

Р. Х. Тукшаитов, Р. К. Зарипов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ИСКАЖЕНИЯ НАГРУЗОК ПО НОМОГРАММЕ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПО ТОКУ

R. H. Tukshaitov, R. K. Zaripov

Determining Distortion Power Factor of Loads by the Nomogram Based on Current Total Harmonic Distortion

Показано, что коэффициент мощности для активно нелинейных нагрузок определяется только коэффициентом мощности искажения. Предложена номограмма для нахождения значения коэффициента мощности искажения в зависимости от коэффициента нелинейных искажений для активно-реактивных нелинейных нагрузок. При коэффициентах нелинейных искажений менее 10–15% коэффициент мощности искажения не превышает 1%, значением которого можно пренебречь, а при значениях менее 50% – не превышает 0,90, что в целом соответствует требованиям ГОСТ 34144-2013 и IEC 61000-3-2.

Ключевые слова: коэффициент мощности, коэффициент мощности искажения, коэффициент нелинейных искажений, активно-реактивная нелинейная нагрузка.

The article demonstrates that power factor for active nonlinear loads is being determined exclusively by the distortion power factor. The authors propose a nomogram for searching for the value of the distortion power factor in dependence on the total harmonic distortion (THD) for active-reactive nonlinear loads. With THDs less than 10–15%, the power distortion factor does not exceed 1%, which value can be neglected. While at the values less than 50% it does not exceed 0,9, which conforms the requirements of the State Standard 34144-2013 and IEC 61000-3-2 entirely.

Key words: power factor, distortion power factor, total harmonic distortion, active-reactive nonlinear load.

Одним из важных энергетических показателей устройств силовой электроники остается коэффициент мощности, характеризующих уровень эффективности потребления энергии из электросети. Коэффициент мощности (λ) для активно-реактивных нелинейных нагрузок определяется на основе учета активной мощности (P), реактивной мощности (Q) и мощности искажения (D) по следующей, широко приводимой в научной и учебной литературе, формуле:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}, \quad (1)$$

где S – полная потребляемая мощность.

Она поясняет взаимосвязь этих показателей, но малопригодна для практики по той причине, что не отражает характер реактивности нагрузки, а применяемые измерительные приборы и в частности анализаторы энергии обычно не позволяют измерять значение коэффициента D . В данной формуле в соответствии с практикой и рекомендацией [1, 2] принятое обозначение мощности искажения буквой T заменено на D (*distortion*). В этом случае все коэффициенты будут представлены соответствующими латинскими буквами, что облегчает расшифровку их содержания.

Для практических целей и раскрытия механизма влияния высших гармоник на качество напряжения электросети более пригодно выражение, представленное лишь в некоторых зарубежных [3–5] и отечественных публикациях [6–9], которое для активно-реактивно нелинейных нагрузок может быть представлено следующим образом:

$$\lambda_1 = \varepsilon \cdot \cos \varphi, \quad (2)$$

где ε – коэффициент мощности искажения.

Если для определения λ по формуле (1) требуется измерить три показателя, то по второй достаточно измерить только два. Кроме того, следует отметить, что энергоэффективность активно-емкостных нелинейных нагрузок характеризует лишь коэффициент ε , так как емкостная составляющая их импеданса способствует, наоборот, повышению перетекания энергии в электросетях, при этом коэффициент $\cos \varphi$ у многих типов таких нагрузок близок к 1,0 [10]. Это позволяет привести формулу (2) к виду:

$$\lambda_2 \cong \varepsilon. \quad (3)$$

Примером таких нагрузок являются приборы и устройства, содержащие на входе выпрямительные устройства со сглаживающими электролитическими конденсаторами (компактные люминесцентные лампы, светодиодные светильники, светодиодные лампы, преобразователи напряжения типа AC-DC, телевизоры, компьютеры и др.). Во избежание разночтения и неопределенности коэффициенты мощности для электрических цепей с активно-индуктивной нелинейной характеристикой обозначен через λ_1 , а с активно-емкостной характеристикой через λ_2 , поскольку коэффициент мощности, вычисленный для активно емкостных нелинейных нагрузок по формуле (2), имеет существенно заниженные значения на уровне 0,45–0,55.

