

# Новое семейство прецизионных усилителей компании National Semiconductor

Статья представляет собой обзор нового семейства прецизионных усилителей, выпускаемых компанией National Semiconductor с начала 2006 года. Их производство основано на использовании современных патентованных достижений компании в области КМОП-технологии и новейших схемотехнических разработках, которые в ряде случаев не имеют аналогов. Рассматривается номенклатура микросхем нового семейства усилителей, их основные параметры, особенности схемотехники и сферы применения.

Павел МИХАЛЕВ

## Введение

С начала 2006 года компания National Semiconductor приступила к серийному производству нового семейства микросхем усилителей с префиксом LMP™. Микросхемы реализованы на основе новейших разработок компании в области КМОП-схемотехники ряда узлов, а также технологии их производства.

Микросхемы данного семейства отличаются высокая точность широкой номенклатуры реализуемых параметров, что выгодно отличает их от сходных микросхем других производителей. Применение КМОП-технологии при реализации выходных и части входных каскадов этих устройств позволили получить схемотехнические решения усилительных каскадов, обладающих линейной амплитудной характеристикой в пределах полного диапазона напряжений источников питания. Схемотехника таких каскадов и усилителей на их основе относится к категории Rail-to-Rail и обеспечивает применение низковольтных источников питания при возможности получения значительного по величине максимального неискаженного выходного напряжения.

Данное семейство микросхем сейчас включает в себя 12 типов, которые можно разделить на четыре группы:

1. Высокопрецизионные операционные усилители (ОУ) с Rail-to-Rail выходом.
2. Прецизионные операционные усилители с Rail-to-Rail выходом и расширенным диапазоном питающих напряжений.
3. Прецизионные малошумящие операционные усилители с расширенной полосой пропускания.
4. Прецизионные дифференциальные усилители напряжения с фиксированным коэффициентом усиления.

Рассмотрим параметры и свойства микросхем данного семейства по указанным группам.

## 1. Высокопрецизионные операционные усилители (ОУ) с Rail-to-Rail выходом

Данная группа микросхем содержит три типа ОУ [1, 2], которые обладают беспрецедентной точностью и стабильностью при умеренной стоимости. Их основные параметры приведены в таблице 1.

При производстве данных ОУ используются специальные методы для измерения и непрерывной коррекции величины напряжения входного смещения. Результатом этого является получение ОУ, которые обладают ультравысокой стабильностью входных параметров по времени и температуре.

Эти ОУ в полной степени относятся к категории высокопрецизионных по ряду характеристик. В частности, это касается напряжения смещения, КОСС, коэффициента ослабления влияния нестабильности источников питания (КОНИП), предельно низких значений температурного и временного дрейфа. Следует отметить, что использование специальных методов построения схемотехники каскадов, особенно входных, позволило практически полностью исключить шумы типа 1/f. Это обеспечивает возможность построения на основе таких ОУ высококачественных измерительных систем, способных при минимальных погрешностях, вызванных шумами, работать в режиме УПТ. Все ОУ полностью сохраняют работоспособность и свои

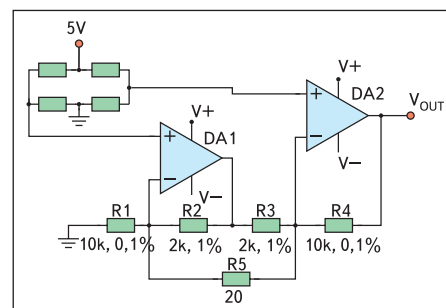


Рис. 1. Схема прецизионного тензометрического усилителя

паспортные параметры в широком температурном диапазоне от  $-40$  до  $+125$  °С.

ОУ требуют двухполярного источника питания. При этом диапазон изменения питающих напряжений, определяемый величиной  $V_S = V^+ - V^-$ , достаточно широк и составляет 2,7–5,25 В. Кроме того, ОУ обладают малым током потребления при относительно широкой полосе единичного усиления порядка 3 МГц.

Область их применения достаточно широка: от высокоточных инструментальных усилителей традиционной структуры, активных RC-фильтров до прецизионных измерительных систем типа измерителей температуры, давления и входных усилителей для АЦП.

В качестве характерного примера использования ОУ в измерительных системах на рис. 1 приведена схема с мостовым включением тензодатчика.

Таблица 1. Параметры высокопрецизионных операционных усилителей с Rail-to-Rail выходом

Тип	Число ОУ в корпусе	$e_{см}$ , мкВ	КОСС, дБ	Усилен., дБ	Част. един. усил., МГц	$e_{ш}$ , нВ/ $\sqrt{Гц}$	$V_S$ , В	$I_{S1}$ , мА	КОНИП, дБ	Темпер. дрейф $e_{см}$ , мкВ/°С	Врем. дрейф $e_{см}$ , мкВ/мес	Корпус (тип-выв.)
LMP2011	1	0,8	130	130	3	35	2,7–5,25	0,919	120	0,015	0,006	SOT23-5 SOIC-8
LMP2012	2	0,8	130	130	3	35	2,7–5,25	1,838	120	0,015	0,006	MSOP-8 SOIC-8
LMP2014MT	4	0,8	130	130	3	35	2,7–5,25	3,676	120	0,015	0,006	TSSOP-14

Данная схема обеспечивает высокий коэффициент усиления, равный 1006, при очень малых значениях смещения и дрейфа. Особенность приведенной схемы при указанных значениях точности исполнения резисторов состоит в том, что она обеспечивает КОСС = -108 дБ при значении КОСС собственно микросхемы усилителя -130 дБ.

