

РАЗБРОС ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ MOSFET

Беспалов Николай Николаевич, Лысенков Алексей Евгеньевич
ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,
Российская Федерация, г. Саранск,
E-mail: lysenkov87@gmail.com, bnn48@mail.ru, тел. +7(834-2) 24-37-05,
430005, г. Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39

Аннотация. В статье рассматривается влияние разброса величин электротепловых параметров МДП-транзисторов на температуру их кристаллов во время эксплуатации. Описываются наиболее информативные для контроля качества приборов параметры.

Ключевые слова: МДП-транзистор, MOSFET, тепловое сопротивление, сопротивление канала, разброс, надёжность.

I. ВВЕДЕНИЕ

Огромную роль в развитии силовой электроники сыграло создание технологии производства полупроводниковых приборов, управляемых структурой «металл-оксид-полупроводник». Появление мощных МДП-транзисторов (MOSFET), а затем и биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) открыло широкие возможности для разработки технически более совершенных преобразователей электрической энергии, применяемых в различных отраслях производства. В большом диапазоне мощностей разработчики преобразовательного оборудования получили в свое распоряжение практически «идеальные» полностью управляемые силовые ключи, позволяющие добиваться недостижимых ранее качественных показателей при решении различных схемотехнических задач, что объясняет наблюдаемый в последние годы устойчивый рост доли транзисторов MOSFET и IGBT в общем количестве силовых полупроводниковых приборов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Практика эксплуатации мощных транзисторов показывает, что при всех своих достоинствах они остаются одними из наименее надёжных элементов силовой электроники. Характерной особенностью данных приборов является их работа при высоких уровнях рассеиваемой мощности и, как следствие, при больших плотностях тока и высоких температурах. Это приводит к значительному ускорению всех процессов и, в конечном итоге, к отказам приборов. В этой связи исследование и анализ влияния температуры на термочувствительные параметры мощных MOSFET с целью выявления наиболее информативных с точки зрения надёжности транзисторов с полевым управлением электротепловых параметров и характеристик являются актуальными задачами развития силовой электроники.

III. ТЕОРИЯ

Для отбраковки потенциально ненадёжных силовых приборов традиционно используют электротермотренировку – включение приборов в специальных электрических и тепловых режимах в течение определённого времени [1]. Данный процесс дорог и сложен в реализации, поэтому зачастую превращается в формальную операцию, не обеспечивающую требуемое качество и цели отбраковки. Альтернативой ему служат методы диагностического контроля, базирующиеся на определении скрытых дефектов в структуре прибора по косвенным параметрам.

Большинство дефектов, неизбежно возникающих в полупроводниковых изделиях в процессе изготовления, приводят либо к неоднородному распределению тока в полупроводниковой структуре, либо к ухудшению тепловых контактов между элементами конструкции. Данные дефекты могут не проявляться на электрических характеристиках, но

обязательно проявятся в особенностях теплофизических параметров [2].

Одним из наиболее информативных для оценки качества изготовления силовых транзисторов теплофизических параметров является тепловое сопротивление кристалл-корпус R_{thjc} , определяемое по формуле:

$$R_{thjc} = \frac{T_j - T_{case}}{P}, \quad (1)$$

где T_j – температура кристалла, T_{case} – температура корпуса, P – постоянная рассеиваемая прибором мощность.

Другой важной характеристикой для оценки надёжности является температурная зависимость сопротивления транзистора в открытом состоянии $r_{DS(on)}$. Разработчики силовых MOSFET, как правило, приводят усредненную характеристику в технической документации (рис 1).

