

Современные операционные усилители фирмы National Semiconductor

Геннадий ШТРАПЕНИН,
к. ф. -м. н.
gshtrapein@electron.usurt.ru

Компания National Semiconductor, основанная в 1959 году, прошла огромный путь от производства первых дискретных транзисторов до сложнейших современных микроэлектронных устройств. Одним из приоритетных направлений деятельности фирмы на протяжении всего ее существования была разработка интегральных операционных усилителей (ОУ).

В 1968 году инженерами National Semiconductor был создан первый в мире двухкаскадный операционный усилитель LM101, положивший начало целому направлению в построении всевозможных аналоговых электронных устройств. Современные ОУ National Semiconductor соответствуют, а по многим параметрам и превосходят мировой уровень устройств данного класса, при этом имеют цены существенно меньшие, чем у других фирм, позволяя разработчикам успешно решать широкий круг задач по созданию различной электронной аппаратуры.

Большинство современных интегральных ОУ выполняются по схеме прямого усиления с дифференциальными входами и рассчитаны на симметричное двухполярное питание (хотя все чаще используется и однополярное). Кроме двух входов, выхода и выводов питания, ОУ может также иметь выводы для балансировки, коррекции, программирования (задания определенных параметров величины управляющего тока) и другие.

В идеальном случае ОУ должен иметь бесконечный коэффициент усиления по напряжению, бесконечно большое входное и бесконечно малое выходное сопротивление, бесконечно большую амплитуду выходного сигнала, бесконечно большой диапазон усиливаемых частот и отсутствие шумов. Параметры ОУ не должны зависеть от внешних факторов, напряжения питания и температуры. При соблюдении этих условий передаточная характеристика ОУ, охваченного отрицательной обратной связью (ООС), точно соответствует передаточной характеристике цепи ООС и не зависит от параметров самого усилителя.

Реальные ОУ имеют характеристики, отличающиеся от идеальных, что является поводом для их всесторонней классификации. Реальный ОУ — это компромисс взаимоис-

ключающих требований с достижением наилучших свойств по одному или нескольким параметрам, каковыми могут являться: минимизация напряжения смещения и входных токов, достижение максимальной полосы усиливаемых частот и скорости нарастания выходного напряжения, уменьшение потребляемого тока и питающего напряжения и другие. Параметры ОУ можно разделить на несколько групп — входные, выходные, усилительные, частотные, энергетические, шумовые и т. д. [1]. Наряду с эксплуатационными параметрами, определяющими номинальный температурный режим работы ОУ, допустимые параметры входных и выходных цепей и требования к источникам питания, весьма важными являются также максимальные возможные значения ряда параметров, превышение которых не допускается. В настоящее время сложилась определенная (хотя и не очень строгая) классификация ОУ по сочетанию различных параметров, отражающая их предпочтительное использование в том или ином классе устройств. Отметим также, что параметры ОУ в значительной степени определяются их схемотехникой и используемой полупроводниковой технологией.

Фирма National Semiconductor использует следующую классификацию ОУ, которая частично проявляется в первых двух-трех буквах маркировки микросхем, выпускаемых фирмой:

1. Усилители общего применения (General Purpose — LM, LMC) — коэффициент усиления до 100 дБ, напряжение смещения более 1 мВ, частота единичного усиления до 10 МГц.
2. Маломощные (Low Power — LP, LPV) — ток потребления менее 1,5 мА.
3. Микропощные (Micro Power — LP, LPV) — ток потребления менее 25 мкА.
4. Низковольтные (Low Voltage — LMV) — напряжение питания менее 3 В.

5. Прецизионные (Precision — LMP) — коэффициент усиления более 100 дБ, напряжение смещения менее 1 мВ.
6. Быстродействующие (High Speed — LMH) — частота единичного усиления более 50 МГц.
7. Малошумящие (Low Noise) — напряжение шумов менее 10 нВ/Гц^{1/2}.
8. Мощные (High Output Power) — выходной ток более 100 мА.
9. С выходным и входным напряжением, близким к напряжению питания (Rail to Rail Output/Input).

В усилителях Rail to Rail максимальная и минимальная амплитуда выходного напряжения практически совпадают с соответствующими значениями напряжения питания, а допустимые значения синфазного входного напряжения равны или даже могут выходить за пределы напряжения питания. Последнее используется, например, в усилителях с однополярным питанием с возможностью подачи на вход отрицательного напряжения.

Как уже было сказано выше, данное разделение по понятным причинам не является строгим, буквенная классификация также не всегда соблюдается, ОУ может быть одновременно низковольтным, быстродействующим, малошумящим, с выходным напряжением, близким к напряжению питания, и т. п. Кроме того, ОУ одного типа выпускаются в различных корпусах, а также по два, три или четыре усилителя в одном корпусе (многоканальные) и, наконец, в исполнениях, предназначенных для общего (Commercial — C), промышленного (Industrial — I, E) и военного применения (Military — M), отличающихся по ряду параметров, в частности, по диапазону рабочих температур (C: 0...+70 °С; I: -40...+85 °С; E: -40...+125 °С; M: -55...+125 °С).

