Автор: Dmitry A. Gorokh
25.07.2012 23:36 - Обновлено 17.08.2012 16:40

Введение

Бесспорно, что степень любого успеха на QRP всецело зависит от прохождения и мастерства радиолюбителя. И, если мастерство приходит с опытом, то «капризы» прохождения нам неподвластны. Мы можем лишь в той или иной степени наблюдать за обстановкой или давать прогнозы. Существует множество способов наблюдения за ионосферой и прохождением радиоволн. Одним из древних и популярных способов является наблюдение за работой радиомаяков. Действительно, маяки имеют небольшую мощность, работают круглосуточно или по расписанию, и показывают фактическую обстановку в эфире в данное время. С другой стороны, эффективность маяков целиком определяется их количеством.

Традиционно схемы радиолюбительских маяков мало отличаются от схем передатчиков. Некоторые радиолюбители даже временно используют для этого свои трансиверы. А такая известная сеть маяков, как NCDXF Beacon Project использует фирменные трансиверы и специальные контроллеры. Несомненно, что контроллер для маяка необходим, и он обязательно будет содержать микропроцессор или микроконтроллер. Кроме этого, контроллер может еще управлять синтезатором передатчика и(или) регулировать мощность в антенне. Все эти задачи очень простые и большую часть времени контроллер простаивает. Более рациональный и дешевый подход – это максимально упростить аппаратную часть и нагрузить программную. Оказывается, что в схемах с процессором/микроконтроллером достаточной производительности можно даже **полностью отказаться от аппаратного гетеродина** (XCO, VCO, DDS, PLL) и реализовать генерацию стабильной высокой частоты непосредственно в микроконтроллере ценой увеличения вычислительной нагрузки и использованием аналоговых фильтров. В традиционных схемах гетеродинов и так присутствуют фильтры, а нагрузка на процессор может быть сведена к минимуму, если в нем имеется режим DMA.

Краткое описание подхода

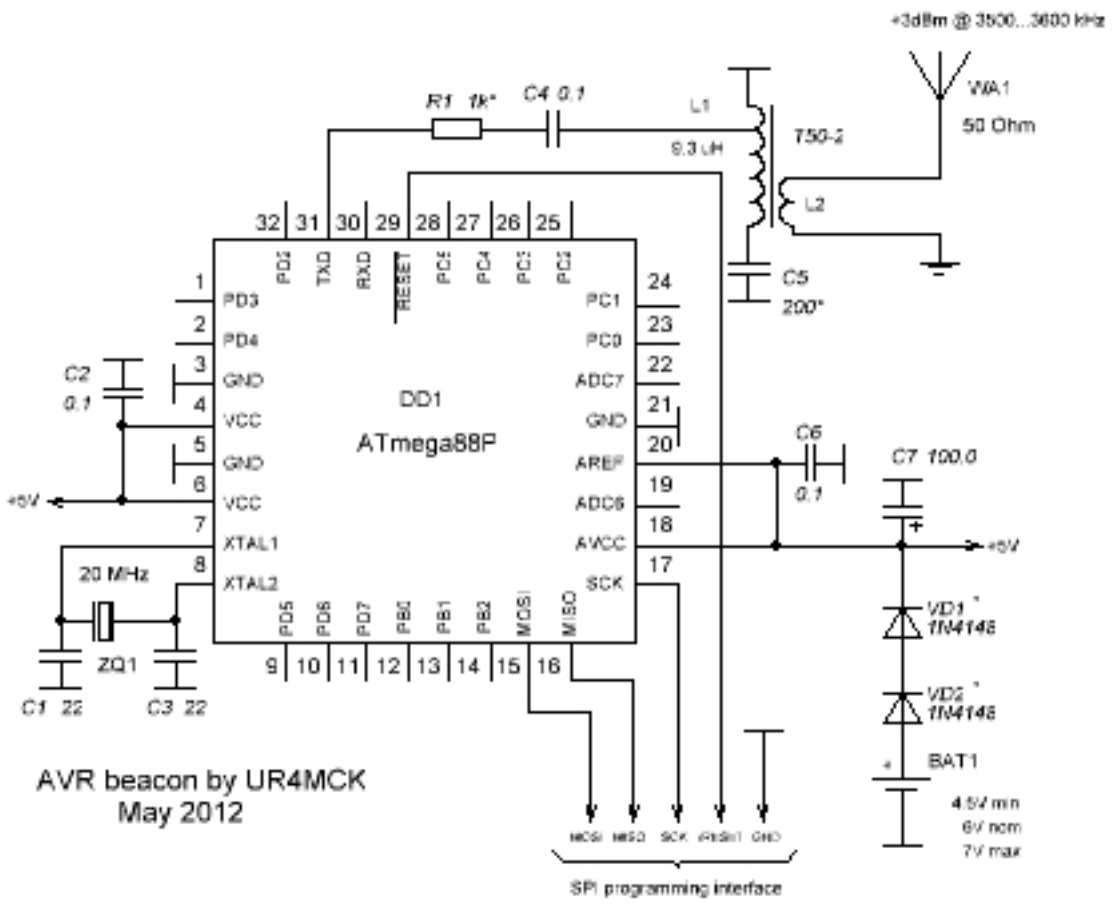
Суть нового метода, который заслуживает отдельного описания, заключается в том, что, используя аппаратные периферийные ресурсы (SPI, UART, I2S) и последовательность бит, подготовленных по специальному алгоритму, можно получить на выходе процессора непрерывный сигнал, частотой и фазой которого можно программно управлять. После фильтрации выходного цифрового сигнала в аналоговом фильтре можно выделить аналоговый ВЧ сигнал, стабильность которого определяется кварцевым генератором микроконтроллера, а шаг перестройки – процессорными ресурсами, и может составлять от долей герц до единиц мегагерц. Этот принцип основан на цифровом синтезе сигналов (DDS), но без традиционного АЦП на выходе. Также как и в DDS, тут используется фазовый регистр нужной длины, а выходная последовательность формируется **только значением старшего бита** фазового регистра (подробности метода будут опубликованы в отдельной статье). Замечательным фактом является то, что нет необходимости каждый раз просчитывать очередной бит последовательности. Достаточно один раз просчитать полный период всей последовательности, сохранить ее в постоянной памяти, и выдавать наружу через

