

Математическое моделирование систем с автоматической подстройкой частоты

В данной работе были исследованы методы автоматической подстройки частоты методами математического моделирования, а также рассмотрены назначение и классификация устройств автоматической подстройки частоты (АПЧ), их параметры, которые называются показателями качества процесса регулирования и характеризуют работу устройств АПЧ. Кратко рассмотрены



Рис. 1. Структурная схема АПЧ

звенья, входящие в устройство АПЧ.

Выведено обобщенное уравнение автоматической подстройки частоты:

$$\Delta f_{ст}(p) = K_1(p)\Delta f_{стс}(p) + K_2(p)\Delta f_{эт}(p).$$

Была проанализирована частотная автоподстройка частоты. В частности – звенья устройства. Рассмотрена электрическая схема частотного дискриминатора балансного типа. А также схемы управления частотой автогенератора: с варикапом и ферритом. В ходе работы проанализировали линейную и нелинейную модели АПЧ.

С помощью математического пакета Mathcad составлена программа, позволяющая исследовать работу нелинейной АЧП 1-го и 2-го порядка в широком диапазоне изменения ее параметров: характеристик дискриминатора и фильтра нижних частот, коэффициента регулирования. В составленной программе решение нелинейного дифференциального уравнения проводится с помощью метода Рунге-Кутты 4-го порядка.

Проведенный анализ и составленные на его основании программы по расчету нелинейной АЧП 1-го и 2-го порядков позволяют исследовать их работу при разных видах характеристик частотного дискриминатора, широком изменении параметров фильтра и управляющего элемента, а также разных начальных расстройках частоты стабилизируемого автогенератора относительно номинального значения. По программам можно рассчитать переходный процесс, определить время установления частоты стабилизируемого автогенератора, точность устройства и полосу схватывания.

Также была рассмотрена фазовая автоподстройка частоты (ФАП). Здесь также были проанализированы звенья ФАП. Рассмотрена работа электрической схемы фазового дискриминатора. Рассмотрены установившийся и динамический режимы работы ФАП. С помощью математического пакета Mathcad составлена программа, позволяющая исследовать работу нелинейной модели ФАП 2-го порядка в широком диапазоне изменения ее параметров. В составленной программе решение нелинейного дифференциального уравнения проводится с помощью метода Рунге-Кутты 4-го порядка. Проанализированы результаты расчетов.

Также рассмотрена автоматическая подстройка частоты в синтезаторе частот. Проанализирована работа структурной схемы синтезатора частот.

Секция 16. Моделирование радиоэлектронных устройств и систем

Проведенное математическое моделирование позволило разработать программы расчета в среде Mathcad, которые облегчают исследование систем с автоматической подстройкой частоты, при изменяющихся параметрах входных сигналов и номиналов элементов устройств. Построенные графические зависимости показывают работу этих устройств не только в установившемся и статическом режимах, но и в переходном и динамическом.

Моделирование гибридного синтезатора частот в системе MultiSim

Для синтеза частот используются прямой аналоговый, косвенный и прямой цифровой методы. У каждого есть свои плюсы и минусы. Гибридный синтезатор позволяет считать достоинства различных методов синтеза.

Обычно в гибридных синтезаторах применяют ФАПЧ и ЦВС. Это позволяет уменьшить время перестройки, шаг частотной сетки, обеспечивает широкую полосу выходных частот и более низкий уровень фазового шума.

Целью данной работы является создание модели гибридного синтезатора и реализация ее в программе MultiSim от NationalInstruments.

MultiSim является одной из лидирующих программ в области моделирования и расчета схем. Программа позволяет наглядно моделировать и анализировать линейные и нелинейные цепи. Параметры компонентов цепи, режимы работы, виды и параметры воздействий можно изменять в широком диапазоне значений [1]. Особенностью программы являются контрольно-измерительные приборы, которые имеют вид и характеристики приближенные к реально существующим устройствам.

На рис. 1 приведена структурная схема гибридного синтезатора

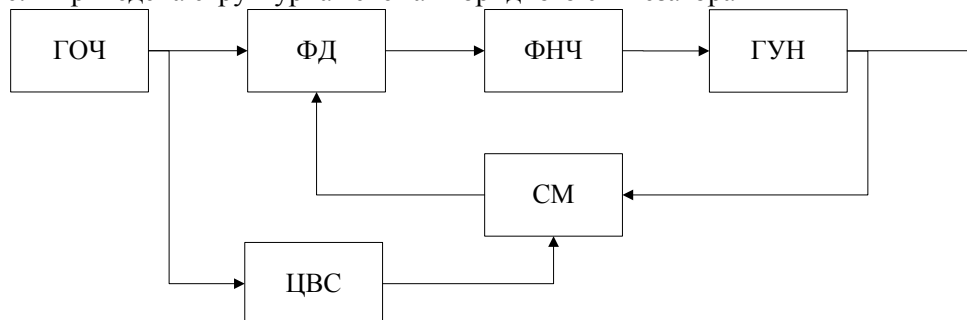


Рис. 1. Структурная схема гибридного синтезатора частот (ГОЧ- генератор опорной частоты, ФД- фазовый детектор, ФНЧ- фильтр нижних частот, ГУН- генератор управляемый напряжением, СМ - смеситель, ЦВС- цифровой вычислительный синтезатор)

Особенностью данной модели заключается в том, что выходная частота ГУН является тактирующей частотой для ЦВС. Для понижения частоты сравнения применяется смеситель частот, на выходе которого будет частота, равная разности между частотами на выходе ГУН и ЦВС. ЦВС в схеме используется в качестве делителя с переменным коэффициентом деления, что позволяет нам уменьшить шаг частот на выходе гибридного синтезатора.

Для разработки модели применялись:

1. ФД - фазовый детектор выполненный на D-триггерах
2. ФНЧ - пропорционально-интегрирующее звено второго порядка
3. ЦВС - смоделированный на 2х 4 разрядных полных сумматорах 74LS83D, 8 разрядного D-триггера 74273N, 8 разрядной ПЗУ и 8 разрядной ЦАП.
4. СМ - смеситель выполненный на 4х диодах 1N1202С, и двух трансформаторах 1P2S.

Моделирование производилось при выходной частоте ГУН 170 кГц при 3 В управляющего напряжения и 230 кГц при 0 В. Значение входной частоты при этом $f_{вх}=100$ кГц.

Результаты моделирования приведены на рис. 2 .

