

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ. ПОВТОРИТЕЛИ И БУФЕРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Андрей Данилов, к.т.н., старший научный сотрудник, Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова

В статье рассматриваются интегральные усилители специального назначения, разработанные и оптимизированные для выполнения определенных задач обработки аналоговых сигналов.

ВВЕДЕНИЕ

Специализированные усилители (application specific amplifiers) неоднократно рассматривались с той или иной степенью детализации на страницах журнала. К подобным приборам можно отнести, например, усилители низкой частоты, измерительные усилители [1] и даже линейные стабилизаторы напряжения [2]. Данный обзор дополняет уже представленные ИС другими полезными микросхемами.

До появления в 1960-х гг. интегральных операционных усилителей (ИОУ) все усилители разрабатывались для решения узко определенной задачи, т.е. расчет, оптимизация схемы, выбор элементной базы и технологии изготовления усилителя выполнялись в соответствии с требованиями, предъявляемыми к каждому уникальному блоку. По мере увеличения разнообразия и улучшению параметров ИОУ инженеры все шире использовали их, выбирая для своих разработок наиболее подходящие приборы.

Однако оставались задачи, которые по разным причинам не могли быть решены при помощи серийных ИОУ. Для таких применений разрабатывались и изготавливались микросборки, а также тонко- и толстопленочные микросхемы, содержащие корпусные и бескорпусные активные элементы; передовые радиоэлектронные фирмы приобретали полупроводниковые приборы на кремниевых пластинах или

кристаллодержателях, отбирая экземпляры с требуемыми параметрами. Как правило, это могли себе позволить только предприятия, выполняющие военно-космические заказы.

В 1970–1980-х гг. электронная промышленность предлагала разработчикам усилителей «конструкторы» на кристаллах, содержащих набор биполярных транзисторных структур (в основном, п-р-п-типа) с известными параметрами, которые, с некоторыми ограничениями, можно было объединить в требуемую схему при помощи металлизации. По такой полузаказной технологии было реализовано множество микросхем, предназначенных для радиосвязи, обработки видеосигналов и т.п.

Несмотря на впечатляющий прогресс в области биполярной полупроводниковой технологии, аналоговой КМОП-технологии и комбинированных (BiCMOS) процессов применительно к операционным усилителям [3], до сих пор существуют области применения, где использование ИОУ как универсальных усилительных элементов не является возможным или оптимальным техническим решением. Технологические ограничения все еще затрудняют реализацию в одном кристалле высокочастотных биполярных и полевых транзисторов разной проводимости, а размещение на одной подложке двух и более кристаллов приводит к резкому удорожанию микросхем.

Как показывает опыт общения с молодыми инженерами-электронщиками, некоторые из них не подозревают о существовании многих аналоговых микросхем, и тем более — специализированных усилителей. Они полагают, что достаточно оцифровать аналоговый сигнал при помощи АЦП и ввести его в процессор, а остальное — «дело техники». В результате, пытаясь решать даже простые задачи обработки сигналов на цифровых процессорах, разработчики теряют точность, динамический диапазон, быстродействие и, главное — самостоятельность в принятии решений.

Такой «инновационный», упрощенный и, в конечном итоге, затратный способ конструирования РЭА с недавних пор культивируется в стенах некоторых учебных институтов фирмами — производителями DSP, для которых важно «приучить» будущих конструкторов к своим приборам, техническим средствам отладки и недешевым пакетам программного обеспечения.

Поэтому инженеры в большинстве своем предпочитают более экономичные способы реализации качественной аналоговой периферии для «систем на кристалле».

Поводом для разработки ИС специализированного усилителя иногда является замена какого-либо узла или части схемы устройства, собранной на дискретных элементах. Положительный эффект может быть как экономическим (снижение затрат на комплектующие, плату и монтаж), так и техническим (улучшение параметров, расширение функциональных возможностей), но чаще всего — комбинированным. Однако интеграция аналоговых схем не является самоцелью в силу особенностей выполняемых ими задач.

Специализированные усилители часто реализуют дополнительные свойства, недоступные ИОУ. В качестве примера можно упомянуть высокоточное управляемое амплитудное ограничение с быстрым восстановлением, различные варианты регулировки усиления, подавление внеполосного шума. Кроме того, существует потребность в цифроуправляемых интегральных приборах, например, буферизованных коммутаторах видеосигналов, сочетающих в себе дискретные, аналоговые и пассивные элементы.

Изучение номенклатуры усилительных ИС, выпускаемых ведущими мировыми производителями, показывает некоторый прирост доли специализированных усилителей, что вряд ли возможно без устойчивого спроса. Многие фирмы разрабатывают и выпускают такие приборы с целью дополнить основную номенклатуру изделиями, позволяющими реализовать функционально законченные устройства только на ИС собственного производства. Например, Cirrus Logic производит малошумящие усилители с коэффициентом усиления при разомкнутой петле ООС до 300 дБ (!) для систем сбора геофизических данных, которые можно выполнить с применением выпускаемых ею же АЦП высокого разрешения, цифровых фильтров и ЦПОС (DSP).

