

НОВИКОВ Д. П.

**О ВЛИЯНИИ РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ПРЯМОЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ
НА ТЕМПЕРАТУРУ ИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ**

Аннотация. В статье представлены результаты измерения параметров прямой вольт-амперной характеристики у серии из 50 IGBT транзисторов одного наименования. Приведены гистограммы разброса параметров по образцам при 20 °С и 100 °С. На основании математических расчетов спрогнозирована температура полупроводниковой структуры каждого транзистора из серии и сделаны выводы о влиянии разброса параметров на температуру.

Ключевые слова: силовой транзистор, вольт-амперная характеристика, разброс параметров, температура, мощность потерь, гистограмма распределения.

NOVIKOV D. P.

**ON THE EFFECT OF PARAMETER SPREAD OF DIRECT CURRENT-VOLTAGE
CHARACTERISTIC OF POWER TRANSISTORS
ON TEMPERATURE OF SEMICONDUCTOR STRUCTURE**

Abstract. The article presents the measurement results of the parameters of the direct current-voltage characteristics in a series of 50 IGBT transistors of the same name. The histograms of parameter spread on samples at 20 °C and 100 °C are included. By means of mathematical calculations the temperature of the semiconductor structure of each transistor of the series was predicted. The conclusions about the effect of the parameter spread on the semiconductor temperature were made.

Keywords: power transistor, current-voltage characteristic, parameter spread, temperature, power loss, distribution histogram.

Любая, даже самая совершенная технология не обеспечивает полной идентичности характеристик изделий. В некоторых случаях нет необходимости в такой идентичности. Но по ряду изделий, к числу которых относятся силовые транзисторы, значительный разброс параметров может привести к существенному снижению их надежных показателей. Так, принято считать, что повышение температуры полупроводниковой структуры силовых приборов на каждые двадцать градусов снижает их надежность в два раза [1]. Поэтому при комплектовании транзисторных модулей преобразователей электрической энергии необходимо стремиться к обеспечению примерно равного теплового режима для всех транзисторов.

Критическим параметром транзисторов является предельно допустимая температура их полупроводникового элемента. Для большинства современных IGBT транзисторов она составляет 150 °С. Она зависит от параметров U_0 , R_d прямой вольт-амперной характеристики (ПВАХ) транзистора, величины тока нагрузки, теплового сопротивления прибора и температуры охладителя, на котором установлен транзистор. Эта зависимость записывается следующим образом:

$$T_{pn} = T_K + P \cdot R_T, (1)$$

где T_{pn} – температура структуры, °С; T_K – температура корпуса, °С; P – мощность потерь в транзисторе, Вт; R_T – тепловое сопротивление транзистора, °С/Вт.

Мощность потерь в транзисторе зависит от среднего значения протекающего тока и параметров его ПВАХ:

$$P = U_0 \cdot I + I^2 \cdot R_d (2).$$

Иногда пользуются формулой:

$$P = I \cdot \Delta U, (3)$$

где $\Delta U = U_0 + I \cdot R_d$.

Для того, чтобы выяснить, насколько может быть велик разброс температур транзисторов одной партии в зависимости от различия их ПВАХ был проведен эксперимент на партии из 50 IGBT транзисторов IRG4PH50 производства International Rectifier с номинальным напряжением 1200 В и током 45 А. Для каждого транзистора снимались вольт-амперные характеристики при 20 °С и 100 °С, напряжении $U_{зз} = 14$ В. Данные обрабатывались с использованием математических программ [2].

Характерный вид этих зависимостей для одного транзистора отображен на рис. 1а. На рис. 1б показана аппроксимированная методом наименьших квадратов линейная ПВАХ для оценки величин U_0 и R_d .

Из рисунков следует, что характеристики при 20 °С и 100 °С заметно отличаются. Видна точка инверсии, где температурный коэффициент напряжения меняет знак с отрицательного на положительный.

На рис.2 приведены гистограммы распределений измеренных параметров U_0 и R_d , ΔU и температурного коэффициента напряжения (ТКН). Из этих гистограмм следует, что их огибающая при увеличении количества измерений должна приближаться к функции нормального закона Гаусса.

