

Драйверы для АЦП на основе ОУ компании Texas Instruments

Для достижения максимальной точности преобразования аналогового сигнала в цифровой код недостаточно только корректно выбрать аналого-цифровой преобразователь, необходимо еще и правильный выбор операционного усилителя для согласования динамических диапазонов источника сигнала (например, датчика) и входного каскада аналого-цифрового преобразователя.

Евгений ЗВОНАРЕВ

Большинство современных АЦП обладают высоким входным сопротивлением, низкой входной емкостью, хорошей линейностью характеристик преобразования, но во многих случаях подключить источник сигнала к входу АЦП напрямую невозможно. Операционный усилитель — драйвер АЦП — решает эту проблему, осуществляя также до-

полнительное усиление сигнала и его фильтрацию при соответствующем включении для подавления шумов в высокочастотной области. Для достижения высокой точности устройства параметры драйвера должны быть существенно лучше, чем у АЦП. Речь идет о времени установления ОУ, нелинейных искажениях и шумовых характеристиках. Чем выше

разрядность и быстродействие преобразователя, тем больше внимания приходится уделять выбору оптимального ОУ для драйвера АЦП. Основные моменты при выборе таких ОУ и их некоторые типовые характеристики показаны на рис. 1.

Драйверы АЦП должны иметь достаточный динамический диапазон и быстродействие

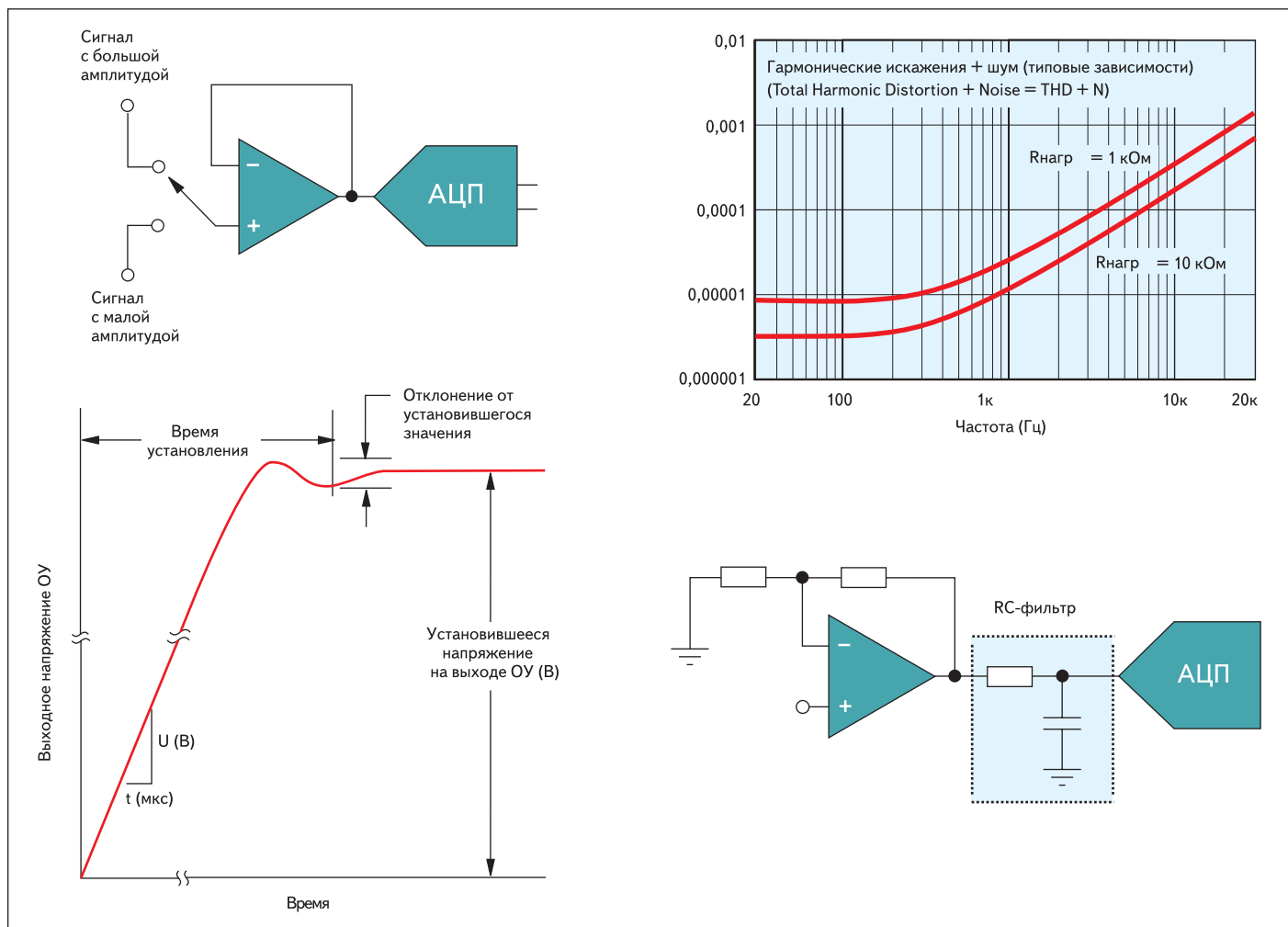


Рис. 1. Основные характеристики ОУ, которые необходимо учитывать при выборе драйверов АЦП

