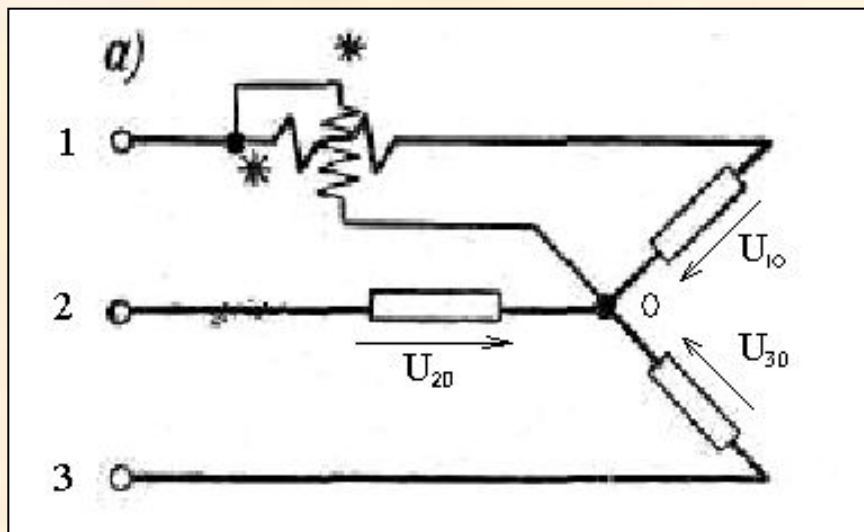
$$W = 3\int_{t_1}^{t_2} U_{\phi}(t)I_{\phi}(t)\cos\varphi dt = \sqrt{3}\int_{t_1}^{t_2} U_{л}(t)I_{л}(t)\cos\varphi dt \quad (4.39)$$

Где φ - угол между фазными напряжениями и токами, а индекс «л» обозначает линейные напряжения и токи

В трехфазной системе независимо то схемы соединения нагрузки – треугольником или звездой – мгновенное значение мощности p системы равняется сумме мгновенных значений мощности отдельных фаз.

$$\sum p_i = p_1 + p_2 + p_3 = u_{10} i_1 + u_{20} i_2 + u_{30} i_3 \quad (4.40)$$

4.3.3 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.



Если нагрузка трехфазной трехпроводной системы симметрична и нейтральная точка доступна, то измерение мощности и энергии может быть осуществлено одним ваттметром и одним счетчиком

Рис. 4.10. Измерение мощности в трехфазной трехпроводной цепи

Здесь утроенное показание ваттметра будет равно полной активной мощности, а утроенное показание счетчика — полной активной энергии, потребляемой приемником.

4.3.4 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

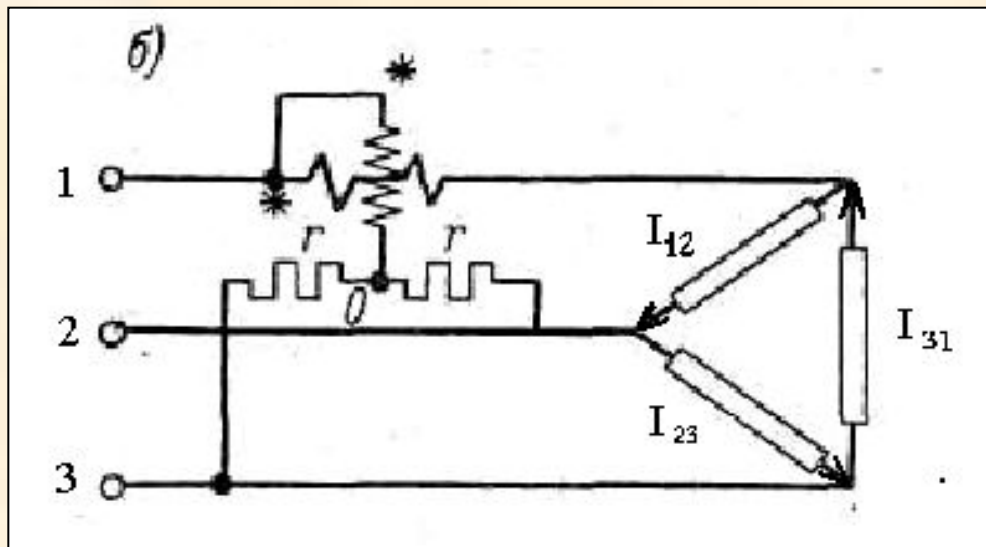


Рис. 4.11. Измерение мощности в трехфазной трехпроводной цепи

Если нейтральная точка недоступна или нагрузка соединена треугольником, то можно воспользоваться данной схемой

В этой схеме два сопротивления r , по величине равные сопротивлению параллельной цепи ваттметра, образуют искусственную нейтральную точку 0 . Для получения полной мощности и здесь показание ваттметра следует утроить.

4.3.5 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

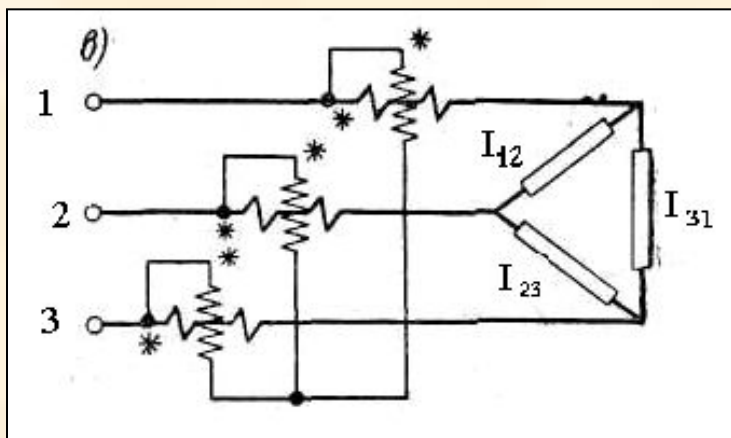


Рис. 4.12. Измерение мощности в трехфазной трехпроводной цепи

Если нагрузка трехфазной системы несимметрична, то мощность или энергию, потребляемую приемником, можно измерить тремя счетчиками

Здесь параллельные цепи ваттметров (или счетчиков) включены звездой и к ним подводятся соответствующие фазовые напряжения. Сумма мгновенных значений мощностей, измеряемых ваттметрами, при этом будет равна:

$$\sum p_i = p_1 + p_2 + p_3 = u_{10} i_1 + u_{20} i_2 + u_{30} i_3. \quad (4.41)$$

Заменяя линейные токи i_1 , i_2 и i_3 суммой соответствующих фазовых токов $i_{12} + i_{13}$, $i_{23} + i_{21}$, $i_{31} + i_{32}$, после преобразования получаем:

$$\sum p_i = i_{12}(u_{10} - u_{20}) + i_{23}(u_{20} - u_{30}) + i_{31}(u_{30} - u_{10}). \quad (4.42)$$

4.3.6 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.



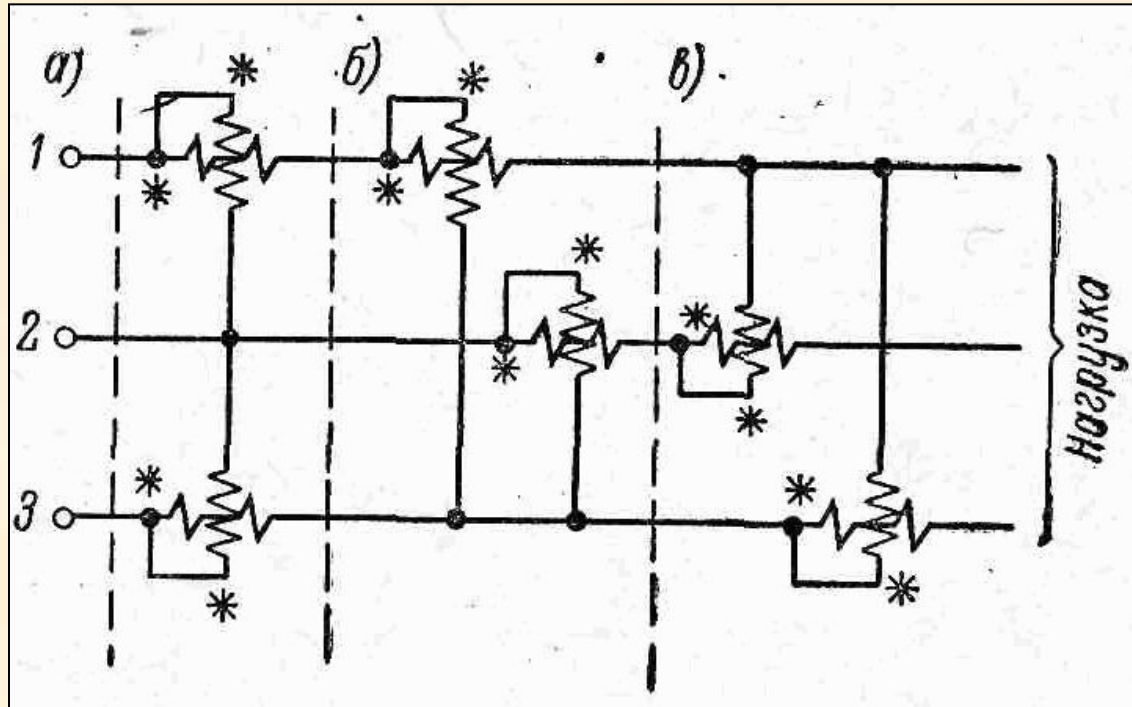
Но так как разности напряжений в скобках можно заменить напряжениями u_{12} , u_{23} и u_{31} , приложенными к соответствующим ветвям треугольника нагрузки, то

$$\sum p_i = i_{12} u_{12} + i_{23} u_{23} + i_{31} u_{31}. \quad (4.43)$$

Полученное выражение есть не что иное, как сумма мгновенных значений мощностей, потребляемых ветвями треугольника. Поэтому, интегрируя и переходя к средним значениям, мы найдем, что сумма показаний трех ваттметров в схеме рис. 4.12 будет равна полной мощности, потребляемой приемником.



4.3.7 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.



сумма показаний двух ваттметров, включенных по одной из трех схем рис. 8, всегда равна полной мощности приемника независимо ни от способа его включения, ни от степени симметрии напряжений и токов системы.

Рис. 4.13. Три равноценных варианта включения двух ваттметров для измерения мощности трехпроводной системы



4.3.8 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

Весьма важно исследовать показания ваттметров в схеме рис. 4.13 при различных условиях нагрузки. Так как все три варианта включения равноценны, рассмотрим один из них, например вариант *a*, полагая для простоты, что нагрузка симметрична и соединена звездой. Для этого случая на рис. 9, построена векторная диаграмма токов и напряжений.



4.3.9 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

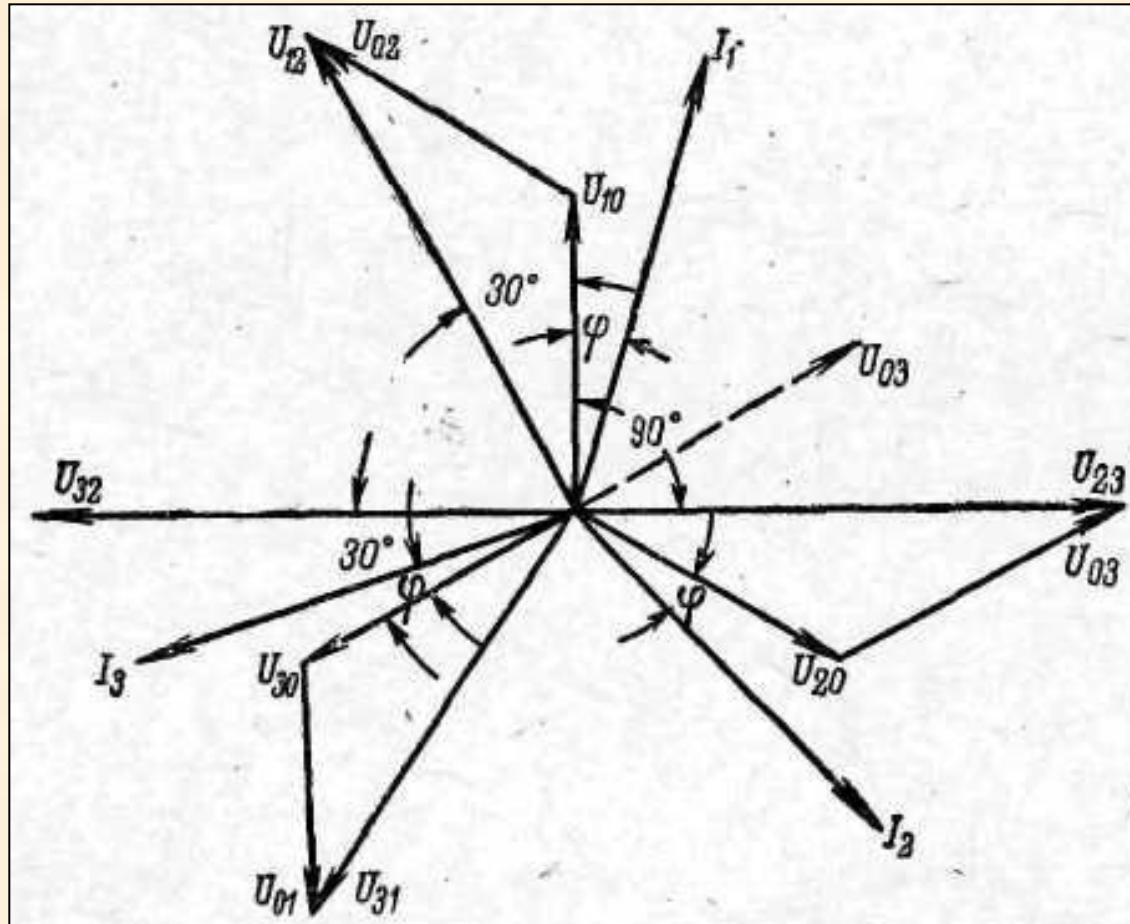


Рис. 4.14. Диаграмма токов и напряжения нагрузки звездой



4.3.10 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

Показания P_1 и P_2 ваттметров, включенных по схеме рис. 4.13, будут:

$$P_1 = U_{12} I_1 \cos(U_{12}, I_1); \quad (4.44)$$

$$P_2 = U_{32} I_3 \cos(U_{32}, I_3). \quad (4.45)$$

Здесь взято напряжение U_{32} , а не U_{23} , потому, что генераторный зажим второго ваттметра присоединен к линии 3, а не к линии 2.

Из диаграммы рис. 4.14 следует, что углы между векторами напряжений и токов, определяющих показания ваттметров, равны соответственно:

$$\angle U_{12}, I_1 = 30^\circ + \phi; \quad \angle U_{32}, I_3 = 30^\circ - \phi; \quad (4.46; 4.47)$$

поэтому показания ваттметров получаются равными:

$$P_1 = U_{12} I_1 \cos(30^\circ + \phi); \quad (4.48)$$

$$P_2 = U_{32} I_3 \cos(30^\circ - \phi). \quad (4.49)$$

4.3.11 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.



Так как U_{12} и U_{32} представляют собой линейные напряжения, а I_1 и I_2 — линейные токи, то, полагая при полной симметрии $U_{12} = U_{32} = U_{л}$ и $I_1 = I_3 = I_{л}$, получаем:

$$P_1 = U_{л} I_{л} \cos(30^\circ + \phi); \quad (4.50)$$

$$P_2 = U_{л} I_{л} \cos(30^\circ - \phi). \quad (4.51)$$

раскрывая скобки, находим, что сумма показаний ваттметров будет равна:

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos \varphi \quad (4.52)$$

причем следует помнить, что здесь φ — угол сдвига фаз между фазовым напряжением и фазовым током.



4.3.12 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

Существенно важно выяснить, как изменяются показания ваттметров при изменении сдвига фаз φ . Для этого определим отношение показания каждого ваттметра к его наибольшему показанию, т. е. к произведению $U_{л} I_{л}$. Тогда получим:

$$P_1 / U_{л} I_{л} = \cos(30^\circ + \varphi); \quad (4.53)$$

$$P_2 / U_{л} I_{л} = \cos(30^\circ - \varphi). \quad (4.54)$$

Кривые изменения относительных показаний ваттметров в зависимости от угла φ приведены на рис. 4.15.

