

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ СИНТЕЗОМ ЧАСТОТЫ

С.В. Азябин¹, И.О. Пашинский², А.В. Юдин³

^{1,2} студент кафедры ИУ4, ³ инженер кафедры ИУ4,

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана, Россия

Аннотация. Работа посвящена вопросам проектирования функционального генератора с прямым цифровым синтезом частоты. Описана электрическая функциональная схема. Особое внимание уделено выбору элементной базы и разработке конструкции генератора. Проведено моделирование принципиальной схемы генератора в Multisim 12.0. Изготовлен опытный образец генератора, отличающийся от существующих моделей лучшими электрическими характеристиками. Показаны результаты исследования параметров опытного образца. Проведено сравнение параметров опытного образца с параметрами, полученными в результате моделирования.

Ключевые слова: функциональный генератор, прямой цифровой синтез частоты, моделирование, Multisim 12.0.

Введение

Задача синтеза аналоговых сигналов актуальна во многих областях науки и техники. Она играет большую роль в процессе изготовления и настройки измерительного, телекоммуникационного, медицинского, промышленного оборудования [4, 5].

При проведении разработок различных электронных устройств часто возникает необходимость применения генераторов сигналов различных форм и различных частот. Но, в не зависимости от того, требуется ли источник высокочастотных сигналов или необходим источник с малым уровнем фазового шума и быстрой перестройкой выходного сигнала по частоте и амплитуде, важными параметрами генератора сигналов являются качество сигнала, точность настройки, удобство применения, компактность и относительно невысокая цена. Всем этим требованиям может удовлетворить генератор сигналов, использующий алгоритм прямого цифрового синтеза частоты. Данный метод позволяет получить аналоговый сигнал за счет генерации последовательности цифровых отсчетов и последующего преобразования их в аналоговую форму посредством использования ЦАП.

Генератор, используя метод прямого цифрового синтеза частоты, может быстро перестроиться на другую частоту и амплитуду, обеспечивает хорошее разрешение по частоте, способен генерировать сигналы в широком частотном диапазоне [3]. Применение метода прямого синтеза частоты позволяет получить генератор, имеющий хорошие электрические характеристики, малые габариты, относительно невысокую цену. Кроме того, данный метод может быть реализован на доступной элементной базе и не требует применения дорогостоящего оборудования. Все эти качества делают возможной самостоятельную сборку прибора в университетской лаборатории или мастерских, подобных «Фаблаб», которые получают все большее распространение в нашей стране.

Стоит отметить, что данный функциональный генератор, в основном, ориентирован на использование в учебном процессе, с целью привлечения молодежи к научно-техническому творчеству. Рассмотрим устройство генератора.

1. Структурно-функциональное построение функционального генератора

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 1.