Следует также отметить, что наряду с освоением производства новых изделий фирма непрерывно занимается усовершенствованием

Таблица 1. Основные параметры современных ОУ общего применения National Semiconductor

Исполнение			Корпус	Диапазон температур	Напряжение питания, В		Потребляемый ток на один канал в режиме «Отключение», мА	Выходной ток (токающий/вытекающий), мА	Rail to Rail	Входной ток, нА	Напряжение смещения, мВ	Синфазное входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		Частота единичного усиления, МГц	Напряжение шумов, нВ/Гц	Примечание
Одиночн.	Сдвоенн.	Счетвер.			мин	макс						мин	макс	мин	макс			
LMV341	LMV342	LMV344	SOIC, SC70, MSOP, TSOP	E	2,7	5,0	107/0,033	113/75	Выход	0,00002	4,5	-0,2	4,2	0,7	4,93	1,0	39	Отключение. Сверхмалый входной ток
LMV931	LMV932	LMV934	SOIC, SC70, SOT23, MSOP, TSOP	E	1,8	5,0	116	100/65	Вход/Выход	15,0	4,5	-0,2	5,3	0,035	4,965	1,5	50	Напряжение питания 1,8 В
LMV981	LMV982	—	microSMD, SOT23, SC70, TSSOP	E	1,8	5,0	116/0,2	100/65	Вход/Выход	15,0	4,5	-0,2	5,3	0,035	4,965	1,5	50	То же. Отключение
LMV321	LMV358	LMV324	SOIC, SC70, SOT23, MSOP, TSOP	I	2,7	5,0	102-130	60/60	Выход	10,0	7,0	-0,2	4,2	0,065	4,9	1,0	39	
LPV321	LPV358	LPV324	SOIC, SC70, SOT23, MSOP, TSOP	I	2,7	5,0	7-9	16/60	Выход	2,0	7,0	-0,2	4,2	0,09	4,996	0,1	146	Микромощный
LMV301	—	—	SC70	I	1,8	5,0	163	108/69	Выход	0,0002	8,0	-0,3	3,8	0,034	4,966	1,0	40	Малый входной ток
—	LM2904	LM2902	microSMD, SOIC	I, E	3,0	32	250-175	40/40	—	50,0	7,0	0	3,5	0,005	28	1,0	40	Широкий диапазон напряжения питания
—	—	LP2902	SOIC, MDIP	I, E	3,0	26	85	20/15	—	10,0	4,0	-0,1	3,5	0,07	3,6	0,1	80	То же
LMV821	LMV822	LMV824	SOIC, SOT23, SC70, TSSOP	I	2,5	5,5	250-300	45/40	Выход	30,0	3,5	-0,3	4,3	0,1	4,9	5,6	24	Быстродействующий
LMC7101	—	—	SC70	I	2,7	15	500	25/22	Вход/Выход	0,0010	7,0	-0,3	5,3	0,1	4,9	1,0	37	
LMC7111	—	—	SOT23	I	2,7	10	20	7	Вход/Выход	0,0010	7,0	-0,1	2,8	0,01	2,69	0,04	110	Микромощный
LM7301	—	—	SOIC, SOT23	I	1,8	32	600	11/9,5	Вход/Выход	100	6,0	-0,1	5,1	0,07	4,93	4,0	36	Широкий диапазон напряжения питания
LMC8101	—	—	microSMD, MSOP	I	2,7	10	700/0,1	20/10	Вход/Выход	0,0010	5,0	0	3,0	0,03	2,67	1,0	36	Отключение
LM8261	LM8262	—	SOIC, SOT23	I	2,5	30	400	53/75	Вход/Выход	1200	5,0	-1	5,3	0,1	4,8	21	15	Может работать на большую емкостную нагрузку
LM8272	—	—	mini-SOIC, MSOP	I	2,5	24	900	100/100	Вход/Выход	1200	5,0	-0,3	5,3	0,215	4,93	13	15	То же. Мощный
LMV721	LMV722	—	LLP, SOT23, SC70, MSOP	I	2,2	5,0	1000	52/23	Выход	260	3,0	-0,3	4,1	0,08	4,96	10	8,5	Малозумящий
LMV710/11/15	LMV712	—	SOT23, microSMD, LLP, MSOP	I	2,7	5,0	1170/0,2	35/40	Вход/Выход	0,0040	3,0	-0,3	5,3	0,01	4,98	5,0	20	Отключение (711, 712); отключение с третьим состоянием выхода (715)
—	LMV422 Full	—	MSOP	I	2,7	5,2	400	5/16	Выход	0,0050	1,0	-0,3	3,8	0,03	4,97	8,0	25	Программируемый
—	LMV422 Low	—	—	—	—	—	2	0,14/0,13	—	—	—	0	3,5	0,15	4,94	0,027	60	

и развитием операционных усилителей, выпущенных ранее, что хорошо видно, например, на широко известном недорогом и очень популярном семействе маломощных счетверенных ОУ с однополярным питанием (Single Supply) LM124/224/324/2902 и током потребления 0,2–0,4 мА на канал. Выпускается ряд их модификаций: LP324/LP2902 — микромощные с током потребления 21 мкА, LMV324 — низковольтный, с напряжением питания от 2,7 до 5,5 В, LPV324 — микромощный низковольтный с током потребления 9 мкА, изготавливаемый по фирменной технологии BiCMOS, и другие [2].

Отметим также, что для современных операционных усилителей, как, впрочем, и для других интегральных микросхем, имеется тенденция к уменьшению габаритов и все более широкому использованию корпусов для поверхностного монтажа. Широко распространенные ранее корпуса DIP и TSSOP заменяются на значительно меньшие SOIC, SOT-23 и SC-70 (последний имеет размеры 2×2×1 мм); ряд микросхем для поверхностного монтажа выпускается в особо малогабаритных корпусах microSMD с размерами 1,285×1,285×0,85 мм и менее.