Коэффициент ε , в свою очередь, определяется коэффициентом нелинейных искажений K_f , который в анализаторах качества энергии вычисляется на основе учета действующих значений высших гармоник импульсного входного тока нагрузок, по формуле:

$$K_I = THD_I = 100 \cdot \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}, \quad (4)$$

где I_n — действующее значение n -ой гармоники импульсного входного тока.

Как отмечено выше, значение коэффициента ε обычно не измеряют, хотя он непосредственно характеризует уровень потери мощности за счет нелинейности нагрузок и более информативен, обычно его не измеряют, а измеряют коэффициент нелинейных искажений (K_I). Аббревиатура данного коэффициента в англоязычной литературе обычно приводится в виде THD_I .

Для оценки уровня потерь активной мощности за счет нелинейности нагрузки можно судить только по коэффициенту ε . Вместе с тем, на практике определяют K_I по той причине, что ε многих нагрузок принимают значения в достаточно малых пределах 0,90–1,0, в то время как K_I практически принимает значения в пределах от 0 и, практически, до 200–250 %. Это позволяет с большой точностью косвенно оценить потери электроэнергии генерирующих компаний и энергосистем, особенно при небольших их уровнях (2–6%), обеспечиваемых в соответствии с требованиями нормативных документов. С другой стороны, очень трудно, а практически и невозможно, по значению K_I оперативно количественно определять потери мощности (δ_p) в энергосистеме. Поэтому для практических целей предлагается график зависимости ε от K_I в пределах от 0 до 500%, построенный на основе его расчетных значений [11] (рис. 1).

Хотя современные анализаторы качества энергии выпускаются с предельным значением измерения K_I равно 1000%, при построении графика ограничили значением в 500% по той причине, что в своей практике значения K_I разных нелинейных нагрузок более 230% не регистрировали. Если во многих анализаторах верхний предел измерения K_I был ограничен 50–100%, то в последних моделях предел его измерения значительно увеличен (до 1000%), что в большей степени можно отнести к маркетинговому приему фирм производителей.

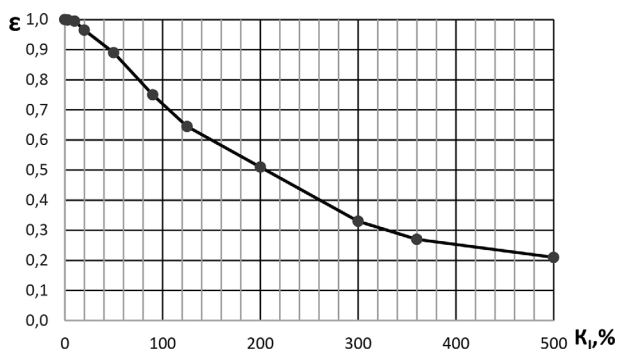


Рис. 1. Зависимость коэффициента мощности искажения от коэффициента нелинейных искажений

Пользуясь представленным графиком, можно оперативно оценить значение ε , а далее непосредственно реальные относительные потери активной мощности в процентах по формуле:

$$\delta_p = (1 - \varepsilon) \cdot 100\%. \quad (5)$$

При K_I нагрузки, например, равно 15%, значение ε равно 0,989. Следовательно, в этом случае потери активной мощности искажения составят не более 1,1%.

По результатам измерения λ_1 любой нагрузки можно с большой достоверностью установить тип драйвера, использованного в приборе, — электронный или конденсаторный. Значения λ_1 менее 0,30–0,40 свидетельствуют о конденсаторном типе драйвера, который ранее именовали “бездрайверным”.

Рассматриваемый вопрос является составной частью недостаточно раскрытой проблемы, которому ранее был посвящен несколько публикаций [12–15], сводившихся к необходимости внесения изменений в ряде ГОСТов. Однако проблема доработки соответствующих нормативных документов продолжает оставаться актуальной и по сей день.

