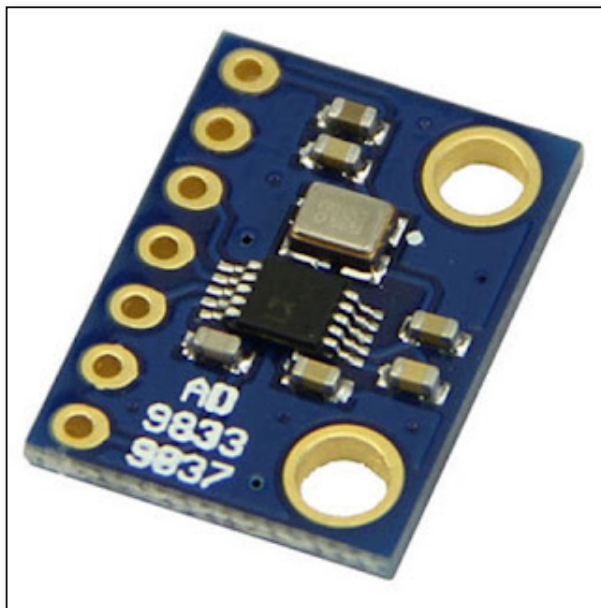


Генератор сигналов на AD9833



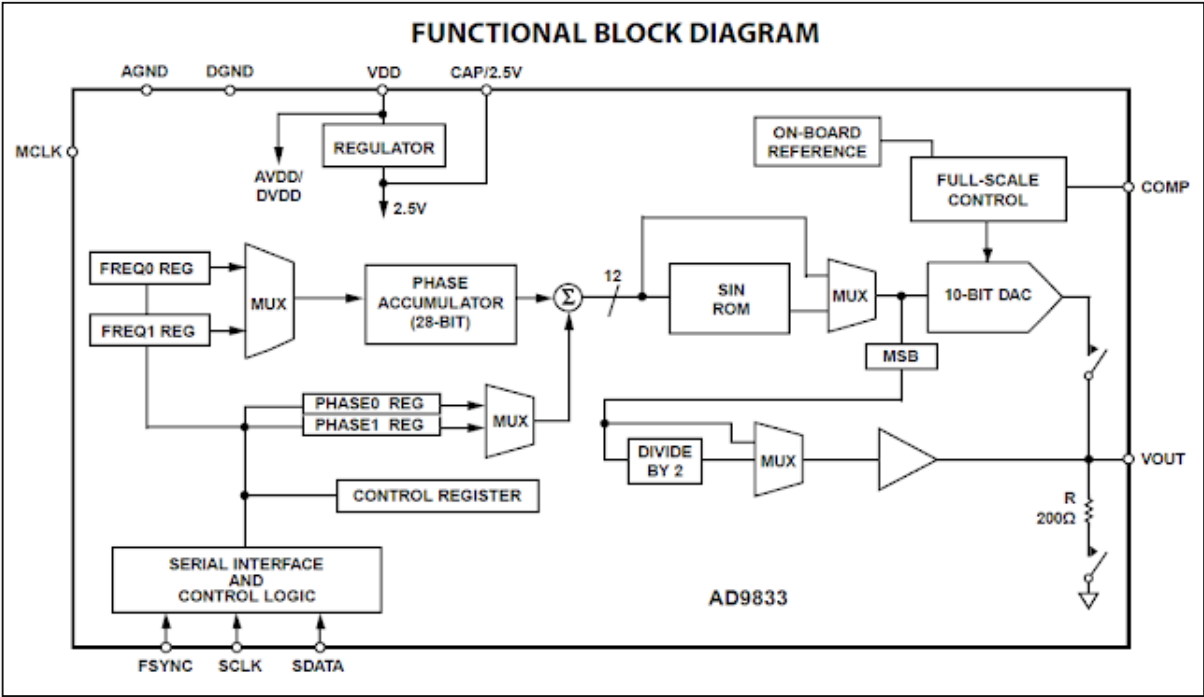
AD9833 - это программируемый генератор сигналов с низким энергопотреблением. Позволяет генерировать сигналы с частотой до 12.5 МГц синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы. Программирование осуществляется с использованием трехпроводного интерфейса SPI и не составляет труда. Ниже приведены основные характеристики микросхемы:

- Цифровое программирование частоты и фазы.
- Потребляемая мощность 12.65 мВт при напряжении 3 В.
- Диапазон выходных частот от 0 МГц до 12.5 МГц.
- Разрешение 28 бит (0.1 Гц при частоте опорного сигнала 25 МГц).
- Синусоидальные, треугольные и прямоугольные выходные колебания.
- Напряжение питания от 2.3 В до 5.5 В.
- Трехпроводной интерфейс SPI.
- Расширенный температурный диапазон: от -40°C до $+105^{\circ}\text{C}$.
- Опция пониженного энергопотребления.

