

## ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СЕТКИ ЧАСТОТ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

И. А. ЩЕПОТЬЕВ<sup>1</sup>, Г. С. ВОРОНКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ivan.alexandrovich99@gmail.ru, <sup>2</sup>voronkov.gs@ugatu.su

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ)

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам синтеза частот для сенсорных устройств интернета вещей. Проведен анализ схем генерации гармонических колебаний с возможностью управления частотой, выбран наиболее подходящий вариант для решения задачи. Представлен вариант исполнения стенда для генерации гармонического синусоидального сигнала на базе микроконтроллера *Arduino Nano* и *DDS*-модуля *AD9833*.

**Ключевые слова:** синтез частот, генерация, микроконтроллер, сигнал, испытательный стенд, *IoT*.

### ВВЕДЕНИЕ

При разработке простейших элементов для систем интернета вещей (*IoT*, *Internet of Things*) очень часто используются простые и удобные в программировании контроллеры на *Arduino* на основе микроконтроллеров *Atmega*. Несмотря на высокую производительность, позволяющую реализовывать в том числе алгоритмы машинного обучения [1, 2] и возможность обработки как цифровых, так и аналоговых сигналов, функционал этих устройств ограничен невозможностью получения сетки стабильных гармонических колебаний, необходимых в ряде приложений *IoT*, в том числе – для датчиков емкостного характера, регистрирующих изменения наблюдаемых параметров окружающей среды за счет изменения напряжения на колебательном контуре. В случае необходимости синтеза частот разработчики полагаются на внешние устройства, управляемые в цифровой или аналоговой форме микроконтроллером [3].

Целью работы является создание испытательного стенда для генерации сигналов амплитудой 5 В и возможностью управления частотой в диапазоне от 0 Гц до 10 кГц.

### АНАЛИЗ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ ЧАСТОТ

Синтезатор частот – это устройство, позволяющее сформировать из опорной частоты необходимую частоту на выходе электронного устройства [4].

Существуют следующие методы реализации синтеза частот:

Прямой аналоговый синтез (ПАС, *DAS*) – это синтез, в основе которого лежит структура смеситель/фильтр/делитель, при которой частота на выходе синтезируется непосредственно из опорной частоты посредством операций смещения, фильтрации, умножения и деления [4].

Недостатками являются: высокое энергопотребление, структура функционирования вносит побочные составляющие, сказывающиеся на чистоте спектра.

Косвенный синтез – это синтез, принцип работы которого основан на автоматической фазовой подстройке частоты (ФАПЧ, *PLL – Phase-locked loop*), при котором частота на выходе формируется с помощью дополнительного генератора. Чаще всего используется генератор, управляемый напряжением (ГУН), охваченный петлей ФАПЧ [4].

Косвенный синтез частот имеет следующие недостатки: низкая скорость быстрогодействия и низкая скорость перестройки частоты в заданном диапазоне.

---

*Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (код научной темы #FEUE-2021-0013, соглашение № 075-03-2023-119) в молодежной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».*

Прямой цифровой синтез частоты (ПЦСЧ, *DDS – Direct digital synthesis*) – это синтез, при котором частота на выходе синтезируется путем генерации последовательности цифровых отсчетов [5].

Недостатки: высокое энергопотребление и наличие паразитных частот.

Также существует так называемый гибридный синтез, в основе которого лежит комбинация с одним или несколькими методами синтеза частоты, которые были упомянуты выше.

Проведя анализ всех возможных методов исполнения синтезатора частот, было принято решение остановиться на прямом цифровом синтезе на основе схемы с *DDS-модулем*, которая имеет высокие прецизионные показатели перестройки и генерации частот, а также наилучшее быстродействие.

### СХЕМА СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ DDS-МОДУЛЯ

В качестве головного устройства в макетном варианте, выполняющего вышеобъявленные функции, используется микроконтроллер *Arduino*, далее планируется внедрять промышленный микроконтроллер *STM32*, обладающий явным преимуществом над *Arduino*. Микроконтроллер осуществляет управление *DDS-модулем AD9833*, непосредственно генерирующим гармонические сигналы.

Собрав макетную плату генератора синусоидального сигнала, мы получили сигнал амплитудой 250 мВ, что гораздо меньше требуемого значения в 5 В. Исходя из этого было принято решение дополнить схему 2 усилительными каскадами, обеспечивающими необходимый коэффициент усиления, равный 20.

Структурная схема, отражающая принцип работы стенда, выглядит следующим образом.

