

## ИСПОЛЬЗУЙТЕ ВЕЛИЧИНУ ЗАРЯДА ЗАТВОРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СХЕМЫ ДРАЙВЕРА ЗАТВОРА МОЩНЫХ МОП ПТ И БТИЗ

### Поведение по входу транзистора с МОП затвором.

Разработчики, не осведомленные о входных характеристиках МОП ПТ или БТИЗ, начинают разработку схемы драйвера с определения параметров компонентов, основываясь на величине емкости затвор-исток или входной емкости, приводимых в справочных данных. Величины резисторов и конденсаторов, определяемые на основе величины емкости затвор-исток приводят к управлению затвором, которое неадекватно требуемому.

Хотя емкость затвор-исток является важным параметром, на практике большее значение имеет более сложная в учете емкость затвор-сток, так как она представляет собой нелинейную емкость, являющейся функцией напряжения. Емкость затвор-исток также зависит от напряжения, но в значительно меньшей степени. Эта зависимость для емкости затвор-сток подобна той, что была обнаружена в ламповых усилителях.

Эффект емкости затвор-сток подобен эффекту «Миллера», явлению, благодаря которому путь обратной связи между входом и выходом электронного прибора обеспечивается межэлектродной емкостью. Это оказывает влияние на уровень входного сигнала прибора, которое выражается в том, что полная динамическая входная емкость больше, чем сумма статических емкостей электродов. Явление воздействия импеданса анода и усиления по напряжению на уровень входного сигнала было впервые изучено в схемах усилителей на ламповом триоде Джоном М.Миллером.

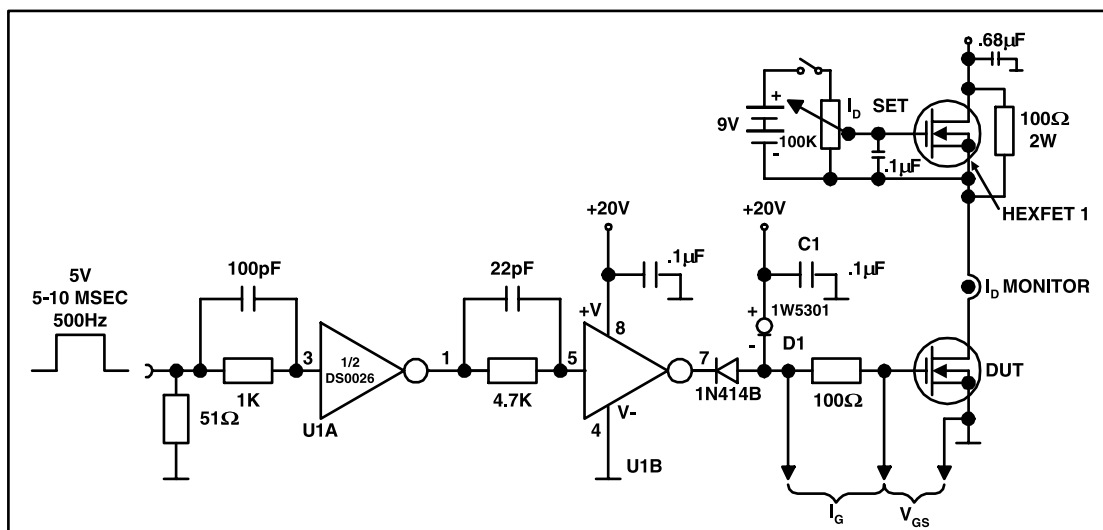
Сущность его состоит в том, что на высоких частотах, когда емкость сетка-анод (затвор-исток) не является пренебрежимой, входная емкость прибора является функцией усиления по напряжению. Описание явлений вызванных эффектом «Миллера» не дает точной однозначной картины процесса даже для ламп, которые хорошо изучены, не говоря уже о более сложных МОП ПТ. В действительности, емкость затвор-сток, будучи по статической величине меньше, чем емкость затвор-исток, подвергается воздействию напряжения и часто бывает более чем в 20 раз большей, чем емкость затвор-исток. Следовательно, емкость затвор-сток, или емкость «Миллера», обычно требует большего заряда, чем входная емкость.