В нашей предыдущей статье [3] были рассмотрены быстродействующие ОУ National Semiconductor. Здесь мы остановимся на дру-

гих типах операционных усилителей, выпущенных фирмой в последние годы. Обзор начнем с усилителей, основные параметры которых при напряжении питания 5 В приведены в таблице 1 и соответствуют ОУ общего применения.

ОУ общего применения

Как видно из таблицы 1, большая часть этих усилителей — низковольтные и мало- и микромощные в миниатюрных корпусах, что отражает современные тенденции проектирования электронной аппаратуры.

Семейство операционных усилителей LMV341/2/4 предназначено для использования в портативной аппаратуре с автономным питанием. ОУ отличаются очень высокими параметрами по входному току и шумам. В режиме отключения (Shutdown) потребляемый ток уменьшается до типового значения всего 45 нА, а время перехода в рабочий режим не превышает 5 мкс. Усилители выпускаются в различных корпусах, в том числе, и в SC70-6L, весьма подходящем для размещения на материнских платах персональных компьютеров и ноутбуков. Отметим, что данные усилители работоспособны в расширенном температурном диапазоне (до 125 °С).

Характерной особенностью семейств ОУ LMV931/2/4 и LMV981/2 (с режимом отклю-

чения Shutdown) является очень низкое минимальное напряжение питания 1,8 В, в связи с чем они позиционируются фирмой для применения в аппаратуре, питающейся от одного Li-Ion гальванического элемента, а также для систем контроля питания. Особенности этих усилителей являются также вход и выход Rail to Rail и весьма высокий (101 дБ) коэффициент усиления при сравнительно малом уровне шумов, что дает возможность использовать данные ОУ в аудиоаппаратуре с низковольтным питанием.

Семейства операционных усилителей LMV321/358/324 и LPV321/358/354 (низковольтный и микромощный вариант соответствующих сверхпопулярных ОУ серии LM), а также усилители LM2904/02 в миниатюрном корпусе microSMD и LP2902 (аналоги LM358/324 и LP324) являются классическими современными ОУ общего применения и могут быть использованы в широком классе устройств. Отметим, что LM2904/02 и LP2902 могут работать при одно- и двухполярном питании с размахом от 3 до 32 В.

Операционный усилитель LMV301 — это CMOS-вариант LMV321. Он отличается крайне малым входным током и низким минимальным напряжением питания 1,8 В и, вместе с тем, рассчитан на работу с нагрузкой сопротивлением 600 Ом и емкостью до 1000 пФ.

Таблица 2. Основные параметры современных прецизионных ОУ National Semiconductor

Исполнение			Корпус	Диапазон температур	Напряжение питания, В		Потребляемый ток на один канал, мА	Выходной ток, мА	Входной ток, пА	Напряжение смещения, мВ	Температурный дрейф напряжения смещения, мВ/°С	Коэффициент усиления, дБ	Коэффициент ослабления сигнала, дБ	Коэффициент влияния нестабильности напряжения питания, дБ	Синфазное входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		Частота единичного усиления, МГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Напряжение шумов, нВ/Гц	Примечание
Одиночн.	Сдвоенн.	Счетвер.			мин	макс									мин	макс	тип	тип				
LMC6081	LMC6082	LMC6084	SOIC	I	4,5	15,5	450	22	0,10	150	1,0	130	85	94	0,4	3,1	0,1	4,87	1,3	1,5	22	КМОП
—	LMC6482	LMC6484	SOIC, MSOP, DIP	I, M	3,0	15,5	500	20	0,10	110	1,0	130	82	82	-0,3	5,3	0,005	4,995	1,5	1,3	37	Rail to Rail вход и выход
LMC6061	LMC6062	LMC6064	SOIC	I, M	4,5	15,5	20	22	0,10	100	1,0	140	85	100	0,4	3,1	0,005	4,995	0,1	0,035	83	Микромощный
—	LMC6462	LMC6464	SOIC	I, M	3,0	15,5	20	27	0,15	250	1,5	130	85	85	-0,2	5,3	0,005	4,995	0,05	0,028	80	Rail to Rail вход и выход
LMC6001	—	—	miniDIP, MCAN	I	4,5	15,5	450	22	0,01	350	2,5	123	83	83	-0,4	3,1	0,1	4,87	1,3	1,5	22	Электрометрический
LMV751	—	—	SOT23	I	2,7	5,0	600	20	1,5	50	—	120	103	107	0	3,7	0,04	4,98	5,0	2,3	6,5	Малощумящий
LMV771	LMV772	LMV774	SC70, SOIC, MSOP, TSSOP	E	2,7	5,0	600	35	-0,25	250	-0,35	98	80	82,0	0	4,1	0,04	4,97	1,4	3,5	10	То же
LMP2011	LMP2012	LMP2014	SOIC, SOT23, TSSOP, MSOP, LLP	E	2,7	5,2	930	17	-3,0	0,12	0,015	130	130	120	-0,1	3,5	0,04	4,98	3,0	4,0	35	Ультрапрецизионный. Rail to Rail выход
LMP8270/1	—	—	SOIC, MSOP	E	4,8	5,5	1000	—	20	250	0,25	26	103	80	-2,0	36	0,007	4,99	0,08	0,7	—	Дифференциальный усилитель с высоким синфазным напряжением

Выпускается этот ОУ в миниатюрном корпусе SC70 и может использоваться в устройствах выборки-хранения, усилителях сигналов фотодатчиков и других устройствах с батарейным питанием.