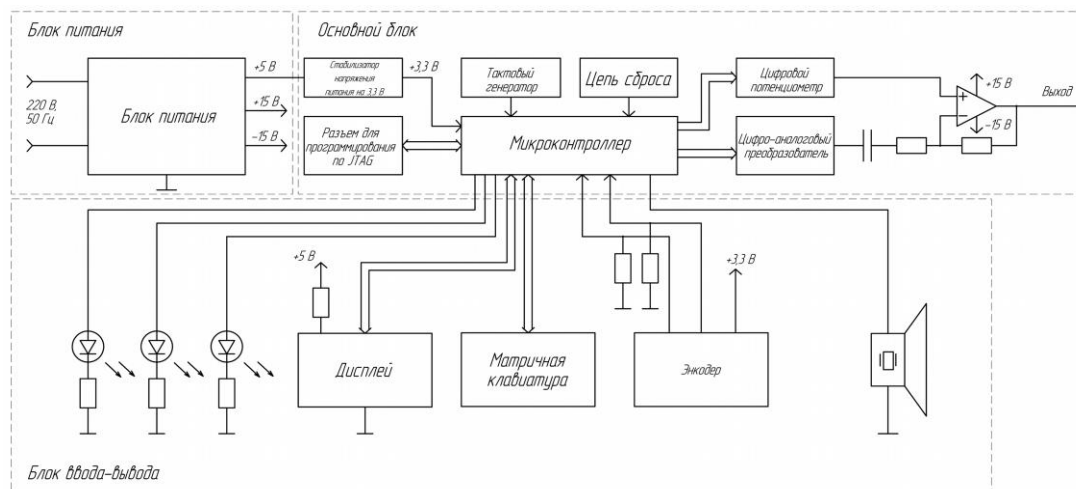


Рисунок 1. Электрическая функциональная схема устройства

Под «устройством» в дальнейшем будем понимать «функциональный генератор с прямым цифровым синтезом частоты». Устройство состоит из трех частей: блок питания, основной блок, блок ввода-вывода. Каждый из блоков выполнен на отдельной печатной плате. Рассмотрим структуру функционального генератора подробнее.

Питание схемы осуществляется от собственного блока питания. Блок питания подключается к сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц и имеет три выходных канала: +15 В, – 15 В, +5 В. Напряжение +5 В необходимо для питания подсветки дисплея, цифрового потенциометра и цифро-аналогового преобразователя. Напряжение +5 В, также поступает на стабилизатор напряжения на 3,3 В, для питания микроконтроллера, энкодера.

Ядро системы – микроконтроллер STM32F103RBT6. Данный микроконтроллер программируется по JTAG, с помощью JTAG-программатора (типа ST-Link v2, J-Link). Микроконтроллер тактируется от внешнего тактового генератора. Роль внешнего тактового генератора играет кварцевый резонатор с резонансной частотой – 8 МГц. Принудительный сброс микроконтроллера осуществляется с помощью цепи сброса.

Выходной каскад схемы представляет собой цепь, состоящую из цифрового потенциометра, ЦАП, ОУ, внешних элементов. Выход цифрового потенциометра подключен к неинвертирующему входу операционного усилителя. Сигнал, генерируемый микроконтроллером, по шине SPI поступает на цифровой потенциометр, задавая сопротивление, и, следовательно, смещение выходного сигнала. Сигнал с микроконтроллера, поступая на ЦАП по другой шине SPI, задает значение выходного напряжения ЦАП. Сигнал с ЦАП поступает через разделительный конденсатор и резистор обратной связи на инвертирующий вход ОУ. Операционный усилитель включен по схеме инвертирующего усилителя для того, чтобы можно было просто и в широких пределах менять смещение сигнала на выходе ОУ, не изменяя частотных свойств каскада.

Светодиоды служат для того, чтобы быстро предоставить информацию пользователю о состоянии генератора. Красный светодиод сигнализирует о наличии питания, зеленый, о том, что генератор использует аналоговый выход, синий, о том, что генератор использует цифровой выход. Если синий и зеленый светодиоды не горят, а питание включено, это означает, что выход генератора отключен.

Жидкокристаллический дисплей подключен к микроконтроллеру посредством параллельного интерфейса. На дисплей выводится информация о сигнале: амплитуда, частота, смещение, форма сигнала. В схеме предусмотрена подсветка дисплея, регулировка контрастности изображения.

Вся необходимая информация вводится с помощью клавиатуры матричного типа 4x5. Также менять настройки генератора и пр. можно с помощью инкрементального энкодера контактного типа. При вращении вала энкодера, генерируются прямоугольные импульсы определенной частоты. Частота следования импульсов зависит от скорости вращения вала энкодера.

Генератор может подавать пользователю звуковые сигналы посредством пьезоизлучателя, подключенного к микроконтроллеру.

2. Выбор элементной базы

Основная часть генератора – микроконтроллер STM32F103RBT6. Данный микроконтроллер обладает хорошими характеристиками как по быстродействию, так и по энергопотреблению. Микроконтроллер выполнен в корпусе LQFP64 для поверхностного монтажа.

