

# Применение цифровых потенциометров фирмы Analog Devices

Алан Ли, Analog Devices

Перевод: Алексей Власенко, инженер по применению  
Представительство Analog Devices Inc. в России  
[alexey.vlasenko@analog.com.ru](mailto:alexey.vlasenko@analog.com.ru)

Данная статья написана по материалам руководств по применению AN-579, AN-580, и AN-585 фирмы Analog Devices.

## Программируемый генератор с цифровым потенциометром

Цифровые потенциометры (далее ЦП) являются довольно универсальными устройствами и могут применяться в фильтрах и генераторах. В таких случаях разработчик должен всегда иметь в виду, что цифровые потенциометры работают в ограниченном частотном диапазоне, и этот диапазон зависит от установленной величины сопротивления, поэтому необходимо внимательно сверяться с данными, опубликованными в техническом описании. Если требования по частоте удовлетворяются, то такой потенциометр может быть с успехом использован для реализации генератора с установкой частоты посредством цифрового интерфейса.

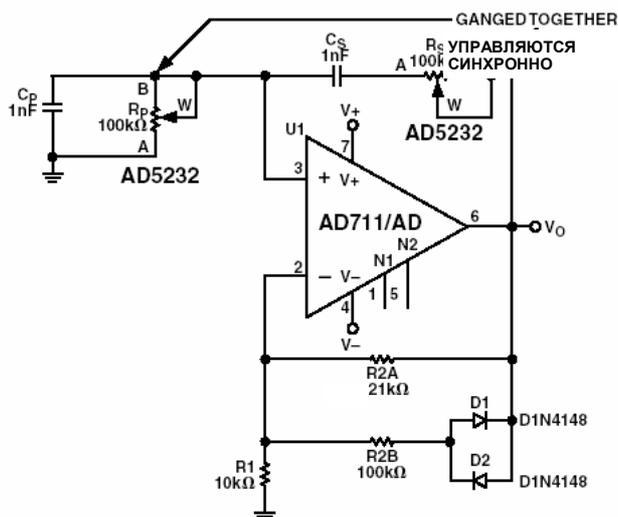


Рис. 1. Генератор на основе моста Вина

На рис. 1 показана схема генератора на основе моста Вина с ЦП в цепи частотнозависимой обратной связи. Амплитуда стабилизируется за счет диодов D1 и D2. Коэффициент ослабления петли ОС на резонансной частоте должен составлять ровно 3, и диоды как раз и предназначены для "выравнивания" этого коэффициента, открываясь при росте амплитуды выходного сигнала.

Частота генерируемого сигнала равна

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad , \text{ где } R = R_P = R_S, C = C_P = C_S$$

Сопротивление цифрового потенциометра, в регистр которого записана величина  $D$ , составляет

$$R = \frac{256 - D}{256} \cdot R_{AB} ,$$

где  $R_{AB} = 100$  кОм – полное сопротивление ЦП.

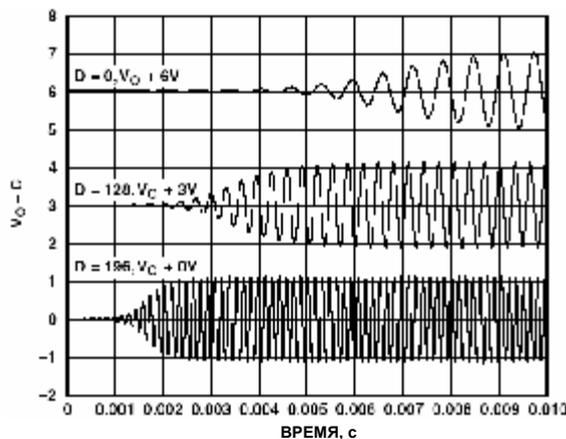


Рис. 2 Форма выходного сигнала генератора.

На рис. 2 показана форма выходного сигнала генератора при разных величинах установленного цифрового кода потенциометра  $D = 0, 128$  и  $196$ . Частота выходного сигнала при этом составляет соответственно  $1.59$  кГц,  $3.18$  кГц и  $6.36$  кГц с амплитудой  $1$  В.

## Усилитель с программируемым коэффициентом усиления (базовая схема)

В принципе, с помощью операционного усилителя и механического потенциометра можно реализовать схему усилителя с регулируемым коэффициентом усиления – блок, присутствующий во многих электронных устройствах. Однако такая схема обладает недостатками, неприемлемыми для многих применений: потенциометры обладают низкой разрешающей способностью, значительным температурным дрейфом, временным дрейфом сопротивления и, кроме того, трудно реализовать дистанционное управление таким потенциометром. Но теперь имеется возможность воплотить такую схему на базе ИС серии AD523x – цифрового потенциометра с энергонезависимой памятью.