Таблица 1. Операционные усилители TI для SAR-АЦП (частота выборки <250 ksp/s)

Наименование	Описание	Количество каналов	Улит (В, мин.)	Улит (В, макс.)	Истр. (мА, макс.) на канал	Полоса частот (МГц), тип.	Скорость нарастания (В/мкс), тип.	Исм. (25 °С) нВ (макс.)	Драйв. Исм. (мкВ/°С), (тип.)	Иск. (пА, макс.)	Ушум (f=1 кГц, нВ/√Гц), тип.	Однополярное питание	Rail-to-rail	Корпус(а)
INA155	прецизионный, инструментальный	1	2,7	5,5	2,1	0,55	6,5	1	5	10	40	да	выход	MSOP
INA128	прецизионный, КОСС = 120 дБ	1	4,5	36	0,75	1,3	4	0,5	0,2	5000	8	нет	—	PDIP, SOIC
INA331	широкая полоса пропускания	1, 2	2,7	5,5	0,5	5	5	0,5	5	10	46	да	выход	MSOP
ORA340	(искажения + шум) = 0,0007%	1, 2, 4	2,7	5,5	0,95	5,5	6	0,5	2,5	10	25	да	вх./вых.	SOT-23, MSOP
ORA363	1,8 В, высокий КОСС	1, 2	1,8	5,5	0,75	7	5	0,5	2	10	17	да	вх./вых.	SOT-23, MSOP
ORA2613	низкий шум, сдвоенный	2	5	12,6	6	12,5	70	1	3,3	12 мкА	1,8	да	—	SOIC, SOIC PowerPAD
ORA211 (New)	36 В, прецизионный, биполярный	1, 2	5	36	3,6	80	27	0,1	0,2	15 000	1,1	да	выход	DFN, MSOP, SO8
ORA627	очень низкие (искажения + шум)	1	9	36	7,5	16	55	0,1	0,4	5	5,2	нет	—	PDIP, SOIC
ORA381	прецизионный, скоростной	1, 2	2,7	5,5	1	18	12	0,025	0,03	50	10	да	выход	DFN, MSOP
ORA228	прецизионный, низкий шум	1, 2, 4	5	36	3,8	33	10	0,075	0,1	10 000	3	нет	—	PDIP, SOIC
ORA350	прецизионный драйвер АЦП	1, 2, 4	2,7	5,5	7,5	38	22	0,5	4	10	5	да	вх./вых.	PDIP, MSOP
THS4281	низкое потребление + Rail-to-Rail	1	2,7	15	1	80	35	3,5	4	10	12,5	да	вх./вых.	SOT-23, MSOP, SOIC
ORA2830	сдвоенный, низкое потребление	1, 2	3	11	3,9	100	500	5,5	—	10 000	9,2	нет	выход	MSOP
THS4032	100 МГц, низкий шум	2	5	30	8,5	230	100	2	10	6	1,6	нет	—	MSOP PowerPAD, SOIC
THS4520 (New)	Rail-to-Rail выход, FDA*	1	3	5	13	1200	520	2,5	8	11	2	да	выход	QFN

*FDA (Fully Differential Amplifier) — дифференциальный вход/выход

(время установления и скорость нарастания), обладать низкими гармоническими искажениями при усилении сигнала до необходимого значения. Из графиков на рис. 1 хорошо видно, что при более высоком входном сопротивлении АЦП проще обеспечить низкие значения гармонических искажений. RC-фильтр (в некоторых случаях используют фильтры на основе ОУ более высокого порядка) на выходе драйвера сокращает полосу частот до оптимальной величины, подавляя шумы за пределами рабочего частотного диапазона. На рис. 1 RC-фильтр показан в упрощенном виде. Конечно, в большинстве случаев применяются активные фильтры второго и более высоких порядков на основе ОУ для достижения крутого спада частотной характеристики и низкого выходного сопротивления.

Операционные усилители — драйверы АЦП — производители классифицируют для соответствующих быстродействия и разрядности аналого-цифровых преобразователей. Это не означает, что эти усилители рекомендуется использовать только в качестве драйверов АЦП. Конечно, их можно применять для многих других целей, например, для усиления сигнала и дальнейшей обработки аналоговыми схемами.

Драйверы АЦП для АЦП поразрядного уравнивания (SAR АЦП) с частотой дискретизации до 250 ksp/s

В таблице 1 приведены основные параметры усилителей, рекомендуемых для работы с SAR АЦП (successive approximation ADC или АЦП поразрядного уравнивания) с частотой отсчетов менее 250 ksp/s (sp/s — samples per second — количество отсчетов в секунду). SAR АЦП характеризуются высокими разрешением и точностью. Они отличаются низким потреблением и небольшим количеством внешних компонентов.

