

[Аналог. схемы](#) ▾ [Linear Tech...](#) ▾[🏠](#) > [Схемы](#) > [Аналоговая схемотехника](#) ◦ [Измерения](#) ◦ [Питание](#) >

Фильтр опорного напряжения улучшает ...

Фильтр опорного напряжения улучшает отношение сигнал/шум 32-битного АЦП на 6 дБ

11-09-2019

[Linear Technology](#) > [LT6202](#) ◦ [LTC2057](#) ◦ [LTC2508-32](#) ◦ [LTC6655](#)[Журнал РАДИОЛОЦМАН, июнь 2019](#)*Guy Hoover, Analog Devices**Design Note 568*

Для достижения оптимального отношения сигнал/шум на выходе АЦП недостаточно лишь подать на его вход сигнал с низким уровнем шума. Не менее важно обеспечить низкий шум источника опорного напряжения (ИОН). Если в нижней части шкалы входных напряжений шумы ИОН не оказывают влияния на выходной сигнал, то при полной шкале любой шум источника опорного напряжения будет виден в выходном коде. Вот почему динамический диапазон определенного АЦП, измеренный в начале шкалы, обычно на несколько децибел лучше, чем отношение сигнал/шум, измеренное в конце шкалы или около него. Обеспечение низкого шума ИОН имеет особенно большое значение в приложениях передискретизации, где отношение сигнал/шум АЦП может превышать 140 дБ. Для достижения таких значений отношения сигнал/шум даже самым лучшим источникам опорного напряжения потребуется определенная помощь, чтобы снизить уровни их шумов.

Есть несколько альтернатив, способных уменьшить шум опорного источника. Увеличение емкости блокировочного конденсатора на выходе ИОН или использование простого RC-фильтра нижних частот не могут быть хорошими альтернативами. Блокировочный конденсатор большой емкости на выходе опорного источника сам по себе не способен обеспечить достаточно низкую частоту среза, чтобы эффективно воздействовать на шум. Пассивный RC-фильтр может обеспечить низкую частоту среза, но его выходное напряжение будет зависеть от частоты дискретизации и температуры. Эффективной альтернативой было бы параллельное

▾ Срезы

- [Подписка на обновл](#)
- [Журнал «РадиоЛоц](#)
- [Реклама](#)
- [Размещение прай](#)
- [Контакты](#)



Описанный здесь фильтр, при умеренной стоимости и небольшом энергопотреблении, вырабатывает опорное напряжение с низким уровнем шума без существенного ухудшения точности или температурного коэффициента ИОН.

Описание схемы

В этом примере используется АЦП LTC2508-32 (U1). LTC2508-32 представляет собой малошумящий малопотребляющий 32-битный АЦП последовательных приближений с цифровым фильтром нижних частот, коэффициент децимации которого может иметь четыре значения от 256 до 16384, выбираемых выводами микросхемы. Чтобы в полном объеме реализовать характеристики LTC2508-32, заявленные изготовителем микросхемы, необходим источник опорного напряжения с низким уровнем шумов и низким температурным дрейфом.

В качестве источника опорного напряжения в этом примере использована микросхема LTC6655-5 (U2). LTC6655-5 обеспечивает высокую точность (максимальная ошибка $\pm 0.025\%$) и исключительно низкие значения шумов (типовое значение 0.67 ppm с.к.з.) и дрейфа (не более 2 ppm/°C). Но даже при столь исключительных шумовых характеристиках LTC6655-5 все равно ухудшит отношение сигнал/шум АЦП LTC2508-32.

LTC2057 (U3) – это операционный усилитель с нулевым дрейфом и подавленным фликкер-шумом (1/f). Входной ток смещения LTC2057 составляет менее 200 пА, максимальное напряжение смещения равно 4 мкВ, а температурный коэффициент напряжения смещения не превышает 0.015 мкВ/°C. Это значительно меньше, чем температурный коэффициент микросхемы LTC6655-5 (2 ppm/°C = 10 мкВ/°C).

Малошумящий операционный усилитель LT6202 (U4) отличается быстрым установлением и большой перегрузочной способностью, необходимой для зарядки блокировочного конденсатора 47 мкФ, который, согласно техническому описанию, должен быть подключен к выводу REF микросхемы LTC2508-32.

