

Андрей Самоделов (г. Москва)

СТРОИМ ПРЕЦИЗИОННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ ТРАКТЫ НА КОМПОНЕНТАХ TEXAS INSTRUMENTS (ВКЛЮЧАЯ NSC)



После приобретения **National Semiconductor** компания **Texas Instruments** окончательно закрепила за собой статус крупнейшего мирового поставщика **аналоговых компонентов**. В номенклатуре появились новые **операционные и инструментальные усилители, ЦАП и АЦП, однокристалльные системы сбора данных** для лабораторных, измерительных и портативных приборов, промышленных источников питания, датчиков и детекторов, автомобильной и медицинской электроники.

Эра аналоговой электроники началась в 1906 году, когда американцем Ли де Форестом была изобретена и запатентована трехэлектродная лампа — триод, позволявший усиливать слабые электрические колебания.

Следующим этапом развития аналоговой электроники стала разработка лампового операционного усилителя (ОУ) K2W Л. Джулии (США) в 1942 году. Он включал в себя два двойных электровакуумных триода. Первые ОУ представляли собой громоздкие и дорогие устройства, потреблявшие большое количество электроэнергии и сильно нагревавшиеся.

Замена ламп транзисторами в 1959 году привела к тому, что операционные усилители стали меньше, дешевле, надежнее и экономичнее, и сфера их применения расширилась. Р. Малтер (США) разработал ОУ P2, содержащий семь германиевых транзисторов и варикапный мостик. Несмотря на значительное улучшение характеристик и снижение потребляемой мощности, ОУ все еще оставались достаточно дорогими устройствами, поскольку требовали подбора активных элементов и дополнительной ручной настройки.

Ситуация коренным образом изменилась, когда в 1958 г. в лаборатории фирмы Texas Instruments (США) были изобретены интегральные микросхемы.

В 1963 году Р. Видларом (США) был разработан первый интегральный ОУ $\mu A702$, имевший успех на рынке. С тех пор операционные усилители являются неотъемлемыми компонентами большинства аналоговых схем.

В номенклатуре практически всех компаний, занимающихся производством интегральных микросхем, присут-

ствуют ОУ. Это обусловлено их универсальностью и широким применением. На рынке операционных усилителей всегда была жесточайшая конкуренция, способствовавшая улучшению электрических и эксплуатационных характеристик микросхем, уменьшению энергопотребления и снижению стоимости.

В данной статье будет рассказано о современных аналоговых микросхемах компании Texas Instruments, а также о компонентах, производимых недавно приобретенной TI компанией National Semiconductors.

Операционные усилители (ОУ)

ОРА140/ОРА2140/ОРА4140 — это прецизионные RRO маломощные (5,1 нВ/√Гц при 1 кГц; 1/f шум: 250 нВ в полосе 0,1...10 Гц) JFET ОУ со скоростью нарастания выходного напряжения 20 В/мкс и полосой пропускания 11 МГц. Усилители имеют очень малое напряжение смещения 120 мкВ с дрейфом 1 мкВ/°С, входной ток 10 пА. Диапазон напряжения питания составляет 4,5...36 или ±2,25...18 В при потребляемом токе до 2 мА/канал, что на 13% ниже по сравнению с ближайшими конкурентами (рис. 1).

ОУ имеют высокую точность и стабильность параметров в широком температурном диапазоне, обеспечивая высокую чувствительность и разрешающую способность. Широкая полоса пропускания и высокая скорость нарастания выходного сигнала позволяют использовать их в качестве драйверов 16-разрядных АЦП.

ОРАх140 идеальны для усиления сигналов от высокоимпедансных источников (например, датчиков и фотодиодов), применяются в активных фильтрах и медицинской технике.

ОРА170/ОРА2170/ОРА4170 — это самые маленькие (одноканальные — в корпусе SOT-553; двухканальные — в VSSOP-8) экономичные (Iпот = 110 мкА/канал) RRO ОУ общего применения с полосой пропускания 1,2 МГц и напряжением питания 2,7...36 или ±1,35...18 В. Они имеют малый дрейф напряжения смещения 0,3 мкВ/°С, малый ток смещения 8 пА, низкий уровень шума 19 нВ/√Гц при 1 кГц и защиту входа от электромагнитных помех (EMI/RFI), наводимых беспроводными сетями.

Маленький корпус экономит до 50% места на плате по сравнению с SOT-23 и MSOP. Усилители обеспечивают точность и стабильность параметров в промышленном температурном диапазоне. Их шумовые характеристики на 48% лучше по сравнению с конкурентами. Применяются в следящих усилителях промышленных источников питания, трансимпедансных усилителях, интеграторах и батарейных приборах.

ОРА188/ОРА2188/ОРА4188 — это прецизионные RRO ОУ, выполненные по технологии Zero-Drift. Они имеют низкое напряжение смещения 25 мкВ и дрейф 0,085 мкВ/°С, малый ток смещения 850 пА, низкий уровень шума 8,8 нВ/√Гц и полосу пропускания 2 МГц. Напряжение питания ОУ 4,0...36 или ±2...18 В, ток покоя составляет 475 мкА. Пригодны для батарейных приборов с напряжением питания 5 В. ОРАх188 имеют защиту входа от электромагнитных помех (EMI).