периферию байт за байтом. Немаловажно и то, что период последовательности всегда ограничен, является степенью двойки и не превышает 2^N, где N– разрядность фазового регистра. Это позволяет «упаковывать» последовательность в байты, слова, двойные слова, и удобно хранить и вынимать их из памяти.

В этой статье описаны две схемы маяка на простом и дешевом 8-битном микроконтроллере AVR от фирмы Atmel, в котором реализован описанный выше метод цифрового программного гетеродина. Основные функции маяка – это формирование телеграфных знаков заданной скорости для заданного текста. Они занимают очень малую долю процессорного времени и потому здесь есть возможность отказаться от внешнего ВЧ генератора несущей и формировать ее в микроконтроллере. Для расчета последовательности, которую следует записать в память микроконтроллера, используется простая утилита на языке Си. Исходными данными для нее являются **опорная частота в Гц** (20 МГц / 2 = 10 000 000 Гц, см. константу FREQ_OSC) и **выходная частота маяка в Гц** (FREQ_OUT). Результатом работы утилиты будет последовательность байт, которую затем надо перенести в исходный проект AVR маяка, по образцу отформатировать массив байт, и перекомпилировать весь проект. Для удобства выбора последовательностей, утилита выводит сразу несколько их, по возрастанию инкремента фазы (M), также показывается период последовательности (длина массива в байтах). В данной версии AVR маяка поддерживаются последовательности длиной до 256 байт (2048 бит). Принципиально не существует ограничений, чтобы снять это условие в новых версиях AVR маяка.

Простейший маяк на одной микросхеме

На рис. 1 показана принципиальная схема маломощного маяка на диапазон 80 м, в котором используется всего лишь одна микросхема AVR микроконтроллера, необходимая «обвязка» к нему и аналоговый полосовой ВЧ фильтр. Схема питания максимально упрощена и предназначена для использования совместно с 6 В аккумулятором или батареей. Следует придерживаться указанных на схеме ограничений по напряжению питания. Если оно не превышает 5.5 В, то от использования диодов VD1, VD2 можно отказаться. Напряжение питания (без учета падения напряжения на диодах) не должно быть меньше 4.5 В!