Не все ИС специализированных усилителей «дожили» до сегодняшнего дня. Некоторые разновидности были интегрированы в АЦП и другие устройства, практически исчезнув, как отдельный класс полупроводниковых приборов. Наибольший «урон» понесла номенклатура усилителей выборки/хранения (Sample/Hold amplifiers, УВХ), что обусловлено широким внедрением КМОП-технологии переключаемых конденсаторов и схем с уравновешиванием заряда, для которых такты выборки и хранения сигнала являются естественными. Однако ряд фирм все еще выпускают микросхемы УВХ, поскольку те находят применение не только на входе АЦП.

ПОВТОРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ С ОБЩЕЙ ООС

Неинвертирующие повторители напряжения составляют заметную часть специализированных ИС. Повторители бывают замкнутого и разомкнутого типов: в первом используется общая отрицательная обратная связь (ООС), во втором — местная, поэтому их коэффициент передачи всегда меньше 1 и зависит от нагрузки. Основная специализация буферных повторителей — повышение нагрузочной способности, в том числе для емкостной нагрузки; область применения — входы АЦП параллельного типа, выходы ЦАП, драйверы кабельных линий и мощных МОП-транзисторов, предварительные ВЧ-усилители мощности, распределители видеосигналов, устройства отображения информации, источники питания и т.п.

Простейшим буферным усилителем может быть ИОУ, включенный в режиме повторителя, т.е. охваченный 100%-ООС. Однако для широкополосного ИОУ такой режим является экстремальным в части обеспечения стабильной работы даже при небольшой емкости нагрузки [3]. Без защитного (антипаразитного) резистора в несколько десятков Ом, включенного последовательно с выходом ИОУ (вне петли ООС), многие современные приборы демонстрируют значительную колебательность при установлении выходного напряжения уже при емкостной составляющей нагрузки 2...5 пФ, что сравнимо с конструктивной емкостью печатного проводника; чем выше частота среза ИОУ,

тем меньше допустимая емкость нагрузки.

Необходимо также понимать, что сколь-нибудь существенная емкость нагрузки несовместима с большой скоростью нарастания выходного напряжения. Например, чтобы обеспечить заряд емкости 1000 пФ со скоростью 1000 В/мкс, необходим ток 1 А, который трудно получить от миниатюрного полупроводникового прибора.

Нагрузочная способность буферного усилителя и область его устойчивости главным образом зависят от собственного выходного сопротивления оконечного каскада, которое определяется технологическими параметрами интегральных биполярных транзисторов¹ (частотой среза, сопротивлением базы и др.) и рабочим током. Из-за уменьшения коэффициента передачи тока (β) с ростом частоты и конечного сопротивления базы выходное сопротивление каскада, реализованного по схеме с общим коллектором, увеличивается, т.е. имеет индуктивный характер. Это ускоряет набег фазы в цепи ООС, в результате чего запас по фазе на частоте среза собственно усилителя уменьшается, снижая емкость нагрузки до минимально допустимых значений. Паразитные индуктивности, образующие последовательные резонансные контуры, как правило, оказывают влияние на частотах, превышающих частоту среза усилителя.

Например, при выходном сопротивлении оконечного каскада типового ИОУ 30 Ом, емкость нагрузки 10 пФ обусловит фазовый сдвиг примерно 45 градусов на частоте 500 МГц, что почти израсходует имеющийся запас по фазе в цепи ООС до частоты среза (когда модуль петлевого усиления больше единицы) и приведет к подъему и последующему резкому спаду АЧХ в верхней части полосы пропускания усилителя. У специализированных повторителей выходное сопротивление оконечного каскада составляет 3...8 Ом, но и потребляемый ток обычно больше.

Реальную возможность расширения области устойчивости при максимальной глубине ООС, т.е. в режиме повторителя, предоставляют ИОУ с обратной связью по напряжению и внешней частотной коррекцией, которая позволяет с большой точностью (т.е. в районе частоты среза) компенсировать дополнительный набег фазы

из-за реактивности нагрузки. Другим способом является применение на выходе ИОУ «грубого» широкополосного повторителя, изолирующего оконечный каскад ИОУ от нагрузки.

Если такой повторитель включен в контур отрицательной обратной связи ИОУ, его собственная частота среза должна быть по меньшей мере вдвое выше² частоты среза «составного» усилителя по контуру ООС (желательно — в 4 раза). Это соответствует не более чем 20 градусам дополнительного фазового сдвига на частоте среза ИОУ. Если условие не выполнено, область устойчивости всего усилителя уменьшается, а переходный процесс затягивается [4].