В табл. 1 приведены приближенные количественные параметры этих функций: математическое ожидание и дисперсия. Эти данные сами по себе еще не характеризуют

степень нагрева транзисторов. Для получения ответа необходимо в соответствии с выражением (1) знать мощность потерь в транзисторе при протекании заданного тока и тепловое сопротивление каждого транзистора [3].

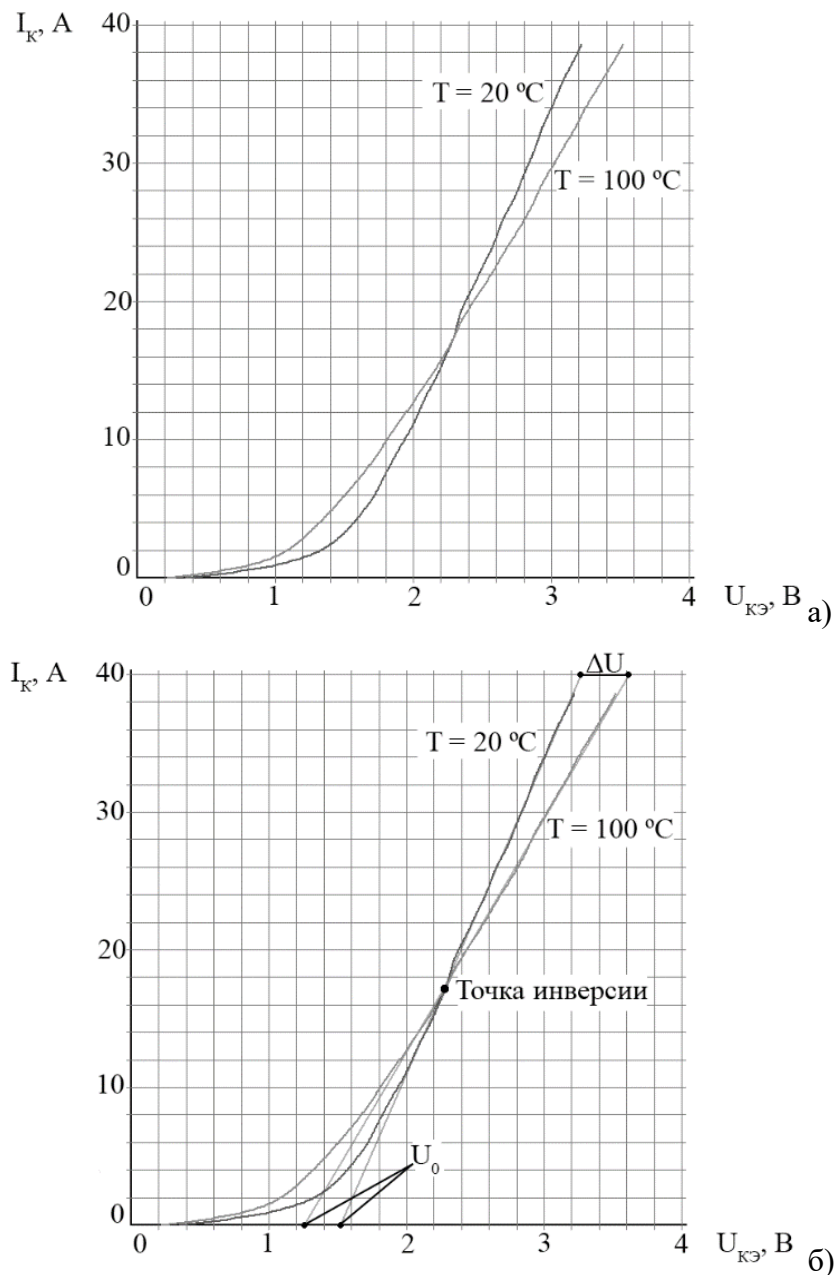


Рис. 1. Выходные вольт-амперные характеристики транзисторов IRG4PH50 (а) и построения для определения параметров (б).