## 2. Прецизионные операционные усилители с Rail-to-Rail выходом и расширенным диапазоном питающих напряжений

В категорию данных усилителей входят три типа [3]. По своей схемотехнической идеологии они вполне могут быть отнесены к разряду ОУ. Их реализация основана на КМОП-технологии. При этом входные и выходные каскады этих усилителей построены по схемотехнике Rail-to-Rail.

Основные параметры усилителей данной группы приведены в таблице 2.

Эти усилители требуют двухполярного источника питания и характеризуются широким диапазоном допустимых питающих напряжений, который составляет  $V_S = V^+ - V^- = 2,7 \dots 12$  В. При этом гарантируется сохранение всех основных паспортных параметров усилителей. Температурный диапазон работы усилителей составляет от -40 до +125 °С.

Особо следует отметить шумовые параметры усилителей данной группы. Спектральная мощность шумового напряжения составляет всего 9 нВ/√Гц, а шумового тока — лишь 1 фА/√Гц. Это исключительно высокие показатели, которые позволяют использовать данные усилители для построения сверхточных измерительных интерфейсов разного назначения, прецизионных инструментальных усилителей, малошумящих активных RC-фильтров, различных устройств для мобильной аппаратуры, БУ для ЦАП.

Специфика схемотехники входных каскадов с их уникальными параметрами (по величине  $e_{CM}$  и входного тока смещения) приводит к наличию значительной входной емкости, величина которой составляет 25 пФ. Это обстоятельство требует использования в целом ряде случаев введения компенсирующей емкости для устранения возможного самовозбуждения. Такая емкость включается параллельно резистору обратной связи (рис. 2).

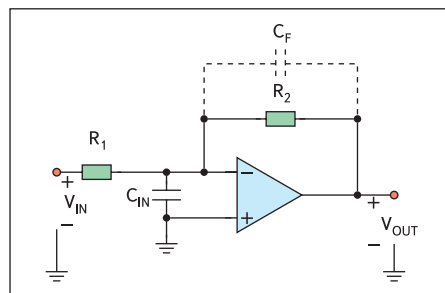
Величина компенсирующей емкости  $C_F$  составляет от 1 до 5 пФ, что обеспечивает практически полную компенсацию входной емкости  $C_{IN}$ . Кроме того, влияние  $C_{IN}$  можно значительно уменьшить за счет выбора величины резистора  $R_1$ , исходя из следующей оценки:

$$R_1 < \frac{(1-A_V)^2}{2A_0 A_V C_{IN}}, \quad (1)$$

где  $A_0$  — коэффициент собственно усилителя;

**Таблица 2.** Параметры прецизионных операционных усилителей с Rail-to-Rail выходом и расширенным диапазоном питающих напряжений

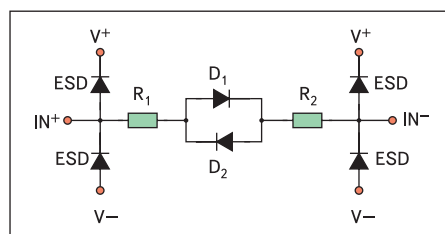
Тип	Число ОУ в корпусе	$e_{см}$ , мкВ	$I_{см}$ , фА	КОСС, дБ	Усил., дБ	Част. един. усил., МГц	$e_{ш}$ , нВ/√Гц	$I_{ш}$ , фА/√Гц	$I_{S2}$ , мА	КОНИП, дБ	КНИ+шум, %	Корпус (тип-выв.)
LMP7701	1	±37	±200	138	130	2,5	9	1	0,67	98	0,02	SOT23-5
LMP7702	2	±56	±200	138	130	2,5	9	1	1,4	98	0,02	MSOP-8
LMP7704	4	±56	±200	138	130	2,5	9	1	2,9	98	0,02	TSSOP-14



**Рис. 2.** Схема компенсации входной емкости

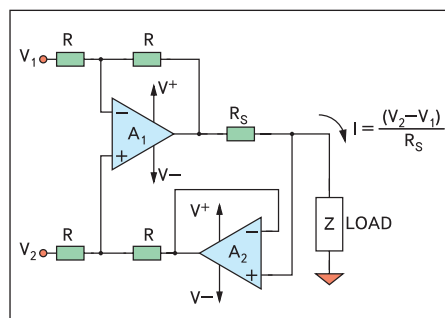
$$A_V = -(R_2/R_1). \quad (2)$$

Реализация входных каскадов на КМОП-структурах, обеспечивая высокое качество входных параметров, требует мер защиты этих каскадов от перенапряжений и статических зарядов. С этой целью на входе усилителей данной группы включена дополнительная цепь защиты на встречно параллельных диодах (рис. 3).



**Рис. 3.** Входная цепь защиты микросхем LMP77xx

Высокая степень прецизионности параметров усилителей данной группы обеспечивает реализацию устройств различного назначения. В качестве примера на рис. 4 приведена схема высокопрецизионного источника тока, выполняемая на основе двух микросхем данной группы.