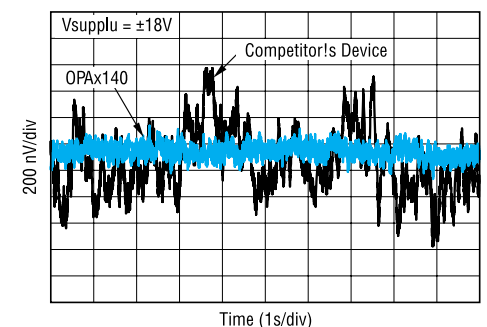


Рис. 1. Шумовые характеристики ОРАх140 в полосе частот 0,1...10 Гц

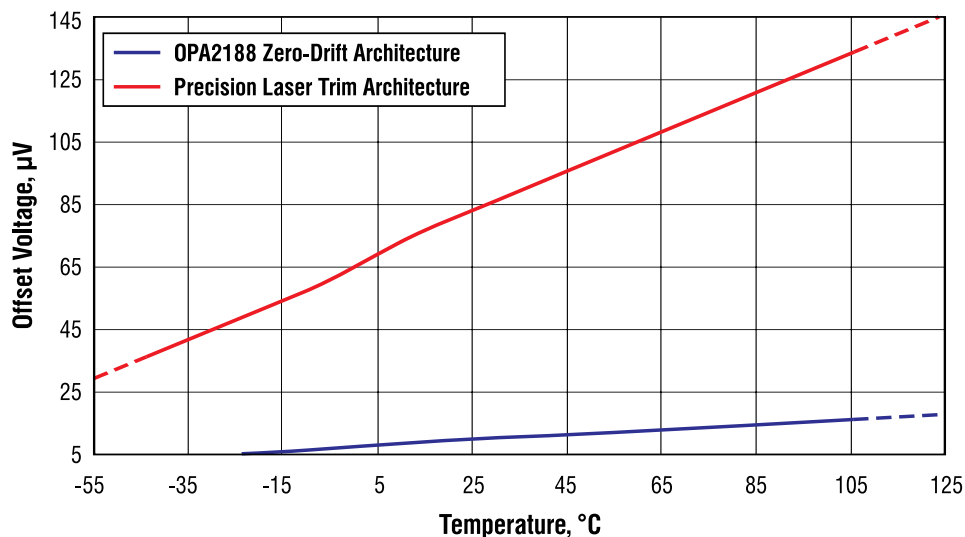


Рис. 2. Зависимость напряжения шума от температуры для обычного прецизионного ОУ (красная кривая) и OPAx188 (синяя кривая)

OPAx188 обеспечивают: лучшую точность и стабильность, чем OPA277; на 75% меньший дрейф, чем ближайшие конкуренты; большую чувствительность и высокое разрешение в широком диапазоне частот; минимальный уровень ошибок из-за шумовых токов.

Зависимости напряжения шума от температуры для обычного прецизионного ОУ и OPAx188 показаны на рис. 2

OPAx188 применяются в электронных весах, мостовых датчиках, контрольно-измерительных и медицинских приборах, трансимпедансных усилителях.

Типы корпусов:

- OPA188 – SO-8, MSOP-8, SOT-23;

OPA314/OPA2314/OPA4314 – это RRIO CMOS ОУ общего применения. Они имеют малый ток смещения 0,2 пА, наилучшее соотношение потребляемой мощности и производительности, малое напряжение смещения 2,5 мВ, низкий уровень шума 14 нВ/√Гц при 1 кГц и полосу пропускания 3 МГц. ОУ имеют напряжение питания 1,8...5,5 В и ток покоя 190 мкА/канал. Входы ОУ защищены от электромагнитных помех (EMI/RFI).

OPAx314 идеальны для усиления слабых сигналов с высоким соотношением «сигнал/шум». RRIO позволяет максимально использовать входной и выходной диапазон сигналов при однополярном питании. Широкая полоса

пропускания позволяет подключать ОУ к высокоимпедансным источникам сигнала.

OPAx314 применяются в преусилителях датчиков и фотодиодов, заземленных датчиках тока, детекторах СО/дыма, портативных медицинских и измерительных приборах. Пример реализации двухполюсного ФНЧ на OPAx314 приведен на рис. 3.

Типы корпусов:

- OPA314 – SC70-5, SOT23-5;
- OPA2314 – MSOP-8, SO-8, DFN-8;
- OPA4314 – TSSOP-14;

OPA320/OPA2320 – это прецизионные RRIO CMOS ОУ с малым током смещения 0,9 пА, напряжением смещения 150 мкВ, низким уровнем шума 7 нВ/√Гц при 10 кГц, скоростью нарастания выходного сигнала 10 В/мкс и полосой пропускания 20 МГц. Напряжение питания составляет 1,8...5,5 В, ток покоя 1,6 мА/канал.

Высокая точность и линейность, широкая полоса пропускания позволяют использовать OPAx320 в драйверах 16-разрядных АЦП. Уровень шума OPAx320 на 35% меньше, чем у OPA365. Значение соотношения «потребление/полоса пропускания» в 80 мкА/МГц увеличивает КПД на 50% по сравнению с OPA376.

OPAx320 применяются в трансимпедансных усилителях (рис. 4), прецизионных системах сбора данных, преусилителях высокоимпедансных датчиков, промышленных контроллерах, датчиках в цепи ОС систем управления электродвигателями и активных фильтрах.

