

ХАРАКТЕРИСТИКИ БТИЗ

S.CLEMENTE, A.DUBHASHI, B.PELLY

AN-983A

АННОТАЦИЯ

Эта заметка по применению описывает БТИЗ-биполярные транзисторы с изолированным затвором фирмы IR.

В первом разделе приведены характеристики прибора, его технология и основные изделия с применением БТИЗ в сравнении с МОП и БИП транзисторами.

Во втором разделе описываются справочные листы и поясняется терминология и методы испытаний, применяемые для характеристики БТИЗ.

Раздел три содержит обзор применения трех семейств БТИЗ, выпускаемых фирмой IR.

Главный материал о конструкциях на БТИЗ в мощных схемах дан в заметках по применению фирмы AN-990 «Эксплуатационные характеристики БТИЗ».

ВВЕДЕНИЕ

Скорость переключения, способность к пиковому току, легкость управления, ширина безопасной области работы (SOA), устойчивость к лавинному пробую, скорость подъема напряжения dV/dt дают основание делать выбор в пользу мощных МОП ПТ в новейших изделиях силовой электроники. Эти достоинства, действительно присущие приборам с одним типом носителей, частично ослабляются их характеристиками проводимости, которые сильно зависят от температуры и уровня напряжения. Более того, с падением напряжения встроенный обратный диод способствует увеличению Q_{22} и T_{22} , которые ведут к увеличению потерь переключения.

БТИЗ, с другой стороны, являясь прибором на неосновных носителях, имеет более высокие характеристики проводимости, в то же время обладая многими достоинствами МОП ПТ, такими как легкость управления, широкая область безопасной работы, способность к пиковому току и устойчивость в работе. Вообще говоря, скорость переключения БТИЗ ниже, чем у МОП ПТ.

Однако, как будет показано в разделе 3, новая серия БТИЗ фирмы IR имеет характеристики переключения, очень близкие к характеристикам МОП ПТ без ухудшения более высоких характеристик проводимости.

Отсутствие интегрального обратного диода дает потребителю гибкость в выборе внешнего быстро восстанавливающегося диода для удовлетворения специальных требований. Это свойство может быть преимуществом, или наоборот, в зависимости от рабочей частоты, стоимости диодов, требуемого тока и т.д.

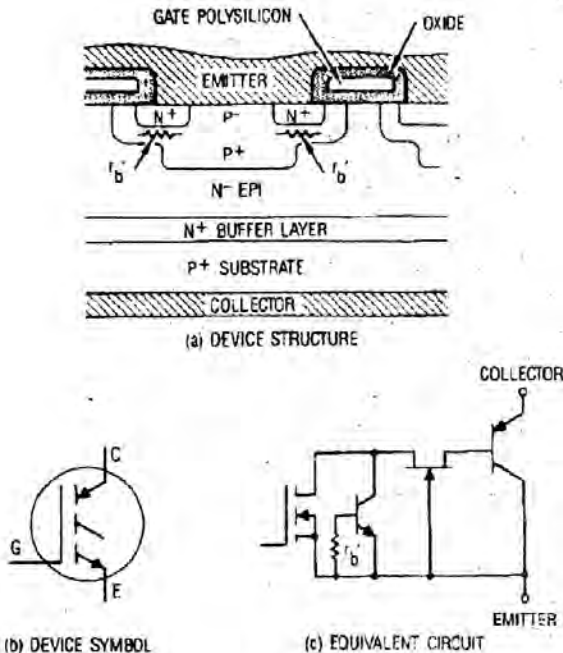


Рис. 1. Поперечный разрез кристалла БТИЗ с его эквивалентной схемой и обозначением (N-канал с обеднением). Вывод, называемый коллектором, в действительности является эмиттером PNP. Несмотря на схожесть с поперечным сечением МОП транзистора, работа двух транзисторов имеет фундаментальное различие, так как БТИЗ является прибором на неосновных носителях.

Целью настоящей заметки по применению является обеспечение проектировщика достаточным пониманием этого нового класса приборов, причем, материал в основном относится к приборам фирмы IR.

РАЗДЕЛ I. ТЕХНОЛОГИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ БТИЗ

За исключением подложки P+, поперечное сечение БТИЗ (рис. 1) существенно идентично сечению мощного МОП ПТ.

Оба прибора имеют схожие структуры поликремниевого затвора и р-карманы соединены с p+ истоком. В обоих приборах материал p-типа под карманами одинаков по размерам, толщине и сопротивлению для поддержания полного диапазона напряжения прибора.

Однако, несмотря на большое сходство, физическая работа БТИЗ более близка к работе биполярного транзистора, чем мощного МОП ПТ.

Это происходит за счет P+ подложки, которая необходима для инжекции неосновных носителей в N- область и осуществления модуляции проводимости. В мощном МОП ПТ, который не имеет преимуществ в модуляции проводимости, значительная величина потерь проводимости проявляется в N-области, в типичном случае 70% в 500-вольтовом приборе.

Как показано на эквивалентной схеме на рис. 1, БТИЗ состоит из PNP-транзистора, управляемого N-канальным МОП ПТ в схеме псевдо-Дарлингтона.

Дополнительная структура поддерживает напряжение и позволяет МОП ПТ быть низковольтным и соответственно иметь малое сопротивление включения $R_{ds(on)}$.

Базовая область PNP-транзистора не выведена на поверхность и PN переход эмиттер-база, находясь внутри пластины не может иметь вывод или пассивироваться. Это определяет поведение при включении-выключении и обратном блокировании БТИЗ, как это будет объяснено ниже. Пробивное напряжение этого перехода около 20В и на рис. 1 показано в обозначениях БТИЗ в виде неподсоединенного вывода.

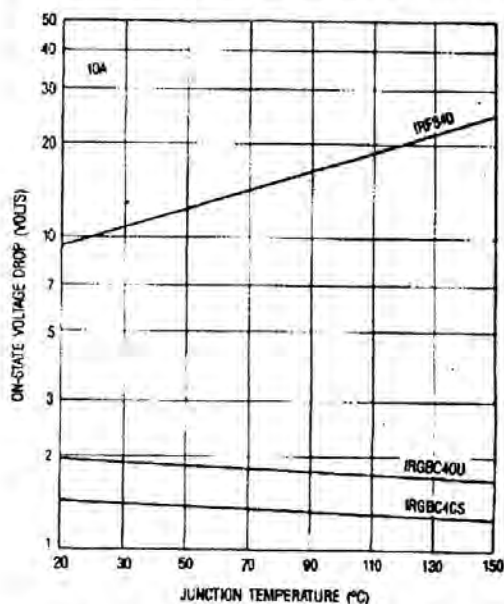


Рис. 2. Зависимость падения напряжения во включенном состоянии от температуры для двух БТИЗ с различными ключевыми характеристиками в сравнении с МОП ПТ с теми же размерами кристалла (IRGBC 40S и IRGBC 40U). Модуляция проводимости оказывает сильное влияние на падение напряжения во включенном состоянии. Чтобы определить устойчивость МОП ПТ к лавинному пробое 500 В прибор сравнивается с 600 В БТИЗ.

Так как оконечный каскад схемы псевдо-Дарлингтона-PNP-транзистор никогда не находится в сильном насыщении, то его падение напряжения выше того, которое может быть получено на том же самом PNP-транзисторе в условиях сильного насыщения.

А. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОВОДИМОСТИ

Как явствует из эквивалентной схемы, падение напряжения в БТИЗ является суммой двух составляющих: падение на диоде PN перехода и падение напряжения в управляющем МОП ПТ. Таким образом, в отличие от МОП ПТ во включенном состоянии падение напряжения в БТИЗ никогда не падает ниже порогового напряжения диода. С другой стороны, падение напряжения на управляющем МОП ПТ имеет одну характеристику, присущую всем низковольтным МОП ПТ: оно чувствительно к управляющему напряжению на затворе.

Это видно на рис. 12 и 13, где для токов, близких к предельным значениям, увеличение напряжения на затворе вызывает уменьшение напряжения коллектор-эмиттер.

Это происходит за счет того, что в пределах рабочего диапазона усиление PNP транзистора увеличивается с током, а увеличение напряжения на затворе вызывает увеличение тока в канале и, следовательно, уменьшение падения напряжения в PNP транзисторе. В этом заключается полное отличие от высоковольтного МОП ПТ, который, в основном, нечувствителен к напряжению на затворе.

Следует однако, отметить, что эмиттер БТИЗ занимает сплошную область кристалла, отсюда его эффективность инжекции и падение проводимости много выше значений БИП ПТ тех же размеров.

Два подхода применимы к проектировщику приборов для уменьшения падения проводимости:

1) Уменьшение сопротивления МОП ПТ во включенном состоянии. Это может быть достигнуто увеличением размера кристалла и/или плотности упаковки. Оба приема отрицательно влияют на выход годных и стоимость.

2) Увеличить усиление PNP транзистора. Как поясняется ниже, этот прием ограничен условиями защелкивания. Фирма IR проводит оптимизацию составляющего МОП ПТ в БТИЗ к точке, где эти приборы могут быть с полным основанием отнесены к МОП ПТ с модулируемой проводимостью с характеристиками, реализуемыми в высоком быстродействии, малом падении напряжения и эффективном использовании кристалла.

Другие полупроводниковые компании, с другой стороны, нацеливаются на оптимизации биполярной части, и окончательный прибор должен по справедливости называться «МОП управляемый транзистор» с различием в исходных характеристиках.

Сильное воздействие модуляции проводимости на падение напряжения можно видеть на рис. 2, на котором сравниваются гексагональный мощный МОП ПТ и БТИЗ с кристаллами одинакового размера. Температурная зависимость очень значительна в мощном МОП ПТ, минимальна в БТИЗ даже при параллельном соединении при высокотоковых уровнях тока в стационарном режиме, как показано на рис. 14 для прибора IRGBC20U. На этом же рисунке показано, что температурная зависимость падения напряжения разная при различных условиях тока.

Это происходит вследствие того, что диодная составляющая этого падения напряжения имеет температурный коэффициент вначале отрицательный, который потом становится положительным при высоких уровнях тока. Составляющая МОП ПТ, с другой стороны, положительна. Проблема становится более сложной в связи с тем, что эти две составляющие имеют различный вклад при различных токах и температурах. В дополнение к уменьшению падения напряжения и температурного коэффициента, модуляция проводимости постоянно проявляет зависимость от значения напряжения. Это показано в таблице 1, где падение проводимости четырех БТИЗ различных диапазонов напряжения сравниваются с этими же показателями МОП ПТ той же самой плотности тока.

Таблица 1. Зависимость падения напряжения от значения напряжения

Диапазон напряжений	БТИЗ	100	300	600	1200
	МОП ПТ	100	250	500	1000
Типовое падение напряжения 1,7А/мм при 100 °С	БТИЗ	1,5	2,1	2,4	3,1
	МОП ПТ	2,0	11,2	26,7	100

Примечание. Некоторые статьи приводят зависимость $R_{ds(on)}$ для мощных МОП ПТ в следующем виде

$$R = R_0 V^\alpha, \text{ с } \alpha = 2,5,$$

т.е. сопротивление растет с ростом напряжения быстрее, чем по квадратичному закону.

В действительности в предположении о том, что закон изменения мощности объективно отражает физическое явление, правильная величина должна быть равной 1,6, как это легко можно проверить по справочным листам любого изготовителя. Эти справочные листы будут также противоречить общему свойству МОП ПТ о лучшей эксплуатации при низком напряжении. И в самом деле, их наивысшая способность к мощности на единицу площади находится между 400В и 600В. Диапазон напряжения мощных ПТ в этой сравнительной таблице меньше, чем у БТИЗ, взят с учетом их способности к лавинному пробое.

Падение напряжения в приборе с модулированной проводимостью с подавляемым временем жизни неосновных носителей может проявиться в особом явлении, часто называемом «обратное включение»: падение напряжения на малом токе и низкой температуре выше предсказанного, внезапное падение его до предсказанной величины при увеличении тока или температуры. Это явление хорошо наблюдать, когда используется ступенчатый генератор на характеристикографе, когда характеристика смещается в левую сторону при увеличении напряжения. След этого явления может наблюдаться во «всплеске» части кривой $V_{ct}(sat)$ на рис. 12. Заметим, что всплеск исчезает на рисунке 13, так как температура увеличивает время жизни заряда и ускоряет модуляцию проводимости. Видно также, что только сверхбыстрые БТИЗ обладают этими свойствами в связи с малым временем жизни носителей.

В. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Наибольшее ограничение скорости переключения БТИЗ заключается во времени жизни неосновных носителей в N-эпитаксиальном слое, т.е. в базе PNP-транзистора. Так как эта база недоступна извне, внешняя схема управления не может быть применена для воздействия на время переключения. Следует помнить, однако, что так как PNP-транзистор является частью схемы псевдо-Дарлингтона, он не имеет времени накопления и его время включения-выключения много лучше, чем у того же самого PNP-транзистора в сильном насыщении. И даже при этих условиях это может быть неравноценным для многих высокочастотных применений.

Заряд, накопленный в базе, вызывает «хвост» во временной диаграмме БТИЗ при включении-выключении (рис. 3).

Как только канал МОП ПТ прекращает проводить, поток электронов исчезает и ток в БТИЗ быстро спадает до уровня тока рекомбинации дырок в начале «хвоста». Этот хвост увеличивает потери и требует увеличения мертвого промежутка времени между проводимостью двух приборов в полумосте.

Традиционная технология понижения времени жизни и/или N+ буферного слоя собирать заряд неосновных носителей при включении-выключении общепринята в виде ускорения времени рекомбинации. Кроме того, что они уменьшают усиление PNP-транзистора, эти приемы увеличивают падение напряжения. Сдвигаясь к экстремуму, снижение времени жизни создает условия квазинасыщения при включении, как показано на рис. 4, где потери включения становятся больше потерь выключения.

Таким образом, с одной стороны, усиление PNP-транзистора проводимостью и потерями при включении-выключении и, с другой стороны, создает условия защелкивания, как это поясняется в следующем разделе.

Подобно всем приборам на неосновных носителях переключающие свойства БТИЗ ухудшаются с температурой. Как можно видеть на рис. 18, этот феномен менее значителен на больших уровнях тока.

БТИЗ, работающий при нулевом токе переключения, может показывать потери квазинасыщения при включении-выключении, которые несколько выше в переключаемых схемах. Малая скорость изменения тока di/dt , которая характеризует этот вид работы, усиливает явление «обратного включения», описанного ранее.

Аналогично, при нулевом напряжении выключения в БТИЗ может наблюдаться кратковременный всплеск тока, если комплементарный прибор включается вскоре после спада тока в приборе, который проводил. Это происходит за счет того, что включение комплементарного прибора создает источник напряжения, проходящего через первый БТИЗ вследствие обеднения его базовой области, приводя к рассасыванию неосновных носителей, которые все еще оставались там.

