

УДК 621.314.222.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НОМ-6

О. Г. ШИРОКОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

О. В. ЛЫМАРЬ

*Филиал «Энергонадзор» РУП «Гомельэнерго»,
Республика Беларусь*

Введение

Как показывают исследования, проведенные в Российской Федерации [1] и Республике Польша [2], частотные свойства трансформаторов напряжения (ТН) могут оказывать существенное влияние на результаты контроля и анализа качества электроэнергии (КЭ) в сетях выше 0,4 кВ. Возникающая в связи с этим актуальная задача по нормированию и исследованию частотных свойств ТН, применяемых при контроле и анализе КЭ, требует скорейшего решения.

За основу норм частотных свойств ТН могут быть приняты требования российских РД 153-34.0-15.501-00 [3], где, в частности, указано, что неравномерность амплитудно-частотной характеристики ТН в полосе частот до 2 кГц не должна превышать 2 %, а коэффициенты n -х гармонических составляющих напряжения до 40-й включительно на выходе ТН при подаче на его вход синусоидального напряжения частотой 50 Гц должны быть не более 0,02 %. Одновременно с ними необходимо установить норму и на погрешности измерений фаз n -х гармонических составляющих напряжения, которая, учитывая критичность ситуации при принятии решений о направлении потоков мощности искажений [1] и ориентируясь на требования [4] к погрешности измерений, должна составлять порядка нескольких электрических градусов.

На практике соблюдение указанных норм может оказаться не всегда технически реализуемым и экономически оправданным. В этом случае полноценной заменой их соблюдения является учет реальных частотных свойств, присущих отдельным типам или даже конкретным экземплярам ТН, при контроле и анализе КЭ. Кроме всего прочего, такой подход позволяет в целом повысить точность измерений и сэкономить значительные средства на замене уже находящихся в эксплуатации ТН. Однако из-за влияния нагрузки ТН на его частотные свойства [1], [5] и возможного их изменения в течение срока эксплуатации, могут потребоваться периодические измерения частотных свойств ТН на месте их эксплуатации при реальной нагрузке. Для этих целей наиболее применим описанный в [6] автоматизированный метод измерений, позволяющий значительно сократить трудоемкость и время измерений, а также повысить их качество. Разработанное на основе данного метода средство измерений частотных свойств ТН защищено патентом Республики Беларусь [7] и отвечает всем признакам информационно-измерительной системы (ИИС). Без изменений аппаратной части оно может быть использовано и для измерений погрешностей ТН, что позволяет производить поверку ТН совместно с измерением их частотных свойств.

Для практической реализации ИИС использовался персональный мультимедийный компьютер [6]. Из-за отсутствия образцового средства измерений частотных свойств ТН определение метрологических характеристик такого нестандартизованного средства измерений осуществлялось методом поэлементного исследования: экспериментальным путем определялись погрешности АЦП и расчетным методом – обоим делителям напряжения.

Разработанная ИИС позволяет производить измерения частотных свойств ТН номинальным напряжением до 6 кВ и является наилучшим средством для лабораторных исследований ТН типа НОМ-6.

Общая характеристика объектов и условий исследования

В качестве объектов для исследований были выбраны два ТН типа НОМ-6 с номинальным коэффициентом трансформации 6000/100. Оба длительное время эксплуатировались на подстанции «Михалки 110/6» (РУП «Гомельтранснефть «Дружба»). Первый ТН под № 5294 (1976 года выпуска), второй за № 5316 (1983 года выпуска).

Частотные свойства ТН исследовались при двух режимах работы: на холостом ходу и при номинальной нагрузке с $\cos\varphi = 1$. При исследовании частотных свойств ТН на холостом ходу максимальное испытательное напряжение составляло 5,2 кВ, при номинальной нагрузке – 4,8 кВ. Было выполнено по 20 измерений для каждого из режимов.

Все измерения производились при частоте дискретизации ЦАП и АЦП 96 кГц при разрядности 16 бит. Содержание и фаза накладываемой гармоники, заданные в программе «Harmonicas 3», составляли, соответственно, 8 % и 0 эл. град. Влияющие величины находились в предписанных пределах.