Следует отметить, что при работе в режиме с 50–100%-ООС ($K_{\pi} = 1\dots 2$ и -1) операционные усилители с токовой ОС не имеют особых преимуществ в быстродействии перед ИОУ с обратной связью по напряжению (VFA). Более того, из-за наличия у первых обязательного (режимного) резистора в цепи ООС с номиналом в несколько сотен Ом (как правило, 400...800 Ом), даже минимальная паразитная емкость 1...2 пФ на инвертирующем (токовом) входе приводит к подъему АЧХ на высоких частотах и соответственно к росту колебательности при обработке импульсных сигналов. Кроме того, резистор в цепи ООС не дает применить известную схему нейтрализации емкости нагрузки при помощи вложенного контура частотнозависимой ООС, и его сопротивление следует принимать во внимание при оценке полного сопротивления нагрузки.

Типовым примером повторителя с общей ООС, реализованного на базе простого широкополосного ИОУ, является MAX4178 компании Maxim Integrated Products, который обеспечивает полосу пропускания 330 МГц для малого сигнала. Из-за небольшого петлевого усиления и относительно высокого выходного сопротивления оконечного каскада погрешность его коэффициента передачи достигает 1% при нагрузке 100 Ом и типовой линейности 0,01% в диапазоне входного сигнала ±2 В, а выходное сопротивление составляет 0,1 Ом (на постоянном токе). Скорость нарастания выходного напряжения — 1300 В/мкс, выходной ток — не менее 70 мА (150 мА при к.з.), потребляемый ток

¹ Оконечные каскады на КМОП-транзисторах имеют более высокое и стабильное выходное сопротивление. — Прим. автора.

² Тогда, теоретически, колебательность отсутствует, и на переходной характеристике имеет место единственная полуволна перерегулирования (overshoot).

не превышает 12 мА (для варианта в корпусе SOT23-5) при напряжении питания 10 В.

Новейший (июль 2006 г.) повторитель замкнутого типа LMH6559 компании National Semiconductors реализован с использованием биполярного технологического процесса VIP-10 [3] в корпусе SOT23-5 или SOIC-8. При напряжении питания 10 В и нагрузке 100 Ом повторитель обеспечивает полосу пропускания 1750 МГц (315 МГц при питании 3 В), скорость нарастания 4580 В/мкс, время установления 9 нс (0,1%), коэффициент передачи не менее 0,97, выходное сопротивление 1,2 Ом/100 кГц, линейный ток нагрузки ± 43 мА (± 83 мА при к.з.) при собственном токе потребления не более 17 мА. Максимальный уровень второй гармоники составляет -48 дБ при размахе входного сигнала 3 В на частоте 5 МГц. Интересно, что ростом частоты сигнала до 20 МГц уровень четных гармоник понижается, а нечетных — увеличивается. Это свидетельствует о существенной нелинейности оконечного каскада повторителя в переходной области.

Высокие точность и линейность при великолепном быстродействии демонстрирует повторитель HFA1110 с общей ООС по току, выпущенный компанией Intersil в июне 2006 г. При малосигнальной полосе пропускания 750 МГц и скорости нарастания 1300 В/мкс этот повторитель имеет нормированную нелинейность передаточной характеристики по амплитуде 0,003% (± 2 В) и фазе $\pm 0,3^\circ$ (0...100 МГц) при напряжении питания ± 5 В и сопротивлении нагрузки 100 Ом. Кроме того, уровни второй и третьей гармоник не превышают соответственно -60 дБ и -80 дБ на частоте 50 МГц.

Переходная характеристика повторителя HFA1110 содержит полный период колебания с частотой около 500 МГц в трубке $\pm 0,8\%$ (без учета перерегулирования), после чего происходит довольно чистое установление выходного напряжения до $\pm 0,1\%$ за 11 нс. Недостатком повторителя является практическая неспособность к устойчивой работе без изолирующего резистора на выходе. Например, при емкостной составляющей нагрузки 160 пФ изготовитель рекомендует устанавливать последовательный резистор 10 Ом.

Относительно новой областью массового применения ИС повторителей напряжения являются ЖК-дисплеи высокого разрешения на тонкопленочных транзисторах (TFT), где они используются в схеме гамма-коррекции передаточной характеристики, и для подачи управляющего напряжения (VCOM) на подложку. В типовой ЖК-панели, которая отображает 256 уровней каждого из основных цветов, для выбора соответствующего опорного напряжения буферизованного делителя используются 8-разрядные слова. При управлении подложкой повторитель должен обеспечивать втекающий и вытекающий импульсный ток при емкостной (в основном) нагрузке до 1000 пФ.