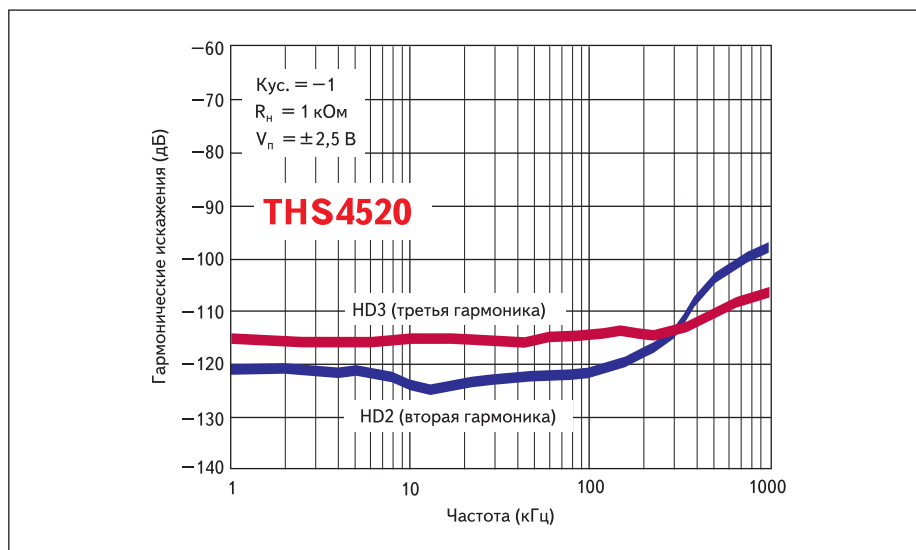


Рис. 2. Зависимости гармонических искажений от частоты для TMS4520

Особого внимания заслуживает полный дифференциальный усилитель (с дифференциальными входом и выходом) TMS4520, имеющий широкую полосу пропускания и высокую скорость нарастания напряжения. Время установления TMS4520 при отклонении от установившегося значения 0,1% составляет всего 7 нс. Производитель отмечает низкие гармонические искажения этого ОУ в широкой полосе частот, а также низкий уровень шума (параметры приведены в таблице 1). Зависимости гармонических искажений для второй и третьей гармоник, взятые из документации производителя, приведены на рис. 2.

- Основные параметры TMS4520:
- дифференциальные вход и выход (Fully Differential Amplifier);
 - полоса пропускания: 620 МГц;
 - скорость нарастания напряжения: 570 В/мкс;
 - время установления при точности 0,1%: 7 нс;
 - шум, приведенный ко входу: 2 нВ/√Гц ($f > 10$ кГц);

- напряжение питания: от 3,3 ($\pm 1,65$ В) до 5 В ($\pm 2,5$ В);
- потребление в режиме Power-Down: 15 мкА.

Драйверы для АЦП с повышенным разрешением (Delta-Sigma АЦП)

Дельта-сигма ($\Delta\Sigma$) АЦП отличаются высоким разрешением и широкой полосой пропускания. Основные параметры драйверов для $\Delta\Sigma$ АЦП с очень высоким разрешением сведены в таблицу 2.

В таблице 2 присутствует интересный усилитель — транслятор уровня INA159. Основное назначение INA159 — преобразование двуполярного сигнала в однополярный, поэтому он и называется транслятором уровня. Сейчас существует очень много аналого-цифровых преобразователей с однополярным питанием, допускающих подачу на вход сигнала только положительной полярности, поэтому часто

Таблица 2. Операционные усилители TI для дельта-сигма АЦП (с высоким разрешением)

Наименование	Описание	Количество каналов	Uпит (В, мин.)	Uпит (В, макс.)	Iпотр. (мА, макс.) на канал	Полоса частот (МГц), тип.	Скорость нарастания (В/мкс), тип.	Uсм (25 °С) мВ (макс.)	Дрейф Uсм. (мкВ/°С), (тип.)	Iсм. (нА, макс.)	Ушум (F=1 кГц, мВ/√Гц), тип.	Однополярное питание	Rail-to-Rail	Корпус(а)
OPA333 (New)	1,8 В, нулевой дрейф (Zero Drift)	1, 2	1,8	5,5	0,025	0,5	0,16	0,01	0,05	100	—	да	вх./вых.	SC70, SOT-23, SO8
OPA735	12 В, прецизионный (Auto-Zero)	1	2,7	13,2	0,75	1,6	1,5	0,005	0,05	200	—	да	выход	SOT-23, MSOP
OPA277	низкие дрейф и напряжение смещ.	1, 2, 4	4	36	0,825	1	0,8	0,02	0,1	1000	8	нет	—	QFN, SOIC, PDIP
OPA227	очень низкий шум	1, 2, 4	5	36	3,8	8	2,3	0,075	0,1	10 000	3	нет	—	QFN, SOIC, PDIP
INA326	Auto-Zero, КОСС = 110 дБ	1	2,5	5,5	3,4	1 кГц	—	0,1	0,4	2000	33	да	вх./вых.	MSOP
OPA627	очень низкие (искажения + шум)	1	9	36	7,5	16	55	0,1	0,4	5	5,2	нет	—	PDIP, SOIC
OPA336	прецизионный, микромощный	1, 2, 4	2,3	5,5	0,032	0,1	0,03	0,125	1,5	10	40	да	выход	MSOP, PDIP
INA159 (New)	транслятор уровня	1	1,8	5,5	1,4	1,5	15	0,5	2	—	30	да	вх./вых.	MSOP
INA152	однополярное питание	1	2,7	20	0,65	0,8	0,4	1,5	3	—	87	да	выход	MSOP

