

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи

ИЕРУСАЛИМОВ Александр Маркович

ОБРАТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ЯВЛЕНИЕ ВТОРИЧНОГО  
ПРОБОЯ МОЩНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХ ТРАНЗИСТОРОВ  
В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Специальность 05.09.12 - Полупроводниковые преобразователи  
электроэнергии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

КИЕВ 1992



Работа выполнена в Институте электродинамики АН Украины  
научные руководители - кандидат технических наук,

Ю.И. Дробович

- доктор технических наук,

Н.Н. Юрченко

специальные оппоненты - доктор технических наук,

С.Г. Герман-Галкин

- кандидат технических наук,

В.Н. Губаревич

Ведущая организация - ПО "Реле и автоматики" (г. Киев)

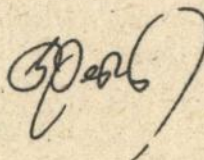
Защита диссертации состоится "22" декабря 1992 г.  
в 14 час. на заседании специализированного совета Д 016.30.03  
по защите диссертаций при Институте электродинамики АН Украины  
(252680, г. Киев-57, проспект Победы, 56, тел. совета 446-91-15)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института  
электродинамики АН Украины.

Автореферат разослан "20" декабря 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН УРСР

 В.С. Федий

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Повышение надежности, экономичности, энергетической эффективности, долговечности при одновременном снижении себестоимости, массо-габаритных показателей и затрат на эксплуатацию любых видов электронной аппаратуры является общим требованием современного рынка научно-технической продукции. Применительно к преобразовательной технике это выражается преимущественно в росте КПД и мощности создаваемых устройств за счет повышения уровня преобразуемого напряжения и увеличения частоты преобразования. Наиболее ярко такие тенденции проявляются, например, при проектировании сетевых источников электропитания на основе преобразователей постоянного напряжения (ППН) - одного из наиболее распространенных классов устройств преобразования электромагнитной энергии.

Решение этих практических задач в значительной степени опирается на использование силовых транзисторных ключей (СТК) в качестве коммутационной элементной базы ППН. Сочетание таких характеристик СТК, как полная управляемость, высокое быстродействие, малые статические и динамические потери, технологичность в серийном производстве, возможности параллельного соединения большого числа единичных элементов определяет высокую эффективность СТК на основе биполярных и полевых транзисторов (БТ и ПТ).

Переход к повышенным рабочим напряжениям выдвигает на первый план вопросы обеспечения высокой надежности работы СТК. В данном случае проявляется один из основных недостатков СТК - критичность биполярных транзисторов к перегрузкам. Во многих случаях это является существенным препятствием к повышению мощности преобразовательных устройств. Действующая в настоящее время система предельно допустимых параметров транзисторов принята еще в 1958-1959 гг. и ориентирована преимущественно на линейный режим работы БТ. В существующем виде применение ее к ключевому режиму неэффективно. Согласно статистике отказов, одна из наиболее распространенных и трудноустраняемых причин выхода ключевых элементов из строя заключается в развитии так называемого вторичного пробоя (ВП). Известен ряд методов определения границы ВП

на статической и импульсной областях безопасной работы (ОБР). Вопросы определения динамической ОБР и исследования электрофизических механизмов ВП во взаимосвязи с реальными режимами работы силовых каскадов изучены в значительно меньшей степени. Отсутствуют также детальные рекомендации по выбору безопасных режимов эксплуатации и физически обоснованные методики определения предельно допустимых параметров БТ для режимов коммутации активно-индуктивной нагрузки. Исследования в этой области позволяют полнее использовать максимальные возможности БТ во всем диапазоне рабочих токов и напряжений. Информация по ОБР для режимов переключения может служить уточняющим фактором при расчете цепей формирования траектории рабочей точки либо при выборе иного способа защиты СТК.

Исследования по диссертационной работе проводились в Институте электродинамики АН Украины в рамках координационного плана научно-исследовательских работ "Научные основы электроэнергетики" по проблеме "Преобразование параметров электрической энергии", Постановлениям Президиума АН Украины от 17.11.82 г. N 487, от 24.12.87 г. N 402 по темам "Транзистор" (1982-1987), "Транзистор-2" (1988-1991), включенным в число важнейших работ АН Украины.

Целью диссертационной работы является повышение надежности транзисторных преобразователей постоянного напряжения путем исследования физических механизмов пробоя полупроводниковых элементов и разработки системы предельно допустимых параметров переключающих транзисторов.

