



Application Note

AN2xxx

Триггер Шмитта, образованный из блока СТВ, и релаксационные генераторы на PSoC

Автор: Илья Мамонтов
Сопровождающий проект: есть
Семейство микросхем: все
Среда разработки: PSoC Designer 4.2
Ссылки на дополнительные документы: AN2108, AN2156

Резюме

В статье описывается реализация триггера Шмитта с программируемым гистерезисом на основе блока СТВ («Continuous Time Block»). Этот новый модуль может использоваться в качестве подавителя «звона» и для построения релаксационных генераторов. Сопровождающий проект демонстрирует два способа использования триггера Шмитта в составе генератора прямоугольных импульсов.

Введение

Не буду долго описывать важность использования триггеров Шмитта при обработке сигналов. Обычно они применяются для получения «чистых» импульсов из медленноменяющихся или зашумленных сигналов.

Другое их полезное применение – построение релаксационных генераторов с импульсами прямоугольной и треугольной формы. Почему такие аналоговые генераторы иногда используются вместо цифровых источников с делителями частоты?

Существуют, по крайней мере, три причины:

- непосредственное управление частотой с помощью ручки потенциометра;
- при измерениях это самый простой способ преобразовать измеряемую величину (сопротивление или емкость) в период импульса (или в частоту);
- период (частота) сигнала может меняться непрерывно (не дискретно).

Реализация триггера Шмитта (или компаратора с гистерезисом) ранее описывалась в документах AN2108 –

«Компаратор с гистерезисом на PSoC» и AN2156 – «Компаратор с программируемым гистерезисом на блоках SCB».

Первый вариант (AN2108) требует двух внешних компонентов (резисторов), а величина гистерезиса не может задаваться программно.

Вторая топология (из AN2156) основана на SCB – «Блоке с Переключаемыми Конденсаторами», в связи с чем эта схема имеет ограниченное применение из-за прерывистой природы работы этого блока.

Теория

Триггер Шмитта, выполненный на основе операционного усилителя (ОУ), показан на Рисунке 1. Вообще говоря, триггер Шмитта – это компаратор с «плавающим» порогом. Порог может принимать одно из двух значений, зависящих от предыдущего состояния компаратора, что достигается цепью положительной обратной связи – делителем R1R2.

Когда входной сигнал достигает порога срабатывания, компаратор переключается, и на его выходе появляется низкий уровень.

Обратная связь приводит к изменению порога срабатывания таким образом, чтобы предотвратить обратное переключение компаратора до тех пор, пока сигнал не пересечет новый (изменившийся) уровень.

Применительно к PSoC, выход компаратора может принимать два значения – V_{ss} (уровень «земли», или 0В) или V_{dd} (напряжение питания, обычно +5 или +3.3В). Замечу, что так называемая «аналоговая земля» («Analog Ground», или AGnd) – это специально выделенный уровень внутри микросхемы, который подается на все аналоговые блоки. Он зависит от значения управляющих битов регистра ARF_CR. Самым часто употребляемым уровнем является $V_{dd}/2$; это значение мы и будем предполагать в дальнейшем.

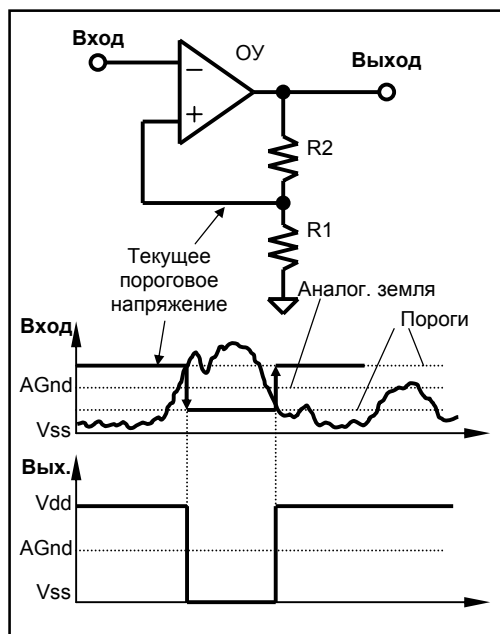


Рисунок 1. Принцип работы триггера Шмитта (при однополярном питании и выделенной «аналоговой земле»)