Мощность потерь при токе $I_K = 30\text{ А}$ была оценена по выражению (2), а среднее значение теплового сопротивления для данных транзисторов, полученное из справочных материалов, составляет:

$$R_{th\max} = 0,64 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}.$$

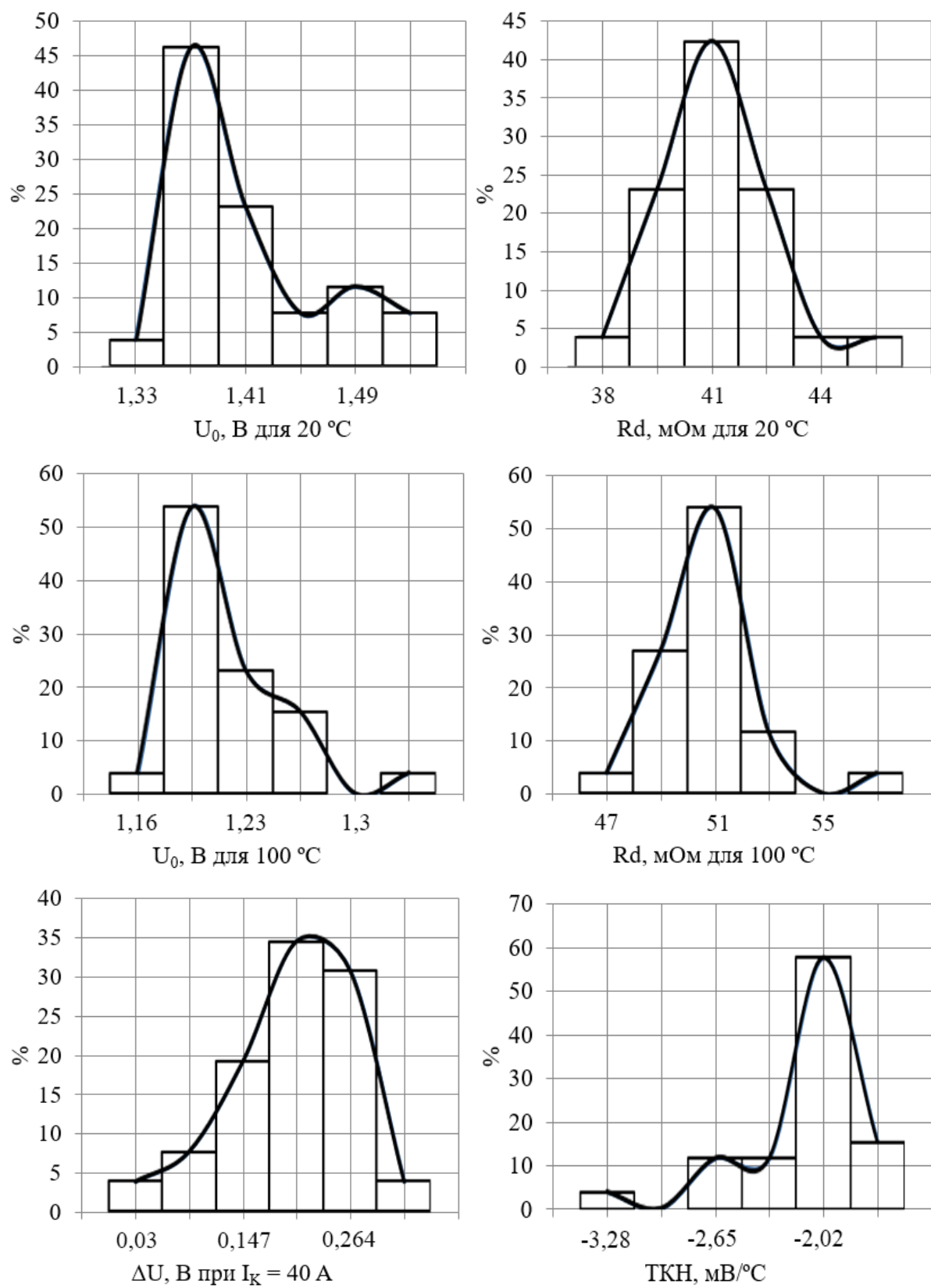


Рис. 2. Гистограммы распределений параметров транзисторов, измеренных по вольт-амперным характеристикам, и их огибающие.

