

Мощные операционные усилители

компании Apex Microtechnology

Постоянное расширение сфер применения устройств силовой электроники привело к активному распространению мощных операционных усилителей. Возрастающие уровни выходной мощности при отчетливой тенденции уменьшения габаритов приборов требуют непрерывного усовершенствования методов проектирования и производства силовой аппаратуры. Содействовать решению данной задачи могут сверхмощные операционные усилители компании Apex Microtechnology, отличающиеся рекордными показателями выходного напряжения и тока.

Константин Верхулевский

info@icquest.ru

Введение

Операционные усилители (ОУ) являются одними из наиболее распространенных электронных компонентов, широко используемых в современных схемах формирования и преобразования информационных сигналов различного назначения — как в аналоговой, так и в цифровой технике. На фоне этого изобилия разработчику сложно сделать оптимальный выбор микросхемы для конкретного приложения. Операционные усилители характеризуются большим числом параметров, значения которых варьируются в широких пределах в зависимости от предъявляемых к ОУ требований. Выпускаемые промышленностью ОУ постоянно совершенствуются. Однако улучшить все параметры одновременно технически невозможно (не говоря уже о нецелесообразности подобных действий из-за стоимости полученного решения). Решение проблемы выбора предполагает определение нескольких ключевых параметров, критичных для разрабатываемого изделия, и, тем самым, ограничение списка возможных вариантов до разумных пределов. Это оправданно, так как в различных сферах применения от ОУ требуется высокое значение того или иного параметра, но не всех сразу. Исходя из этого, можно разделить все ОУ на различные типы в зависимости от назначения: низковольтные, маломощные, прецизионные, с малым энергопотреблением, быстродействующие, высоковольтные.

Особое место занимают мощные усилители. Разработка мощных операционных усилителей стимулировалась необходимостью создания приборов для высоковольтного испытательного оборудования, сочетающих высокое напряжение, точность и быстродействие. Высокие энергетические показатели, значительные уровни рассеиваемой

мощности требуют специального подхода как на стадии проектирования, так и на стадии производства. Силовые ОУ сочетают в себе обширные возможности аналоговых устройств и уникальные технологии производства. Признанным мировым лидером в области разработки силовых аналоговых компонентов является компания Apex Microtechnology.

Номенклатура электронных компонентов компании включает в себя мощные ОУ, ШИМ-усилители и прецизионные источники опорного напряжения [1]. Компоненты Apex спроектированы для коммерческого и военного применений, используются в промышленных системах управления технологическими процессами, в аэрокосмических устройствах, системах вооружений, аппаратуре связи и сбора данных, оптических и медицинских приборах, компьютерном и коммуникационном оборудовании. Инновационные интегральные гибридные схемы и модули отличаются высокой надежностью и предназначены для работы в системах управления электроприводом, для питания пьезопреобразователей, в источниках питания с программным управлением, в высоковольтных драйверах и в других мощных устройствах, требующих прецизионного управления. Само предприятие сертифицировано по стандарту менеджмента качества ISO 9001, а его продукция — по американскому военному стандарту MIL-PRF-38534 класса Н. Отметим ряд ключевых особенностей, свойственных для всей продукции, выпускаемой компанией Apex Microtechnology:

- уникальные технические характеристики;
- низкая стоимость мощности;
- высокая долговременная надежность;
- малый вес и габариты;
- доступность средств отладки и технической поддержки.

