

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

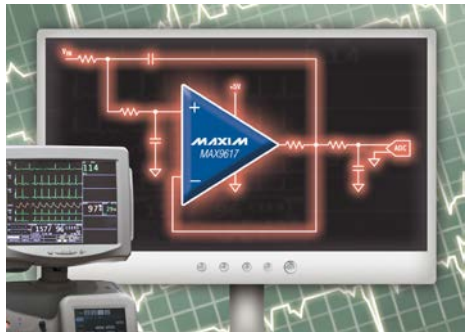
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра
«Микропроцессорная техника и информационно-
управляющие системы»**

М. В. НАФТОЛЬСКИЙ, В. В. ШЕВЦОВ

СПЕЦИЗМЕРЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Лабораторный практикум



Гомель 2016

ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ОБРАБОТКУ СИГНАЛОВ В *LABVIEW*

Цель работы: изучение функций цифровой обработки сигналов в *LabVIEW*, преобразование аналоговых сигналов в цифровые, дискретизация сигналов. Приобретение практических навыков создания виртуальных приборов (ВП) для цифровой обработки сигналов.

Основные положения

Аналоговые сигналы (радио, телевидение и аудиотехника) постепенно преобразовываются в цифровые из-за превосходной точности представления исходных данных, малого шума и гибкости обработки сигналов. Кроме того, из-за многих преимуществ цифровой обработки сигналов (ЦОС) аналоговые сигналы все чаще преобразуют в цифровую форму, чтобы затем выполнить их обработку на компьютере. Основные задачи измерения и обработки сигналов представлены на рисунке 6.1.

В большинстве практических приложений обработке подлежат сигналы, как правило, аналоговые, т. е. непрерывные во времени и принимающие бесчисленное множество значений. Непосредственно к ним методы и алгоритмы цифровой обработки применить нельзя. Чтобы использовать цифровые методы обработки сигналов, необходимо сначала преобразовать аналоговый сигнал в его цифровую форму. Для этого аналоговые сигналы сначала превращают в дискретные сигналы – в последовательность их отсчетов (дискретных значений), взятых через одинаковые интервалы времени, а затем каждый отсчет преобразуют в цифровой код (операция квантования по уровню). Только после этого к полученной последовательности цифровых кодов становится возможным применение методов и алгоритмов цифровой обработки сигналов.

Наиболее типична ситуация, когда аналоговый сигнал $s(t)$ дискретизируется через постоянный интервал времени Δt , называемый периодом, интервалом или шагом дискретизации. Его обратная величина $f_s = 1/\Delta t$ является частотой дискретизации. Каждое из дискретных значений $x(t)$ в моменты $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t$, является отсчетом или единичным измерением, а N таких отсчетов называется выборкой размера N (каждый отсчет можно также назвать выборкой единичного размера $N = 1$). В реальных устройствах преобразование аналогового сигнала в цифровой осуществляется аналого – цифровым преобразователем (АЦП) (*analog-digital converter – ADC*).

На рисунке 6.2 показан некоторый аналоговый сигнал на ограниченном интервале времени (непрерывная функция) и совокупность его отсчетов



Рисунок 6.1 – Основные задачи измерения и обработки сигналов

(точек), взятых через равные интервалы времени Δt . Если моментам времени, в которые взяты отсчеты сигнала, присвоить номера, например, $i = 0, 1, 2, \dots$, то сигнал $x(t)$ может быть представлен набором отсчетов (вектором-строкой)

$$\begin{aligned}
 X &= \{x(0), x(\Delta t), x(2\Delta t), x(3\Delta t), \dots, x(k\Delta t), \dots\} = \\
 &= [x[0], x[1], x[2], x[3], \dots, x[k], \dots].
 \end{aligned}$$

Очень важно при этом правильно выбрать интервал дискретизации Δt , т. е. решить задачу: как часто необходимо брать отсчеты аналогового сигнала, чтобы сохранить информацию, содержащуюся в нем, в дискретном сигнале без потерь или в пределах допустимых потерь (искажений).

