

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет

Кафедра радиофизики

**ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ
ГЕНЕРИРОВАНИЯ, РЕГИСТРАЦИИ
И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

(обучающий комплекс для выполнения новых лабораторных
работ практикума по техническим средствам
автоматизации научных исследований)

Новосибирск
2014

До недавнего времени задача генерирования и регистрирования электрических импульсов различной формы и частоты решалась с помощью специализированных приборов – генераторов импульсов и быстрых осциллографов, управляемых при помощи переключения ручек на передней панели. С развитием цифровой техники появились устройства аналогичные по функциональности, но совместимые со стандартом магистрально-модульных систем и управляемые от персонального компьютера. Последняя возможность сделала возможным разрабатывать специализированные программы, осуществляющие как генерацию электрического сигнала нужной формы и частоты, так и анализ, и обработку измеряемого сигнала.

Данный обучающий комплекс ставит своей целью приобретение студентами навыков работы с данными устройствами, управления ими с помощью прикладного программного обеспечения и применение этих навыков на практике.

Обучающий комплекс включает в себя аппаратное и программное обеспечение, необходимые для выполнения данной работы, а также текст методического пособия.

Работа предназначена для выполнения студентами 3 курса ФФ.

Авторы

кандидат тех. наук Середняков С.С., А.С. Стюф

Рецензент

д.т.н. А.М. Батраков

Обучающий комплекс для выполнения новых лабораторных работ подготовлен в рамках реализации Программы развития НИУ-НГУ на 2009–2018 г. г.

© Новосибирский государственный университет, 2014

Введение

Весь реальный мир является миром величин аналоговых, принимающих бесконечное количество сколь угодно близких значений из непрерывного множества и описываемых непрерывной функцией времени. Аналоговые сигналы используются для представления непрерывно изменяющихся тока, температуры, давления, напряжения, угла и т. п. Из вводных работ практикума вам известно, что для перевода с «цифрового языка» компьютера на «аналоговый язык» периферийных устройств и наоборот, применяются цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи. Это наиболее массовые технические средства автоматизации.

Цифровые методы генерирования и регистрации аналоговых сигналов в последние полтора десятилетия получили широкое распространение. Это вызвано с одной стороны широким внедрением компьютеров во все сферы деятельности людей, а с другой – бурным прогрессом в полупроводниковой электронике. Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи, работающие с электрическими сигналами, известны уже около ста лет. Тем не менее, создание первых цифровых генераторов сигналов и цифровых осциллографов стало возможным около 30 лет назад - с появлением быстродействующих преобразовательных устройств и микросхем памяти достаточно большого объёма.

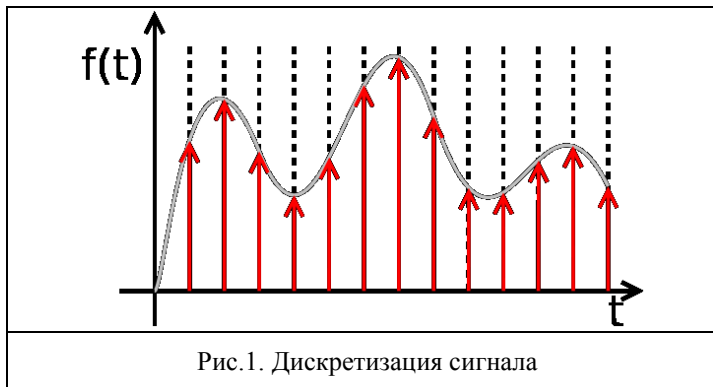
В данной работе вам предстоит понять, как устроены эти приборы, и чем они характеризуются, а также научиться работать с ними и производить необходимую обработку данных.

1. Принципы преобразования сигналов

Рассмотрение начнём с цифровых методов регистрации аналоговых сигналов. В процедуре регистрации выделяют три фазы: дискретизация, квантование и запоминание массива полученных цифровых отсчётов.