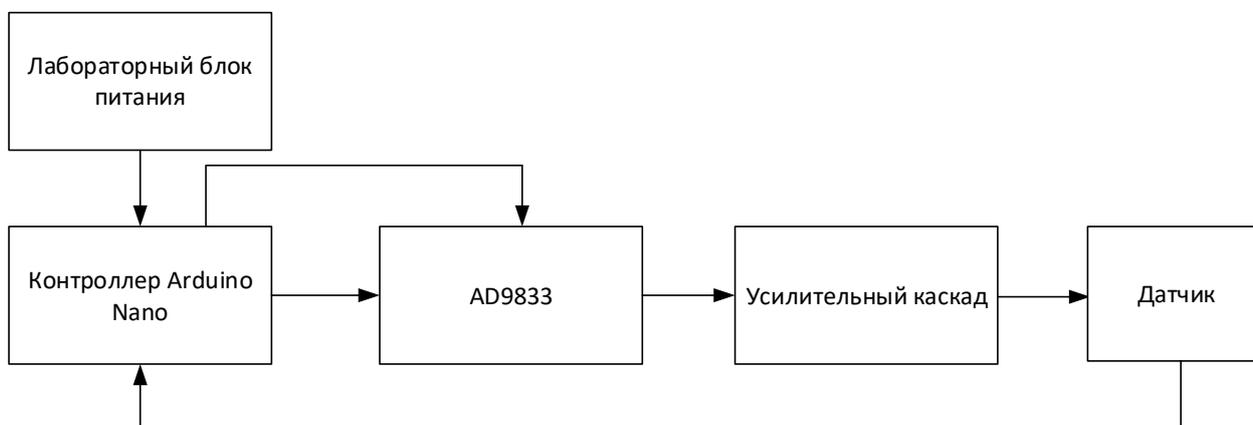


Рис. 1. Структурная схема

С лабораторного блока питания напряжение 5В подается на контроллер *Arduino Nano*, а также модуль *AD9833*.

Далее, с микроконтроллера подается управляющее воздействие на *DDS-модуль*. После чего микросхема *AD9833* синтезирует сигнал с необходимой частотой, усилительный каскад, позволяет добиться необходимо уровня сигнала.

Ниже представлена структурно-функциональная схема, поясняющая принцип работы испытательного стенда.