Относительная амплитудная и абсолютная угловая погрешности ТН для n -й гармонической составляющей напряжения определялись по выражениям [6]:

$$\delta_{U_n} = \frac{K_{U(n)ДН2} - K_{U(n)ДН1}}{K_{U(n)ДН1}} \cdot 100; \quad (1)$$

$$\Delta\varphi_n = \varphi_{(n)ДН2} - \varphi_{(n)ДН1}, \quad (2)$$

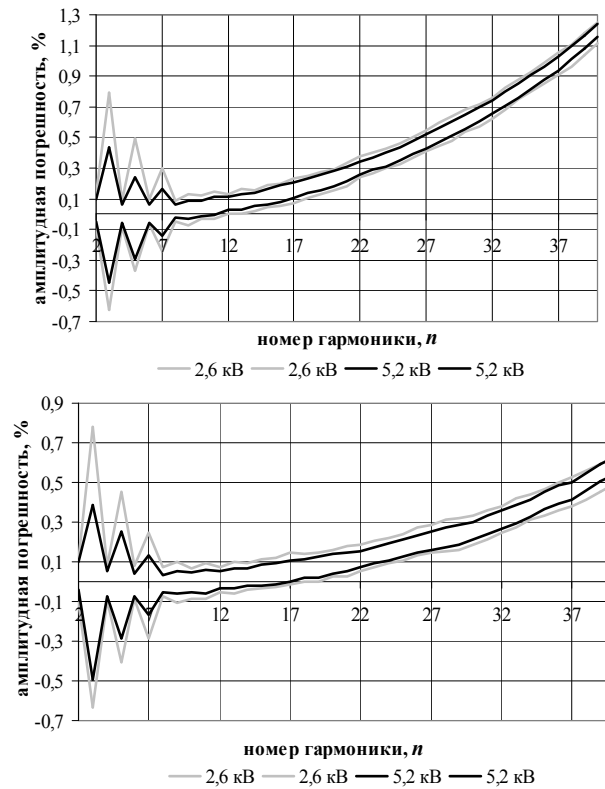
где $K_{U(n)ДН2}$ и $K_{U(n)ДН1}$ – коэффициенты n -й гармонической составляющей напряжения по измерительным каналам, подключенным ко второму и первому делителям напряжения; $\varphi_{(n)ДН2}$ и $\varphi_{(n)ДН1}$ – фазы n -й гармонической составляющей напряжения по измерительным каналам, подключенным ко второму и первому делителям напряжения.

Искажения, вносимые ТН в синусоидальное испытательное напряжение частотой 50 Гц, находились по выражению:

$$DK_{U(n)} = K_{U(n)ДН2} - K_{U(n)ДН1}. \quad (3)$$

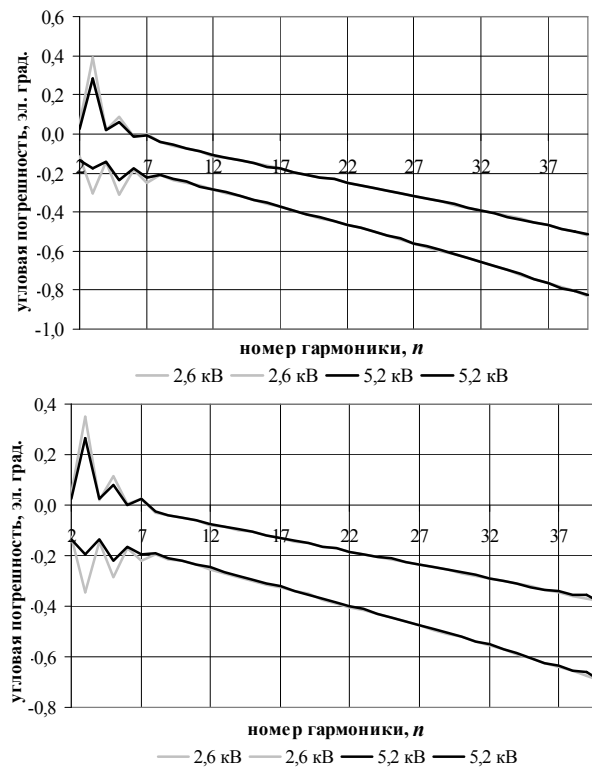
Результаты измерений частотных свойств ТН и их анализ

Результаты измерений амплитудной и угловой погрешности ТН НОМ-6 для n -й гармонической составляющей напряжения представлены доверительным интервалом с вероятностью 0,95 на рис. 1, 2, 4, 5. Искажения, вносимые ими в синусоидальное испытательное напряжение частотой 50 Гц, приведены в виде гистограммы на рис. 3, 6 (линиями с доверительной вероятностью 0,95 показаны диапазоны погрешности ИИС).