Полупроводниковая промышленность выпускает большую номенклатуру специализированных повторителей для ЖК-панелей. Особенно преуспела в этом компания Intersil: в ее портфеле — более 50 моделей ИС такого типа, содержащих до 18 каналов в одном корпусе. Например, 4-канальный повторитель EL9214 реализован по высоковольтной КМОП-технологии (до 15 В) на основе ИОУ с ООС по напряжению, размещен в 14- выводном корпусе HTSSOP и потребляет ток не более 9,6 мА. Каждый повторитель обеспечивает полосу пропускания 130 МГц, скорость нарастания выходного напряжения не менее 90 В/мкс и выходной ток до 100 мА (300 мА при к.з.). Точность повторителя ограничена небольшим петлевым усилением (55...70 дБ), но в данном случае она не является определяющим фактором.

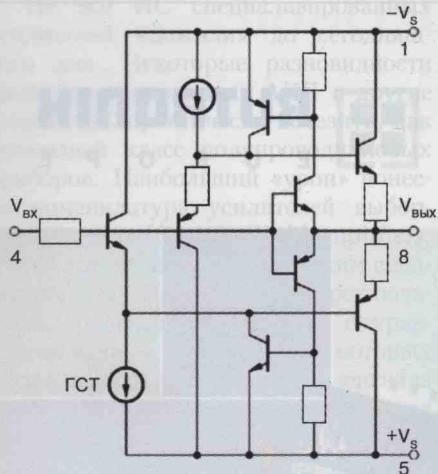


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема повторителя OPA633

В схемах гамма-коррекции, как правило, применяются повторители с более скромными динамическими характеристиками. Например, 10-канальный EL5824 имеет полосу пропускания 12 МГц и скорость нарастания выходного напряжения до 15 В/мкс. Похожие параметры обеспечивает 12-канальный повторитель ADD8701 от Analog Devices и приборы аналогичного назначения других фирм.

ПОВТОРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ С МЕСТНОЙ ООС

Типовым примером такого повторителя является ИС типа OPA633 компании Texas Instrument/Burr-Brown, упрощенная принципиальная схема которого показана на рисунке 1.

Прибор изготовлен по технологии с диэлектрической изоляцией VIP-3 [3], и представляет собой двухкаскадный комплементарный эмиттерный повторитель с динамической нагрузкой в виде генераторов стабильного тока (ГСТ) в первом каскаде. Минимальный коэффициент передачи составляет 0,92 (1 кОм), полоса пропускания — 260 МГц, время задержки — 1 нс, скорость нарастания выходного напряжения — 1500 В/мкс при емкости нагрузки 200 пФ, время установления — 50 нс (0,1%), долговременный ток нагрузки — не менее ± 80 мА (ограничение на уровне ± 140 мА), выходное сопротивление — 5 Ом, фазовый сдвиг на частоте 70 МГц — менее 10 град., входной импеданс — 1,6 пФ/1,5 мОм, напряжение питания — 10...24 В, потребляемый ток — до 25 мА (без нагрузки). Хорошая симметрия р-п-р- и п-р-п-транзисторов определяет низкое напряжение смещения (макс. ± 25 мВ) и сравнительно небольшой, для мощного прибора, входной ток (± 50 мА) в диапазоне температур 0...75°C.

На высоких частотах влияние на качество переходного процесса и форму АЧХ разомкнутого повторителя напряжения оказывают выходное сопротивление источника сигнала (оно входит в сопротивление базы транзисторов первого каскада), выходное сопротивление оконечного каскада и его линейность, а также эквивалентная индуктивная составляющая выходного сопротивления оконечного каскада, которую можно оценить по формуле $L_{\text{экв}} = r_6/2\pi f_T$, r_6 — сопротивление базы, f_T — гра-

ничная частота транзистора (при $|\beta| = 1$).

На рисунке 2 показаны графики АЧХ и ФЧХ разомкнутого повторителя BUF634 (TI/Burr-Brown), принципиальная схема которого весьма похожа на схему, приведенную на рисунке 1. Графики АЧХ (сверху) в зависимости от емкости нагрузки C_L иллюстрируют индуктивный характер выходного сопротивления схемы с ООС для малого сигнала: с ростом C_L резонансный пик на АЧХ сдвигается вниз по частоте, и полностью исчезает при емкости нагрузки 1000 пФ, когда каскад работает в режиме короткого замыкания по высокой частоте. Добротность пика пропорциональна активному сопротивлению нагрузки. Для сравнения на том же рисунке справа приведены графики АЧХ для повторителя с общей ООС типа LMH6559 (см. выше).

