

Модель оценки ресурса и срока службы силовых полупроводниковых приборов

Медведев Дмитрий Владимирович

Данное научное исследование (№ 15-05-0029) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2015 г.



Рисунок 1. Силовые полупроводниковые приборы.

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество самых разнообразных видов и типов силовых полупроводниковых приборов. При этом каждый полупроводниковый прибор характеризуется целым рядом параметров, каждый из которых, в свою очередь, определяется несколькими зависимостями от других параметров и от различных условий работы.

К силовым полупроводниковым приборам относятся диоды, триодные тиристоры, непроводящие в обратном направлении (в дальнейшем тиристоры), тиристоры, проводящие в обратном направлении, и симметричные тиристоры на максимально допустимые средние или действующие токи 10 А и более или максимально допустимые импульсные токи 100 А и более, стабилитроны и симметричные стабилитроны с максимально допустимым значением рассеиваемой мощности 15 Вт и более, ограничители напряжения и симметричные ограничители напряжения с максимально допустимым значением рассеиваемой энергии 5 Дж и более, транзисторы с током коллектора 10 А и более, предназначенные для применения в статических преобразователях электроэнергии, а также в

других цепях постоянного и переменного тока различных силовых установок.

По принципу действия силовые полупроводниковые приборы делятся на следующие основные виды: диоды, тиристоры, тиристоры симметричные, стабилитроны, ограничители напряжения, транзисторы.

Внутри каждого из указанных видов приборы подразделяются на типы: диоды - по значениям максимально допустимого среднего прямого тока, тиристоры - по значениям максимально допустимого прямого тока в открытом состоянии, симметричные тиристоры - по значениям максимально допустимого действующего тока в открытом состоянии, стабилитроны - по значениям максимально допустимой мощности рассеяния, ограничители напряжения - по значениям максимально допустимой рассеиваемой энергии.

Приборы одного типа подразделяются на классы: диоды - по значениям повторяющегося импульсного обратного напряжения, тиристоры - по значениям повторяющегося импульсного обратного напряжения и повторяющегося импульсного напряжения в закрытом состоянии, тиристоры, проводящие в обратном направлении, и симметричные тиристоры - по значениям повторяющегося напряжения в закрытом состоянии, стабилитроны - по значениям напряжения стабилизации, ограничители напряжения - по значениям напряжения лавинного пробоя.

Значения интенсивности отказов силовых полупроводниковых приборов при эксплуатации рассчитывают по модели:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{\text{э}} \quad (1)$$

Расчет эксплуатационной интенсивности отказов силовых полупроводниковых приборов, находящихся в режиме ожидания, проводится по моделям вида: для неподвижных объектов:

$$\lambda_{\text{э.х}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{х}} \cdot K_{\text{т.х}} \cdot K_{\text{усл}} \cdot K_{\text{нр}} \quad (2)$$

для подвижных объектов:

$$\lambda_{\text{э.х}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{х}} \cdot K_{\text{т.х}} \cdot K_{\text{э}} \cdot K_{\text{нр}} \quad (3)$$

Ориентировочное значение $K_{\text{х}}$ для всех типов приборов принимается равным 0,01.

Значения коэффициента K_p рассчитываются по математической модели:

$$K_p = \left(\frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{макс}}} \right)^{1,5} \cdot \exp \left[-\frac{E_a}{K} \cdot \left(\frac{1}{t_{\text{пер}} + 273} - \frac{1}{298} \right) \right] \quad (4)$$

где $U_{\text{раб}}$ – значение максимального рабочего повторяющегося напряжения, В;

$U_{\text{макс}}$ – максимально допустимое напряжение прибора (класс прибора по напряжению), В;

$E_a = 0,5$ эВ;

$K = 8,617 \cdot 10^{-5}$ эВ/град;

$t_{\text{пер}}$ – температура перехода в процессе эксплуатации, °С.

Значения $t_{\text{пер}}$ рассчитываются по формулам:

$$t_{\text{пер}} = t + R1 \cdot P_{\text{ср}} \quad (\text{с воздушным охлаждением}), \quad (5)$$

$$t_{\text{пер}} = t_k + R2 \cdot P_{\text{ср}} \quad (\text{с жидкостным охлаждением}), \quad (6)$$

где t – температура окружающей среды, °С; t_k – температура корпуса, °С;

$R1$, $R2$ – тепловые сопротивления участков переход–окружающая среда и переход–корпус соответственно (приводятся в ТУ или других справочных материалах);

$P_{\text{ср}}$ – средняя мощность, рассеиваемая прибором, Вт.