

Особенности измерения

блокирующего напряжения силовых транзисторов

Рассмотрены особенности измерения блокирующего напряжения и тока утечки силовых транзисторов, а также причины, которые приводят к возникновению ошибок измерения данных параметров. Представлены измеренные вольт-амперные характеристики партии IGBT-транзисторов, на примере которых показаны особенности отбраковки потенциально ненадежных транзисторов. Описана принципиальная схема простого измерительного устройства для определения блокирующего напряжения и тока утечки транзисторов.

Вадим Бардин, к. т. н.

markiz-bardin@yandex.ru

Денис Пьянзин, к. т. н.

pyanzin-dv@yandex.ru

Анатолий Брагин

bragin_av@mail.ru

В мощных преобразователях электрической энергии наряду с диодами и тиристорами широко применяются силовые IGBT- и MOSFET-транзисторы. Они позволяют строить более гибкие системы управления преобразователями, что значительно улучшает их характеристики. Представленные на рынке корпусированные транзисторы могут работать при напряжениях до 2 кВ и токах до 30–50 А. Для увеличения мощности аппаратов прибегают также к групповому соединению транзисторных элементов в модули, которые способны обеспечить ток в нагрузке величиной 2 кА и более.

В некоторых преобразователях в процессе работы транзисторы подвергаются различным по уровню и продолжительности перегрузкам по току и напряжению. Данные режимы характерны для сварочных инверторов, преобразователей электроподвижного состава, подъемных механизмов и ряда других устройств. Данные специфические особенности необходимо учитывать при проектировании преобразователей, прежде всего в процессе выбора транзисторов по предельным электрическим параметрам. Одним из таких параметров является предельное значение блокирующего напряжения $U_{\text{бл}}$. Если в процессе работы преобразователя величина приложенного к транзистору напряжения превысит предельно допустимый уровень $U_{\text{бл.пр}}$, то транзистор будет пробит.

Специфической особенностью силовых транзисторов, предназначенных для работы в инверторных преобразователях, является наличие обратного диода, встроенного в корпус транзистора или подключенного извне. Поэтому рабочая ветвь вольт-амперной характеристики транзистора (ВАХ) имеет односторонний характер, как показано на рис. 1.

Для того чтобы измерить $U_{\text{бл.пр}}$, необходимо приложить к электродам «коллектор-эмиттер» испытуемого транзистора возрастающее во времени испытательное напряжение $U_{\text{исп}}$. По мере увеличения напряжения будет возрастать ток утечки $I_{\text{ут}}$ через транзистор. Когда ток достигнет значения $I_{\text{ут.пр}}$ (точка критического тока «КТ» на ВАХ), необходимо

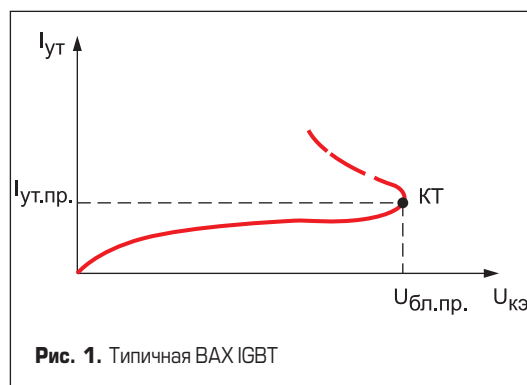


Рис. 1. Типичная ВАХ IGBT

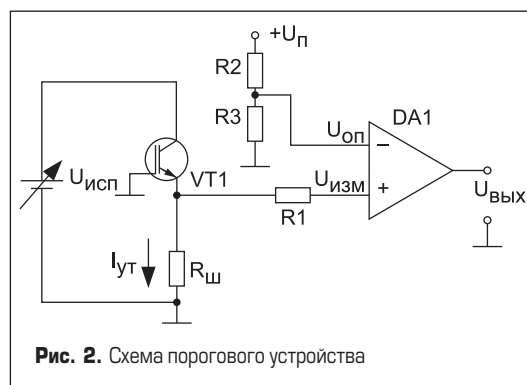


Рис. 2. Схема порогового устройства

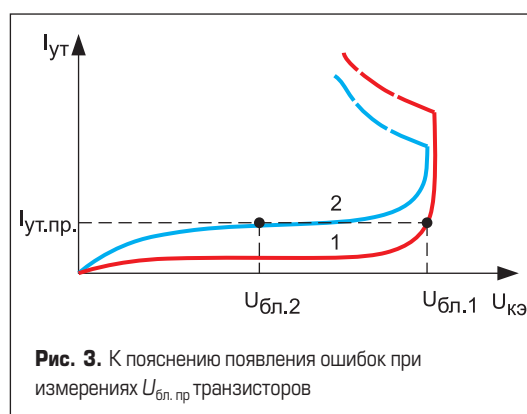


Рис. 3. К пояснению появления ошибок при измерениях $U_{\text{бл.пр}}$ транзисторов

измерить $U_{\text{бл.пр}}$ и снять испытательное напряжение. Момент достижения точки «КТ» можно определить, сравнивая напряжение с токового шунта $R_{\text{ш}}$, включенного в цепь транзистора, с некоторым заданным пороговым уровнем $U_{\text{оп}}$ (рис. 2).

