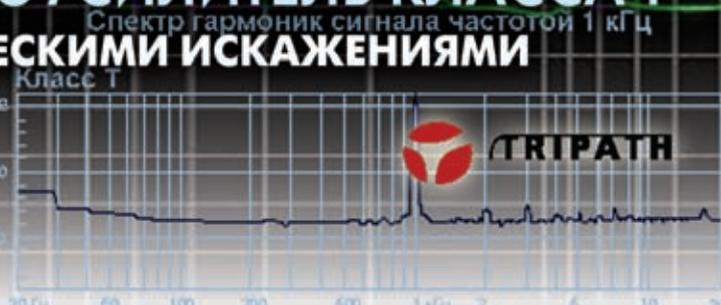


ДВУХКАНАЛЬНЫЙ АУДИОУСИЛИТЕЛЬ КЛАССА Т С МИНИМАЛЬНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ИСКАЖЕНИЯМИ



Добрусенко С.

Запатентованную фирмой Tripath Technology технологию цифровой обработки мощных сигналов (Digital Power Processing – DPP) можно назвать революционной. Сферы ее применения – аудиосистемы, быстродействующее сетевое оборудование и беспроводные системы связи. В области аудиоустройств DPP-технология позволила создать новый класс цифровых аудиоусилителей, получивших название Т-усилителей. Предназначенные для профессиональных, домашних, автомобильных и компьютерных систем воспроизведения звука эти усилители позволяют вести цифровую обработку аудиосигналов и управлять силовыми ключами с учетом разбросов их параметров, обеспечивая высокую экономичность и сопоставимое с аналоговыми усилителями класса А и АВ качество воспроизведения. При этом никакие дорогостоящие экзотические технические решения не требуются.

ПОВОРОТНЫЙ ПУНКТ В ТЕХНИКЕ ЦИФРОВОГО УСИЛЕНИЯ

Основные задачи, стоящие перед разработчиками усилителей мощности для аудиоаппаратуры, – повышение экономичности при одновременном обеспечении высокого качества воспроизведения звука. Искажения аналоговых усилителей класса А достаточно низки, но их КПД мал (реальное значение 15–30%), тогда как у экономичных усилителей класса В, реальное значение КПД которых составляет 50–60%, искажения значительны. Качество воспроизведения и экономичность большинства систем на базе микросхем усилителей класса АВ оставляет желать лучшего. Цифровые усилители класса D, в которых вместо усиления сигнала используется ШИМ-техника, отличаются высокой экономичностью (КПД до 95%), но по качеству воспроизведения уступают усилителям двух предыдущих классов, причем с увеличением частоты сигнала и снижением частоты дискретизации искажения возрастают. Поэтому усилители класса D используются в основном в динамиках сверхнизких частот (сабвуферах – subwoofer). Таким образом, с помощью одного устройства до последнего времени не удавалось одновременно обеспечить высокие значения качества воспроизведения и экономичности.

Задачу сумела решить компания Tripath Technology, предложив технологию цифровой обработки мощных сигналов – DPP. Эта технология объединяет как цифровые, так и аналоговые узлы, адаптивные/прогнозирующие алгоритмы обработки сигнала и традиционный НЧ-фильтр. Цифровые микросхемы усилителей мощности класса Т характеризуются высокой эффективностью (от 80 до более 90%), сопоставимой или даже превышающей этот параметр усилителей клас-

са D, крайне низким суммарным значением коэффициента нелинейных искажений (менее 0,08% в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц против 0,1% для обычных усилителей), низкими уровнями интермодуляционных искажений (0,04%), широким динамическим диапазоном (>102 дБ), высокой устойчивостью к шумам электропитания (>67 дБ). Из этого видно, что, усилители класса Т по своим характеристикам не уступают лучшим образцам традиционных аналоговых и цифровых усилителей классов А, АВ и D (рис. 1). В результате разработчик систем получает большую мощность при меньшем энергопотреблении и в корпусах с меньшими, чем у традиционных усилителей, габаритами. А по качеству воспроизведения системы на базе усилителей класса Т сопоставимы с системами, требующими массивных теплоотводов, мощных источников питания и высоких уровней входного сигнала. Сегодня изделия компании приобретают такие изготовители бытовой и вычислительной техники, как Sony, Aiwa, Panasonic, Denon, Hitachi, Blaupunkt и Apple Computer, а также Alcatel – поставщик DSL-систем связи.