Реализация на PSoC

Блок СТБ («Continuous Time Block») из аналогового массива PSoC имеет в своем составе матрицу резисторов, которая может быть использована в качестве программируемого делителя R1R2. Топология блока позволяет произвести соответствующие межсоединения (согласно Рисунку 1). Единственный вопрос – каким методом мы будем создавать требуемую конфигурацию блока?

В такой ситуации я обычно подбираю подходящий Модуль пользователя и смотрю, какие регистры должны быть перепрограммированы для требуемых целей. Достоинства такого подхода:

- минимум дополнительного кода, так как большинство регистров управления уже инициализировано;
- доступ к регистрам управления по имени-псевдониму, что дает возможность свободно перемещать модуль в процессе отладки.

Для реализации триггера Шмитта самым подходящим модулем оказался CMPPRG, («Компаратор с программируемым порогом»), структура которого показана на Рисунке 2 (черные и синие связи). Чтобы превратить его в триггер Шмитта, некоторые связи должны быть переназначены. На схеме эти новые соединения показаны красным. Ниже приведен Код 1, который осуществляет этот трюк.

```
or reg[CMPPRG_1_COMP_CR0],0b00000100 ; (1)
or reg[CMPPRG_1_COMP_CR1],0b00111111 ; (2)
```

Код 1. Подготовительные операции для CMPPRG

Здесь CMPPRG_1 – это имя модуля пользователя, CMPPRG_1_COMP_CR0 и CMPPRG_1_COMP_CR1 – имена-псевдонимы регистров блока СТБ – ACBxxCR0 и ACBxxCR1.

Строка 1 устанавливает поле RTopMux (бит 2 регистра CMPPRG_1_COMP_CR0) для того, чтобы верхний конец матрицы резисторов был соединен с выходом ОУ. Строка 2 устанавливает поля NMux (биты 5..3) и PMux (биты 2..0) так, чтобы переназначить положительный и отрицательный входы ОУ.

Таблица 1. Параметры модуля CMPPRG

User Module Param	Value
AnalogBus	AnalogOutBus_3
CompBus	ComparatorBus_3
Input	AnalogColumn_InputMUX_3
LowLimit	AGND
RefValue	0.250

Кроме того, нижний конец резистивной матрицы должен быть соединен с «аналоговой землей». Я предпочел сделать это в среде разработки PSoC Designer, в окне Редактора Устройств («Device Editor») – обратите внимание на выставленный параметр LowLimit в Таблице 1.

И, наконец, величина гистерезиса устанавливается параметром RefValue. В проекте используется значение 0.250, которое эквивалентно соотношению $R1 / (R1 + R2)$ (см. Рисунок 1), равному $1/(1+3)$.

