

УДК 621.317

Д. Н. КАЛЮЖНЫЙ (канд. техн. наук, доц.)
Харьковская национальная академия городского хозяйства
KalvuzhniyDN@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ЗАВИСИМЫМИ ТОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ

В статье рассмотрен вопрос определения схем включения трех- и двухэлементных счетчиков электрической энергии с зависимыми токовыми цепями. Определены области однозначного решения данной задачи в условиях несимметрии напряжений и токов, а также случайного изменения характера нагрузки. Предложен способ раскрытия неопределенности определения схем включения счетчиков электрической энергии, обусловленной описанием одной векторной диаграммой нескольких различных схем их включения.

Ключевые слова: схема включения, счетчик электрической энергии, векторная диаграмма, вторичные измерительные цепи, несимметрия напряжений, несимметрия токов.

Постановка проблемы. Одной из наиболее актуальных проблем современной электроэнергетики является проблема энергосбережения, которая включает задачи разработки и совершенствования не только технических и организационных мероприятий по снижению её потребления и уменьшению потерь, но и мероприятий по совершенствованию систем расчетного и технического учета электрической энергии (ЭЭ) [1]. В рамках последней задачи особое место занимает вопрос выявления ошибок и несоответствий в схемах включения счетчиков ЭЭ.

Анализ предыдущих исследований и публикаций. Традиционно решение вопроса определения схем включения (ОСВ) счетчиков ЭЭ основывается на анализе векторных диаграмм токов и напряжений, которые непосредственно измеряются средством учета ЭЭ или снимаются с помощью вольт-ампер-фазометров на их клеммах [2, 3].

Данная методика ОСВ реализована в большинстве современных средств учета ЭЭ. Идентификация ими только фактов отсутствия тока или напряжения, обратного чередования фаз, несоответствия напряжений своим токам без определения действительной схемы включения не позволяет говорить о полном и эффективном решении данной задачи [2]. Это подтверждается практикой, где принятие решения о схеме включения средства учета ЭЭ возлагается на человека.

Анализ существующих методов ОСВ счетчиков ЭЭ позволил выявить наиболее существенные факторы, влияющие на эффективность решения данной задачи [3–5]. К ним относятся несимметрия напряжений и токов, а также случайный характер нагрузки, определяемый коэффициентом активной мощности $\cos \varphi_{нагр}$ или её углом $\varphi_{нагр}$. Помимо указанных факторов, для схем включения счетчиков ЭЭ с зависимыми токовыми цепями (десяти- и шестипроводная схемы включения для трех- и двухэлементного учета ЭЭ соответственно) возникает неопределенность решения задачи ОСВ, обусловленная зависимостью протекающих во вторичных цепях токов от их соединения.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу ОСВ счетчиков ЭЭ с зависимыми токовыми цепями с учетом несимметрии параметров режима работы сети, случайного характера нагрузки и ограничений по схемам включения, исключающих маловероятные случаи.

Изложение основного материала. Одной из разновидностей схем включения счетчиков ЭЭ, осуществляющих учет как по трех-, так и двухэлементной схемам измерения активной мощности, являются схемы с зависимыми токовыми цепями, где передача токов по вторичным цепям осуществляется не отдельными парами проводов, а связанной системой из четырех и трех проводов соответственно (рис. 1). Для такого соединения вторичных цепей количество геометрически различных схем включения счетчиков ЭЭ отдельно по цепям тока аналогично случаю их включения по цепям напряжения [6]. Таким образом, трехэлементный счетчик ЭЭ с зависимыми токовыми цепями при исключении маловероятных способов его включения, к которым относятся повреждение или шунтирование двух и более измерительных каналов, а также подключение одноименных электрических величин к различным входам счетчика ЭЭ, может быть подключен отдельно по токовым цепям 40 геометрически различными комбинациями. Двухэлементный счетчик – восемь геометрически различными способами. Количество геометрически различных способов включения счетчиков ЭЭ совместно по цепям напряжения и тока при условии правильного их включения по этим цепям определяется шестью комбинациями.

