

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ СПП

Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева,  
Научно-производственное предприятие «Электронная техника – МГУ»  
Тел. (834-2) 24-17-77. E-mail: eltech-mgu@mail.ru

**Аннотация.** В докладе рассматриваются результаты моделирования тепловых и электрических процессов в силовых полупроводниковых приборах, включенных в последовательно-параллельном групповом соединении.

**Summary.** The results of the modeling of the thermal and electrical processes in the power semiconductor devices, including in serial-parallel group connection are considered in the report.

## Постановка задачи

В таких сферах промышленности как металлургия, химическая промышленность и электротранспорт используются преобразователь электрической энергии на номинальные токи до десятков тысяч ампер и напряжение десятки киловольт. Современная полупроводниковая промышленность находится еще на стадии разработки полупроводниковых ключей, способных коммутировать такие мощности. Поэтому находящиеся в эксплуатации силовые блоки преобразователей разработаны на основе группового соединения полупроводниковых приборов (ПП). Надёжность и долговечность эксплуатации таких преобразователей во многом зависит от качества подбора приборов по электрическим и тепловым параметрам для группового соединения.

## Метод решения

Для определения критериев подбора ПП по величине разброса теплового сопротивления переход-корпус в установившемся тепловом режиме  $R_{thjc}$  было проведено исследование электротепловой модели группового соединения диодов Д151-160. Разработанная модель в [1] использовалась как элемент модели последовательно-параллельного включения диодов Д151-160 (рис. 1). Исследование модели проводилось в Multisim 10. Исследование предполагало выявление степени влияния разброса  $R_{thjc}$  в зависимости от той или иной комбинации ПП в группе, при условии, что их электрические параметры идентичны. По каталожным данным ОАО «Электровыпрямитель» были выбраны следующие параметры импульсное напряжение  $U_{FM} = 1,35$  В, дифференциальное сопротивление  $r_T = 1$  мОм.

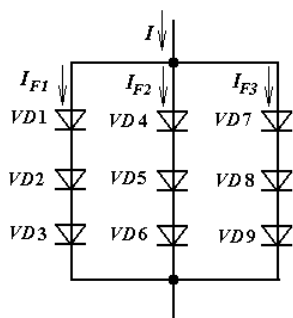


Рис. 1. Схема исследуемой модели

Исследования проводились для общего протекающего тока через группу величиной 300 А. Для исследования влияния разброса  $R_{thjc}$  были выбраны три варианта комбинации распределения величин  $R_{thjc}$  в группе:

Исследования проводились для общего протекающего тока через группу величиной 300 А. Для исследования влияния разброса  $R_{thjc}$  были выбраны три варианта комбинации распределения величин  $R_{thjc}$  в группе:

группе:

$$1) R_{thjc\ VD1} = R_{thjc\ VD2} = R_{thjc\ VD3} = 0,7R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD4} = R_{thjc\ VD5} = R_{thjc\ VD6} = R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD7} = R_{thjc\ VD8} = R_{thjc\ VD9} = 1,3R_{thjc\ м};$$

$$2) R_{thjc\ VD1} = R_{thjc\ VD2} = R_{thjc\ VD3} = 0,9R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD4} = R_{thjc\ VD5} = R_{thjc\ VD6} = R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD7} = R_{thjc\ VD8} = R_{thjc\ VD9} = 1,1R_{thjc\ м};$$

$$3) R_{thjc\ VD1} = R_{thjc\ VD2} = 0,7R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD3} = 1,3R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD4} = R_{thjc\ VD5} = R_{thjc\ VD6} = R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD7} = R_{thjc\ VD8} = 1,3R_{thjc\ м}, R_{thjc\ VD9} = 0,7R_{thjc\ м},$$

где  $R_{thjc\ м}$  – медианное значение распределения  $R_{thjc}$  в группе равно  $0,11$  °C/Вт.

Диоды  $VD1 - VD3$  составляют ветвь 1,  $VD4 - VD6$  – ветвь 2 и  $VD7 - VD9$  – ветвь 3.

## Результаты моделирования

Результаты моделирования временного распределения токов в ветвях и перегревы полупроводниковых структур (ПС)  $\Delta T_j$  в процессе установления теплового равновесия во всём групповом соединении для трёх приведённых выше вариантов размещения приборов приведены на рис. 2 – 4.

На рис. 2 представлено временное распределение токов в ветвях и перегревов ПС для первого случая, когда разбросы  $R_{thjc}$  в ветвях отсутствуют, а разбросы между ветвями составляет  $\pm 30\%$ . Временные зависимости  $\Delta T_j$  ПП в каждой ветви изображены одной кривой, так как через последовательно включенные диоды протекает один и тот же ток и величины  $\Delta T_j$  каждого ПП не отличаются.

