

А.П. ДАВИДЕНКО, канд. техн. наук, проф. кафедры НТУ «ХПИ»;
Д.С. КУШНАРЕВА, НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ ЛОКАЛЬНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Розглянуті питання отримання математичних моделей залежностей похибки вимірювальних трансформаторів струму від впливових факторів. Виконан розрахунок математичних моделей методом регресійного аналізу результатів експериментів. Отримані графічні інтерпретації залежностей похибки вимірювального трансформатора струму від несінусоїдальності напруги в електричній мережі та коефіцієнту потужності.

The considered questions of receipt of mathematical models of dependences of error of measuring transformers of current are from influential factors. Done calculation of mathematical models by the method of regressive analysis of results of experiments. Graphic interpretations of dependences of error of measuring transformer of current are got from non-sine tension in an electric network and to the power-factor.

Постановка проблемы. Нынешнее развитие энергетики подразумевает использование новых методов и средств контроля качества электроэнергии. Стремительное развитие интеллектуальных сетей «Smart Grid» подразумевает под собой использование более совершенных информационно-измерительных систем контроля параметров сети. В связи с этим выдвигается ряд требований к данным ИИС. Наиболее важные требования [1]:

- 1) измерение одновременно нескольких физических величин;
- 2) погрешность измерения мощности должна находиться в пределах, установленных нормативными документами;
- 3) независимость погрешности измерений от изменения параметров окружающей среды.
- 4) экономически эффективный баланс стоимости счетчика и выполняемых им функций.

Вышеперечисленным требованиям удовлетворяют современные «умные» счетчики. Однако наблюдается тенденция увеличения всех типов и разновидностей приборов, в связи с чем присутствует проблема обобщения математических зависимостей, которым данные счетчики удовлетворяют.

Математическая модель, представляющая влияние дестабилизирующих факторов на погрешность измерения параметров электроэнергии, содержит ряд элементов трудных для практического использования. Это не позволяет использовать модель в таком виде для создания и усовершенствования ИИС контроля и учета электроэнергии и требует разработки упрощенных выражений, которые будут более удобными для машинных и инженерных расчетов.

Анализ литературы. Известно несколько методик, применение которых дает возможность создавать различные средства измерения контроля и диагностики потребляемой электроэнергии и мощности. Методики основаны на способах измерения физических величин, особенностях самих величин, физических принципах измерений [2].

Первый метод основан на измерении электроэнергии W в течение промежутка времени ΔT с использованием счетчика электроэнергии и вычислении средней мощности P за промежуток времени ΔT по формуле [2]:

$$P = \frac{W}{\Delta T} \quad (1)$$

Второй метод основан на измерении интервала времени ΔT , за который диск индукционного счетчика совершает заданное число оборотов n , и вычислении средней мощности P за интервал времени ΔT по формуле (2(17)) :

$$P = \frac{k \cdot n}{\Delta T} \quad (2)$$

где k - коэффициент пропорциональности, определяемый техническими данными счетчика.

Однако в подавляющем большинстве случаев используются ИИС, основанные на косвенных измерениях, т.е. измеряемые при этом физические величины, такие как электроэнергия и мощность, являются известными функциями ряда других величин - тока, напряжения, фазового сдвига, времени и т.д.

Измерение потребляемой мощности на основе косвенных измерений выполняется ИИС для контроля и учета электроэнергии. Данный вид СИ относится к ИИС, представляющим собой совокупность функционально объединенных масштабных измерительных преобразователей. На рисунке 1 представлена структурная схема таких ИИС. Этой схеме соответствует большинство эксплуатируемых в настоящее время систем учета. ИИС контроля и учета электроэнергии. В связи с многообразием существующих ИИС возникает потребность обобщения законов, описывающих влияние различных факторов на погрешность измерительных ТТ.

Структурная схема ИК ИИС контроля и учета электроэнергии изображена на рисунке 1 [3,4]

Основными источниками погрешностей показаний такого прибора являются трансформатор тока и трансформатор напряжения, на которые влияют различные факторы: несинусоидальность напряжения в сети, коэффициент мощности, сдвиг фаз, климатические условия и т.д.

где ТТ – трансформатор тока;

ТН – трансформатор напряжения;

СЭ – интегрирующие приборы, счетчик электроэнергии с импульсным или цифровым интерфейсом;

УСД – концентратор или устройство сбора данных;

Целью статьи является получение зависимостей погрешностей трансформаторов тока от таких влияющих факторов, как несинусоидальность напряжения сети и коэффициент мощности при помощи математических методов обработки результатов экспериментов.

Основная часть. Математическая модель, представляющая влияние дестабилизирующих факторов на погрешности измерения параметров электроэнергии, содержит ряд элементов трудных для практического использования. Это не позволяет использовать модель в таком виде для создания и усовершенствования ИИС контроля и учета электроэнергии и требует разработки упрощенных выражений, которые будут более удобными для машинных и инженерных расчетов.