АРХИТЕКТУРА УСИЛИТЕЛЕЙ КЛАССА Т

На входе усилителей класса Т компании Tripath Technology предусмотрен каскад буферизации подаваемого аналогового сигнала. Выходной сигнал этого каскада поступает в DPP-блок, содержащий процессор адаптивного формирования сигнала, а также устройства цифрового преобразования, выключения базового блока, защиты от перегрузки, обнаружения неисправностей, предсказания и оценки (рис. 2). Таким образом, в усилителе этого класса аналоговая обработка сигнала во входных блоках сочетается с цифровой его обработкой с использованием запатентованных компанией Tripath алгоритмов, модулирующих входной сигнал с помощью комбинации переключаемых с высокой частотой импульсов. Эти алгоритмы представляют собой производные алгоритмов адаптивного преобразования и предсказания, которые используются в процессорах телекоммуникационных систем. Модулированный сигнал поступает на выходные *l*-канальные МОП-транзисторы и затем на ФНЧ (внешний для усилителей), восстанавливающий форму усиленного входного аудиосигнала.

В традиционных ШИМ-усилителях класса D входной аудиосигнал преобразуется в импульсы прямоугольной формы с постоянной амплитудой и различной длительности, которая задается амплитудой входного аналогового сигнала. Частота дискретизации – от нескольких десятков до 100–200 кГц. Результирующий сигнал подается на оконечные мощные транзисторные ключи, работающие в двухтактном режиме. Внешний низкочастотный LC-фильтр преобразует импульсный сигнал в аналоговый, передаваемый на динамик. Высокая эффективность усилителей класса D объясняется тем, что ампли-

туда импульсов практически равна напряжению питания, и потери на выходных транзисторных ключах минимальны. Однако поскольку выходные транзисторы не являются идеальными ключами, а согласование их параметров также не идеально, искажение сигнала достаточно велико. При переключении транзисторов возникают так называемые "сквозные токи", вносящие дополнительный шум в полезный сигнал. Усилителям класса D присущи и искажения типа "ступеньки", вызываемые запаздыванием включения одного выходного транзистора при отключении другого (подобно усилителям класса АВ). И, наконец, не вся энергия импульсного сигнала выходных транзисторов может быть поглощена обычным ФНЧ, что тоже вносит дополнительные искажения.

Выходной цифровой сигнал усилителя класса Т имеет сложную форму волны с непрерывно изменяемой в соответствии с алгоритмом адаптивного преобразования частотой (до 1,5 МГц). Повышение частоты дискретизации не только улучшает качество воспроизведения, но и позволяет реализовать выходной фильтр на более дешевых, чем в традиционных усилителях, элементах индуктивности и конденсаторах. Алгоритмы, используемые в усилителях компании

