

УДК 53.08+681.2

Фомин Дмитрий Владимирович

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: e-office@yandex.ru**Шеметов Даниил Андреевич**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: daniil.shemet.2002@mail.ru**Струков Дмитрий Олегович**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: dmitriy-s.0@yandex.ru**Fomin Dmitry Vladimirovich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: e-office@yandex.ru**Shemetov Daniil Andreevich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: daniil.shemet.2002@mail.ru**Strukov Dmitry Olegovich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: dmitriy-s.0@yandex.ru**ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА****PROGRAMMABLE SINE WAVE GENERATOR**

Аннотация. При работе приборов, использующихся в научно-исследовательской практике, нередко требуется применение высокостабильных генераторов синусоидального сигнала, от которых зависит высокая степень детализации получаемых результатов. Поскольку стоимость такого оборудования, как правило, очень высока, оно используется в течение многих лет. Вследствие чего входящие в его состав приборы нередко содержат аналоговые части, которые по современным меркам не отличаются высокой точностью. Авторами предложен разработанный ими программируемый генератор синусоидального сигнала, выполненный на основе цифровой электроники. Управление генератором осуществляется с помощью команд, передаваемых с компьютера и позволяющих задавать частоту выходного сигнала с точностью до 1 Гц в диапазоне от 5 до 6

кГц. Устройство поддерживает установленные значения частоты выходного сигнала в течение длительного времени без корректировки. Наличие световой индикации у прибора позволяет контролировать его основные функции. В работе приведены схемы спроектированного устройства (структурная и принципиальная), а также представлен его прототип, прошедший успешное тестирование.

Abstract. When working with devices used in scientific research practice, it is often necessary to use highly stable sinusoidal signal generators, on which a high degree of detail of the results depends. Since the cost of such equipment is usually very high, it has been in use for many years. As a result, the devices included in it often contain analog parts, which by modern standards do not differ in high accuracy. Therefore, the authors propose a programmable sinusoidal signal generator developed by them, made on the basis of digital electronics. The generator is controlled using commands transmitted from a computer, allowing you to set the frequency of the output signal with an accuracy of 1 Hz in the range from 5 to 6 kHz. The device maintains the set values of the output frequency for a long time without correcting them. The presence of a light indication on the device is designed to control its main functions. The paper presents the diagrams of the designed device (block diagram and schematic), as well as its prototype that has been successfully tested.

Ключевые слова: программируемый генератор, синусоидальный сигнал, частота сигнала, частотный диапазон.

Key words: programmable oscillator, sinusoidal signal, signal frequency, frequency range.

Введение

В лаборатории физики поверхности НОЦ им. К.Э.Циолковского выполняются работы по формированию и исследованию низкоразмерных структур на кремнии [1,2 и т.д.] с использованием прибора РНІ-590, оснащенного двухпролетным оже-анализатором типа цилиндрического зеркала. Данный прибор позволяет получать спектры оже-электронов и спектры характеристических потерь энергий электронами поверхности твердого тела в широких диапазонах энергий. Точность получения спектров во многом зависит от использования высокостабильного опорного генератора. Для этого в лаборатории физики поверхности до недавнего времени использовался внешний генератор ГЗ-111 [3]. Это аналоговый прибор, его точность зависит от настроек, проводимых с использованием переменных резисторов, у которых с течением времени могут окисляться контакты [4], что неизбежно приведет к уходу заданной частоты. Генератор не имеет собственного встроенного частотомера и, как следствие, дисплея, чтобы оценить текущее значение частоты выходного сигнала. Его частота задается по разметке на рукоятке управления, где точность шкалы соответствует 2 Гц. Прибор РНІ-590 уже неоднократно модернизировался, и сотрудники, работающие с ним, имеют в этой области положительный опыт [5,6]. В связи с этим была поставлена задача разработать цифровой высокостабильный генератор синусоидального сигнала, управление которым будет осуществляться с помощью команд, передаваемых с компьютера, позволяющих задавать ча-

стоту с точностью до 1 Гц. Генератор должен поддерживать установленные значения частоты выходного сигнала в течение длительного времени без их корректировки и обладать световой индикацией для контроля его основных функций. Массогабаритные размеры прибора должны быть меньше, чем у ранее использовавшегося генератора ГЗ-111.

