

Божаткин И.А.

*Научный руководитель д.т.н. проф. Ромашов В.В.**Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23**E-mail: romashovamurom@mail.ru, ilya.bozhatkin@mail.ru*

Исследования влияния разрядности ПЗУ на шумовые характеристики цифровых вычислительных синтезаторов.

Аккумуляторы фазы выпускаемых синтезаторов DDS имеют разрядность 28, 32 или 48 бит [1, 2]. Но только часть разрядов используется для адресации ПЗУ, в которое записана таблица синуса. Это вынужденная мера, связанная с необходимостью уменьшения объема ПЗУ. Если использовать, например, 32 бита адреса ПЗУ и десятиразрядное представление каждого отсчета, то понадобилось бы ПЗУ емкостью $10 \cdot 2^{32} = 42\,949\,672\,960 = 43$ Гбит. Поэтому для адресации ПЗУ используется только несколько старших разрядов кода, формируемого на выходе аккумулятора фазы. Усечение кода фазы выполняется по алгоритму, заложенному при проектировании синтезатора, и внешними сигналами изменить этот алгоритм невозможно. Отбрасывание младших разрядов кода адреса, приводит к возникновению ошибки в представлении фазы. Как следствие, при преобразовании фазы в амплитуду выходного сигнала

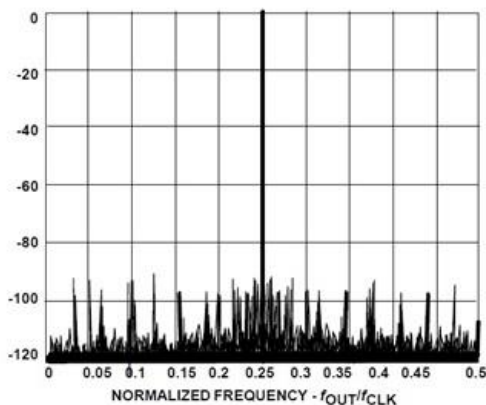


Рисунок 1. - Спектр выходного сигнала при усечении длины кода аккумулятора фазы до 15 бит.

появляется погрешность. Эта погрешность является периодической, так как в зависимости от кода частоты одно и то же состояние аккумулятора фазы повторяется чаще или реже. В результате в спектре выходного сигнала синтезатора появляются гармоники, вызванные усечением кода фазы, рисунок 1. Значения их амплитуды и фазы зависят от разрядности аккумулятора фазы n , разрядности слова фазы после усечения n_{yc} и значения кода частоты M . Максимальный уровень этих гармоник можно оценить, пользуясь соотношением $U = -6,02n_{yc}$, дБ. Например, при $n_{yc}=15$ максимальный уровень гармоник приблизительно равен -90 дБ.

Следует указать, что, наихудшим здесь является случай, когда в отбрасываемой части кода фазы старший бит равен 1, а все остальные – 0. Дополнительные гармоники в спектре будут отсутствовать при условии, что в отбрасываемой части кода все гармоники равны нулю.

Существует еще одно обстоятельство, ухудшающее спектральную чистоту выходного сигнала синтезатора. Дело в том, что ограниченное число разрядов ЦАП обуславливает ступенчатый характер выходного сигнала. Поэтому спектр этого сигнала содержит большое число высших гармоник рис. 2, огибающая амплитуд которых описывается функцией

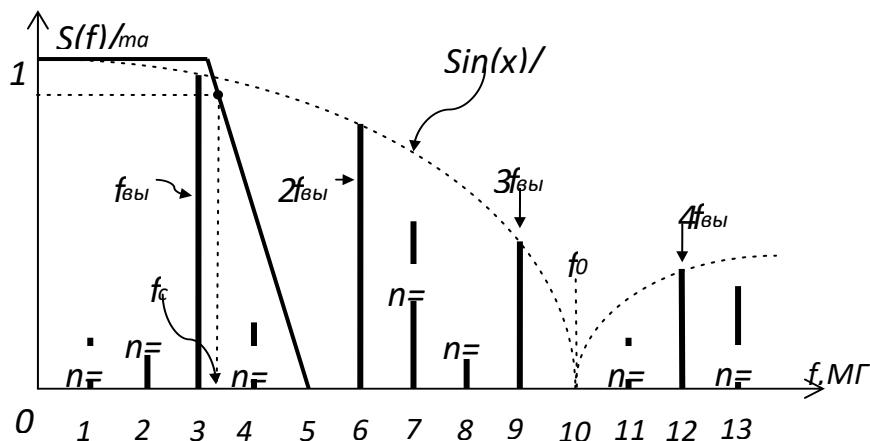


Рисунок 2. – Распределение гармоник в спектре выходного сигнала синтезатора DDS.

$$A_{nf_{\text{вых}}} = \text{Sin}\left(\frac{\pi \cdot n f_{\text{вых}}}{f_0}\right) \Bigg/ \left(\frac{\pi \cdot n f_{\text{вых}}}{f_0}\right),$$

где $A(nf_{\text{вых}})$ – амплитуда n -ой гармоники сигнала на выходе ЦАП.

Кроме того в спектре будут присутствовать и комбинационные гармоники вида $fn = f_0 \pm nf_{\text{вых}}$, где n – номер гармоники выходного сигнала [3, 4]. Кроме того, согласно теореме Котельникова, максимальная частота синтезируемого сигнала не может быть больше половины тактовой частоты f_0 . Вместе с тем, выходную частоту синтезатора желательно ограничить значением $f_0/3$, чтобы комбинационная составляющая с частотой $(f_0 - f_{\text{вых}})$, имеющая самый большой уровень, находилась выше частоты Найквиста $f_0/2$ и ее можно было подавить с помощью ФНЧ. Предположим, что тактовая частота $f_0 = 100$ МГц. Тогда частота выходного сигнала $f_{\text{вых}} = 30$ МГц. Вторая гармоника выходного сигнала будет равна $2f_{\text{вых}} = 60$ МГц. В результате в спектре появится комбинационная (разностная) составляющая 40 МГц. Точно также третья гармоника даст $100 - 90 = 10$ МГц. Четвертая – $120 - 100 = 20$ МГц. Все эти комбинационные частоты находятся в полосе пропускания выходного фильтра, то есть спектр выходного сигнала и спектр комбинационных составляющих перекрываются и разделить их с помощью ФНЧ невозможно, что иллюстрируется рисунком 2.

Рассмотренная выше структура ПЦС применяется во всех современных синтезаторах. Кроме того, в одном чипе объединяют быстродействующий ЦАП и собственно ПЦС, что позволяет получить, так называемый полный (интегрированный) ПЦС или Complete DDS. Конструкция и параметры генераторов ПЦС непрерывно совершенствуются и в настоящее время эти устройства занимают приоритетные положения в современных разработках систем связи.

Литература

1. Fundamentals of Direct Digital Synthesis (DDS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/trainingseminars/tutorials/MT-085.pdf> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.03.2020)
2. Design of hardware and software of multi-waveforms adar generator based on AD9958 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported_files/data_sheets/AD9958.pdf . – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.03.2020)
3. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский дом «Додока- XXI», 2007. -528 с. ил. / Стр.419 – 423, 434.
4. Макаренко, В. Компоненты для построения беспроводных устройств связи, часть 7. Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза / В. Макаренко //Телекоммуникации и связь. - 2010. - № 1. - С. 34 – 46.