

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Оренбургский государственный университет»

Кафедра проектирования и технологии радиоэлектронных средств

Е.А. КОРНЕВ

# ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Оренбургский государственный  
университет»

Оренбург 2005

ББК 32.852 я7  
Б 91  
УДК 621.215 (07)

Рецензент

доктор технических наук, профессор

Н.А. Соловьев

Корнев Е.А.

Б 91 Программно-управляемый функциональный генератор: Методические указания к лабораторному практикуму. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005.- 24с.

В методических указаниях рассмотрены структурные схемы и алгоритмы работы программно-управляемого функционального генератора сигналов, принципы работы двух разновидностей цифроаналоговых преобразователей, структура прикладной программы управления генератором, руководство пользователя, задание на выполнение лабораторного практикума.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Основы радиоэлектроники и связи» студентами специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

ББК 32.852 я7

© Корнев Е.А., 2005

© ГОУ ОГУ, 2005

## Введение

В настоящее время широкое распространение получили программно-управляемые средства генерирования детерминированных и случайных сигналов с использованием цифро-аналоговых преобразователей и микропроцессорных средств (персонального компьютера). С помощью таких генераторов возможно формирование сигналов разнообразной формы с применением одной и той же аппаратной части. При этом, благодаря модификации только прикладной программы, можно легко перестраивать генератор на формирование дополнительных сигналов.

Целью лабораторной работы является изучение и практическая работа с программно-управляемым функциональным генератором, построенным на основе персонального компьютера и ЦАП.

Задачи лабораторной работы:

- изучение состава и алгоритмов работы нескольких разновидностей ЦАП;
- изучение состава и алгоритмов работы функционального генератора;
- изучение прикладной программы и руководства пользователя;
- сборка электрической схемы;
- получение передаточной характеристики ЦАП в координатах двоичный цифровой код- аналог;
- получение временных диаграмм и оценка параметров различных детерминированных и случайных сигналов, поясняющих алгоритм работы ФГ;
- расчет и построение фильтров низких частот.

# 1 Цифро-аналоговые преобразователи

ЦАП представляют собой устройства, преобразующие информацию, выводимую с цифровых вычислительных систем, из цифрового вида в аналоговые уровни или другие параметры аналоговых сигналов с целью сопряжения ЭВМ с датчиками, измерительными приборами, управляющими или исполнительными устройствами сложных многопараметровых объектов управления или систем сбора и обработки информации. ЦАП можно также использовать для формирования требуемых сигналов с перестраиваемыми параметрами.

К настоящему времени разработаны и широко применяются несколько разновидностей ЦАП, но в основе работы каждого из них заложен принцип суммирования токов с разрядных генераторов тока с весовыми коэффициентами, пропорциональными цифровому коду, поступающему на вход ЦАП. Рассмотрим приведенный на рисунке 1 один из базовых вариантов структурной схемы ЦАП, поясняющий принцип суммирования токов.

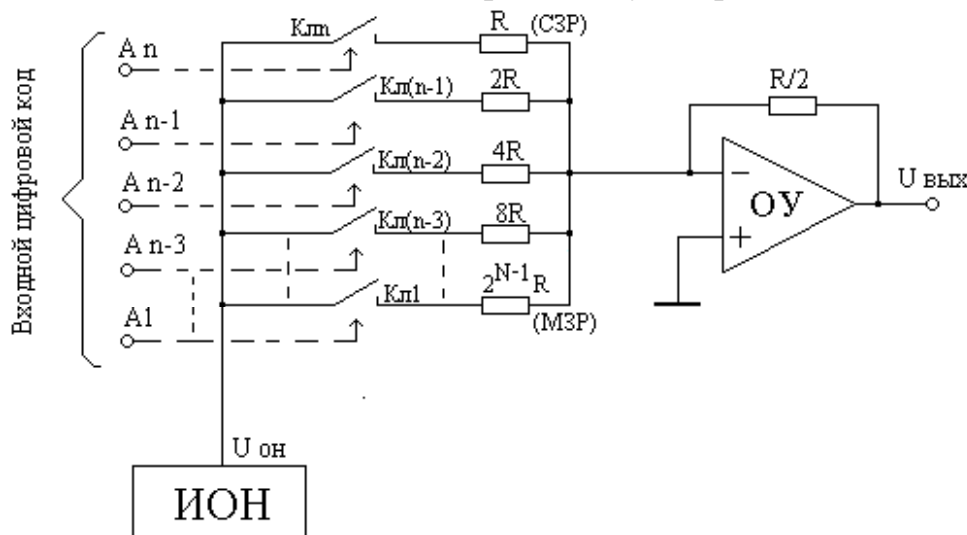


Рисунок 1 - Схема, поясняющая принцип работы ЦАП на резисторах с двоично-взвешенными номиналами

Для построения схемы предусмотрены источник опорного напряжения (ИОН), электронные ключи Кл1-Клн, управляемые по сигналам цифрового кода А1-Ан, цепочка резисторов с двоично-взвешенными номиналами ( $R, 2R, 4R, \dots, 2^{N-1}R$ ) и суммирующий усилитель на основе операционного усилителя (ОУ). Допустим, что пришел цифровой двоичный код, в котором в старшем разряде "1", а в остальных разрядах "0", т.е. код 100...000. Тогда ключ Кл1 будет в замкнутом состоянии и на вход усилителя будет поступать ток:

$$I_N = (U_{оп}/R),$$

где  $U_{оп}$  - опорное напряжение ИОНа.

На выходе суммирующего усилителя появится напряжение:

$$U_N = I_N (R/2) = (U_{оп}/R) (R/2) = U_{оп}/2$$

Представим теперь, что появился код, в котором все разряды кода равны "0", кроме сигнала A1. В этом случае коду 000...001 будет соответствовать ток и напряжение:

$$I_1 = U_{оп}/2^{N-1}R ;$$

$$U_1 = I_1 (R/2) = (U_{оп}/2^{N-1}R) (R/2) = U_{оп}/2^N,$$

т.е. напряжение на выходе усилителя будет равно весу младшего значащего разряда (МЗР) ЦАП.

Следовательно, в зависимости от кодовой комбинации на входе ЦАП замыкаются соответствующие ключи и на вход суммирующего усилителя поступают соответствующие разрядные токи, вызывающие формирование на выходе усилителя (выходе ЦАП) напряжения, пропорционального входному коду.

Существенным недостатком ЦАП с двоично - взвешенными номиналами резисторов является необходимость получения широкого диапазона тщательно согласованных номиналов резисторов от R до  $2^{N-1}R$ , что усложняет технологию производства таких ЦАП в микроэлектронном исполнении.

