

Модулятор ЧМн/ФМн на основе многоканального цифрового синтезатора сигналов с переключением в ноль

Публикуется с разрешения Analog Devices (<http://www.analog.com>)

Дэвид Брэндон, Джефф Кейп (США)

Перевод Андрея Данилова

В статье описано применение микросхемы прямого цифрового синтеза частоты AD9958 для формирования высококачественных сигналов с частотной и фазовой манипуляцией. Особенностью формируемых сигналов является смена частоты или фазы в момент перехода сигнала через ноль.

Схемы модуляции с частотной (ЧМн, FSK) и фазовой (ФМн, PSK) манипуляцией используются в цифровой связи, радиолокации, радиочастотной идентификации (RFID) и других многочисленных применениях. Простейшая форма ЧМн использует две дискретные частоты для передачи двоичной информации, где одна частота соответствует «лог. 1» (Mark), а другая – «лог. 0» (Space). Простейшей формой ФМн является двоичная (ДФМн, BPSK), которая использует две фазы, отличающиеся на 180 градусов. Рисунок 1 иллюстрирует оба типа модуляции. Модулированный выход цифрового синтезатора сигналов (ЦСС, DDS) может переключать частоту и/или фазу фазово-непрерывным или фазово-коге-

рентным способом, как показано на рис. 1.

Данная статья описывает, как два синхронизированных канала ЦСС могут реализовать модулятор ЧМн или ФМн с переходом через ноль (см. рис. 2). Здесь двухканальный, функционально законченный ЦСС типа AD9958 со скоростью 500 Мвыб/с используется для переключения частот или фаз в точке перехода сигнала через ноль, но для выполнения этой функции может быть использовано любое двухканальное синхронизированное решение. В фазово-когерентных системах радиолокации переключение при переходе через ноль снижает объем последующей обработки, необходимой для распознавания сигнатуры цели, а выпол-

нение ФМн при переходе через ноль уменьшает спектральный шум.

Хотя выходы обоих каналов ЦСС микросхемы AD9958 являются независимыми, они синхронизированы одним внутренним тактовым сигналом и расположены на одном кристалле кремния, поэтому они должны обеспечивать более надёжное согласование каналов при изменении температуры и отклонениях напряжения питания, чем выходы нескольких синхронизированных одноканальных ЦСС. Расхождение параметров, которое может существовать между отдельными приборами, в любом случае больше, чем расхождение, которое можно наблюдать между двумя каналами, изготовленными на одном кристалле кремния, что делает многоканальный ЦСС предпочтительным для использования в качестве ЧМн- или ФМн-модулятора с переходом через ноль.

Важным элементом любого ЦСС является накапливающий сумматор фазы, который в данной реализации имеет разрядность 32 бита. Когда сумматор переполняется, он сохраняет любое избыточное значение. Когда сумматор переполняется без остатка (см. рис. 3), выходной сигнал находится точно на нулевой фазе, и процессор ЦСС запускается с момента, соответствующего нулевому времени. Скорость, с которой происходит нулевое переполне-