С. ЗАЩЕЛКИВАНИЕ

Как показано на поперечном сечении рис.1, БТИЗ состоит из четырех различных P-N-P-N-слоев. При создании необходимых условий ($\alpha_{NPN} + \alpha_{PNP} > 1$) БТИЗ может защелкиваться подобно тиристорам.

N+буферный слой и широкая эпитаксиальная база уменьшает усиление PNP-транзистора, в то время как усиление NPN-транзистора, который является паразитным биполярным, может быть уменьшено теми же приемами, которые вообще применимы к данному МОП ПТ, их лавинной и dV/dt способности, главным образом в сильном уменьшении r_b .

Если это r_b уменьшается недостаточно, может возникнуть «динамическое защелкивание» при включении-выключении при протекании в r_b дырочного тока высокой плотности, создавая усиление паразитного NPN-транзистора до большой величины.

Защелкивание не должно возникнуть при любых условиях рабочего тока, температуры и изменения напряжения dV/dt , которые могут наблюдаться в пределах режима работы.

БТИЗ фирмы IR гарантируются от защелкивания при максимальном токе, который может возникнуть при $V_{gs}=20В, T_j=150С$ и максимальном изменении напряжения dV/dt .

В то же время, так как PNP-транзистор с большим усилением уменьшает потери проводимости, фирма IR не стремится его уменьшить, так как это необходимо для безопасной и надежной работы в предельных условиях справочного листа.

Д. ОБЛАСТЬ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ

Область безопасной работы (SOA) описывает способность транзистора противостоять одновременно высоким уровням тока и напряжения. Три главных условия будут применимы к БТИЗ к этому комбинированному воздействию и заключаются они в следующем:

1. *Работа в короткозамкнутой схеме.* Ток БТИЗ ограничен его напряжением на затворе и переходной проводимостью и может достигнуть величины, в 10 раз превышающей его постоянное значение. Уровень дырочного тока, который протекает через подлежащий исток-контакт к N+области может вызвать падение напряжения на r_b , вполне достаточное для включения паразитного БИП ПТ с возможным защелкиванием. В норме это предупреждается уменьшением r_b , как отмечалось в предыдущих разделах, или уменьшением полной переходной проводимости (существенное уменьшение усиления PNP транзистора).

Этот второй прием увеличивает потери проводимости и уменьшает скорость переключения. Низкая мощность рассеивания представляется более желательным достоинством по сравнению со способностью работать в короткозамкнутой схеме, в частности, пола

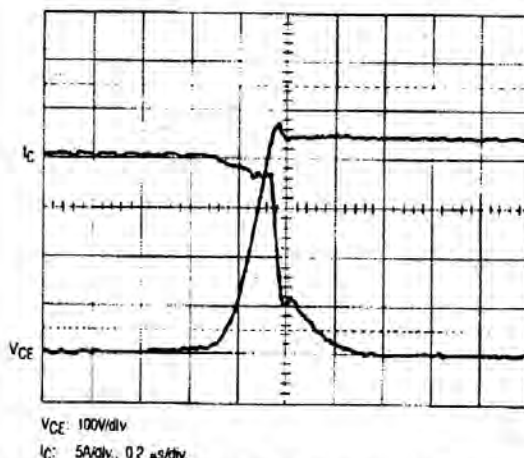


Рисунок 3. Временная диаграмма включения-выключения коммерческого БТИЗ при 25 °С. Заметен явный излом в конце «хвоста». Ключевая схема как на рис.16.

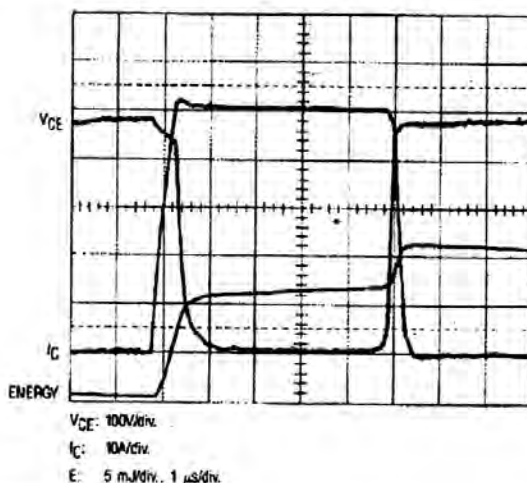


Рисунок 4. Временные диаграммы переключения коммерческого БТИЗ с сильным подавлением времени жизни. Оно составляет приблизительно 0,5 мксек для перепада напряжений 50В. График энергии показывает, что потери включения вдвое выше потерь выключения. Переключательная схема на рис.16.

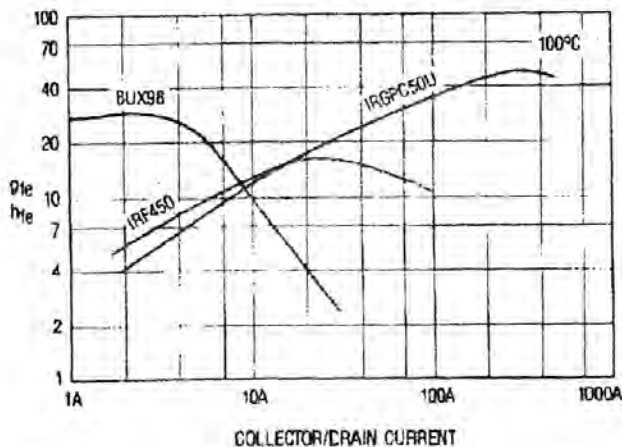


Рисунок 5. Зависимость тока переходной проводимости БТИЗ от тока коллектора/ стока в сравнении с МОП ПТ и БИП ПТ с примерно равных размеров кристалла. БТИЗ, как и МОП ПТ не имеют «пределов усиления».

БТИЗ фирмы IR могут работать на их максимальной скорости переключения без каких-либо проблем. Причины ограничения скорости переключения должны быть внешними по отношению к прибору (например, сверхвыброс за счет случайной индуктивности) в большей степени, чем внутренними.

3. Работа в качестве линейного усилителя. Линейная работа составляет область безопасного функционирования БТИЗ в сочетании с двумя видами, описанными выше, но в менее раздельном виде.

Прибор, который спроектирован устойчивым к этим воздействиям будет более удобен в работе в качестве линейного усилителя.

В БТИЗ фирмы IR обнаружено отсутствие вторичного пробоя в любом виде работы в пределах значений справочного листа.

Е. ПЕРЕХОДНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ

Токовая нагрузочная способность прибора может ограничиваться ужесточением температурного режима или ужесточением усиления/переходной проводимости. В то время как «главное значение тока» мощного прибора основано главным образом на температурных условиях, существует возможность, как это часто имеет место в БИП транзисторах, что прибор не может работать при уровне тока за пределами его температурных возможностей так как его усиление падает до очень низкого значения.

Как показано на рис.5, переходная проводимость БТИЗ растет при уровнях тока нормальных за пределами его тепловой способности, в то время как усиление БИП ПТ аналогичных размеров остается на нисходящей ветви кривой графика в пределах рабочих значений тока.

Выход переходной проводимости на полку (в насыщение) проявляется, когда эффекты насыщения канала МОП ПТ, уменьшающие ток в базе PNP, сочетаются с полкой (насыщением) усиления PNP. Так как температура уменьшает ток в канале МОП ПТ в большей степени, чем происходит увеличение усиления в PNP ПТ, насыщение переходной проводимости происходит на малом токе, так как температура увеличивается.