Блок питания выполнен на трансформаторе ТП142-13. Данный трансформатор имеет две вторичные обмотки, рассчитанные на номинальное напряжение 18 В каждая. Трансформатор рассчитан на номинальный рабочий ток равный 200 мА для каждого канала. В качестве тактового генератора выбран кварцевый резонатор, имеющий частоту 8МГц.

Особое внимание стоит уделить выбору операционного усилителя, входящего в состав выходного каскада. Операционный усилитель AD811 имеет малый уровень шума и искажений.

ОУ имеет широкую полосу пропускания: частота единичного усиления равна 140 МГц. ОУ имеет низкое выходное сопротивление – 9 Ом, что делает возможным непосредственное подключение нагрузки номиналом не менее 32 Ом без использования буферных каскадов. ОУ имеет большое значение скорости нарастания (2500 В/мкс), что позволяет быстро изменять амплитуду выходного сигнала. Смещение выходного сигнала регулируется за счет восьмибитного цифрового потенциометра AD8400. Также особое внимание следует уделить выбору цифроаналогового преобразователя. Для преобразования цифрового сигнала в аналоговый выбран ЦАП AD8551.

Данный ЦАП имеет разрешение 16 бит, отличные частотные и шумовые характеристики.

Все пассивные элементы выбраны для поверхностного монтажа, в типоразмере 0805.

3. Моделирование схемы в САПР.

На рисунке 2 представлена АЧХ выходного каскада генератора, полученная в результате моделирования в программном пакете Multisim 12.0. Выходной каскад представляет собой операционный усилитель AD811 в инвертирующем включении. В таблице 1 приведены результаты частотного моделирования.

Таблица 1

Результаты моделирования выходного каскада

Параметр схемы	Величина
Коэффициент усиления по напряжению, K_U (дБ)	6
Нижняя граничная частота по уровню -3 дБ, Гц	0,75
Верхняя граничная частота по уровню -3 дБ, МГц	2,03
Нижняя граничная частота по уровню -0,1 дБ, Гц	4,73
Верхняя граничная частота по уровню -0,1 дБ, кГц	322,9

