

Усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA) в Сигма-Дельта АЦП

Адриан Шерри

ВВЕДЕНИЕ

Сигма-дельта АЦП с высоким разрешением AD7708/AD7718, AD7709, AD7719, AD7782/AD7783 имеют встроенные усилители с программируемым коэффициентом усиления (PGA) на входе сигма-дельта модулятора, как показано на рис. 1.

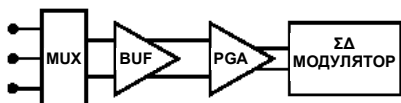


Рис. 1. ΣΔ АЦП со встроенным услителем с программируемым коэффициентом усиления

В данном руководстве по применению обсуждаются аспекты применения PGA и связанные с ним преимущества.

ДИАПАЗОНЫ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ

Усилители с программируемым коэффициентом усиления (PGA) в АЦП AD7708/AD7709/AD7718/AD7719 позволяют выбрать одно из восьми значений коэффициента усиления. При величине опорного напряжения 2,5 В эти восемь значений соответствуют диапазонам входного сигнала ± 2.56 В, ± 1.28 В, ± 640 мВ, ± 320 мВ, ± 160 мВ, ± 80 мВ, ± 40 мВ, ± 20 мВ. В однополярном режиме сигнал принимает значение от 0 до 2.56 В, и так далее. Если величина опорного напряжения удвоена и составляет 5 В, то максимальное значение входного сигнала также удваивается, и наоборот, если опорное напряжение составляет половину номинального, то диапазоны входных сигналов уменьшаются в два раза. Таким образом, диапазон входного сигнала определяется формулой

$$\pm \frac{V_{REF} \times 1.024}{2^{7-RN}}$$

где RN – это значение трехбитного числа RN[2:0]. Например, значение опорного напряжения равно 2.5 В; тогда диапазон входного сигнала при RN[2:0] = 111 будет равен ± 2.56 В и усиление – единичным. В микросхемах AD7782/AD7783 только два диапазона доступны, ± 2.56 В и ± 160 мВ (задается при помощи вывода).

РАБОТА С СИГНАЛОМ, ПРЕВЫШАЮЩИМ ВЕЛИЧИНУ ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Диапазон входного сигнала при $V_{REF} = 2.5$ В и при RN[2:0] = 111 составляет ± 2.56 В, т.е. величина сигнала

полной шкалы в 1.024 раза больше, чем опорное напряжение. Таким образом, АЦП может преобразовывать сигналы, на 2.4% превышающие величину опорного напряжения. Это необходимо учитывать при выполнении системной калибровки, так как при запуске процесса системной калибровки диапазон входного сигнала будет приведен к $\pm V_{REF}$, т.е. к диапазону ± 2.5 В при величине опорного напряжения 2.5 В. Внутренняя система калибровки подает напряжение V_{REF} на вход АЦП, однако программа калибровки вносит поправку на 2.4%, чтобы в итоге получить диапазон входного сигнала величиной ± 2.56 В.

ШУМ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Важнейшее преимущество, которое дает усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA), заключается в том, что уровень шума в мкВ уменьшается при увеличении коэффициента усиления. То есть входной сигнал усиливается, прежде чем подается на вход АЦП, но уровень шума не увеличивается в такой же степени, поэтому отношение сигнал/шум возрастает. Уровень шума уменьшается меньше чем в два раза при переключении на следующий уровень усиления, поэтому разрешающая способность АЦП (в битах) уменьшается при выборе более высокого коэффициента усиления PGA (LSB при высоком коэффициенте усиления меньше, чем LSB при низком коэффициенте усиления). Однако для заданного размаха входного сигнала разрешающая способность увеличивается при увеличении коэффициента усиления. Например, входной сигнал с амплитудой 20 мВ может быть преобразован в цифровую форму при среднеквадратическом значении (rms) шума 0.52 мкВ в при работе в диапазоне 20 мВ, тогда как тот же самый сигнал может быть усилен для работы в диапазоне ± 2.56 В, и уровень шума составит 2 мкВ rms. Таким образом можно достичь разрешающей способности $150 \cdot 10^{-6}$ от уровня 20 мВ при работе с высоким коэффициентом усиления, и лишь $600 \cdot 10^{-6}$ от уровня 20 мВ при работе в диапазоне 2.56 В.