ОУ семейства LMV821/22/24 отличаются сравнительно большим быстродействием (частота единичного усиления 5 МГц, скорость нарастания выходного напряжения 1,4 В/мкс) при малом энергопотреблении. Они также имеют хорошие параметры по напряжению смещения и его дрейфу (3,5 мВ и 1 мВ/°С соответственно). Выпускаются в различных корпусах и предназначены для использования в технике связи — модемах, беспроводных и мобильных телефонах и других устройствах.

Операционный усилитель LMC7101 с входом и выходом Rail to Rail и его микромощный вариант LMC7111 выполнены по технологии CMOS в миниатюрных корпусах и предназначены для применения в различной портативной аппаратуре с автономным питанием. Благодаря очень малому входному току они могут использоваться в устройствах выборки-хранения и других, требующих большого входного сопротивления (гарантированное значение не менее 1 ТОм).

Заслуживает внимания ОУ LM7301 с входом и выходом Rail to Rail, сочетающий очень высокие значения различных параметров, в частности, широкий диапазон напряжения питания, относительно большое быстродействие, высокие коэффициенты усиления и подавления синфазных сигналов, а также CMOS ОУ LMC8101 с возможностью отключения. Эти усилители выпускаются в миниатюрных корпусах SOT-23 и microSMD и могут быть использованы в различных устройствах с соответствующими параметрами.

Сравнительно мощные и быстродействующие ОУ LM8261/2 и LM8272 с входом и выходом Rail to Rail и не лимитированной емкостью нагрузки предназначены для применения в схемах драйверов для жидкокристаллических экранов, выходных каскадов ЦАП, усили-

телей головных телефонов и других устройствах. Они работают в широком диапазоне напряжения питания и отличаются низким уровнем шумов и искажений.

Малощумящие ОУ семейства LMV721/2 предназначены для применения во входных каскадах усилительной аппаратуры, в том числе и с батарейным питанием. Выпускаются в миниатюрных корпусах и бескорпусном исполнении для встраивания в различные устройства, например, электретные микрофоны.

В заключение обзора ОУ общего применения рассмотрим операционные усилители LMV710/11/12/14, выполненные по технологии BiCMOS с входным CMOS-каскадом. Особенностью ОУ является наличие режима отключения (Shutdown), в котором потребляемый ток снижается до 0,2 мкА, при этом на выходе LMV711/12 устанавливается напряжение, на 50 мВ превышающее потенциал отрицательного вывода питания ОУ, а выход усилителя LMV715 переходит в высокоимпедансное состояние, то есть практически отключается от схемы. Отметим, что по техническим условиям для этих микросхем неиспользуемый вывод отключения (SD) во избежание паразитной генерации нельзя оставлять свободным, а следует соединить его с положительным выводом питания.

Прецизионные ОУ

Далее перейдем к рассмотрению последних разработок прецизионных операционных усилителей National Semiconductor, основные параметры которых при напряжении питания 5 В приведены в таблице 2. В дополнение к параметрам ОУ общего применения для прецизионных усилителей весьма важными являются температурный дрейф напряжения смещения, коэффициент усиления и коэффициенты подавления синфазных сигналов (Common Mode Rejection Ratio — CMRR) и влияния нестабильности напряжения питания (Power Supply Ripple Rejection — PSRR).

Семейства ОУ LMC6081/2/4 и LMC6482/4 — с входом и выходом Rail to Rail выполнены по технологии CMOS и представляют типовые прецизионные операционные усилители, способные работать с однополярным питанием. Выпускаются также их микромощные аналоги с током потребления 20 мкА и пониженным быстродействием — LMC6061/2/4 и LMC6462/4. Область применения этих ОУ — инструментальные усилители, устройства обработки сигналов, усилители сигналов пьезодатчиков и датчиков излучения, медицинская аппаратура (усилители биопотенциалов) и т. п.

Отличительной особенностью ОУ LMC6001 является ничтожно малое типовое значение входного тока 10 фА и, соответственно, способность работать в электрометрических устройствах, приборах для измерения токов утечки, детекторах излучения, различной научной аппаратуре и т. п. Примечательна методика, используемая фирмой для тестирования каждой из только что изготовленных микросхем LMC6001 — 3 раза подряд в первую минуту. Экземпляры с входным током более 25 фА отбраковываются. Достоинством ОУ является также низкий уровень шумов 22 нВ/Гц^{1/2} и наличие защиты от электростатического потенциала до 2000 В. Выпускается в корпусах MDIP и круглом металлостеклянном корпусе MCAN. Отметим, что успешное применение ОУ с малыми входными токами возможно только при отсутствии токов утечки по поверхности монтажной платы. Величина этих токов может на несколько порядков превышать входные токи усилителя и, следовательно, вызвать значительное смещение его нуля. Выходом из положения является создание на печатной плате специальных охранных колец вокруг входов ОУ или соединение входов усилителя с другими элементами схемы вне платы. Образцы рисунков печатных плат для монтажа усилителей со сверхмалыми входными токами имеются на сайте компании.

Малощумящие прецизионные ОУ LMV751 и LMV771/2/4 с выходом Rail to Rail и однополярным питанием выпускаются в миниатюрных корпусах и предназначены для применения во входных каскадах различной аппаратуры. Они отличаются повышенным быстродействием и малыми искажениями, что дает возможность использовать данные ОУ в высококачественной аппаратуре с низковольтным питанием.