Семейство мощных ОУ Apex Microtechnology

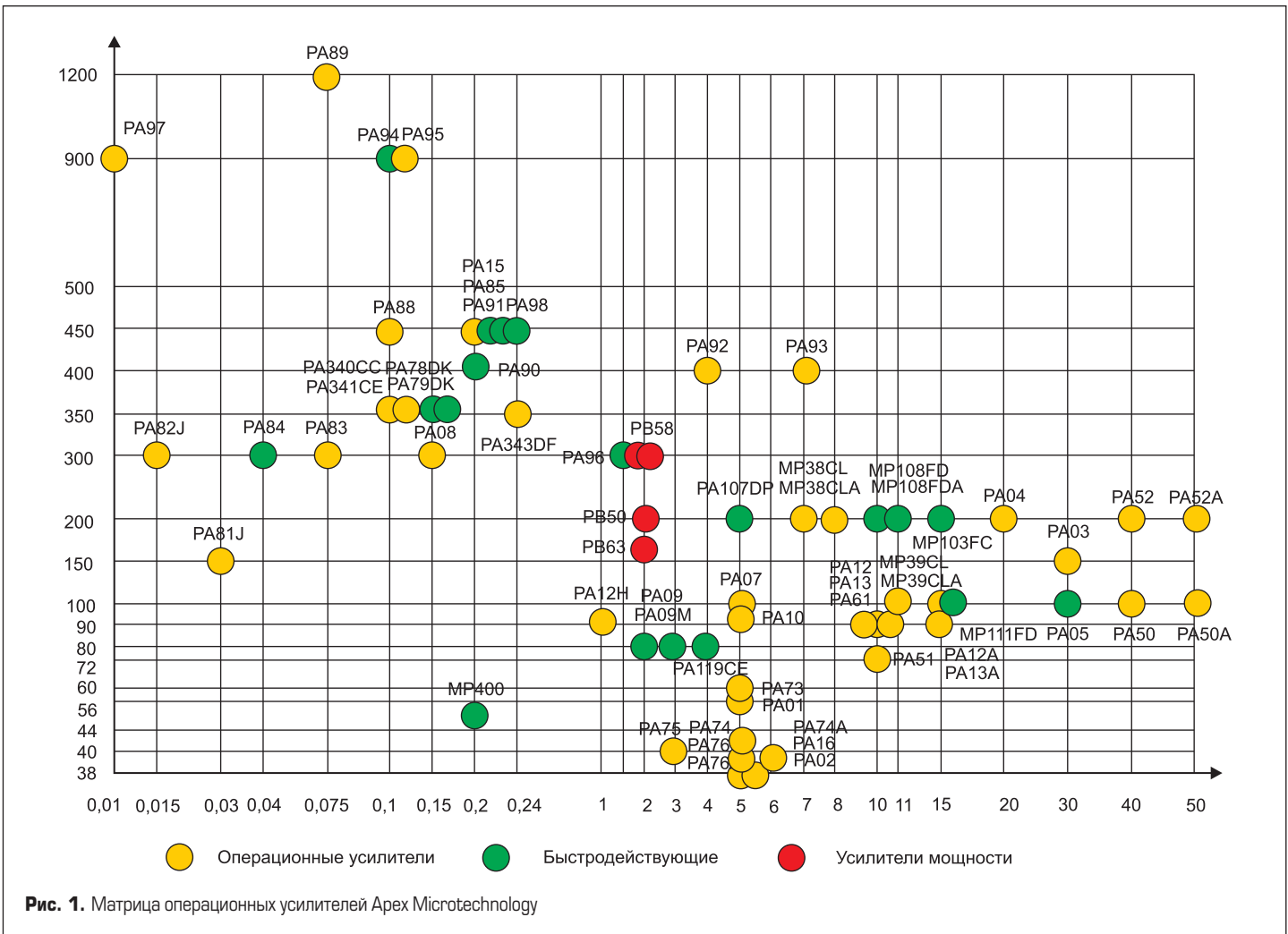
Уникальные по своим параметрам высоковольтные и сильноточные усилители составляют наиболее обширную группу компонентов компании (таблица). Более 60 моделей в монолитном и гибридном исполнении, а также в виде устройств с открытой струк-

турой (Open Frame) позволяют сократить время разработки и сроки вывода готового изделия на рынок. Высокофункциональные устройства с выходным током до 50 А, напряжением питания до 1200 В и скоростью нарастания выходного напряжения до 3000 В/мкс способны функционировать в жестких условиях окружающей среды и при температурах $-55...+125^{\circ}\text{C}$ [2].

На рис. 1 представлены доступные в настоящее время ОУ Apex, отдельно отмечены быстродействующие усилители и усилители мощности. Разделение на различные типы достаточно условное. Так, например, усилитель PA85 с выходным напряжением 450 В и скоростью нарастания выходного напряжения 1000 В/мкс можно отнести и к высоковольтным, и к быстродействующим.