**Рис. 4.** Схема прецизионного источника тока

Уравнение для выходного тока данной схемы имеет вид:

$$\frac{V_2 R}{R+R} + \frac{(V_0 - I R_S) R}{R+R} = \frac{V_1 R}{R+R} + \frac{V_0 R}{R+R}. \quad (3)$$

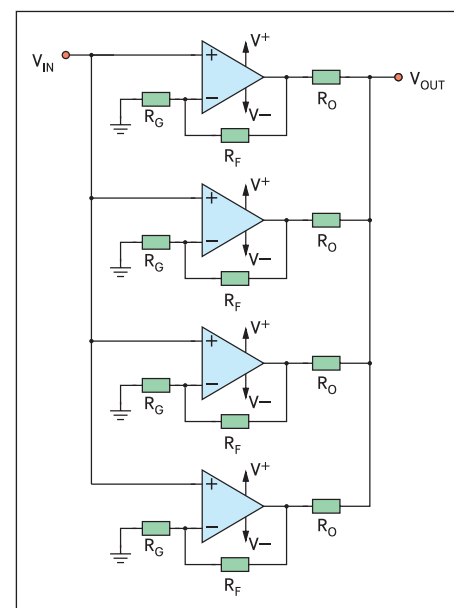
Решая это уравнение относительно I, получим:

$$I = (V_2 - V_1)/R_S. \quad (4)$$

Отмеченные выше высококачественные шумовые параметры данных микросхем позволяют проектировать на их основе малошумящие усилители с большим коэффициентом усиления. При этом возникает необходимость использования достаточно высокоомных резисторов в цепи отрицательной обратной связи, что может привести к неудовлетворительным шумовым характеристикам усилителя. Для улучшения шумовых параметров проектируемого усилителя используют параллельное включение нескольких каскадов (рис. 5). Шумы такого усилителя уменьшаются во столько раз, сколько представляет собой корень квадратный из числа включенных параллельно усилителей:

$$e_{ш.усил.} = \frac{1}{\sqrt{N}} e_n, \quad (5)$$

где  $e_n$  — шум одного каскада;  $N$  — число каскадов, включенных параллельно.



**Рис. 5.** Схема усилителя с уменьшенным значением шума

### 3. Прецизионные малошумящие операционные усилители с расширенной полосой пропускания

Данная группа включает в себя 4 микросхемы, отличающиеся количеством усилителей в корпусе и корпусным исполнением [4, 5]. Основные параметры микросхем приведены в таблице 3.

Микросхемы представляют собой прецизионные малошумящие усилители, которые по совокупности параметров могут быть отнесены к категории входных. Их входные каскады выполнены по КМОП-технологии, а выходные — по схемотехнике Rail-to-Rail.

Схемотехника входных каскадов обеспечивает величину входного тока смещения всего 100 фА и уровень входного шумового напряжения 5,8 нВ/√Гц при напряжении смещения  $e_{СМ} = \pm 150$  мкВ. Даже только эти параметры определяют идеальность данных усилителей для целого ряда прецизионных приложений.

Микросхемы работают от двухполярного источника питания и характеризуются широким диапазоном допустимых питающих напряжений, который составляет  $V_S = V^+ - V^- = 1,8 \dots 5,5$  В. При этом гарантируется сохранение всех основных паспортных параметров усилителей. Температурный диапазон работы усилителей составляет от  $-40$  до  $+125$  °С.

При токе потребления всего 1,15 мА усилители данной группы обладают полосой единичного усиления 17 МГц. Коэффициент нелинейных искажений (КНИ) вместе с шумом составляет величину всего 0,001% для всех микросхем данной группы.

Схемотехника выходных каскадов, выполненная по идеологии Rail-to-Rail, с учетом малых уровней питающих напряжений, определяет уникальные возможности применения данных усилителей в различной мобильной аппаратуре. Однако следует отметить, что применение их в качестве буферных (со 100%-ной обратной связью) не допускает использования больших емкостных нагрузок. В случае необходимости работы БУ на большие емкостные нагрузки используют прием отделения такой нагрузки от выхода усилителя с помощью дополнительного резистора (рис. 6).

Специфика схемотехники входных каскадов, аналогичная микросхемам второй группы, приводит к появлению паразитной вход-

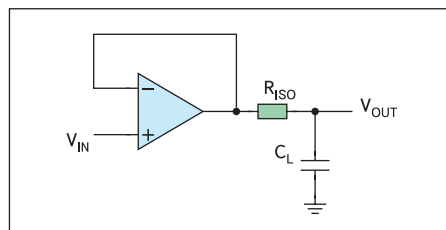


Рис. 6. Метод отделения большой емкостной нагрузки

Таблица 3. Параметры прецизионных малошумящих операционных усилителей с расширенной полосой пропускания

Тип	Число усил. в корпусе	$e_{СМ}$ , мкВ	Темпер. дрейф $e_{СМ}$ , мкВ/°С	$I_{СМ}$ , фА	$e_{ш}$ , нВ/√Гц	$I_{ш}$ , фА/√Гц	КОСС, дБ	КНИП, дБ	Усил., дБ	Част. един. усил., МГц	$V_S$ , В	$I_{СД}$ , мА	Корпус (тип-выв.)
LMP7711	1	$\pm 20$	-1	$\pm 100$	5,8	10	100	100	107	17	1,8–5,5	1,15	TSOT23-6
LMP7712	2	$\pm 20$	-1,75	$\pm 100$	5,8	10	100	100	107	17	1,8–5,5	1,30	MSOP-10
LMP7715	1	$\pm 20$	-1	$\pm 100$	7,0	10	100	100	107	17	1,8–5,5	1,15	SO23-5
LMP7716	2	$\pm 20$	-1,75	$\pm 100$	7,0	10	100	100	107	17	1,8–5,5	1,30	MSOP-8

ной емкости и необходимости ее компенсации такими же средствами (рис. 2).

Усилители данной группы могут использоваться в качестве трансимпедансных усилителей (преобразователей ток/напряжение) при реализации прецизионных измерительных систем с датчиками тока на входе. На рис. 7 приведена схема измерителя освещенности, использующая в качестве датчика светочувствительный диод.

