

МОЩНЫЕ МОП ПТ С ДАТЧИКОМ ТОКА

Введение

Эта статья знакомит разработчика с новым семейством силовых МОП ПТ, выпускаемых фирмой International Rectifier. Обозначаемые как серия HEXsense «С», они являются МОП ПТ с возможностью считывать ток. (Далее МОП ПТ-СТ).

Характеристики МОП ПТ с датчиком тока

Семейство МОП ПТ-СТ расширяет имеющийся в настоящее время набор МОП ПТ. Этот набор состоит из кристаллов нескольких размеров, от HEX Z до HEX 5 (см. табл 1), организованных в геометрической прогрессии по мощности, т.е. каждый кристалл имеет вдвое большую возможность по мощности, чем предыдущий и половину от последующего, большего по величине. Разнообразие стандартных корпусов и, возможность заказного корпусирования завершают построение набора.

Таблица на рис. 1 демонстрирует расширение этого набора транзисторами со считыванием тока, совместимыми с соответствующими им МОП ПТ. Способность считывать ток может быть получена в существующих схемах без ущерба для характеристик силового прибора.

Семейство мощных ПТ с защитой по току

Voltage	TO-220 Package Style			TO-247 Package Style	
	Die Size			Die Size	
	HEX-2	HEX-3	HEX-4	HEX-4	HEX-5
60V	IRCZ24	IRCZ34	IRCZ44	-	IRCP054
100V	-	IRC530	IRC540	-	-
200V	-	IRC630	IRC640	-	IRCP250
250V	-	IRC634	IRC644	-	-
400V	-	IRC730	IRC740	-	-
500V	-	IRC830	IRC840	-	IRCP450

Рис. 1, Виды приборов с защитой по току

Сочетание букв IRC в названии прибора указывает на то, что этот прибор является МОП ПТ с датчиком тока. Размер кристалла определяется предпоследней цифрой. Другие цифробуквенные знаки определяют норму напряжения, корпус и т.д.

Особенности МОП ПТ с датчиком тока

Кристалл МОП ПТ состоит из множества транзисторных ячеек, работающих параллельно (рис. 3). Когда прибор находится во включенном состоянии, ток протекает от стока к истоку через узкую область канала вокруг края каждой ячейки. Так как ток проводится в области канала основными носителями, то ток стока распределяется относительно равномерно между ячейками и мало отличается от прибора к прибору одного и того же типа. Следовательно, ток стока может определяться измерением тока, протекающего через небольшое количество ячеек и умножением его на коэффициент, который известен для конкретного типа прибора. Имеющие место потери мощности невелики, поэтому ток стока МОП ПТ-СТ может определяться методом, не учитывающим потери.

Область истока считывающих ток ячеек покрывается изолированной металлизацией, которая соединена с внешним выводом через отдельную контактную площадку и разварочную проволоку; этот вывод называют выводом считывания или выводом датчика. Буква С используется в символах, представляющих различные электрические параметры, связанные с функцией считывания тока, например: V_{dc} , I_{dc} или I_c и т.п.

Два соединения выводов выполнены к металлизации истока основных ячеек через отдельные термокомпрессионные проволоки. Это вывод силового истока и вывод истока термодатчика. Правильное использование вывода термодатчика очень важно для точного измерения тока прибора, как будет пояснено далее.