Более подробную информацию вы можете найти в [даташите](#). В характеристиках также заявлено, что микросхема не требует внешних компонентов, но здесь производитель лукавит: обвязка и источник опорной частоты все же нужны. На Али продаются модули AD9833 с необходимой обвязкой и кварцевым генератором на 25 МГц, как раз с таким модулем я и собираюсь экспериментировать. Данный модуль имеет следующие выводы:

- VCC – плюс питания для цифровых и аналоговых цепей генератора.
- DGND – цифровая земля.
- SDATA – вход данных интерфейса SPI. Передача осуществляется 16-битными словами.
- SCLK – вход тактового сигнала SPI. Используется второй режим работы: (CPOL = 1, CPHA = 0).
- FSYNC – выбор микросхемы. Перед началом передачи данных должен быть установлен в 0, по завершении в 1.
- AGND – аналоговая земля.
- OUT – выход генератора.

Попробуем подключить этот модуль к Ардуино и научиться им управлять. Для начала ознакомимся с его функциональной схемой:

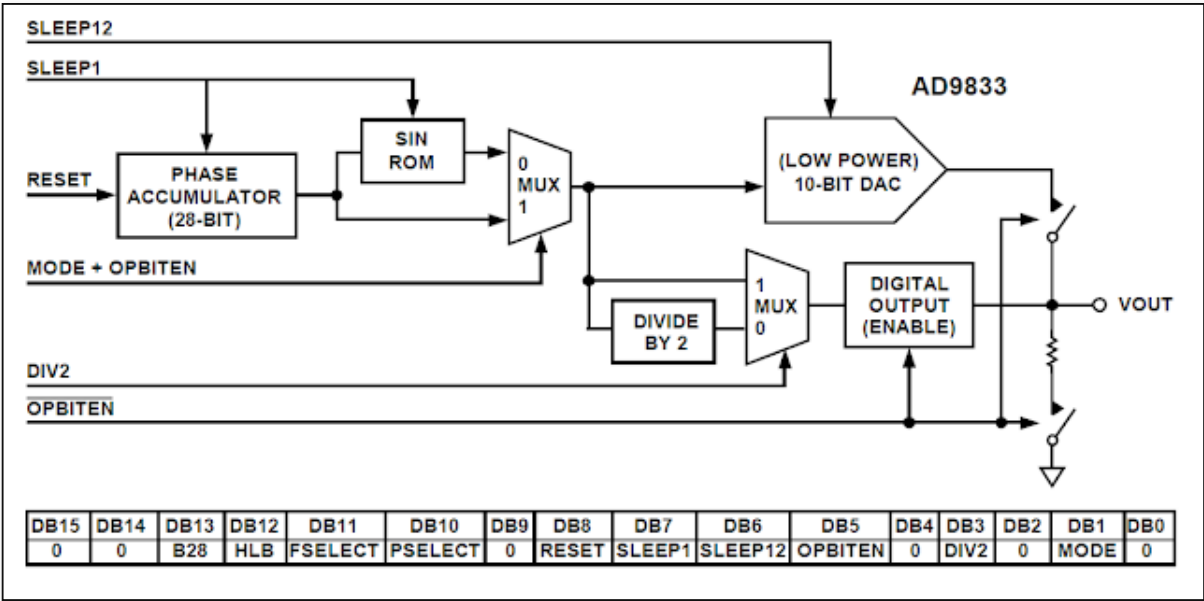


AD9833 состоит из следующих основных частей: два регистра выбора частоты, аккумулятор фазы, два регистра выбора фазы и сумматор смещения фазы (вместе эти компоненты составляют генератор с цифровым управлением - NCO), SIN ROM для преобразования информации о фазе в амплитуду и 10-разрядный цифро-аналоговый преобразователь.

Из схемы видно, что данные с интерфейса SPI передаются в управляющий регистр, регистры выбора фазы и частоты. Именно они определяют сигнал на выходе генератора. И программирование генератора сводится к изменению содержимого указанных регистров.

