

УДК 621.311

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

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ТОКОВЫМ ЦЕПЯМ

This paper reviews the methods and the algorithm of inclusion scheme definition of accounting system electric powers on current's circuits, that based on analysis of the modules and phases measured current in condition asymmetry parameter state of working.

Введение. Ошибка в схеме включения, преднамеренное или непреднамеренное изменение схемы включения систем учета электрической энергии в большинстве случаев может приводить к некорректному учету в широком диапазоне. На сегодняшний день определение схем включения и устранение ошибок включения систем учета электроэнергии проводится на основе анализа векторных диаграмм. При этом, несмотря на значительные качественные изменения, произошедшие на уровне элементной базы, даже современные устройства не в полной мере защищены от данного вида ошибок [1, 2]. Учитывая постоянное увеличение стоимости электроэнергии и значительное количество выявляемых ошибок включения, задача по выявлению неправильных схем включения систем учета электроэнергии является актуальной.

Постановка задачи. Определение схемы включения систем учета электроэнергии заключается в идентификации схем включения по токовым цепям, цепям напряжения и по правильному их совместному включению. В данной статье рассматривается методика определения схемы включения по токовым цепям, которая основывается на анализе модулей и фаз токов, измеряемых системами учета электроэнергии, с учетом несимметрии параметров режима и ограничений по возможным способам включения, которые заключаются в допущении отсутствия или обрыва одного измерительного канала, а также маловероятном событии включения одноименных токовых каналов к различным входам систем учета электроэнергии [3, 4].

Решение. В качестве критериев определения схем включения с отсутствием или обрывом токового измерительного канала выступает модуль измеряемого тока [4]. При этом логическое выражение для данного вида ошибок относительно метода трех ваттметров будет иметь следующий вид

$$(I_A < \varepsilon_I) \vee (I_B < \varepsilon_I) \vee (I_C < \varepsilon_I) = true. \quad (1)$$

Для метода двух ваттметров - такой вид:

$$(I_I < \varepsilon_I) \vee (I_{II} < \varepsilon_I) = true, \quad (2)$$

где I_A, I_B, I_C - модули токов, измеряемые трехэлементной системой учета электроэнергии; I_I, I_{II} - токи, измеряемые двухэлементным счетчиком электроэнергии; ε_I - минимально возможное значение тока, определяемое минимальной нагрузкой и минимальным значением тока в токовой катушке системы учета при отсутствии или обрыве токового канала.

Для непосредственной идентификации схемы включения следует использовать фазы токов [4], которые должны находиться для конкретной схемы включения в диапазонах, указанных в табл.1 и табл.2, соответственно для методов трех и двух ваттметров. Как видно из приведенных таблиц, указанные диапазоны зависят от несимметрии токов, определяемые соответствующими токовыми коэффициентами несимметрии по обратной (K_{2I}) и нулевой (K_{0I}) последовательностям, аналогичные коэффициентам несимметрии по напряжениям [5] в относительных единицах. При этом для однозначного определения схемы включения должно выполняться следующее условие [4]:

$$K_{2I} + K_{0I} < \sin \left[30 - \arcsin \left(K_{2I} + K_{0I} \right) \right]. \quad (3)$$

Таким образом, выражения (1) и (2), а также данные табл.1 и табл.2 позволяют разработать алгоритм определения схемы включения систем учета электроэнергии по токовым цепям, укрупненная блок-схема которого представлена на рис. 1. Структура данного алгоритма справедлива как для метода трех, так и двух ваттметров.