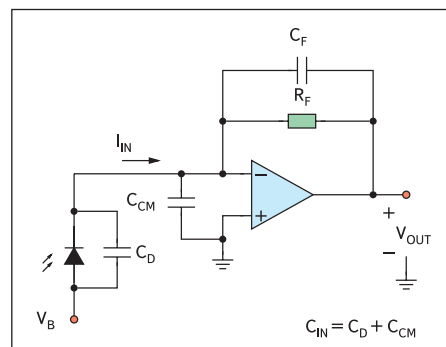


Рис. 7. Схема измерителя освещенности — трансимпедансного усилителя

Передаточный импеданс схемы определяется величиной резистора обратной связи:

$$R_F = V_{OUT} / I_{IN} \quad (6)$$

Входная емкость, как показано на рис. 7, включает в себя дифференциальную входную емкость усилителя ( $C_{СМ}$ ) и паразитную емкость диода ( $C_D$ ). Для ее компенсации параллельно резистору обратной связи включают компенсирующую емкость  $C_F$ , величина которой определяется следующим соотношением:

$$C_F = \sqrt{\frac{C_{IN}}{2\pi f_1 R_F}}, \quad (7)$$

где  $f_1$  — частота единичного усиления усилителя.

В зависимости от конкретных значений  $C_{IN}$  и  $R_F$  величина  $C_F$ , определенная по формуле (7), может быть меньше 2 пФ. Для преодоления этого на практике рекомендуется использовать модифицированную схему трансимпедансного усилителя (рис. 8).

Для данной схемы (рис. 8) при условии  $R_A \ll R_F$  увеличенное значение компенсирующей емкости определяется следующим выражением:

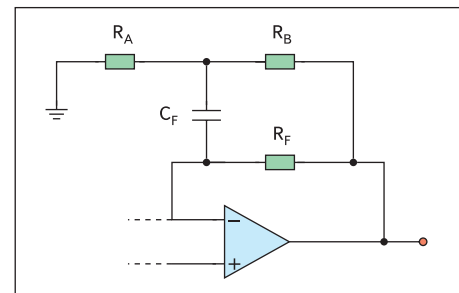


Рис. 8. Модифицированная схема трансимпедансного усилителя

$$C'_F = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) C_F \quad (8)$$

Для иллюстрации возможных применений усилителей данной группы на рис. 9 приведена схема прецизионного двухполупериодного выпрямителя с высокой степенью линейности характеристик.

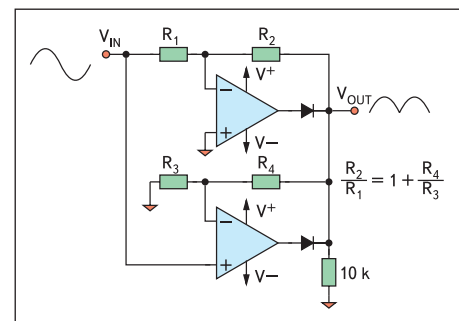


Рис. 9. Схема прецизионного двухполупериодного выпрямителя

### 4. Прецизионные дифференциальные усилители напряжения с фиксированным коэффициентом усиления

При построении специализированных измерительных систем и следящих систем контроля и управления различными устройствами, включая силовые, возникает проблема, связанная с тем, что такие следящие системы должны работать в присутствии сильных синфазных помех, в частности, при больших величинах напряжения постоянного тока. Кроме того, такие системы должны обладать высокопрецизионными входными параметрами для минимизации ошибок управляющих сигналов и повышения общей точности систем управления. По этой причине целый ряд

**Таблица 4.** Параметры прецизионных дифференциальных усилителей напряжения с фиксированным коэффициентом усиления

Тип	$\epsilon_{см},$ мВ	Темпер. дрейф $\epsilon_{см},$ мкВ/°С	$R_{вх.сиг},$ кОм	$R_{вх.диф.},$ кОм	КОСС на пост. токе, дБ	КОСС на переем. токе, дБ	Полоса пропуск., кГц	$\epsilon_{ш},$ нВ/√Гц	Корпус (тип-выв.)	Примечание
LMP8270	±0,25	±6	200	400	103	95	80	452	SOIC-8	
LMP8271	±0,25	±6	200	400	103	95	80	452	SOIC-8	Двунаправл.
LMP8272	±0,25	±6	200	400	97	95	80	486	SOIC-8	
LMP8275	±0,25	±6	200	400	103	95	80	452	SOIC-8	
LMP8276	±0,25	±6	200	400	103	78	80	452	SOIC-8	Двунаправл.
LMP8277	±0,25	±6	200	400	97	95	80	486	SOIC-8 MSOP-8	

широко известных инструментальных усилителей с дифференциальным входом не могут использоваться для реализации систем управления, предназначенных для работы в подобных условиях.

Данная группа микросхем, включающая в себя 6 типов [6, 7, 8, 9, 10, 11], представляет особый интерес именно в связи с отмеченными обстоятельствами. По своей идеологии данные микросхемы представляют собой высокоточные инструментальные усилители с дифференциальным входом и фиксированным коэффициентом усиления, способные работать при наличии на входе уровней синфазных воздействий постоянного тока (CMVR) от  $-2$  В до  $+27$  В. При допущении определенных ограничений на точности реализуемых параметров верхняя граница уровня синфазных воздействий постоянного тока возрастает до  $+36$  В. При этом КОСС составляет на постоянном токе не менее  $-100$  дБ, а на переменном токе — не менее  $-95$  дБ.

Основные параметры микросхем данной группы приведены в таблице 4.

Все усилители данной группы реализованы по единой структурной схеме (рис. 10), которая отличается от структуры традиционных инструментальных усилителей. Напряжение питания — однополярное, величиной от  $+4,75$  до  $+5,5$  В при предельно низком для таких усилителей токе потребления  $1$  мА. Температурный диапазон работы усилителей составляет от  $-40$  до  $+125$  °С.