Управляющий регистр

Это 16-разрядный регистр, управляющий работой генератора. Подробное описание его битов приведено ниже в таблице. Схема из даташита также наглядно демонстрирует их назначение:



| Бит | Название | Назначение |
|-----|----------|------------|
|-----|----------|------------|

| | | |
|--------|----------------|---|
| 15, 14 | DB15, DB14 | Чтобы AD9833 понял, что принятое по SPI 16-битное слово содержит новое значение для управляющего регистра, два старших бита в слове должны быть установлены в 0. |
| 13 | B28 | Регистры частоты AD9833 имеют разрядность 28 бит, поэтому для изменения их содержимого требуется передача двух 16-битных слов. Однако в некоторых случаях требуется изменить только старшую или младшую часть регистра частоты. Здесь и используется данный признак: B28 = 1 говорит о том, что необходимо обновить регистр частоты целиком и его новое значение будет передано двумя последовательными записями. Первая запись содержит 14 младших бит, вторая 14 старших бит. Первые два бита в обеих записях определяют регистр частоты, в который будет записано передаваемое значение и должны быть одинаковыми. Обновление регистра частоты происходит после получения полного слова, поэтому запись промежуточного значения в регистр исключена. B28 = 0 позволяет обновить отдельно старшую или младшую часть регистра. Какая именно часть будет изменена определяется управляющим битом HLB. |
| 12 | HLB | Бит HLB определяет, какая из частей регистра частоты (младшая или старшая) будет перезаписана. Используется при B28 = 0. При B28 = 1 значение этого бита игнорируется. HLB = 1 позволяет обновить старшие 14 бит регистра частоты; HLB = 0 позволяет обновить младшие 14 бит регистра частоты. |
| 11 | FSELECT | Бит FSELECT определяет, какой из регистров используется в аккумуляторе фазы – FREQ0 или FREQ1. |
| 10 | PSELECT | Бит PSELECT определяет, данные какого из регистров PHASE0 или PHASE1 добавляются к выходу аккумулятора фазы. |
| 9 | Зарезервирован | Данный бит зарезервирован и должен быть установлен в 0. |
| 8 | RESET | RESET = 1 сбрасывает внутренние регистры генератора в 0. Сброс не затрагивает регистры управления, частоты и фазы. |
| 7 | SLEEP1 | При SLEEP1 = 1 запрещается внутреннее тактирование, приостанавливается работа NCO и выход генератора остается в своем текущем состоянии. При SLEEP1 = 0 тактирование разрешено. |
| 6 | SLEEP12 | При SLEEP12 = 1 отключается внутренний ЦАП. Это может быть полезно для генерации прямоугольных импульсов, при которой не требуется выполнение цифро-аналоговых преобразований. При SLEEP12 = 0 внутренний ЦАП активен. |
| 5 | OPBITEN | Данный бит вместе с битом MODE управляют выходом генератора. При OPBITEN = 1 внутренний ЦАП отключается от выхода VOUT и для генерации выходного сигнала используется значение старшего значащего бита с входа ЦАП, что позволяет получить на выходе генератора прямоугольные импульсы. |
| 4 | Зарезервирован | Данный бит зарезервирован и должен быть установлен в 0. |
| 3 | DIV2 | Используется в паре со значением OPBITEN = 1. При DIV2 = 1 значение старшего значащего бита данных с входа ЦАП подается напрямую на выход VOUT. DIV2 = 0 позволяет задействовать делитель частоты и уменьшить частоту выходного сигнала вдвое. При OPBITEN = 0 значение данного бита игнорируется. |
| 2 | Зарезервирован | Данный бит зарезервирован и должен быть установлен в 0. |
| 1 | MODE | Данный бит вместе с битом OPBITEN управляют выходом генератора. При OPBITEN = 1 бит MODE должен быть установлен в 0. Значение MODE = 0 позволяет получить на выходе генератора синусоидальный сигнал. При MODE = 1 на выходе будет треугольный сигнал. |
| 0 | Зарезервирован | Данный бит зарезервирован и должен быть установлен в 0. |

И для лучшего понимания назначения битов OPBITEN, MODE и DIV2 я приведу таблицу с их допустимыми комбинациями и формой результирующих сигналов на выходе:

| OPBITEN | MODE | DIV2 | Сигнал на выходе VOUT |
|---------|------|------|------------------------------|
| 0 | 0 | X | Синусоидальный |
| 0 | 1 | X | Треугольный |
| 1 | 0 | 0 | Прямоугольный с частотой F/2 |
| 1 | 0 | 1 | Прямоугольный с частотой F |
| 1 | 1 | X | Зарезервировано |

Регистры частоты и фазы

Генератор AD9833 имеет 2 регистра частоты и 2 регистра фазы разрядностью 28 бит и 12 бит соответственно.

Выбор активного регистра частоты осуществляется установкой управляющего бита FSELECT: при FSELECT = 0 активным является FREQ0; при FSELECT = 1 активен регистр FREQ1. Результирующая частота на выходе генератора определяется следующим образом:

$$(F_{\text{MCLK}} / 2^{28}) * \text{FREQREG},$$

где F_{MCLK} – это опорная частота, FREQREG – значение, загруженное в активный регистр частоты. Таким образом, если мы хотим получить на выходе генератора сигнал с частотой 400Гц при опорной частоте 25МГц, в активный регистр должно быть загружено значение:

$$\text{FREQREG} = F_{\text{OUT}} * 2^{28} / F_{\text{MCLK}} = 400\text{Гц} * 2^{28} / 25\text{МГц} \approx 4295$$

Для того чтобы загрузить значение FREQREG в регистр частоты необходимо старшие биты передаваемого по SPI значения установить в 01 для загрузки в FREQ0 или 10 для загрузки в FREQ1. Напомню, что общение с AD9833 осуществляется по SPI 16-битными словами.