4.3.13 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

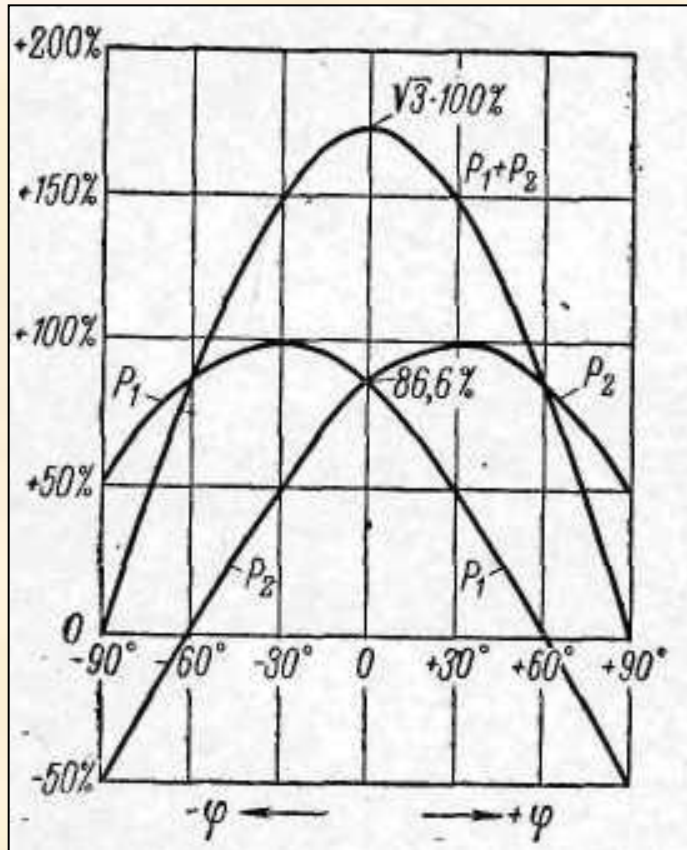


Рис. 4.15. Кривые изменения относительных показаний ваттметров в схеме рис. 4.13

При $\varphi = 0$, т. е. при безиндукционной нагрузке, оба ваттметра дают одинаковые показания (86,6% наибольшего показания) и притом их подвижные части отклоняются в положительную сторону. При $\varphi = \pm 30^\circ$ один из ваттметров дает наибольшее отклонение, равное $U_L I_L$, причем при $\varphi = +30^\circ$ максимум отклонения дает ваттметр P_1 . При $\varphi = \pm 60^\circ$ один из ваттметров дает нулевое показание (при $\varphi = +60^\circ$, $P_1 = 0$, а при $\varphi = -60^\circ$, $P_2 = 0$). Наконец, при $\varphi = \pm 90^\circ$ оба ваттметра дают опять одинаковые показания, равные 50% наибольшего, но их подвижные части отклоняются в разные стороны: при $\varphi > 60^\circ$ отрицательные показания дает первый ваттметр, а при $\varphi < -60^\circ$ — второй.



4.3.14 Измерение активной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

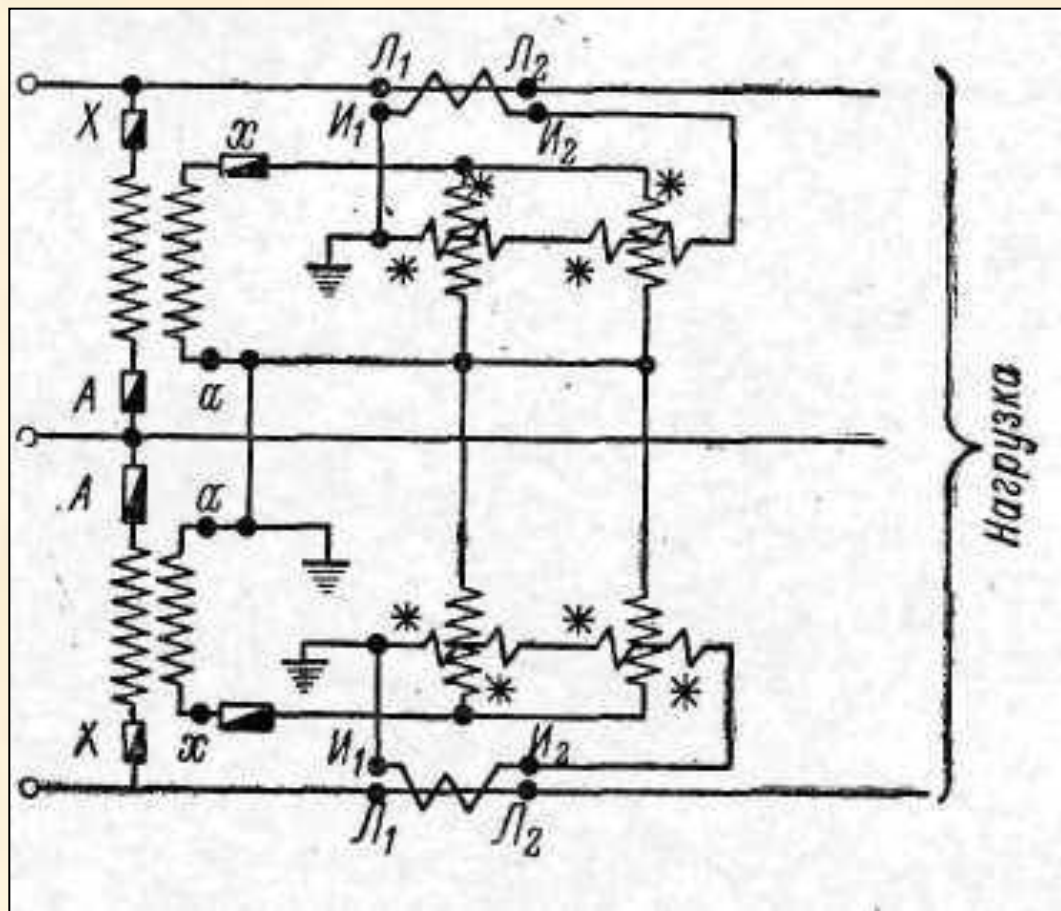


Рис. 4.16.
Включение двух
ваттметров и
счетчиков в
трехфазную цепь
через
измерительные
трансформаторы



4.4.1 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

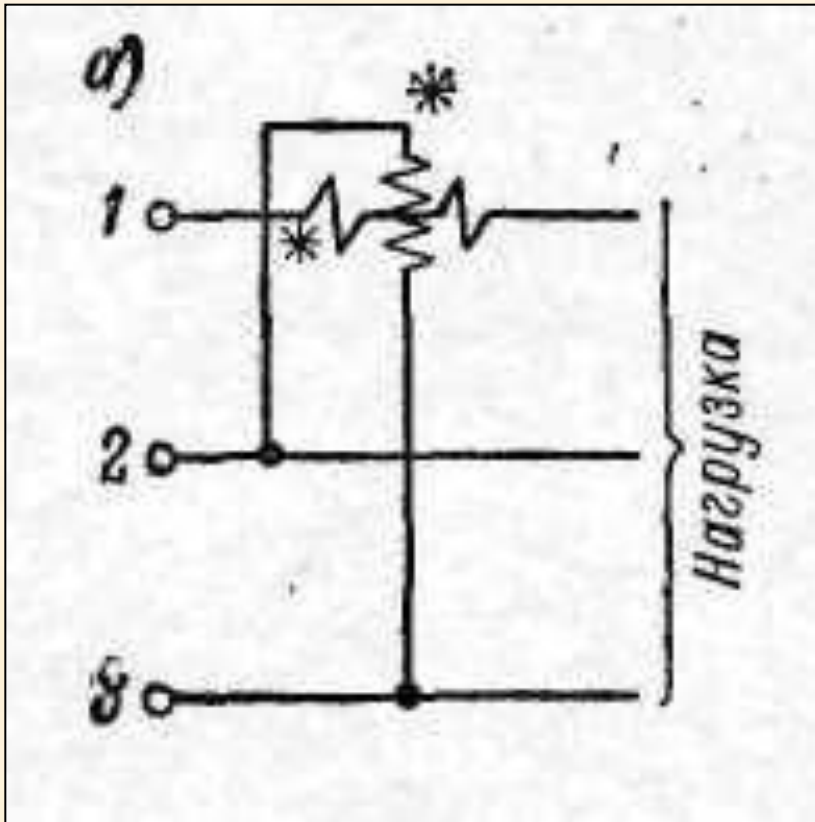


Рис. 4.17. Включение ваттметров для измерения реактивной мощности в цепи трехфазного тока

$$P = U_{23} I_1 \cos(U_{23}, I_1). \quad (4.55)$$

Из диаграммы рис. 4.14 следует, что угол между вектором напряжения U_{23} и вектором тока I_1 равен $90^\circ - \phi$, поэтому

$$P = U_{23} I_1 \sin \phi \quad (4.56)$$

При полной симметрии, когда $U_{23} = U_{\text{л}}$ и $I_1 = I_{\text{л}}$, получим:

$$P = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \phi. \quad (4.57)$$



4.4.2 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

Чтобы получить реактивную мощность P_r , потребляемую приемником, показание ваттметра, очевидно, следует умножить на $\sqrt{3}$, и тогда

$$P_r = \sqrt{3} P = \sqrt{3} U_l I_l \sin\phi. \quad (4.58)$$

Однако необходимо указать, что схема рис. 4.17 применима лишь при полной симметрии, в противном случае результат измерения может сильно отличаться от действительного значения



4.4.3 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

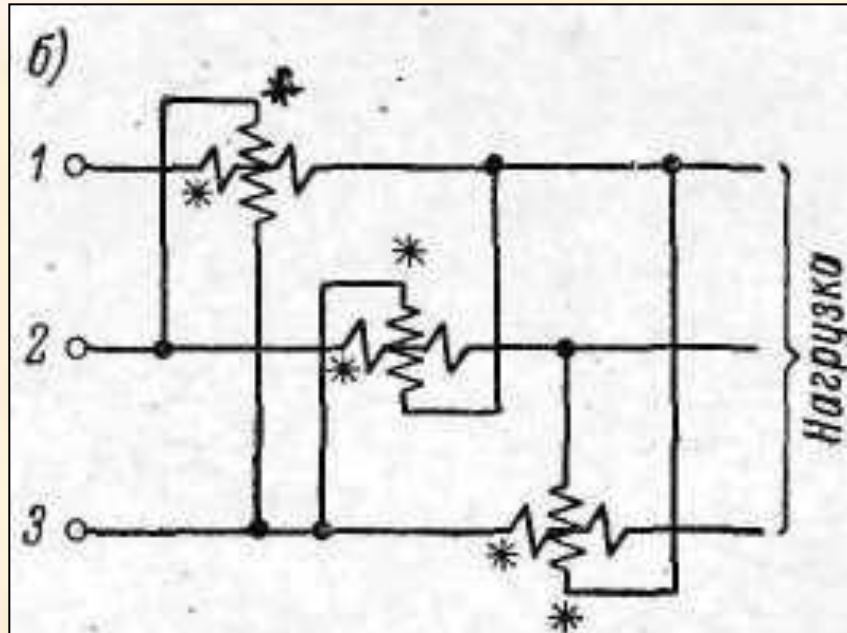


Рис. 4.18. Включение ваттметров для измерения реактивной мощности в цепи трехфазного тока

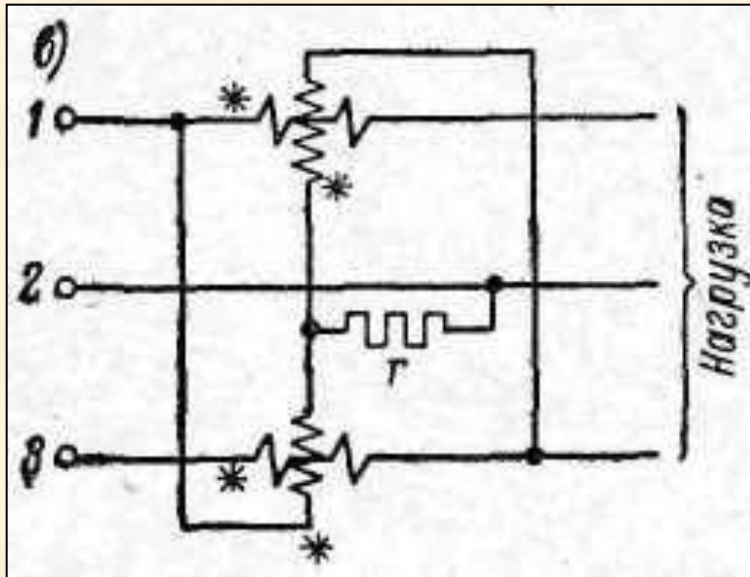
Очевидно, сумма показаний трех ваттметров данной схемы должна быть умножена на $1/\sqrt{3}$, чтобы получить реактивную мощность:

$$P_r = \frac{1}{\sqrt{3}} (P_1 + P_2 + P_3) = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \sin \varphi. \quad (4.59)$$

Эта схема дает правильные показания при так называемой простой асимметрии, т. е. в случае когда либо система напряжений, либо система токов симметрична.



4.4.4 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.



Для простой асимметрии предназначена также схема двух ваттметров с искусственной нейтральной точкой. Сопротивление r в этой схеме должно быть равно сопротивлению параллельной цепи каждого ваттметра. Показания ваттметров в этой схеме будут:

Рис. 4.19. Включение ваттметров для измерения реактивной мощности в цепи трехфазного тока

$$P_1 = U_{03} I_1 \cos(\varphi_{03, I_1}); \quad (4.60)$$

$$P_2 = U_{10} I_3 \cos(\varphi_{10, I_3}). \quad (4.61)$$



4.4.5 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

Из диаграммы рис. 8 получаем:

$$\angle U_{03}, I_1 = 60^\circ - \phi; \quad \angle U_{10}, I_3 = 120^\circ - \phi \quad (4.62; 4.63)$$

Отсюда, учитывая, что U_{10} и U_{03} являются фазовыми напряжениями U_ϕ , а токи I_1 и I_3 — линейными токами I_l , находим:

$$P_1 = U_\phi I_l \cos(60^\circ - \phi); \quad (4.64)$$

$$P_2 = U_\phi I_l \cos(120^\circ - \phi), \quad (4.65)$$

или после тригонометрических преобразований:

$$P_1 = U_\phi I_l \sin(30^\circ + \phi); \quad (4.66)$$

$$P_2 = -U_\phi I_l \sin(30^\circ - \phi). \quad (4.67)$$



4.4.6 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

При $\varphi=90^\circ$ ($\sin \varphi = 1$) показания ваттметров будут одинаковы и положительны, а при $\varphi < 30^\circ$ второй ваттметр даст отрицательные показания.

Сумма показаний ваттметров получится равной:

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} U_\phi I_\phi \sin \varphi \quad (4.68)$$

Так как $U_\phi \sqrt{3} = U_\lambda$, то

$$P_1 + P_2 = U_\lambda I_\lambda \sin \varphi \quad (4.69)$$

Следовательно, для получения реактивной мощности необходимо сумму показаний ваттметров умножить на $\sqrt{3}$.

