

## Низкочастотный генератор сигналов



- Номинальный диапазон частот .....0,1 Гц – 6 МГц
- Шаг установки частоты ..... 0,1 Гц – 1 МГц
- Максимальная амплитуда ..... 7 В
- Выходное сопротивление ..... 50 Ом
- Постоянная составляющая ..... до +/- 5 В
- Тактовая частота DDS ..... 25 МГц
- Плавная регулировка амплитуды и смещения
- Синусоидальный сигнал

Генератор синусоидального напряжения является одним из наиболее распространенных приборов в любой измерительной лаборатории. Генераторы промышленного производства имеют большие габариты, вес и довольно высокую стоимость. Кроме того, аналоговые генераторы обладают рядом недостатков: недостаточной точностью установки и стабильностью частоты и амплитуды.

С появлением микросхем прямого синтеза DDS (Direct Digital Synthesizer) появилась возможность изготовить генератор синусоидального сигнала, имеющий довольно высокие параметры при относительно простой схеме и конструкции.

Принципиальная схема генератора показана на рис. 1, его основа – микросхема DD3 типа AD9832 фирмы Analog Devices. Выбор обусловлен тем, что это одна из самых дешевых микросхем DDS. Генерируемая частота определяется формулой:

$$F = \text{Phase} \times F_{\text{MCLK}} / 2^{32}, \text{ где}$$

F – частота генерируемого сигнала;

$F_{\text{MCLK}}$  – тактовая частота;

Phase – 32-битный код частоты.

Выходной сигнал формируется на выводе 14 DD3. Пассивный LC фильтр с частотой среза 10 мГц на L1, L2, C5...C7 улучшает спектр сигнала, фильтруя высшие гармоники. Поскольку микросхема DDS работает с однополярным питанием, необходима схема сдвига уровня. Она выполнена на «ОУ с активной обратной связью» типа AD8130. Напряжение сдвига уровня подается с делителя R7, R9 на вывод 8, а входной сигнал - на вывод 1. Кроме сдвига уровня на этом ОУ реализован активный фильтр нижних частот второго порядка с частотой среза 10 мГц и коэффициентом передачи 2, который дополнительно подавляет высшие гармоники.