Данный способ оценки $U_{\text{бл.пр}}$ наиболее простой и надежный, однако имеет ряд серьезных недостатков. Прежде всего — это возможность появления больших ошибок при измерениях, связанных с характером ВАХ транзисторов (рис. 3).

На рис. 3 приведены ВАХ двух транзисторов одной марки, снятые при одинаковой температуре окружающей среды. При заданном уровне $I_{\text{ут.пр}}$ в пороговом устройстве для транзистора № 1 получим значение $U_{\text{бл1}}$, а для транзистора № 2 — $U_{\text{бл2}}$. Как видно из рисунка, значение напряжения $U_{\text{бл2}}$ занижено по сравнению с реальным значением. Данную ошибку можно уменьшить, увеличив $I_{\text{ут.пр}}$ (увеличение $U_{\text{оп}}$ в пороговой схеме на рис. 2), однако при этом повышается вероятность возникновения пробоя транзистора № 1. Сопротивление данного транзистора резко снижается, ток утечки возрастает, и при отсутствии токоограничивающего резистора в цепи транзистора в отдельных точках структуры может развиваться лавинообразный процесс нарастания тока, происходит перегрев данных зон и необратимое разрушение структуры.

Другая ошибка при измерении $U_{\text{бл}}$ связана с нагревом транзистора в процессе измерений. Даже при малом значении $I_{\text{ут}}$, но высоком уровне приложенного напряжения в структуре транзистора выделяется некоторая мощность потерь, которая приводит к нагреву структуры и изменению ВАХ транзистора (рис. 4).

На температуру транзистора влияет форма [1] (рис. 5) и величина испытательного напряжения, а также длительность процесса измерения.

Длительность процесса измерения следует задавать с учетом тепловой постоянной транзистора, то есть времени установления теплового режима после включения транзистора. Это время можно оценить из графика переходного теплового сопротивления транзистора. Время установления теплового состояния корпусированных транзисторов на токи до 40 А без установки их на радиатор обычно не превышает 1–5 с [2].

В структурах некоторых транзисторов сразу при приложении испытательного напряжения появляются отдельные микроплазмы, что приводит к появлению тока утечки повышенного уровня. При увеличении испытательного напряжения количество микроплазмы быстро нарастает, соответственно, растет и ток утечки. Характер этого нарастания показан на рис. 6. В испытанной партии из 50 транзисторов оказалось пять таких потенциально ненадежных приборов (номера 1–5 на рисунке). Подобные транзисторы имеют пониженный уровень блокирующего напряжения и должны быть отбракованы при комплектовании схемы преобразователя. Критерием для отбраковки может служить величина тока утечки или скорость его нарастания.