V _{REF} (В)	Схемы соединения входов REF1 и REF2	Вых при V _{вх} =0 (В)	Входной диапазон V _{вх} (В)	Выходной диапазон V _{вых} (В)
5		2,5	+10 0 -10	4,5 0,5
4,096		2,048	+10 0 -10	4,048 0,048
3,3		1,65	+10 0 -7,885	3,65 0,048
2,5		1,25	+10 0 -6	3,25 0,048
1,8		0,9	+10 0 -4,26	2,9 0,048
2,5		2,5	+10 0 -10	4,5 0,5
1,8		1,8	+10 0 -8,76	3,8 0,048
1,2		1,2	+10 0 -5,76	3,2 0,048

Рис. 3. INA159. Зависимости диапазонов выходных напряжений от опорного напряжения при напряжении питания 5 В

возникает необходимость переместить двуполярный сигнал в область только положительных значений. Иллюстрация работы INA159 приведена на рис. 3. На рис. 4 показана типовая схема включения этого ОУ. В документации производителя можно найти и другие варианты схем включения INA159 с разными коэффициентами передачи.

Например, при напряжении питания 5 В и опорном напряжении 2,5 В, подавая на вход

INA159 напряжение от -10 до 10 В, получим на выходе напряжение в диапазоне от 0,5 до 4,5 В, что приемлемо для многих АЦП при питании 5 В. При меньших значениях опорного напряжения (это требуется при низковольтном питании) диапазоны изменения выходного напряжения изменяются. Конкретные значения приведены в таблице на рис. 3. Выходные параметры при других напряжениях питания и разных вариантах коммута-

ции входов для опорного напряжения приведены в документации производителя.

Основные параметры INA159:

- коэффициент передачи при входном сигнале ±10 В: 0,2 (возможны другие значения — см. документацию);
- точность коэффициента передачи: ±0,024% (макс.);
- полоса пропускания: 1,5 МГц;
- скорость нарастания напряжения: 15 В/мкс;
- напряжение смещения: ±100 мкВ;
- дрейф напряжения смещения: ±1,5 мкВ/°С;
- напряжения питания: 1,8–5,5 В.

Подробного рассмотрения заслуживают и новые малошумящие микромощные усилители с низковольтным питанием и нулевым дрейфом (Zero Drift) OPA333 (одиночный) и OPA2333 (сдвоенный). Они характеризуются отсутствием шумов напряжения и тока с зависимостью 1/f в области очень низких частот (рис. 5). Графики на рис. 5 взяты из документации производителя. Фликкер-шум или шум типа 1/f является неотъемлемым параметром любого активного прибора, но на основе современных технологий производства полупроводниковых приборов частоту излома характеристики такого шума можно сдвинуть в область низких частот, вплоть до единиц, десятых долей Гц. Тогда в реальном диапазоне частот этот шум не будет наблюдаться.

Усилители OPA333 и OPA2333 выполнены по схеме «чоппер» (Chopper) или усилитель с прерыванием. При частоте прерывания выше, чем 1/f частоты излома входного шума, усилитель, стабилизированный прерыванием, постоянно обнуляет 1/f шум на каждом такте. Теоретически, операционный усилитель с прерыванием не имеет 1/f шума. Однако прерывание вызывает появление широкополосного шума, который обычно гораздо выше шума прецизионного биполярного операционного усилителя.

Отсутствие шума с зависимостью 1/f можно добиться и с помощью схемы со структурой Auto-Zero. Отличия структур Chopper и Auto-Zero показаны на рис. 6. Из графиков на этом рисунке видно, что спектральная плотность шума для OPA333 и OPA2333 су-

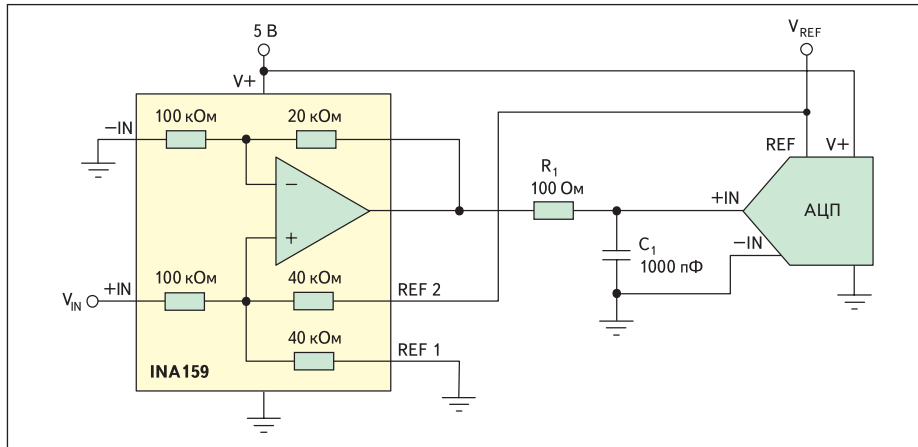


Рис. 4. INA159. Типовая схема включения для преобразования двуполярного входного сигнала в диапазон одной полярности

