

НОВОЕ СЕМЕЙСТВО СИЛОВЫХ P-КАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

АБДУС САТТАР (ABDUS SATTAR), техн. менеджер по применению, IXYS Corp.

КЕН-ВУК СЁК (KYOUNG-WOOK SEOK), менеджер по исследованиям и разработке, IXYS Corp.

В статье описано новое семейство P-канальных МОП-транзисторов, рабочие характеристики которых схожи с показателями N-канальных МОП-транзисторов, включая быстрое переключение и работу с обратной полярностью.

P-канальные МОП-транзисторы были созданы с использованием последнего поколения технологий Trench и Polar. Эти устройства обладают всеми преимуществами сопоставимых N-канальных силовых транзисторов, к числу которых относятся очень быстрое переключение, управление с помощью уровня напряжения затвора, простота параллельного соединения и высокая температурная стабильность. У P-канальных МОП-транзисторов, предназначенных для работы с отрицательным напряжением, подложка представляет собой полупроводник N-типа с меньшим удельным сопротивлением и с высоким уровнем напряжения пробоя, поскольку паразитный PNP-транзистор меньше подвержен пробую [1]. По сравнению с силовыми МОП-транзисторами N-типа с сопоставимыми параметрами, у P-канальных устройств лучшая область безопасной работы в прямом направлении (FBSOA — forward bias safe operating area). Кроме того, они практически не подвержены феномену шнурового выгорания [2]. Наиболее важным преимуществом P-канальных МОП-транзисторов является упрощенный метод управления затвором при верхнем положении ключа [3].

Напряжение питания P-канального устройства постоянно, если оно работает как ключ верхнего уровня

(V_U). Напротив, напряжение питания N-канального устройства, используемого в качестве ключа V_U, изменяется в диапазоне между низким и высоким уровнями постоянного напряжения на шине. Таким образом, для управления N-канальным устройством необходимо использовать драйвер изолированного затвора или импульсный трансформатор. Драйверу требуется другой источник питания, тогда как трансформатор может иногда работать некорректно. Однако во многих случаях драйвер затвора нижнего уровня (V_L) может управлять P-канальным ключом V_U с помощью цепи сдвига простого уровня, что упрощает схему и во многих случаях — стоимость всего решения. Главным недостатком P-канального устройства является его относительно высокое значение R_{DS(ON)}, по сравнению с N-канальным транзистором. Это значит, что недорогие решения с P-канальными МОП-транзисторами требуют оптимизации устройств за счет снижения R_{DS(ON)}.

Нам удалось разработать два семейства силовых P-канальных МОП-транзисторов (Polar™ и TrenchP™) с V_{DS}

в диапазоне –600...–50 В и током ID25 в пределах –170...–10 А. Оба семейства обладают лучшими в своем классе характеристиками, выполнены в корпусах промышленного стандарта и корпусах собственной разработки ISOPLUS. На рисунке 1 схематически показаны два типа МОП-транзисторов и их схематические обозначения.

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТВОРОМ

Схема управления P-канальным МОП-транзистором проще и дешевле, чем управление N-канальным МОП-транзистором в качестве ключа V_U [5]. На рисунке 2 показан пример схемы управления P-канальным ключом V_U, которая намного проще и дешевле схемы N-канального МОП-транзистора. В стандартную схему управления затвором N-канального МОП-транзистора добавляются Dz, Rz и Ch. На конденсаторе Ch происходит падение постоянного напряжения между управляющими цепями затворов верхнего и нижнего уровней, поэтому она должна быть намного больше входной емкости P-канального МОП-транзистора. Стабилитрон Dz поддерживает напряжение затвор-

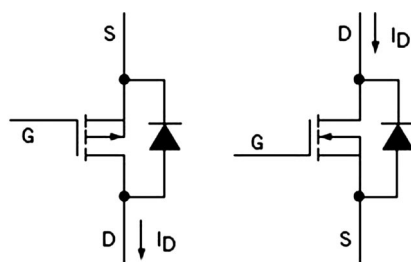


Рис. 1. Схематические вид и обозначения р-канального (слева) и п-канального (справа) МОП-транзисторов