Инструментальные усилители

Инструментальные усилители являются особым классом усилителей напряжения, обладающих высоким входным сопротивлением, широкой полосой пропускания, малым уровнем шума, большим коэффициентом усиления и высоким подавлением входного синфазного сигнала общего вида.

INA826 – это прецизионный ($U_{см} = 40$ мкВ) экономичный ($I_{пот} = 200$ мкА) RRIO инструментальный усилитель с напряжением питания 2,7...3,6 или $\pm 1,35...1,8$ В, низким уровнем входного шума 18 нВ/√Гц и КОСС = 84 дБ при $KU = 1$. Усилитель имеет широкий диапазон входного синфазного сигнала, который может опускаться ниже нуля, и защиту входа от перенапряжения до ± 50 В и от EMI-помех.

INA826 выпускается в стандартных SOIC-8, MSOP-8 и микрокорпусах DFN-8, позволяющих сократить до 30% площади печатной платы по сравнению с MSOP-8.

INA826 применяются в промышленных системах управления, электронных

Знаете ли Вы, что ...

1. Для любого чувствительного к стоимости промышленного применения имеется единственный ОУ, который удовлетворяет требованиям большинства таких приложений – **OPA2171**.
2. Для любого пользователя промышленных программируемых логических контроллеров имеется единственный в мире прецизионный ОУ с нулевым дрейфом и напряжением питания 3,6 В – **OPA2188**.
3. Если пользователю необходимо с высокой точностью измерить выходной сигнал от малощумящего датчика, то TI предлагает наилучший прецизионный ОУ с FET-транзисторами на входе – **OPA140**.
4. Имеется единственный ОУ с одним источником питания для использования в качестве драйвера 16-разрядного АЦП, который обеспечивает прецизионную работу при напряжении источника питания 1,8 В – **OPA320**.
5. Если Вы применяете микроконтроллеры семейства MSP430, имеется единственный ОУ, который можно использовать как прибор с наилучшим соотношением потребляемой мощности и цены – **OPA2314**.

- OPA2188 – SO-8, MSOP-8;
- OPA4188 – SO-14, TSSOP-14.

пропускания гарантирует быстрый ответ на импульсный сигнал, а малый ток сме-

предохранителях, датчиках тока, медицинских приборах и портативных системах сбора данных.

ЦАП DAC161P997

DAC161P997 – это экономичный (Iпот < 190 мкА) 16-разрядный дельта-сигма ЦАП с SWI-интерфейсом и драйвером токовой петли 4...20 мА, с минимальным дрейфом выходного тока 90 ppmFS. ЦАП имеет автоматическую калибровку, функцию обнаружения ошибок, программируемый порог ошибок по выходу, дополнительный вход HART и внутренний ИОН (рис. 5).

DAC161P997 применяется в системах с токовой петлей 4...20 мА, например, для оцифровки сигналов с микропотребляющих изолированных двухпроводных датчиков, и выпускается в корпусе LLP-16 размером 4x4 мм².

Analog Front-End (AFE)

В последние годы многие производители ИС освоили выпуск однокристалльных систем сбора, оцифровки и предварительной обработки аналоговой информации (Analog Front-End, AFE). Подобного рода системы состоят из (дифференциальных) предусилителей с регулируемым коэффициентом усиления (PGA, VGA), аналогового мультиплексора, одного или нескольких АЦП с УВХ и блока управления и предварительной обработки сигнала.

Рассмотрим некоторые AFE от TI/NSC.

ADS1131 – это 18-разрядный AFE для мостовых датчиков с низким уровнем шума (40 нВ RMS при 10 SPS), ЕМI-фильтром и непрерывной режекцией сигнала с частотой 50 или 60 Гц при 10 SPS. Скорость преобразования выбирается с помощью внешнего вывода равной 10 или 80 SPS, что избавляет от необходимости программировать регистры, сокращает время и уменьшает сложность разработок. Опорный сигнал напряжением до 5 В задается внешним ИОН.

ADS1131 имеет на 20% большую производительность по сравнению с ближайшими конкурентами при наименьшем в своем классе уровне шумов. Встроенная система отключения измерительного моста уменьшает энергопотребление между циклами преобразования.

ADS1131 применяется в электронных весах и системах управления промышленными процессами.

LMP90100 – это многоканальный (4 дифференциальных или 7 SE) экономичный малощумящий 24-разрядный AFE для датчиков с КУ 1...128 и непрерывной фоновой калибровкой (рис. 6).

Сводные данные особенностей микросхем семейства LMP90000 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сводные данные особенностей микросхем семейства LMP90000

Разрешение, разр.	Источники тока	4 дифф. / 7SE	2 дифф. / 4SE
24	Да	LMP90100	LMP90098
24	Нет	LMP90099	LMP90097
16	Да	LMP90080	LMP90078
16	Нет	LMP90079	LMP90077