Следует отметить, что National Semiconductor выпускает специальные операционные усилители — двоянный LM833 и счетверенный LM837 (в таблице не представлены) — для использования в аудиотехнике класса Hi-Fi. По своим параметрам эти усилители приближаются к прецизионным и отличаются малым напряжением смещения (0,3 мВ), высоким коэффициентом усиления (110 дБ), очень низким уровнем шумов в звуковом диапазоне (4,5 нВ/Гц^{1/2}) и чрезвычайно малыми нелинейными искажениями (0,0015%). ОУ скорректированы для любого коэффициента усиления вплоть до единичного, и наряду с использованием в предварительных УЗЧ их можно применять в самой различной аппаратуре для усиления слабых сигналов.

Последнее достижение National Semiconductor — это основанная на уникальной технологии непрерывной коррекции смещения на входе серия доступных по цене ультрапрецизионных ОУ LMP2011/2/4 с ничтожно малыми величинами напряжения смещения (типичное значение 0,8 мкВ) и его температурного дрейфа (0,015 мкВ/°C). В отличие от операционных усилителей других фирм, в которых используется метод коррекции нуля сравнительно низкочастотной стабилизацией прерыванием [1], создающей значительные шумы и искажения сигнала, в LMP201x частота коррекции составляет 35 кГц, что позволяет перенести основной шумовой спектр в высокочастотную область, достигнув тем самым очень низкого уровня шумов и искажений в диапазоне частот до нескольких десятков кГц. В целом совокупность великолепных характеристик ОУ LMP201x, таких, как сверхмалое смещение и дрейф, весьма высокие для прецизионных ОУ полоса пропускания и скорость нарастания выходного напряжения в сочетании с низкими шумами и малым потребляемым током, дает возможность применять эти микросхемы в широком классе устройств с повышенной точностью и температурной стабильностью.

В заключение обзора прецизионных ОУ рассмотрим еще одну недавнюю разработку National Semiconductor — семейство прецизионных дифференциальных усилителей с фиксированным коэффициентом усиления и сверхшироким диапазоном входных синфазных напряжений LMP8270/1, предназначенных для применения в токоизмерительных устройствах, автомобильной электронике и других схемах, в которых необходимо выделить слабый дифференциальный сиг-

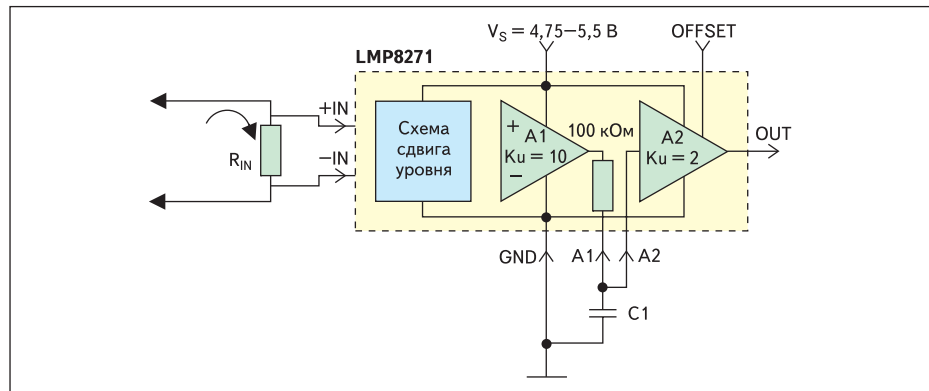


Рис. 1. Структура и типовая схема включения усилителя LMP8271

нал на фоне очень большого синфазного напряжения.

Структура и типовая схема включения усилителя LMP8271 в схеме измерителя тока представлены на рис. 1. Микросхема содержит патентованное входное устройство сдвига уровня и двухкаскадный усилитель с общим коэффициентом усиления 20. LMP8270 отличается отсутствием вывода OFFSET. В типовой схеме включения связь между каскадами осуществляется через простейший RC-фильтр нижних частот с внешним конденсатором.

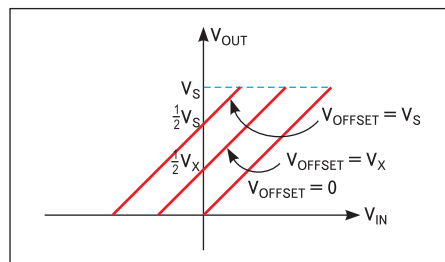


Рис. 2. Зависимость входного и выходного напряжения усилителя LMP8271 от управляющего сигнала OFFSET

Усилитель LMP8270 выделяет входной сигнал только положительной полярности, в то время как LMP8271 может усиливать и отрицательный сигнал. Возможность усиления отрицательного входного напряжения V_{IN} достигается благодаря сдвигу уровня выходного напряжения V_{OUT} на некоторую постоянную величину согласно графикам, приведенным на рис. 2. Сдвиг производится подачей управляющего напряжения на специальный вход микросхемы LMP8271 OFFSET. Если вход OFFSET соединен с общим проводом, LMP8271 выделяет только положительный входной сигнал. При подаче на вывод OFFSET напряжения питания V_S к выходному напряжению усилителя прибавляется половина напряжения питания, и таким образом вход усилителя становится биполярным. В принципе, на вход OFFSET можно подавать любое напряжение V_X от 0 до V_S , при этом к выходному напряжению прибавляется величина $V_X/2$.

