

## Преобразователь напряжение-ток с возможностью подключения заземленной нагрузки

02-11-2019

Analog Devices > OP77

Журнал РАДИОЛОЦМАН, август 2019

Michele Frantisek

EDN

В преобразователе напряжение-ток на Рисунке 1 использованы три распространенных операционных усилителя, два транзистора средней мощности и всего несколько пассивных компонентов. Первый операционный усилитель (IC<sub>1</sub>) инвертирует сумму напряжений V<sub>IN</sub> и V<sub>OUT</sub>:

$$V_1 = -(V_{IN} + V_{OUT}).$$

Второй операционный усилитель (IC<sub>2</sub>) и транзисторы Q<sub>1</sub> и Q<sub>2</sub> инвертируют это напряжение:

$$V_2 = V_{IN} + V_{OUT}.$$

Таким образом, формула для вычисления выходного тока имеет вид:

$$I_{OUT} = \frac{V_2 - V_{OUT}}{R_6} = \frac{V_{IN} + V_{OUT} - V_{OUT}}{R_6} = \frac{V_{IN}}{R_6}.$$

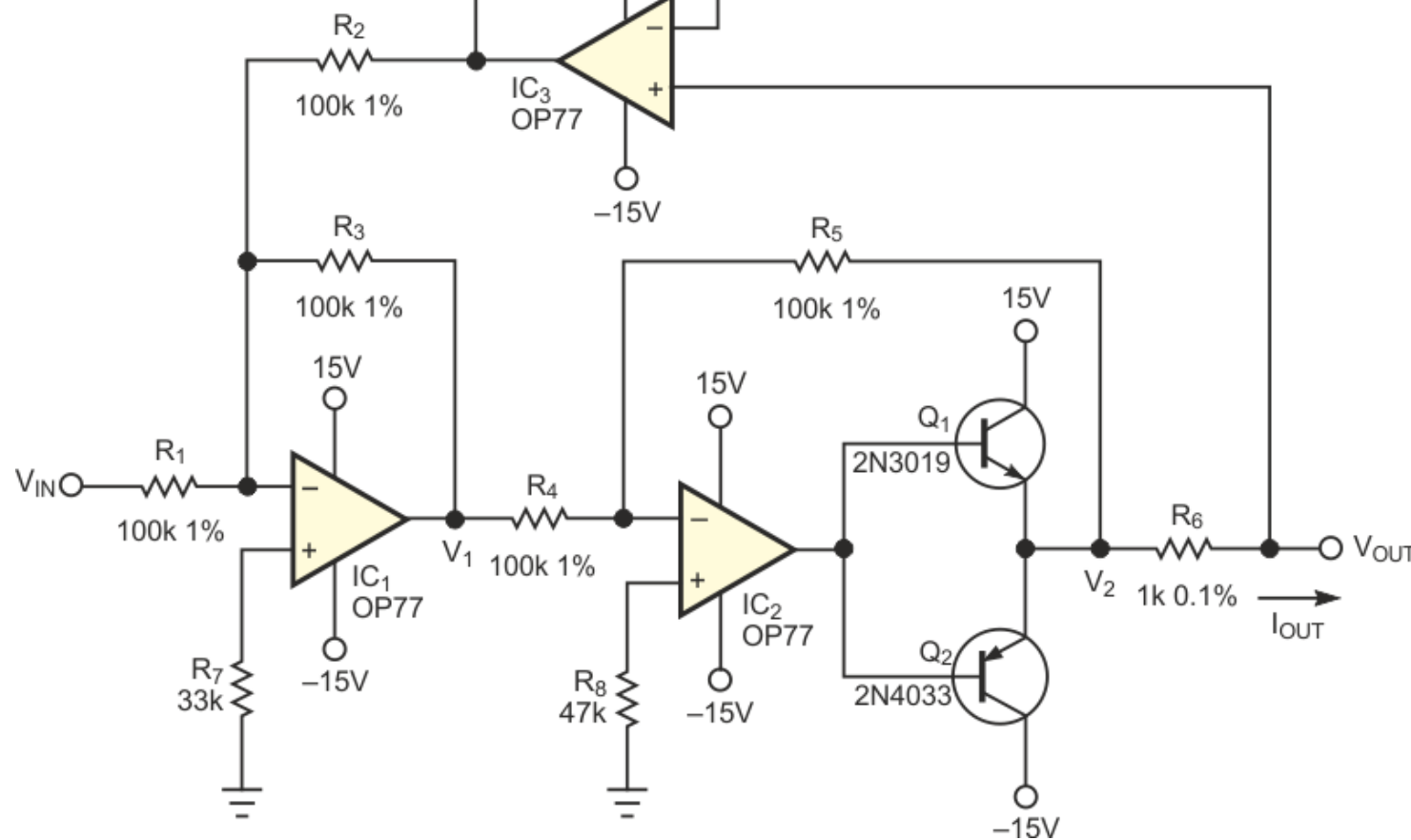


Рисунок 1. Универсальный преобразователь напряжение-ток может служить удобным источником тока во многих аналоговых приложениях.

Из формулы видно, что I<sub>OUT</sub> зависит только от входного напряжения V<sub>IN</sub> и сопротивления R<sub>6</sub>. Повторитель напряжения IC<sub>3</sub> снижает ток между выходом схемы и микросхемой IC<sub>1</sub> до незначительного уровня. Преимущества схемы:

- Возможность подключения заземленной нагрузки;
- Простое управление соотношением I<sub>OUT</sub>/V<sub>IN</sub>;
- Высокая точность, линейность, стабильность и широкая полоса пропускания;
- Широкий диапазон выходных токов – приблизительно от 1 мкА до максимально допустимого коллекторного тока Q<sub>1</sub> и Q<sub>2</sub>;
- Высокое выходное сопротивление порядка 50 МОм.

### Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices OP77](#)
2. [Datasheet ON Semiconductor 2N3019](#)
3. [Datasheet STMicroelectronics 2N4033](#)

Перевод: AlexAAN по заказу РадиоЛоцман

На английском языке: [V/I converter accommodates grounded load](#)



SMT Assembly Fee \$0

# 1-4 Layer PCBs \$2

[Get Coupons](#)

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

Система электрохимического измерения газа с диагностикой датчика CN-0429

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

Имя   Запомнить?  
 Пароль

Фрагменты обсуждения: [Полный вариант обсуждения >](#)

