

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОП ПТ СО СЧИТЫВАНИЕМ ТОКА В ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ С ТОКОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

### Введение

Токвое управление стало популярным способом управления импульсными источниками питания, и сейчас появилось большое разнообразие интегральных схем, способных выполнять эту функцию. Преимущества, обычно приводимые в пользу токового управления, следующие: улучшенная стабильность, автоматическая компенсация с прямой связью при изменениях входного напряжения, ограничение тока от импульса к импульсу и простота запараллеливания источников. Экономичные и работоспособные средства считывания тока являются основой для успешного применения токового управления.

### Методы считывания тока

Основным недостатком токового управления является необходимость отслеживания мгновенного значения тока в переключающем приборе. Традиционно, эта функция считывания выполнялась, используя или резистор, или трансформатор тока, включенные последовательно с прибором. Однако, оба этих метода имеют серьезные недостатки. Последовательно включенный резистор нагревается, расходует энергию и снижает надежность. Подбор резистора включает в себя компромисс между удержанием рассеивания мощности на низком уровне и генерацией сигнала, достаточно большого для подавления любой электрической помехи. В итоге всегда остаются проблемы размещения готового, неиндуктивного резистора с малым номиналом и высокой мощностью. Недостатки трансформатора тока в основном происходят из того, что он является магнитным компонентом, что не всегда совместимо с автоматической сборкой изделия.

### Считывание тока

МОП ПТ со считыванием тока, (далее МОП ПТ-СТ), позволяет считывать ток при низких затратах и с пренебрежимыми потерями. Приборы со считыванием тока идентичны нормальному семейству силовых МОП ПТ, выпускаемых компанией International Rectifier, за исключением того, что в случае МОП ПТ-СТ ток от небольшой части ячеек МОП ПТ отводится к отдельному выводу истока. Так как отношение считываемого тока к току стока известно, величина тока стока может быть определена путем отслеживания только тока считывания, который обычно составляет величину порядка нескольких миллиампер. Другой вывод термодатчика, известный как вывод Кельвина (термодатчика), подключается к точке на металлизации основного истока, на напряжение которой практически не оказывает влияния величина тока основного истока. Соединение термодатчика используется как точка возврата для тока считывания, чтобы избежать ошибок в точности считываемого тока, которые могут появиться, если падение напряжения в паразитном сопротивлении вывода истока будет включаться в напряжение считывания.

Рис. 1 показывает приборы в пятивыводном корпусе TO-220. Рис. 2 показывает символ, принятый для обозначения прибора на схемах. Большинство схем требует, чтобы сигнал считывания тока был в форме напряжения, пропорционального току. Существуют два принципиальных способа, которыми это может быть достигнуто в случае приборов МОП ПТ-СТ. Простейший способ, как показано на рис. 3, заключается в установлении резистора в путь прохождения тока считывания. Этот способ прост и экономичен и пригоден для многих схем. С другой стороны, ток считывания может измеряться, используя операционный усилитель с виртуальной (эффективной) землей, как показано на рис. 4. Преимущество этого подхода заключается в том, что ток считывания может быть детектирован, одновременно поддерживая вывод считывания тока прибора при потенциале истока, тем самым избегая изменения коэффициента считывания, которое происходит, когда в путь прохождения тока считывания вводится напряжение. Эти два метода считывания тока наиболее полно описаны в статье AN-959 «Введение в HEXSense, приборы со считыванием тока». Оба метода пригодны для применения в схемах импульсных источников питания.

