

Исследование моделей интенсивности отказов полупроводниковых приборов

Артюхова М.А.

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

Расчет показателей надежности является одним из обязательных мероприятий, предусмотренных в ГОСТ РВ 20.39.302-98.

В качестве примера для исследования моделей ИО полупроводниковых приборов рассмотрена технологическая группа «кремниевый выпрямительный диод» тип элемента «Д231», который предназначен для преобразования переменного напряжения с частотой 1,1 кГц в постоянное. В таблице 1 приведены электрические параметры диода Д231 при нормальных условиях из ТУ.

Электрические параметры диода по ТУ

Тип диода	Предельные значения параметров при $T=25^{\circ}\text{C}$			Значения параметров при $T=25^{\circ}\text{C}$				$T_{\text{к.макс}}$ ($T_{\text{п.}}$), $^{\circ}\text{C}$
	$U_{\text{обр.макс.}}$ ($U_{\text{обр.и.макс.}}$), В	$I_{\text{пр.макс.}}$ ($I_{\text{пр.и.макс.}}$), А	$I_{\text{прг.}}$, А	$f_{\text{раб.}}$ ($f_{\text{макс.}}$), кГц	$U_{\text{пр.}}$, В	при $I_{\text{пр.}}$, А	$I_{\text{обр.}}$, мА	
Д231	(300)	10,0	100	1,1	1,0	10,0	3,0	130

Габаритный чертеж диода Д231

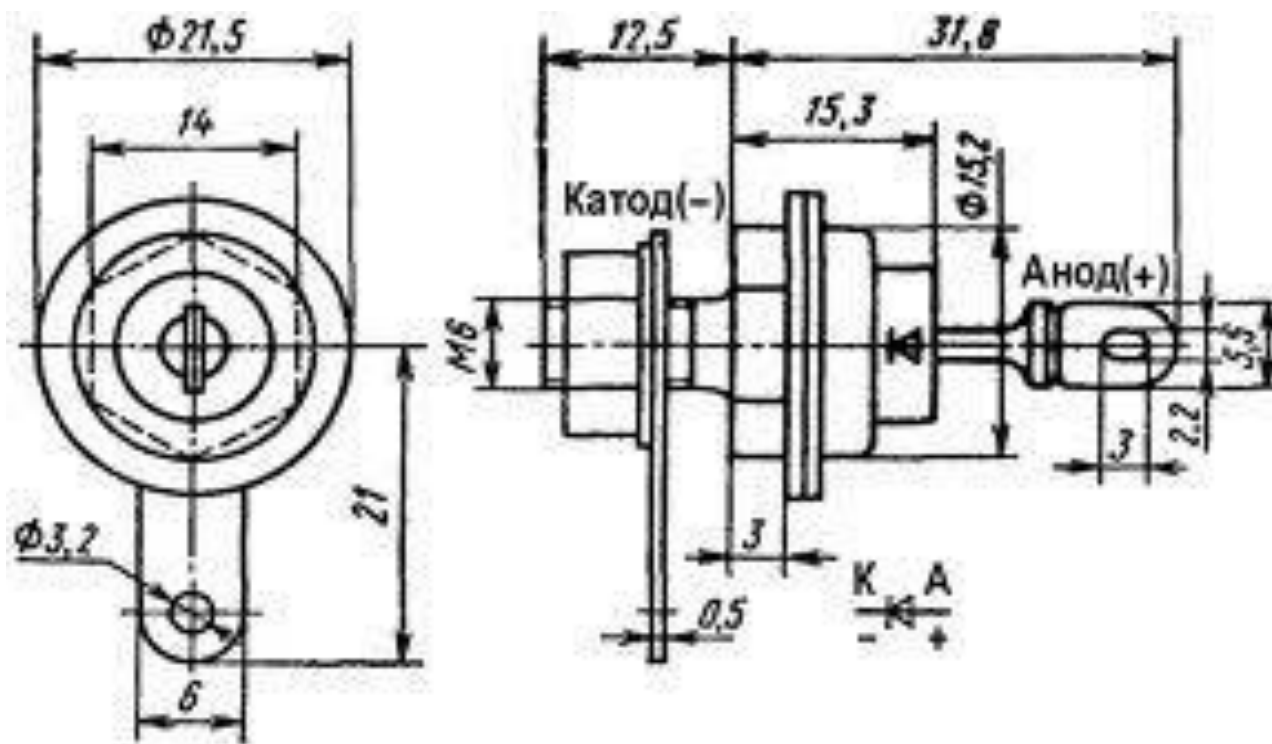


Диаграмма распределения отказов по видам для выпрямительных диодов



Характеристики надежности и справочные данные

Изделие	$\lambda_0 \cdot 10^6$, 1/ч	$T_{н.м.}$, тыс. ч		$T_{р.γ}$, тыс. ч ($γ=95\%$)	$T_{хр.}$, лет
		Во режимах, допускаемы х ТУ	в всех В облегченно м режиме		
Д231	0,1	25	40	50	25

