

ДВУХФАЗНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO И СИНТЕЗАТОРОВ AD9834

Кулаков Владимир Геннадьевич
SPIN РИНЦ: 2111-7702

Контакт с автором: kulakovvlge@gmail.com

Данная статья продолжает тему о двухфазных высокочастотных генераторах синусоидальных сигналов. В статье рассматривается конструкция генератора, в котором возможность плавной перестройки разности фаз выходных сигналов обеспечивается при помощи энкодера.

Генератор построен на основе контроллера Arduino и двух одностипных синтезаторов сигналов AD9834. Он работает на фиксированной частоте 12 МГц и предназначен для проведения экспериментов с вращающимся магнитным полем.

Структурная схема двухфазного генератора синусоидальных сигналов с возможностью плавной регулировки разности фаз приведена на рисунке 1. В состав схемы входят энкодер Э, микроконтроллер МК, логический ключ К, генератор тактовых импульсов ГТИ, цифровые синтезаторы сигналов С1 и С2, высокочастотные усилители УВЧ1 и УВЧ2, Т-образные фильтры с кварцевыми резонаторами Ф1 и Ф2, а также буферные усилители БУ1 и БУ2.

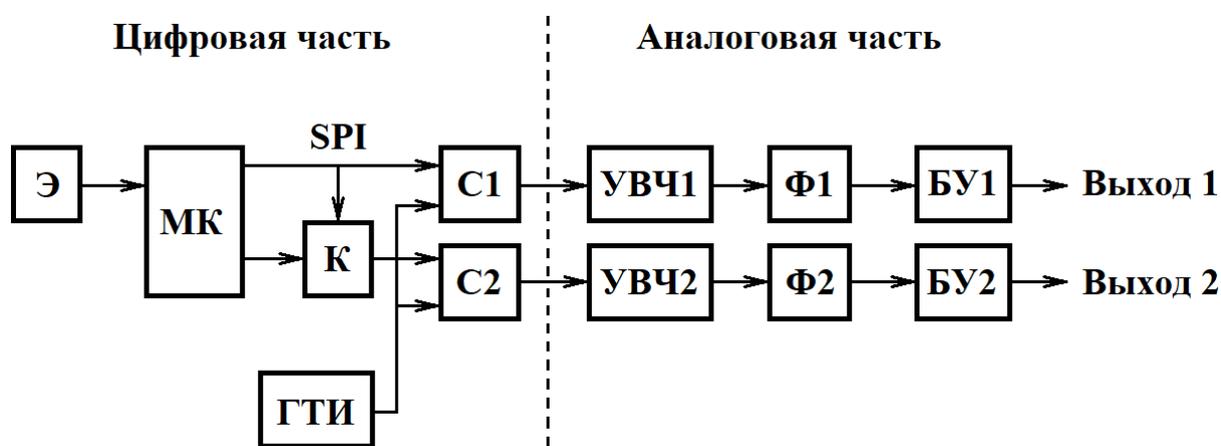


Рисунок 1. Структурная схема генератора

В структуре генератора можно выделить цифровую и аналоговую части, а аналоговую часть – разделить на два идентичных друг другу канала.

Рассмотрим вначале цифровую часть схемы. Принципиальная схема цифровой части генератора приведена на рисунке 2.