4.4.7 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

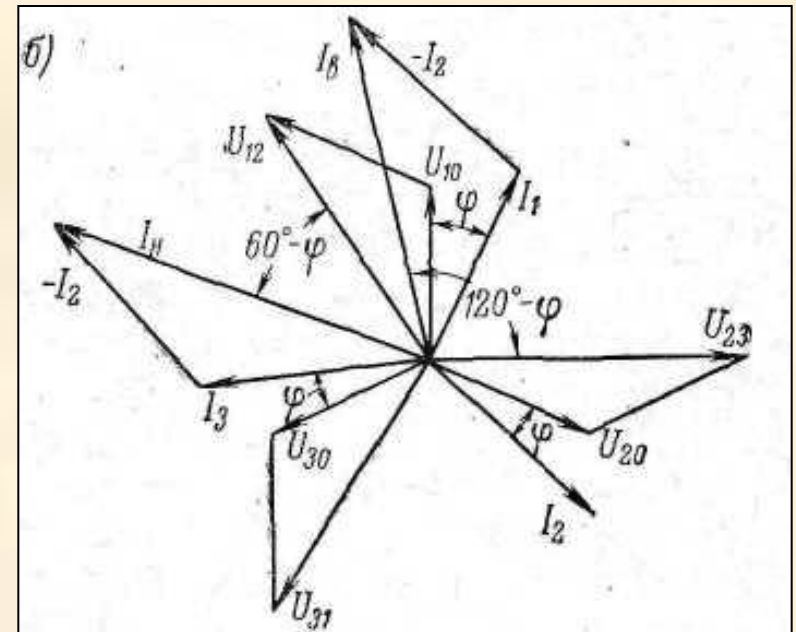
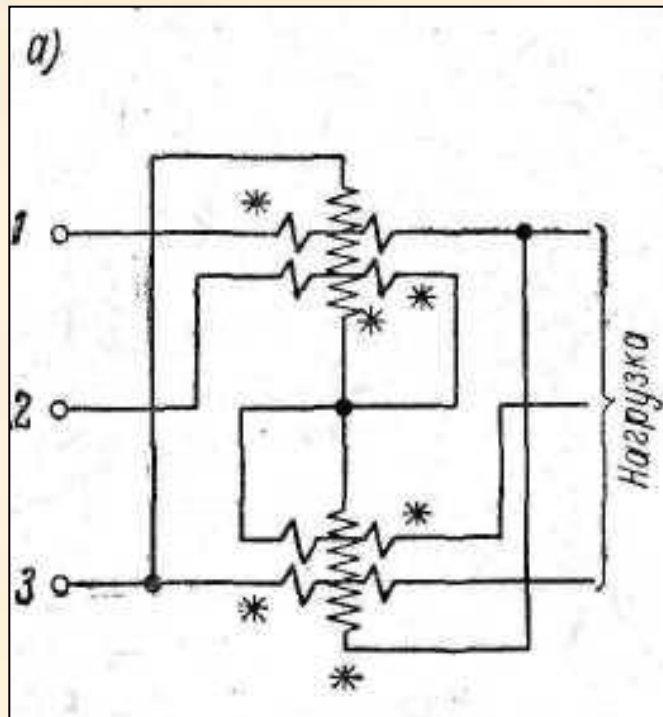


Рис. 4.20. Включение двухэлементного счетчика реактивной энергии с дополнительными последовательными обмотками



4.4.8 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

В заключение рассмотрим действие двухэлементного счетчика реактивной энергии, схема которого показана на рис. 4.20, а. Здесь последовательная цепь каждого элемента состоит из двух обмоток с одинаковым числом витков. Поэтому магнитный поток верхнего элемента создается геометрической разностью токов (генераторный конец второй обмотки выведен с противоположной стороны), а поток нижнего элемента — геометрической разностью токов. Векторы этих токов, как видно из диаграммы рис. 4.20, б, сдвинуты относительно напряжений U_{23} и U_{12} , поданных к параллельным цепям элементов счетчика, соответственно на углы $120^\circ - \varphi$ и $60^\circ - \varphi$. Поэтому вращающие моменты верхнего (D_1) и нижнего (D_2) элементов счетчика будут равны:

$$D_1 = kU_{23}I_e \cos(120^\circ - \varphi) = -kU_{23}I_e \sin(30^\circ - \varphi); \quad (4.70)$$

$$D_2 = kU_{12}I_n \cos(60^\circ - \varphi) = kU_{12}I_n \sin(30^\circ + \varphi), \quad (4.71)$$

где k — коэффициент пропорциональности.



4.4.9 Измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

Учитывая, что

$$I_{\phi} = I_{\text{н}} = I_{\text{л}} \sqrt{3} \text{ и } U_{23} = U_{12} = U_{\text{л}}, \quad (4.72)$$

получаем:

$$D_1 + D_2 = k U_{\text{л}} I_{\text{л}} [-\sin(30^\circ - \varphi) + \sin(30^\circ + \varphi)] = k 3 U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi, \quad (4.73)$$

или

$$D_1 + D_2 = k \sqrt{3} P_r. \quad (4.74)$$

Следовательно, сумма моментов пропорциональна реактивной мощности. Коэффициент $\sqrt{3}$ учитывается при выборе передаточного числа счетного механизма, поэтому реактивная энергия отсчитывается непосредственно по показаниям счетчика без введения каких-либо дополнительных множителей.



4.5.1 Измерение коэффициента мощности.

Коэффициентом мощности $\cos \varphi$ как известно, называется отношение активной мощности P_a к полной мощности P_0 , т. е.

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{P_0} = \frac{P_a}{\sqrt{P_a^2 + P_r^2}}. \quad (4.75)$$

Для однофазного переменного тока численное значение полной мощности P_0 равно произведению из тока I и напряжения U . Поэтому коэффициент мощности $\cos \varphi$ однофазной цепи равен:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{UI} \quad (4.76)$$

и может быть определен путем измерения активной мощности P_a ваттметром, а напряжения U и тока I —вольтметром и амперметром.



4.5.2 Измерение коэффициента мощности.

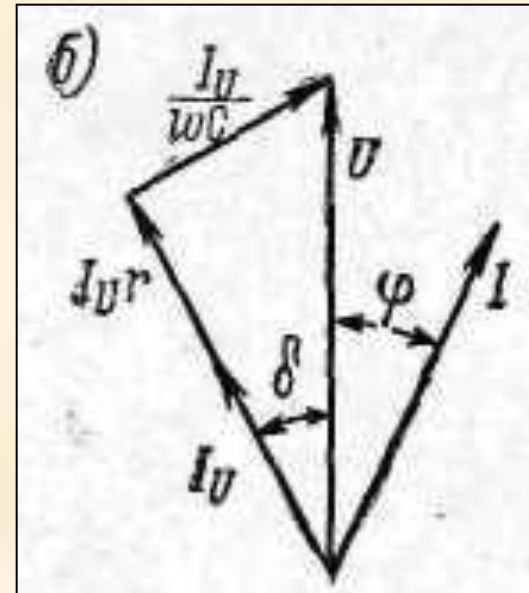
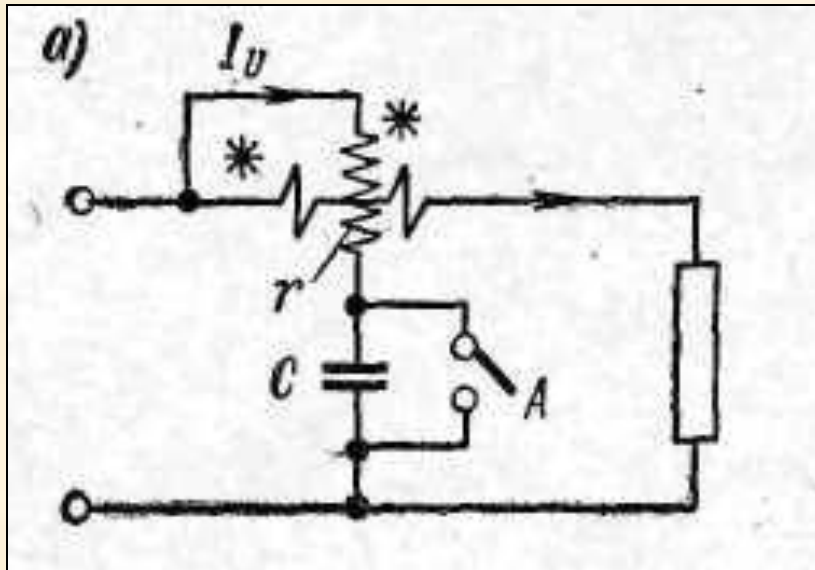


Рис. 4.21. Измерение коэффициента мощности однофазной цепи
ваттметром



4.5.3 Измерение коэффициента мощности.

Здесь производятся два отсчета показаний ваттметра: один раз, когда ключ А замкнут и емкость С выключена, а другой раз, когда ключ А разомкнут. Отклонение α_1 подвижной части ваттметра в первом случае будет:

$$\alpha_1 = k \frac{U}{r} I \cos \varphi,$$

где

r – сопротивление параллельной цепи ваттметра;

k – коэффициент пропорциональности.

Отклонение α_2 во втором случае будет (см. диаграмму рис. 4.21, б):

$$\alpha_2 = k I_U I \cos(I_U, I) = K \frac{U}{r} \cdot \frac{r \omega C}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 r^2}} I \cos(\varphi + \delta) = k \frac{UI}{r} \cos \delta \cos(\varphi + \delta), \quad (4.78)$$

где
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C r}. \quad (4.79)$$



4.5.4 Измерение коэффициента мощности.

Отношение показаний α_2 / α_1 дает:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\cos \delta \cos(\varphi + \delta)}{\cos \varphi} = \cos \delta (\cos \delta - \operatorname{tg} \varphi \sin \delta), \quad (4.80)$$

откуда получаем:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{1}{\sin \delta \cos \delta}, \quad (4.81)$$

или

$$\operatorname{tg} \varphi = \omega Cr - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{1 + \omega^2 C^2 r^2}{\omega Cr}. \quad (4.82)$$

Зная $\operatorname{tg} \varphi$, нетрудно найти и $\cos \varphi$.



4.5.5 Измерение коэффициента мощности.

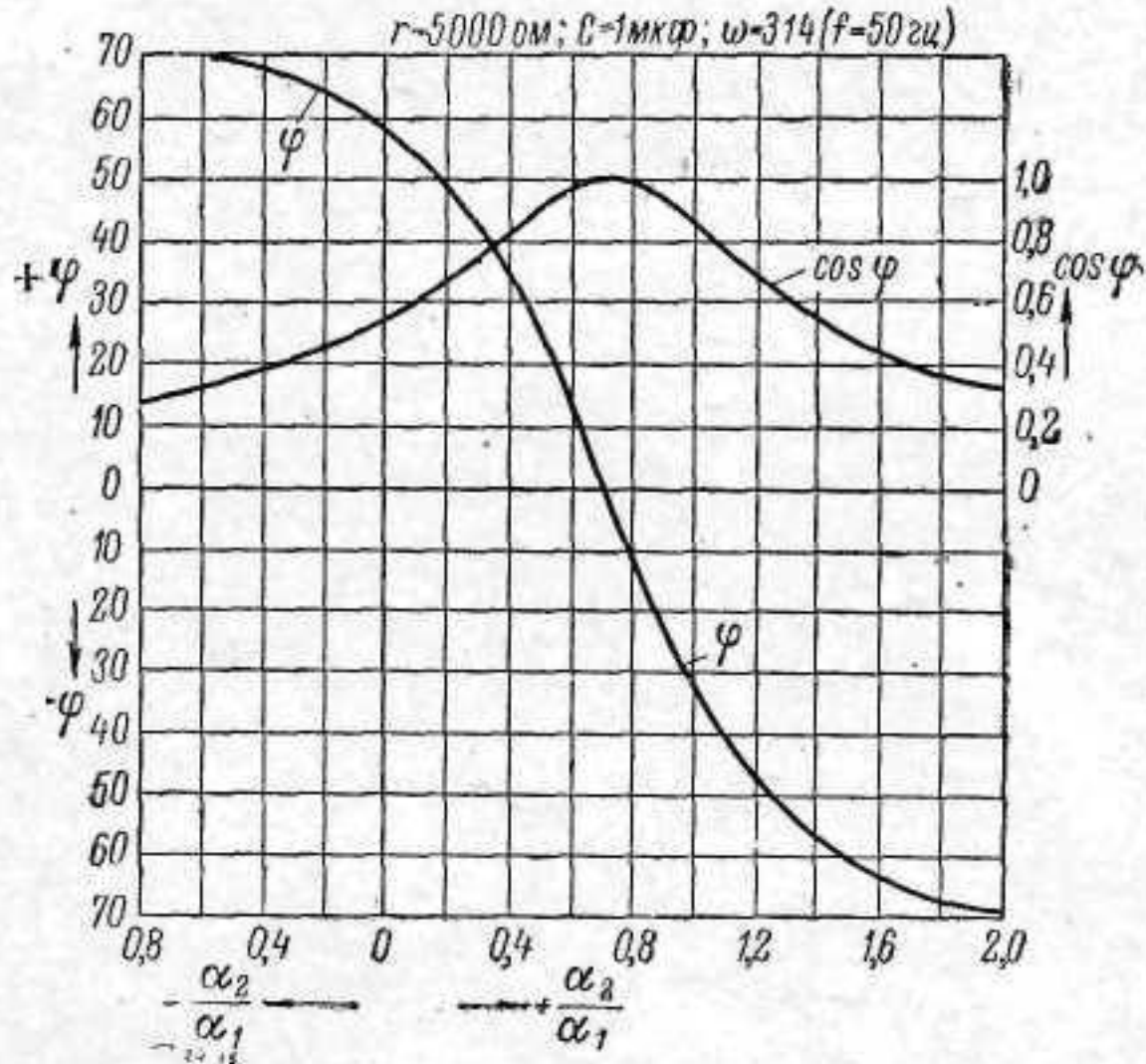


Рис. 4.22. Кривая зависимости коэффициента мощности от отношения показаний ваттметра в цепи рис. 4.21

5.1 История развития счетчиков

- 1895 г.- создан прототип современных индукционных счетчиков - индукционный счетчик Шукерта-Рааба, в котором впервые осуществлен сдвиг фаз на 90° между электромагнитными потоками
- В России принцип действия электросчетчиков индукционной системы был сформулирован известным русским электротехником М.О. Доливо-Добровольским также в конце XIX века
- в 1950 году фирмой «Дженерал Электрик» (США) впервые внедрены сначала двухкаменные, а затем магнитные опоры, что позволило увеличить срок службы счетчика до 30 лет и более.

5.2 История развития счетчиков

- в 1999 году компанией "АББ Метеринг Системс" (Великобритания) был разработан и сконструирован однофазный индукционный электросчетчик "Интегра" (J11). Этот счетчик стал первым электроизмерительным прибором, удостоенным права заявлять межповерочный интервал в 20 лет.
- В России в 1997 году был прекращен выпуск однофазных индукционных электросчетчиков класса точности 2,5 (СО-2, СО-5, СО-И446) и произошел переход к производству счетчиков исключительно класса точности 2,0 (СО-505, СО-ИБ, СО-ЭЭ6706).



5.3 История развития счетчиков

- В настоящее время предпочтение отдается электронным счетчикам, т.к. они имеют более высокую точность и готовы к применению в АСКУЭ
- 1998 г. – появилась первая версия международного пакета стандартов DLMS/COSEM, позволяющего объединять в систему счетчики электрической энергии, а также воды, тепла и газа от разных производителей. В настоящее время многие российские производители освоили выпуск счетчиков, соответствующих этим стандартам
- В последние годы наметилась тенденция перехода на выпуск бестрансформаторных счетчиков (как более точных и защищенных от хищений энергии), в том числе для высоковольтных сетей 6-10 кВ. Счетчики начали оснащать встроенными анализаторами качества электрической энергии

6. Счетчики электрической энергии

- 6.1** Классификация.
- 6.2** Индукционные счетчики.
- 6.3** Электронные счетчики.
- 6.4** Сравнение индукционных и электронных счетчиков.
- 6.5** Интерфейсы счетчиков.
- 6.6** Схемы включения электронных счетчиков.
- 6.7** Сравнительная характеристика счетчиков разных производителей.



6.1 Классификация счетчиков



1 По конструкции:

- Индукционные
- Электронные
 - 1 поколение
 - 2 поколение
 - 3 и 4 поколение

2 По типу сети:

- Однофазные
- Трехфазные

3 По способу включения:

- Непосредственного включения
 - Низковольтные (0.4 кВ)
 - Высоковольтные (6, 10 кВ)
- Трансформаторного включения
 - По току
 - По току и по напряжению



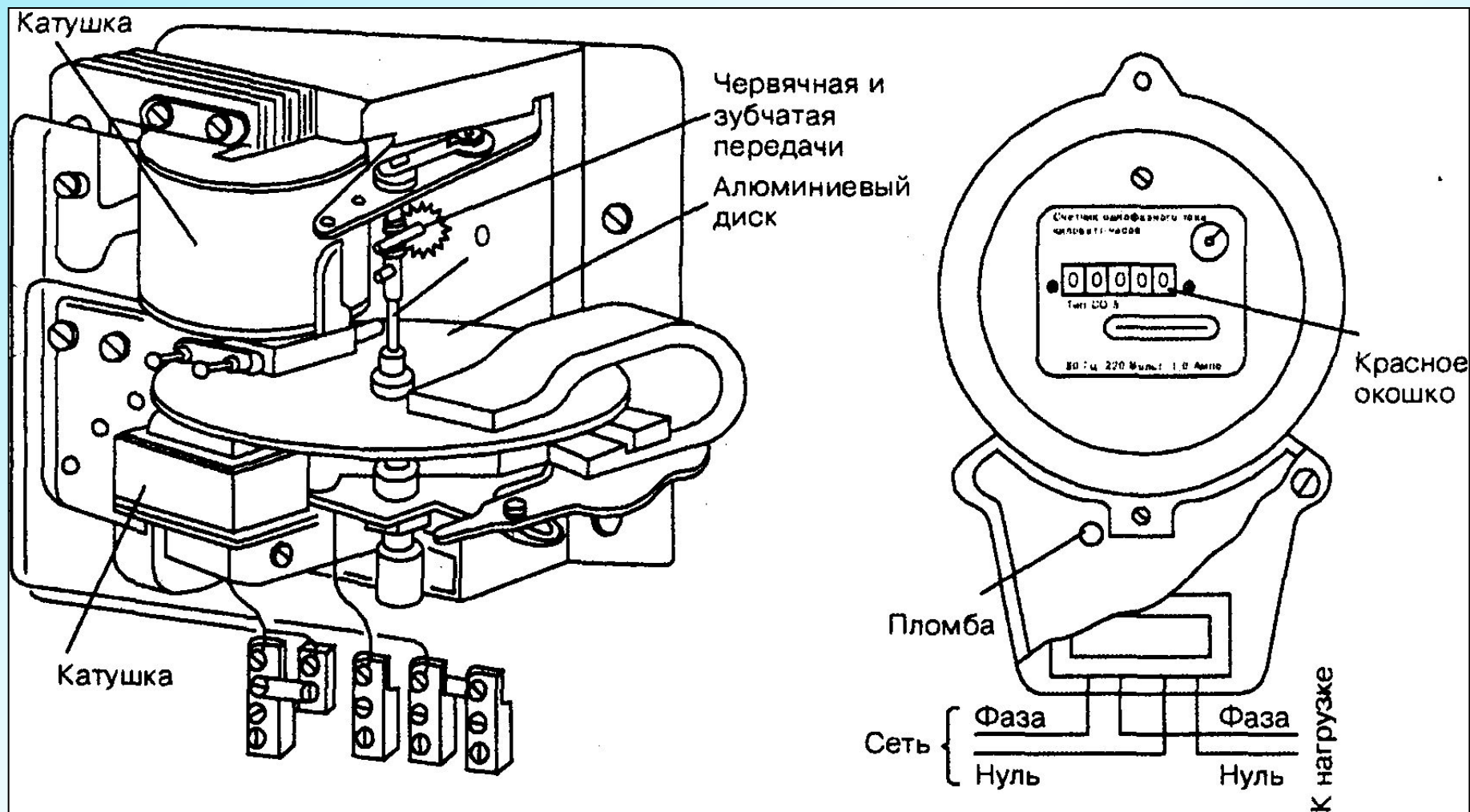
6.2.1 Индукционные счетчики

Принцип работы основан на подсчёте количества оборотов металлического диска, вращающегося в бегущем магнитном поле, которое, в свою очередь, создаётся двумя электромагнитами. Магнитный поток первого должен быть пропорционален току, текущему через нагрузку, а поток второго — напряжению. При этом частота вращения диска линейно пропорциональна мощности, а количество его оборотов — потребляемой энергии

6.2.2 Индукционные счетчики



Устройство и внешний вид однофазного индукционного счетчика



6.2.3 Индукционные счетчики



Нормальные условия применения индукционных счетчиков.