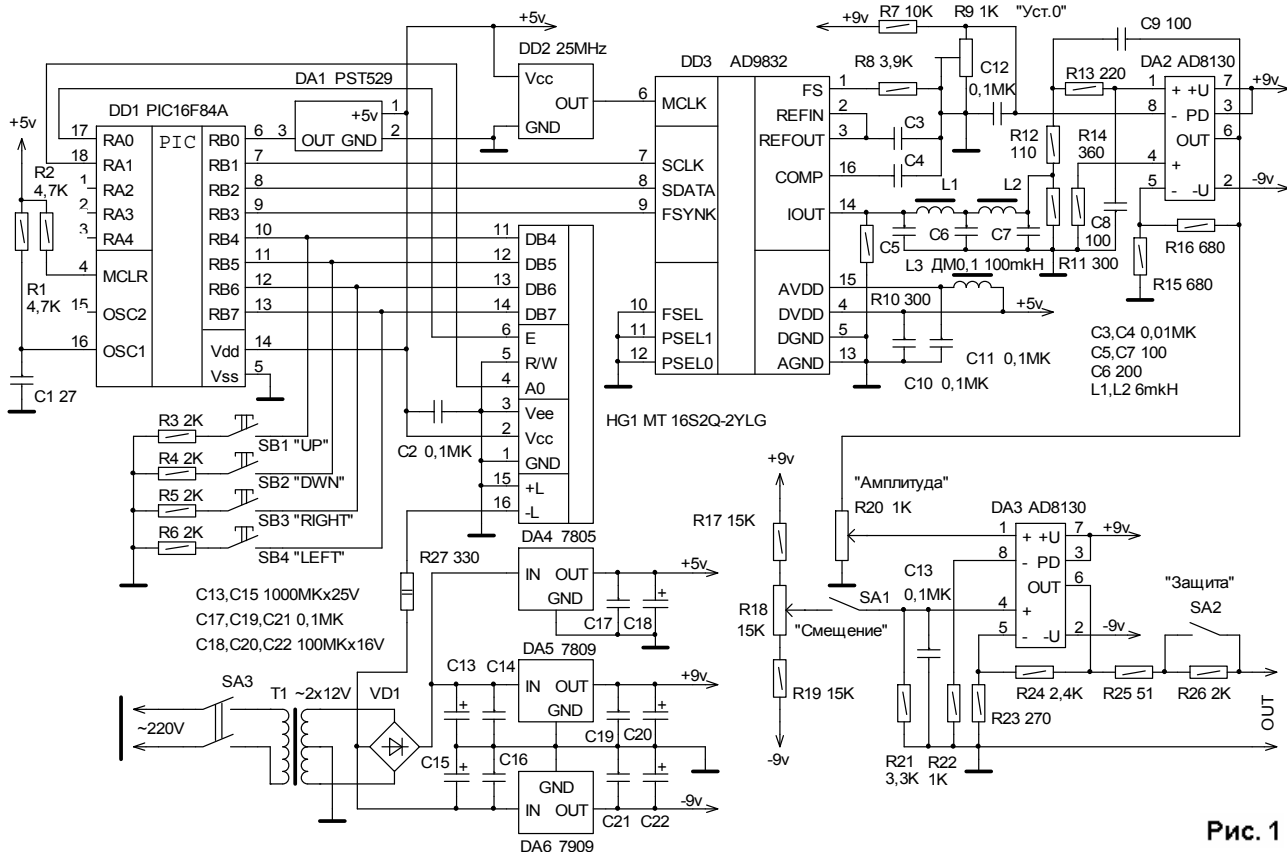


Рис. 1

Отфильтрованный и симметричный относительно нуля сигнал с выхода DA2 подается на регулятор амплитуды R20. Применение обычного резистора, а не электронного аттенюатора обусловлено стремлением упростить и удешевить конструкцию. Да и в практической работе гораздо удобнее поворачивать ручку, а не заходить в меню, многократно нажимая кнопки.

С движка R20 сигнал подается на ОУ DA3 для дальнейшего усиления. Коэффициент усиления определяется соотношением номиналов резисторов R23, R24 в цепи обратной связи. На вывод 4 DA3 подается напряжение с движка резистора R18 для сдвига уровня выходного сигнала в пределах +/- 5 В. Для удобства в работе сдвиг уровня можно отключить тумблером SA1, сигнал в этом случае будет симметричным относительно нуля.

Неприятной особенностью AD8130 является его склонность к самовозбуждению при работе на емкостную нагрузку, свойственная большинству быстродействующих ОУ. Для исключения возможности возбуждения последовательно с нагрузкой включен резистор R25 номиналом 51 Ом. На низкоомной нагрузке он, конечно, уменьшает амплитуду сигнала, но с этим недостатком в любитель-

ских условиях вполне можно смириться. Ведь входное сопротивление усилителей и другой низкочастотной аппаратуры редко бывает меньше нескольких сотен ом.

Хотя выходной ток AD8130 может достигать 40 мА, длительная работа с таким током приведет к перегреву и выходу из строя кристалла. Поэтому в схему введен дополнительный защитный резистор R26, который ограничивает выходной ток до безопасного уровня даже при длительном коротком замыкании выхода. При работе на низкоомную нагрузку этот резистор можно закортить тумблером SA2.

На микросхемах DA4...DA6 собраны стабилизаторы на +5, +9 и -9 В. Хотя AD8130 допускает работу при напряжении питания до +/-12,6 В, в данной схеме используются стабилизаторы на +/-9 В. Это обусловлено стремлением снизить нагрев DA2, DA3 и, соответственно, повысить надежность работы прибора в целом.

Работой прибора управляет микроконтроллер DD1. Индикатор HG1 – двухстрочный по 16 символов в строке на основе контроллера HD44780. В нижней строке отображается частота с точностью до 0,1 Гц. Ввод требуемого значения частоты осу-

