

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В статье рассмотрен вопрос о разработке метода оценки влияния потребителей на качество электроэнергии в действующих энергосистемах, на базе которого возможно создание объективного механизма взаимоотношений между энергоснабжающей организацией и потребителями электроэнергии.

Ключевые слова: Электрическая сеть, нелинейная и несимметричная нагрузка, показатели качества электроэнергии.

A.S. Kadyrov - c.e.s., docent, OshTU,
Murzakulova G.A. - senior teacher OshTU

ASSESSMENT OF CONSUMERS INFLUENCE ON THE QUALITY OF ELECTRICITY IN DISTRIBUTION NETWORKS

The article describes the development of method for assessing the influence of consumers on the quality of electricity in existing energy systems, based on which it is possible to create an objective mechanism of the relationship between energy Supply Company and consumers.

Key words: Electrical network, nonlinear and unbalanced load, electricity power quality.

Актуальность: Производители и потребители электрической энергии несут значительные экономические потери от нарушения ее качества. Показатели качества электроэнергии (ПКЭ) приведены в ГОСТ 13109-97 [1]. Отклонения показателей качества электроэнергии от нормируемых значений ухудшают условия эксплуатации электрооборудования энергоснабжающих организаций и потребителей электроэнергии, которые могут привести к значительным убыткам, как промышленности, так и бытовом секторе.

Специфика электрической энергии заключается в том, что ее качество зависит не только и не столько от энергоснабжающей организации (ЭСО), сколько от самих потребителей. Для таких свойств электроэнергии, как несинусоидальность и несимметрия трехфазной системы напряжений, виновниками превышения допустимых значений являются потребители с нелинейными и несимметричными нагрузками соответственно, и устанавливаются следующие ПКЭ[1].

- установившееся отклонение напряжения $\delta U_y; \delta U_y;$
- размах изменения напряжения $\delta U_t; \delta U_t;$
- доза фликера $P_t; P_t;$
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения $K_u; K_u;$
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения $K_{u(n)}; K_{u(n)};$
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2u}; K_{2u};$
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0u}; K_{0u};$
- отклонение частоты $\Delta f; \Delta f;$
- длительность провала напряжения $\Delta t_n; \Delta t_n;$
- импульсное напряжение $U_{имп}; U_{имп};$

– коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}; K_{перU};$

При определении значений некоторых ПКЭ стандартом вводятся следующие вспомогательные параметры электрической энергии:

– интервал между изменениями напряжения $\Delta t_{ii+1}; \Delta t_{ii+1};$

– глубина провала напряжения $\delta U_n; \delta U_n;$

– частота появления провалов напряжения $F_n; F_n;$

– длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп0,5}; \Delta t_{имп0,5};$

– длительность временного перенапряжения $\Delta t_{перU}; \Delta t_{перU};$

В стандарте по таблице 1., указаны вероятные виновники ухудшения качества электроэнергии между потребителями и энергоснабжающей организацией (ЭСО).

Таблица 1

Показатели, характеризующие и наиболее вероятные виновники ухудшения качества электроэнергии (КЭ)

| Свойства электрической энергии | Показатель КЭ | Наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ |
|---|---|---|
| Отклонения напряжения | – установившееся отклонение напряжения $\delta U_y; \delta U_y;$ | Энергоснабжающая организация |
| Колебания напряжения | – размах изменения напряжения $\delta U_t;$ $\delta U_t;$ – доза фликера $P_t; P_t;$ | Потребитель с переменной нагрузкой |
| Несинусоидальность напряжения | – коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения $K_u; K_u;$ – коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения $K_{u(n)};$ $K_{u(n)};$ | Потребитель с нелинейной нагрузкой |
| Несимметрия трехфазной системы напряжений | – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2u}; K_{2u};$ – коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0u}; K_{0u};$ | Потребитель с несимметричной нагрузкой |
| Отклонение частоты | – отклонение частоты $\Delta f; \Delta f;$ | Энергоснабжающая организация |
| Провал напряжения | – длительность провала напряжения $\Delta t_n; \Delta t_n;$ | Энергоснабжающая организация |
| Импульс напряжения | – импульсное напряжение $U_{имп.};$ $U_{имп.};$ | Энергоснабжающая организация |
| Временное перенапряжения | – коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}; K_{перU};$ | Энергоснабжающая организация |

Цель работы. Состоит в разработке метода оценки влияние потребителей на качество

электроэнергии (КЭ) в действующих энергосистемах и создание объективного механизма взаимоотношений.