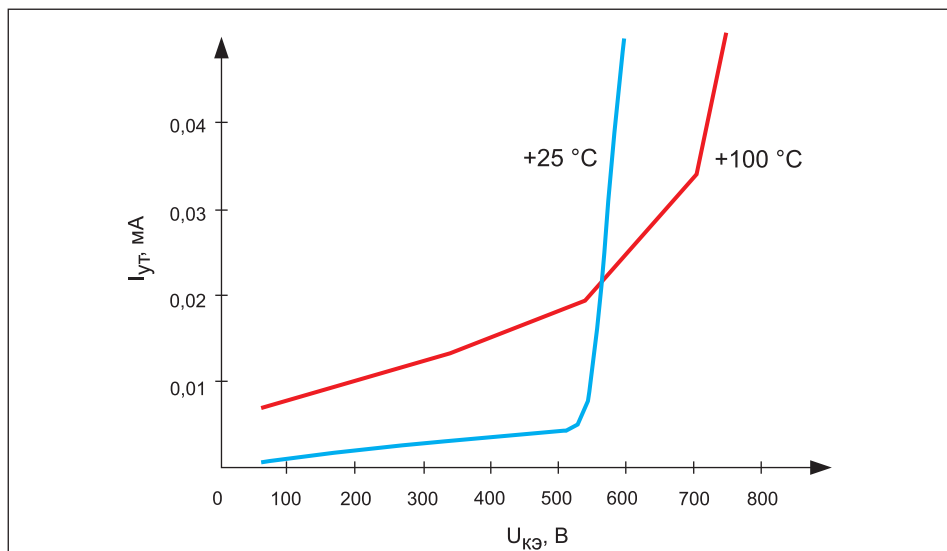


Рис. 4. ВАХ транзистора FGD4536 при температуре +25 +100 °C

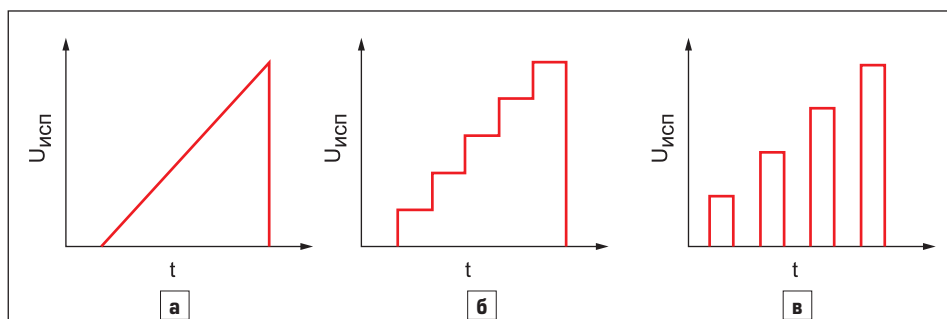


Рис. 5. Формы испытательных напряжений: а, б) для непрерывных; в) импульсных измерений

Измерение $U_{\text{бл}}$ и $I_{\text{ут}}$ выполнялось устройством, принципиальная схема которого приведена на рис. 7. Устройство построено на базе умножителя напряжения и позволяет формировать $U_{\text{исп}}$ на испытуемом транзисторе VT1 в диапазоне 60–800 В. Величина $U_{\text{исп}}$ регулируется потенциометром R2, а измерения $U_{\text{бл}}$ и $I_{\text{ут}}$ выполняются вольтметром PU1 и микро-

амперметром PA1 соответственно. Пороговое устройство на компараторе DA1 сравнивает падение напряжения от $I_{\text{ут}}$ на сопротивлении R4 с опорным напряжением $U_{\text{оп}}$, которое задается делителем R5 и R6. При превышении напряжения с резистора R4 над $U_{\text{оп}}$ на выходе DA1 формируется напряжение, которое открывает транзистор VT1, бистабильное реле K1 раз-

