

# Новые операционные усилители Texas Instruments с «нулевым» температурным дрейфом

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

Статья продолжает цикл публикаций, посвященных последним достижениям компании Texas Instruments в области аналоговой микроэлектроники [1]. Приведен сравнительный обзор операционных усилителей класса Zero-Drift, выпущенных в 2010 и 2011 годах.

## Введение

В этой статье представлены три новые микросхемы семейства OPAx333 и новейшее семейство микросхем OPAx188. Параметры новых операционных усилителей компании Texas Instruments сравниваются с параметрами усилителей LMP2021/LMP2022, которые были разработаны компанией National Semiconductor в 2008 году, но и сегодня по ряду характеристик являются одними из лучших усилителей класса Zero-Drift на мировом рынке электронных компонентов [2].

Главные достоинства всех операционных усилителей, о которых идет речь в статье, — это низкое напряжение смещения и очень низкий температурный дрейф напряжения смещения. Такие характеристики достигаются благодаря использованию встроенной автоматической коррекции напряжения смещения, что позволяет уменьшить как само напряжение смещения, так и его температурный и временной дрейф, а также приводит к подавлению фликкер-шума усилителя.

## Новые микросхемы семейства OPAx333

Операционные усилители семейства OPAx333 знакомы разработчикам электронной аппаратуры с 2007 года, когда были выпущены первые представители этого семейства — одиночный усилитель OPA333 и двоянный усилитель OPA2333. Эти устройства, оптимизированные для приложений с низковольтным однополярным питанием, входят в число лучших операционных усилителей класса Zero-Drift.

В 2010 году семейство OPAx333 пополнилось тремя новыми микросхемами: OPA333-Q1, OPA2333-Q1 и OPA2333-NT. Одиночный OPA333-Q1 и двоянный OPA2333-Q1 усилители сертифицированы для применения в автомобильной электронике, а двоянный усилитель OPA2333-NT имеет самый широкий (в своем классе электронных компонентов) рабочий температурный диапазон, благодаря чему он может найти применение в электронной аппаратуре, предназначенной для экстремально жестких условий эксплуатации, например на буровых станциях.

Типовые параметры новых усилителей OPA333-Q1, OPA2333-Q1 и OPA2333-NT при температуре окружающей среды +25 °C не отличаются ни друг от друга, ни от типовых параметров микросхем OPA333 и OPA2333: напряжение смещения равно 2 мкВ, а температурный дрейф напряжения смещения составляет 20 нВ/°C (табл. 1).

В температурном диапазоне от -40 до +125 °C напряжение смещения всех трех новых усилителей не превышает 22 мкВ, а проведенные производителем испытания на долговечность при температуре +150 °C показали, что напряжение смещения изменяется приблизительно на 1 мкВ за 300 ч [3].

К достоинствам микросхем семейства OPAx333 следует отнести низкое напряжение питания — от 1,8 В при однополярном или от ±0,9 В при двухполярном питании, а также очень низкий потребляемый ток, типовое значение которого равно 17 мкА, а максимальное значение — 25 мкА на один усилитель. Кроме того, все усилители семейства OPAx333 относятся к типу Rail-to-Rail, причем как по выходу, так и по входу.

По всем остальным электрическим, шумовым, динамическим и эксплуатационным характеристикам усилители семейства OPAx333

Таблица 1. Параметры операционных усилителей класса Zero-Drift ( $V_S = 5$  В,  $V_{CM} = V_S/2$ ,  $T_A = 25$  °C)

Параметр	Тип микросхемы			
	OPA333-Q1 OPA2333-Q1	OPA2333-NT	OPA188 OPA2188 OPA4188	LMP2021 LMP2022
Количество каналов	1; 2	2	1; 2; 4	1; 2
Напряжение смещения (тип.), мкВ	2	2	6	0,4
Напряжение смещения (max), мкВ	10	10	25	5
Температурный дрейф напряжения смещения (тип.), нВ/°C	20	20	30	4
Температурный дрейф напряжения смещения (max), нВ/°C	40	40	85	20
Входной ток (тип.), пА	70	70	160	25
Входной ток (max), пА	200	200	850	100
Разность входных токов (тип.), пА	140	140	320	48
Разность входных токов (max), пА	400	400	1700	200
Плотность шума на частоте 1 кГц (тип.), нВ/√Гц	55	55	8,8	11
Размах шумового напряжения в полосе частот от 0,1 до 10 Гц (тип.), мкВ	1,1	1,1	0,25	0,26
Коэффициент усиления без обратной связи (тип.), дБ	130	130	136	160
Коэффициент ослабления синфазного сигнала (тип.), дБ	130	130	134	139
Полоса пропускания (тип.), МГц	0,35	0,35	2	5
Скорость нарастания выходного напряжения (тип.), В/мкс	0,16	0,16	0,8	2,6
Rail-to-Rail вход/выход	Да	Да	Выход	Выход
Рабочий температурный диапазон, °C	-40...+125	-55...+175 -55...+210	-40...+105	-40...+125
Напряжение питания, В	1,8–5,5	1,8–5,5	4–36	2,2–5,5
Собственный потребляемый ток (тип.), мкА/канал	17	17	415	1100
Тип корпуса одиночного усилителя	SOT23-5	—	SOT23-5 SO-8 MSOP-8	SOT23-5 SO-8
Тип корпуса двоянного усилителя	SO-8 MSOP-8	SO-8 CFP-8 CDIP SB-8	SO-8 MSOP-8	SO-8 MSOP-8
Тип корпуса счетверенного усилителя	—	—	SO-14 TSSOP-14	—

