

# Последние разработки компании Texas Instruments в области аналоговой электроники. Операционные усилители

Дмитрий ИВАНОВ,  
к. т. н.  
di@efo.ru

Эта обзорная статья посвящена новым аналоговым микросхемам компании Texas Instruments. Рассмотрены операционные усилители, анонсированные во втором полугодии 2010 года.

## Введение

Компания Texas Instruments, основанная в 1941 году, является старейшей среди ведущих мировых производителей интегральных микросхем. В 1958 году сотрудником этой компании была изобретена первая интегральная микросхема, а в настоящее время Texas Instruments занимает первое место в мире по выпуску цифровых сигнальных процессоров (DSP) и входит в группу мировых лидеров в области производства аналоговых микросхем.

В статье мы познакомим читателей с новейшими операционными усилителями (ОУ) компании Texas Instruments, то есть с теми компонентами, которые входят в состав практически любой аналого-цифровой системы. Все микросхемы, о которых пойдет речь, появились на рынке электронных компонентов или были анонсированы компанией Texas Instruments во второй половине 2010 года [1].

## Малозадающие операционные усилители семейства OPAx140

OPAx140 — это семейство прецизионных малозадающих ОУ, входные каскады которых построены на полевых транзисторах с управляющим *pn*-переходом (рис. 1).

Эти ОУ имеют низкое напряжение смещения, хорошую температурную стабильность, маленькие входные токи и низкие шумы в полосе частот от 0,1 до 10 Гц. Типовые значения параметров ОУ при температуре окружающей среды +25 °С приведены в таблице.

В полном рабочем температурном диапазоне (от -40 до +125 °С) максимальное напряжение смещения равно 220 мкВ, максимальный температурный дрейф напряжения смещения равен 1 мкВ/°С, а входные токи не превышают 3 нА.

Во избежание путаницы следует обратить внимание на то, что под рабочим темпера-

турным диапазоном понимается нормативный диапазон (Specified Temperature Range), в котором производитель гарантирует соответствие нормируемых параметров ОУ значениям, приведенным в техническом описании микросхемы. В последней строке таблицы указана температура окружающей среды, при которой микросхема еще сохраняет работоспособность, но значения нормируемых параметров не гарантируются. Например, для ОУ семейства OPAx140 допустимая температура эксплуатации лежит в пределах от -55 до +150 °С.

Типовой размах шумового напряжения усилителей OPAx140 в полосе частот от 0,1 до 10 Гц равен 250 нВ (рис. 2), а среднеквадратическое значение шумового напряжения — 42 нВ. Плотность шума на частоте 10 Гц равна 8 нВ/√Гц, а на частоте 1 кГц — 5,1 нВ/√Гц.

ОУ семейства OPAx140 имеют хорошие динамические характеристики: ширина полосы пропускания равна 11 МГц, скорость нарастания выходного напряжения — 20 В/мкс,

время установления выходного напряжения (Settling Time, 16-bit) — 1,6 мкс.

Из электрических характеристик усилителей OPAx140 хочется отметить то, что отрицательное напряжение питания ( $V^-$ ) находится внутри допустимого интервала изменения синфазного входного сигнала. Забегая вперед скажем, что этим ценным качеством обладают четыре из пяти рассмотренных в данной статье семейств ОУ — все, кроме OPAx209 (таблица).

Еще одна важная эксплуатационная характеристика усилителей OPAx140 — отсутствие инверсии фазы выходного сигнала при перегрузке усилителя по входу (рис. 3). Более подробно об этой проблеме и способах ее решения можно прочитать в статье [2].

Питание микросхем OPAx140 может осуществляться или от однополярного источника с напряжением от 4,5 до 36 В, или от двухполярного источника с напряжениями от  $\pm 2,25$  до  $\pm 18$  В. Типовое значение тока, потребляемого микросхемой в режиме холостого хода, равно 1,8 мА/канал. В полном ра-

