

Использование полностью дифференциальных усилителей с одним источником питания и отрицательными входными напряжениями для управления АЦП

Печатается с разрешения Texas Instruments (www.ti.com)

Джим Карки (США)
Перевод Андрея Данилова

В статье проанализирована схема преобразования однофазного входного сигнала в дифференциальный выходной сигнал на основе полностью дифференциального усилителя THS4521.

ВВЕДЕНИЕ

Полностью дифференциальные усилители (ПДУ) с единственным питанием +5 В могут использоваться для преобразования однофазных сигналов, которые изменяются вблизи земли, в полностью дифференциальные сигналы, которые сдвинуты по уровню для согласования с требованиями к входному синфазному сигналу аналого-цифровых преобразователей с дифференциальным входом (АЦП ДВ). В этом нет никакого фокуса, но, как правило, прибор, подобный THS4521, с диапазоном входного синфазного напряжения (ДВСН, V_{ICR}), включающим землю, является наилучшим для этой цели. Чтобы показать, как ПДУ с единственным источником питания +5 В может быть использован для реализации такого преобразования, была предложена и проанализирована одна схема.

Было проведено сравнение ПДУ с двумя стандартными инвертирующими ОУ с однофазным выходом, сконфигурированными в дифференциальную схему и связанными посредством петли обратной связи по

синфазному выходному напряжению. Это справедливо в качестве концепции, но существуют важные отличия. Для данного обсуждения важным отличием, о котором следует помнить, является то, что при использовании в инвертирующем включении стандартных ОУ с однофазным выходом регулируется *входной* синфазный сигнал, но при использовании ПДУ регулируется *выходной* синфазный сигнал.

Когда в инвертирующем включении используется стандартный ОУ с однофазным выходом, неинвертирующий вход ОУ не управляется источником и обычно подсоединён к земле или другому опорному напряжению. Синфазное напряжение на входных выводах ОУ стабилизировано на уровне напряжения, приложенного к неинвертирующему входу ОУ, отрицательной обратной связью, которая стремится уменьшить до нуля напряжение ошибки между его входными выводами. Обычно это называют виртуальным коротким замыканием, которое является важным принципом в теории ОУ.

Когда ПДУ используется для преобразования однофазного входного сигнала в дифференциальный выходной сигнал, другой вход, который не управляется источником, управляется выходным сигналом через цепь обратной связи. Принцип виртуального короткого замыкания все ещё действует, но входы больше не привязаны к опорному напряжению и изменяются вблизи сигнала. Выходное синфазное напряжение управляется

входом, подключенным к выводу V_{OCM} .

В нижеследующем обсуждении предполагается, что читатель знаком с концепцией и применением ПДУ. Более подробную информацию об основах работы ПДУ можно найти в [1].

АНАЛИЗ СХЕМЫ

Предложенная схема

На рисунке 1 показана предложенная схема для преобразования однофазного биполярного входного сигнала. Шина V_{S+} является источником питания усилителя; вход отрицательного питания заземлён. Напряжение V_{IN} представляет источник входного сигнала. Оно показано как сигнал относительно земли, изменяющийся вблизи земли (± 0 В), и, следовательно, является биполярным сигналом. Резисторы R_G и R_F устанавливают коэффициент передачи усилителя. Напряжения V_{OUT+} и V_{OUT-} являются дифференциальными входными сигналами АЦП. Они находятся в противофазе и сдвинуты по уровню к напряжению V_{OCM} .

Анализ

Для анализа удобно предположить, что ПДУ является идеальным усилителем с нулевым смещением и бесконечным усилением.

Коэффициент передачи от однофазного входа до дифференциального выхода установлен резисторами R_G и R_F :

$$V_{OUT\pm}/V_{IN} = R_F/R_G \quad (1)$$

Отметим, что не существует умножения на 2, как в других приборах и схемах решения, которые также могут быть использованы для преобразования однофазных входных сигналов