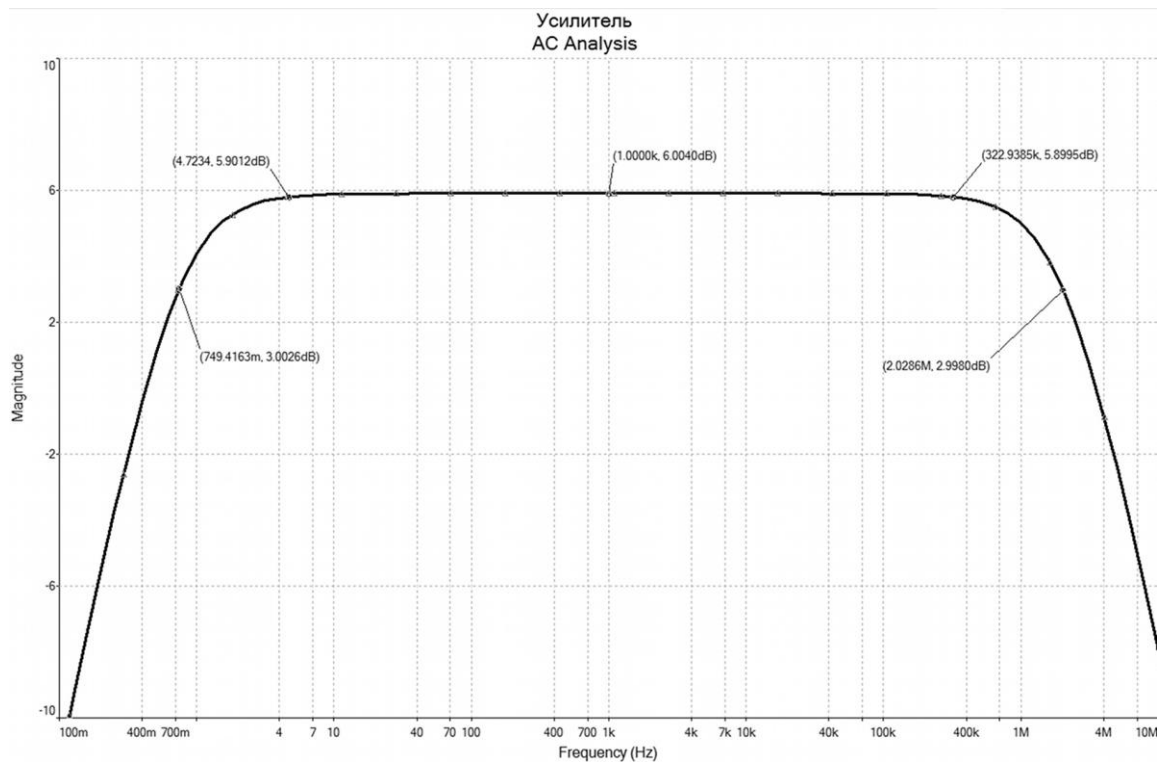


Рисунок 2. АЧХ выходного каскада генератора

4. Описание опытного образца

На рисунке 3 показан внешний вид опытного образца генератора во включенном состоянии со снятой верхней крышкой и снятой лицевой панелью.



Рисунок 3. Внешний вид опытного образца генератора

На рисунке 4 показано основание опытного образца функционального генератора. Основание генератора вырезано на лазерном станке из акрилового пластика. На основании с помощью стоек установлены платы основного блока (на рисунке 4 слева) и блока питания (на рисунке 4 справа). Блок питания собран на односторонней печатной плате.

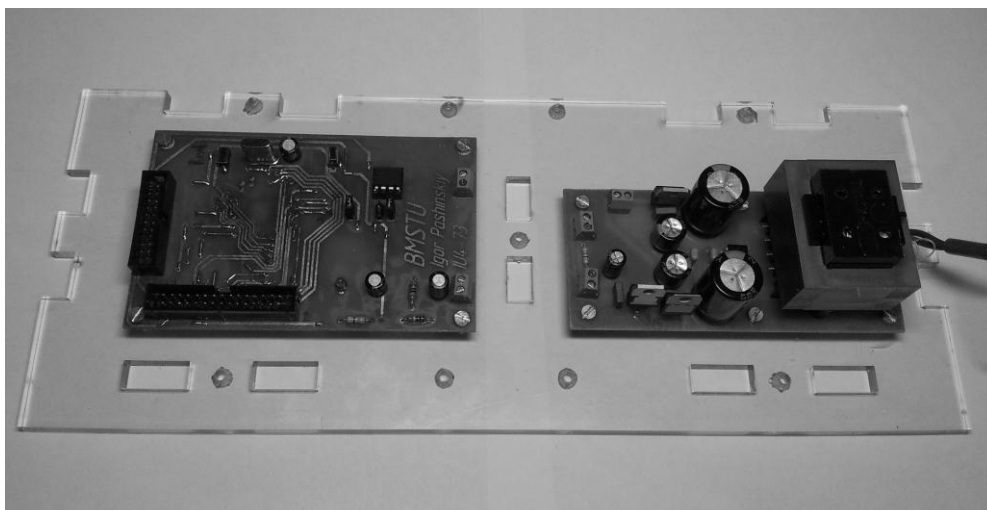


Рисунок 4. Основание функционального генератора с установленными платами основного блока и блока питания

Технические характеристики блока питания приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики блока питания

Размер печатной платы, мм	110x50
Входное напряжение переменного тока, В	220±10 %
Частота входного напряжения, Гц	50
Тип	линейный
Потребляемая мощность, Вт	не более 6
Количество каналов	3
Выходные напряжения, В	+15, -15, +5
Выходной ток (для каналов ±15 В), мА	не более 30 для каждого
Выходной ток (для канала +5 В), мА	не более 140
Коэффициент пульсаций (для каналов ±15 В)	не более $20 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент пульсаций (для канала +5 В)	не более $30 \cdot 10^{-6}$

На рисунке 5 показана двухсторонняя печатная плата (вид с нижней стороны).