Так как падение времени жизни уменьшает усиление PNP ПТ, проводимость быстродействующего БТИЗ достигает пика на более низком уровне чем без падения времени жизни. Этот эффект, однако, относится к величине второго порядка, так как усиление в PNP ПТ определяется главным образом N+ буферным слоем. Уменьшение проводимости на

гая что простейшая защита БТИЗ осуществляется добавлением управлением затвора в тех применениях, где короткое замыкание схемы является случайным явлением.

2. При выключении оказывает влияние паразитная индуктивность, иногда называемая «задерживающей II». В выключенной индуктивности напряжение изменяется от нескольких вольт до напряжения питания при постоянном токе и при отсутствии тока в канале. Эти условия отличаются от рассмотренных в предыдущих разделах, так как ток нагрузки полностью осуществляется дырками, проходящими через r_b . По этой причине некоторые изготовители предпочитают применение управляющих резисторов в цепи затвора для уменьшения скорости спада напряжения выключения dV/dt и установления некоторого уровня тока электронов и вследствие этого избегают потенциальных условий, «динамического защелкивания».

очень большом токе и дополнительное уменьшение с температурой помогают защитить БТИЗ от условий короткозамкнутой схемы. При затворном напряжении 15В плотность тока в стандартном БТИЗ фирмы IR достигает величины 10-20А/мм² в короткозамкнутой схеме. Высокая транспроводимость частично ответственна за отличные характеристики БТИЗ при переключении и проводимости.

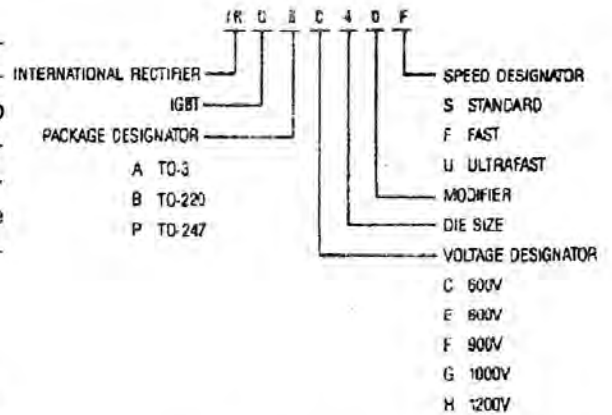
РАЗДЕЛ II. СПРАВОЧНЫЙ ЛИСТ

Фирма IR гордится наличием одним из наиболее полных справочных листов в промышленности, содержащим всю информацию по работе и применению БТИЗ. Однако, подобно всем техническим документам необходимо хорошее понимание пользователя различных терминов и условий.

Этому дается краткое пояснение в следующих разделах.

А. ГЛАВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В дополнение к общему внешнему виду на первой странице даются диапазоны тока и напряжения. Значение тока в промышленном стандарте - это способность прибора к постоянному току при установившейся температуре = 25 °С. Маркировка на корпусе содержит в закодированной форме ключевые сведения по БТИЗ. Объяснение перечня содержится в рис. 6.



В. АБСОЛЮТНЫЕ МАКСИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Эта таблица содержит ряд составляющих работ прибора, которые выполняются во всех условиях.

I_c - Длительный ток коллектора при $T = 25\text{ °C}$ и 100 °C (I_c) Это уровень постоянного тока в переходе при обусловленном значении температуры корпуса. Он рассчитывается по следующей формуле

$$I_c = \frac{\Delta T}{\theta_{j-c} \cdot V_{CE(on)} @ I_c}$$

где ΔT - перепад от обусловленной температуры до максимальной температуры перехода (150 °C)²

Примечание. $V_{CE(on)}$ при I_c неизвестно, I_c - неизвестен и может быть найден несколькими итерациями.

Из этой формулы ясно, что значение тока не имеет величины без соответствующей температуры перехода и температуры корпуса. Так как нормальное функционирование происходит при температуре корпуса много большей 25 °C , связанное с ней значение не имеет практической величины и может быть просто объявлено, потому что транзисторы имеют обычно это значение. На рис. 7 показано, как это значение изменяется с температурой корпуса при температуре перехода 150 °C для специальных приборов.

Рисунок 6. Упрощенная номенклатура кодов для коммерческих БТИЗ фирмы IR.

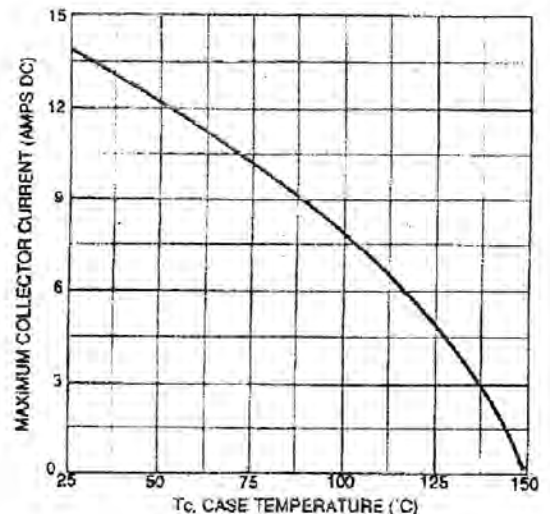


Рисунок 7. Зависимость максимального тока коллектора от температуры корпуса

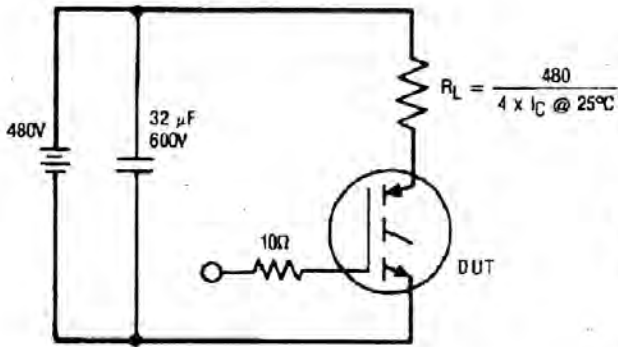


Рисунок 8. Тестовая схема импульсного тока коллектора

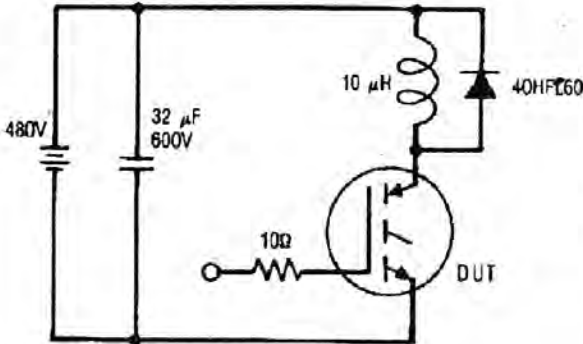


Рисунок 9. Тестовая схема фиксированной индукционной нагрузки

ИМПУЛЬСНЫЙ ТОК КОЛЛЕКТОРА (I_{cm}) В пределах тепловых границ, БТИЗ может принимать пиковый ток выше значений длительного постоянного тока.

Температурный перепад в течение передачи большого тока может быть рассчитан способом, указанным в разделе 4С. Тестовая схема приведена на рис.8.

НАПРЯЖЕНИЕ КОЛЛЕКТОР-ЭМИТТЕР (V_{ce}) Напряжение в БТИЗ никогда не должно превышать это значение для предупреждения пробоя перехода коллектор-эмиттер. Сам пробой гарантируется в таблице электрических характеристик.

МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ЗАТВОР-ЭМИТТЕР (V_{ge}) Напряжение на затворе ограничивается толщиной и характеристиками слоя затворного окисла. Хотя пробой диэлектрика затвора обычно наступает при 80В, потребитель ограничивается напряжением 20В для ограничения тока в условиях отказа и для уверенности в длительной температурной работоспособности.