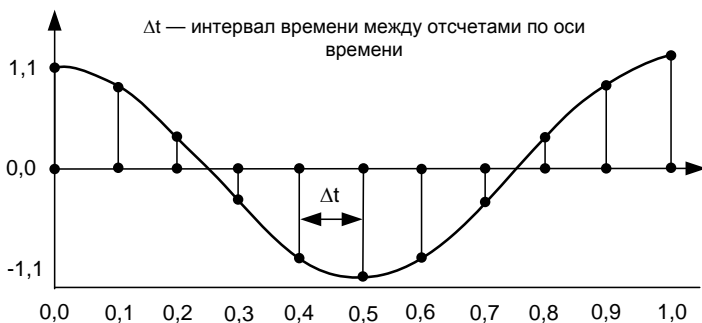


Рисунок 6.2 – Аналоговый сигнал и его выборка размера N

На самом деле ответ очевиден: нужно брать отсчеты аналогового сигнала как можно чаще. При этом потери информации действительно можно сделать пренебрежимо малыми. Однако такой подход заставляет повышать требования к узлам устройства ЦОС по быстродействию, а это, как следствие, приводит к неоправданно высокой стоимости этого устройства.

Существует проблема правильного выбора частоты выборок с точки зрения здравого смысла. Ясно, что результат будет плохим, если частота выборок сравнима с частотой сигнала. Тогда какая частота выборок дает представление о сигнале, значительно более близкое к оригиналу?

Ответ на этот вопрос был дан Найквистом, в связи с передачей сигналов по линиям связи, и его результат носит название теоремы Найквиста (Котельникова) о выборках.

Чтобы не потерять никакой информации о сигнале, частота взятия выборок f_s должна удовлетворять неравенству

$$f_s \geq 2 \cdot f_{\max},$$

а период дискретизации соответственно, выбирать из условия

$$\Delta t \geq \frac{1}{2F_{\max}}$$

где f_{\max} – наибольшая частота спектра дискретизируемого сигнала.

Необходимо всегда иметь в виду, что последовательность $X = \{x[i]\}$ является совокупностью отсчетов и не содержит никакой информации о частоте дискретизации. Поэтому значения отсчетов, содержащиеся в X , не несут никакой информации об абсолютных временных или частотных свойствах исходного аналогового сигнала.

В *LabVIEW* для работы с сигналами предусмотрено несколько типов данных – массивы (*Array*), осциллограммы (временные диаграммы) (*Waveform*) и динамические данные (*Dynamic*).

Данные типа (*Array*) представляют собой последовательность чисел, аналогичную набору отсчетов X .

Данные типа (*Waveform*) содержат последовательность отсчетов, а также время получения первого отсчета, значение интервала дискретизации и комментарии к данным.

Данные типа (*Dynamic*) близки, по сути, к данным типа (*Waveform*) и также содержат последовательность отсчетов, сведения о дате и времени получения первого отсчета, значение интервала дискретизации, имя сигнала и др.

Представленный на рисунке 6.3 виртуальный прибор (ВП) иллюстрирует использование данных типа (*Dynamic*).

Комментарии к приведенному примеру:

- ВП *Формула (Formula)* позволяет производить математическую обработку входных данных, обеспечиваемую базовыми научными калькуляторами. Входы и выходы *Экспресс – ВП* рассчитаны на подключение данных динамического типа;
- (*Simulate Signal*) позволяет задавать форму и параметры сигнала – его частоту, фазу, смещение и пр., т.е. выступает в качестве генератора функций;
- (*Time Delay*) данный компонент позволяет задавать временные задержки.

На рисунке 6.4 представлена обобщенная структурная схема одного измерительного канала. Состояние объекта, характеризуется физической величиной $S(t)$ вх (аналоговый сигнал), воспринимается чувствительным элементом (датчиком).

Выходной сигнал с датчика $U(t)$ поступает на усилитель и селектор сигналов (УСС). Функция УСС состоит в согласовании выходного сигнала датчика с последующими устройствами.). Функция УСС состоит в согласовании выходного сигнала датчика с последующими устройствами В состав УСС, как правило, входят мостовые схемы, измерительный усилитель, линейаризатор, образцовые меры, масштабирующие блоки, фильтры и т. д.