Весной 2006 г. компания Intersil выпустила ИС повторителя HA-5002, принципиальная схема которого показана на рисунке 3, и фактически является развернутым вариантом схемы на рисунке 1, но отличается раздельными выводами питания для слаботочных и мощного каскадов, что полезно для снижения уровня помех и гибкого ограничения тока нагрузки (при установке резисторов последовательно с выводами питания $\pm V_2$).

Следует отметить, что в схеме на рисунке 3 напряжение смещения на базы транзисторов ГСТ (Q3, Q8) подается через двухтактные эмиттерные повторители Q26, Q27 и Q22, Q24 соответственно, что повышает линейность ГСТ и улучшает переходный процесс. Прибор HA-5002

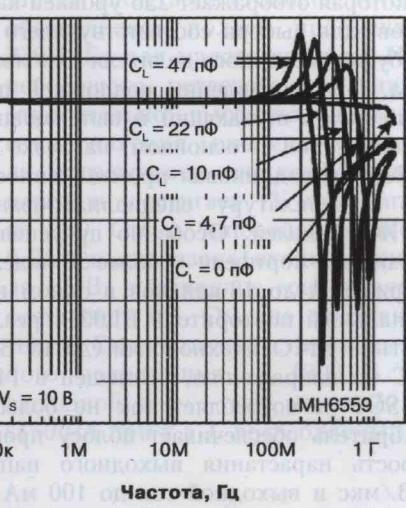
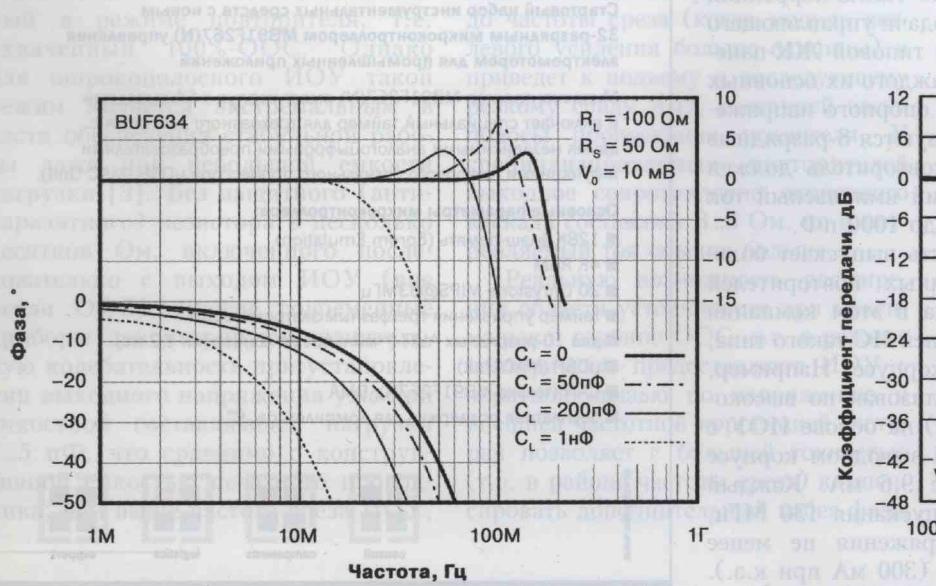


Рис. 2. Набор графиков АЧХ и ФЧХ в зависимости от емкости нагрузки для разомкнутого повторителя BUF634 (слева) и АЧХ для замкнутого повторителя LMH6559 (справа)

