

Способы дифференциального измерения с дельта-сигма АЦП Linear Technologies *

Часть 2

Артем Козлов, инженер НТО БИС-Электроник

E-mail: artem_kozlov@bis-el.kiev.ua

Георгий Королев, FAE, Arrow Central Europe

E-mail: GKorolev@arrowce.com

Сигма-дельта АЦП Linear Technologies в работе часто не требуют применения измерительных усилителей. Тем не менее, если использование одного АЦП будет недостаточно, правильно примененный усилитель увеличивает общее разрешение системы.

ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ УСИЛИТЕЛЕЙ

Схема на рис. 1 показывает использование дифференциального усилителя с входным разрешением 375 nBRMS на полосу частот LTC2431. LTC2501 — усилитель с автокалибровкой, с напряжением смещения 3 мВ и температурным дрейфом 30 нВ/°С; который является идеальным решением для приложений, где критичны параметры длительного дрейфа и точности.

КАКОЕ УСИЛЕНИЕ?

При использовании АЦП высокого разрешения очень часто нет необходимости ставить усилитель с такими выходными параметрами, которые соответствующими входным параметрам преобразователя; более того — это может даже ухудшить работу измерительной системы. Вместо этого стоит ограничить усиление к такому значению, когда на общее разрешение системы будет влиять шум только на входе усилителя.

Табл. 1 демонстрирует влияние различных степеней усиления на работу схемы на рис. 1. При $K_u = 1$ будет доминировать входной шум LTC2431 величиной 5.6 мкBRMS. При $K_u = 2$ шум АЦП также будет доминировать, но разрешение удвоится. При $K_u > 30$ начинает

доминировать входной шум усилителя. Увеличение усиления более 40 приводит к постепенному (медленному) увеличению разрешения. На рис. 2 показаны зависимости параметров шума усилителя от коэффициента усиления.

Повышение степени усиления приводит к увеличению ошибок измерения пропорционально росту тока в обратной цепи усилителя LTC2051 с ограниченным коэффициентом усиления разомкнутой цепи. Даже при $K_u = 80$ используется лишь 20% входного диапазона АЦП (если на входе стандартная амплитуда напряжения 10 мВ). Нет смысла делать

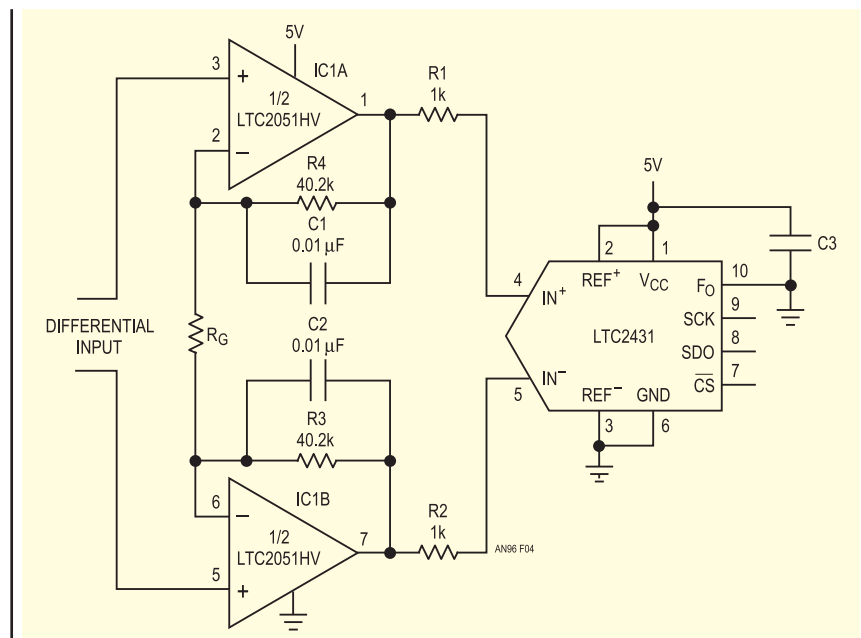


Рисунок 1

Применение схемы дифференциального усилителя с АЦП LTC2431

* Продолжение. Начало см. «CHIP NEWS Украина», № 2, 2007 г.

Таблица 1.

RG	Коэффициент усиления	Используемая часть рабочего диапазона АЦП	Шум на выходе усилителя	Входной шум АЦП
(None)	1	1/500	6	6
82.5k	2	1/250	6	3
20.6k	5	1/100	6	1.2
9.15k	10	1/50	7	0.7
4.33k	20	1/25	9.5	0.475
2.11k	40	1/12	15	0.375
1.04k	80	1/6	26	0.325

$K_u = 250$ для использования всего входного диапазона ± 2.5 В, т.к. общее разрешение все равно не улучшится.