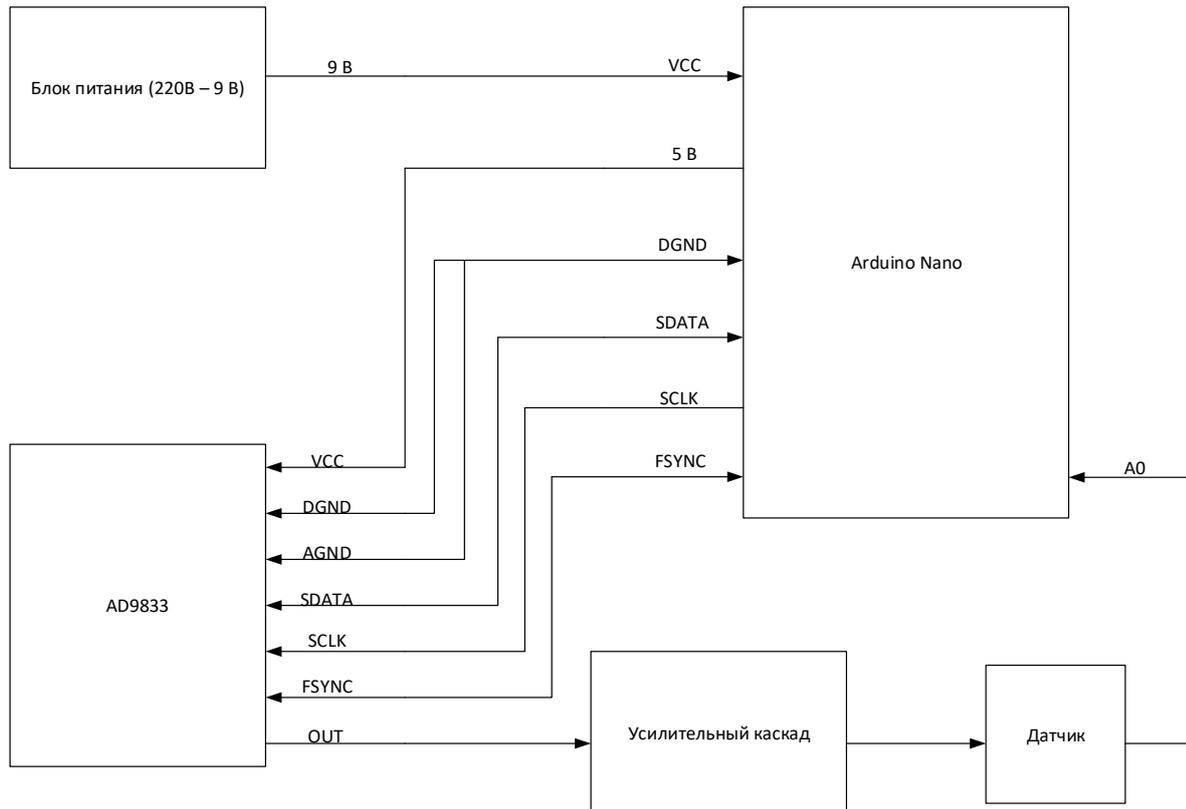


Рис. 2. Структурно-функциональная схема

*FSYNC* – предоставляет возможность задать *DDS-модуль*, как ведомое устройство.

*SDATA* – предоставляет возможность задать микроконтроллер *Arduino*, как ведущее устройство.

*SCLK* – необходимо для того, чтобы подавать тактовый сигнал, в нашем случае цифровой код, для регулирования и настраивания синтезируемой частоты на выходе устройства.

*A0* – необходимо для считывания показаний с датчика.

Как видно из схем, у нас присутствует усилительный каскад, который служит для подстройки амплитуды синусоидального сигнала на выходе синтезатора частот до необходимых нам величин.

Принципиальная схема усилительных каскадов представлена на рис. 3.

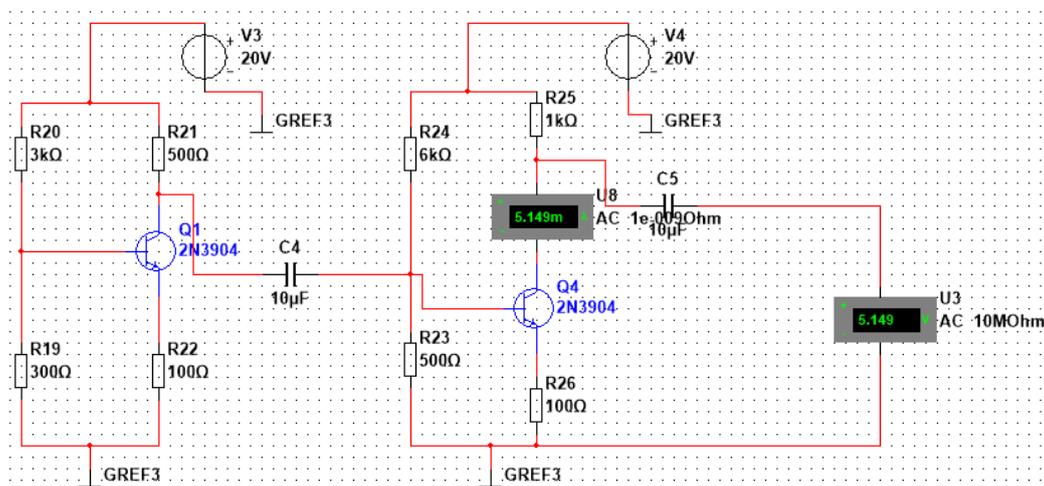


Рис. 3. Принципиальная схема

На рис. 4 приведен фрагмент кода микроконтроллера в среде Arduino IDE, реализующего вышеописанную логику.

```
#include <SPI.h>

void setup() {
  SPI.begin();
  WriteAD9833(0x2100); //0010 0001 0000 0000 - Reset + DB28
  WriteAD9833(0x50C7); //0101 0000 1100 0111 - Freq0 LSB (4295)
  WriteAD9833(0x4000); //0100 0000 0000 0000 - Freq0 MSB (0)
  WriteAD9833(0xC000); //1100 0000 0000 0000 - Phase0 (0)
  WriteAD9833(0x2000); //0010 0000 0000 0000 - Exit Reset
}

void WriteAD9833(uint16_t Data){
  SPI.beginTransaction(SPI_Settings(SPI_CLOCK_DIV2, MSBFIRST, SPI_MODE2));
  digitalWrite(SS, LOW);
  delayMicroseconds(1);
  SPI.transfer16(Data);
  digitalWrite(SS, HIGH);
  SPI.endTransaction();
}

void loop() {
  WriteAD9833(0x2000); //0010 0000 0000 0000 - Синусоидальный сигнал
  delay(5000);
}
```

Рис. 4. Фрагмент кода программы микроконтроллера

Результат работы макета стенда представлен на рис. 5.