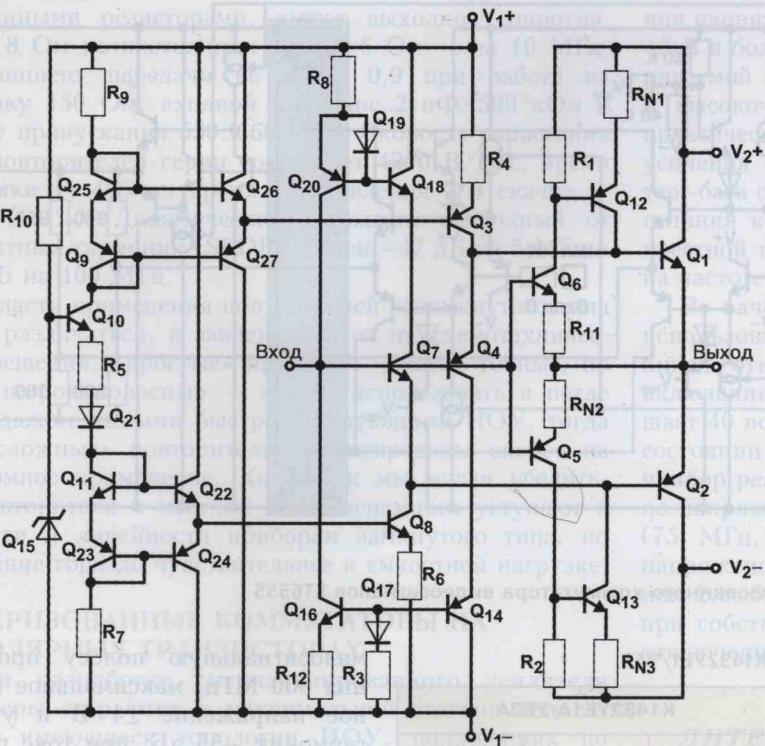


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема повторителя HA-5002

обеспечивает полосу пропускания 25...110 МГц, типовой коэффициент передачи 0,97 при нагрузке 100 Ом, время задержки 2 нс, время установления 50 нс (0,1%), скорость нарастания не менее 1000 В/мкс; он способен отдать в нагрузку до 220 мА при входном напряжении ± 10 В, имеет выходное сопротивление 3 Ом и потребляемый ток не более 10 мА (без нагрузки).

Старейшая отечественная полупроводниковая фирма ФГУП «НПП Пульсар» много лет выпускает буферные повторители и другие широкополосные аналоговые ИС [5], не уступающие аналогичным приборам ведущих зарубежных фирм. Схема одного из них — K1432УЕ1 — приведена на рисунке 4. Преимуществом простейшей схемы повторителя (см. рис. 4) по сравнению со схемой на рисунке 1 является лучшая динамика за счет использования резисторов R1 и R2 вместо соответствующих ГСТ, которые обладают большой выходной емкостью. При определенном запасе по напряжению питания такая замена незначительно влияет на высокочастотную линейность повторителя. В таблице 1 приведены параметры ИС типа K1432УЕ1А в 16-выводном планарном металлокерамическом корпусе (402.16-34), 8-выводном корпусе CERDIP (2101.8-7) и на кристалло-

держателе КТ-22 (для установки в гибридные ИС).

Приборы K1432УЕ1Б рассчитаны на напряжение питания ± 10 В и незначительно уступают в быстродействии и линейности приборам группы «А». Повторители группы «В» рассчитаны на вполне «современное» напряжение питания ± 5 В, имеют вдвое меньшую скорость нарастания выходного напряжения,

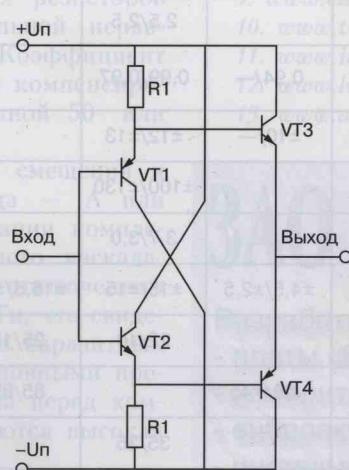


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема повторителя K1432УЕ1

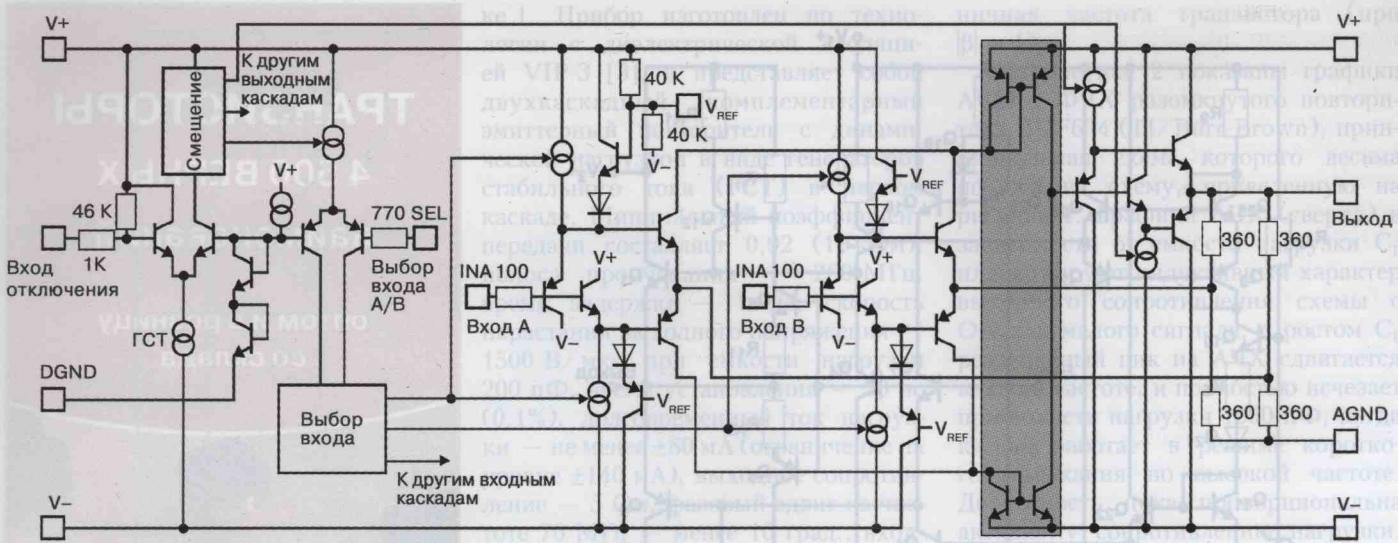


Рис. 5. Упрощенная принципиальная схема буферизованного коммутатора видеосигналов LT6555