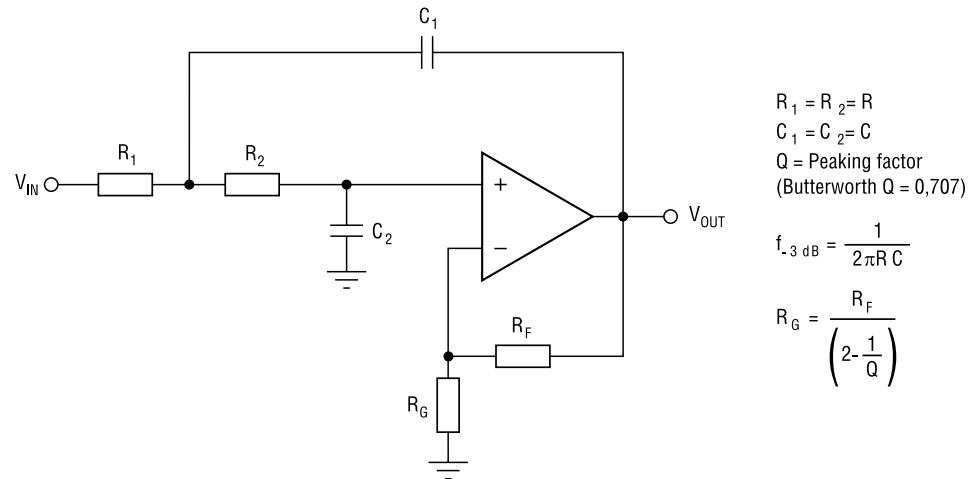


Рис. 3. Двухполюсный ФНЧ на OPAx314

Для LMP90100 имеется web-среда разработки, а также информация о производительности для каждой комбинации КУ/быстродействие. Одна разводка печатной платы позволяет реализовывать различные разрешения и конфигурации.

Микросхемы применяются в преобразователях и передатчиках, предусилителях для термопар и датчиков температуры, датчиках давления/нагрузки/силы и системах сбора данных.

Выпускается оценочный набор LMP90100EB.

LMP91000 – это конфигурируемый экономичный (Iпот = 10 мкА при Uпит = 2,7...5,5 В) AFE для потенциалостата с программируемым коэффициентом преобразования для химических приложений, со встроенными датчиками TIA, смещения ячейек (с низким дрейфом и током кондиционирования 10 мА при токе смещения опорного электрода 1000 пА), температуры и схемой тестирования датчиков.

В AFE интегрировано множество дискретных компонентов, что экономит размер платы, уменьшает стоимость и минимизирует время разработки (рис. 7).

LMP91000 позволяет в широком диапазоне (0,5...9,5 нА/ppm) определять концентрацию различных газов. Она оптимальна для портативных систем и систем с токовой петлей 4...20 мА. Онлайн-среда разработки позволяет быстро оценивать, макетировать и выводить на рынок конечную систему.

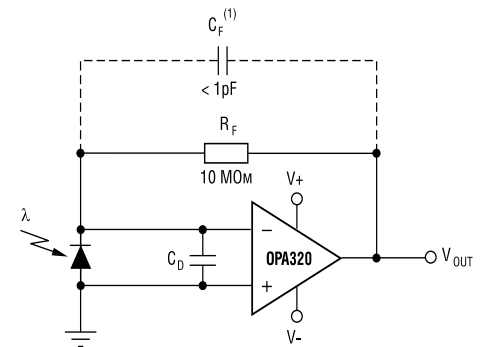


Рис. 4. Трансмпедансный усилитель на OPAx320

Микросхема находит применение в детекторах ядовитых газов, амперометрических приложениях, детекторах химического состава смеси газов, глюкометрах, трехпроводных датчиков ядовитых газов и двухпроводных датчиков напряжения гальванических элементов.

Имеется оценочный набор LMP91000SDE/NOPB.

Аналоговые компоненты National Semiconductor (NSC)

Издrevле среди разработчиков ходит поговорка «LM – значит NSC». Теперь набрав наименование компонента «LM» разработчик будет попадать в каталог продукции TI. Рассмотрим электронные компоненты NSC, вошедшие в портфолио TI.

Операционные усилители

LMP8640/8645 – это прецизионные высоковольтные усилители для сигналов с датчиков тока с низким дрейфом напряжения смещения

