

УДК: 621.314

Н. Н. Кузнецов

Национальный технический университет Украины «КПИ», факультет Электроники,
г. Київ, Украина, e-mail: nikolay_kuznyetsov@i.ua

УПРАВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ

В полупроводниковом преобразователе электроэнергии на трансформатор воздействуют суммарные токи, что делает его наиболее информативным элементом для управления преобразователем. Анализ этого воздействия показывает достаточность двух виброакустических датчиков для определения токов, индукции сердечника, мощностей первичной и вторичной сторон трансформатора. Учитывая влияние фильтрующих свойств трансформатора как массивного тела на частотные свойства виброакустических сигналов, они могут быть представлены в виде гармонических функций, что упрощает расчет токов и мощностей.

Ключевые слова: управление, виброакустика, трансформатор, полупроводниковый преобразователь.

У напівпровідниковому перетворювачі електроенергії на трансформатор впливають сумарні струми, що робить його найбільш інформативним елементом для управління перетворювачем. Аналіз цієї дії показує достатність двох віброакустичних датчиків для визначення струмів, індукції сердечника, потужностей первинної і вторинної сторін трансформатора. Враховуючи вплив властивостей трансформатора, що фільтрують, як масивного тіла на частотні властивості віброакустичних сигналів, вони можуть бути представлені у вигляді гармонійних функцій, що спрощує розрахунок струмів і потужностей.

Ключові слова: управління, виброакустика, трансформатор, напівпровідниковий перетворювач.

Введение

Для управления полупроводниковым преобразователем электроэнергии и реализации функций защиты необходим анализ его напряжений, токов и мощностей [3]. В многоканальных преобразователях параметры токов и мощностей удобно определять по виброакустическим сигналам трансформатора [4], поскольку он испытывает суммарное воздействие токов и мощностей разных каналов [3]. В работе выведены аналитические зависимости, связывающие параметры виброакустических и электрических сигналов трансформатора полупроводникового преобразователя.

Основная часть

Основные источники вибрации трансформатора – сердечник и обмотки [1, 4]. Вибрация сердечника обусловлена магнитострикцией. Функция колебаний поверхности сердечника $x(t)$ описывается выражением:

$$x(t) = h \cdot A \cdot H^2(t) \cdot (\mu(t) - 1)^2 \quad (1)$$

где $\lambda(t)$ – функция относительного удлинения сердечника, A – параметр магнитных характеристик материала сердечника, $\mu(t)$ – магнитная проницаемость материала, $H(t)$ – напряженность магнитного поля, $H(t) = G \cdot i_0(t)$, G – коэффициент геометрических параметров, $i_0(t)$ – ток намагничивания, h –

длина сердечника вдоль оси колебаний. Вибрации обмоток возникают под действием силы Лоренца. Функция колебания поверхности катушки $y(t)$ описывается зависимостью:

$$y(t) = \sum_j^K C_j \cdot i_j^2(t) \cdot (n_j - 1), \quad (2)$$

где C_j – параметр, характеризующий материал витков и межвитковой изоляции;
 $i_j(t)$ – ток j обмотки, K – количество обмоток (секций обмоток);
 n_j – количество слоев витков для j обмотки.

Как следует из (1) и (2), движения сердечника и обмоток определяются квадратами протекающих токов, а период вибраций в два раза меньше периода токов.

Связь токов трансформатора с мощностями P_j , передаваемыми соответствующими обмотками, определяется выражением [2]:

$$P_j = 4 \cdot k_{sj} \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S_c \cdot N_j I_j \quad (3)$$

где B_{\max} – максимальная индукция в сердечнике;

N_j, I_j, k_{sj} , – число витков, действующее значение и коэффициент формы тока j обмотки, S_c – площадь сердечника, f – частота протекающих токов. С учетом приведения схемы замещения многообмоточного трансформатора к схеме двухобмоточного [2], суммарные приведенные входной $i_1(t)$, выходной $i_2(t)$ токи и ток $i_0(t)$ определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} x(t) = h \cdot A \cdot G \cdot M^2(t) \\ y(t) = C_1 \cdot i_1^2(t) \cdot (n_1 - 1) + C_2 \cdot i_2^2(t) \cdot (n_2 - 1), \\ i_1(t) = i_0(t) + i_2(t) \end{cases} \quad (4)$$