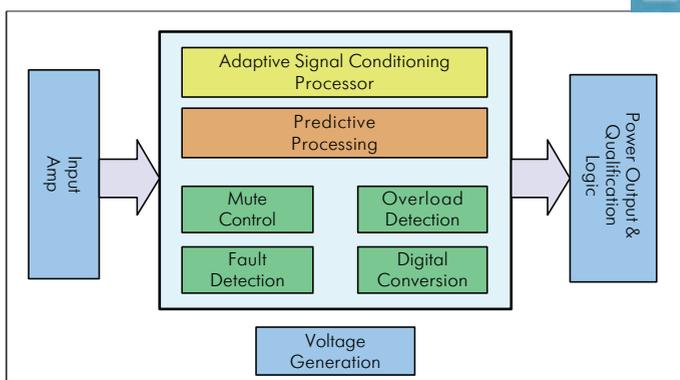


Рис.2. Блок-схема усилителя класса Т

Tripath Technology для модуляции сигнала, поступающего на транзисторные ключи, позволяют отслеживать характеристики каждого транзистора и учитывать отклонения их параметров от идеальных. В результате удалось отказаться от подбора согласованных пар силовых транзисторов и обеспечить высокую эффективность при высоком качестве воспроизведения аудиосигналов. И еще одно достоинство усилителей класса Т – более низкое, чем у устройств класса D, электромагнитное излучение, благодаря чему расширяются области их применения.

Рассмотрим реализацию новой DPP-технологии на примере микросхемы драйвера двухканального аудиоусилителя класса Т – ТА3020.

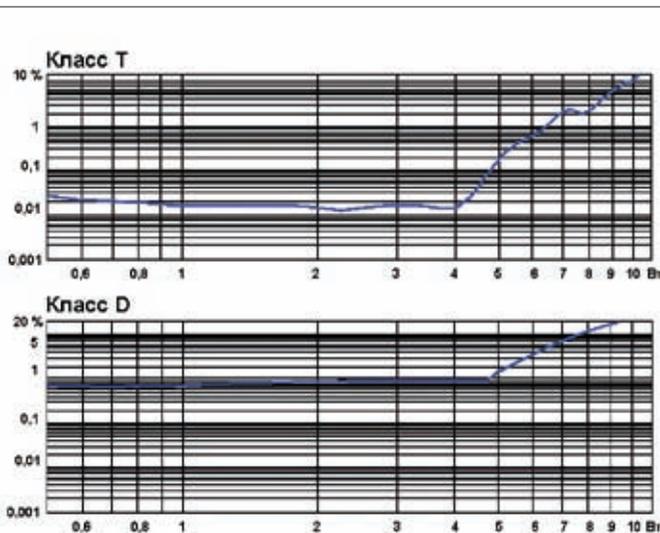
МИКРОСХЕМА ТА3020

Функционально ТА3020 представляет собой DPP-драйвер аудиоусилителя класса Т с выходными *n*-канальными МОП-транзисторами. Микросхема обеспечивает высокое "любительское" качество воспроизведения звука: общие гармонические искажения плюс шум (THD + N) составляют 0,02% при мощности 50 Вт на 8-Ом нагрузке, а высокочастотные интермодуляционные искажения – 0,03% при 30 Вт. КПД достигает 95% при мощности 150 Вт и 90% при мощности 275 Вт и 4-Ом нагрузке. Выходная мощность усилителя при несимметричном выходе – 300 Вт на канал и 1000 Вт при шунтированном выходе. Диапазон рабочих температур – от -40 до 85°С. Микросхема поставляется в 48-выводном DIP-корпусе и предназначена для аудио- и видеоусилителей и приемников, профессиональных аудиоусилителей, автомобильных усилителей мощности и сабвуферов.

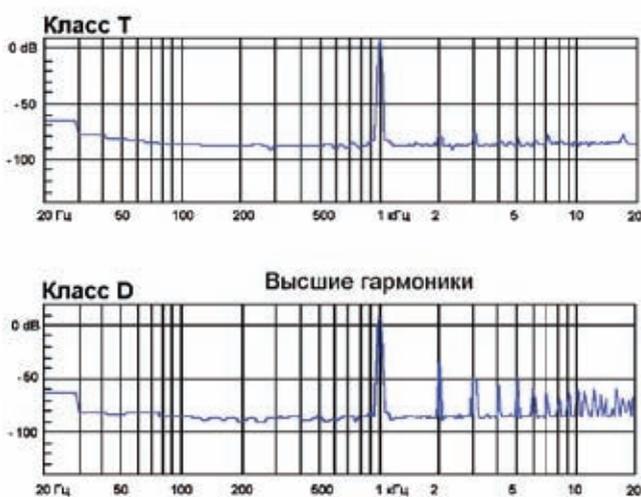
Основные принципы работы усилителя на базе ТА3020