Таблица. Номенклатура операционных усилителей компании Apex Microtechnology

Модель	Напряжение питания (макс.), В	Выходной ток (макс.), А	Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	Ток потребления в режиме ожидания (макс.), мА	Рассеиваемая мощность (макс.), Вт	Тип корпуса	Примечание	
PA01	56	5	2,6	50	67	TO-3 (8 выводов)		
PA02	38	5	20	40	48			
PA03	150	30	8	300	500			
PA04	200	20	50	90	200	MO-127 (12 выводов)		
PA05	100	30	100	120	250		Высокоскоростной	
PA07	100	5	4	30	67	TO-3 (8 выводов)		
PA08	300	0,15	30	8,5	17,5			
PA09	80	2	200	85	78		Высокоскоростной	
PA09M	80	3	200	85	78			
PA10	90	5	3	30	67			
PA12	90	10	4	50	125			
PA12A	100	15	4	50	125			
PA12H	90	1	4	100	6			
PA13	90	10	4	50	135			
PA13A	90	15	4	50	135		SIP-12	
PA15	450	0,2	20	3	30	POWER SIP (10 выводов)		
PA16	38	5	20	40	62,5	POWER SIP (12 выводов)		
PA50	100	40	50	36	400	MO-127 (12 выводов)		
PA50A	100	50	50	36	400			
PA51	72	10	2,6	10	97	TO-3 (8 выводов)		
PA52	200	40	50	36	400	MO-127 (12 выводов)		
PA52A	200	50	50	36	400			
PA61	90	10	2,8	10	97	TO-3 (8 выводов)		
PA73	60	5	2,6	5	67			
PA74	40	5 (2 канала по 2,5 А)	1,4	40	36/60			
PA74A	40	6 (2 канала по 3 А)	1,4	40	36/60			
PA75	40	3 (2 канала по 1,5 А)	1,4	10	19/28		TO-220 (7 выводов), DDPACK (7 выводов)	
PA76	40	5 (2 канала по 2,5 А)	1,4	40	36/60			
PA76A	40	6 (2 канала по 3 А)	1,4	40	36/60		TO-3 (8 выводов)	
PA78DK	350	0,15	350	2,5	23	PSOP (20 выводов)	Высокоскоростной	
PA79DK	350	0,15	350	2,5	26			
PA81J	150	0,03	20	8,5	11,5	TO-3 (8 выводов)		
PA82J	300	0,015	20	8,5	11,5			
PA83	300	0,075	30	8,5	17,5			
PA84	300	0,04	180	7,5	17,5			
PA85	450	0,2	1000	25	30		Высокоскоростной	
PA88	450	0,1	30	2	15			
PA89	1200	0,075	30	6	40		MO-127 (12 выводов)	
PA90	400	0,2	300	14	30	POWER SIP (12 выводов)	Высокоскоростной	
PA91	450	0,2	300	14	30			
PA92	400	4	50	14	80	POWER SIP (8 выводов)	Высокоскоростной	
PA93	400	8	50	14	125			
PA94	900	0,1	700	24	30	TO-3 (8 выводов)	Высокоскоростной	
PA95	900	0,1	30	2,2	30			
PA96	300	1,5	250	18	83	TO-3 (8 выводов)		
PA97	900	0,01	8	1	5	SIP-7		
PA98	450	0,2	1000	25	30	POWER SIP (12 выводов)	Высокоскоростной	
PA107DP	200	5	3000	35	60			
PA119CE	80	4	900	120	78	TO-3 (8 выводов)		
PA162DK	40	4 (4 канала по 1 А)	1,4	20	45	PSOP (20 выводов)		
PA340CC	350	0,12	30	2,2	14	DDPAK (7 выводов)		
PA341CE	350	0,12	30	2,2	12	TO-3 (8 выводов), PSOP (24 вывода), SIP-10		
PA343DF	350	0,24 (2 по 0,12 А)	30	2,2	12	PSOP (24 вывода)		
MP38CL	200	7	63	24	125	DIP-30		
MP38CLA	200	8	63	24	125			
MP39CL	100	10	10	24	125			
MP39CLA	100	11	10	24	125			
MP103FC	200	15	180	26	54		DIP-42	
MP108FDA	200	11	170	65	100	DIP-34	Высокоскоростной	
MP108FD	200	10	170	65	100			
MP111FD	100	15	130	157	170			
MP400	50	0,2	350	2,5	14,2	DIP-42		
PB50	200	2	100	25	35	TO-3 (8 выводов)	Высокоскоростной, усилитель мощности	
PB51	300	1,5	100	18	83	POWER SIP (12 выводов)		
PB58	300	1,5	250	35	70	TO-3 (8 выводов)		
PB63	175	2	1000	20	35	POWER SIP (12 выводов)		



Поэтому окончательный выбор необходимо делать, исходя из технических характеристик изделия, требуемых для решения конкретной задачи.