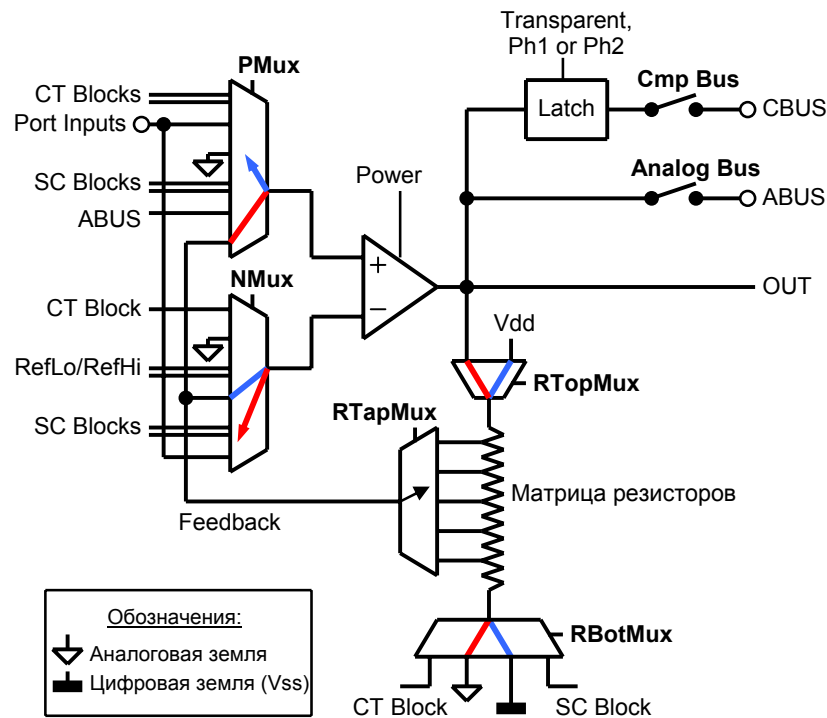


Рисунок 2. Упрощенная структура блока СТВ, работающего в качестве модуля пользователя CMPPRG (синие связи), и в качестве триггера Шмитта (красные связи)

В случае симметричного (т.е. $U_{AGnd} = U_{dd}/2$) выхода с максимально возможной амплитудой сигнала существует простые соотношения (1) для вычисления напряжения верхнего и нижнего порогов.

$$\begin{aligned} V_{Hi} &= V_{dd}/2 * (1+k) \\ V_{Lo} &= V_{dd}/2 * (1-k) \end{aligned} \quad (1)$$

где $k = R1 / (R1+R2)$ – величина гистерезиса («RefValue» из Таблицы 1).

Формулы (2) – для более редкого случая с несимметричным выходом.

$$\begin{aligned} V_{Hi} &= V_{AGnd} + (V_{dd} - V_{AGnd}) * k \\ V_{Lo} &= V_{AGnd} - V_{AGnd} * k \end{aligned} \quad (2)$$

Окончательный этап конфигурирования – выбор способа использования сигнала триггера Шмитта. Если мы собираемся подать

сигнал на цифровые блоки, можно столкнуться со следующими «граблями».

Выход блока СТВ тактируется специальным регистром-защелкой («Latch»), которая осуществляет выборку сигнала с тактовой частотой столбца, поделенной на 4. В дополнение к этому в составе шины «Comparator Bus» имеется свой собственный регистр-защелка, в результате чего сигнал дискретизируется и задерживается. Этих нежелательных явлений можно избежать, если исключить все дискретизирующие цепи из тракта. Код 2 «расчищает» путь для сигнала.

```
or reg[CMP_CR1], 0b10000000 ; (3)
and reg[CMPPRG_1_COMP_CR2], 0b10111111 ; (4)
```

Код 2. Подготовка цифрового тракта

Строка 3 исключает регистр-защелку из шины «Comparator Bus 3», Строка 4 – из блока СТВ модуля CMPPRG_1.

Если мы собрались выводить сигнал с выхода триггера Шмитта вовне, возможны два варианта трассировки:

- через выходной драйвер «Analog Buffer», используя шину «Analog Bus»;
- через цифровую подсистему, используя шину «Comparator Bus» и дополнительный модуль пользователя DigBuf. Отметим, что в кристаллах серии CY8C24x94 вы можете непосредственно подать сигнал с шины «Comparator Bus» на выходные драйверы, используя шину «Global Output Bus».

Архив Сопровождающего проекта содержит две папки, два проекта с двумя способами разводки выходных цепей – «аналоговым» и «цифровым». Внутренняя структура PSoC для каждого из проектов показана на Рисунках 4а и 4б. Вопрос «какой вариант лучше?» рассмотрен в следующей главе.