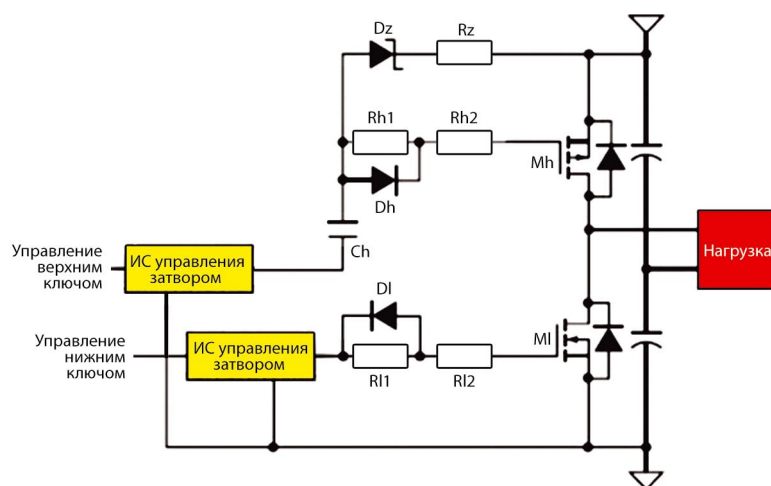


Рис. 2. Пример более простой и дешевой схемы управления затвором P-канального МОП-транзистора в ШИМ-приложении

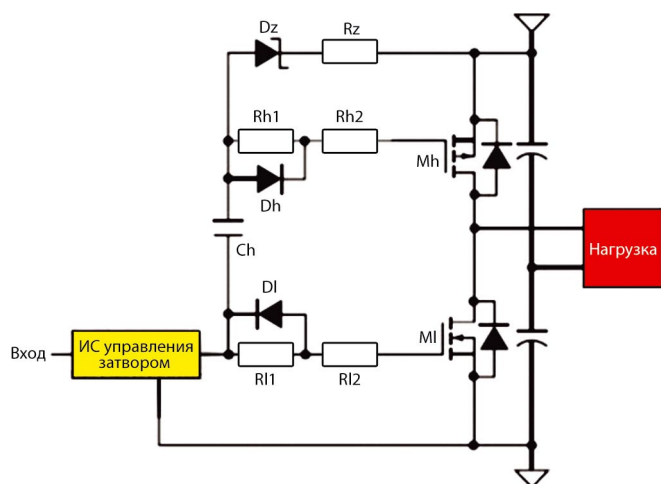


Рис. 3. Для управления затворами P- и N-канальных МОП-транзисторов применяется одна ИС

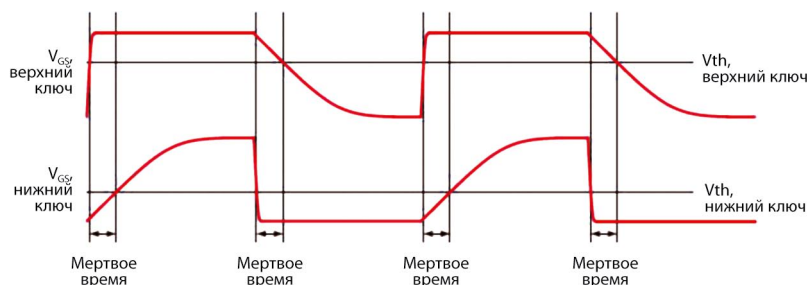


Рис. 4. Мертвое время для единственной ИС управления затвором зависит от напряжения исток-затвор, V_{GS}

исток в диапазоне от отрицательного напряжения стабилизации до 0 В.

Произведение Ch на Rz определяет скорость регулирования напряжения постоянного тока на Ch . Если это значение слишком малое, возникает большой ток, который может повредить ИС управления затвором или Dz . При слишком большом значении этого произведения P-канальный МОП-транзистор станет слишком мед-

ленно переключаться из-за длительного времени нарастания амплитуды сигнала на затворе и может повредить транзистор. $Rh2$ и $Rl2$ — резисторы для управления скоростью выключения транзистора. $(Rh1 + Rh2)$ и $(Rl1 + Rl2)$ — резисторы по управлению скоростью включения транзистора. Часто бывает лучше, если скорость включения меньше скорости выключения [4].