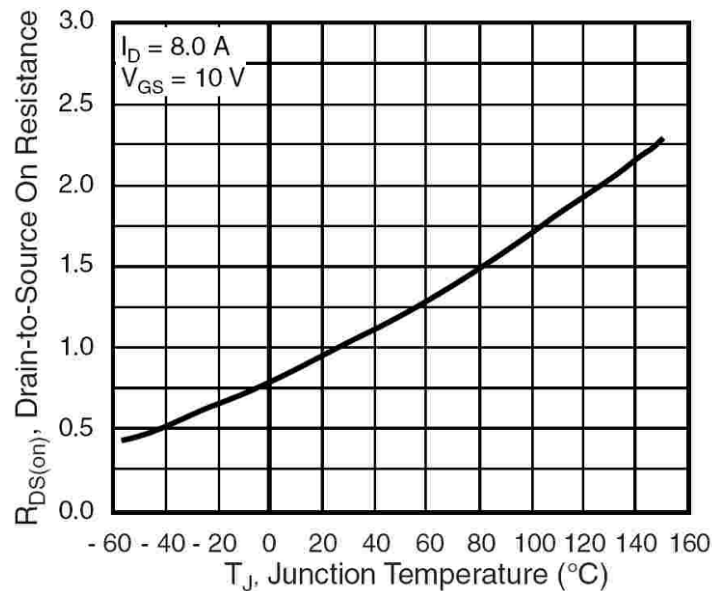


Рис. 1. Зависимость $r_{DS(on)}(T_j)$ полевого транзистора IRF840, представленная в паспортной документации

Зависимость $r_{DS(on)}(T_j)$ определяется формулой:

$$r_{DS(on)} = r_{DS(on)}(25^0 C)(a^2 T_j + b T_j + c), \quad (2)$$

По сути, именно эти параметры определяют реакцию прибора на электрический ток, протекающий через его канал, и нагрев его кристалла. Расчёт тепловых режимов – сложная задача, решение которой осуществляют с помощью программного моделирования, используя математические модели компонентов в сочетании со схемотехническим анализом. Как правило, для моделирования тепловых процессов в силовых полупроводниковых приборах применяется метод электротепловой аналогии. Тепловая система представляется многозвенной цепью, состоящей из резисторов и конденсаторов с переходной характеристикой, представляющей диаграмму одиночного импульса Z_{thjc} , которую указывают в документации на прибор как тепловой отклик (рис. 2). Документация на новые MOSFET содержит параметры элементов таких цепей, тогда как более старые компоненты снабжены только диаграммой. В многозвенной модели мощность является аналогом тока, а температура – аналогом напряжения [3].

Первая задача, возникающая при реализации электротепловой модели – установление количественной связи между сопротивлением канала и температурой, $r_{DS(on)}(T_j)$. Она может быть решена использованием квадратичной аппроксимации, которая по точкам характеристики, представленной на рис. 1, определяет коэффициенты a и b и константу c , требуемые для модели.

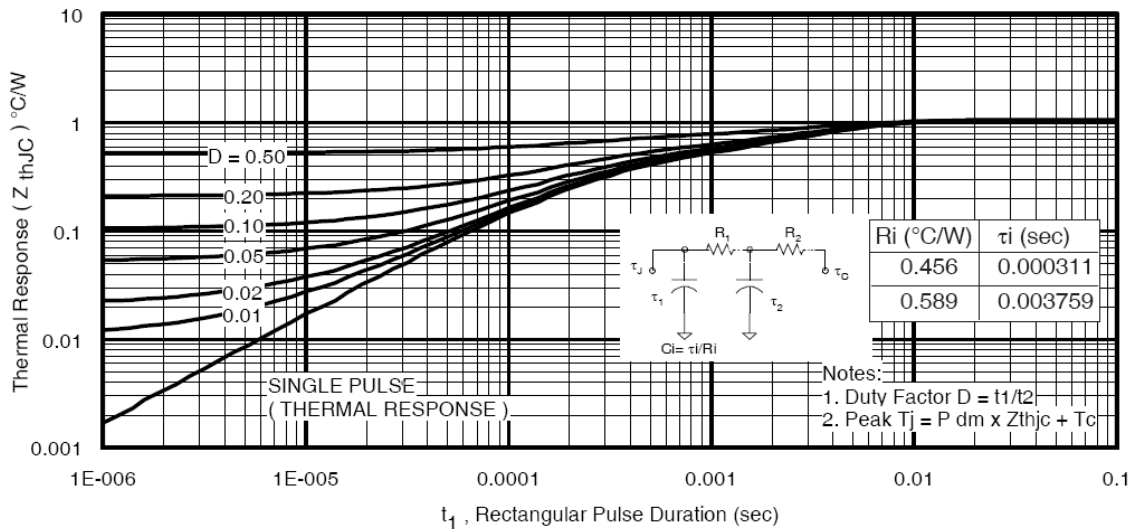


Рис. 2. Динамическое тепловое сопротивление Z_{thjc}

Для исследования поведения MOSFET транзисторов в различных режимах работы разработана обобщенная модель электротепловых процессов, протекающих в них, которая представлена на рис. 3.