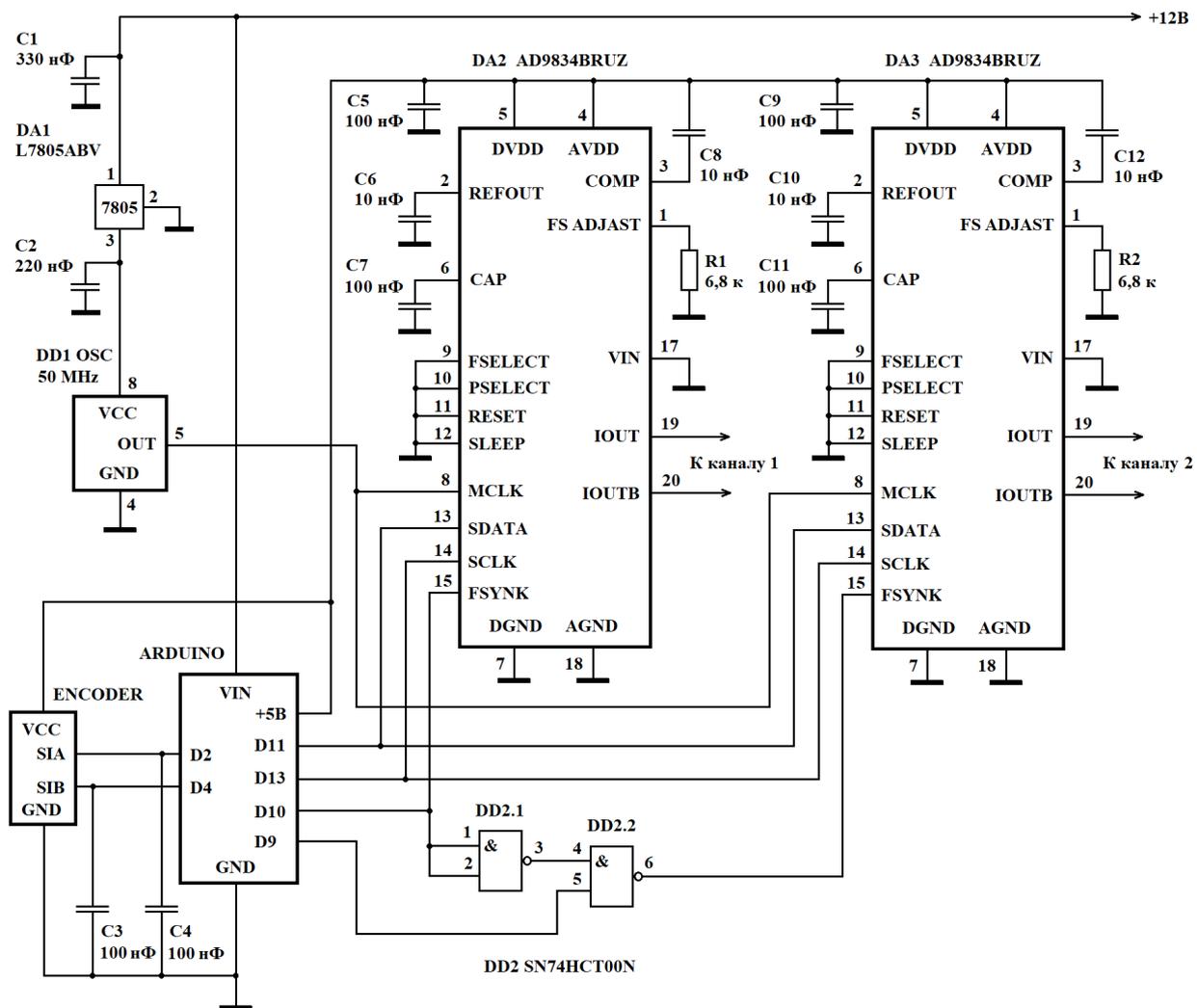


Рисунок 2. Принципиальная схема цифровой части генератора

Для регулировки разности фаз выходных сигналов используется энкодер Э, сигнал с которого поступает на микроконтроллер Arduino, управляющий работой синтезаторов сигналов.

Цифровой синтезатор AD9834, выпускаемый корпорацией Analog Devices, способен формировать сигналы синусоидальной формы с частотой от 0 до 37,5 МГц. Программирование частоты и фазы выходного сигнала синтезатора осуществляется с внешнего микроконтроллера по интерфейсу SPI.

После включения питания генератора микроконтроллер по интерфейсу SPI выполняет предварительную настройку синтезаторов сигналов C1 и C2, построенных на основе микросхем AD9834, задавая обоим микросхемам совершенно одинаковые значения частоты и фазы выходного сигнала: частота составляет 12 МГц, сдвиг по фазе равен нулю. Однако следует отметить, что разность фаз выходных сигналов генератора при этом может измеряться десятками градусов вследствие довольно большого случайного разброса значений электрических параметров последующих аналоговых элементов схемы.

Оба синтезатора получают синхросигналы с частотой 50 МГц от одного и того же генератора тактовых импульсов ГТИ, построенного на основе высокостабильного кварцевого генератора. Напряжение питания +5В, необходимое для работы энкодера и синтезаторов, обеспечивает стабилизатор, встроенный в контроллер Arduino.