Типичные значения уровня шума ИС AD7719 при всех возможных значениях коэффициента усиления и при одном значении частоты обновления данных на выходе АЦП показаны в таблице I.

Табл. I. Среднеквадратические значения уровня шума ИС AD7719 при работе без буферирования входного сигнала и частоте обновления данных на выходе 19.79 Гц

	±2.56 В	±1.28 В	±640 мВ	±320 мВ	±160 мВ	±80 мВ	±40 мВ	±20 мВ
RMS шума	2.0 мкВ	1.21 мкВ	0.82 мкВ	0.56 мкВ	0.56 мкВ	0.56 мкВ	0.56 мкВ	0.52 мкВ
Разрешение от пика до пика	18.5 бит	18 бит	17.5 бит	17 бит	16 бит	15 бит	14 бит	13 бит

ПОГРЕШНОСТЬ СМЕЩЕНИЯ

Проблема, имеющаяся во многих АЦП с усилителем с программируемым коэффициентом усиления (PGA) заключается в том, что величина смещения по постоянному току может меняться при переключении коэффициента усиления, поэтому обычно после каждого переключения коэффициента усиления необходимо проводить калибровку смещения. Однако семейство АЦП со стабилизацией прерыванием (chopping) обладает столь низкой погрешностью смещения, что ее изменения при переходе из диапазона в диапазон не стоит учитывать. Если ИС AD7708 и AD7718 используются при отключенной стабилизации прерыванием (chopping disabled), необходимо производить калибровку смещения при каждом переключении диапазона.

ТОЧНОСТЬ УСТАНОВКИ ПАРАМЕТРОВ УСИЛЕНИЯ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ

Ранние версии усилителей с программируемым коэффициентом усиления иногда выполнялись с помощью элементов, параметры которых соответствовали весу соответствующего двоичного разряда, и они включались или выключались в цепь, определяющую коэффициент усиления. Так как данные параметры имели разброс, при переключении коэффициента усиления его значение увеличивалось не точно в два раза, в результате чего один и тот же аналоговый сигнал давал различные результаты преобразования в зависимости от установленного коэффициента усиления.

В данном семействе АЦП фирмы Analog Devices используется собственная схема переключения коэффициента усиления за счет использования переключаемой частоты отсчетов. Это позволяет получить превосходную точность при переходе с одного диапазона на другой; таким образом, заданный аналоговый сигнал преобразуется в одну и ту же цифровую величину с учетом выбранного диапазона. Типичная точность составляет ±2 мкВ, что означает, что обычно разница между значениями результатов преобразования в любом из восьми диапазонов соответствует величине порядка 2 мкВ. (Обратите внимание, что мы говорим об усредненном результате нескольких преобразований сигнала постоянного тока, а не одного преобразования, т.к. шум "от пика до пика" в диапазоне 2.56 В будет больше, чем 2 мкВ).

Сочетание очень маленькой погрешности смещения и точной установки коэффициента усиления значительно упрощает организацию АЦП с автоматическим выбором диапазона. Если сигнал имеет низкий уровень, он может быть преобразован с максимальным разрешением при работе с высоким коэффициентом усиления, но если сигнал выходит за пределы

диапазона, то можно переключиться на меньший коэффициент усиления и получить отсчет сигнала без необходимости рекалибровки.

Рис. 2 иллюстрирует процесс преобразования сигнала величиной 19.92 мВ в разных диапазонах (коэффициентах усиления). Калибровка смещения или усиления при переключении усиления с одного диапазона на следующий не проводилась. Из рисунка видно, что среднее значение полученного кода меняется в пределах от 2 до 3 мкВ во всех восьми диапазонах.

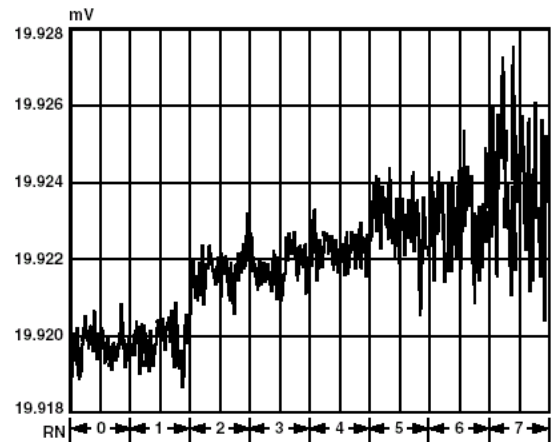


Рис.2. Точность установки параметров усиления в разных диапазонах

КАЛИБРОВКА

Главное преимущество высокой точности установки коэффициента усиления заключается в том, что калибровка АЦП, выполненная при одном значении коэффициента усиления, остается действительной и при другом коэффициенте усиления. Ранее большинство АЦП с программируемым усилителем нуждались в рекалибровке после каждого переключения коэффициента усиления, что снижало производительность АЦП; теперь достаточно однократной калибровки. Это позволяет калибровать АЦП на производстве, используя диапазон 2.56 В, и затем использовать его в любом другом диапазоне без рекалибровки.