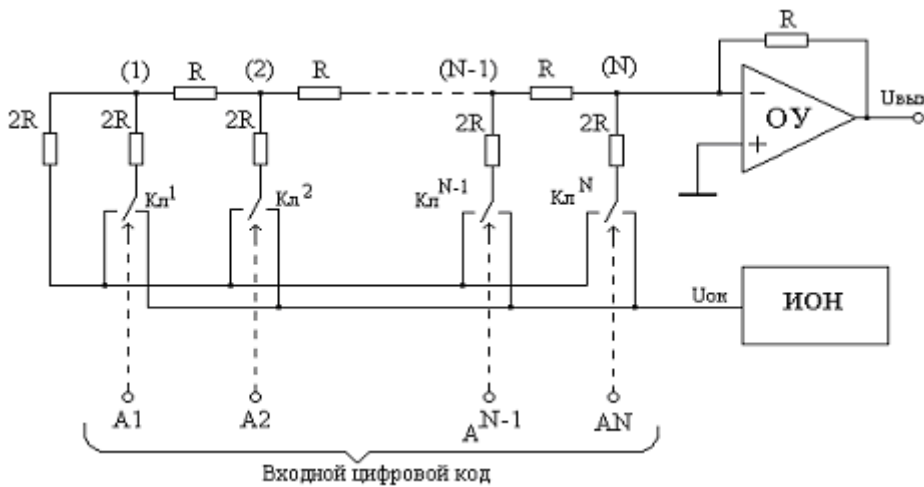


Рисунок 2 – Схема, поясняющая принцип работы ЦАП с цепочкой резисторов R-2R

Значительное распространение получили ЦАП, построенные с последовательно-параллельной цепочкой резисторов R-2R (см. рисунок 2).

Замечательным свойством цепочки R-2R является то, что в любом из узлов цепочки выходное сопротивление равно R. Например, в узле (1) выходное сопротивление определяется параллельным сопротивлением  $2^{-x}$  резисторов с номиналами 2R, т.е. равно R. В узле (2) выходное сопротивление также будет равно значению R, т.к.:

$$[(2R||2R) + R] ||2R = R$$

Это свойство цепочки R-2R позволяет задавать разрядные токи на входе суммирующего усилителя в масштабе, пропорциональном значению R и значению цифрового кода. Действительно, если использовать электронные ключи КлN на два положения, которые позволяют подключать резисторы 2R каждого узла (разряда) или к общей шине или к опорному напряжению  $U_{оп}$ , то в случае кода 100...000, когда включен ключ КлN старшего разряда, а остальные ключи находятся в положении "общая шина", ток на входе будет равен:

$$I_N = U_{оп}/2R,$$

а напряжение:

$$U_N = (U_{оп}/2R) R = U_{оп}/2$$

Для кода 010...000 будет работать только ключ Кл(N-1) и задавать ток:

$$I_{N-1} = U_{оп}/4R$$

При этом напряжение равно:

$$U_{N-1} = (U_{оп}/4R) R = U_{оп}/4$$

Младший значащий разряд определяется кодом 000...001, который задает соответствующие ток и напряжение:

$$I_1 = U_{оп}/2^{N-1}R;$$

$$U_1 = U_{оп}/2^N,$$

Таким образом, для любой из  $2^N$  кодовых комбинаций можно найти входной ток суммирующего усилителя и выходное напряжение по формуле:

$$I_{ВХ} = A U_{оп}/2^N R;$$

$$U_{ВЫХ} = A U_{оп}/2^N,$$

где A - входной код ЦАП.

Преимуществом применения в ЦАП цепочки R-2R можно отметить легко поддающуюся точную подгонку номиналов резисторов, т.к. номиналы отличаются только в 2 раза. Однако, в ЦАП, построенных с применением цепочки R-2R, требуется в два раза больше резисторов и необходимы ключи на два положения, что также усложняет технологию производства этих ЦАП.

К основным параметрам ЦАП относятся:

- разрешающая способность - число уровней квантования выходного сигнала (число двоичных разрядов входного кода);

- интегральная нелинейность - отражает степень отклонения характеристики преобразования от идеальной характеристики (в частности от прямой линии);
- время установления - время, требуемое для установления входного сигнала ЦАП в пределах  $\pm 1/2$  МЗР для заданного изменения входного кода, например, при его изменении от нуля до полного значения шкалы.

В качестве примера рассмотрим структурную схему промышленного ЦАП типа К572ПА1, приведенного на рисунке 3.

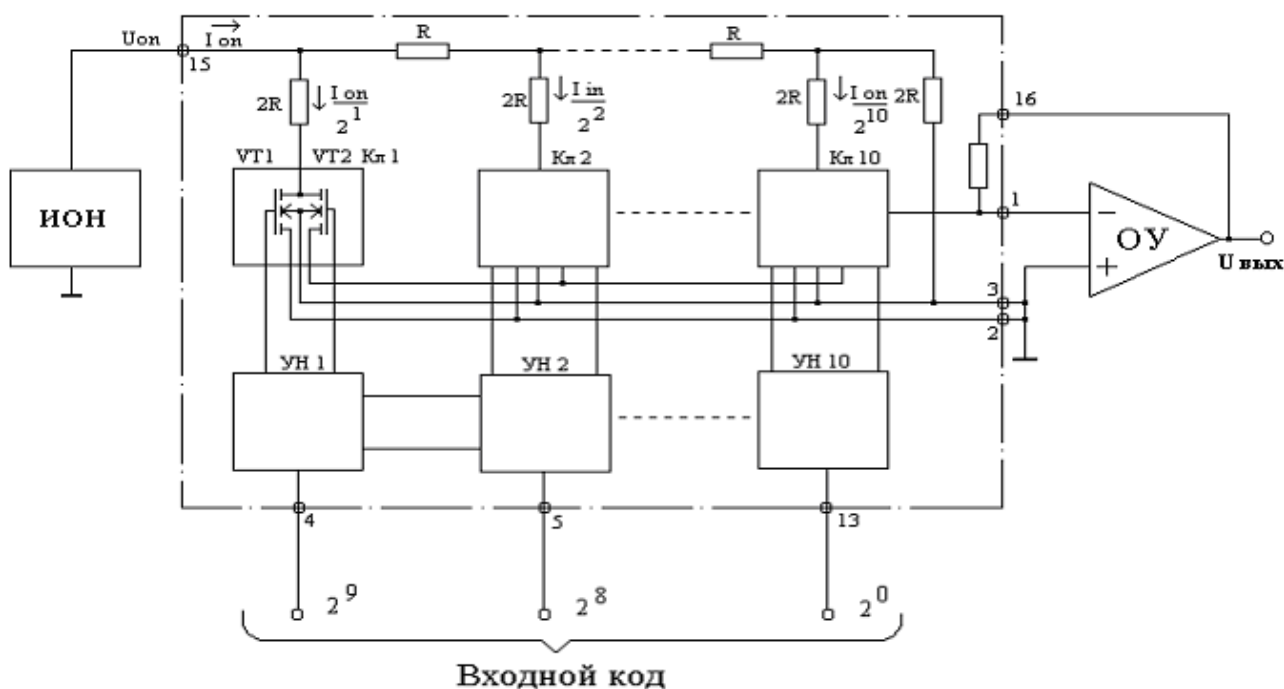


Рисунок 3 – Функциональная электрическая схема ЦАП типа К572ПА1

Десятиразрядный ЦАП К572ПА1 содержит внешний источник опорного напряжения ИОН, ряд R-2R резисторов, двунаправленные ключи на МОП-транзисторах n-типа VT1-VT2, усилители - инверторы УИ для приема кодовых сигналов и выработки управляющих напряжений на ключи КЛ1-КЛ10, внешний суммирующий операционный усилитель ОУ. Принцип действия описываемого ЦАП аналогичен принципу действия ЦАП, приведенного на рисунке 2.