Влияющая величина	Нормальные значения	Допускаемые отклонения для счетчиков класса точности:		
		0,5	1	1,5 ; 2,0 ; 2,5
Температура окружающей среды	Номинальная температура 20° С	±1°С	±3°С (±2°С)	±3°С (±2°С)
Рабочее положение	Вертикальное рабочее положение	±0,5°	±1,0° (±0,5°)	±1,0° (±0,5°)
Напряжение	Номинальное	±1,0% (±0,5%)	±1,0%	±1,0%
Частота	Номинальное	±0,5% (±0,2%)	±0,5% (±0,3%)	±0,5%
Форма кривой напряжения и тока	Синусоидальные	Коэффициент нелинейных искажений, менее чем		
		2%	5% (2%)	5% (3%)
Индукция внешнего переменного магнитного поля при номинальной частоте	Магнитная индукция равна нулю	Значение индукции, которое вызывает изменение погрешности (счетчика) не более чем		
		±0,1%	±0,2%	±0,3%

6.2.4 Индукционные счетчики



Основные характеристики

- Постоянной счетчика не одинакова во всем диапазоне измерений.
- Начало вращения диска – 0,5- 1,0% нагрузки,
- Неустойчивая работа – до 3-5 % нагрузки,
- Работа с положительной инструментальной погрешностью – 5-10% нагрузки (обусловлена перекомпенсацией момента трения механизма),
- Работа с отрицательной инструментальной погрешностью –до 20% нагрузки (изменения магнитной проницаемости стали при малых токах токовой обмотки),
- Идеальная компенсация, и погрешность близка к нулю – 20–100% нагрузки,
- возрастает до положительного значения – более 100% нагрузки (при большей перегрузке снова становится отрицательной из-за эффекта дополнительного торможения алюминиевого диска потоками рассеяния электромагнитов).



6.2.5 Индукционные счетчики

Погрешность, %, определяется по формуле

$$\gamma = \frac{W - W_{\Pi}}{W_{\Pi}} \cdot 100$$

где W — показание счетчика; W_{Π} — точное значение потребляемой энергии.

- При ухудшении $\cos \phi$ погрешность незначительно возрастает из-за нарушения условий компенсации момента трения.
- Погрешность возрастает при несимметричной нагрузке. Если счетчик двухэлементный, несимметричная нагрузка приводит к увеличению погрешности так же, как ухудшение $\cos \phi$ для одного из элементов счетчика; если он трехэлементный — к увеличению погрешности вследствие перегрузки одного из элементов и недогрузки другого.



6.2.6 Индукционные счетчики

Пределы погрешности $\delta_{сч}$ для индукционных счетчиков активной энергии (ГОСТ 6570-96).

Значение тока	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Пределы $\delta_{сч}$, %, не более, для счетчиков активной энергии классов точности			
		0,5	1,0	2,0	2,5
5% номинального	1,0	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	-
От 10% до 20% номинального	1,0	-	-	-	$\pm 3,5$
От 10% номинального до максимального включ.	1,0	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	-
От 20% номинального до максимального включ.	1,0	-	-	-	$\pm 2,5$
10% номинального	0,5 инд.	$\pm 1,3$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	-
10% номинального	0,8 емк.	$\pm 1,3$	$\pm 1,5$	-	-
От 20% номинального до максимального включ.	0,5 инд.	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$
От 20% номинального до максимального включ.	0,8 емк.	$\pm 0,8$	$\pm 3,5$	-	-
От 20 до 100% номинального	0,25 инд.	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	-	-
	0,5 емк.	$\pm 1,5$	-	-	-

6.2.7 Индукционные счетчики



Коэффициент изменения систематической составляющей относительной погрешности на один процент (градус) изменения параметра.

Коэффициент K_U (ГОСТ 6570-96).

Значение тока	Коэффициент мощности $\cos \phi$ ($\sin \phi$)	Допускаемый коэффициент K_U , % , на один процент изменения напряжения, не более, для счетчиков классов точности		
		0,5	1,0	2,0
10% номинального	1,0	$\pm 0,08$	$\pm 0,10$	$\pm 0,15$
50% максимального	1,0	$\pm 0,05$	$\pm 0,07$	$\pm 0,10$
50% максимального	0,5 инд.	$\pm 0,07$	$\pm 0,10$	$\pm 0,15$
От 100% номинального до максимального	1,0	-	-	-

Коэффициент K_f (ГОСТ 6570-96).

Значение тока	Коэффициент мощности $\cos \phi$ ($\sin \phi$)	Допускаемый коэффициент K_f , % , на один процент изменения частоты, не более, для счетчиков классов точности		
		0,5	1,0	2,0
10% номинального	1,0	$\pm 0,14$	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
50% максимального	1,0	$\pm 0,12$	$\pm 0,16$	$\pm 0,26$
50% максимального	0,5 инд.	$\pm 0,16$	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
100% номинального	1,0 и 0,5 инд.	-	-	-



6.2.8 Индукционные счетчики

Коэффициент изменения систематической составляющей относительной погрешности на один процент (градус) изменения параметра.

Коэффициент K_t (ГОСТ 6570-96).

Значение тока	Коэффициент мощности $\cos \phi$ ($\sin \phi$)	Допускаемый коэффициент K_t , на 1°C , не более, для счетчиков классов точности		
		0,5	1,0	2,0
От 10% номинального до максимального включ.	1,0	$\pm 0,03$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$
От 20% номинального до максимального включ.	0,5 инд.	$\pm 0,05$	$\pm 0,07$	$\pm 0,05$

Коэффициент K_s (ГОСТ 6570-96).

Значение тока	Коэффициент мощности $\cos \phi$ ($\sin \phi$)	Допускаемый коэффициент K_s , % на 1° наклона, не более, для счетчиков активной энергии классов точности		
		0,5	1,0	2,0
		5% номинального	1,0	$\pm 0,5$
10% номинального	1,0	-	-	-
100% номинального	1,0	$\pm 0,1$	$\pm 0,13$	$\pm 0,17$
максимальный	1,0	$\pm 0,1$	$\pm 0,13$	$\pm 0,17$



6.2.9 Индукционные счетчики

Дополнительные погрешности

- Отклонения (особенно понижение) питающего напряжения не должны превышать 10% для работы счетчика в пределах своего класса точности.
- Отрицательная температура окружающей среды влияет на погрешность индукционного счетчика (при -15°C отрицательная погрешность может достигать 2 % из-за изменения магнитной проницаемости тормозного магнита).

Из-за узкого динамического диапазона (в котором нормируется погрешность), высокой погрешности (которая существенно увеличивается в «минус» при старении счетчика и высыхании смазки), слабой защиты от хищений электроэнергии и малого количества функций, в настоящее время индукционные счетчики практически не выпускаются!

6.3.1 Электронные счетчики



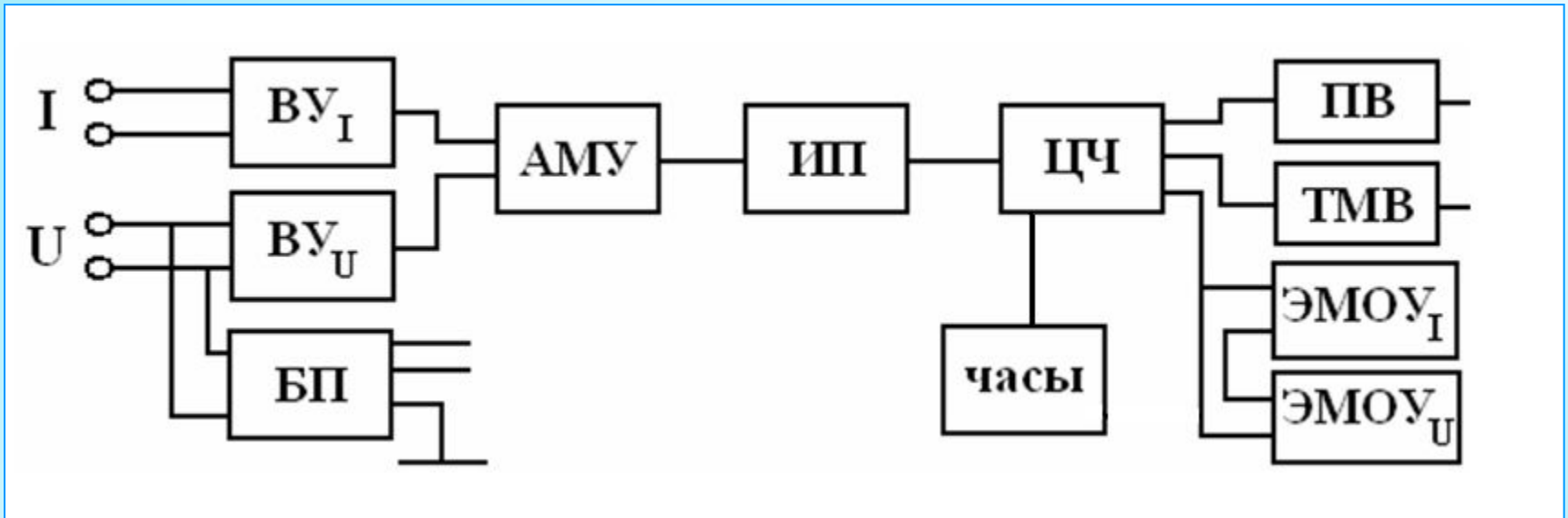
Классификация

- 1 поколение – аналоговое множительное устройство, ПНЧ, электромеханическое отсчетное устройство, импульсный выход.
- 2 поколение:
 - АМУ, ПНЧ, микроконтроллер, дисплей (ЖКИ или электромеханический), импульсный выход, зачатки интерфейса, возможность многотарифности.
 - АЦП тока, АЦП напряжения, микроконтроллер, импульсный выход, зачатки интерфейса, возможность многотарифности.
- 3 поколение – АМУ, ПНЧ или АЦП - тока АЦП - напряжения, микропроцессор, выходы, развитый интерфейс (возможны 4 варианта подключения: проводное подключение; передача по сети через УСПД; оптический порт; радиомодем), самокалибровка, дополнительные возможности (ведение графика нагрузок, ведение коррекции часов, регистрация открытия крышки, запоминание показаний за несколько лет, вычисление дополнительных параметров – частоты, реактивной мощности и т.д.)
- 4 поколение – реализация стандартов DLMS/COSEM, счетчик выполняет функции анализатора показателей качества эл. энергии

6.3.2 Электронные счетчики



Первое поколение электронных счетчиков



ВУ – входное устройство по току и напряжению.

БП – блок питания.

АМУ – аналоговое множительное устройство.

ИП – интегрирующий преобразователь.

ПВ – поверочный выход.

ТМВ – телеметрический выход.

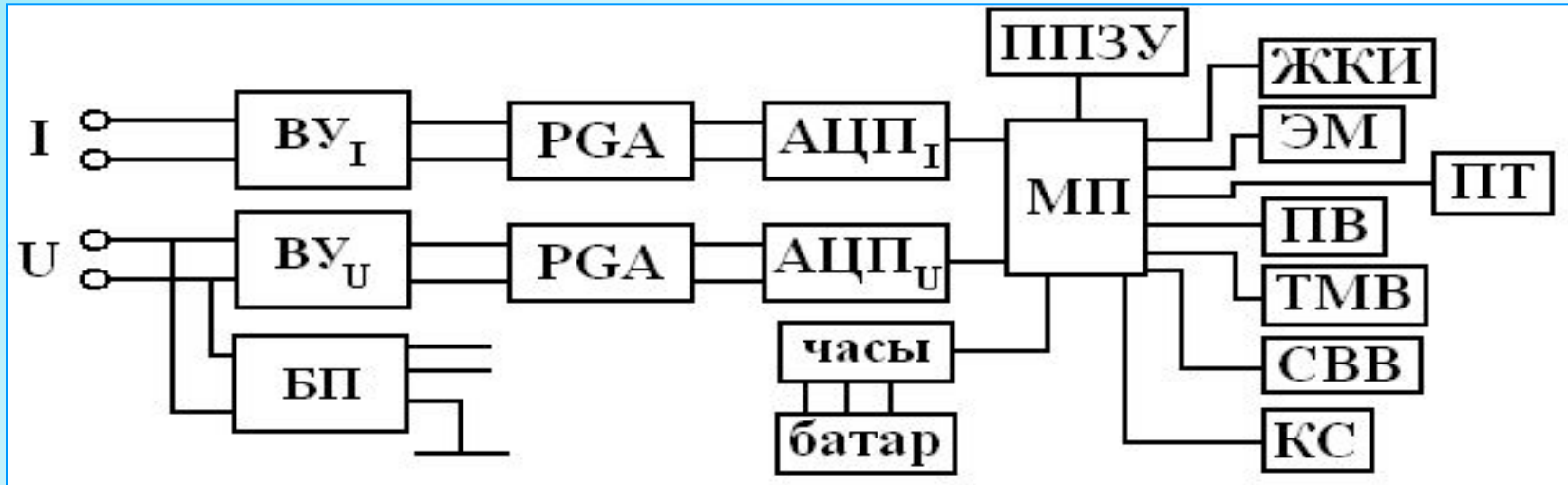
ЭМОУ – электромагнитное отсчетное устройство.

ЦЧ – цифровая часть.

6.3.3 Электронные счетчики



Второе поколение электронных счетчиков



МП – микропроцессор.

ВУ – входное устройство по току и напряжению. БП – блок питания.

PGA – усилитель с программируемым коэффициентом усиления.

АЦП типа сигма-дельта модулятор (относительная погрешность $< 0,1\%$).

МП имеет специализированное вычислительное устройство)

ППЗУ – постоянное запоминающее (программируемое) устройство.

ЖКИ – жидкокристаллический индикатор.

ЭМ – электромеханическое отсчетное устройство.