Состав и принцип работы устройства

Для выполнения поставленной задачи была разработана структурная схема устройства (рис. 1), в его состав входят преобразователь интерфейсов USB/UART (ПИ), гальваническая развязка (ГР), микроконтроллер (МК), система индикации (СИ), генератор синусоидального сигнала (ГСС) и выходной усилитель сигнала (ВУ). Устройство взаимодействует по входу посредством ПИ с персональным компьютером (ПК), а на выходе – с синхронным услителем (СУ) и блоком анализатора энергии электронов (БАЭЭ) из состава прибора РНІ-590.

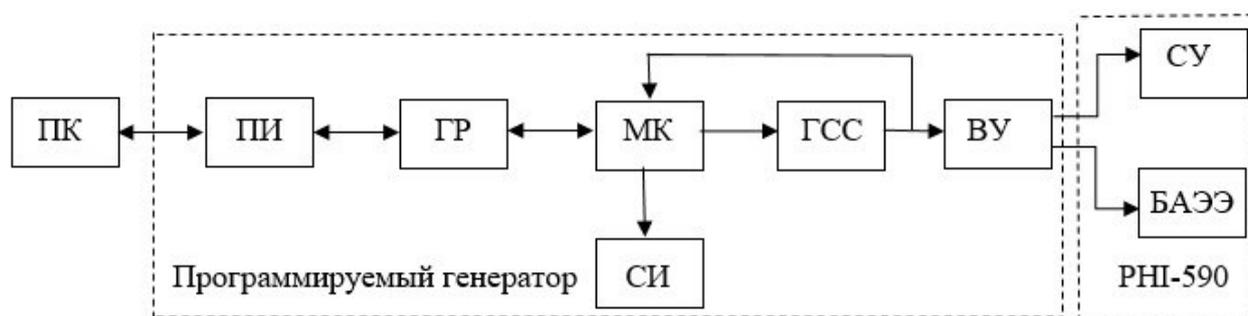


Рис. 1. Структурная схема устройства программируемого генератора синусоидального сигнала.

Посредством программного обеспечения, установленного на ПК, оператор задает частоту выходного сигнала генератора, отправляя данные через ПИ на узел ГР. Узел гальванической развязки обеспечивает совместимость входного сигнала микроконтроллера с управляющим модулем генератора, который формирует сигнал заданной частоты, поступающей затем в ВУ. Усиленный сигнал через коаксиальный разъем (BNC) по кабелю поступает в узлы прибора РНІ-590, требующие внешней синхронизации (СУ и БАЭЭ). Контроль частоты выходного сигнала осуществляется с помощью линии обратной связи от выхода генератора синусоидального сигнала к информационному входу микроконтроллера. В случае рассогласования заданного значения частоты и сформированного ГСС срабатывает система индикации. Оператор также имеет возможность отследить значение частоты выходного сигнала на экране ПК.

Для реализации программируемого генератора, представленного на структурной схеме (рис.1), был осуществлен подбор радиокомпонентной базы. Так, для модуля ПИ было предложено использовать микросхему СН340Е, для модуля ГР – микросхему ADUM120, в качестве микроконтроллера – АТmega328, для реализации модуля ГСС – микросхему AD9833. В качестве модуля выходного усилителя предложен двояный ОУ LM358.

С учетом выбранной компонентной базы была разработана принципиальная электрическая схема программируемого генератора синусоидального сигнала (рис.2).