Предлагается метод оценки влияния потребителей на напряжения искажения [3,4] на рис.1., позволяющий корректно оценить влияние участников системы электроснабжения (СЭС) на качество электрической энергии.

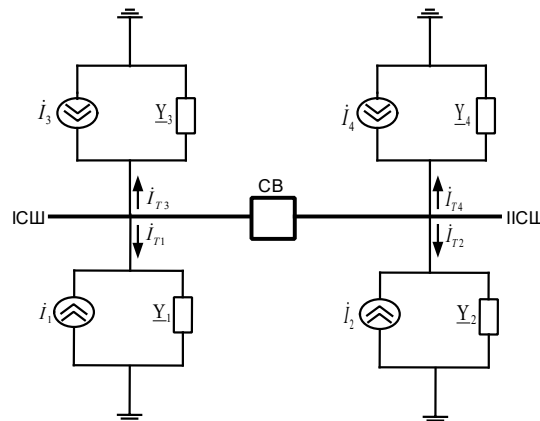


Рис.1. Схема замещения субъектов подключенных к ТОП.

Напряжение на искажения в ТОП определяется по выражению:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{иск.ТОП}} &= \frac{i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_k + \dots + i_N}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_k + \dots + Y_N} = \frac{\sum_{m=1}^N i_m}{\sum_{m=1}^N Y_m}, \\ \dot{U}_{\text{иск.ТОП}} &= \frac{i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_k + \dots + i_N}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_k + \dots + Y_N} = \frac{\sum_{m=1}^N i_m}{\sum_{m=1}^N Y_m}, \end{aligned} \quad (1)$$

где: N- количество участников СЭС, присоединенных к данной ТОП.

Из (1) введем обозначения:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\Sigma}^E &= i_1 + i_2 + i_3 + i_k + \dots + i_N = \sum_{m=1}^N i_m; \quad Y_{\Sigma}^E = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_k + \dots + Y_N = \sum_{m=1}^N Y_m; \\ \dot{I}_{\Sigma}^A &= i_1 + i_2 + i_3 + i_k + \dots + i_N = \sum_{m=1}^N i_m; \quad Y_{\Sigma}^A = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_k + \dots + Y_N = \sum_{m=1}^N Y_m; \\ \dot{I}_{\Sigma}^A &= i_1 + i_2 + i_3 + i_k + \dots + i_N = \sum_{m=1}^N i_m; \quad Y_{\Sigma}^A = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_k + \dots + Y_N = \sum_{m=1}^N Y_m; \end{aligned} \quad (2)$$

где: $\dot{I}_{\Sigma}^E, Y_{\Sigma}^E - \dot{I}_{\Sigma}^A, Y_{\Sigma}^A$ – геометрические (векторные) суммы соответственно токов искажения и проводимостей участников СЭС; $\dot{I}_{\Sigma}^A, Y_{\Sigma}^A - \dot{I}_{\Sigma}^A, Y_{\Sigma}^A$ – арифметические суммы тех же величин.

Обозначим величины коэффициентами:

$$K_{CI} = \frac{|\dot{I}_{\Sigma}^E|}{\dot{I}_{\Sigma}^A}; \quad K_{CY} = \frac{|Y_{\Sigma}^E|}{Y_{\Sigma}^A}; \quad K_{CI} = \frac{|\dot{I}_{\Sigma}^E|}{\dot{I}_{\Sigma}^A}; \quad K_{CY} = \frac{|Y_{\Sigma}^E|}{Y_{\Sigma}^A},$$

где: $K_{CI}, K_{CY} - K_{CI}, K_{CY}$ – коэффициенты совпадения по фазе соответственно токов и проводимостей могут принимать значения в интервале (0...1).