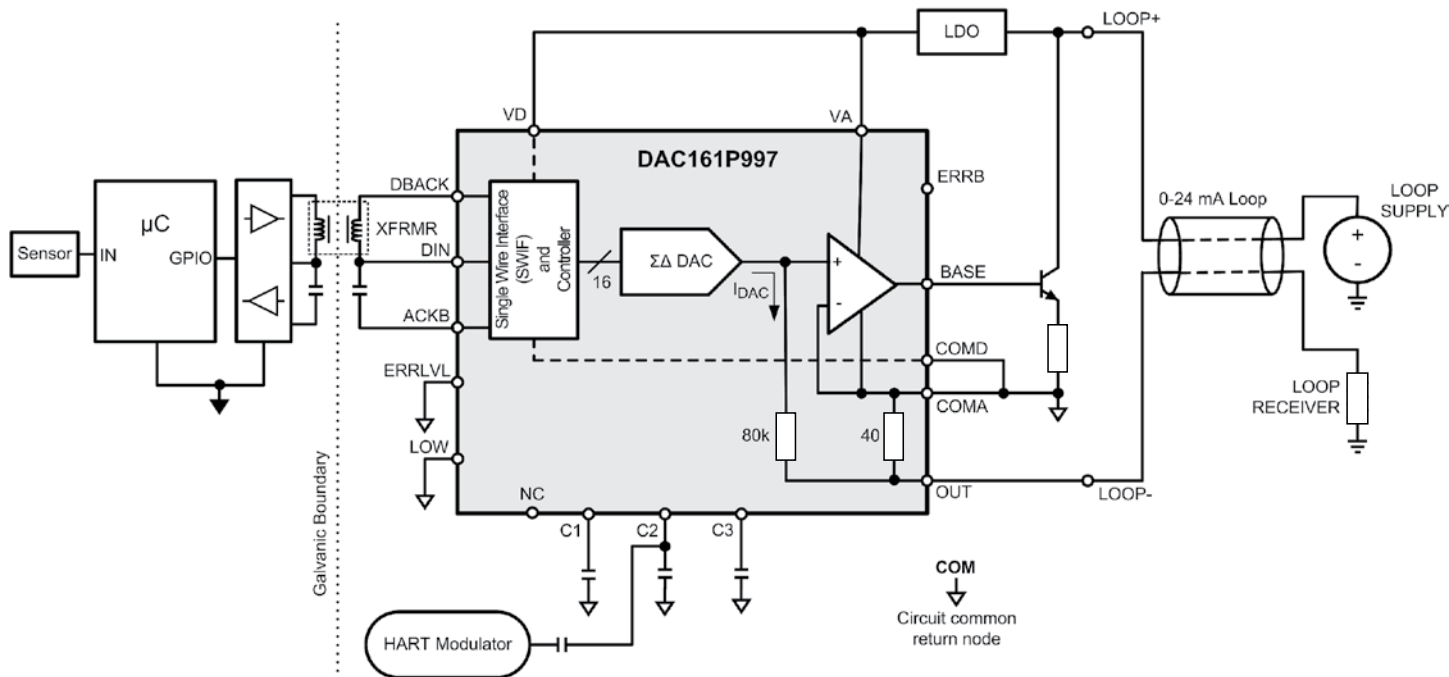


Рис. 5. Схема включения DAC161P997: промышленный передатчик для токовой петли 4...20мА

($\pm 2,6$ мкВ/°С), большим допустимым диапазоном входного сигнала -2...42 В (-2...76 В – с суффиксом HV), высоким КОСС 103 дБ, фиксированным КУ (20 для 864х-Т, 50 для 864х-Ф и 100 для 864х-Н) и малым температурным дрейфом $\pm 26,2$ ppm/°С.

Усилители потребляют ток 2,5 мА и работоспособны в температурном диапазоне -40...125°С.

LMP8640/8645 применяются в датчиках тока верхнего плеча, датчиках тока автомобилей, системах управления электродвигателями, схемах мониторинга состояния батарей и управления мощностью.

LMP2021/2022 – это маломощные (11 нВ/√Гц при КУ = 1000) ОУ с периодической коррекцией дрейфа, малым напряжением смещения 5 мкВ, его дрейфом 0,02 мкВ/°С и защитой входа от EMI.

LMP2021/2022 применяются в инструментальных усилителях, портативном инструментарии, усилителях сигналов с терморезисторами и мостовых схем.

LPV511/521/531 – это экономичные RRIO ОУ с напряжением питания 2,7...12 В и сверхнизким током потребления (1,2 мкА для LPV511, 0,4 мкА для LPV521, программируемый 5...435 мкА для LPV531), позволяющие увеличить срок службы батарей в портативных приложениях. Выпускаются в корпусе SC-70 или TSOT23-6 (LPV531).

LPV511/521/531 применяются в портативных системах, системах безопасности, термостатах, системах на солнечных батареях, портативном ин-

