

Низкочастотный генератор на основе синтезатора частоты AD9833

Часть 1. Описание аппаратных средств и настройка генератора

Алексей Кузьминов (Москва)

В статье описан генератор низкой частоты на основе ИС синтезатора частоты AD9833, микроконтроллера C8051F330 и инструментального усилителя AD8295. Устройство точно воспроизводит установленную частоту и обладает высокой чистотой спектра выходного сигнала.

ВВЕДЕНИЕ

Применение современных микросхем прямого цифрового синтеза (*Direct Digital Synthesizers, DDS*) для конструирования низкочастотных (НЧ) генераторов хорошо освоено. Однако ряд проблем, с которыми сталкивается разработчик, не позволяет получить высокую чистоту (в том числе спектральную) выходного сигнала с достаточно верным воспроизведением установленной частоты.

В связи с тем, что в подавляющем большинстве современных микросхем DDS используется однополярное питание +5 В, выходной сигнал DDS содержит постоянную составляющую, чуть большую его амплитудного значения (например, в микросхеме DDS AD9833 постоянная составляющая больше амплитуды (0,3 В) на 30 мВ). Если требуется синусоида без постоянной составляющей, то от последней часто избавляются, пропуская выходной сигнал ИС через конденсатор, при этом в области самых низких частот АЧХ генератора становится нелинейной. Другой способ удаления постоянной составляющей – применение операционного усилителя (ОУ) с компенсирующим постоянным смещением. Однако и этот способ имеет недостаток: при изменении коэффициента усиления изменяется и смещение, которое приходится подстраивать.

Для тактирования DDS в основном используют кварцевые генераторы с рекомендуемой производителем ИС частотой 25 МГц. Однако такой генератор относительно дорог, выпускается, как правило, в крупногабаритном корпусе и не позволяет точно установить требуемую частоту выходного сигнала.

Перечисленные выше проблемы можно решить, если:

- тактировать ИС DDS системным тактовым сигналом микроконтроллера, который для собственного тактирования использует встроенный генератор на основе внешнего кварцевого резонатора;
- для удаления постоянной составляющей использовать инструментальный усилитель (ИУ).

В предлагаемой статье описаны аппаратные и программные средства НЧ-генератора, сконструированного с применением микросхемы DDS AD9833, микроконтроллера C8051F330 и ИУ AD8295. В аппаратных средствах приводятся принципиальные схемы и разводка печатной платы генератора и платы подключённого к нему графического OLED-дисплея MI6448. В программных средствах приведена тестовая программа для микроконтроллера, который, в свою очередь, программирует синтезатор для вывода требуемой частоты сигнала.

Испытания генератора иллюстрируются осциллограммами и спектрами, снятыми аналоговым и цифровым осциллографами, а также спектрами, рассчитанными программой спектрального анализа сигнала генератора, подключённого к линейному входу звуковой карты компьютера.

Электрические параметры генератора:

- амплитуда выходного синусоидального сигнала: нерегулируемая – 0,3 В, регулируемая – от 0,44 до 10 В;
- диапазон частот (в целых числах) от 5 Гц до 100 кГц;
- минимальная дискретность установки точного значения частоты: в целых числах – 5 Гц, дробная – от 5/2 Гц до 5/64 Гц;
- максимальный выходной ток 5 мА на нагрузке 2 кОм;

- соотношение сигнал/шум не менее 70 дБ.

Для питания генератора требуется двухполярный стабилизированный источник питания с выходным напряжением ± 15 В и током нагрузки не менее 50 мА.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Аппаратные средства генератора можно разделить на цифровую и аналоговую части. Аналоговая часть генератора обрабатывает (т.е. усиливает, освобождает от постоянной составляющей и т.п.) выходной сигнал DDS. Всё остальное можно причислить к цифровым аппаратным средствам.

Цифровая часть генератора

Основой цифровой части генератора является микроконтроллер C8051F330. Выбор именно этого микроконтроллера (МК) был сделан благодаря следующим его свойствам, которые использованы в конструкции устройства:

- максимальная тактовая частота МК составляет 25 МГц, что идеально согласуется с максимальной тактовой частотой ИС синтезатора;
- микроконтроллер может тактироваться как от встроенного тактового генератора на основе внешнего кварцевого резонатора, так и от внутреннего тактового генератора, что бывает необходимо при программировании МК, если, например, кварцевый резонатор ещё не подключён или генератор на его основе не работает;
- у микроконтроллера имеется вывод, на котором присутствует сигнал системной тактовой частоты TTL-уровня SYSClk (или SYSClk/2 – это определяется программой); эта возможность использовалась для непосредственного тактирования ИС DDS;
- микроконтроллер имеет встроенный аппаратный интерфейс SPI, по которому сопрягаются и дисплей, и синтезатор частоты;

- выходной сигнал стандартного вывода МК может быть настроен как двухтактный выход, что обеспечивает высокую надёжность управления внешними устройствами;
- в микроконтроллере имеется т.н. матрица соединений, которая может перераспределять сигналы микроконтроллера на внешние выводы, что упрощает разводку платы устройства;
- для программирования МК используется интерфейс C2, с помощью которого МК подключается к USB-DEBUG-адаптеру, сопрягаемому с компьютером по интерфейсу USB; для подключения МК по интерфейсу C2 используется всего два сигнала (и «земля»);
- микроконтроллер выпускается в двух разных корпусах DIP20 и QFN20; первый корпус удобно использовать для макетирования устройства, второй, размером 4×4 мм, занимает очень мало места на плате;
- микроконтроллер имеет архитектуру, совместимую с 18051, в то же время он одноканальный, т.е. цикл выполнения большинства команд занимает один такт. При тактовой частоте, например в 20 МГц, скорость работы МК составляет 20 MIPS (миллионов операций в секунду);
- количество выводов корпуса МК (20) вполне достаточно для реализации всех требуемых функций;
- цена микроконтроллера в корпусе QFN20 около \$1,5. Многие микроконтроллеры обладают некоторыми из перечисленных свойств, однако автору не известен микроконтроллер (кроме C8051F330), который бы одновременно обладал всеми этими свойствами.