Исходя из указанной цели в работе решались следующие задачи:

- анализ электромагнитных процессов в ППН, приводящих к возникновению предельных режимов и выходу из строя СТК;
- исследование взаимодействия электрических и тепловых процессов в структуре высоковольтных транзисторов, работающих в режиме переключений;
- анализ тепловой устойчивости дискретных и непрерывных моделей электропроводящих элементов;
- исследование различных механизмов вторичного пробоя БТ, как одного из наиболее распространенных видов отказов СТК;
- обоснование новых принципов построения динамической ОБР;
- разработка экспериментальной установки для контроля об-

ратных параметров высоковольтных транзисторов с учетом реальных режимов ППН;

- разработка статистических методов определения ОБР параллельно соединенных единичных транзисторов, образующих силовую транзисторную матрицу.

Методы исследования. При выполнении теоретических исследований использованы основные положения теории электрических цепей, отдельные элементы и методы физики полупроводников и полупроводниковых приборов, теории тепловых цепей, теории термодинамики неравновесных процессов, анализа уравнений в частных производных и моделирования физических процессов на ЭВМ с использованием программ BIPOLE, MEXTRAM, WATAND. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена экспериментальными исследованиями на опытной установке с использованием современных высокоточных измерительных приборов - измерительных осциллографических комплексов, микропирометрических приборов.

Автор защищает:

- усовершенствованную систему предельно допустимых параметров, ориентированную на ключевой режим работы БТ;

- методику выбора оптимального типа транзистора и его безопасного режима для ППН;

- принцип построения динамической ОБР для режима переключений с учетом параметров сигнала управления и характера нагрузки;

- физическую модель явления вторичного пробоя высоковольтных транзисторов;

- способ экспериментального контроля предельно допустимых параметров БТ;

- методику статистического определения ОБР силовых транзисторных матриц на основе параллельного соединения одиночных транзисторов.

Научная новизна. На основании анализа существующей системы предельно допустимых параметров высоковольтных БТ установлена их ограниченная применимость для выбора безопасного режима работы БТ в ППН. Разработан новый подход к принципам построения динамических ОБР в режимах прямых и обратных смещений. Он основан, в отличие от традиционного, на рассмотрении временных параметров процесса тепловой неустойчивости и вероятностных характеристики вторичного пробоя. В развитие этого подхода детально исследованы

некоторые критические режимы работы ППН, при которых СТК находятся в условиях, близких к предельным, и их рабочая точка выходит за границы ОБР.

Впервые описаны специфические формы потери тепловой устойчивости дискретных и непрерывных моделей электропроводящих элементов, исследование которых показало необходимость рассмотрения взаимодействия электрических и тепловых процессов при моделировании полупроводниковых структур. Получены аналитические выражения для расчета величины критического тока развития ВП.

Предложен новый способ косвенного измерения температуры коллекторного перехода транзистора, позволяющий регистрировать пиковые температуры локальных областей.

На основании проведенных исследований физических механизмов пробоя разработана уточненная методика выбора оптимального типа транзисторов и их безопасного режима работы для ППН.

Практическая ценность. Использование новых научных положений, обоснованных в диссертационной работе, послужило основой разработки новых методов неразрушающих испытаний БТ на устойчивость к вторичному пробоя и экспериментального контроля параметров ОБР для режима прямого и обратного смещения. Проведенные исследования позволяют выбирать оптимальный тип транзистора для СТК ППН и обеспечивать безопасный режим его коммутации.

Реализация результатов работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований диссертационной работы использованы при создании опытных образцов систем вторичного электропитания с повышенными выходными напряжениями и улучшенной электромагнитной совместимостью (ПО "Реле и автоматики"), а также в отделе транзисторных преобразователей при создании устройств "Матрица", "РИГМ" и др.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в диссертации, ее отдельные разделы докладывались на III-V Всесоюзных конференциях "Проблемы преобразовательной техники" (г. Киев, 1983; г. Чернигов, 1987; г. Чернигов, 1991 гг.), на семинаре "Источники электропитания ЭЗА и устройств связи" при НТО РЭС им. А. С. Попова (КПИ), Всесоюзных семинарах: "Высокоэффективные источники и системы вторичного электропитания ЭЗА" (Москва, 1989 г.); "Опыт разработки, внедрения в аппаратуру и освоения в серийном производстве унифицированных источников вторичного электропита-

ния импульсного типа" (Севастополь, 1987 г.); "Импульсные ИВЭП. Состояние и перспективы развития". (Севастополь, 1989 г.); Республиканском научно-техническом семинаре "Транзисторные преобразователи систем электропитания" при ИЭД АНУ (Киев, 1991 г.).