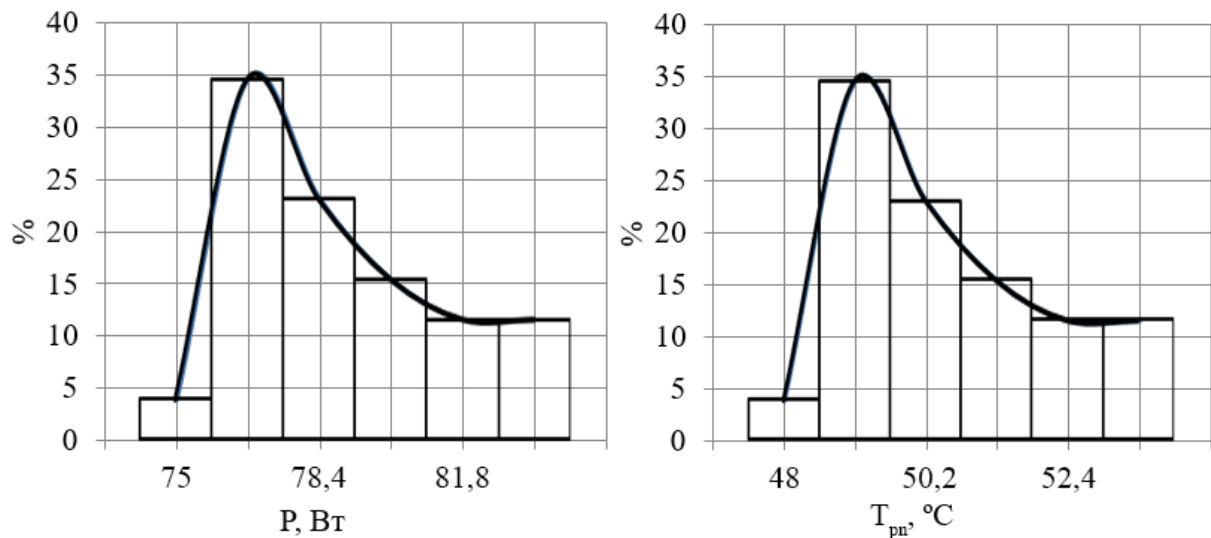
Таблица 1

Параметр	U_0 20 °C	R_d 20 °C	U_0 100 °C	R_d 100 °C	ΔU	ТКН
$M[X]$	1,406	41,5	1,216	50,5	0,202	-2,1
$D[X]$	0,0023	0,00188	0,001	0,0031	0,0045	$1,2 \cdot 10^{-4}$

На рис. 3 приведены расчетные гистограммы для мощности потерь и температуры перегрева полупроводниковой структуры относительно температуры охладителя. Математические ожидания этих величин и дисперсии соответственно равны:

$$M[X] = 78,87; D[X] = 5,12;$$

$$M[X] = 50,48; D[X] = 2,1.$$

Рис. 3. Гистограммы распределений P и T_{jn} транзисторов и их огибающие.

Можно предположить, что при наличии информации о величине R_{th} каждого транзистора параметры гистограммы для T_{jn} могут изменяться в сторону увеличения дисперсии.

Выводы.

Полученные результаты позволяют сделать выводы не только по степени стабильности технологического процесса изготовления транзисторов, но и по отбору транзисторов для комплектования преобразовательных устройств [4], в том числе и при их групповом соединении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпаков А. И. Методы оценки надежности силовых модулей IGBT SEMIKRON в предельных режимах // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – С. 40–45.
2. Егоров Н. М., Глинченко А. С., Комаров В. А., Сарафанов А. В. Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением интернет-технологий. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 361 с.
3. Колпаков А. И. Охлаждение силовых модулей: проблемы и решения. Часть 1 // Силовая электроника. – 2012. – № 3. – С. 72–78.
4. Бардин В. М., Новиков Д. П. Основные направления работ в области надежности силовых полупроводниковых приборов // Практическая силовая электроника. – 2015. – № 2 (58). – С. 53–55.