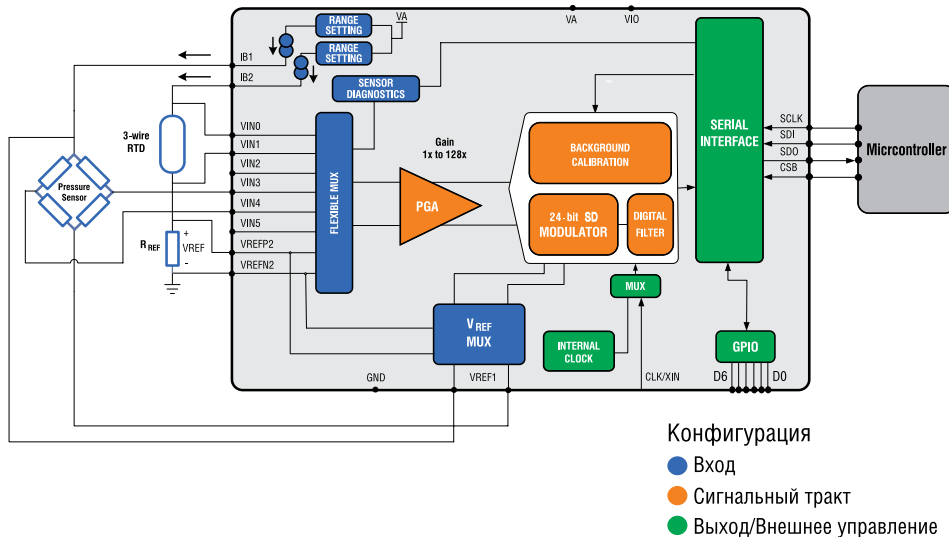


Рис. 6. Блок-схема LMP90100

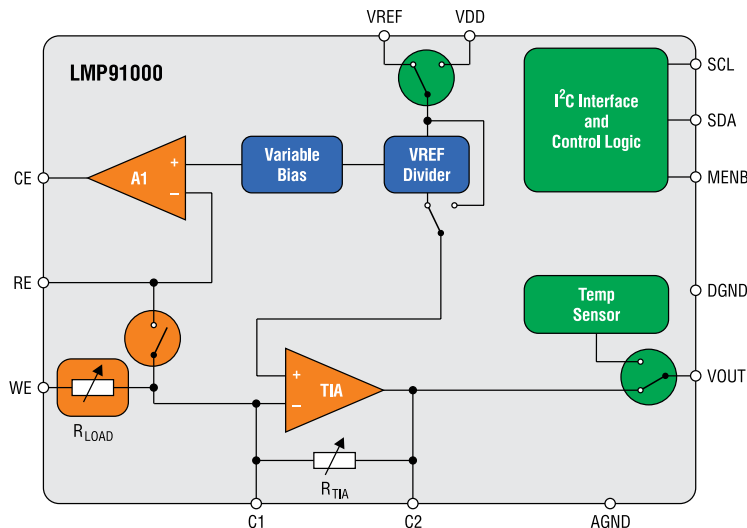


Рис. 7. Блок-схема LMP91000

струментарии, активных фильтрах и беспроводных датчиках.

LMP7721 – это прецизионный малошумящий ($7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$) CMOS ОУ со сверхмалым входным током 3 фА . Напряжение питания ОУ $1,8...5,5 \text{ В}$; потребляемый ток $1,5 \text{ мА}$.

ИС обладают превосходной производительностью при малом потребляемом токе. Они способны работать с высокоимпедансными источниками сигнала и применяются в прецизионных инструментальных усилителях, портативной медицинской технике, датчиках и электрометрах. Пример реализации преобразователя «ток-напряжение» для ионной камеры на LMP7721 показан на рис. 8.

LMP2231/2232/2234 – это экономичные ($U_{\text{пит}} = 1,6...5,5 \text{ В}$; $I_{\text{пот}} = 10 \text{ мкА}$ для LMP2231, 27 мкА для LMP2232 и 48 мкА для LMP2234) прецизионные CMOS ОУ, предназначенные для работы с высокоимпедансными источниками сигнала и имеющие большой КОСС 120 дБ . Напряжение смещения 150 мкВ ; температурный дрейф $0,4 \text{ мкВ}$ для LMP2231, $0,5 \text{ мкВ}$ для LMP2232 и $0,75 \text{ мкВ}$ для LMP2234.

LMP2231/2232/2234 применяются в прецизионных инструментальных усилителях (рис. 9), портативных медицинских приборах и предусилителях сигналов от датчиков.

LMP7731/7732 – это малошумящие ($2,9 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$) прецизионные (напряжение смещения 500 мкВ , дрейф $5,5 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$) ОУ с широкой полосой пропускания 22 МГц и большой скоростью нарастания выходного сигнала $2,4 \text{ В}/\text{мкс}$ с напряжением питания $1,8...5,5 \text{ В}$.

ОУ LMP7731/7732 применяются в газоанализаторах, фотометрах и медицинской технике.

Схема для определения коэффициента шума LMP7731/7732 в полосе частот $0,1...10 \text{ Гц}$ показана на рис. 10.

LMV831/2/4 – это экономичные ($U_{\text{пит}} = 2,7...5,5 \text{ В}$; $I_{\text{пот}} = 240 \text{ мкА}/\text{канал}$), малошумящие ($12 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ при 1 кГц) ОУ с CMOS-транзисторами на входах, обеспечивающими ток смещения $0,1 \text{ пА}$, напряжением смещения 1 мВ , полосой пропускания $3,3 \text{ МГц}$, скоростью нарастания сигнала на выходе $2 \text{ В}/\text{мкс}$ и защитой от EMI (подавление 120 дБ при $1,8 \text{ ГГц}$), обеспечивающей устойчивую работу в устройствах сотовой связи.

LMV831/2/4 находят применение в предусилителях фотодиодов, пьезодатчиках, портативном (медицинском) оборудовании, активных фильтрах, аксессуарях для PDA/телефонов. Пример реализации усилителя сигнала датчика

