

УДК 621.3.011.74.005

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА В СМАРТ-СЕТЯХ

Жуйков В.Я., докт.техн.наук,  
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
 ул. Политехническая, 16, Киев, 03056, Украина.

*Рассмотрены особенности применения критериев оценки качества электрической энергии, а также интегральные показатели по основной и высшим гармоникам. Работа преобразователей индуцирует изменение реактивной составляющей. Рассмотрены функции силовой электроники в смарт-сетях. Библ. 4.*

**Ключевые слова:** электроэнергия, качество, силовая электроника.

**Введение.** Развитие будущих энергетических систем предполагает использование концепции, основанной на реализации смарт-сетей или интеллектуальных сетей [2], в надежде на то, что последние смогут обеспечить гибкость структуры, адекватность параметров технологическим требованиям, надежность в доставке энергии, высокую эффективность и качественное управление. Одними из составляющих как глобальных, так и региональных смарт-сетей являются устройства силовой электроники.

**Критерии качества.** В последнее время возросло внимание к выбору возможных вариантов оценки  $\cos \varphi$  и интегральных показателей. Множество оригиналов функций  $f(t)$  связано с множеством их изображений

$$F(T) = \int_0^T \psi(t)f(t)dt . \text{ Так как обратное преобразование } F(t) \Rightarrow f(t) \text{ является многозначным, то для напряжений}$$

и токов, отличающихся от синусоидальных, поиск некоторых общих интегральных показателей, какими являются действующее значение активной мощности, значение реактивной мощности либо другие, в полном объеме отражающие свойства исследуемого процесса, обречен на неудачу.

Оценка мощности искажений при напряжении  $u_1(t)$  проводится по сумме квадратов действующих значений токов  $i_n(t)$  высших гармоник, что предполагает существование неравенства  $\int_0^T u_1(t)i_n(t)dt \neq 0, n = 2,3,4,\dots$ ,

противоречащего теории ортогональных функций. При оценке качества электрической энергии необходимо как можно полнее учитывать несинусоидальность напряжений и токов и использовать такие критерии, как коэффициент гармоник (коэффициент искажений); амплитуды нескольких десятков или сотен высших гармоник; угол сдвига фазы основной гармоники, который не должен превышать заданных значений. Выполнение требований по нескольким десяткам значений амплитуд высших гармоник существенно снижает неоднозначность в достижении необходимого качества электроэнергии.

В [4] показано, что «ключевые элементы не участвуют ни в генерации, ни в потреблении электромагнитной энергии». Тем не менее, включение и выключение части активной нагрузки индуцирует изменение  $\cos \varphi$  в зависимости от величин сопротивлений и угла регулирования  $\alpha$ . В системе происходят переходные процессы, постоянная времени  $\tau$  которых при известном  $\cos \varphi$  определяется из выражения  $\tau = (tg \varphi / \omega)$ . Например, при  $\cos \varphi = (0,866-0,985)$ , что соответствует углу  $\varphi = (30^\circ-10^\circ)$ , постоянная времени  $\tau$  находится в пределах  $\tau = (0,18 \cdot 10^{-2}-0,56 \cdot 10^{-3})$  сек. Полагая время окончания переходных процессов  $t_{пер} = 3\tau$ , получим  $t_{пер} = (0,54 \cdot 10^{-2}-1,68 \cdot 10^{-3})$  сек. При частоте 50 Гц переходный процесс длится в течение времени, за которое угол  $\varphi$  изменяется в пределах от  $97^\circ$  до  $30^\circ$  по основной гармонике. Результат измерения  $\cos \varphi$  зависит не только от параметров сети и нагрузки, но и от расположения и длительности интервала измерения на периоде напряжения сети. Достоверные данные относительно  $\cos \varphi$ , по которым осуществляется управление и экономические расчеты, могут быть получены на основе применения обоснованных методик и интервалов измерения, оценки математического ожидания, оценки дисперсии.

**Функции устройств силовой электроники.** Во-первых, это обеспечение необходимого значения  $\cos \varphi$  мощных генераторов, что является условием минимизации расхода первичной энергии на их входе.

Во-вторых, обеспечение активного эквивалента нагрузки на концах линий передачи и распределительных систем. Преобразователи, размещаемые в этих узлах, должны выполнять функции симметрирующих устройств, например, при двух оборванных фазах [1].