На рис.2 на участке 1-2 код ЦВС равнялся 31, а на участке 2-3 его изменили на 48. После изменения кода ЦВС, синтезатор выходит из установившегося состояния и снова начинает подстраиваться уже на новую частоту.

На рис. 3 изображен спектр сигнала на выходе ГУН. По нему видно, что при разных значениях кода ЦВС на выходе ГУН будут разные частоты.

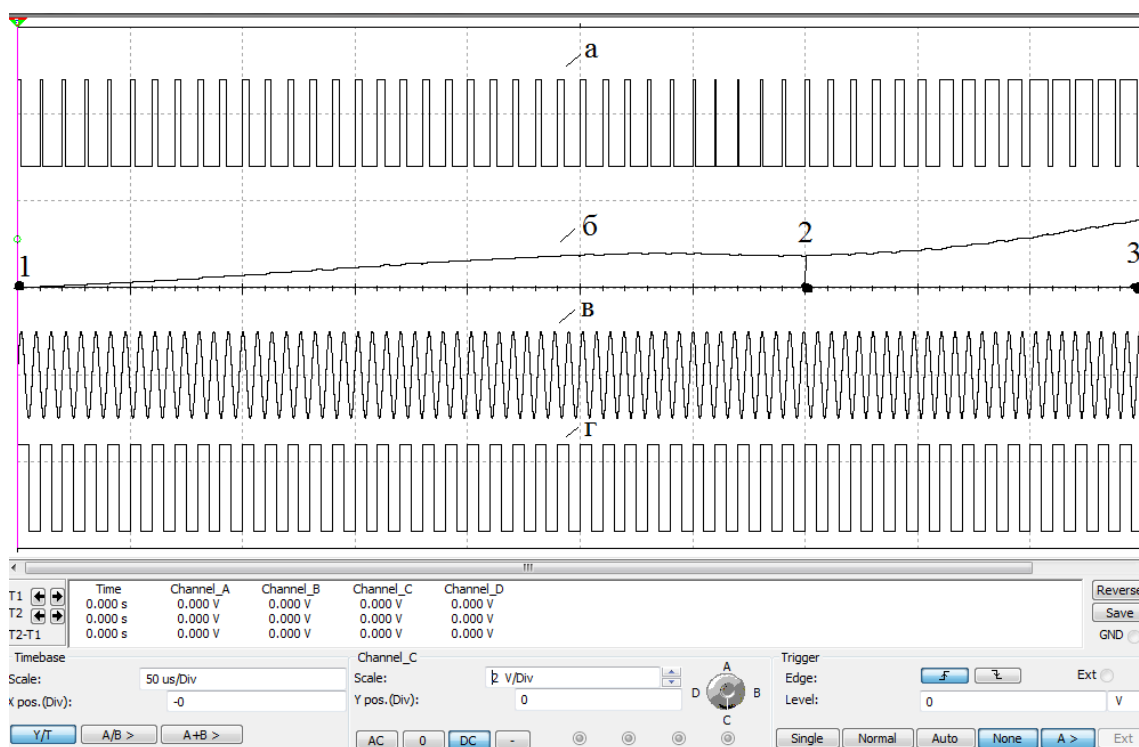


Рис. 2. Сигналы на выходе а) ФД б) ФНЧ в) ГУН г) ГОЧ

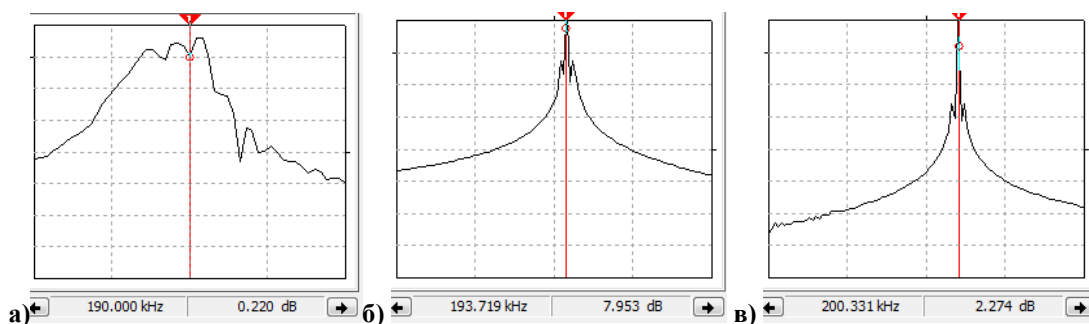


Рис. 3 Спектр на выходе ГУН а) в начале подстройки частоты б) с кодом ЦВС равном 31 в) с кодом ЦВС равном 48

Вывод. Полученная модель гибридного синтезатора позволила нам проследить процессы установления ГУН и изменение напряжение на выходе ФНЧ при изменении кода ЦВС в обратной связи, проследить шаг частоты на выходе ГУН от кода ЦВС, определить время установления частоты и полосы захвата. С помощью модели можно рассчитать спектр выходного сигнала в различные моменты времени.

Литература

1. Гавриш П.П., Дремов Ф.В., Лысенко О.В., Мелешкин Ю.А. Компьютерное моделирование линейных электрических цепей. Учебное пособие: - Самара: СамГТУ, 2009 г. - 39 с.

Моделирование системы ФАПЧ в программе MultiSim

Система ФАПЧ имеет огромную область применения в радиотехнике и телевидении. Она обладает многофункциональными возможностями, такими, как умножение и преобразования частоты, синтез частот, модуляция и демодуляция сигналов.

Целью данной работы является создание модели системы ФАПЧ и реализация ее в программе MultiSim от National Instruments.

MultiSim является одной из лидирующих программ в области моделирования и расчета схем. Программа позволяет наглядно моделировать и анализировать линейные и нелинейные цепи. Параметры компонентов цепи, режимы работы, виды и параметры воздействий можно изменять в широком диапазоне значений [1]. Особенностью программы являются контрольно-измерительные приборы, которые имеют вид и характеристики, приближенные к реально существующим устройствам.

На рис. 1 приведена структурная схема системы ФАПЧ.