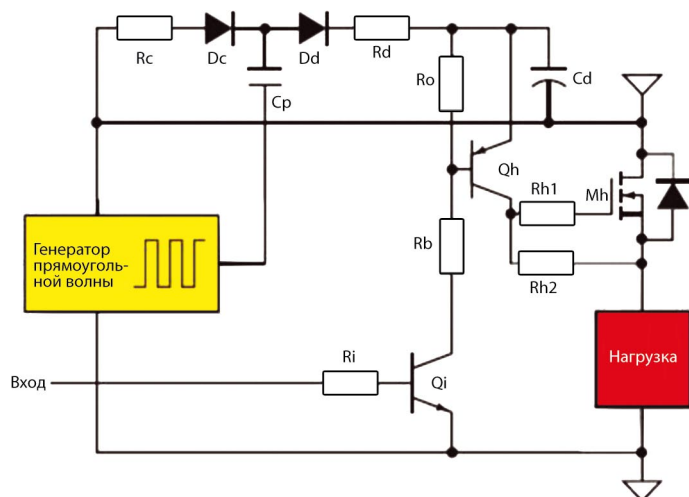


Рис. 5. Низкочастотный N-канальный МОП-транзистор, управляемый генератором подкачки заряда, который обеспечивает более высокое напряжение на затворе, чем напряжение DC-звена

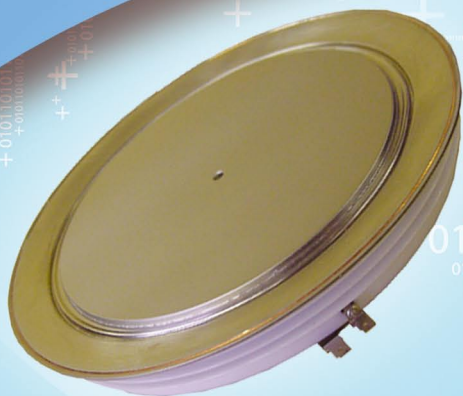
Во многих случаях как P-, так и N-канальные МОП-транзисторы управляются единственной ИС, как видно из рисунка 3. Это наиболее дешевый и простой полумостовой метод управления затвором. Чтобы избежать поперечной проводимости, с помощью разности между скоростью включения и выключения задается мертвое время. Если оно слишком короткое, возникает возможность образования большого количества тепла и риск сбоя в работе транзистора. Если оно слишком продолжительное, снижается выходное напряжение мостовой цепи. На рисунке 4 показана кривая мертвого времени в случае использования одной ИС управления затвором. В такой схеме в начале периода включения каждого транзистора напряжения исток-затвор недостаточно для полного включения устройства, что влечет за собой дополнительные потери мощности. Таким образом, эта схема не пригодна для приложений с жестким переключением, тогда как для некоторых применений с отключением при нуле напряжения (ZVS — zero-voltage switching), в которых МОП-транзисторы включаются в то время, пока противоположный МОП-транзистор работает в режиме диода, эта цепь может оказаться экономически эффективной [4].

Почти все нагрузки, обычно используемые в приложениях автомобильной электроники, включены между ключами и заземлением. Все ключи в этих приложениях находятся на положительной клемме. Для управления N-канальным ключом на очень низкой частоте нельзя использовать импульсный трансформатор. На рисунке 5 показана схема, позволяющая создать более высокое напряжение на затворе, чем напряжение питания. В тот момент, когда выходной сигнал генератора прямоугольной волны проходит ноль, диод Dc заряжает Cp . Когда выходной сигнал этого генератора находится в положительной области напряжения питания, Cp разряжается через диод Dd . Заряд передается на Cd и далее поступает в цепь управления затвором верхнего ключа.