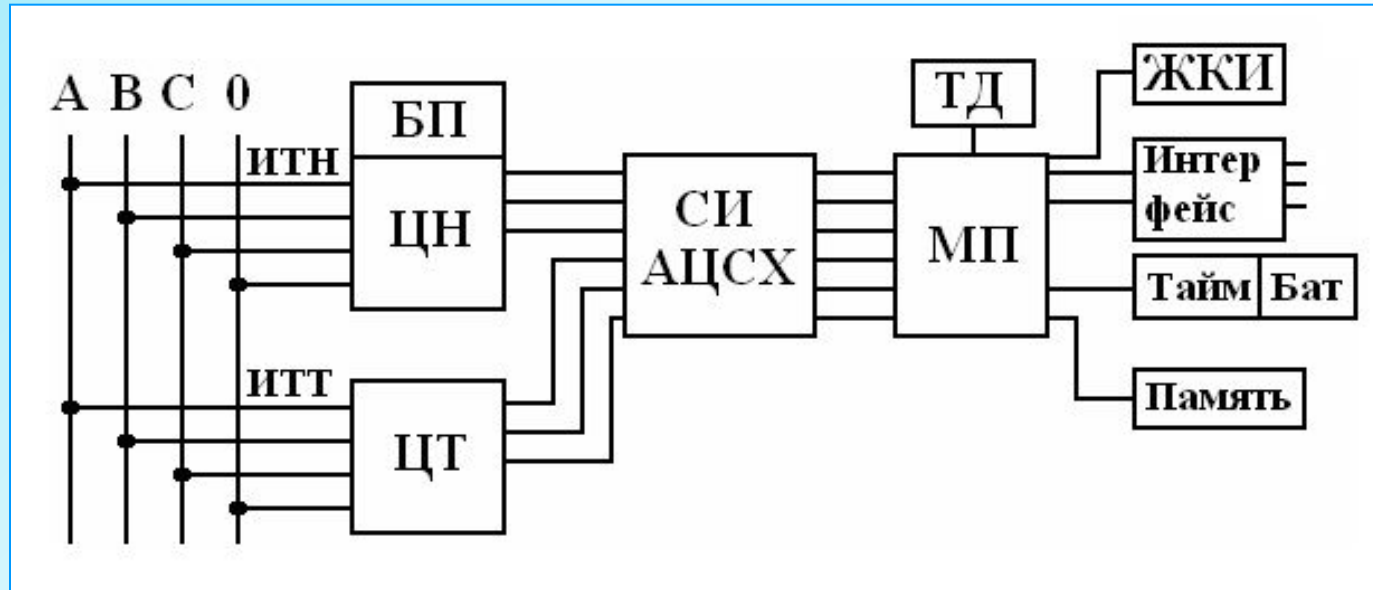
ПТ – переключение тарифов. СВВ – системный вход-выход.

КС – канал связи (радио, оптоволокно и т.п.).

6.3.4 Электронные счетчики



Третье и четвертое поколение электронных счетчиков



ИТН – измерительный трансформатор напряжения (при включении в линию 10 кВ).

ИТТ – измерительный трансф. тока (если токи большие)

ЦН – цепь напряжения. ЦТ – цепь тока.

СИ АЦСХ – специализированная аналого-цифровая схема.

МП – микропроцессор

ЖКИ – жидкокристаллический индикатор.

Интерфейс – RS-232, RS-485.

Тайм – таймер. Бат – батарея.

ТД – термодатчик.

6.3.5 Электронные счетчики



Нормальные условия применения электронных счетчиков.

Влияющая величина	Нормальные значения	Допускаемые отклонения для счетчиков класса точности:	
		0,2S	1
Температура окружающего воздуха	Номинальная температура или, если она не установлена, 23°C	±2°C	
Относительная влажность воздуха	45-75%		
Атмосферное давление	86-106 кПа (645-795 мм рт.ст.)		
Напряжение	Номинальное	±1,0%	
Частота	Номинальное	±0,3%	
Форма кривой напряжения и тока	Синусоидальные	Коэффициент искажения, не более 2%	
Индукция внешнего переменного магнитного поля при номинальной частоте	0	0,05 мТл	

6.3.6 Электронные счетчики



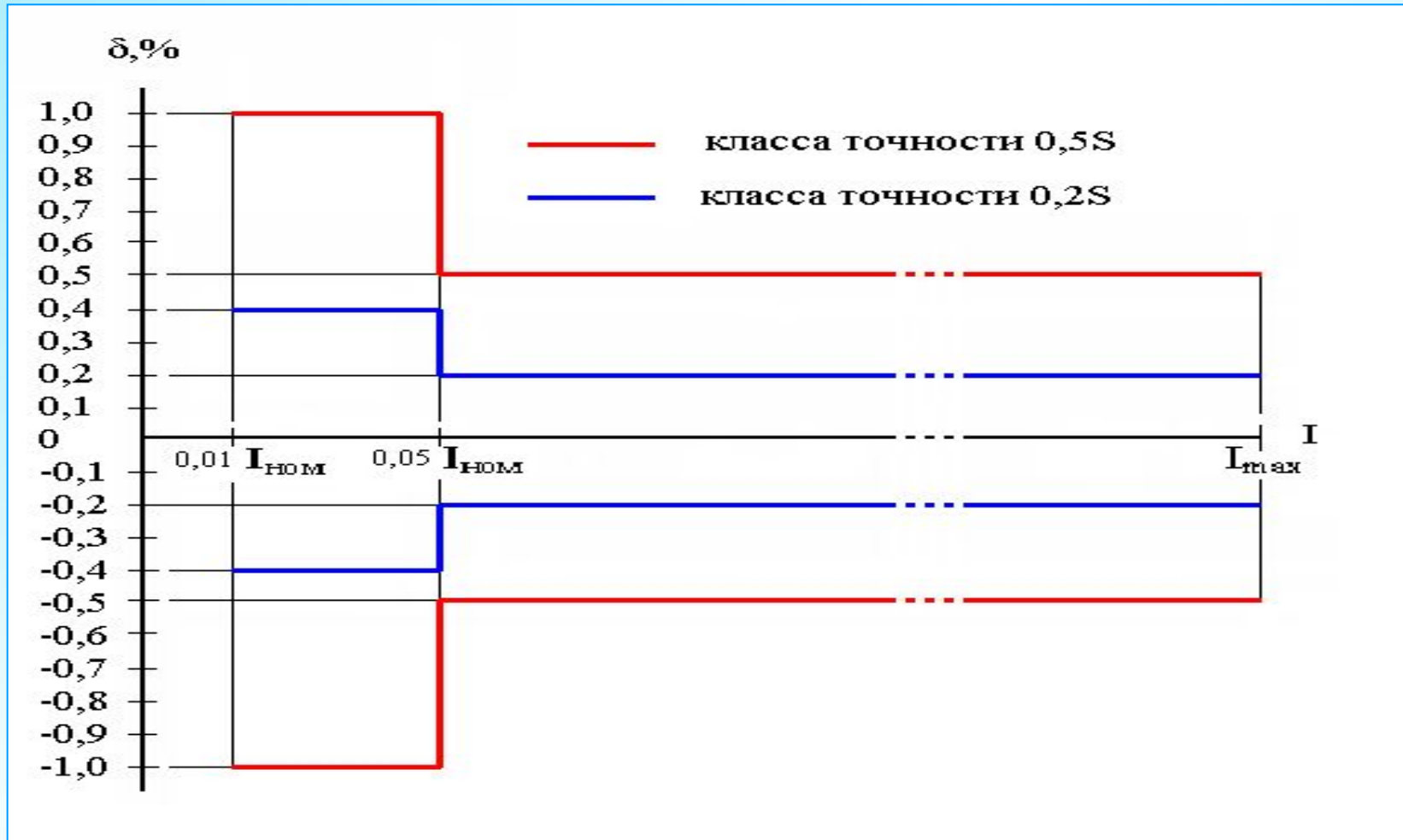
Пределы погрешности (для однофазных и многофазных электронных счетчиков с симметричной нагрузкой) ГОСТ 30207-94 (ГОСТ Р 52323-2005).

Значения тока	Коэффициент мощности	Пределы погрешности, %, для счетчиков класса точности	
		0,2S	0,5S
$0,01 I_{\text{НОМ}} \leq I < 0,05 I_{\text{НОМ}}$	1	$\pm 0,4$	$\pm 1,0$
$0,05 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$
$0,02 I_{\text{НОМ}} \leq I < 0,1 I_{\text{НОМ}}$	0,5 инд.	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
	0,8 емк.		
$0,1 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	0,5 инд.	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$
	0,8 емк.		
	0,5 емк.		

6.3.7 Электронные счетчики



Пределы погрешности для электронных счетчиков (ГОСТ Р 52322-2005)



6.3.8 Электронные счетчики



Влияющие величины (ГОСТ Р 52323-2005).

Влияющая величина	Значение тока (симметричная нагрузка)	Коэффициент мощности	Пределы измерения погрешности, %, для счетчиков класса точности	
			0,2S	0,5S
Изменение напряжения измерительной цепи в пределах $\pm 10\%$	$0,5 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1	0,1	0,2
	$0,1 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	0,5 инд.	0,2	0,4
Изменение частоты в пределах $\pm 5\%$	$0,05 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1	0,1	0,2
	$0,1 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	0,5 инд.		
Форма кривой: ток третьей гармоники равен 10% тока нагрузки	$0,05 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1	0,1	0,1

6.3.9 Электронные счетчики



Влияющие величины (ГОСТ Р 52323-2005).

Влияющая величина	Значение тока (симметричная нагрузка)	Коэффи- циент мощнос- ти	Пределы измерения погрешности, %, для счетчиков класса точности	
			0,2S	0,5S
Обратная последовательность фаз	$0,1 I_{НОМ}$	1	0,05	0,1
Несимметрия напряжения	$I_{НОМ}$	1	0,5	1,0
Изменение вспомогательного напряжения в пределах $\pm 15\%$	$0,01 I_{НОМ}$	1	0,05	0,1
Изменение фазы вспомогательного напряжения питания на 120°	$0,01 I_{НОМ}$	1	0,1	0,2
Внешнее постоянное магнитное поле	$I_{НОМ}$	1	2,0	3,0
Внешнее магнитное поле индукции 0,5 мТл	$I_{НОМ}$	1	0,5	1,0
Высокочастотные магнитные поля	$I_{НОМ}$	1	0,5	1,0
Магнитное поле вспомогательной частоты	$0,01 I_{НОМ}$	1	0,05	0,1

6.3.10 Электронные счетчики



Коэффициент K_U (ГОСТ 30206-94, ГОСТ 30207-94).

Значение тока	Коэффициент мощности $\cos \phi$ ($\sin \phi$)	Допускаемый коэффициент K_U , % , на один процент изменения напряжения, не более, для счетчиков классов точности			
		0,2S	0,5S	1,0	2,0
$0,05 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1,0	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	-	-
$0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	0,5 инд.	$\pm 0,02$	$\pm 0,04$	-	-
$0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1,0	-	-	$\pm 0,07$	$\pm 0,1$
$0,2 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	0,5 инд.	-	-	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$

Коэффициент K_f (ГОСТ 30206-94, ГОСТ 30207-94).

Значение тока	Коэффициент мощности $\cos \phi$ ($\sin \phi$)	Допускаемый коэффициент K_f , % , на один процент изменения частоты, не более, для счетчиков классов точности			
		0,2S	0,5S	1,0	2,0
$0,05 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1,0	$\pm 0,02$	$\pm 0,04$	-	-
$0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	0,5 инд.	$\pm 0,02$	$\pm 0,04$	-	-
$0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	1,0	-	-	$\pm 0,16$	$\pm 0,26$
$0,2 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАХ}}$	0,5 инд.	-	-	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$

6.3.11 Электронные счетчики



Коэффициент K_t (ГОСТ 30206-94, ГОСТ 30207-94).

Значения тока	Коэффицие нт мощности	K_t , %/°C при классе точности счетчика:			
		0,2S	0,5S	1	2
$0,05 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАКС}}$	1	0,01	0,03	-	-
$0,01 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАКС}}$	0,5 инд.	0,02	0,05	-	-
$0,1 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАКС}}$	1	-	-	0,05	0,10
$0,2 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{МАКС}}$	0,5 инд.	-	-	0,07	0,15

6.3.12 Электронные счетчики



Предел допускаемой относительной погрешности электронного счетчика (ГОСТ 26035-83)

- При значении m от 0,01 до 0,2 формулой
$$\delta_{с.о} = \pm K \left(0,9 + \frac{0,02}{m} \right) \%$$
- При значении m от 0,2 включительно до значений, соответствующих максимальному току $I_{\text{макс}}$ в измерительной цепи счетчика.
$$\delta_{с.о} = \pm K \%$$

При значении m от 0,2 включительно до значений, соответствующих максимальному току $I_{\text{макс}}$ в измерительной цепи счетчика.

коэффициент $K = 0,2; 0,5; 1$ и 2 – число, соответствующее классу точности счетчика;

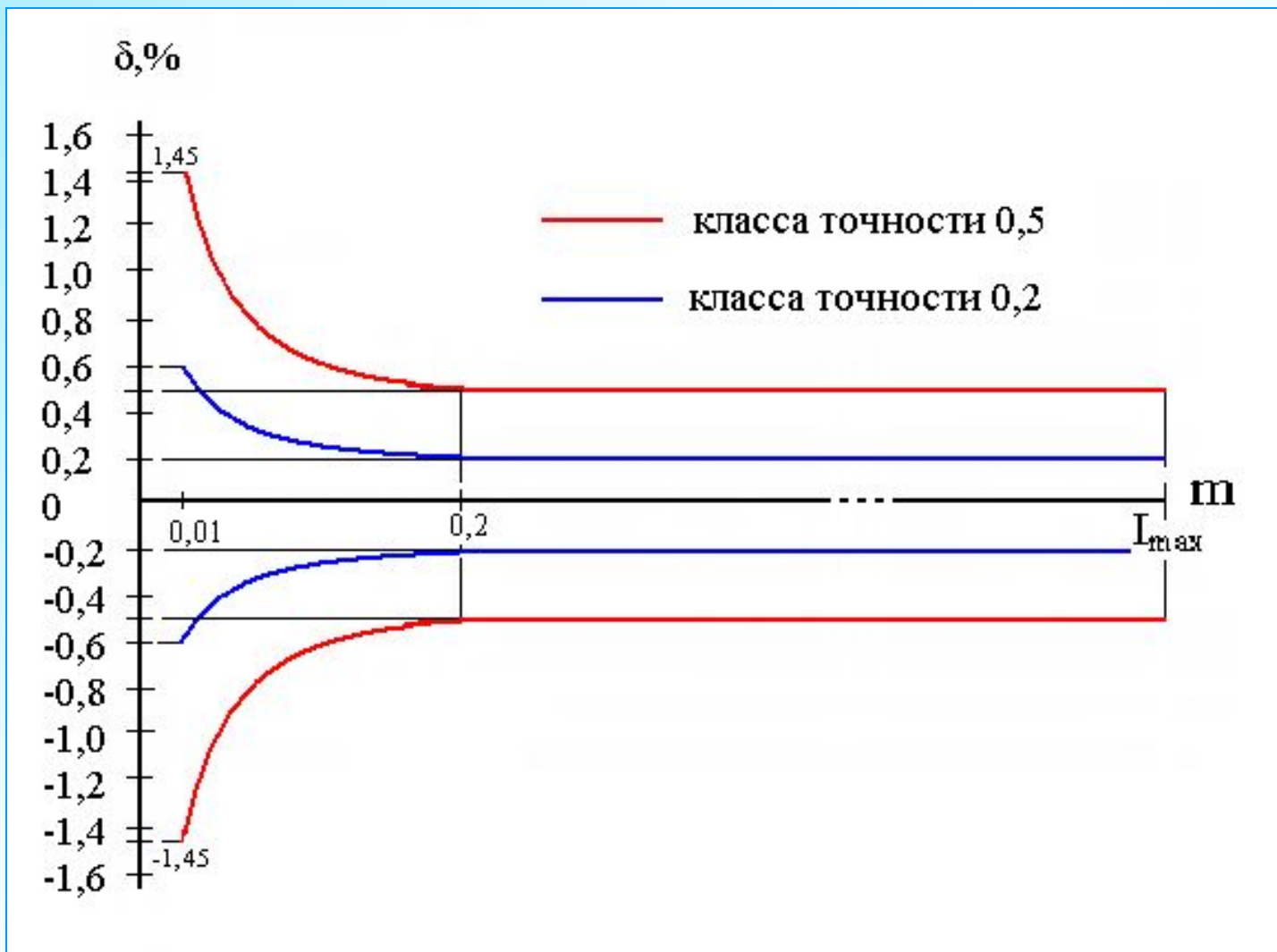
- Для счетчиков активной энергии:
$$m = \frac{U \cdot J \cdot \cos \varphi}{U_{\text{ном}} \cdot J_{\text{ном}}}$$

где U – значение напряжения измерительной цепи; J – значение силы тока;
 $U_{\text{ном}}, J_{\text{ном}}$ – номинальные значения соответственно напряжения и силы тока.