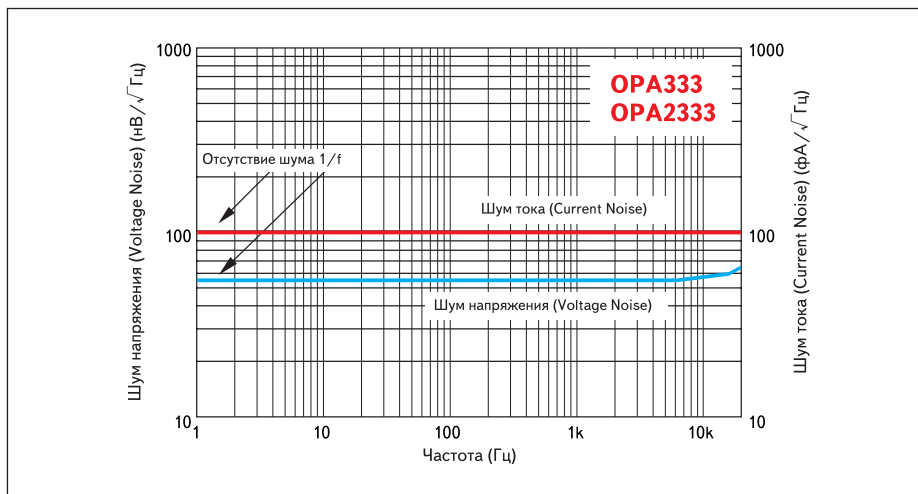


Рис. 5. Спектральные плотности шумов напряжения и тока OPA333 и OPA2333

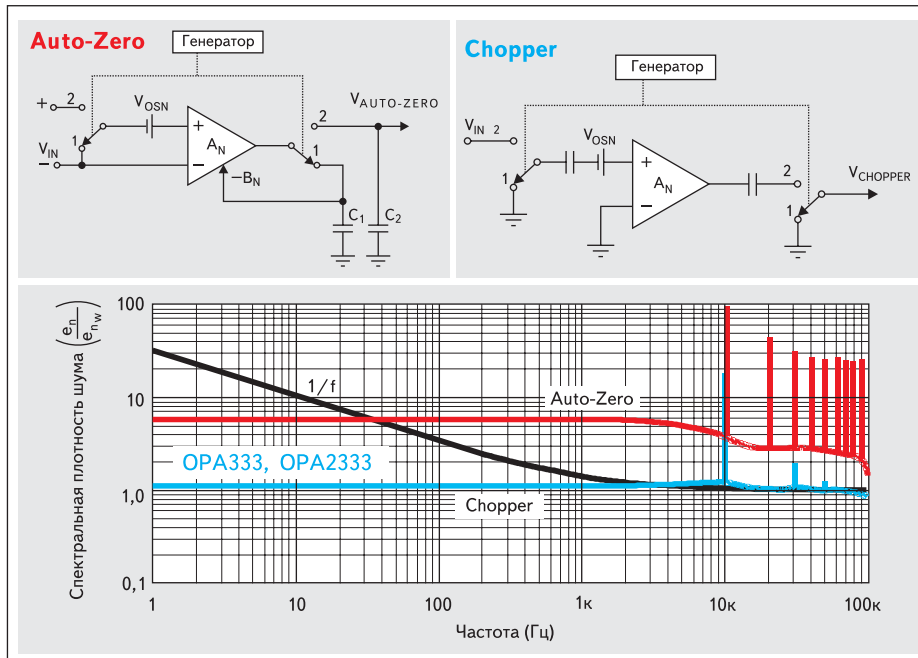


Рис. 6. Сравнение спектральных плотностей шума усилителей OPA333 (Chopper) и ОУ, выполненных по схеме Auto-Zero

щественно меньше, чем у усилителей, выполненных по схеме Auto-Zero. Рассмотрение принципов работы усилителей Auto-Zero и Chopper потребует слишком много места в журнале (что достойно отдельной статьи на эту тему), поэтому заинтересованный читатель может найти подробное описание принципов действия таких усилителей в статье инженера Texas Instruments Томаса Кегельштадта “Auto-Zero amplifiers ease the design of high-precision circuits” («Усилители с прерыванием упрощают разработку высокоточных схем»).

Основные параметры OPA333 (OPA2333):

- сверхнизкое напряжение смещения: 10 мкВ (макс.);
- дрейф напряжения смещения: 0,05 мкВ/°C (макс.);
- напряжение шума в диапазоне частот 0,01–10 Гц: 1,1 мкВ (от пика до пика);
- напряжения питания: 1,8–5,5 В;
- Rail-to-Rail вход/выход;
- собственный ток потребления 17 мкА;
- миниатюрные корпуса SC70 и SOT23.

В статье по применению с сайта Texas Instruments “New zero-drift amplifier has an IQ of 17 μA”, посвященной операционному усилителю OPA333, приведена таблица для сравнения характеристик OPA333 с близкими усилителями этого класса. Основные параметры этих ОУ сведены в таблицу 3.

