

А. Л. ГАЛУШКО, И. П. СТЕЦКО,
В. А. ЧУДОВСКИЙ, А. А. ШАНДИЦЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Виртуальные средства измерений занимают в последние годы все более весомое место в мировом приборостроении. Важное преимущество таких приборов заключается в том, что значительное число функций по обработке и отображению данных может быть возложено на персональный компьютер. Это позволяет эффективно использовать в приборе преимущества цифровой обработки сигналов, например, при синтезе выходного сигнала генератора. Последнее обусловило появление на рынке измерительной техники нового поколения генераторов, получивших название генераторы сигналов произвольной формы (ГСПФ).

Базовая схема построения ГСПФ приведена на рис. 1. Требуемый для генерации сигнал вначале синтезируется в цифровом виде программными средствами ГСПФ с помощью компьютера. Далее сформированная последовательность кодов передается в буферную память ОЗУ, после чего последовательно преобразуется с помощью цифро-аналогового преобразователя ЦАП в аналоговую форму, сглаживается аналоговым фильтром низких частот ФНЧ, усиливается выходным усилителем ВУ и поступает на выход прибора. Блок управления и синхронизации БУС обеспечивает управление этим процессом.

Основное влияние на точность формирования выходного сигнала с использованием ГСПФ оказывают такие его характеристики, как точность формирования амплитуды, переходная характеристика, амплитудно-частотная характеристика, коэффициент нелинейных искажений и отношение сигнал/шум.

«Неидеальность» перечисленных характеристик приводит к тому, что на выходе генератора будет присутствовать реальный сигнал, форма которого может значительно отличаться от «идеального», сформированно-

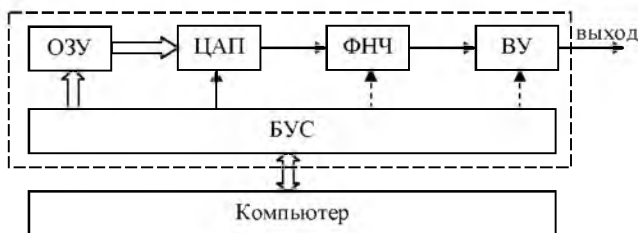


Рис. 1. Базовая структурная схема ГСПФ

го пользователем на экране прибора. Наличие всплесков, искажений из-за конечных времен нарастания и установления сигнала и другие несоответствия могут быть выявлены только при помощи дополнительного измерительного прибора, например, осциллографа.

Реализация ГСПФ в виде виртуального прибора, помимо расширения возможностей по созданию и редактированию сигнала, позволяет также рассчитывать и отображать информацию о реальной форме выходного сигнала генератора. Такой подход в зарубежной литературе получил название *WYSWYG* (*What You See is What You Get*). Для выполнения этой задачи необходимо оценить передаточную характеристику аналогового тракта формирования выходного сигнала генератора и привести результаты оценки к виду, удобному для дальнейшей цифровой обработки.

Изначально формируемый сигнал является непрерывным. При подготовке к генерации он подвергается дискретизации. С момента создания сигнала и вплоть до цифро-аналогового преобразователя сигнал представляется в цифровой форме в виде последовательности отсчетов. Возникающие на данном этапе искажения формы сигнала при правильном выборе формата данных значительно ниже искажений, вносимых в дальнейшем аналоговым трактом.

Аналоговые узлы ЦАП, ФНЧ и ВУ можно представить в виде нелинейных систем, каждой из которых при моделировании можно сопоставить соответствующие цифровые фильтры, имеющие передаточные характеристики $H_1(f)$, $H_2(f)$ и $H_3(f)$. Априорно эти характеристики неизвестны и не поддаются прямому измерению из-за малых амплитуд сигналов, внесения самим измерителем шумов и других искажений в высокочувствительные элементы ГСПФ. Поэтому необходимо рассматривать аналоговый тракт в целом, сопоставив ему единый цифровой фильтр с передаточной характеристикой $H(f)$.

Для экспериментального получения импульсной характеристики такого фильтра можно воспользоваться ее взаимосвязью с переходной характеристикой тракта (рис. 2), легко поддающейся непосредственному измерению [1]. Эта импульсная характеристика может быть также получена из АЧХ прямым измерением амплитуды выходного сигнала при изменении частоты формируемого гармонического сигнала. Однако большой диапазон частот генератора (от 0 до 10 МГц) приводит к высокой трудоемкости такой оценки. Кроме того, и это главное, была бы потеряна информация о фазочастотной характеристике (ФЧХ) тракта. Для гармонического сигнала это не критично, но при моделировании сложных сигналов появились бы искажения формы, которые не присущи тракту в действительности (реальная ФЧХ, как правило, нелинейная).