Мощные ОУ характеризуются высокой экономичностью (малый ток покоя), широким диапазоном напряжений питания, высоким значением выходного тока, высокой линейностью (работа в классе АВ). Для разработчиков доступны микросхемы с четырьмя уровнями качества, которые определяются исходя

из диапазона рабочих температур и перечня квалификационных испытаний. В соответствии с этим все усилители делятся на высоконадежные, коммерческого, промышленного и военного применения. Вся продукция изготавливается на одних и тех же производственных линиях. Основные области их применения — высоковольтная аппаратура:

- системы электростатического отклонения;
- электростатические преобразователи;
- программируемые источники питания;

- питание систем пьезоэлектрического позиционирования;
- управление приводами бортовой и наземной аппаратуры.

Значительный сегмент линейки мощных ОУ изготавливается в герметичных корпусах (рис. 2). Их отличительной особенностью является использование встроенного медного радиатора для улучшения теплоотвода.

Рассмотрим основные виды предлагаемых ОУ, их основные характеристики и области применения. Итак, линейка мощных операционных усилителей Apex состоит из компонентов следующих типов:

- высоковольтные усилители;
- сильноточные усилители;
- быстродействующие усилители;
- усилители мощности.

Высоковольтные усилители

Большинство ОУ общего назначения рассчитано на напряжение питания до ± 15 В. Однако таких напряжений недостаточно для управления пьезоэлектрическими преобразователями, создания мощных усилителей звуковых частот, высоковольтных генераторов тока или оборудования для тестирования приборов. Для этой цели и предназначены высоковольтные ОУ с полным диапазоном напряжения питания более 100 В при однополярном подключении (или более ± 50 В при двуполярном). Старший предста-

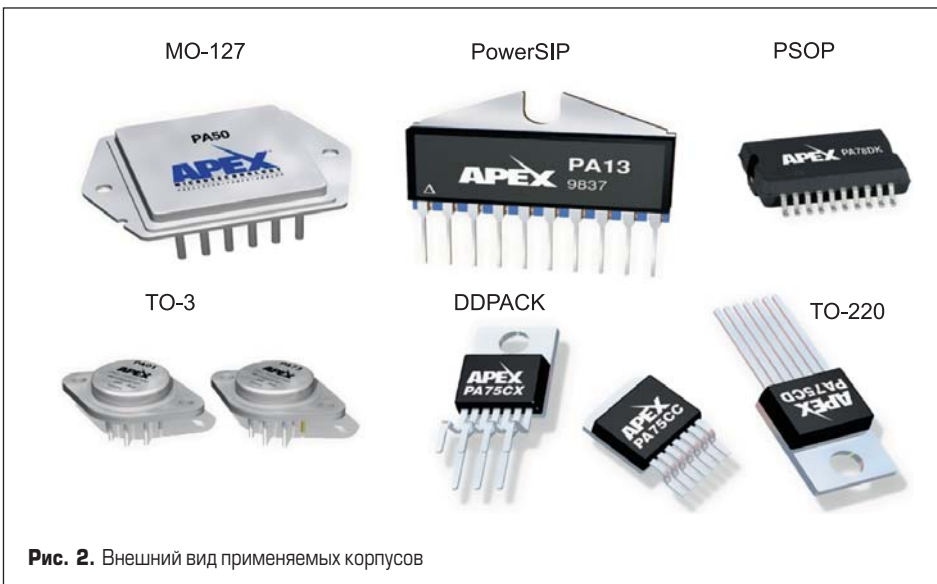


Рис. 2. Внешний вид применяемых корпусов

витель линейки высоковольтных усилителей PA89 и вовсе отличается рекордными показателями 1200 В (или ± 600). Рассмотрим его подробнее. PA89 — сверхвысоковольтный гибридный усилитель с максимальным выходным током 75 мА (100 мА в импульсе) и выходным пиковым напряжением свыше 1000 В (при включении двух PA89 по мостовой схеме свыше 2000 В). Максимальная рассеиваемая мощность 40 Вт (без радиатора при +25 °С), входное дифференциальное напряжение ± 25 В, ток покоя не более 6 мА, диапазон рабочих температур $-55...+125$ °С [3]. Высокая точность достигается благодаря применению каскадной входной цепи и коэффициенту усиления 120 дБ (без обратной связи). Выходной каскад на полевых транзисторах работает в классе АВ. Все внутренние смещения усилителя скомпенсированы встроенными источниками тока на зенеровских полевых транзисторах, что обеспечивает широкий диапазон питающих напряжений с низким уровнем пульсаций.