Принципиальная электрическая схема генератора приведена на рисунке 1. Микросхема DDS AD9833 (DD4) сопрягается с микроконтроллером (DD1) по интерфейсу SPI. Для этого используются три сигнала этого интерфейса, подаваемые с микроконтроллера: MOSI (*Master Output Slave Input*), который предназначен для передачи информации в DDS (в AD9833 этот сигнал обозначен как SDATA), SCK, предназначенный для стробирования данных, посылаемых по линии MOSI (в AD9833 этот сигнал обозначен как SCLK) и сигнал NSS, предназначенный для выбора устройства (*Chip Select – CS*); в ИС синтезатора этот сигнал обозначен как F_{synth} , а в микрокон-

троллере – как CSAD (добавление AD к CS означает выбор AD9833). Синтезатор частоты работает как ведомый (Slave), а микроконтроллер – как ведущий (Master). Скорость передачи данных по интерфейсу SPI может достигать нескольких Мбод.

Как было упомянуто выше, для тактирования ИС синтезатора используется сигнал системной тактовой частоты микроконтроллера SysClk (20 971 520 Гц). Этот сигнал выводится из порта P1.0 микроконтроллера через вывод 13 (так настроена матрица соединений), проходит через триггер Шмитта (один из элементов (верхний по схеме) микросхемы 74LVC2G14 (DD3)) и поступает на вход тактирования ИС синтезатора (MCLK). Применение дополнительного триггера Шмитта снижает общий шум выходного сигнала DDS примерно на 10 дБ. Для настройки номинальной частоты тактирования DDS сигнал, подключённый к входу MCLK DDS, подаётся также на двухконтактный разъём X5 (см. рис. 1), с которого он может быть подан на вход частотомера.

Кварцевый резонатор Z1 марки MJ с габаритными размерами $5,0 \times 3,2 \times 0,9$ мм (www.mercury-crystal.com) предназначен для поверхностного монтажа. Номинальная частота резонатора 20,97152 МГц, номинальная ёмкость нагрузки 10 пФ. Выбор именно этого кварцевого резонатора и именно такой частоты не случаен.

Выходная частота DDS определяется по формуле: $F_{\text{вых}} = (F_{\text{кв}} \times \text{FreqReg}) / 2^{28}$, где $F_{\text{вых}}$ – частота выходного сигнала DDS, FreqReg – значение, записанное в частотный регистр DDS, $F_{\text{кв}}$ – частота тактирования DDS (рабочая частота кварцевого резонатора). Частота $F_{\text{кв}} = 20\,971\,520$ Гц может быть представлена как 5×2^{22} Гц. Если эту частоту подставить в вышеприведённую формулу, то получим $F_{\text{вых}} = (5 \times 2^{22} \times \text{FreqReg}) / 2^{28} = (5 \times \text{FreqReg}) / 2^6 = (5 \times \text{FreqReg}) / 64$. Если, например, значение $\text{FreqReg} = 64$, то выходная частота $F_{\text{вых}} = 5$ Гц; если $\text{FreqReg} = 128$, то $F_{\text{вых}} = 10$ Гц; если $\text{FreqReg} = 1280$, то $F_{\text{вых}} = 100$ Гц, если $\text{FreqReg} = 1\,280\,000$, то $F_{\text{вых}} = 100$ кГц и т.д. Таким образом, при выборе частоты $F_{\text{кв}} = 20\,971\,520$ Гц точное целочисленное значение выходной частоты $F_{\text{вых}}$ можно установить с дискретностью в 5 Гц, записав в FreqReg соответствующее число. Однако точное значение выходной частоты можно установить и с меньшей дискретностью, составляющей от 5/2 Гц ($\text{FreqReg} = 32$) до 5/64 Гц ($\text{FreqReg} = 1$).

Наиболее востребованной областью применения генератора, на взгляд автора, является проверка правильного функционирования, настройка и калибровка различных звуковых устройств, работающих в диапазоне частот от 16–20 Гц до 20 кГц. Начиная с 50 Гц и вплоть до 20 кГц точность установки частоты составляет 5 Гц. Что касается самых низких частот звукового диапа-