Таблица 1 - Диапазоны нахождения фаз токов при различных схемах включения для метода трех ваттметров

Схема включения	Токовые входы счетчика			Диапазоны нахождения фаз токов	
	I_A	I_B	I_C	$Arg(I_B)$	$Arg(I_C)$
1	I'_A	I'_B	I'_C	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
2	I'_A	$-I'_B$	$-I'_C$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
3	I'_A	$-I'_B$	I'_C	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
4	I'_A	I'_B	$-I'_C$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
5	I'_A	I'_C	I'_B	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
6	I'_A	$-I'_C$	$-I'_B$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
7	I'_A	$-I'_C$	I'_B	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
8	I'_A	I'_C	$-I'_B$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
9	-	I'_B	I'_C	Базовый вектор	
10	I'_A	-	I_C	-	
11	I'_A	I'_B	-	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$
12	-	$-I'_B$	I'_C	Базовый вектор	
13	I'_A	-	$-I'_C$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$	$(-30 - \arcsin \left[\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}} \right])$

14	I_A	$-I'_B$	-	Базовый вектор	$\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 60; 60 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$	-
15	-	I'_C	I'_B	Базовый вектор	$\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 120; 120 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$	-
16	I_A	-	I'_B	Базовый вектор	$\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 240; 240 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$	-
17	I_A	I'_C	-	Базовый вектор	$\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 120; 120 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$	-
18	-	$-I'_C$	I'_B	Базовый вектор	$\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 300; 300 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$	-
19	I_A	-	$-I'_B$	Базовый вектор	$\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 60; 60 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$	-
20	I_A	$-I'_C$	-	Базовый вектор	$\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 300; 300 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$	-

Примечание. I'_i ($i = A, B, C$) - подключаемый вектор тока к токовому входу системы учета электроэнергии I_i .

Таблица 2 - Диапазоны нахождения фаз токов при различных схемах включения для метода двух ваттметров

Схема включения	Токовые входы счетчика		Диапазоны нахождения фаз токов
	I_I	I_{II}	
1	I'_I	I'_{II}	Базовый вектор $\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 120; 120 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$
2	I'_I	$-I'_{II}$	Базовый вектор $\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 300; 300 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$
3	I'_{II}	I'_I	Базовый вектор $\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 240; 240 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$
4	I'_{II}	$-I'_I$	Базовый вектор $\left(-\left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right] + 60; 60 + \left[30 - \arcsin\left(\frac{K_{2I} + K_{0I}}{K_{2I} + K_{0I}}\right)\right]\right)$
5	I'_I	-	Базовый вектор
6	-	I'_I	Базовый вектор

Примечание. I'_i ($i = I, II$) - подключаемый вектор тока к токовому входу системы учета электроэнергии I_i .