ОТКЛИК АЦП НА ШУМЫ УСИЛИТЕЛЯ

При рациональном проектировании разрешение этой схемы ограничено только входным шумом усилителя. В этом случае уровень входного шума усилителя меньше, чем уровень входного шума АЦП (нет смысла использовать усилитель, который шумит больше чем АЦП). Как определить уровень общего шума по даташитах АЦП и усилителя?

Это просто в случае использования преобразователя с низким разрешением. Согласно даташиту вход АЦП имеет однородный частотный отклик на всем диапазоне частот при максимальной амплитуде, который может быть существенно выше, чем 1/2 максимального уровня выборки. Ширина полосы комбинации усилитель-АЦП ограничена либо полосой усилителя, либо полосой АЦП. Пока общий шум, проходящий через эту систему, будет небольшой частью LSB, проблема сохраняется. Техника уменьшения общего шума заключается в применении про-

стого RC-фильтра непосредственно перед АЦП или с помощью активного фильтра Салена-Кея.

Сигма-дельта АЦП Linear Technology используют свой метод уменьшения шума. Ширина полосы частот этих устройств на уровне полной мощности приблизительно равна 3 Гц (в режиме подавления сигнала 50/60 Гц — 7.5/6.25 sps) и отклик на широкополосный шум эквивалентен 6 Гц brickwall фильтру. Чрезвычайно сложно сформировать аналоговый фильтр, который улучшит один параметр и при этом не ухудшит другой параметр.

Параметр полосы 6 Гц довольно отчетливо отображает шумовую картину усилителя с автокалибровкой, который имеет однородную плотность шума питания от DC до частот выше 6 Гц.

Следует отметить, что эта полоса может быть правильно определена, если диапазон преобразования изменяется внешним тактовым генератором. Например, использование внешнего генератора преобразования частотой 300.7 кГц для работы с LTC2411 в результате даст полосу шума 12 Гц.

Для большинства усилителей хорошей первичной оценкой ΔS отклика АЦП на шум усилителя является характеристика полного размаха напряжения шума в пределах 0.1–10 Гц разде-

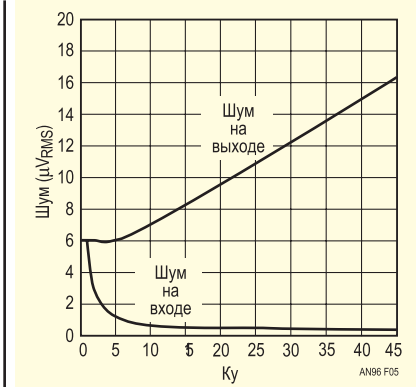


Рисунок 2 Характеристики шумов дифференциального усилителя

ленный на пик-фактор 6 (определено с вероятностью 99.97%).

Стоит только вычислить шум за десятисекундный промежуток потока данных АЦП для усилителей без автокалибровки; более длинные промежутки потока данных содержат 1/f составляющие (менее 0.1 Гц — такие же, как и тепловой дрейф). Диапазон шумов от 0.1 до 10 Гц для LTC2051HV составляет 1.5 мкВ_{p-p} или 1.5 мкВ/6 = 250нВ_{RMS}. Т.к. использованы два усилителя — их общий шум составит 250нВ_{RMS}*√2 = 353нВ_{RMS}, что очень близко к измеряемой величине. Данное правило эффективно работало во многих экспериментах, как для усилителей с автокалибровкой, так и для малошумящих биполярных усилителей.

КАКАЯ РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ?

Табл. 2 дополняет табл. 1 колонкой, где указано эффективное число бит,

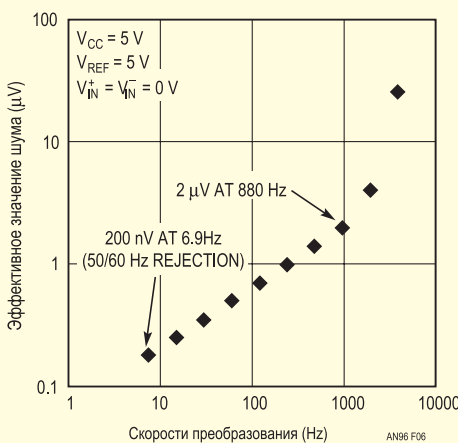


Рисунок 3 Зависимость эффективного значения шума LTC2440 от скорости преобразования