Условно-графическое обозначение ЦАП в принципиальных электрических схемах представлено на рисунке 4.

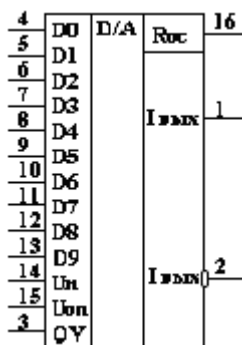


Рисунок 4 - Условно-графическое обозначение ЦАП

Назначение выводов в обозначении:

- D0-D9 - входы для подачи цифрового кода;
- $U_{\Pi}$  - напряжение питания;
- $U_{\text{ОП}}$  - опорное напряжение;
- 0V - корпус( общая шина);
- $R_{\text{ос}}$  - вход подключения сигнала обратной связи;
- $I_{\text{ВЫХ}}$  - выходной ток ЦАП;
- $I_{\text{ВЫХ}}$  -общая шина выходного тока.

Основные параметры ЦАП 572ПА1 следующие:

- цена (вес) младшего значащего разряда  $10,24 \text{ В} / 2^{10} = 10 \text{ мВ}$ ;
- интегральная нелинейность характеристики  $\pm 0,1\%$  от полной шкалы;
- время установления выходного тока не более 5 мкс.



## 2 Описание стенда «Функциональный генератор»

Стенд «Функциональный генератор» предназначен для обучения студентов дисциплине «Основы радиоэлектроники и связи». Стенд включает аппаратную часть и программное обеспечение, необходимые для функционирования стенда.

Функциональный генератор содержит в себе интерфейс к параллельному порту LPT1 персонального компьютера, модуль с цифро-аналоговым преобразователем и выходным усилителем. Генератор подключается к персональному компьютеру и управляется программно из операционной системы. Функциональный генератор осуществляет цифро-аналоговое преобразование выходной кодовой комбинации в сигнал, результат которого подается на аналоговый вывод устройства. Цифро-аналоговый преобразователь, использованный при создании функционального генератора, имеет разрядность 8 бит. Это означает, что на вход ЦАП может подаваться 256 различных комбинаций битов, а значит и величина выходного аналогового напряжения имеет 256 градаций.

Параллельный порт LPT1 персонального компьютера управляется через порт с номером \$378. Осуществляя посылку различных байтов в этот порт, можно управлять функциональным генератором. Необходимо сказать, что время реакции процессора на посылку в параллельный порт составляет около 1,3 мкс. Это говорит о том, что максимальная частота посылок составляет 769 кГц. Необходимо также заметить, что ЦАП работает не с бесконечной скоростью. Наибольшая теоретическая частота использованного ЦАП составляет около 200 кГц. Так как время выборки числа из памяти также не равно нулю, реальная максимальная частота варьируется от 1 кГц до 180 кГц в зависимости от используемого языка программирования и операционной системы. Функциональный генератор не обладает обратной связью с компьютером, не присутствует контроль подключения устройства.

Структурная схема генератора представлена на рисунке 5.

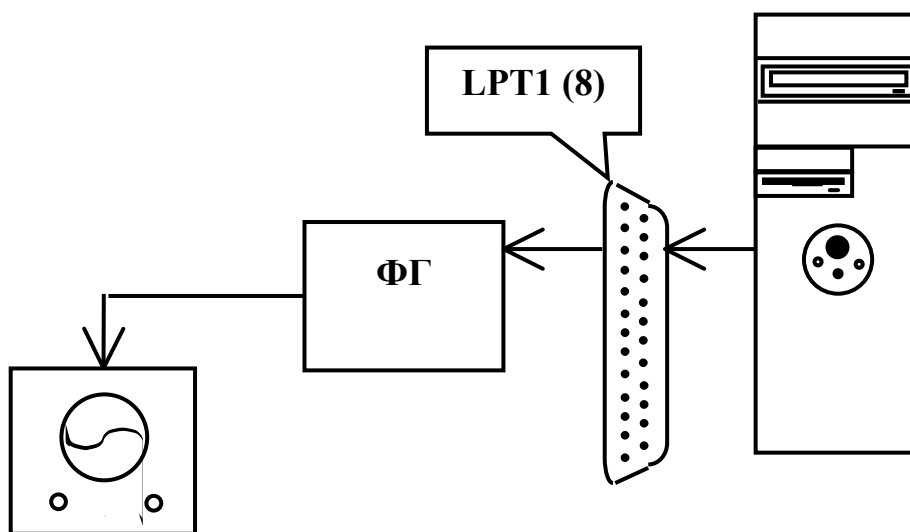


Рисунок 5 – Структурная схема стенда

Как видно из рисунка 5 стенд подключен к компьютеру по каналу: «Порт LPT компьютера - Функциональный генератор». Для контроля правильности работы аппаратной части, правильности сборки, и функционирования программной части, аналоговый сигнал можно контролировать осциллографом.

### 3 Информационно-управляющая программа

Информационно-управляющая программа предназначена для управления аппаратными частями двух стендов: «Функциональный генератор» и «АЦП-ЦАП».

В рамках программного средства реализованы следующие функции и задачи:

- 1 непрерывная посылка данных на Функциональный генератор с целью эмуляции периодического сигнала;
- 2 редактирование формы сигнала на основе имеющихся шаблонов;
- 3 прием и хранение данных, поступающих с блока «АЦП-ЦАП»;
- 4 плавное изменение частоты посылаемого сигнала и опроса блока «АЦП-ЦАП» в максимально возможном диапазоне;
- 5 графическое отображение формы принимаемого сигнала;
- 6 работа программы в режиме реального времени;
- 7 реализация интерфейса графической части в виде панели осциллографа;
- 8 получение статистического распределения амплитуд сигналов;
- 9 аппроксимация получаемого с АЦП сигнала рядом Котельникова;
- 10 обеспечение постоянного контроля верности входных данных, с соответствующими сообщениями пользователю;
- 11 организация удобного пользовательского интерфейса, обеспечивающего дружеское общение с пользователем;
- 12 предоставление помощи пользователю.

Информационно-управляющая программа функционирует на ПЭВМ, совместимой с IBM PC AT, классом не ниже Pentium II или AMD 2-K7 под управлением операционной системы Windows 95 OSR2/98/Me.

При разработке части программы, содержащей работу с блоком «АЦП-ЦАП» использовалось разложение полученного дискретного сигнала в ряд Котельникова с последующей аппроксимацией сигнала. Также использовалось вычисление математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения амплитудного распределения сигнала на основании данных, накопленных в буфере. При восстановлении аналогового сигнала с ЦАП необходимо также восстанавливать (аппроксимировать) сигнал с помощью фильтра нижних частот, спроектированного на основе соответствующей аппроксимирующей функции.