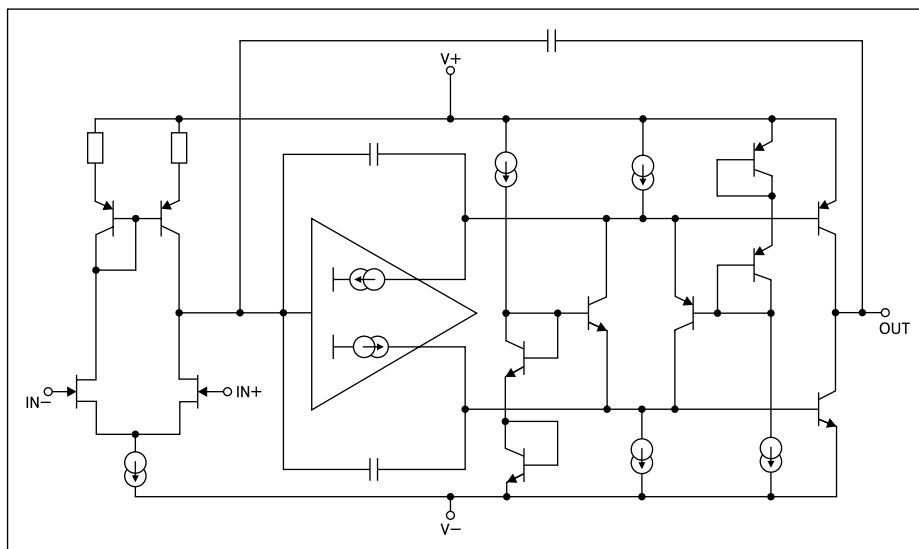


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема ОУ семейства OPAx140

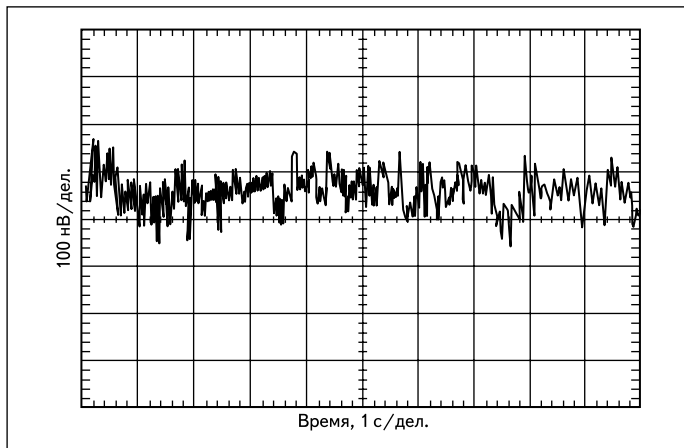


Рис. 2. Шумовое напряжение ОУ семейства OPAx140 в полосе частот от 0,1 до 10 Гц при температуре окружающей среды +25 °С

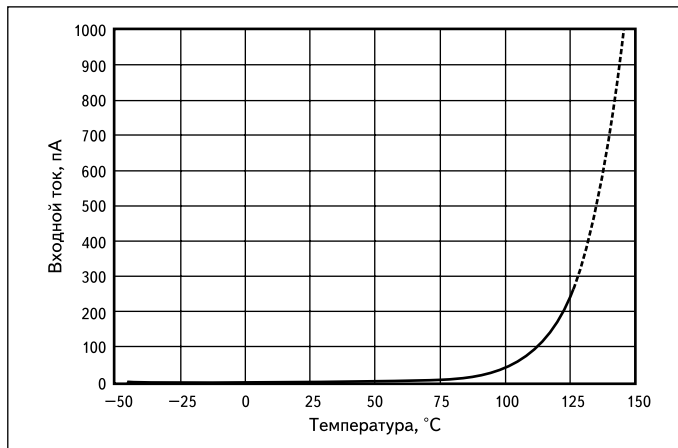


Рис. 4. Зависимость входного тока ОУ семейства OPAx377 от температуры окружающей среды

бочем температурном диапазоне потребляемый ток не превышает 2,7 мА/канал.

В состав семейства OPAx140 входят три микросхемы: одноканальный усилитель OPA140, двояный усилитель OPA2140 и четверный усилитель OPA4140. Все ОУ семейства имеют идентичные характеристики и отличаются друг от друга только количеством усилителей в одном корпусе. В настоящее время одноканальные и двояные ОУ доступны в корпусах SO-8 и MSOP-8, а четверные ОУ — только в корпусе SO-14. В будущем планируется выпуск одноканальных ОУ в корпусе SOT23-5 и четверных ОУ в корпусе TSSOP-14.