[redacted]

QRP маяк на 80 м

Гораздо совершеннее, но и сложнее маяк по схеме рис. 2. Он также рассчитан на диапазон 80 м, но может быть перестроен и на другие диапазоны. Как и раньше, конкретная рабочая частота указывается в утилите, с помощью которой рассчитывают DDS-последовательность для микроконтроллера. Мультиплексор DD2 работает как компаратор и драйвер полевого транзистора. Все три его ключа соединены параллельно, а логические входы смещены по напряжению на 3.6 В (подбирается экспериментально) с тем условием, чтобы при отсутствии сигнала ключи замыкали затвор транзистора на землю. При поступлении на входы ключей синусоидального напряжения ключи, ввиду наличия гистерезиса в цифровых цепях, переключаются скачкообразно, тем самым формируя прямоугольные импульсы на затворе выходного транзистора. Скважность импульсов регулируется подбором напряжения смещения на ключах с помощью R2. Выходной каскад на VT1 в целях повышения его эффективности работает в классе Е. Указанные на схеме детали рассчитаны на участок частот 3500…3600 кГц. Для использования маяка в других участках вместе с новой последовательностью и настройкой контура L1C6 в резонанс, требуется также пересчитать выходной усилитель. Питание маяка осуществляется от литий-полимерной (LiPo) батареи с тремя последовательно соединенными "банками" (3S) и номинальным напряжением 11.1 В. В случае применения других источников следует позаботиться о том, чтобы напряжение питания на DD2 не превышало 10 В. (Следует либо добавить

диоды последовательно с VD1-VD3, либо установить интегральный стабилизатор). При напряжении питания 11.1 В и потребляемом токе 140 мА маяк развивает мощность в антенне 1 Вт.