Таблица 1. Основные параметры ИС повторителей K1432YE1/YE3

Параметр, единица измерения	Условия* измерения	K1432YE1A/YE3A		
		мин.	тип.	макс.
Полоса пропускания для малого сигнала, МГц		—/250	750/500	
Полоса пропускания для большого сигнала, МГц	$U_{\text{вых}} = 2/6 \text{ В}$	400/—	500/100	
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	$U_{\text{вых}} = 10/6 \text{ В}$	2000/—	2500/2500	
Уровень гармоник на частоте 10/5 МГц, дБ	$U_{\text{вых}} = 2,5/2 \text{ В}$	—65/—66		
Время установления (до 0,1%), нс		20/—		
Напряжение смещения, мВ		±70/±10	±100	
Входной ток, мкА		±70/±20	±100	
Входное сопротивление, кОм		50/800		
Входная емкость, пФ		2,5/2,5		
Коэффициент передачи по напряжению, В/В		0,94/—	0,99/0,97	
Максимальное выходное напряжение, В		±10/—	±12/±13	
Максимальный выходной ток, мА		±100/±130		
Выходное сопротивление, Ом		3,7/3,0		
Напряжение питания, В		±4,5/±2,5	±15/±15	±16,5/±17
Ток потребления, мА		22/10	25/18	
Диапазон рабочих температур, °C		—60/—45	85/85	
Тепловое сопротивление «переход — среда», °C/Вт	402.16-34	35/35		
	2101.8-7	80/90		
	КТ-22 (к/д)	120/—		

* Другие условия измерения: напряжение питания $\pm 15 \text{ В}$, $T = 25^\circ\text{C}$, $R_h = 1 \text{ кОм}/100 \text{ Ом}$.

малосигнальную полосу пропускания 500 МГц, максимальное выходное напряжение $\pm 4 \text{ В}$ и уровень гармоник -55 дБ ; при токе потребления 15 мА их выходное сопротивление составляет 8 Ом.

Повторители K1432YE2 за счет увеличения номиналов R1, R2 (см. рис. 4) имеют почти вдвое меньшее быстродействие, чем K1432YE1, но и меньшие токи потребления и нагрузки. Показательно, что ИС типа K1432YE2A при токе потребления 10 мА имеет входную емкость 2 пФ, выходное сопротивление 5,5 Ом и уровень гармоник -61 дБ , что свидетельствует о высоком качестве вертикальных биполярных транзисторов, получаемых в фирменном технологическом процессе с диэлектрической изоляцией.

Более сложные по схемотехнике повторители K1432YE3 способны отдавать в нагрузку до 500 мА (!) при токе потребления без нагрузки всего 10 мА (другие параметры K1432YE3 приведены в таблице 1).

Компания Maxim выпускает серию разомкнутых повторителей MAX4200 — MAX4205 (одинарных и сдвоенных), которые имеют ток покоя не более 4 мА при напряжении питания $\pm 5 \text{ В}$, и размещены в миниатюрном корпусе SOT23-5 или SO-8. Приборы MAX4201/4204 и MAX4202/4205 снабжены встроенными выходными резисторами 50 и 75 Ом соответственно и предназначены для работы на согласованную нагрузку. Наличие защитных резисторов позволило расширить полосу пропускания повторителей до 780 МГц при неравномерности АЧХ в пределах 0,1 дБ до 280 МГц.

Повторители MAX4200/4203, не оборудованные встроенными резисторами, имеют выходное сопротивление 8 Ом на постоянном токе и 6 Ом — на 10 МГц, коэффициент передачи не менее 0,9 при работе на нагрузку 150 Ом, входной импеданс 2 пФ/500 кОм и полосу пропускания 530...660 МГц. Скорость нарастания всех повторителей серии составляет 4200 В/мкс, время задержки — 405 пс, время установления 2-В скачка — 12 нс (0,1%). Динамический диапазон, свободный от паразитных гармоник (SFDR), равен -47 дБ на 5 МГц и -32 дБ на 100 МГц.