В аналого-цифровых преобразователях AD7708/AD7718/AD7719 все же доступна возможность калибровки, но эта калибровка необходима только в случаях, когда АЦП работает в условиях, значительно отличающихся от тех, при которых осуществлялась калибровка на производстве ИС, и которые приведены в техническом описании. Ожидаемые изменения коэффициента усиления можно оценить с помощью приведенного в спецификации значения

температурного коэффициента. Если рассчитанное изменение коэффициента усиления превышает бюджет погрешностей разрабатываемого устройства, то необходима периодическая рекалибровка.

РЕГИСТР СМЕЩЕНИЯ

Существует ситуация, при которой AD7708/AD7718/AD7719 может выдавать различные результаты преобразования при работе с различными коэффициентами усиления – когда в результате калибровки или прямой записи в регистр смещения записана величина, отличная от 8000(00)H (эту величину он содержит по умолчанию). Величина, соответствующая младшему разряду регистра (LSB) зависит от выбранного диапазона; таким образом, число 8001(00)H при работе в диапазоне 2.56 В соответствует величине смещения в два раза большей, чем при работе в диапазоне 1.28 В. Если системная калибровка смещения производилась при определенном усилении и при наличии ненулевого сигнала на входе АЦП, то результат преобразования после перехода на другое усиление может быть ненулевым при том же входном сигнале. Таким образом, необходимо быть внимательным при переходе на другое усиление, если регистр смещения содержит величину, отличную от 8000(00)H.

ВХОДНЫЕ ТОКИ

При переключении коэффициента усиления программируемого усилителя изменяется частота отсчетов входного и опорного сигналов, при этом меняются параметры динамической нагрузки, представленной схемой на переключающихся конденсаторах. Это может привести к появлению погрешности усиления и/или линейности, если внешний источник обладает значительным импедансом.

Однако так как в АЦП имеется буфер между входом и программируемым усилителем, аналоговый вход потребляет минимальный ток от источника сигнала, и величина этого тока не меняется при переключении коэффициента усиления. ИС AD7719 может работать с отключенным буфером; в этом случае необходимо

учитывать импеданс источника сигнала и аналогового входа.

Частота отсчетов сигнала источника опорного напряжения фиксирована и составляет 524 кГц, емкость конденсатора сигма-дельта модулятора входа опорного напряжения также постоянна, таким образом ток, потребляемый от источника опорного напряжения, не меняется при переключении коэффициента усиления PDA.

Если ток, потребляемый от источника опорного напряжения, меняется в зависимости от выбранного коэффициента усиления, как это имеет место у других сигма-дельта АЦП, то погрешность, вызванная сопротивлением/емкостью источника опорного напряжения, будет также меняться, поэтому преимущества точной установки коэффициента усиления будут утрачены.

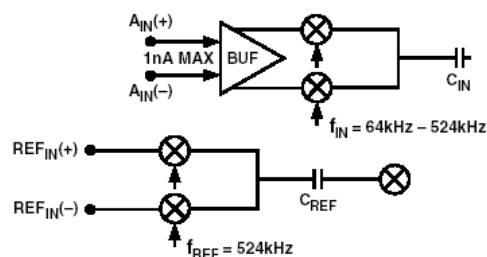


Рис.3. Эквивалентная схема аналогового входа и входа источника опорного напряжения

РЕЗЮМЕ

Усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA), имеющийся в данном семействе АЦП, позволяет получить высокое разрешение и низкий уровень шума при высоких коэффициентах усиления, при этом не требуя повторной рекалибровки всякий раз, когда коэффициент усиления меняется. Буферизованный вход и усовершенствованная схема отсчетов опорного напряжения устраняет множество недостатков, имевшихся в ранних АЦП с программируемым коэффициентом усиления.