При создании аудиоусилителя класса Т на основе микросхемы ТА3020 компания Tripath Technology рекомендует использовать пригодную для любых приложений топологию, приводимую в документе BRBTA3020-2 (www.tripath.com) с полным описанием схемотехники и чертежами оценочной платы EB-TA3020. Пример подключения микросхемы ТА3020 к оконечным каскадам усилителя мощности приведен на рис.3. Монтаж и наладка усилителя не имеют специфических особенностей и выполняются в соответствии с требованиями к монтажу и наладке аналогичных устройств. Следует только уделять внимание выбору источников питания с достаточно низким выходным сопротивлением для избежания возможных помех и искажений. Применяемые в усилителе компоненты не критичны и могут быть заменены любыми аналогичными компонентами с близкими параметрами.

Для работы усилителя необходимы четыре источника питания – основные на напряжения VPP и VNN, составляющие ±70 В (рекомендуемые рабочие значения ±45 В), источник питания DPP-блока V5 (рекомендуемое значение 5 В) и источник питания задающего



а)



б)

Рис.1. Спектральные диаграммы усилителей классов D и Т: а) зависимость уровня искажений от выходной мощности и б) спектр гармоник при воспроизведении сигнала частотой 1кГц

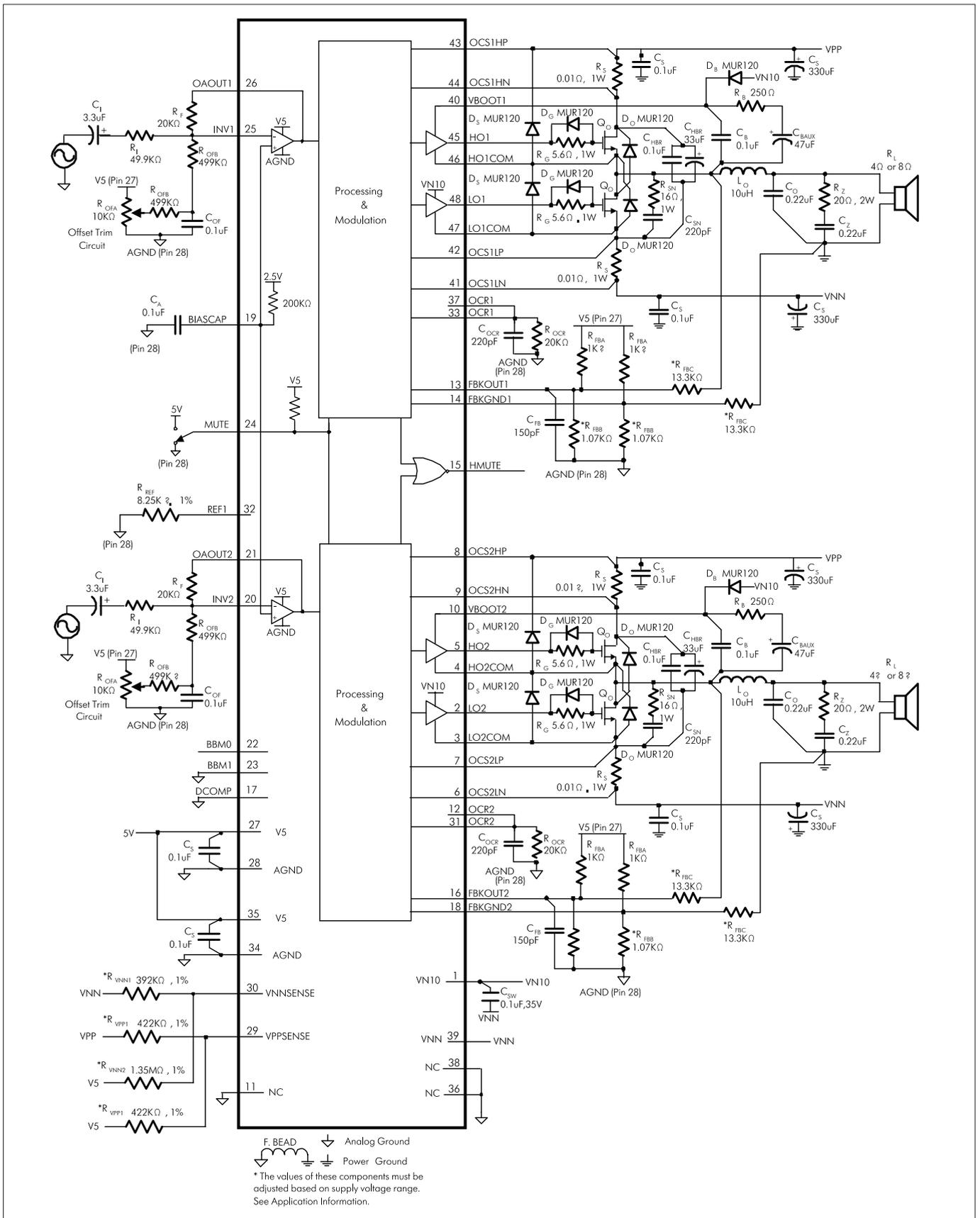


Рис.3. Схема включения усилителя класса T в аудиосистему

МОП-транзистора V10, напряжение которого должно на 10 В превышать уровень VNN. Специальной последовательности включения источников питания не требуется, но рекомендуется сначала включать источники V5 и VN10, затем VNN и только после этого – VPP. Отключение выполняется в обратном порядке. Значения положительного и

отрицательного напряжения не должны быть абсолютно равны, но искажения усилителя определяются самым низким (по абсолютному значению) напряжением питания.

Как уже указывалось, при подаче сигнала на вход усилителя DPP-процессор генерирует комбинацию импульсов дискретизации. В за-