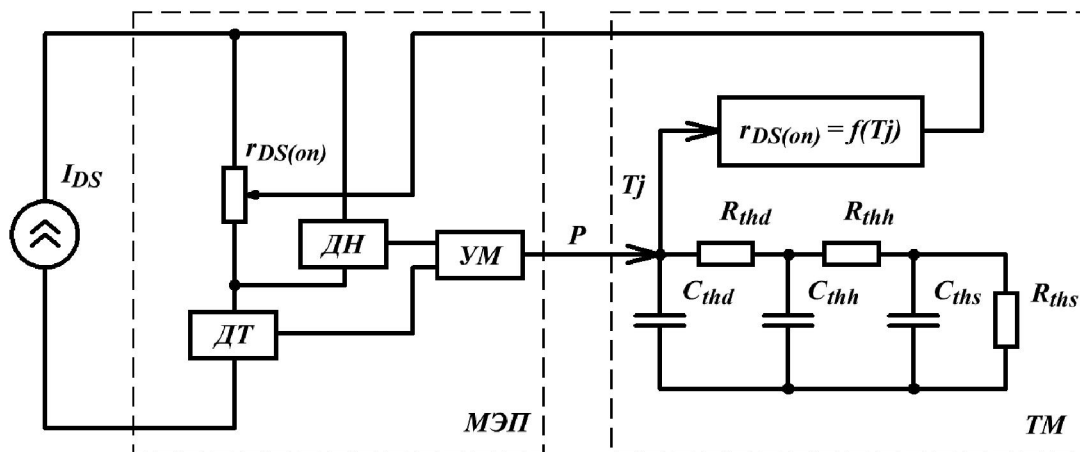


Рис. 3. Обобщенная электротепловая модель MOSFET:

- МЭП – модель электрических процессов, которая состоит из:
 - $r_{DS(on)}$ – сопротивление канала в открытом состоянии, ДТ – датчик тока, ДН – датчик напряжения, УМ – умножитель;
- ТМ – тепловая модель, которая состоит из: R_{thd} и C_{thd} – тепловое сопротивление и теплоёмкость кристалла, R_{thh} и C_{thh} – корпуса, R_{ths} и C_{ths} – теплостока

При производстве силовых полупроводниковых приборов неизбежно появление разброса электротепловых параметров за счет нестабильности процесса производства [4]. С помощью модели (рис. 3) было изучено влияние данного разброса на работу силовых MOSFET.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для моделирования были выбраны мощные транзисторы MOSFET IRFB4620 производства компании International Rectifier, поскольку в их документации присутствует информация о элементах многозвенной цепи, составляющей тепловую модель. Для упрощения моделировалась работа транзисторов плеча мостовой схемы при протекании через них постоянного тока (рис. 4).

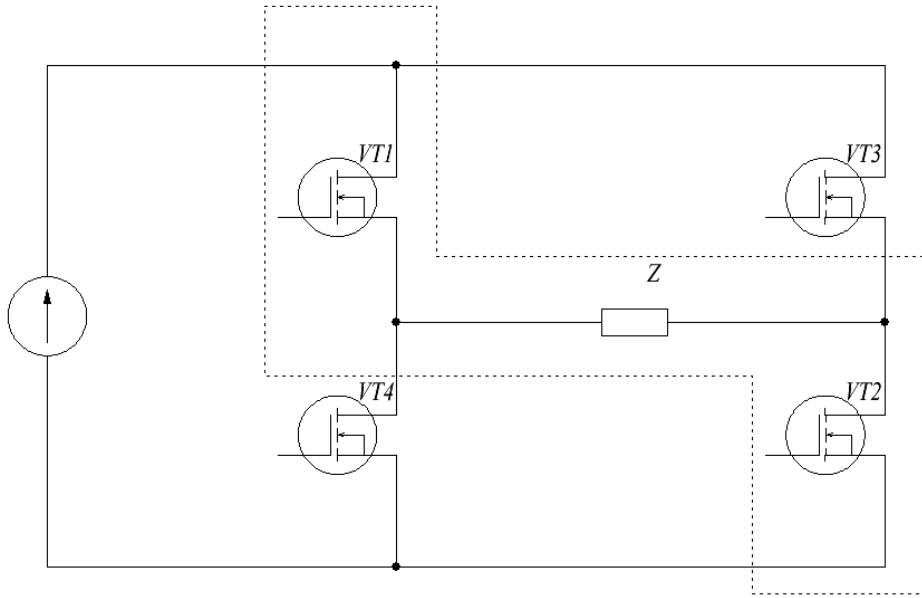


Рис. 4. Мостовая схема, используемая для моделирования

Результаты моделирования представлены на рис. 5 – 7.

