

## УКВ-ЧМ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ДЕЛЬТА-СИГМА СИНТЕЗАТОРОВ<sup>1</sup>

Пестряков А.В., Колесников И.И.

Московский технический университет связи и информатики  
111024, Москва, ул. Авиамоторная, 8А, [Pestryakov@srd.mtucl.ru](mailto:Pestryakov@srd.mtucl.ru)

В последние годы синтез частот с дробно-переменным делением в сочетании с теорией и техникой дельта-сигма модуляции получили широкое распространение, поскольку позволили разрешить противоречие между требуемым мелким шагом сетки, высокими частотами сравнения и спектральной чистотой выходного колебания. На сегодняшний день данный метод синтеза позволяет сформировать сетку частот в диапазоне ультравысоких частот (до 3 ГГц) с шагом сетки до единиц Гц, частоте сравнения до десятков МГц, спектральной чистоте свыше  $-100$  дБн и времени перестройки до десятков мкс [1, 2, 3, 4]. В то же время подобные устройства могут быть реализованы в виде одной дешевой микросхемы с достаточно малыми габаритами и энергопотреблением.

В данной статье предложен метод построения УКВ-ЧМ возбудителей основанный на технологии синтезаторов частот с дробно-переменным коэффициентом деления, управляемым дельта-сигма модулятором [2, 3, 4].

Процесс получения сетки частот совмещен с модуляцией, посредством изменения коэффициентов деления делителя, в цепи обратной связи единственного кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАПЧ) рис. 1 [5]. Процессом модуляции управляет дельта-сигма модулятор (ДСМ) воздействуя на делитель с дробно-переменным коэффициентом деления (ДПКД).

В структуре показанной на рис.1 на вход ДСМ поступает сумма кодов: модулирующего сигнала и сигнала определяющего шаг сетки. Таким образом, в данной системе имеет место не цифровая модуляция (типа GMSK, GFSK, QPSK и др.), а обыкновенная аналоговая частотная модуляция. Другой особенностью являются повышенные требования к спектральной чистоте выходного радиовещательного сигнала [6].

Исследования проводились в системе MathLab (среда визуального моделирования Simulink), для чего составлена имитационная компьютерная модель, которая позволяет оценить динамические и спектральные характеристики возбудителя.

Для задачи оценки динамических характеристик использована сложная динамическая модель [5], в которой детектор системы ИФАПЧ – импульсный частотно-фазовый детектор (ЧФД) с тремя состояниями, ДПКД – фазовый накопитель с пороговым значением. Фаза сигнала ГУНа накапливается до значения  $2\pi N$ , где  $N$  – коэффициент деления делителя на данный такт. По достижении этого порогового значения, происходит обнуление накопителя, а на выходе схемы делителя -  $\delta$ -импульс. Положение этих импульсов на временной оси сравнивается с опорными в дискриминаторе системы ИФАПЧ (в ЧФД). В результате вырабатывается сигнал рассогласования управляющий частотой ГУНа.

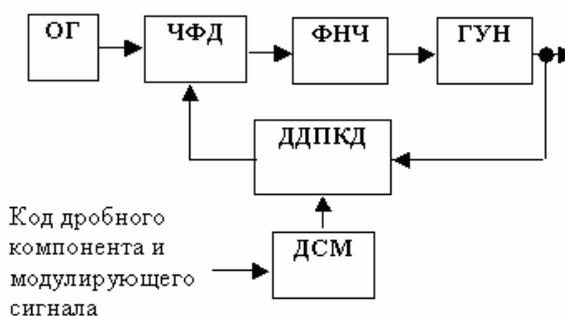


Рис. 1. Структурная схема метода получения сетки частот с модуляцией в системе ИФАПЧ.

На рис. 3 показаны динамические характеристики системы. Все показания сняты с виртуального осциллографа MathLab. В верхнем окне представлен выходной сигнал ФНЧ, в нижнем – изменение частоты при подаче тестового сигнала с рекомендуемой девиацией (75 кГц).

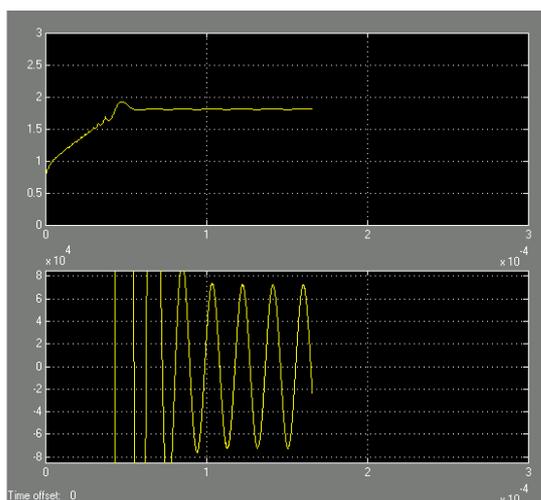


Рис. 2. Динамические характеристики системы.