Расчет всех схем включения счетчиков ЭЭ отдельно по токовым цепям показал, что для трехэлементного учета ЭЭ 40 геометрически различных способов их включения при условии правильного соединения трансформаторов тока (ТТ) и измерительных элементов (ИЭ) характеризуются только восемью различными

векторными диаграммами (табл. 1), а для двухэлементного учета – восемь геометрически различных схем их включения характеризуются только пятью векторными диаграммами (табл. 2) [7]. Обращает на себя внимание тот факт, что для трехэлементного учета ЭЭ каждая векторная диаграмма токов описывает группу из пяти различных схем включения, а для двухэлементного учета ЭЭ – только три различных векторных диаграммы характеризуют группы с различными схемами включения. Таким образом, при решении задачи ОСВ счетчиков ЭЭ с зависимыми токовыми цепями возникает неопределенность, которая обусловлена описанием одной векторной диаграммой токов нескольких различных схем их включения. Ее раскрытие возможно путем проведения дополнительных измерений. Проведенный анализ показал, что при выполнении дополнительных измерений с одним зашунтированным или восстановленным токовым каналом (ТК) возможна однозначная идентификация схем включения счетчиков ЭЭ [7].

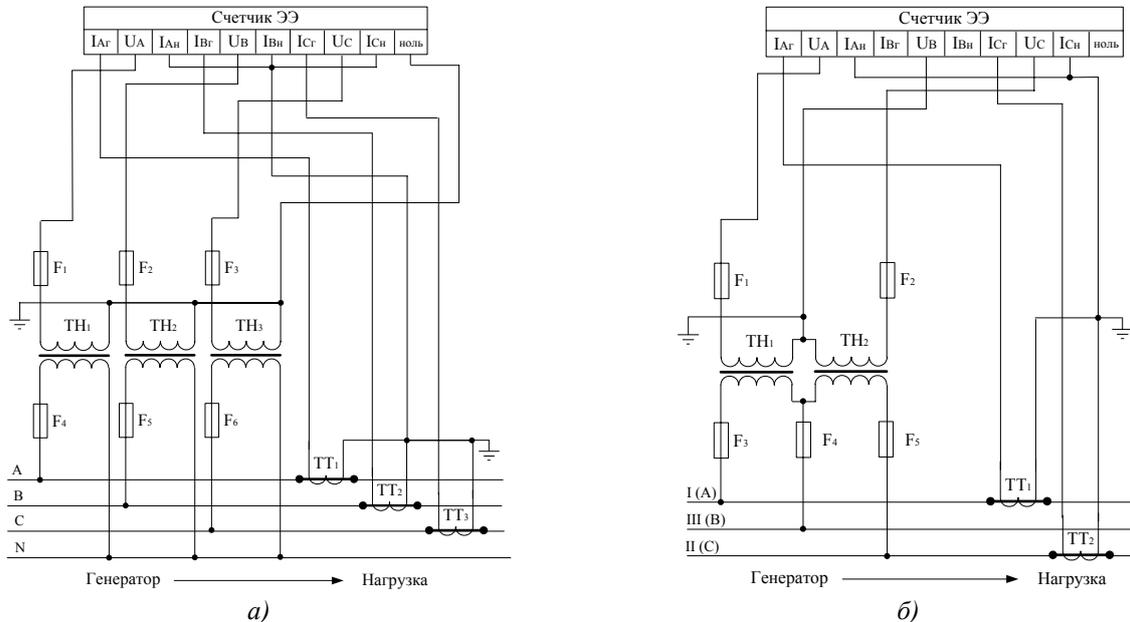


Рисунок 1 – Схемы включения счетчиков ЭЭ с зависимыми токовыми цепями:
а) трехэлементного; б) двухэлементного

Таблица 1 – Векторные диаграммы схем включения трехэлементного счетчика ЭЭ

Группа	Векторная диаграмма	Группа	Векторная диаграмма	Группа	Векторная диаграмма
I		IV		VII	
II		V		VIII	
III		VI			

Примечание. I_A, I_B, I_C и $I_{0'}$ – токи ТК, подключаемые соответственно к ИЭ фаз А, В, С и общей их точке.