В схеме на Рисунке 1 выходное напряжение опорного источника U2 фильтруется элементами R2 и C3, образующим фильтр нижних частот с частотой среза 0.8 Гц. Конденсатор C3 должен быть пленочным. Танталовые и алюминиевые электролитические конденсаторы имеют большие утечки, которые создадут напряжение смещения на резисторе R2. Керамическим конденсаторам присущ микрофонный эффект, увеличивающий низкочастотные шумы. Отфильтрованное выходное напряжение буферизуется усилителем U3 с высоким входным напряжением. При максимальном токе смещения микросхемы U3, равном 200 пА, наибольшее падение напряжения на резисторе R2 составляет всего

микросхемы LTC2057, не превышает 6 мкВ, что относительно незначительно по сравнению с максимальной начальной погрешностью LTC6655-5, равной 0.025% (1.25 мВ). U3 и U4 образуют составной усилитель, низкое смещение, низкий температурный дрейф и подавленный шум $1/f$ которого обусловлены микросхемой LTC2057, а быстрое установление – микросхемой LT6202. Вывод REF микросхемы U1 разряжает конденсатор C1 со скоростью, зависящей от частоты выборки и выходного кода. Чтобы поддерживать фиксированное напряжение на выводе REF, усилитель U4 этот заряд должен пополнять. Резистор R5 используется для изоляции выхода U4 от конденсатора C1, чтобы улучшить установление напряжения на выводе REF. Физически более крупные керамические конденсаторы с более высокими рабочими напряжениями и температурами имеют более низкие коэффициенты напряжения, обеспечивая более высокую эффективную емкость. По этой причине в качестве C1 должен использоваться конденсатор X7R типоразмера 1210 с допустимым напряжением 10 В.

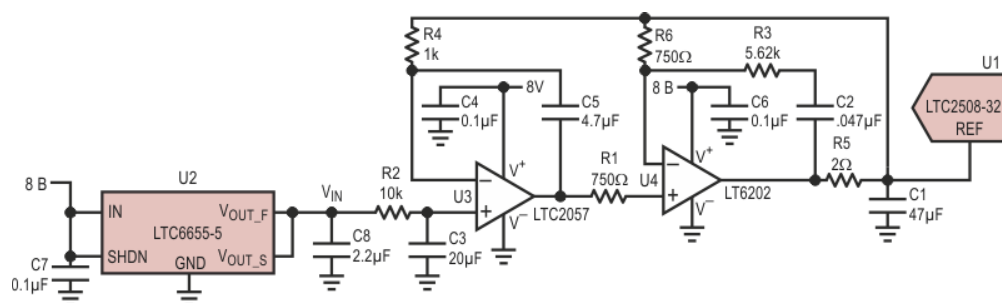


Рисунок 1. Фильтрация выходного напряжения LTC6655 увеличивает отношение сигнал/шум 32-битного АЦП LTC2508-32 на 6 дБ.

Характеристики схемы

Как видно из Таблицы 1, поведение LTC2508-32 практически соответствует теории, демонстрируя расширение динамического диапазона почти на 6 дБ для каждого четырехкратного увеличения коэффициента децимации при соединенных входах АЦП и выводе REF, управляемом непосредственно от LTC6655-5. Дополнительно в Таблице 1 показано, что в начале шкалы АЦП отношение сигнал/шум по сравнению с динамическим диапазоном меньше на целых 7.8 дБ, если использовать LTC6655-5 для непосредственного управления выводом АЦП REF. Это связано с шумом источника опорного напряжения. Использование схемы, показанной на Рисунке 1, для управления выводом REF микросхемы LTC2508-32, как следует из Таблицы 1, улучшает отношение сигнал/шум до 6.1 дБ.

Таблица 1. Сравнение отношений сигнал/шум АЦП LTC2508-32 для случаев, когда вывод REF подключен к выходу LTC6655-5 непосредственно и через фильтр, показанный на Рисунке 1

Коэффициент децимации	Динамический диапазон (дБ) Начало шкалы LTC6655-5	Отношение сигнал/шум (дБ) Полная шкала LTC6655-5	Отношение сигнал/шум (дБ) Полная шкала LTC6655-5 с фильтрацией	Разность отношений сигнал/шум с фильтрацией и без (дБ) Полная шкала LTC6655-5
256	131.4	123.6	129.3	5.7
1024	137.1	129.7	135.8	6.1
4096	142.9	135.2	140.7	5.5
16384	148.0	140.7	145.2	4.5

Операционные усилители, стабилизированные прерыванием, такие как LTC2057, часто создают помехи на частоте прерывания и нечетных гармониках. Используемая в LTC2057 схема подавляет эти артефакты до уровня, лежащего значительно ниже ее напряжения смещения. Эта схема в сочетании с собственным фильтром АЦП устраняет любые видимые помехи с частотой прерывания операционного усилителя, что подтверждается графиком шумового порога на Рисунке 2. График на Рисунке 2 получен в результате усреднения пяти выборок данных, чтобы сгладить шумовой порог и попытаться выявить даже самые незначительные следы любых паразитных тонов.