Каждый из усилителей в таблице 3 имеет свои сильные и слабые стороны, но качество каждого прибора нужно оценивать по совокупности параметров. С другой стороны, для разработчика может быть наиболее важным один из конкретных параметров, тогда победителем в таблице 3 может оказаться любой из представленных в ней усилителей. Автор этой статьи по применению Томас Кегельштадт обращает внимание на параметры в нижней строке (отношение частоты единичного усиления к току потребления). По этому соотношению бесспорным лидером является новый операционный усилитель Texas Instruments OPA333 (OPA2333).

Драйверы для быстродействующих SAR АЦП с частотой дискретизации более 250 ksp/s

Для SAR АЦП повышенного быстродействия Texas Instruments предлагает выбрать усилители из таблицы 4. Интересно отметить, что новый ОУ THS4520 рекомендуется производителем еще и для использования совместно с SAR АЦП среднего быстродействия (табл. 1). Усилители OPA365 (одиночный) и OPA2365 (сдвоенный) заслуживают более детального рассмотрения. Они отличаются очень низким коэффициентом гармонических искажений (всего 0,0006%), что необходимо для достижения высокой линейности передаточной характеристики аналого-цифрового преобразования. Графики для сравнения параметров этих

Таблица 3. Сравнение основных параметров OPA333 с аналогичными ОУ других производителей

Производитель	Texas Instruments	Analog Devices	Maxim	Linear Technology	Texas Instruments	Analog Devices
Наименование	OPA333	AD8628	ICL7650	LTC2054	OPA335	AD8551
Год начала выпуска	2006	2005	2005	2004	2002	2002
F _{чор} , кГц	125	15	—	—	—	—
FAZ, кГц	—	15	0,25	1	10	4
Усмещ., мкВ (типичное значение)	2	1	1	3	1	1
Исмещ., пА	70	30	5	1	70	10
Частота единичного усиления, кГц	350	2500	2000	500	2000	1500
Спектр. плотность шума, нВ/√Гц	55	22	25	85	55	42
Ток потребления, мкА	15	1100	2000	150	285	975
GBW*/Iq**, кГц / мкА	23	2	1	3	7	2

*GBW — частота единичного усиления;
**Iq — ток потребления

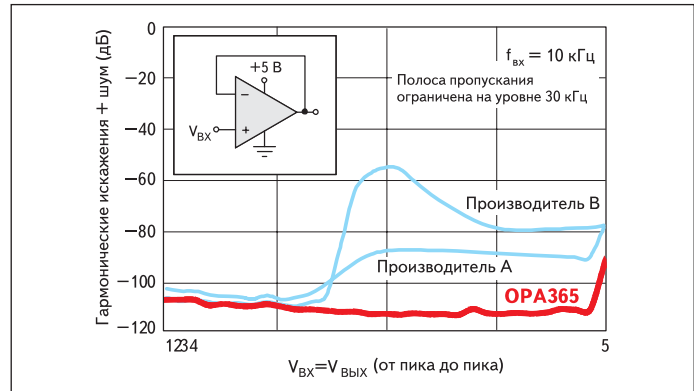


Рис. 7. Гармонические искажения и шумы OPA365 (OPA2365) и усилителей этого класса других производителей

Таблица 4. Операционные усилители TI для быстродействующих SAR АЦП (>250 ksp/s)

Наименование	Описание	Количество каналов	Уплт (В, мин.)	Уплт (В, макс.)	Погр. (мА, макс.) на канал	Полоса частот (МГц), тип.	Скорость нарастания (В/мкс), тип.	Исм. (25 °С) мВ (макс.)	Дрейф Исм. (мкВ/°С), тип.	Исм. (пА, макс.)	Шум (F=1 кГц, нВ/√Гц), тип.	Однорезное питание	Rail-to-Rail	Корпус(а)
OPA2613	низкий шум	2	5	12,6	6	12,5	70	1	3,3	12 мкА	1,8	да	—	SOIC, SOIC PowerPAD
OPA727	e-trim, низкий шум	1, 2, 4	4	12	6,5	20	30	0,15	1,5	100	11	да	—	MSOP, DFN, TSSOP
OPA365 (New)	Zero-Crossover, скоростной	1, 2	2,2	5,5	5	50	25	0,5	1	10	100	да	выход	SOT23, SO8
OPA358	КМОП, 3 В, корпус SC70	1	2,7	3,3	7,5	80	55	6	5	50	6,4	да	выход	SC70
OPA2830	низкое потребление, широкополосный	2	3	11	3,9	100	500	1,5	27	10	9,5	да	выход	MSOP, SOIC
THS4130/31	дифференциальный вход/выход, FDA*	1	5	30	15	135	52	2	4,5	6 мкА	1,3	да	—	MSOP, SOIC
OPA211 (New)	36 В, прецизионный, биполярный	1, 2	5	36	3,6	80	27	0,1	0,2	15 000	1,1	да	выход	DFN, MSOP, SO8
OPA355	КМОП, 2,7 В, корпус SOT23	1, 2, 3	2,7	5,5	11	200	300	9	7	50	5,8	да	выход	SOT-23, SOIC
OPA842	низкие искажения	1	8	12,6	20,2	200	400	1,2	4	35	2,6	нет	—	SOT-23, SOIC
THS4032	100 МГц, низкий шум	2	5	30	8,5	230	100	2	10	6	1,6	нет	—	MSOP PowerPAD, SOIC
OPA2822	сдвоенный, низкий шум	2	4	12,6	4,8	240	170	1,2	5	12 мкА	2	да	—	MSOP, SOIC
THS4520 (New)	дифференциальный вход/выход, FDA	1	3	5	13	1200	520	2,5	8	11	2	да	выход	QFN
OPA2889 (New)	низкое потребление, сдвоенный	2	2,6	12	46	75	250	5	±20	0,75	8,4	да	—	MSOP, SOIC

