

Программируемый генератор высокочастотных колебаний

При разработке и наладке радиоэлектронных устройств зачастую бывает необходимо применение перестраиваемого ВЧ-генератора. Современная элементная база позволяет создавать генераторы с программируемой частотой с небольшим объемом аппаратных затрат. В таких генераторах целесообразно использовать синтезаторы частоты, которые обеспечивают выработку ВЧ-сигнала в широком диапазоне частот на основе системы автоматического регулирования. Настоящая статья знакомит читателя с одним из таких синтезаторов частоты и рассматривает вариант реализации программируемого генератора на его основе.

Принципиальная схема рассматриваемого программируемого генератора ВЧ колебаний представлена на рис. 1.

Схема содержит следующие элементы:

- синтезатор частоты TSA6060;
- генератор, управляемый напряжением (ГУН);
- фильтр нижних частот (ФНЧ);
- микроконтроллер AT90S2313;
- супервизор питания MCP100-450;
- блок оптической развязки.

Микросхема TSA6060 [1] фирмы Philips Semiconductors предназначена для построения цифровых

синтезаторов с системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), работающих в AM-FM-диапазонах. Она имеет в своем составе все элементы, необходимые для построения синтезатора частоты с ФАПЧ, за исключением ГУН и ФНЧ. В состав микросхемы входят: генератор и делитель образцовой частоты, делитель входной частоты с программируемым коэффициентом деления (17 бит), цифровой фазовый детектор, двухуровневый усилитель тока и контроллер обмена информацией с внешним устройством по протоколу I²C. Структурная схема и маркировка прибора показаны на рис. 2.

Таблица 1. Основные технические характеристики

Номинальное напряжение питания V_{CC1} , В	4,5–5,5
Номинальное напряжение питания V_{CC2} , В	$(V_{CC1}+1)-12$
Потребляемый ток I_{CC1} , мА, не более	15
Потребляемый ток I_{CC2} , мА, не более	1,5
Входная частота A_M , МГц	0,5–30
Входная частота F_M , МГц	30–200
Шаг сетки $f_{обр}$, кГц	1; 10; 25; 50
Входное напряжение A_M , мВ	30–500
Входное напряжение F_M , мВ	20–300

Таблица 2. Определение входной частоты синтезатора

Бит X	Входная частота fi	Вход
0	$(S2 \times 20 + S3 \times 21 + \dots + S15 \times 213 + S16 \times 214) \times f_{обр}$	AM
1	$(S0 \times 20 + S1 \times 21 + \dots + S15 \times 215 + S16 \times 216) \times f_{обр}$	FM

Примечание. Для AM минимальный коэффициент деления составляет $2^6=64$, для FM — $2^8=256$.

При $Z = 0$ микросхема должна работать с кварцевым резонатором на 4 МГц, при $Z = 1$ — на 8 МГц. Бит BS управляет режимом одноименного выхода микросхемы (данный выход с открытым коллектором), при $BS = 0$ выход переводится в третье состояние, а при $BS = 1$ — в режим поглощения тока.

Запросы информации по вопросам доукомплектования к клавишам SDA и SCL — шина I²C. Описание реализации протокола I²C можно найти в литературе [2, 3]. Для программирования используется один адресный и четыре конфигурационных бита. Адресный бит содержит адрес устройства и бит AS (рис. 3). При совпадении этого бита с логическим уровнем на соответствующем выводе микросхемы обеспечивается запись в нее конфигурационной информации. На схеме (рис. 1) вывод AS подключен к земле. К одной I²C-шине могут быть подключены два синтезатора, независимых друг от друга. В этом случае второй синтезатор подключается к той же I²C-шине, а на его вывод AS необходимо подать логическую единицу.

Микросхема TSA6060 может быть запрограммирована частично при необходимости обновления только части информации (например, AV+DB0+DB1). В любом случае передача должна быть закончена «стоповым условием».

В синтезаторе частоты осуществляется сравнение фаз с помощью фазового детектора образцовой частоты с частотой на выходе программируемого делителя, полученной в результате деления частоты ГУН.

