

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»
АО «Системный оператор Единой энергетической системы»
Публичное акционерное общество «Федеральная сетевая компания
Единой энергетической системы»
Российский национальный комитет международного совета по большим
электрическим системам высокого напряжения (РНК СИГРЭ)
Благотворительный фонд «Надежная смена»

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э.Ю. Абдуллазянова*

Казань
2021

3. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 4 мая 2012 г. (в ред. от 22 июня 2019 г. № 442). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 10.03.2021).

4. Ховалова Т.В. Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию [Электронный ресурс] // СРРМ. 2017. № 3 (102). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-effektivnosti-perehoda-na-sobstvennuyu-generatsiyu> (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 621.31

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ КОЭФФИЦИЕНТАМИ НЕЛИНЕЙНЫХ И ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ И УСТРАНЕНИЮ ИХ РАЗНОЧТЕНИЯ

О.Д. Семенова, Р.Х. Тукшаитов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ollivka5001@gmail.com, trh_08@mail.ru

Установлено наличие в электротехнической литературе большого количества терминов, являющихся по существу синонимами. Во избежание разночтения для характеристики качества электроэнергии, обоснована необходимость применения единого, кратко излагаемого, термина - «коэффициент нелинейных искажений». Показана аналитическая и графическая связь между ним и коэффициентом гармонических искажений.

Ключевые слова: коэффициент нелинейных искажений, коэффициент гармонических искажений, разночтение, аббревиатура THD_f.

Для характеристики уровня нелинейных искажений входного тока электрооборудования и напряжения электросети в одних источниках используемый показатель именуют коэффициентом нелинейных искажений [1–3], а в более ранних, коэффициентом гармонических искажений [4, 5], между которыми имеется определенное соотношение [6]. Переход в последние два десятилетия на несколько разнообразную терминологию привело к тому, что в отдельных источниках измеряют коэффициент нелинейных искажений (КНИ), а именуют его коэффициентом гармонических

искажений (КГИ), а в других наоборот [1, 5]. Нередко разночтение или неопределенность возникает и по той причине, что оба коэффициента в отечественной литературе приводятся единой аббревиатурой в виде THD (*Total Harmonic Distortion*) без дополнительных поясняющих индексов.

В силу многообразия применяемых терминов (до 6-7), как при написании научных статей, так и при ознакомлении с научной литературой, нередко возникает вопрос, что же в действительности приводится в работах и насколько приводимые значения соответствует применяемому автором термину [5, 7, 8].

В ГОСТ 32144-2013 приводится термин «коэффициент гармонических составляющих», который в немалой степени ассоциируется с термином «коэффициент гармонических искажений», который имеет другое смысловое содержание. Все это требует проведения систематизации и унификации термина – показателя качества электроэнергии на основе более детального изучения данного вопроса.

Согласно нормативному документу [9] коэффициент нелинейных искажений определяется по формуле:

$$\text{THD}_f = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где I_i – действующее значение тока i -й гармоники; I_1 – действующее значение тока основной гармоники; n – номер гармоники.

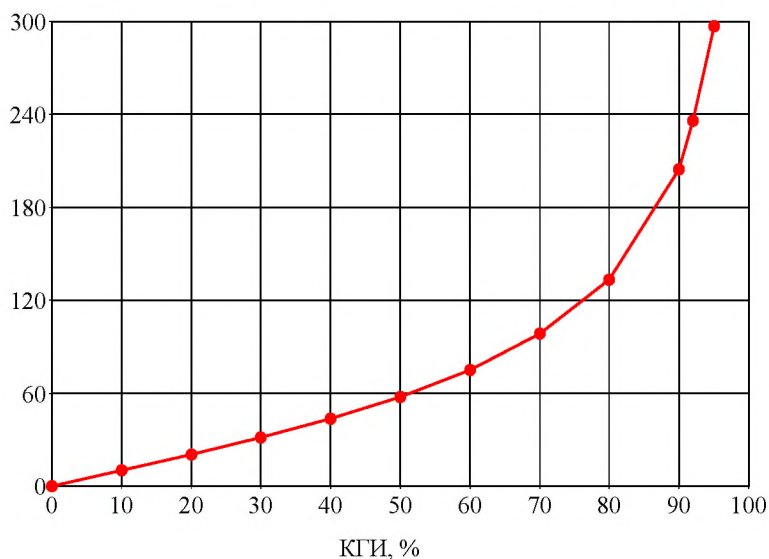
Обоснование необходимости в применении только коэффициента нелинейных искажений в научной и нормативной документации практически отсутствует. Для внесения ясности приводим формулу, по которой ранее вычислялся КГИ [1, 6]:

$$\text{THD}_r \text{ (КГИ)} = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2}}{I} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Связь между КНИ (THD_f) и КГИ (THD_r) описывается выражением [1]:

$$\text{THD}_f = \frac{\text{THD}_r}{\sqrt{1 - \text{THD}_r^2}}. \quad (3)$$

На основе данной формулы, имея значение THD_r , всегда можно результаты измерения выразить через THD_f . Поскольку на практике трудно оперативно сравнивать значение одного показателя относительно значения другого, то на основе выражения (3) построен график (см. рисунок), упрощающий задачу.