Усилитель отличается гибкостью применения: при помощи внешних цепей компенсации можно регулировать полосу пропускания и скорость нарастания выходного напряжения. При соответствующем подборе ограничительного резистора усилитель используется со всеми видами нагрузок. PA89 изготавливается в герметичном, электрически изолированном корпусе МО-127, для гарантии долговременной надежности все компоненты проходят 100%-ное тестирование на соответствие требованиям военных стандартов. Использование при производстве гибридной интегральной схемы толсто пленочных резисторов, керамических конденсаторов и полупроводниковых микросхем, расположенных на подложке из оксида бериллия (ВеО), минимизирует размер и повышает эффективность. Сваренные ультразвуком алюминиевые проводники обеспечивают надежное соединение для всего диапазона рабочих температур. После окончания внутреннего монтажа каждая ИС подвергается начальным электрическим и тепловым испытаниям с целью выявления ранних отказов.

Типовым применением этой микросхемы является управление пьезопреобразователями (рис. 3). Для повышения выходного напряжения в два раза без увеличения тока усилителя включаются по мостовой схеме, при этом появляется возможность подавать на пьезоэлемент пиковое напряжение ± 1000 В.

Усилители с высоким выходным током

К силовым относятся приборы, обеспечивающие выходной ток 1–50 А. Основные сферы их применения следующие: драйверы линейных и роторных электродвигателей; управление различными исполнительными механизмами; программируемые источники питания; магнитные системы отклонения (в том числе высокоскоростные); регуляторы мощности переменного и постоянного тока и т. д. В настоящее время Apex Microtechnology производит 37 моделей усилителей, способных удовлетворить требования приложений,

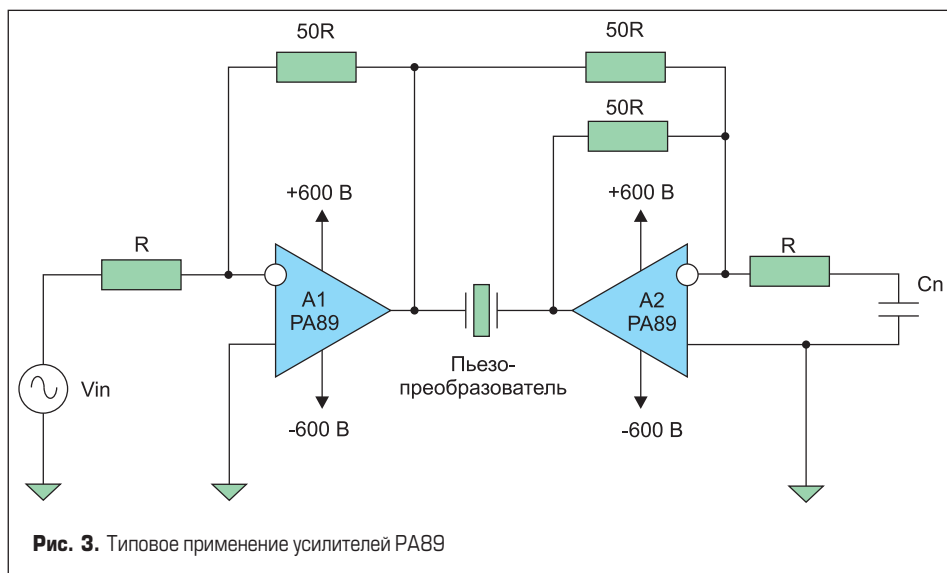


Рис. 3. Типовое применение усилителей PA89

где необходим выходной ток свыше 1 А. Среди гибридных усилителей наибольшим выходным током в 50 А обладают модели PA50A и PA52A [4]. Они имеют одинаковые показатели скорости нарастания выходного напряжения (50 В/мкс) и рассеиваемой мощности (400 Вт), отличаются же напряжением питания (100 В у PA50A и 200 В у PA52A). Данные усилители предназначены для использования в тестирующем оборудовании, применяемом при производстве полупроводников.