Когда петля ФАПЧ находится в режиме захвата, то есть когда разность фаз на входе фазового детектора меньше предельно допустимого значения, выход усилителя тока находится в высокоимпедансном состоянии, а на выходе детектора захвата петли (INLCK) присутствует уровень лог. 1. Когда петля находится вне режима захвата, то есть когда фазовым детектором замечена разность фаз между входными сигналами, усилитель тока посылает импульсы коррекции петлевому фильтру (ФНЧ). Для FM-диапазона фильтр выполнен на элементах C8C13R10, для AM — на элементах C9C12R9. Длительность импульсов пропорциональна разности фаз. В зависимости от того, какой из поступающих на фазовый детектор сигналов является опережающим, выход усилителя тока переключается либо в режим поглощения, либо в режим источника тока, заряжая или разряжая тем самым конденсаторы в петлевом фильтре до напряжения, необходимого для перевода петли ФАПЧ в режим захвата. Вне режима фазового синхронизма на выходе

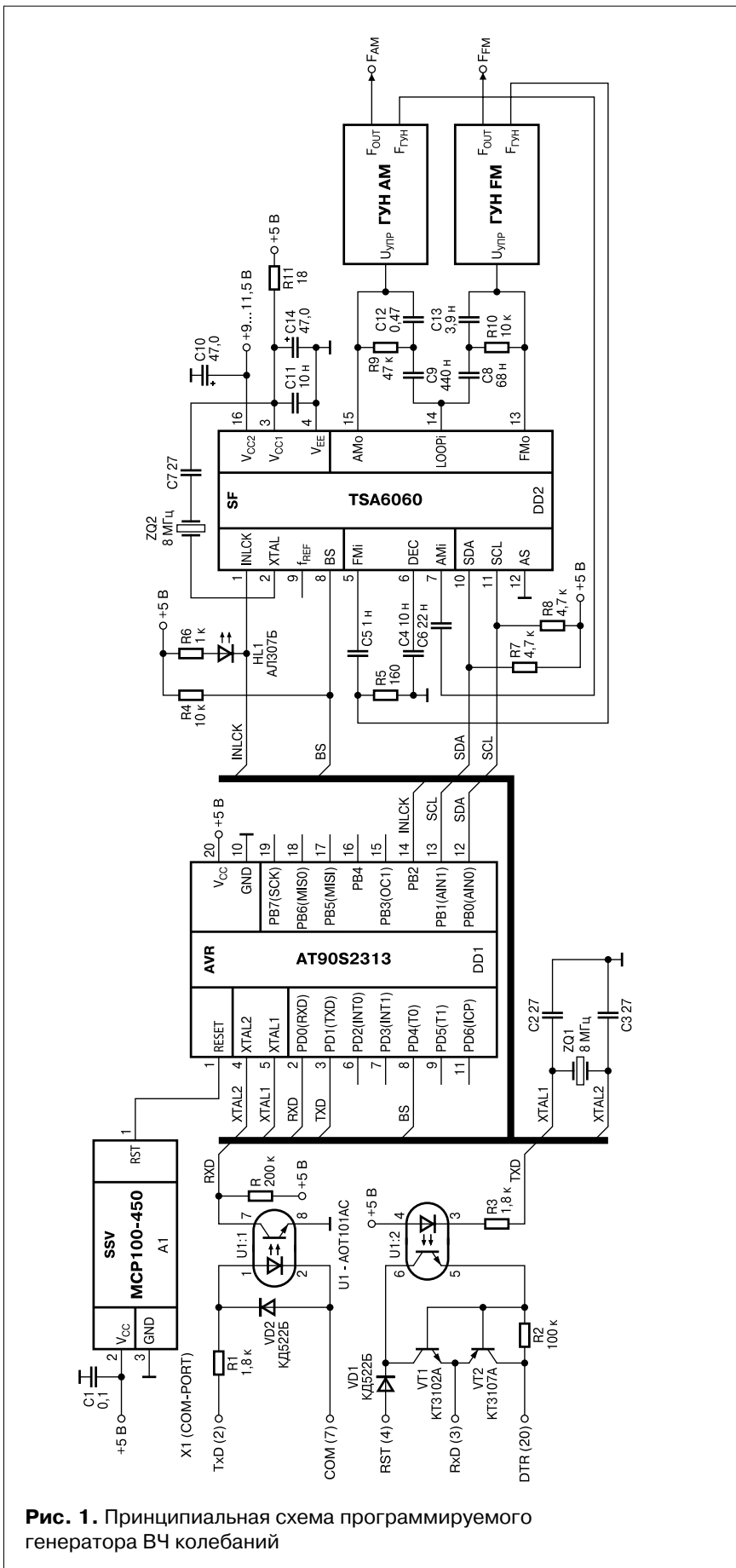


Рис. 1. Принципиальная схема программируемого генератора ВЧ колебаний

INLCK присутствует уровень лог. 0 (рис. 4).