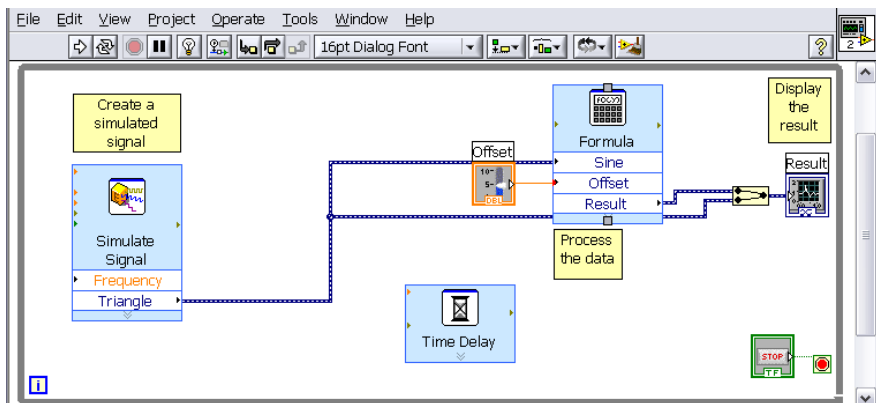
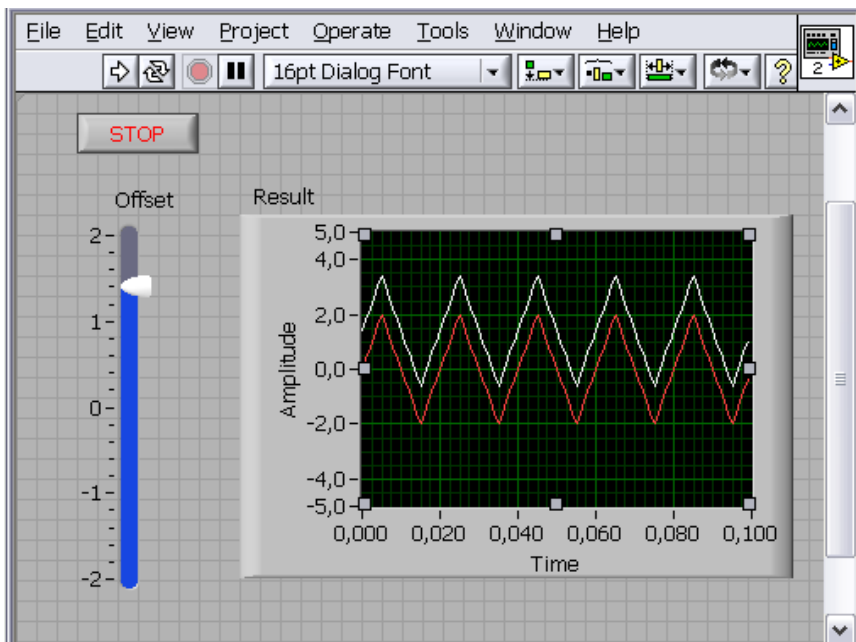


Рисунок 6.3 – Виртуальный прибор (ВП) с использованием данные динамического типа.

Через ключевой элемент (Кл) нормированный сигнал $V(t)$ поступает на устройство выборки и хранения (УВХ), а затем в тракт ЦОС. Тракт ЦОС состоит из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), вычислительного устройства (ВУ), цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и сглаживающего фильтра нижних частот (ФНЧ).

В момент времени t_i (по сигналу УПР) устройство выборки и хранения осуществляет выборку аналогового сигнала и запоминание ее значения на время преобразования АЦП. Тем самым устраняется динамическая (апертурная) погрешность преобразования. Напомним, что время между началом (НП) и окончанием (КП) преобразования АЦП называется апертурным временем. На выходе АЦП формируется цифровой код $Z[i]$, эквивалентный напряжению $V(t_i)$ в момент времени t_i .

Далее в вычислительном устройстве (ВУ) числовая последовательность подвергается цифровой обработке по заданным алгоритмам. Затем полученная информация может выдана потребителю или, если необходимо, преобразована с помощью ЦАП в аналоговую форму.