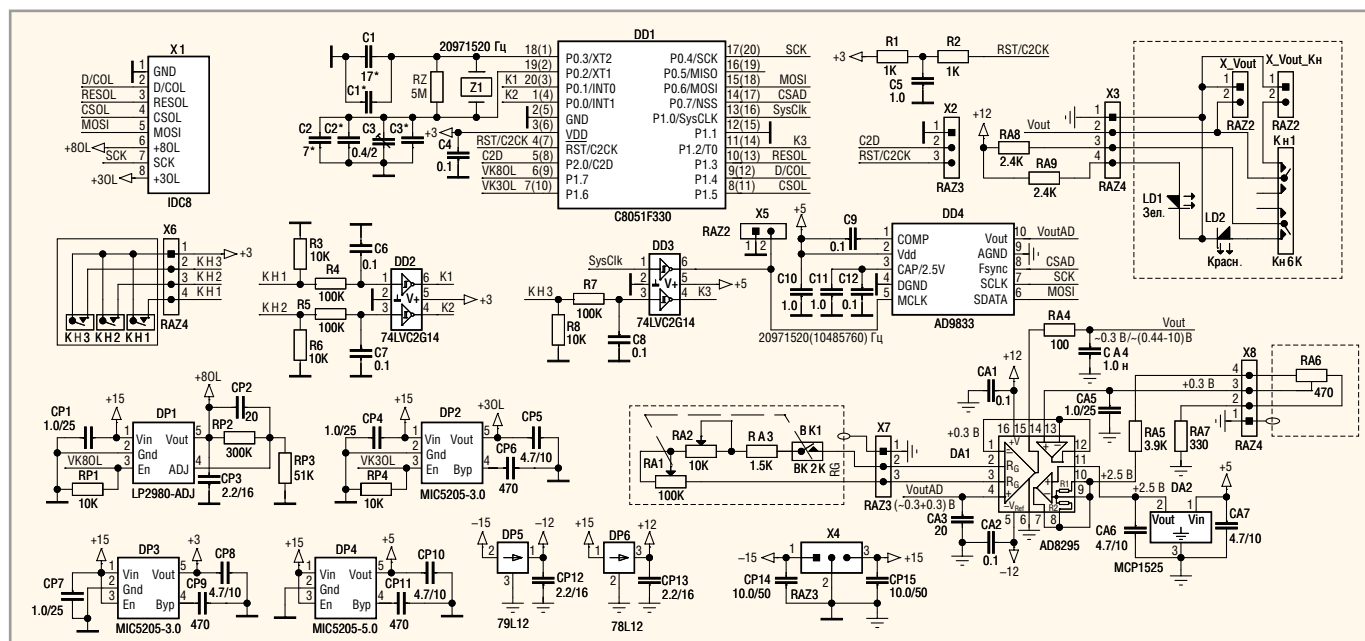


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема генератора. Выводы DD1, показанные без скобок, соответствуют корпусу QFN20, в скобках – DIP20

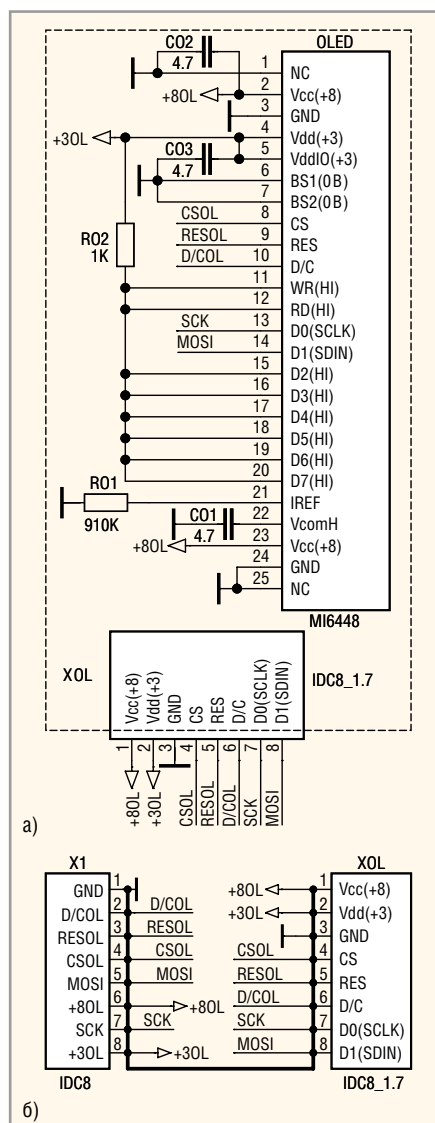


Рис. 2. Схемы связи дисплея с платой генератора

а – схема соединения дисплея с интерфейсным разъёмом, б – схема кабеля связи дисплея с платой генератора

зона (10–50 Гц), то здесь можно устанавливать частоту более точно, например 2,5 (5/2) Гц, 1,25 (5/4) Гц или даже 0,625 (5/8) Гц. Это означает, что точность и дискретность установки в звуковом диапазоне вполне достаточны для работы с любым звуковым устройством.

Существуют кварцевые резонаторы и на другие частоты, пропорциональные степени 2: например, $16\,777\,216\text{ Гц} = 2^{24}\text{ Гц}$ и $8\,388\,608\text{ Гц} = 2^{23}\text{ Гц}$, с помощью которых можно установить выходную частоту DDS с дискретностью в 1 Гц, что более удобно. Однако кварцевые резонаторы с такими частотами в корпусе для поверхностного монтажа автору найти не удалось. Можно приобрести недорогой и не очень точный кварцевый резонатор на частоту 8 388 608 Гц в стандартном усечённом корпусе (HC-49S) и резонатор на частоту 16 777 216 Гц в более габаритном корпусе (HC-49U). При тактировании этими частотами значительно упрощается процедура установки частоты с помощью кнопок (и её программное обеспечение). Однако чем выше тактовая частота DDS, тем дальше она находится от рабочего диапазона выходной частоты $F_{\text{вых}}$ и тем меньше в выходной сигнал DDS проникает помех.

С графическим дисплеем марки MI6448 микроконтроллер сопрягается с помощью сигналов интерфейса SPI (MOSI, SCK), а для выбора устройства (CS) использован порт P1.5 микроконтроллера, с которого снимается сигнал CSOL. Дисплей (как и синтезатор) работает в ведомом режиме (*Slave*), а микроконтроллер – в режиме ведущего (*Master*).

Помимо сигналов интерфейса SPI на дисплей с микроконтроллера подаются ещё два сигнала с логическими уровнями (TTL) – *RESOL*, осуществляющий сброс (*RESET*) дисплея, и сигнал мультиплексирования данных и команд *D/COL*.

Сигналы VK8OL и VK3OL предназначены для включения/выключения питания дисплея и подаются, соответственно, на входы разрешения (E_n) стабилизаторов +8 В (DP1, см. рис. 1) и +3 В (DP2). При включении дисплея первым должно подаваться питание V_{dd} (+3 В), а затем, через некоторое время, – питание V_{cc} (+8 В). При выключении дисплея первым обесточивается шина V_{cc} (+8 В), а затем – V_{dd} (+3 В). Сами же напряжения питания +80Л и +30Л со стабилизаторов подаются непосредственно на дисплей. Все 7 сигналов: *D/COL*, *RESOL*, *CSOL*, *MOSI*, *SCK*, +80Л, +30Л и «земля» приходят на 8-контактный разъём X1 (см. рис. 1).

Дисплей расположен на отдельной плате (см. рис. 2), где предусмотрен интерфейсный разъём XOL. Через него на дисплей подаются напряжения питания, «земля» и управляющие сигналы. Разъём X1, установленный на плате генератора (см. рис. 1), соединяется с разъёмом XOL, расположенным на плате дисплея (см. рис. 2а), специальным интерфейсным кабелем, схема которого показана на рисунке 2б.