Примечание.  $V_S$  — напряжение питания микросхемы;  
 $V_{CM}$  — синфазное входное напряжение;  $T_A$  — температура окружающей среды.

**Таблица 2.** Зависимость параметров операционных усилителей OPA2333-NT от температуры окружающей среды ( $V_S = 1,8-5,5$  В,  $V_{CM} = V_S/2$ ,  $T_A = 25$  °С)

Параметр	Температура окружающей среды, °С		
	-55...+125	-55...+175	-55...+210
Напряжение смещения (max), мкВ	22	26	26
Температурный дрейф напряжения смещения (тип.), нВ/°С	20	50	50
Чувствительность напряжения смещения к напряжению питания (тип.), мкВ/В	1	1,2	1,7
Чувствительность напряжения смещения к напряжению питания (max), мкВ/В	6	8	11
Входной ток (тип.), пА	150	1250	5300
Размах шумового напряжения в полосе частот от 0,01 до 1 Гц (тип.), мкВ	0,3	1,0	1,0
Размах шумового напряжения в полосе частот от 0,1 до 10 Гц (тип.), мкВ	1,1	1,5	1,5
Коэффициент усиления без обратной связи (тип.), дБ	130	110	93
Коэффициент ослабления синфазного сигнала (тип.), дБ	130	101	91
Полоса пропускания (тип.), МГц	0,35	0,35	0,35
Скорость нарастания выходного напряжения (тип.), В/мкс	0,16	0,25	0,25
Собственный потребляемый ток (тип.), мкА/канал	30	40	80

уступают LMP2021/LMP2022 (см. табл. 1). Исключением является усилитель OPA2333-NT, имеющий сверхширокий рабочий температурный диапазон.

В настоящее время усилители OPA2333-NT выпускаются в двух типах керамических корпусов (CFP и CDIP SB) с рабочим температурным диапазоном от -55 до +210 °С. Анонсирован, но пока недоступен для заказа еще один вариант исполнения — в пластмассовом корпусе SO с рабочим температурным диапазоном от -55 до +175 °С.

Усилители OPA2333-NT отличаются не только уникальным рабочим температурным диапазоном, но и высокой температурной стабильностью напряжения смещения и низкой чувствительностью напряжения смещения к напряжению питания микросхемы (таблица 2). Например, при увеличении температуры окружающей среды с +125 до +210 °С максимальное напряжение смещения возрастает с 22 до 26 мкВ, а типовая чувствительность напряжения смещения к напряжению питания увеличивается с 1 до 1,7 мкВ/В.

Все остальные параметры усилителей OPA2333-NT, кроме полосы пропускания, в той или иной степени ухудшаются с увеличением температуры окружающей среды. Сильнее всего изменяются входные токи, коэффициент усиления и коэффициент ослабления синфазного сигнала (табл. 2), что в принципе свойственно большинству операционных усилителей.