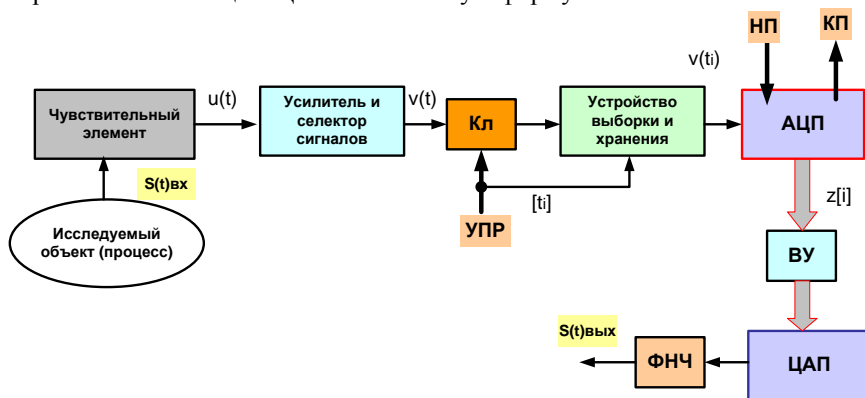


Рисунок 6.4 – Структурная схема измерительного канала

Один из самых важных параметров тракта ЦОС - частота дискретизации, определяющая, как часто во времени выполняется аналого-цифровое преобразование. Она существенно зависит от свойств аналогового сигнала и допустимых потерь информации при дискретизации. Слишком малая частота дискретизации приводит к появлению в дискретном сигнале «ложных» составляющих, не содержавшихся в исходном аналоговом сигнале. Для исключения «ложных» составляющих необходимо увеличение частоты дискретизации:

$$f_s \gg 2 \cdot f_{\max}$$

кроме этого, существенно упрощается ФНЧ в тракте ЦОС, восстанавливающий аналоговый сигнал $S(t)$ вых из дискретного сигнала.

Необходимые свойства устройств тракта ЦОС обеспечиваются, в основном, заложенным в ВУ алгоритмом преобразования последовательности отсчетов, поступающей с выхода АЦП. В определенном смысле устройства ЦОС универсальны, так как заменой только алгоритма преобразования последовательности отсчетов в ВУ можно существенно изменить свойства всего тракта ЦОС.

На вход тракта ЦОС вместе с аналоговым сигналом могут поступать помехи, например, от мощных линий электропередач или местных радиостанций, которые могут содержать составляющие с частотами выше частоты Найквиста. Такие составляющие приведут к появлению «ложных» составляющих и исказят полезный сигнал. Поэтому из входного аналогового сигнала необходимо удалять составляющие с частотами выше частоты Найквиста прежде, чем этот сигнал поступит на вход АЦП.

Для этого используют аналоговый фильтр нижних частот (ФНЧ), включенный перед АЦП (*Anti-alias Filter*). Этот ФНЧ должен пропускать составляющие с частотами ниже частоты Найквиста и не пропускать составляющие с частотами выше ее. Тем самым будет предотвращено появление в дискретном сигнале «ложных» составляющих. Требования к ФНЧ определяются, в основном, наличием на входе тракта ЦОС смеси аналогового сигнала и помех, частотным составом помех и их интенсивностью. Если помехи отсутствуют, то фильтр нижних частот перед АЦП не устанавливают.

Рассмотрим более подробно место АЦП при выполнении операции дискретизации. Для достаточно узкополосных сигналов операцию дискретизации можно выполнять с помощью самих АЦП и совмещать ее с операцией квантования. Основной закономерностью такой дискретизации является то, что за счет конечного времени одного преобразования и неопределенности момента его окончания, зависящего в общем случае от параметров входного сигнала, не удастся получить однозначного соответствия между значениями отсчетов и моментами времени, к которым их следует отнести. В результате при работе с изменяющимися во времени сигналами возникают специфические погрешности; динамические по своей природе.

Промоделируем работу аналого-цифрового преобразователя с использованием графического пакета *LabVIEW*.

На рисунке 6.5 представлена блок-диаграмма виртуального прибора (ВП), который позволяет с заданной частотой дискретизации преобразовать непрерывный аналоговый сигнал в последовательность точек отсчета с последующим их квантованием, т.е. округлением до ближайших разрешенных уровней квантования. Данный прибор также осуществляет кодирование квантованных отсчетов, т.е. перевод их в двоичную систему.

Последовательность выполнения процедур аналого-цифрового преобразования отражает рисунок 6.6.

Современные скоростные цифровые схемы позволяют создавать аналого-цифровые преобразователи, действующие по принципу избыточной дискретизации и работающие с частотой выборок, значительно превосходящей теоретический минимум, определяемый шириной занимаемой сигналом полосы. Выгода от применения избыточной дискретизации заключается в том, что спектр шума квантования можно распределить по более широкому интервалу частот.

Это дает возможность большую часть шума оставить «вне поля зрения» при обратной фильтрации дискретизированного сигнала с сохранением компонентов только в полосе исходного сигнала. В представленном виртуальном приборе частота дискретизации примерно в 25 раз превышает частоту входного аналогового сигнала.