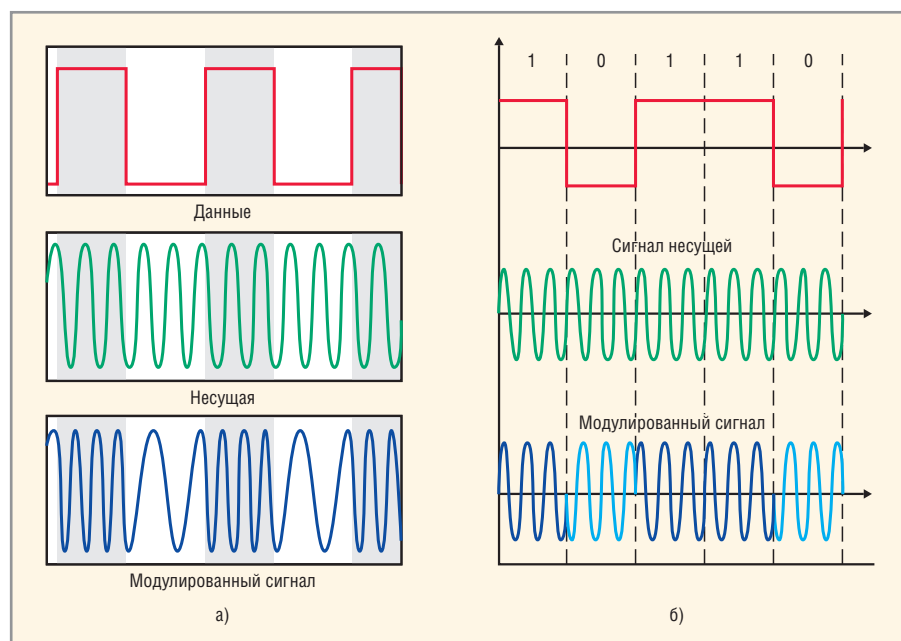


Рис. 1. Двоичные ЧМн (а) и ФМн (б)