## 4 Аппроксимация случайного сигнала по Котельникову

Точность восстановления аналогового сигнала по последовательности его отсчетов зависит от величины интервала дискретизации  $\Delta t$ . Чем он короче, тем меньше будет отличаться функция  $u(t)$  сигнала от плавной кривой, проходящей через точки отсчетов. Однако с уменьшением интервала дискретизации  $\Delta t$  возрастает сложность и объем обрабатывающей аппаратуры. При достаточно большом интервале дискретизации  $\Delta t$  возрастает вероятность искажения или потери информации при восстановлении аналогового сигнала.

Оптимальная величина интервала дискретизации устанавливается теоремой Котельникова, доказанной им в 1933 г. Другие названия теоремы - теорема отсчетов, теорема К.Шеннона, теорема Х.Найквиста. Впервые элементы теоремы были отмечены в математике О.Коши, а затем описаны повторно Д. Карсоном и Р. Хартли.

Теорема В. А. Котельникова имеет важное теоретическое и практическое значение, т.к. дает возможность правильно осуществить дискретизацию аналогового сигнала и определить оптимальный способ его восстановления на приемном конце по отсчетным значениям.

Одна из наиболее известных и простых трактовок теоремы Котельникова представляется следующим образом:

произвольный сигнал  $u(t)$ , спектр которого ограничен некоторой верхней частотой  $F_B$ , может быть полностью восстановлен по последовательности своих отсчетных значений, следующих с интервалом времени:

$$\Delta t = \frac{1}{2F_B}. \quad (1)$$

В формулировке В.А. Котельникова (1933г.) имеются такие слова: «можно непрерывные сигналы передавать с любой точностью при помощи чисел, следующих друг за другом через  $0,5/F_B$  секунды», т.е. по существу впервые был поставлен вопрос о цифровом способе передачи сигналов.

Интервал дискретизации  $\Delta t$  и частоту  $F_B$  в радиотехнике иногда называют соответственно интервалом и частотой Найквиста (в отечественной литературе интервал  $\Delta t$  принято называть интервалом Котельникова).

Аналитически теорема Котельникова представляется рядом (впервые такие ряды применил Е.Т.Уттакер в 1915г. в математической теории интерполяции):

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} u(k\Delta t) \frac{\sin \omega_B (t - k\Delta t)}{\omega_B (t - k\Delta t)}, \quad (2)$$

где  $k$  - номер отсчета;

$u(k\Delta t)$  - значение непрерывного сигнала в точках отсчета;

$\omega_B = 2\pi F_B = \pi/\Delta t$  - верхняя частота спектра сигнала.

## 5. Статистические характеристики случайной величины

Для более полной информации об амплитуде сигнала, необходимо вычислить ее статистические характеристики. Ниже следует информация о статистических характеристиках случайных величин.

Математическим ожиданием для случайной дискретной величины называется сумма произведений значений случайной величины на вероятность его появления:

$$M_x = \sum_i x_i p_i(x_i) \quad (3)$$

где  $M_x$  – математическое ожидание случайной величины  $x$ ;

$x_i$  – значение случайной величины  $x$ ;

$p_i(x_i)$  – вероятность того, что случайная величина  $x$  примет значение  $x_i$ .

Сумма берется по всем значениям, которые принимает случайная величина. Ряд должен быть абсолютно сходящимся (в противном случае говорят, что случайная величина не имеет математического ожидания).

Дисперсией случайной дискретной величины  $x$  называется математическое ожидание квадрата отклонения значения величины от ее математического ожидания:

$$D_x = M(x - M_x)^2 = \sum_i (x_i - M_x)^2 p_i, \quad (4)$$

Сумма берется по всем значениям, которые принимает случайная величина. Ряд должен быть сходящимся (в противном случае говорят, что случайная величина не имеет дисперсии).

Для вычисления дисперсии удобно использовать формулу:

$$D_x = M(x^2) - (M_x)^2, \quad (5)$$

Среднеквадратическое отклонение случайной величины определяется по формуле:

$$\sigma(x) = \sqrt{D_x}, \quad (6)$$

Так как данные, поступающие с АЦП – дискретная случайная величина, то, пользуясь формулами (3), (5) и (6), можем рассчитать математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратическое отклонение числа, получаемого с АЦП.

## 6 Архитектура программного средства

После запуска программы на экране появляется окно с предложением выбрать режим работы программы.

Если пользователь выбрал режим работы с функциональным генератором, то на экране появляется окно для работы с функциональным генератором. Возможна реализация следующих функций:

- изменение формы, амплитуды и частоты сигнала;
- добавление шума к амплитуде сигналу;
- изменение амплитуды шумовых помех;
- включение/выключение функционального генератора.

Если пользователь выбрал режим работы с блоком «АЦП-ЦАП», то на экране появится другое окно, содержащее компоненты, позволяющие управлять устройством «АЦП-ЦАП». При этом доступны следующие функции:

- изменение частоты опроса устройства;
- изменение размера буфера данных;
- показ данных из буфера на графике (вместе с аппроксимированным графиком);
- включение/выключение опроса устройства;
- анализ статистических характеристик входного сигнала.

В состав информационно-управляющей программы входят 4 модуля: `choose.pas`, `adc.pas`, `fg.pas` и `stat.pas`, а также проектный файл `ADC_DAC.dpr`.

Функциональное назначение модулей приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Функциональное назначение модулей

Модуль	Функциональное назначение модуля
<code>choose.pas</code>	Осуществляет вывод на экран окна, в котором пользователь выбирает режим работы программы
<code>adc.pas</code>	Модуль, организующий работу с устройством «АЦП-ЦАП»
<code>fg.pas</code>	Модуль, организующий работу с Функциональным генератором
<code>stat.pas</code>	Модуль, производящий вывод на экран частотной области сигнала, а также его математического ожидания и СКО

Общая структура программного средства описывается схемой иерархии модулей, представленной на рисунке 6.

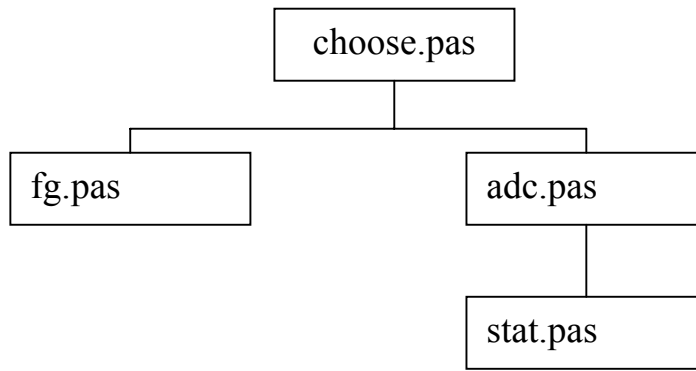


Рисунок 6 – Иерархическая схема модулей программы

## 7 Описание модулей и их взаимодействие:

Модуль `choose.pas`. Этот модуль содержит окно, появляющееся при запуске программы. Оно содержит ниспадающий список выбора режима работы программы, кнопку «Принять» и кнопку «Отменить». При нажатии на кнопку «Принять» происходит вывод на экран окна, содержащегося в модуле, управляющим работой в выбранном режиме. По нажатию кнопки «Отмена» производится завершение программы.

