

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МНОГОКОЛЬЦЕВЫХ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Д.П. Кукин, И.Л. Свито

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
E-mail:

Приведены результаты исследования различных вариантов реализации многокольцевых систем фазовой синхронизации, предложены возможные варианты построения обобщенных математических моделей.

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

ВВЕДЕНИЕ

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. Широкая область применения СФС обуславливает разнообразие вариантов технической реализации рассматриваемого класса устройств. В тоже время универсальным остается принцип фазовой автоподстройки частоты: устройство эффективно отслеживает разность фаз входного и опорного сигналов, если разность фаз между входным и подстраиваемым сигналами системы постоянна, то СФС синхронизирована; если происходит изменение фазы (частоты) входного или

подстраиваемого сигналов, то фазовый детектор формирует сигнал ошибки, пропорциональный величине и полярности изменения фазы, который вызовет изменение фазы (частоты) опорного сигнала, так что состояние синхронизации вновь восстанавливается.

I. МНОГОКОЛЬЦЕВЫЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Развитие современной цифровой техники привело к возникновению новых классов СФС к которым можно отнести комбинированные и связанные устройства, в состав которых могут входить несколько колец фазовой автоподстройки частоты с перекрестными связями между ними, а также кольца слежения за различными параметрами входного сигнала. 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.

Обобщенная структурная схема МКСФС с двумя внешними опорными колебаниями приведена на рис. 1. На рис обозначены U_{in1} и U_{in2} опорные сигналы первого и второго колец МКСФС, U_{out1} и U_{out2} выходные сигналы управляемых напряжением перестраиваемых генераторов.

Получена следующая математическая модель МКСФС:

$$\begin{cases} U_{\Phi_{D1} m+1} = U_{\Phi_{D1} m} + \alpha \cdot \{\vartheta_1 - F1(U_{\Phi_{D1} m}) - K_{C1} \cdot \beta \cdot F2(U_{\Phi_{D2} m})\} \\ U_{\Phi_{D2} m+1} = U_{\Phi_{D2} m} + \beta \cdot \{\vartheta_2 - F2(U_{\Phi_{D2} m}) - K_{C2} \cdot \alpha \cdot F1(U_{\Phi_{D1} m})\} \end{cases}$$

где, $\alpha = S1 \frac{\kappa_{1m}}{\kappa_p}$, $\beta = S2 \frac{\kappa_{2m}}{\kappa_p}$, κ_{1m} и κ_{2m} – максимальные кодовые последовательности на выходах первого и второго детекторов, κ_p – код со-

ответствующий разности фаз равной π , v_1 и v_2 – нормированные частотные расстройки первого и второго колец.



Рис. 1 – Структурная схема МКСФС с двумя внешними опорными колебаниями

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:

$$\begin{cases} U_{OC,i+1} = U_{OC,i} - \alpha \cdot F(U_{OC,i}) + U_{m,i}[z] \\ U_{m,i+1}[z] = d \cdot U_{n,i}[z] - \beta \cdot F(U_{OC,i}) + g' \\ 0 \leq i < k. \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} U_{OC,i+1} = U_{OC,i} - \alpha \cdot F(U_{OC,k-1}) + U_{m,i}[z] \\ U_{m,i+1}[z] = d \cdot U_{n,i}[z] - \beta \cdot F(U_{OC,k-1}) + g' \\ k \leq i < k+l. \end{cases}$$

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

II. Выводы

В последние годы все большей популярностью пользуется идея реализации СФС средствами программного обеспечения. 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. Любую аналоговую, цифровую, или аналогово-цифровую СФС можно реализовать программными методами, поэтому количество разнообразных вариантов реализации и алгоритмов функционирования ПСФС чрезвычайно велико.

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 частот" Дис. канд. тех. наук./ Моск. инст-т радиотехн. электрон. и автомат. - М.: 1988. - 172 с.