Фаза выходного сигнала определяется следующим образом:

$$(2\pi / 2^{12}) * PHASEREG$$

соответственно, значение для регистра фазы вычисляется по формуле:

$$PHASEREG = PHASE * 2^{12} / 2\pi$$

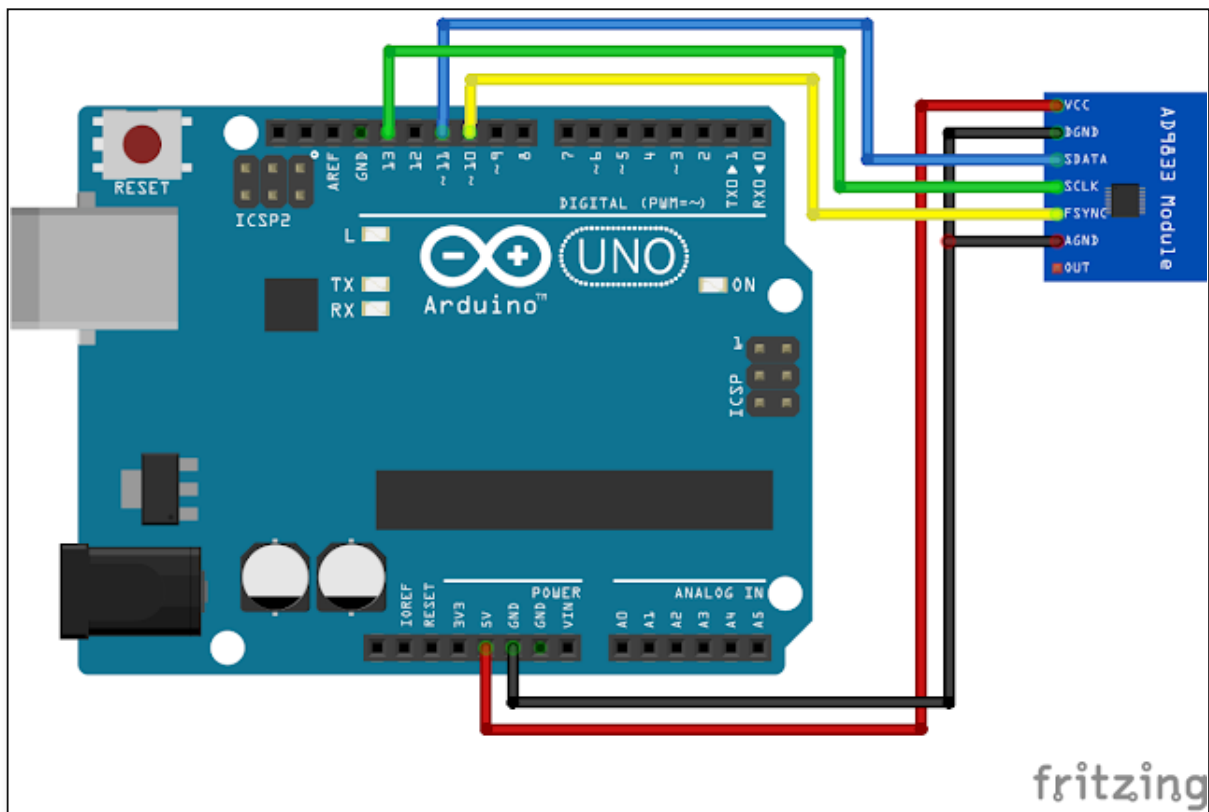
В приведенных формулах PHASEREG – это значение активного регистра фазы. Выбор активного регистра осуществляется установкой управляющего бита PSELECT: при PSELECT = 0 активным является PHASE0; при PSELECT = 1 активен регистр PHASE1.

При записи нового значения в регистр фазы старшие биты должны быть установлены в 11, а выбор регистра, в который должно быть записано значение, осуществляется установкой бита 13: при нулевом его значении будет обновлен регистр PHASE0; при установке указанного бита в 1 будет обновлен регистр PHASE1. 12й бит не используется, а биты с 0 по 11 содержат значение для регистра фазы.

Разрядность регистра частоты в 28 бит при опорной частоте 25МГц обеспечивает шаг 0.1Гц для установки частоты сигнала на выходе. А 12-битный регистр фазы обеспечивает разрешение $2\pi/4096$.

