

# Генератор сигналов произвольной формы

При тестировании различных систем их разработчики должны исследовать поведение системы при подаче на ее вход как стандартных сигналов, так и сигналов, имеющих различные отклонения от нормы. В реальных условиях работы на систему могут действовать помехи, искажающие форму сигнала, и разработчику необходимо знать, как поведет себя устройство при тех или иных искажениях. Для этого ему необходимо либо смоделировать помеху при прохождении стандартного сигнала, либо подать на вход искаженный сигнал, полученный при помощи генератора сигналов произвольной формы (ГСПФ). Первый путь гораздо сложнее и дороже, поэтому чаще всего используется второй.

Генераторы сигналов произвольной формы используются также в случаях, когда для отладки и испытания устройств нужно подавать на их вход сигналы нестандартной формы, получить которые без использования таких генераторов крайне трудно.

## Концепция построения ГСПФ

В основе построения ГСПФ лежит синтез аналогового сигнала по его образцу, записанному в ОЗУ генератора. Типовая структура ГСПФ представлена на рис. 1.

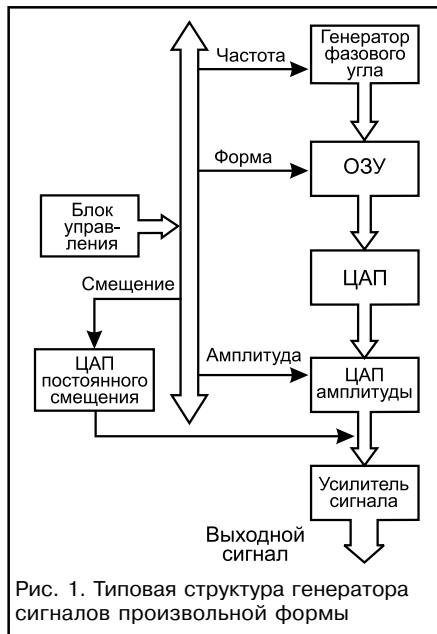


Рис. 1. Типовая структура генератора сигналов произвольной формы

Генератор фазового угла (ГФУ) генерирует периодическую линейно нарастающую последовательность адресов ячеек ОЗУ (фазу сигнала). Крутизна нарастания последовательности зависит от частоты, задаваемой блоком управления (БУ).

В соответствии с изменением адресов на входе ОЗУ, меняются и данные на его выходе. Последовательность выдаваемых данных образует цифровой образ генерируемого сигнала. Он преобразуется в аналоговую форму при помощи цифро-аналогового преобразователя, затем сигнал ослабляется в соответствии с заданной амплитудой, и в

него вводится нужное постоянное смещение. После усиления получается выходной сигнал нужной формы, частоты, амплитуды с требуемым постоянным смещением.

## Технические характеристики генератора

- Частота генерируемого сигнала – 0,0001...22000 Гц.
- Амплитуда выходного сигнала – 0...10 В.
- Постоянное смещение выходного сигнала – -5...+5 В.
- Выходной ток – до 100 мА.
- Количество отсчетов на период – 8192.
- Температурная относительная нестабильность частоты – менее  $10^{-5}$  / °С.
- Долговременная относительная нестабильность частоты – не более  $10^{-5}$  / 1000 ч.
- Точность установки частоты –  $7 \cdot 10^{-6}$  Гц.
- Напряжение питания – 10...12 В.
- Потребляемая без нагрузки мощность – 0,9 Вт.

## Структура комплекса ГСПФ

Программно-аппаратный комплекс генерации сигналов произвольной формы состоит из собственно генератора, подключенного к ЭВМ через последовательный порт RS-232C, и программы управления генератором, работающей под Windows 9x.

### 1. Структура аппаратной части генератора

Принципиальную схему аппаратной части можно скачать по адресу [www.platan.ru/shem/](http://www.platan.ru/shem/). Она выполнена в соответствии со структурой, приведенной на рис. 1. Единственное отличие состоит в том, что блок управления разработанного генератора подключен через блок сопряжения к ЭВМ. Из ЭВМ при помощи программы управления задаются форма и другие параметры сигнала.

**Блок управления** генератором построен на базе микроконтроллера AT89C52. Он принимает от ЭВМ команды изменения параметров сигнала и выдает соответствующие команды другим блокам генератора. Кроме того, генератор имеет SPI-подобный интерфейс для подключения управляющего устройства, отличного от ЭВМ. Наличие такого интерфейса позволяет использовать генератор в составе комплекса для снятия частотных характеристик.

Блок управления принимает и устанавливает частоту, смещение и амплитуду сигнала. Данные о форме выходного напряжения также проходят через блок управления. Стандартные формы (пила, меандр, белый шум и синусоида) рассчитываются непосредственно микроконтроллером.