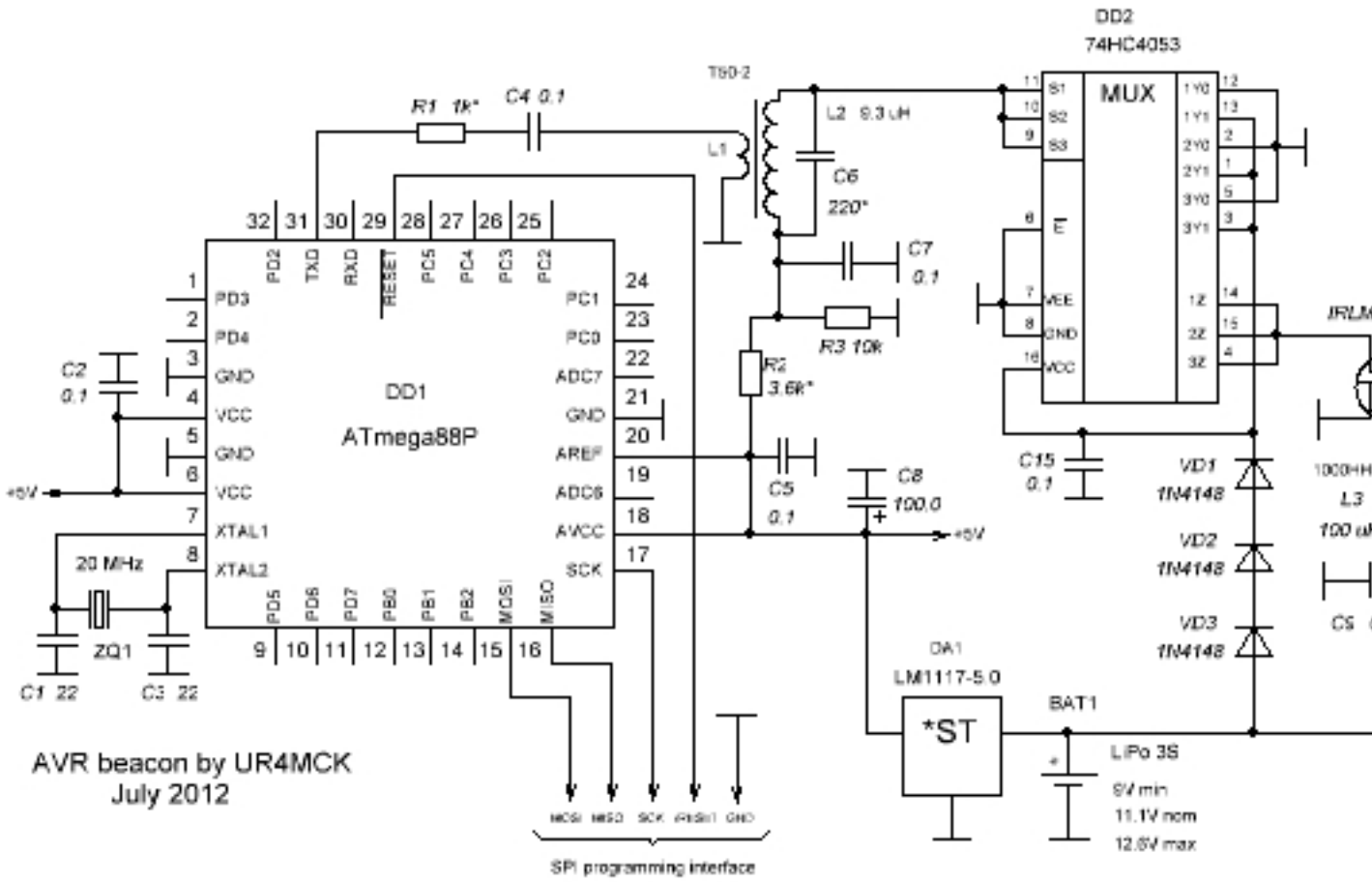


Рис. 2. QRP маяк на 80 м
(нажмите для увеличения)

На рис. 3, 4 показаны рисунки печатных плат для самостоятельного изготовления. Рисунок платы со стороны SMD компонентов (рис. 3) сделан в зеркальном виде. Рисунки плат в формате Sprint Layout можно взять из пакета документации (см. ниже).

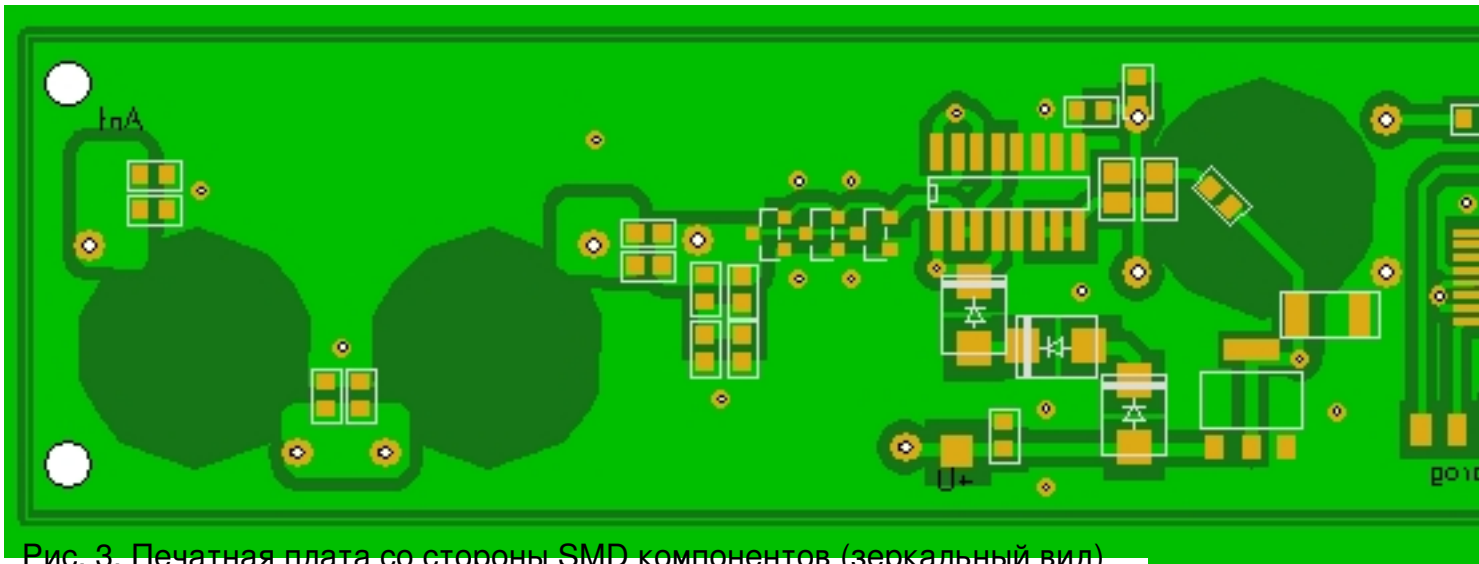
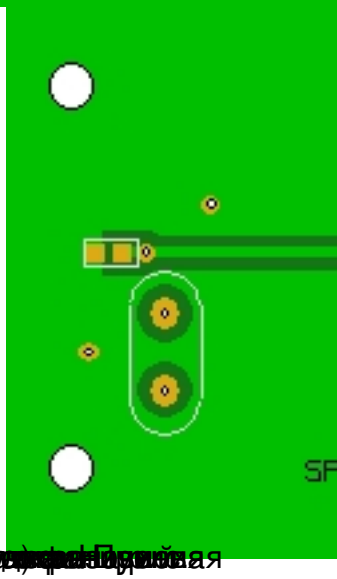