Дискретизацией называется замена непрерывного сигнала $f(t)$ на последовательность значений этого сигнала (выборка сигнала), взятых в

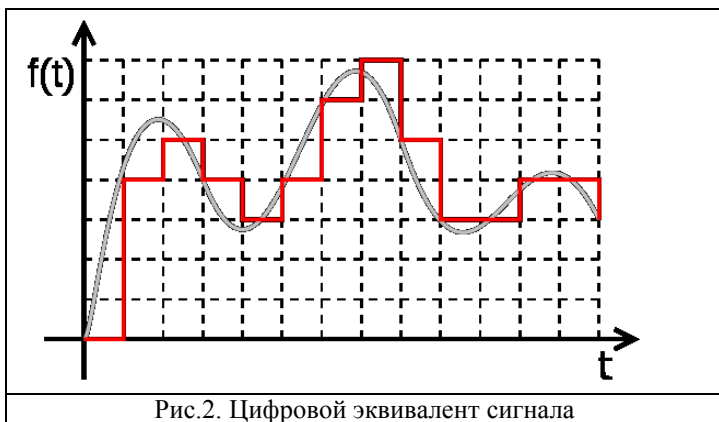
моменты времени, отстоящие друг от друга на постоянную величину h , которая называется интервалом (шагом) дискретизации (Рис.1). Величина $F_s = 1/h$, называется частотой дискретизации. Интуитивно ясно, что чем меньше значение h , тем точнее $f(t)$ может быть описана дискретными значениями.



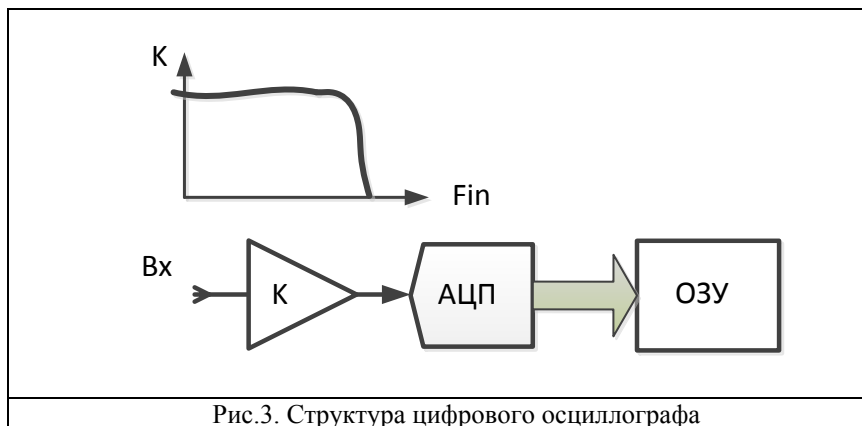
Предельное соотношение между максимальной частотой F_M в спектре сигнала и интервала h устанавливает теорема отсчётов, называемая в отечественной литературе как теорема Котельникова [1]. Теорема утверждает, что если непрерывная функция времени $f(t)$ имеет спектр, ограниченный частотой F_M , то эта функция может быть полностью восстановлена по дискретным выборкам функции $f(h \cdot n)$, где $n=1, 2, 3, \dots$, а $h=1/2 \cdot F_M$. Непосредственное применение теоремы Котельникова на практике встречает ряд трудностей, т.к. большинство сигналов имеет слабо ограниченный спектр. Поэтому для определения интервала h применяют различные упрощённые оценки, сделанные для линейной интерполяции при восстановлении и использующие в качестве параметра длительность или характерное время изменения сигнала. Так, например h можно определять из выражения: $h = \tau \cdot 2 \cdot \sqrt{\delta}$, где τ – постоянная времени изменения сигнала, а δ – погрешность линейной аппроксимации.

После дискретизации, каждая полученная выборка подвергается процедуре *квантования*. Эта процедура заключается в том, что непрерывная по амплитуде выборка сравнивается с набором дискретных, равноотстоящих с шагом q (квант преобразования), значений, после чего каждому отсчету присваивается номер наиболее близкого значения (число). Понятно, что чем меньше квант q , тем точнее получаемые отсчёты описывают реальный сигнал.

В результате выполнения дискретизации и квантования непрерывный аналоговый сигнал заменяется на массив дискретных цифровых значений (Рис.2), то есть цифровой эквивалент сигнала, который затем подвергается обработке.