Чтобы учесть обе емкости (затвор-исток и затвор-сток) в виде удобном для разработчиков, фирма International Rectifier предоставляет в спецификациях на МОП ПТ и БТИЗ параметр «заряд затвора», который может использоваться для расчета схемы драйвера. Заряд затвора определяется как заряд, который должен быть приложен к затвору для того чтобы раскатать его до нужного уровня или для того чтобы добиться полного переключения.

## 2.Тестовая схема

Типовая схема испытаний, которая может использоваться для измерения заряда затвора, показана на рис.1. В этой схеме на затвор испытуемого прибора подается приблизительно постоянный ток от конденсатора С1 с емкостью 0.1 мкф через регулирующий диод D1. Постоянный ток в схеме стока устанавливается напряжением на затворе МОП ПТ1, так что чистое измерение заряда, потребляемого затвором, связано с заданным током и напряжением исток - сток.

Важность величины затвора для разработчика иллюстрируется следующим. Принимая заряд необходимый для переключения в предыдущем случае около 15 нК при условии протекания тока через затвор 1.5А, получаем что на стоке прибора должно быть напряжение 80В и ток стока 12А. Поскольку заряд затвора 15нК является следствием входного тока затвора и времени переключения переключение происходит за 10нс. Отсюда следует, что если ток через затвор равен 15мА, то переключение происходит за 1мс и так далее. Эти простые вычисления тотчас предоставляют разработчику информацию соотношении между полным располагаемым выходным током драйвера и достижимым временем переключения. Используя известную величину заряда, разработчик может создать подходящую схему драйвера обеспечивающую требуемое время переключения.



**Рис. 1. Схема заряда затвора силового МОП ПТ типа HEXFET**

Рассмотрим типичный практический пример переключателя с частотой 100кГц, в котором необходимо достичь времени переключения 100 нс. Осциллограмма напряжения затвор-исток во время тестирования, показанная на рис.2, связывает напряжение затвора со временем. Так как на затвор подается постоянный ток, горизонтальная шкала времени прямо пропорциональна заряду, подаваемому на затвор. Следовательно, при наличии подходящего коэффициента шкалы эта осциллограмма является графиком зависимости напряжения затвора от заряда.

Точка второго подъема напряжения на осциллограмме указывает место, где прибор включается полностью. В течение первого подъема напряжения заряжается емкость затвор-исток, а в течение горизонтального участка заряжается емкость затвор-сток. Поэтому эта осциллограмма дает ясное различие между зарядами, требуемыми для емкостей затвор-исток и затвор-сток (емкости «Миллера»). При втором подъеме напряжения обе емкости заряжаются до величины, необходимой для переключения при данном напряжении и токе. Более детальное объяснение интерпретации этих данных дается далее.

График на рис. 3 представляет зависимость напряжения затвора от заряда затвора в наносекундах для IRF130. Хотя второй подъем напряжения указывает точку, в которой процесс переключения завершается, нормы запаса разработки по напряжению требуют больший уровень запускающего напряжения, подаваемого на затвор, чем тот, который необходим для переключения заданного напряжения и тока стока. Следовательно, общий заряд, потребляемый затвором, на практике выше, чем минимально необходимый. Например, заряд затвора, требуемый для переключения 12А, при 80В равен 15 нК ( точка А), а соответствующее напряжение затвора равно примерно 7В. Если подаваемое запускающее напряжение имеет амплитуду 10В (т.е. запас 3В), тогда полный заряд затвора, который потребляется в действительности, будет около 20 нК (точка В). Как показано на графике, переключается ли 10В или 80В в цепи стока, разница в необходимом заряде затвора не пропорциональна. Это происходит из-за того, что емкость «Миллера» является нелинейной функцией напряжения и уменьшается с возрастанием напряжения.