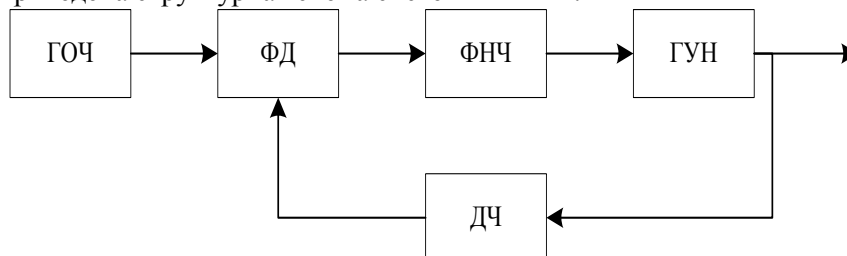


Рис. 1. Структурная схема ФАПЧ (ГОЧ - генератор опорной частоты, ФД- фазовый детектор, ФНЧ - фильтр нижних частот, ГУН- генератор управляемый напряжением, ДЧ - делитель частоты)

В основе системы ФАПЧ лежит подстройка фазы управляемого генератора так, чтобы она была равна фазе опорного генератора. Регулировка выполняется за счет отрицательной обратной связи. Сигнал с выхода ГУН сравнивается с опорным сигналом в фазовом детекторе, в результате сравнения вырабатывается напряжение, зависящее от разности фаз, которое после фильтрации в фильтреб нижних частот используется для подстройки частоты управляемого генератора ГУН.

Для разработки модели применялись:

1. ГОЧ - генератор прямоугольных импульсов
2. Фазовый детектор выполненный на D-триггерах
3. ФНЧ - пропорционально-интегрирующее звено второго порядка

Моделирование производилось при выходной частоте ГУН 70 кГц при 3 В управляющего напряжения и 50 кГц при 0 В. Значение входной частоты при этом $f_{вх}=30$ кГц.

Пример результатов моделирования приведен на рис. 2. видно, что с изменением напряжения на выходе ФНЧ частота на выходе ГУН тоже изменяется. Установившийся режим становится через 1 мс после включения системы.

На рис.3 приведен спектр сигнала на выходе ГУН в начале подстройки частоты и в установившемся режиме. По нему видно, что в установившемся режиме выделяется гармоника на 60 кГц.

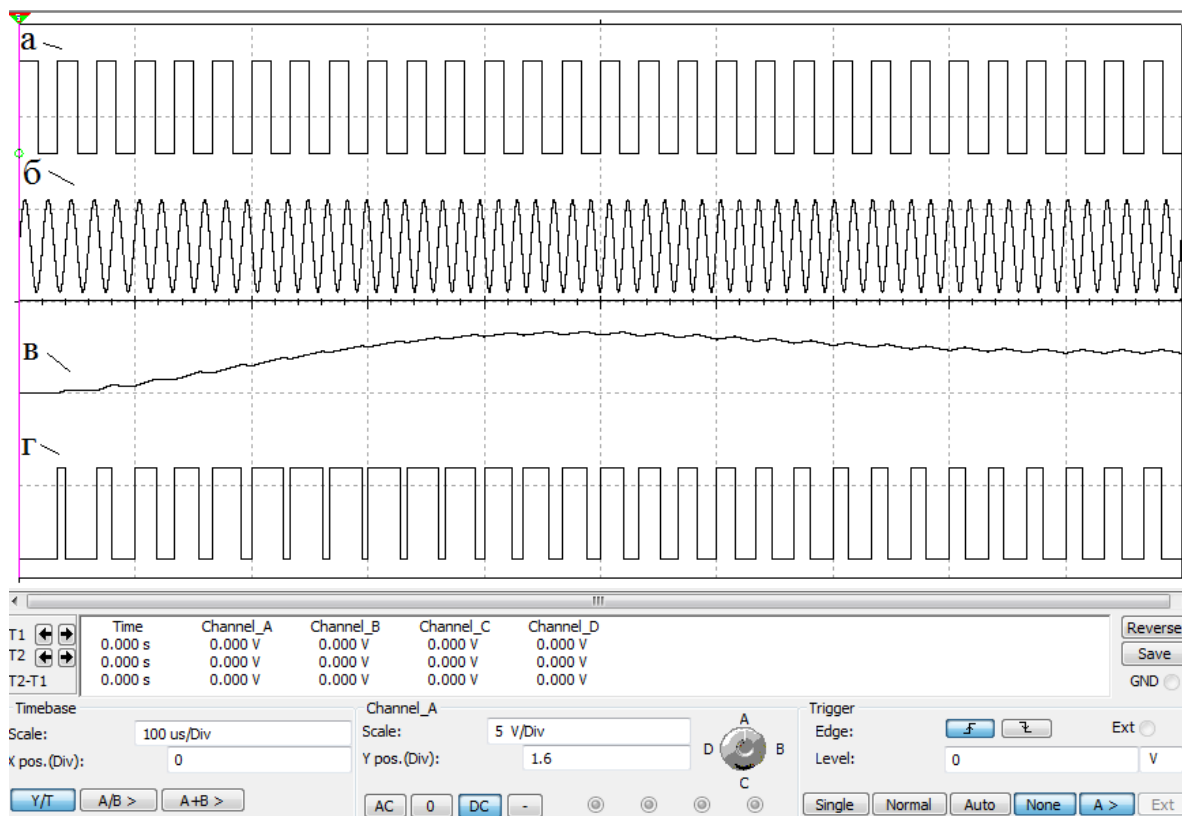


Рис. 2. Сигналы на выходах: а) ГОЧ б) ГУН в) ФНЧ г) ФД

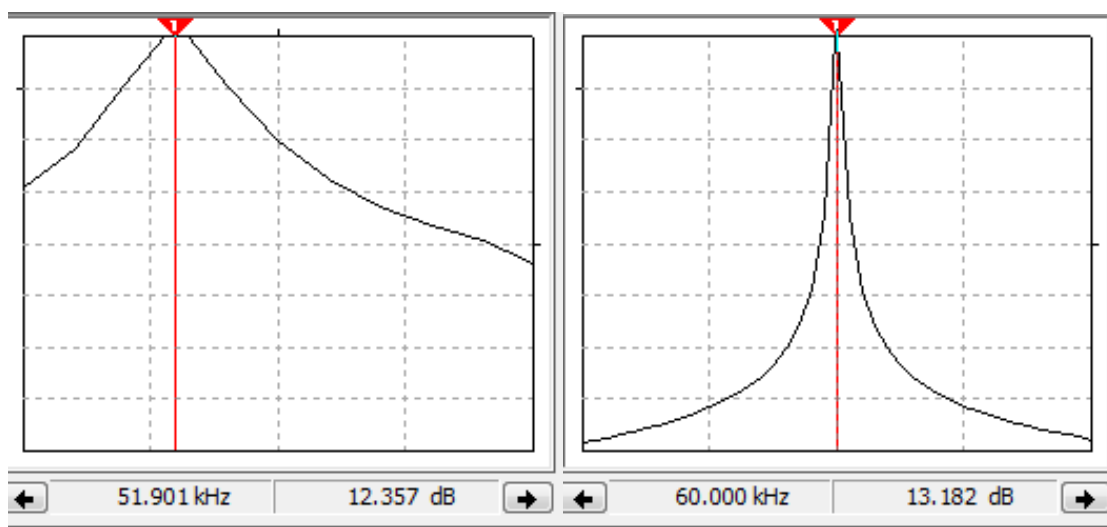


Рис.3. Спектр сигнала на выходе ГУН а) в начале подстройки частоты б) в установившемся режиме