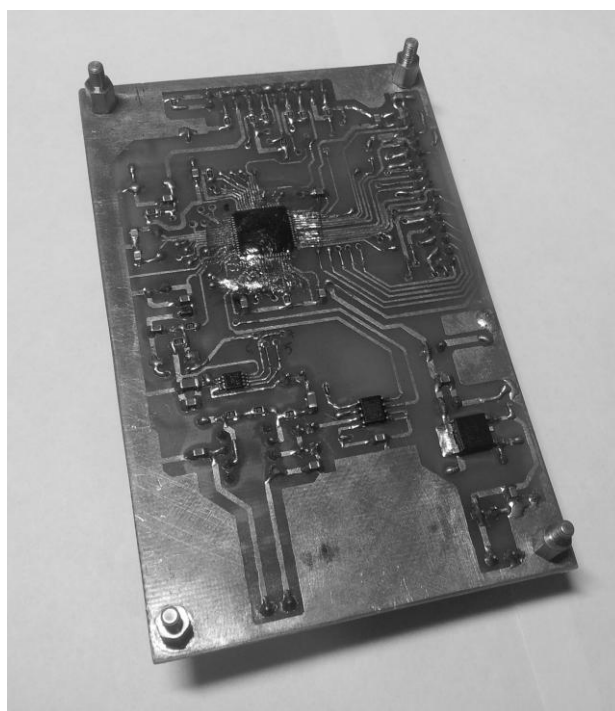


Рисунок 5. Печатная плата основного блока

Основной блок содержит ядро системы, микроконтроллер STM32F103RBT6, также в состав основного блока входят: стабилизатор напряжения питания 3,3 В., ЦАП, операционный усилитель, цифровой потенциометр, разъем для программирования микроконтроллера по JTAG, разъемы для подключения блока ввода-вывода и блока питания.

Внешний вид платы блока ввода-вывода показан на рисунке 6.

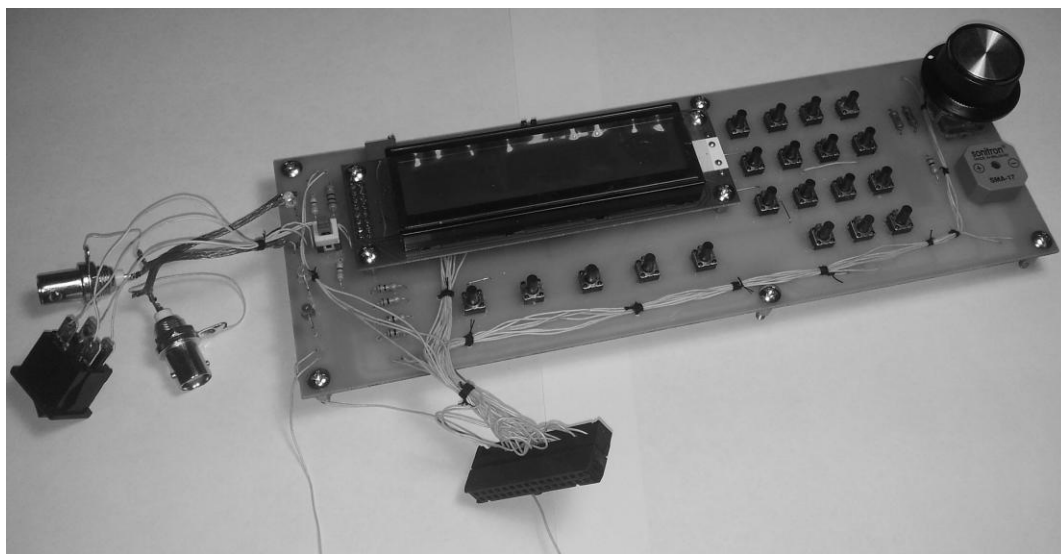


Рисунок 6. Внешний вид печатной платы блока ввода-вывода

Блок ввода-вывода собран на односторонней печатной плате.