Первоначально микроконтроллер подает на вход логического ключа К высокий уровень сигнала, поэтому ключ открыт и данные по интерфейсу SPI получают оба синтезатора. После завершения предварительной настройки контроллер подает на вход ключа низкий уровень и ключ закрывается, блокируя тем самым подачу сигнала выбора ведомого устройства SPI на второй синтезатор. В дальнейшем информация об изменении величины сдвига по фазе подается только на первый синтезатор.

Логический ключ К построен из двух логических элементов DD2.1 и DD2.2 типа И-НЕ, входящих в состав микросхемы SN74НСТ00N (используются только два элемента из четырех). Питание +5В подается на вывод 14 данной микросхемы с выхода стабилизатора DA1, а вывод 7 микросхемы должен быть присоединен к земле.

Сигналы с выходов синтезаторов поступают на аналоговые каналы генератора. Схема одного из двух аналоговых каналов приведена на рисунке 3.

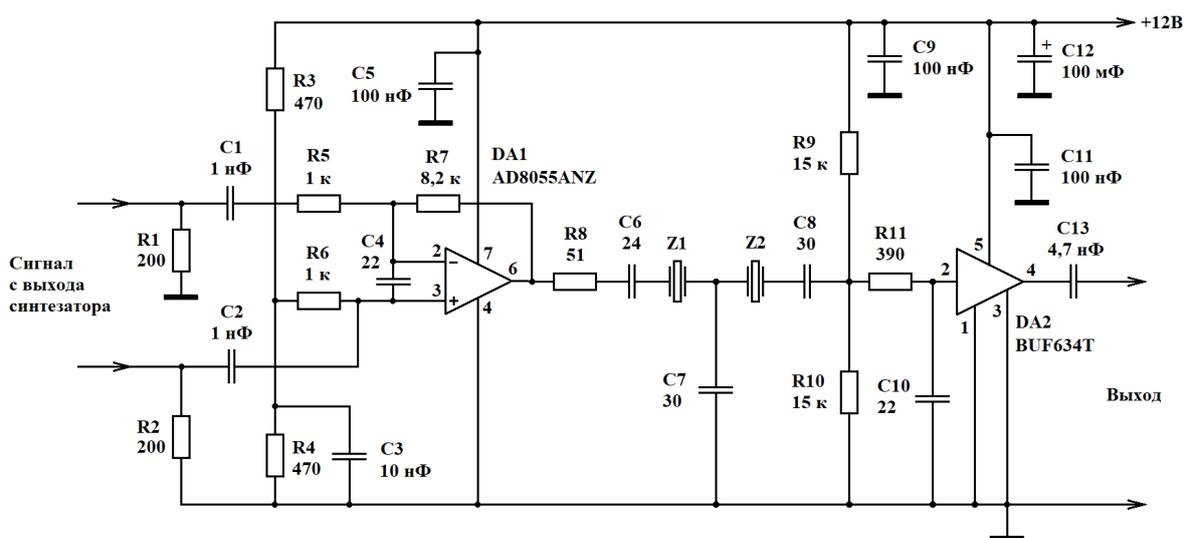


Рисунок 3. Принципиальная схема аналогового канала генератора

Сигнал на выходе синтезатора при частоте 12 МГц имеет форму, весьма далекую от синусоиды (рисунок 4). Поэтому усилитель DA1, построенный на основе микросхемы типа AD8055, выполняет преобразование сигнала, поступающего от синтезатора, в трапециевидную форму (рисунок 5). Далее сигнал подается на Т-образный фильтр, построенный на основе кварцевых резонаторов Z1 и Z2 типа НС-49U с номинальной частотой 12 МГц и выполняющий преобразование сигнала в синусоидальную форму. Затем сигнал усиливается по мощности буферным усилителем на основе микросхемы BUF634T, после чего передается на выход канала.