Вывод. Полученная модель системы ФАПЧ позволила нам проследить процессы установления частоты ГУН, определить время установление частоты, полосу захвата. Наглядно можно рассчитать спектр выходного сигнала в различные моменты времени, проследить, как изменяется выходная частота ГУН от напряжения на выходе ФНЧ. Модель ФАПЧ будет использована при разработке гибридных синтезаторов частот.

Литература

1. Гавриш П. П., Дремов Ф. В., Лысенко О. В., Мелешкин Ю. А. Компьютерное моделирование линейных электрических цепей. Учебное пособие: - Самара: СамГТУ, 2009 г.- 39 с.

С.Д. Писарев, Я.В. Березинец

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. С.А. Щаников
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
e-mail: *sapres@mivlgu.ru*

Реализация и исследование нейронов ИНС на базе наномемристоров

Активное развитие технологии производства наномемристоров делает возможным разработку новых аналоговых и аналого-цифровых нейрочипов для создания средств высокопроизводительной вычислительной техники с нейросетевой архитектурой или работающей в нейросетевом логическом базисе (искусственных нейронных сетей - ИНС). Анализ отечественных и зарубежных научно-технических источников показывает, что использование мемристоров в качестве синаптических элементов (синапсов) нейронов ИНС теоретически позволяет повысить надежность, снизить энергопотребление, а также повысить однородность схемотехники элементов вычислительных систем на их основе [1].

В настоящее время нет единого подхода к созданию нейрочипов с использованием наномемристоров. Этому препятствует отсутствие стандартизированных методов инженерного проектирования искусственных нейронов и нейронных сетей на базе мемристоров (ИНСМ), которое обусловлено рядом особенностей их структуры и принципов функционирования. Актуальным направлением исследований в данной области является разработка компьютерных моделей [2]:

- ИНСМ и их элементов (синапсов, нейронов);
- входных сигналов ИНСМ;
- функционалов первичной оптимизации;
- процессов настройки коэффициентов ИНС в нейроморфных ЭВМ;
- архитектуры нейроморфных ЭВМ;
- схемотехнических для нейроморфных ЭВМ;
- нейрофизиологических, для исследования на нейроморфных ЭВМ;
- и др.

Авторами реализованы компьютерные модели ИНСМ [3] с применением Simulink (пакет прикладных программ MATLAB MathWorks). На основе разработанных моделей создано программное обеспечение и проведено исследование:

- точности работы ИНСМ;
- влияние дестабилизирующих факторов на точность работы ИНСМ;
- корреляционной зависимости точности функционирования ИНСМ от значений параметров дестабилизирующих воздействий.

Полученные результаты представлены в виде таблиц и диаграмм.

Результаты проведенных исследований могут быть полезны для разработки инженерных методов и алгоритмов проектирования универсальных и специализированных ТСМ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-07-08330.

Литература

1. Галушкин А.И. На пути к нейрокомпьютерам с использованием мемристоров // Приложение к журналу "Информационные технологии". - 2014. - №4. – С. 2-19.
2. Галушкин А.И. Нейрочипы и нейроморфные ЭВМ: проблемы моделирования // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 12. С. 942-949.
3. Adhikari et al.: Memristor Bridge Synapse-Based Neural Network and Its Learning IEEE Transactions on neural networks and learning systems, vol. 23, no. 9, 2012.

С.Д. Писарев, Я.В. Березинец

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. С.А. Щаников
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
e-mail: *sapres@mivlgu.ru*

Моделирование дестабилизирующих воздействий на параметры элементов ИНС на базе наномемристов

В процессе исследования качества функционирования искусственных нейронных сетей (ИНС), реализуемых на базе наномемристов (ИНСМ), необходимо учитывать влияние неизбежно возникающих в процессе производства и эксплуатации дестабилизирующих факторов, снижающих точность их работы. В настоящее время существует несколько основных подходов к исследованию ИНСМ, основанных на аппаратном или математическом моделировании мемристов и элементов на их основе (синапсов нейронов ИНСМ). Аппаратные модели, реализуемые на GPU и FPGA, могут использоваться как самостоятельные компоненты современной высокопроизводительной вычислительной техники [1], однако их создание для решения исследовательских задач связано с дополнительными затратами финансовых и временных ресурсов. Программные модели реализуются с применением Simulink (пакет прикладных программ MATLAB MathWorks) и PSpice (программный пакет симуляции аналоговой и цифровой логики, интегрированный в САПР электронных приборов OrCAD). Одним из актуальных направлений исследований в данной области является разработка методов и алгоритмов моделирования возможных дестабилизирующих воздействий, влияющих на качество функционирования ИНСМ.

В работах [2-4] представлены аналитическое описание мемристов и схема реализации ИНС с их применением. В работе [5] предложен подход к разработке методов и алгоритмов определения и обеспечения точности функционирования ИНСМ как единых физическо-информационных объектов, реализованных аппаратно-программными обучаемыми средствами. Для реализации данного подхода авторами разработано программное обеспечение по моделированию следующих видов дестабилизирующих воздействий на качество функционирования ИНСМ:

- погрешностей параметров входных сигналов ИНСМ;
- погрешностей обработки входных сигналов элементами ИНСМ;
- выход из строя элементов ИНСМ;

Проведены исследования точности функционирования ИНСМ в диапазоне значений возможных на практике дестабилизирующих воздействий.

Полученные результаты представлены в виде таблиц и диаграмм.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-07-08330.