**Усилитель сигнала** построен на малошумящем операционном усилителе MAX427 и позволяет получить выходной ток до 100 мА.

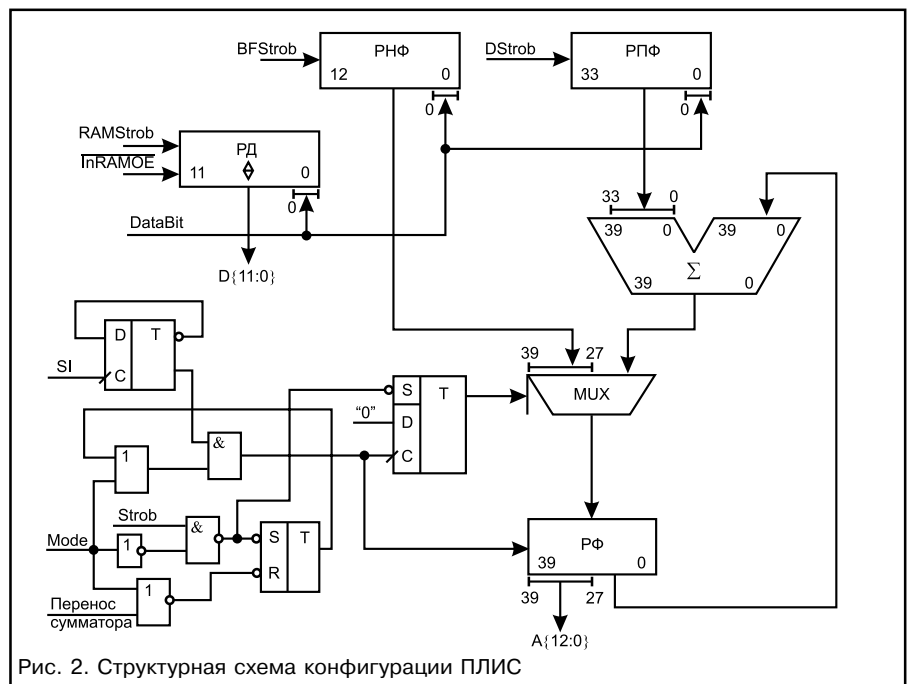


Рис. 2. Структурная схема конфигурации ПЛИС

**ЦАП постоянного смещения AD7943** – умножающий 12-разрядный ЦАП с последовательным вводом данных, позволяющий получить смещение сигнала в диапазоне от  $-5$  до  $+5$  В с дискретностью  $2,44$  мВ.

**ЦАП амплитуды AD7943** – умножающий 12-разрядный ЦАП с последовательным вводом данных. Позволяет задавать амплитуду выходного сигнала в диапазоне от  $0$  до  $10$  В с дискретностью  $2,44$  мВ.

**ЦАП MX565A** – быстродействующий 12-разрядный ЦАП с параллельным вводом данных. Время установления с точностью до половины младшего разряда – не более  $250$  нс.

**ОЗУ UM6264** содержит цифровой образ формы. Форма хранится в виде  $8192$  12-разрядных отсчетов. Это позволяет получить выходной сигнал достаточно высокого качества.

**Генератор фазового угла** построен на основе ПЛИС EPF8282 фирмы ALTERA. Структура, записываемая в ПЛИС, приведена на рис. 2.

Схема может работать в трех режимах: нормальной генерации, ждущем, загрузки данных в блок ОЗУ.

В режиме нормальной генерации (на входе Mode единица) регистр приращения фазы (РПФ) загружается из БУ значением, соответствующим частоте. При нормальной генерации содержимое РПФ суммируется с младшими разрядами регистра фазы (РФ), и сумма записывается в РФ по приходу SI. Тринадцать старших разрядов РФ подаются на адресные входы блока ОЗУ. Таким образом, частота переполнения РФ соответствует частоте генерируемого сигнала.

При ждущем режиме (на входе Mode ноль) ГФУ ожидает прихода стробирующего сигнала на вход Strob. По приходу этого сигнала генерируется сигнал с начальной фазы, записанной в регистре начальной фазы (РНФ), и до конца периода. После окончания периода ГФУ снова переходит в состояние ожидания строба.

При загрузке данных в ОЗУ они сначала последовательно записываются в регистр данных (РД), а затем, при подаче сигнала InRAMOE, выставляются на входы данных блока ОЗУ. Это сделано для экономии числа используемых выводов микроконтроллера и упрощения топологии печатной платы.

Как видно из структуры ПЛИС, реализация такого операционного автомата на микросхемах малой степени интеграции потребовала бы большого количества разнотипных элементов, что привело бы к увеличению габаритов и уменьшению надежности системы. Поэтому удобно применять ПЛИС.