На плате генератора расположены ещё несколько стабилизаторов: +3 В (DP3), предназначенный для питания микроконтроллера, +5 В (DP4), используемый для питания DDS, и два стабилизатора –12 В (DP5) и +12 В (DP6) для

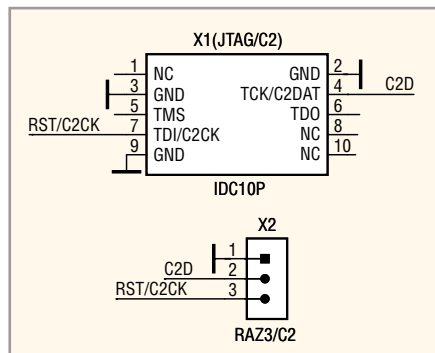


Рис. 3. Схема кабеля связи USB-DEBUG-адаптера с платой генератора

питания аналоговой части генератора. В качестве внешнего источника питания (± 15 В) применяется описанный в [3] двухполярный стабилизатор.

Для установки требуемой частоты генератора используются 3 кнопки типа DS-402, расположенные на корпусе устройства. Как известно, при нажатии и отпускании любая кнопка создаёт некоторое количество паразитных импульсов, которые являются следствием «дребезга» контактов. Для борьбы с этим явлением применяются известные [5] схемы, основанные на триггере Шмитта (в DD2 (74LVC2G14) и в DD3).

Для программирования микроконтроллера используется USB-DEBUG-адаптер, который сопрягается с микроконтроллером C8051F330 по интерфейсу C2, а с компьютером – по интерфейсу USB. Ответный трёхконтактный разъём X2 кабеля связи (см. рис. 3) подключается к разъёму X2 на плате генератора, а ответный разъём X1 – к выходному разъёму USB-DEBUG-адаптера. В [4] описан простой способ изготовления такого кабеля.

Аналоговая часть генератора

Принципиальная схема генератора, показанная на рисунке 1, составлена

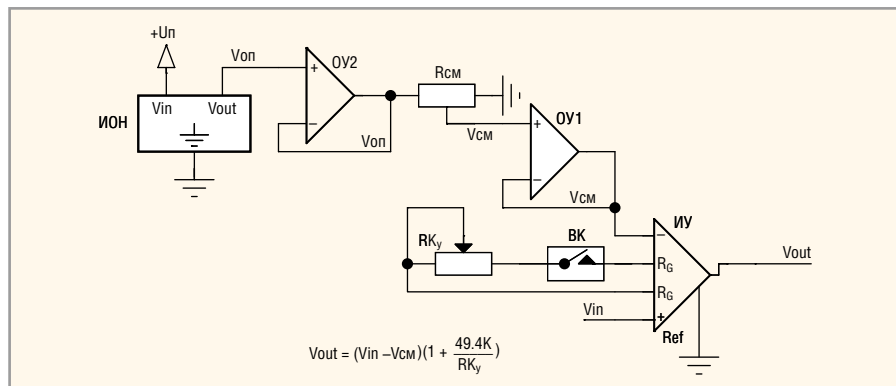


Рис. 4. Функциональная схема аналоговой части генератора

с учётом удобства разводки, т.е. расположение выводов всех микросхем именно такое, как в их описании. Чтобы пояснить работу цифровой части и источников питания, вполне достаточно принципиальной схемы. Однако чтобы понять, как работает аналоговая часть, принципиальная схема не очень удобна, т.к. оба операционных усилителя (ОУ) и инструментальный усилитель (ИУ) находятся в микросхеме DA1 AD8295. Поэтому работу аналоговой части генератора легче пояснить по функциональной схеме, приведённой на рисунке 4.

Источник опорного напряжения (ИОН) MCP1525 (DA2, см. рис. 1), выдаёт эталонное напряжение $V_{оп} = +2,5$ В, которое подаётся на неинвертирующий вход ОУ2 (см. рис. 4), входящий в состав AD8295 и включённый как повторитель, поэтому все 4 вывода (7, 8, 9 и 10) DA1 соединены вместе и на них присутствует опорное напряжение $+2,5$ В. Это напряжение подаётся на подстроечный резистор смещения, условно показанный на рисунке 4 как R_{cm} (на принципиальной схеме рис. 1 он состоит из постоянных резисторов RA5, RA7 и подстроечного резистора RA6). На движке подстроечного резистора R_{cm} присутствует напряжение смещения $V_{cm} \approx +0,3$ В. Оно

может регулироваться в диапазоне от $+0,2$ до $+0,5$ В, что вполне достаточно, чтобы скомпенсировать постоянное смещение $+0,3$ В выходного сигнала DDS (V_{in} , см. рис. 4) относительно нулевого уровня.

С движка резистора R_{cm} напряжение смещения V_{cm} подаётся на неинвертирующий вход ОУ1 (см. рис. 4), роль которого на принципиальной схеме рис. 1 играет ОУ, входящий в состав микросхемы AD8295 (выводы 12, 13 и 14) и включённый тоже как повторитель. Выходное напряжение V_{cm} с этого повторителя подаётся на инвертирующий вход ИУ, входящий в состав AD8295. На неинвертирующий вход этого ИУ подаётся сигнал от синтезатора частоты (V_{in}). Поскольку вход Ref ИУ заземлён, то при разомкнутом выключателе BK ($K_y = 1$) выходное напряжение V_{out} ИУ равно входному V_{in} , сдвинутому на напряжение смещения $V_{cm} = 0,3$ В в отрицательную область, т.е. освобождено от постоянной составляющей. Формула, которая связывает входные напряжения V_{cm} и V_{in} и выходное напряжение V_{out} , имеет следующий вид:

$$V_{out} = (V_{in} - V_{cm})(1 + 49,4 K/RG), \quad (1)$$

где RG – номинальное значение резистора, включённого между двумя

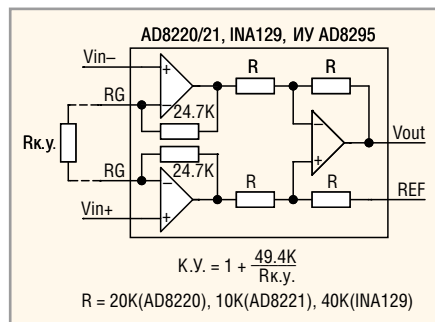


Рис. 5. Внутренняя структура ИУ типа AD8295, INA128/129 и AD8220/21

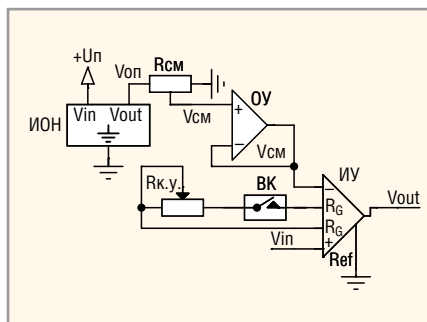


Рис. 6. Упрощённая функциональная схема аналоговой части генератора

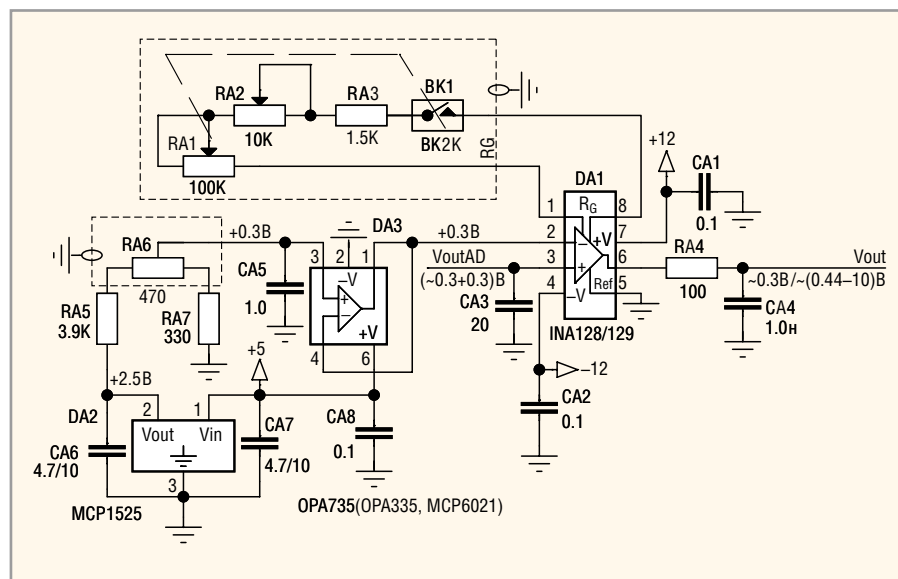


Рис. 7. Альтернативная схема аналоговой части генератора с использованием ИУ INA128/129

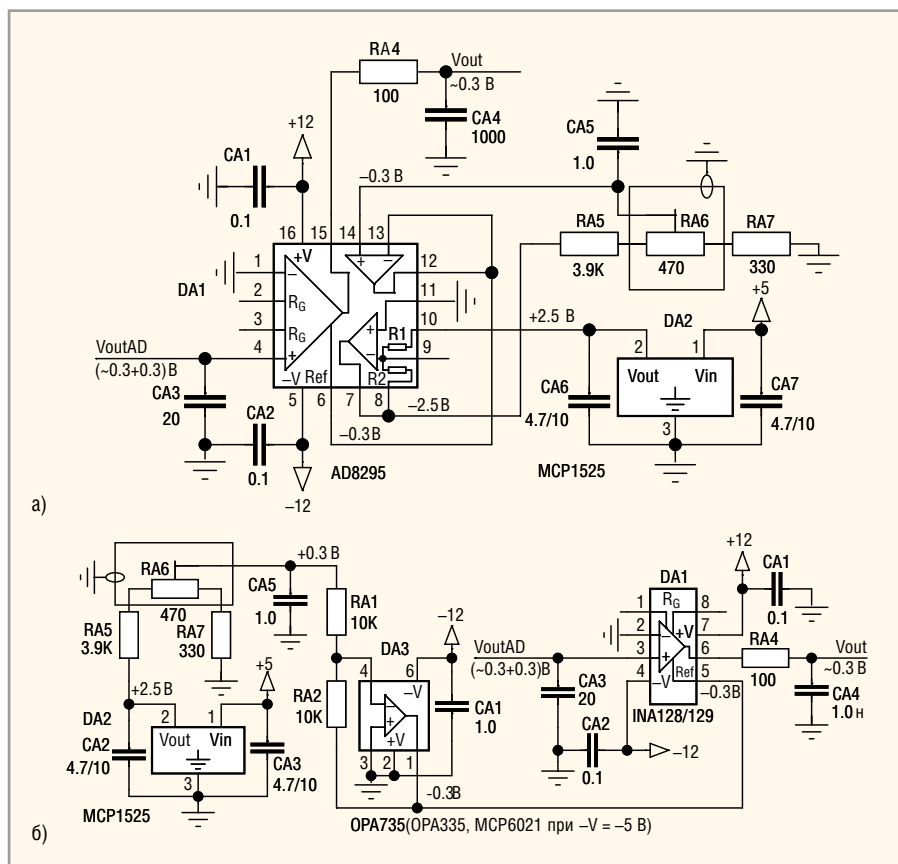


Рис. 8. Принципиальная схема аналоговой части генератора с $K_Y = 1$

а – на основе ИУ AD8295, б – на основе ИУ INA128/129 и ОУ OPA735

выводами RG ИУ. Если выключатель BK разомкнут, то $RG = \infty$ и $V_{out} = V_{in} - V_{cm}$. Если выключатель BK замкнут, то $RG = RK_Y$, и $V_{out} = (V_{in} - V_{cm})(1 + 49,4 K/RK_Y)$. Здесь RK_Y – значение переменного резистора, определяющего коэффициент усиления ИУ. Из формулы (1) следует, что независимо от коэффициента усиления постоянная составляющая выходного сигнала V_{out} всегда будет равна нулю, или, другими словами, при вращении движка резистора RK_Y будет изменяться только амплитуда выходного сигнала переменного тока.