где $M(t)$ – намагниченность сердечника, $M(t) = B(t)/\mu_0 - H(t)$, $B(t)$ – индукция сердечника, μ_0 – магнитная постоянная. В систему (4) входят функции колебаний поверхностей сердечника $x(t)$ и обмоток $y(t)$, поэтому для определения токов $i_0(t)$, $i_1(t)$, $i_2(t)$ достаточно двух датчиков вибрации не зависимо от числа обмоток трансформатора.

Управление преобразователем с использованием виброакустических сигналов.

Использование датчиков вибрации позволяет управлять полупроводниковым преобразователем электроэнергии с контролем мощностей и токов трансформатора. Так как трансформатор обладает конечной массой, то он играет роль механического фильтра для колебаний $x(t)$ и $y(t)$. Поэтому рационально искать токи системы (4) в виде гармонических функций. При $x(t) = X \cdot \cos(2\omega t + 2\phi_x)$, где X – амплитуда, $2\phi_x$ – фаза сигнала, и гармонической линеаризации магнитных характеристик сердечника $B(t) = B_{\max} \cdot \sin(\omega t + \phi_B)$, $H(t) = H_{\max} \cdot \sin(\omega t + \phi_H)$, решение первого уравнения системы (4) примет вид:

$$M(t) = M_m \sin(\omega t + \phi_M); M_m = \sqrt{X/0.5 \cdot h \cdot A \cdot G}; \phi_M = \phi_x + \pi/2, \quad (5)$$

где ω – круговая частота; M_m, B_{\max} ;

H_{\max} – максимальные значения намагниченности, индукции и напряженности магнитного поля сердечника, ϕ_M, ϕ_B, ϕ_H – фазы соответствующих сигналов.

Амплитуда I_{0m} и фаза ϕ_0 тока намагничивания $i_0(t) = I_{0m} \cdot \sin(\omega t + \phi_0)$ с учетом (5) и известных магнитных характеристик материала сердечника определяется выражением:

$$I_{0m} = H_{\max} / G; \phi_0 = \phi_H, \quad (6)$$

где $B_{\max} = f_1(M_m, \phi_M)$, $\phi_B = f_2(M_m, \phi_M)$, $H_{\max} = f_3(M_m, \phi_M)$, $\phi_H = f_4(M_m, \phi_M)$,

$f_1 \dots f_4$ – функции гармонической линеаризации.

При $y(t) = Y \cdot \cos(2\omega t + 2\phi_y)$, где Y – амплитуда, $2\phi_y$ – фаза сигнала, и известном $i_0(t)$, амплитуды I_{1m} , I_{2m} и фазы ϕ_1 , ϕ_2 токов $i_1(t) = I_{1m} \cdot \sin(\omega t + \phi_1)$ и $i_2(t) = I_{2m} \cdot \sin(\omega t + \phi_2)$ определяются из систем уравнений:

$$\begin{cases} I_{1m} \cos \phi_1 = P \cdot I_{0m} \cos \phi_0 \mp \sqrt{2Q} \sin \phi_0 \\ I_{1m} \sin \phi_1 = P \cdot I_{0m} \sin \phi_0 \pm \sqrt{2Q} \cos \phi_0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} I_{2m} \cos \phi_2 = P' \cdot I_{0m} \cos \phi_0 \mp \sqrt{2Q} \sin \phi_0 \\ I_{2m} \sin \phi_2 = P' \cdot I_{0m} \sin \phi_0 \pm \sqrt{2Q} \cos \phi_0 \end{cases} \quad (8)$$