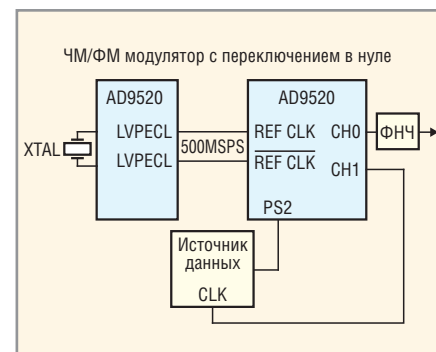


Рис. 2. Блок-схема ЧМн- или ФМн-модулятора с переходом через ноль

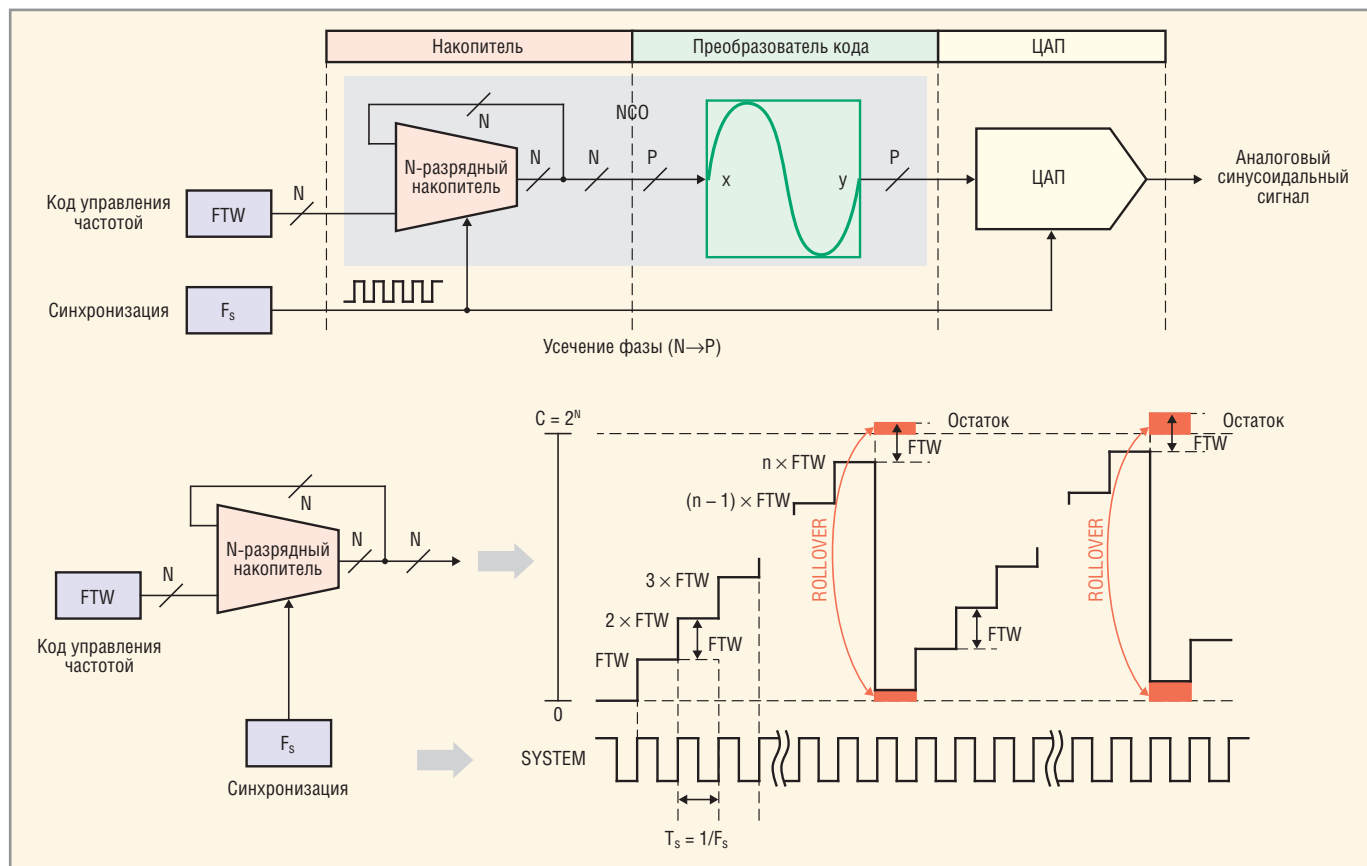


Рис. 3. Стандартный ЦСС с переполняющимся накапливающим сумматором

ние, называется частотой суммирующего повторения (grand-repetition rate, GRR) цифрового синтезатора.

Параметр GRR определяется младшим ненулевым битом слова настройки частоты (frequency tuning word, FTW) синтезатора, как устанавливает следующее выражение:

$$GRR = F_s / 2^n,$$

где F_s является частотой выборки ЦСС, а n – младшим ненулевым битом.

Например, предположим, что ЦСС с частотой выборки 1 ГГц использует 32-битные слова настройки частоты импульсов и пауз, с приведёнными ниже двоичными значениями. В таком случае младший ненулевой бит любого слова настройки частоты является девятнадцатым разрядом, поэтому $GRR = 1 \text{ ГГц} / 2^{19}$, или примерно 1907 Гц.

```
Mark (CH0) 00101010 00100110
10100000 00000000
Space (CH0) 00111010 11110011
11000000 00000000
GRR (CH1) 00000000 00000000
00100000 00000000
```

Цифровой синтезатор сигнала, по существу, переключает частоту фазово-непрерывным способом. Это озна-

чает, что не происходит мгновенного изменения фазы, когда изменяется слово настройки частоты. То есть сумматор запускает накопление нового слова настройки частоты, в каком бы положении фазы он ни находился, когда было применено новое слово настройки. Фазовая когерентность, с другой стороны, требует мгновенного перехода к фазе новой частоты, как если бы новая частота присутствовала всё время. Следовательно, чтобы стандартный цифровой синтезатор выполнил фазово-когерентное переключение ЧМн, смена частоты импульса на частоту паузы должна происходить, когда обе частоты имеют одинаковую абсолютную фазу. Чтобы выполнить переключение при переходе через ноль

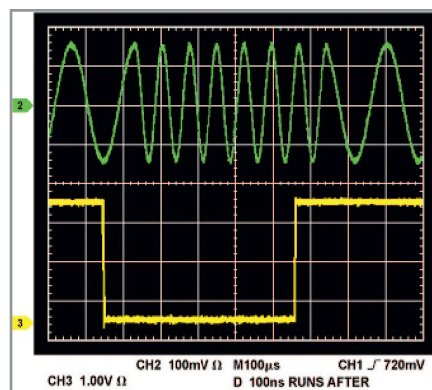


Рис. 4. Фазово-непрерывное переключение ЧМн

фазово-когерентным способом, ЦСС должен выполнить переключение частоты при фазе 0 градусов (т.е. когда накапливающий сумматор переполняется с нулевым избытком). Таким образом, мы должны определить моменты, при которых происходят фазово-когерентные переходы через ноль. Если известны частоты повторения слов настройки частоты импульса и паузы, меньшая из двух частот (если они отличаются) укажет желаемую точку фазово-когерентного перехода через ноль.