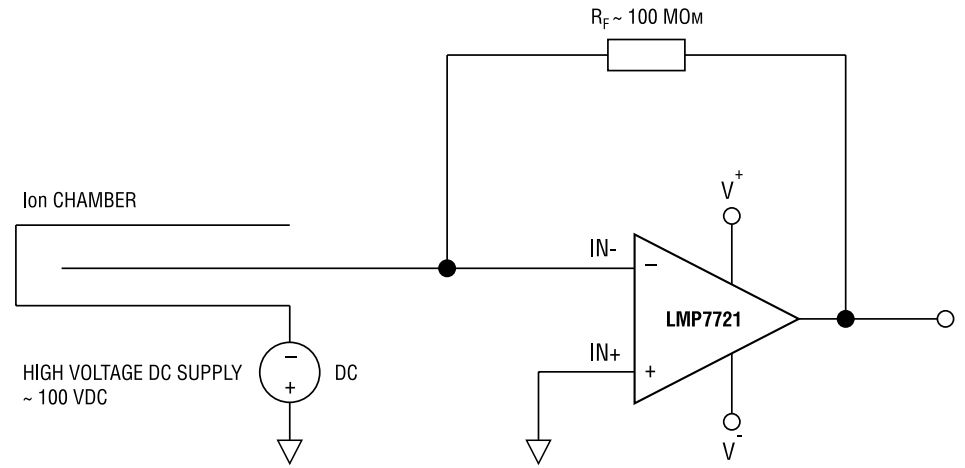


Рис. 8. Преобразователь ток-напряжение для ионной камеры на LMP7721

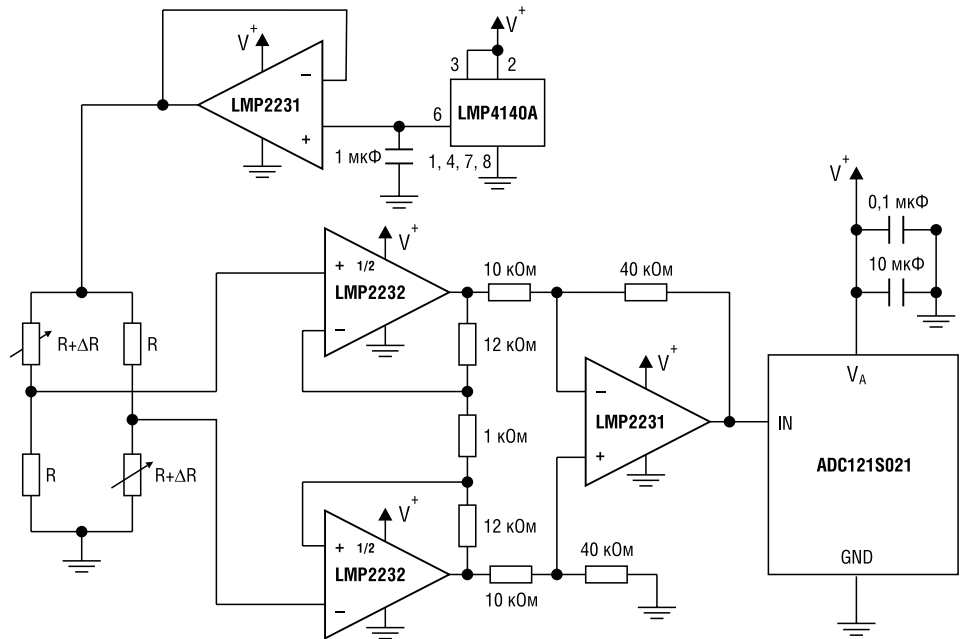


Рис. 9. Инструментальный усилитель сигнала разбалансировки моста на LMP2231/2232

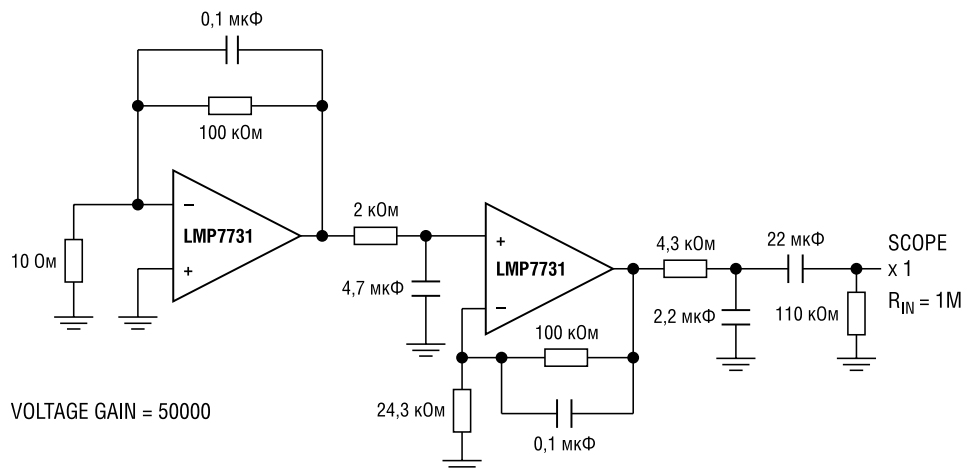


Рис. 10. Схема для определения коэффициента шума LMP7731/7732 в полосе частот $0,1...10 \text{ Гц}$

давления на LMV831 представлен на рис. 11.

LMP7701/2/4 – это экономичные ($U_{\text{пит}} = 2,7...12 \text{ В}$, $I_{\text{пот}} = 700 \text{ мкА}/\text{ка}$ -

нал) прецизионные ($U_{\text{см}} = 200 \text{ мкВ}$) малошумящие ($9 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$) RRIO CMOS ОУ с большим значением КОСС 130 дБ и коэффициента передачи без ОС 130 дБ .

Таблица 2. Сводные данные особенностей микросхем семейства ADC128S102

Разрешение, бит	Гарантированная производительность, kSPS:		
	50...200	200...500	500...1000
12	ADC128S102	ADC128S052	ADC128S022
10	ADC108S102	ADC108S052	ADC108S022
8	ADC088S102	ADC088S052	ADC088S022

