

Андрей Никитин

ЦИФРОВЫЕ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ КОМПАНИИ ON SEMICONDUCTOR



В статье идет речь об основных группах цифровых потенциометров компании **On Semiconductor**. Подробно рассмотрена одна из таких групп — цифровые потенциометры с управлением *Up/Down*. Описаны и новые изделия, анонсированные летом 2009 года.

Значительная часть электронных схем, особенно аналоговых, содержит элементы, предназначенные для подстройки характеристик при наладке или для оперативного управления при использовании аппаратуры. Для этих целей использовались электромеханические переменные и подстроечные резисторы. Заменой электромеханическим резисторам с подвижным контактом, имеющим ограниченные возможности, относительно большие габариты, требующим ручной установки в необходимое положение, становятся цифровые потенциометры.

Классификация

Рассмотрим основные критерии, по которым можно классифицировать цифровые потенциометры:

- Наличие или отсутствие энергонезависимой памяти. В первом случае, при включении питания будет автоматически восстановлено последнее используемое значение. Во втором — заранее определенное начальное значение (как правило, соответствующее половине диапазона). Третий вариант — возможность однократно «прошить» в постоянную OTP-память иное начальное значение, отличное от значения, заданного производителем.

- Интерфейс управления. Могут использоваться либо стандартные интерфейсы PC или SPI, либо, так называемое «кнопочное управление» — *Up/Down Control*, которое будет рассмотрено ниже.

- Количество потенциометров в корпусе. В номенклатуре компании ON Semiconductor представлены изделия с 1, 2 или 4 потенциометрами.

- Разрешающая способность или количество положений движка. Как правило, число, равное степени 2. В продукции ON Semiconductor представлены

потенциометры с разрешающей способностью от 16 до 256. Иногда используются «некратные» значения, например 100. В микросхемах, управляемых по интерфейсу, используются большие значения (64, 128, 256). В микросхемах с «кнопочным управлением» без энергонезависимой памяти — малые (16 и 32), а с памятью — промежуточные (от 32 до 128).

Поскольку номенклатура цифровых потенциометров компании ON Semiconductor достаточно широка (более 300 микросхем и 35 семейств), то не имеет смысла приводить таблицы с параметрами. Параметрический поиск доступен на сайте производителя www.onsemi.com. Продукция, в соответствии с этими критериями, была объединена в группы, что иллюстрируется рисунком 1.

К другим параметрам отнесем:

- Полное сопротивление потенциометра (сопротивление между крайними положениями H и L). Обычно исполь-

зуются значения 10, 50 или 100 кОм. Реже — 1; 2,5 и 32 кОм.

- Допустимое напряжение между выводами H и L. Принципиальное отличие цифровых потенциометров от переменных резисторов заключается в том, что напряжение между выводами H и L не может быть выше регламентированного. Как правило, оно равно напряжению питания самой микросхемы (обычно 2,7...5,5 В). Исключением являются семейства **CAT5132** и **CAT51323** — при величине питания до 5,5 В, напряжение между выводами H и L может достигать 16 В.

- Функциональная характеристика. В большинстве случаев эта характеристика (зависимость сопротивления между выводами W и L от управляющего кода) линейна, то есть предполагается, что все резисторы в цепочке имеют одинаковое сопротивление. Исключением является семейство **CAT5116**, в котором реализована логарифмическая характеристика.

- Нелинейность характеристики. Она определяется реальным отклонением резисторов в цепочке от номинального значения.

Есть и другие параметры: температурный коэффициент сопротивления;