Задание 1 Создать проект виртуального прибора в котором используются данные динамического. Загрузить программу по указанию преподавателя и продемонстрировать ее работу. Выделите отдельные участки графиков для более детального их анализа.

Задание 2 Создать ВП для преобразования непрерывного аналогового сигнал в последовательность точек отсчета с последующим их квантованием и кодированием, используя компьютерное моделирование в программной среде *LabVIEW*.

Загрузить программу, продемонстрировать ее работу с использованием вставляемых пробников и дать пояснения к пробникам различного типа.

Расписать функциональное назначение всех используемых элементов, входящих в состав прибора.

Требования к отчету

Наименование и цель работы; краткие сведения из теории цифровой обработки сигналов; создание виртуального прибора с использованием данных динамического типа, а также ВП, который позволяет преобразовать непрерывный аналоговый сигнал в последовательность точек отсчета с последующим их квантованием и кодированием; по заданию преподавателя пояснить один из этапов преобразования с использованием анимации потоков данных, пошагового выполнения программы, установкой отладочных индикаторов; заключение.

Отчет оформляется каждым студентом самостоятельно. Защита проходит в начале каждого следующего занятия с демонстрацией работы проекта на ПЭВМ. Студент, не подготовивший или не защитивший отчет по работе, к следующей лабораторной работе не допускается.