Рассмотрим типовой практический пример переключающей схемы на 100 кГц, в которой требуется достичь времени переключения, равного 100 наносекунд. Требуемый ток запуска затвора определяется простым временем заряда затвора  $15 \times 10^9$ , на требуемое время переключения  $100 \times 10^9$ , что дает 150 мА. Из этого вычисления разработчик может далее получить импеданс у схемы драйвера. Если схема драйвера подает, например, 14В на затвор, тогда для нее потребуется импеданс около 50 Ом. Обратите внимание, что в течение «горизонтальной» части периода переключения (рис.3) напряжение затвора постоянно и составляет около 7В. Разница между подаваемым напряжением 14В и напряжением затвора 7В объясняется необходимостью обеспечения требуемого тока, через сопротивление схемы драйвера.

Данные о заряде затвора также позволяют разработчику быстро определить среднюю мощность запуска затвора. Средняя мощность запуска затвора  $P_{drive} = Q_g V_{gf}$ . Взяв в качестве примера вышеупомянутую схему переключения на 100 кГц и предположив напряжение запуска затвора  $V_g = 14В$ , получим подходящую величину заряда затвора  $Q_g = 27$  нК (точка С на рис.3). Тогда имеем среднюю мощность запуска  $27 \times 10^9 \times 14 \times 10^5 = 0,038Вт$ . Даже если ток запуска 150 мА во время интервала переключения может казаться относительно высоким, средняя мощность будет мизерной (0.004%) в сравнении с мощностью, переключаемой в цепи стока. Это происходит из-за того, что ток запуска протекает в течение такого короткого периода времени так, что средняя мощность является пренебрежимо малой.

Таким образом, действительная мощность запуска для МОП ПТ мала по сравнению с аналогичной мощностью биполярного транзистора, который должен поддерживать ток переключения в течение всего включенного состояния. Конечно, средняя мощность запуска возрастает при более высоких частотах, но даже при 5 МГц она будет составлять только 1.9Вт.

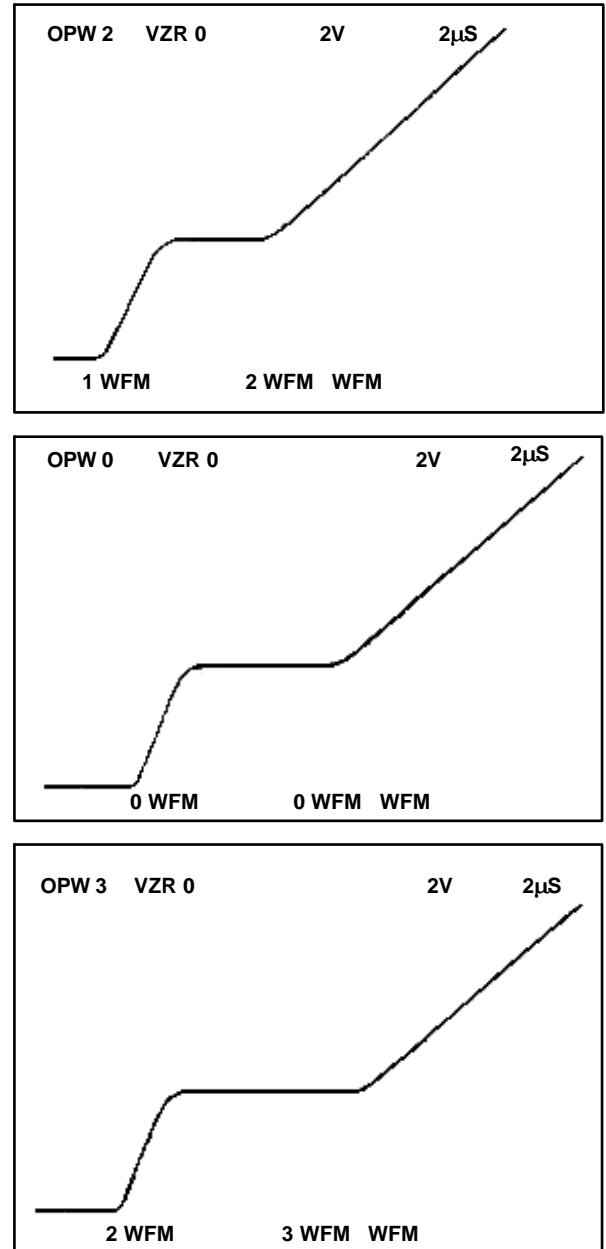


Рис. 2. Форма сигналов заряда затвора при различном напряжении на стоке (МОП ПТ IRF 130:  $I_G = 1,5mA$ ,  $I_D = 1A$ ,  $V_{DD} = 10, 40$  и  $80В$ )

### 3. Кривая заряда затвора

Осциллограммы напряжения затвор-исток, приведенные на рис.2, дают четкое представление о разнице между зарядом, требуемым для емкости затвор-исток, и зарядом, требуемым для емкости затвор-сток, или емкости «Миллера». Прилагаемая упрощенная схема измерения и диаграммы сигналов (рис.4 и рис. 5 соответственно) дают объяснение этого.