Фиксированное значение коэффициента усиления обеспечивается двумя каскадами A1 и A2, которые не имеют внутренней связи между собой. Наличие внешних выводов для

выхода A1 и входа A2 обеспечивает дополнительные возможности различного включения микросхем. В частности, если требуется определенная полоса пропускания, между этими выводами может быть включена RC-цепь, которая совместно с усилителем A2 реализует ФНЧ второго порядка с положительной обратной связью (рис. 11).

Методика расчета таких фильтров достаточно полно изложена в [12]. При расчете следует учесть, что коэффициент усиления собственно фильтра имеет фиксированную величину, равную 2.

Если необходимо иметь меньшее значение общего коэффициента усиления между каскадами, можно организовать резистивный делитель напряжения на основе внутреннего резистора  $R_1$  и внешнего  $R_G$  (рис. 12).

Новая величина коэффициента усиления определяется простым соотношением:

$$A_{0\text{NEW}} = \frac{A_0 R_G}{R_G + 100 \text{ кОм}}, \quad (9)$$

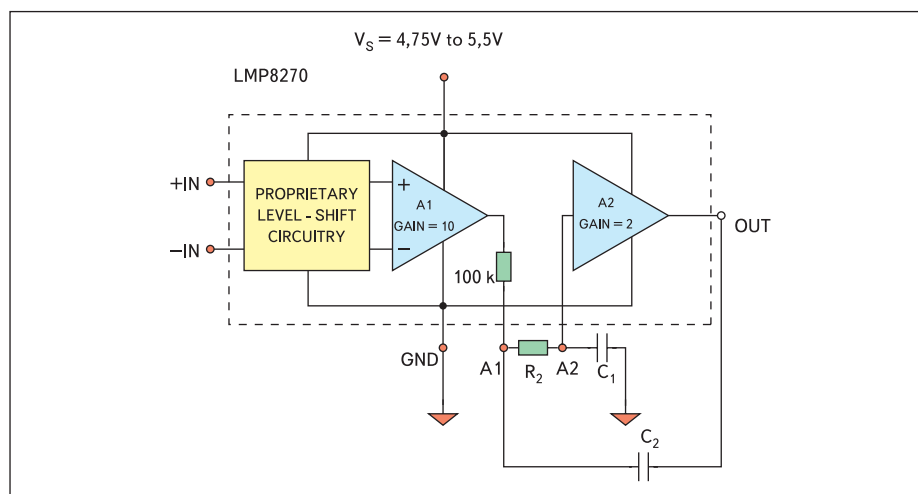
где  $A_0 = 14$  или  $20$  в зависимости от типа усилителя.

Указанные возможности касаются микросхем всех типов данной группы, которые отличаются друг от друга лишь значением коэффициента первого каскада —  $A_1 = 10$  для LMP8270/8271/8275/8276 и  $A_1 = 7$  для LMP8282/8277.

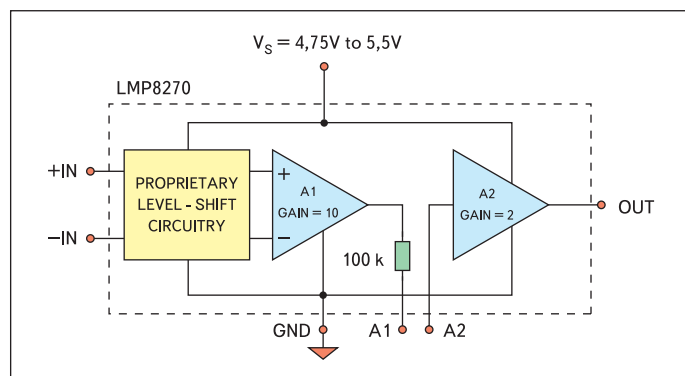
Отличительной особенностью структуры микросхем является входной каскад сдвига уровней (Level-Shift Circuitry), выполненный по специальной схмотехнике и обеспечивающий высокую прецизионность входных параметров. При этом общий уровень напряжения смещения на выходе микросхемы минимизируется за счет подстройки каскада A1 таким образом, чтобы напряжение смещения на его выходе было равно по величине и обратно по знаку напряжению смещения на входе каскада A2.

Типовое включение микросхем с токовым контуром на входе показано на рис. 13.

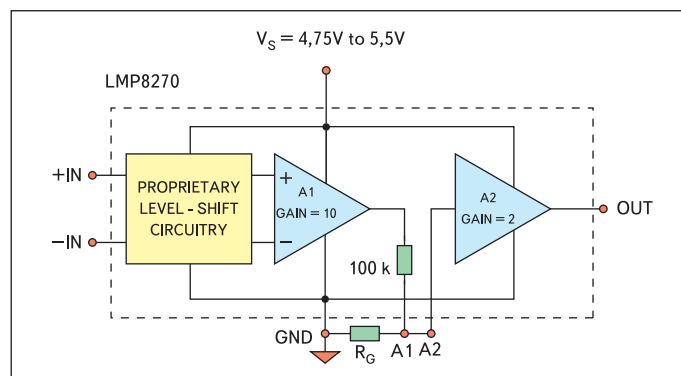
Величина сопротивления резистивного датчика  $R_{\text{SENSE}}$  может составлять  $10$  Ом при контурном токе до  $20$  мА.