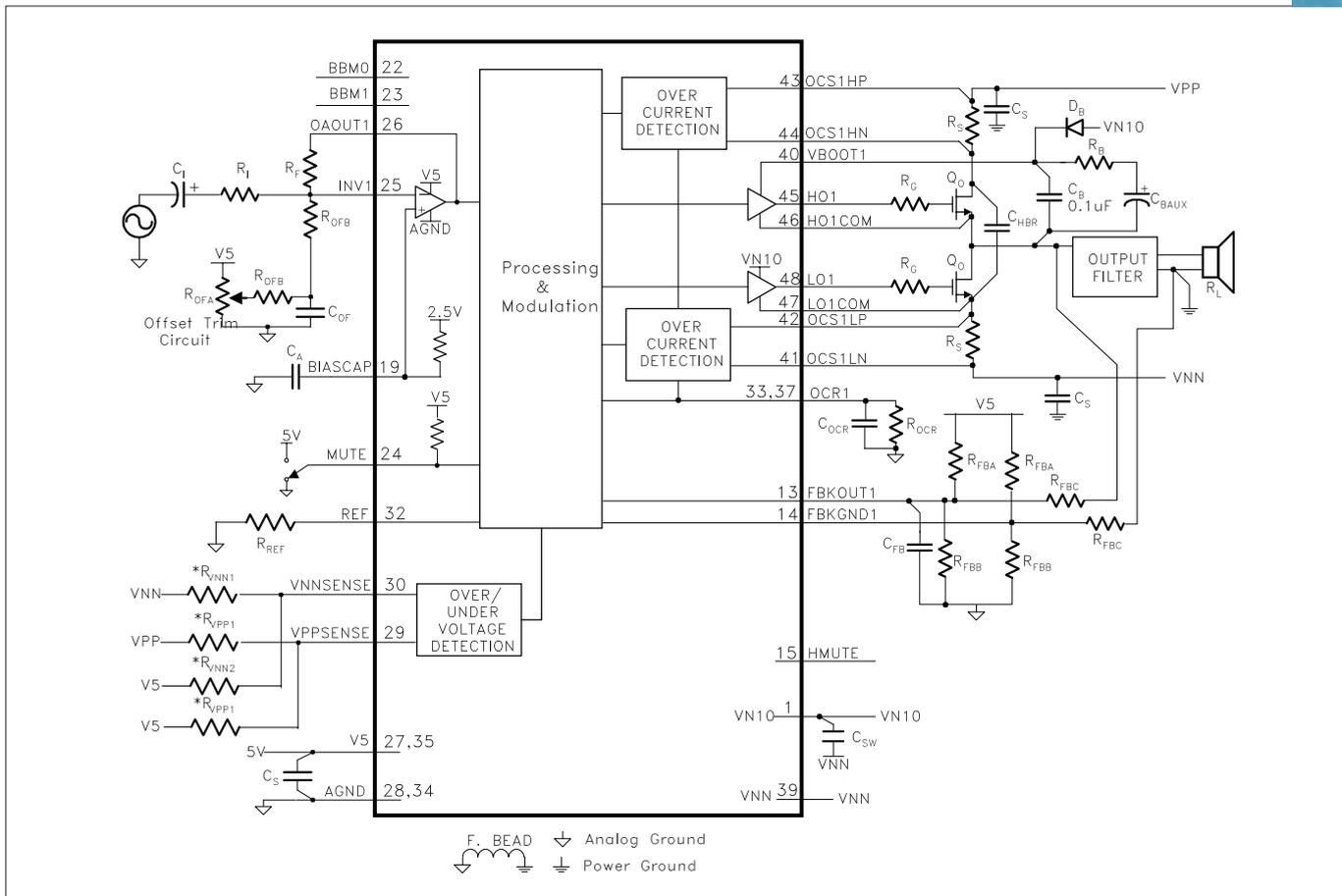


Рис.4. Упрощенная функциональная схема усилителя класса T на основе микросхемы TA3020

висимости от амплитуды и частоты входного сигнала частотный спектр этой комбинации изменяется в пределах от 200 кГц до 1,5 МГц (в отсутствие входного сигнала частота переключения равна ~700 кГц). Задающие выходные мощные МОП-транзисторы переключают полученный модулированный высокочастотный сигнал между значениями напряжения VPP и VNN и выводят его на затворы HO1 и LO1 внешних n-канальных МОП-транзисторов, соединенных по полумостовой схеме (рис.4). Выходной сигнал этих транзисторов поступает на ФНЧ для восстановления формы усиленного аналогового сигнала. Усиление TA3020 равно произведению усиления входного каскада и усиления модулятора. Входной каскад выполнен в виде инвертирующего усилителя, что предоставляет разработчику достаточную свободу в выборе значения усиления и частотной характеристики. Оптимальное усиление модулятора, преобразующего выходной сигнал входного каскада в высоковольтный сигнал, определяется на основе максимально допустимой обратной связи максимального напряжения питания силового каскада.

Для обеспечения минимальных значений отношения сигнал-шум и искажений максимальное напряжение цепи обратной связи модулятора должно быть равно примерно 4VPP.

Нормальный рабочий диапазон

Чтобы гарантировать качественную и надежную работу усилителя, не следует выходить за пределы приводимых компанией допустимых условий эксплуатации. Для защиты от коротких замыканий в усилителе предусмотрена схема защиты от выбросов тока, возникновение которых определяется по напряжению на резисторе R_s , включенном последовательно с выходом каждого МОП-транзистора. Параметры защиты по току определяются номинальными значениями сопротивления резисторов R_s и R_{OCR} . Значения сопротивления резисторов

R_{OCR} задают параметры защиты по току, позволяя увеличить или уменьшить выходную мощность усилителя. Однако для увеличения выходной мощности не рекомендуется сильно завышать значение тока срабатывания схемы защиты, поскольку это может снизить надежность усилителя. Чрезмерное увеличение выходной мощности также связано с дополнительной проблемой отвода тепла МОП-транзисторов. Если необходимо получить большую, чем это рекомендовано изготовителем, выходную мощность усилителя, следует провести перерасчет теплоотводов.