Рис. 3. Печатная плата со стороны SMD компонентов (зеркальный вид)



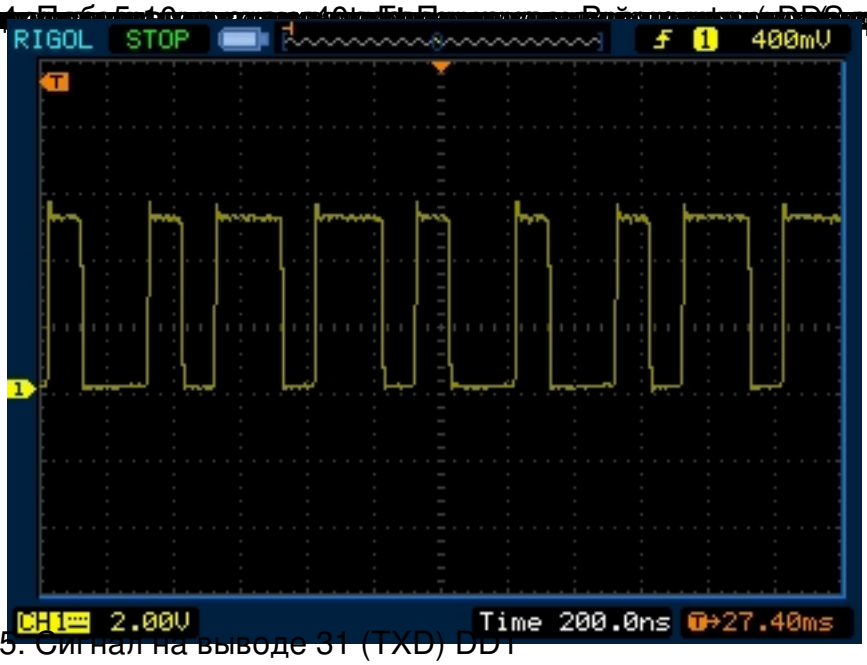


Рис. 5. Сигнал на выводе 31 (TXD) DD1

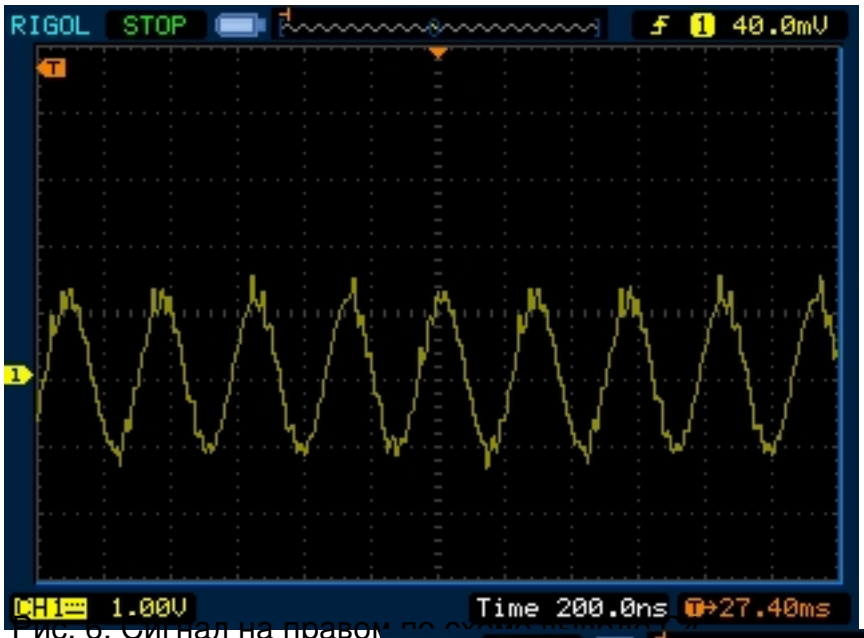


Рис. 6. Сигнал на правом по схеме плече моста

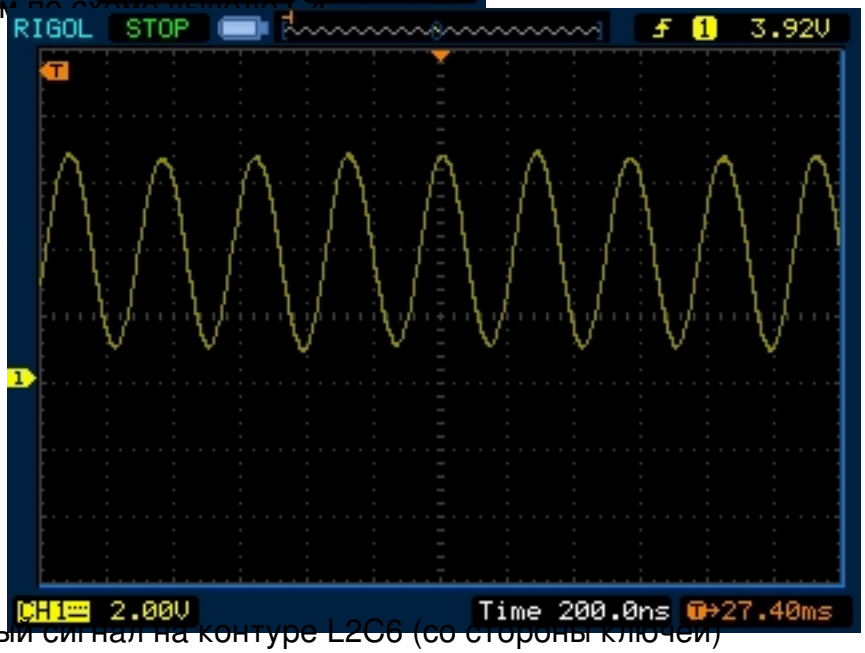


Рис. 7. Отфильтрованный сигнал на контуре L2C6 (со стороны ключей)