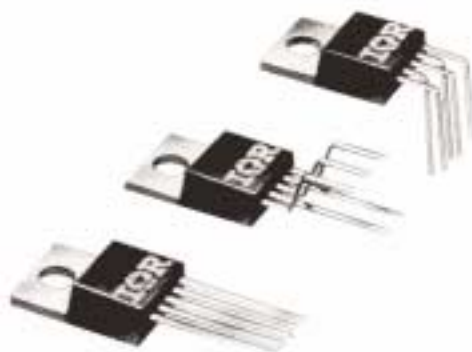


Рис. 1. Пятивыводные корпуса TO-220

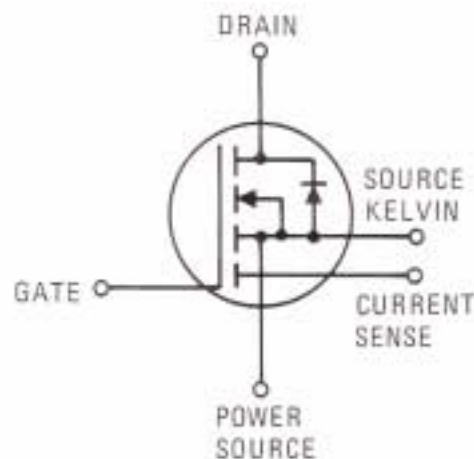


Рис. 2. Обозначение прибора в схеме

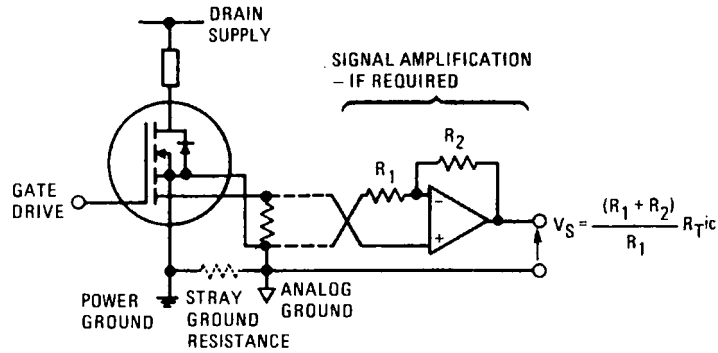


Рис. 3. Схема со считывающим резистором

### Выбор считывающего резистора

При токовом управлении величина резистора считывания подбирается так, чтобы создать напряжение обратной связи соответствующей величины. Большинство интегральных схем управления, таких как популярная 3842, могут работать с напряжением обратной связи в диапазоне от 50 мВ до 1 В.

Для нормальной работы не является важным, чтобы соотношение между током стока и сигналом тока считывания оставалось постоянным, пока изменения происходят медленно по сравнению с временем отклика петли обратной связи по напряжению. Следовательно, изменение соотношения между током стока и током считывания из-за изменения температуры МОП ПТ не будет влиять на нормальную работу. Однако, если требуется точное ограничение тока, то необходимо учитывать точность сигнала тока считывания. Если используется считывающий резистор с малым номиналом, тогда точность сигнала тока считывания будет иметь относительно малое влияние при изменениях температуры МОП ПТ со считыванием тока, так как  $R_{ds(on)}$  считывающих ячеек и  $R_{ds(on)}$  остальных ячеек должны изменяться в равной пропорции, таким образом поддерживая коэффициент считывания постоянным. Недостаток резистора с малой величиной состоит в том, что сигнал считывания тока может потребовать усиления для того, чтобы достигнуть уровня, необходимого для создания ограничения по току. Некоторые ИС управления, такие как 3846, обеспечивают внутреннее усиление сигнала считывания тока.

И наоборот, может быть выбрана большая величина резистора считывания, что дает сигнал, способный создавать ограничение тока без дальнейшего усиления. Однако, это будет изменять коэффициент считывания,  $r$ , по сравнению с величиной, указанной в справочных данных. В этом случае будет необходимо учитывать изменение в соотношении тока стока к току считывания, вызываемое изменениями температуры МОП ПТ. Ток стока делится между ячейками считывания и блоком основных ячеек в соотношении сопротивлений этих двух путей. В случае сопротивления считывания большой величины большую часть сопротивления цепи тока считывания будет составлять внешний резистор считывания. Так как величина внешнего резистора не подвержена влиянию изменений температуры МОП ПТ, соотношение, в котором делится ток стока, будет мало меняться с температурой. Будет ли достигнута приемлемая степень точности в ограничении тока - это зависит от схемы применения.

### Считывание с виртуальной землей

Считывание с виртуальной землей обеспечивает сигнал, точность которого меньше всего подвергается влиянию при изменениях температуры МОП ПТ. Ясно, что этот способ включает в себя большую сложность схемы, чем считывание резистором. Основным недостатком является необходимость обеспечивать отрицательное питание для операционного усилителя. Однако, в схемах, где применяется отрицательный источник питания, операционные усилители уже включены в конструкцию, и поэтому считывание с виртуальной землей может быть достигнуто при малых дополнительных затратах.