Первый случай: $r_{DS(on)VT1}(T_j) = r_{DS(on)VT2}(T_j)$, $R_{thjc}(VT2) = R_{thjc}(VT1) + 5\%$.

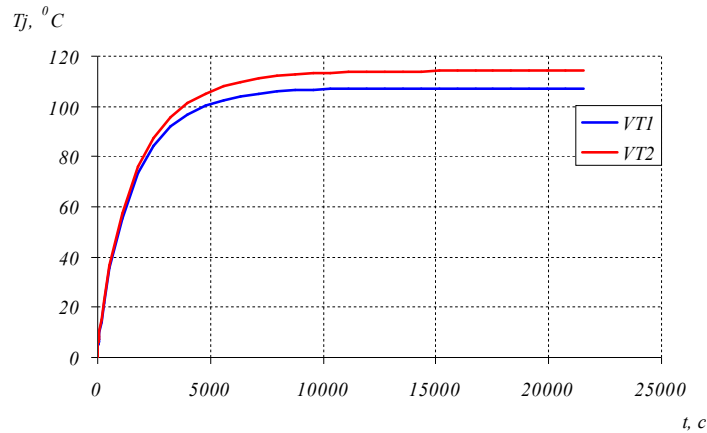


Рис. 5. Температуры кристаллов транзисторов при различных R_{thjc}

Второй случай: $r_{DS(on)VT2}(T_j) = r_{DS(on)VT1}(T_j) + 5\%$, $R_{thjc}(VT2) = R_{thjc}(VT1)$.

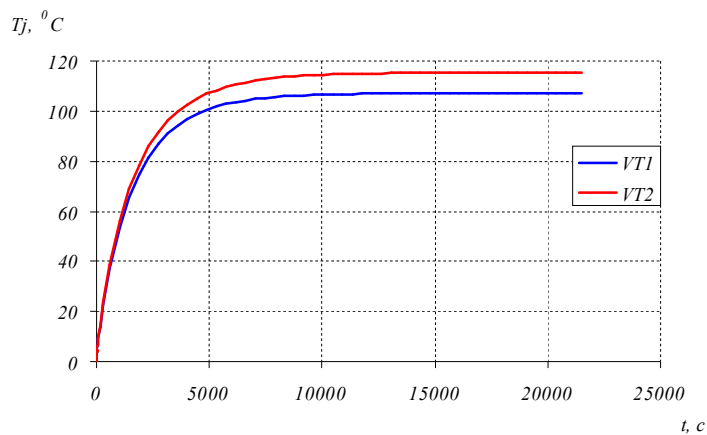


Рис. 6. Температуры кристаллов транзисторов при различных $r_{DS(on)}(T_j)$

Третий случай: $r_{DS(on)VT2}(T_j) = r_{DS(on)VT1}(T_j) + 5\%$, $R_{thjc(VT2)} = R_{thjc(VT1)} + 5\%$.

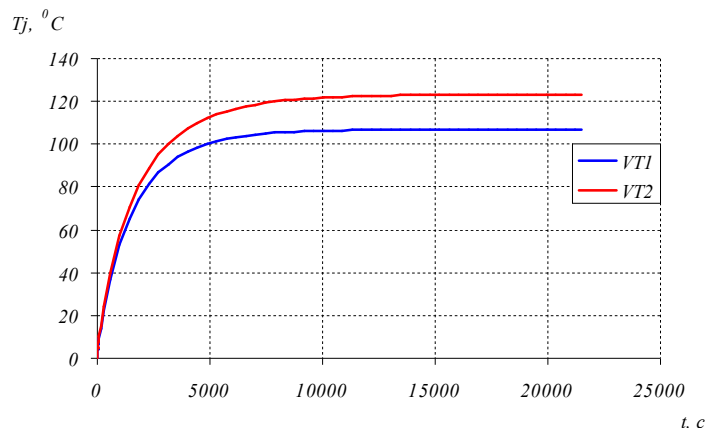


Рис. 7. Температуры кристаллов транзисторов при различных R_{thjc} и $r_{DS(on)}(T_j)$

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты моделирования показали, что при разбросе величин тепловых сопротивлений в 5% температура кристаллов в установившемся режиме различается на 6,5%. В случае разных температурных зависимостей сопротивлений каналов – 7,7%. Если же различны оба параметра, разница в температуре кристаллов составляет около 15%.