**Рис. 11.** Реализация ARC-ФНЧ 2-го порядка на основе A2



**Рис. 10.** Структурная схема дифференциальных усилителей



**Рис. 12.** Схема с уменьшенным коэффициентом усиления

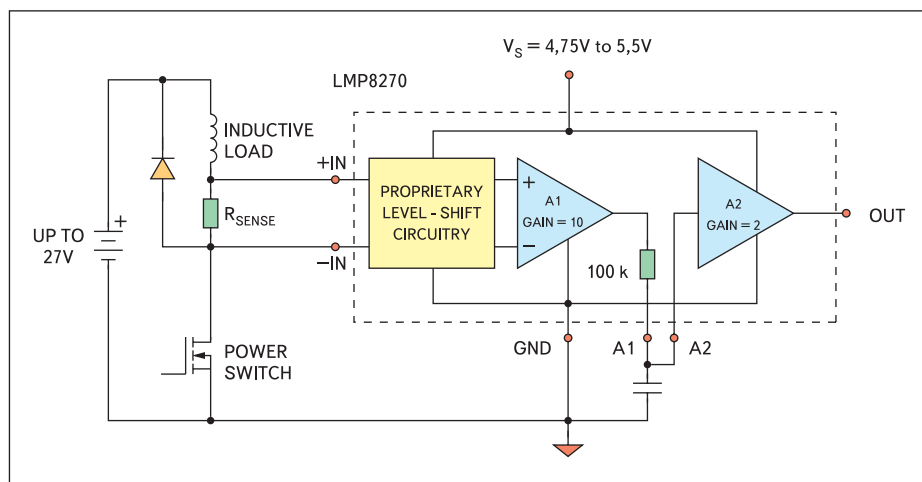


Рис. 13. Типовое включение микросхем с токовым контуром на входе

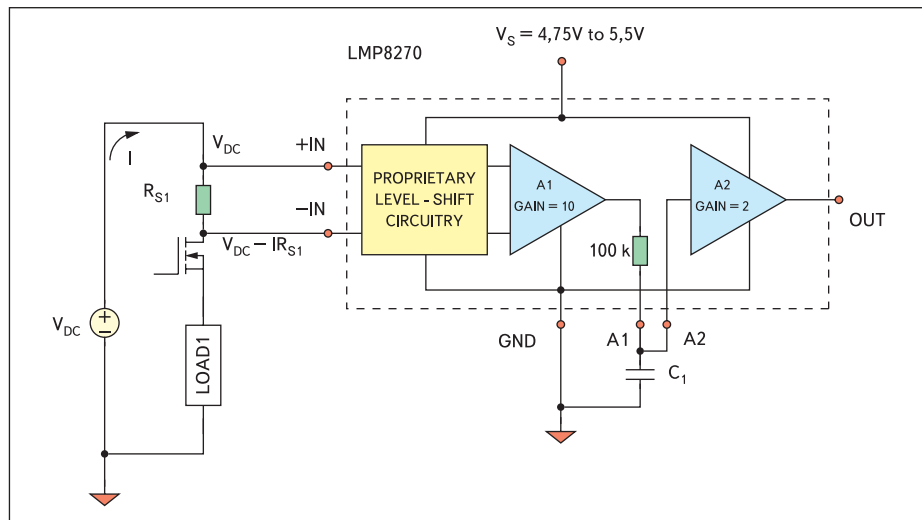


Рис. 14. Схема верхнего включения резистивного датчика

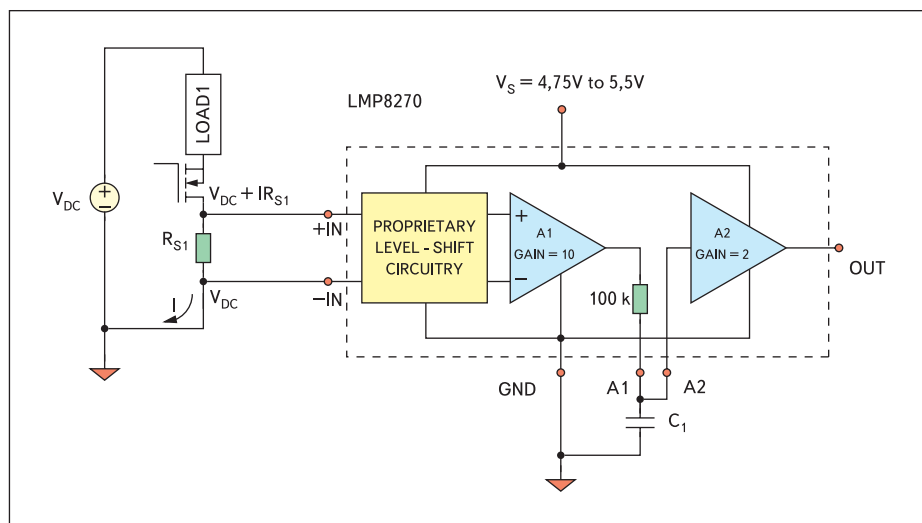


Рис. 15. Схема нижнего включения резистивного датчика

При управлении нагрузкой индуктивного типа (электродвигатель, соленоид и тому подобное) часто используют сигналы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). С этой

целью в петле рабочего контура присутствует управляющий элемент, который представляет собой силовой ключ, выполненный на мощном полевом транзисторе (power switch)

(рис. 13). При этом возможны разные варианты включения ключа, нагрузки и резистивного датчика. В зависимости от расположения силового ключа коммутация может осуществляться как в верхнем, так и в нижнем плече. Это определяет соответствующий вариант включения резистивного датчика, подключаемого к входу дифференциального усилителя.

Первый — верхнее (по отношению к силовому ключу) включение резистивного датчика (High Side Current Sensing) (рис. 14).

Преимуществом данной схемы включения является простота управления силовым ключом. Отметим, что при открытом управляющем транзисторе синфазный сигнал на входе усилителя будет практически равен напряжению источника питания силового контура  $V_{DC}$  и даже превышать его. Однако дифференциальные усилители данной группы идеально приспособлены к работе в таких условиях.