В микросхеме не предусмотрено автовосстановление работоспособности усилителя после срабатывания защиты по току. В случае, когда для управления усилителем используется внешний контроллер, он должен быть способен подавать определенную последовательность сигналов для автоматического восстановления работоспособности усилителя после того, как сработала защита по току. Если же усилитель работает в автономном режиме, автовосстановление его работоспособности возможно путем подключения внешней схемы защиты. При срабатывании защиты по току вывод HMUTE переходит в высокое состояние, и усилитель отключается до тех пор, пока на вход MUTE микросхемы не будут поданы сначала сигналы высокого, а затем низкого уровня, или же не будут отключены и затем снова включены источники питания. Время восстановления после перезагрузки составляет ~ 2,5 с.

Управление задержкой включения МОП-транзисторов полумоста

Для минимизации сквозных токов в силовых транзисторах в момент, когда один транзистор выключается, а другой должен включиться, необходима пауза в подаче сигнала управления (разрыв цепи перед подачей сигнала – Break-before-Make, BVM). Задержкой синхрони-

зации выходных транзисторов микросхемы TA3020 управляют сигналы, задаваемые на логических входах ВВМ0 и ВВМ1 в соответствии с табл. 1.

Следует отметить, что при уменьшении времени задержки искажение сигнала сокращается, но возрастают сквозные токи и рассеиваемая мощность. Поэтому не рекомендуется задавать уровни, соответствующие нулевой и 40-нс задержке. Для большинства применений вывод ВВМ1 нужно заземлять. Но в целом значение требуемой задержки зависит от параметров компонентов микросхемы и топологии печатной платы.

Таблица 1. Задержка, обеспечиваемая входами ВВМ

ВВМ1	ВВМ0	Задержка, нс
0	0	120
0	1	80
1	0	40
1	1	0

Выбор внешних МОП-транзисторов

Ключевые параметры при выборе МОП-транзисторов, используемых с микросхемой TA3020, – напряжение пробоя (BV_{dss}), заряд затвора (Q_g) и сопротивление во включенном состоянии ($R_{DS(on)}$). При "хорошей" топологии печатной платы приемлемым считается транзистор, напряжение пробоя которого на 50% больше перепада напряжения питания VPP и VNN. Поскольку $R_{DS(on)}$ обратно пропорционально Q_g , значения этих параметров выбираются исходя из соотношения стоимость – рабочие характеристики. Чем меньше $R_{DS(on)}$, тем меньше потребляемая мощность, но увеличение Q_g приводит к росту потерь на переключение. К тому же с уменьшением сопротивления во включенном состоянии увеличивается площадь кристалла и растет стоимость устройства. В табл.2 приведены критичные параметры МОП-транзисторов, используемых фирмой Tripath в усилителях на основе микросхемы TA3020.

Таблица 2. Параметры МОП-транзисторов, используемых с TA3020

Изготовитель	Тип транзистора	BV_{dss} , В	BV_{dss} , нКл	$R_{DS(on)}$, Ом
STMicroelectronics	STW34NB20	200	60	0,077
STMicroelectronics	STP19NB20	200	29	0,18
International Rectifier	IRFB41N15D	150	67	0,045
International Rectifier	IRFB31N20D	200	70	0,082
Fairchild	FQA34N20	200	60	0,075