Для задачи оценки спектра осуществлен переход от дискретной модели ИФАПЧ к непрерывной, что может быть сделано, поскольку частота сравнения в ЧФД системы ИФАПЧ (в данном эксперименте 20 МГц) значительно превосходит полосу системы ИФАПЧ (порядка 100 кГц). Такое значение полосы выбрано из следующих соображений. Известно, что полоса модулирующего комплексного стереосигнала (КСС) [6], вместе с сигналами дополнительной комплексной информации (RDS, TP, SCA), составляет величину около 74 кГц [7]. Таким образом, система ФАПЧ по отношению к внешнему воздействию эквивалентна ФНЧ с той же полосой пропускания (100 кГц). Такой подход позволяет упростить и ускорить процесс моделирования

В настоящее время в основном производятся микросхемы СЧ с ДСМ 2-го и 3-го порядков, при этом в руководствах по их применению рекомендуется, чтобы порядок петлевого ФНЧ был не ниже порядка модулятора [5].

На рис.3 (справа) показан спектр системы эквивалентной фильтру 6-го порядка с ДСМ 2-го порядка, а слева – спектр системы эквивалентной фильтру 6-го порядка с ДСМ 3-го порядка.

Видно, что в системе с ДСМ 3-го порядка в сочетании с фильтром 6-го порядка уверенно обеспечивается заданное подавление как собственных шумов ДСМ, так и дискретных побочных составляющих (побочные продукты обусловлены биениями частоты сравнения ЧФД и частоты поступления данных с дельта-сигма модулятора). Таким образом, порядок ФНЧ играет очень существенную роль в формировании спектра выходного сигнала. Однако при уменьшении порядка ДСМ существенно возрастает уровень шумов порождаемых алгоритмом формирования ДСМ.

Таким образом, проведенный анализ показывает принципиальную возможность реализации простого высокоэффективного формирователя радиосигналов ОВЧ-ЧМ вещания на основе СЧ с ДСМ. Однако ряд вопросов, связанных с более точной оценкой показателей качества в полосе КСС, таких как линейные и нелинейные искажения, переходные затухания между каналами и т. п. Требует более точных и углубленных исследований.

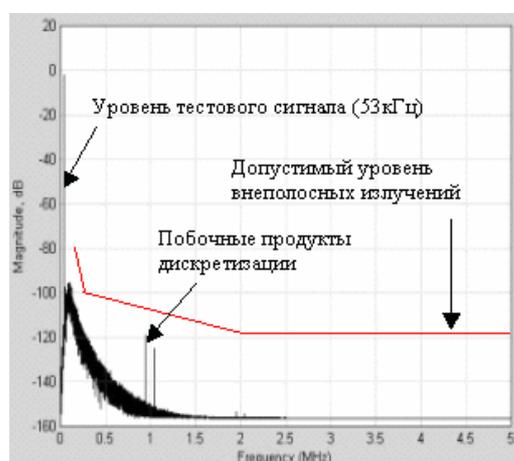


Рис. 3 Спектральные характеристики системы.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект № 04-07-90113).

### Литература

1. T. Riley, M. Copeland, T. Kwasniewski, Delta-sigma Modulation in Fractional-N Frequency Synthesis. IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol 28, №5, 1993.
2. T. Riley, M. Copeland, A Simplified Continuous Phase Modulator Technique. IEEE Transactions on Circuits and Systems-2: Analog and Digital Signal Processing, Vol 41, №5, May 1994.
3. AN1014. A 2,5 GHz sigma-delta fractional-N/760 MHz IF integer frequency synthesizer. Philips Semiconductors 2002.
4. M. Hammes, S. Van Vaansen, A point modulator with a pll circuit, Infineon Technologies AG, Patent August 2003.
5. В. А. Левин, С. К. Романов, В. Н. Малиновский. Синтезаторы частот с системой ИФАПЧ.- М., Радио и связь, 1989.
6. ГОСТ Р 51741 – 2001. Передатчики радиовещательные стационарные диапазона ОВЧ.
7. Specification of the radio broadcast data system. NATIONAL RADIO SYSTEMS COMMITTEE, Washington DC. April 9, 1998.