- Хорошая схема, проверю и возьму на заметку. Но всё-таки это просто замороченный вариант схемы Хауленда, если не ошибаюсь. У Хоровица-Хилла в 1м томе этому уделено пару страниц, есть раздел "Источники тока для заземленных нагрузок". В пристёжке её более простой вариант на одном ОУ, который неплохо подходит для токовой петли 4-20мА. Питание однополярное, управление от ЦАПа МСР4921. Много раз использовал эту схему, линейность получается неплохая. Хотя источник напряжения нужен с низким выходным сопротивлением, так что после ЦАПа не помешает буфер. Эту же схему можно использовать как источник тока для возбуждения резистивных датчиков температуры (Pt100 и т.п.) или тензостомов. В этом случае управляющее (задающее) напряжение лучше брать с прецизионного ИОНа. Но это конечно случаи, когда нужен источник тока без двуполярного выхода и нагрузка заземлена. Также в пристёжке некоторые материалы по теме источников тока, которые когда-то попались в сети. Может кому-то пригодится. Если более конкретно говорить об "интерфейсах токовой петли", то почти у всех производителей ОУ есть соответствующие аппноты. Любую из приведённых в них схем можно адаптировать под свои задачи. Но в любом случае во всех подобных схемах на ОУ нужно уделить внимание тщательной подборке резисторов в ОС, как по точности, так и по термостабильности.
- А разве это не схема генератора? Формулы, красиво, но структура очень напоминает классический генератор на фазоинверторах. При малой ёмкости разве схема не загенерит (в железе, а не на симуляторе) где-то на 500-1000 кГц, особенно, если суммарный коэффициент передачи будет несколько больше 1 (например обе пары 1% резисторов будут давать коэффициент передачи 1,02)?
- Возможно, но вряд ли. Конечно настораживает, что резистор R6 находится не в петле обратной связи одиночного ОУ и сигнал с него буферизирован. Т.е. в теории для подавления генерации этот резистор или независим (т.е. просто изолирующий резистор между выходом ОУ и нагрузкой - внепетлевая коррекция), или его вводят в ОС единичного усилителя с нежелательно высоким выходным сопротивлением (внутрепетлевая коррекция, т.е. сигнал с выхода изолирующего резистора подаётся на инвертирующий вход оконечного ОУ). Какой же из факторов возникновения генерации в этой схеме наиболее важен - высокое выходное сопротивление, малое усиление или не хватает запаса по фазе - я не знаю. R6 с одной стороны вроде и изолирующий, а с другой стороны как-то не корректно заведён в ОС через буфер. Но на сколько некорректно - ведь в самой петле ОС выходное сопротивление ОУ делится на КУ. И номинал R6 в 1кОм достаточно большой, заведомо больше выходного сопротивления OP77. Тут я думаю дело ещё в том, что OP77 - усилитель с очень большим КУ при разомкнутой петле, если верить картинкам в даташите от 10 до 20\*(10^6). И может быть автор повезло с выбором ОУ. В общем да, сомнения посеяли, нужно хотя бы в симуляторе посмотреть на АЧХ. А может где-то не хватает конденсатора.