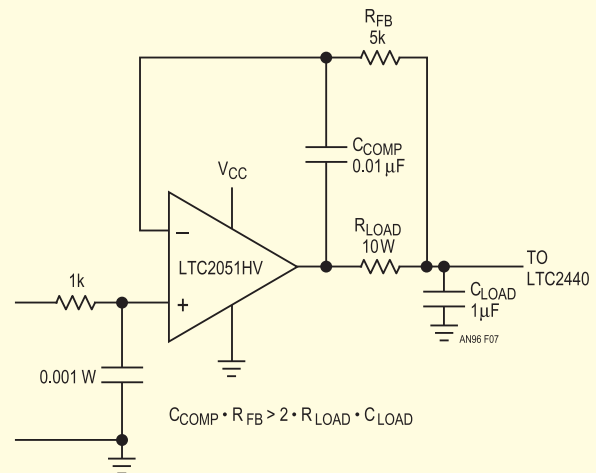


Рисунок 4 Схема основного буфера для LTC2440

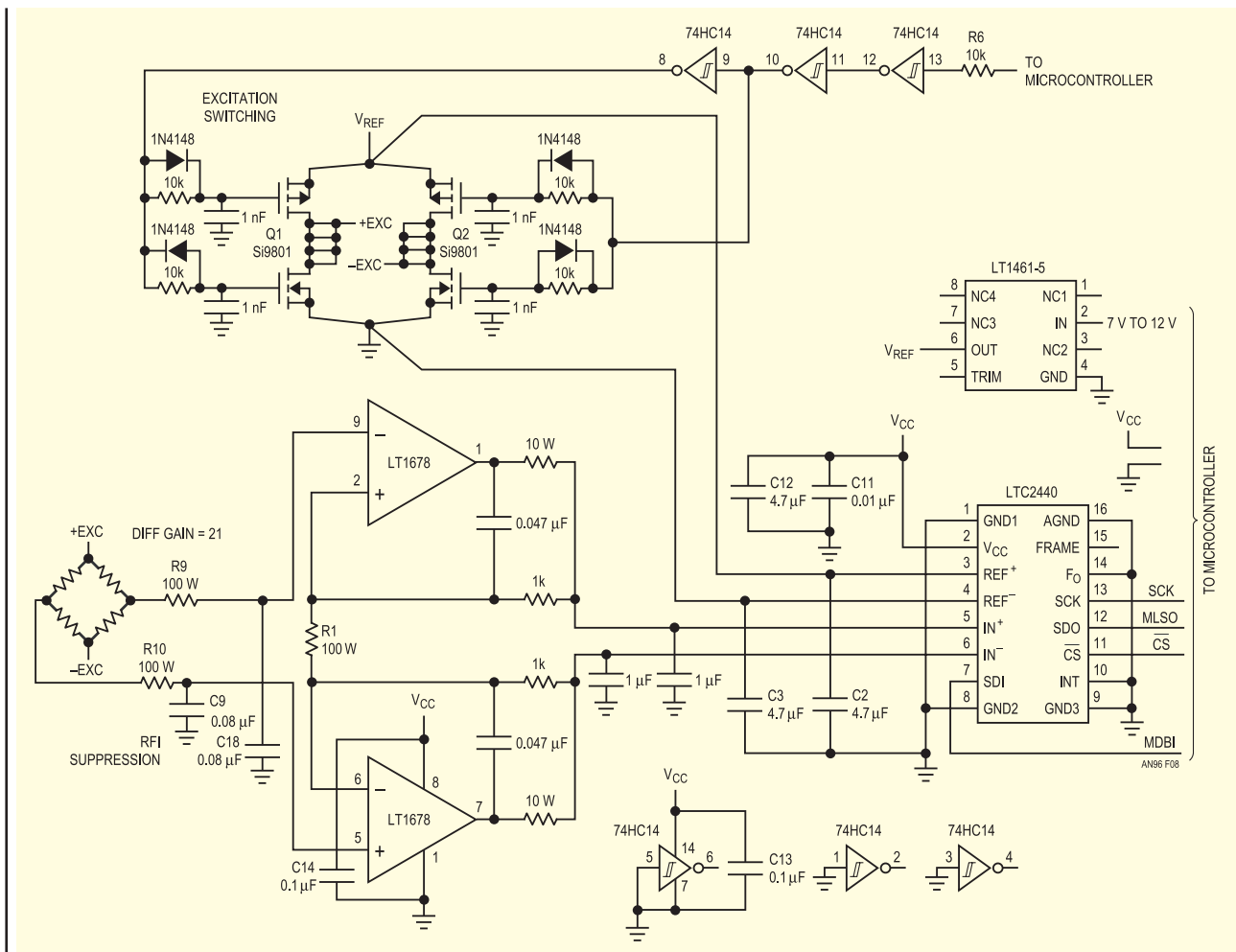


Рисунок 5 Измерительная схема весов с дифференциальным усилителем

которое основано на входном шуме и полномасштабном входном сигнале амплитудой 10 мВ при 7.5 sps.