Для исследования и обработки данных были использованы результаты реальных экспериментов влияния на погрешности трансформаторов искажений синусоидальной формы кривой входных сигналов, коэффициента мощности вторичной нагрузки.

Экспериментальные исследования влияния на погрешности ТТ искажений синусоидальной формы кривой входных сигналов, коэффициента мощности вторичной нагрузки на погрешности измерительных ТТ проводились по схеме поверки согласно [5]

Согласно данным экспериментальным данных составлены графики зависимостей токовой и угловой погрешностей измерительного ТТ от различных факторов. С помощью программы Mathcad были вычислены значения функций аппроксимации для каждой зависимости.

Эксперименты проводились на частоте 150 Гц и 350 Гц, что соответствует паразитным 3 и 9 гармонике, возникающим в сети. Исследуются влияния на токовую и угловую погрешности измерительного трансформатора тока.

На рисунке 2 представлена кривая относительной токовой погрешности ТТ при синусоидальном сигнале и ее функция аппроксимации. При этом подмагничивающее напряжение составляет $U_{г}=0$ В.

Математическая модель, полученная регрессионным методом с использованием полинома второй степени:

$$\delta_i = -0,00001856N_i^2 + 0,002939N_i - 0,285 \quad (3)$$

где δ_i – относительная токовая погрешность;

N_i – кратность тока, $I_{ном}$, %

Следует отметить, что эксперименты проводились при синусоидальном сигнале ($U_{г}=0$ В), при подмагничивающем напряжении $U_{г}=0,5$ В, $U_{г}=2,5$ В, $U_{г}=7,5$ В. Но рассмотрены эксперименты при синусоидальном сигнале и при $U_{г}=7,5$ В.

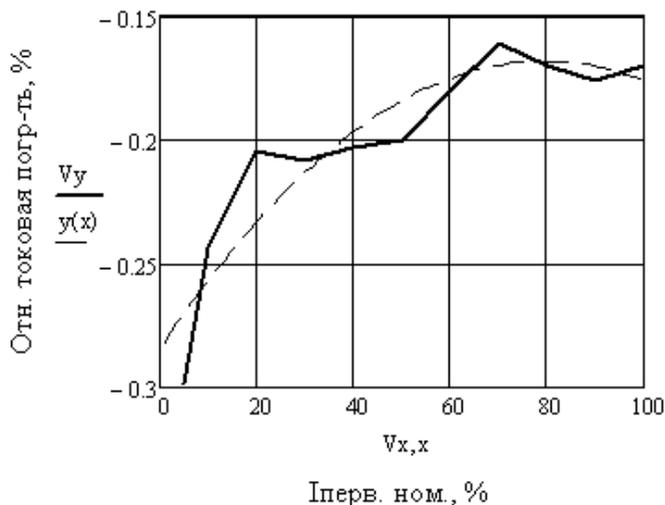


Рис.2 Относительная токовая погрешность ТТ при синусоидальном сигнале и ее функция аппроксимации.

На рисунке 3 представлена кривая относительной токовой погрешности ТТ при синусоидальном сигнале и ее функция аппроксимации.

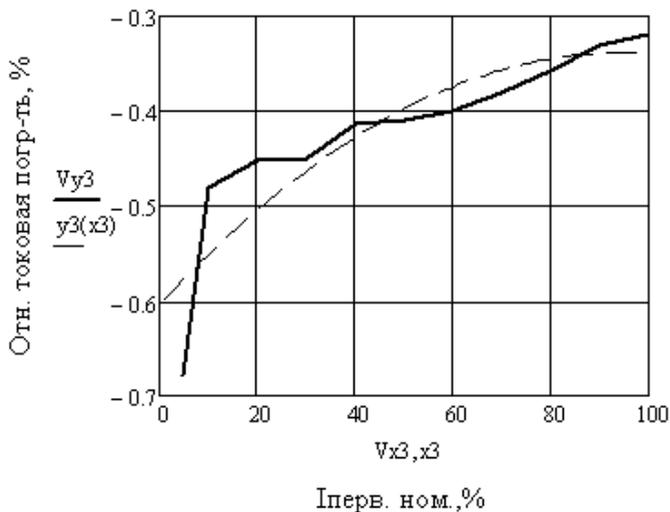


Рис.3 Относительная токовая погрешность ТТ при несинусоидальном сигнале ($U_T=7,5$ В) и ее функция аппроксимации.

$$\delta_i = -0,00002794N_i^2 - 0,005626N_i - 0,605 \quad (4)$$

На рисунке 4 представлена кривая абсолютной угловой погрешности ТТ при таких же данных, как и при исследовании токовой погрешности при синусоидальном сигнале