6.3.13 Электронные счетчики



Предел допускаемой относительной погрешности электронного счетчика (ГОСТ 26035-83)



6.3.14 Электронные счетчики



Предел допускаемой основной относительной погрешности счетчика нормируют для следующих информативных параметров входного сигнала:

- **сила тока – от 0,01 номинального тока до $I_{\text{макс}}$;**
- **напряжение – $(0,85-1,1)U_{\text{ном}}$;**
- **коэффициент мощности $\cos \phi$ (или $\sin \phi$) = 0,5 инд. – 1,0 – 0,5 емк.**



6.3.15 Электронные счетчики

**Пределы погрешности, выраженной в процентах
(для однофазных и многофазных счетчиков с симметричными
нагрузками)**

$U/U_{\text{НОМ}}$	$\cos \phi$ ($\sin \phi$)	$I/I_{\text{НОМ}}$	Пределы погрешности, % для счетчиков класса точности			
			0,2	0,5	1,0	2,0
1,0	1,0	0,01	0,58	1,45	2,9	5,8
		0,02	0,38	0,95	1,9	3,8
		0,05	0,26	0,65	1,3	2,6
		0,1	0,22	0,55	1,1	2,2
		0,2- $J_{\text{макс}}$	0,2	0,5	1,0	2,0
		0,5	0,01	не нормируют		
	0,02		0,58	1,45	2,9	5,8
	0,05		0,34	0,85	1,7	3,4
	0,1		0,26	0,65	1,3	2,6
	0,2		0,22	0,55	1,1	2,2
	0,4- $J_{\text{макс}}$		0,2	0,5	1,0	2,0

6.3.16 Электронные счетчики



Пределы погрешности, выраженной в процентах

(для однофазных и многофазных счетчиков с симметричными нагрузками)

$U/U_{\text{НОМ}}$	$\cos \phi$ ($\sin \phi$)	$I/I_{\text{НОМ}}$	Пределы погрешности, % для счетчиков класса точности			
			0,2	0,5	1,0	2,0
0,85	1,0	0,01	не нормируют			
		0,02	0,42	1,03	2,08	4,16
		0,05	0,27	0,68	1,37	2,74
		0,1	0,22	0,57	1,14	2,27
		0,2	0,2	0,51	1,02	2,04
		0,25- $J_{\text{макс}}$	0,2	0,5	1,0	2,0
0,85	0,5	0,01	не нормируют			
		0,025	0,56	1,39	2,78	5,56
		0,05	0,38	0,95	1,9	3,8
		0,1	0,27	0,68	1,37	2,74
		0,2	0,22	0,57	1,14	2,27
		0,4	0,2	0,51	1,02	2,04
		0,5- $J_{\text{макс}}$	0,2	0,5	1,0	2,0



6.3.17 Электронные счетчики

**Пределы погрешности, выраженной в процентах
(для однофазных и многофазных счетчиков с симметричными
нагрузками)**

$U/U_{\text{НОМ}}$	$\cos \phi$ ($\sin \phi$)	$I/I_{\text{НОМ}}$	Пределы погрешности, % для счетчиков класса точности			
			0,2	0,5	1,0	2,0
1,1	1,0	0,01	0,54	1,36	2,72	5,54
		0,02	0,36	0,9	1,81	3,62
		0,05	0,25	0,63	1,26	2,53
		0,1	0,22	0,53	1,08	2,16
		0,2-J _{макс}	0,2	0,5	1,0	2,0
	0,5	0,01	не нормируют			
		0,02	0,54	1,36	2,72	5,44
		0,05	0,32	0,81	1,63	3,25
		0,1	0,25	0,63	1,26	2,52
		0,2	0,22	0,53	1,08	2,16
		0,4-J _{макс}	0,2	0,5	1,0	2,0

6.4 Сравнение индукционных и электронных счетчиков.



1. По уровню погрешности:

- индукционные счетчики: класс точности 1; 2
- электронные счетчики: класс точности 2; 1; 0,5; 0.5S; 0,2; 0.2S

2. По диапазону измеряемых величин (N_{max}/N_{min} ; N - мощность):

- индукционные счетчики – порядка 100;
- электронные счетчики – порядка (1000-10000);

3. Порог трогания (чувствительности):

- индукционные счетчики – 30мА при $I_{ном}=5А$;
- электронные счетчики – 5мА при $I_{ном}=5А$;

4. Кратность ($I_{max}/I_{ном}$):

- индукционные счетчики – кратность 4;
- электронные счетчики - кратность 10 и выше;

5. Температурный диапазон:

- Электронные счетчики более устойчивы по температурному диапазону;
- У индукционных отрицательная погрешность при отрицательных температурах.

6. Потребление энергии:

индукционные счетчики потребляют больше энергии чем электронные счетчики.

7. Функциональные возможности счетчиков.

- индукционные счетчики практически не имеют функциональных возможностей, электроника с ними не совместима, связи с внешними устройствами они не имеют.
- электронные счетчики могут быть встроены в любую систему (есть системный выход), у некоторых есть системный выход через сеть. Могут: запоминать график нагрузок; легко реализуют многоставочный тариф; удобно реализовать защиту от хищений.

8. Цена:

индукционные счетчики стоят дешевле чем электронные.

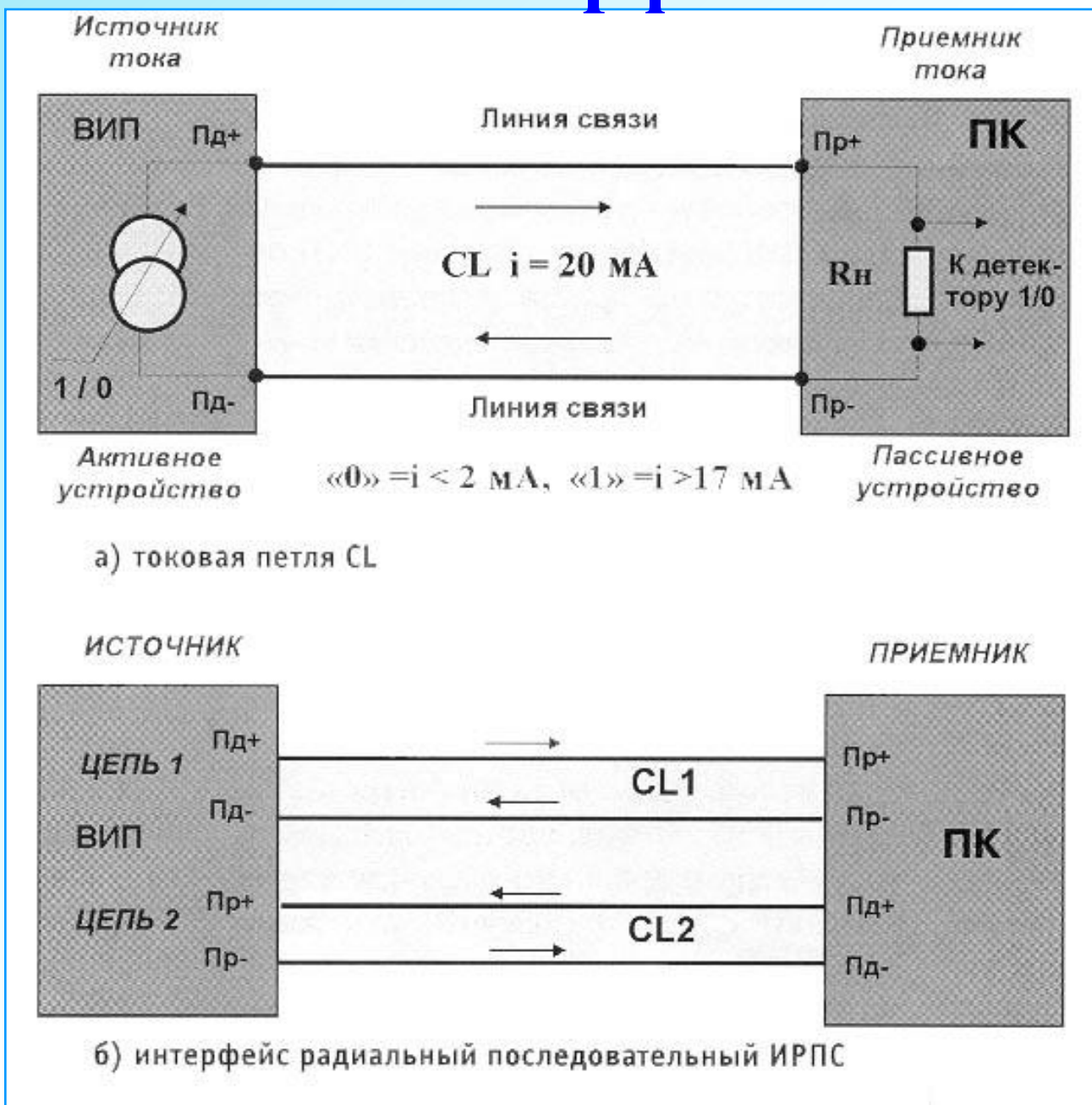


6.5.1 Интерфейсы

Информацию со счетчиков необходимо собрать. Для этого необходимо счетчик соединить или связать с компьютером. Но тянуть кабель на сотни метров - километры от каждого счетчика очень дорого. Поэтому, если несколько счетчиков установлены в одном месте, их подключают к одному кабелю, используя мультиплексор. Например, к мультиплексору можно подключить до 16 счетчиков, у которых есть цифровой интерфейс "ИРС-токовая петля". Такое соединение называется "точка-точка".

Кроме того, в настоящее время существуют различные беспроводные интерфейсы и интерфейс передачи информации по силовой сети

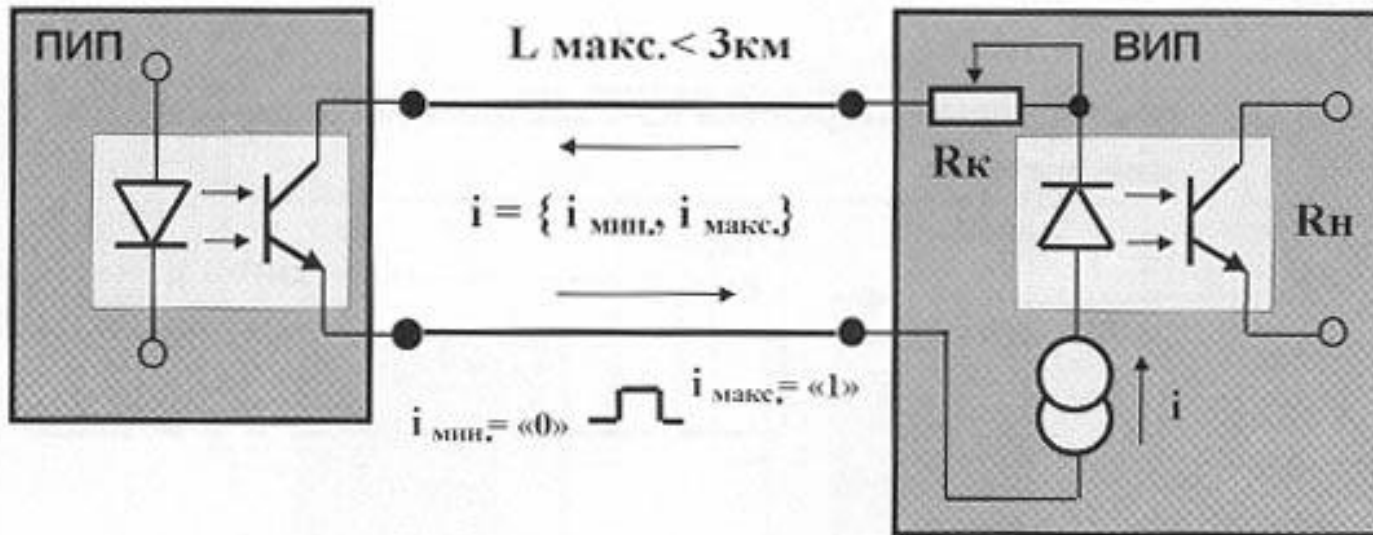
6.5.2 Интерфейсы



6.5.3 Интерфейсы



а) схема подключения датчика с токовым выходом



б) схема подключения датчика с числоимпульсным выходом

6.5.4 Интерфейсы



Но чаще сегодня используется интерфейс **RS-485**. Тянут один кабель-шину, на которую можно посадить до 32 счетчиков, так называемое соединение "точка - многоточка". При этом достигается существенная экономия на прокладке кабелей, увеличивается скорость передачи данных. Практика показала, что это хорошее помехозащищенное решение для промышленных предприятий.

6.5.5 Интерфейсы



Если счетчики стоят на далекой подстанции (несколько или более километров), то используют модем. Счетчики на подстанции подключаются к мультиплексу, а тот к модему и ближайшему телефону. Компьютер также подключается к модему, и с помощью специальной программы как бы звонит на счетчик и соединяется с ним. Телефон занят только в те несколько секунд, когда со счетчика скачивается информация. Кстати программа может и сама звонить ночью, а утром на компьютере уже будут готовы данные по всем счетчикам.

6.5.6 Интерфейсы



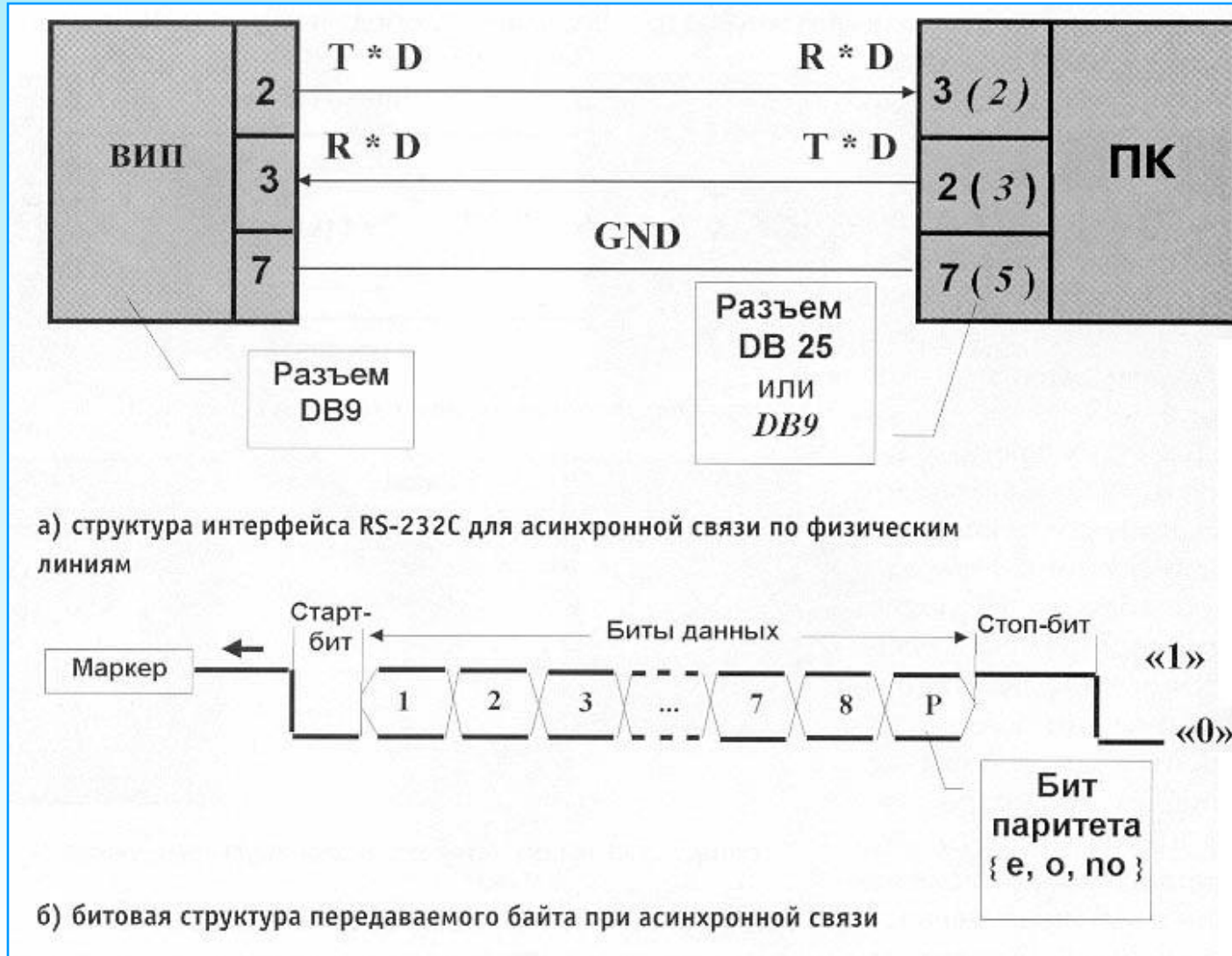
Интерфейс **RS-232** используется в случае установки одного счетчика на удаленной подстанции. По этому интерфейсу к нему можно подключить модем и осуществлять сбор информации с него по коммутируемому или выделенному каналу связи.

К счетчикам можно подключить не только телефонные, но и радиомодемы, или ВЧ модемы, или даже GSM-модем.