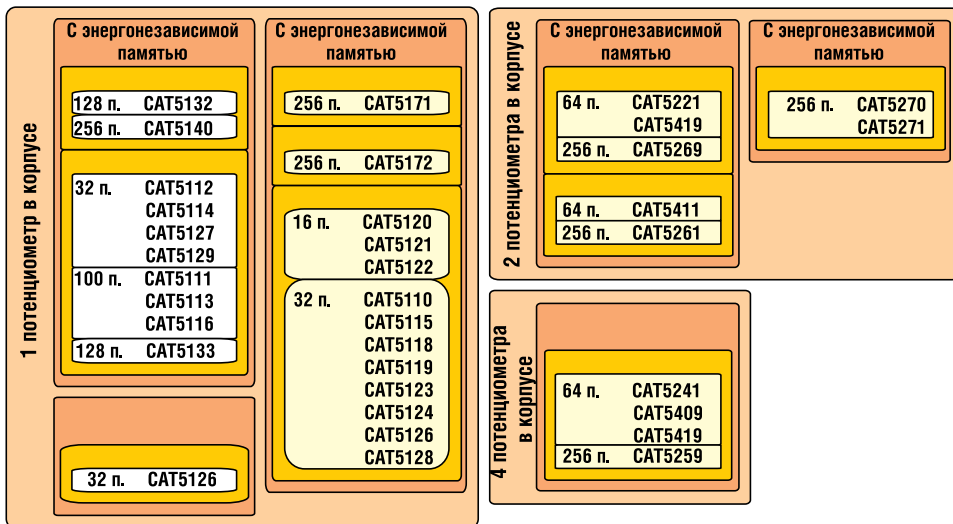


Рис. 1. Основные группы цифровых потенциометров компании ON Semiconductor

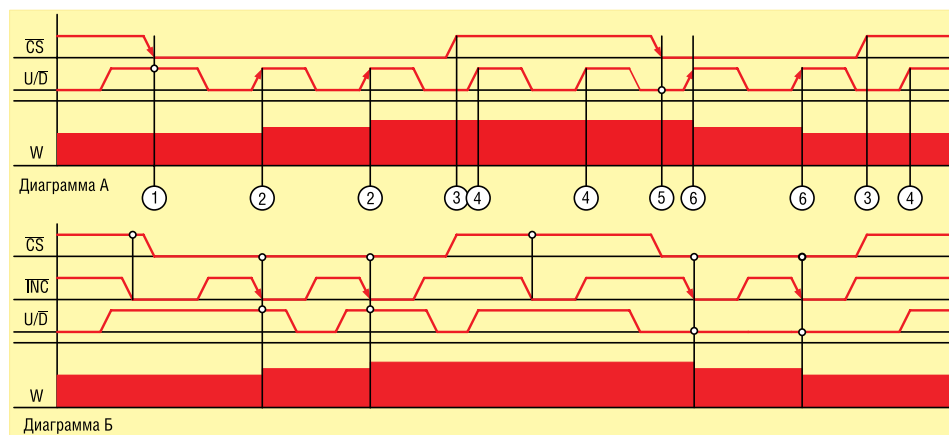


Рис. 2. Диаграммы двух методов управления Up/Down

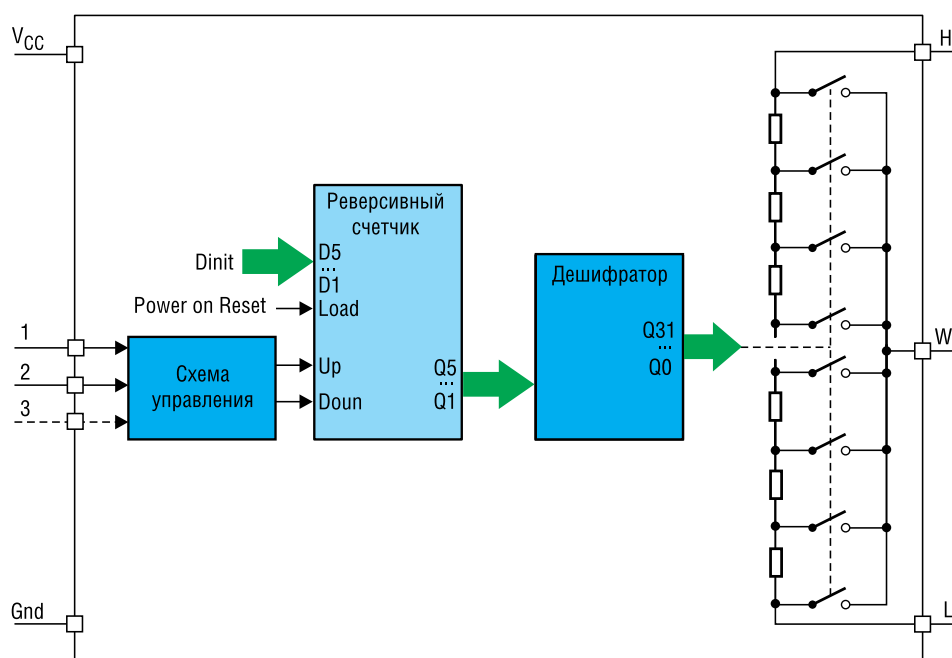


Рис. 3. Обобщенная структура цифровых потенциометров с управлением Up/Down без энергонезависимой памяти

отклонение полного сопротивления; сопротивление движка. Они имеют тот же смысл, что и для традиционных переменных резисторов, и приведены в документации производителя на конкретную микросхему.