Публикации. Основные научные результаты отражены в 9 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 177 наименований и 4 приложений. Общий объем диссертации составляет 217 страниц, в том числе 148 страниц основного текста, иллюстрированного 57 рисунками и 5 таблицами.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлен краткий обзор перспектив использования СТК на основе высоковольтных БТ в устройствах преобразовательной техники, обоснована актуальность темы исследований. Сформулированы цель и задача работы, основные положения, выносимые на защиту, дана информация по структуре работы, апробации, публикации результатов исследования и внедрению этих результатов в народное хозяйство.

В первой главе проведен сравнительный анализ современной транзисторной элементной базы силовой преобразовательной техники, который показывает устойчивую тенденцию к сохранению лидирующего положения биполярных транзисторов применительно к устройствам малой и средней мощности. Особенно заметно увеличение объема выпуска силовых транзисторов, предназначенных для коммутации токов до 10-25 А при повышенных напряжениях 400-600-800 В, создаваемых по эпитаксиально-планарной технологии, для которой характерна структура типа  $n-p-n^+n^+$  и наличие высокоомного коллекторного слоя.

Переход к повышенным рабочим напряжениям выдвигает особые требования к обеспечению безопасной работы транзисторов, в основе которой лежит система предельно допустимых параметров. В работе анализируются физические принципы построения существующей системы предельных параметров, наиболее часто приводимых в ТУ и справочной литературе. Сопоставление физического смысла этих параметров и методов измерения показывают их ограниченную примени-

ость для описания предельных свойств транзисторов в режиме переключения при протекании больших запирающих токов базы.

Далее параллельно анализируются электрофизические явления в структуре СТК и электромагнитные процессы в силовой цепи ППН, когда рабочая точка транзистора на этапе коммутации приближается к границе ОБР и возникает режим одновременного воздействия на БТ больших токов и больших напряжений (близких к предельно допустимым значениям). Рассмотрены четыре наиболее типичных случая: включение СТК на короткозамкнутую нагрузку, короткое замыкание нагрузки при открытом СТК (рис.1) выключение СТК при индуктивной нагрузке и включение СТК при емкостной нагрузке.

Обосновывается необходимость введения понятия динамического граничного напряжения, характеризующего границу режима умножения на выходных ВАХ на этапах коммутации.

Основным и наиболее информативным критерием для выбора типа транзистора и установления режимов его работы служит ОБР транзистора, представляющая совокупность точек на плоскости  $I_{к} - U_{кэ}$ , в пределах которой транзистор сохраняет работоспособность и неизменные электрические характеристики.

В диссертации приводится подробный обзор известных методов и аппаратуры для экспериментального определения границ ОБР БТ, формулируются общие требования к испытательной аппаратуре. Основным недостатком многих существующих методов является рассмотрение, как правило, только случаев прямого смещения перехода Э-Б. Как показывает практика, такие ОБР не пригодны для переключательного режима и их использование приводит к тому, что СТК выходят из строя, хотя параметры квазистатического режима не превышают паспортных значений. Кроме того, большинство авторов предлагает использование косвенных признаков фиксации момента развития ВП, например, по возникновению осцилляций в базовой цепи, предшествующей развитию ВП. Такой подход значительно снижает точность измерений, а в некоторых случаях дает принципиально неверные данные.

Известно, что одной из наиболее опасных и распространенных причин выхода транзисторов из строя является развитие в его структуре вторичного пробоя. Существующие методы защиты с одной стороны не всегда эффективны из-за отсутствия четких критериев и параметров ВП, а с другой стороны, чаще всего ограничивают воз-

возможность использования СТИ во всем диапазоне номинальных токов и напряжений. В работе приведен обзор основных моделей В1.

