

ФОРМИРОВАНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИНТЕЗАТОРОВ

Формирование когерентных сигналов необходимо как в современных радиолокационных системах, так и в системах связи. В статье рассмотрены примеры применения многоканальных синтезаторов, выпускаемых компанией Analog Devices, для формирования когерентных и сложномодулированных фазокогерентных сигналов.



GENERATION OF COHERENT SIGNALS WITH USAGE OF MULTI-CHANNEL SYNTHESIZERS

Abstract - Generation of coherent signals is necessary in the modern radar-tracking and communication systems. In article examples of application of the multi-channel synthesizers which are let out by company Analog Devices for generation of the coherent and difficult-modulated fazo-coherent signals are considered.

В. Макаренко

V. Makarenko

Актуальной проблемой современной радиолокации является повышение помехозащищенности РЛС, что подразумевает обеспечение подавления естественных и искусственных помех, низкую вероятность перехвата излучения, высокую точность измерения параметров целей. Особенностью помехозащищенных станций различного назначения является использование сложномодулированных когерентных зондирующих сигналов с большой базой. Для одноантенных РЛС, например, судовых и корабельных, особенно большой интерес представляет использование сигналов с высоким разрешением по дальности и большой длительностью когерентного накопления. Такие сигналы позволяют существенно снизить пиковую мощность передатчика и обеспечить точное измерение дальности и скорости перемещения цели. В когерентных радиолокационных системах, в отличие от некогерентных, используется информация об изменении не только параметров амплитуды, но и фазы отраженного от цели сигнала. Чувствительность этих систем к изменению фазы сигнала является наиболее высокой. Так, например, изменение расстояния до цели всего на один сантиметр приводит к изменению фазы сигнала на 180° (в сантиметровом диапазоне волн), в то время как амплитуда сигнала и задержка огибающей сигнала остаются практически неизменными. Благодаря такой высокой чувствительности использование информации о

фазе позволяет значительно повысить эффективность решения всех тактических задач. Для уменьшения числа ошибок при приеме многолучевых сигналов для радиосвязи с подвижными объектами в условиях города также необходимо использование когерентных приемников. В системах космической связи когерентные сигналы используются при формировании как передаваемых, так и принимаемых сигналов.

Эти примеры показывают, что когерентные сигналы широко используются как в радиолокации, так и в радиосвязи. Поэтому задача формирования таких сигналов простыми средствами весьма актуальна. Для решения этой задачи можно использовать синтезаторы, построенные на основе системы ФАПЧ, синтезаторы прямого цифрового синтеза (DDS – Direct Digital Synthesizer) и многоканальные генераторы тактовых сигналов.

В [1] предложены варианты решения задачи формирования когерентных сигналов с использованием синтезаторов DDS, а в [2, 3] рассмотрены основные функциональные схемы и характеристики таких синтезаторов, выпускаемых компанией Analog Devices.

Особенностью синтезаторов прямого цифрового синтеза является то, что частота, амплитуда и фаза сигнала, формируемого на их выходе, в любой момент времени точно известны и могут быть запрограммированы. Синтезаторы DDS обеспечивают высокое разрешение по