Классическая схема ИУ состоит из трех ОУ (см. рис. 5). Можно заметить, что первые два ОУ имеют одинаковые резисторы ОС (по 24,7 кОм), включены как неинвертирующие и образуют дифференциальный усилитель, коэффициент передачи которого зависит только от номинала резистора RK_Y . Поскольку оба этих ОУ подключены к третьему ОУ, включённому по дифференциальной схеме, то изменение RK_Y не влияет на смещение всего ИУ. Важно, что в отсутствие резистора RK_Y инструментальный усилитель обеспечивает коэффициент передачи $K_Y = 1$. Усилитель также имеет вход REF, управляя которым можно регулировать смещение всего ИУ в довольно широких пределах.

В функциональной схеме, приведённой на рисунке 4, ОУ2 можно исключить (он входит в состав ИС AD8295), соединив выход ИОН непосредственно с R_{cm} (см. рис. 6). Номинал R_{cm} составляет 4,7 кОм ($3,9 + 0,33 + 0,47$), поэтому выходной ток ИОН не превысит $2,5 \text{ В} / 4,7 \text{ кОм} = 0,53 \text{ мА}$ (максимальный ток ИОН 2 мА). В то же время функциональную схему, показанную на рисунке 6, можно использовать, если вместо AD8295 применить более распространённые ИУ типа INA128/129 или AD8220/21. В этом случае можно использовать ОУ с «нулевым смещением» типа OPA735. Поэтому, если ИС AD8295 найти не удастся, в качестве аналоговой части генератора можно использовать схему рис. 7. Если же из схем (рис. 4 и рис. 6) исключить RK_Y и выключатель BK, схемы значительно упрощаются (см. рис. 8), и ИУ включается по классической схеме.

Подстроечный резистор смещения R_{cm} на принципиальных схемах обозначен как RA6. Тип резистора – СП5-16ВБ мощностью 0,25 или (что лучше) 0,5 Вт, номинал 470 Ом. Именно этот тип резистора как нельзя лучше под-

ходит к выполняемой им функции, поскольку:

- случайное касание шлица не приводит к повороту движка;
- резистор крепится к корпусу прибора гайкой, а небольшой выступ на корпусе препятствует проворачиванию корпуса при регулировке.

Переменные резисторы, предназначенные для изменения коэффициента усиления ИУ, на принципиальных схемах обозначены как RA1 и RA2, включенные последовательно (плюс постоянный резистор RA3), а на функциональных схемах их замещает резистор $R_{K\gamma}$. Номинал резистора RA1 равен 100 кОм, и на его корпусе расположен двухконтактный выключатель (BK1). Если взглянуть на формулу (1), можно заметить, что сопротивление установки коэффициента усиления RG находится в знаменателе. Это означает, что зависимость коэффициента усиления K_γ от значения $R_{K\gamma}$ является нелинейной (см. рис.9), и при больших значениях $R_{K\gamma}$ существенное его изменение приведёт к незначительному изменению коэффициента усиления, а при малых – наоборот. Поэтому регулировка малых значений K_γ может быть произведена с относительно высокой точностью, а больших K_γ – становится проблематичной. Решить эту проблему можно двумя способами.

Как известно, переменные резисторы выпускаются промышленностью с различной зависимостью значения сопротивления R от угла поворота движка α (см. рис.10). Если использовать переменный резистор с экспоненциальной зависимостью C , то в нашем случае можно повысить точность регулировки. Второй способ заключается в установке последовательно с резистором, регулирующим K_γ , ещё одного перемен-

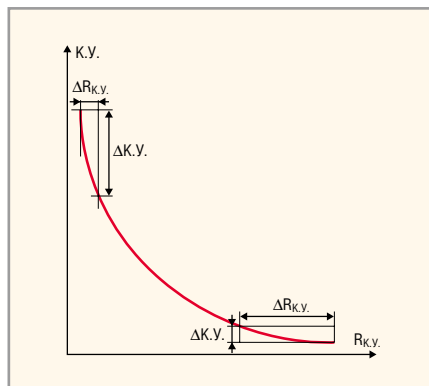


Рис. 9. Зависимость коэффициента усиления K_γ от номинала резистора $R_{K\gamma}$

ного резистора, номинал которого на порядок меньше (10 кОм или 4,7 кОм). В этом случае малые значения K_γ можно регулировать резистором 100 кОм, а для точной подстройки больших значений K_γ использовать последовательный резистор значительно меньшего номинала.

Поскольку переменный резистор с выключателем и номиналом в 100 кОм с характеристикой C в продаже отсутствует, автор выбрал второй вариант. В качестве основного регулирующего элемента RA1 был выбран резистор с выключателем и с характеристикой B , а в качестве дополнительного RA2 – переменный резистор типа СП5-16ВВ номиналом 10 кОм мощностью 0,5 Вт. Корпуса переменных резисторов должны быть заземлены, чтобы не наводить помехи при регулировании.

На рисунке 11 приведена фотография макета одного из вариантов генератора. В случае использования микросхем с мелким шагом выводов для них пришлось изготовить небольшие платы – переходники. Большинство соединений на макетной плате сделано проводом МГТФ 0,03 с обратной стороны платы.

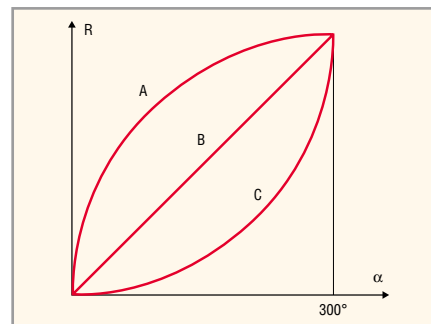


Рис. 10. Зависимость сопротивления резистора R от угла поворота движка α

A – логарифмическая, B – линейная, C – экспоненциальная

Разводка и изготовление плат генератора и дисплея

Разводка печатной платы генератора сделана в программе *Sprint Layout 5.1*. Вариант разводки приведён на рисунке 12. Плата получилась довольно миниатюрной – 35 × 40 мм.

Вариант разводки платы дисплея приведён на рисунке 13. Контакты дисплея припаяны к плате, а сама плата прикручена винтами к пластине из стеклотекстолита (см. рис. 14). К этой же пластине приклеен липкой губчатой лентой дисплей. Подобная конструкция достаточно жёсткая и в то же время предохраняет хрупкий стеклянный дисплей от повреждения.