Литература

1. Галушкин А.И. На пути к нейрокомпьютерам с использованием мемристов // Приложение к журналу "Информационные технологии". - 2014. - №4. – С. 2-19.
2. Chua L.O. Memristor – the missing circuit element // IEEE Trans. Circuit Theory. 1971. Vol. 18. PP. 507.
3. Strukov, D. B. The missing memristor found // Nature, vol 453, no 7191. – 2008. – pp. 80-83.
4. Adhikari et al.: Memristor Bridge Synapse-Based Neural Network and Its Learning IEEE Transactions on neural networks and learning systems, vol. 23, no. 9, 2012.
5. Данилин С.Н., Щаников С.А. Исследование точности функционирования нейросетевых компонентов РТС на основе мемристов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. №1. С. 39-48.

С.Д. Писарев, Я.В. Березинец

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. С.Н. Данилин
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
e-mail: sapres@mivlgu.ru

Исследование компонента контроля технических средств на базе наномемристоров

Применение наномемристоров при создании современных технических средств (ТСМ) (высокопроизводительных вычислительных систем, микросхем памяти, датчиков и т.д.) позволяет улучшить их качественные и количественные характеристики (повышение быстродействия, снижение энергопотребления и т.д.), за счет возврата к аналоговой обработке сигналов. При этом обязательным является определение адекватного места применения аналоговых информационных технологий в структуре ТС и обеспечение контроля заданной точности обработки информации [1]. В процессе производства и эксплуатации современных ТС необходимо проведение периодического технического контроля (ТК) параметров их узлов и модулей, для обеспечения достоверности выходной информации.

Перспективным направлением реализации средств ТК параметров сигналов в аналоговых и аналого-цифровых микросхемах и датчиках является применение искусственных нейронных сетей (ИНС). Обзор современных научно-технических публикаций подтверждает высокую эффективность ИНС при распознавании образов и сигналов, классификации и кластеризации. Существенным преимуществом является возможность применения одного нейросетевого алгоритма для контроля ряда характеристик сигналов путем выбора из памяти необходимых параметров ИНС (весовые коэффициенты, пороговые смещения, функции активации), не меняя алгоритм функционирования средств ТК. Нейросетевой подход предполагает решение задач в целом без разделения на подзадачи, что позволяет проектировать системы контроля различного назначения более высокого уровня точности, быстродействия, отказоустойчивости, надежности [2].

Исследования, проведенные многими авторами показали, что наибольшими преимуществами для реализации средств ТК в ТСМ и ИНСМ обладают сети радиально-базисных функций РБФ и их модифицированные варианты [3].

Авторами синтезирована ИНС РБФ контроля уровня аддитивных шумов и импульсных помех в ЧИМ сигналах. Проведены исследования качества функционирования компонента контроля на базе ИНС РБФ при вариациях параметров аддитивных шумов и импульсных помех в диапазоне возможных на практике значений.

Полученные результаты представлены в виде таблиц и диаграмм.

Результаты проведенных исследований могут быть полезны для разработки инженерных методов и алгоритмов проектирования универсальных и специализированных ТСМ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-07-08330.

Литература

1. Галушкин А.И. На пути к нейрокомпьютерам с использованием мемристоров // Приложение к журналу "Информационные технологии". – 2014. – №4. – С. 2–19.
2. Данилин С.Н., Щаников С.А. Нейросетевой контроль точности функционирования технических средств на основе мемристоров// Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2016. – №2.
3. Ляликова В.Г. Математические модели параметрических статистических и нейросетевых обнаружителей сигналов при наличии шума и импульсной помехи / Н.М. Новикова, В.Г. Ляликова // Информационные технологии. – 2011. – №5. С.73–78.

Исследование влияния джиттера на спектральные характеристики ЦВС гибридных синтезаторов частот

Джиттер представляет собой фазовые искажения цифрового сигнала. Его воздействие приводит к нарушению регулярности следования импульсов: изменению их длительности, крутизны фронта и смещению относительно идеального расположения по шкале времени.

В составе систем гибридного синтеза частот влиянию джиттера более всего подвержен цифровой вычислительный синтезатор (ЦВС). Структурная схема устройства [1] представлена на рис. 1. На схеме приняты следующие обозначения: АФ – аккумулятор фазы, ПЗУ – постоянное запоминающее устройство, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, ФНЧ – фильтр нижних частот, ОГ – опорной тактовый генератор. ЦВС генерирует выходной сигнал требуемой формы и с заданной частотой $f_{\text{ЦВС}}$, которая определяется двумя параметрами: частотой опорного тактового сигнала $f_{\text{ОГ}}$ и двоичным числом – кодом частоты K .

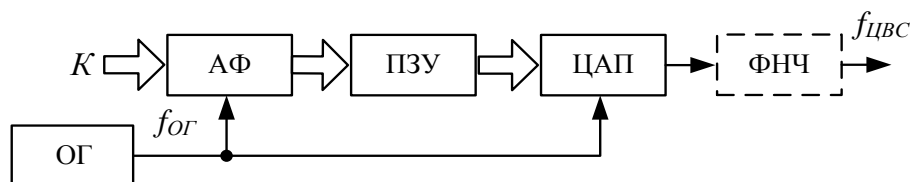


Рис. 1. Структурная схема ЦВС

Одним из способов оценки влияния джиттера в частотной области является анализа его спектра. На рис. 2 приведены спектральные характеристики выходного сигнала ЦВС гибридных синтезаторов частот при наличии и отсутствии воздействия периодического джиттера с частотой $0,01f_{\text{ЦВС}}$. Для моделирования использовались следующие параметры устройства: частота ОГ $f_{\text{ОГ}} = 100$ МГц, частота выходного сигнала ЦВС $f_{\text{ЦВС}} = 1/3f_{\text{ОГ}}$, разрядность АФ $p = 32$, разрядность ПЗУ $a = 16$, разрядность ЦАП $n = 14$.