Во второй главе рассмотрен вопрос о механизмах развития тепловой неустойчивости в мощных транзисторах с большой площадью p-n переходов. При этом структура полупроводникового кристалла представлялась в виде электропроводящей пластины с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, удельная проводимость которой зависит только от температуры, что может быть ассоциировано с режимом насыщения транзистора. Установлено существование двух форм потери температурной устойчивости. Первая сопровождается изменением тока, проходящего через пластину и, следовательно, мощности выделяемой на пластине, и состоит в нагреве всей структуры целиком. Она описывается выражением:

$$T_1 = \exp \left[ -\frac{\mu_1}{\rho\gamma} t \right], \quad (1)$$

где  $\rho, \gamma$  - плотность и удельная теплоемкость материала;  $\mu_1$  - собственные числа уравнения теплопроводности. При второй форме ток  $i$ , следовательно, мощность, выделяемая на пластине, остаются неизменными. Это приводит к тому, что одна часть пластины нагревается, а другая охлаждается. При этом образуются области локального перегрева - горячие пятна. Выражение для температуры в этом случае имеет вид:

$$T_2 = \exp \left[ -\frac{\mu_2}{\rho\gamma} t \right] U_n(x, y), \quad (2)$$

где  $U_n(x, y)$  - соответствующие собственные функции уравнения теплопроводности.

Методом сеток проведен анализ динамики тепловых полей в транзисторе КТ 838. Полученные зависимости (рис.2) показывают, что постоянная времени разогрева горячих пятен (ГП) значительно меньше постоянной времени их охлаждения, что связано с различной величиной переходного теплового сопротивления при разогреве и охлаждении малого объема. Предложена методика косвенного определения момента образования ГП, основанная на анализе температурной зависимости напряжения  $U_{03}$ .

Проведенные исследования динамики тепловых и электрических полей говорят о необходимости рассмотрения взаимодействия двух

форм БП применительно к этапам коммутации. В работе проводится трехмерный анализ структуры БТ. Установлены доминирующие процессы: по оси X - движение границы модулированной области высокоомного коллектора к переходу К-Б на этапе рассасывания; по оси Y - стягивание эмиттерного тока к центральным областям эмиттерных дорожек вследствие протекания больших обратных токов базы; закон изменения плотности тока имеет вид:

$$J_K(t) = \frac{I_K}{P \frac{W_E}{2} \left[ 1 - \frac{2I_{02}\tau\sigma}{qP W_E Q(0)} \left( e^{t/\tau} - 1 \right) \right]}, \quad (3)$$

где P - периметр эмиттера,  $\tau$  - время пролета, Q(0) - плотность избыточного заряда в режиме насыщения,  $I_{02}$  - запирающий ток базы; по оси Z - тепловое изотермическое шнурования тока, вызванное флуктуациями вида  $\delta J$ ,  $\delta T$  (рис.3.). Взаимодействие указанных процессов приводит к развитию специфического механизма, который в отличие от известного явления "устойчивых" горячих пятен (ГП), назван режимом "мерцающих" ГП, когда в течение одного периода переключения температура ГП изменяется в широких пределах. Показано, что такой режим является определяющим при рассмотрении устойчивости транзистора к ВП, поскольку он приводит к развитию микроплазменных областей с низким напряжением пробоя.

Основная особенность модели взаимодействующих электрических и тепловых процессов заключается в том, что она ориентирована на описание поведения БТ в предельных и пробойных режимах, что соответствует нахождению рабочей точки в области умножения на выходной ВАХ. На примерах расчета границы тепловой неустойчивости показана необходимость учета в известных соотношениях, описывающих ТН в режиме прямого смещения, зависимостей  $h_{219}(J, T)$ ,  $M(J, U, T)$

$$h_{219} = \frac{4D_n^2 Q_{90}}{D_p \left\{ \left[ W_{\sigma} + \left( 1 - J_{кр.2} / J_K \right) W_K \right]^2 J_n \right\}}, \quad (4)$$

$$\text{где} \quad J_{кр.2} = qv_1 \left[ N_D + \frac{2\epsilon U_{кэ}}{qW_K^2} \right], \quad (5)$$

$D_n, D_p$  - коэффициенты диффузии электронов и дырок;  $Q_{90}$  - равновесный заряд примесей на единицу площади эмиттера;  $v_1$  - максимальная дрей-

Фовая скорость электронов;  $N_d$  - уровень легирования;  $W_K$  - толщина слоя;

$$M = \frac{1}{1 - \phi}, \quad (6)$$

где интеграл ионизации  $\phi$  аппроксимирован выражением:

$$\phi = \frac{2a}{b} U_{K\beta} e^{-p}, \quad (7)$$

в котором:

$$p = \frac{b}{E_m} = \frac{b_0 [1 + C (T_{\text{пик}} - T_0)]}{5,54 \cdot 10^{-4} (N_d U_{K\beta})^{1/2}}, \quad (8)$$

$a = 1,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ ,  $b_0 = 1,47 \cdot 10^6 \text{ В/см}$ ,  $C = 7,57 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ .

$h_{21\beta}$  - коэффициент прямой передачи эмиттерного тока,  $M$  - коэффициент лавинного умножения. Установлено, что в области малых токов  $I_K$  при определении координат ТН ( $U_{K\beta}$ ,  $I_{K\text{ТН}}$ ) основное значение имеют зависимости  $M(I)$ ,  $M(U)$ , в то время, как в диапазоне больших и средних токов - зависимость  $h_{21\beta}(I)$  (рис.4.).

Проведенный анализ процессов переключения в условиях неоднородного распределения тока и температуры позволил предложить вероятностный подход к принципу построения ОБР. Он основывается на том, что точки ( $I_K$ ,  $U_{K\beta}$ ), лежащие внутри классической ОБР и традиционно рассматриваемые как равноценные с точки зрения угрозы развития ВП, в действительности различаются по степени "жесткости" электрического и теплового режима. С целью дифференциации областей, лежащих внутри ОБР предлагается ввести зоны равной вероятности ВП:  $P_{\text{ВП}} = \text{const}$ , где  $P_{\text{ВП}}$  имеет физический смысл вероятности образования микроплазменных областей в структуре перехода (рис.5). Вводятся дополнительные динамические характеристики транзистора:  $\tau_{\text{ГП}}^+$ ,  $\tau_{\text{ГП}}^-$  - время разогрева и охлаждения ГП.

В третьей главе описывается предлагаемая автором методика и аппаратура для экспериментального определения границ динамической ОБР для режима запираания СТК. В работе применяется принцип непосредственного введения БТ в режим ВП, фиксируемого по резкому спаду напряжения  $U_{K\beta}$ , что является основным признаком развития ВП. Осуществление такого подхода стало возможным благодаря созданию специальной быстродействующей схемы защиты с временем срабатывания до 50 нс. Блок-схема измерительной установки для контроля ОБР приведена на рис.6: Е1 - регулируемый источник коллекторного тока (0-10 А); Е2 - высоковольтный регулируемый источ-