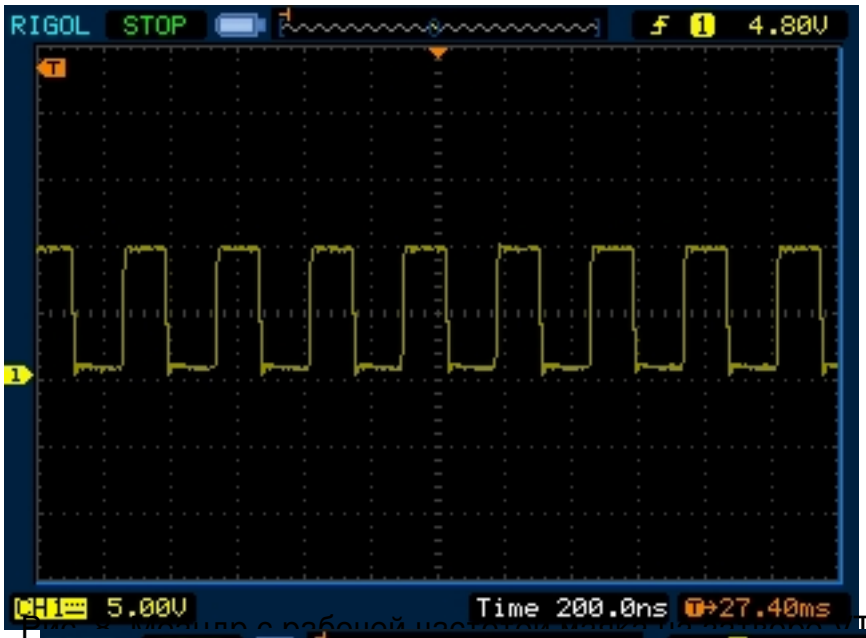


Рис. 5. Модуль с рабочей частотой маяка на переключении VT1

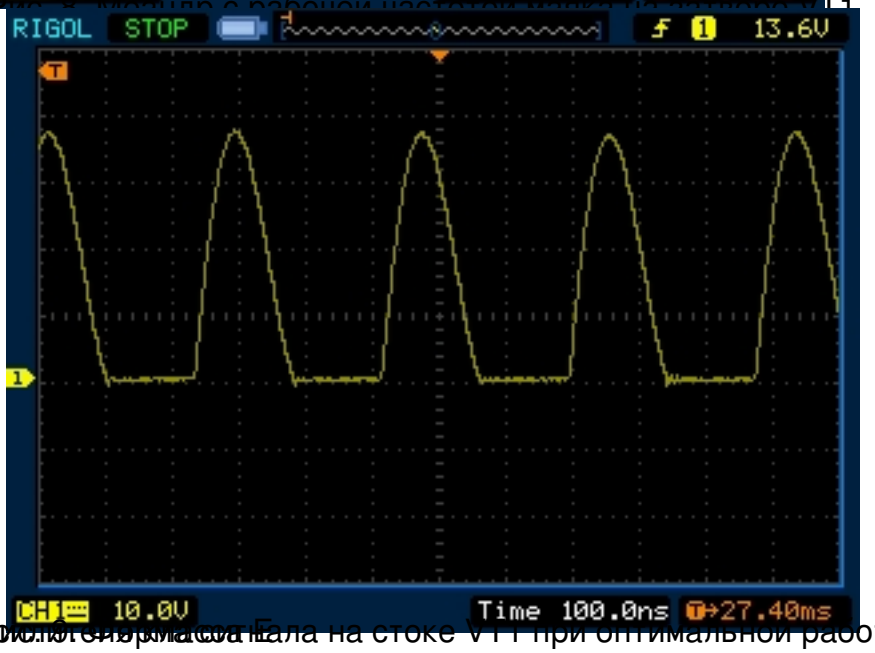
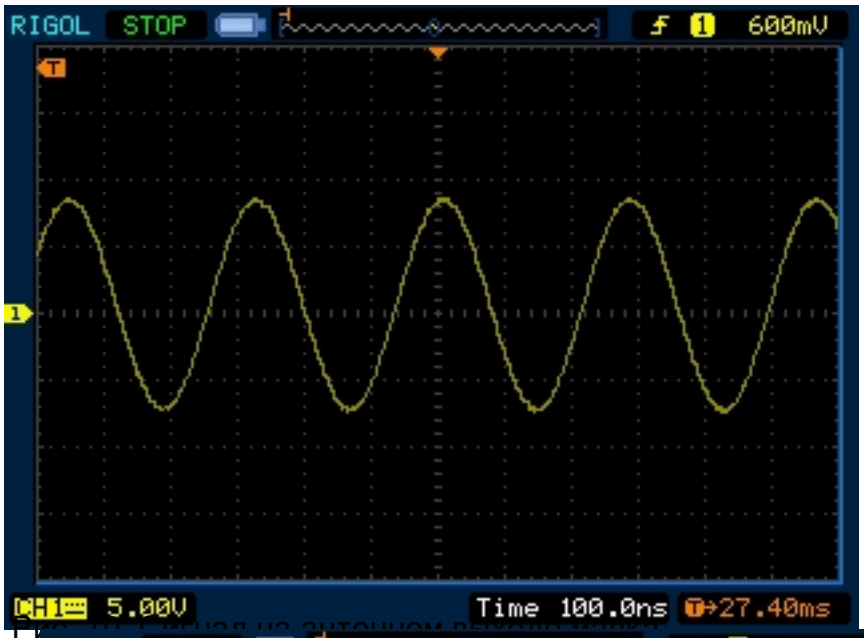