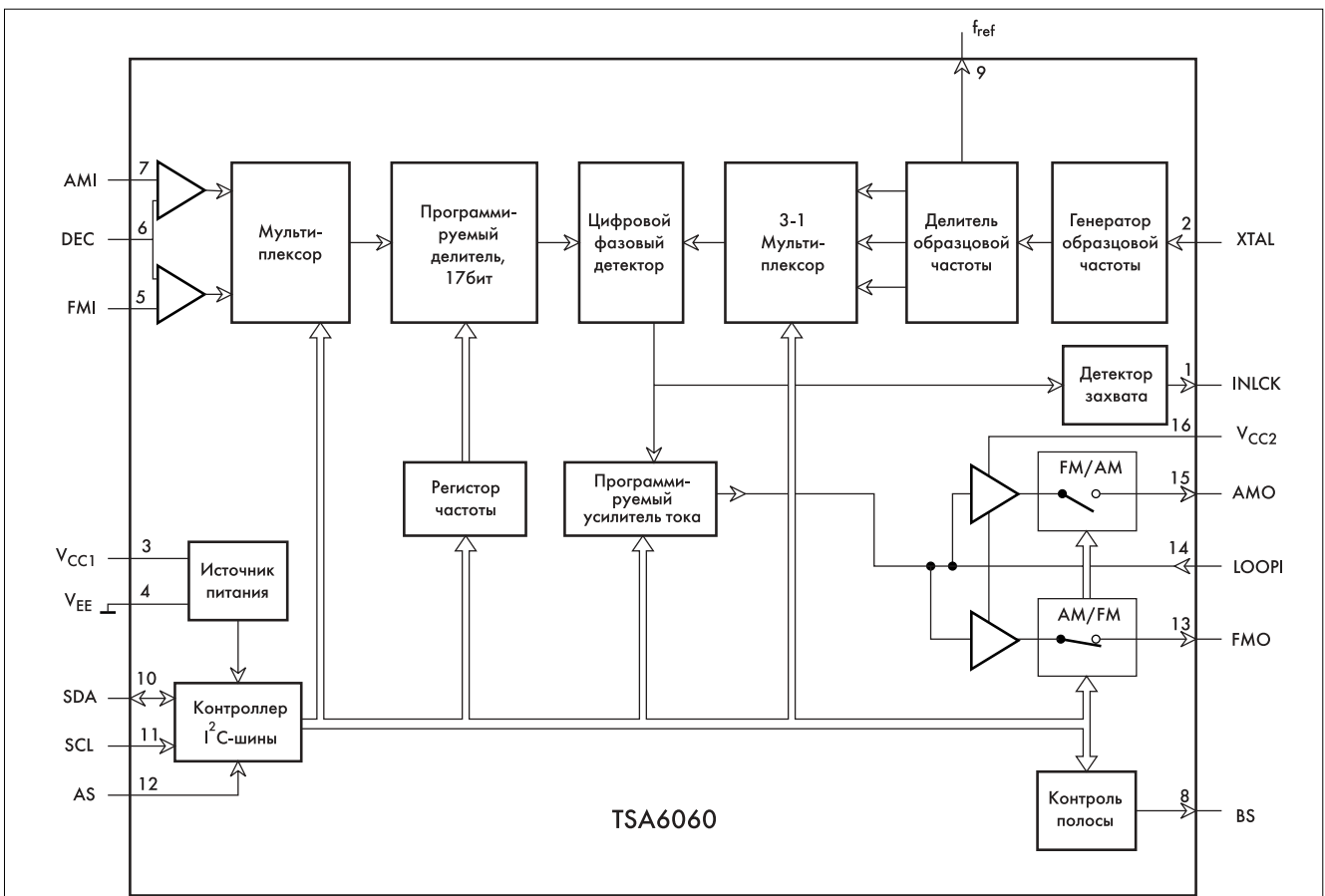
Если бит CP (бит управления усилителем тока) установлен в 1, то на выходе усилителя формиру-

ется ток около 500 мкА, который обеспечивает высокую скорость настройки. В противном случае (при CP=0), ток составляет 25 мкА, при этом обеспечивается более высокая точность настройки.