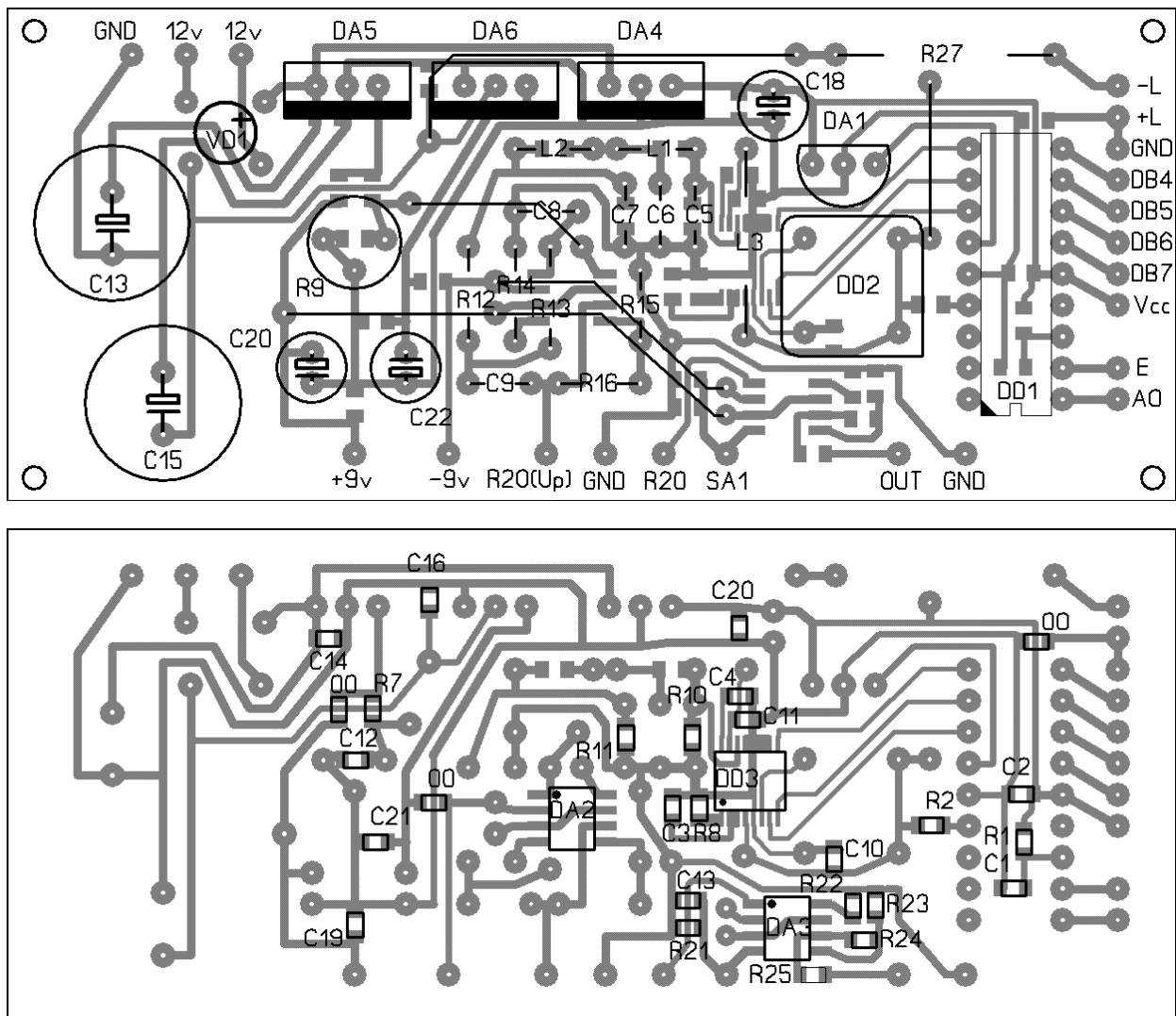


Рис. 2

шестьвается кнопками SB1...SB4. Кнопками SB3 «RIGHT» и SB4 «LEFT» можно установить курсор на любую цифру. При нажатии и удерживании кнопки SB1 «UP» или SB2 «DWN» частота будет увеличиваться или уменьшаться соответственно, с дискретностью, определяемой положением курсора. Таким образом можно плавно перестраивать генератор в диапазоне частот 0,1 Гц...6 МГц с любым шагом из ряда 0,1 Гц; 1 Гц; 10 Гц;...1 МГц. В верхнюю строку индикатора выводится период в микросекундах для частот менее 300 Гц или в наносекундах для частот более 300 Гц.

Программа работает следующим образом. Вначале, исходя из введенной частоты, рассчитывается значение коэффициента Phase. Затем по этому значению производится расчет периода генерируемой частоты. Результат, особенно на частотах менее 10 Гц, может несколько отличаться от того, который получился бы при расчете по формуле  $T=1/F$ . Это связано с тем, что частота в микросхеме DDS может быть установлена не любая, а только с шагом  $F_{MCLK}/2^{32}$ . Для тактовой частоты 25 МГц это около 0,006 Гц. Вопреки широко распространенному мнению о примитивности и несовершенстве системы команд PIC контроллеров двух килобайт внутренней памяти и 35 команд вполне достаточно для проведения всех расчетов без каких-либо упрощений и округлений. Поэтому точность установки частоты определяется только точностью и стабильностью тактового генератора DDS.

Контроллер сконфигурирован на работу с RC генератором. Его частота должна быть 4 МГц, она определяется номиналами R1, C1 и может быть проконтролирована на выводе 15. Если в течение примерно 3 сек не нажимать ни одну из кнопок, контроллер переходит в режим «SLEEP», при этом его тактовый генератор останавливается.