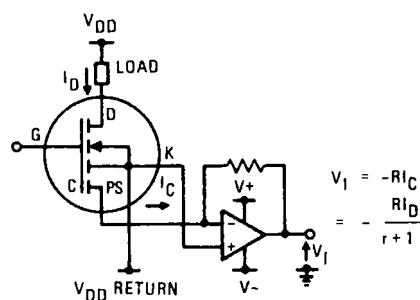


Рис. 4. Схема считывания с виртуальной землей

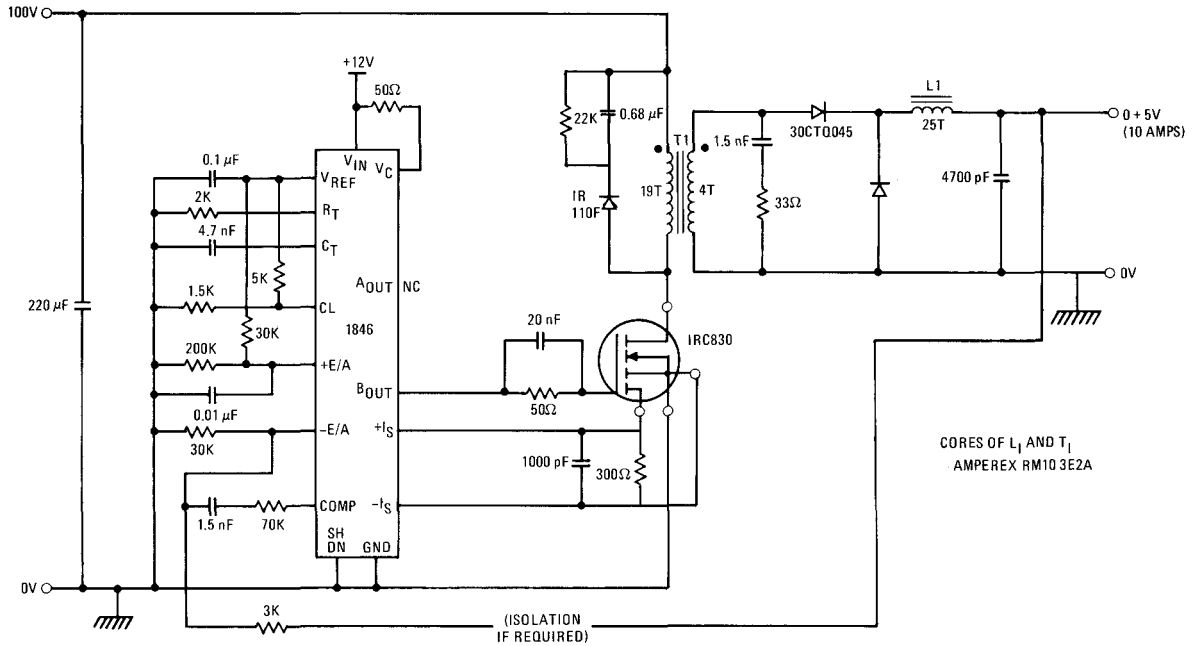


Рис. 5. Схема источника питания

### Демонстрация использования МОП ПТ-СТ в импульсном источнике питания

Токое управление импульсным источником питания является хорошо освоенной техникой. Поэтому, эта статья направлена на ту часть схемы, на которую оказало воздействие появление МОП ПТ-СТ, а именно - считывание тока. Использование МОП ПТ со считыванием тока в этих схемах иллюстрируется демонстрацией схемы, показанной на рис. 5. Схема, представляет собой 50-ваттный прямой преобразователь, использующий ИС управления импульсными источниками питания 3846 и работающий на частоте 85 кГц. Справочные данные изготовителя и литература по применению обширную информацию о ИС 3846 в схемах такого рода, поэтому здесь не дается подробного описания работы схемы. Отдельные особенности разработки, такие как средства получения 12-вольтового питания для ИС 3846, и метод, используемый для достижения развязки между первичной и вторичной частями схемы, также здесь не обсуждаются. Эта статья направлена на получение сигнала считывания тока, необходимого для успешной работы схемы управления. Новым свойством схемы, показанной на рис. 5, является использование МОП ПТ со считыванием тока для обеспечения сигнала обратной связи по току.

### Формы сигналов считывания тока

Ток считывается с помощью резистора 300 Ом с параллельным ему конденсатором 1000 пФ. Задача этого конденсатора - подавлять выбросы токового сигнала, создаваемые токами, заряжающими паразитную емкость. Эти выбросы создаются, когда МОП ПТ находится в выключенном состоянии, из-за быстрых изменений напряжения сток-исток, которые вызывают протекание заряжающего тока через паразитную емкость сток-исток ячеек считывания. Выбросы также могут создаваться, когда МОП ПТ включается, а затем опять выключается, опять из-за тока зарядки паразитной емкости и тока восстановления диода. Присутствие конденсатора снижает ширину полосы сигнала считывания тока, но это снижение необязательно будет присутствовать в этой схеме. Формы сигналов МОП ПТ показаны на рис. 6. Верхний луч показывает напряжение стока, средний луч - ток стока, измеряемый токовым пробником и нижний луч показывает сигнал считывания тока.