Рис. 6. Форма сигнала на стоке VT1 при оптимальной работе



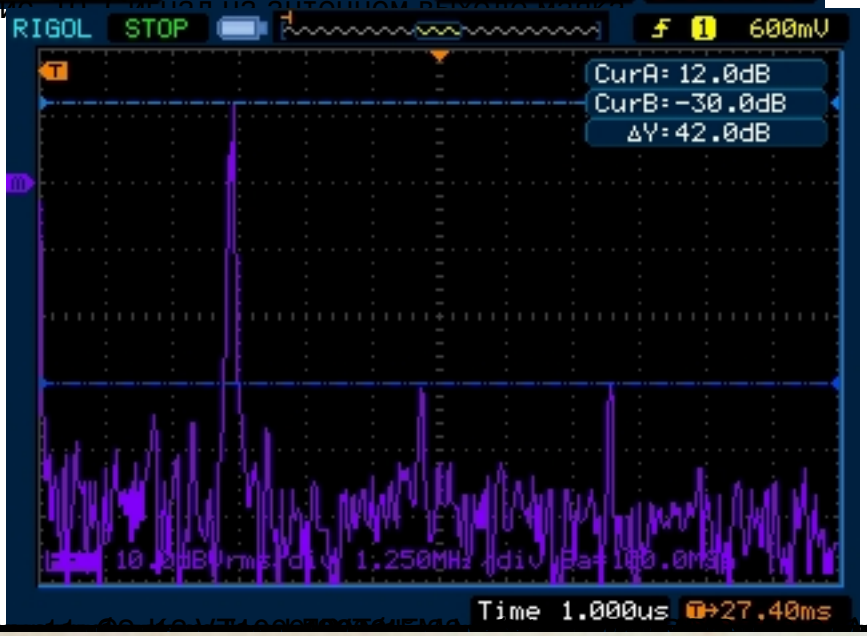


Рис. 12. Фото макета со стороны SMD компонентов

Будущее метода

Описанные в этой статье конструкции маяков практически реализуют новый подход к цифровой генерации сигналов. На самом деле, как было замечено, этот метод не нов, а является частным случаем прямого цифрового синтеза сигналов (DDS). Однако, автору не известны работы, где бы так оригинально использовались аппаратные ресурсы периферии микроконтроллера для генерации ВЧ сигналов. Хочется отметить, что данный метод применим везде, где необходим стабильный источник ВЧ сигнала, и где есть достаточные процессорные ресурсы для его реализации. Например, в 32-битных микроконтроллерах серии ARM7 имеется вся необходимая периферия, а также контроллер DMA, который позволяет значительно разгрузить процессор. DDS-последовательность может быть либо заранее вычисленной и сохраненной в постоянной памяти (как в этом проекте маяка), так и вычисляться по мере перестройки частоты, и храниться в оперативной памяти. При этом время на вычисление одного периода последовательности составляет единицы миллисекунд, что соизмеримо со временем программирования внешнего DDS или временем перестройки PLL. Трансиверы и приемники, построенные по данному методу, могут иметь тот же функционал, что и традиционные, но до предела упрощенную элементную базу и пониженное энергопотребление.

Будущее маяка

В самом проекте AVR маяка тоже можно сделать несколько улучшений:

- хранить текст в EEPROM и иметь возможность изменять его без перепрограммирования микроконтроллера;
- реализовать считывание показаний с датчиков (напряжение питания, температура, давление, влажность, и др.) и передачу их в эфир;
- реализовать работу маяка по расписанию;
- можно управлять фазой и частотой сигнала, тем самым реализовав цифровые модуляции классов PSK и FSK;
- есть возможность управлять выходной мощностью маяка посредством ШИМ (PWM);

- можно сделать многодиапазонный вариант на одном микроконтроллере, переключая только аналоговые фильтры;
- несложно синхронизировать работу нескольких таких маяков для организации их сети на разных диапазонах.

Проект AVR Beacon открыт для всех и распространяется по свободной лицензии GNU GPL v3
. Вы можете свободно и бесплатно использовать, изменять и распространять этот проект с тем условием, что сохраняете авторство за UR4MCK. По всем вопросам и за новыми версиями обращайтесь по адресу:
ur4mck@gmail.com

Пакет документации

Пакет документации включает:

- принципиальную схему (SPlan 7.0, GIF);
- печатную плату (SprintLayout 5.0, GIF);
- исходный код (Atmel Studio 6.0, AVR assembler);
- HEX-файл для программирования микроконтроллера;
- исходный код утилиты для генерации DDS-последовательности (GNU C);
- запись сигналов маяка с эфира (MP3);
- фотографии макета-прототипа.

СКАЧАТЬ (651 Кб)
Новые версии см. на странице проекта AVR beacon: http://sourceforge.net/projects/avrbeacon/

Литература

1. Nathan O. Sokal "Class-E High-Efficiency RF/Microwave Power Amplifiers: Principles of Operation, Design Procedures, and Experimental Verification" http://www.cs.berkeley.edu/~culler/AIIT/papers/radio/Sokal%20AACD5-poweramps.pdf

2. ClassE v2.04. http://www.tonnesoftware.com/classe.html

July 2012

UR4MCK