## 2. Опытный образец генератора

Опытный образец был собран на двусторонней печатной плате размером  $175 \times 110$  мм. Потребление опытного образца без нагрузки составляет  $0,9$  Вт. Внешний вид опытного образца генератора приведен на рис. 3:

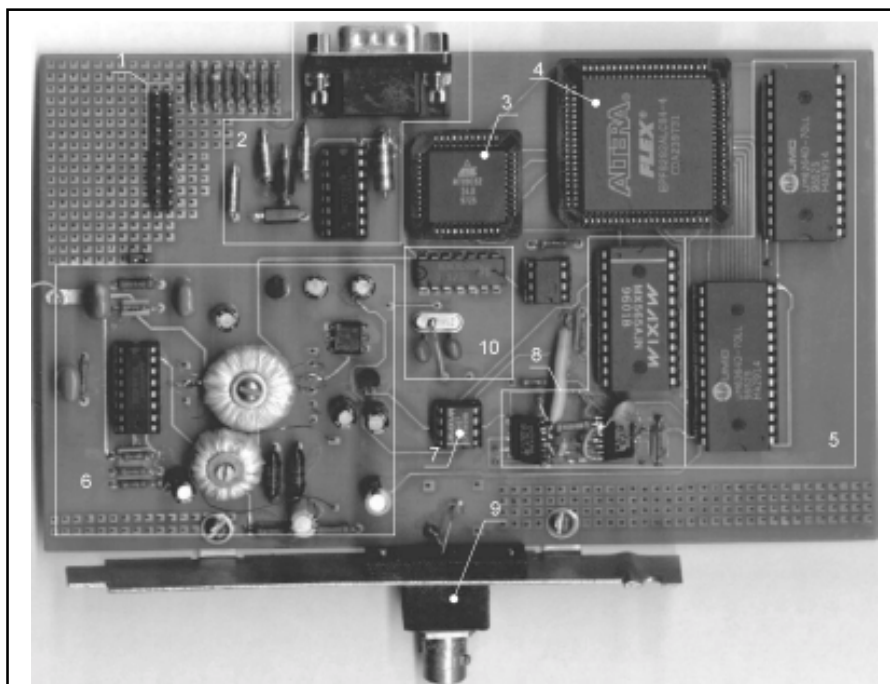


Рис. 3. Вид опытного образца платы генератора

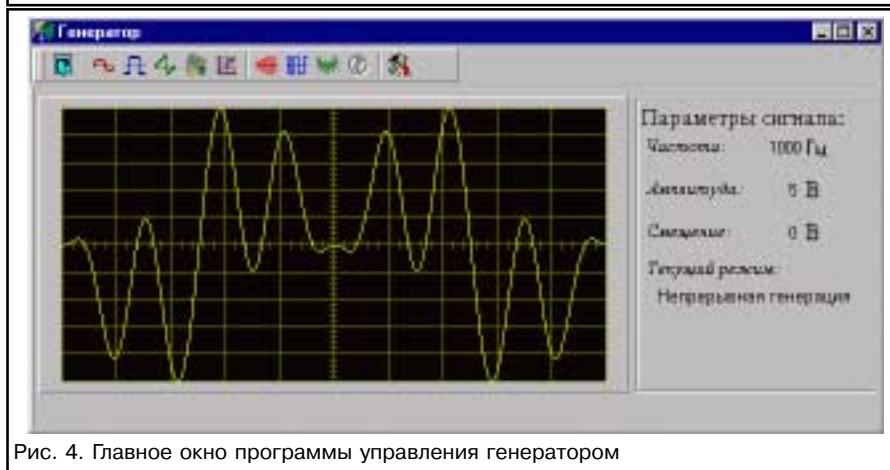


Рис. 4. Главное окно программы управления генератором

ратора приведен на рис. 3:

- 1 – разъем для подключения анализатора частотных характеристик;
- 2 – блок сопряжения с RS-232C;
- 3 – блок управления;
- 4 – генератор фазового угла на ПЛИС;
- 5 – ОЗУ;
- 6 – источник питания;
- 7 – усилитель выходного сигнала;
- 8 – блок цифро-аналогового преобразования;
- 9 – разъем для подключения потребителя сигнала.

### Программа управления генератором

Программа управления генератором создана в среде Delphi 4.5. Программа предназначена для работы под Windows 9x. Вид главного окна программы, которое позволяет использовать все возможности аппаратной части генератора, представлен на рис. 4.

Программа позволяет задавать параметры сигнала: частоту, амплитуду, постоянное смещение. Кроме стандартных форм – меандра, пилю, синусоиды и белого шума – можно загрузить в генератор и

произвольную форму. Для ввода произвольной формы сигнала можно нарисовать ее при помощи мыши или задать форму при помощи формулы. Созданную форму можно сохранить и восстановить впоследствии.

Существует режим последовательного изменения параметров сигнала, таких как амплитуда, частота и смещение. При этом изменение может быть плавным, когда задаются начальное и конечное значения параметра, шаг приращения, период приращения. Возможно также изменение одного из параметров сигнала по форме, записанной в файле. Это позволяет генерировать частотно- и амплитудомодулированные сигналы. При этом формы модулируемого и модулирующего сигнала могут быть абсолютно произвольными.

Демонстрационный вариант прошивки микроконтроллера и управляющую программу можно скачать по адресу [www.platan.ru/shem/](http://www.platan.ru/shem/).

**Александр Волович,**  
al\_volovich@mail.ru