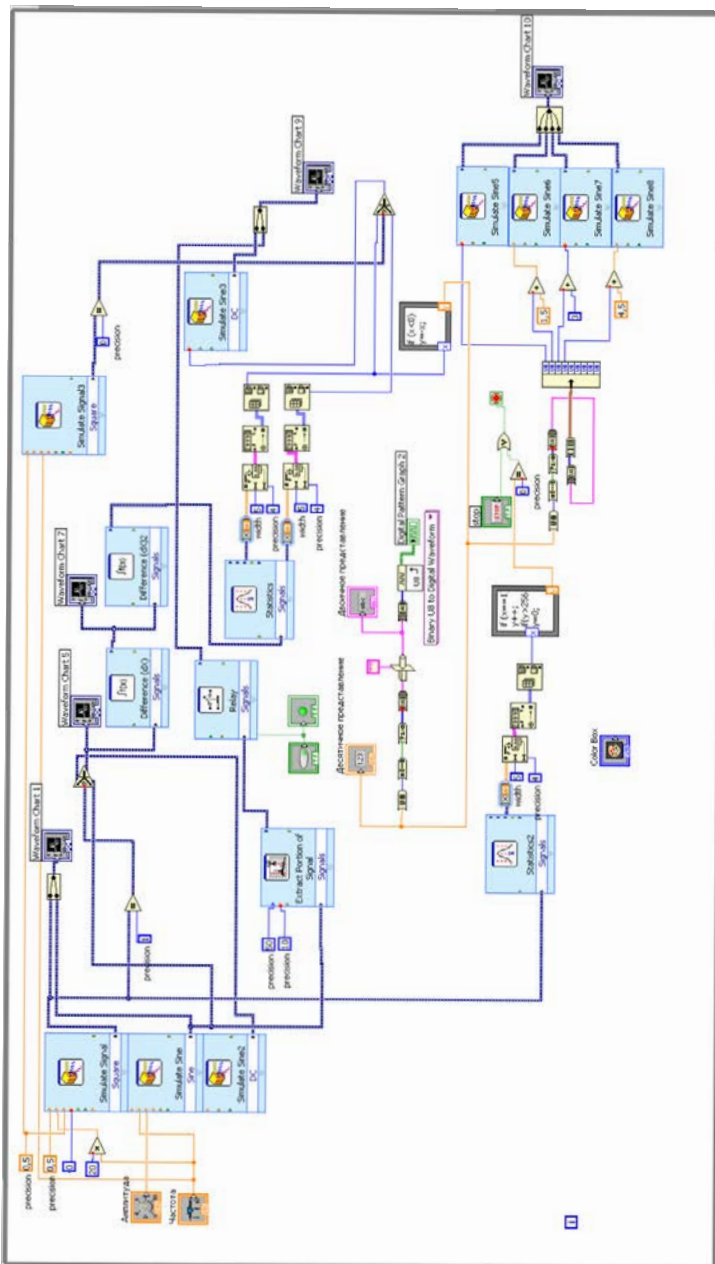


Рисунок 6.5 – Блок- диаграмма виртуального прибора

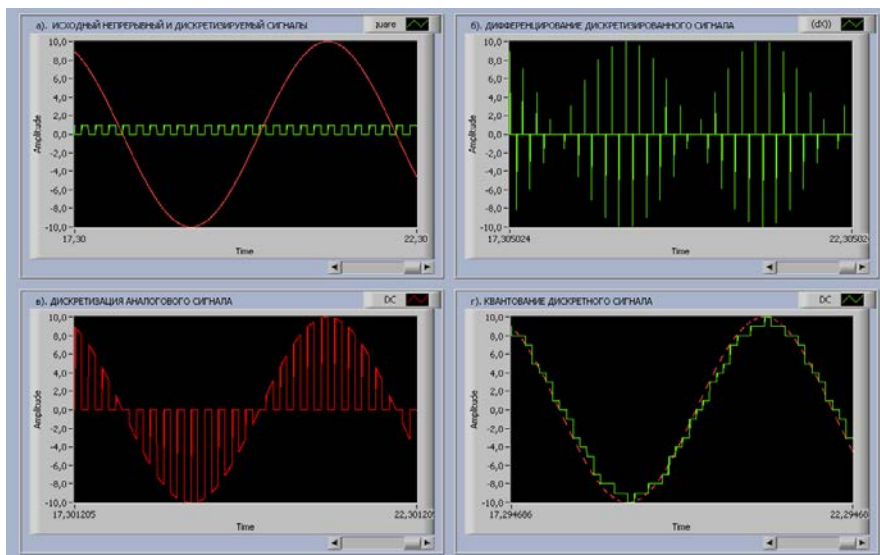


Рисунок 6.6 – Этапы аналого-цифрового преобразования исходный непрерывный и дискретизируемый сигналы (а); дифференцирование дискретизированного сигнала (б); дискретизация аналогового сигнала; квантование дискретного сигнала (г)

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные задачи в области обработки сигналов.
- 2 В каких случаях потери информации при цифровой обработке можно сделать пренебрежимо малыми?
- 3 Назначение и состав УСС структурной схемы измерительного канала.
- 4 Назовите основной параметр тракта цифровой обработки сигнала.
- 5 Продемонстрируйте несколько типов данных для работы с сигналами в *LabVIEW*.
- 6 Для блок-диаграммы виртуального прибора, представленного на рисунке 6.5, создайте лицевую панель на которой можно изменять данные и отображать процессы преобразования.
- 7 Поясните функциональное назначение отдельных элементов представленных на рисунке 6.5 блок-диаграммы виртуального прибора и обоснуйте их выбор.
- 8 В чем отличие осциллограммы (*Waveform Graph*) от осциллограммы (*X-Y Graph*)?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бутырин, П.А. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 Express / П.А. Бутырин, Т.А. Васьковская, В.В. Каратаев, С.В. Материкин – М.: ДМК Пресс, 2005. - 264 с.

2 Суранов, С.Я. LabVIEW 8.5: справочник по функциям / С.Я. Суранов. - М.: ДМК Пресс, 2007. - 572 с.

3 Визильтер, Ю.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / С.Ю. Желтов, В.А. Князь, А.Н. Ходарев, А.В. Моржин. - М.: ДМК Пресс, 2007. - 464 с.

4 Батоврин, В.К. LabVIEW: практикум по электронике и измерительной технике / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин. - М.: ДМК Пресс, 2007.

5 Батоврин, В.К. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин. - М.: ДМК Пресс, 2007.

6 Евдокимов, Ю.К. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. - М.: ДМК Пресс, 2007.

7 Федосов, В.П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW / В.П. Федосов, А.К. Нестеренко. - М.: ДМК Пресс, 2007.

8 Лупов С.Ю., Муякшин С.И., Шарков В.В. LabVIEW в примерах и задачах. Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации “Обучение технологиям National Instruments”.—Нижний Новгород, 2007, 101 с.

9 Теоретические основы цифровой обработки сигналов с помощью LabVIEW. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://labview.info/>. Дата доступа: 10.10.2011.

Приложение 1

Некоторые замечания по использованию графиков для отображения данных в LabVIEW

С помощью графиков виртуальный прибор обычно отображает накопленные в массив данные виде осциллограмм. На рисунке 1 представлен один из элементов графики: график осциллограмм (*Waveform Graph*).