Управление Up/Down

Отметим, что управление Up/Down используется только для моделей с одним потенциометром в корпусе (одинарные). Применение этого управления в «многоканальных» микросхемах привело бы к существенному увеличению внешних выводов. Наиболее простыми являются цифровые потенциометры с управлением Up/Down. В продукции компании ON Semiconductor реализованы три модификации такого управления:

- Управление по двум линиям CS и U/D;
- Управление по трем линиям CS, U/D и INC;

- Управление по двум линиям Up и Down.

Управление по двум линиям CS и U/D

Назначение линии CS (активный низкий) заключается в том, что отрицательный перепад фиксирует направление изменения сопротивления, которое (изменение сопротивления) возможно только при низком уровне сигнала. При высоком уровне сигнала изменения сопротивления не происходит.

Линия U/D в момент отрицательного перепада сигнала CS определяет направление изменения сопротивления (при низком уровне – уменьшение, при высоком – увеличение). При низком уровне сигнала CS положительный перепад сигнала U/D приводит к изменению сопротивления на один дискрет (в направлении, определенном ранее).

Рассмотрим диаграмму А на рисунке 2.

В момент 1 состояние сигнала CS из высокого становится низким. Поскольку состояние линии U/D высокое, то определяется направление на повышение. В моменты 2 положительный перепад сигнала U/D приводит к увеличению сопротивления (напряжение между нижней точкой L и средней точкой W потенциометра растет). В момент 3 положительный перепад сигнала CS запрещает дальнейшее изменение сопротивления. В моменты 4 по положительному перепаду сигнала U/D ничего не происходит, поскольку состояние сигнала CS высокое. В момент 5 состояние сигнала CS переходит из высокого в низкий, но в этот раз состояние линии U/D низкое, следовательно, определяется направление на понижение. Соответственно, в моменты 6 положительный перепад сигнала U/D приводит к уменьшению сопротивления.

Данный метод реализован в микросхемах **CAT5110, CAT5118...CAT5127** и **CAT5128**.

Управление по трем линиям CS, U/D и INC

Данный метод (иллюстрируется диаграммой Б на рис. 2) более прост в понимании, но в реализации занимает на одну линию больше. Сигнал CS только запрещает (при высоком уровне) или разрешает (при низком уровне) изменение состояния потенциометра. Сигнал U/D только задает направление изменения: низкий уровень – на понижение, высокий – на повышение. Любые изменения состояния могут происходить только по отрицательному перепаду сигнала INC. Если при этом на линии CS низкий уровень, а на линии U/D высокий – сопротивление растет. На линии CS низкий уровень, и на линии U/D низкий уровень – сопротивление уменьшается. Если на линии CS высокий уровень, то отрицательный перепад сигнала INC никаких изменения сопротивления не вызывает.

Данный метод реализован в микросхемах **CAT5111...CAT5116** и **CAT5133**.

Управление по двум линиям Up и Down

Данный способ управления заставляет вспомнить о простейшем RS-триггере. Отрицательный перепад сигнала Down вызывает уменьшение сопротивления, а отрицательный перепад сигнала Up – соответственно, его повышение. При этом в первом случае предполагается, что на линии Up – высокий уровень. А во втором случае, соответственно, предполагается, что высокий уровень – на линии Down. На временных диаграммах из документации производителя [4] эти условия выполняются, то есть

все хорошо. А если что-то не выполняется? С одной стороны, в документации производителя ясно указано: срабатывание по отрицательному перепаду сигнала U_p произойдет «если и только» на линии Down будет высокий уровень. Про срабатывание по отрицательному перепаду сигнала Down каких-то ограничений не приведено. Надо понимать, что оно произойдет в любом случае, а как на самом деле... Метод реализован только в одной микросхеме CAT5128.