*FDA (Fully Differential Amplifier) — дифференциальный вход/выход

усилителей и аналогичных от других производителей показаны на рис. 7 (взяты из документации производителя).

Основные параметры OPA365 (OPA2365):

- напряжение питания: 2,2–5,5 В;
- низкое напряжение смещения: 200 мкВ;
- полоса пропускания: 50 МГц;

- КОСС: 100 дБ (минимальное значение);
- высокая скорость нарастания: 25 В/мкс;
- очень низкие гармонические искажения + шум: 0,0006%;
- ток потребления: 5 мА (максимальное значение);
- корпус SOT23-5.

Драйверы для АЦП очень высокого быстродействия

Наиболее высокой частотой дискретизации отличаются АЦП, выполненные по структурам Pipeline (конвейерные) и Flash (параллельные и самые быстрые). Параллельные АЦП

Таблица 5. Операционные усилители TI для АЦП очень высокого быстродействия (Pipeline и Flash АЦП)

Наименование	Описание	Количество каналов	Уплт (В, мин.)	Уплт (В, макс.)	Погр. (мА, макс.) на канал	Полоса частот (МГц), тип.	Скорость нарастания (В/мкс), тип.	Исм. (25 °С) мВ (макс.)	Дрейф Исм. (мкВ/°С), тип.	Исм. (пА, макс.)	Шум (F=1 кГц, нВ/√Гц), тип.	Однорезное питание	Rail-to-Rail	Корпус(а)
OPA2613	сдвоенный, низкий шум	2	5	12,6	6	12,5	70	1	3,3	12 мкА	1,8	да	—	SOIC
OPA842	низкие искажения, широкополосный	1	7	12,6	20,2	200	400	1,2	4	35 мкА	2,6	да	—	SOT-23, SOIC
OPA847	низкий шум, широкополосный, 3,9 ГГц	1	7	12,6	18,1	3900	950	0,5	0,25	39 мкА	0,85	да	—	SOT-23, SOIC
OPA843	низкие искажения, широкополосный	1	7	12,6	20,2	800	1000	1,2	4	35 мкА	2	да	—	SOT-23, SOIC
OPA698	широкополосный	1	5	12,6	15,5	250	1100	5	15	10 мкА	5,6	да	—	SOIC
OPA2690	сдвоенный, широкополосный	2	5	12,6	5,5	300	1800	4,5	12	10 мкА	5,5	да	—	SOIC
THS4502/03	дифференциальный вход/выход, FDA*	1	4,5	15	28	370	2800	-4/+2	10	4,6 мкА	6,8	да	—	MSOP
OPA695	очень широкая полоса частот	1	5	12,6	12,3	1400	4300	3	10	37 мкА	1,8	да	—	SOT-23, SOIC
THS4511	широкополосный, низкий шум, FDA	1	3	5	39,2	2000	4900	5,2	2,6	15,5 мкА	2	да	—	QFN
THS4513	широкополосный, низкий шум, FDA	1	3	5	37,7	2000	5100	5,2	2,6	13 мкА	2,2	да	—	QFN
THS4508	широкополосный, FDA	1	3	5	39,2	3000	6400	5	2,6	15,5 мкА	2,3	да	—	QFN
THS4509	низкие искажения, FDA	1	3	5	37,7	3000	6600	0,8	2,6	13 мкА	1,9	да	—	QFN
THS4520 (New)	Rail-to-Rail выход, FDA	1	3	5	13	1200	520	2,5	8	11	2	да	выход	QFN

*FDA (Fully Differential Amplifier) — дифференциальный вход/выход

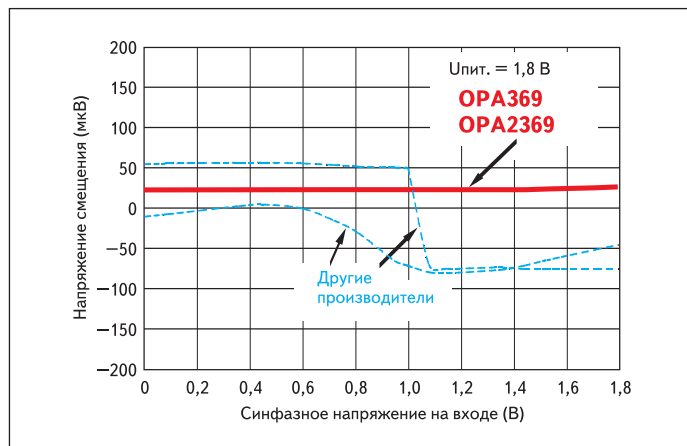


Рис. 8. Зависимости напряжений смещения ОРА369 (ОРА2369) и ОУ этого класса других производителей