МАКСИМАЛЬНЫЙ ТОК НА ФИКСИРОВАННОЙ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКЕ (I_{lm}) Это значение гарантирует, что прибор способен к повторному выключению тока с индуктивной нагрузкой, как это называется в большинстве приложений. Во всяком случае, тестовая схема (рис.9) воздействует на БТИЗ пик обратного тока внешнего диода, который добавляет значительную долю потерь при включении (рис.10).

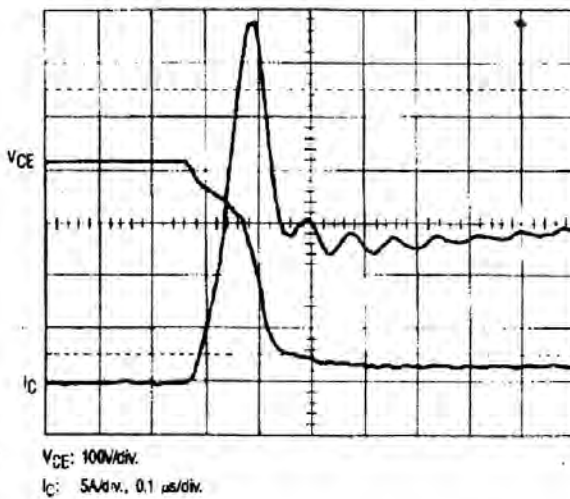


Рис.10А. Форма сигналов при включении фиксированной индуктивной нагрузки и диода с быстрым восстановлением. Тестовая схема на рис.9.

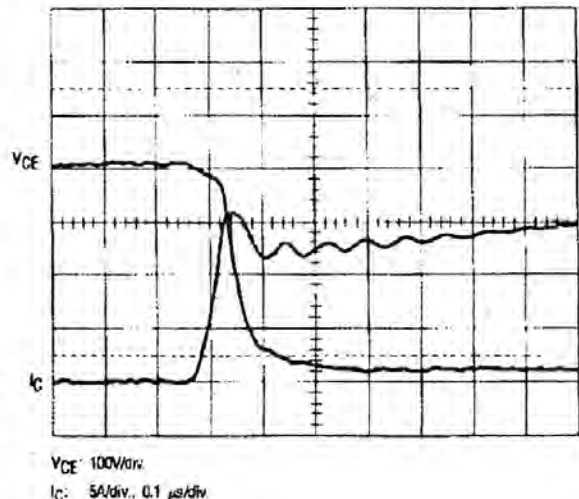


Рис.10в - Форма сигналов при выключении идеального диода (стабилитрона). Тестовая схема на рис.16.

Обратное восстановление составляет значительную часть потерь. Для определения вклада потерь, которые относятся собственно к БТИЗ и к обратному восстановлению диода, используется схема на рис.16 для получения сведений в справочные листы.

Это значение гарантирует прямоугольную форму области безопасной работы, т.е. прибор может выдерживать одновременно и высокий ток и высокое напряжение. Значение I_{lm} определяется при 150 °C, при 80% значений напряжения и 4-х кратном значении тока при $T = 25$ °C. Это простое и более непосредственное представление способности прибора, чем традиционная кривая области безопасной работы SOA, которая приводит к многим недопониманиям.

ОБРАТНАЯ ЛАВИННАЯ ЭНЕРГИЯ (E_{ARV}) Этот термин обсуждается детально в BV_{ECS} раздела электрические характеристики.

МАКСИМАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ РАССЕЙВАНИЯ (P_D) при 25 °C и 100 °C. Она рассчитывается по формуле

$$P_D = \frac{\Delta T}{\theta_{j-c}}$$

Пояснения, сделанные для длительного тока коллектора применимы к рассеиваемой мощности.

Температура перехода T_j - прибор может работать в диапазоне промышленного стандарта от -55 °C до 150 °C соответственно.

С. ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

$R_{thjc}, R_{thcs}, R_{thja}$ - необходимы для теплового проектирования, как пояснено в разделе 4С.

Д. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель этого раздела - детальное рассмотрение характеристик прибора, чтобы разработчик мог точно предвидеть его поведение в специальных применениях.

ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ КОЛЛЕКТОР-ЭМИТТЕР (BV_{ces}) Этот параметр гарантирует нижний предел распределения пробивного напряжения. Пробой определяется как специфический ток утечки и имеет положительный температурный коэффициент (сведен в таблице как BV_{ces}/T) около 0,63 V/°C. Это означает, что прибор с пробоем в 600V при 25 °C будет при -55 °C иметь пробивное напряжение 550V.

ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ЭМИТТЕР-КОЛЛЕКТОР (BV_{ECS}) Это значение характеризует обратный пробой перехода коллектор база PNP транзистора, не имеющего вывода. Наличие этой особенности и связанной с ней энергии обратного лавинного пробоя можно лучше понять из рис.11. Когда БТИЗ выключается и ток передается к диоду через комплементарный прибор, возникает ток выключения di/dt во встроенной индуктивности, которая включена последовательно с диодом и возникает пик обратного напряжения в БТИЗ (т.е. коллекторное напряжение становится отрицательным по отношению к эмиттеру). Это обратное напряжение обычно меньше 10V, хотя может возникнуть более высокое напряжение за счет очень большого di/dt или из-за плохой топологии. Так как это обратное высокое напряжение может вызвать лавинный пробой перехода, БТИЗ фирмы IR обладают высоки-

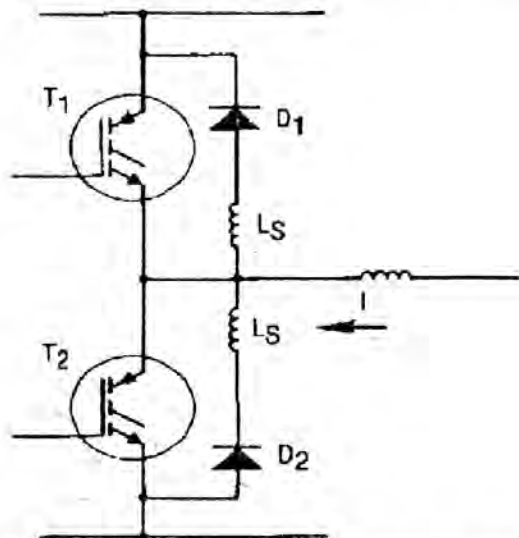


Рис.11. При выключении T_2 , ток нагрузки течет в диод, параллельный T_1 . Обратный ток выключения T_2 вызывает напряжение на паразитной индуктивности, последовательно включенной с D_1 , которое смещает в обратном направлении T_1 . БТИЗ фирмы IR имеют особую способность к обратному запираению (BV_{ces}) и устойчивость к лавинному пробую (E_{rv}).