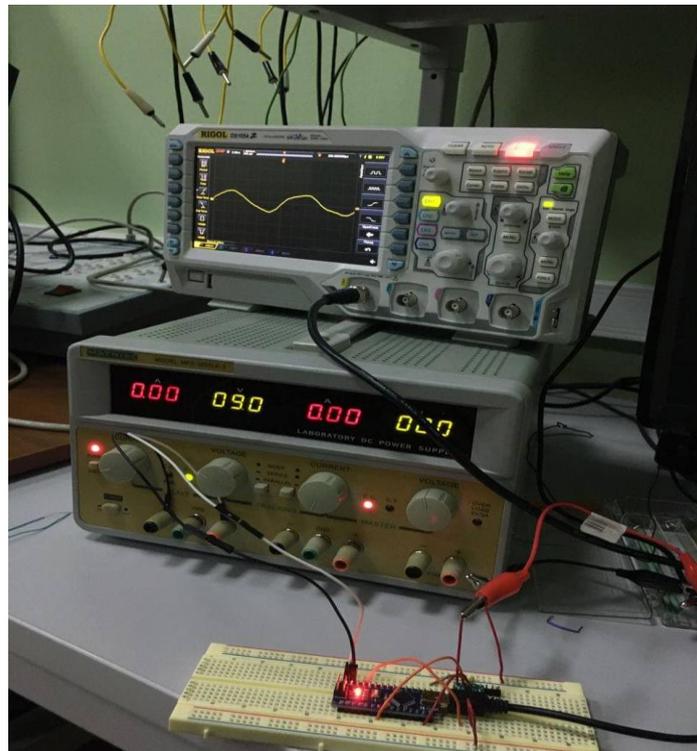


Рис. 5. Результат работы.

Сигнал синусоидальной формы на выходе получился искаженным ввиду отсутствия фильтрующих конденсаторов напряжения питания, а также в цепи усилителя на основе транзисторов, в котором не представилось возможным найти разделительные конденсаторы на входе каскадов и конденсаторы, стоящие в цепи эмиттера, необходимого номинала.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен макет схемы синтезатора частот с точностью установки частоты до 0,1 Гц при опорной частоте 25 МГц для работы с емкостными датчиками системы интернета вещей. Результаты макетирования показали, что схему необходимо дополнить перестраиваемой выпрямительной цепью на входе А0, а также доработать усилительный каскад: избавиться от транзисторов в пользу операционных усилителей для того, чтобы избежать излишнего загромаждения схемы, а также повысить ее надежность; сделать усилитель управляемым посредством микроконтроллера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lopez-Rodriguez F. M., Cuesta F. An android and arduino based low-cost educational robot with applied intelligent control and machine learning //Applied Sciences. 2021. Т. 11. №. 1. С. 48.
2. Warden P., Situnayake D. Tinyml: Machine learning with tensorflow lite on arduino and ultra-low-power microcontrollers. O'Reilly Media, 2019.
3. Shostko I., Butov B. Laboratory model communication systems with a frequency hopping //2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications// Science and Technology (PIC S&T). IEEE. 2017. С. 355-358.
4. Теплов В.Ю., Садыков А.А., Латыпов Р.Р., Кириллов Р.С., Шерстюков О.Н. Методы синтеза частоты. Казань, 2015. С. 4-7.
5. Ридико Л. Компоненты и технологии. DDS – прямой цифровой синтез частоты. 2001. № 7.
6. AD9833 (Rev. G) data-sheets: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9833.pdf> (Дата обращения: 19.02.2022).

### ОБ АВТОРАХ

**ЩЕПОТЬЕВ Иван Александрович**, магистрантка 2-го курса АВИАТ.

**ВОРОНКОВ Григорий Сергеевич**, доцент, старший научный сотрудник каф. ТС АВИАТ.

### METADATA

**Title:** Test bench for generating a frequency grid based in a microcontroller.

**Authors:** I. A. Schepotye<sup>1</sup>, G. S. Voronkov<sup>2</sup>

**Affiliation:** Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>ivan.alexandrovich99@gmail.com, <sup>2</sup>voronkov.gs@ugatu.su.

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (28), pp. 153-157, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The article is devoted to the frequency synthesis design for IoT sensor devices. The analysis of schemes for generating harmonic oscillations with the possibility of frequency control was carried out, the most suitable option for solving the problem was chosen. A version of the test bench for generating a harmonic sinusoidal signal based on the Arduino Nano microcontroller and the AD9833 DDS module is presented.

**Key words:** frequency synthesis; generation; microcontroller; signal; test bench; IoT.

**About authors:**

**SCHEPOTYEV, Ivan Alexandrovich**, postgraduate student, Ufa University of Science and Technology.

**VORONKOV, Gregory Sergeevich**, senior researcher, docent, Ufa University of Science and Technology.