Из (3) получаем:

$$\begin{aligned} |\dot{I}_{\Sigma}^E| &= K_{CI} \cdot \dot{I}_{\Sigma}^A; \quad |Y_{\Sigma}^E| = K_{CY} \cdot Y_{\Sigma}^A; \\ |Y_{\Sigma}^E| &= K_{CY} \cdot Y_{\Sigma}^A; \quad |Y_{\Sigma}^E| = K_{CY} \cdot Y_{\Sigma}^A. \end{aligned}$$

(3) В соответствии с [6] нормируются только модули напряжений искажения. Следовательно, с учетом (2) и (4) можно записать:

$$U_{\text{иск.ТОП}} = \frac{K_{CI} \cdot I_{\Sigma}^A}{K_{CY} \cdot Y_{\Sigma}^A} U_{\text{иск.ТОП}} = \frac{K_{CI} \cdot I_{\Sigma}^A}{K_{CY} \cdot Y_{\Sigma}^A} \quad (4)$$

Введем понятие коэффициента выгоды:

$$\frac{K_{CY}}{K_{CI}} = K_{\text{выг.}} \frac{K_{CY}}{K_{CI}} = K_{\text{выг.}} \quad (5)$$

Подставим (6) в (5) получим:

$$U_{\text{иск.ТОП}} = \frac{1}{K_{\text{выг.}}} \cdot \frac{I_{\Sigma}^A}{Y_{\Sigma}^A} U_{\text{иск.ТОП}} = \frac{1}{K_{\text{выг.}}} \cdot \frac{I_{\Sigma}^A}{Y_{\Sigma}^A} \quad (6)$$

Коэффициент выгоды характеризует эффективность совместной работы потребителей для снижения напряжения искажения в ТОП.

Если $K_{\text{выг.}} < 1, K_{\text{выг.}} < 1$, то совместная работа потребителей неэффективна, так как в этом случае $U_{\text{иск.ТОП}} U_{\text{иск.ТОП}}$ больше, чем это обусловлено модулями токов искажения и проводимостей. Если же $K_{\text{выг.}} > 1, K_{\text{выг.}} > 1$, то совместная работа потребителей в данной ТОП выгодна, поскольку это дополнительно уменьшает напряжение искажения.

В общем виде условием допустимости режима является неравенство:

$$U_{\text{иск.ТОП}} \leq U_{\text{иск.доп.}}, U_{\text{иск.ТОП}} \leq U_{\text{иск.доп.}}, \quad (7)$$

где: $U_{\text{иск.доп.}} - U_{\text{иск.доп.}}$ – допустимая по ГОСТ 13109-97 величина напряжения искажения, задаваемая коэффициентами $K_{U(n)} K_{U(n)}$ или $K_{2U} K_{2U}$.

С учетом (2) и (7) можно записать:

$$\frac{1}{K_{\text{выг.}}} \cdot \frac{I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_k + \dots + I_N}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_k + \dots + Y_N} \leq U_{\text{иск.доп.}} \frac{1}{K_{\text{выг.}}} \cdot \frac{I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_k + \dots + I_N}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_k + \dots + Y_N} \leq U_{\text{иск.доп.}} \quad (8)$$

После преобразований из (9) можно записать:

$$K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} \cdot Y_k - I_k \geq 0, K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} \cdot Y_k - I_k \geq 0. \quad (9)$$

Откуда:

$$\frac{I_k}{Y_k} \leq K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} \frac{I_k}{Y_k} \leq K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} \quad (10)$$

Обозначим $\frac{I_k}{Y_k} = U_k^{\text{авт.}} \frac{I_k}{Y_k} = U_k^{\text{авт.}}$, где $U_k^{\text{авт.}} - U_k^{\text{авт.}}$ – автономное напряжения искажения, создаваемое k-ым участником СЭС. Условием допустимости вносимых k-ым потребителем искажений:

$$U_k^{\text{авт.}} \leq K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} U_k^{\text{авт.}} \leq K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} \quad (11)$$

Обозначим $K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} = U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}}$, $K_{\text{выг.}} \cdot U_{\text{иск.доп.}} = U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}}$, где $U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}} - U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}}$ – скорректированное с учетом схемы данной ТОП допустимое напряжение искажения. Неравенство (13) можно записать в виде:

$$U_k^{\text{авт.}} \leq U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}} U_k^{\text{авт.}} \leq U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}} \quad (12)$$

Выражение (14) позволяет однозначно определить, является ли допустимым влиянием влияние k-го потребителя на напряжение искажения в ТОП с учетом всех потребителей.