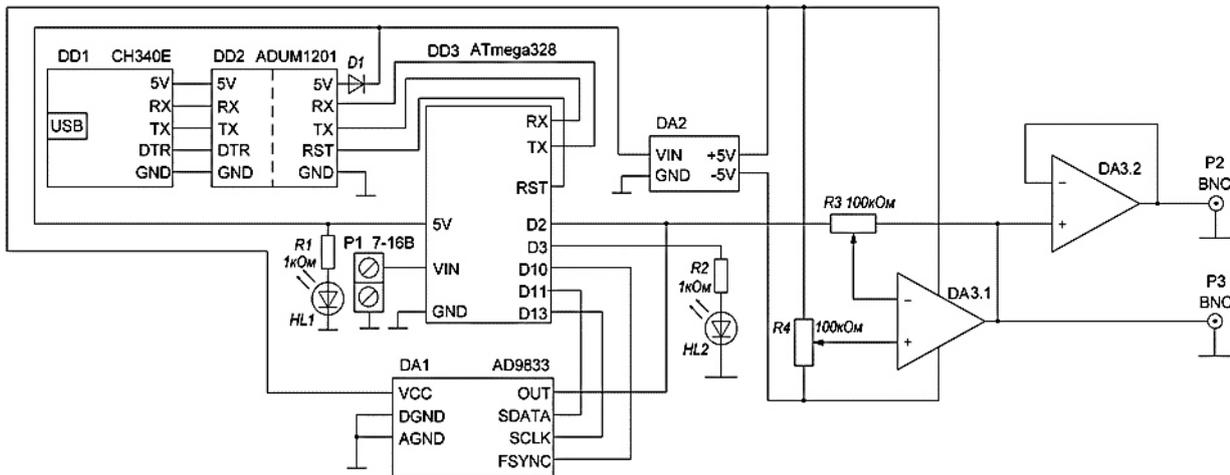


Рис. 2. Принципиальная схема программируемого генератора синусоидального сигнала.

Преобразователь интерфейсов USB/UART, реализованный на микросхеме CH340E, имеет корпус MSOP-10, поддерживает как 3,3В, так и 5В логику и скорость передачи данных от 50 бит/с до 2 Мбит/с [7]. В качестве гальванической развязки используется двухканальный цифровой магнитный изолятор на микросхеме ADUM1201, превосходящий стандартную оптопару по устойчивости к высоким температурам, номинальным напряжениям изоляции в 2 раза, а по скорости передачи данных – в 10 раз [8]. Управляющим элементом схемы является микроконтроллер ATmega328P, имеющий 14 цифровых входов и выходов, работающий на частоте 16 МГц и обладающий встроенной оперативной памятью 2 Кб [9]. К нему, как видно на рис. 2, подключены два светодиода, используемые в качестве системы индикации: HL1 – отвечает за контроль наличия питающего напряжения, а HL2 – за соответствие текущей частоты выходного сигнала генератора, установленной оператором. При наличии ошибки рассогласования светодиод HL2 начинает мигать. В качестве модуля ГСС используется микросхема AD9833, представляющая собой генератор сигналов, отличающийся низким энергопотреблением и способностью формирования сигналов различной формы. При тактовой частоте 25 МГц может быть достигнута дискретность установки частоты 0,1 Гц, а при диапазоне от 1 кГц до 1 МГц, используемых в приборе РН-590, дискретность – 0,004 Гц [10, 11]. Спроектированный генератор работает с точностью до 1 Гц, обусловленной не только аппаратной частью, но и программной, которая была ограничена целыми числами, а для реализации поставленных задач больше не требуется. Общий диапазон частот выходного сигнала спроектированного генератора лежит в диапазоне от 5 до 6 кГц. В качестве выходного усилителя используется микросхема LM358, представляющая сдвоенный ОУ с высоким коэффициентом усиления и частотной компенсацией, а также низким потреблением тока [12]. Чтобы не возникло прямого объединения входов двух внешних устройств прибора РН-590 (СУ и БАЭЭ), выходной сигнал схемно дублирован с использованием буферизации, реализованной на операционном усилителе. Для текущего мониторинга частоты выходного сигнала генератора, предусмотрена возможность опроса микроконтроллера и вывод данных о частоте на экран ПК-оператора.