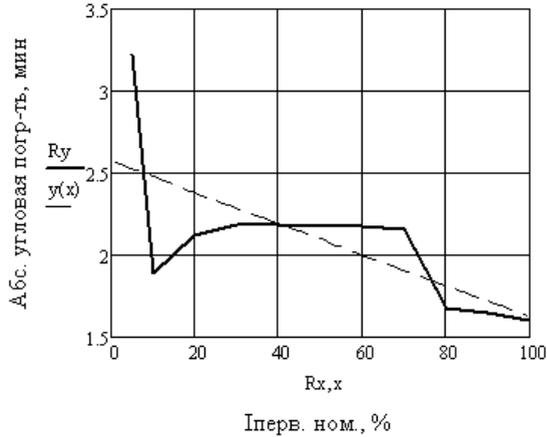


Рис.4. Абсолютная угловая погрешность ТТ при синусоидальном сигнале и ее функция аппроксимации.

$$\Delta_{\varphi} = 0,00001457N_i^2 - 0,009605 N_i + 2,574 \quad (5)$$

На рисунке 4 представлена кривая абсолютной угловой погрешности ТТ 150 Гц, подмагничивающее напряжение $U_g = 7,5$ В

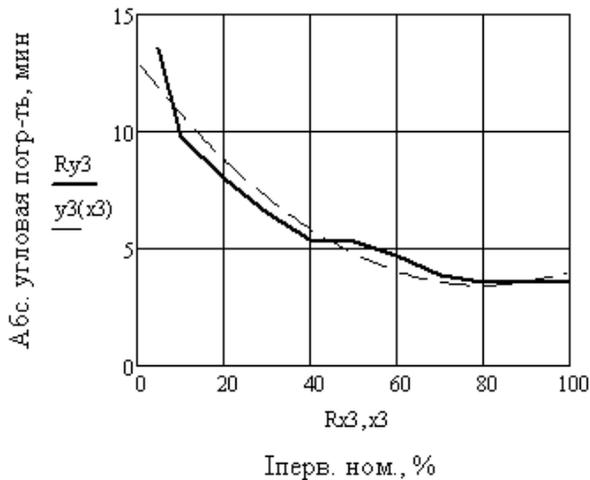


Рис.4 Абсолютная угловая погрешность ТТ при синусоидальном сигнале и ее функция аппроксимации.

$$\Delta_{\varphi} = 0,001504N_i^2 - 0,24 N_i + 13,042 \quad (6)$$

Помимо влияния несинусоидальности напряжения также были получены математические модели и графики зависимостей погрешности трансформатора тока от коэффициента мощности.

Исходя из графиков видно, что при увеличении напряжения подмагничивания относительная токовая погрешность возрастает в 2,14 раза, а абсолютная угловая погрешность возрастет в 5,24 раза.

Таким образом, для устранения влияния $\cos\varphi$ и $K_{\text{НИ}}$ на результирующую погрешность в результате измерения мощности необходимо вносить поправки. При условии, что величины $\cos\varphi$ и $K_{\text{НИ}}$ независимы, исправленный результат измерения мощности при введении поправок $C_{\cos\varphi}$ и $C_{\text{КНИ}}$ выглядит следующим образом:

$$P_{\text{и}} = P + C_{\cos\varphi} + C_{\text{КНИ}} \quad (7)$$

Выводы. В результате теоретических исследований были получены математические модели влияния дестабилизирующих факторов на погрешности измерительного трансформатора тока. Предлагаемые математические модели адекватны при условии высокой достоверности определения значений дестабилизирующих факторов и отклонений от среднего значения результатов измерений, стремящихся к нулю.

Выведенные математические модели описывают характер изменения погрешностей ИИС учёта и диагностики параметров электросети в условиях возникновения влияющих факторов.

Перспективы дальнейших исследований. На основании полученных математических моделей можно вывести окончательную формулу измерения мощности с учетом введения поправок для устранения влияния дестабилизирующих факторов. Данную функцию в ИИС диагностики и контроля параметров электроэнергии зачастую выполняет функция коррекции погрешностей. Такая функция реализована в «умных» счетчиках, но всех факторов влияния учесть и скорректировать невозможно, и разработки с теоретическими расчетами в данном направлении актуальны по сей день.

Список литературы: 1. РД 34.11.114-98 Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии и мощности. Основные нормируемые характеристики. Общие требования. 2. *Нефедов В.И. Электрорадиоизмерения / В.И. Нефедов, В.К. Сигов;* под ред. профессора А.С. Сигова. - М.: Изд-во ИД ФОРУМ, 2004. - 382 с. 3. Сборник нормативных и методических документов по измерениям, коммерческому и техническому учету электрической энергии и мощности. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. - 504 с. 4. Правила учета электрической энергии. - М.: Изд-во ЦЭНАС, 2003. -С. 41-46. 5. ГОСТ 8.217-2003. ГСИ. Трансформаторы тока. Методика поверки. - Минск: ИПК. Изд-во стандартов, 2003. - 11 с.