Следует отметить некоторые особенности сигнала считывания тока. В течение периода времени, когда МОП ПТ выключен происходит передача отрицательного напряжения стока. Появляющийся в результате этого ток заряда считывающих ячеек заставляет напряжение считывания опускаться в виде переходного процесса ниже нуля. При включении сигнал считывания отстает от тока стока из-за постоянной времени, связанной с  $R_{ds(on)}$  ячеек считывания, и подавляющего выбросы тока конденсатора 1000 пФ на считывающем резисторе. При выключении, хотя это не ясно проявляется на фотографии сигналов, в сигнале считывания имеется положительно направленный выброс, это результат тока заряда, протекающего через паразитную емкость ячеек считывания, когда возрастает напряжение стока. Это не оказывает влияния на работу ИС 3846, так как выброс появляется после того, как компаратор определил, что был достигнут соответствующий

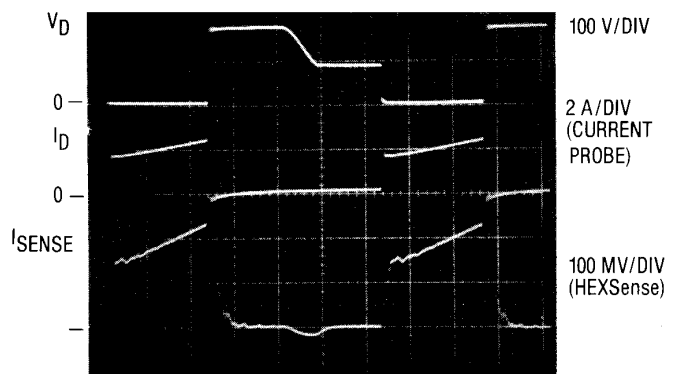


Рис. 6. Сигналы МОП ПТ с выходом 50 Вт (10 А)

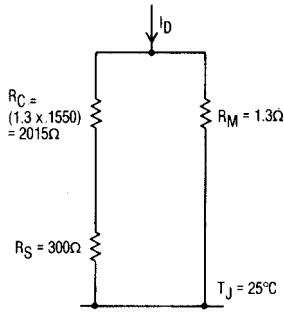


Рис. 7а. Неточная эквивалентная схема IRC830 с резистором считывания 300 Ом

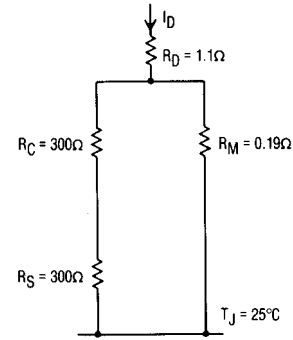


Рис. 7б. Более точная эквивалентная схема IRC830 с резистором считывания 300 Ом

уровень тока, и инициировал выключение МОП ПТ. После выключения сигнал считывания не падает мгновенно до нуля из-за удерживающего эффекта конденсатора, подавляющего выбросы. Падение напряжения сигнала определяется постоянной времени параллельно включенных конденсатора и считывающего резистора. Другие отклонения в сигнале считывания тока имеют место, главным образом, из-за паразитных связей между пробником осциллографа и схемой источника питания.

### Ограничение тока

Большинство ИС управления током включает в себя ограничение амплитуды импульса тока. Точность ограничения тока может быть только такой же, как и считывание тока. При использовании метода считывающего резистора точность считывания принципиально определяется ожидаемым изменением в рабочей температуре МОП ПТ, так как изменения  $R_{ds(on)}$  ячеек считывания и ячеек основного массива прибора будут менять коэффициент считывания тока.

Можно предположить, что МОП ПТ со считыванием тока может быть представлен эквивалентной резисторной моделью, показанной на рис. 7а, где сопротивление ячеек считывания будет равно  $R_{ds(on)}$  прибора, умноженному на коэффициент считывания. Фактически, прибор более точно представляется эквивалентной схемой, показанной на рис. 7б, в этой схеме основной ток и ток ячеек считывания проходят через общее сопротивление пространства дрейфа, а затем два тока расходятся через сопротивления, представляющие каналы ячеек считывания и каналы ячеек основного массива.

Поэтому установление сопротивления на пути тока считывания оказывает больший эффект на точность считывания, чем может ожидать из анализа модели, данной на рис. 7а. В модели, показанной на рис. 7б, внешний резистор составляет намного большую пропорцию в пути тока считывания и поэтому, более полезен в определении того, как разделяется ток. Кроме того, так как  $R_s$  является внешним резистором по отношению к МОП ПТ, то оно не меняется с температурой, в то время как сопротивления  $R_c$  и  $R_m$  изменяются существенно. Следовательно, соотношение, в котором ток разделяется между ячейками считывания и ячейками основного массива, изменяется с температурой. Рис. 7с показывает, как коэффициент считывания тока изменяется с температурой для величины сопротивления считывания, используемого в этой схеме.