До момента времени  $t_0$  ключ S замкнут; испытуемый прибор поддерживает полное напряжение схемы  $V_{DD}$ , а напряжение затвора и ток стока равны нулю. В момент  $t_0$  ключ S размыкается, емкость затвор-исток начинает заряжаться и напряжение затвор-исток увеличивается. Ток не протекает в стоке, пока напряжение затвора не достигает «порогового» напряжения.

В течение интервала от  $t_1$  до  $t_2$  емкость затвор-исток продолжает заряжаться и ток стока растет пропорционально. Пока действительный ток стока увеличивается до располагаемого значения,  $I_D$ , выпрямительный диод свободного хода остается в состоянии проводимости, напряжение на нем остается низким, а напряжение на испытуемом транзисторе продолжает быть примерно равным полному напряжению схемы  $V_{DD}$ . Верхняя обкладка емкости сток-затвор  $C_{gd}$  поэтому остается при фиксированном потенциале, в то время как потенциал нижней обкладки изменяется вместе с потенциалом затвора. Зарядный ток, принимаемый емкостью  $C_{gd}$  в течение этого периода, мал и в практических целях им можно пренебречь, т.е.  $C_{gd}$  пр величине мала по сравнению с  $C_{gs}$ .

В момент времени  $t_2$  ток стока достигает величины  $I_D$  и диод свободного хода запирается. Потенциал стока теперь уже не определяется напряжением питания  $V_{DD}$ . Ток стока теперь остается постоянным, равным  $I_D$ , поддерживаемым схемой в то время, как напряжение стока начинает падать. Так как напряжение затвора имеет сложную связь с током стока через внутреннюю передаточную характеристику испытуемого прибора (пока он остается работать в «активной» области), то напряжение затвора устанавливается постоянным из-за того, что «поддерживаемый» ток стока постоянен. Следовательно, в это время не происходит никакого потребления заряда емкостью затвор-исток, потому что напряжение затвора остается постоянным. Таким образом, теперь ток запуска отводится полностью в емкость «Миллера»  $C_{gd}$ , и заряд схемы запуска теперь исключительно приходится на разрядку емкости «Миллера».

Изменение напряжения стока в течение периода времени от  $t_2$  до  $t_3$  относительно велико и, следовательно, полный заряд запуска обычно бывает больше для емкости «Миллера»  $C_{gd}$ , чем емкости затвор-исток  $C_{gs}$ . В момент времени  $t_3$  напряжение стока падает до величины, равной  $I_D \times R_{ds(on)}$ , и испытуемый прибор теперь выходит из «активной» области (в терминологии биполярных транзисторов он достигает «насыщения»). Теперь напряжение затвора больше не