Блок ввода-вывода предназначен для отображения и ввода необходимой информации. Он состоит из жидкокристаллического дисплея, клавиатуры, энкодера, выключателей, разъема для подключения нагрузки и разъема для подачи внешнего сигнала запуска, светодиодов для отображения активного выхода и индикации наличия напряжения питания, а также пьезоизлучатель для подачи звуковых сигналов. На дисплее отображаются параметры генерируемого сигнала: амплитуда, частота, смещение, форма сигнала. С помощью клавиатуры и энкодера можно установить желаемое значение определенного параметра (частоты, амплитуды, смещения сигнала или выбрать форму сигнала).

5. Исследование характеристик опытного образца устройства

На рисунке 7 показан внешний вид рабочего места для замеров выходных параметров опытного образца устройства. На рисунке 8 показана АЧХ выходного каскада устройства. Таблица 3 содержит результаты исследования АЧХ выходного каскада генератора (для аналогового выхода).

Рисунок 9 иллюстрирует нагрузочную способность выходного каскада функционального генератора.



Рисунок 7. Внешний вид рабочего места

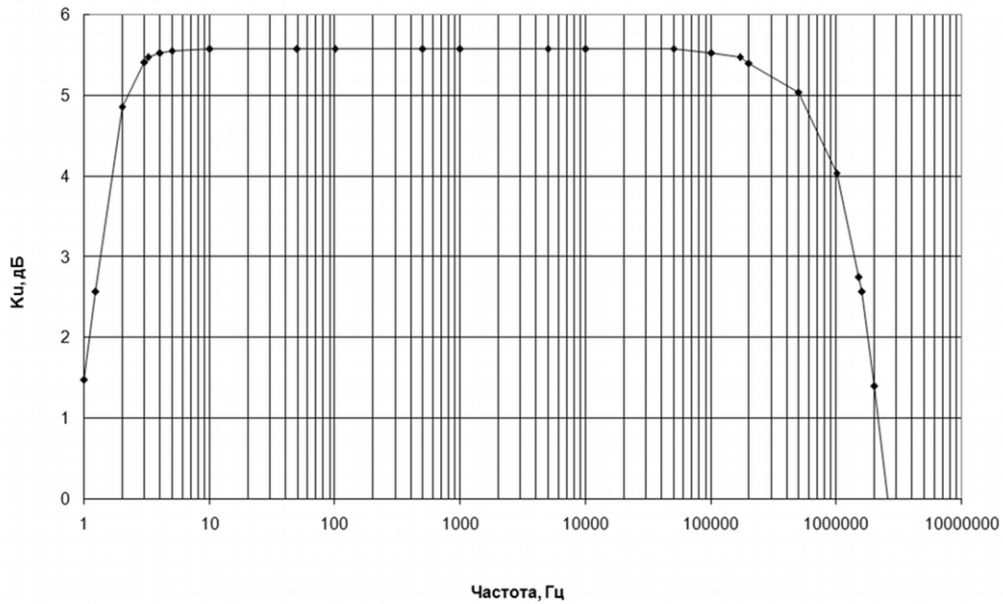


Рисунок 8. АЧХ выходного каскада генератора

Таблица 3

Результаты исследования АЧХ выходного каскада

Параметр схемы	Величина
Коэффициент усиления по напряжению, K_U (дБ)	5,6
Нижняя граничная частота по уровню -3 дБ, Гц	1,23
Верхняя граничная частота по уровню -3 дБ, МГц	1,6
Нижняя граничная частота по уровню -0,1 дБ, Гц	3,22
Верхняя граничная частота по уровню -0,1 дБ, кГц	170