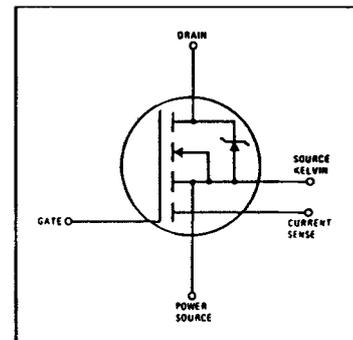


Рис. 2. 5-выводные корпуса TQ-220 и обозначение прибора

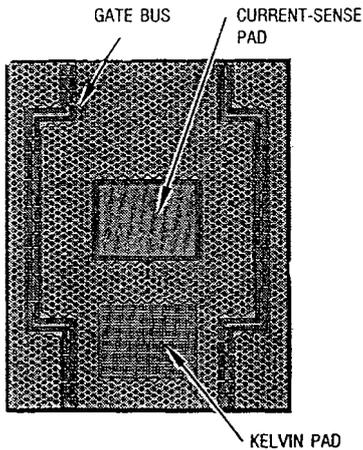


Рис. 3. Кристалл прибора с датчиком тока

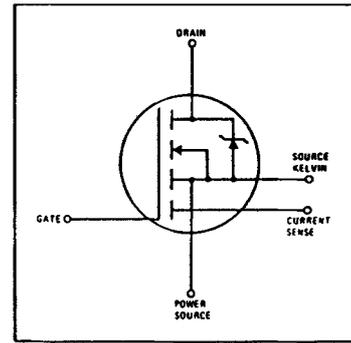


Рис. 4. Обозначение МОП ПТ с датчиком тока

Практически, прибор состоит из двух параллельных МОП ПТ с изолированными истоками (рис. 4), обычно называемыми как «силовой прибор» и «считывающий прибор». Ключевым параметром этой комбинации является коэффициент считывания тока (γ). Это отношение между током, протекающим через вывод истока, и током, протекающим через вывод датчика. Это отношение, конечно, будет слегка отличаться с точки зрения тока стока, который является суммой обоих токов:

$$I_D = (\gamma + 1)I_c$$

При идеальных условиях равного усиления всех ячеек и хорошей металлизации истока коэффициент считывания тока будет равен отношению числа ячеек в силовом приборе к числу ячеек в считывающем приборе.

Выходная емкость считывающих ячеек (C_{oss}) выше величины, ожидаемой только от сравнения площадей из-за относительно большой емкости контактной площадки вывода датчика. Ее влияние будет чувствоваться в начале режима полного усиления (в виде избытка тока из-за ее разряда) и в его конце (в виде его снижения). Однако на практике эти явления малы по сравнению с вероятными ограничениями максимальной скорости нарастания выходного напряжения считывающего операционного усилителя.

Зависимость отношения токов от температуры, напряжения затвора и тока стока

Отношение токов, γ , слабо меняется с изменением температуры, напряжения затвора и тока стока. Эти изменения имеют ряд причин, включая изменения в удельном сопротивлении кремния, из которого сделаны приборы, температурные градиенты по кристаллу и падение напряжения в металлизации истока. Типовые изменения в соотношении токов, которые могут ожидать от изменения T_j , V_{gs} и I_d , показываются для каждого прибора в справочных данных. В каждом случае один параметр изменяется, а остальные параметры поддерживаются постоянными. Влияние их накапливающееся, то есть, если все три параметра меняются, то каждый будет давать свой вклад в изменение γ .

Практическое применение функции считывания тока

Считывание эффективной земли

Схема, которая дает лучшие характеристики в смысле быстродействия, точности и помехозащищенности, показана на рис. 5. В слегка измененном варианте она принята для справочных данных и описана подробно в приложении 1.

Для работы в режиме полного усиления точность этой схемы может быть прямо оценена из справочных данных и допуска для γ . Ни напряжение смещения, ни ток смещения операционного усилителя не должны оказывать влияния на общие статические характеристики.