Для достижения более точного ограничения тока будет необходимо применять считывающий резистор меньшего номинала, использовать усиление сигнала, если это необходимо, или, в идеальном варианте, применять считывание тока с виртуальной землей.

### Считывание тока с виртуальной землей

Температурная зависимость коэффициента считывания может быть почти полностью устранена при применении считывания с виртуальной землей. (Смотрите в индивидуальных справочных данных на прибор температурную зависимость коэффициента считывания при этих условиях). Рис. 8 показывает, как это может быть применено на

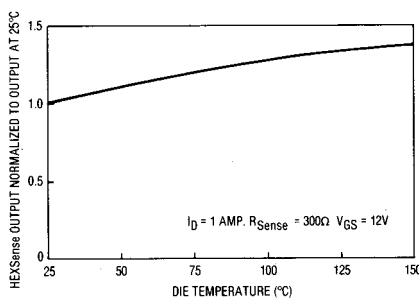


Рис. 7с. Взаимосвязь между температурой и точностью считывания для IRC830 с резистором считывания 300 Ом в относительных единицах, приведенных к  $T=25^\circ\text{C}$

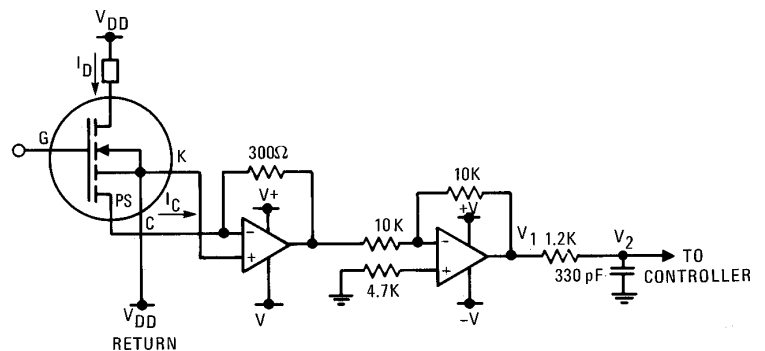


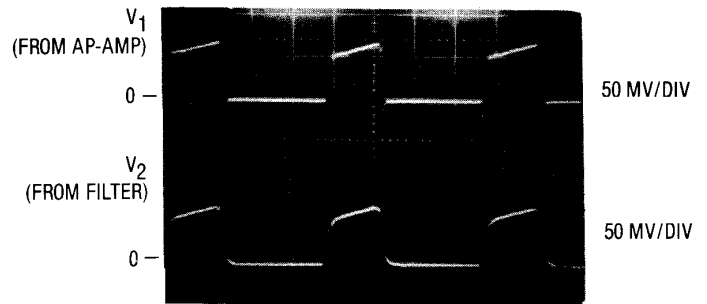
Рис. 8. Схема считывания тока с виртуальной землей

практике. Рис. 9 показывает формы сигналов, полученные с этой схемой. Верхний луч показывает выход второго усилителя. Функцией второго усилителя является обеспечение коэффициента усиления и инвертирование сигнала. Выброс на переднем фронте импульса тока происходит из-за разряда емкости сток-исток. Этот выброс может вводить в действие компаратор ИС управления, если не будет подавляться. Поэтому к выходу второго каскада добавляется фильтр, состоящий из резистора 1,2 кОм и конденсатора 330 пф. Частота отсечки этого фильтра должна быть достаточно низкой, чтобы создавать необходимое ослабление выброса без воздействия на рабочие характеристики источника питания. Ограничения на скорость нарастания выходного напряжения операционных усилителей может также ослаблять выброс.

### **Заключение**

МОП-ПТ со считыванием тока дает разработчику источников питания с токовым управлением метод считывания тока, который имеет существенные преимущества по сравнению с другими методами. МОП ПТ со считыванием тока может выдавать сигнал требуемого качества с пренебрежимыми потерями мощности и без необходимости применения магнитных компонентов.

Метод, выбранный для выделения токового сигнала от выхода МОП ПТ-СТ, будет зависеть от точности ограничения тока, которая требуется, и от удобства осуществления усиления. Какой бы метод ни применялся, конструкция схемы проста, и МОП ПТ со считыванием тока чрезвычайно удобен для применения в схемах импульсных источников питания с токовым управлением.



**Рис. 9. Типовые формы выходных сигналов при использовании считывания с виртуальной землей**