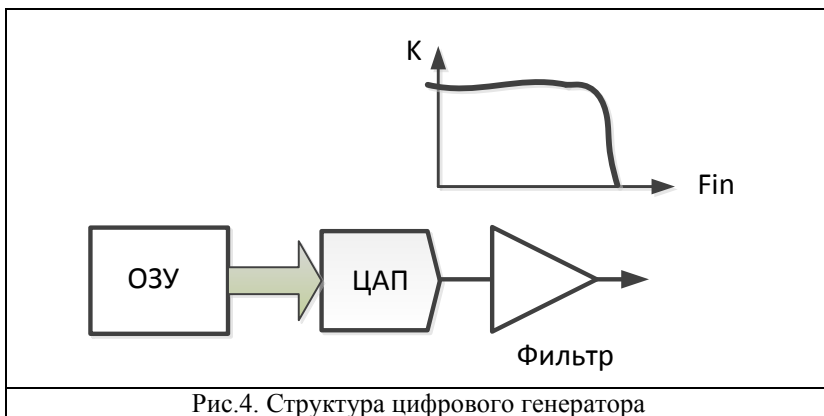


И, наконец, последний этап – запись и сохранение полученных цифровых отсчётов в запоминающем устройстве. Эта процедура необходима в связи с тем, что быстродействие магистрали передачи данных ограничено как аппаратными, так и программными факторами, и оказывается недостаточным. Например, если при восстановлении колоколообразного сигнала с длительностью 1 мкс, чему соответствует τ , равное примерно 0.25 мкс, принять погрешность интерполяции 1%, то получим $h=50$ нс, т.е. частота выдачи данных составит 20МГц.



В цифровых осциллографах процедуры дискретизации и квантования выполняются в одном и том же устройстве – аналого-цифровом преобразователе. Буферная память представляет, как правило, отдельный узел. Есть ещё и третье устройство – фильтр, ограничивающий полосу частот, что минимизирует ошибки, вызываемые невыполнением теоремы Котельникова. Обычно, частотный фильтр совмещён с входным усилителем. Таким образом, три элемента являются обязательными для всех цифровых осциллографов (Рис.3): входной усилитель, ограничивающий сигнальную полосу, аналого-цифровой преобразователь и оперативное запоминающее устройство.

Обратимся теперь к цифровым генераторам сигналов. Основным элементом цифрового генератора сигналов является быстродействующий цифроаналоговый преобразователь. Вспомнив, что назначение этого устройства – преобразование входного кода в выходной аналоговый сигнал, нетрудно догадаться, что если данные на входе описывают какой-либо сигнал, то на выходе ЦАП'а и будет получен этот сигнал, хотя и с некоторыми погрешностями. Принципиальная погрешность так же, как и в цифровых осциллографах, вызвана двумя факторами: интервалом между кодовыми посылками и величиной кванта ЦАП'а. Влияние и того и другого фактора проявляется как слишком заметные «ступеньки» в выходном сигнале. По амплитуде уменьшение погрешности устраняется увеличением разрядности ЦАП'а, а по оси времени – повышением частоты дискретизации и установкой на выходе ЦАП'а фильтра, сглаживающего ступеньки. Для того, чтобы поток данных на входе не зависел от быстродействия системной магистрали, цифровой эквивалент сигнала записывают в буферное ОЗУ, откуда коды с частотой дискретизации поступают на вход ЦАП'а. Таким образом, структура цифрового генератора сигналов (Рис.4) похожа на структуру «обращённого» цифрового осциллографа.



2. Оборудование, используемое в работе

В данной работе используется два модуля фирмы National Instruments: генератор сигналов NI PXI-5402 и высокоскоростной цифровой осциллограф NI PXI-5114. Оба устройства являются модулями, совместимыми со стандартом PXIe, и установлены в кейт на вашем рабочем месте (Рис.5).



Рисунок 5. Кейт с модулями PXI, используемыми в работе

Каждый из упомянутых выше модулей имеет на своей передней панели несколько разъемов (Рис 6.). Кроме разъемов, предназначенных для подключения входов и выходов сигналов (разъемы “СН0”, “СН1”), на передней панели представлены разъемы для внешней синхронизации (“SYNC OUT / PFI 0”, “PFI 1”), а также разъем для внешнего триггера (“TRIG”). Для выполнения данной работы необходимо использовать нулевые входные и выходные каналы обоих модулей или разъемы “СН0”. Для выполнения заданий 1-4 необходимо, чтобы эти разъемы были соединены между собой. При выполнении задания 5 между данными разъемами нужно подключить испытываемую схему.



Рисунок 6. Передние панели модулей NI PXI-5402 и NI PXI-5114

2.1. Генератор сигналов NI PXI-5402.

Данный модуль предназначен для генерации сигналов различной формы. Модуль может выдавать следующие стандартные сигналы с неизменной частотой:

- синусоидальный;
- прямоугольный;
- треугольный;
- пилообразный.