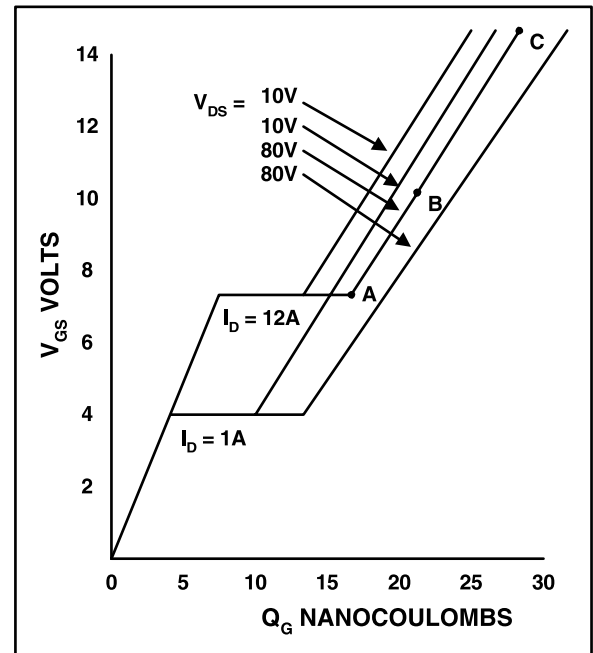


Рис. 3. Зависимость напряжения на затворе от заряда затвора для МОП ПТИРФ 130

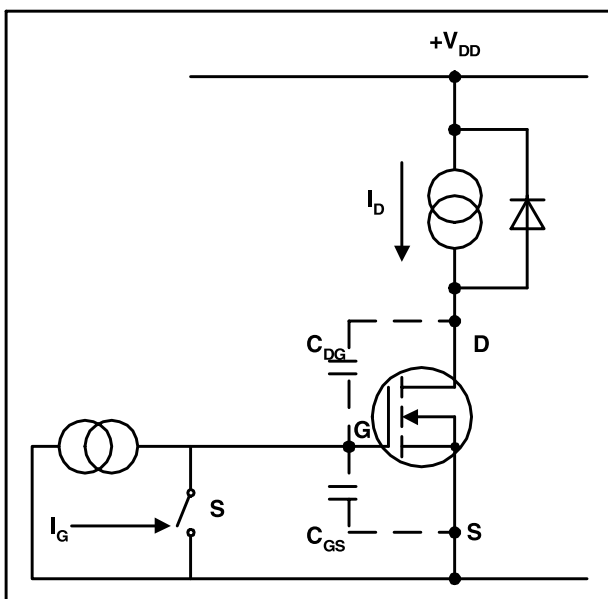


Рис.4. Базовая схема измерения заряда затвора

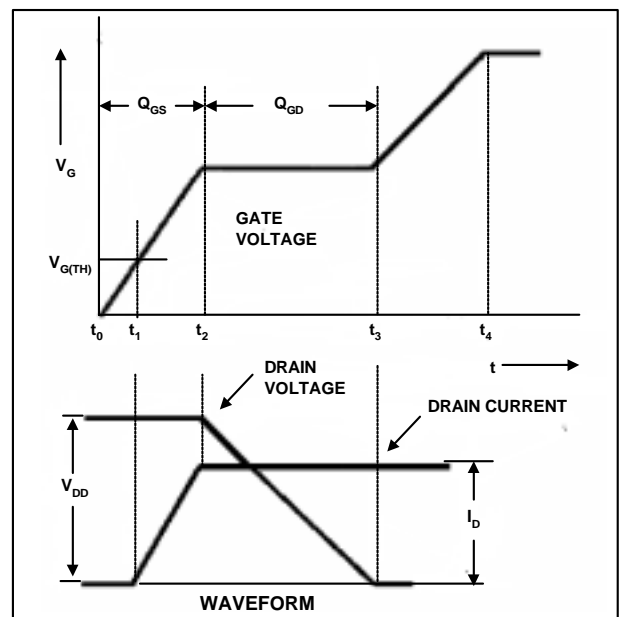


Рис.5. Общая форма сигналов при заряде затвора

сдерживается переходной характеристикой прибора в отношении тока стока и может свободно увеличиваться. Это происходит до момента времени  $t_4$ , когда напряжение затвора становится равным напряжению, «поддерживающему» источник тока схемы затвора.

Шкала времени осциллограммы напряжения затвор-исток прямо пропорциональна заряду, доставляемому схемой запуска, потому что заряд равен произведению тока на время, а ток остается постоянным в течение всей последовательности событий. Таким образом, длительность периода времени от  $t_0$  до  $t_1$ , представляет заряд  $Q_{gs}$ , потребляемый емкостью затвор-исток, в то время как длительность периода от  $t_2$  до  $t_3$  представляет заряд, потребляемый емкостью затвор-сток, или емкостью «Миллера». Полный заряд в момент времени  $t_3$  - это заряд, требуемый для переключения заданного напряжения  $V_{dd}$  и тока  $I_d$ .