Цифровые потенциометры с управлением Up/Down без энергонезависимой памяти

В данную группу входят (рис. 1) три микросхемы (CAT5120, CAT5121 и CAT5122) с разрешающей способностью 16 положений и восемь микросхем (CAT5110, CAT5115, CAT518, CAT5119, CAT5123, CAT5124, CAT5125 и CAT5128) на 32 положения. Обобщенная структура цифровых потенциометров этого типа приведена на рис. 3.

Рассмотрим ее работу. Сигналы управления (две или три линии, показанные цифрами 1, 2 и 3) поступают на схему управления, которая, при необходимости, формирует сигналы инкремента и декремента реверсивного счетчика (показан счетчик для 32 состояний). Выходы счетчика дешифрируются, и замыкается один из ключей. Например, для состояния 0 будет замкнут нижний ключ, и сопротивление между выводами W и L будет равно нулю, а между W и H — будет максимальным. С инкрементом счетчика сопротивление между W и L будет расти, а между W и H — уменьшаться.

При каждом выключении питания текущее состояние не запоминается. При каждом включении питания формируется сигнал PoR, который загружает счетчик неизменяемым стартовым значением (Обычно, половина диапазона — в рассматриваемом случае 16).

Отметим также, что на рис. 3 представлен обобщенный случай, а именно, если контакты питания не связаны с выводами потенциометра, то вывод L не связан с общим проводом Gnd, а вывод H — с питанием Vcc. Такая схема требует наличия семи- или восьмивыводного корпуса и из рассматриваемых устройств реализована лишь в CAT5115 (управление по трем линиям), CAT5128. Остальные устройства размещены в пяти- или шестивыводных корпусах за счет организации внутренних коммутаций, которые представлены на рис. 4.

Цифровые потенциометры с управлением Up/Down с энергонезависимой памятью

В данную группу входят (рис. 1) четыре микросхемы (CAT5112, CAT5114,

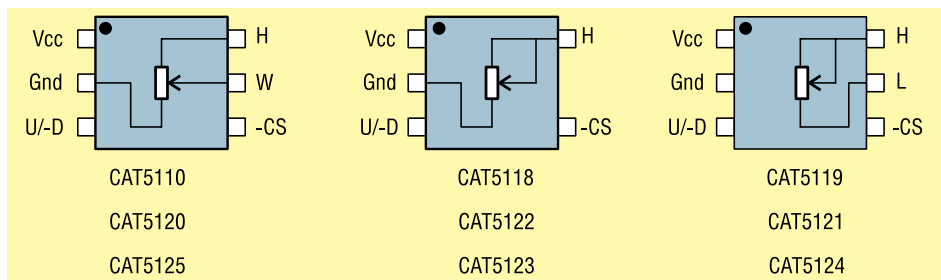


Рис. 4. Внутренние коммутации в цифровых потенциометрах с управлением Up/Down без энергонезависимой памяти

