

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХЭЛЕМЕНТНОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ЦЕПЯМ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСИММЕТРИИ

Гриб О.Г., Калюжный Д.Н.

Харьковская национальная академия городского хозяйства

KalyuzhnyiDN@mail.ru

*Task of connection scheme definition of three-element electric energy meter on current and voltage circuits under the conditions of asymmetry has been considered.*

**Введение.** В процессе эксплуатации счетчиков электроэнергии имеют место случаи некорректного учета, связанные с ошибками в схеме их подключения. На сегодняшний день наиболее распространенным способом выявления их схем подключения является анализ векторных диаграмм [1, 2]. При этом существенным недостатком данного подхода является предположение симметрии параметров режима работы сети, которое во многих случаях не соответствует реальности даже в рамках нормируемых величин. Об этом свидетельствуют многочисленными измерениями показателей качества электрической энергии, проведенные в электрических сетях разных уровней напряжения [3].

**Постановка задачи.** Учитывая указанный недостаток и незащищенность существующих средств учета электрической энергии [2] актуальной задачей является разработка методов и средств автоматического определения схем подключения счетчиков электроэнергии в условиях несимметрии параметров режима работы сети, которая в данной статье рассмотрена для трехэлементного счетчика электроэнергии отдельно для цепей тока и напряжения.

**Решение.** Рассмотрим общий случай подключения трехэлементного счетчика электроэнергии к электрической сети посредством измерительных трансформаторов тока ТТ и напряжения ТН (рис. 1). Используя теорию комбинаторики, представляется возможным определить количество геометрически различных комбинаций подключения счетчика электроэнергии по цепям тока и напряжения. Так, в предположении, что обрыв двух и более измерительных проводов, а также подключение одноименных измерительных проводов к различным входам счетчика электроэнергии маловероятные события, количество геометрически различных подключений токовых цепей составляет 20 комбинаций, а цепей напряжения – 40 комбинаций [4]. Каждая из комбинаций подключения токовых цепей и цепей напряжения характеризуется своей уникальной векторной диаграммой.

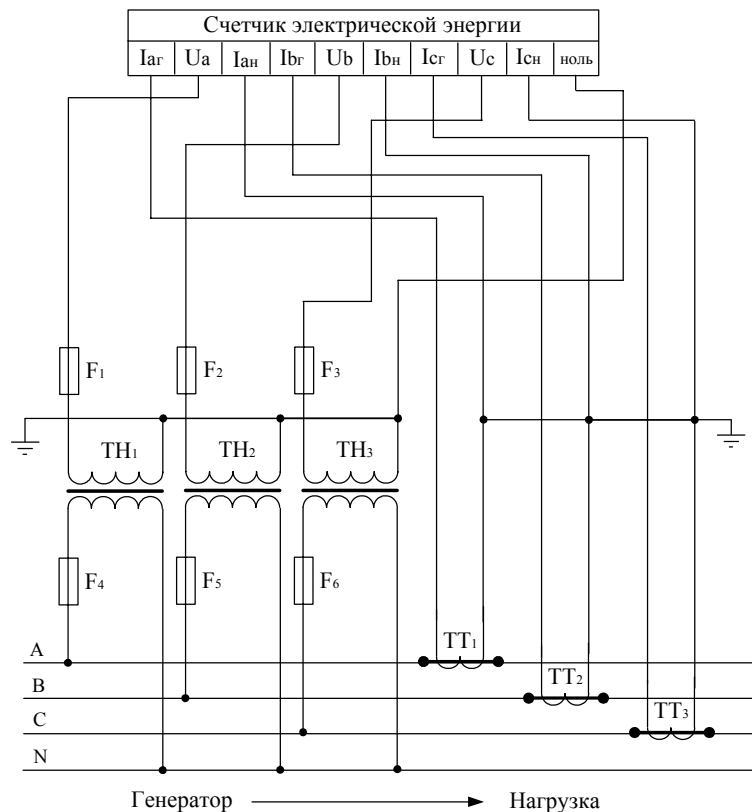


Рисунок 1 - Схема правильного подключения трехэлементного счетчика электроэнергии