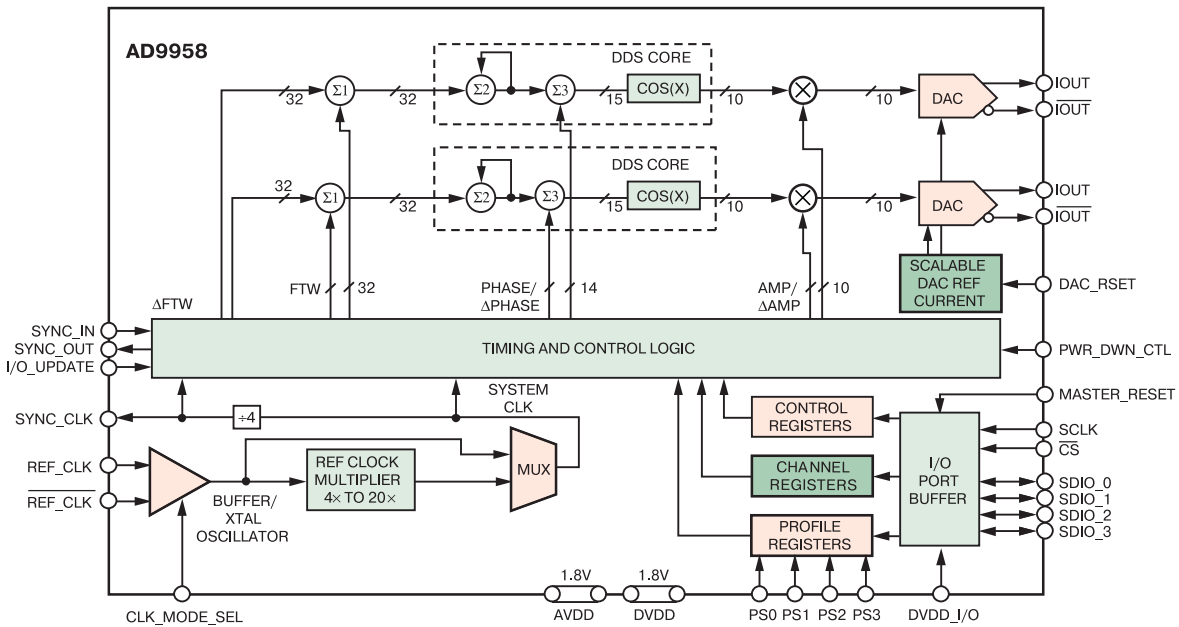


Рис. 1. Функциональная схема синтезатора AD9958

частоте и фазе, быструю перестройку частоты (или фазы), перестройку по частоте без разрыва фазы и без выбросов напряжения на выходе. Параметры таких синтезаторов практически не зависят от температуры и старения элементов. Единственным элементом, который отличается характерной для аналоговых схем нестабильностью, является ЦАП.

В многоканальных DDS-синтезаторах, несмотря на то, что частота и фаза сигналов на каждом выходе могут задаваться независимо друг от друга, сигнал тактовой частоты является общим для всех каналов. Поэтому при изменении температуры среды и напряжения источника питания эти сигналы остаются когерентными *. Примером такого устройства является двухканальный синтезатор AD9958 (рис. 1), подробное описание работы которого приведено в [2].

На рис. 2 приведена функциональная схема фазовокогерентного модулятора частотнома-

нипулированных (ЧМН) сигналов, в англоязычной литературе – FSK-сигналов. В качестве источника высокостабильного опорного колебания тактовой частоты с малыми фазовыми шумами используется многоканальный генератор тактовых сигналов типа AD9520, со-

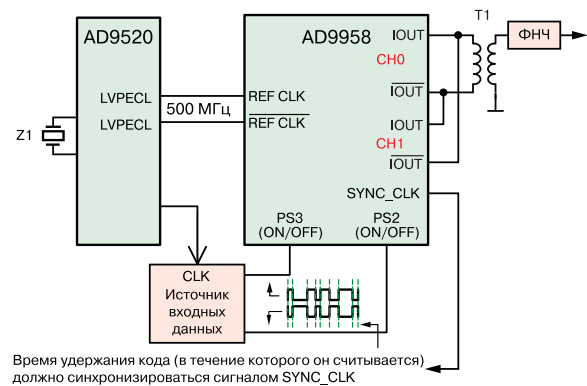


Рис. 2. Функциональная схема фазовокогерентного модулятора ЧМН-сигналов

* Когерентность (от лат. *cohaerens* – "находящийся в связи") – коррелированность (согласованность) нескольких колебательных или волновых процессов во времени, проявляющаяся при их сложении. Колебания когерентны, если разность их фаз постоянна во времени и при сложении колебаний одинаковой частоты получается колебание той же частоты (например, при сложении двух синусоидальных колебаний одинаковой частоты).

Когерентность волны означает, что в различных точках волны осцилляции происходят синхронно, то есть разность фаз между двумя точками не зависит от времени. При отсутствии когерентности разность фаз между двумя точками не постоянна, а меняется со временем. Такая ситуация может иметь место, если волна была сгенерирована не одним источником, а совокупностью одинаковых, но независимых (то есть некоррелированных) источников.