В-третьих, обеспечение режима максимального отбора энергии от возобновляемых источников; формирование необходимой нагрузочной характеристики; суммирование отдельных потоков энергии, которое может осуществляться с параметрами энергии следующих форм: 1) синусоидальной; 2) постоянной; 3) прямоугольной, трапециoidalной, импульсной или других специальных форм [3].

В-четвертых, обеспечение режима электромагнитной совместимости: поддержание  $\cos \varphi = 1$  на нагрузках и достижение согласования в частотных областях. В первой области осуществляется преобразование по первой гармонике, что не устраняет искажение формы тока. Во второй области осуществляется преобразова-

ние формы тока на повышенных частотах, что обеспечивает близость к синусоидальной форме. В третьей области осуществляется подавление пассивными и активными фильтрами гармоник напряжения и тока в диапазоне частот единицы–сотни кГц и обеспечение блокирования распространения электромагнитной энергии этих частот активными фильтрами. В четвертой области осуществляется подавление энергии паразитных сигналов радио-и телекоммуникационных диапазонов, что достигается соответствующей конструкцией преобразователей и технологией их изготовления.

**Заключение.** Преобразователи позволяют оперативно изменять структуру и параметры сети при условии удовлетворения ее заданным критериям в широком диапазоне охватываемых частот. Так как решение о перенаправлении потока энергии принимается на границах некоторой зоны, то включение в систему дополнительных источников энергии и накопителей расширяет виртуальную петлю гистерезиса канала управления, что может либо нарушить устойчивость системы, либо повысить её с одновременным увеличением времени, предоставляемым для выработки управляющего решения.

Приблизительная стоимостная оценка объема оборудования силовой электроники для развития smart-сетей в Украине на последующие 5 лет при уровне генерации  $\sim(22-23)10^{12}$  Вт\*час дает результат  $\sim 500$  млн. дол. США. Необходимость многократного преобразования увеличивает результат в несколько раз.

1. *Жемеров Г.Г. и др.* Энергоэффективность коррекции фазы тока и компенсации пульсаций активной и реактивной мощности в трехфазной системе электроснабжения // *Технічна електродинаміка*. – 2007. – №1. – С. 52–57.
2. *Кириленко А.В. и др.* Smart-грид в ракурсе системной методологии // *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Спец. випуск*. – 2011. – С. 63–72.
3. *Сокол Е.И. и др.* Использование средств силовой электроники для создания новых технологий в системе передачи электрической энергии // *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Спец. випуск*. – 2010. – С. 30–34.
4. *Тонкаль В.Е. и др.* Баланс энергии в силовых электрических цепях. – К.: Наукова думка, 1992. – 312 с.

УДК 621.3.011.74.005

#### СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА У СМАРТ-МЕРЕЖАХ

**Жуйков В.Я.<sup>2</sup>**, докт. техн. наук,

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
вул. Політехнічна, 16, Київ, 03056, Україна.**

*Розглянуто особливості застосування критеріїв оцінки якості електричної енергії, а також інтегральні показники по основній та вищим гармонікам. Робота перетворювачів індукуює зміну реактивної складової енергії мережі. Розглянуто функції пристроїв силової електроніки в smart-мережах.* Бібл. 4.

**Ключові слова:** електроенергія, якість, силова електроніка.

#### POWER ELECTRONICS IN SMART GRIDS

**V.Ya. Zhuikov,**

**National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”,  
Polytekhnichna Str., 16, Kyiv, 03056, Ukraine.**

*Discusses features of the criteria for evaluating the quality of electricity, and also integrated indicators on the basic and higher harmonics. Shown that power converters work with pulse-phase regulation of alternating voltage induces a change of reactive power component of the power network. Review the functions of power electronics devices in Smart Grids.* References 4.

**Key words:** electricity, quality, power electronics.

1. *Zhemerov G.G. and other.* Energy efficiency phase current correction and compensation of active and reactive power ripple in three-phase power system // *Tekhnichna elektrodynamika* – 2007. – №1. – Pp. 52–57. (Rus)
2. *Kirilenko A.V. and other.* Smart Grid in perspective of a systematic methodology. // *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. Spetsialnyi vypusk*. – 2011. – Pp. 63–72. (Rus)
3. *Sokol E.I. and other.* Use of power electronics recourses to create new technologies in the transmission of electric energy // *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. Spetsialnyi vypusk*. – 2010. – Pp. 30–34. (Rus)
4. *Tonkal V.E. and other.* The energy balance of power electrical circuits. – Kyiv: Naukova dumka, 1992. – 312 p. (Rus)

Надійшла 17.01.2012

Received 17.01.2012