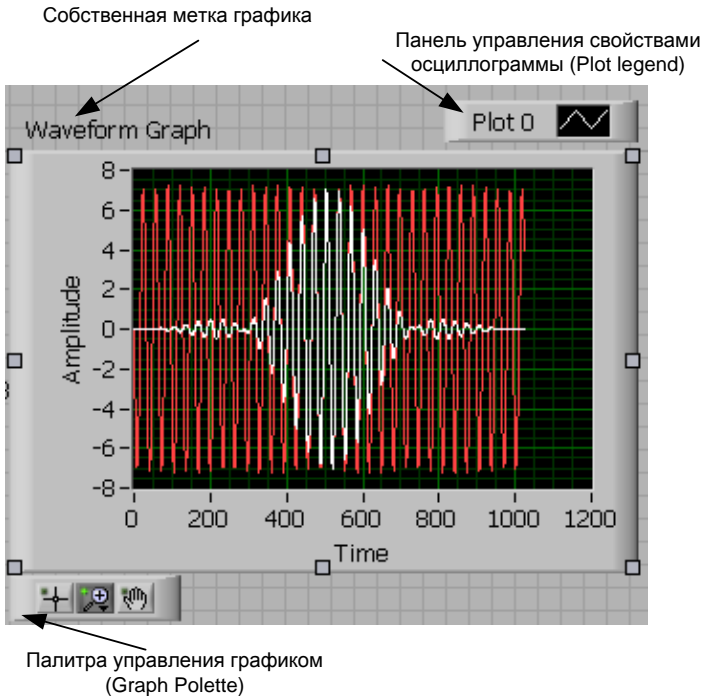


Рисунок 1– Графический элемент отображения (*Waveform Graph*)

График осциллограмм расположен на палитре элементов управления и отображения в разделе Графики (*Modern→Graph*). График осциллограмм (*Waveform Graph*) отображает только однозначные функции, такие как $y = f(x)$, с точками, равномерно распределенными по оси X.

Двукоординатный график осциллограмм (*XY Graph*) отображает любой набор точек, будь то равномерно распределенная выборка или нет.

Для отображения множества осциллограмм необходимо изменить размер панели управления свойствами осциллограмм (*Plot legend*).



Правой клавишей мыши вызывать *Properties*, затем в выпадающей вкладке *Graph Properties* → *Appearance* → *Plots show* выбрать число отображаемых графиков. График множества осциллограмм используется для сравнения осциллограмм данных между собой, а также с целью экономии пространства на лицевой панели. График осциллограмм (*Waveform Graph*) и двумерный график осциллограмм (*X-Y Graph*) автоматически поддерживают режим отображения множества накопленных данных.

Одиночный график осциллограмм работает с одиночными массивами и представляет данные массива в виде точек на графике, с приращением по оси X равным 1 и началом в $X=0$.

График множества осциллограмм работает с двумерными массивами данных, где каждая строка массива есть одиночная осциллограмма данных и представляет данные массива в виде точек на графике, с приращением по оси X равным 1 и началом в $X=0$.

Для представления каждого столбца двумерного массива данных в виде осциллограммы на графике необходимо соединить терминал данных массива с терминалом приема данных графика, затем щелкнуть правой кнопкой мыши в поле графика и выбрать из контекстного меню пункт транспонирование массива (*Transpose Array*).

Двумерные графики универсальны, они предназначены для отображения многозначных функций в декартовой системе координат (замкнутые кривые, распределение осциллограммы во времени с переменной временной базой).

Одиночный двумерный график осциллограмм (*XY graph*) работает с группами данных, содержащими массивы x и y . Двумерный график осциллограмм (*XY graph*) также воспринимает массивы точек, где точки – группы данных, содержащие значения по шкалам x и y .

Двумерные графики множества осциллограмм работают с массивами осциллограмм, в которых осциллограмма данных – кластер, содержащий массивы значений x и y . Двумерные графики множества осциллограмм воспринимают также массивы множества осциллограмм, где каждая осциллограмма представляет собой массив точек. Каждая точка это группа данных, содержащая значения по x и y .



С помощью палитры элементов управления графиком можно выделять отдельные участки графиков для более детального анализа. Для этого во всплывающем меню на графическом индикаторе *Waveform Graph* нужно установить выполнение («птичку») в пункте

Visible Items Graph Palette.

На рисунке 2 представлен выделенный участок графика на участке 110 – 280 временного интервала.