Таблица 2 – Векторные диаграммы схем включения двухэлементного счетчика ЭЭ

Группа	Векторная диаграмма	Группа	Векторная диаграмма	Группа	Векторная диаграмма
I		III		V	
II		IV			

Примечание. I_I , I_{II} и I_0 – токи ТК, подключаемые соответственно к I-му, II-му ИЭ и общей их точке.

Рассмотрим вопрос однозначного ОСВ счетчика ЭЭ при наличии несимметрии напряжений и токов. Из анализа векторных диаграмм токов следует, что для однозначного определения группы схем включения трехэлементного счетчика ЭЭ необходимо, чтобы фазные токи не отклонялись от своих симметричных положений более чем на 60° , а ток в нулевом проводе, равный утроенному значению тока нулевой последовательности, не превышал фазных. Эти условия могут быть математически выражены через коэффициенты несимметрии токов следующим образом [7]:

$$\begin{cases} K_{2I} + 2K_{0I} < \sin(30); \\ 4K_{0I} + K_{2I} < 1, \end{cases}$$

где $K_{2I} = I_2/I_1$ и $K_{0I} = I_0/I_1$ – коэффициенты несимметрии токов по обратной и нулевой последовательностям в о.е., определяемые отношением токов обратной и прямой, а также нулевой и прямой последовательностей соответственно.

Из них первое условие является более строгим, и, соответственно, оно будет определять допустимый уровень несимметрии токов, ограничивающей область однозначного решения рассматриваемой задачи.

При учете возможного встречного включения ИЭ счетчика ЭЭ допустимая несимметрия токов должна удовлетворять следующему неравенству [7]:

$$K_{2I} + K_{0I} < \sin(15).$$

Для двухэлементного учета ЭЭ допустимая несимметрия токов ограничена следующим неравенством:

$$K_{2I} < \sin(30).$$

При учете возможного встречного включения ИЭ счетчика ЭЭ:

$$K_{2I} < \sin(15).$$

Определение схем включения отдельно по цепям напряжения производится аналогично случаю включения счетчиков ЭЭ по независимым токовым цепям [8, 9]. При этом предельная несимметрия напряжений, при которой возможно однозначное решение этой задачи, ограничивается следующими неравенствами:

– для трехэлементного учета:

$$K_{2U} + K_{0U} < \sin \left[15 - \arcsin \left(K_{2U} \right) \right];$$

– для двухэлементного учета:

$$K_{2U} < 1/4,$$

где $K_{2U} = U_2/U_1$ и $K_{0U} = U_0/U_1$ – коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям в о.е., определяемые отношением напряжений обратной и прямой, а также нулевой и прямой последовательностей соответственно.

При определении схемы включения счетчика ЭЭ совместно по цепям напряжения и зависимым цепям тока следует учитывать характер нагрузки, который может быть выражен через $\cos \varphi_{нагр}$ или $\varphi_{нагр}$ [10]. С учетом несимметрии напряжений и токов, а также случайного изменения характера нагрузки условие, ограничивающее область однозначного решения данной задачи, может быть выражено через отклонение угла $\varphi_{нагр}$ от среднего значения следующим образом [7]:

– для трехэлементного учета:

$$\Delta \varphi_{нагр} < \left[30 - \arcsin \left(2 K_{0U}^* + K_{2U}^* \right) - \arcsin \left(2 K_{0I}^* + K_{2I}^* \right) \right];$$

– для двухэлементного учета:

$$\Delta \varphi_{нагр} < \left[30 - \arcsin \left(K_{2U}^* \right) - \arcsin \left(K_{2I}^* \right) \right].$$

Кроме этого, величина $\Delta \varphi_{нагр}$ дополнительно определяет вероятность точного решения задачи ОСВ счетчиков ЭЭ [10], которую можно выразить следующим образом:

$$P \left(\left| \varphi_{нагр} - \varphi_{нагр}^{cp} \right| < \Delta \varphi_{нагр} \right),$$

где $\varphi_{нагр}^{cp}$ – среднее значение случайной величины $\varphi_{нагр}$.

