

ПРИМЕНЕНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ P-ЧИСЕЛ ФИБОНАЧЧИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ШИРОТНО ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

*Уфимцева В.Б., Карпенко Н.Ю., Харьковский национальный университет
городского хозяйства имени А. Н. Бекетова*

В связи с энергетическим кризисом в Украине на первый план выходят задачи энергосбережения. Значительную часть в общем объеме потребляемой электроэнергии составляет электропривод. Причем основную часть (более 80%) составляет привод, основанный на применении асинхронных электродвигателей. Применение регулируемого привода в таких механизмах позволяет получить экономию электроэнергии от 30 до 70%.

Повсеместное применение преобразователей электроэнергии, особенно в оборудовании, применяемом в быту и в непосредственной близости от жилых помещений, в электротранспорте, в преобразователях большой мощности и работающих на высоком напряжении (свыше 3000 В), породило ряд проблем, связанных с поддержанием комфортных и безопасных условий работы обслуживающего персонала и потребителей, с устранением нежелательных механических колебаний, с электромагнитной совместимостью электрического и электронного оборудования [1]. Таким образом, возникают задачи: снижение акустического шума и снижение уровня электромагнитных помех на несущей частоте широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Методом, позволяющим в значительной степени решить эти задачи, является применение в системе управления преобразователем генератора переменной несущей частоты ШИМ. Причем, для сохранения характеристик преобразовательного устройства изменение несущей частоты ШИМ должно носить случайный характер с равномерным законом распределения [2].

Широкого распространения получили математические методы с использованием псевдослучайных числовых последовательностей для получения белого шума. В большинстве случаев при генерировании ПСЧП с равномерным распределением используются линейный конгруэнтный метод и линейный рекуррентный метод получения линейной двоичной последовательности с законом рекурсии (1) в поле $GF(2)$:

$$u(i+m) = f_{m-1}u(i+m-1) + \dots + f_1u(i+1) + f_0u(i), \quad (1)$$

где константы $f_0, f_1, \dots, f_{m-1} \in GF(2)$.

Таким образом, была поставлена задача разработать генератор псевдослучайных последовательностей в узлах формирования управляющих импульсов микропроцессорных систем управления автономными инверторами напряжения и тока с ШИМ с равномерным законом распределения, периодом повторяемости ($T \geq 280000$) и диапазоном изменения $\Delta v \in [0,4095]$. Генератор должен иметь простую программную и (или) аппаратную реализацию и

удовлетворяют требованиям скорости вычислительного процесса (не более 450 тактов микропроцессора) и требуемой памяти.

Для решения этой задачи была использована М-последовательность p -чисел Фибоначчи при $p = 21$ с рекуррентным законом $F_{21}(k) = F_{21}(k-1) + F_{21}(k-22)$ в поле $GF(2)$, характеристическим многочленом $x^{22} + x^{21} + 1$ с минимальной структурой генератора и максимальным периодом повторяемости $T = 4194303$. На основе этой последовательности был разработан генератор r -разрядных псевдослучайных чисел (ГПСЧ) с последовательным принципом формирования в диапазоне $\Delta v \in [0,4095]$, т. е. $r = 12$, распределенных также по равномерному закону. Двоичное число U_k образуется на выходах r -разрядов регистра сдвига (РС) через каждые $s \geq r$ тактов работы. Последнее соотношение является условием статистической независимости смежных чисел в формируемой последовательности. Величина $U_k = u_0(ks)u_0(ks+1)u_0(ks+2)\dots u_0(ks+r-1)$, где $u_0(ks)$ – содержимое нулевого разряда РС в ks -й такт работы генератора, является периодической. При $(2^m - 1, s) = 1$ период числовой последовательности равен периоду бинарной $T = 2^m - 1$, а ее характеристики не зависят от начального состояния РС.

Для формирования псевдослучайных 12-разрядных чисел из r символов с использованием последовательности чисел Фибоначчи при $p = 21$ необходимо выбрать $s \geq r$ тактов взаимно простое с периодом последовательности Фибоначчи $T = 4194303 = 3 \cdot 23 \cdot 89 \cdot 683$. Возьмем $s = 13$, являющееся простым числом. Отсюда, $(s, T) = 1$ и период 12-разрядных чисел равен периоду последовательности чисел Фибоначчи $T = 4194303$. Программная реализация на ассемблере генерирует 12-разрядные числа за 120 тактов работы микропроцессора Analog Devices ADMC 300 и требует хранения 22 бит. Проведенный статистический анализ битовой последовательности формируемых чисел длиной $r \cdot T = 12 \cdot 4194303 = 50331636$ по статистическим тестам для случайных и псевдослучайных генераторов чисел американского Института стандартизации NIST [3] подтвердил случайный и равномерный характер последовательности чисел на периоде повторяемости.

Список литературы

1. R. Lynn Kirlin, Sam Kwok, Stanislaw Legowski, Andrzej M. Trzynadlowski, Power Spectra of a PWM Inverter with Randomized Pulse Position, IEEE Transactions on Power Electronics, volume 9, number 5, September 1994, pp 463-472.
2. C.M. Liaw, Y.M. Lin, C.H. Wu, K.I. Hwu, Analysis, Design, and Implementation of Random Frequency PWM Inverter, IEEE Transaction on Power Electronics, volume 15, number 5, September 2000, pp 843-854.
3. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications / A. Rukhin, J. Soto et al. – Nist Special Publication 800 – 22, 2001, 154 p.