Как видно из рисунка 6, P-канальный МОП-транзистор значительно упрощает схему рисунка 5 в целом. Вообще говоря, более простая схема отличается большей надежностью. Несмотря на то, что P-канальный ключ имеет большее, чем N-канальный ключ, сопротивление $R_{DS(ON)}$, во многих случаях эта простая схема позволяет добиться экономически более эффективного решения с более дорогим P-канальным МОП-транзистором.

IGBT модули прижимного типа

WESTCODE
An IXYS Company



- Номинальный ток коллектора от 160 до 2400 А
- Напряжение насыщения не более 4,7 В
- Напряжение коллектор-эмиттер до 4,5 кВ
- Версии со встроенным антипараллельным диодом
- Новые кристаллы с повышенной надежностью
- Частота переключений тока двойной амплитуды без снаберных цепей - 1кГц

www.argussoft.ru

ARGUSSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ДИСТРИБЬЮТ

• **Москва**

Тел.: (495) 660-2855
Факс: (495) 660-2855
E-mail: cmp@argussoft.ru

• **Санкт-Петербург**

Тел.: (812) 412-0107
Факс: (812) 412-1849
E-mail: spb@argussoft.ru

• **Новосибирск**

Тел.: (383) 227-1155
Факс: (383) 222-4031
E-mail: nsk@argussoft.ru

• **Екатеринбург**

Тел.: (343) 378-3242
Факс: (343) 378-3241
E-mail: ural@argussoft.ru

• **Казань**

Тел.: (843) 293-4100
Факс: (843) 293-4100
E-mail: kazan@argussoft.ru

СРАВНЕНИЕ P- И N-КАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Невозможно создать силовой P-канальный МОП-транзистор с теми же электрическими параметрами, что и у N-канальных устройств. В силу того, что подвижность носителей в силовых N-канальных транзисторах в 2,5—3 раза выше при одинаковом значении $R_{DS(ON)}$, размер P-канальных устройств должен быть в 2,5—3 раза больше размера N-канальных транзисторов. Из-за большей площади у P-канального устройства меньше термосопротивление и выше номинальный ток. Его динамические характеристики (емкость, заряд затвора и т.д.), соответственно, другие, и пропорциональны площади кристалла.

В низкочастотных коммутационных приложениях, в которых преобладают потери на проводимость, у P- и N-канального МОП-транзисторов должен быть одинаковый номинальный ток. Следовательно, можно полагать, что их температуры p-n-перехода одинаковы при той же температуре корпуса и токе. В этом случае площадь кристалла P-канального устройства в 1,5—1,8 раза превышает тот же показатель N-канального транзистора.

В высокочастотных коммутационных приложениях, в кото-

рых преобладают потери на переключение, суммарные заряды затворов P- и N-канального МОП-транзисторов должны быть одинаковыми. Следовательно, если два МОП-транзистора имеют одинаковый заряд затвора и управляются одинаково, у них одинаковые потери на переключение. В этом случае P-канальный МОП-транзистор при той же площади кристалла, что и у N-канального устройства, имеет меньший номинальный ток.

При работе в линейном режиме требуется сравнивать P- и N-канальные устройства, имеющие одинаковые параметры FBSOA в реальном рабочем диапазоне. На практике подходящий P-канальный МОП-транзистор тщательно выбирается исходя либо из одинаковых значений номинального тока, либо из того же заряда затвора. Приложения, в которых требуется, чтобы $R_{DS(ON)}$ были одинаковыми, встречаются очень редко.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Аудиоусилители — возможно, наиболее важное приложение P-канальных МОП-транзисторов. На рисунке 7 показана цепь аудиоусилителя класса АВ с комплементарным выходным каскадом силового МОП-транзистора, дифференциальным

входным каскадом и током смещения выходного каскада. Эта схема позволяет улучшить рабочие характеристики эквивалентного биполярного выходного каскада и упростить цепь управления. Входной каскад имеет дифференциальный компаратор PNP, на который поступает входной сигнал через R1 и C1 и отрицательную обратную связь с выходным каскадом через базу Q2 и резистор R6. Компаратор