Программируемые ОУ

National Semiconductor выпускает ряд операционных усилителей, параметрами которых можно управлять путем изменения тока через специальный вывод микросхемы, — так называемые программируемые ОУ. Новейший образец программируемого ОУ — двоянный усилитель LMV422 — интересен тем, что может работать в двух режимах, обычном и экономичном, при этом, естественно, параметры усилителя ухудшаются, но основные функции сохраняются, что может быть весьма полезным, например для поддержания аппаратуры в «ждущем» состоянии, переходе на резервное питание и т. п. В нормальном режиме (Full; управляющий вывод PS заземлен) ОУ потребляет ток 400 мкА и имеет параметры, близкие к прецизионным усилителям (см. табл. 1). В экономичном режиме (Low; на управляющий вывод PS подано напряжение более 4,5 В) потребляемый ток снижается до 2 мкА, и усилитель становится ультрамикромоощным. Каждый усилитель микросхемы имеет свой независимый вывод управления PS. ОУ LMV422 скорректированы для коэффициента усиления больше 2, выпускаются в 10-выводном корпусе MSOP.

Комбинированные устройства

Тенденция к уменьшению габаритов электронной аппаратуры подводит разработчиков к созданию различных комбинированных устройств на основе операционных усилителей. В частности, для нужд видеотехники фирма National Semiconductor выпускает наборы быстродействующих операционных усилителей с мультиплексорами LMN6570/2/4, параметры которых приведены в таблице 3.

Микросхема LMN6572 содержит три комплекта мультиплексоров 2:1 и высококачественных буферных усилителей с коэффициентом усиления 2, а LMN6570 и LMN6574 — соответственно 2 и 4 буферных усилителя, мультиплексор и высококачественный быстродействующий операционный усилитель с очень высокими параметрами по частотным характеристикам, скорости нарастания

Таблица 3. Основные параметры усилителей-мультиплексов National Semiconductor

Тип	Устройство	Корпус	Диапазон температур	Напряжение питания, В		Потребляемый ток/в режиме отключения, мА	Выходной ток, мА	Частота единичного усиления, МГц	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Время переключения, нс	Перекрестное затухание, дБ	Примечание
				мин	макс							
LMH6570	2:1	SOIC	I	±3	±6	10/1	75	700	2200	15	80	
LMH6572	3×2:1	SOIC	I	±3	±6	23/2	80	360	1400	15	90	K=2
LMH6574	4:1	SOIC, TSSOP	I	±3	±6	10/1	75	700	2200	15	80	

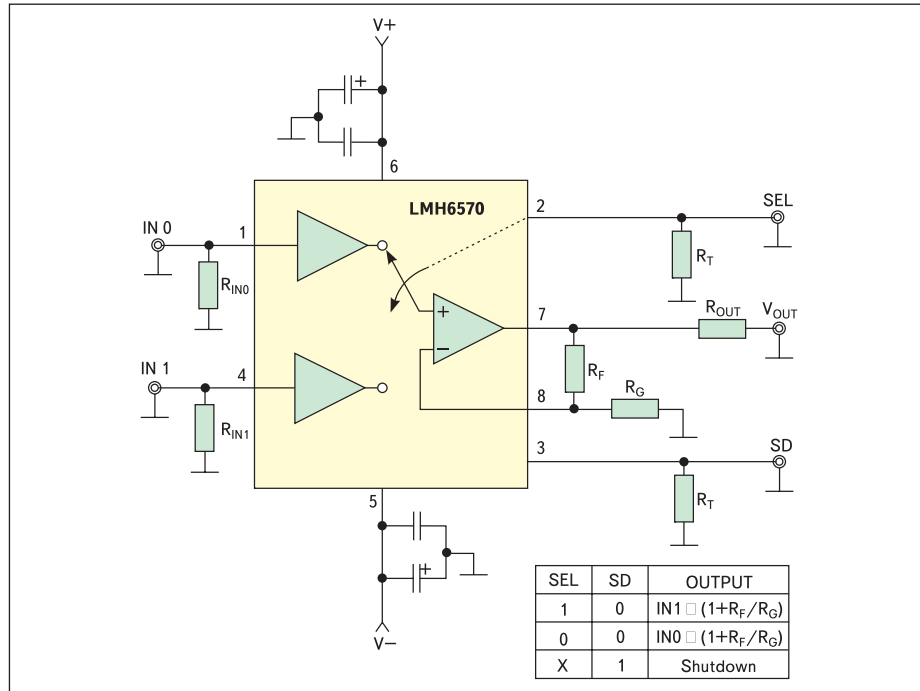


Рис. 3. Структура и типовая схема включения мультиплекса LMH6570 и таблица его состояний

выходного напряжения, нелинейным искажениям и шумам, что позволяет использовать их в различных устройствах обработки и усиления видеосигналов, мониторах, многоканальных АЦП, аппаратуре телевидения высокой четкости и др. Как и все операционные усилители National Semiconductor, ориентированные на видеоприменения, ОУ микросхем LMH6470/2/4 обеспечивают минимальные значения специфических для видеосигналов искажений типа «дифференциальное усиление» и «дифференциальная фаза» [3].

Структура и типовая схема включения мультиплекса LMH6570 и таблица его состояний приведены на рис. 3. Управление работой мультиплекса производится стандартными логическими уровнями на контактах SEL и SD.