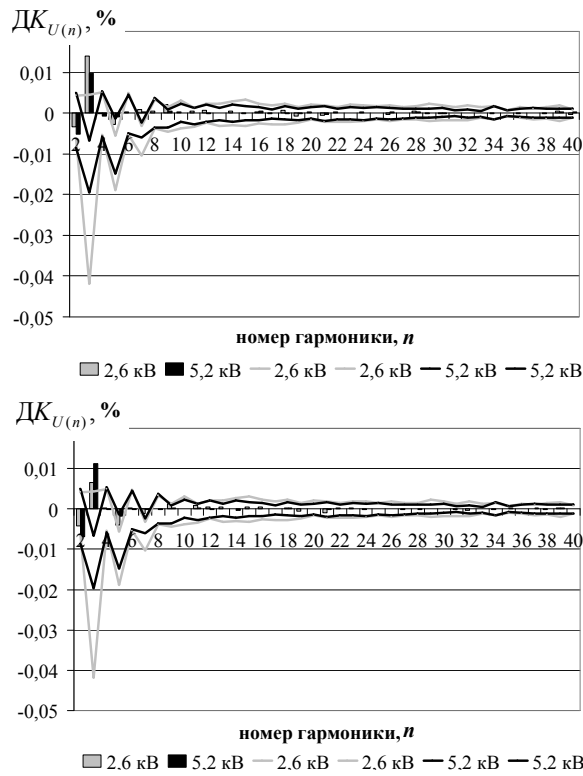
ТН № 5294 ТН № 5316

Рис. 1. Результаты измерений амплитудной погрешности ТН НОМ-6 при холостом ходе



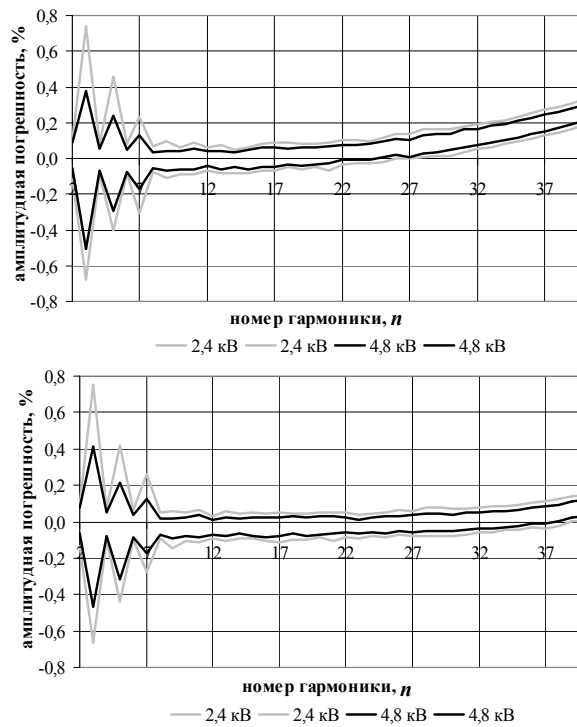
ТН № 5294 ТН № 5316

Рис. 2. Результаты измерений угловой погрешности ТН НОМ-6 при холостом ходе



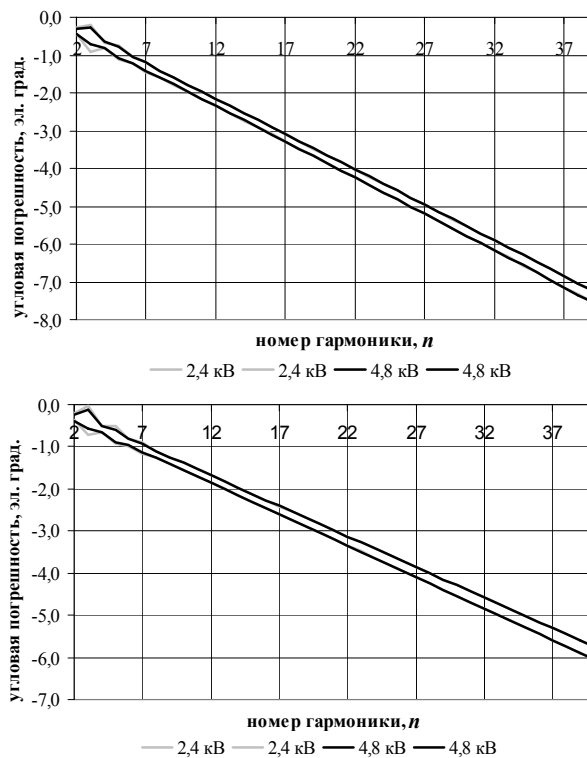
ТН № 5294 ТН № 5316

Рис. 3. Искажения, вносимые исследуемыми ТН НОМ-6 в синусоидальное испытательное напряжение частотой 50 Гц при холостом ходе