Компания Texas Instruments рекомендует использовать ОУ семейства OPAx140 для построения фотодиодных усилителей, активных фильтров, драйверов АЦП и выходных усилителей цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) с однополярным питанием. Благодаря низкому потребляемому току, эти ОУ могут найти применение в электронных устройствах с батарейным питанием, например в переносной медицинской и измерительной аппаратуре, а способность этих усилителей сохранять работоспособность при низких и высоких температурах позволяет рекомендовать их для применения в аппаратуре, предназначенной для эксплуатации в экстремальных климатических условиях.

### Малопотребляющие операционные усилители семейства OPAx377

КМОП усилители семейства OPAx377 имеют сравнительно высокое напряжение смещения, но низкий температурный дрейф напряжения смещения, очень малые входные токи (при невысоких температурах) и низкое энергопотребление (таблица).

Максимальное значение напряжения смещения при температуре окружающей среды +25 °С равно 1 мВ, а дрейф напряжения смещения в полном рабочем температурном диапазоне не превышает 2 мкВ/°С.

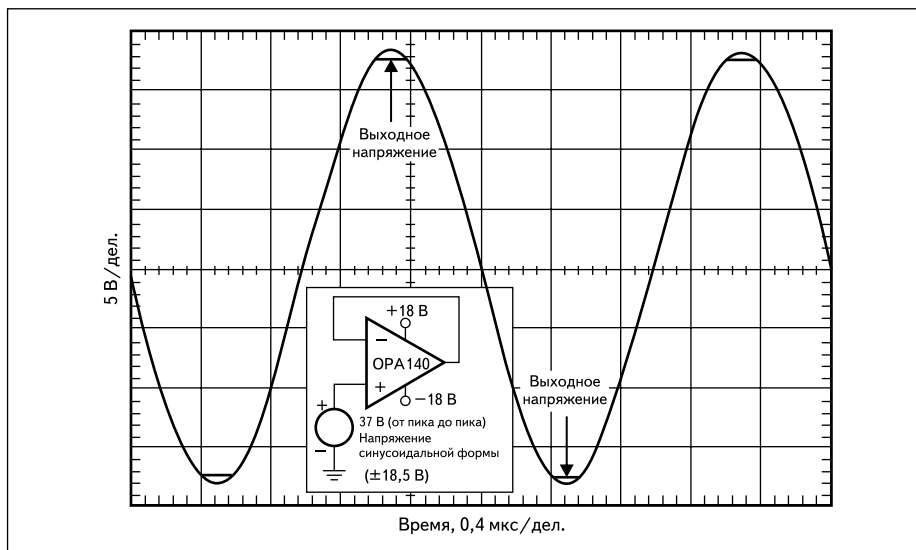


Рис. 3. Форма выходного сигнала ОУ семейства OPA140 при перегрузке по входу

Таблица. Типовые значения параметров операционных усилителей при температуре окружающей среды +25 °С