Второй вариант — нижнее (по отношению к силовому ключу) включение резистивного датчика (Low Side Current Sensing) (рис. 15). В этом случае при замкнутом ключе (открытом управляющем транзисторе) синфазный сигнал на входе усилителя будет приблизительно равен потенциалу «земли».

Отмеченные свойства касаются всех микросхем группы и расширяют возможности их применения.

Из данной группы микросхем дифференциальных усилителей особо следует выделить две микросхемы — LMP8271 и LMP8276, которые относятся к категории двунаправленных (bidirectional). Эти схемы допускают работу в системах слежения при любом направлении тока рабочего контура.

В целом параметры, свойства и особенности применения этих микросхем аналогичны уже рассмотренным усилителям. Однако их структура имеет отличительную особенность, а именно — схему установки напряжения смещения (Mid-Rail Offset Adjustment Schematic). Рассмотрим структурную схему этих усилителей, которая приведена на рис. 16.

Эта схема содержит дополнительный внешний вывод, обозначенный offset (на корпусе это вывод 7). Он предназначен для настройки напряжения смещения в среднее положение, что и обеспечивает двунаправленность работы данных усилителей. График, поясняющий настройку, приведен на рис. 17.

Если вывод 7 подключен к «земле» (к шине нулевого потенциала), тогда усилитель работает при положительных входных сигналах (при положительном направлении протекания тока через резистивный датчик).

При подключении вывода 7 к источнику питания  $V_S$  выход усилителя смещается на величину  $0,5 V_S$ , и усилитель реагирует как на положительные, так и на отрицательные сигналы.

Подключение вывода 7 к произвольному источнику напряжения  $V_X$  смещает выход усилителя на величину, равную половине  $V_X$ . В результате имеется возможность установки любой величины напряжения смещения

где  $A_0 = 14$  или  $20$  в зависимости от типа усилителя.

## Заключение

Данная статья представляет собой краткий обзор параметров и отличительных свойств нового семейства прецизионных усилителей производства компании National Semiconductor. Высокая точность параметров всех усилителей данного семейства обеспечивается применением оригинальных схемотехнических решений и последних достижений в области технологии производства твердотельных микросхем, что является несомненным достижением компании, являющейся одним из мировых лидеров в разработке и производстве самых разнообразных по функциональным возможностям аналоговых микросхем.

Уникальные параметры и свойства усилителей данного семейства позволяют применять их в различных приложениях, далеко выходящих за рамки рекомендаций компании. Усилители первых двух групп весьма привлекательны для реализации на их основе высокоточных инструментальных усилителей, различных измерительных систем, разнообразных устройств для мобильной аппаратуры, активных RC-фильтров и многих других приложений. Усилители третьей группы идеально подходят для реализации преобразователей «ток–напряжение», то есть могут использоваться как трансимпедансные усилители. Низкий уровень собственных шумов обеспечивает эффективное их использование в качестве входных усилителей особо точных измерительных систем.

Дифференциальные усилители (четвертая группа), которые ориентированы производителем на применение в электронных системах управления распределенным впрыском топлива для автомобильных двигателей, могут с успехом использоваться практически в любых системах контроля и управления силовых устройств различного назначения.

Подробное рассмотрение возможностей применения данного семейства усилителей выходит далеко за рамки данного обзора и является предметом отдельных статей.

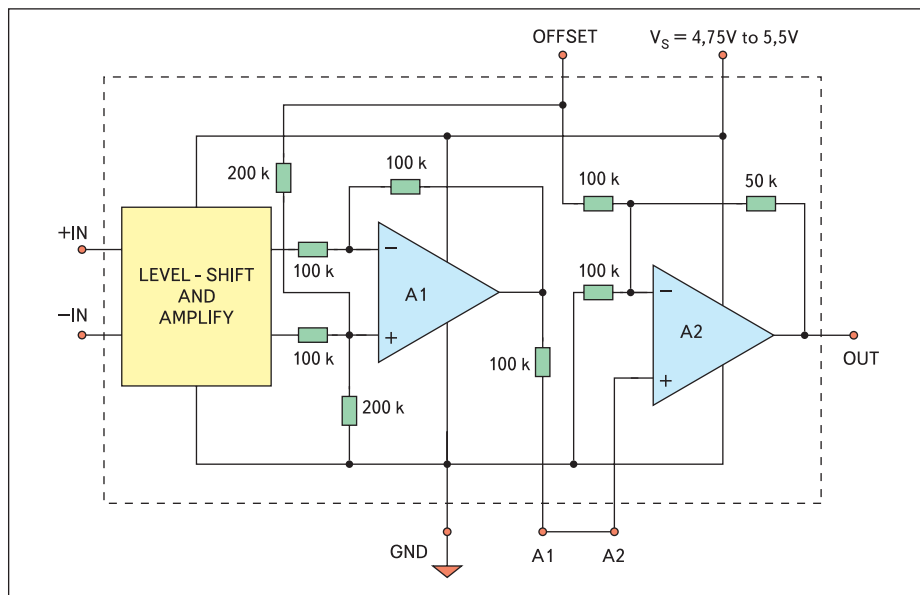


Рис. 16. Структурная схема двунаправленных дифференциальных усилителей

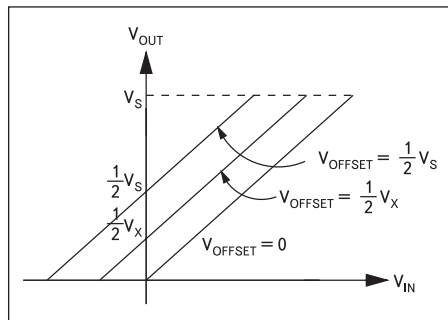


Рис. 17. График напряжения смещения в среднем положении

на выходе усилителя в зависимости от конкретных требований решаемой задачи.