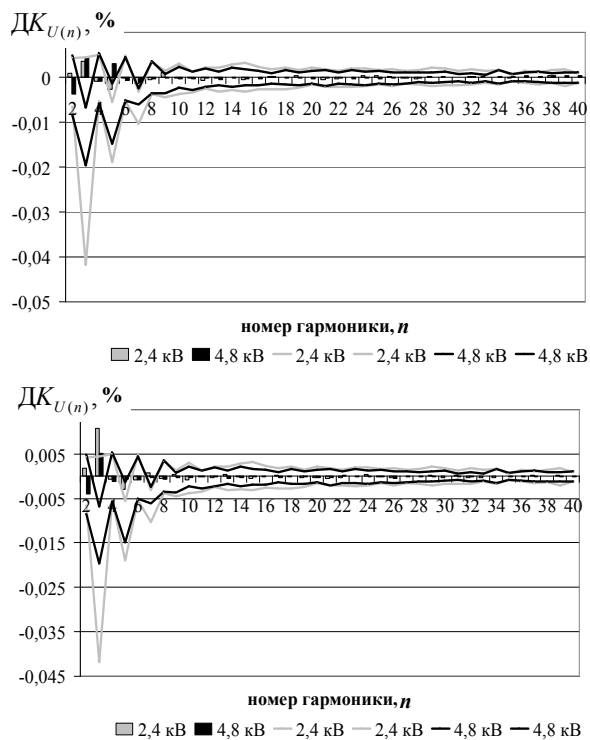
ТН № 5294 ТН № 5316

Рис. 4. Результаты измерений амплитудной погрешности ТН НОМ-6 при номинальной нагрузке с $\cos\phi = 1$



ТН № 5294 ТН № 5316

Рис. 5. Результаты измерений угловой погрешности ТН НОМ-6 при номинальной нагрузке с $\cos\varphi = 1$



ТН № 5294 ТН № 5316

Рис. 6. Искажения, вносимые исследуемыми ТН НОМ-6 в синусоидальное испытательное напряжение частотой 50 Гц при номинальной нагрузке с $\cos\varphi = 1$

Из рис. 1 и 4 видно, что амплитудные погрешности двух ТН значительно отличаются как в режиме холостого хода, так и при номинальной нагрузке, но, в целом, не выходят за нормативное значение в 2 %. Такое отличие может быть вызвано несколькими причинами, наиболее вероятными из которых являются:

1. Изменение частотных свойств ТН в период эксплуатации (исследованные ТН имеют разные годы выпуска).

2. Индивидуальные особенности конкретных экземпляров ТН (вызванные геометрическими отличиями конструктивных элементов и различиями в физических свойствах материалов).

С увеличением нагрузки амплитудная погрешность ТН уменьшается и при номинальной нагрузке для 40-й гармонической составляющей напряжения не превышает 0,3 % для ТН за № 5294 и, соответственно, 0,12 % для ТН под № 5316. Несмотря на соответствие амплитудных погрешностей двух исследованных ТН предложенным нормам, их значительное отличие и зависимость от нагрузки указывает на необходимость периодических измерений частотных свойств ТН на месте эксплуатации.

Угловые погрешности ТН также отличаются друг от друга, но это отличие выражено меньше, чем для амплитудной погрешности (рис. 2 и 5). С ростом нагрузки ТН данная погрешность возрастает и, если на холостом ходу ТН за № 5294 для 40-й гармоники она составляла 0,8 эл. град., то при номинальной нагрузке достигает 7,5 эл. град. Это еще раз подтверждает необходимость периодических измерений частотных свойств ТН только на месте его эксплуатации при реальной нагрузке, значение которой также необходимо измерять. Только в этом случае есть возможность объективно скорректировать результаты измерений фаз гармонических составляющих напряжения для дальнейшего анализа КЭ. В противном случае, последствия такой корректировки могут привести к дополнительным погрешностям, а сами измерения частотных свойств ТН потеряют всякий смысл. Необходимо отметить, что полученные результаты измерений отличаются от представленных в [1], где угловая погрешность ТН НОМ-6 лежала в пределах погрешности измерений. Однако там были исследованы ТН НОМ-6 У4 с номинальным коэффициентом трансформации 3000/100, у которых частотные свойства могут значительно отличаться.