Конструкция выходного фильтра

Одно из преимуществ усилителей класса Т перед ШИМ-конструкциями – возможность применять фильтры с более высокой частотой среза. Следовательно, зависимый от нагрузки выброс/падение сигнала в 20-кГц диапазоне будет пренебрежимо мал. Это особенно важно при работе с динамиком, внутреннее сопротивление которого составляет 4 или 8 Ом. Кроме того, динамики нельзя рассматривать как чисто резистивную нагрузку, их импеданс зависит от частоты сигнала и модели. Компания Tripath рекомендует применять фильтры второго порядка на частоту 100 кГц, выполненные на элементе индуктивности с $L_f = 11$ мкГ и конденсаторе с $C_f = 0,22$ мкФ. Чтобы снизить влияние фильтра на искажения усилителя, желательно использовать сердечники из порошкового железа с малой магнитной проницаемостью фирмы Micrometals.

Достоинства микросхемы TA3020

Применение усилителя TA3020 значительно снижает стоимость системы за счет сокращения числа внешних компонентов при значительно меньшем энергопотреблении, снижении тепловыделения на силовых элементах и обеспечении суммарной эффективности усилителя более 90%. По качеству воспроизведения сигнала усилители класса Т соответствуют устройствам класса АВ. Благодаря

широкому динамическому диапазону усилители этого класса совместимы с CD и DVD.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ DPP-ТЕХНОЛОГИИ

В сентябре 2005 года Tripath Technology объявила о разработке новой архитектуры цифрового аудиосуилителя, которая позволит укрепить позиции компании на рынке аудиотехники. Новая архитектура под кодовым наименованием Trivici объединяет четыре основных блока цифрового усилителя – цифровой процессор, процессор смешанного сигнала, усилитель мощности и выходной силовой блок. Такое объединение оказалось возможным благодаря высокой помехоустойчивости усилителей класса Т, а также новой конструкции и технологии изготовления выходного каскада, позволивших объединить его с процессором смешанного сигнала. Первые изделия с архитектурой Trivici, предназначенные для быстро развивающегося рынка плоских панельных устройств отображения, должны появиться в марте 2006 года. В первой половине того же года, согласно планам компании, должны появиться опытные образцы новой линии усилителей мощностью от 10 до 50 Вт. Помимо традиционных применений усилителей класса Т (в плоскпанельных телевизорах, домашних кинотеатрах, портативных электронных системах и средствах связи) новые микросхемы появятся на рынках компонентов, предназначенных для систем промышленной автоматизации, вычислительной и связанной техники.

Как новейшие изменения в технологии повлияют на рынок встраиваемых компьютеров?

2 ноября 2005 года состоялся семинар "Встраиваемые компьютерные системы". Заслушанные на нем доклады были посвящены основным направлениям развития технологий встраиваемых компьютерных систем. Во многих из них отмечалось, что внесение изменений в производственные процессы для приведения их в соответствие с требованиями директивы Евросоюза RoHS может явиться причиной преждевременного прекращения выпуска многих существующих продуктов и что новые стандарты и форм-факторы заставят обратиться к новым технологиям. В частности, изменятся технологии производства трех основных продуктов: процессоров, системных шин, жестких дисков. Поэтому многие компании уже сейчас начинают внедрять новые технологии.

С полезной информацией о новых продуктах слушатели ознакомились на презентации компании Ampro Computers Inc. Ее представитель Джексон Сантьяно в докладе "Новейшие продукты Ampro Computers: встраиваемые одноплатные компьютеры и готовые полнофункциональные системы для промышленного применения" сообщил о двухъядерных процессорах, новом семействе процессоров, базирующихся на ядре Esther, переходе от PCI к ISA, о продукте будущего – PCI Express, а также об эволюции интерфейсов НЖМД.

Генеральный директор Micromax Computer Intelligence выступил с докладом "Компьютерные системы для экстремальных условий эксплуатации на базе ВКС Ampro", в котором рассматривались новые платформы MicroMax, системы M-Max 600 и M-Max 700, особенности их конструкции, характеристики, компоненты и области применения.

В семинаре приняли участие специалисты-разработчики встраиваемых систем для различных промышленных нужд.