Области применения повторителей разомкнутого типа могут различаться, в зависимости от их схемотехнического решения: «простые» приборы — менее точные, но более широкополосные — можно использовать в петле ООС даже с самыми быстродействующими ИОУ, тогда как «сложные» повторители ориентированы скорее на автономное применение. Хотя, как мы могли убедиться, повторители с местной ООС ненамного уступают в точности и линейности приборам замкнутого типа, но последние гораздо чувствительнее к емкостной нагрузке.

БУФЕРИЗОВАННЫЕ КОММУТАТОРЫ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

При разработке специализированного усилителя инженеры стараются в максимальной степени использовать имеющиеся топологии ИОУ, подходящих по статическим и динамическим параметрам. Это можно показать на примере ИС трехканального (RGB/YPbPr) буферизованного коммутатора (2:1) видеосигналов LT6555 компании Linear Technology [6]. Упрощенная принципиальная схема одного канала данной ИС и схемы управления приведена на рисунке 5. Аналогичные приборы выпускает компания Analog Devices (AD8185) и другие фирмы.

За основу видеобуфера взят «классический» ИОУ с отрицательной обратной связью по току (CFA), к которому добавлен второй входной каскад. Функция переключения входов реализована путем обесточивания одного из входных каскадов, которые работают на общую нагрузку в виде комплементарных отражателей тока в каскаде усиления напряжения (выделен на рисунке 5). Для каждого из входных каскадов организована собственная цепь ООС, которая состоит из двух тонкопленочных резисторов по 360 Ом, выполненных и подстроенных на кристалле. Номинал резисторов оптимизирован для получения минимальной неравномерности АЧХ ±0,1 дБ до 120 МГц. Коэффициент передачи канала составляет 6 дБ, чтобы компенсировать падение напряжения на согласованной 50- или 75-Ом нагрузке.

Все три канала имеют общую схему смещения и соответственно отключения. Выбор входа — А или В — осуществляется при помощи активации комплементарных ГСТ соответствующего входного каскада. Ослабление сигнала, присутствующего на отключенном входе, составляет 64 дБ на частоте 100 МГц, что свидетельствует о чрезвычайно малых значениях паразитных емкостей в кристалле и корпусе ИС. Основными преимуществами биполярных ИС такого типа перед коммутаторами на КМОП-транзисторах являются высокая линейность и малое время переключения.

Недостатком подобных схем является сравнительно узкий диапазон выходного напряжения, поскольку транзисторы генераторов тока не должны «подходить» к режиму насыщения. В данном случае для получения размаха выходного напряжения 2 В в полосе частот до

450 МГц и низкого уровня гармоник номинальные значения напряжений питания V+ и V- не должны быть менее +5 В и более -3 В соответственно. Недостатком рассматриваемой схемы является повышенная чувствительность к высокочастотным помехам на шинах питания: они практически без ослабления попадают на вход каскада усиления напряжения (см. рис. 5) через емкость эмиттер-база отражателей тока. Поэтому разделение выводов питания каналов приводит к уменьшению уровня перекрестной помехи более чем в 10 раз (с -50 до -72 дБ) на частоте 100 МГц.

В качестве коммутаторов видеосигналов можно использовать современные буферные усилители с функцией отключения, например, MAX4285. Время его включения/выключения логическим сигналом не превышает 40 нс (0,1%), а выходной импеданс в отключенном состоянии составляет 35 кОм/2 пФ. Этот миниатюрный прибор реализован на основе биполярного ИОУ с ООС по напряжению, имеет полосу пропускания до 250 МГц (75 МГц, ±0,1 дБ), скорость нарастания выходного напряжения 385 В/мкс, работает от напряжения питания 2,8..6,5 В и может отдавать в нагрузку ток 77 мА при собственном потреблении не более 28 мА (3 мА в отключенном состоянии).

ЛИТЕРАТУРА

- Данилов А.А. Интегральные измерительные усилители//ЭК №1, 2005, с. 72–80.
- Данилов А.А. Микросхемы линейных стабилизаторов напряжения//ЭК №2, 2005, с. 115–123.
- Данилов А.А. Современные интегральные операционные усилители//ЭК №8 (с. 81–89), №9 (с. 92–95), 2004.
- Данилов А.А., Полонников Д.Е. Структурные методы повышения быстродействия операционных усилителей//Автоматика и телемеханика, Наука, 1982, №10, с. 159–165.
- Интернет-страница «аналогового» отдела ФГУП «НПП Пульсар» — k1432.nm.ru.
- Jon Munson, Simplify high-resolution video designs with fixed-gain triple multiplexers//Linear Technology Magazine, December 2005, pp. 20–22.

Материалы сайтов:

- www.maxim-ic.com.
- www.national.com.
- www.cirrus.com.
- www.ti.com.
- www.intersil.com.
- www.linear.com.
- www.analog.com.