Рисунок 4. Форма сигнала на выходе синтезатора при частоте 12 МГц

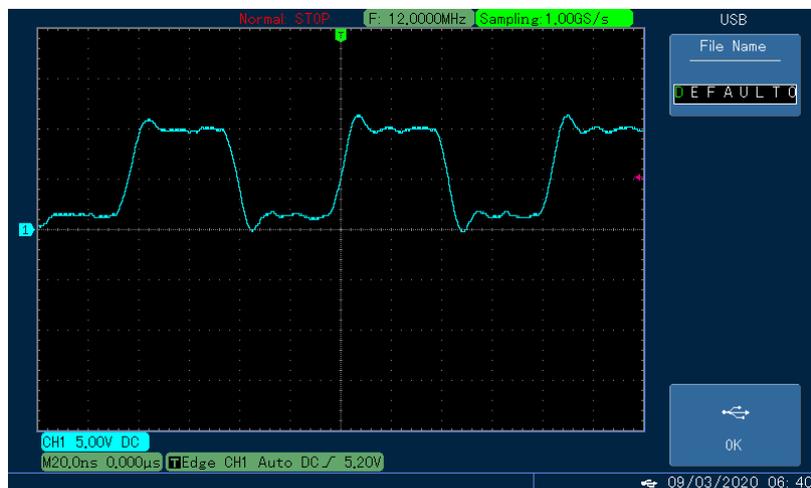


Рисунок 5. Форма сигнала на выходе усилителя DA1

Программа, управляющая работой микроконтроллера приведена в листинге 1.

Листинг 1. Программа, управляющая работой микроконтроллера

```
#include <SPI.h>
#define pin_CTRL 9 // Выход управления
#define pin_CLK 2 // Энкодер - пин А
#define pin_DT 4 // Энкодер - пин В
#define PosLim 180 // Ограничитель изменения положения энкодера

const float fgen = 5.0E7; // частота сигнала ГТИ, Гц
volatile long Position = 0; // текущее значение положения энкодера
long oldPosition = 0; // предыдущее положение энкодера
```

```

// Процедура для обработки прерывания от энкодера
void EncoderRotate() {
    if (digitalRead(pin_CLK) == digitalRead(pin_DT)) {
        if(Position < PosLim) Position++;
    } else {if(Position > 0) Position--;}
}

// Процедура для передачи данных синтезатору AD9834
// через интерфейс SPI
void WriteAD9834(uint16_t Data){
    SPI.beginTransaction(SPISettings(SPI_CLOCK_DIV2,
        MSBFIRST, SPI_MODE2));
    digitalWrite(SS, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    SPI.transfer16(Data);
    digitalWrite(SS, HIGH);
    SPI.endTransaction();
}

void setup() {
    pinMode(pin_CTRL, OUTPUT);
    pinMode(pin_CLK, INPUT);
    pinMode(pin_DT, INPUT);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_CLK),
        EncoderRotate, RISING);

    // Открываем ключ
    digitalWrite(pin_CTRL, HIGH);
    // Запускаем интерфейс SPI
    SPI.begin();
    // Сбрасываем генераторы в исходное состояние
    WriteAD9834(0x2100);
    // Загружаем код частоты 12 МГц
    WriteAD9834(0x4A3D);
    WriteAD9834(0x4F5C);
    // Задаем сдвиг по фазе равным нулю
    WriteAD9834(0xC000);
    // Запускаем генераторы
    WriteAD9834(0x2000);
    // Закрываем ключ
    digitalWrite(pin_CTRL, LOW);
}

void loop() {
    if (oldPosition != Position)
    {
        // Запомним текущую позицию энкодера
        oldPosition = Position;
        // Вычисляем и загружаем новый код фазы в синтезатор
        WriteAD9834((Position*11) | 0xC000);
    }
}

```

Код K , соответствующий частоте 12 МГц, вычисляется и загружается в синтезаторы сигналов один раз, при запуске генератора. Так как тактовый сигнал имеет частоту 50 МГц, то код K вычисляется следующим образом:

$$K = 12000000 \times 2^{28} / 50000000 \approx 64424509.$$

В шестнадцатеричной форме код K имеет значение 0x3D70A3D.

Полученный результат должен быть разделен на две части, содержащие по 14 двоичных разрядов. К каждой из этих частей нужно добавить два старших разряда, содержащие код нулевого регистра частоты синтезатора FREQ0, а затем обе части кода поочередно следует загрузить в синтезатор.

Затем в нулевые регистры фазы PHASE0 синтезаторов загружается код, означающий отсутствие сдвига по фазе.

Далее контроллер переходит в бесконечный рабочий цикл, внутри которого проверяется изменение положения энкодера. При повороте ручки энкодера в ту или иную сторону генерируется прерывание и контроллер либо увеличивает, либо уменьшает значение переменной-счетчика положения энкодера Position. После любого изменения значения данной переменной контроллер вычисляет код смещения по фазе и загружает его в регистр PHASE0 синтезатора AD9834 первого канала генератора.