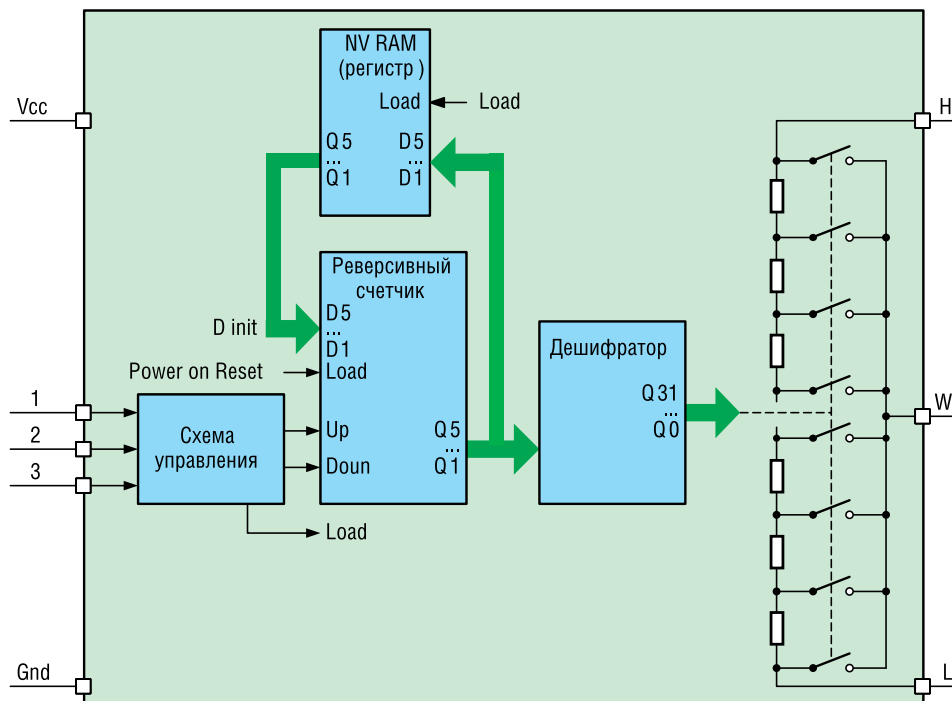


Рис. 5. Обобщенная структура цифровых потенциометров с управлением Up/Down с энергонезависимой памятью

CAT5127 и CAT5129) с разрешающей способностью 32 положения, три микросхемы (CAT5111, CAT5113 и CAT5116) на 100 положений и CAT5133 на 128 положений. Обобщенная структура цифровых потенциометров этого типа приведена на рис. 5.

По сравнению с рис. 3 добавлена энергонезависимая память, которая по своему функциональному назначению является регистром. В этот регистр перезаписывается значение реверсивного счетчика при снятии сигнала CS. При выключении питания состояние счетчика теряется, но продолжает храниться в регистре. При следующем включении питания формируется сигнал PoR, который загружает счетчик последним значением.

Отметим также отличительную особенность CAT5127 и CAT5129 — они обеспечивают длительное сохранение сопротивления после отключения электроэнергии.

Цифровые потенциометры с управлением по последовательным интерфейсам

Рассмотрим те преимущества и возможности, которые вносят последовательные интерфейсы при управлении цифровыми потенциометрами.

Летом 2009 года компания ON Semiconductor выпустила два новых изделия: CAT5171 и CAT5172 — цифровые потенциометры с разрешением на 258 положений без энергонезависимой памяти, с интерфейсами, соответственно, SPI и I²C. Структурные схемы потенциометров представлены на рис. 6.

Рассмотрим потенциометр CAT5172. Как видим, интерфейс SPI односторонний, то есть микросхема только принимает данные. Самое существенное достоинство — это возможность прямого задания управляющего кода. Потенциометры с управлением Up/Down не обеспечивали возможности чтения текуще-