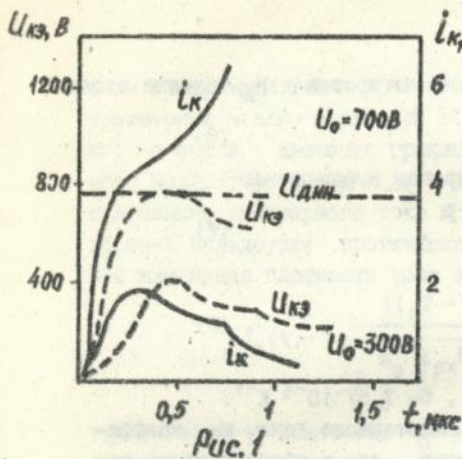


Рис. 1

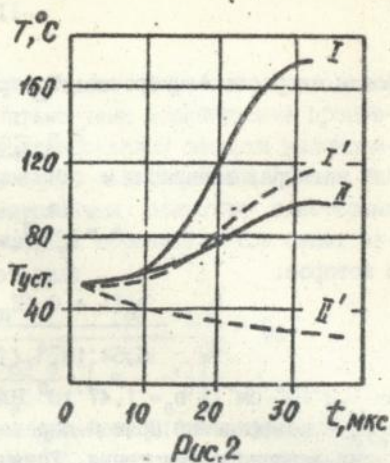


Рис. 2

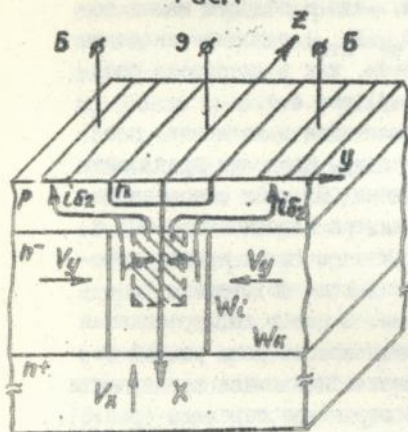


Рис. 3

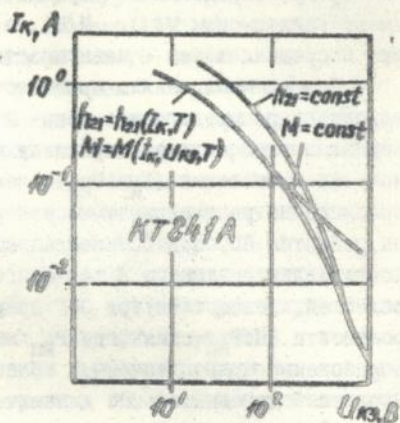


Рис. 4

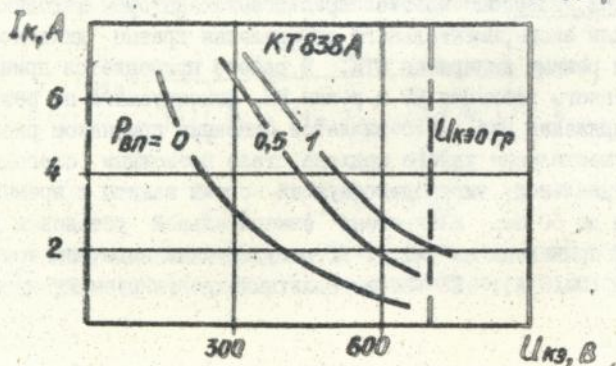


Рис. 5

ник коллекторного напряжения ( до 2000 В); ЕЗ-ограничение напряжения на исследуемом транзисторе; Е4-источник, напряжение которого обратно пропорционально току Е2; СТ1, СТ2 - регулируемые ограничители перенапряжений; УУ-устройство управления; ИУС-источник базового тока; КЛМП- схема контроля локализации микроплазменных областей; З-быстродействующая схема защиты; ИВЗ-измеритель времени задержки вторичного пробоя. Предлагаемая методика позволяет проводить также и исследования БТ, работающих в режиме умножения за пределами ОБР, определяя тем самым их перегрузочные способности. При этом контролируется энергия ВП и время задержки развита ВП.

Полученные экспериментальные данные по ОБР (рис.7) подтверждают применимость теоретической электро-тепловой модели ЭП и показывают следующие, общие для большинства исследованных типов транзисторов (КТ808, КТ809, КТ838, КТ841, КТ847 и др.) закономерности: для коммутируемых токов  $I_K$  в пределах до 25% номинального можно считать предельной границей по напряжению величину  $U_{к50}$ , приводимую в справочниках и ТУ; для  $I_K$  в пределах 25-40% номинального, границей по напряжению можно принять значение  $U_{к50гр}$ ; при увеличении  $I_K$  вплоть до максимальной величины наиболее вероятно 60-70% снижение предельно допустимого напряжения. Исходя из характера полученных экспериментальных зависимостей предлагается ввести для ключевого режима СТК два новых параметра:  $I_{K10}$  - коммутируемый ток, при котором наблюдается 10%-ное снижение пробивного напряжения данного типа БТ,  $I_{K50}$  - ток 50%-ного снижения  $U_{кэпр}$ . В работе оговорен режим измерения этих величин. Преимущество предлагаемых параметров состоит в том, что с одной стороны они позволяют выбрать оптимальный ток загрузки СТК, а с другой стороны достаточно точно характеризуют основные закономерности конфигурации динамической ОБР, данные о которой в настоящее время не всегда доступны разработчику РЭА.

Экспериментально установлена зависимость напряжения ВП от прямого и обратного токов базы при форсированном запираии СТК, а также от электротеплового состояния транзистора в режиме насыщения, называемого "предшествующим" состоянием.

Сравнение различных типов транзисторов показывает, что во многих случаях, при максимальной загрузке транзистора по току, транзисторы с более низкими предельно допустимыми напряжениями

имеют более широкую ОБР (близкую к прямоугольной), чем более высокочастотные.

На основании данных по ДОБР предложен алгоритм анализа выходов транзистора из строя, классификация отказов транзисторов и причин, приводящих к ним. Даны рекомендации по выбору оптимального типа транзистора с учетом конкретных параметров создаваемого преобразователя.

Проведено сравнение большого числа типов транзисторов на устойчивость к вторичному пробое, которое показывает значительное снижение такой устойчивости у более высокочастотных приборов.

В четвертой главе впервые рассмотрены принципы определения ОБР транзисторных плат-сборок. Отмечается, что непосредственное измерение таких ОБР требует специальных мощных измерительных установок и во многих случаях не дает точных параметров границ ОБР.