Модуль `fg.pas`. Этот модуль вызывается из модуля `choose.pas` и содержит окно, позволяющее управлять Функциональным генератором. На окне располагаются компоненты, управляющие параметрами сигнала, кнопка «Принять», позволяющая сформировать новый массив посылок в порт, кнопка «Включить ФГ» для запуска цикла посылок, кнопка «Помощь», осуществляющая показ окна помощи и кнопка «Выход», осуществляющая выход из программы.

Модуль `adc.pas`. Этот модуль также вызывается из модуля `choose.pas` и содержит окно, компоненты которого позволяют управлять устройством «АЦП-ЦАП». На окне расположены также кнопки «Начать опрос», которая позволяет начать опрос устройства, кнопка «Построить график», вызывающая процедуру построения графиков (исходного и аппроксимированного), кнопка «Анализ сигнала», вызывающая модуль `stat.pas`, кнопка «Помощь», осуществляющая показ окна помощи и кнопка «Выход», осуществляющая выход из программы.

Модуль `stat.pas`. Этот модуль содержит окно, в котором выводится частотная область сигнала и его статистические характеристики. Также на этом окне располагается кнопка «Заккрыть», закрывающая это окно, после чего управление возвращается в окно модуля «`adc.pas`».



## 8 Входные и выходные данные программы

Функциональная схема программного средства приведена на рисунке 7.

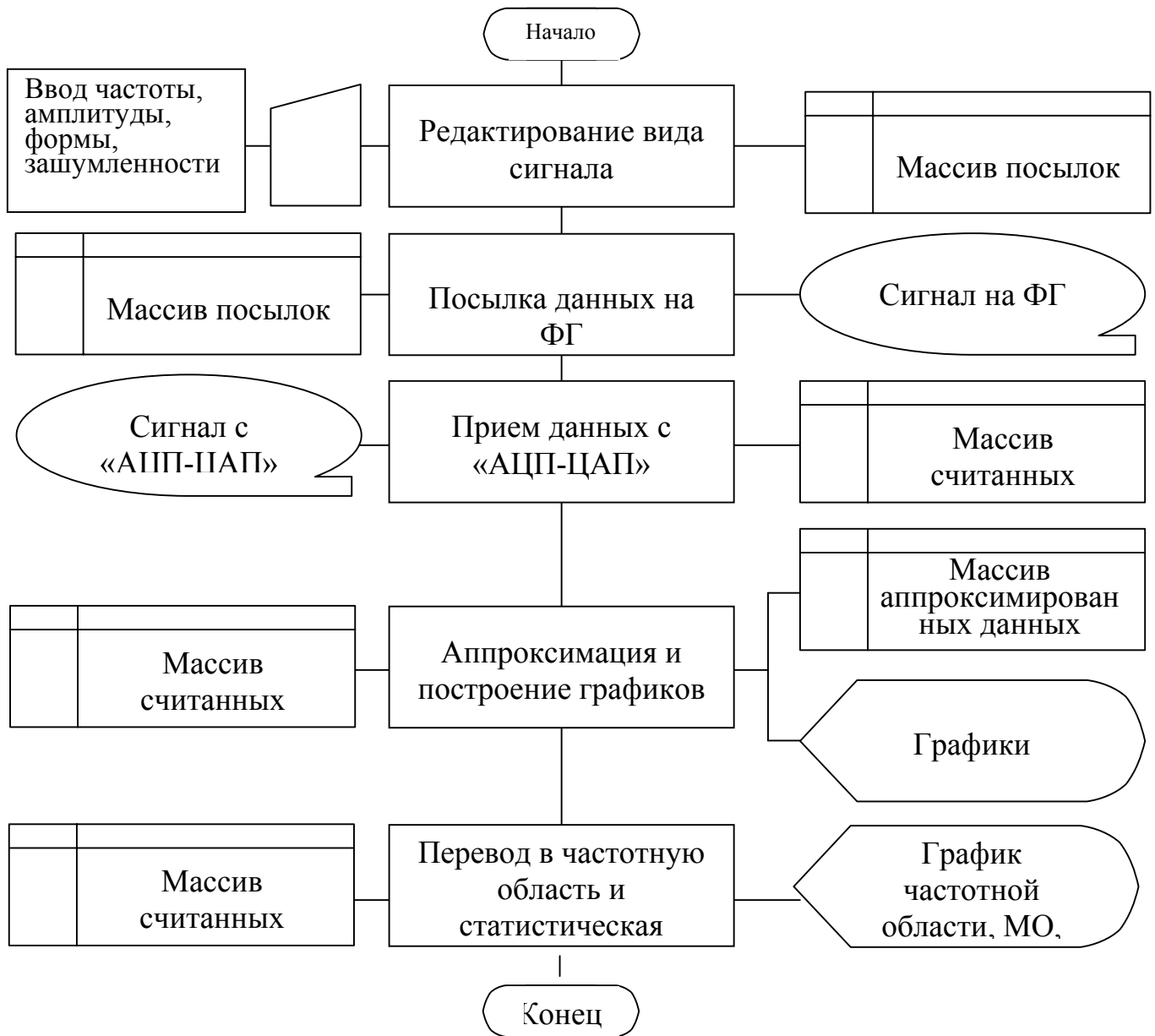


Рисунок 7 - Функциональная схема программного средства

Входными данными по отношению к программе выступает ручной ввод пользователя и поступающий с АЦП сигнал.

Выходными данными считаются коды, подаваемые на вход функционального генератора, а также выводимые на экран:

- график получаемого с АЦП сигнала;
- аппроксимированный график;
- амплитудный спектр преобразованного сигнала;
- значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения.

## 9 Руководство пользователя

Для запуска программы необходимо запустить файл ADC\_DAC.exe на выполнение.

После запуска программы на экране появляется окно, позволяющее выбрать режим работы программы: «Режим работы с «Функциональным генератором» или «Режим работы с блоком «АЦП-ЦАП». Внизу окна располагаются две кнопки: «Принять» и «Отменить». По нажатию кнопки «Отменить» происходит завершение работы программы, а по нажатию кнопки «Принять» появляется окно, для работы программы в выбранном режиме. Вид окна выбора режима работы можно увидеть на рисунке 8.