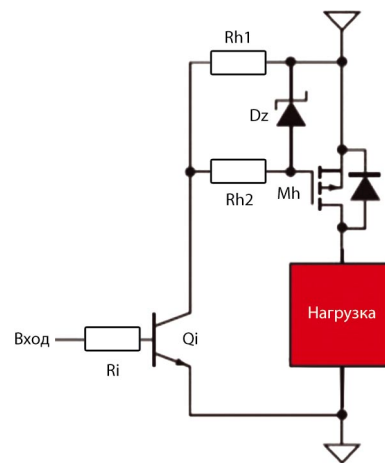


Рис. 6. Схема управления низкочастотным P-канальным МОП-транзистором упрощает схему рисунка 5

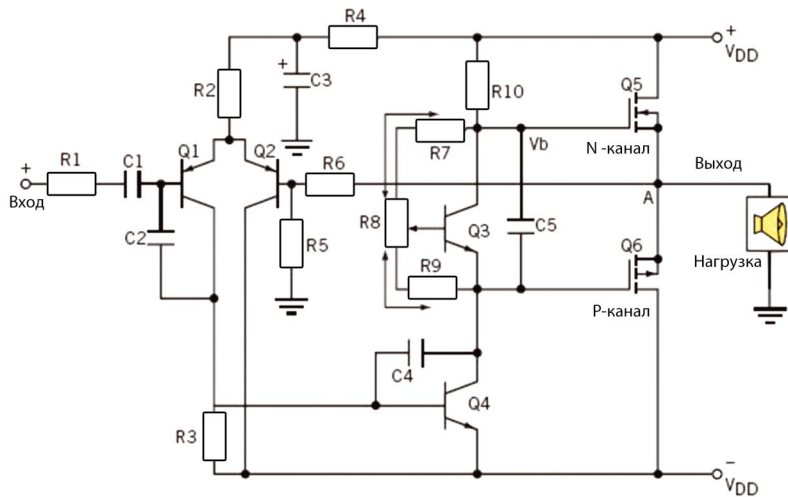


Рис. 7. Аудиоусилитель класса АВ с комплементарным выходным каскадом силового МОП-транзистора [6]

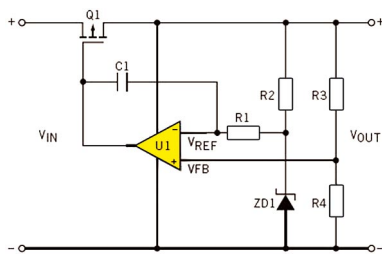


Рис. 8. Линейный стабилизатор напряжения, в котором падение напряжения на Р-канальном МОП-транзисторе можно понизить почти до нуля, обеспечив широкий диапазон входного напряжения

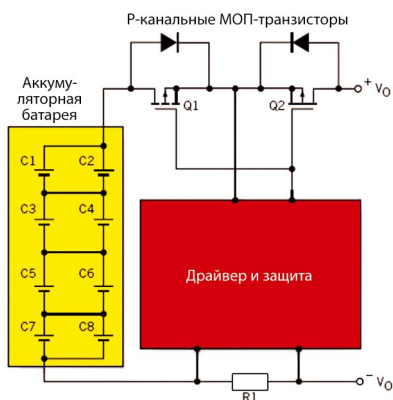


Рис. 9. Схема защиты и зарядки батарей для Li-ион-аккумулятора с использованием Р-канальных МОП-транзисторов

управляет транзистором Q4, который, в свою очередь, управляет выходным каскадом. Компоненты R6 и R5 определяют коэффициент усиления контура обратной связи как $\beta = R5/(R5 + R6)$. Резистор R2, типичное значение которого равно 2 мА, задает ток смещения на входном каскаде. R4 и C3 образуют фильтр, обеспечи-

вающий дополнительное подавление пульсаций источника питания.