Выражение (13) коэффициент $K_{\text{выг.}}$, а следовательно, и скорректированное допустимое напряжение $U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}} U_{\text{иск.доп.}}^{\text{корр.}}$ зависят от параметров других потребителей и внешней сети. Для автономной оценки влияния k-го потребителя на искажение напряжения (без учета параметров других потребителей и ЭСО) введем понятия абсолютного критерия допустимости вносимых k-ым потребителем искажений. Этим критерием является условие (14) при коэффициенте $K_{\text{выг.}} = 1$:

$$U_k^{\text{авт.}} \leq U_{\text{иск.доп.}} U_k^{\text{авт.}} \leq U_{\text{иск.доп.}} \quad (13)$$

Таким образом, при соблюдении неравенства (15) для неискажающих потребителей, а для искажающих потребителей, у которого автономное напряжение искажения превышает допустимое

напряжения искажения по [5].

Для количественной оценки влияния k-го потребителя на напряжение искажения в ТОП вводится понятие *коэффициента влияния*:

$$K_{в.л.k} = \frac{U_{иск.доп.}^{корр.} - U_k^{авт.корр.}}{U_{иск.доп.}^{корр.}} = 1 - \frac{U_k^{авт.}}{U_{иск.доп.}} \cdot K_{в.л.k} = \frac{U_{иск.доп.}^{корр.} - U_k^{авт.корр.}}{U_{иск.доп.}^{корр.}} = 1 - \frac{U_k^{авт.}}{U_{иск.доп.}} \quad (14)$$

Коэффициент влияния может принимать следующие значения:

– если $K_{в.л.k} > 0, K_{в.л.k} > 0$, то k-ый потребитель оказывает допустимое влияние на $U_{иск.доп.}$, а его подключение улучшает качество электроэнергии в ТОП;

– если $K_{в.л.k} = 0, K_{в.л.k} = 0$, то k-ый потребитель имеет $U_k^{авт.} = U_{иск.доп.}$, и при его включении или отключении напряжение искажения в ТОП не изменяется;

– если $K_{в.л.k} < 0, K_{в.л.k} < 0$, то k-ый потребитель оказывает недопустимое влияние на напряжение искажения в ТОП, его подключение приводит к ухудшению показателя качества электроэнергии.

Предложенный метод оценки влияния потребителей на качество электроэнергии дает возможность корректно и однозначно определить, является ли допустимым влияние потребителя на напряжение искажения. Количественно влияние k-го потребителя оценивается с помощью коэффициента влияния $K_{в.л.k}$. Метод может быть положен в основу механизма экономического регулирования взаимоотношений между поставщиками и потребителями электроэнергии, связанных с искажениями напряжения.

Выводы:

Выполнен анализ методов оценки влияния потребителей на искажение напряжения в электрической сети. И отмечена важность этой задачи и необходимость ее решения с целью получить методику выявления виновников недопустимых искажений напряжения для последующей нормализации качества электроэнергии в энергосистемах с нелинейными и несимметричными нагрузками.

Литература:

1. **Висящев, А.Н.** О вкладе потребителей в ухудшение качества электроэнергии [Текст] /Луцкий И.И., Тигунцев С.Г.// Всероссийская конференция молодых специалистов электроэнергетики: сборник докладов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
2. **Висящев, А.Н.** Влияние потребителей на искажение напряжения [Текст] / С.Г. Тигунцев // Электрические станции–2002.-№7.
3. **Афанасенко, А.С.** Оценка влияния потребителей и энергоснабжающей организации на искажение напряжения в точке общего присоединения [Текст] / Д.С. Федосов // Вестник Иркутского государственного технического университета.-2011.-№11(58).
4. **Висящев, А.Н.** Оценка влияния потребителей на искажение напряжения в электрической сети [Текст] / Д.С. Федосов // Всероссийская научно-техническая конференция: сборник докладов. – Москва, 2014.
5. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Издательство стандартов, 1997. –31с.