Фотографии плат генератора (см. рис. 15) и дисплея (см. рис. 16) сделаны после их промывки изопропиловым спиртом, но перед тем, как они были покрыты со стороны проводников несколькими слоями бесцветного цапонлака. Технология изготовления фотошаблонов и плат подробно описана в [1] и [2].

Налаживание генератора

Налаживание генератора в основном сводится к настройке тактового гене-

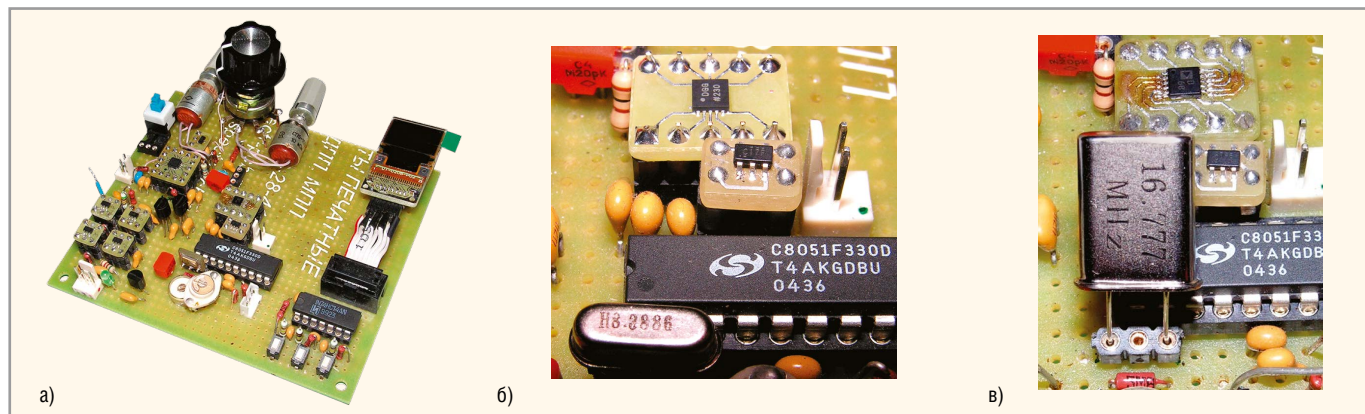


Рис. 11. Фотографии макетной платы генератора

а – общий вид с резонатором 20971520 Гц и синтезатором частоты AD9833; б – фрагмент платы с резонатором 8388608 Гц и синтезатором AD9833; в – фрагмент платы с резонатором 16777216 Гц и синтезатором AD9833