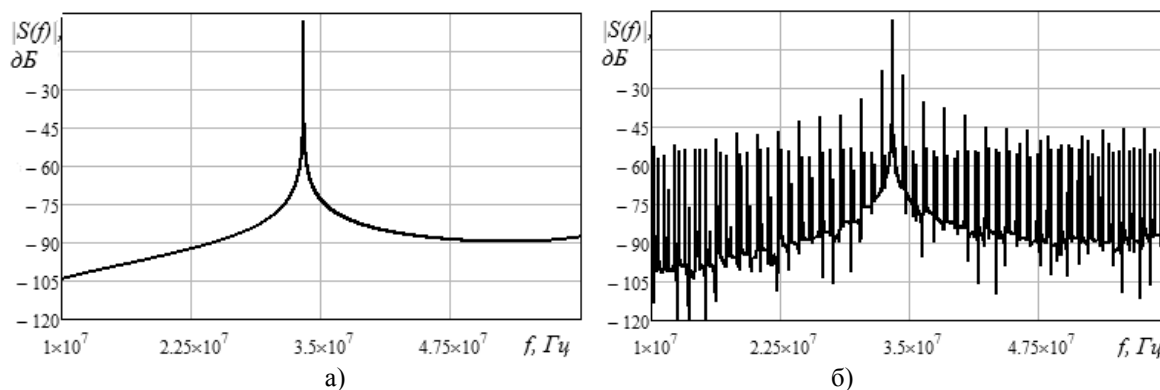


Рис. 2. Спектр выходного сигнала ЦВС при отсутствии (а) и наличии периодического джиттера (б)

Воздействие периодического джиттера на выходной сигнал ЦВС во временной области соответствует процессу его фазовой модуляции гармоническим сигналом. В результате в спектре появляется множество побочных спектральных составляющих, существенно ухудшающих спектральную чистоту синтезируемого сигнала как ЦВС, так и гибридного синтезатора, в составе которого он используется.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-05542

Литература

1. Стешенко В. Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов.

Секция 16. Моделирование радиоэлектронных устройств и систем

Занятие 2. – Компоненты технологии, 2000, №4.

2. Surzhik D.I., Kurilov I.A., Vasilyev G.S., Kharchuk S.M. Design and mathematical modeling of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of DDS interferences // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. –Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. - IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR.

Моделирование переходных процессов гибридных синтезаторов частот с автоматической компенсацией фазовых искажений

В работе проводится математическое моделирование гибридных синтезаторов частот с автоматической компенсацией фазовых искажений (АКФИ) цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС). Тракт формирования управляющего сигнала автокомпенсатора (рис. 1) содержит опорный и информационный тракты. Опорный тракт включает в себя дифференцирующую цепь (ДЦ1) и триггер (Тр1) [1]. Информационный тракт состоит из дифференцирующей цепи (ДЦ2), двухполупериодного выпрямителя (ДВ) и триггера (Тр2). Компенсация фазовых искажений основана на выделении закона отклонений фазы выходного сигнала ЦВС и последующем вычитании выделенного управляющего сигнала из сигнала системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) непосредственно перед его подачей на генератор, управляемый напряжением (ГУН) [1]. Управляющий сигнал формируется в фазовом детекторе (ФД), фильтре нижних частот (ФНЧ) и усилителе постоянного тока (УПТ).

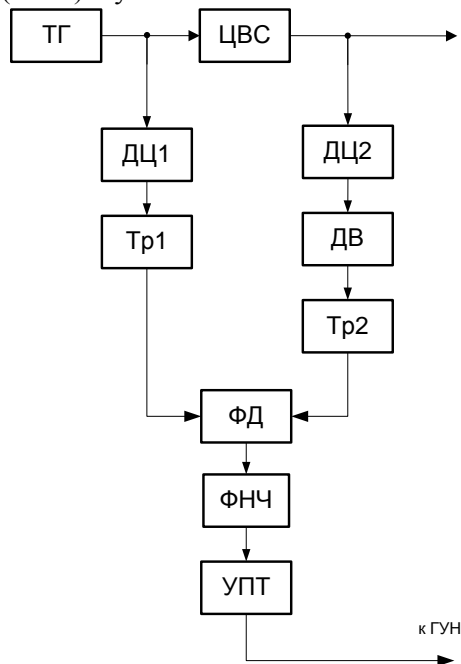


Рис. 1. Тракт формирования управляющего сигнала автокомпенсатора фазовых искажений ЦВС

Исследованы возможности разработанных устройств к ослаблению частотных компонентов выходного спектра ЦВС, вызванных джиттером. Для этого рассмотрена реакция устройств на скачок фазы и гармоническое воздействие при изменении параметров структурных блоков автокомпенсатора. В среде *MathCAD* построены графики переходных процессов с ФНЧ первого и второго порядков [2]. Исследованы зависимости времени установления выходной фазы ГУН и влияние на степень компенсации параметров АКФИ (порядка и постоянной времени фильтра и коэффициента передачи УПТ).

При выполнении условий полной компенсации установившиеся значения совпадают с осью абсцисс, что соответствует устранению из спектра выходного сигнала гибридного синтезатора паразитных частотных составляющих, вызванных фазовыми искажениями ЦВС. Изменение коэффициента усиления УПТ относительно условия полной компенсации приводит к увеличению передачи искажений ЦВС на выход устройства.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-05542

Литература

1. Surzhik D.I., Kurilov I.A., Vasilyev G.S., Kharchuk S.M. Design and mathematical modeling of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of DDS interferences // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. –Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. - IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR.

2. Юдаев А. Ю., Курилов И.А., Суржик Д. И. Анализ систем фазовой автоподстройки частоты на основе непрерывных кусочно-линейных функций // Радиопромышленность. – М.: ОАО ЦНИИ «Электроника». - 2012. – Вып. 2. – С. 57-63.

Д.И. Суржик

Научный руководитель: док.техн.наук, проф. В.В. Ромашов
 Муромский институт Владимирского государственного университета
 602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
 e-mail: arzerum@mail.ru

Математическое моделирование выходного сигнала ЦВС гибридных синтезаторов частот при наличии джиттера

Гибридные синтезаторы частот на основе цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС) и фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [1] находят широкое применение в качестве источников стабильных частот и сигналов устройств различного назначения. Важным параметром систем гибридного синтеза частот является джиттер, приводящий к фазовым искажениям синтезируемого сигнала. Джиттер разделяют на две основных категории: детерминированный и случайный. Общий джиттер состоит из суммы этих компонентов. ЦВС более всего подвержен воздействию джиттера, поскольку содержит в своем составе цифро-аналоговый преобразователь, обладающий нестабильностью и нелинейной характеристикой преобразования.

Для оценки влияния джиттера на ЦВС необходимо создать математическую модель выходного сигнала устройства.