Стоит обратить внимание и на PA03 — усилитель с максимальным значением рассеиваемой мощности до 500 Вт. Микросхема с выходным током 30 А и напряжением питания 150 В, выпускаемая в герметически изолированном корпусе МО-127, обладает превосходной теплопроводностью и наличием функции удаленного контроля [5]. Встроенная цепь ограничения выходного тока (на уровне 35 А) и температурный датчик обеспечивают надежное функционирование в области устойчивой работы (SOA). Входная

цепь реализована на основе высокоэффективных полевых транзисторов, изготовленных с применением лазерной подгонки, выходной каскад содержит защитные диоды с быстрым восстановлением. Типовая схема подключения приведена на рис. 4.

Быстродействующие усилители

Согласно классификации Apex Microtechnology, под высокоскоростными ОУ будем понимать те усилители, скорость нарастания выходного напряжения которых превышает 100 В/мкс. Для разработчиков доступны 18 моделей со скоростями от 100 до 3000 В/мкс, напряжениями питания 80–900 В и низким уровнем выходного шума. Старшей моделью в линейке быстродействующих мощных усилителей Apex Microtechnology является PA107DP [6]. Данный усилитель предназначен для управления резистивной, емкостной и индуктивной нагрузками, может работать от источника питания с напряжением до 200 В, характеризуется широкой полосой пропускания 180 МГц