Построение генератора прямоугольных импульсов

Триггер Шмитта позволяет построить простейший тип релаксационного осциллятора – генератор прямоугольных импульсов. Подключение единственной RC-цепочки для такого применения показано на Рисунке 3.

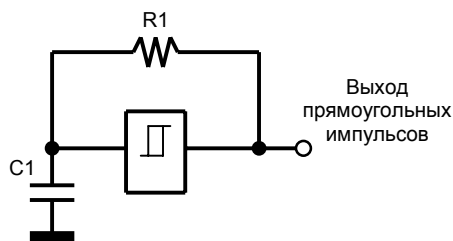


Рисунок 3. Схема простейшего релаксационного генератора

Принцип работы этого устройства основан на регулярном процессе зарядки-разрядки конденсатора C1. Когда напряжение на конденсаторе достигает верхнего порога срабатывания триггера, последний переключается к уровню V_{ss} (0В), и конденсатор начинает разряжаться через резистор R1. Когда напряжение достигает нижнего порога, происходит переключение к уровню V_{dd} и конденсатор снова начинает заряжаться.

Период этого процесса может быть рассчитан по известной формуле (3).

$$T = 2 * R1 * C1 * \ln[(1+k)/(1-k)] \quad (3)$$

где k – величина гистерезиса, описанная в (1).

Замечательной особенностью такого генератора является факт, что его частота ($f=1/T$) не зависит от напряжения питания. Это объясняется тем, что и гистерезисная цепочка R1R2 (см. Рисунок 1), и релаксационная цепь R1C1 (см. Рисунок 3) подключены к одному и тому же источнику напряжения – выходу ОУ. В результате этого любые изменения в процессе зарядки-разрядки C1 (вызванные непостоянством V_{dd}) будут скомпенсированы изменением порогов срабатывания.

Но на практике (для примера смотри Рисунок 4) питание этих цепочек будет различным – гистерезисная цепочка соединена с выходом блока СТВ, а вот внешняя релаксационная цепь может быть запитана только от выходного драйвера ножки микросхемы.