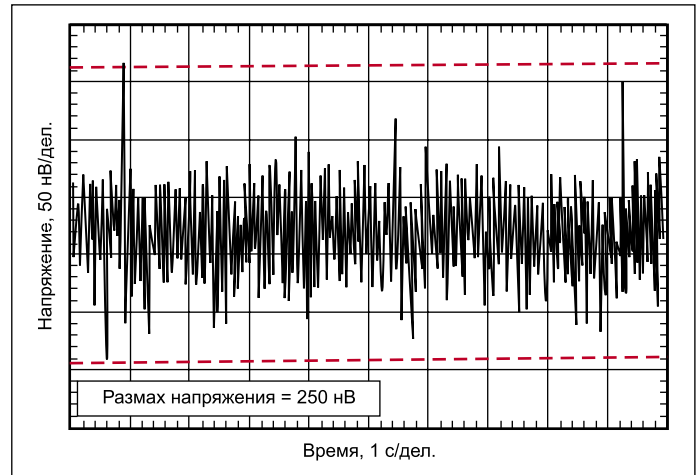
### Малощумящие операционные усилители семейства OPAx188

В состав семейства OPAx188 входят 3 микросхемы: одиночный операционный усилитель OPA188, сдвоенный усилитель OPA2188 и четверный усилитель OPA4188. По данным на конец августа 2011 года, серийно выпускается только сдвоенный усилитель. Одиночный и четверный усилители пока недоступны для заказа даже как образцы.

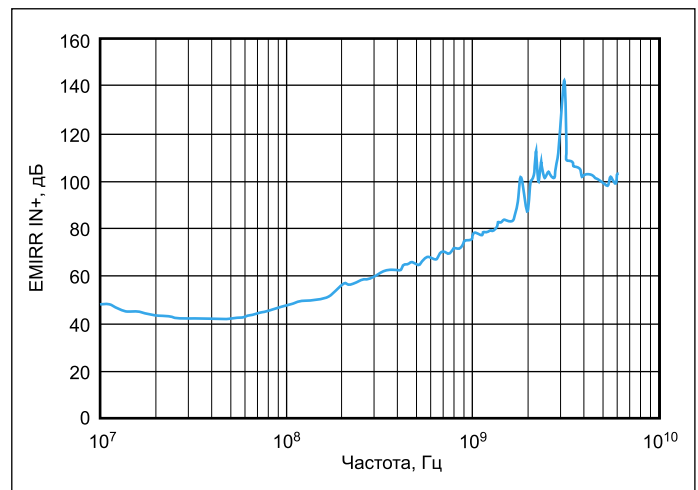
Усилители семейства OPAx188 имеют рабочий температурный диапазон от -40 до +105 °С, и по этому показателю они уступают всем остальным усилителям, представленным в этой статье. Согласно технической документации производителя [3], микросхемы OPAx188 сохраняют работоспособность при температуре окружающей среды от -55 до +125 °С и температуре кристалла до +150 °С, но для температур окружающей среды, выходящих за пределы рабочего температурного диапазона, параметры усилителей не нормированы.

К достоинствам усилителей семейства OPAx188 в первую очередь следует отнести хорошие шумовые характеристики (рис. 1), которые даже лучше, чем у LMP2021/LMP2022 (табл. 1 и рис. 1). Кроме того, усилители OPAx188 могут работать при напряжении питания от 4 до 36 В или от ±2 до ±18 В и потребляют сравнительно небольшой ток — не более 525 мкА/канал в рабочем температурном диапазоне [3].

Еще об одном свойстве OPAx188 следует упомянуть отдельно. Эти усилители, так же как и LMP2021/LMP2022, имеют встроен-



**Рис. 1.** Шум операционного усилителя OPAx188 в полосе частот от 0,1 до 10 Гц



**Рис. 2.** Зависимость коэффициента ослабления электромагнитных помех (EMIRR IN+) от частоты для операционного усилителя OPAx188

ные фильтры, предназначенные для подавления высокочастотных электромагнитных помех. На рис. 2 приведен график зависимости коэффициента ослабления помехи (EMIRR) от частоты для случая, когда помеха поступает на неинвертирующий вход (IN+) усилителя OPAx188, включенного по схеме неинвертирующего повторителя напряжения. На графике видно, что усилитель эффективно подавляет помехи нормального вида в полосе частот от 10 МГц до нескольких ГГц, то есть на тех частотах, на которых работают широко распространенные беспроводные устройства. В полосе частот приблизительно от 2 до 5 ГГц значение коэффициента подавления помех превышает 100 дБ, что выше, чем у усилителей LMP2021/LMP2022, у которых типовое значение EMIRR равно 82 дБ на частоте 2,4 МГц [2].

В следующих статьях мы продолжим рассказ о достижениях компании Texas Instruments в области аналоговой микроэлектроники. ■

### Литература

1. Иванов Д. Последние разработки компании Texas Instruments в области аналоговой электроники. Операционные усилители // Компоненты и технологии. 2011. № 3.
2. Иванов Д. Операционные усилители с «нулевым» температурным дрейфом // Компоненты и технологии. 2009. № 6.
3. Справочно-информационный портал компании Texas Instruments: [www.ti.com/ww/ru](http://www.ti.com/ww/ru)