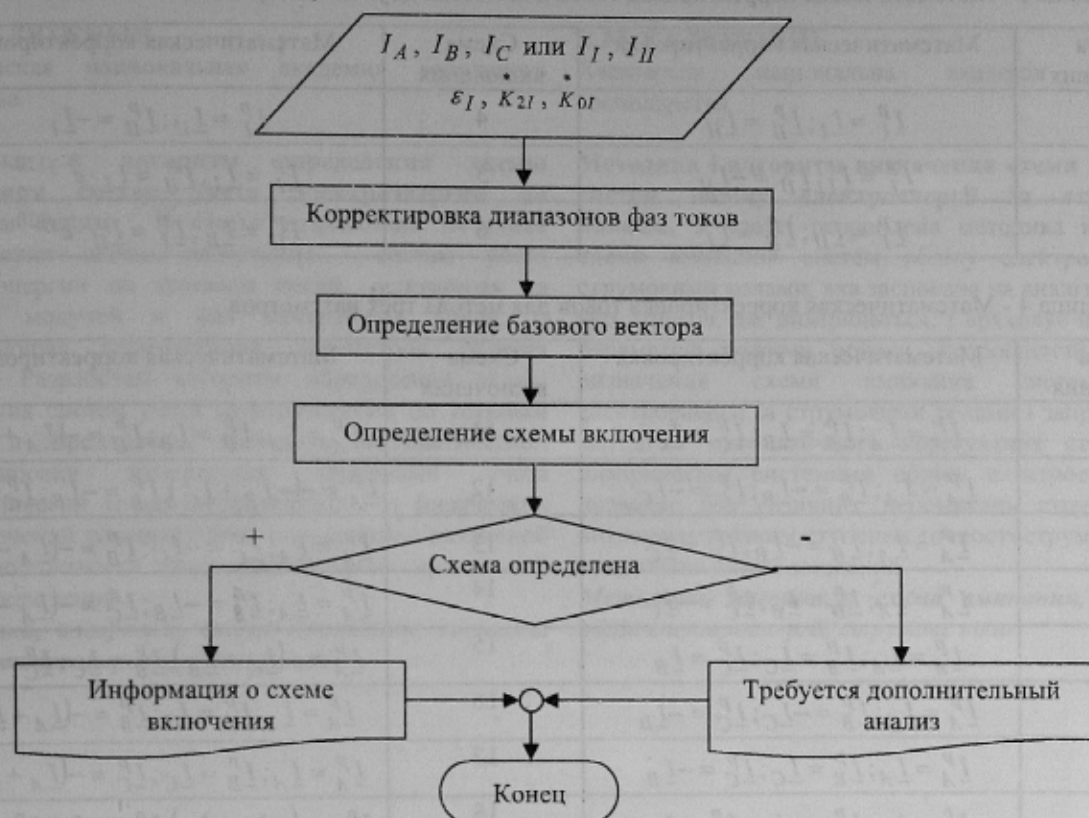


Рисунок 1 - Блок-схема определения схемы включения систем учета электроэнергии по токовым цепям

В качестве исходных данных рассматриваемого алгоритма выступают токи, измеряемые системой учета электроэнергии, минимально возможное значение тока и максимально возможные токовые коэффициенты несимметрии, характеризующие несимметрию в месте установки системы учета.

В блоке «Корректировка диапазонов фаз токов» - корректируются диапазоны нахождения фаз токов (табл. 1 и табл. 2) в зависимости от максимально возможной несимметрии по току в месте установки системы учета электроэнергии. Блок «Определение базового вектора» предназначен для привязки фаз векторов токов к одному из векторов, направленному по вещественной оси. В качестве базового вектора предлагается использовать вектор тока первого элемента (I_A или I_I). В случае отсутствия вектора тока первого элемента в качестве базового вектора следует использовать вектор тока второго элемента (I_B или I_{II}). Блок «Определения схемы включения» непосредственно выполняет функцию определения схемы включения по модулям и фазам токов измеренных системой учета электроэнергии. В случае положительного решения выводится информация о схеме включения. В противном случае, если схема не определена, следует провести более тщательный анализ с привлечением квалифицированного персонала и возможно дополнительных средств измерения.

Возможность определения схемы включения системы учета электроэнергии по токовым цепям позволяет в случае положительного решения определить токи относительно правильной схемы включения (\underline{I}_i^P), без каких либо физических переключений токовых цепей, т.е. произвести математическую корректировку измеряемых токов. В случае наличия всех токов данная корректировка будет точной. В противном случае, при отсутствии одного вектора тока, его можно найти по двум другим векторам в предположении симметрии параметров режима. Исходя из этого, математическая корректировка при отсутствии одного из векторов токов будет приближенной, что может являться более точной и приемлемой информацией по сравнению с исходной. В табл. 3 и табл. 4 приведены выражения, позволяющие при различных схемах включения, определенных по рассмотренному алгоритму, произвести математическую корректировку измеряемых системами учета электроэнергии токов

Таблица 3 - Математическая корректировка токов для метода двух ваттметров

Схема включения	Математическая корректировка	Схема включения	Математическая корректировка
1	$I_I^p = I_I; I_{II}^p = I_{II}$	4	$I_I^p = I_{II}; I_{II}^p = -I_I$
2	$I_I^p = I_I; I_{II}^p = -I_{II}$	5	$I_I^p = I_I; I_{II}^p \approx I_I \cdot e^{-j120}$
3	$I_I^p = I_{II}; I_{II}^p = I_I$	6	$I_{II}^p = I_{II}; I_I^p \approx I_{II} \cdot e^{j120}$