Как следует из рис. 3, при холостом ходе исследуемых ТН искажения, вносимые ими в синусоидальное испытательное напряжение частотой 50 Гц, в основном, не превышали погрешность ИИС (показана линиями). Некоторые искажения наблюдались только на 3-й гармонической составляющей напряжения, которые для ТН за № 5316 достигали 0,011 % и 0,014 % для ТН за № 5294 (при исключении систематической составляющей погрешности ИИС результаты измерений будут лежать в области порогового допустимого значения в 0,02 %). Причем в первом случае данный результат получен при испытательном напряжении 5,2 кВ, а во втором – при 2,6 кВ. При номинальной нагрузке искажения, вносимые обоими ТН в синусоидальное испытательное напряжение частотой 50 Гц, также не превышали погрешности ИИС (рис. 6). Исключение составляет ТН за № 5316, у которого при испытательном напряжении в 2,4 кВ наблюдаются искажения на 3-й гармонической составляющей напряжения значением 0,011 %. Такое несоответствие, при котором проявляются максимальные искажения на 3-й гармонике в одном случае при номинальном, а в другом при вдвое меньшем испытательном напряжении, связано, по-видимому, с погрешностью ИИС. В целом, искажения, вносимые обоими ТН, лежали в пределах предложенной нормы 0,02 %.

По результатам измерений можно сделать вывод, что исследованные ТН удовлетворяют предложенным нормам в части амплитудной погрешности и вносимым искажениям в синусоидальное напряжение частотой 50 Гц. Это позволяет применять их при контроле качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ13109-97 [8]. Иначе обстоит дело при их использовании для анализа качества электроэнергии, где уже не-

обходимо вносить соответствующие поправки в результаты измерений фаз n -х гармонических составляющих напряжения. Причем, из-за значительного влияния на угловую погрешность ТН их нагрузки для корректировки необходимо использовать частотные свойства ТН, измеренные на месте их эксплуатации при реальной нагрузке.

Заключение

Предложены нормы для частотных свойств ТН, применяемых при контроле и анализе качества электроэнергии. За основу норм частотных свойств ТН могут быть приняты требования РД 153-34.0-15.501-00. Одновременно с ними должна быть установлена норма в пределах нескольких электрических градусов и для угловой погрешности ТН на высших гармониках.

Анализ частотных свойств исследованных ТН показал их пригодность для контроля качества электроэнергии. В то же время значительная угловая погрешность данных ТН на высших гармониках при номинальной нагрузке не позволяет их применять для анализа качества электроэнергии без соответствующей корректировки результатов измерений фаз n -й гармонической составляющей напряжения.

Обоснована необходимость периодических измерений частотных свойств ТН на месте их эксплуатации при реальной нагрузке.

Литература

1. Метод измерений частотных свойств трансформаторов напряжения, используемых для контроля ПКЭ / В. Н. Ярославский [и др.] // Метрологическое обеспечение электрических измерений в электроэнергетике. – Москва : ВНИ-ИМС, 2000.
2. Brzeziński, R. Wpływ harmoniczných na przekładnię przekładnika średniego napięcia / R. Brzeziński, S. Piontek // Elektrotechnika – Prądy niesinusoidalne EPN 2006: materiały VIII Konferencji – Szkoły, Łagów, 19-21 czerwca 2006 / Uniwersytet Zielonogórski. – Zielona Góra, 2006.
3. РД 153-34.0-15.501-00 : метод. указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 1. – Контроль качества электрической энергии. – Москва, 2000.
4. РД 153-34.0-15.502-2002 : метод. указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 2. – Анализ качества электрической энергии. – Москва, 2002.
5. Арриллага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер ; пер. с англ. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
6. Широков, О. Г. Метод и средство измерения частотных свойств трансформаторов напряжения / О. Г. Широков, О. В. Лымарь // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2005. – № 3. – С. 34–39.
7. Устройство для автоматического измерения частотных характеристик трансформатора напряжения : пат. РБ № 8884, МПК G 01R 35/00 ; опубл. 2007.02.28 // Бюл. № 1.
8. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : ГОСТ 13109-97. – Взамен ГОСТ 13109-87. – Введ. 1.08.1999. – Минск : БелГИСС, 1999. – 31 с.

Получено 16.02.2009 г.