При воздействии джиттера $s_{дж}(t)$ выходной сигнал ЦВС $s(t)$ является смещенным по времени

$$s(t) = s(t + s_{дж}(t)) \quad (1)$$

Математическая модель такого сигнала ЦВС при воздействии джиттера, в которой учтены ошибки, возникающие при усечении фазы и квантовании амплитуды [2], определяется выражением

$$s(t) = \frac{\text{trunc} \left(N \cdot \sin \left(2\pi \frac{2^b}{2^p} \text{trunc} \left[\frac{K}{2^{p-a}} (t + s_{дж}(t)) \right] \right) \right)}{N} \quad (2)$$

где $N=2^n$ - число уровней квантования ЦАП, n - разрядность ЦАП, p - разрядность АФ, $b=p-a$ - число бит округления, a - разрядность ПЗУ, $K = \text{round} \left(\frac{f_{ЦВС} M}{f_{ОР}} \right)$ - код синтезируемой частоты, $\text{round}(x)$ - округление до ближайшего целого, $M=2^p$ - число отсчетов АФ.

На рис.1 приведен простейший случай - воздействие периодического джиттера на выходной сигнал ЦВС. Для данного джиттера с синусоидальной модулирующей функцией все параметры фазового дрожания однозначно определяются через параметры угловой модуляции.

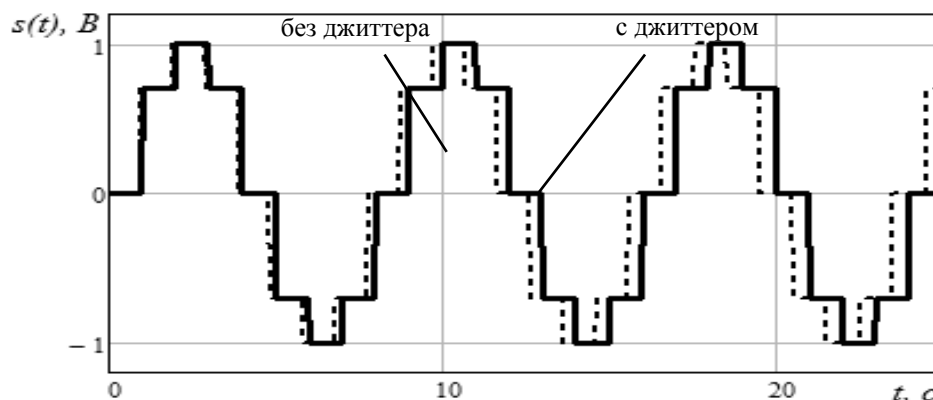


Рис. 1. Выходной сигнал ЦВС при наличии и отсутствии периодического джиттера

Как видно из рис. 1 воздействие джиттера проявляется изменением ширины "ступенек" выходного сигнала ЦВС и смещением их относительно идеального положения. В общем случае характер изменения сигнала в результате воздействия джиттера зависит от его вида, параметров,

Секция 16. Моделирование радиоэлектронных устройств и систем

закона распределения и имеет разные характеристики в зависимости от причин и источников возникновения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-05542

Литература

1. Surzhik D.I., Kurilov I.A., Vasilyev G.S., Kharchuk S.M. Design and mathematical modeling of hybrid frequency synthesizers with automatic compensation of DDS interferences // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. –Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. - IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR.

2. Стешенко В. Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов. Занятие 2. – Компоненты и технологии, 2000, №4.

В.В. Сысуева

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент К.К. Храмов
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
e-mail: viktoriya_sysueva@mail.ru

Создание программной модели формирователя сигналов в среде программирования LabVIEW

При разработке радиосистем важную роль играет реализация моделей формирователей сигнала. В данной работе создана программная модель формирователя сигналов с цифровыми видами модуляции.

Модель создается в среде LabVIEW компании National Instruments. Как известно [1], LabVIEW – это среда графического программирования, которую используют технические специалисты, инженеры, преподаватели и ученые по всему миру для быстрого создания комплексных приложений в задачах измерения, тестирования, управления, автоматизации научного эксперимента и образования. В основе LabVIEW лежит концепция графического программирования – последовательное соединение функциональных блоков на блок-диаграмме. Данная среда отличается видом языка программирования. В ней используется непривычный блок – схемный вид программирования, который позволяет даже начинающему программисту разобраться в структуре программы. Так же отличительной особенностью данного языка программирования является большое количество встроенных компонентов, позволяющих в полной мере спроектировать интерфейс программы любой сложности [1, 2].

В программной модели были реализованы формирователи сигналов:

- с амплитудной манипуляцией (*ASK*);
- с фазовой манипуляцией (*PSK*);
- с частотной манипуляцией (*FSK*);
- с квадратурной амплитудной модуляцией (*QAM*);
- с гауссовской модуляцией (*GMSK*);
- на основе мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (*OFDM*).

В качестве модулирующего сигнала используется двоичная цифровая последовательность. Задание цифровой последовательности осуществляется при помощи логических переключателей, на основе которых генерируются импульсные сигналы. Бинарная комбинация превращается в значения символа.

Программная модель реализует сигналы во временной и в частотной области.

В связи с отсутствием стандартных модулей для формирования модулированных сигналов использовались блоки, созданные самостоятельно. Блоки состоят из цикла, количество итераций которого определяется количеством точек формируемого сигнала. Тип сигнала выбирается при помощи блока выбора (Case). Блоки амплитудной, фазовой и частотной манипуляции аналогичны блокам амплитудной, фазовой и частотной модуляции в модели аналогового генератора. Для реализации многопозиционной квадратурной модуляции (*QAM-16*) создается созвездие из 16 четырехбитных комбинаций, каждая из которых определяет амплитуду квадратурных *I*- и *Q*-составляющих. Для реализации гауссовской модуляции с минимальным частотным сдвигом (*GMSK*) модулирующая последовательность проходит через формирующий гауссовский фильтр для снижения полосы спектра. В качестве вида модуляции при мультиплексировании с ортогональным частотным разделением каналов используется квадратурная амплитудная модуляция, которую предваряет обратное преобразование Фурье модулирующей последовательности.

Литература

1. Блюм П. LabVIEW: стиль программирования. – М.: ДМК, 2009. – С. 400.
2. Баран Е.Д. LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы. – М.: ДМК, 2009. – 448 с.

Создание программной модели фильтров с конечной импульсной характеристикой в среде программирования LabVIEW

При моделировании радиосистем важную роль играет реализация моделей фильтров с конечной импульсной характеристикой. В данной работе создана программная модель НЧ, ВЧ, полосового и режекторного КИХ- фильтра с разной оконной обработкой.

Модель создается при помощи среды программирования LabVIEW от National Instruments.

LabVIEW – это среда графического программирования, которую используют технические специалисты, инженеры, преподаватели и ученые по всему миру для быстрого создания комплексных приложений в задачах измерения, тестирования, управления, автоматизации научного эксперимента и образования. В основе LabVIEW лежит концепция графического программирования - последовательное соединение функциональных блоков на блок-диаграмме [1].