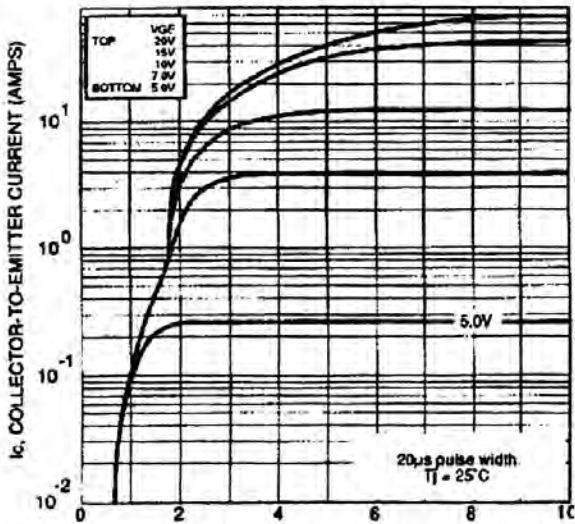


Рисунок 12. Типовые выходные характеристики при $T=25^{\circ}\text{C}$

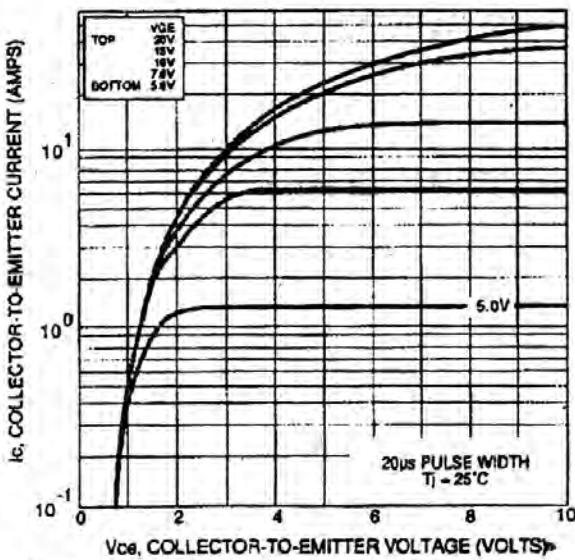


Рисунок 13. Типовые выходные характеристики при $T=150^{\circ}\text{C}$

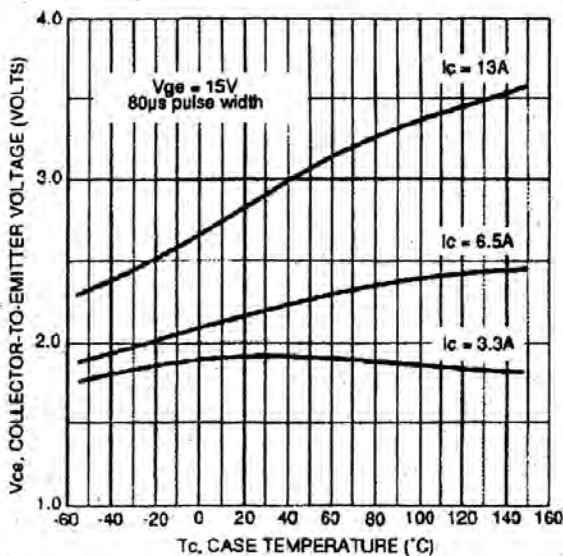


Рис. 14. Напряжение насыщения коллектор-эмиттер от температуры корпуса

ми пределами энергии, даваемыми в таблице абсолютных максимальных значений, которые являются для разработчика более полезными, чем обычные характеристики диода. Это значение в норме имеет порядок величины значительно больший, чем необходимо потребителю.

НАПРЯЖЕНИЕ НАСЫЩЕНИЯ КОЛЛЕКТОР-ЭМИТТЕР ($V_{ce(on)}$). Являясь ключевым параметром для расчета потерь проводимости, это значение подтверждается на трех рисунках, которые дают характеристики тока и затворного напряжения при температуре (рис. 12, 13 и 14 для прибора IRBGC20U). Таблица характеристик переключения дает три величины для двух токов и двух температур.

ПОРОГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ЗАТВОРА ($V_{GE(th)}$). Это значение напряжения на затворе, при котором появляется ток в коллекторе. Приводится также зависимость порога затвора от температуры ($V_{GE(th)}/\Delta T_j$).

Обычно коэффициент равен $-11\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$, приводя к уменьшению на 1,4В порогового напряжения при высокой температуре.

ПРЯМАЯ ПРОВОДИМОСТЬ (g_{ie}). Этот параметр измеряется наложением небольших изменений на смещение на затворе, что делает зависимость тока БТИЗ от температуры 100°C «линейного» вида. Как указывалось в разделе II Е проводимость значительно увеличивается с током, так что сквозной ток в БТИЗ не ограничивается усилением, как в биполярном ПТ, а определяется температурой.

ТОК КОЛЛЕКТОРА ПРИ НУЛЕВОМ НАПРЯЖЕНИИ НА ЗАТВОРЕ (I_{ces}). Этот параметр гарантирует верхний предел распределенной утечки в диапазоне напряжений при двух температурах. Он дополняет значение BV_{ces} , рассмотренное выше.

Е. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ.

ПАРАМЕТРЫ ЗАРЯДА ЗАТВОРА (Q_g, Q_{ge}, Q_{gc}). Величины заряда затвора полезны для определения размеров схемы управления затвором и потерь, связанных с управлением затвором. К сожалению, они не могут использоваться для оценки времени переключения для мощных МОП ПТ, вследствие работы прибора на неосновных носителях. Тестовый способ и характеристики описаны в заметках по применению AN-944(3) для мощных МОП ПТ и в полной мере применимы для БТИЗ.

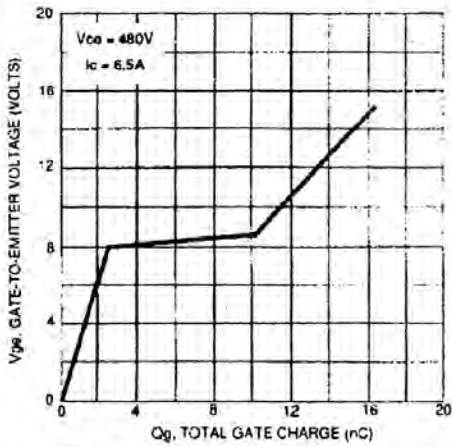


Рис. 15. Типовая зависимость заряд-затвора от напряжения затвор-эмиттер

Время спада напряжения, с другой стороны, не является характеристикой при всех обстоятельствах. Таким образом, две значительные доли потерь за время переключения не могут быть рассчитаны и по этой причине они не могут учитываться при расчете потерь переключения.

Потери переключения полностью характеризуются данными в справочном листе и будут пояснены в следующем параграфе.

Следует помнить, что БТИЗ, как и мощные МОП ПТ, и имеют времена накопления. Задержка выключения за счет эффекта Миллера объясняется в разделе 4А. Времена переключения дают полезное руководство для установления необходимой паузы между выключением и соответствующим включением дополняющих приборов в полумостовой схеме и минимальной и максимальной ширине импульса.

ЭНЕРГИЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ (E_{on} , E_{off} , E_{is}). БТИЗ фирмы IR имеют гарантированную энергию переключения, полностью сохраняющую характеристики в условиях температуры, тока коллектора и сопротивлению затвора (рис. 17, 18 и 19 для прибора IRBGC20U). Это позволяет разработчику рассчитать потери переключения не заботясь об истинном токе, форме импульса, напряжения и квазинасыщении.

Любая тестовая схема измерения потерь переключения должна удовлетворять двум основным требованиям:

1. Она должна воспроизводить условия переключения, которые имеют место в реальной аппаратуре, т.е. с длительным протеканием тока в индуктивной нагрузке.