Дополнительный заряд, потребляемый после времени  $t_3$  не представляет «переключающий» заряд; это просто избыточный заряд, который будет доставляться схемой запуска, так как амплитуда подаваемого напряжения запуска затвора обычно бывает выше минимума, требуемого для завершения переключения.

#### 4. Меры предосторожности при сравнение продукции разных производителей

Изготовители иногда делают технические сообщения о своей продукции, которые выглядят правдоподобными, но которые в действительности не выдерживают практической проверки. Это относится к вопросу, связанному с входной емкостью силового МОП ПТ. Такие заявления, как «входная емкость прибора Y меньше, чем у прибора X, поэтому Y переключается быстрее, чем X», часто бывают верными, но также часто оказываются ошибочными. Не принимая во внимание очевидную ошибочность многих заявлений, таких например, что «большие кристаллы имеют большую собственную емкость, чем меньшие» - обычно из рассмотрения выпадают более важные фундаментальные принципы. Как показывает эта статья, величиной первостепенной важности является полный заряд затвора, требуемый для переключения. Чем меньше заряд, тем меньший ток запуска затвора необходим для достижения данного времени переключения.

Общее сравнение двух гипотетических МОП ПТ обозначенных «X» и «Y» иллюстрируется на рис.6. Прибор X имеет более высокую входную емкость, следовательно, начальный наклон характеристики его заряда затвора меньше, чем у прибора Y. Однако,  $Q_{gs}$  у прибора X почти такой же, как у прибора Y, потому что он имеет более высокую проводимость и поэтому требует меньшего напряжения на своем затворе для данной величины тока запуска ( $V_{gx}$  меньше  $V_{gy}$ ). Заряд «Миллера», потребляемый прибором X, следовательно, меньше, чем заряд, потребляемый прибором Y. В результате, полный заряд, требуемый для переключения прибора X,  $Q_x$  оказывается существенно меньше, чем заряд  $Q_y$ , требуемый для переключения прибора Y. Если бы сравнение этих приборов X и Y было сделано поверхностно, только на базе входных емкостей, то было бы сделано ошибочное заключение, что Y «лучше», чем X.

Другим соображением является энергия, требуемая для переключения. Опять прибор X является в выигрыше в этом примере по сравнению с Y. Энергия - это произведение заряда затвора на напряжение затвора и представляется площадью прямоугольника, угол которого лежит в «точке переключения» (точка 1 для прибора X и точка 2 для прибора Y). Очевидно, что X требует существенно меньшей энергии, чем Y.

Подведем итоги: опасайтесь поверхностных сравнений. Проверьте все факты перед принятием решения, какой МОП ПТ действительно оптимален по характеристикам переключения.

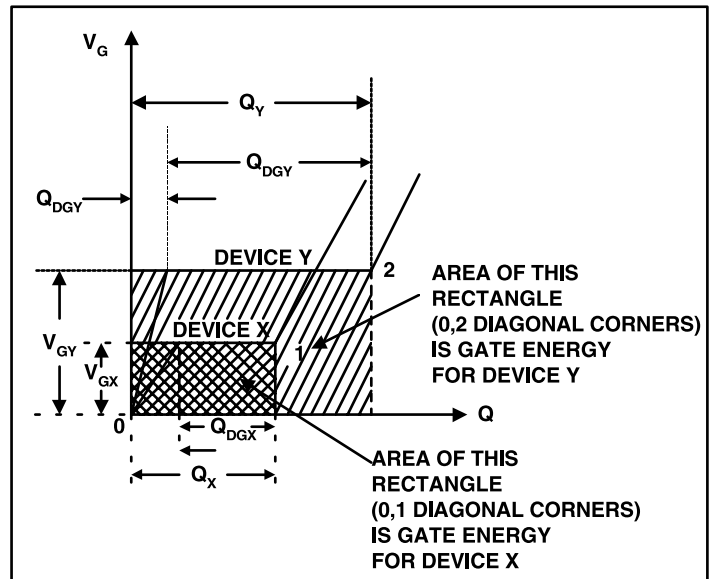


Рис.6. Сравнение характеристик заряда затвора различных типов приборов