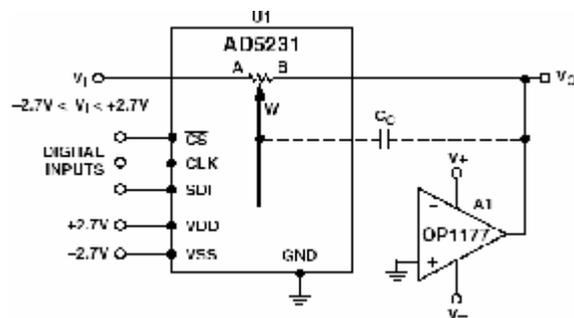


Рис. 3.

На рис. 3 изображена схема инвертирующего усилителя, коэффициент усиления которого определяется соотношением сопротивлений цифрового потенциометра  $R_{WA}$  и  $R_{WB}$  следующим образом:

$$V_0 = \frac{R_{WB}}{R_{WA}} V_1, \text{ или}$$

$$V_0 = \frac{D}{2^N - D} V_1$$

где  $D$  – величина, записанная в регистр цифрового потенциометра,  $N$  – разрядность регистра ЦП,  $R_{AB}$  – полное сопротивление ЦП,  $R_{AB} = R_{WA} + R_{WB}$ ; таким образом

$$R_{WA} = R_{AB} \cdot (1 - D/2^N).$$

Зависимость коэффициента усиления от установленного кода этой схемы имеет характеристику, близкую к логарифмической. Инвертирующая конфигурация усилителя обеспечивает в такой схеме большой диапазон изменения коэффициента усиления, с усилением близким к единице при среднем значении кода ( $D = D_{MAX} / 2$ ). Так как обе "половинки" ЦП расположены близко на одном кристалле, соотношение сопротивлений мало зависит от температуры; при использовании цифрового потенциометра AD5235 температурный дрейф коэффициента усиления составляет всего 35 ppm/°C (или, что то же самое,  $35 \cdot 10^{-6}/°C$ ). Эта схема может применяться во многих устройствах, особенно при работе с малыми сигналами и большими коэффициентами усиления.

Так как вывод  $W$  потенциометра обладает паразитной емкостью  $C_W$  (на схеме не показано), и эта емкость подключена к инвертирующему входу усилителя, в передаточной характеристике усилителя появляется дополнительный ноль, который может свести к нулю запас по фазе на частотах, где усиление больше единицы. Поэтому усилитель может стать неустойчивым – возбуждаться или "звенеть", когда на вход подается прямоугольный импульс или "ступенька". Точно таким же образом он может "звенеть" в момент переключения коэффициента усиления – это эквивалентно подаче "ступеньки" на вход.

Для устранения описанных эффектов применен дополнительный конденсатор  $C_C$ ; он устраняет влияние емкости  $C_W$ . Оптимальный уровень компенсации достигается при  $R_{WA} \times C_W = R_{WB} \times C_C$ . Но сопротивление ЦП изменяется, поэтому лучше подобрать величину  $C_C$  эмпирически, обычно эта величина составляет несколько пикофарад.

Аналогичным образом паразитная емкость вывода В подключена к выходу усилителя. К счастью, влияние этой емкости гораздо менее значительное и компенсация в большинстве случаев не требуется.

## Усилитель с программируемым коэффициентом усиления (схема с линейным изменением коэффициента усиления)

В базовой схеме, приведенной на рис. 3, выходной сигнал всегда проинвертирован относительно входного, вне зависимости от коэффициента усиления или ослабления. Коэффициент усиления изменяется нелинейно при изменении величины сопротивления потенциометра. В некоторых случаях именно это и нужно, но в других схемах требуется, чтобы происходила инверсия сигнала при изменении коэффициента усиления и/или чтобы зависимость коэффициента усиления от сопротивления была линейна. Например, предположим, в сервоприводе мотор должен вращаться в обе стороны, или система термостатирования должна обеспечивать нагрев или охлаждение в зависимости от полярности сигнала, или в схеме управления жидкокристаллическим дисплеем напряжение для управления контрастом и яркостью может иметь различную величину и полярность. В общем случае, чтобы выходной сигнал мог иметь любую полярность, а также коэффициент усиления линейно зависел от величины сопротивления, можно реализовать схему со сдвоенным цифровым потенциометром, показанную на рис.4. Здесь сигнал на входе усилителя A2 может приобретать значения от  $+V_1$  до  $-K \times V_1$ , где  $K$  – соотношение сопротивлений цифрового потенциометра W1. Усилитель A2 обеспечивает усиление, а также работает в качестве буфера, минимизируя влияние сопротивления "подвижного контакта" W2.