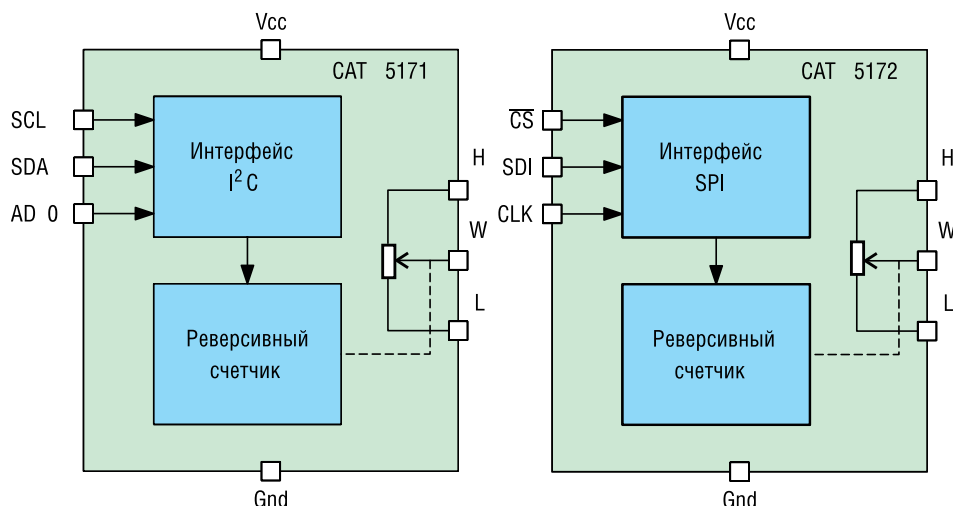


Рис. 6. Структурные схемы цифровых потенциометров CAT5171 и CAT5172

го состояния счетчика. Следовательно, в реальной системе состояние приходилось дублировать вне потенциометра. В таких потенциометрах было необходимо контролировать число циклов инкремента (декремента), необходимых для установления требуемого кода. Сама реализации одного цикла была достаточно сложна. При подозрениях на сбойную ситуацию привести потенциометр в среднее положение было возможно только при снятии питания.

В случае с CAT5172 возможности считать текущее состояния также нет, но есть возможность непосредственно записать требуемое значение. При этом нет необходимости помнить текущее состояние и думать «в какую сторону крутить потенциометр». Кроме того, естественным образом увеличилась разрешающая способность — длительность установки перестала зависеть от того, насколько сильно надо изменить положение «движка»: на 3 дискретных шага или на 30. Интерфейс выполнен в простейшем варианте сдвигового регистра и легко реализуется как с помощью микроконтроллера, так и на жесткой логике. Число выводов микросхемы

(если сравнивать с полным вариантом CAT5115) не изменилось.

Потенциометр CAT5171 реализован с использованием более сложного двунаправленного I²C. За счет этого появляются дополнительные возможности: он позволяет считать текущее состояние в целях контроля. Кроме того реализованы функции: принудительный возврат в среднее состояние и функцию Shutdown, то есть разрыв цепи резисторов между положениями H, W, L. Интерфейс I²C — тривиальный атрибут современных микроконтроллеров, и его реализация также не вызывает сложностей.

Другие дополнительные преимущества:

- Возможность реализации нескольких потенциометров в одном корпусе. Ранее каждый из потенциометров требовал своих линий управления, что увеличивало число выводов;
- Возможность чтения как регистра начальных значений, так и счетчика текущего состояния;
- Возможность реализации вариантов работы — например, прямой переход и инкремент по шагам.

Области применения

Области применения цифровых потенциометров в настоящее время весьма разнообразны, назовем некоторые из них:

- Подстройка «тонких» датчиков: давления, температуры, положения, оптических датчиков;
- Цифровая регулировка усиления;
- Регулировка частоты и скважности генераторов;
- Регулировка громкости в аудиосистемах;
- Регулировка смещения нуля в усилителях;
- Реализация регулируемых источников опорного напряжения;
- Регулировка выходного напряжения стабилизаторов;
- Регулировка контрастности ЖК-индикаторов;
- Замена электромеханических потенциометров на цифровые аналоги.

Заключение

Словосочетание «цифровые потенциометры» у большинства отечественных разработчиков прочно ассоциируется с компаниями Maxim Integrated Products и Analog Devices. Безусловно, названные компании заметны на этом направлении. Но и в компании ON Semiconductor оно возникло не на пустом месте. Купив в 2008 году компанию **Catalyst Semiconductor**, ONSemi существенно дополнила свою номенклатуру. EEPROM-память и цифровые потенциометры — для нее направления новые. Однако мы видим, что практически не обновлявшаяся с 2004 года линейка цифровых потенциометров Catalyst дополнилась новыми изделиями в целевых нишах. Безусловно, следует ожидать дальнейшего развития этого направления в продукции ON Semiconductor.

Литература

1. Ридико Л. Цифровые потенциометры // Компоненты и технологии, №5, 2001.
2. Шитиков А. Цифровые потенциометры от Dallas Semiconductor // Компоненты и технологии, №8, 2001.
3. Андрусевич А. Управление потенциалом. Цифровые потенциометры Maxim/Dallas // Новости электроники, №15, 2006.
4. CAP5128. 32-Tap Digital Up/Down Control Potentiometer // Документ компании On Semiconductor Doc. No. MD-2128 Rev. C (**CAT5128-D.pdf**).

Цифровые потенциометры CAT5171 и CAT5172

- Разрешение на 258 положений без энергозависимой памяти
- Использование интерфейсов I²C (CAT5171) и SPI (CAT5172)
- Возможность прямого задания управляющего кода

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: analog.vesti@compel.ru