На рис. 3 представлена функциональная схема реализации электропитания разрабо-

танного устройства. На схеме показаны внешний блок питания (ВБП), линейный стабилизатор напряжения (ЛСН), преобразователь постоянного напряжения (ППН).

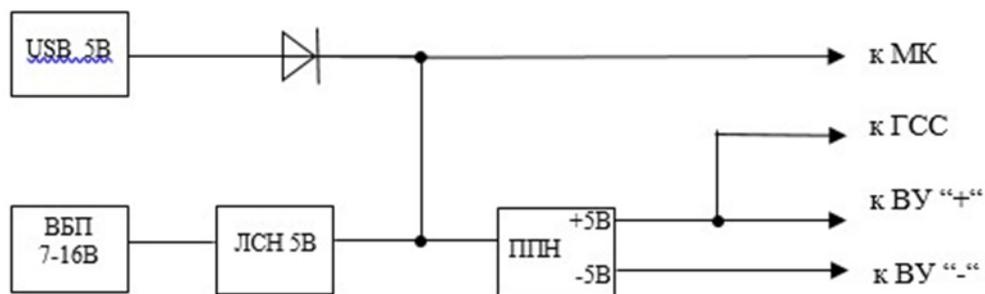


Рис.3. Функциональная схема реализации электропитания программируемого генератора синусоидального сигнала.

Питание устройства осуществляется двумя способами: через порт USB (5В) или через порт для внешнего блока питания в диапазоне напряжений от 7 до 16В.

В случае использования внешнего блока питания задействуется линейный стабилизатор напряжения на 5В AMS1117 (интегрирован в модуль МК).

Импульсный преобразователь постоянного напряжения на базе микросхемы XL6007 (DA2 – см. рис.2) имеет корпус PLA, обеспечивает дополнительные стабилизированные линии питания +5В и -5В для операционного усилителя (DA3.1 – см. рис. 2). Преобразователь имеет входное напряжение 3 – 4,5 В, коэффициент пульсации 80 мВ и точность вывода $\pm 0,1$ В [13]. Линии питания не зависят от перепадов входного напряжения, таким образом, обеспечивается стабильность амплитуды выходного сигнала.

На основе разработанной принципиальной схемы был изготовлен лабораторный прототип программируемого генератора (рис.4). Габаритные размеры корпуса прибора составили: длина 107 мм, ширина 50 мм, высота 35 мм. В сравнении с ГЗ-111 размеры спроектированного генератора в 4 раза меньше, а корпус выполнен при помощи 3D-печати.

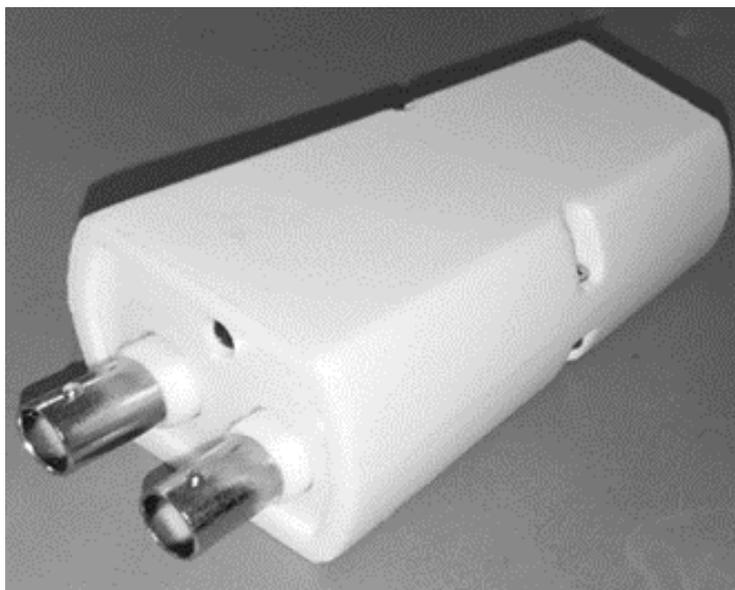


Рис. 4. Фотография лабораторного прототипа программируемого генератора.