Во многих схемах электропитания и других устройствах часто используются операционные усилители вместе с источниками опорного напряжения (ИОН). National Semiconductor выпускает несколько комбинированных микросхем, содержащих два и более ОУ с фиксированным или регулиру-

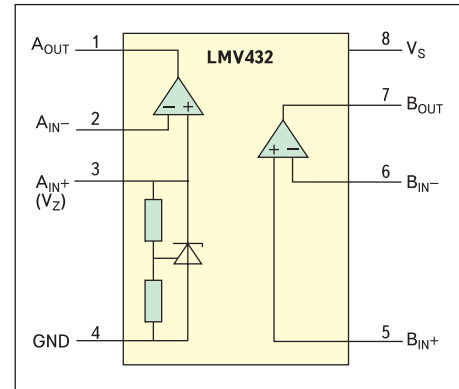


Рис. 4. Структура микросхемы LM432

емым ИОН. Для примера рассмотрим микросхему LM432, состоящую из двух операционных усилителей, аналогичных популярному LM358, и источника фиксированного опорного напряжения 2,5 В с выходным током до 10 мА и нестабильностью не более 4 мВ в диапазоне температур от 40 до +85 °С. Структура микросхемы приведена на рис. 4. Диапазон ее применений может быть самым разнообразным — простейшие линейные стабилизаторы напряжения, устройства ШИМ импульсных преобразователей и др.

Аналоговые компараторы

В ассортименте продукции National Semiconductor имеется также большое число интегральных аналоговых компараторов, производством которых с большим успехом фирма занимается уже много лет. В частности, представленная в 1970 году серия компараторов с однополярным питанием LM139/239/339 оказалась настолько удачной, что ее модификации LM193/293/393/2903 и другие выпускаются и в настоящее время несколькими фирмами в разных странах.

Наряду с общими для операционных усилителей параметрами для компараторов весьма важным является время переключения (Response Time) — промежуток времени от начала сравнения входных напряжений до момента, когда выходное напряжение достигает соответствующего логического уров-

Таблица 4. Основные параметры современных аналоговых компараторов National Semiconductor

Тип	Корпус	Количество в корпусе	Диапазон температур	Напряжение питания, В		Потребляемый ток/в режиме отключения, мкА	Время переключения, мкс	Выходной ток, мА	Напряжение смещения, мВ	Входной ток, нА	Входное напряжение, В		Rail to Rail	Примечание
				мин	макс						мин	макс		
LM193/293/393/2903 LM139/239/339/2901/3302	SOIC, MCAN, PDIP, CDIP, microSMD	2/4	C, I, E	2,0	36	250	0,3	16	1	25	0	3,5	—	Общего применения. Выход ОК
LMV331/393/339	SOIC, SOT23, SC70, MSOP, TSSOP	1/2/4	I	2,7	5,5	50	0,3	16	2	10	-0,1	4,2	—	То же. Низковольтный
LP339	SOIC, PDIP	4	C	3,0	32	15	8,0	30	2	2,5	0	3,5	—	То же. Микромощный
LMC7211/21	SOIC, SOT23	1	I	2,7	15	7,0	4,0	30	3	0,00004	-0,3	5,3	Вход и выход	КМОП. Выход 2Т/ОС
LMC7215/25	SOIC, SOT23	1	I	2,0	8,0	0,7	12	30	1	0,000005	-0,3	5,3	Вход и выход	То же. Ультрамикромощный
LMV7235/39	SOT23, SC70	1	I	2,7	5,5	65	0,045	60	1	30	-0,2	5,2	Вход и выход	БиКМОП. Выход 2Т/ОС
LMV7219	SOT23, SC70	1	I	2,7	5,0	1100	0,007	30	1	450	-0,2	4,0	Выход	То же. Высокоскоростной
LMV7211/72/75/91	SOT23, SC70, microSMD	1/2	I	1,8	5,0	10	1,1	35	0,3	10	-0,1	5,0	Вход и выход	То же. Низковольтный
LMV761/2	SOIC, SOT23, MSOP	1/2	E	2,7	5,5	225/0,2	0,12	60	0,2	0,0002	-0,3	3,8	Выход	Прецизионный. Выход 2Т. Отключение

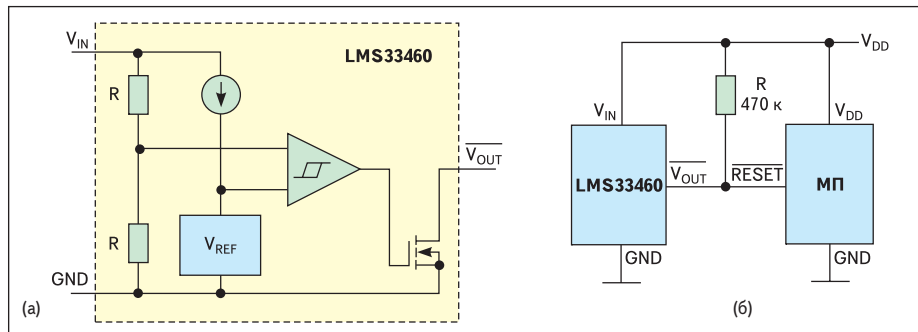


Рис. 5. Структура микросхемы детектора спада напряжения питания LMS33460 (а) и его типовая схема включения (б)

ня. Современные низковольтные компараторы обычно выполняются по технологии BiCMOS, которая позволяет совместить высокое быстродействие и низкий уровень шумов с малым энергопотреблением, а также получить выходное напряжение, близкое к напряжению питания. Как и операционные усилители, компараторы можно условно разделить на универсальные или общего применения, быстродействующие, микроомощные, с выходом Rail to Rail, прецизионные и т. п., причем для их маркировки National Semiconductor использует ту же систему, что и для операционных усилителей. Основные параметры современных компараторов National Semiconductor при напряжении питания 5 В приведены в таблице 4.