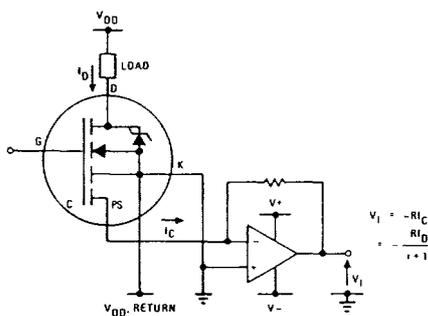


Рис. 5. Рабочая схема со считыванием тока в варианте с заземлением

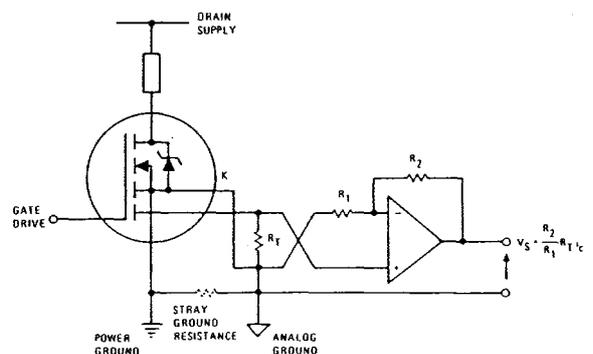


Рис. 6. Рабочая схема со считыванием при помощи резистора

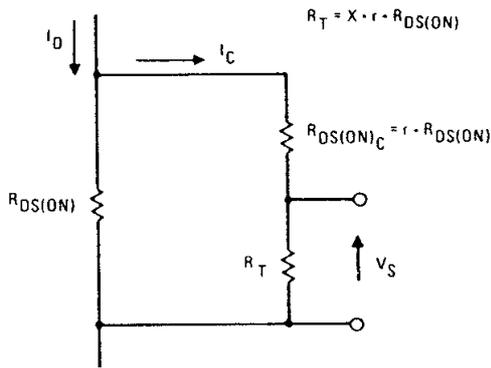


Рис. 7. Оценка ошибки, вносимой R_T

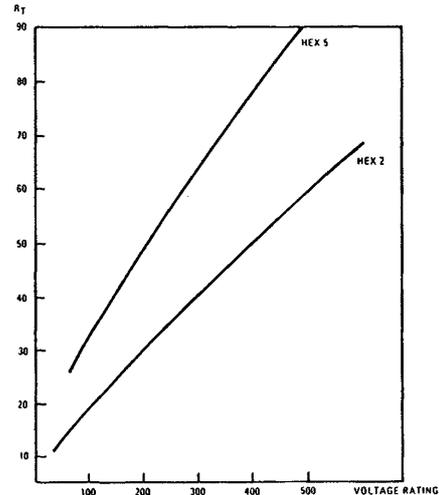


Рис. 8. Минимальная величина R_T для достижения 20 мВ при токе стока, составляющем 10% от нормативного значения, при 25°C

Однако это не так для динамических характеристик. Размахи тока в 10 А за 100 нсек - обычное дело для импульсных источников питания и подобных им схем. При выходе 5 В и 10 А это переводится в требуемую максимальную скорость нарастания выходного напряжения операционного усилителя 50 В/мксек, что является величиной, порядок которой достижим для имеющихся операционных усилителей. Время установления выходного напряжения операционных усилителей с высокой скоростью нарастания будет также влиять на динамические характеристики этой схемы.

Недостатками этой схемы являются требование двойного источника питания для операционного усилителя и отрицательная полярность выходного напряжения. Вторая схема, показанная на рис. 6, преодолевает эти недостатки при существенном ухудшении в точности и рабочих характеристиках.

В этой схеме перевод тока в напряжение осуществляется с помощью считывающего резистора R_T , в то время как операционный усилитель обеспечивает необходимое усиление. Входное и выходное напряжения положительные, и не требуется источника отрицательного напряжения при условии, что динамический входной диапазон в режиме синфазного сигнала операционного усилителя включает землю (CA3130, CA3140, LM324, LM358, TLC271 и т.п.).

Коэффициент считывания схемы будет отличаться от номинального из-за введения R_T . Обратившись к рис. 7 и предположив, что R_T является частью (X) сопротивления во включенном состоянии считывающих ячеек, которые в свою очередь равны r , умноженному на $R_{ds(on)}$ основного прибора.

$$I_d/I_c = 1 + r(1 + X)$$

Напряжение на считывающем резисторе будет:

$$V_S = X R_{DS(on)} I_D$$

Идеально оно должно быть:

$$V_S = X R_{ds(on)} I_d$$

Эта ошибка, $1/(1 + X)$, может быть скомпенсирована увеличением коэффициента усиления операционного усилителя на такой же коэффициент. Однако следует помнить, что коэффициент X не является постоянным, так как $R_{ds(on)}$ прибора (и считывающих ячеек) является функцией тока, напряжения на затворе и разброса в производстве.