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ И РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НА LTC2440

LTC2440 характеризуется уровнем входного шума $200 \text{ nV}_{\text{RMS}}$ в основном диапазоне выходных данных при 6.8 sps, что в семь раз ниже, чем у LTC2411. Также, переменный коэффициент передискретизации допускает скорость

и разрешение, которые нужно оптимизировать для данного конкретного приложения.

Уменьшение коэффициента передискретизации приводит к увеличению скорости передачи данных и эффективной ширины полосы частот в два раза, приводит к росту общего шума в $\sqrt{2}$, а также к уменьшению эффективного разрешения на 1/2 бита. (Повышение скорости передачи данных в 4 раза уменьшает эффективное число разрядов на 1 бит). Эти соотношения сохраняются для выходного диапазона преобразования от 6.8 Гц до 880 Гц.

Увеличение производительности не происходит легко. В целом, изделия серии LTC2411 сравнительно легко управляемы. Диапазон входных сопротивлений вплоть до 10 кОм не понижает производительности, если паразитная емкость на входах остается минимальной и входное эффективное сопротивление находится в пределах 3–5 МОм. С другой стороны, LTC2440 проводит измерения со скоростью 1.8 Msps, что в 11.5 раз быстрее чем LTC2411. Это означает, что любой сбой на входе должен фиксироваться более чем в 11.5 раз быстрее, а входное эффективное сопротивление равно приблизительно 110 кОм. Есть два способа выхода из сложившейся ситуации: уменьшить входное сопротивление или фиксировать случайные выборки. Ресурс сопротивления у LTC2440 очень близко соответствуют этим требованиям; шунты и тензодатчики 350 Ом вовсе могут не потребовать какой-либо обработки сигнала. Большинство сигналов, все же, требуют некоторой буферизации. Доку-

Таблица 2.

RG	Коэффициент усиления	Используемая часть рабочего диапазона АЦП	Шум на выходе усилителя	Входной шум АЦП	Эффективное значение разрешения, бит
(none)	1	1/500	6	6	10.7
82.5k	2	1/250	6	3	11.7
20.6k	5	1/100	6	1.2	13
9.15k	10	1/50	7	0.7	13.8
4.33k	20	1/25	9.5	0.475	14.4
2.11k	40	1/12	15	0.375	14.7
1.04k	80	1/6	26	0.325	14.9

ментация на LTC2440 содержит более полную информацию об этих эффектах.

Неправильные выборки (сбои) LTC2440 содержат высокочастотные составляющие (> 250 МГц). Если поставить на входы LTC2440 конденсаторы с большой емкостью (1 мкФ), то это уменьшит уровень отклонений к незначительному уровню. Конечно, большинство усилителей при такой нагрузке ведут себя не очень хорошо, поэтому требуется дополнительная компенсационная схема.

Рис. 4 показывает основную высокоимпедансный буфер для приложений, требующих точной работы по постоянному току. В процессе преобразования, броски напряжения, исходящие из входов АЦП затухают согласно соотношению $CSAMPLE/1$ мкФ, или около 100 dB для LTC2440, а усилитель просто подает среднее значение потока выборок.

Входной шум двух LTC2051 будет эквивалентен входному шуму LTC2440. Это означает, что если оба входа АЦП буферизированы, то общее разрешение уменьшается в 2 раза (на один бит). На боковых $1/f$ частотах малошумящие биполярные усилители могут работать тише, чем усилители с прерывателем или с автокалибровкой. НЧ шум и дрейф не являются проблемой для приложений на переменном напряжении, но это очень критично для высокоточных измерений на постоянном напряжении. Работа с переменным напряжением позволяет делать мостовые измерения с чрезвычайно точным разрешением.