Предельная частота следования для синусоидальных и прямоугольных напряжений составляет 20 МГц, для остальных типов – 1 МГц.

Кроме того, модуль может генерировать сигналы стандартной формы с изменяющейся частотой. Максимальная частота - 20 МГц и 1 МГц. При подготовке последовательности указывается минимальная и максимальная частота, число шагов по частоте и время исполнения одного шага.

Также, генератор может выдавать белый шум, т.е. случайный сигнал, спектральная плотность которого равномерна в рабочей полосе частот.

Внутреннее устройство NI PXI 5402 изображено на рисунке 5:

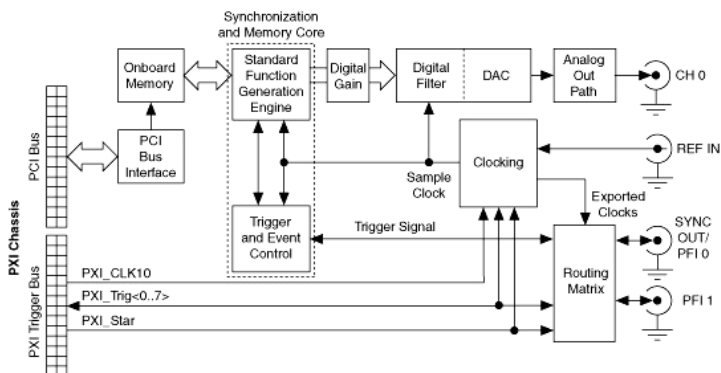


Рис.5. Блок-схема модуля NI PXI 5402

Основные узлы модуля следующие:

- внутренняя память (Onboard Memory). Используется для хранения таблиц сигналов произвольной формы, которые готовит и загружает пользователь;
- блок-генератор стандартных функций (Standard Function generation engine). Выдает последовательность 16-разрядных слов, соответствующих выбранному стандартному сигналу. Для подготовки данных, описывающих стандартные сигналы, используется так называемый непосредственный (или прямой) цифровой синтез – DDS (Direct Digital Synthesis). Этот способ использует память-таблицу (16 K look-up table) для подготовки данных. Подробности о DDS можно прочитать в [<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/38-08/dds.pdf>]
- Тактовый генератор (Clocking). Основное назначение - тактирование блок-генератора функций стабильной частотой 100 МГц.

- Цифро-аналоговый преобразователь (DAC);
- Выходной усилитель с фильтром (Analog out Path).

Центральным устройством модуля является генератор стандартных функций, который генерирует последовательность цифровых кодов с тактовой частотой в зависимости от необходимой частоты и типа генерируемого сигнала. После прохождения блоков усиления (Digital Gain) и фильтрации (Digital Filter), цифровые коды подаются на ЦАП, который и генерирует аналоговый сигнал. Полученный сигнал перед подачей на выход также проходит процедуры усиления и фильтрации (Analog Out Path). В режиме генерации частотной последовательности генератор стандартных функций считывает параметры импульсов из встроенной памяти, и в соответствии с ними генерирует цифровой код.

2.2. Цифровой осциллограф NI PXI-5114

Этот модуль используется для регистрации формы (цифровой осциллограммы) сигнала, поданного на вход. Если говорить вышеупомянутыми терминами, модуль производит дискретизацию, квантование и запоминание цифровых отсчетов. Основные параметры модуля следующие:

1. Аналоговых входов – 2.
2. Разрешение – 8 бит.
3. Макс. частота дискретизации – 250 Msamples/sec
4. Объем памяти – 256 Мб на один канал.

Блок-схема модуля приведена на рисунке 5:

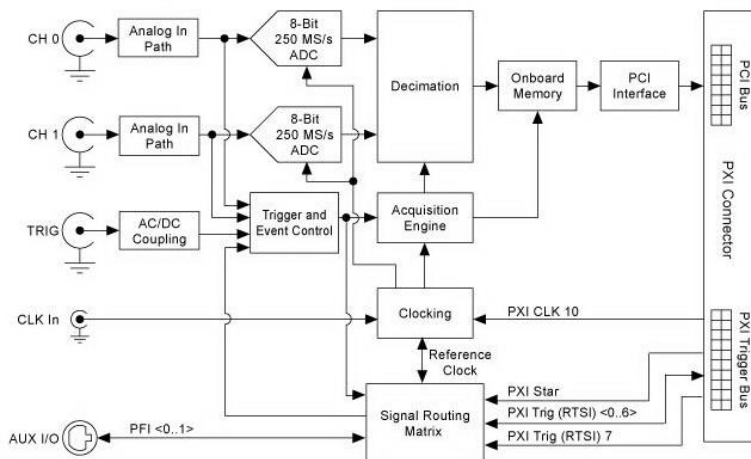


Рисунок 1. Блок-схема осциллографа NI PXI-5114

Как видно из схемы, сначала аналоговый сигнал проходит процедуру предварительной обработки и фильтрации (модуль Analog in Path). После обработки сигнал преобразуется в коды при помощи блока АЦП (ADC). В модуле присутствует по отдельному АЦП на каждой входной канал, и все они тактируются от встроенного тактового генератора (Clocking), частота которого составляет 250 МГц. Оцифрованные отсчеты подаются на блок Decimation, который их «прореживает» до нужной частоты. После процедуры децимации полученные данные записываются во внутреннюю память, откуда они могут быть прочитаны. Синхронизация с регистрируемыми процессами производится в блоке “Trigger and Event Control”.

2.3. Работа с модулями.

Для работы с оборудованием, используемым в данной работе, вам предлагается использовать библиотеку **tsanilib**, в которой содержатся все функции, необходимые для управления модулями PXI-5402 и PXI-5114, и их конфигурирования. Данная библиотека использует функции библиотек NI-FGEN[2] и NI-SCOPE[3], разработанных производителем специально для данных модулей. Полный список функций, их прототипы и описания приведены в подразделах 2 и 3 Главы 3

методического пособия «Справочные материалы по практикуму ТСАНИ». Функции библиотеки, относящиеся к генератору функций PXI-5402 имеют в названии приставку **fgen**, функции-же относящиеся к цифровому осциллографу PXI-5114 начинаются с приставки **scope**. Кроме того, для лучшей совместимости некоторые аргументы функций и возвращаемые значения представлены типами переменных из библиотеки VISA.

Идеология работы с данными приборами аналогична работе с любым другим устройством. Сначала нужно установить, в какой позиции крейта находится данный модуль, для чего нужно использовать функции *fgenSlot(NSlot)* и *scopeSlot(NSlot)* для модулей PXI-5402 и PXI-5114 соответственно. Обе функции принимают переменную – номер позиции модуля в крейте и возвращают результат операции – *VL_TRUE* в случае успешного выполнения и *VL_FALSE* - если модуль не найден.

После успешного соединения с модулем можно начинать им управлять. Например, генератор функций можно сразу включить в режим генерации импульсов функцией *fgenStartStandartWaveForm(,,)*, задав основные параметры сигнала – амплитуду, частоту и форму импульсов. После старта амплитуду и частоту генерируемых импульсов можно менять при помощи функций *fgenAmplitude()* и *fgenFrequency()*.

Для запуска генерации последовательности импульсов с переменной частотой, нужно сначала сгенерировать список частот функцией *fgenGenerateFreqList(,,)*, после чего сгенерированные массивы частот и интервалов передать на выполнение функции *fgenStart(,,)*, которая и запустит процесс генерации данной последовательности. Перед окончанием работы с модулем нужно остановить генерацию импульсов функцией *fgenStop()*.

Для успешной работы модуля PXI-5114 нужно, предварительно установить соединение с ним (см.выше), и включить модуль PXI-5402 в режим генерации (чтобы было что оцифровывать). Перед процессом оцифровки нужно задать частоту дискретизации при помощи функции *scopeFrequency()* и примерную шкалу измеряемого сигнала при помощи функции *scopeVertical()*. Также нужно указать источник сигнала запуска функцией *scopeTrigger()*. После настройки модуля можно включить процесс оцифровки функцией *scopeStartRead()* которая производит старт процесса оцифровки, ожидает его окончания, и передает массив измеренных данных. Также в процессе работы с модулем может быть полезна функция *scopeGetFrequency(,)*, которая считывает частоту оцифровки, которая задана в модуле в данный момент. Состояние модуля (что он в данный момент делает) можно

получить при помощи функции *scopeStatus(,)*. Функция *scopeStop(,)* останавливает текущий процесс оцифровки.

После окончания работы с модулями нужно от них отсоединиться при помощи функций *fgnClose()* и *scopeClose()*.