Семейство универсальных компараторов, приведенное в первой строке таблицы, выполнено по биполярной технологии с выходом в виде открытого коллектора (ОК), работоспособно в широком диапазоне напряжений питания (как двухполярного, так и однополярного) и по выходному напряжению совместимо с различными типами цифровых логических устройств: TTL, CMOS, ECL и др. Новейшие компараторы семейства выполнены в миниатюрных корпусах microSMD и предназначены для использования в портативных устройствах с автономным питанием.

Компараторы LMV331/393/339 — это низковольтный вариант предыдущего семейства, выполненный по технологии BiCMOS. Они позиционируются для применения в устройствах с однополярным питанием от 2,7 до 5 В.

Счетверенный микроомощный компаратор LP339 выполнен по биполярной технологии и предназначен для применения совместно с логическими устройствами CMOS в широком диапазоне напряжений питания. Примечательно, что величина потребляемого одним компаратором тока (15 мкА) от напряжения питания не зависит.

Микроомощные CMOS-компараторы LMC7211 с двухтактным выходом (2Т) и LMC7221 с выходом в виде открытого стока (ОС) выпускаются в миниатюрных корпусах SOT23 и предназначены для применения в различных портативных устройствах — ноутбуках,

мобильных телефонах и т. д. Еще большей экономичностью обладают аналогичные компараторы LMC7215 и LMC7225 с потребляемым током всего 0,7 мкА. Эти компараторы имеют вход и выход Rail to Rail и предназначены для использования в схемах с режимом ожидания.

Последние разработки компараторов National Semiconductor выполнены по технологии BiCMOS и отличаются уникальным сочетанием различных параметров. Современные универсальные компараторы LMV7235/39 обеспечивают время переключения 45 нс при потребляемом токе 65 мкА. Высокоскоростной вариант LMV7219 имеет время переключения 7 нс, а низковольтные модификации LMV7271/2/5 и LMV7291 работоспособны при напряжении питания 1,8 В. Четкое переключение компараторов при сравнении медленно меняющихся входных сигналов гарантируется внутренним гистерезисом схемы. Все компараторы серии LMV72xx выпускаются в миниатюрных корпусах.

Прецизионные одиночный и сдвоенный CMOS-компараторы LMV761/2 отличаются весьма малыми величинами напряжения смещения и входного тока при сравнительно высоком быстродействии. Компаратор LMV761 имеет режим отключения (Shutdown), при котором потребляемый ток снижается до 0,2 мкА, а выход компаратора переходит в высокоимпедансное состояние. Время перехода в рабочий режим не превышает 4 мкс. Отметим, что по техническим условиям для этих микросхем неиспользуемый вывод отключения SD нельзя оставлять свободным, а следует соединить его с положительным выводом питания.

В ассортименте продукции National Semiconductor имеется ряд комбинированных микросхем на основе аналоговых компараторов. Это, например, детектор спада напряжения питания LMS33460, формирующий активный (нулевой) уровень при снижении напряжения питания устройства до 3 В. Структура микросхемы LMS33460 и типовая схема ее включения приведены на рис. 5.

В состав микросхемы LMS33460, выполненной в миниатюрном корпусе SC70-5, входит прецизионный ИОН, компаратор с гистерезисом и выходной каскад с открытым стоком. Диапазон входных напряжений микросхемы — 0,8–7 В, величина потребляемого тока

не превышает 1 мкА, при этом время переключения в активное состояние составляет 70 мкс.

Выбор нужного ОУ

Для сокращения затрат времени на выбор и тестирование операционных усилителей National Semiconductor создала удобную онлайн-технологии Amplifiers Made Simple, являющуюся частью программной оболочки WEBENCH, размещенной на сайте фирмы. Новое интерактивное средство имеет мощную систему поиска, позволяющую быстро и точно находить нужный компонент среди массы других изделий, каждое из которых обладает множеством разнообразных электрических характеристик.

На первом этапе Amplifiers Made Simple дает возможность выбрать оптимальный тип операционного усилителя, соответствующий требованиям пользователя. Затем производится поиск ОУ среди изделий фирмы National Semiconductor, в результате чего выявляются операционные усилители, наилучшим образом подходящие для решения данной конкретной задачи. Как и все прочие инструментальные средства семейства WEBENCH, Amplifiers Made Simple является абсолютно бесплатным. Различные инструменты семейства интегрированы друг с другом, что создает дополнительные удобства для пользователя.

Благодаря средству Amplifiers Made Simple разработчику электронных устройств больше нет необходимости производить трудоемкие расчеты схем и дорогостоящее физическое макетирование. Технология обеспечивает мгновенный доступ к самым последним SPICE-моделям, параметрам и иной информации об операционных усилителях National Semiconductor, а также позволяет пользователю проводить сравнение характеристик нескольких устройств одновременно. Компания National Semiconductor гарантирует поставку любых поддерживаемых средствами WEBENCH продуктов в течение 24 часов.

Широкая номенклатура и невысокая стоимость интегральных операционных усилителей National Semiconductors, а также возможность онлайн-выбора делает их весьма привлекательными для широкого круга разработчиков РЭА. Информацию по рассмотренным операционным усилителям, а также другим компонентам производства компании National Semiconductor вы можете найти по адресу <http://promelec.ru/lines/nsc.html> или на сайте производителя www.national.com. ■

Литература

1. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом «Додэка-XXI». 2005.
2. National Analog Products Databook. 2004 Edition.
3. Штрапенин Г. Л. Быстродействующие операционные усилители фирмы National Semiconductor // Chip News. 2003. № 10.