Величина R_T должна быть такой, чтобы напряжение на его выводах при самом низком уровне тока, при котором еще требуется заданная точность измерения, должно быть существенно выше, чем напряжение смещения операционного усилителя. Рис. 8 показывает минимальные значения R_T , предполагая напряжение смещения 3 мВ и минимальное напряжение 20 мВ при токе стока, составляющем 10% от значения I_d при 25°C. Более того, если необходимо усилить сигнал датчика в широком диапазоне напряжения, тогда диапазон выходного напряжения операционного усилителя может быть ограничен. Необходим операционный усилитель с низким выходным напряжением насыщения, если нужно считывать токи стока низкого уровня, или может потребоваться источник отрицательного питания.

Резисторное считывание представляет специальный набор проблем для высоковольтных силовых МОП ПТ (200 В и выше). В этих приборах «объемное сопротивление» (рис. 11) является гораздо большим, чем «канальное» сопротивление. Обычно, для IRC840 только 12% от общего сопротивления во включенном состоянии приходится на область канала, т.е. примерно 0,1 Ом. Считывающий резистор должен составлять малую часть этой величины с тем, чтобы распределение тока было пропорционально. Следовательно, потребуется резистор в 10 - 20 МОм, и получающийся ток сигнала считывания будет очень малым. Схема считывания виртуальной (эффективной) земли, с другой стороны, остается точной, так как вывод считывания тока поддерживается при потенциале истока, независимо от величины считывающего резистора.

Изменение сопротивления МОП ПТ во включенном состоянии от температуры оказывает вредное влияние на общую точность схемы считывания на рис. 6. Однако можно показать, что чувствительность V_S к изменениям температуры становится пренебрежимой, когда R_T приближается к величинам порядка 10% от $R_{ds(on)}$.

Из рис. 7,

$$\begin{aligned}
 V_S &= \frac{R_T}{R_T + R_{DS(on)c}} \cdot I_D \cdot R_{DS(on)} \\
 &\approx \frac{R_T}{R_{DS(on)c}} \cdot I_D \cdot R_{DS(on)} \\
 &= R_T \cdot I_D \cdot \frac{R_{DS(on)}}{R_{DS(on)c}} \\
 &= \frac{R_T \cdot I_D}{r}
 \end{aligned}$$

Так как $R_{ds(on)}$ и $R_{ds(on)c}$ должны изменяться на один и тот же коэффициент для данного изменения температуры, соотношение $R_{ds(on)}/R_{ds(on)c}$ должно оставаться постоянным. Следовательно, при условии, что $R_T \ll R_{ds(on)c}$, изменение температуры прибора мало влияет на V_S . В окончательном анализе величина R_T будет наименее совместимой с напряжением смещения операционного усилителя и требованиями помехозащищенности схемы.

Использование основного прибора в качестве считывающего резистора

Если R_T очень велико по сравнению с $R_{ds(on)}$ считывающих ячеек, то напряжение, которое появляется на считывающем резисторе, будет практически равно напряжению, вырабатываемому на основном приборе. Следовательно, в этом случае $R_{ds(on)}$ основного прибора действует как считывающий ток резистор, а считывающие ячейки действуют как ключ, который отсоединяет выход считывания тока от считывающего резистора (основного прибора) период времени, когда МОП ПТ выключен. В течение времени, когда транзистор выключен, уровень выхода считывания будет снижаться считывающим резистором до уровня питания. Таким образом, схема обработки токового сигнала избавляется от необходимости выдерживать высокое напряжение в течение времени, когда не поступает полезной информации. Конечно, недостатком этого режима работы является то, что $R_{ds(on)}$ существенно изменяется с температурой, и это допустимо только в режиме считывания тока.

Характеристики переключения

Схема на рис. 5 обеспечивает более хорошие характеристики переключения, чем те, которые могут быть получены в большинстве других схем (см, рис. 9). Рис. 10 показывает схему измерений, использованную для получения этих диаграмм сигналов. Можно видеть, что характеристики переключения соответствуют возможностям быстрого переключения МОП ПТ. Существенных задержек не видно. Ток считывания следует за током стока во время переключения без заметных больших пиков. «Звон» на диаграммах тока вносится измерительными пробниками и в фактической схеме не присутствует.