Монитор питания DA1 использован не стандартно. В PIC контроллерах, в отличие от некоторых AVR, внутренняя память не склонна к искажению при медленном нарастании или снижении напряжения питания. Поэтому принимать специальные меры для внешнего сброса контроллера при включении и выключении нет необходимости. Монитор питания подключен к выводу порта RB0 и служит для подачи команды контроллеру на сохранение установленной частоты в энергонезависимой памяти при снижении напряжения питания ниже 4,7 В

В генераторе можно использовать как устаревший, но широко распространенный контроллер PIC16F84A, так и более новый, имеющий аналогичную доколевку PIC16F628. Последний более предпочтителен, т.к. в нем есть внутренний тактовый генератор 4 МГц. Соответственно элементы R1, C1 в этом случае можно не устанавливать. Автором разработаны варианты программы для обоих типов контроллера. Тактовый генератор DD2 должен быть на частоту 25 МГц. Индикатор HG1 типа MT 16S2Q-2YLG производства фирмы «МЭЛТ». Индикаторы этой фирмы обеспечивают максимальную контрастность при соединении вывода Vee с общим

проводом. При использовании индикатора другой фирмы напряжение на этом выводе необходимо подбирать в пределах 0...+5 В для получения максимальной контрастности. Для этого обычно используется подстроечный резистор номиналом около 10 кОм.

Для снижения нагрева стабилизатора цепь подсетки индикатора подключена к конденсатору фильтра до стабилизатора -9 В. Для выравнивания потребляемого тока по положительной и отрицательной цепям питания использован источник именно отрицательного напряжения, т.к. от положительного питается контроллер и синтезатор.

Катушки фильтра L1 и L2 индуктивностью 6 мкГн можно намотать проводом ПЭВ-2 0,15...0,2 мм на ферритовых кольцах внешним диаметром 5...7 мм с начальной магнитной проницаемостью 100...400 или использовать готовые SMD индуктивности. На плате предусмотрена возможность установки тех и других. Число витков лучше подобрать экспериментально с помощью измерителя индуктивности или добиваясь резонанса параллельного контура, составленного из этой катушки и конденсатора 50 пФ на частоте около 10 МГц. Если точно известна магнитная проницаемость материала кольца, можно рассчитать число витков по известным формулам.

Регулятор амплитуды R20 типа СП5-20ВБ. Увеличивать его номинал более 1,5 кОм не следует, т.к. это приведет к увеличению неравномерности частотной характеристики.



Рис. 3 Вид на монтаж генератора

Генератор собран в пластмассовом корпусе (рис. 3). На передней панели размещены тумблеры SA1...SA3, кнопки SB1...SB4, переменные резисторы R18, R20 и индикатор. Резисторы R17 и R19 монтируются непосредственно на выводах R18, а R3...R6 – на выводах кнопок. Все остальные детали, за исключением трансформатора питания размещены на односторонней печатной плате размером 95x40 мм (рис. 2). В верхней части рисунка показано размещение элементов в обычных корпусах, а в нижней части – в корпусах для поверхностного монтажа. Вид в обоих случаях со стороны монтажа.

Элементы для поверхностного монтажа типоразмера 0805. Мостик VD1 любого типа на ток не менее 300 мА. Трансформатор питания должен

обеспечивать напряжение +/-12 В при токе до 150 мА.

Налаживание генератора заключается в установке симметричной относительно нуля формы напряжения на верхнем по схеме выводе R20 подстроечным резистором R9. При необходимости максимальную амплитуду сигнала на выходе можно изменить подбором номинала R23, а пределы сдвига относительно нуля – подбором R21.

Теоретический предел генерируемой частоты равен половине тактовой. На практике на частотах выше  $\frac{1}{4}$  тактовой начинается резкий спад амплитуды первой гармоники, который в какой-то степени можно скомпенсировать усложнением схемы фильтра. Но настройка генератора при этом резко усложняется, поэтому в данной конструкции верхняя частота принята равной 6 мГц. Однако, учитывая, что радиолюбители предпочитают реализовы-

вать возможности своих приборов по максимуму, программно верхняя рабочая частота ограничена значением 11 мГц.

**Варианты прошивок контроллера для PIC16F84 и PIC16F628, исходные тексты программ, чертеж печатной платы в формате Sprint Layout 5.0, а также схему в формате Orcad 9.1 можно загрузить с сайта автора по адресам:**

<http://ra4nal.qrz.ru>

<http://ra4nal.lanstek.ru>

<http://ra4nalr.tut.ru>

**Разработка 2008 г.**

**Коммерческое использование с согласия автора.  
Перепечатка со ссылкой на первоисточник.**