Параметр	OPAx140	OPAx377	OPAx171	OPAx209	OPAx320 OPAx320S
Напряжение смещения (тип.), мкВ	30	250	250	35	40
Напряжение смещения (max), мВ	0,12	1	1,8	0,15	0,15
Температурный дрейф напряжения смещения в рабочем температурном диапазоне, мкВ/°С	0,35	0,32	0,3	1	1,5
Входной ток (тип.), пА	0,5	0,2	8	1000	0,2
Входной ток (max), пА	10	10	15	4500	0,9
Шумовое напряжение в полосе частот от 0,1 до 10 Гц (от пика до пика), мкВ	0,25	0,8	3	0,13	2,8
Плотность шума на частоте 1 кГц, нВ/√Гц	5,1	7,5	14	2,2	8,5
Минимальное синфазное входное напряжение, В	(V-) - 0,1	(V-) - 0,1	(V-) - 0,1	(V+) + 1,5	(V-) - 0,1
Максимальное синфазное входное напряжение, В	(V+) - 3,5	(V+) + 0,1	(V+) - 2	(V+) - 1,5	(V+) + 0,1
Минимальное выходное напряжение при сопротивлении нагрузки 10 кОм, В	(V-) + 0,2	(V-) + 0,01	(V-) + 0,35	(V-) + 0,2	(V-) + 0,01
Максимальное выходное напряжение при сопротивлении нагрузки 10 кОм, В	(V+) - 0,2	(V+) - 0,01	(V+) - 0,35	(V+) - 0,2	(V+) - 0,01
Полоса пропускания, МГц	11	5,5	3,0	18	20
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	20	2	1,5	6,4	10
Коэффициент усиления без обратной связи, дБ	126	134	130	132	132
Коэффициент ослабления синфазного сигнала, дБ	140	90	104	130	114
Напряжение питания, В	+4,5-36; ±2,25...±18	+2,2-5,5	+2,7-36; ±1,35...±18	±2,25...±18	+1,8-5,5; ±0,9...±2,75
Потребляемый ток, мА/канал	1,8	0,76	0,475	2,2	1,45
Рабочий температурный диапазон, °С	-40...+125	-40...+125	-40...+125	-40...+125	-40...+125
Допустимая температура эксплуатации, °С	-55...+150	-40...+150	-55...+150	-55...+150	-40...+150

Примечание. (V-) — отрицательное напряжение питания (при однополярном питании равно 0), В; (V+) — положительное напряжение питания, В.

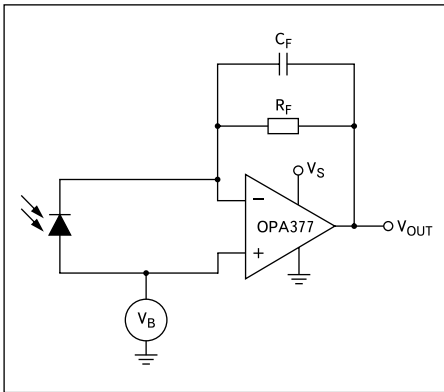


Рис. 5. Фотозлектрический преобразователь на базе усилителя OPA377

Максимальный входной ток при температуре +25 °C равен 10 пА, но с ростом температуры входной ток нелинейно возрастает и при температуре +125 °C достигает значения приблизительно 250 пА (рис. 4).

Максимальный потребляемый ток при температуре +25 °C равен 1,05 мА/канал и, в отличие от входного тока, слабо зависит от температуры. В полном рабочем температурном диапазоне потребляемый ток не превышает 1,2 мА/канал.

ОУ семейства OPAx377 разработаны для приложений с однополярным низковольтным (от 2,2 до 5,5 В) источником питания, а малый потребляемый ток и высокий коэффициент подавления пульсаций напряжения питания (5 мкВ/В) делают эти усилители особенно привлекательными для применения в устройствах с автономным питанием от батарей без использования дополнительных стабилизаторов напряжения.

К целевым областям применения относятся предусилители для фотодиодных (рис. 5) и пьезоэлектрических датчиков, аудиоаппаратура, активные фильтры.

Благодаря низкому уровню шума, мало времени установления выходного напряжения (2 мкс с погрешностью 0,01%)

и большому (rail-to-rail) размаху выходного напряжения ОУ семейства OPAx377 подходят для использования в качестве драйверов АЦП. Пример такого применения приведен на рис. 6, где на базе микросхемы OPA377 построен буферный повторитель напряжения, включенный на входе 16-разрядного АЦП.

В состав семейства OPAx377 входят три микросхемы: одноканальный усилитель OPA377, двояный усилитель OPA2377 и четверный усилитель OPA4377. Одноканальные усилители выпускаются в корпусах SOT23-5 и SO-8, двояные — в корпусах SO-8 и MSOP-8, а четверный — только в корпусе TSSOP-14. Планируется выпуск одноканальных ОУ в корпусе SC70-5.

### OPAx177 — семейство операционных усилителей общего назначения в микроминиатюрных корпусах

Усилители OPAx177 относятся к классу ОУ общего назначения с однополярным питанием и низким энергопотреблением.

ОУ этого семейства имеют скромные метрологические характеристики (таблица), но по некоторым параметрам, например по температурной стабильности напряжения смещения, эти усилители не уступают рассмотренным выше прецизионным ОУ.