Рис. 3 отображает развитие во времени электрических и тепловых процессов в групповом соединении ПП с разбросами  $R_{thjc}$  между ветвями  $\pm 10\%$ . Из рис. 3 видно, что наблюдаемое распределение токов между ветвями и перегревы ПС  $\Delta T_j$  существенно меньше, чем в первом случае и, следовательно, вероятность отказа ПП в данном варианте группового соединения ниже, чем у первого.

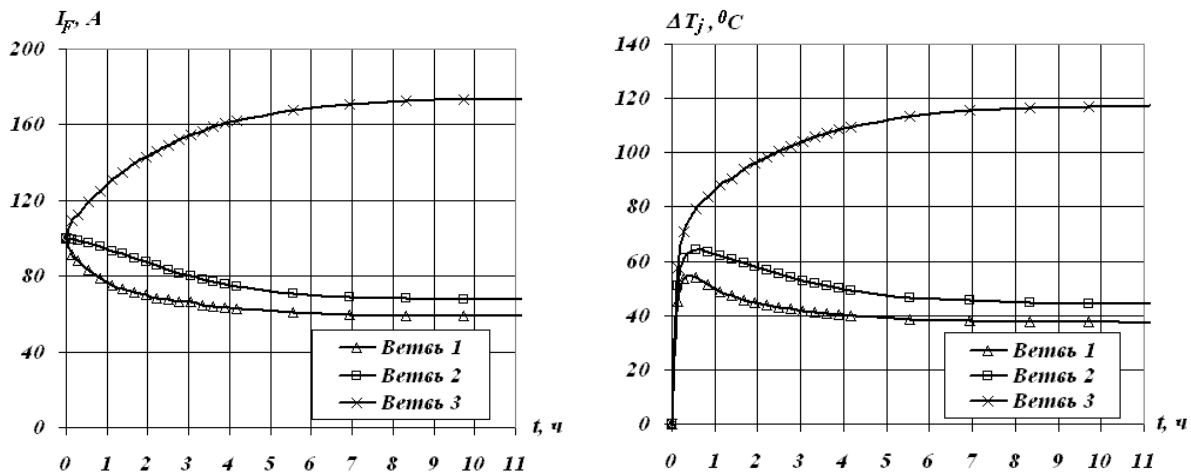


Рис. 2. Распределение токов и перегревов ПС для первого варианта при  $\pm 30\%$  разбросе  $R_{thjc}$  относительно  $R_{thjc м}$

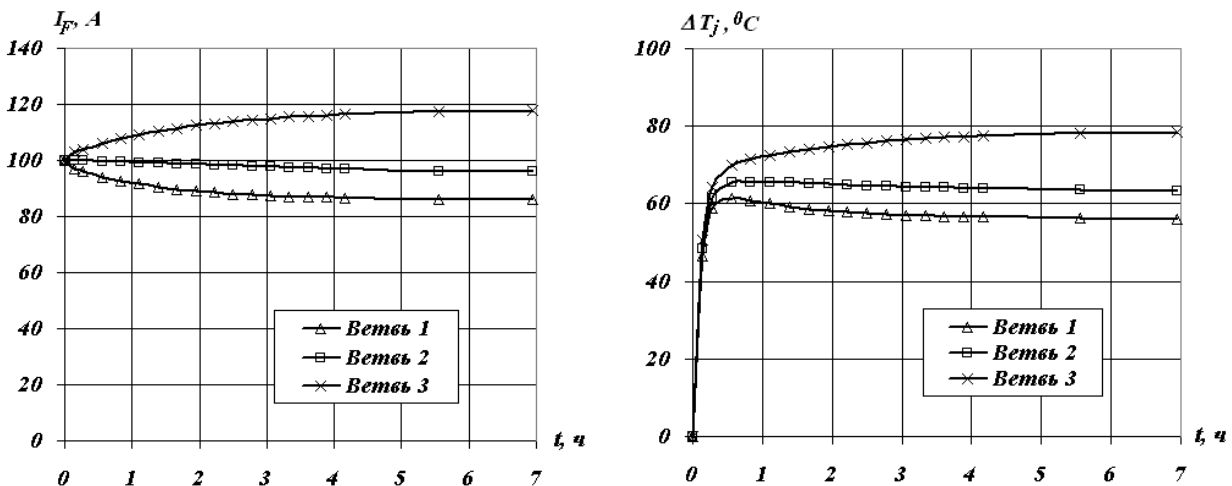


Рис. 3. Распределение токов и перегревов ПС для второго варианта при  $\pm 10\%$  разбросе  $R_{thjc}$  относительно  $R_{thjc м}$