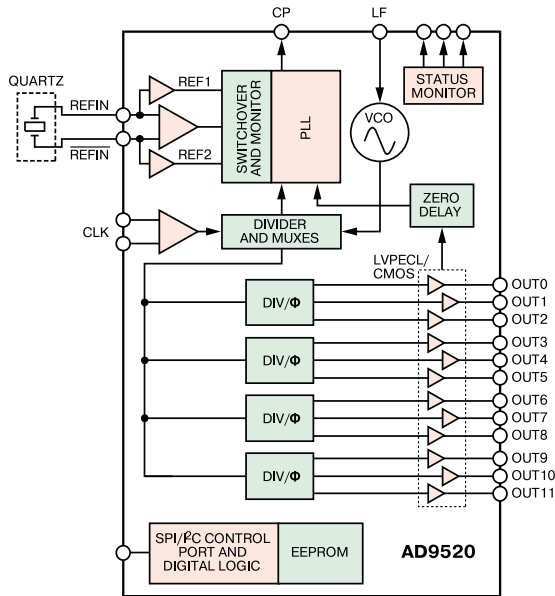


Рис. 3. Функциональная схема генератора тактовых сигналов AD9520

держаний в своем составе синтезатор с ФАПЧ (рис. 3), который формирует сигнал частотой, соответствующей частоте FSK-сигнала [4]. Генератор AD9520-0 содержит встроенный генератор, управляемый напряжением (VCO), который перестраивается в диапазоне от 2.53 до 2.95 ГГц. Модификации ИМС с другими цифрами в конце обозначения имеют другие диапазоны перестройки частоты и формируют более низкую частоту сигнала на выходе. Самый низкочастотный диапазон 1.4...1.8 ГГц обеспечивает ИМС AD9520-4.

Выходные сигналы генератора формируются на 12 выходах – четыре группы по три дифференциальных выхода с программируемыми фазовыми сдвигами на каждом из них, независимо для каждой из групп. В каждой группе имеется делитель частоты с коэффициентом деления, программируемым от 1 до 32, и фазосдвигающая цепь (блоки DIV/Φ). Задержка на выходе измеряется по отношению к опорному сигналу и может программироваться в диапазоне от -460 до 1310 пс. Таким образом, на выходах AD9520 формируются когерентные сигналы прямоугольной формы, так как источник опорного колебания для каждого из выходов один и тот же.

В качестве источника сигналов опорной частоты используется встроенный кварцевый генератор либо внешний VCXO-генератор (кварцевый генератор, управляемый напря-

жением). Спектральная плотность фазового шума на выходе синтезатора при формировании сигнала частотой 200 МГц и расстройке от центральной частоты на 10 кГц не превышает -150 дБн/Гц, а схема распределения тактового сигнала по каналам обеспечивает очень малое дрожания фронтов, не превышающее 225 фемтосекунд.

В тактовом генераторе AD9520 предусмотрена возможность формирования либо 12 дифференциальных LVPECL (низковольтная положительная эмиттерно-связанная логика) выходов, работающих во всем диапазоне выходных частот, либо 24 несимметричных КМОП-выходов в диапазоне частот до 250 МГц.

На входы синхронизации DDS-синтезатора AD9958 (рис. 2) подается дифференциальный тактовый сигнал с выходов генератора AD9520. Синтезатор AD9958 программируется таким образом, чтобы на выходах первого (CH0) и второго канала (CH1) формировались сигналы с разной частотой – f_1 и f_2 соответственно.

Регулировка амплитуды выходного сигнала осуществляется с помощью цифровых 10-разрядных перемножителей (на рис. 1 обозначены знаком ⊗), выходной код которых подается на входы данных ЦАП. Код управления амплитудой выходного сигнала (AMP/ΔAMP) формируется устройством управления (Timing and Control Logic). В результате на парафазных выходах ЦАП IOUT и \overline{IOUT} формируются противофазные токи гармонической формы. Изменяя код AMP/ΔAMP от 0 до максимального значения, можно поочередно "включать" или "выключать" выходы каждого канала. Так как на выходах ЦАП установлены дифференциальные каскады на полевых транзисторах (рис. 4), то при формировании в одном из каналов кода AMP/ΔAMP, равного нулю, транзисторы V1 и V2 этого канала оказываются закрытыми, что позволяет подключить