Наиболее приемлемым является статистический подход к расчету ОБР ТПС. Предложена методика такого анализа, основанная на нормальном законе распределения величины  $U_{пр}$  в партии транзисторов одного типа. Типичная СБР ТПС на транзисторах КТ808 показана на рис. 8.

Анализ форм потери тепловой устойчивости параллельно соединенных элементов показывает существование двух форм потери устойчивости, аналогичных рассмотренным в главе II. На основании этого сделан вывод о том, что мощный транзистор с большой площадью р-п перехода можно представить в виде большого числа включенных параллельно элементарных транзисторов и, наоборот, при определенных условиях тепловой связи ТПС может рассматриваться как один мощный полупроводниковый элемент. Такие условия имеют вид:

$$d \gg \sqrt{\lambda \gamma_T W}, \quad (9)$$

где  $d$  - размер одиночного элемента,  $\gamma_T$  - тепловое сопротивление единицы торцевой поверхности,  $W$  - толщина структуры.

В приложениях представлены материалы обзорного характера, описывающие границы традиционной ОБР статического режима; изложены существующие физические модели различных механизмов ВП. Приведены материалы о практической реализации и документы о внедрении разработок.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе предложено новое решение актуальной научно-технической задачи повышения надежности транзисторных преобразователей на основе усовершенствования системы предельно допустимых параметров ключевого режима высоковольтных биполярных транзисторов и новых способов их неразрушающего контроля, а также разработки инженерной методики выбора оптимального типа переключающего транзистора с учетом его динамической области безопасной работы.

При этом получены следующие основные результаты:

1. Установлено, что приводимая в настоящее время в справочниках и ТУ система предельно допустимых параметров БТ может эффективно использоваться только в статическом и импульсном (при прямом смещении эмиттерного перехода) режимах. Для режима форсированного выключения силового транзисторного ключа, когда главным видом отказа является ВП, необходимо основываться на данных по динамической ОБР с учетом параметров сигнала управления.
2. На основании анализа форм потери температурной устойчивости электропроводящих элементов, моделирующих р-п переходы большой площади, исследована взаимосвязь электрических и тепловых механизмов вторичного пробоя. Получены выражения, описывающие динамику тепловых и электрических полей в структурах с высокоомным коллектором.
3. Установлено, что на этапе коммутации в структуре БТ может возникать особый режим изменения температуры "горячих пятен", названный режимом "мерцающих" ГП и приводящий к развитию микроплазменной формы ВП.
4. Получены временные характеристики динамики "горячих пятен", позволяющие ввести в рассмотрение вероятностный подход к принципу построения динамической ОБР. Установлен линейный характер зависимости вероятности вторичного пробоя от величины перенапряжения.
5. Трехмерный анализ процессов в структурах типа  $n-p-n^{-}-n^{+}$  позволил исследовать определяющее влияние электрофизического состояния СТК в режиме насыщения и величины обратного тока базы на снижение величины пробивного напряжения и на устойчивость к вторичному пробоям.



7. Исследование и разработка регулируемых и управляемых силовых транзисторных преобразователей с повышенными энергетическими показателями; Отчет/ ИЭД АН Украины; Рук. работы Ю.И.Драбович.- N ГР 79032672.- Киев, 1982.- С.117-127.

8. Исследование и разработка принципов построения транзисторных источников вторичного электропитания повышенной эффективности; Отчет/ ИЭД АН Украины; Рук. работы Ю.И.Драбович. N ГР 01.83.0020684.- Киев, 1987.- С. 17-52.

9. Развитие теоретических основ и разработка на новой элементной базе принципов построения регулируемых и управляемых транзисторных преобразователей со специальными характеристиками и повышенными технико-экономическими показателями; Отчет/ ИЭД АН Украины; Рук. работы Ю.И.Драбович, Н.Н.Врченко.-N ГР 0188.0025701.- Киев, 1991.- С. 18-50.

Личный вклад. В работе [1], опубликованной в соавторстве, соискателю принадлежит расчет динамики тепловых полей в транзисторных структурах; остальные работы написаны автором самостоятельно.

Соискатель



Подписано к печати 17. XI. 1992 г. Формат 60x84/16  
Бумага офсетная Усл.-печ. лист 1,0. Уч.-изд. лист 1,0.  
Тираж 100. Заказ 1230. Бесплатно

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,  
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.



AB 26.149