Замечания по использованию вывода термодатчика

Точность измерения немного ухудшается некоторыми паразитными резистивными элементами, которые искажают распределение тока между силовым и считывающим приборами. Как показано на рис. 11, металлизация, разварочная проволока и вывод вносят дополнительное сопротивление, которое не находится в таком же соотношении, как $R_{ds(on)}$ считывающих и $R_{ds(on)}$ основных ячеек. Чтобы уменьшить влияние сопротивления металлизации, контакт термодатчика был помещен в центр кристалла, близко к выводу считывания тока. В токе считывания на рис. 5 этот эффект может быть

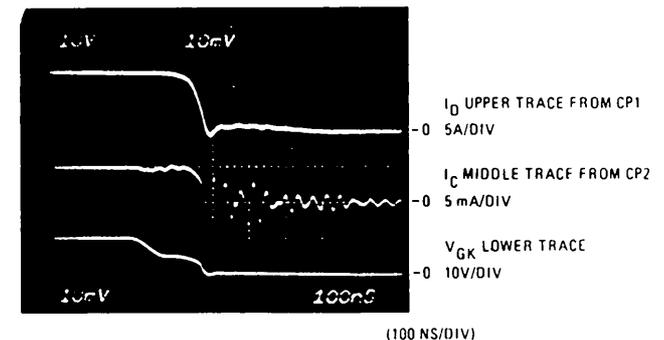
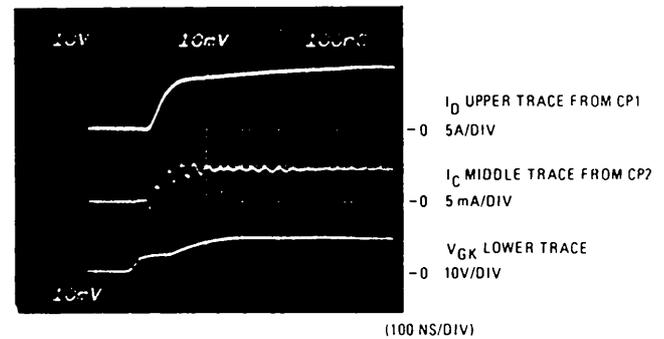
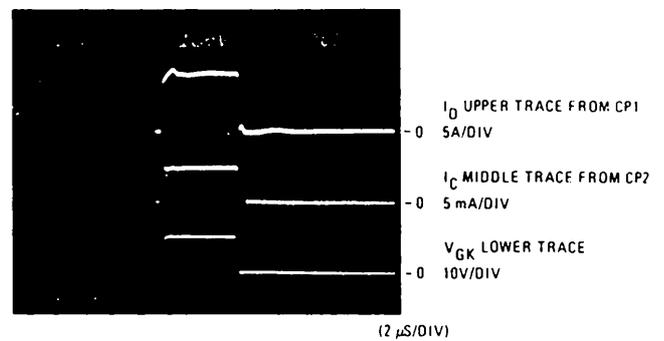