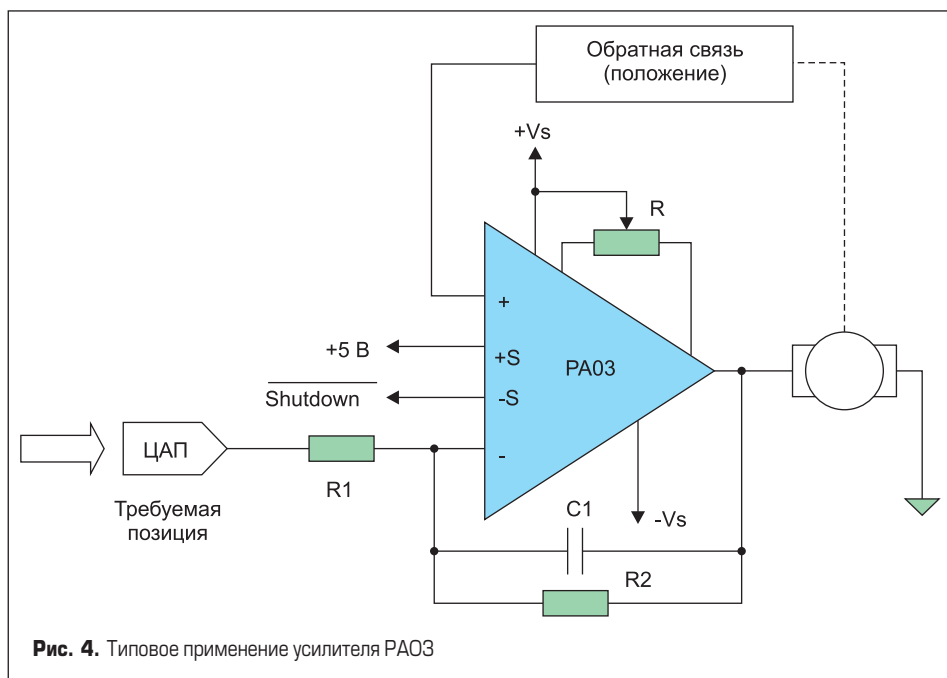


Рис. 4. Типовое применение усилителя PA03

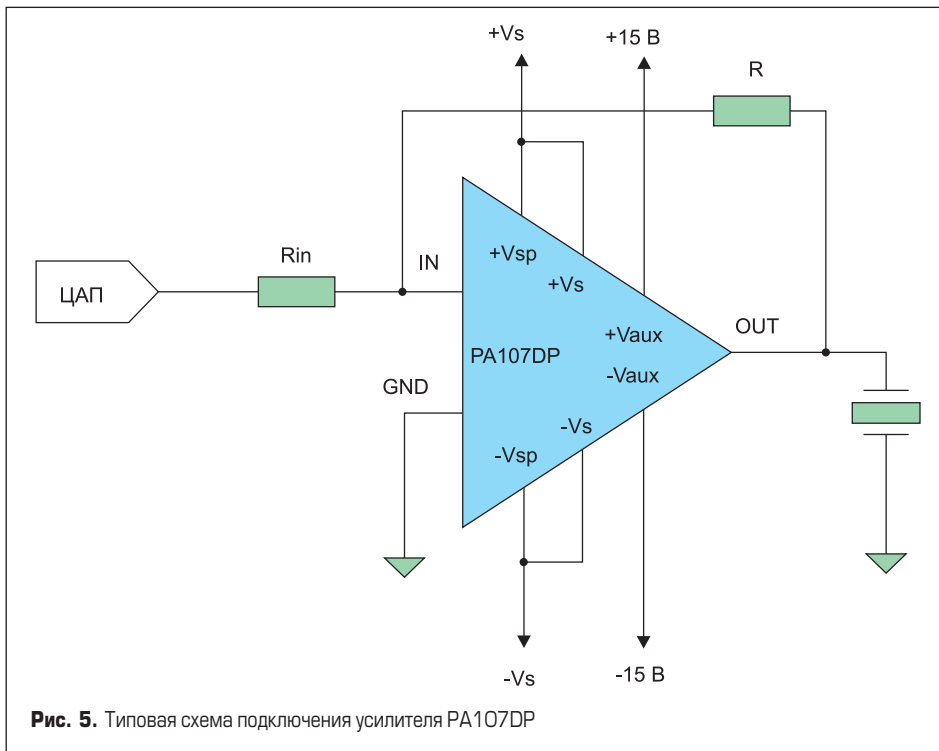


Рис. 5. Типовая схема подключения усилителя PA107DP

и выходным током 1,5 А (до 5 А в импульсе). Для получения хорошей линейности выходной каскад работает в классе АВ. PA107DP хорошо подходит как для управления пьезопреобразователями в медицинском ультразвуковом оборудовании, так и для изготовления программируемых источников питания, используемых в автоматическом испытательном оборудовании (рис. 5). Микросхемы выпускаются в корпусе PowerSIP, занимающем на печатной плате площадь не более 5 см², для обеспечения SOA необходимо использовать радиатор.

Усилители мощности (серия PB)

Для увеличения выходной мощности предназначены компоненты серии PB. Данная группа продукции представляет собой мощные широкополосные буферные

усилители с высокой скоростью нарастания выходного напряжения до 1000 В/мкс, используемые с целью достижения минимального выходного сопротивления усилителя или для корректной работы на нагрузку с высокой емкостью. Возможность соединения ОУ данной серии с малосигнальными ОУ общего назначения, выбранными на усмотрение разработчика, обеспечивает гибкость применения, позволяя производителям настраивать характеристики схемы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конечным решениям. Полученный в результате составной усилитель обладает оптимальной точностью, входным шумом, временем установки рабочего режима, высокой выходной мощностью и делает возможным выполнение разработки без применения более дорогих линеек изделий.