К главным достоинствам ОУ семейства OPAx177 можно отнести широкий диапазон питающих напряжений (от 2,7 до 36 В при однополярном питании), низкий потребляемый ток (650 мкА/канал в полном рабочем температурном диапазоне), а также то, что при перегрузке этих усилителей по входу нет инверсии фазы выходного сигнала (рис. 3).

ОУ семейства OPAx177 могут работать на емкостную нагрузку (до 300 пФ), поэтому производитель рекомендует их для построения интегрирующих аналоговых преобразователей. Эти ОУ могут найти применение в различных измерительных преобразователях, например в тензометрических преобразо-

вателях, электронных термометрах, мостовых преобразователях, а также в электронных устройствах с батарейным питанием.

В настоящее время серийно выпускается только один представитель семейства OPAx177, а именно одноканальный усилитель OPA177, который доступен в корпусах SO-8 и SOT23-5. Анонсированы, но пока еще не доступны для заказа одноканальный усилитель в корпусе SOT553, двояные усилители в корпусах SO-8 и VSSOP-8, а также четверные усилители в корпусах SO-14 и TSSOP-14.

Корпус SOT553 имеет габаритные размеры всего 1,7×1,7×0,6 мм и является самым маленьким корпусом для ОУ с напряжением питания 36 В.

### Малозумящие операционные усилители семейства OPAx209

ОУ семейства OPAx209, построенные на биполярных транзисторах (рис. 7), имеют отличные шумовые характеристики, невысокое напряжение смещения и неплохую температурную стабильность (таблица). Основным недостатком этих усилителей — большие входные токи.

Типовой размах шумового напряжения в полосе частот от 0,1 до 10 Гц равен 0,13 мкВ (рис. 8), а плотность шума на частоте 1 кГц равна 2,2 нВ/√Гц. По этим параметрам усилители OPAx209 — лучшие среди всех ОУ, представленных в этой статье.

При температуре окружающей среды +25 °C максимальное значение напряжения смещения не превышает 150 мкВ. Температурный дрейф напряжения смещения не превышает 3 мкВ/°C в полном рабочем температурном диапазоне.

Типовое значение входного тока равно 1 нА, что более чем на 3 порядка больше, чем у тех ОУ, входные каскады которых выполнены на полевых транзисторах (таблица). С ростом температуры выходные токи возрастают и при температуре +125 °C могут достигать 15 нА.

Еще одним недостатком семейства OPAx209 является то, что отрицательное напряжение питания (V-) этих усилителей лежит за границами интервала синфазного входного сигнала. Минимальное допустимое синфазное входное напряжение равно (V-) + 1,5 В (таблица).

Одноканальные усилители OPA209 выпускаются в корпусах SO-8, MSOP-8 и SOT23-5, двояные усилители OPA2209 — в корпусах SO-8 и MSOP-8, а четверные усилители OPA4209 — только в корпусе TSSOP-14.

ОУ семейства OPAx209 рекомендуется использовать для построения малозумящих инструментальных усилителей, драйверов АЦП, выходных усилителей цифроаналоговых преобразователей, активных фильтров, усилителей для ультразвуковых и инфракрасных датчиков, предусилителей для профессиональной аудиоаппаратуры.