Проведя анализ всех векторных диаграмм, выделены критерии определения схем подключения счетчика электроэнергии по цепям напряжения и тока [5, 6]. В их качестве выступают модули и фазы измеряемых электрических величин. При этом для однозначного определения схемы подключения в условиях несимметрии должны выполняться следующие зависимости. Для токовых цепей:

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

где  $K_{2I} = I_2/I_1$  и  $K_{0I} = I_0/I_1$  токовые коэффициенты несимметрии по обратной и нулевой последовательностям, аналогичные коэффициентам несимметрии по напряжению [7].

Для цепей напряжения:

$$K_{2U} < \frac{\sqrt{3}-1}{2} - \sqrt{3} \cdot K_{2U}; \quad K_{2U} + 2 \cdot K_{0U} < \frac{\sqrt{7}-1}{6} - \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot K_{0U};$$

$$K_{2U} + K_{0U} < \sin \left[ 60 - \arcsin \left( 3 \cdot K_{0U} \right) \right]; \quad K_{2U} < \sin \left[ 60 - \arcsin \left( K_{2U} \right) \right];$$

$$K_{2U} + K_{0U} < \sin \left[ 60 - \arcsin \left( 3 \cdot K_{0U} \right) \right]; \quad K_{2U} < \sin \left[ 30 - \arcsin \left( K_{2U} \right) \right];$$

$$K_{2U} + 2 \cdot K_{0U} < \sin \left[ 60 - \arcsin \left( 3 \cdot K_{0U} \right) \right]; \quad K_{2U} + \frac{1}{\sqrt{7}} \cdot K_{0U} < \sin \left[ 19,1 - \arcsin \left( 3 \cdot K_{0U} \right) \right],$$

где  $K_{2U} = K_{2U}/100\%$  и  $K_{0U} = K_{0U}/100\%$  - коэффициенты несимметрий напряжений по обратной и нулевой последовательностям в относительных единицах.

Как следует из вышеприведенных условий, однозначное решение задачи по определению схемы подключения трехэлементного счетчика электроэнергии ограничено следующими уровнями несимметрии. По токовым цепям сумма коэффициентов  $K_{2I}$  и  $K_{0I}$  не должна превышать 0,25 о.е. По цепям напряжения сумма коэффициентов  $K_{2U}$  и  $K_{0U}$  не должна превышать 14,4%.

На основе полученных результатов был разработан виртуальный стенд, моделирующий работу трехэлементного счетчика электроэнергии в условиях несимметрии параметров режима сети (рис. 2).