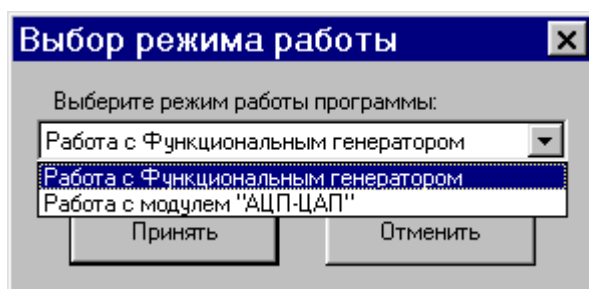


Рисунок 8 - Вид окна выбора режима работы

Если был выбран режим работы с функциональным генератором (ФГ), то на экране появится окно, вид которого представлен на рисунке 9.

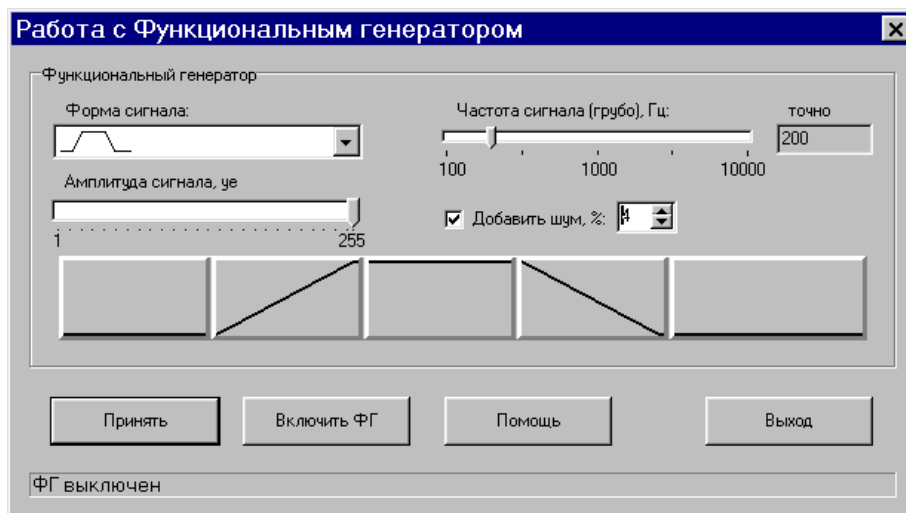


Рисунок 9 - Вид окна работы с функциональным генератором

В этом окне располагаются элементы, управляющие формой, видом, амплитудой сигнала, посылаемого на устройство «Функциональный генератор».

Внизу окна расположены четыре кнопки «Принять», «Включить ФГ», «Помощь», «Выход». По нажатию кнопки «Принять» происходит формирование массива посылок в порт, сохраняется значение частоты, так что все изменения, произошедшие после нажатия этой кнопки, не учитываются и на

сигнал никоим образом не влияют. Для принятия самых последних изменений необходимо нажать кнопку «Принять» еще раз. Кнопка «Включить ФГ» запускает цикл посылок данных на функциональный генератор. После ее нажатия, ее название меняется на «Выключить ФГ». Если нажать ее еще раз, то цикл остановится, а название станет прежним. Когда запущен цикл посылок, можно менять форму, амплитуду сигнала, добавлять шум, изменять его амплитуду, изменять вид сигнала, но все эти изменения вступают в силу только после нажатия кнопки «Принять». Но ее можно нажать и при запущенном цикле посылок. Это позволит, не выключая функционального генератора, отследить изменения в форме сигнала. Нажатие кнопки «Помощь» вызовет показ окна помощи, в котором можно будет просмотреть подробную информацию о стенде и о работе с программой. Нажатие кнопки «Выход» приведет к завершению работы программы. Если был запущен цикл посылок, он будет остановлен.

У окна также есть строка статуса, в ней отображается текущее состояние цикла посылок. Это иногда удобнее, чем следить за названием кнопки.

Кнопкой по умолчанию выбрана кнопка «Принять», потому что ее необходимо нажимать после любых манипуляций с сигналом. Это означает, что каждый раз при нажатии клавиши «Enter» на клавиатуре, будет нажиматься кнопка «Принять». Кнопкой отмены по умолчанию выбрана кнопка «Выход». Это означает, что при нажатии клавиши «Esc» на клавиатуре, нажимается кнопка «Выход» и программа завершает свою работу.

Необходимо отметить, что если режим работы программы был выбран неверно, то придется завершить программу, запустить ее заново и выбрать верный режим. Быстрая смена режимов не реализована по тем причинам, что аппаратные устройства стенда не переносятся на другие компьютеры без отключения питания компьютеров. Так, что необходимость в быстрой смене режима из-за подключения другого устройства отпадает.

Если пользователем был выбран «Режим работы с блоком «АЦП-ЦАП», то на экране появится окно, изображенное на рисунке 10.

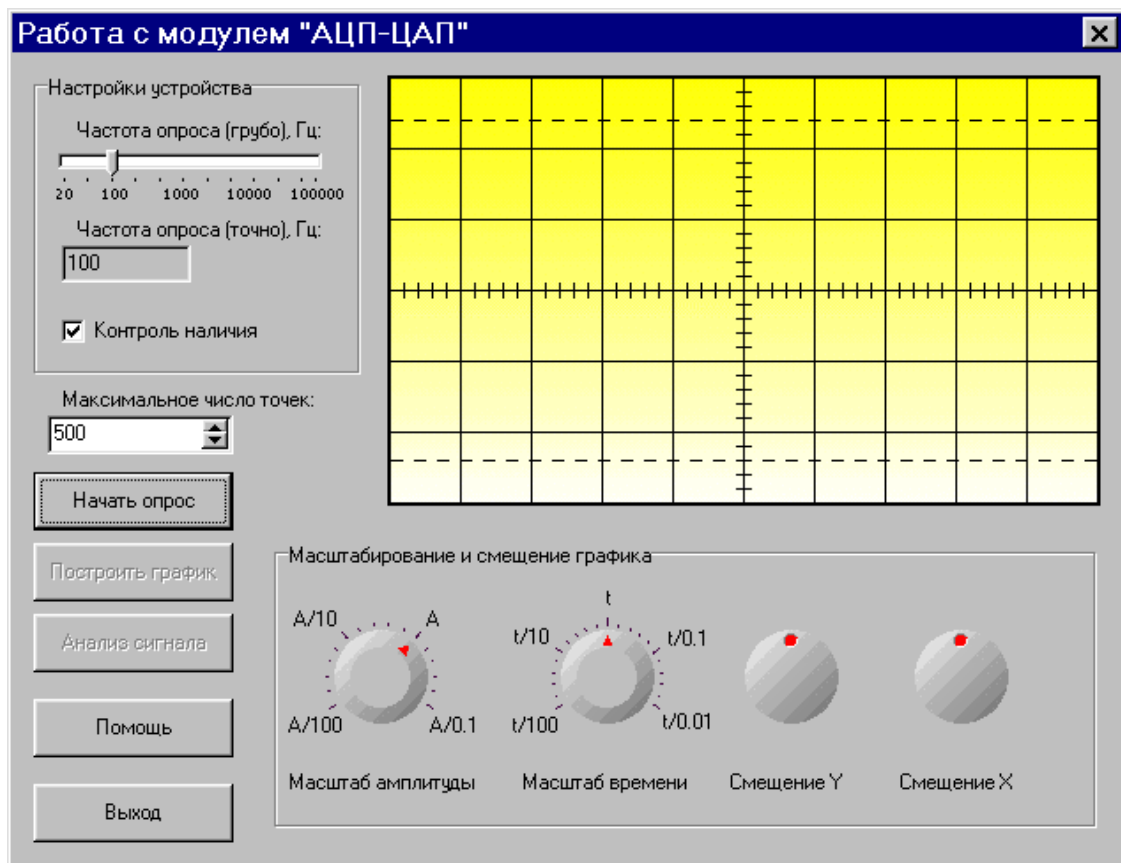


Рисунок 10 - Вид окна работы с «АЦП-ЦАП»