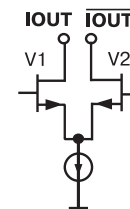


Рис. 4. Функциональная схема выходного каскада ЦАП синтезатора AD9958

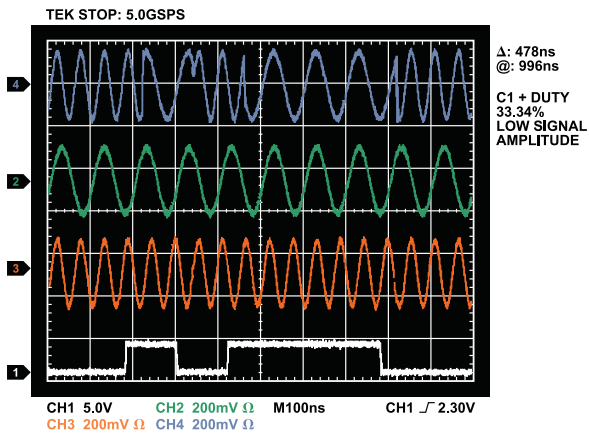


Рис. 5. Осциллограммы входного и выходных сигналов синтезатора AD9958

в этот момент к нагрузке выходы второго канала синтезатора, в котором значение кода AMP/ΔAMP максимально. Поочередно переключая каналы, выходы которых подключены к общей нагрузке (трансформатор T1 на рис. 2) можно формировать частотноманипулированный фазовокогерентный сигнал.

Сигнал, сформированный таким образом, показан на рис. 5 [1]. Белым цветом обозначена осциллограмма исходного двоичного сигнала, зеленым и оранжевым – выходные сигналы первого и второго каналов синтезатора, а голубым – частотноманипулированный сигнал.

Компания Analog Devices выпускает четырехканальный синтезатор прямого цифрового синтеза типа AD9959, который имеет характеристики, аналогичные обеспечиваемым синтезатором AD9958:

- максимальная тактовая частота 500 МГц
- разрешающая способность установки:
 - ◆ частоты – 32 бита
 - ◆ фазы – 14 бит
 - ◆ выходной амплитуды – 10 бит
- число разрядов выходных ЦАП – 10
- напряжение источника питания 1.8 В для питания ядра и 3.3 В – для питания входного интерфейса
- последовательный интерфейс управления (SPI).

С помощью такого синтезатора можно построить более сложные устройства, например, генератор радиоимпульсов со сложной угловой модуляцией.

Когерентные сигналы гармонической формы несложно сформировать, используя двухканальные синтезаторы с ФАПЧ, например ADF4212L. Для этого достаточно применить в обоих синтезаторах один и тот же источник сигналов опорной частоты.

Когерентные сигналы прямоугольной формы можно формировать с применением выпускаемых компанией Analog Devices многоканальных тактовых генераторов, с параметрами которых можно подробно ознакомиться в [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Brandon D. Multichannel DDS Enables Phase-Coherent FSK Modulation // Analog Dialogue 44-11, Back Burner, November (2010).
2. Макаренко В. Компоненты для построения беспроводных устройств связи, часть 7 // ЭКиС – Киев: VD MAIS, 2010, № 1.
3. Макаренко В. Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза, части 1, 2 // ЭКиС – Киев: VD MAIS, 2004, №№ 1, 2.
4. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9520-0.pdf.
5. http://www.analog.com/en/rfif-components/timing-ics-clocks/products/index.html#Clock_Generation_and_Distribution_ICs.

VD MAIS

Измерительные приборы



- Осциллографы
- Генераторы
- Логические анализаторы
- Анализаторы спектра
- Измерители параметров видеосигналов
- Источники питания
- Частотомеры
- Мультиметры

Дистрибьютор

ТЕКТРОНИК, RÖHDE & SCHWARZ, HAMEG, PROTEK, MICRONIX

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, 220-2022
 факс: (0-44) 220-0202
 e-mail: info@vdmiais.kiev.ua, www.vdmiais.kiev.ua