2. Она должна отражать потери, относящиеся к БТИЗ, и не должна зависеть от потерь в других компонентах схемы типа внешнего диода. Тестовая схема, отвечающая этим тре-

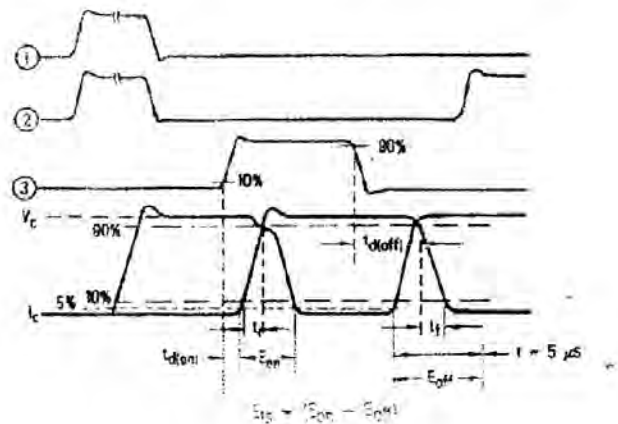
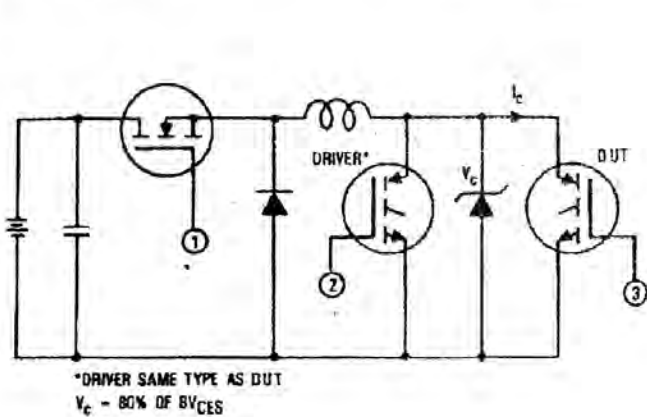


Рис. 16. Тестовая схема потерь переключения и временные диаграммы

На рис. 15 приведены типичные величины полного заряда затвора в функции напряжения, приложенного к затвору. Вид зависимостей этих кривых подробно объяснен в AN-944.

ВРЕМЕНА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ (t_d , t_r , t_f) Времена переключения определяются разными подходами (рис. 16):

- время задержки включения: 10% затворного напряжения до 10% тока коллектора,
- время нарастания: 10-90%-тока коллектора,
- время задержки выключения: 90% напряжения затвора до 90% напряжения коллектора,
- время спада: от 90 до 10% тока коллектора.

Определение времени спада является проблемой для некоторых БТИЗ, в связи со шлейфом тока, отмеченным в разделе IIB, значительная часть которого может быть менее 10%.

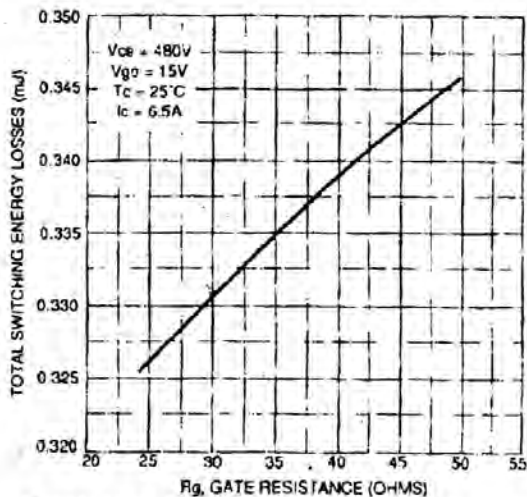


Рисунок 17. Типовая зависимость потерь при переключении от сопротивления затвора

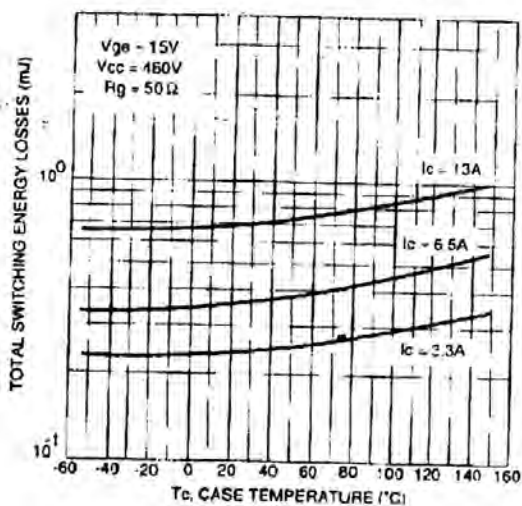


Рис.18. Типовая зависимость потерь при переключении от температуры корпуса

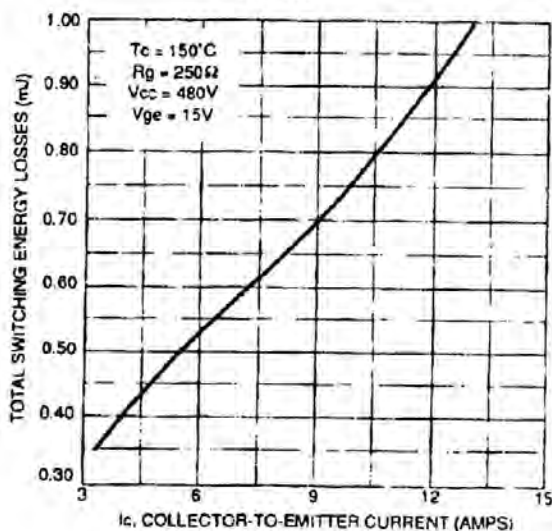


Рис.19. Типовая зависимость потерь при переключении от тока коллектора

бованиям, приведена на рис.16. Она работает следующим образом:

Драйвер БТИЗ задает тестовый ток в индукторе. Когда он выключается, ток течет в зенеровский диод. В этой точке начинается тест времени переключения и энергии переключения путем включения и выключения прибора в ходе теста. В это время наблюдается тестовый ток, протекающий в индукторе, и напряжение в зенеровском диоде без каких-либо составляющих обратного восстановления от свободно кольцевого диода. Этот тест может подавать на БТИЗ его полное напряжение и ток без каких-либо побочных эффектов за счет обратного восстановления диода.

С другой стороны, метод тестирования должен быть рассчитан на все потери, которые могут проявиться в ходе операции переключения, включая квазинасыщение при включении и шлейф при выключении. Для выполнения этих требований значение энергии, указанные в справочном листе, определяются следующим образом:

E_{on} - от 5% тестового тока до 5% тестового напряжения. 5% является разумным компромиссом между разрешением измерительной аппаратуры и необходимостью учета квазинасыщения, которое может возникнуть в некоторых приборах.

E_{off} - Эта энергия измеряется в течение периода времени, который начинается с 5% тестового напряжения и длится 5 мксек. В то время как шлейф тока большинства БТИЗ будет заканчиваться за это время, это же создает условия того, что доля потерь утечки в полной энергии будет минимальной.

E_{ts} - это сумма потерь при включении и выключении. Как показано на рис. 19, энергия переключения БТИЗ фирмы R почти пропорциональна току. Это не является обязательным для БТИЗ других фирм.

ВНУТРЕННЯЯ ИНДУКТИВНОСТЬ ЭМИТЕРА (L_e) Это индуктивность корпуса между контактной площадкой на кристалле и электрическим соединением на выводе. Эта индуктивность замедляет включение БТИЗ исходя из расчета, что она пропорциональна изменению di/dt коллекторного тока, подобно тому, как эффект Миллера замедляет включение исходя из расчета, что он пропорционален изменению напряжения коллектора dV/dt . При di/dt в 1000 А/мксек напряжение, возникающее в этой индуктивности, превышает 7В.