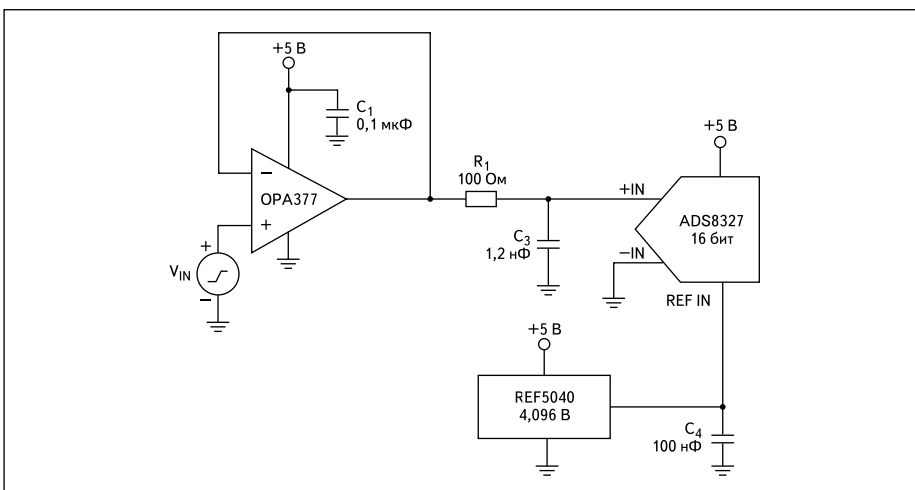


Рис. 6. Схема драйвера АЦП на базе OPA377

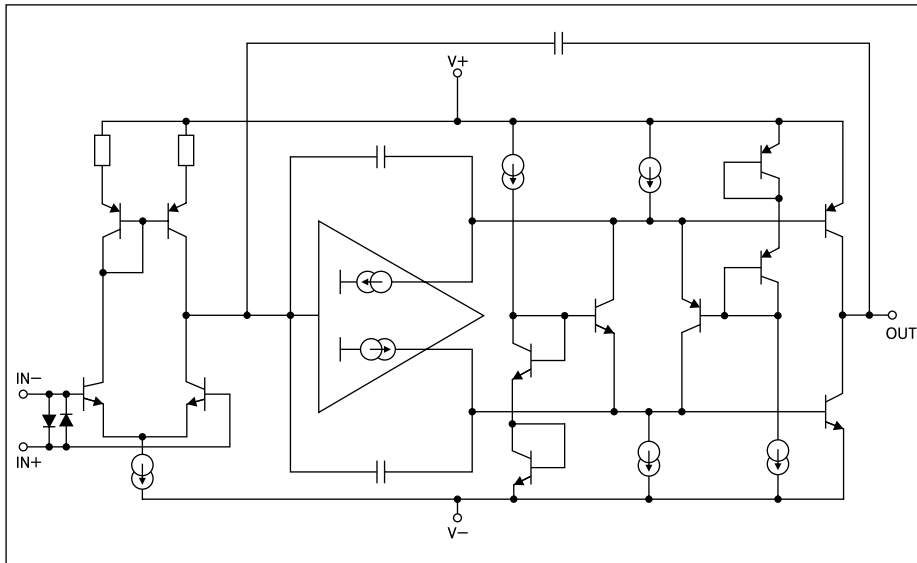


Рис. 7. Упрощенная функциональная схема усилителя OPA209

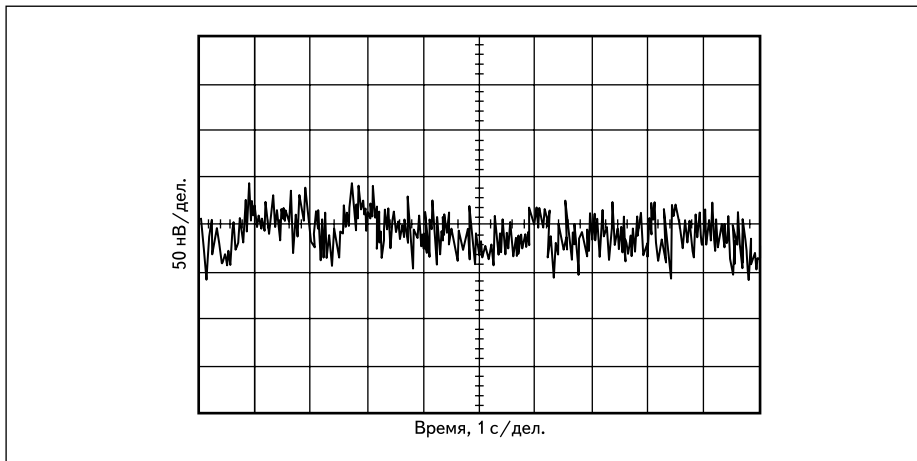


Рис. 8. Шумовое напряжение ОУ семейства OPAx209 в полосе частот от 0,1 до 10 Гц при температуре окружающей среды +25 °С

### Прецизионные КМОП операционные усилители OPAx320 и OPAx320S

Одноканальный (OPA320) и двоянный (OPA2320) ОУ серии OPAx320 являются представителями нового поколения прецизионных КМОП-усилителей с низким напряжением питания, низкими входными токами и широкой полосой пропускания (таблица).

