

вання. Для проведення енергозберігаючої політики необхідно впроваджувати норми на електроспоживання і формувати тарифи з урахуванням їх місця в загальній системі тарифів на електроенергію.

1. Михайлов В.В Тарифы и режимы электропотребления. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

2. Савеленко И.В., Плешков П.Г. Формирование оптимальных тарифов на электрическую энергию // Сб. науч. работ КГПУ. Вып.2. – Кировоград, 2001.

Отримано 10.02.2003

УДК 517.962.27, 621.314.632

В.Б.УФИМЦЕВА

Харьковская государственная академия городского хозяйства

ГЕНЕРАТОР ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВЕ p -ЧИСЕЛ ФИБОНАЧЧИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ШИРОТНО ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Описывается метод построения генератора псевдослучайных чисел (ГПСЧ) на основе линейной рекуррентной последовательности p -чисел Фибоначчи для формирования переменной несущей частоты широтно импульсной модуляции (ШИМ) в системе управления преобразователем электроэнергии с целью снижения акустического шума и уровня электромагнитных помех.

Тяжелейший кризис в энергетической отрасли Украины, отсутствие необходимых природных запасов энергоносителей, прежде всего нефти и газа, выдвигает на первый план задачи энергосбережения.

Значительную часть в общем объеме потребляемой электроэнергии составляет электропривод. Причем, основную ее часть (более 80%) использует привод, основанный на применении асинхронных электродвигателей. Наряду с неоспоримыми преимуществами такого привода (низкая стоимость, высокая надежность) в условиях недостатка энергетических ресурсов и постоянного повышения тарифов на электроэнергию все более острой становится проблема регулирования его частоты. Применение регулируемого привода в таких механизмах позволяет получить экономию электроэнергии от 30 до 70%.

Основным способом регулирования частоты в асинхронном приводе в последнее время являются полупроводниковые преобразователи электроэнергии. Среди этого класса устройств наиболее массовые преобразователи частоты с ШИМ, построенные на основе автономного инвертора напряжения.

Широкое 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), вызвало 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 уменьшения акустического шума и снижения уровня электромагнитных помех на несущей частоте ШИМ.

Решение первой задачи возможно путем повышения частоты несущей частоты ШИМ до величины 15-20 кГц (выше порога слышимости). Однако этот способ в большинстве случаев экономически неэффективен, так как приводит к существенному увеличению тепловых потерь в преобразователе и, как следствие, снижению КПД. Помимо этого, не все современные приборы допускают работу на такой частоте.

Решение второй задачи традиционно сводилось к использованию фильтров. Однако стоимость такого дополнительного оборудования вносит значительный вклад в стоимость всего устройства, занимает значительный объем и увеличивает потери в устройстве (за счет собственных потерь).

При современном уровне микропроцессорной техники, программируемой логики, технологии изготовления печатных плат решить указанные задачи можно на основе применения специальных методов управления. В этом случае дополнительные требования, предъявляемые к системе управления, незначительно влияют на стоимость устройства.

Методом, позволяющим 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 иметь случайный характер с равномерным законом распределения [2].

Существует два основных метода получения белого шума [5]:

- 1) физический – генерирование случайных двоичных чисел с помощью специальных устройств – генераторов случайных чисел (ГСЧ);
- 2) математический – формирование псевдослучайных числовых последовательностей (ПСЧП) по специальным программам или с использованием генераторов псевдослучайных чисел (ГПСЧ).

Так как физические ГСЧ имеют ограниченное быстродействие, низкую стабильность основных вероятностных характеристик и слож-

ную аппаратную реализацию, более широкое распространение имеют математические методы получения псевдослучайных числовых последовательностей. Мгновенные значения таких псевдослучайных последовательностей в отличие от случайных в принципе могут быть предсказаны заранее. В то же время все оценки статистических характеристик конкретной реализации ПСЧП совпадают с оценками соответствующей ей случайной выборки.