Выводы. 1. На однозначное решение задачи ОСВ счетчиков ЭЭ оказывают влияние несимметрия токов и напряжений, а также случайный характер изменения угла нагрузки.

2. При ОСВ счетчиков ЭЭ с зависимыми токовыми цепями имеет место неопределенность, обусловленная описанием нескольких различных схем их включения одной векторной диаграммой токов.

3. Неопределенность, обусловленная описанием одной векторной диаграммой токов нескольких различных схем включения счетчиков ЭЭ, может быть раскрыта путем проведения дополнительных измерений.

4. Точность решения задачи ОСВ счетчиков ЭЭ дополнительно характеризуется вероятностью, которая обусловлена случайным характером изменения угла нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воротницкий В. Э. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций / В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина, В. Н. Апраткин // Энергосбережение. – 2000. – № 3. – С. 36–39.
2. Схемы включения счетчиков электрической энергии: практическое пособие / Авт.-сост. В. А. Рошин ; под ред. Я. Т. Загорского. М. : Изд-во НЦ НАС.- 2006. – 64 с.
3. Вострокнутов Н. Г. Электрические счетчики и их эксплуатация / Н. Г. Вострокнутов. 6-е изд., перераб. М. – Л. : Госэнергоиздат.- 1959. – 279 с.
4. Труб И. И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках / И. И. Труб. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат.- 1983. – 80 с.
5. Гриб О. Г. Анализ ошибок подключения трехфазных контрольно-измерительных приборов / О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович, П. Г. Сендерович // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (20) – С. 160–164.
6. Калюжный Д. Н. Анализ схем подключения счетчиков электрической энергии / Д. Н. Калюжный // Світлотехніка та електроенергетика. – 2007. – Вип. 3–4. – С. 58–63.
7. Калюжный Д. Н. Определение действительного электропотребления и схем включения счетчиков электрической энергии с учетом ее качества / Д. Н. Калюжный. Х.: «Форт».- 2013. – 268 с.
8. Калюжный Д. Н. Определение схемы подключения трехэлементного счетчика электроэнергии по цепям напряжения в условиях несимметрии напряжений / Д. Н. Калюжный // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – № 18. – Ч. II. – С. 114–118.
9. Калюжный Д. Н. Определение схемы включения двухэлементного счетчика по цепям напряжения с учетом качества электрической энергии / Д. Н. Калюжный // Энергосбережение Энергетика Энергоаудит. – 2009. – № 8 (66). – С. 21–29.
10. Калюжный Д. Н. Определение схем включения счетчиков совместно по цепям тока и напряжения с учетом качества электрической энергии / Д. Н. Калюжный // Энергосбережение Энергетика Энергоаудит. – 2010. – № 7 (77). – С. 13–19.