Таблица 4 - Математическая корректировка токов для метода трех ваттметров

Схема включения	Математическая корректировка	Схема включения	Математическая корректировка
1	$I_A^p = I_A; I_B^p = I_B; I_C^p = I_C$	11	$I_A^p = I_A; I_B^p = I_B; I_C^p \approx -(I_A + I_B)$
2	$I_A^p = I_A; I_B^p = -I_B; I_C^p = -I_C$	12	$I_A^p \approx -(I_B + I_C); I_B^p = -I_B; I_C^p = I_C$
3	$I_A^p = I_A; I_B^p = -I_B; I_C^p = I_C$	13	$I_A^p = I_A; I_C^p = -I_C; I_B^p \approx -(I_A - I_C)$
4	$I_A^p = I_A; I_B^p = I_B; I_C^p = -I_C$	14	$I_A^p = I_A; I_B^p = -I_B; I_C^p \approx -(I_A - I_B)$
5	$I_A^p = I_A; I_B^p = I_C; I_C^p = I_B$	15	$I_A^p \approx -(I_C + I_B); I_B^p = I_C; I_C^p = I_B$
6	$I_A^p = I_A; I_B^p = -I_C; I_C^p = -I_B$	16	$I_A^p = I_A; I_C^p = I_B; I_B^p \approx -(I_A + I_B)$
7	$I_A^p = I_A; I_B^p = I_C; I_C^p = -I_B$	17	$I_A^p = I_A; I_B^p = I_C; I_C^p \approx -(I_A + I_C)$
8	$I_A^p = I_A; I_B^p = -I_C; I_C^p = I_B$	18	$I_A^p \approx -(I_C + I_B); I_B^p = -I_C; I_C^p = I_B$
9	$I_A^p \approx -(I_B + I_C); I_B^p = I_B; I_C^p = I_C$	19	$I_A^p = I_A; I_C^p = -I_B; I_B^p \approx -(I_A - I_B)$
10	$I_A^p = I_A; I_C^p = I_C; I_B^p \approx -(I_A + I_C)$	20	$I_A^p = I_A; I_B^p = -I_C; I_C^p \approx -(I_A - I_C)$

Выводы. 1. Разработана методика определения схемы включения систем учета электроэнергии по токовым цепям, основанная на анализе модулей и фаз измеряемых токов, и учитывающая несимметрию параметров режима работы. 2. Разработан алгоритм определения схемы включения систем учета электроэнергии по токовым цепям. 3. Предложена методика математической корректировки измеряемых системами учета электроэнергии токов, позволяющая без физических переключений токовых цепей определять с различной степенью точности токи относительно правильной схемы включения.

Список литературы

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 НИЦ ЭНАС, 2006.
3. Каложный Д.Н. Анализ схем подключения счетчиков электрической энергии // Світлотехніка та електроенергетика. – 2007. – № 3-4. – С. 58-63.
4. Каложный 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.
5. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. Киев: Госстандарт Украины, 1999.

Надійшла до редколегії 24.04.2009

Рецензент: С.Ф.Артюх

Д.Н. КАЛЮЖНЫЙ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

Д.М. КАЛЮЖНИЙ

Харківська національна академія місцевого господарства

Методика и алгоритм определения схемы включения систем учета электроэнергии по токовым цепям. В статье разработана методика определения схемы включения систем учета электроэнергии по токовым цепям, основанная на анализе модулей и фаз измеряемых токов, и учитывающая несимметрию параметров режима работы. Разработан алгоритм определения схемы включения систем учета электроэнергии по токовым цепям и предложена методика математической корректировки измеряемых системами учета электроэнергии токов, позволяющая без физических переключений токовых цепей определять с различной степенью точности токи относительно правильной схемы включения.

Методика, алгоритм, схема включения, система, учет электроэнергии, токовая цепь

Методика і алгоритм визначення схеми вмикання систем обліку електроенергії за струмовими колами. У статті розроблена методика визначення схеми вмикання систем обліку електроенергії за струмовими колами, яка заснована на аналізі модулів і фаз струмів, які вимірюються, і враховує несиметрію параметрів режиму роботи. Розроблений алгоритм визначення схеми вмикання систем обліку електроенергії за струмовими колами і запропонована методика математичного корегування струмів, які вимірюються системами обліку електроенергії, що дозволяє без фізичних перемикань струмових кіл визначати з різним ступенем точності струми відносно правильної схеми вмикання.

Методика, алгоритм, схема вмикання, система, облік електроенергії, струмове коло