Рис. 9. Формы сигналов при включении и выключении IRC530

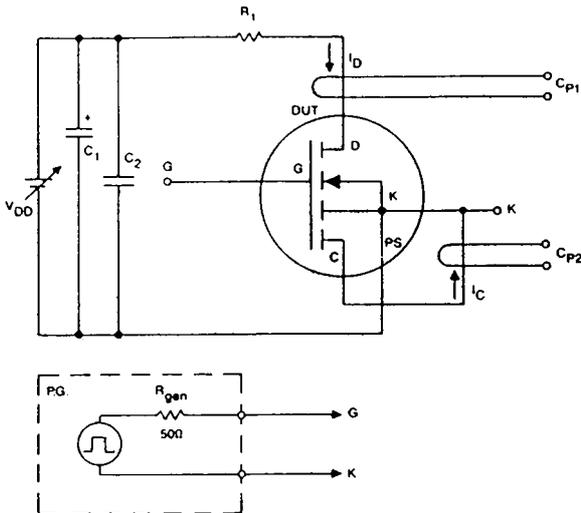


Рис. 10. Схема измерения характеристик переключения

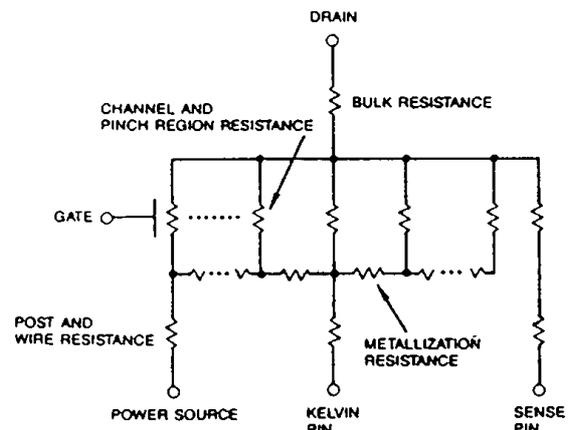


Рис. 11. Модель МОП ПТ-СТ, показывающая различные составляющие сопротивления во включенном состоянии

скомпенсирован подключением термодатчика к неинвертирующему входу операционного усилителя так, что вывод считывания, подсоединенный к инвертирующему входу, выше уровня земли за счет падения напряжения, которое приближается к падению напряжения на паразитных сопротивлениях.

По этой же причине в схеме на рис. 6 считывающий резистор R_T должен быть включен между выводами считывания и термодатчика так, чтобы уменьшить разбалансирующее воздействие сопротивлений металлизации, проволоки и контактного столбика. В практических схемах паразитные контуры с заземлением на землю и разница напряжений между землей управления и силовой землей делают важным использование контакта термодатчика.

В тех силовых схемах, в которых требуется очень быстрое переключение МОП ПТ, контакт термодатчика представляет полезный способ обхода «общей индуктивности истока», которая является одним из основных ограничений скорости переключения. Индуктивность, которая является общей для схемы стока и схемы затвора, устанавливает обратную связь в схему запуска затвора, которая пропорциональна $L_s \times di/dt$. Это напряжение снижает амплитудное напряжение затвора и замедляет переключение. При подаче сигнала запуска затвора между затвором и контактом термодатчика индуктивность истока перестает быть «общей» и поэтому не оказывает влияния на скорость переключения транзистора.

Приложение I. Определение коэффициента считывания

Это приложение детализирует метод испытания, используемый для определения значения коэффициента считывания в статических условиях. Схема испытаний показана на рис. A1.

Вывод термодатчика подключается к сигнальной земле и действует как возврат (обратный ход) для напряжения запуска затвор-исток. Вывод считывания подключается к эффективной сигнальной земле. Вывод силового истока плавают по отношению к сигнальной земле.

В статических условиях и при эффективном запуске затвора выполняются требования равного усиления ячеек и нулевых паразитных сопротивлений истока. Для определения значения коэффициента считывания (r) берется отношение между током стока и током считывания, измеренных в этой схеме. Коэффициент r изменяется с T_j , I_d и V_{gs} , как указывается в справочных данных.

Оборудование для измерений

Осциллограф - Tektronix 7603

Генератор импульсов (P.G.) - Wavetek 187

Мультиметр (M1, M2) - Цифровой мультиметр Fluke 8012 .

Операционный усилитель (OP1, OP2) с выходами к дифференциальному компаратору - Tektronix 7A13

Трансформатор тока (CT1) с выходом к двухлучевому усилителю

Tektronix 7A26

Процедура испытания

- 1) Ключ в положение S, используйте CT1 для отслеживания I_d . Отрегулируйте V_{dd} для получения нужного I_d . Убедитесь, что V_g отрегулировано так, чтобы обеспечивать управляемый запуск затвора.
- 2) Установите на 7A13 делитель на 10 мВ/дел.
- 3) Регулируйте VR2, пока дифференциальное напряжение не будет равно нулю.
- 4) Выключите V_e и V_g .
- 5) Установите переключатель на R.