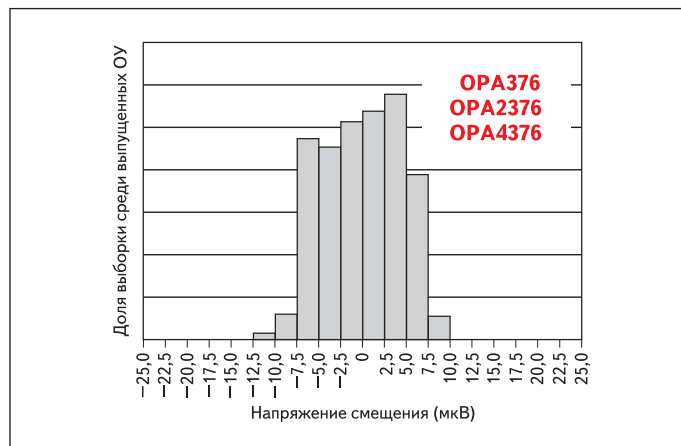


Рис. 9. Распределение напряжения смещения ОРА376, ОРА2376 и ОРА4376 в выборке этих операционных усилителей

отличаются чрезвычайно простой архитектурой и очень широкой полосой пропускания, но обладают очень высокой потребляемой мощностью, большим размером кристалла и высокой ценой. Конвейерные АЦП потребляют меньше энергии по сравнению с параллельными преобразователями, но частота дискретизации у них существенно ниже, чем у Flash АЦП. Рекомендуемые Texas Instruments ОУ — драйверы для самых скоростных АЦП — представлены в таблице 5.

Обратите внимание, что новый операционный усилитель THS4520 попал в таблицу и для самых быстрых АЦП. Усилитель THS4520 — один из самых универсальных драйверов АЦП, так как он попал сразу в три таблицы из приведенных в этой статье. Он совместим по выводам со скоростными, полностью дифференциальными усилителями THS4508, THS4509, THS4511, THS4513.

ОРА369 и ОРА2369 — прецизионные усилители Zero-crossover с потреблением 1 мкА

Операционные усилители ОРА369 (одиночный ОУ) и ОРА2369 (сдвоенный) благодаря уникальной технологии Zero-crossover имеют

нулевое изменение напряжения смещения при изменении синфазного напряжения на входе, что очень важно в низковольтных применениях с полной амплитудой входных сигналов (Rail-to-Rail). Низкое собственное потребление и миниатюрные корпуса делают эти усилители очень перспективными для разработки портативных приборов. Совместно с ОРА369 Texas Instruments рекомендует использовать АЦП ADS1100 и микроконтроллеры с ультранизким потреблением MSP430.

Основные параметры ОРА369 и ОРА2369:

- технология Zero-crossover;
- низкий ток потребления: 1 мкА;
- низкое напряжение смещения: 750 мкВ (макс.);
- низкие напряжения питания: 1,8–5,5 В;
- низкий температурный дрейф напряжения смещения: 1,75 мкВ/°С;
- корпуса SC70-5, SOT23-8, MSOP-8.

ОРА376, ОРА2376, ОРА4376 — новые прецизионные маломощные усилители e-Trim™

Среди новых прецизионных усилителей Texas Instruments нельзя пройти мимо прецизионных маломощных усилителей, выполненных с использованием технологии e-Trim.

Они отличаются очень низким напряжением смещения (не более 25 мкВ) при полосе пропускания 5,5 МГц, низкой спектральной плотностью шума 7,5 нВ/√Гц и собственным током потребления не более 950 мкА. В диапазоне частот от 0,1 до 10 Гц напряжение шумов не превышает 0,8 мкВ от пика до пика. Усилители предназначены для работы от напряжения питания одной полярности в диапазоне 2,2–5,5 В. На рис. 9 показано распределение напряжения смещения ОРА376 среди относительно большой выборки выпущенных приборов. На рис. 9 хорошо видно, что напряжение смещения большинства ОРА376 (одиночных), ОРА2376 (сдвоенных) и ОРА4376 (четверенных) не превышает 10 мкВ. Производитель приводит гистограмму, показанную на рис. 9, на первой странице документации для этих ОУ для того, чтобы разработчики учитывали, что большинство усилителей этой серии имеют напряжение смещения не более 10 мкВ. Эти микросхемы выпускаются в миниатюрных корпусах SC-70, SOT23, MSOP, TSSOP. Усилители предназначены для работы в портативной прецизионной аппаратуре.

Заключение

Применение новых операционных усилителей и правильный их выбор позволяют достичь более высоких параметров аналоговых и аналогово-цифровых схем без усложнения схемотехнических решений разрабатываемых устройств.

При выборе операционного усилителя для любой цели необходимо оценивать его параметры в комплексе с другими характеристиками. Например, один ОУ лучше другого по напряжению смещения, но проигрывает ему по полосе пропускания и гармоническим искажениям (для конкретной разработки на первый план могут выйти другие параметры).

Для упрощения процесса выбора ОУ для драйверов АЦП можно воспользоваться рекомендациями производителя. ■