На рис. 5 показана схема одного из вариантов ГУН, который представляет собой составную часть генератора качающейся частоты, перекрывающего диапазон частот 0,5–45 МГц. Диод, соединенный с затвором полевого транзистора, служит для регулировки амплитуды. Катушка L1 диаметром 10 мм содержит пять витков провода диаметром 1 мм. Отвод делается от полутора витков, считая от массы. При регулировке катушки сердечником можно получить частоты от 50 до 100 МГц. Питание и управляющее напряжение подводятся с использованием блокировочных конденсаторов емкостью 10 нФ.

В описываемом генераторе используется микроконтроллер AT90S2313 [4], который реализует функции связи с персональным компьютером (ПК) по интерфейсу RS-232 и записи конфигурационной информации в синтезатор по I²C-шине. При помощи ПК пользователь на основе описанных выше данных формирует конфигурационные байты, которые передаются в микроконтроллер, а затем — в синтезатор. Интерфейс программы для ПК приведен на рис. 6. Программа проста в использовании и в описании не нуждается. Необходимо только отметить, что связь с микроконтроллером осуществляется на стандартной скорости 9600 бит/с. Программу можно найти в Интернете по адресу: http://www.dian.ru/sh_soft.html

Связь генератора с компьютером обеспечивается через оптопары U1 (рис. 1), обеспечивающие гальваническую развязку цепей компьютера и генератора, что позволяет повысить помехоустойчивость и надежность системы. Прием данных производится с коллектора оптрона U1.1. Для передачи информации используется оптрон U1.2, при этом на выводах последовательного порта компьютера RTS и DTR программно выставляются соответственно положительный и отрицательный уровни, которые являются питающими напряжениями для транзисторов VT1 и VT2. Вместо оптронов и транзисторов можно использовать, например, преоб-



Назначение выводов микросхемы:

- INCLK (1) — выход детектора захвата петли ФАПЧ;
- XTAL (2) — вход для подключения кварцевого резонатора (4 или 8 МГц);
- V_{CC1} (3) — вход для подключения первого источника питания (для питания цифровой части синтезатора);
- V_{EE} (4) — земля;
- FMI (5) — частотный вход для подключения ГУН FM-диапазона;
- DEC (6) — развязка предварительного делителя;
- AM_I (7) — частотный вход для подключения ГУН AM-диапазона;
- BS (8) — выход контроля переключения диапазона;
- f_{ref} (9) — выход частоты 40 кГц;
- SDA (10) — вход последовательных данных I²C-шины;
- SCL (11) — вход синхронизации I²C шины;
- AS (12) — вход выбора микросхемы;
- FM_O (13) — FM-выход для подключения внешнего фильтра;
- LOOP₁ (14) — вход для настройки выходного усилителя напряжения;
- AM_O (15) — AM-выход для подключения внешнего фильтра;
- V_{CC2} (16) — вход для подключения второго источника питания (для питания аналоговой части синтезатора).

Рис. 2. Структурная схема TSA6060

разователи уровней для интерфейса RS-232C — микросхемы ADM232A, MAX232A и др. При этом гальваническая развязка не обеспечивается.

Применение супервизора в данном устройстве исключает неверное декодирование и выборку команд в микроконтроллере при плавном понижении напряжения питания, путем остановки работы процессора подачей сигнала сброса. Для супервизора MCP100-450 фирмы Microchip пороговым значением переключения является 4,25 В.