Для выполнения фазово-когерентного переключения при переходе через ноль необходимы три условия:

- есть возможность определять меньшую частоту повторения слов на-

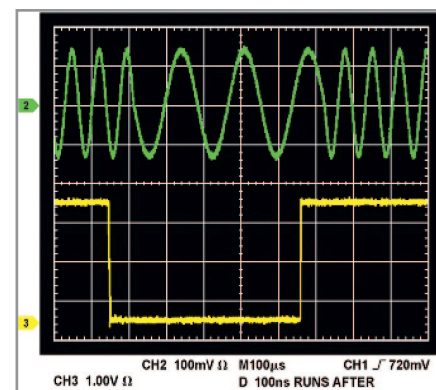


Рис. 5. Переключение ЧМн при переходе через ноль

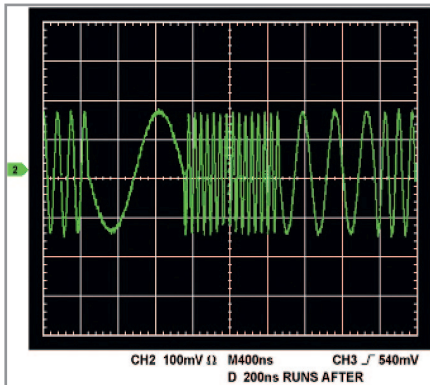


Рис. 6. Переход через ноль с переключениями нескольких ЧМн

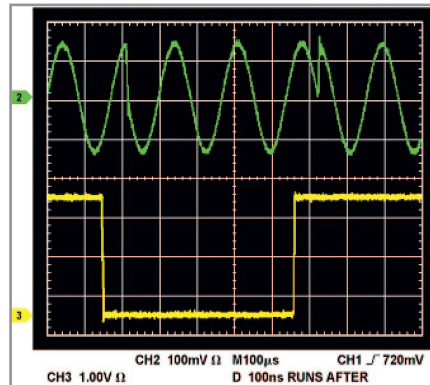


Рис. 7. Фазово-непрерывное переключение ДФМн

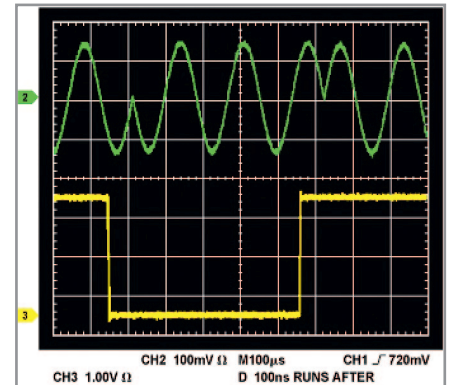


Рис. 8. Переключение ДФМн при переходе через ноль

стройки частоты импульса и паузы, связанных с каналом CH0 (см. рис. 2);

- второй канал ЦСС (CH1 на рисунке 2) засинхронизирован с каналом CH0 и запрограммирован при помощи слова настройки частоты, имеющего все нули, за исключением одного разряда, соответствующего меньшей GRR;
- есть возможность использовать выгрузку данных второго канала для запуска смены частоты канала CH0.

К сожалению, запаздывание между моментами, когда накапливающий сумматор цифрового синтезатора достигает нуля и когда нулевая фаза представлена на выходе, дополнительно усложняет решение. К счастью, это запаздывание является постоянным. Идеальное решение требует подстройки фазы дополнительного канала для компенсации этого запаздывания. Оба канала микросхемы AD9958 имеют функцию сдвига фазы, которая может быть использована для решения этой проблемы.

При экспериментах двухканальный ЦСС типа AD9958 генерировал сигналы, показанные на рисунках 4 – 6. Рисунки 4 и 5 демонстрируют фазово-непрерывное переключение ЧМн в сравнении с переключением ЧМн при переходе через ноль. Рисунок 6 показывает осциллограмму сигнала, где поток данных псевдослучайной последовательности (PSR) переключает несколько частот. Рисунки 7 и 8 демонстрируют отличие переключения фазово-непрерывной ДФМн от ДФМн при переходе через ноль.

Э