6.5.7 Интерфейсы

Интерфейс RS-232C

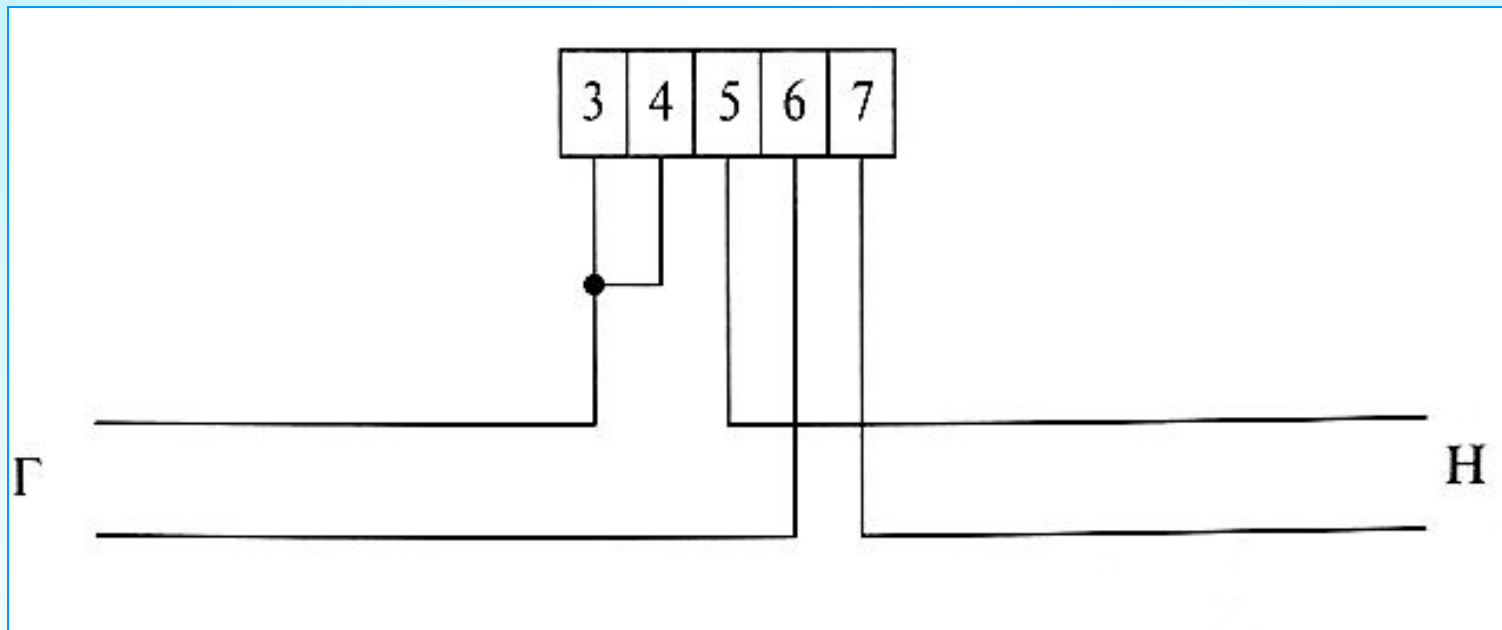




6.6.1 Схемы включения

Схема включения однофазных счетчиков в двухпроводную сеть (прямого включения по току и по напряжению).

Для счетчиков типа ЦЭ 6807В, ЦЭ 6827.

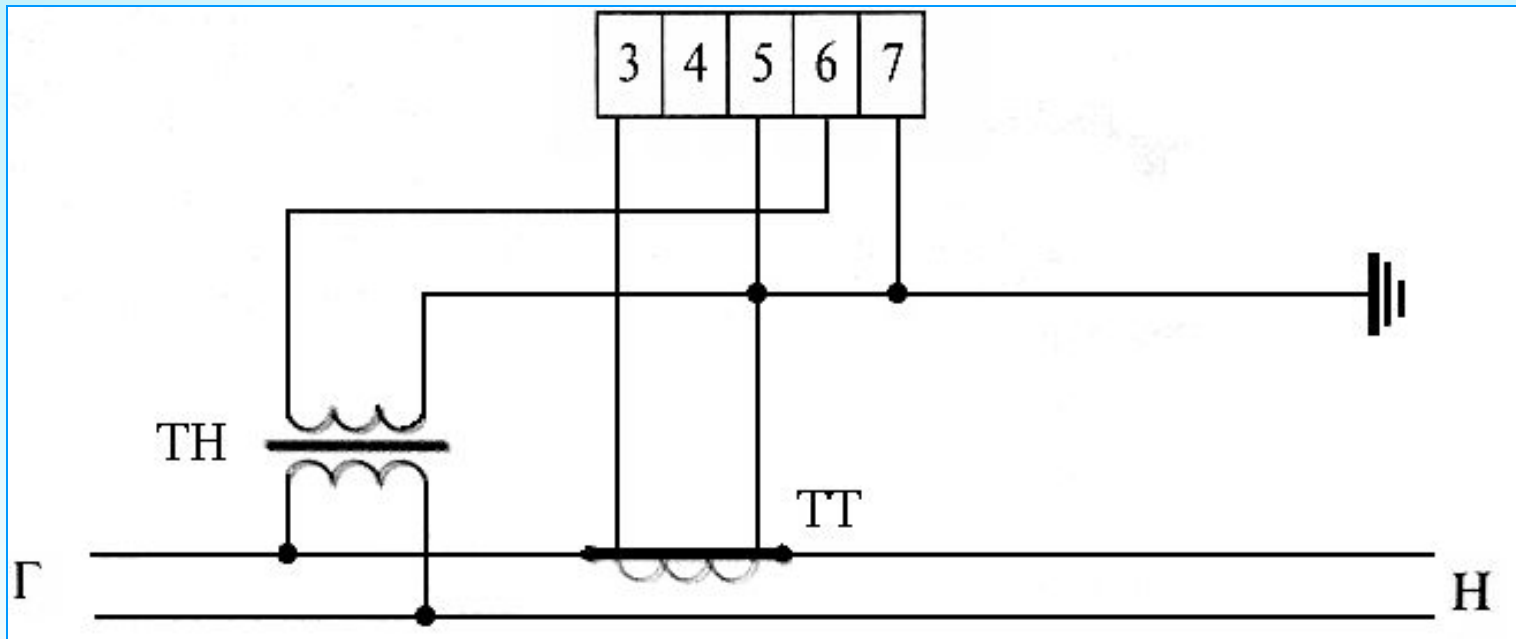




6.6.2 Схемы включения

Схема включения однофазных счетчиков в двухпроводную сеть (трансформаторного включения по току и по напряжению)

Для счетчиков типа ЦЭ 6807В (100 В, 1-1,5 или 5-7,5 А).

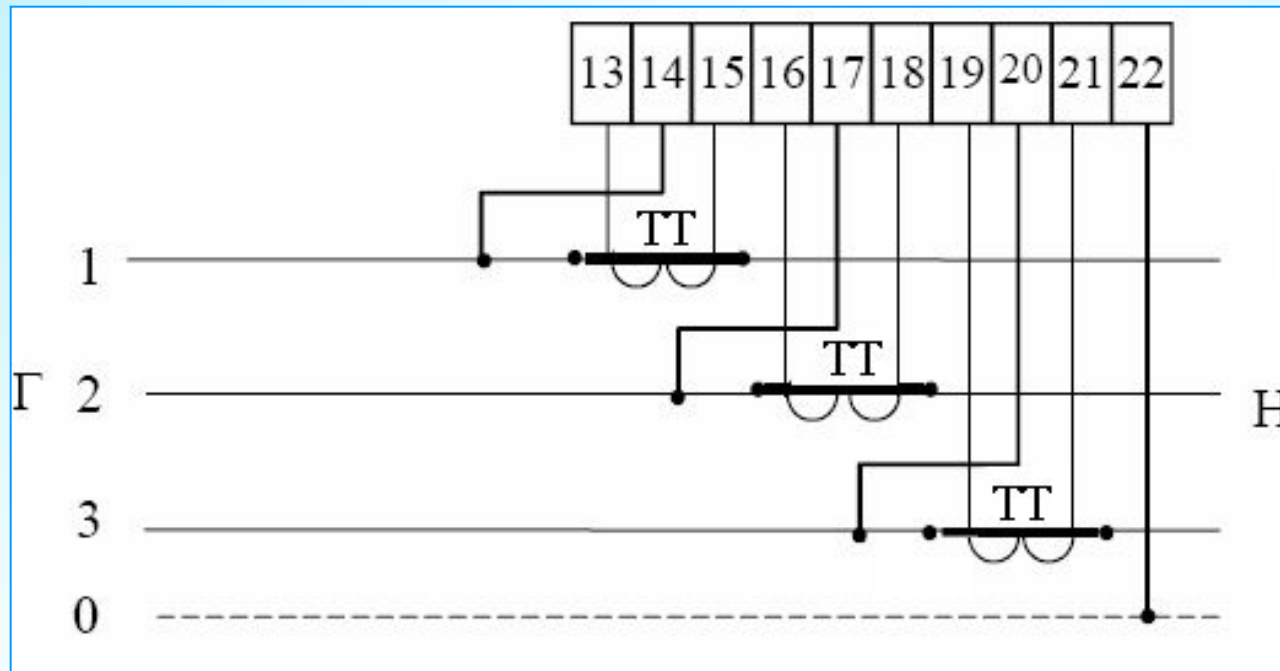




6.6.3 СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

Схема включения трехэлементных счетчиков в трехпроводную или четырехпроводную сеть (по напряжению – прямого включения, по току – трансформаторное).

Для счетчиков типа ЦЭ 6823, ЦЭ 6803В, ЦЭ 6801Н.



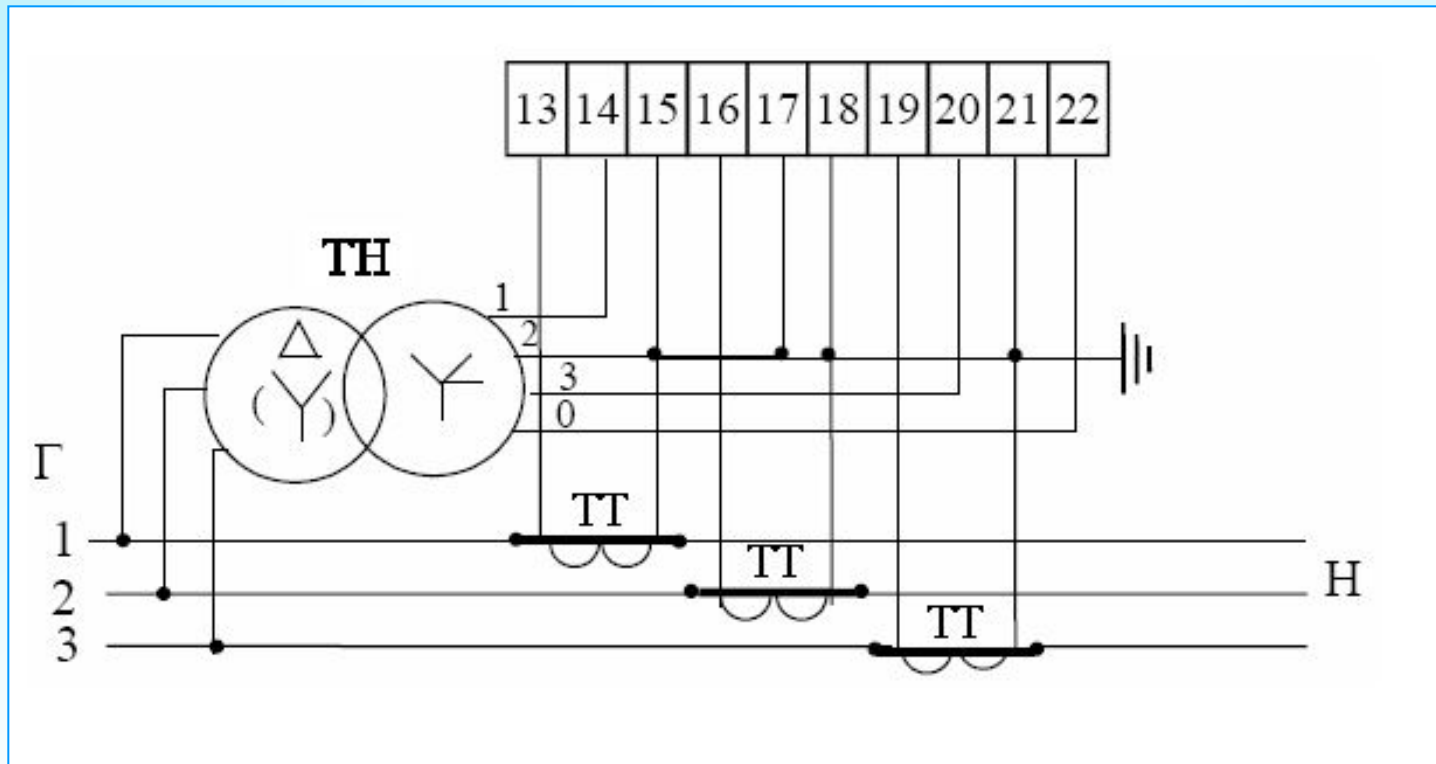
В трехпроводных сетях "нулевой" провод к зажиму 22 допускается не подключать



6.6.4 СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

Схема включения трехэлементных счетчиков в трехпроводную или четырехпроводную сеть (трансформаторное по току и по напряжению).

Для счетчиков типа ЦЭ 6823, ЦЭ 6803В, ЦЭ 6805В, ЦЭ 6808В, Ф 68700В, ЦЭ 6811, ЦЭ 6801.

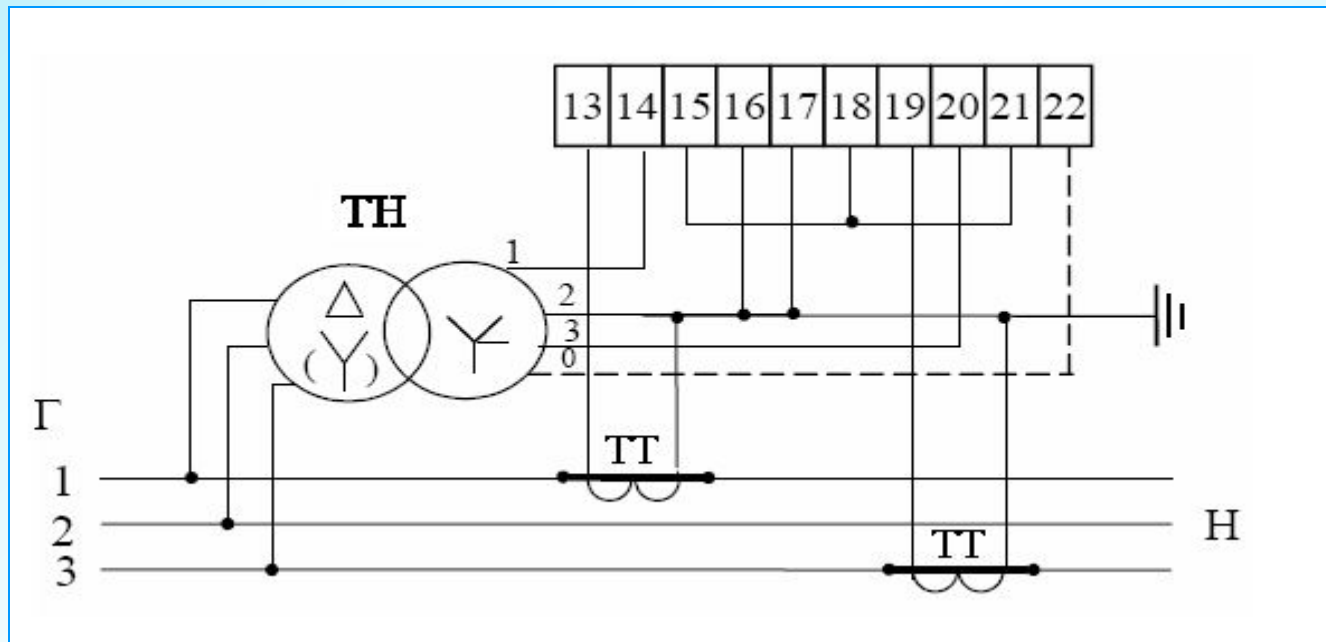




6.6.5 Схемы включения

Схема включения двухэлементных счетчиков в трехпроводную сеть (трансформаторное по току и по напряжению).

Для счетчиков типа ЦЭ 6823, ЦЭ 6803В, ЦЭ 6805В, Ф 68700В, ЦЭ 6811, ЦЭ 6801.