Таким образом, использование предложенной номограммы будет способствовать оперативной оценке потери мощности искажения в активно нелинейных и активно-реактивных нелинейных нагрузках и повышению точности ее определения, особенно, особенно при малых уровнях коэффициентов нелинейного искажения, ограничиваемых рядом нормативных документов в электроэнергетике.

Литература

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоиздат, 2004. 358 с.
2. Шклярский Я. Э., Брагин А. А., Добуш В. С. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения. — Электронный журнал “Нефтяное дело”. 2012. № 4. С. 26–32.
3. Verderber R.R., Morse O. C., Alling G. R. Harmonics From compact Fluorescent lamps. IEEE Transaction on Industry Application. 1994. V. 29. No. 3. P. 670–674.
4. Источники света 2008/2009. Каталог ламп фирмы Osram.— 950 с.
5. Мазумдар С., Мандал Р. С., Мухерджи А., Сур А. К. Коэффициент мощности и гармонический анализ компактных люминесцентных ламп со встроенными ПРА. — Светотехника. 2010. № 1. С. 32–37.
6. Tukshaitov R. H., Abdullazyanov E. Yu. New Approach to Desing of LED Lamps. VI LED Konferencia, 2015. P. 31.
7. Тукушаитов Р. Х., Абдуллазянов Э. Ю., Нигматуллин Р. М., Айхайти Исыхакэфу. О коэффициенте мощности светодиодных ламп (в связи с требованиями ГОСТ Р 55705-2013. — Светотехника. 2018. № 1. С. 49–51.
8. Тукушаитов Р. Х., Шириев Р. Р. Определение уровня нелинейных искажений входного тока разных типов нагрузок на основе измерения коэффициента мощности и его сомножителя cosφ. — Практическая силовая электроника. 2018. № 4 (72). С. 30–36.

9. Карев А. О коэффициенте мощности светодиодных светильников. — Современная светотехника, 2020. № 2 (64). С. 16–17.
10. Тукшаитов Р. Х., Шириев Р. Р. К устранению разноточения и неопределенности в представлении коэффициента мощности светодиодных осветительных приборов. — Практическая силовая электроника. 2019. № 1 (73). С. 32–36.
11. Тукшаитов Р. Х., Семенова О. Д., Новокрещенов В. В. Оценка уровня нелинейных искажений электроустановок на основе моделирования длительности импульса входного тока. — Электроэнергия. Передача и распределение. № 3. 2022. С. 54–58.
12. Тукшаитов Р. Х., Козлов В. К., Бурганетдинова Д. Д. Об энергокорректирующей и повышенной энергосберегающей роли компактных люминесцентных ламп. В сборнике: Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции в 11 частях. 2014. С. 145–146.
13. Абдуллазянов Э. Ю., Тукшаитов Р. Х., Курмаев И. Х., Нигматуллин Р. М. Доработка ГОСТа Р 55705-2013 — путь к новым энергосберегающим возможностям светодиодных осветительных систем. В сборнике: Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан. Труды XV Международного симпозиума “Энергоресурсоэффективность и энергосбережение”. Под общей ред. директора ГАУ “Центр энергосберегающих технологий Республики Татарстан при Кабинете Министров Республики Татарстан” профессора, заслуженного энергетика РТ, Мартынова Е. В., 2015. С. 200–202.
14. Тукшаитов Р. Х. Методологические аспекты формирования в ГОСТах требований к коэффициенту мощности светодиодных светильников и его структуре. В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума. — Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. 2015. С. 64–66.
15. Тукшаитов Р. Х. О принципиальной необходимости доработки требований к коэффициенту мощности в ГОСТ Р 55705-2013 и IEC 610000-3-2ю В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках Всероссийского светотехнического форума. 2017. С. 395-400.

Тукшаитов Рафаил Хасьянович, профессор, профессор кафедры «Электрооборудование и электрохозяйства предприятий, организаций и учреждений» Казанского государственного энергетического университета, тел. +7 (950) 313-88-93, e-mail: zrust@mail.ru.

Зарипов Рустем Котдусович, аспирант кафедры «Электрооборудование и электрохозяйства предприятий, организаций и учреждений» Казанского государственного энергетического университета, тел. +7 (987) 276-98-88, e-mail: zrust@mail.ru.