где $P = C_2 \cdot (n_2 - 1) / (C_1 \cdot (n_1 - 1) + C_2 \cdot (n_2 - 1))$, $P' = -C_1 \cdot (n_2 - 1) / (C_1 \cdot (n_1 - 1) + C_2 \cdot (n_2 - 1))$, а Q и ϕ_Q определяются из системы:

$$\begin{cases} Q \cos 2\phi_Q = \frac{I_0 \cdot C_1 \cdot (n_1 - 1) \cdot C_2 \cdot (n_2 - 1)}{2(C_1 \cdot (n_1 - 1) + C_2 \cdot (n_2 - 1))^2} \cos 2\phi_0 + \frac{Y}{C_1 \cdot (n_1 - 1) + C_2 \cdot (n_2 - 1)} \cos 2\phi_Q \\ Q \sin 2\phi_Q = \frac{I_0 \cdot C_1 \cdot (n_1 - 1) \cdot C_2 \cdot (n_2 - 1)}{2(C_1 \cdot (n_1 - 1) + C_2 \cdot (n_2 - 1))^2} \sin 2\phi_0 + \frac{Y}{C_1 \cdot (n_1 - 1) + C_2 \cdot (n_2 - 1)} \sin 2\phi_Q \end{cases} \quad (9)$$

Подстановкой в (3) максимальной индукции и параметров токов, определяемых из (7) и (8), рассчитываются входная P_1 и выходная P_2 мощности трансформатора. Полученные выражения достаточно просты для использования в микропроцессорных системах управления, и позволяют определять значения токов, мощностей, индукции сердечника для дальнейшего использования в системах управления и защиты преобразователя.

Выводы

Полученные аналитические зависимости позволяют определять токи, индукцию трансформатора и энергию, передаваемую в нагрузку, по сигналам двух виброакустических датчиков не зависимо от количества обмоток трансформатора, что позволяет упростить систему управления преобразователя за счет использования меньшего количества датчиков. Так как трансформатор имеет конечную массу, виброакустические и, как следствие, электрические сигналы рационально представлять в виде гармонических функций, что упрощает определение параметров токов и мощностей трансформатора в микропроцессорных системах, используемых для управления и диагностики полупроводниковых преобразователей электроэнергии.

Список литературы

1. Кузнецов Н. Н. Моделирование виброакустических сигналов трансформатора полупроводникового преобразователя электроэнергии. – Технічна електродинаміка, ч.3, Харків: НТУ «ХПИ», 2012, С. 172–177.
2. Найвельта Г. С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. – Москва: Радио и связь, 1985. – 576 с.
3. Mack R. Demystifying Switching Power Supplies. – Oxford: Elsevier, 2005. – 323 p.
4. Zawieska W. M. The active noise control issues related to the noise generated by the power transformers. – Mechanics, Vol. 24, No. 2, 2005, p.p. 155–161.

THE SEMICONDUCTOR CONVERTER CONTROL BY MEANS OF VIBRO-ACOUSTIC SIGNALS

N. Kuznietsov

National Technical University of Ukraine “KPI”, Faculty of Electronics,
e-mail: nikolay_kuznyetsov@i.ua

In the semiconductor power converter total currents affect the transformer, what makes it the most informative part for the converter control. The currents impact analysis shows the adequacy of the two vibro-acoustic sensors for determining the currents, core induction and powers of the primary and secondary sides of the transformer. Considering the effect of filter properties of the transformer as a massive body on vibro-acoustic signals frequency properties, the signals may be presented as harmonic functions. This consideration simplifies the currents and powers calculations.

Keywords: control, vibro-acoustic, transformer, semiconductor converter.

1. Kuznietsov N.N. Modeling of transformer vibro-acoustic signals of power semiconductor converter. – Tekhnichna elektrodynamika, part 3, Kharkiv: NTU «HPI», 2012, p.p. 172–177. (Rus.)
2. Naiviel G. S. Radio-electronic equipment power supplies. – Moskva: Radio i sviaz, 1985. – 576 p. (Rus.)
3. Mack R. Demystifying Switching Power Supplies. – Oxford: Elsevier, 2005. – 323 p.
4. Zawieska W. M. The active noise control issues related to the noise generated by the power transformers. – Mechanics, Vol. 24, No. 2, 2005, p.p. 155–161.