Тестовая программа для AD9833 на Ардуино

Теперь мы можем написать первую программу для AD9833. Схема подключения модуля AD9833 к Ардуино и скетч приведены ниже.



С подключением все просто: общение с модулем происходит по интерфейсу SPI, для которого на Ардуино отведены следующие пины:

D10 - SS (Slave Select - выбор ведомого), к нему подключаем вывод FSYNCS модуля.

D11 - MOSI (Master Out Slave In - выход ведущего, вход ведомого), к нему подключаем вывод SDATA.

D13 - SCK (Serial Clock - Тактовый сигнал), к нему подключаем вывод SCLK.

```
#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
}

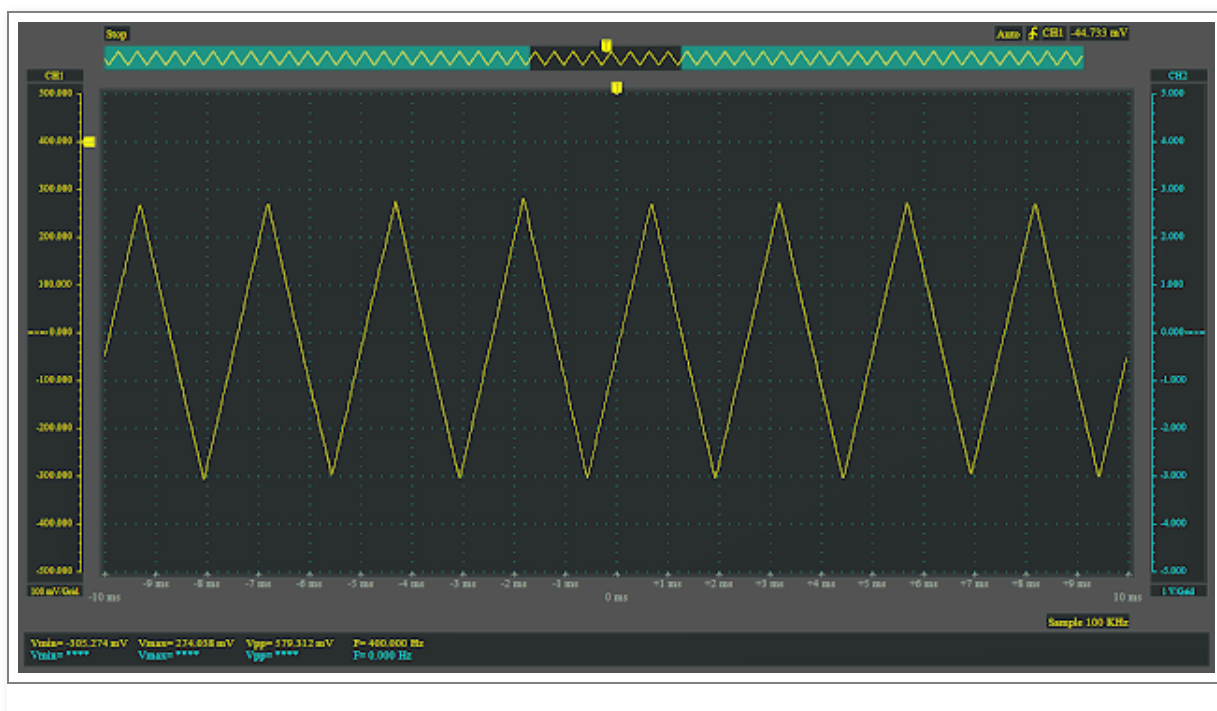
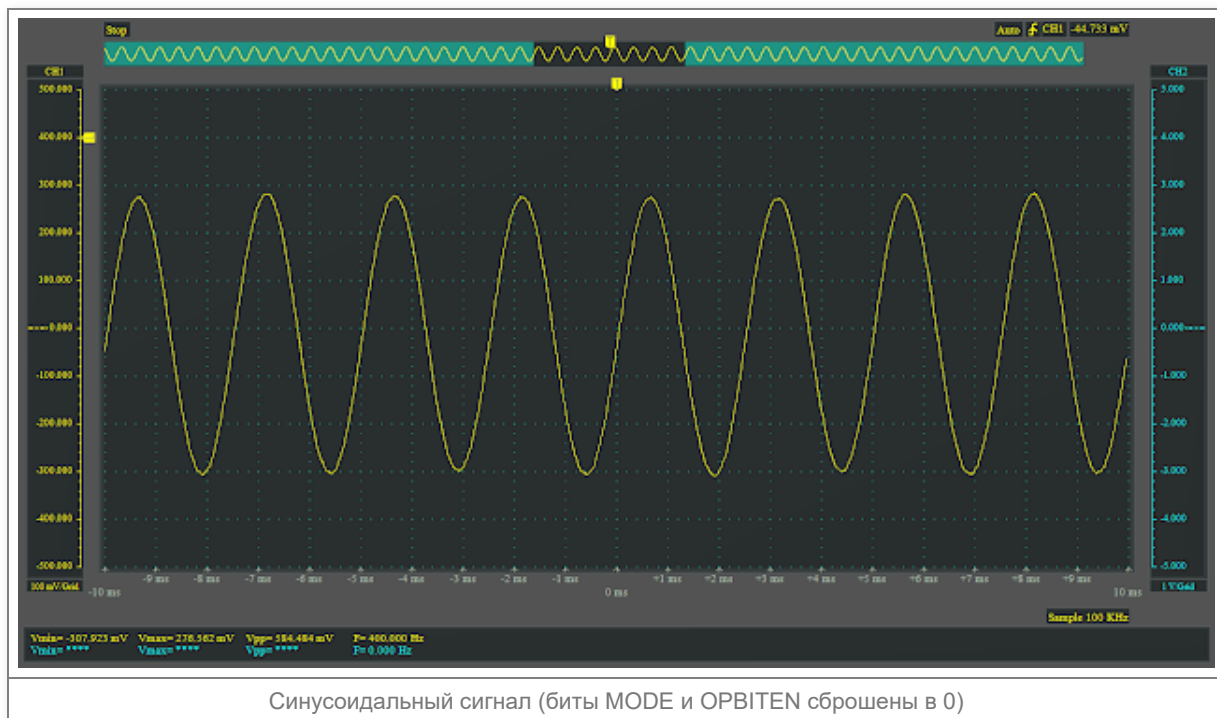
void WriteAD9833(uint16_t Data){
    SPI.beginTransaction(SPISettings(SPI_CLOCK_DIV2, MSBFIRST, SPI_MODE2));
    digitalWrite(SS, LOW);
    delayMicroseconds(1);
    SPI.transfer16(Data);
    digitalWrite(SS, HIGH);
    SPI.endTransaction();
}

void loop() {
    WriteAD9833(0x2000); //0010 0000 0000 0000 - Синусоидальный сигнал
    delay(5000);
    WriteAD9833(0x2002); //0010 0000 0000 0010 - MODE=1 - Треугольный
    delay(5000);
    WriteAD9833(0x2020); //0010 0000 0010 0000 - OPBITEN=1 - Прямоугольный (MSB/2)
    delay(5000);
    WriteAD9833(0x2028); //0010 0000 0010 1000 - OPBITEN=1, DIV2=1 - Прямоугольный (MSB)
    delay(5000);
}
```