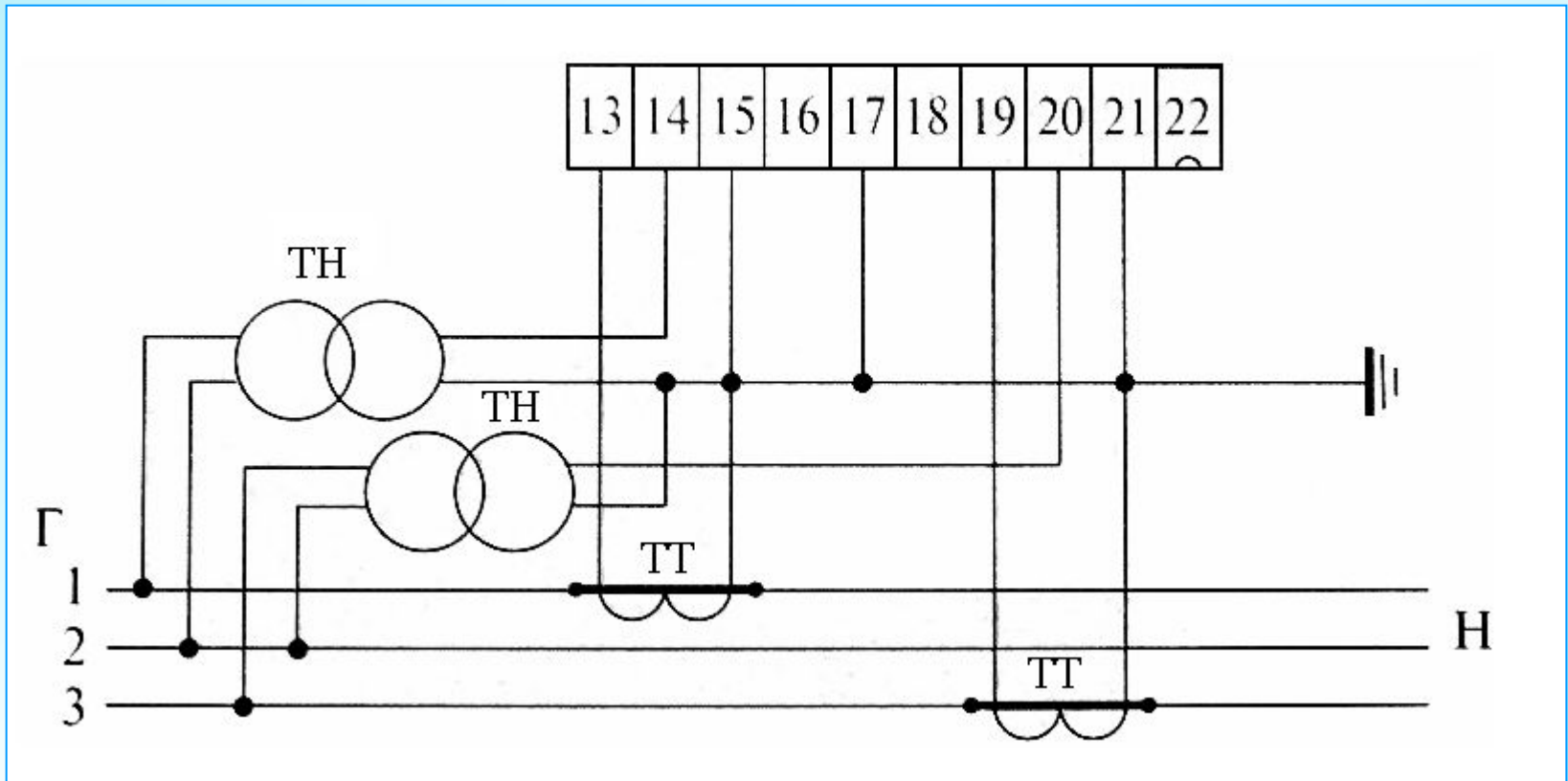
В трехпроводных сетях "нулевой" провод к зажиму 22 допускается не подключать



6.6.6 Схемы включения

Схема включения двухэлементных счетчиков в трехпроводную сеть (трансформаторное по току и по напряжению).

Для счетчиков типа ЦЭ 6823, ЦЭ 6803В, ЦЭ 6805В, Ф 68700В, ЦЭ 6811, ЦЭ 6801.

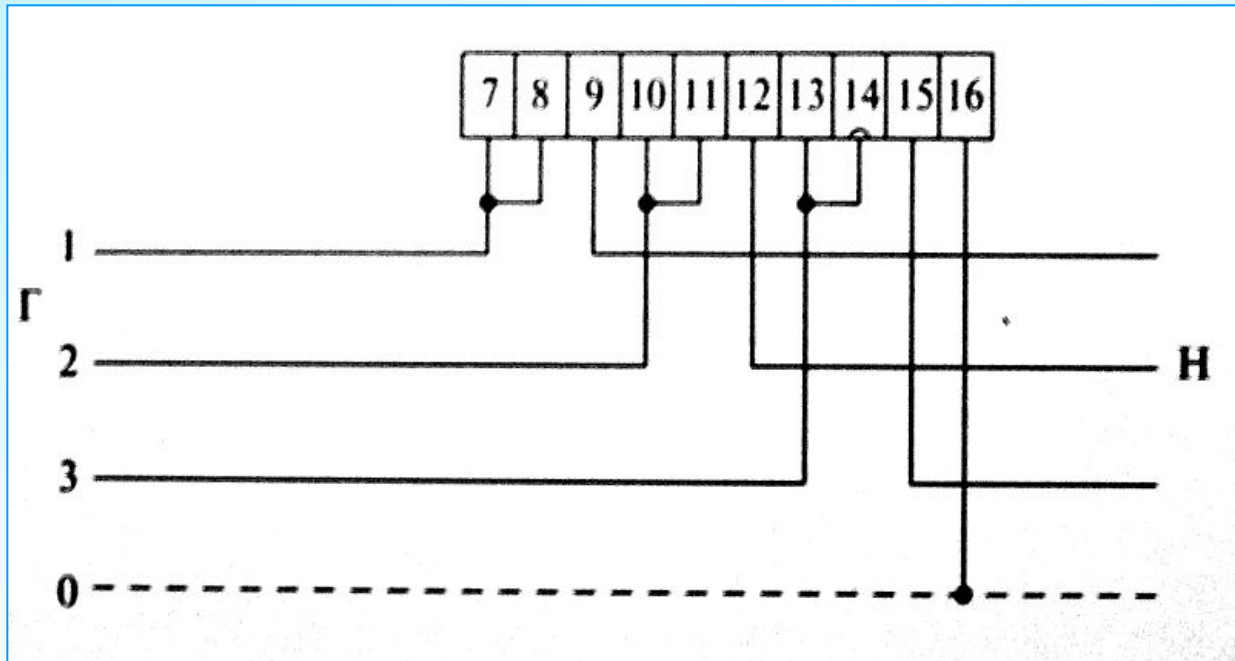




6.6.7 Схемы включения

Схема включения трехэлементных счетчиков в трехпроводную или четырехпроводную сеть (прямое включение).

Для счетчиков типа ЦЭ 6822, ЦЭ 6803В.

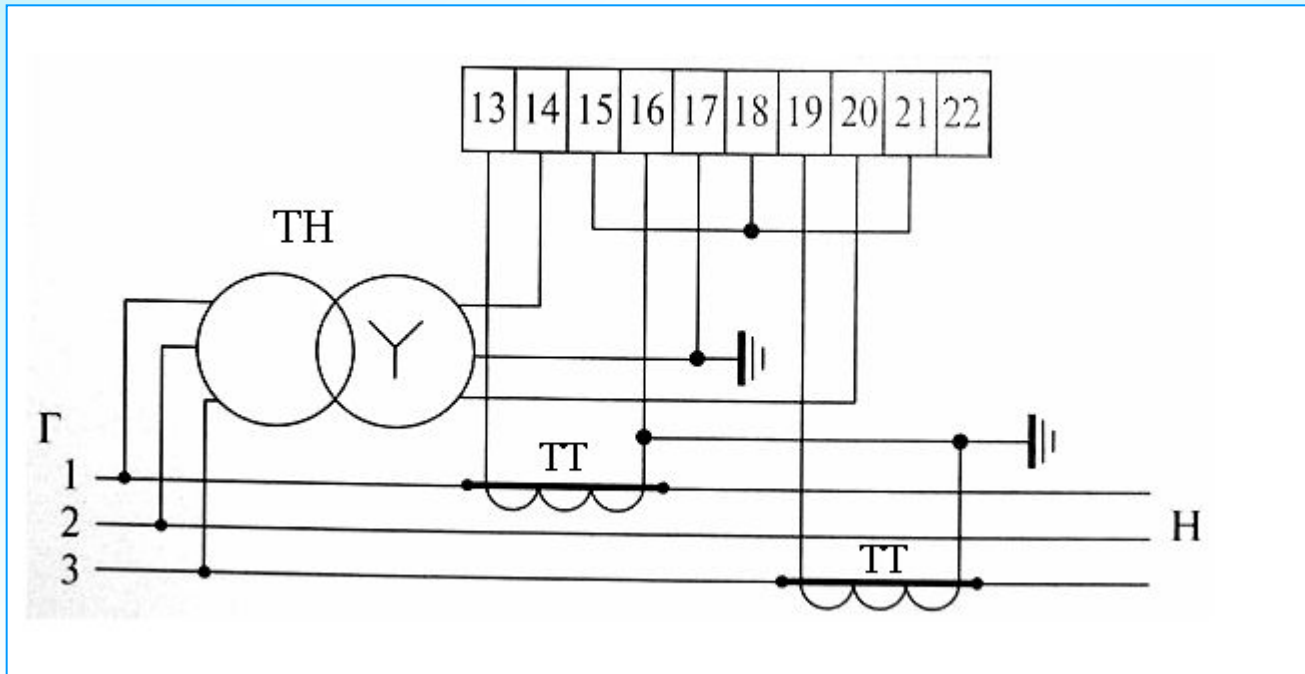




6.6.8 СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

Схема трансформаторного включения трехэлементных счетчиков в сеть с двумя трансформаторами тока (при симметричной нагрузке).

Для счетчиков типа ЦЭ 6823, ЦЭ 6803В, ЦЭ 6805В, ЦЭ 6808В, Ф 68700В, ЦЭ 6811, ЦЭ 6801.



6.7.1 Сравнительная таблица счетчиков



№ п/п	Наименование параметра	Альфа Плюс	ЦЭ 6850М	SL 7000	СТС 5605	ION 8300	Меркурий 230	СЭТ-4Т М.02.2	EPQS
1	$U_{НОМ}$, В; $I_{НОМ}$ (макс), А	$U=100,2$ $20,380$ В $I=1\text{мА} \div$ 10А	$U=57,7,$ 220 В $I=1;5\text{А}$	$U=3*57,$ $7/100 \pm 3$ $*240/41$ 5 В $I=1\text{мА} \div$ 10А	$U=3*57,$ $7/100 \pm 3$ $*220/38$ 0 В $I=1\text{А};5(6)$ $)\text{А}$	$U=3*57,$ $7...277$ В $I=5(20)\text{А}$	$U=3*57,$ $7/100$ В $I=5(7,5)$ А	$U=3*57,$ $7(100\text{В}3$ $*120..23$ $0/208...400\text{В}$ $I=1(1,5)$ $\text{А};5(7,5)$ А	$U=3*5$ $7,7...2$ $30\text{В}/10$ $0...400$ В $I=1\text{А};5$ А
2	Рабочий диапазон температур, °С	-40+60	-40+55	-40+70	-40+70	-40+80	-20+55	-40+55	-25+55

6.7.2 Сравнительная таблица счетчиков



№п/п	Наименование параметра	Альфа Плюс	ЦЭ 6850М	SL 7000	СТС 5605	ION 8300	Меркурий 230	СЭТ-4Т М.02.2	EPQS
3	Вид интерфейса связи; Скорость обмена информацией, бод	-По оптическому порту (RS232-1200),9600 -по интерфейсу RS485:2400-19200 -по интерфейсу токовая петля-300-9600	-оптопорт -GSM-модем -RS 485 или RS 232 - Modbus -токовая петля	-RS485 -RS232D - оптически й интерфейс ; 300-9200, программируется	- RS 485 или RS 232 - оптический порт; 300-9600	-оптопорт -порт Ethernet -встроенный модем -синхронизация времени с GPS -2 порта RS 485, один переключается в режим RS 232 -поддержка протоколов ION, Modbus и др; До 57600 по RS 485	-передача результатов измерений по цифровому и оптическому интерфейсам; 300-9600	- RS 485 - оптический порт; 1200-9600	-цифровой интерфейс связи, -оптический интерфейс -токовая петля; До 9600
4	Защита коммерческой информации	-пароль -аппаратная блокировка -пломбирование	-пароль -пломбирование	-4 уровня доступа -пломбирование	-3х-уровневый пароль -аппаратная блокировка -пломбирование	-пароль -аппаратная блокировка -пломбирование	-3 уровня доступа -пломбирование	-3х-уровневый пароль -аппаратная блокировка -пломбирование -запись в лог-файл событий	-3х-уровневый пароль -аппаратная блокировка -пломбирование -запись в лог-файл событий

6.7.3 Сравнительная таблица счетчиков



№ п/п	Наименование параметра	Альфа Плюс	ЦЭ 6850М	SL 7000	СТС 5605	ION 8300	Меркурий 230	СЭТ-4ТМ .02.2	EPQS
5	Журнал событий	До 255 случаев	100 последних корректировок времени, изменения уставок тарифных зон и перепрограммирования метрологических характеристик, 100 пропаданий фазных напряжений	До 500 случаев (отключение питания, корректировка времени и сбросов максимальной мощности)	До 32 последних отключений электропитания с указанием даты и времени события	запись формы сигнала переходных процессов; последовательности событий и минимумов/максимумов; запись данных до 640 параметров	не указано	Указывается время и род событий; значений фазных напряжений и частоты сети.	8192 последних событий
6	Сохранность данных	до 3 лет	10 лет	10 лет	До 20 лет	энергонезависимая память, хранение до 16 параметров в каждом из 2÷40 независимых регистраторов 9,5 лет	Энергонезависимая память	Энергонезависимая память	До 5 лет

6.7.4 Сравнительная таблица счетчиков



№ п/п	Наименование параметра	Альфа Плюс	ЦЭ 6850М	SL 7000	СТС 5605	ION 8300	Меркурий 230	СЭТ-4ТМ. 02.2	EPQS
7	Точность хода часов, сек в сутки	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±2,0	±5,0	не указано	не указано
8	Соответствие стандартам	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92)	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92), ГОСТ 30207-94	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92), ГОСТ 30207-94	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92), ГОСТ 26035-83	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92)	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92) ГОСТ 26035-83	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92) ГОСТ 26035-83	ГОСТ 30206-94 (МЭК 6068-92)
9	Самодиагностика счетчика	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	не указано	не указано	Есть
10	Резервное питание, В	220/110, переменный ток	12, постоянный ток	48 постоянный ток; 57-415 переменный ток	48-380 (постоянный/переменный ток)	имеется	5,5÷9	не указано	литиевая батарея

6.7.5 Сравнительная таблица счетчиков



№ п/п	Наименование параметра	Альфа Плюс	ЦЭ 6850М	SL 7000	СТС 5605	ION 8300	Меркурий 230	СЭТ-4Т М.02.2	EPQS
11	Дополнительные входы и выходы	-RS485 -токовая петля	-RS485 -RS232 - оптически порт -токовая петля	-4 управляющих выводов и 2 ввода -6 импульсных телеметрических выводов и 4 входа -клеммы резервного питания	- телеметрический выход -до 6 управляющих входов -токовая петля - волоконнооптический выход	-8 дискретных входов для контроля состояния/подсчета числа импульсов -4 аналоговых выводов -8 релейных выводов для управления/формирования импульсов	-до 4-х импульсных выходов основного передающего устройства	-4 телеметрических выходов	-RS485 или RS232 -токовая петля
12	Гарантийный срок эксплуатации	3 года	3 года	не указано	18 месяцев	3 года	3 года	3 года	не указано
13	Срок службы; средняя наработка на отказ	30 лет	30 года; 120000 час	не указано	30 лет; 100000 час	16 лет; 90000 час	30лет; 55000 час	30 лет; 55000 час	не указано



6.7.6 Сравнительная таблица счетчиков

№ п/п	Наименование параметра	Альфа Плюс	ЦЭ 6850М	SL 7000	СТС 5605	ION 8300	Меркурий 230	СЭТ-4ТМ. 02.2	EPQS
14	Межповерочный интервал	8 лет	8 лет	не указано	10 лет	10 лет	8 лет	10 лет	не указано
15	схемы включений	3х-проводное, 4х-проводное	3х-проводное, 4х-проводное	3х-проводное, 4х-проводное	3х-проводное, 4х-проводное	3х-проводное, 4х-проводное	3х-проводное, 4х-проводное	3х-проводное, 4х-проводное	3х-проводное, 4х-проводное
16	класс точности	0,2s/0,5s	0,2s/0,5s/1,0	0,2s/0,5s/1,0	Активная-0,2s;0,5s; реактивная -0,5;1,0;2,0	0,2	0,5;1,0	0,2s/0,5s	0,5s
17	Ориентировочная стоимость, руб.	36400	17100	21900	30000	50000	16500	15600	18200