REFERENCES

1. Vorotnitsky V.E., Kalinkina M.A., Apryatkin V.N. Measures to reduce energy losses in electric networks of power suppliers. *Energoberezhnie*. 2000; 3: 36–39.
2. Roshchin V.A. *Shemy vklyucheniya schetchikov elektricheskoy energii: prakticheskoe posobie* [Circuit connecting power meters: a practical guide]. Moscow: NC ENAS, 2006. 64 p.
3. Vostroknutov N.G. *Elektricheskie schetchiki i ih ekspluatatsiya* [Electric meters and exploitation]. Moscow – Leningrad: Gosenergoizdat, 1959. 279 p.
4. Trub I.I. *Obsluzhivanie induktsionnykh schetchikov i tsepey ucheta v elektroustanovkakh* [Service induction meters and accounting in electrical circuits]. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 80 p.
5. Grib O.G., Senderovich G.A., Senderovich P.G. Error analysis of three-phase connection of instrumentation. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy*. 2006; 2/2(20): 160–164.
6. Kalyuzhniy D.N. Analysis of the circuit connecting of power meters. *Svitlotehnika ta elektroenergetika*. 2007; 3–4: 58–63.
7. Kalyuzhniy D.N. Identification of the actual power consumption and circuit connecting of power meters with considering power quality [Opredelenie realnogo elektropotrebleniya i skhem vklyucheniya schetchikov elektricheskoy energii s uchedom ee kachestva]. Kharkiv: «Fort», 2013. 268 p.
8. Kalyuzhniy D.N. Identification of the three-element power meter circuit connecting for voltage circuits under asymmetry voltage. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu*. 2008; 18: 114–118.
9. Kalyuzhniy D.N. Identification of two-element power meter circuit connecting for voltage circuits with considering power quality. *Energoberezhnie Energetika Energoaudit*. 2009; 8(66): 21–29.
10. Kalyuzhniy D.N. Identification power meter circuit connecting together for voltage and current circuits with considering power quality. *Energoberezhnie Energetika Energoaudit*. 2010; 7(77): 13–19.

Д. М. КАЛЮЖНИЙ

Харківська національна академія міського господарства

Визначення схем включення лічильників електричної енергії із залежними ланцюгами струму. У статті розглянуто питання визначення схем включення трьох- і двоелементних лічильників електричної енергії із залежними струмовими ланцюгами. Визначено області однозначного розв'язання цього завдання в умовах несиметрії напруг і струмів, а також випадкової зміни характеру навантаження. Запропоновано спосіб розкриття невизначеності визначення схем включення лічильників електричної енергії, зумовленої описом однією векторною діаграмою декількох різних схем їхнього включення.

Ключові слова: *схема включення, лічильник електричної енергії, векторна діаграма, вторинні вимірювальні кола, несиметрія напруг, несиметрія струмів.*

Надійшла до редакції 24.04.2013

Рецензент: О.П. Ковальов

D. KALYUZHNIY

Kharkiv National Academy of Municipal Economy

Definition of Layout of the Power Meter with Dependent Current Circuits. Power saving including the tasks of working out and improving not only technical and practical measures on reducing power consumption and losses but also measures on developing the systems of calculation and technical records of power is considered to be one of the most urgent problems of modern power engineering. Special attention is to be paid to revealing the errors and gaps in the schemes of connecting power meters. Traditionally solving the problem of determining the schemes of connecting power meters is based on the analysis of vector diagrams of currents and voltages measured by means of power records or reduced using volt-ampere-phase meters on their terminals. The analysis of the existing methods of determining the schemes of connecting power meters allowed reveal the most considerable factors influencing the efficiency of solving the task. They include: asymmetry of voltages and currents and casual character of load determined using the coefficient of active capacity $\cos \varphi$ or its angle φ . Besides mentioned factors the uncertainty of solving the task of determining the schemes of connecting caused by the dependence of flowing currents in secondary circuits on their connection appears for the schemes of connecting power meters with related current circuits (ten- and six wire schemes of connecting for three- and two-element power records accordingly). The problem of circuit connecting of three- and two-element power meters with related current circuits has been considered in the article. The areas of simple solution of the problem in conditions of voltage and current asymmetry and casual change of load have been determined. A method of revealing the uncertainty of determining the schemes of connecting power meters due to the description of several different schemes of their connecting using one vector diagram has been proposed.

Key words: *circuit connecting, power meter, vector diagram, secondary measurement circuits, asymmetry voltage, asymmetry current.*