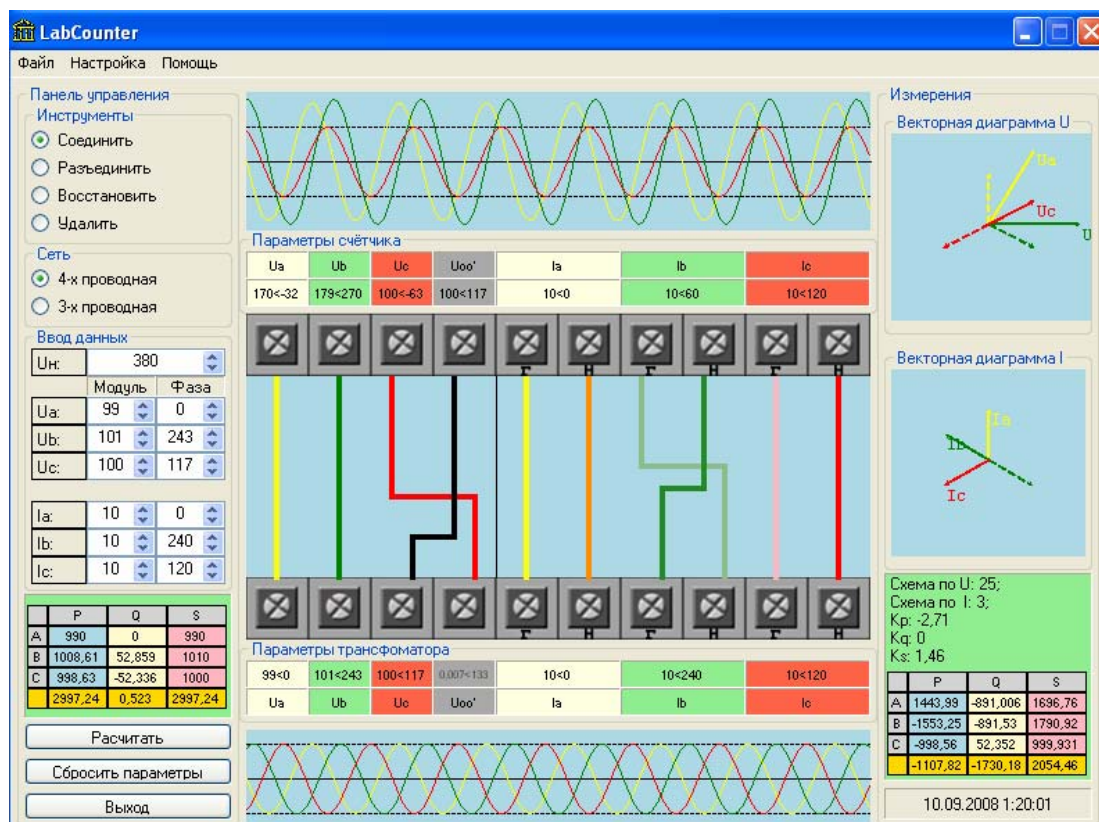


Рисунок 2 - Виртуальный стенд анализа работы счетчиков электроэнергии

Данный стенд позволяет производить различные подключения счетчика электроэнергии, анализировать информацию об измеряемых электрических величинах каждого элемента, автоматически определять схему подключения цепей тока и напряжения, вычислять соответствующие коэффициенты для корректировки показаний счетчика электроэнергии. Адекватность работы и получаемых результатов виртуального стенда была проверена в ННЦ «Институт метрологии» с использованием синтезатора токов и напряжений, а также электронных счетчиков Fluke 434, Ion 7650, D140 и др.

**Выводы.** Определено количество геометрически различных комбинаций подключения трехэлементного счетчика электроэнергии по цепям тока и напряжения. Выявлены критерии определения схем подключения счетчика электроэнергии по цепям тока и напряжения. Определены уровни несимметрии токов и напряжений, ограничивающие однозначность идентификации схем подключения счетчиков электроэнергии по цепям тока и напряжения. Разработан виртуальный стенд для анализа работы трехэлементного счетчика электроэнергии при различных схемах его подключения в условиях несимметрии параметров режима работы сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Труб И.И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Схемы включения счетчиков электрической энергии: практическое пособие / Под ред. Я.Т. Загорского. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
3. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Довгалюк О.Н., Калюжный Д.Н. Оценка качества электроэнергии в электрических сетях Харьковского региона // Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств: V міжнародна науково-технічна конф.: 75-річчю Призов. Держ. Техн. ун-ту присвячується: зб. праць. – Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2005, с. 124-126.
4. Калюжный Д.Н. Анализ схем подключения счетчиков электрической энергии Світлотехніка та електроенергетика. Міжн. науч.-техн. журнал.– Харків: ХНАМГ, 2007. – Вип. 3-4. – С. 58-63.
5. Калюжный Д.Н. Определение схемы включения двух- и трехэлементного счетчика электроэнергии по токовым цепям в условиях несимметрии. Энергосбережение: Энергетика: Энергоаудит. – 2008. – №4(50). – С. 32-36.
6. Калюжный Д.Н. Определение схемы подключения трехэлементного счетчика электроэнергии по цепям напряжения в условиях несимметрии напряжений. Вісник Призовського державного технічного університету. – 2008. – №18 частина II. – С. 114 – 118.
7. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. Киев: Госстандарт Украины, 1999.

*Рекомендовано д.т.н. Ковальовим О.П.*