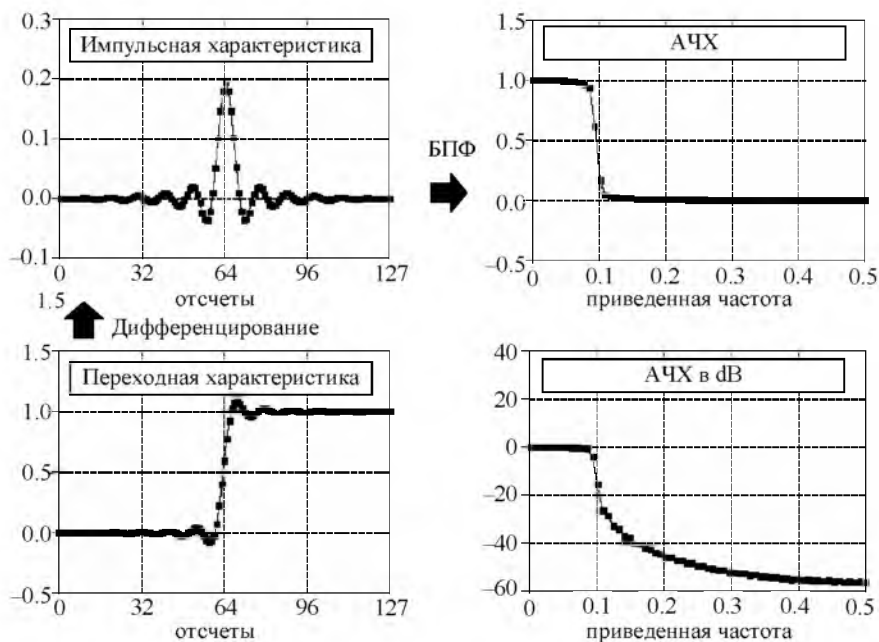


Рис. 2. Взаимосвязь различных характеристик фильтра

Расчетный отклик аналогового тракта на формируемый сигнал можно получить путем свертки последовательности отсчетов, подающихся в ЦАП, с импульсной характеристикой (ядром) фильтра [2]. Это дает возможность пользователю иметь информацию о выходном сигнале и скорректировать его форму в случае необходимости.

Остановимся на проблеме выбора временного шага обработки и представления пользовательских данных и, как следствие, длины ядра цифрового фильтра. Она возникает, если период дискретизации ЦАП сравним с длительностью переходных процессов. Рис. 3 иллюстрирует эту проблему для разработанного генератора сигналов произвольной формы, в котором время нарастания составляет величину порядка 6 нс, а период квантования равен 10 нс. При выборе временного шага обработки данных, равного периоду квантования выходного сигнала, мы получим ломаную кривую, которая лишь отдаленно напоминает реальный сигнал. Информация о переходном процессе теряется. Для повышения достоверности результатов моделирования необходимо повысить частоту дискретизации сигнала. Присутствие в спектре переходной характеристики ге-

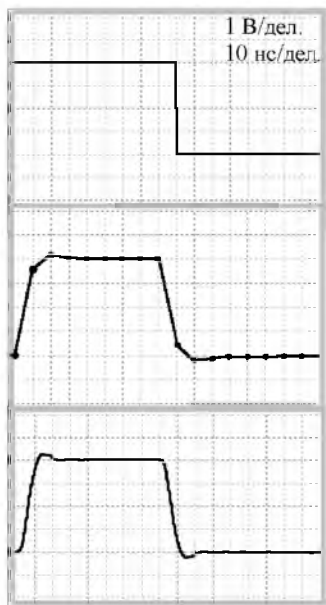


Рис. 3. Реализация подхода WYSWYG в ГСПФ

генератора максимальной частоты 140 МГц по уровню -40dB (1%) дает минимальное значение частоты дискретизации 280 МГц, но на практике рекомендуется выбирать значение, хотя бы в 2,5 раза превосходящее интересующую полосу частот [1. 3]. В разработанном генераторе была выбрана частота дискретизации 500 МГц, длина ядра фильтра составила 256 точек, что обеспечило практически полное визуальное совпадение результатов моделирования с измеряемыми сигналами. Повышение частоты дискретизации сигнала производится путем повторения значения напряжения текущего отсчета ЦАП во всех точках интерполяции в пределах периода квантования. Измерение переходной характеристики аналогового тракта генератора проводилось цифровым осциллографом В-121 измерительного комплекса УНИПРО (частота дискретизации 20 Гвыб./с, полоса пропускания 200 МГц).

Представленный метод моделирования выходных сигналов реализован в программном обеспечении генератора сигналов произвольной формы В-131, входящего в состав измерительного комплекса УНИПРО. Дальнейшим развитием данного подхода является корректирование кодовой последовательности ЦАП с учетом известной передаточной характеристики аналогового тракта для минимизации искажений формы сигнала на выходе генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *S. W. Smith*. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition. California Technical Publishing. 1999. 650 p.
2. Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для вузов. 2-изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1990. 256 с.
3. Григоренко А. М. Некоторые вопросы теории технической информации. М.: ЮБЕКС, 1998. 112 с.