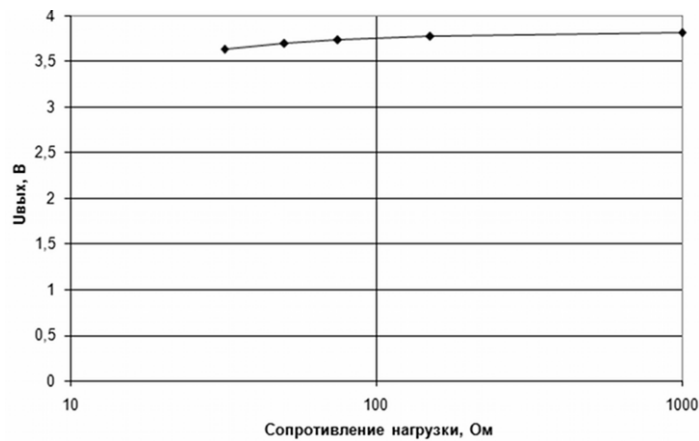


Рисунок 9. Нагрузочная характеристика выходного каскада

В таблице 4 приведены основные технические характеристики опытного образца функционального генератора.

Таблица 4

Технические характеристики опытного образца устройства

Напряжение питания	220В, 50 Гц
Тип синтеза сигнала	Прямой цифровой
Формы сигнала	Синусоидальная, треугольная, прямоугольная, пилообразная
Количество выходов	2 (аналоговый и цифровой)
Амплитуда выходного сигнала	20мВ – 5В
Частотный диапазон (для аналогового выхода)	5 Гц – 150 кГц
Частотный диапазон (для цифрового выхода)	1 Гц – 10 МГц
Неравномерность АЧХ, %	не более 5
Коэффициент гармоник, %	не более 1
Сопротивление нагрузки, Ом	не менее 32

Заключение

В ходе проведенной работы были разработаны схемы функционального генератора: функциональная, электрическая принципиальная. Было проведено моделирование принципиальной схемы в программном пакете Multisim 12.0. Был проведен анализ элементной базы, подобраны детали соответствующих номиналов. В результате был изготовлен действующий опытный образец функционального генератора с прямым цифровым синтезом частоты. Исследование параметров работы опытного образца показало, что характеристики, в целом, соответствуют характеристикам, полученным в результате моделирования, и удовлетворяют предъявляемым требованиям. В ходе анализа параметров работы были даны рекомендации по дальнейшей доработке устройства.

В будущем планируется улучшить характеристики генератора и применять данное устройство в лабораториях «Фаблаб», в учебном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц, П Искусство схемотехники : пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл / под ред. Б.Н. Бронина. – М. : Бином, 2012. – 704 с.: ил.
2. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника: в 2-х т. Т.1: пер. с нем. / У. Титце, К. Шенк. – М. : Додэка-XXI, 2008. – 832 с.: ил.
3. Мерфи Е. Все о синтезаторах DDS / Е. Мерфи, К. Слэттери // Компоненты и технологии. – 2005. – №. 1.
4. Мерфи Е. Прямой цифровой синтез (DDS) в тестовом, измерительном и коммуникационном оборудовании / Е. Мерфи, К. Слэттери // Компоненты и технологии. – 2006. – №. 8.
5. Ruzairi Abdul Rahim PC controlled function generator using direct digital synthesis (DDS) technology for electrical capacitance tomography / Ruzairi Abdul Rahim, Teo Chin Heng, S. Sulaiman, Abdul Manaf // Control and instrumentation engineering department, Faculty of electrical engineering – University Technology Malaysia – 2006. – PP. 19-39.

Материал поступил в редакцию 28.04.2014.

FUNCTION GENERATOR BASED ON DIRECT DIGITAL SYNTHESIS FREQUENCY

S.V. Azyabin¹, I.O. Pashinskiy², A.V. Yudin³

^{1,2} Student of the IU4 Department, ³ Engineer of the IU4 Department
Bauman Moscow Technical State University, Russia

Abstract. *This article is devoted to design of the functional generator with direct digital frequency synthesis. Electrical functional scheme is described. Particular attention is paid to the choice of the element base and to development of design the generator. The modelling circuit of the generator in Multisim 12.0 was performed. The first version of the generator was made. It differs from other best electrical characteristics. The results of the prototype parameters are shown. A comparison of the prototype parameters with the parameters obtained in the simulation is described.*

Keywords: *unctional generator, direct digital synthesis frequency, simulation, Multisim 12.0.*