Ниже приведена программа для микроконтроллера, которая написана на языке Basic для AVR микроконтроллеров (BASCOS-AVR Version 1.11a фирмы MCS Electronics, адрес в интернете: <http://www.mcselec.com>).

```

'-----
'Синтезатор — Tsa 6060
'-----

$crystal = 8000000
'частота кварца ZQ1
    
```

```

$baud = 9600
'скорость обмена

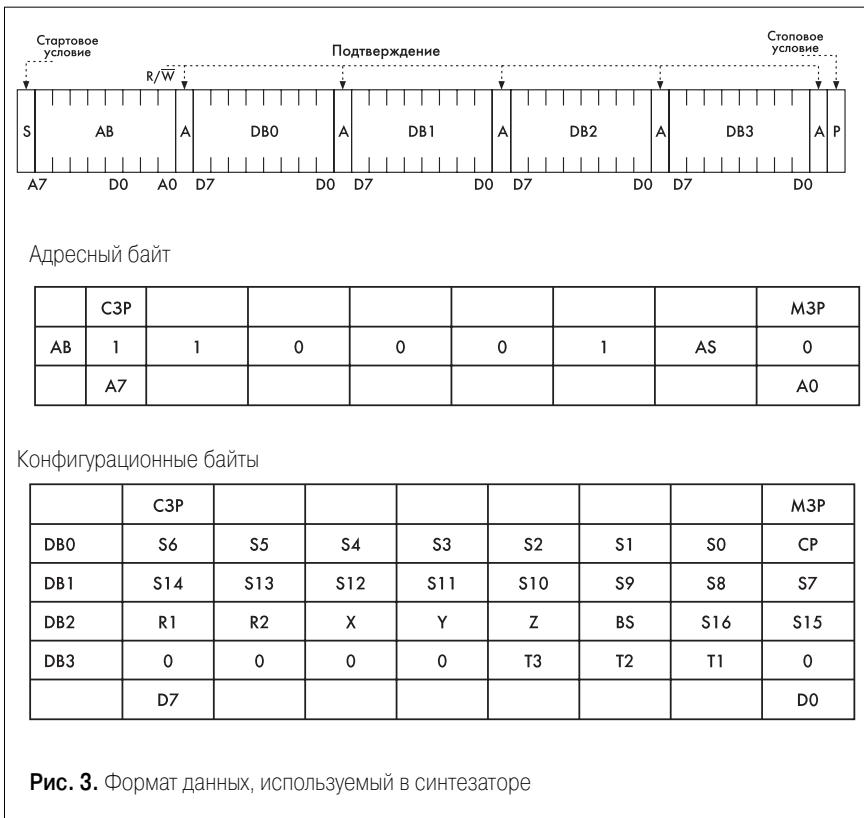
Declare Sub Write_TSA

Dim Ab As Byte
'адресный байт

Dim Db(4) As Byte
'байты данных
Dim S As Byte
Print «Tsa 6060 ver 1.1»
'начальное сообщение

Loop:
S = «1»
Inputbin S
'получить команду от ПК

'отослать ПК текущие значения AB и DB()
    
```



проверка связи

```

If S = «Z» Then Print «Test Ok»
    
```

```

'получить от ПК значения AB и DB()
If S = «i» Then
    Inputbin Ab
    Inputbin Db()
End If
    
```

```

'записать в синтезатор конф. информацию
If S = «w» Then Call Write_tsa
    
```

```

Goto Loop
'зацикливание
    
```

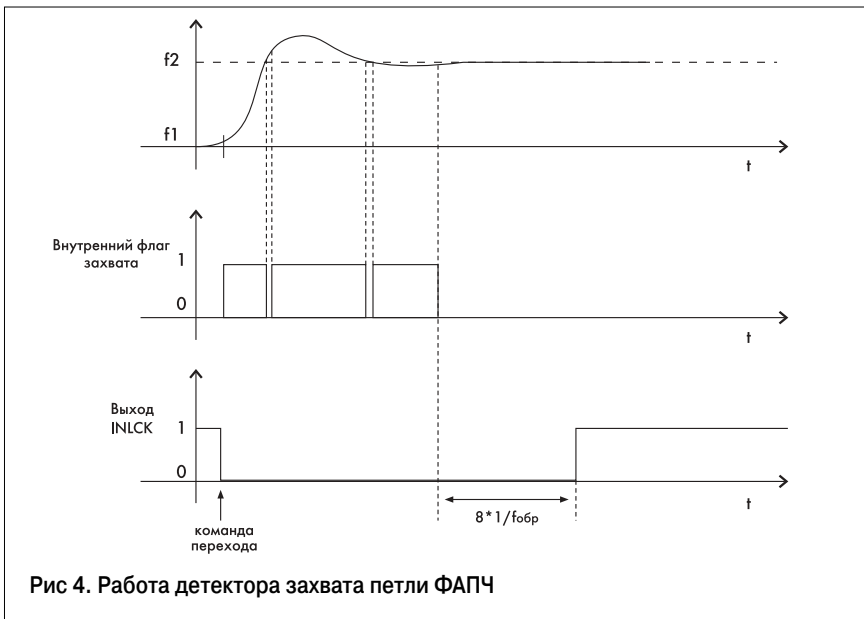
End

```

'Подпрограмма записи по I2C-протоколу
Sub Write_tsa
    I2cstart
'Стартовое условие
    I2cwrite Ab
'адрес синтезатора
    I2cwrite Db(1)
'байты данных
    I2cwrite Db(2)
    I2cwrite Db(3)
    I2cwrite Db(4)
    I2cstop
    Waitms 10
'пауза 10 мс
End Sub
'стоповое условие
    
```