ЕМКОСТИ ПРИБОРА (C_{ice} , C_{ole} , C_{iee}). Тестовая схема и краткое пояснение тестового метода могут быть поняты из рис.20. Емкость выхода является зависимой от напряжения емкости P-N перехода. Обратная переходная емкость (Миллера) также сильно зависит от напряжения (обратно пропорционально), но более сложным путем, чем выходная емкость. Входная емкость, которая является суммой емкости затвор-эмиттер и емкости Миллера, показывает ту же зависимость от напряжения, что и емкость Миллера, но в более ослабленном виде, так как емкость затвор-эмиттер много больше ее и не зависит от напряжения.

ПЕРЕХОДНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ (рис.21 для прибора IRGBC29U). Эта кривая отличается от традиционно определяемой переходной характеристики одной деталью: сток не соединен затвором, но зафиксирован на напряжении 100В. Когда затвор и сток не соединены, кривая ограничивает разделение работы при полном насыщении от работы в линейном режиме (иногда называемой режим насыщения). На рис.21 показан ток при работе в режиме короткого замыкания. При нормальной работе эта кривая показывает слабую отрицательную зависимость от температуры и большую независимость от приложенного напряжения.

РАЗДЕЛ III. СЕМЕЙСТВО БТИЗ ФИРМЫ IR

Материал, обсужденный в разделе 1 и 2 можно свести в сравнительную таблицу (табл.2), которая может быть полезна для применения различных мощных транзисторов в ближайшей перспективе. Вообще, БТИЗ обладают видимыми достоинствами на высоких напряжениях (>300В), больших токах (1-3А/мм² активной площади) и среднем быстродействии до 10-20кГц.

В плане технологии фирма IR развивает метод изготовления, который уменьшает падение напряжения на единицу плотности тока до много меньшего уровня, чем в существующей технологии.

Этот способ позволяет сильно уменьшить время жизни неосновных носителей, и, соответственно, уменьшить потери переключения. Для увеличения привлекательности потребителю этого технологического приема, фирма IR выпускает три различных семейств

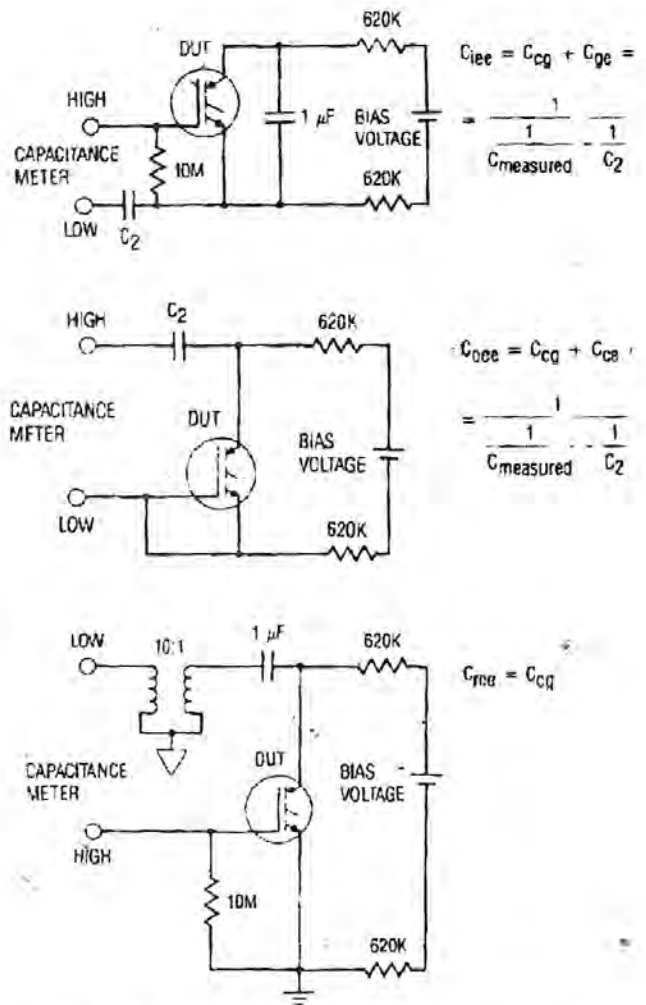


Рис.20. Тестовая схема емкости. БТИЗ находится под смещением 25В между коллектором и эмиттером. Два его вывода закорочены по переменному току емкостью большой величины. Емкость измеряется между этими двумя выводами и третьим

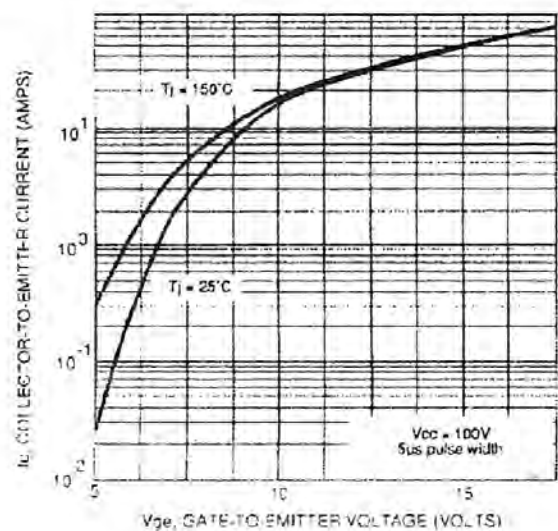


Рис. 21. Типичные переходные характеристики

ва приборов с различной частотой: стандартные, быстродействующие и сверхбыстродействующие.

Стандартные БТИЗ фирмы IR оптимизированы на падение напряжения и потери проводимости и имеют наименьшее падение напряжения на единицу плотности тока по сравнению с приборами, имеющимися на рынке.

Таблица 2. Сравнительная таблица характеристик мощных транзисторов

	Мощные МОП ПТ	БТИЗ	БИП ПТ	Схема Дарлингтона
Тип управления	Напряжение	Напряжение	Ток	Ток
Мощность управления	Минимальная	Минимальная	Большая	Средняя
Сложность управления	Простая	Простая	Большая Требуются большие положительные и отрицательные токи	Средняя
Плотность тока	Высокая при низком напряжении низкая при высоком напряжении	Очень высокая	Средняя. Уменьшается со скоростью переключения	Некоторое падение напряжения со скоростью переключения
Потери переключения	Очень малые	От малых до средних в зависимости от потерь проводимости	От средних до высоких в зависимости от условий потерь проводимости	Высокие

Сверхбыстродействующие БТИЗ фирмы IR оптимизированы на потери переключения и имеют наименьшие потери переключения на единицу плотности тока по сравнению с приборами, имеющимися на рынке в настоящее время.

Падение энергии после выключения за счет замедления переключения токового трансформатора.

Таблица 3. Семейства БТИЗ фирмы IR

Характеристики	Стандартные	Быстродействующие	Сверхбыстродействующие
V_{CE}	1,3 В	1,5 В	1,9 В
Энергия переключения	0,54млДж/Амм ²	0,16	0,055
Потери проводимости	0,625Вт	0,75Вт	0,95Вт

Типовые значения 1А/мм², 100 °С.

В практических применениях быстродействие этих БТИЗ сравнимо с быстродействием мощных МОП ПТ. Они успешно могут работать до 50кГц при широтно-импульсной модуляции и на значительно более высоких скоростях в резонансных схемах.

Быстродействующие БТИЗ сочетают низкие скорости переключения и низкие потери проводимости, что почти соответствует переключательным характеристикам многих популярных БИП транзисторов.

REFERENCES

- [1] U.S. Patents No. 4,376,286 and 4,642,666
- [2] AN-937A: Gate Drive Characteristics and Requirements
- [3] AN-944: A New Gate Charge Factor
- [4] AN-978: High Voltage Floating MOS-Gate Driver IC
- [5] AN-967: PWM Motor Drive with HEXFET III