На окне располагается несколько групп компонент и несколько кнопок. Группа «Настройки устройства» управляет опросом «АЦП-ЦАП». Можно выключить контроль наличия устройства и изменить частоту опроса. Как и при работе с Функциональным генератором, шкала бегунка частоты логарифмическая. Точное значение частоты отображается в поле «Частота опроса (точно)». Нажатие кнопки «Начать опрос» приведет к запуску цикла опроса АЦП и к смене названия кнопки на «Остановить опрос». Повторное нажатие на эту кнопку приведет к останову цикла опроса и смене названия кнопки на первоначальное.

Если ни разу не был запущен опрос устройства «АЦП-ЦАП», построение графика невозможно, в противном случае кнопка «Построить график» становится активной. Можно ее нажимать, даже не останавливая опроса АЦП, но в таком случае график будет выводиться на экран достаточно долгое время. При нажатии на эту кнопку производится вывод графика сигнала, значения, получаемые с АЦП, соединены отрезками (красный график) и график аппроксимированного сигнала (синий график). Число точек, выводимых на экран и запоминаемых для следующего анализа, зависит от размера буфера, указываемого в поле ввода целых числовых значений «Максимальное число точек». Если на основании данных из буфера можно оценить период сигнала, то на график выведутся три последних периода сигнала, если они успели накопиться в буфере. Не допускается масштабирование и перемещение графиков сигнала мышью. Для этих целей в нижней части окна расположены четыре регулятора вращения. Первый из них растягивает и сжимает графики по

амплитуде, второй - по времени. На шкалах этих регуляторов указаны делители величин (для имитации панели осциллографа). Третий и четвертый регуляторы перемещают графики вверх–вниз и влево–вправо соответственно.

При нажатии кнопки «Помощь» выводится на экран окно помощи пользователю по работе с программой. При нажатии кнопки «Выход» производится завершение работы с программой.

После построения графиков становится активной кнопка «Анализ сигнала». При ее нажатии происходит показ окна анализа сигнала без закрытия окна работы с АЦП. Вид этого окна показан на рисунке 11.

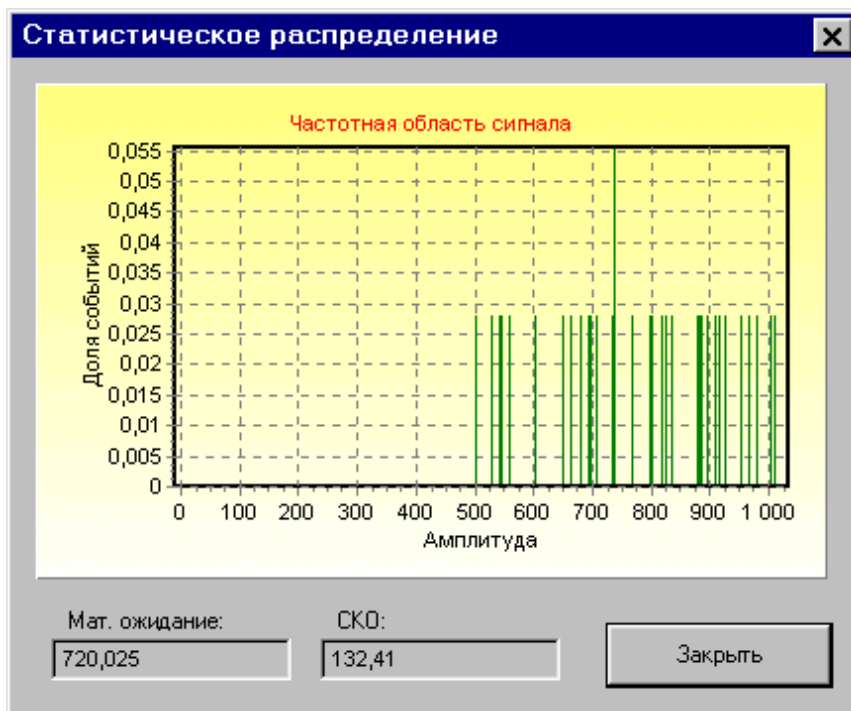


Рисунок 11 — Вид окна амплитудного анализа сигнала

Основную часть этого окна занимает гистограмма статистического распределения амплитуд сигнала. По горизонтали откладывается значение сигнала, а по вертикальной - доля появления этого значения в общем числе собранных значений сигнала. Анализ производится на основании данных из буфера, причем если удастся оценить период сигнала, то только на основании трех последних периодов.

Внизу окна располагаются два поля, в которых отображаются математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение значения сигнала.

В данном программном средстве предусмотрено только одно сообщение пользователю: «Внимание! Не обнаружено устройство. Данные могут быть не верны». Оно появляется на экране после нажатия кнопки «Остановить опрос» в режиме работы с АЦП-ЦАП, если устройство не было обнаружено и включен контроль его наличия. Возможно, в слот ISA не вставлено устройство сопряжения или произошел отказ оборудования.

## 10 Контрольные вопросы

- 1 На каком основном принципе создаются ЦАП?
- 2 Поясните принцип действия ЦАП, представленного на рисунке 1.
- 3 Каким отличительным свойством обладает цепочка резисторов  $R - 2R$ ?
- 4 Почему в ЦАП используются высокостабильные источники питания?
- 5 Поясните принцип действия ЦАП, представленного на рисунке 2.
- 6 Перечислите основные параметры ЦАП и дайте их определение.
- 7 Какие параметры имеет промышленный ЦАП типа 572 ПА1?
- 8 Каким образом формируется выходной сигнал с функционального генератора?
- 9 Перечислите основные функции прикладной информационно-управляющей программы стенда.
- 10 Приведите определение, напишите формулу и поясните суть теоремы Котельникова.
- 11 Какие статистические параметры сигналов Вы знаете? Раскройте понятия: математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратическое значение. Напишите формулы.
- 12 Перечислите основные модули информационно-управляющей программы и раскройте их назначение.
- 13 Поясните работу программного средства по функциональной схеме.
- 14 Каким образом производится управление генератором согласно пользовательскому интерфейсу?

## 11 Задание к выполнению лабораторной работы.

11.1 Соберите схему согласно рисунку 5. Включите сетевую вилку стенда в сеть, включите тумблер "Питание" в положение "Вкл", при этом должен светиться индикатор "Питание".