- ну ДА, параллельно R3 и R5 (или хотя бы одному из них), такой чтобы t1=R3\*C=t2=R5\*C - t=t1+t2 был больше чем утроенное время задержки ОУ. Особенно, как мне кажется, это будет важно при комплексном характере нагрузки. Транзисторы буфера разрывают ОС второго каскада при нулевом смещении и схема может «болтаться» между значениями от одного положительного уровня открывания транзистора до второго отрицательного уровня ирп транзистора.
- Правильно, всегда забываю про разрыв ОС. Но Q1, Q2 в принципе можно исключить для токов 10-20мА. Легко представить как автор пришёл к такой схеме. Приблизительно аналогичное можно увидеть в даташитах на инструментальные усилители с точно подогнанными резисторами в корпусе, не хуже 0,005%. На картинке пример из даташита для INA105. Причём буфер на ОУ тут нужен только если величина внешнего токозадающего резистора достаточно большая по сравнению с прецизионными резисторами в корпусе ОУ. Это по сути и есть модификация схемы Хауленда, где благодаря буферу отпадает необходимость во втором резисторе такой же величины в ОС. Ну и, видимо, автор скомпелировал свою схему, добавив третий усилитель IC1 в качестве сумматора, чтобы уйти от чисто дифференциального входа.
- Для INA всё будет работать - там резисторы подогнаны достаточно точно + термически находятся на одном кристалле. Для схемы на ОУ OP77 автору, скорее всего, повезло с 1% резисторами... Для единичной схемы для проверки какого-либо устройства пойдёт, для серии нет.
- Автору повезло не только с резисторами, ведь OP77 совсем неплох. А вообще часто удивляют комментарии под схемами на РЛ. Мол автор тупица и т.п. Ведь не стоит ждать от переведенных публикаций с EDN адекватный разработчик в здравом уме без всестороннего анализа и проверки схемного решения не запустит плату в производство. Хотелось бы больше публикаций на РЛ статей из Analog Dialogue. Но это уже не уровень поп-культуры.

[Полный вариант обсуждения >](#)

Публикации по теме ▾

- [Форум > Обсуждение: Преобразователь напряжение-ток управляет белыми светодиодами](#)
- [Схемы > Преобразователь напряжение-ток управляет белыми светодиодами](#)
- [Схемы > Преобразователь напряжение-ток с точно устанавливаемой зоной нечувствительности](#)
- [Форум > Обсуждение: Mean Well выпустила DC-AC инверторы на 3000 Вт с UPS и возможностью подключения солнечных батарей](#)
- [Схемы > Многоканальный источник питания с возможностью работы в режиме пиковой нагрузки](#)

**MOSFET CoolSiC**  
Ноу-хау в области силовой электроники!

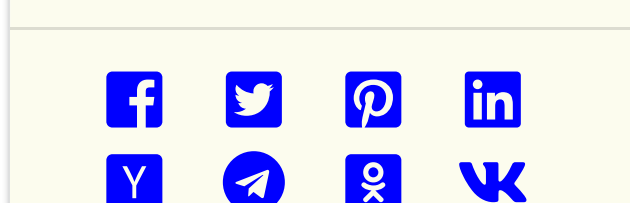
**Infineon**

Зарегистрируйтесь на NextPCB

**Получите бесплатные купоны на \$100**

[Зарегистрируйтесь](#)

- Подписка на обновления
- Журнал «РадиоЛоцман»
- Реклама
- Размещение прайс листов
- Контакты



- [Политика конфиденциальности \(en\)](#)
- [Изменить настройки конфиденциальности](#)