

ПРИНЦИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

М.П. БАТУРА, А.П. КУЗНЕЦОВ, Л.Ю. ШИЛИН, Д.П. КУКИН, Д.Л. ШИЛИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
goroch@bsuir.by*

Приведены результаты исследования различных вариантов реализации аппаратных и программных систем фазовой синхронизации, предложены возможные варианты построения обобщенных математических моделей многокольцевых систем, а также устройств с циклическим прерыванием режима автоподстройки, предложен один из возможных алгоритмов функционирования программной системы фазовой синхронизации.

Ключевые слова: система фазовой синхронизации, многокольцевые, системы с циклическим прерыванием режима автоподстройки, программные системы.

Развитие современной радиотехники, устройств связи и управления, радиолокации и навигации, радио и информационно-измерительных комплексов невозможно представить без всестороннего применения систем фазовой синхронизации (СФС). В современной технике все большее применение находят СФС с элементами дискретизации [1], что связано с общими тенденциями развития радиоэлектроники, совершенствованием элементной базы микроэлектроники, что позволяет использовать дискретные устройства в высокочастотных системах. Многокольцевые импульсные системы фазовой синхронизации и многокольцевые импульсно-цифровые системы частотно-фазовой автоподстройки получили большую популярность в технике частотного синтеза. Добавление дополнительных связей между кольцами в многокольцевых СФС позволяет повышать быстродействие, расширять области устойчивости и синхронизма. На современном этапе развития науки и техники все большее внимание привлекает идея разработки СФС с циклическим прерыванием режима автоподстройки [2]. Такие устройства образуют класс цилиндрических дискретных систем с разрывным временем.

Многокольцевые СФС (МКСФС) находят все большее применение в современных синтезаторах частоты [3]. Введение дополнительных колец и перекрестных связей между ними позволяет улучшить качественные параметры устройства, прежде всего точность оценки отслеживаемого параметра по сравнению с однокольцевыми, а также повысить быстродействие, расширить область устойчивости и диапазон синтезируемых частот. МКСФС образуют класс устройств тороидального типа [4], особенностью которых является наличие нескольких периодов дискретизации. Получена следующая математическая модель МКСФС:

$$\begin{cases} U_{\phi d1 m+1} = U_{\phi d1 m} + \alpha \cdot [\{\theta\}_1 - F1(U_{\phi d1 m}) - K_{c1} \cdot \beta \cdot F2(U_{\phi d2 m})] \\ U_{\phi d2 m+1} = U_{\phi d2 m} + \beta \cdot [\{\theta\}_2 - F2(U_{\phi d2 m}) - K_{c2} \cdot \alpha \cdot F1(U_{\phi d1 m})] \end{cases}$$

где, $\alpha = S1 \cdot \frac{k_{1m}}{k_{\varphi}}$, $\beta = S2 \cdot \frac{k_{2m}}{k_{\varphi}}$, k_{1m} и k_{2m} - максимальные кодовые последовательности на выходах первого и второго детекторов, k_{φ} - код соответствующий разности фаз равной π , θ_1 и θ_2 - нормированные частотные расстройки первого и второго колец.

Дискретные системы СФС с циклическим прерыванием режима автоподстройки (ДСФСЦП) находят все более широкое применение в радиотехнике из-за особенностей,

связанных с применением режима прерывания, позволяющих одновременно генерировать несколько высокостабильных частот, а также строить устройства с пониженным энергопотреблением [5]. Наиболее часто подобные системы используются в устройствах, допускающих паузы в передаваемом сообщении. Для режима подстройки получена следующая система уравнений, описывающих поведение системы:

$$\begin{cases} U_{OC, t+1} = U_{OC, t} - \alpha \cdot F(U_{OC, t}) + U_{m, t}[z] \\ U_{m, t+1}[z] = d \cdot U_{m, t}[z] - \beta \cdot F(U_{OC, t}) + g' \\ 0 \leq t < k. \end{cases}$$

В тоже время в режиме модуляции уравнения будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} U_{OC, t+1} = U_{OC, t} - \alpha \cdot F(U_{OC, k-1}) + U_{m, t}[z] \\ U_{m, t+1}[z] = d \cdot U_{m, t}[z] - \beta \cdot F(U_{OC, k-1}) + g' \\ k \leq t < k+l. \end{cases}$$

Где k – длительность режима подстройки частоты, l – длительность режима модуляции, m – номер итерации, которые в данном случае обозначают циклы функционирования устройства, $U_{m, t}[z]$ – частотная расстойка, возникающая из-за дискретности системы, g – обобщенный параметр.

В последние годы все большей популярностью пользуется идея реализации СФС средствами программного обеспечения [6]. Очевидно, что данный вариант реализации является актуальным для случая, когда необходимые алгоритмы функционирования выполняются достаточно быстро на аппаратной платформе, используемой для запуска программы. Программные СФС (ПСФС) обеспечивают значительно больший спектр возможностей, чем аппаратные варианты реализации, благодаря тому, что программными методами можно имитировать как аналоговые, так и цифровые системы, а также реализовывать функции и алгоритмы недоступные для аппаратных устройств [7]. Любую аналоговую, цифровую, или аналогово-цифровую СФС можно реализовать программными методами, поэтому количество разнообразных вариантов реализации и алгоритмов функционирования ПСФС чрезвычайно велико.

Список литературы

1. Батура, М.П. Дискретные системы с фазовым управлением / М. П. Батура ; под общ. ред. А.П. Кузнецова; Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск : Ин-т техн. кибернетики, 2002. – 173, [1] с.
2. Giovanni Bianchi. Phase-Locked Loop Synthesizer Simulation. // McGraw-Hill Professional, 2005. – 304 с.
3. Паушкина Т.К. Динамические свойства синтезатора частот на основе двух взаимосвязанных колец ФАПЧ // Теоретическая электротехника. Республ. межвед. научн. техн. сб. Львов.: Львовский гос. ун-т. – 1989. – Вып. 47. – С. 122–128.
4. Федосова Т.С. Анализ систем фазовой синхронизации с двумя периодическими нелинейностями // Радиотехника. 1986. № 6. – С.46–48.
5. Казаков Л.Н. "Разработка и исследование быстродействующих широкополосных синтезаторов частоты" Дис. канд. тех. наук./ Моск. инст-т радиотехн. электрон. и автомат. – М.: 1988. – 172 с.
6. Keliu Shu. CMOS PLL Synthesizers: Analysis and Design. // Springer, 2005 – 216 с.
7. Roland E. Best. Phase-Locked Loops: Design, Simulation, and Applications // McGraw-Hill (Tx). 2007 – 408 с.