В большинстве случаев при генерировании ПСЧП с равномерным распределением используется линейный рекуррентный метод [3]. Наиболее распространены два линейных рекуррентных метода: линейный конгруэнтный метод [4] 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 $f_0, f_1, \dots, f_{m-1} \in GF(2)$.

Не все рекуррентные соотношения приводят к формированию последовательностей, близких по своим свойствам к равномерным случайным [5]. В связи с этим выдвигается ряд минимальных требований к рекуррентным последовательностям:

- равномерность цифр внутри разрядов чисел последовательности;
- отсутствие внутри- и межразрядной корреляции.

Для упрощения аппаратной и программной реализации необходимо использовать линейную рекуррентную последовательность (ЛРП) с минимальным количеством членов характеристического уравнения. Причем степени этих членов должны быть как можно ближе по значению [5]. ЛРП, удовлетворяющими указанным выше требованиям, являются М-последовательности ρ -чисел Фибоначчи.

Постановка задачи. Необходимо 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 удовлетворять требованиям скорости вычислительного процесса (не более 450 тактов микропроцессора) и требуемой памяти.

Для генерирования двоичной последовательности используем М-последовательность ρ -чисел Фибоначчи при $\rho=21$ 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 $T = 4194303$.

Используя выбранный генератор псевдослучайных равномерно распределенных бинарных М-последовательностей, разработаем генератор r -разрядных псевдослучайных чисел (ГПСЧ) в диапазоне $\Delta V \in [0, 4095]$, т.е. $r = 12$, распределенных также по равномерному закону.

Решением задачи синтеза генератора r -разрядных псевдослучайных чисел может быть параллельное включение r генераторов М-последовательностей, каждый из которых предназначен для формирования одного из разрядов чисел [5]. Однако недостатками такого подхода является сложность устройства и невысокие статистические характеристики генерируемых последовательностей из-за наличия взаимной корреляции между М-последовательностями [6].

Наиболее часто на практике при построении r -разрядных ГПСЧ используется последовательный принцип формирования [5], заключающийся в формировании очередного значения из r символов, получаемых с помощью генератора М-последовательности.

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 [7].

Для формирования псевдослучайных 12-разрядных чисел с использованием последовательности чисел Фибоначчи при $p = 21$ необходимо выбрать $s \geq r$ 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 [8] подтвердил случайный и равномерный характер последовательности чисел на периоде повторяемости.

Выводы

Таким образом, разработанный ГПСЧ 12-разрядных чисел на основе обобщенных чисел Фибоначчи характеризуется простотой аппаратной и программной реализации, достаточной величиной периода повторяемости, высокой скоростью генерирования чисел, хорошими статистическими характеристиками, совпадающими с характеристиками генератора двоичной последовательности.

Метод построения ГПСЧ r -разрядных чисел на основе p -чисел Фибоначчи может быть использован в различных других приложениях, требующих применения ГПСЧ с равномерным законом распределения, минимальной конфигурацией и высокой скоростью генерирования чисел.

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.Бабаш А.В., Шанкин Г.П. Криптография. –М.: Солон-Р, 2002. – 512 с.

4.Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Получисленные алгоритмы. – Т.2. – М.: Мир, 1977. – 724 с.

5.Ярмолик В.Н., Демиденко С.Н. Генерирование и применение псевдослучайных сигналов в системах испытания и контроля. – Минск: Наука и техника, 1986. – 200 с.

6.Сарвате Д. В., Персли М. Б. Взаимно-корреляционные свойства псевдослучайных и родственных последовательностей // ТИИЭР. – 1980. – Т. 68, № 5. – С. 59-90.

7.Теория и применение псевдослучайных сигналов / А.И. Алексеев, А.Г. Шереметьев, Г. И. Тузов, Б. И. Глазов. – М.: Наука, 1969. – 367 с.

8.A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications / A. Rukhin, J. Soto at al. – Nist Special Publication 800 – 22, 2001, 154 p.

Получено 15.02.2003