

УДК 621.791

ОБОБЩЕННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА КРИВОЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Митяшин Н.П., Паранькина А.С., Смольков М.С., Дерунов В.А.

Саратовский государственный технический университет

a.wushu@mail.ru

Аннотация. Рассматривается проблема построения экономного с точки зрения работы ресурсов вычислительного устройства показателя качества кривой выходного напряжения преобразовательных комплексов на основе автономных инверторов. Такой показатель необходимо иметь при управлении качеством электроэнергии в реальном масштабе времени. Предложены варианты показателей, применение которых может значительно повысить быстродействие системы управления.

Ключевые слова: качество выходного напряжения, автономный инвертор, реальный масштаб времени, показатель качества, оптимизация.

Постановка задачи

При управлении преобразователем частоты в реальном масштабе времени желательно иметь простой и экономичный с точки зрения расхода ресурсов вычислительного устройства (в частности микропроцессора) алгоритм оценивания показателей качества кривой выходного напряжения. В частности, рассмотрим следующие показатели качества электроэнергии, регламентируемые ГОСТ 13109-97: K_U – коэффициент искажения несинусоидальности кривой напряжения, K_{2U} – коэффициент несимметрии по обратной последовательности, K_U – коэффициент несимметрии по нулевой последовательности.

Определение каждого из указанных показателей требует громоздких расчетов [2]. Так, определение коэффициента искажения несинусоидальности K_U потребует расчета, по крайней мере, пяти – семи младших гармоник спектра кривой напряжения, причем в случае наличия асимметрии, необходимо эти расчеты проводить для каждой фазы. Значительных затрат времени потребуют и расчеты коэффициентов несимметрии K_{2U} и K_{0U} (см. формулы Б.18 и Б.23 ГОСТ 13109-97).

Поэтому в настоящей работе ставится задача построения функционалов оценки качества трехфазной системы напряжения не требующих громоздких расчетов в реальном масштабе времени.

Метод решения

В то же время для решения задачи минимизации указанных коэффициентов нет необходимости контролировать каждый из них. Обратим внимание на то, что наличие несимметрии и искажения синусоидальности кривой приводит, в частности, к искажению вращающегося поля, создаваемого трехфазной системой в пространстве расположения ротора асинхронной машины, что и определяет в значительной степени потери, связанные со снижением качества электроэнергии. Поэтому достаточно было бы непосредственно минимизировать само это искажение поля.

Поскольку измерение этого поля также трудно реализуемо, выразим его через мгновенные значения напряжения сети. Для воображаемой машины, получающей питание от контролируемой сети, спроектируем напряжение фазных обмоток $u_1(t), u_2(t), u_3(t)$ на две неподвижные взаимно перпендикулярные оси OX и OY , первая из которых направлена вдоль оси обмотки первой фазы.

Получим следующие координаты вращающегося вектора

$$\begin{aligned} U_x(t) &= u_1(t) - 0.5(u_2(t) + u_3(t)), \\ U_y(t) &= \sqrt{3}(u_3(t) - u_2(t))/2. \end{aligned}$$

Для квадрата модуля этого вектора находим

$$U^2(t) = u_1^2(t) + u_2^2(t) + u_3^2(t) - u_1(t)u_2(t) - u_2(t)u_3(t) - u_3(t)u_1(t). \quad (2)$$

Угол Ξ , который составляет этот вектор с осью OX , удовлетворяет уравнению

$$\Xi(t) = \arctg(\sqrt{3}(u_3(t) - u_2(t))/(2u_1(t) - u_2(t) - u_3(t))). \quad (3)$$

Известно, что для идеальной трехфазной системы напряжений величина $U^2(t)$ сохраняет постоянное значение, а $\Xi(t)$ является линейной функцией времени. Верно и обратное утверждение, а именно постоянство (2) и линейность (3) в совокупности достаточны для идеальности трехфазной системы.

Нетрудно также показать, что для идеальной трехфазной системы

$$\Phi_1 = u_1^2(t) + u_2^2(t) + u_3^2(t) = \text{const}, \quad (4)$$

а, следовательно, с учетом постоянства $U^2(t)$

$$\Phi_2 = u_1(t)u_2(t) + u_2(t)u_3(t) + u_3(t)u_1(t) = \text{const}. \quad (5)$$

Дифференцируя (3), и по-прежнему считая систему идеальной, после элементарных преобразований, получим

$$\Phi_3 = u_1(t)u_2'(t) + u_2(t)u_3'(t) + u_3(t)u_1'(t) = \text{const} \quad (6)$$

Таким образом, для идеальности трехфазной системы напряжений необходимо и достаточно выполнение условий (4) и (6) или (5) и (6). Это означает, что для оптимизации качества системы напряжений по трем показателям K_U , K_{2U} и K_{0U} следует минимизировать следующие функционалы

$$F_1 = \Phi_1^+ - \Phi_1^- \quad (7)$$

и

$$F_3 = \Phi_3^+ - \Phi_3^- \quad (8)$$

Здесь обозначено

$$\Phi_1^+ = \max_t \Phi_1(t), \Phi_1^- = \min_t \Phi_1(t), \Phi_3^+ = \max_t \Phi_3(t), \Phi_3^- = \min_t \Phi_3(t), \quad (9)$$

причем указанные экстремумы ищутся по всем регистрируемым моментам времени на периоде напряжения. Как следует из сказанного выше, вместо Φ_1 в (7) можно рассматривать Φ_2 или $U^2(t)$.

В отличие от Φ_1 или Φ_2 , расчет которых весьма прост и может быть осуществлен микропроцессорной системой в реальном масштабе времени, расчет Φ_3 связан с численным дифференцированием. Поэтому вместо функции

Φ_3 целесообразно в (9) использовать функцию

$$\Phi_3^* = u_1(t) \Delta u_2(t) + u_2(t) \Delta u_3(t) + u_3(t) \Delta u_1(t), \quad (10)$$

Здесь производные заменены конечными разностями, то есть выражениями

$$\Delta u_i(t) = u_i(t) - u_i(t - \Delta t), \quad (i = 1, 2, 3),$$

где Δt - шаг дискретизации при регистрации данных. Расчеты показывают, что при Δt , соответствующему одному электрическому градусу, данная замена не приводит к существенной погрешности.

Наконец, проведенные численные эксперименты доказывают, что в практически встречающихся случаях, нет необходимости минимизировать оба функционала (7) и (8). Достаточно ограничиться минимизацией функционала (7), то есть добиваться выполнения условия, которое в развернутом виде имеет вид

$$\Phi = \max_t \Phi_1(t) - \min_t \Phi_1(t) \Rightarrow \min_v, \quad (11)$$

где v - управляющее воздействие, обеспечивающее оптимизацию.

Анализ результатов

Функционал Φ , из (11) может считаться обобщенным функционалом качества напряжения. Использование его в системе минимизации несимметрии и искажения синусоидальности не требует нахождения спектра и коэффициентов несимметрии. Это способствует упрощению системы управления комплексом и повышению её быстродействия [3].

Литература

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Зиновьев Г.С. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники (электроэнергетический аспект): Учебное пособие. / Г.С. Зиновьев. Новосибирск: НГТУ, 1998. 91 с.
3. Голембиовский Ю.М., Митяшин Н.П., Томашевский Ю.Б. Управление качеством электрической энергии в сетях повышенной частоты Технічна електродинаміка, Проблеми сучасної електротехніки, Частина 5. Київ, 2002, С. 89-92.