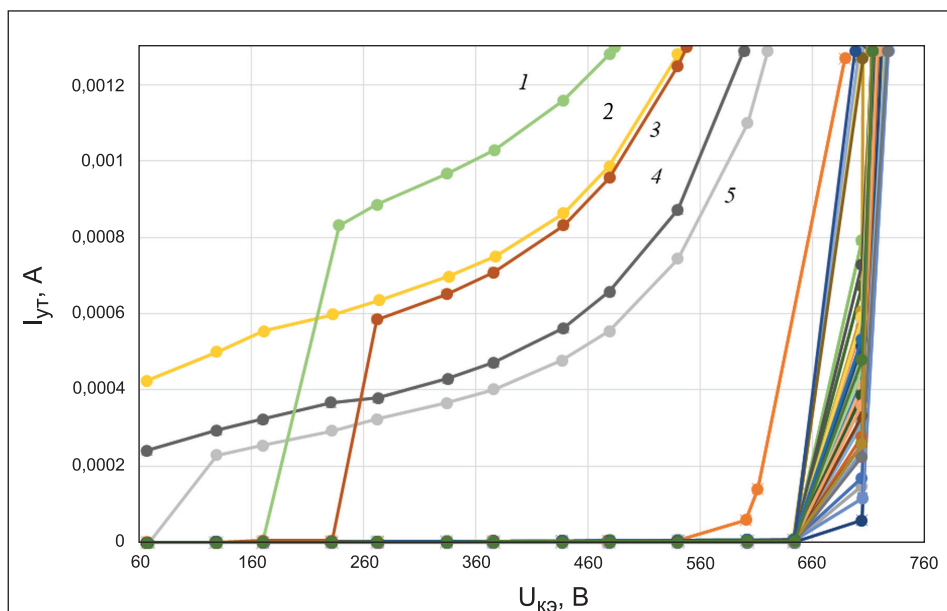


Рис. 6. ВАХ партии транзисторов FGD4536

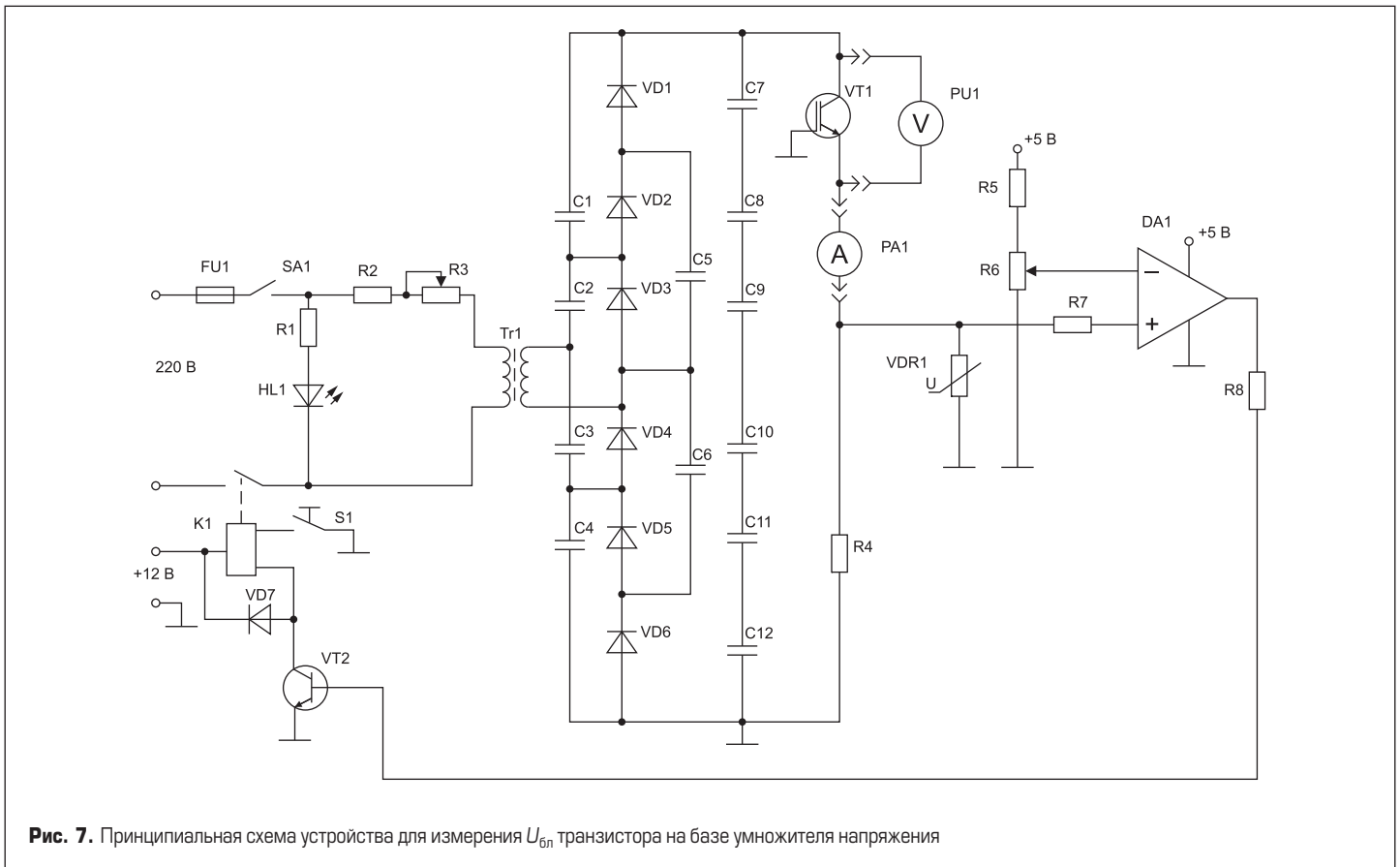


Рис. 7. Принципиальная схема устройства для измерения $U_{бэ}$ транзистора на базе умножителя напряжения

мыкается, и схема отключается от питающей сети 220 В. Чтобы продолжить измерения, необходимо нажать на кнопку SA2, при этом K1 замкнется и $U_{исп}$ будет подано на испытуемый транзистор. Схема источника питания для цепей +5 и +12 В на рис. 7 не приведена.

Литература

1. Ермоленко Е. А. Классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2014. № 2, 3.
2. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: профессиональные решения. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011.
3. Колпаков А. Особенности параллельного соединения модулей IGBT // Компоненты и технологии. 2005. № 8.