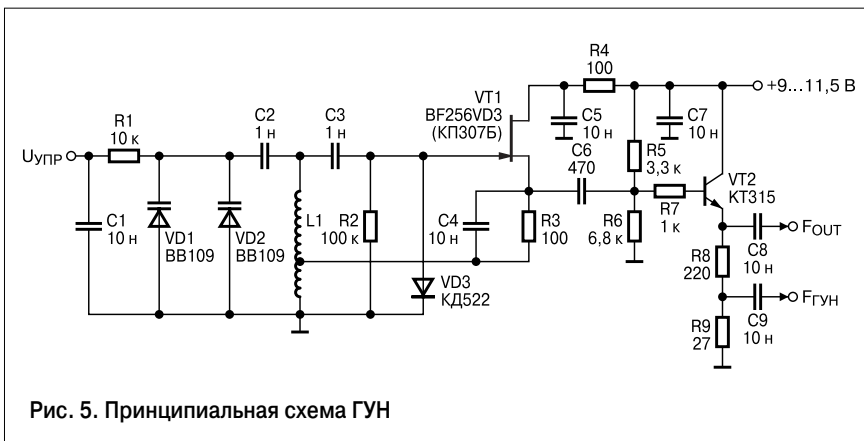
Выбор микроконтроллера линий I²C шины и других особенностей компиляции осуществляется в опциях программы BASCOM «Option ->Compiler». К преимуществам данной программы можно отнести то, что она имеет в своем составе большую библиотеку специальных функций (например, реализующих протокол I²C, SPI и др.), а также то, что она осуществляет поддержку ряда популярных программаторов (схемы некоторых из них можно найти в Help-файле).

Описанный выше генератор можно легко модифицировать таким образом, что необходимость в использовании ПК отпадет. В этом случае, вместо ПК и блока оптронной развязки можно использовать клавиатурную матрицу (например,



```

Printbin Ab
End If
    
```



4-4) и модуль ЖКИ. При применении модуля ЖКИ с последователь-

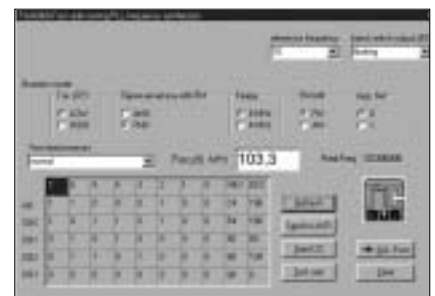


Таблица 3. Выбор шага частотной сетки

Бит R1	Бит R2	Образцовая частота, кГц
0	0	1
0	1	10
1	0	25
1	1	50

Таблица 4. Управление выходным ключом

Бит Y	Ключ	
	FM/AM	AM/FM
1	закрит	открыт
0	открыт	закрит

Таблица 5. Тестовый режим

Бит			Функция
T3	T2	T1	
0	X	0	Нормальный режим работы
1	0	1	Усилитель тока в режиме источника тока
0	1	1	Усилитель тока в режиме поглощения тока
1	1	1	Выход усилителя тока в третьем состоянии
0	0	1	Усилитель тока в режиме поглощения и источника тока
1	1	X	На выходе BS – частота с делителя
1	0	X	На выходе BS – образцовая частота

ным вводом информации замена микроконтроллера на другой, с большим числом линий ввода/вывода, не понадобится.

Устройство можно использовать не только для генерирования ВЧ-сиг-

налов, но и в качестве предварительного делителя для измерения частот. Для этого, вместо сигнала с ГУНа на вход синтезатора подается измеряемая частота. Синтезатор переводится в тестовый режим, при котором на

выходе BS присутствует частота, поделенная на установленный микроконтроллером коэффициент деления. Эту частоту можно измерить микроконтроллером, либо простейшим мультиметром с НЧ-частотомером, а затем полученное значение частоты умножить на этот коэффициент.

Дмитрий Онышко,
Александр Журченко,
oda78@pisem.net

Литература

1. <http://www.omsk.edu/~dm/sprav/pdf/ttsa6060.pdf>
2. <http://www.us.semicondtors.philip.com/i2c/support>
3. doc0951.pdf, <http://www.atmel.com> (I2C)
4. doc0839.pdf, <http://www.atmel.com> (AVR2313)
5. Д. Онышко. Супервизоры питания фирмы Microchip — Chip-News, 2001, № 5.