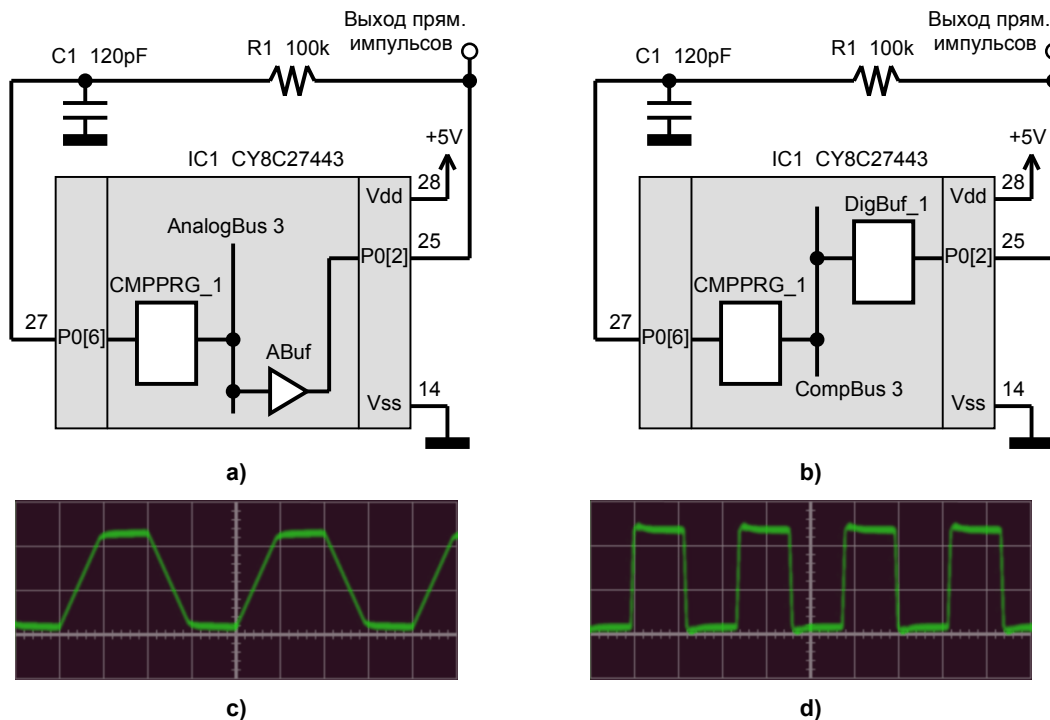


Рисунок 4. Начинка PSoC и схема для тестирования (генератор прямоугольных импульсов). (а) и (b) – варианты с аналоговым и цифровым выходами, (с) и (d) – формы выходного сигнала (5мкс/дел., 2В/ дел).

В результате формула (3) усложняется, и период T становится функцией напряжения питания V_{dd} .

Папка «Schmitt_trigger_a» из Сопровождающего проекта содержит конфигурацию PSoC, соответствующую Рисунку 4а. Выход триггера через шину AnalogBus 3 и драйвер ABuf разведен на ножку P0[2]. Вторая папка – «Schmitt_trigger_d» – представляет вариант цифрового пути с использованием шины пользователя DigBuf (Рисунок 4b). Внешняя схема (релаксационная цепь) для тестирования триггера Шмитта одинакова для обеих конфигураций.

Формы выходных сигналов представлены на Рисунках 4с и 4d.

Как можно видеть из Рисунка 4с, импульсы с драйвера ABuf не совсем прямоугольны, время нарастания и спада составляет порядка 5 мкс. Это является результатом ограниченного быстродействия драйвера Analog Buffer, который имеет скорость

нарастания выходного сигнала около 0.9 В/мкс. Из-за этого формула (3) становится неприменимой для расчета генераторов с достаточно короткими импульсами.

В довершение ко всему, драйвер Analog Buffer не является устройством с максимальной возможной амплитудой («rail-to-rail»), подобно ОУ блока СТВ. В этом случае формула (1) тоже не является точной, появляется зависимость периода T от напряжения питания V_{dd} .

Все эти факты делают использование цифрового выхода предпочтительным (режим драйвера – Strong), хотя при реализации здесь потребуется дополнительный ресурс – модуль пользователя DigBuf.

Хотя наш релаксационный генератор является устройством с внешними компонентами, можно в некоторых пределах все же управлять частотой из программы – с помощью параметра k (или «RefValue», в терминологии модуля CMPPRG). Для изменения этого параметра воспользуйтесь API-шной функцией **CMPPRG_SetRef()**.

Заклучение

Триггер Шмитта с программируемым гистерезисом может быть легко реализован в PSoC с помощью размещения модуля CMPPRG и добавления минимума конфигурационного кода. Никакие внешние компоненты для этого не нужны.

Исследован простейший тип релаксационного осциллятора – генератора прямоугольных импульсов. Было показано, что выбор цифрового выхода улучшает форму выходного сигнала.

About the Author

Name: Ilya Mamontov

Title: Electronic Engineer

Background: Ilya graduated from Moscow Aviation Institute (Russian Federation) in 1989 and worked 6 years for spacecraft electronic engineering. He presently working for atomic industry, his region of interests is design, modernization, repair and technical service of measurement instruments.

Contact: ilka@elsite.ru subj: PSOC AN
or
illinoys@narod.ru subj: PSOC AN

Cypress Semiconductor
2700 162nd Street SW, Building D
Lynnwood, WA 98087
Phone: 800.669.0557
Fax: 425.787.4641

<http://www.cypress.com/>

Copyright © 2006 Cypress Semiconductor Corporation. All rights reserved.

PSoC is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp.

"Programmable System-on-Chip," PSoC Designer and PSoC Express are trademarks of Cypress Semiconductor Corp.

All other trademarks or registered trademarks referenced herein are the property of their respective owners.

The information contained herein is subject to change without notice. Made in the U.S.A.