Температура кристалла транзистора в установившемся режиме является одним из основных критериев надёжности прибора. Следовательно, при оценке надёжности MOSFET разработчику необходимо знать и его тепловое сопротивление, и температурную зависимость сопротивления канала, поскольку, как показало моделирование, влияния разброса величин данных параметров на температуру кристалла транзистора в установившемся режиме практически равнозначны.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современной силовой электронике MOSFET-транзисторы играют важную роль. При изготовлении приборов наблюдается значительная технологическая нестабильность процесса их производства, которая ведет к существенной вариативности величин параметров и характеристик приборов. Отсутствие информации об этом предопределяет необходимость ориентирования производителей преобразователей устанавливать приборы без их контроля и подбора, что обуславливает повышение вероятности выхода из строя при эксплуатации.

Получение расширенной информации о параметрах и характеристиках MOSFET на всех стадиях жизненного цикла приборов позволит существенно повысить их качество и эффективность применения. Кроме того, проведение сплошного контроля MOSFET по электротепловым параметрам с выявлением потенциально ненадёжных приборов, которые могут появиться в результате нестабильности технологического процесса производства, позволит существенно снизить интенсивность их отказов в преобразователях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Громов В. Вопросы контроля и обеспечения надёжности ИЭТ для силовой электроники / Громов В., Илюшкин И. // Силовая Электроника. – 2005. – №2. – С. 18–19.
- 2 Сергеев В. А. Контроль качества мощных транзисторов по теплофизическим параметрам // Ульянов. гос. техн. ун-т. – Ульяновск : УлГТУ, 2000. – 253 с.
- 3 Дивинс Д. Моделирование в тепловых расчетах // Электронные компоненты. 2008. – №2. – С. 24.
- 4 Беспалов Н. Н. Исследование стоковых характеристик МДП-транзисторов / Беспалов Н. Н., Лысенков А. Е. // Электроника и информационные технологии. – 2009 выпуск 1 (5) – 2009. – http://fetmag.mrsu.ru/2009-2/pdf/Drain_characteristics_MOSFET.pdf. – 0420900067/0021.

RANGE OF VALUES ELECTRO- THERMAL PARAMETERS OF POWER MOSFET

Bespalov N. Nikolay, Lysenkov E. Aleksey

N. P. Ogarev's Mordovian State University,
Faculty of electronic engineering, Department of automatic control engineering,
Russian Federation, 430005, Saransk, Bogdana Khelnickogo St., 39
E-mail: bnn48@mail.ru , lysenkov87@gmail.com ; tel.: +7 (8342) 24-37-05

Annotation. The article examines the influence of the range of values thermal-electrical parameters of power MOSFET in the temperature of the junctions during the operation. Describes the most informative parameters for the quality control devices.

Key words: MOS-transistor, MOSFET, thermal resistance, drain-source on resistance, range, reliability.



Беспалов Николай Николаевич
Россия, РМ, г. Саранск
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
Электронная почта: bnn48@mail.ru
Тел.: +7 (834-2) 24-37-05

Окончил радиотехнический факультет Новосибирского электротехнического института (1974). Кандидат технических наук (2000). Заведующий кафедрой автоматики (с 2003 г. по настоящее время).

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик; разработка методов и аппаратуры для ионизации воздушной среды.



Лысенков Алексей Евгеньевич
Россия, РМ, г. Саранск
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
Электронная почта: lysenkov87@gmail.com
Тел.: +7 (987) 999 38-83

Закончил факультет электронной техники Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва в 2009 г. по специальности автоматика. В настоящее время является аспирантом кафедры автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва.

Область научных интересов: разработка методов и аппаратуры для испытания силовых полупроводниковых приборов и определения их параметров и характеристик