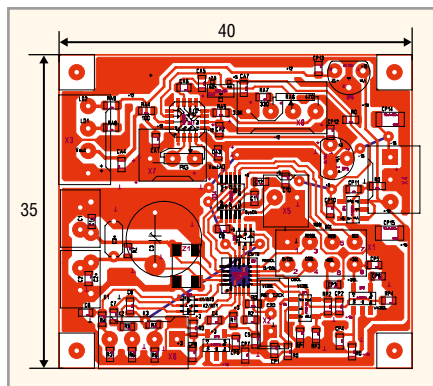


Рис. 12. Вариант разводки платы генератора

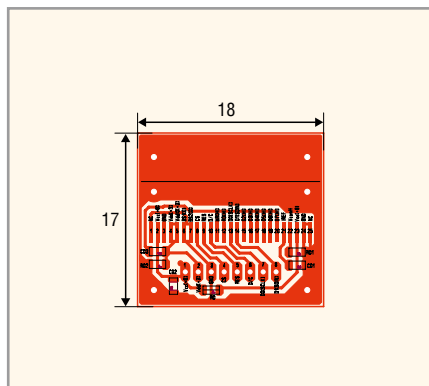


Рис. 13. Вариант разводки платы дисплея

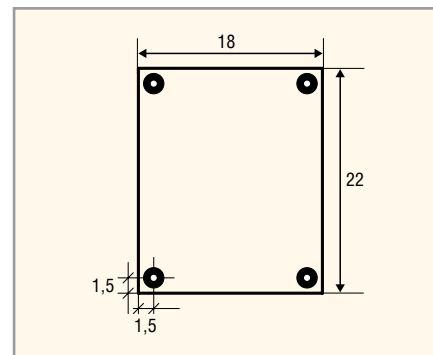


Рис. 14. Пластина для крепления платы дисплея и самого дисплея к корпусу

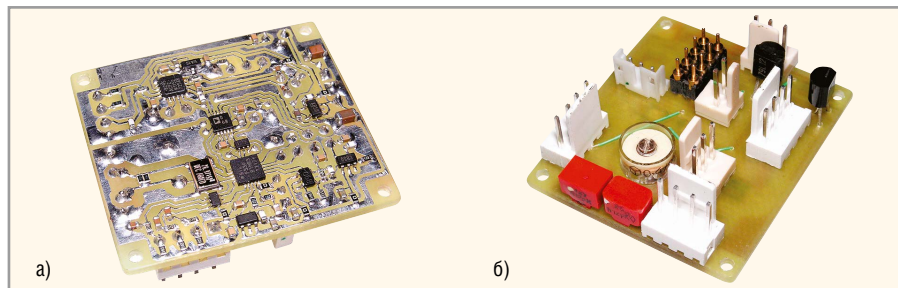


Рис. 15. Фотографии платы генератора

а – вид со стороны проводников, б – вид со стороны разъёмов

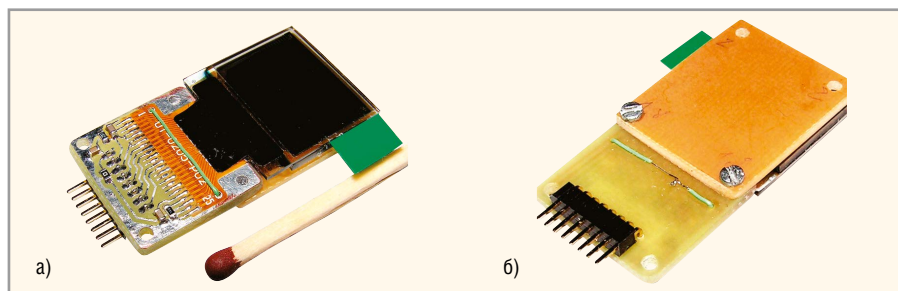


Рис. 16. Фотографии платы дисплея с крепёжной пластиной

а – вид со стороны дисплея, б – вид со стороны крепёжной пластины

ратора МК на номинальную частоту кварцевого резонатора, равную 20 971 520 Гц. Во избежание повреждения ИС AD8295 при настройке частоты тактового генератора эта ИС должна отсутствовать на плате. Дело в том, что выходной сигнал DDS микросхемы AD9833 в отсутствие тактирования может принять непредсказуемое значение, в том числе и напряжение питания +5 В. В этом случае на инвертирующий вход ИУ AD8295 будет подано напряжение около +0,3 В, а на неинвертирующий вход – напряжение питания +5 В. От такого дифференциального напряжения ИУ может выйти из строя. Если же генератор настроен и микросхема DDS тактируется микроконтроллером, то максимальное выходное напряжение DDS составит не более $\pm 0,3$ В. В этом случае ИУ будет работать в штатном режиме.

В описании микроконтроллера C8051F330 указано, что параллельно

к кварцевому резонатору должен быть подключён резистор номиналом в 10 МОм (резистор RZ на рис. 17). При таком номинале резистора тактовый генератор запускается не всегда, однако при номинале резистора 5 МОм генератор запускается устойчиво.

Для работы тактового генератора МК с использованием кварцевого резонатора применяется схема, показанная на рисунке 17а и рекомендуемая производителем микроконтроллера. В этой схеме используются кварцевый резонатор Z1 и два конденсатора C1 и C2, номиналы которых должны быть подобраны так, чтобы их общая ёмкость, вместе с ёмкостью монтажа, соответствовала нагрузочной ёмкости, приведённой в спецификации кварцевого резонатора. Для кварцевого резонатора частотой 20971520 Гц фирмы Merscury в спецификации указана нагрузочная ёмкость 10 пФ. С учётом общей ёмкости монтажа и входов XT1

и XT2, например 3 пФ, ёмкости конденсаторов C1 и C2 должны быть по 17 пФ. Однако, по опыту автора, ёмкости этих конденсаторов должны быть 12...15 пФ, в этом случае они обеспечивают работу резонатора на номинальной частоте в 20 971 520 Гц.

На рисунке 17б приведена схема точной настройки частоты резонатора. Вначале впаивается конденсатор C1 ёмкостью, например, 12 пФ. Вместо C2 впаивается подстроечный конденсатор 3/20 пФ (см. рис. 11). Параллельно ему впаивается третий подстроечный конденсатор C3 ёмкостью 0,4/2 пФ (который останется на плате). Далее к разъёму X5 (см. рис. 1) подключают кабель, соединённый с входом частотомера, и при среднем положении регулятора конденсатора C3 вращают регулятор конденсатора C2, добиваясь показаний частотомера (см. рис. 18а) 20971520 Гц. После этого выпаивают конденсатор C2 и измеряют его ёмкость. Затем из нескольких конденсаторов номиналом 10...12 пФ выбирают ближайший по ёмкости к 11 пФ и впаивают на место C2 (см. рис. 17в). После этого включают питание и устанавливают частоту конденсатором C3. На этом настройка генератора заканчивается.

Как следует из рисунка 18а, частотомер измеряет частоту за время 0,1 с и выдаёт показания через интервал, определяемый временем индикации, для регулировки которого в частотомере предусмотрена специальная ручка. Точность настройки частоты в таком режиме составляет ± 10 Гц (при частоте 20 971 520 Гц это соответствует отклонению менее $\pm 0,00005\%$). Такой точности вполне достаточно для настройки. Однако если увеличить время измерения до 1 секунды (см. рис. 18б) и потратить чуть больше времени, точность настройки можно повысить до 1 Гц ($\pm 0,000005\%$).

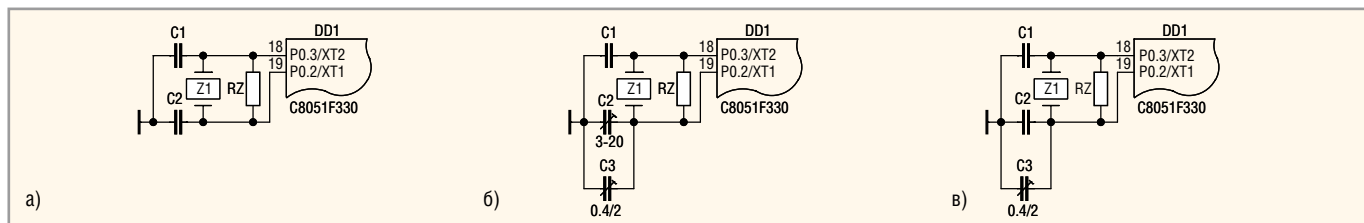


Рис. 17. Последовательность настройки тактового генератора на номинальную частоту кварцевого резонатора



Рис. 18. Фотографии показаний частотомера, измеряющего частоту тактового генератора при различном времени (Т) измерений

а – Т = 0,1 с; б – Т = 1 с; в, г – Т = 10 с

Следует отметить, что используемые автором конденсаторы С1 и С2 типа К10-17А держат частоту генератора на протяжении нескольких лет. Что касается настройки смещения ИУ (резистором RA6, рис. 1), то она, как уже упоминалось, производится один раз.

Во второй части статьи будут описаны программные средства и приведены результаты испытаний генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов А. Метод фоторепродуцирования для изготовления фотошаблона печатных плат в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности, № 5–7, 2010.
2. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности, № 8–10, 2010.

3. Кузьминов А. Регулируемый двухполярный блок питания. Радио, № 5, 2012.
4. Кузьминов А. Преобразователь интерфейсов USB_SPI с гальванической развязкой. Современная электроника, № 1, 2012.
5. Бирюков С.А. Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах. Радио и связь, 1996.
6. Рутковский Дж. Интегральные операционные усилители. Мир, 1978.