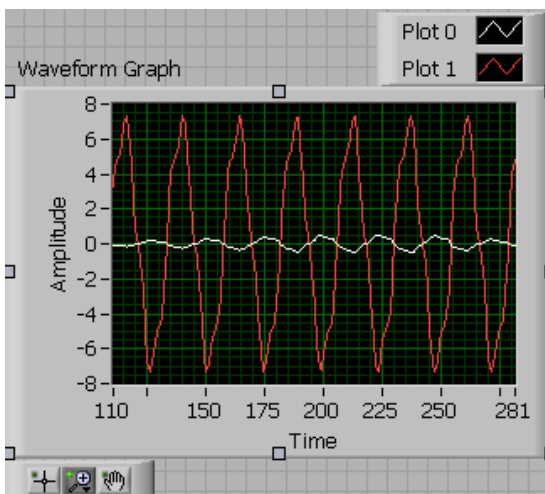


Рисунок 2 – Выделенный участок графика

Приложение 2

Некоторые замечания по повышению качества восстановления измерительного сигнала

Согласно теореме Найквиста (Котельникова) для точного измерения наивысшей компоненты частотного спектра измеряемого сигнала частота дискретизации должна быть не менее, чем в двое больше этой компоненты. Другими словами, высочастотная область спектра накладывается на ту полосу частот, в которой мы хотим проводить измерения.

Теорема Найквиста записывается следующим образом в виде формулы:

$$f_{\text{дискрет.}} \geq 2f_{\text{сигнала}},$$

где $f_{\text{дискрет.}}$ — частота дискретизации;

$f_{\text{сигнала}}$ — наивысшая компонента частотного спектра измеряемого сигнала.

Чтобы показать, насколько высоко нужно выбирать частоту дискретизации, на рисунке 1 показано, что можно получить при восстановлении сигнала при различных $f_{\text{дискрет.}}$.

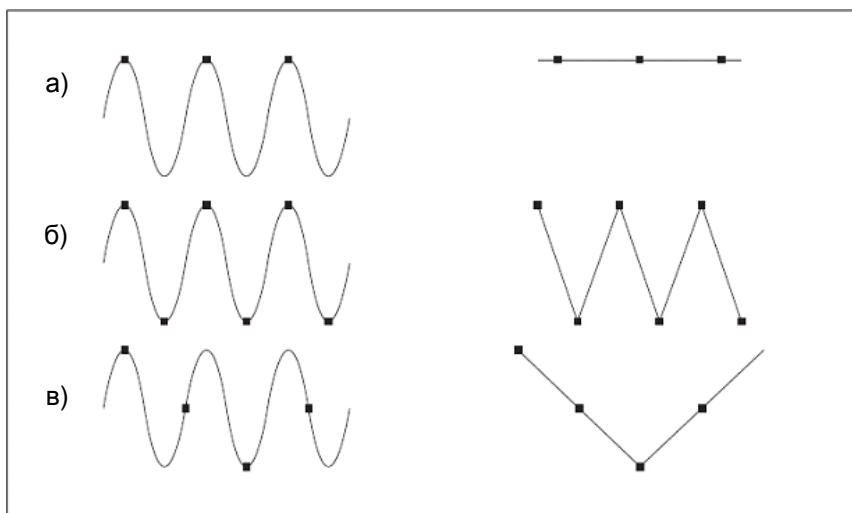


Рисунок 1 – Влияние выбора частоты дискретизации на восстановление сигнала

На рисунке 1,а синусоидальный сигнал частотой f дискретизируется с той же частотой – восстановленный по таким отсчетам сигнал выглядит, как уровень постоянного напряжения. Если увеличить частоту сбора данных до $2f$, оцифрованный сигнал будет содержать равное с исходным сигналом число периодов, т.е. частота будет определена корректно, однако форма дискретизированного сигнала будет треугольной, как показано на рисунке 1,б.

На рисунке 1,в частота дискретизации составляет $4f/3$. Частота Найквиста в этом случае равна $(4f/3)/2 = 2f/3$. Поскольку в этом случае частота f больше частоты Найквиста, дискретизированный сигнал воспроизводится искаженным и по частоте, и по фазе.

Путем увеличения частоты дискретизации удастся повысить точность воспроизведения формы сигнала. Однако, имеющиеся в наличии аппаратные средства, как правило, накладывают ограничения на частоту дискретизации.