

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-

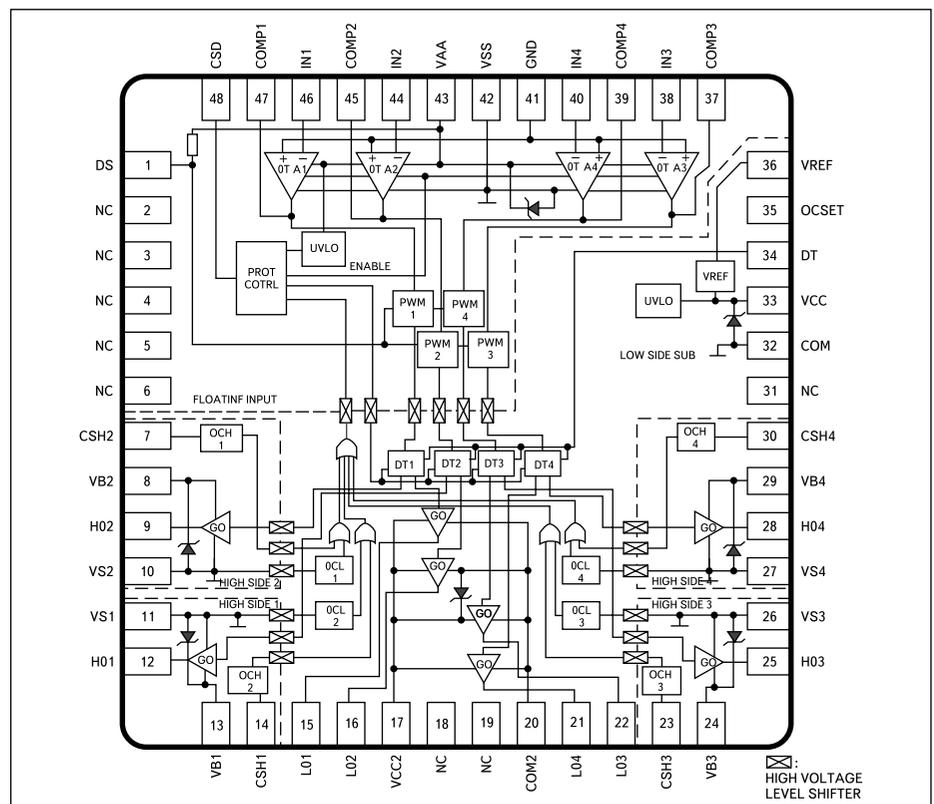


Рис. 1. Микросхема IRS2093M

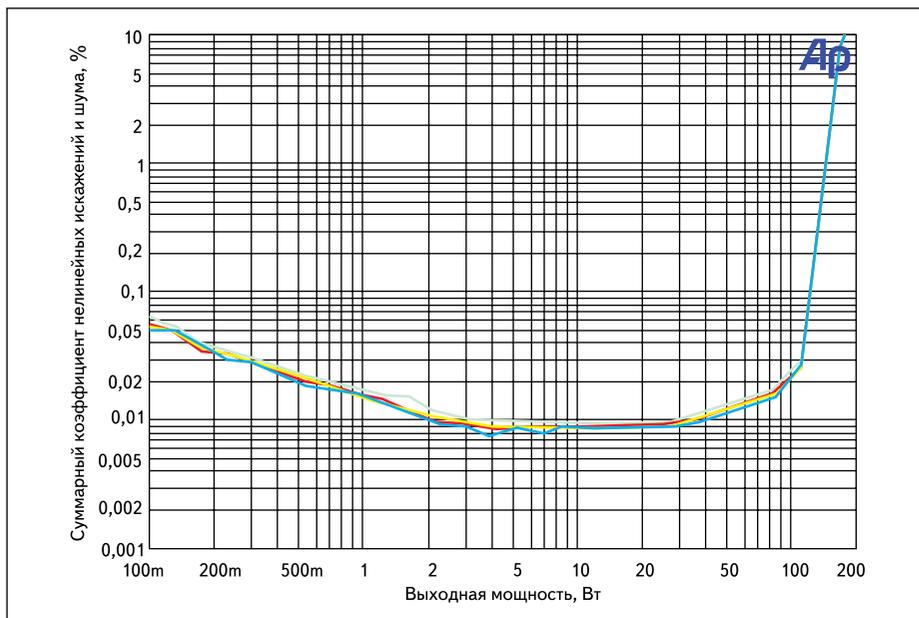


Рис. 3. Зависимость нелинейных искажений и шума от выходной мощности