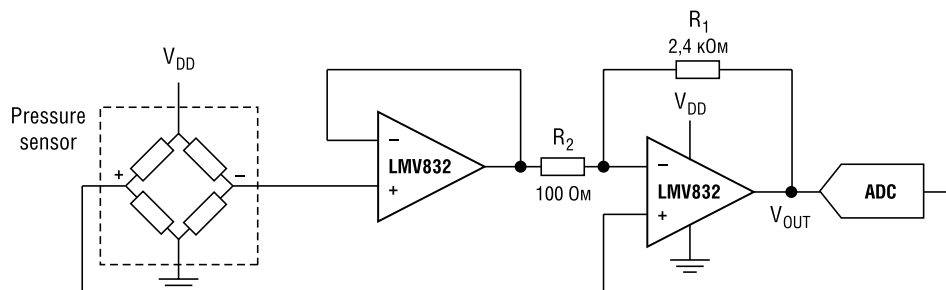


Рис. 11. Усилитель сигнала датчика давления на LMV831

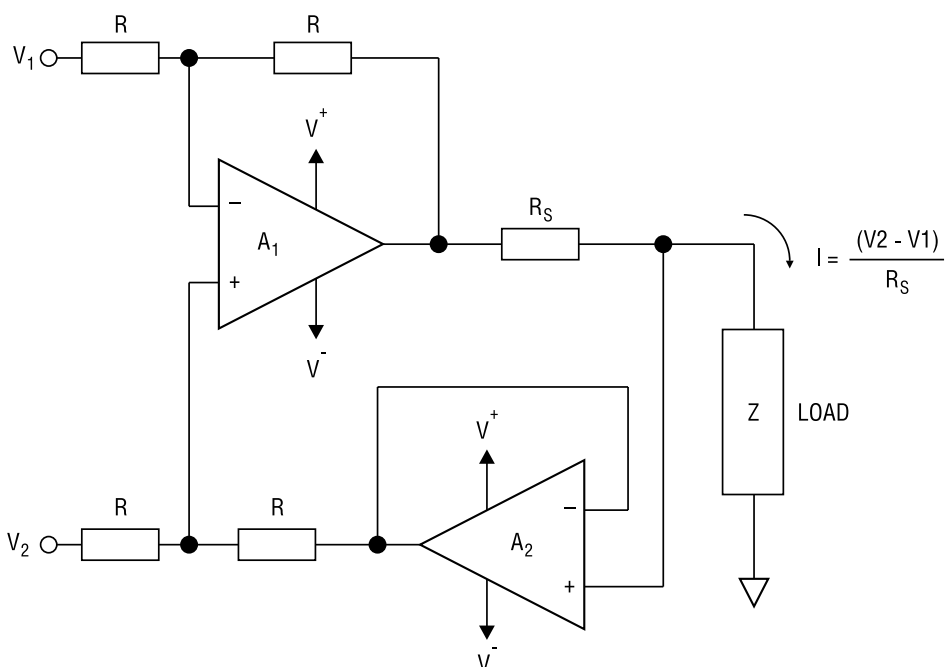


Рис. 12. Прецизионный источник тока с дифференциальным входом на LMP7701

В портативных устройствах ОУ LMP7701/2/4 позволяют продлить срок службы батарей и работать при одном питающем напряжении.

LMP7701/2/4 применяются в интерфейсах высокоимпедансных датчиков, портативных измерительных приборах, усилителях с большим КУ, буферах ЦАП, активных фильтрах и дискретных инструментальных усилителях. Пример реализации прецизионного источника тока с дифференциальным входом на LMP7701 показан на рис. 12.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

ADC128S102 — это экономичный 8-канальный 12-разрядный АЦП

с производительностью 1 MSPS, точностью преобразования ±0,024%, нелинейностью ±1,0 LSB, напряжением питания 2,7...5,25 В и SPI-интерфейсом. ADC128S102 выпускаются в корпусе TSSOP-16 и являются представителями семейства повыводно совместимых АЦП:

Сводные данные особенностей микросхем семейства ADC128S102 представлены в таблице 2.

ADC128S102 находят применение в интерфейсах датчиков, портативных системах сбора данных, измерительных и управляющих системах.

ADC161S626 — это 16-разрядный MicroPower АЦП с дифференци-

альным входом, производительностью 50...250 kSPS, точностью преобразования ±0,003%, следящим режимом с временем готовности 0 мкс и SPI-интерфейсом.

Выпускается преобразователь в корпусе MSOP-10.

ADC161S626 применяется в интерфейсах датчиков, системах сбора данных и управления электродвигателями, измерительных и медицинских приборах.

Цифро-аналоговые преобразователи

DAC161S055 — это прецизионный 16-разрядный ЦАП с временем установления выходного напряжения 5 мкс, SPI-интерфейсом, буферизованным rail-to-rail потенциальным выходом, опорным напряжением от 2,5 В до напряжения питания аналоговых цепей, асинхронной загрузкой, выводом сброса и совместимостью с микроконтроллерами с напряжением питания линий I/O 1,8 В. Схема сброса при подаче напряжения питания гарантирует приведение ЦАП в известное исходное состояние. Режим пониженного энергопотребления способствует сбережению энергии батареи в периоды бездействия.

Преобразователи выпускаются в корпусе LLP-16 с температурным диапазоном -40...105°С.

DAC161S055 применяются в системах управления процессами, автоматическом проверочном оборудовании, программируемых источниках напряжения, коммуникационных системах, промышленных контроллерах и портативных приборах.

Заключение

Вспоминая приобретение Texas Instruments компании Luminary Micro, дальнейшее развитие компанией TI семейства микроконтроллеров Stellaris с ядром Cortex-M3 и создание на их основе семейства двухъядерных микроконтроллеров Concerto, хочется надеяться, что нынешнее приобретение компании NSC позволит TI еще больше расширить номенклатуру выпускаемых аналоговых компонентов и укрепить лидирующие позиции на рынке прецизионных аналоговых и аналогово-цифровых микросхем.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: mcv.vesti@compel.ru