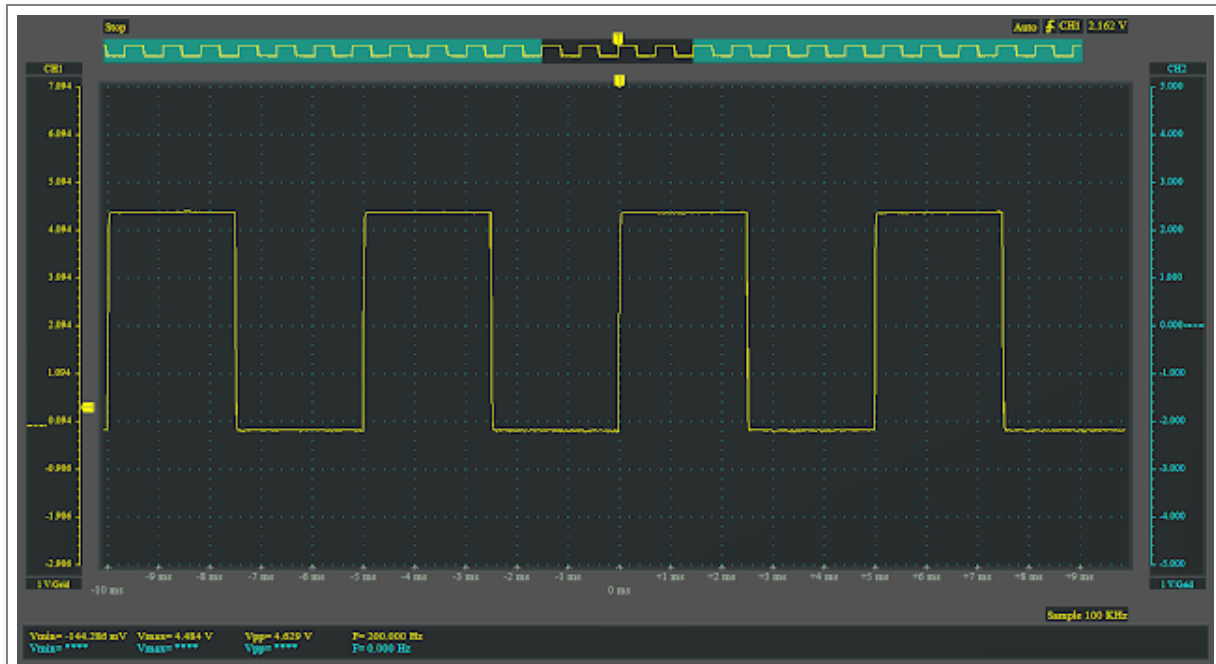
В данном скетче выполняются следующие действия:

- При первом вызове функции WriteAD9833 производится установка управляющего регистра: бит RESET устанавливается в 1 для выполнения сброса; бит DB28 устанавливается в 1 для перезаписи всего содержимого регистра частоты; биты FSELECT и PSELECT содержат 0, поэтому для генерации выходного сигнала будут использоваться регистры FREQ0 и PHASE0.
- Следующие два вызова передают значение 4295 в регистр частоты FREQ0. Данное значение умещается в 14 младших разрядах, поэтому в старшие разряды регистра записываем нули.
- Сдвиг по фазе не требуется - запишем в регистр PHASE0 значение 0
- Последним вызовом WriteAD9833 в процедуре setup снимаем бит RESET, разрешая тем самым работу генератора. Результирующий сигнал поступает на вывод VOUT.
- Следующие вызовы WriteAD9833 в функции loop обновляют содержимое управляющего регистра, перебирая комбинации битов MODE, OPBITEN и DIV2 для генерации сигнала синусоидальной, треугольной и прямоугольной форм.

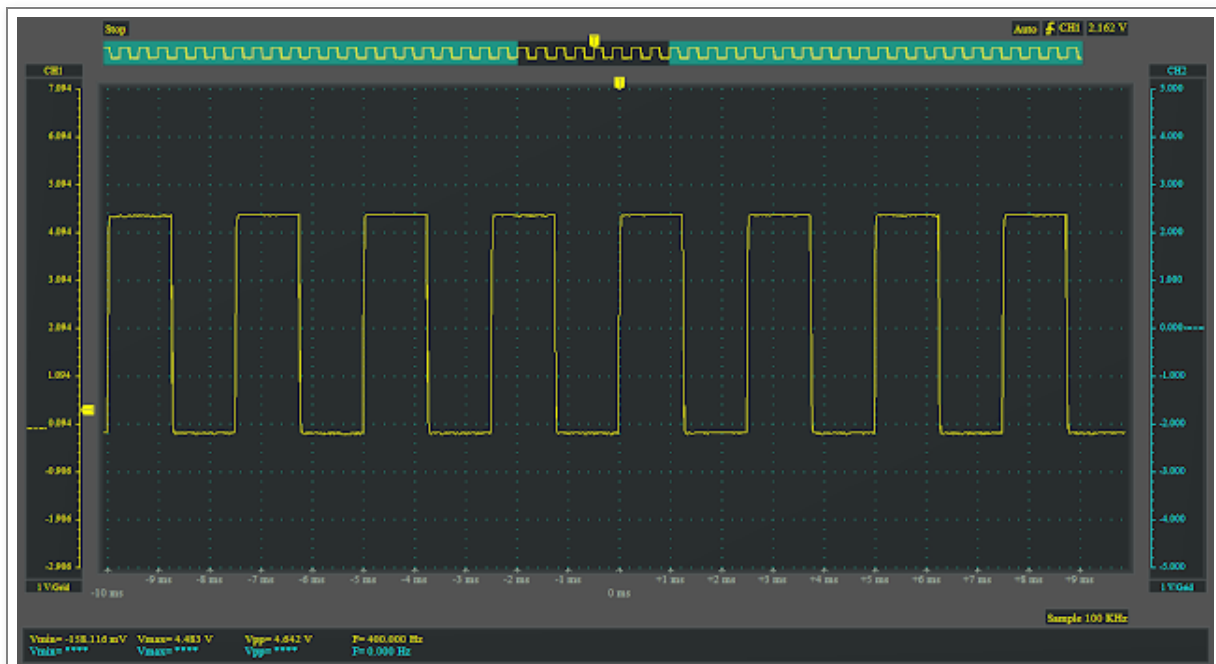
Вот как выглядит выходной сигнал генератора в виртуальном осциллографе:



Треугольный сигнал (MODE = 1, OPBITEN = 0)



Прямоугольный сигнал (OPBITEN = 1, MODE = 0, DIV2 = 1)