Для управления спроектированным генератором была разработана программа на языке C++, позволяющая задавать значение частоты выходного сигнала. Она же позволяет проанализировать значение этой частоты на выходе генератора с целью определить соответствие заданного и полученного значений.

Заключение

Таким образом, авторами представлен спроектированный ими программируемый генератор синусоидального сигнала, построенный на современной элементной базе. Управление генератором осуществляется с использованием разработанного программного обеспечения. Проведенные тестовые испытания лабораторного прототипа показали, что точность задаваемой частоты выходного сигнала соответствует 1 Гц, в диапазоне от 5 до 6 кГц. К генератору возможно подключать одновременно два устройства. Габаритные характеристики лабораторного образца в 4 раза ниже габаритных характеристик ранее использовавшегося генератора ГЗ-111. Разработанный генератор прошел успешные испытания в составе прибора РНН-590.

1. BaSi₂ – перспективный материал для фотоэлектрических преобразователей / В.Л. Дубов, Д.В. Фомин // Успехи прикладной физики – 2016, – Т. 4, №6 – С.599-605.

2. Comparison of crystal and phonon structures for polycrystalline BaSi₂ films / N.G. Galkin, D.V. Fomin, V.L. Dubov, S.A. Pyachin, A.A. Burkov // Defect and Diffusion Forum Submitted: 2018-07-16ISSN: 1662-9507, Vol. 386. – P. 48-54.

3. Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-111. Техническое описание и инструкция по эксплуатации СЖП 66 8613 ОШ Утвержден: ЕХЗ.26К1Й8 ТО – ЛУ. – 1985. – С. 4-47.

4. Григорьев, А.А. Анализ физических процессов износа электрических контактов коммутационных низковольтных аппаратов / А.А. Григорьев, М.А. Ваткина // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. – 2014. – №2 (82). – С.3-13.

5. Устройство для автоматического переключения источников питания нагрузки / Д.В. Фомин, Д.О. Струков, А.В. Поляков // Вестник Амурского государственного университета. Серия «Естественные и экономические науки». – 2022. – №97. – С. 54-58.

6. Компьютерное прототипирование устройства регистрации оптических свойств терморегулирующих покрытий / Д.В. Фомин, Р.А. Бузиков, А.Е. Воронков [и др.] // Вестник Амурского государственного университета. Серия «Естественные и экономические науки». – 2023. – №101. – С. 50-59.

7. CH340E datasheet [Электронный ресурс] / <http://wch.cn/> – 2017. – Режим доступа: <https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/1817212/WCH/CH340E.html> – Дата доступа: 15.03.2024.

8. ADuM1200/ADuM1201 datasheet [Электронный ресурс] / www.analog.com – 2021. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/721/DOC028721238.pdf> – Дата доступа: 15.03.2024.

9. Arduino Pro Mini [Электронный ресурс] / arduino.cc – 2017. – Режим доступа: <https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardProMini> – Дата доступа: 16.03.2024.

10. Щепотьев, И.А. Лабораторный стенд для генерации сетки частот на базе микроконтроллера / И.А. Щепотьев, Г.С. Воронков // Молодежный вестник УГАТУ. – 2023. – №2(28). – С. 153-157.

11. AD9833 datasheet [Электронный ресурс] / [site:analog.com](http://site.analog.com). – 2017. – Режим доступа: <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/AD9833.pdf>. – Дата доступа: 14.03.2024.

12. Lm358 datasheet [Электронный ресурс] / alldatashit.com. – 2017. – Режим доступа: <https://html.alldatasheet.com/htmlpdf/3067/MOTOROLA/LM358/256/1/LM358.html>. – Дата доступа: 15.03.2024.

13. XL6007 datasheet [Электронный ресурс] / www.xlsemi.com. – 2018. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132228/XLSEMI/XL6009.html>. – Дата доступа: 17.03.2024.