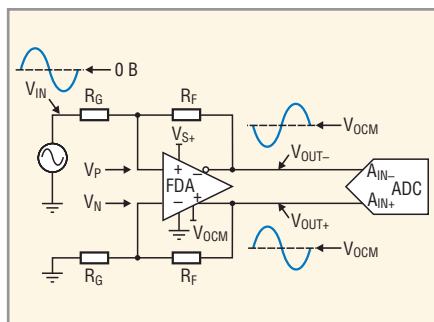


Рис. 1. Однофазная биполярная входная схема

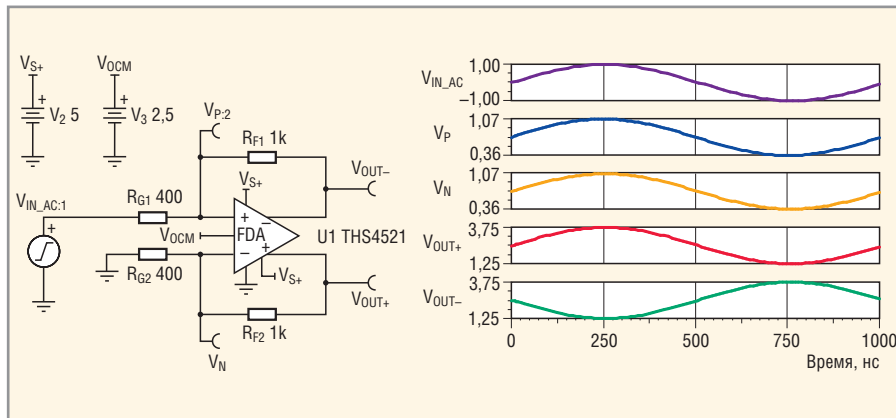


Рис. 2. Моделирование примера схемы в программе TINA-Ti™

в дифференциальные выходные сигналы.

Каждый однофазный выходной сигнал является половиной дифференциального выходного синфазного напряжения (+V_{OCM}):

$$V_{OUT+} = V_{IN}R_F/2R_G + V_{OCM}$$

и

$$V_{OUT-} = -V_{IN}R_F/2R_G + V_{OCM}$$

Для правильного функционирования входные напряжения V_P и V_N не должны выходить за пределы ДВСН усилителя, а выходные сигналы должны поддерживать требования к изменению напряжения на входе АЦП. Превышение ДВСН приведёт к нелинейной работе, что увеличивает искажения и иногда ошибочно рассматривается как проблема насыщения выхода.

Для проверки значения ДВСН можно применить концепцию виртуального короткого замыкания для вычисления напряжения на любом выводе входа ПДУ, поскольку V_P ≈ V_N. Можно использовать любое из двух уравнений, но (3) является самым простым:

$$V_P = V_{OUT-}R_G/(R_G + R_F) + V_{IN}R_F/(R_G + R_F), \quad (2)$$

$$V_N = V_{OUT+}R_G/(R_G + R_F). \quad (3)$$

Из-за разности выходного и входного синфазных напряжений схема обратной связи отбирает ток, равный этой разности, поделенной на сумму номиналов резисторов R_F и R_G. Если резисторы, устанавливающие коэффициент передачи в двух плечах ПДУ, не согласованы, разность синфазных напряжений также приведёт к смещению на выходе. Поэтому важно ис-

пользовать резисторы с допуском 1% или менее.

Пример

Для иллюстрации работы схемы предположим, что на вход поступает сигнал с размахом 2 В, а выход подключен к АЦП типа ADS1278. Полная шкала входного дифференциального напряжения ADS1278 составляет 5 В (размах), а входное синфазное напряжение равно +2,5 В. В качестве ПДУ может быть использован TMS4521 с единственным источником питания +5 В.

Сначала необходимо проверить, что TMS4521 может поддерживать требуемые напряжения. Во избежание насыщения АЦП, максимальный коэффициент передачи составляет 2,5 В/В. Для установки номиналов R_F = 1 кОм и R_G = 400 Ом может быть использовано выражение (1). Для установки требуемого входного синфазного напряжения АЦП на уровне +2,5 В вывод V_{OCM} усилителя TMS4521 может быть просто шунтирован на землю конденсатором 0,1 мкФ, поскольку по умолчанию напряжение на неподключенном выводе V_{OCM} равно половине напряжения питания (+2,5 В). Тогда напряжение на каждом выходе будет изменяться с размахом 2,5 В (±1,25 В) вокруг +2,5 В; поэтому выходы усилителя должны поддерживать напряжение от +1,25 до +3,75 В. Паспортные данные TMS4521 показывают, что требуемый диапазон выходного напряжения находится в пределах спецификации. Следует отметить, что другие АЦП, рассчитанные на различные требования к входному синфазному напряжению, потребуют, чтобы вывод V_{OCM} был смещён по постоянному току.

Выражение (2) может быть использовано для расчёта V_P на положитель-

ном и отрицательном пиках входного сигнала.

При V_{IN} = -1 В, V_{OUT-} = +3,75 В:

$$V_P = 3,75 \times 400 / (400 + 1000) + (-1) \times 1000 / (400 + 1000) = 0,357 \text{ [В]}.$$

При V_{IN} = +1 В, V_{OUT-} = +1,25 В:

$$V_P = 1 \times 400 / (400 + 1000) + 1,25 \times 1000 / (400 + 1000) = 1,071 \text{ [В]}.$$

В качестве альтернативы выражение (3) может быть использовано для расчёта V_N на положительном и отрицательном пиках входного сигнала.