Отметим, что на входе схемы присутствует каскад сдвига уровня, который, кроме того, обладает некоторым усилением до входа каскада A1. Общее усиление этих двух каскадов равно 10. Выходное напряжение каскада A1 определяется следующим соотношением:

$$V_{OUT}(A_1) = 10(V_{IN}^+ - V_{IN}^-) + 0,5(V_{OFFSET}). \quad (10)$$

Выходное напряжение каскада A2 есть:

$$V_{OUT}(A_2) = 0,5(V_{OFFSET}) + 2(V_{OUT}(A_1) - 0,5(V_{OFFSET})). \quad (11)$$

Таким образом, выходное напряжение усилителя, равное выходному напряжению каскада A2, описывается следующим соотношением:

$$V_{OUT}(A_2) = 20(V_{IN}^+ - V_{IN}^-) + 0,5(V_{OFFSET}). \quad (12)$$

Вывод 7 всегда должен быть подключен к «земле» или какому-то источнику. В про-

тивном случае режим работы усилителя не будет определен.

Следует полагать, что все микросхемы данной группы имеют детализированную структуру вида, представленного на рис. 16, за исключением схемы установки напряжения смещения. В этой связи в дополнение к схеме с уменьшенным коэффициентом усиления (рис. 12) следует рассмотреть возможность включения усилителей с увеличенным коэффициентом усиления (рис. 18).

В этой схеме внешний резистор  $R_G$  совместно с внутренним резистором  $100 \text{ кОм}$ , подключенным к выходу каскада A1, образуют цепь положительной обратной связи для каскада A2. Эта обратная связь частично компенсирует внутреннюю отрицательную обратную связь каскада, что приводит к увеличению его коэффициента усиления и в итоге — к увеличению коэффициента усиления усилителя в целом. Его величина при этом определяется следующим соотношением:

$$A_{0\text{NEW}} = \frac{A_0 R_G}{R_G - 100 \text{ кОм}}, \quad (13)$$

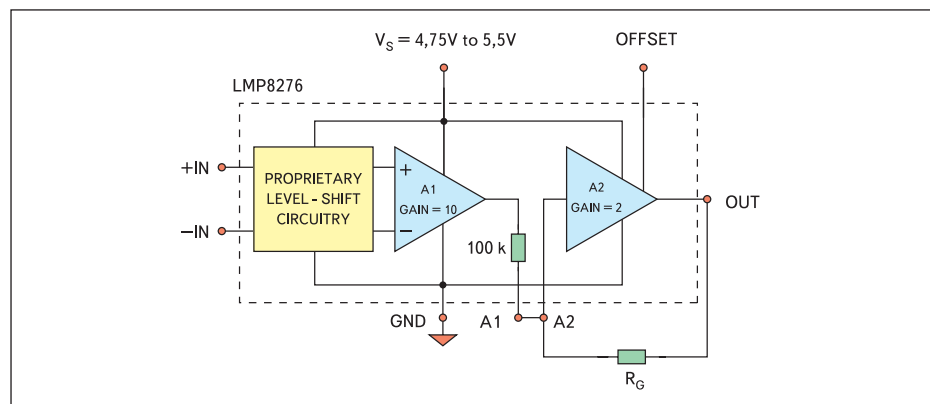


Рис. 18. Схема с увеличенным коэффициентом усиления

Следует отметить, что приведенная здесь классификация усилителей отражает субъективный взгляд автора на данное семейство и использована для удобства организации и компоновки материала.

Остается только надеяться, что данная статья поможет разработчикам по достоинству оценить новую продукцию компании и будет полезной при ориентации и рациональном выборе элементной базы. ■

## Литература

1. LMP2011 Single/LMP2012 Dual High Precision, Rail-to-Rail Output Operational Amplifier. Data Sheet DS200715, February 2006.
2. LMP2014MT Quad High Precision, Rail-to-Rail Output Operational Amplifier. Data Sheet DS201329, July 2005.
3. LMP7701/LMP7702/LMP7704 Precision, CMOS Input, RRIO, Wide Supply Range Amplifiers. Data Sheet DS201273, May 2006.
4. LMP7711/LMP7712 Single and Dual Precision, 17 MHz, Low Noise, CMOS Input Amplifiers. Data Sheet DS201503, July 2006.
5. LMP7715/LMP7716 Single and Dual Precision, 17 MHz, Low Noise, CMOS Input Amplifiers. Data Sheet DS201836, May 2006.
6. LMP8270 High Common Mode, Gain of 20, Precision Voltage Difference Amplifier. Data Sheet DS201307, September 2006.
7. LMP8271 High Common Mode, Gain of 20, Bidirectional Precision Voltage Difference Amplifier. Data Sheet DS201506, September 2006.
8. LMP8272 High Common Mode, Gain of 14, Precision Voltage Difference Amplifier. Data Sheet DS201507, September 2006.
9. LMP8275 High Common Mode, Gain of 20, Precision Voltage Difference Amplifier. Data Sheet DS201487, September 2006.
10. LMP8276 High Common Mode, Gain of 20, Bidirectional Precision Voltage Difference Amplifier. Data Sheet DS201308, September 2006.
11. LMP8277 High Common Mode, Gain of 14, Precision Voltage Difference Amplifier. Data Sheet DS201309, September 2006.
12. Джонсон Д., Джонсон Дж., Мур Г. Справочник по активным фильтрам. М.: Энергоатомиздат. 1983.