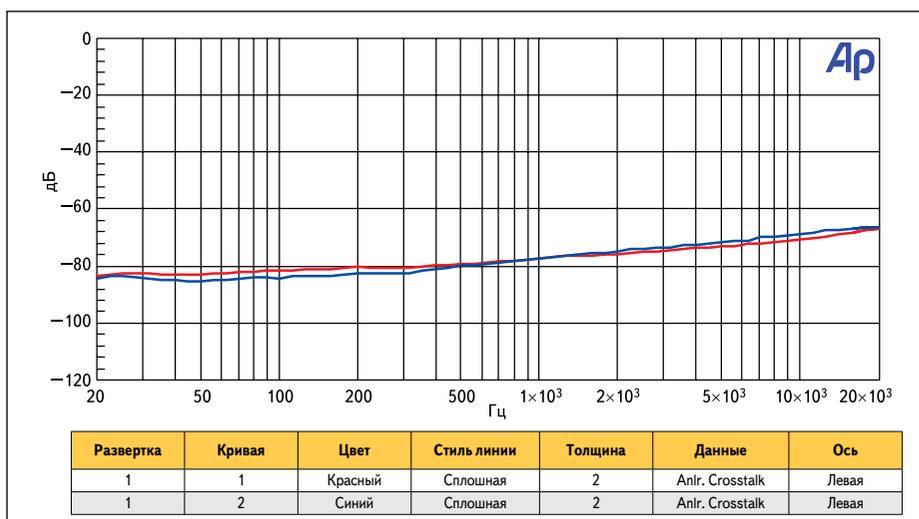


Рис. 4. Результаты испытаний на разделении каналов 1 и 3

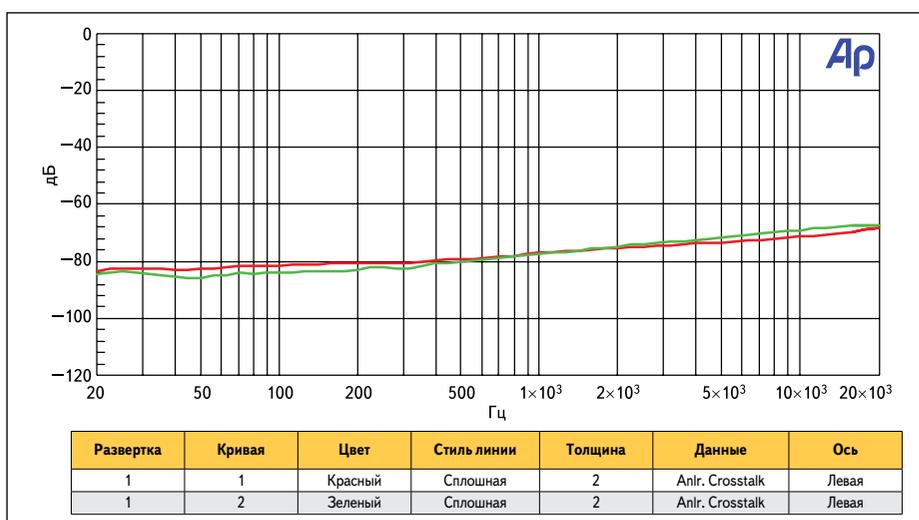


Рис. 5. Результаты испытаний на разделении каналов 1 и 4

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.