Умножитель напряжения V_{BE} , состоящий из элементов R7, R8, R9, C5 и Q3, обеспечивает напряжение смещения V_B между затворами транзисторов Q5 и Q6. Конденсатор C5 удерживает это напряжение. Если у транзистора Q3 напряжение $V_{BE} \sim 0,6$ В, R9 ~ 10 кОм, а R7 ~ 100 кОм, то величина смещения составит $V_B \cdot V_{BE} \sim 10 \cdot 0,6$ В = 6 В. С помощью этого напряжения транзисторы Q5 и Q6 слегка приоткрыты, благодаря чему ток покоя протекает через выходной каскад. Ток покоя снижает искажения при переходе через ноль, связанные с выходным каскадом. Емкости небольшой величины C2 и C4 делают всю схему устойчивой [6].

Выходной каскад состоит из силовых P- и N-канальных МОП-транзисторов (Q5 и Q6), последовательно соединенных между высоковольтным (V_{DD}) и низковольтным ($-V_{DD}$) выводами. Q5 и Q6 подключены к выводу OUTPUT, с которого выходной сигнал поступает на нагрузку LOAD (динамик). Коэффициент усиления выходного каскада, следующего за питающей цепью, около 1, т.е. представляет собой почти идеальный источник напряжения, которое практически не зависит от выходного тока [6].

Оба МОП-транзистора в усилителе класса АВ требуют расширенной области FBSOA, т.к. работают в линейном режиме, в котором рассеяние мощности очень велико.

Линейные стабилизаторы напряжения широко используются для питания электронных устройств и имеют множество конфигураций для различных приложений. Пример одного из них показан на рисунке 8. Резистивный

делитель (R3 и R4) отслеживает выходное напряжение и обеспечивает обратную связь по напряжению (V_{FB}) на положительном выводе операционного усилителя (U1). На отрицательный вывод ОУ поступает опорное напряжение (V_{REF}) с диода Зенера (ZD1). ОУ обеспечивает управляющее напряжение на регулируемом P-канальном МОП-транзисторе (Q1). Благодаря тому, что падение напряжения на Q1 можно понизить практически до нуля, эта цепь имеет широкий диапазон входного напряжения.

Рассеяние мощности на устройстве Q1, входящем в состав линейного стабилизатора напряжения, большое, т.к. зависит от разности между входным и выходным напряжениями и выходным током. Силовой P-канальный МОП-транзистор работает в линейном режиме, требуя расширенной области FBSOA, которую обеспечивают оба семейства силовых P-канальных МОП-транзисторов компании IXYS.

На рисунке 9 показана система зарядки и разрядки батарей Li-ion (Li+). Один МОП-транзистор участвует в зарядке аккумулятора, тогда как другой — в разрядке. Если оба транзистора выключены, батарея изолируется от внешней цепи с целью защиты. В начале цикла зарядки происходит в режиме постоянного тока, и МОП-транзистор работает в линейной области. После того как батарея достигнет установленного уровня напряжения, обратная связь начнет уменьшать ток зарядки, с тем чтобы поддержать требуемый уровень напряжения и обеспечить постоянный рабочий режим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Erickson, R. W. and Maksimov, D. *Fundamentals of Power Electronics*, University of Colorado, Second Edition.
2. Dodge, J. *Reduced Circuit Zapping from Cosmic Radiation*, *Micro Semi*, September 2007// powerelectronics.com/power_semiconductors/power_mosfets/circuit-zapping-cosmic-radiation-0907.
3. *How P-Channel MOSFETs Can Simplify Your Circuit*, AN-940, *International Rectifier*, www.eetasia.com/ARTICLES/2000MAY/2000MAY04_ICD_WLP_AN.PDF?SOURCE=DOWNLOAD.
4. Mohan, N., Robbins, W. and Undeland, T.M. *Power Electronics — Converters, Applications and Design*, John Wiley & Sons, 2nd Edition.
5. *P-Channel MOSFETs, the Best Choice for High-Side Switching*, AN804, *Vishay Siliconix*, March 10, 1997, www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/70611.pdf.
6. *Linear Power Amplifier Using Complementary HEXFETs*, AN-948, *International Rectifier*// home.eunet.cz/rysanek/pdf/irf-fet-amp.pdf.