Усилители рассчитаны на питание от однополярного источника с напряжением от 1,8 до 5,5 В или от двухполярного источника с напряжением от ±0,9 до ±2,75 В.

При температуре окружающей среды +25 °С типовое значение входного тока равно 0,2 пА, а максимальное — 0,9 пА. При температуре +85 °С входной ток не превышает 50 пА, а при температуре +125 °С — 400 пА.

Ширина полосы пропускания равна 20 МГц, то есть больше, чем у всех рассмотренных выше ОУ, но по скорости нарастания выходного напряжения (10 В/мкс) ОУ семейства

OPAx320 уступают усилителям OPAx140 с более узкой полосой пропускания.

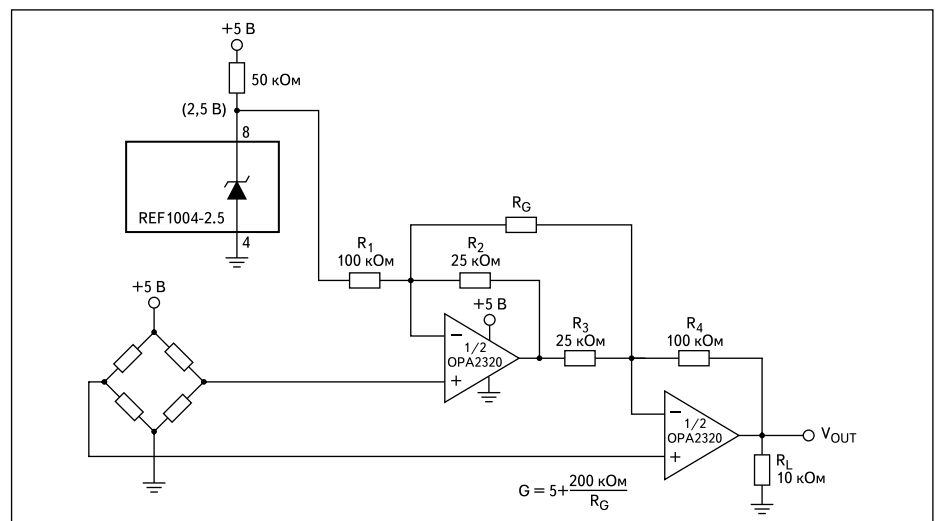


Рис. 9. Пример инструментального усилителя на базе микросхемы OPA2320

ОУ семейства OPAx320S отличаются от соответствующих усилителей семейства OPAx320 только наличием дополнительного управляющего входа. При подаче на этот вход логического сигнала «0», ОУ переходит в режим shutdown, в котором ток, потребляемый микросхемой, не превышает 0,1 мкА/канал. В активном режиме усилители обоих семейств потребляют 1,45 мА/канал, что тоже является неплохим, но не рекордным показателем.

Микросхемы OPA320 планируется производить в корпусе SOT23-5, OPA320S — в корпусе SOT23-6, OPA2320 — в корпусах SO-8, MSOP-8, DFN-8 и OPA2320S — в корпусе MSOP-10. В настоящее время доступны только двоянные усилители OPA2320 в корпусе MSOP-8.

ОУ семейств OPAx320 и OPAx320S рекомендуются использовать для построения усилителей напряжения, источники входных сигналов которых имеют высокое внутреннее сопротивление, а также инструментальных усилителей (рис. 9), буферных усилителей для АЦП и ЦАП, активных фильтров. Эти ОУ могут быть интересны разработчикам измерительных преобразователей «ток — напряжение».

### Заключение

Этой статьей мы открываем новый цикл публикаций, посвященных аналоговым интегральным микросхемам Texas Instruments. В будущих выпусках журнала «Компоненты и технологии» мы расскажем о других группах компонентов, а также будем информировать читателей обо всех новых достижениях компании Texas Instruments в области аналоговой электроники. ■

### Литература

1. Справочно-информационный портал компании Texas Instruments — [www.ti.com/ww/ru](http://www.ti.com/ww/ru)
2. Op Amp Output Phase-Reversal and Input Over-Voltage Protection — <http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-036.pdf>