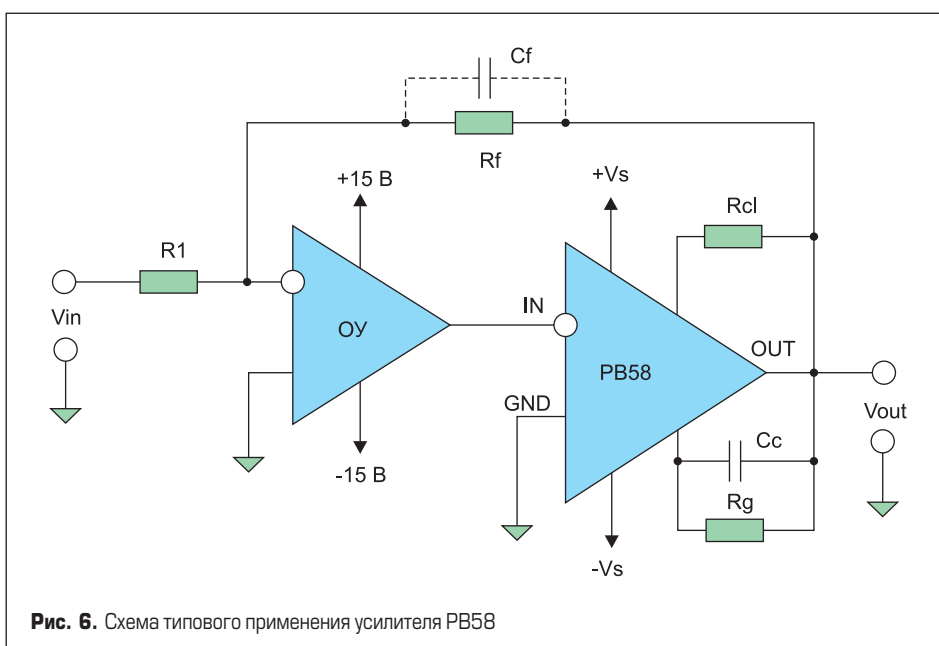


Рис. 6. Схема типового применения усилителя PB58

Серия PB представлена четырьмя компонентами, предназначенными для применения в высоковольтном измерительном оборудовании, источниках питания и электростатических преобразователях. PB50, рассчитанный на напряжение питания 200 В, выходной ток до 2 А и скорость нарастания напряжения 50 В/мкс, изготавливается в герметичном 8-выводном корпусе TO-3 [7]. Максимальной выходной мощностью обладают PB51 и PB58 с выходным током 1,5 А и напряжением питания 300 В. Самый быстродействующий представитель серии — двухканальный усилитель мощности PB63 со временем нарастания 1000 В/мкс, доступный в 12-выводном корпусе PowerSIP. Усилитель PB63 работает при напряжениях питания от ±20 до ±75 В и способен долговременно обеспечивать выходной ток до 2 А. Его двухканальность позволяет создавать печатные платы с высокой плотностью размещения элементов в таких решениях, как сканирующие электронные микроскопы, пьезоэлектрические двигатели печатающих головок промышленных струйных принтеров и программируемые БП испытательного оборудования полупроводников.

Типовая схема подключения буферного усилителя мощности PB58, охваченного совместно с обычным ОУ общей обратной связью, приведена на рис. 6. Усилитель PB58 имеет простой входной каскад на биполярном транзисторе по схеме с ОЭ, каскад усиления напряжения на МОП-транзисторе с общим истоком и выходной каскад на двух комплементарных МОП-транзисторах [8]. Коэффициент усиления PB58 для обеспечения устойчивости и снижения нелинейных искажений ограничивается с помощью внутренней отрицательной обратной связи по напряжению. Изготовитель рекомендует устанавливать усиление в пределах 3–25 внешним резистором Rg. Резистор Rcl предназначен для токовой защиты, а конденсаторы Cf и Cc — для коррекции частотной характеристики.

Также компанией предлагаются бескорпусные усилители серии MP, выпускаемые с целью снижения стоимости продукции. В целом, общее снижение стоимости достигает 75% по сравнению с гибридными компонентами. В настоящее время доступны изделия с напряжением питания 50–200 В и током выхода до 15 А, предназначенные для работы в промышленном диапазоне рабочих температур и являющиеся хорошим



Рис. 7. Внешний вид модуля MP108

выбором для решения задачи управления пьезоэлектрическим преобразователем. Максимальная рассеиваемая мощность достигает величины 170 Вт [9]. Многие приборы оснащены цепями защиты по питанию и защитой от термических перегрузок. Конструктивно модули выполнены в форм-факторе, соответствующем корпусам серии DIP (DIP-30, DIP-34 и DIP-42). Внешний вид на примере усилителя MP108 показан на рис. 7.

Помимо вышерассмотренных компонентов производителем поставляются дополнительные пассивные принадлежности: радиаторы, рассчитанные и изготовленные для конкретных усилителей с целью соблюдения требуемых тепловых режимов работы; термические прокладки; гнездовые разъемы и зажимы. Предоставляемые таблицы выбора радиаторов, исходя из условий температурного сопротивления и применяемого корпуса, помогут провести верный расчет охлаждения.

Продукция компании характеризуется отличной технической поддержкой. Для разработчиков доступен полный комплект технической документации, руководства по применению, оценочные платы для разработки, программы расчетов параметров принципиальных схем и радиаторов, а также Spice-модели. Все это позволяет облегчить проектирование разрабатываемой схемы и ускорить вывод готового продукта на рынок. Помимо официального сайта, вся эта информация доступна для ознакомления на русскоязычном сайте www.apexmicrotech.ru/

Заключение

Компания Apex Microtechnology разработала уникальные по своим параметрам интегральные и гибридные сверхмощные ОУ для различных областей применения. Номенклатура каждого из семейств достаточно широка, чтобы выбрать изделие с требуемым значением ключевого параметра. Использование компонентов компании позволит разработчикам значительно сократить время на разработку, повысить надежность и снизить стоимость проекта в целом.