В схеме на рис. 5 применен малошумящий усилитель LT1678 и использована коррелирующая двойная дискретизация, для достижения значения разрешения 14 нBRMS. Работа усилителей компенсируется конденсаторами 1 мкФ перед входом LTC2440. Входной шум LTC2440 равный 200 нВ позволяет применить коэффициент усиления 21, и таким образом ослабить ошибки (сбои), вызываемые

ограниченным коэффициентом усиления и большим размахом выходных параметров. Даже усилители с размахом выходного сигнала, равным напряжению питания работают лучше, когда их выходы изолированы от шин питания; согласно этой схеме амплитуда дифференциального выхода составляет всего 210 мВ, при входной амплитуде 10 мВ, что удерживает оба выхода на уровне половины потребления. Это контрастирует со схемами на измерительных усилителях с $K_u = 500$ (для заполнения всего входного диапазона АЦП с низким разрешением). Это еще одно преимущество LTC2440.

Реверс возбуждения на измерительный мост дает несколько преимуществ. Усилители с автокалибровкой не требуют поддержки точности по постоянному напряжению, поскольку нет отклонений регулирования. Паразитные термокомпоненты отсутствуют, т.к. эти напряжения возникают последовательно со смещением усилителя. Пара термокомпонентов появляются в том случае, когда сигнальный провод, идущий от датчика, хоть немного меняет свою структуру. Например, в случае двух «идеальных» медных проводников с термоэлектрическим потенциалом $0.2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, «температурный шум» при $1^\circ\text{C}_{\text{RMS}}$ преобразуется в $200 \text{ nV}_{\text{RMS}}$ измеренного шума.

Управление возбуждением измерительного моста организовано грубо с помощью двух транзисторных полумостов на Si9801DY. Такое решение не является таким элегантным, как применение усилителей. Зато здесь не требуются шины питания 0/5 В, и внесенных помех значительно меньше, чем у большинства очень высококачественных сенсоров. При использовании измерительного моста 350 Ом, итоговое сопротивление $RDS(\text{ON})$ равное 0.13 Ом является только 0.037% от всей допустимой ошибки, а при его температурном коэффициенте 5000 ppm/ $^\circ\text{C}$ дрейф $RDS(\text{ON})$ составля-

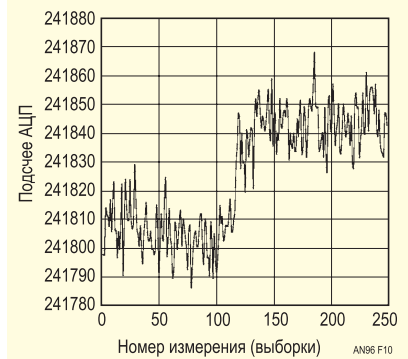


Рисунок 7 Диаграмма учета веса измерительной схемы

ет — 2 ppm/ $^\circ\text{C}$. Эти отклонения будут почти три раза меньшими, чем для измерительных мостов 1000 Ом.

Рис. 6 показывает диаграммы входов LTC2440 и состояние вывода BUSY, индицирующего поступление выборки (измерения).

ВЫВОДЫ

Полная амплитуда входного напряжения 10 мВ и входной шум $14 \text{ nV}_{\text{RMS}}$ дают разрешение 19.4 бит. С таким уровнем точности, доминирующим источником отклонений будет сам измерительный мост.

Реальная разрешающая способность схемы на рис. 5 составляет отношение 1 грамма к шкале 200 кг, что эквивалентно добавлению 1 части к 200 тыс. Рис. 7 наглядно показывает, что дополнительный вес чисто регистрируется.

Приведенный пример построения схемы измерителя давления демонстрирует рациональное применение усилителя с АЦП, что может намного увеличить общее разрешение системы.

Для получения более детальной информации, а также заказа электронных компонентов Linear Technologies, Вы можете обратиться в компанию БИС-Электроник: 03680, Киев, ул. Радищева, 10/14, тел.: 044 4903599, факс.: 044 4048992 www.bis-el.com

Литература:

1. Mark Thoren Linear Technology Application Note 96
2. www.linear.com

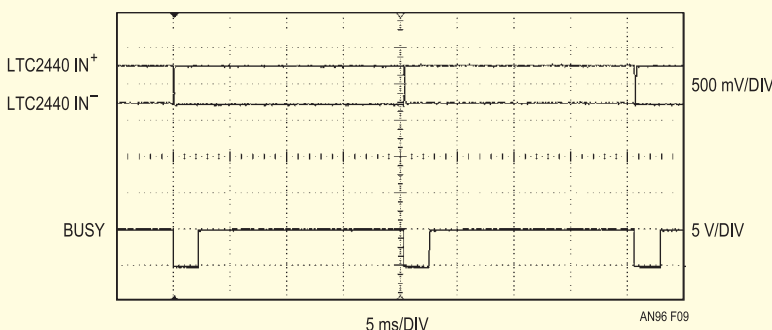


Рисунок 6 Диаграммы выходов усилителя