

Усилитель звуковой частоты класса D

на основе микросхемы IRS2093M

Джун ХОНДА (Jun HONDA)

Сегодняшние требования потребителей к звуковой аппаратуре различного назначения — от автомобильных развлекательных систем до домашних кинотеатров — включают, в числе прочего, увеличение числа каналов и повышение мощности высококачественного звукового сигнала в каждом канале. Однако независимое возбуждение каждого канала ведет к увеличению энергопотребления, числа компонентов и площади занимаемого на плате пространства. В результате получается сложная конструкция с проблемами в части регулирования температурных режимов, худшим качеством звука и пониженной надежностью при более высокой стоимости.

Чтобы свести к минимуму рассеиваемую мощность и упростить регулирование температурных режимов в многоканальных высококачественных аудиосистемах, конструкторы используют высокоэффективные усилители звуковой частоты класса D, КПД которых составляет более 90% в широком диапазоне уровней выходной мощности. По сравнению с ними представленные на этом же рынке традиционные усилители класса АВ имеют КПД около 50%, который к тому же резко падает при снижении выходной мощности. Обращаясь к усилителям класса D, инженеры стремятся также уменьшить число компонентов и площадь, занимаемую на плате, за счет использования интегрированных решений.

Принимая во внимание эти обстоятельства, компания International Rectifier разработала интегральную схему IRS2093M — однокристалльный 4-канальный интегральный драйвер оконечного каскада на высоковольтных мощных полевых МОП-транзисторах. В статье рассматривается функционирование микросхемы IRS2093M и приводится пример конструкции усилителя звуковой частоты на ее основе.

Особенности драйвера оконечного каскада звуковой частоты

Микросхема IRS2093M в 48-контактном корпусе типа MLPQ представляет собой 200-В устройство со встроенным усилителем сигнала ошибки и ШИМ-модулятором, предусматривающее дискретную программную установку интервала неперекрывания (dead-time) и надежные защитные функции, специально предназначенные для применения

в усилителях звуковой частоты класса D, выполненных по полумостовой схеме (рис. 1). Помимо предотвращения бросков тока, дискретная программная установка интервала неперекрывания обеспечивает также масштабирование по мощности и числу каналов. Защитные функции включают защиту от перегрузки по току (overcurrent protection, OCP) с контролем самосброса и блокировку

при пониженном напряжении (undervoltage lockout, UVLO). Еще одна особенность интегрального драйвера — подавление пусковых помех в виде щелчков, позволяющее уменьшить нежелательные звуковые шумы при пуске и останове ШИМ-модулятора.

Для обеспечения развязки между каналами звуковой частоты данной интегральной схемы применяются проверенные методи-