Практические задания

1. Напишите программу для управления генератором функций (NI PXI-5402). Программа должна создать панель управления генератором, элементы управления которой позволят установить форму сигнала, его частоту и амплитуду.

2. Добавьте в программу функционал, необходимый для управления цифровым осциллографом (NI PXI-5114). Программа должна запускать прибор в режим непрерывных измерений. Основные параметры измерений – частоту дискретизации и количество измерений программа должна считывать из соответствующих элементов управления. Массив считанных данных должен выводиться на график. Для лучшей организации программы и её последующей модификации, желательно, чтобы программа содержала следующие функции:

InitDevices() – подключение к обоим приборам. В случае если одно из устройств не найдено, программа должна выдавать сообщение об ошибке.

StartGeneration() – считывание с элементов управления окна программы параметров генерации сигнала, конфигурирование прибора и старт генерации импульсов.

ReadPlotWaveForm() – Запуск осциллографа на измерение, ожидание, чтение оцифрованного сигнала из его памяти и вывод графика на экран.

StopGeneration() – остановка процесса генерации импульсов.

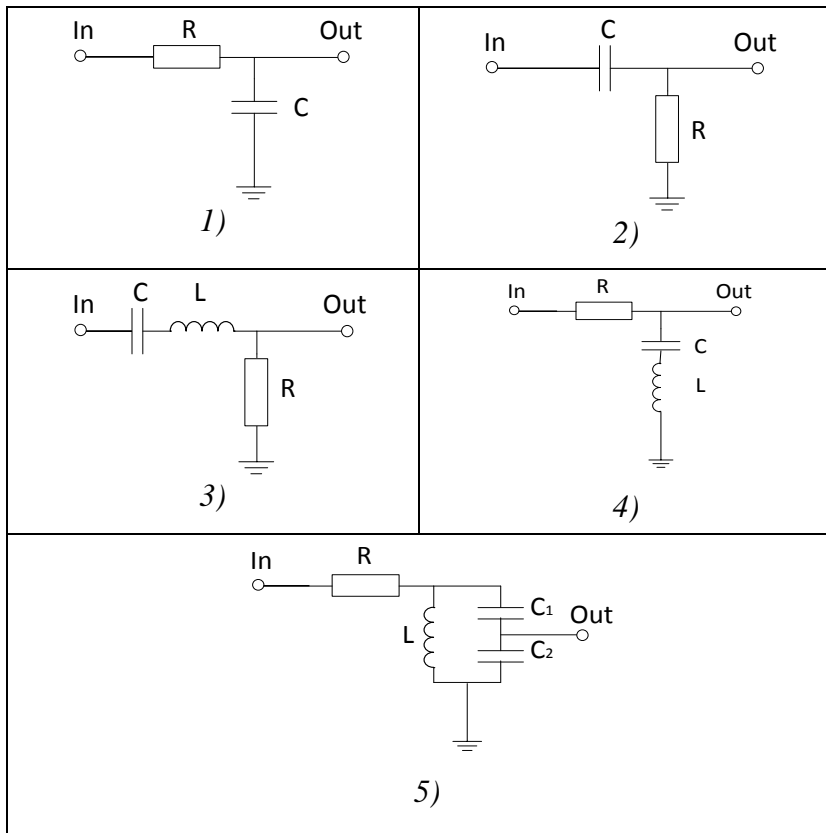
CloseDevices() – отключение от обоих устройств.

3. Добавить в программу вычисление спектра сигнала при помощи быстрого преобразования Фурье (аналогично заданию из работы 1), вывести вычисленный спектр на график. Максимальная частота на графике (масштаб) должна задаваться из программы.

4. Добавить в программу возможность включения генерации импульсов переменной частоты (частотного списка). Параметры списка – минимальная, максимальная частота, число шагов, продолжительность шага программа должна считывать из текстовых полей.

5. С помощью подготовленного вами виртуального генератора и виртуального осциллографа проведите измерения характеристик

«чёрного ящика», по которым попробуйте определить, какая из пяти приведенных ниже схем собрана в «чёрном ящике».



Литература

1. Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи. // Всесоюзный энергетический комитет. Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933г. Переиздана в: УФН, т.176, №7, 2006, стр.762-769
2. National Instruments Signal Generators Help
<http://www.ni.com/pdf/manuals/370524p.zip>
3. National Instruments High-Speed Digitizers Help
<http://www.ni.com/pdf/manuals/370592r.zip>