При V_{IN} = -1 В, V_{OUT+} = +1,25 В:

$$V_N = 1,25 \times 400 / (400 + 1000) = 0,375 \text{ [В]}.$$

При V_{IN} = +1 В, V_{OUT+} = +3,75 В:

$$V_N = 3,75 \times 400 / (400 + 1000) = 1,071 \text{ [В]}.$$

Напряжения, рассчитанные для V_P и V_N, не отличаются от предсказанных. Проверка спецификации TMS4521 показывает, что требуемый диапазон входного напряжения обеспечивается.

Даже если входной сигнал опускается ниже потенциала земли, для выводов ПДУ не требуется никаких отрицательных напряжений. В схеме преобразования однофазного сигнала в дифференциальное входное синфазное напряжение, прикладываемое к ПДУ, модулируется этим сигналом. Напротив, когда и вход, и выход являются дифференциальными, изменение входного синфазного напряжения много меньше и приблизительно равно взвешенному среднему значению входного и выходного синфазных напряжений (установленных R_F и R_G).

Что происходит с ДВСН, когда уменьшается или увеличивается коэффициент передачи?

- Когда коэффициент передачи уменьшается, входные напряжения (V_P и V_N) изменяются ближе к выходному. Для коэффициента передачи 1 В/В, ДВСН равно половине размаха напряжения на любом выходе. Уменьшение коэффициента передачи ниже 1 В/В является особым случаем [2].
- Когда коэффициент передачи увеличивается, входные напряжения (V_P и V_N) изменяются ближе к ис-

точнику входного напряжения. Как только коэффициент передачи возрастает, сопротивление R_F увеличивается и/или сопротивление R_G уменьшается; в предположении, что размах выходного напряжения не изменяется, размах входного сигнала становится меньше. ДВСН равно входному синфазному напряжению источника, которое в этом случае составляет 0 В, или потенциал земли. В более реальном примере размах выходного дифференциального напряжения 5 В остаётся неизменным, но входное напряжение уменьшается, поэтому при необходимом коэффициенте передачи 10 В/В ДВСН изменяется от +0,114 до +0,341 В.

Моделирование

Всегда полезно моделировать схемные идеи, чтобы «отловить» ошибки и проверить правильность исходных посылок. Рисунок 2 показывает результат анализа в программе TINA-Ti™. Чтобы увидеть это моделирование, зайдите на интернет-страницу <http://www.ti.com/lit/zip/slyt394>. Если программа TINA-Ti уже установлена, вы можете открыть файл THS4521_SE_to_DIFF.TSC, чтобы просмотреть этот пример. Для загрузки и установки программы TINA-Ti посетите интернет-страницу www.ti.com/ti-na-ti.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были установлены параметры для двухполярного однофазного источника, который требуется усилить и сдвинуть по уровню для управления АЦП с входным синфазным напряжением +2,5 В и полным размахом входного сигнала до 6 В. Хорошим выбором для управления таким АЦП является полностью дифференциальный усилитель с единственным 5-вольтовым источником питания, диапазоном ДВСН от -0,1 до +2 В и диапазоном выходного напряжения +1...4 В.

С приведёнными ниже параметрами, при единственном 5-вольтовом питании, усилитель THS4521 является превосходным выбором для такого применения:

- диапазон входного напряжения 0...+3,5 В (от минимума до максимума в диапазоне температур -40...85°C);

АЦП компании TI, совместимые с усилителем THS4521

Тип преобразователя	Приборы
Поразрядного уравнивания (SAR)	ADS8317/8, ADS8321, ADS8361/4/5, ADS7861/2/3/4/5/9
Дельта-сигма	ADS1251/2/3/4/8, ADS1281/2, ADS1158, ADS1271/4/8, ADS1174/8
Звуковой	PCM1804, PCM3110, PCM3160/8, PCM4201/2/4

- диапазон выходного напряжения +0,2...4,65 В (от минимума до максимума в диапазоне температур -40...85°C).

Таблица показывает аналого-цифровые преобразователи компании Texas Instruments, совместимые с выходными характеристиками и быстродействием усилителя THS4521.

Когда ПДУ с единственным источником питания +5 В используется для управления АЦП с единственным источником питания +5 В (подобно THS4521, управляющему ADS1278), проблемы насыщения входов АЦП можно избежать, поскольку выходные сигналы усилителя не превышают питающее напряжение.

Подробную информацию о том, как усилитель THS4521 работает с некоторыми из упомянутых в таблице АЦП, и другую информацию о применении можно получить в [3–6].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Karki J.* Fully-differential amplifiers, Application Report, sloa054.
2. *Karki J.* Using fully differential op amps as attenuators. Part 2: Single-ended bipolar input signals. Analog Applications J. 3Q 2009, slyt341.
3. Very low power, negative rail input, rail-to-rail output, fully differential amplifier. THS4521 Data Sheet, sbos458.
4. amplifier.ti.com.
5. www.ti.com/sc/device/ADS1278.
6. www.ti.com/sc/device/THS4521.