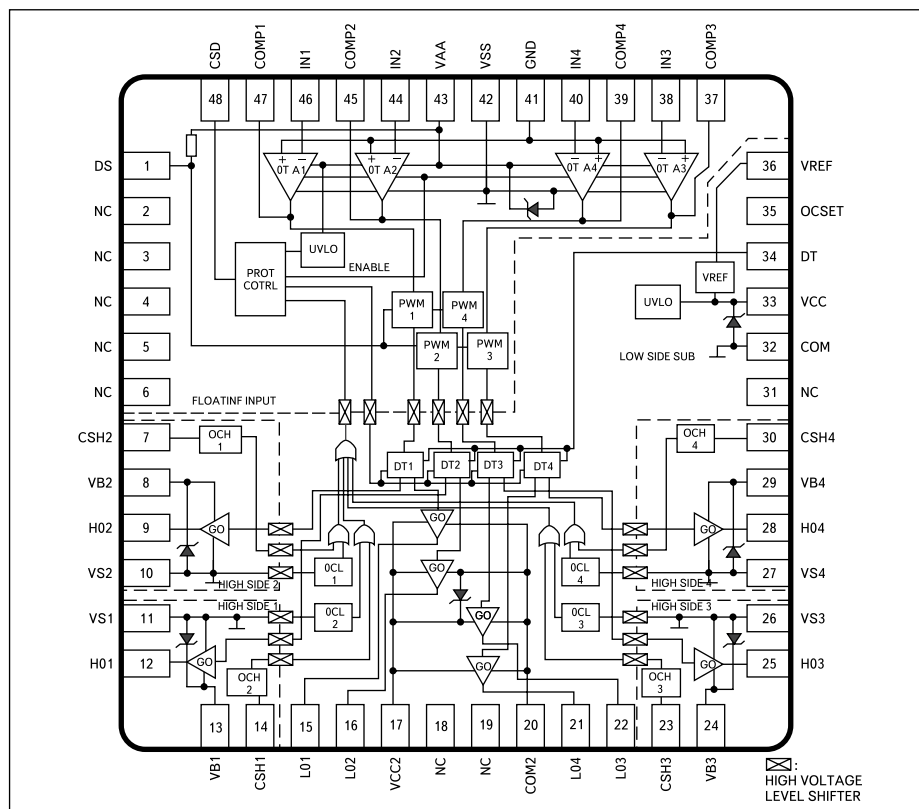


Рис. 1. Микросхема IRS2093M

ки высоковольтной развязки *p-n*-переходов, а также схемы управления плавающим затвором, реализованные на базе фирменного технологического процесса HVIC пятого поколения. Результатом является высокая степень внутренней развязки сигналов на кристалле, позволяющая одновременно обрабатывать сигналы в нескольких каналах. Эта развязка обеспечивает малый уровень собственных шумов в каждом канале, сводя при этом к минимуму перекрестные помехи. Результаты внутренних испытаний показывают, что собственные шумы в каждом канале остаются на уровне ниже -80 дБ в всем диапазоне звуковых частот, а перекрестные помехи — на уровне ниже -70 дБ во всем диапазоне звуковых частот.

Компактность, высокое качество и надежность этого 4-канального усилителя звуковой частоты класса D обеспечивается путем применения автоколебательной широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Поскольку данная схема соответствует аналоговой версии сигма-дельта модуляции второго порядка с импульсным каскадом класса D в составе контура, все ошибки в диапазоне звуковых частот сдвигаются в высокочастотный диапазон, где они не воспринимаются ухом. Следствием является меньший уровень шума. Кроме того, сигма-дельта модуляция позволяет конструктору еще больше снизить уровень шумов и искажений, реализовав коррекцию ошибок в достаточном объеме.

Пример конструкции

Хотя потенциально данное устройство рассчитано на гораздо более высокие частоты переключения, приведенная здесь схема работает на частоте 400 кГц. Эта частота переключения считается оптимальной по нескольким причинам. Во-первых, на более низких частотах КПД окончательного каскада на полевых МОП-транзисторах возрастает, но при этом усиливаются пульсации тока в дросселях. Возрастает и утечка несущей частоты ШИМ на выход. Во-вторых, на более высоких частотах КПД снижается за счет потерь на переключение, зато потенциально расширяется полоса частот. Пульсации тока в дросселях снижаются, но одновременно растут потери в сердечниках.

Программируемая схема защиты предохраняет полевые МОП-транзисторы в верхнем и нижнем плечах от перегрузки по току в обоих направлениях. Для этого сопротивления $R_{DS(on)}$ выходных транзисторов используются в качестве токоизмерительных резисторов.

Чтобы предотвратить бросок тока через оба транзистора, предусматривается специальная пауза между закрытием транзистора в верхнем плече и открытием транзистора в нижнем плече или между закрытием транзистора в нижнем плече и открытием транзистора в верхнем плече. Эта пауза на-