Данная среда отличается видом языка программирования. В ней используется не привычный блок – схемный вид программирования, который позволяет, даже начинающему программисту разобраться в структуре программы. Так же отличительной особенностью данного языка программирования, является большое количество встроенных компонентов, позволяющих в полной мере спроектировать любой сложности интерфейс программы.

В модели были реализованы следующие фильтры:

- фильтр нижних частот (*ФНЧ*);
- фильтр верхних частот (*ФВЧ*);
- полосовой фильтр (*ПФ*);
- режекторный фильтр (*РФ*);

В модели была реализована оконная обработка на основе следующих функций:

- Блэкмана;
- Ханнинга;
- Хэмминга.

Реализация фильтрации сигнала осуществляется в три этапа: реализация импульсной характеристики, умножение характеристики на оконную функцию, свертка сигнала с импульсной характеристикой.

В качестве тестового необходимо использовать сигнал, наглядно демонстрирующий работу НЧ, ВЧ, полосового и режекторного фильтров. У такого сигнала должно быть несколько дискретных спектральных составляющих, разнесенных на различные частоты. В качестве такого сигнала предполагается использовать результат суммы трех гармонических сигналов на частотах 1кГц, 50кГц и 100кГц.

Вычисление импульсной характеристики для НЧ фильтра представляет собой цикл, в котором формируются отсчеты согласно формуле:

$$h[i] = \frac{\sin(2\pi f_c i)}{\pi i}$$

Для ВЧ фильтра сначала вычисляются отсчеты НЧ фильтра, затем при помощи метода обращения АЧХ формируется импульсная характеристика ВЧ фильтра. Каждый второй отсчет меняет свой знак на противоположный.

Импульсная характеристика режекторного фильтра вычисляется путем сложения импульсной характеристики НЧ и ВЧ фильтров.

Импульсная характеристика полосового фильтра формируется из импульсной характеристики режекторного фильтра методом инверсии АЧХ. Все отсчеты, кроме первого меняют свой знак на противоположный.

Для формирования оконного фильтра импульсная характеристика идеального КИХ-фильтра умножается на оконную функцию.

Секция 16. Моделирование радиоэлектронных устройств и систем

В качестве оконных функций выбраны функции Блэкмана, Хэмминга и Ханнинга. Выражения для вычисления данных функций определены в [2].

Параллельно вычисляется частотная характеристика фильтра. Для этого используется блок БПФ.

После вычисления характеристики выполняется процесс фильтрации за счет реализации дискретной свертки сигнала с импульсной характеристикой оконного фильтра.

Процесс свертки состоит из двух циклов. Внутренний цикл служит для формирования одного отсчета конечного сигнала, посредством умножения отсчетов импульсной характеристики на соответствующие отсчеты входного сигнала с последующим суммированием результатов. Внешний цикл служит для формирования массива отсчетов выходного сигнала.

После окончания расчетов вычисляется спектр конечного сигнала (рис. 1).

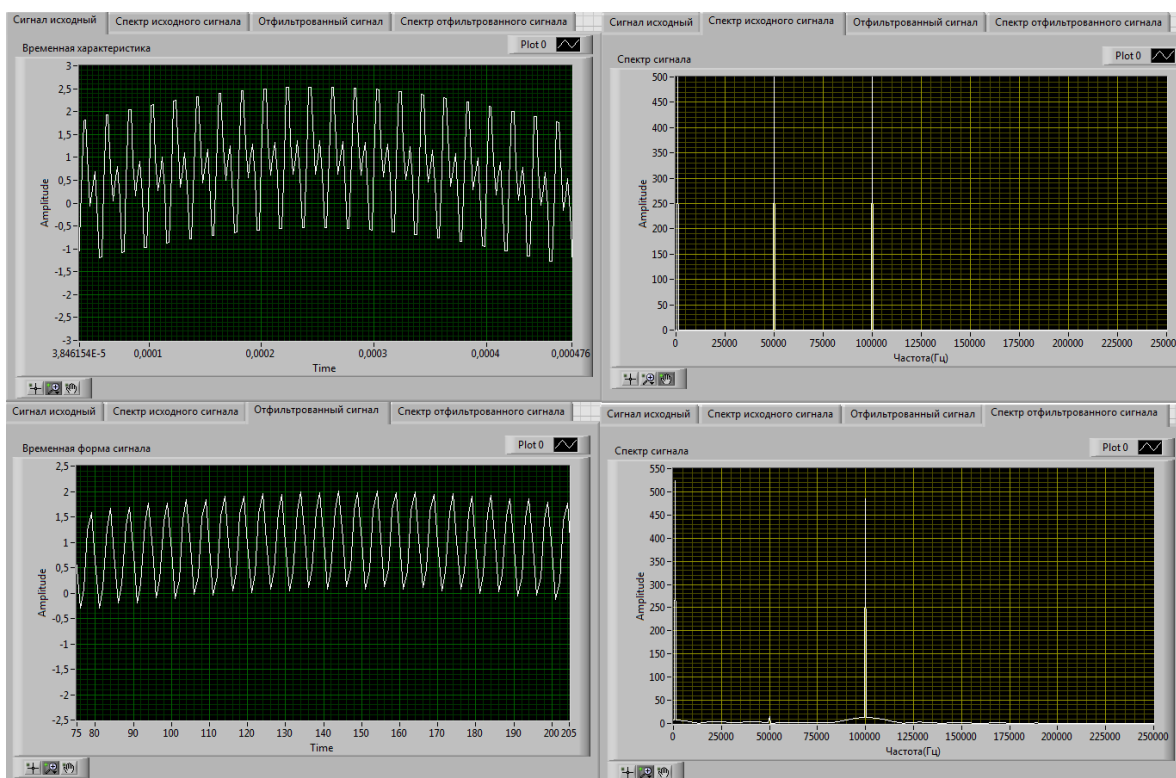


Рис. 1. Результат работы КИХ - фильтра

Литература

1. Блум П. LabVIEW: стиль программирования. – М.: ДМК, 2009. – С. 400.
2. Смит, Стивен. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников/ Стивен Смит; пер. с англ. А.Ю. Линовича, С.В. Витязева, И.С. Гусинкого. - М.: Додэка-XXI, 2012. - 720 с. +СО: ил. - Доп. тит. л. англ. - ISBN 978-5-94120-145-7.