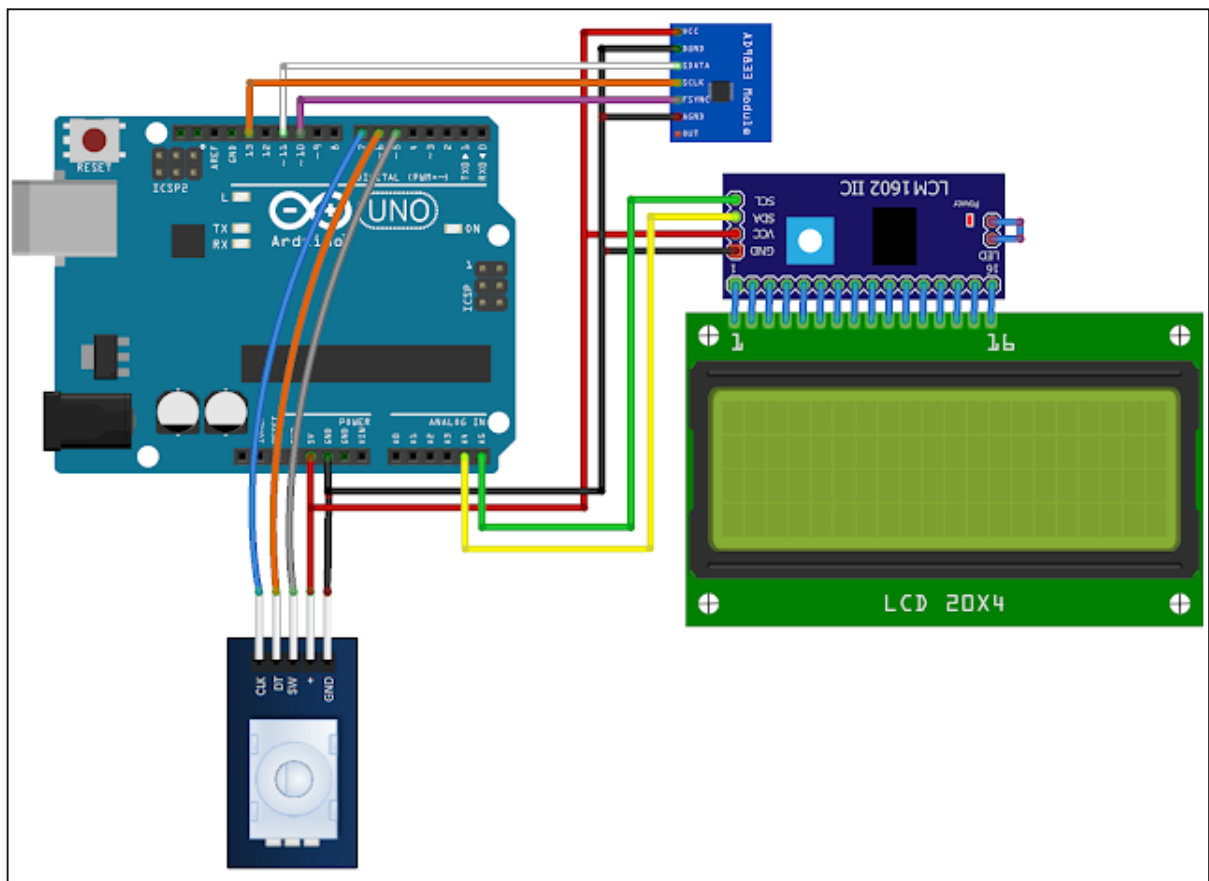


Прямоугольный сигнал (OPBITEN = 1, MODE = 0, DIV2 = 0)

Обратите внимание: при генерации синусоидальных и треугольных импульсов, когда сигнал снимается с выхода ЦАП, его амплитуда изменяется в диапазоне 38мВ...0,65В. При генерации импульсов прямоугольной формы мы имеем дело с обычным цифровым сигналом с соответствующими уровнями напряжения. Так в последних двух осциллограммах логической единице соответствует напряжение ~4,5В.

Генератор на AD9833 с дисплеем и энкодером

Разобравшись с управлением AD9833 можно приступить к созданию генератора с интерфейсом управления и индикацией. Для этого добавим в нашу схему энкодер вращения и жидкокристаллический дисплей:



Ранее я писал о том, как можно сделать меню на Ардуино с энкодером вращения. И сейчас я взял такое меню за основу скетча, добавив в него функционал для работы с AD9833. Скачать скетч можно по [ссылке](#).

При включении питания AD9833 настраивается на генерацию синусоидального сигнала частотой 100Гц, соответствующая информация отображается на дисплее. Вращая ручку энкодера можно изменять его частоту, а при нажатии вызывается меню. В меню доступны следующие опции:

- Установка частоты (можно задать произвольное значение от 1 до 12,5МГц).
- Установка фазы (0 - 360°).
- Выбор формы сигнала.
- Выбор значения, на которое изменяется частота при вращении ручки энкодера.