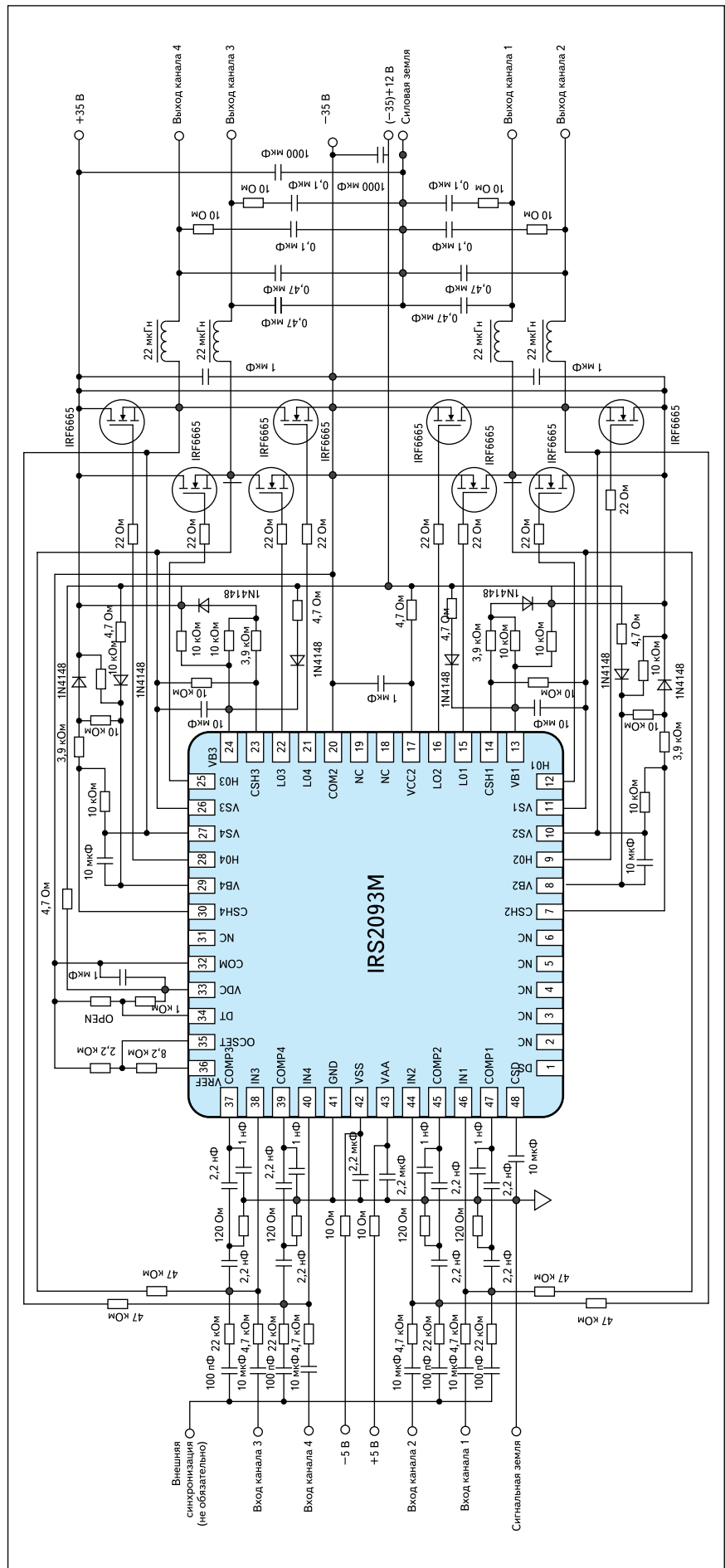


Рис. 2. Принципиальная схема 4-канального усилителя звуковой частоты класса D

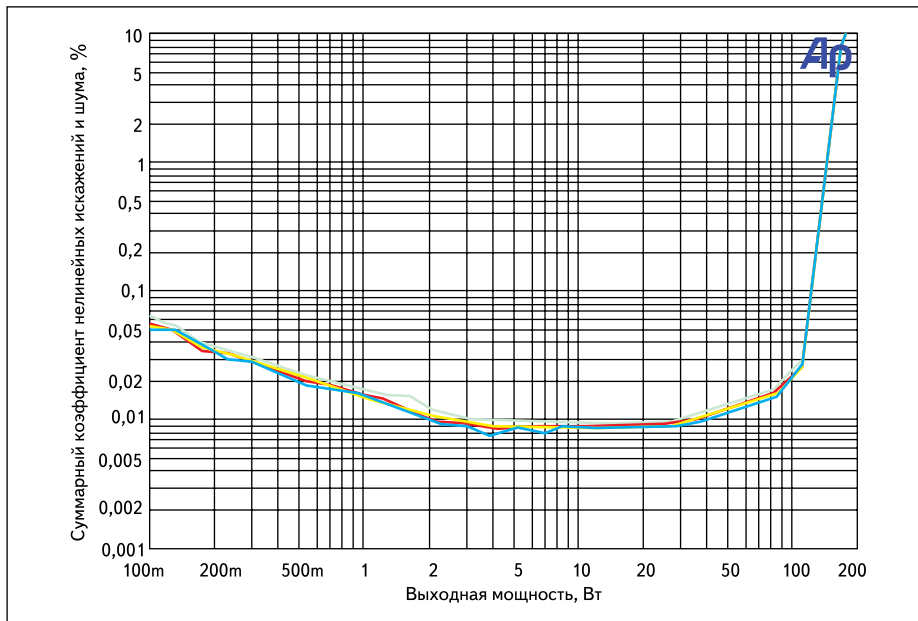


Рис. 3. Зависимость нелинейных искажений и шума от выходной мощности

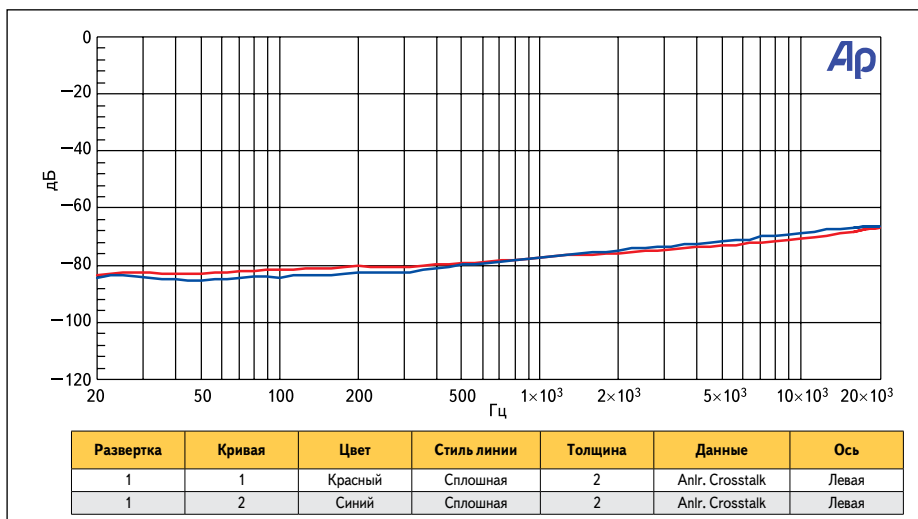


Рис. 4. Результаты испытаний на разделении каналов 1 и 3

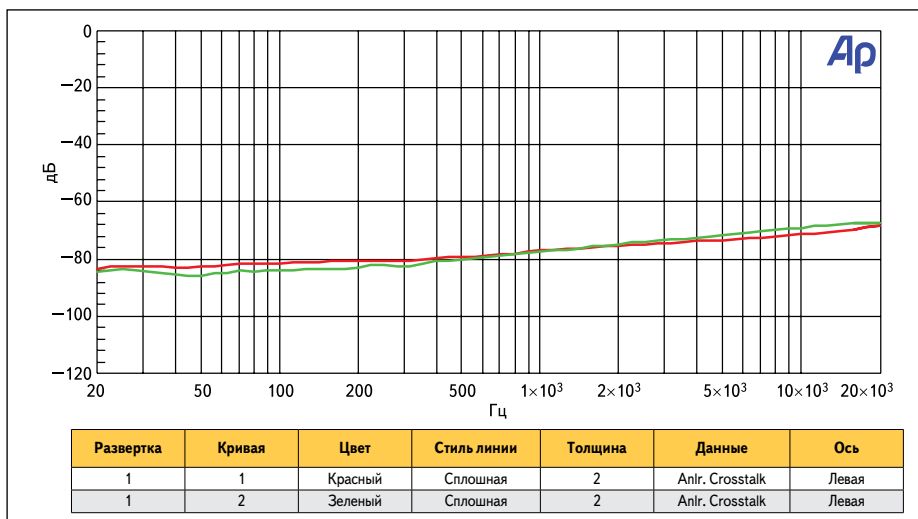


Рис. 5. Результаты испытаний на разделении каналов 1 и 4

зывается интервалом неперекрывтия. В целях оптимизации характеристик интегральный возбудитель оконечного каскада позволяет конструктору выбирать одно из нескольких фиксированных значений интервала неперекрывтия, в зависимости от размера используемых полевых МОП-транзисторов. Для установки интервала неперекрывтия посредством вывода DT достаточно двух внешних резисторов.

Для блокировки при пониженном напряжении (UVLO) интегральная схема отслеживает напряжения питания V_{AA} и V_{CC} , чтобы устройство начинало нормальную работу только после того, как оба напряжения превысят соответствующие пороги.

Добавив восемь специализированных мощных полевых МОП-транзисторов компании IR для цифровых аудиосхем и ряд других внешних пассивных компонентов, можно сконструировать 4-канальный полумостовой усилитель звуковой частоты класса D с выходной мощностью до 120 В на канал (рис. 2). Мощные полевые МОП-транзисторы в корпусе DirectFET для цифровых аудиосхем, например, IRF6665, специально оптимизированы для работы на звуковых частотах по таким параметрам, как КПД, суммарный коэффициент нелинейных искажений и устойчивость к электромагнитным помехам.