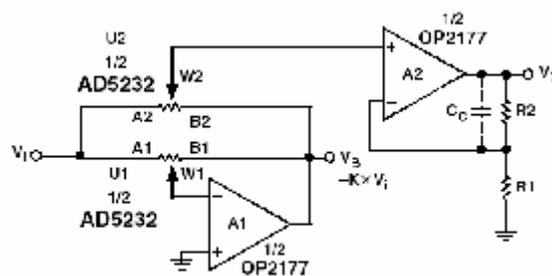


Рис. 4. Биполярный усилитель с программируемым коэффициентом усиления и линейной зависимостью коэффициента усиления от сопротивления потенциометра.

Передаточную функцию схемы, изображенной на рис.4, можно записать в виде

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(-\frac{D_2}{2^N}(1 + K) - K\right)$$

Здесь  $K$  – соотношение сопротивлений ЦП W1,  $D_2$  – код, определяющий значение сопротивления ЦП W2.

В более простом (и гораздо более частом) случае, когда  $K = 1$ , можно использовать одинарный цифровой потенциометр, такой как AD5231, вместо U2,

а потенциометр U1 заменить на два одинаковых резистора; тогда к выводам цифрового потенциометра U2 будет приложено напряжение  $V_1$  и  $-V_1$ . Тогда формула упрощается и выглядит следующим образом:

$$V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{2D}{2^N} - 1\right) \times V_1$$

В таблице показаны значения коэффициента усиления в зависимости от величины кода D для разных конфигураций усилителя A2: для повторителя с единичным коэффициентом усиления ( $R_1 = \infty, R_2 = 0$ ), с коэффициентом усиления 2 ( $R_1 = R_2$ ) и с коэффициентом усиления 10 ( $R_2 = 9 \cdot R_1$ ). В результате мы получаем усилитель, коэффициент усиления которого может менять знак, устанавливаясь с точностью  $1/256$  и при этом линейно зависит от сопротивления потенциометра.

Табл. 1. Зависимость коэффициента усиления от величины кода D и от сопротивлений R1, R2

D (Step)	R1 = ∞, R2 = 0	R1 = R2	R2 = 9 × R1
0	-1	-2	-10
64	-0.5	-1	-5
128	0	0	0
192	+0.5	+1	+5
255	+0.992	+1.984	+9.92

На рис. 4 резисторы R1 и R2 также могут быть заменены цифровым потенциометром, если требуется получить большой коэффициент усиления, регулируемый в широких пределах.

Сопротивление "подвижного контакта" цифрового потенциометра – это в сущности сопротивление открытого канала транзисторного ключа, обычно оно имеет величину около 50–100 Ом. Это довольно немного по сравнению с сопротивлением всего ЦП ( $R_{AB}$ ), но сопротивление "подвижного контакта" изменяется примерно в два раза в пределах рабочего температурного диапазона и может стать основным источником погрешности, если ЦП запрограммирован на небольшую величину сопротивления. Поэтому желательно, чтобы "подвижный контакт" ЦП был подключен к высокоимпедансному входу операционного усилителя, как показано на схеме на рис. 4. Операционный усилитель OP1177, представляющий собой современный вариант (четвертое поколение) промышленного стандартного ОУ OP07, был выбран за его малый входной ток и малое значение напряжения смещения. За счет этого минимизируется влияние сопротивления "подвижного контакта" ЦП.

Если входное напряжение настолько высоко, что напряжение на  $R_{AB}$  превышает 5 В (при любом значении сопротивления), то можно добавить отдельные резисторы последовательно с ЦП, как показано на рис. 5.

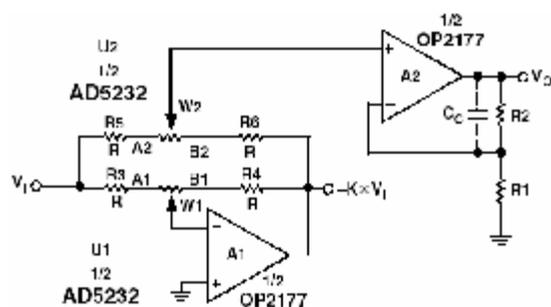


Рис. 5. Усилитель с программируемым коэффициентом усиления, рассчитанный на более высокое входное напряжение.

С помощью цифровых потенциометров с энергонезависимой памятью типа AD523x разработчик может реализовать усилитель, обладающий возможностью установки коэффициента усиления с высоким разрешением, с функцией инверсии сигнала и линейным или логарифмическим изменением коэффициента усиления.

Для получения более подробной информации о цифровых потенциометрах фирмы Analog Devices рекомендуем посетить наш вебсайт:

<http://www.analog.com/DigitalPOTs>