Для того, чтобы получить шаг изменения фазы в один градус (приблизительно) нужно умножить значение Position на 11.

Форма сигнала на выходе генератора при разности фаз 90 градусов показана на рисунке 6. Амплитуда выходного сигнала составляет 3,8 В.

Примечание: для того, чтобы обеспечивать одинаковую амплитуду сигналов на выходах обоих каналов, нужно подбирать значение сопротивления резистора R11 на входе буферного усилителя второго канала.

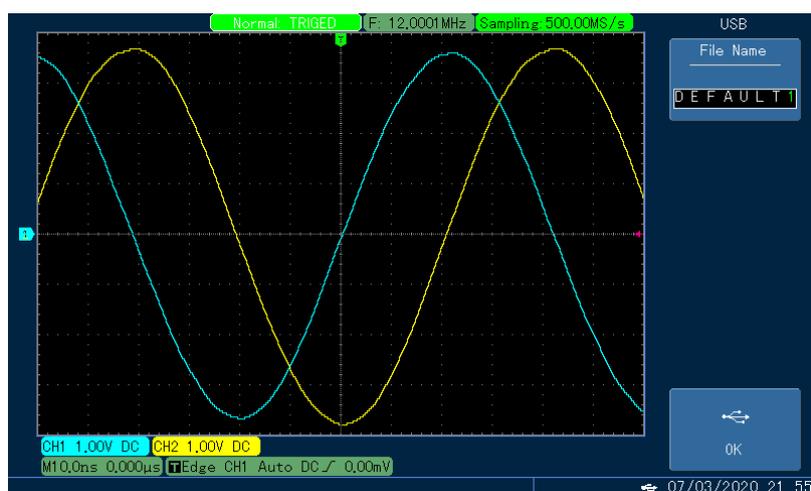


Рисунок 6. Осциллограмма сигнала на выходе генератора при разности фаз 90 градусов

На рисунке 7 приведена форма фигуры Лиссажу при разности фаз 90 градусов. Синтезаторы AD9834 в принципе могут обеспечить регулировку фазы выходного сигнала с точностью до 0,1 градуса, но при использовании для настройки генератора метода Лиссажу такая точность не нужна, так как сам метод является довольно грубым.



Рисунок 7. Форма фигуры Лиссажу при разности фаз 90 градусов

Примечание: буферные усилители BUF634T должны быть снабжены радиаторами охлаждения площадью на менее 4 см².

Список использованной литературы

1. 20 mW Power, 2.3 V to 5.5 V, 75 MHz Complete DDSAD9834, Rev. D – Analog Devices, Inc., 2014.
2. AN-1070 application note. Programming the AD9833/AD9834 by Liam Riordan – Analog Devices, Inc., 2010.
3. Кулаков В.Г. Имитация поля вращающегося магнита при помощи рамочных антенн. [Электронный ресурс]. URL: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/200525085323.pdf> (дата обращения: 25.05.2020).
4. Кулаков В.Г. Задача об электромагнитном поле, вращающемся с высокой частотой. [Электронный ресурс]. URL: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/200528102916.pdf> (дата обращения: 28.05.2020).
5. Кулаков В.Г. О реакции фильтров, построенных на основе резонаторов, на поступление последовательности прямоугольных импульсов. [Электронный ресурс]. URL: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/200704075708.pdf> (дата обращения: 04.07.2020).
6. Кулаков В.Г. Применение резонаторов для преобразования импульсного сигнала в синусоидальный // Символ науки. 2020. №9. С. 19-22.
7. Кулаков В.Г. Генератор на микросхеме AD9833 с инкрементальным энкодером. [Электронный ресурс]. URL: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/200810082331.pdf> (дата обращения: 10.08.2020).

8. Кулаков В.Г. Высокочастотный генератор на микросхеме AD9833 с многозвенным RC-фильтром. [Электронный ресурс]. URL: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/200820074529.pdf> (дата обращения: 20.08.2020).
9. Кулаков В.Г. Высокочастотный генератор двухфазного синусоидального сигнала с фазовращателями на RC-цепочках. [Электронный ресурс]. URL: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/201028083654.pdf> (дата обращения: 28.10.2020).
10. Кулаков В.Г. Высокочастотный генератор на основе синтезатора AD9834. [Электронный ресурс]. URL: <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/210319091654.pdf> (дата обращения: 19.03.2021).

© В.Г. Кулаков, 2021