Помимо малого сопротивления во включенном состоянии, эти транзисторы также отличаются минимальными значениями заряда затвора, времени обратного восстановления и внутреннего сопротивления затвора. Кроме того, корпус DirectFET характеризуется малыми значениями паразитных индуктивности и сопротивления по сравнению с традиционными корпусами с проволочными выводами.

В реальности выходной сигнал силового каскада, образованного специализированными полевыми МОП-транзисторами в верхнем и нижнем плечах, представляет собой усиленный ШИМ-сигнал. Звуковой сигнал выделяется из этого ШИМ-сигнала расположенным на выходе LC-фильтром нижних частот. Данный LC-фильтр удаляет из сигнала несущую частоту коммутации класса D и передает на динамик сигнал звуковой частоты. Для демпфирования резонансов LC-контура и предотвращения возникновения пиков АЧХ на низкоомной нагрузке за фильтром нижних частот установлен RC-фильтр, называемый цепью Зобеля.

Для оптимизации характеристик 4-канального усилителя звуковой частоты на печатной плате выполнено отдельное заземление для низковольтного входного звукового сигнала и мощного выходного сигнала. Вдобавок токовые контуры локализованы, чтобы они охватывали как можно меньшую площадь. Распространение всплесков напряжения далее по схеме блокируется соответствующими высокочастотными развязывающими конденсаторами. Демпфирующая

РС-цепочка в оконечном каскаде ослабляет остаточные артефакты переключения. Чтобы минимизировать уровень собственных шумов, чувствительный аналоговый блок ШИМ отделен от мощного импульсного каскада. Компоненты расположены так, чтобы свести к минимуму паразитные индуктивности.

Результирующие характеристики

Результаты измерений, проведенных на частоте 1 кГц при напряжении 1 В_{эфф} и сопротивлении нагрузки 4 Ом, показывают, что КПД на один канал составляет около 90% в широком диапазоне уровней выходной мощности. Основными факторами, обуславливающими высокий КПД, являются малые потери на проводимость и переключение. Плюс к тому, отсутствует перекрестная проводимость за счет надежного интервала неперекрытия, обеспечиваемого интегральной схемой драйвера. Малое сопротивление канала транзисторов DirectFET IRF6665 во включенном состоянии обеспечивает малые потери на проводимость, а малая входная емкость и заряд затвора Q_G сводит к минимуму потери на переключение.

Как видно на рис. 3, суммарный коэффициент нелинейных искажений и шума (THD+N) составляет менее 0,01% при уровнях выходной мощности менее 50 Вт на канал. Эти характеристики сохраняются даже при увеличении выходной мощности с 10 до 50 Вт на канал с 4-омной нагрузкой.

Этот 4-канальный усилитель звуковой частоты класса D был также испытан на разделение каналов. Результаты испытаний на кондуктивные помехи показывают, что уровень перекрестных помех между каналами 1 и 3 и каналами 1 и 4 оказывается ниже -70 дБ во всем диапазоне звуковых частот при уровне мощности 60 Вт на канал. Эти результаты представлены на рис. 4 и 5.

Коэффициент подавления помех от источника питания (power supply rejection ratio, PSRR) составляет -68 дБ на частоте 1 кГц. Столь высокое значение этого показателя обусловлено частотой автоколебаний возбуждителя. Как следствие, этот 4-канальный усилитель класса D демонстрирует высокие характеристики даже в случае питания от нестабилизированных источников.

Итак, сочетая высоковольтный интегральный контроллер-возбудитель, такой как IRS2093M, с оптимизированными для

цифровых аудиосхем мощными полевыми МОП-транзисторами, можно построить 4-канальный усилитель звуковой частоты класса D, сравнимый с одноканальными конструкциями по таким параметрам, как КПД, суммарный коэффициент нелинейных искажений и шума и помехоустойчивость. Уровень собственных шумов такого усилителя остается ниже -80 дБ·В во всем диапазоне звуковых частот. Высокая степень развязки между каналами сводит к минимуму интермодуляционные искажения, обеспечивая удовлетворительное качество звука. За счет высокого КПД, дающего возможность отказаться от радиаторов, на базе данной интегральной схемы драйвера оконечного каскада можно сконструировать 4-канальный усилитель звуковой частоты класса D с площадью печатной платы на 50% меньше, чем позволяют конкурирующие решения. ■

Литература

1. Honda J. Choosing Right MOSFET Parameters for Class D Audio Power Amplifiers. International Rectifier, El Segundo, Calif.
2. Honda J., Haung C. PCB layout with IR class D audio gate drivers. IR Application Note AN-1135.