Взаимосвязь между коэффициентом гармонических искажений (THD_r) и коэффициентом нелинейных искажений (THD_f)

Из данного рисунка следует, что если THD_r изменяется в пределах от 0 до 100 %, то THD_f изменяется в значительно больших пределах, то есть данный показатель обладает большей чувствительностью, что имеет большее практическое значение при изучении параметров входного тока целого ряда устройств (компьютер, телевизор, люминесцентная лампа с ПРА и светодиодная лампа) не столько с нелинейным их характером, сколько с выраженным импульсным характером входного тока [10–12]. Выражения (1)–(3) представлены, исходя из условия, что кривые напряжения питания и входного тока симметричны относительно нулевой линии.

При небольших значениях THD_f (до 20...25 %) он практически равен THD_r . При КНИ > 40...50 % он начинает заметно отличаться от КГИ. При значении THD_r равному 90...95 %, он соответствует значению THD_f уже равному 200...300 %.

Таким образом, во избежание разночтения, в дальнейшем рекомендуется пользоваться единым термином для характеристики уровня искажения синусоидальности тока или напряжения – коэффициентом нелинейных искажений (КНИ) и английским его написанием в виде THD_f .

Источники

1. «Коэффициент нелинейных искажений (КНИ, THD), коэффициент гармонических искажений (КГИ, Кг, THDr) – различные подходы к определению» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.стабилизатор.рф/reference/tech-articles/231-thd-special> (дата обращения: 25.02.2021).
2. Управление качеством электричества / И.И. Карташев [и др.]; под ред. Ю.В. Шарова. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.
3. О коэффициенте мощности светодиодных ламп (в связи с требованиями ГОСТ Р 55705-2013) / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Светотехника. 2018. № 1. С. 49–51.
4. Резников Г.И. Курс основных радиотехнических измерений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Связь, 1966. 423 с.
5. Теория электрических и магнитных цепей. Электрические измерения: учеб. пособие для вузов / П.А. Бутырин [и др.]. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. 505 с.
6. URL: 380V.ru/refrenc/tech-articles/2331-thd-special (дата обращения: 25.02.2021).
7. Тукшаитов Р.Х., Шириев Р.Р. К устранению разночтения и неопределенности в представлении коэффициента мощности светодиодных осветительных приборов // Практическая силовая электроника. 2019. № 73. С. 32–36.
8. О величине погрешности измерения коэффициента мощности светодиодных ламп в течение суток в зависимости от коэффициента искажения напряжения электросети / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы физики: матер. X Междунар. науч.-техн. конф. 2017. С. 18–22.
9. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2015. 41 с.
10. Тукшаитов Р.Х., Шириев Р.Р. Определение уровня нелинейных искажений входного тока разных типов нагрузок на основе измерения коэффициента мощности и его сомножителя $\cos\varphi$ // Практическая силовая электроника. 2018. № 72. С. 30–36.
11. Высшие гармоники в сетях низкого напряжения с элементами силовой электроники. Опыт непрерывного мониторинга / Л.Л. Хруслов [и др.] // Управление качеством электрической энергии: матер. Междунар. науч.-практ. конф. М., 2018. С. 181–186.

12. Тукшаитов Р.Х., Сагдиев Р.К., Роженцова Н.В. Определение характера изменения длительности входного тока выпрямителя методами моделирования и ее влияния на $\cos\varphi$ и коэффициент мощности // Практическая силовая электроника. 2020. № 77. С. 45–48.

УДК 621-311.42

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КРУПНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А.С. Сигель¹, М.В. Попова²

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

¹frodomoget@gmail.com, ²kovmasha21@yandex.ru

Науч. рук. Е.Г. Зенина

Рассмотрен один из способов повышения КПД трансформаторной подстанции за счет модернизации системы охлаждения силовых масляных трансформаторов и последующей, энергоэффективной с точки зрения функционирования предприятия, утилизации вторичного тепла на обогрев подстанции и близлежащих населенных пунктов.

Ключевые слова: модернизация системы охлаждения трансформаторов, повышение энергоэффективности трансформаторной подстанции, теплоснабжение удаленных населенных пунктов, теплонасос.

Силовые масляные трансформаторы одни из основных элементов электротехнических установок. Стабильность и безопасность их эксплуатации напрямую влияет на качество поставляемой потребителям электроэнергии. Нормативный срок эксплуатации трансформаторов, как правило, не превышает 25–30 лет, а стоимость электроустановки весьма высока, поэтому для энергопредприятий естественно стремление продлить срок службы оборудования. Одним из путей решения этой задачи является модернизация систем охлаждения силовых трансформаторов. Существующие системы зачастую не обеспечивают достаточной эффективности отвода тепла, что приводит к сокращению рабочего ресурса и снижению надежности и мощности работы трансформатора.