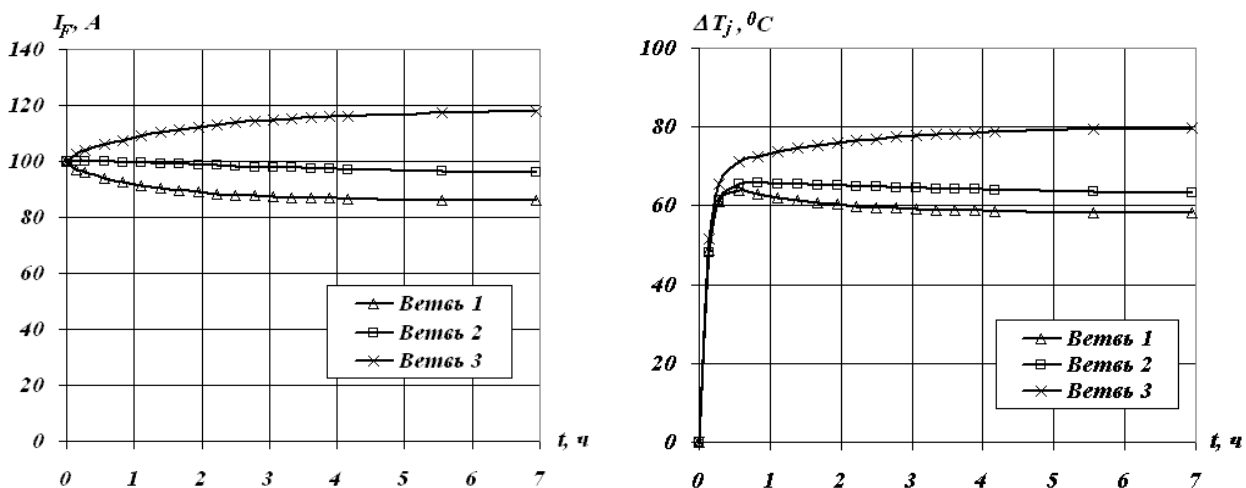


Рис. 4. Распределение токов и перегревов ПС для третьего варианта при  $\pm 30\%$  разбросе  $R_{thjc}$  относительно  $R_{thjc\ m}$

На рис. 4 представлены результаты исследования третьего варианта комбинации ПП. Отличие от первого заключается в том, что один ПП из ветви с отрицательным отклонением величины  $R_{thjc}$  от величины  $R_{thjc\ m}$  был перемещен в ветвь с положительным отклонением и наоборот, было сделано перемещение одного ПП из ветви 3 в ветвь 1. Из рис. 4 видно, что перемещение приборов привело к снижению отклонению токов от средней величины и как следствие, уменьшилась разница между  $\Delta T_j$  ПП.

Сравнивая результаты моделирования второй и третьей комбинаций ПП, можно говорить об идентичности тепловых процессов в этих двух вариантах, из-за компенсации влияния разброса величин  $R_{thjc}$  в третьем варианте соединения. Оценить степень компенсации, возможно вычислив эквивалентную величину разброса  $\Delta R_{thjc\ n}$  для ветви. Эта величина показывает, какое значение разброса  $R_{thjc}$  для данной комбинации ПП соответствует случаю с однородным распределением разбросов  $R_{thjc}$  в ветви и определяются как среднее арифметическое разбросов  $R_{thjc}$  всех ПП входящих в неё:

$$\Delta R_{thjc\ n} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta R_{thjc\ i} ,$$

где  $m$  – число ПП в ветви  $n$ ;  $\Delta R_{thjc\ i}$  – тепловое сопротивление переход-корпус ПП, входящего в ветвь  $n$ .

### Выводы

При проектировании и изготовлении преобразователей на основе группового соединения ПП для повышения их надёжности необходимо учитывать при подборе ПП не только электрические, но и тепловые характеристики. Уменьшение разброса величин  $R_{thjc}$  в групповом соединении приводит к сужению распределения токов между ветвями и перегревов ПС  $\Delta T_j$  приборов, и как следствие к снижению вероятности выхода из строя ПП.

Дополнительными мерами снижения перегрева отдельных ПП в преобразовательных устройствах в групповом соединении является комбинирование в ветвях силовых блоков ПП с отрицательными и положительными отклонениями  $R_{thjc}$  относительно среднего значения  $R_{thjc}$  в партии приборов. Комбинирование приборов приводит к компенсации разброса  $R_{thjc}$  в группе, т.е. к снижению эквивалентного  $R_{thjc}$  для последовательной ветви в группе.

### Литература

1. Беспалов, Н. Н. Моделирование тепловых процессов в силовых тиристорах, используемых на высоких частотах / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин // Материалы VIII международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2006». Новосибирск.– 2006. – Т. 7. – С. 101-103.