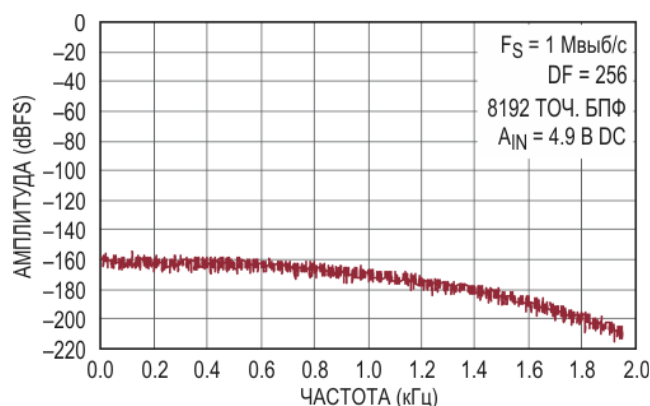


Рисунок 2. Шумовой порог вблизи верха шкалы показывает отсутствие паразитных пиков при использовании схемы Рисунок 1 для управления выводом REF.
 F_S – частота выборки,
 DF – коэффициент децимации,
 A_{IN} – входное напряжение.

Заключение

Была продемонстрирована схема фильтра, способного снизить выходной шум опорного источника без ущерба для его точности или температурного коэффициента при умеренной стоимости и небольшом потреблении энергии. Подключение выхода этой схемы к выводу опорного напряжения микросхемы LTC2508-32 – 32-разрядного малошумящего АЦП – улучшило

подключается непосредственно к опорному входу АЦП.


Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LT6202](#)
2. [Datasheet Linear Technology LTC2057](#)
3. [Datasheet Linear Technology LTC2508-32](#)
4. [Datasheet Linear Technology LTC6655](#)

Перевод: AlexAAN по заказу [РадиоЛоцман](#)

На английском языке: [Voltage reference filter increases 32-bit ADC SNR by 6dB](#)

Хотите получать уведомления о выходе новых материалов на сайте?
Подпишитесь на рассылку!



Купить LT6202 на РадиоЛоцман.Цены — от 142 до 915 ₽
16 предложений от 12 поставщиков
Быстродействующие операционные усилители 100MHz, Low Noise, Low Power OA

AliExpress Весь мир	LT6202IS8 LT6202-одиночный 100 МГц, вход и выход Rail-to-Rail, Ultralow 1,9 nVrHz, маломощные Операционные усилители	142 ₽		Купить
Элитан Россия	LT6202CS8 Analog Devices	215 ₽		Купить
Триом Россия	LT6202CS8#PBF	246 ₽		Купить
ЭИК Россия	LT6202IS8 Analog Devices	от 915 ₽		Купить

Для комментирования материалов с сайта и получения полного доступа к нашему форуму Вам необходимо [зарегистрироваться](#).

Имя ☐ Запомнить?
Пароль

Фрагменты обсуждения:

[Полный вариант обсуждения »](#)

- Интересная статья и такую схему можно брать на заметку. Конечно, до 32 бит АЦП мы еще "не доросли", но 24-битные используем. А значит, можно немного сэкономить на источнике опорного, поскольку цена на некоторые прецизионные ИОНЫ с низкими шумами и дрейфом просто зашкаливает. А в общем есть подозрение, что кривая на рисунке 2, если взять ось частоты в логарифмическом масштабе, начиная с 800Гц будет иметь наклон если не 10 дБ на декаду, то близкое значение. Что совпадает с теорией для спектральной плотности фликкер-шума (хоть он и преобладает лишь до частоты излома 10-100 Гц). Это, конечно, ничем не подкреплённые догадки.

дальнейшем фильтровать. А вот и в даташите на LTC2057 пишут Тогда эффективность фильтра полностью обуславливается характеристиками усилителя LTC2057. Или можно сказать так - полученные низкие амплитудные значения шумового порога обусловлены природой "усилителя, стабилизированного прерыванием". Причем автор честно указал в предпоследнем абзаце, что "усилители, стабилизированные прерыванием, такие как LTC2057, часто создают помехи на частоте прерывания". Но это уже далеко за областью преобладания изначального $1/f$. В общем интересно читать такие материалы - всегда открываешь что-то новое для себя. Ну или во всяком случае то, что проспал в университете.

Публикации по теме ↓

- [Схемы](#) > [Активный малошумящий антиалайзинговый фильтр для 24-битного АЦП](#)
- [Схемы](#) > [Источник опорного напряжения улучшает характеристики полевого транзистора](#)
- [Схемы](#) > [Имея высокую статическую точность, 32-битный ЦАП обеспечивает получение 32-битного разрешения](#)
- [Новости](#) > [Silicon Labs начала поставки нового 32-битного беспроводного микроконтроллера для подключения к устройству Интернета вещей - E7D22](#)

[Форум](#) > [Стабилизатор опорного напряжения](#)