11.2 Включите компьютер, запустите операционную систему и прикладную программу в соответствии с руководством пользователя, представленной в разделе 9. Выберите в окне режим работы с функциональным генератором.

11.3 Измерьте передаточную характеристику ЦАП. Для этого подключите цифровой вольтметр к выходу генератора и задайте программой формирование постоянного уровня. Согласно таблице 3 для каждой кодовой комбинации, задаваемой с помощью бегунка в диалоговом окне управления генератором, считывайте и записывайте показания цифрового вольтметра.

Таблица 2 – Передаточная характеристика ЦАП

Обозначения кодовой комбинации	Кодовые комбинации, $A_{ВХ}$	Показания цифрового вольтметра, $U_{ВЫХ}$ , В
A1= $A_{MIN}$	0000000000	$U_{ВЫХ1} = U_{ВЫХ MIN}$
A2	0000000001	$U_{ВЫХ2}$
A3	0000000010	$U_{ВЫХ3}$
A4	0000000100	$U_{ВЫХ4}$
A5	0000001000	$U_{ВЫХ5}$
A6	0000010000	$U_{ВЫХ6}$
A7	0000100000	$U_{ВЫХ7}$
A8	0001000000	$U_{ВЫХ8}$
A9	0010000000	$U_{ВЫХ9}$
A10	0100000000	$U_{ВЫХ10}$
A11	1000000000	$U_{ВЫХ11}$
A12= $A_{MAX}$	1111111111	$U_{ВЫХ 12} = U_{ВЫХ MAX}$

11.4 Постройте передаточную характеристику ЦАП в двойном логарифмическом масштабе в виде графика функции:

$$\lg (U_{ВЫХ}/U_{ВЫХ MIN}) = f (\lg A_{ВХ}/A_{MIN})$$

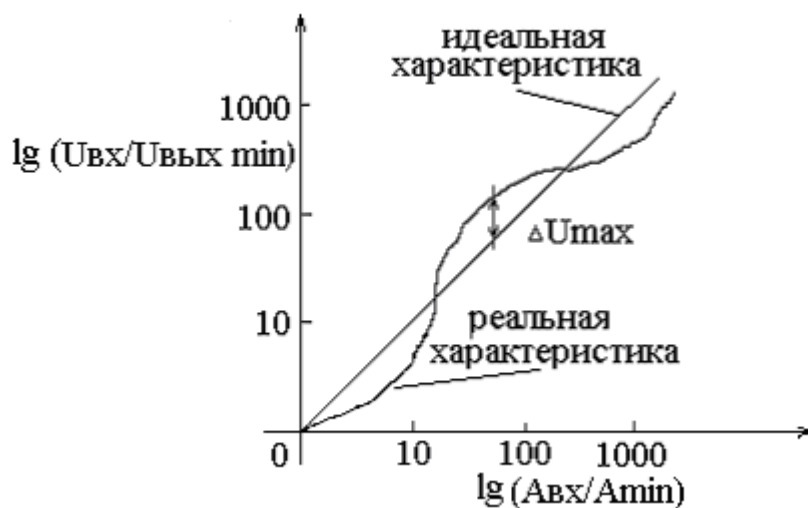


Рисунок 12 – Зависимость выходного напряжения ЦАП от входного кода в двойном логарифмическом масштабе

Определите для ЦАП цену младшего значащего разряда (МЗР) по формуле:

$$\text{МЗР} = (U_{\text{ВЫХ МАХ}} - U_{\text{ВЫХ МИН}}) / (2^{10} - 2^0).$$

Определите интегральную нелинейность ЦАП по формуле:

$$L_i = |\Delta U_{\text{МАХ}}| / U_{\text{ВЫХ МАХ}},$$

где  $|\Delta U_{\text{МАХ}}|$  - максимальное отклонение реальной передаточной характеристики от идеальной.

11.4 Измерьте временные и амплитудные параметры сигналов, формируемых генератором сигналов. Для этого подключите осциллограф к гнездам "Выход" генератора. Последовательно в соответствии с таблицей 2 устанавливайте заданные преподавателем параметры сигналов. Для каждой позиции измерьте осциллографом указанные в таблице 2 параметры сигналов и зарисуйте осциллограммы.



Таблица 3 – Виды и параметры исследуемых сигналов

№ по позиции	Наблюдаемый сигнал	Измеряемые параметры							
		Амплитуда, В	Период, с <sup>-1</sup>	Длительность, с <sup>-1</sup>	Передний фронт, с <sup>-1</sup>	Задний фронт, с <sup>-1</sup>	Шаг квантов, мВ	Среднее зн. шума, мВ	Передаточная характеристика
1	Прямоугольный импульс	*	*	*	*	*			
2	Прямоугольный импульс с шумом	*	*	*	*	*		*	
3	Пилообразный импульс	*	*	*	*	*	*		*
4	Трапециидальный сигнал	*	*	*	*	*			
5	Меандр	*	*	*	*	*			
6	Треугольный импульс	*	*	*	*	*	*		*
7	Гармонический сигнал	*	*						
8	Шумовой сигнал							*	
9	Постоянный уровень	*					*		

11.5 Синтезируйте схему и рассчитайте фильтр нижних частот (ФНЧ) для сглаживания ступенчатого сигнала ЦАП, исходя из заданного периода изменения кодовой комбинации на входе ЦАП (длительности аппроксимирующих сигнал ступенек ЦАП).

11.6 Соберите схему ФНЧ и подключите его к выходу генератора. Экспериментально оцените работу ФНЧ, зарисуйте осциллограммы и измерьте параметры заданных ранее сигналов, сравнивая их с параметрами сигналов, измеренными до установки ФНЧ.

11.7 Установите на выходе генератора последовательность коротких прямоугольных импульсов с амплитудой, частотой, скважностью, заданных преподавателем, имитируя дискретный сигнал определенной амплитудой.

11.8 Выберите схему и рассчитайте фильтр нижних частот (ФНЧ) для восстановления исходного сигнала из дискретной последовательности импульсов с известными, заданными параметрами.

11.9 Повторите п. 10.7.

11.10 Установите на выходе генератора последовательность коротких прямоугольных импульсов с амплитудой, частотой, скважностью и амплитудой шумового сигнала, заданных преподавателем, имитируя дискретный сигнал со случайными амплитудами.

11.11 Повторите п. 10.7.

## 12 Содержание отчета

Отчет должен быть выполнен в соответствии с СТП 101-00, и содержать:

-схемы экспериментов, составленные в процессе подготовки и проведения работы;

-результаты исследования ЦАП;

-осциллограммы и результаты измерения параметров сигналов;

- принципиальных схем и расчеты ФНЧ;

-выводы к практикуму.

## Список использованных источников

- 1 Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи: Учебник для вузов/ В.И.Нефедов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002.
- 2 Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.
- 3 Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. /Полный курс/: Учебник для вузов /Под ред. Глудкина О.П. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 768 с.
- 4 Шило В.Л. Линейные интегральные схемы. М.: - Советское радио. 1989. – 312 с.