Математическая модель для расчета эксплуатационной ИО диодов

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{э}} \cdot K_{\text{э}} \cdot K_{\text{пр}}$$

где: $\lambda_{\text{б}}$ – базовая интенсивность отказов, 1/ч.; $K_{\text{р}}$ – коэффициент режима, отн. ед.; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент приемки, отн. ед.; $K_{\text{э}}$ – коэффициент эксплуатации, отн. ед.; $K_{\text{ф}}$ – коэффициент, определяемый функциональным назначением прибора, отн. ед.; $K_{\text{с}}$ – коэффициент, определяющий отношение рабочего напряжения к максимально допустимому напряжению по ТУ, отн. ед.

Значения коэффициентов для диода «Д231»

№ п.п	Обозначение коэффициента	Условия расчета	Значение
1	K_p	$t=25\text{ }^{\circ}\text{C}, I_{\text{раб}}/I_{\text{макс}}=0,5$	0,1486
2	$K_{\text{пр}}$	Уровень качества «ВП»	1
3	K_3	Группа эксплуатации 1.1 по ГОСТ РВ 20.39.304-98	1
4	$K_{\text{ф}}$	Функциональный режим работы: аналогового сигнала	1,5
5	K_s	$(U_{\text{обр.раб}}/U_{\text{раб.макс}}) \cdot 100\% = 50\%$	0,7

Математическая модель интенсивности отказов по 217F

$$\Lambda_p = \Lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_S \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

где: Λ_b – базовая интенсивность отказов, для выпрямительных диодов равна $0,0038 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, π_T – коэффициент режима, отн. ед.; π_S – коэффициент электрической нагрузки, отн. ед.; π_C – коэффициент, зависящий от конструкции контактов, отн. ед.; π_Q – коэффициент влияния качества изготовления, отн. ед.; π_E – коэффициент жесткости условий эксплуатации, отн. ед.

Значения коэффициентов модели для диода «Д231»

№ п.п.	Обозначение коэффициента	Условия расчета	Значение
1	π_T	Температура окружающей среды - 25 °С, температура перехода – 60 °С	0,0455
2	π_S	$(U_{\text{обр.раб}}/U_{\text{раб.макс}})=0,5$	0,19
3	π_Q	Уровень качества «JANTX»	1
4	π_E	Группа эксплуатации 1.1 по ГОСТ РВ 20.39.304-98	1
5	π_C	Контакты паяные	1

Математическая модель ИО по 217Plus

$$\lambda_p = \frac{[\pi_G(\lambda_{OB} \cdot \pi_{DCO} \cdot \pi_{TO} \cdot \pi_S + \lambda_{EB} \cdot \pi_{DCN} \cdot \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \cdot \pi_{CR} \cdot \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \cdot \pi_{SJDT} + \lambda_{EOS}] \cdot 10^{-6}}$$

где: λ_{OB} – базовая рабочая интенсивность отказов, λ_{EB} – базовая интенсивность отказов, зависящая от условий эксплуатации, λ_{TCB} – базовая интенсивность отказов, учитывающая температурную цикличность, λ_{SJB} – базовая интенсивность отказов паянного соединения, λ_{EOS} – интенсивность отказов при электрической перегрузке, π_G – коэффициент, зависящий от года производства, π_{DCO} – коэффициент интенсивности эксплуатации, π_S – коэффициент электрической нагрузки, π_{DCN} – коэффициент учитывающий соотношение интенсивность эксплуатации – состояние покоя, π_{TO} – коэффициент рабочей температуры, π_{TE} – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, π_{CR} – коэффициент интенсивности циклов, π_{DT} – коэффициент, учитывающий разницу температур, π_{SJDT} – коэффициент, учитывающий разницу температур паянного соединения.

Коэффициент π_G рассчитывается как:

$$\pi_G = e^{(-\beta(Y-1993))}$$

где β – константа, зависит от типа диода; Y – год производства диода.

Коэффициент π_{DCO} рассчитывается как:

$$\pi_{DCO} = \frac{DC}{DC_1}$$

Коэффициент π_{TO} рассчитывается как:

$$\pi_{TO} = \exp\left(\frac{-Ea_{op}}{0.00008617 \left(\frac{1}{T_{AO} + T_R + 273} - \frac{1}{298}\right)}\right)$$

где: Ea_{op} – рабочая энергия активации, зависит от типа диода; T_R – величина превышения рабочей температуры T_{AO} .

Коэффициент π_S рассчитывается как:

$$\pi_S = \frac{V_S^{2.43}}{0.185}$$

где: $V_S = U_{\text{раб}} / U_{\text{ном}}$.

Коэффициент π_{DCN} рассчитывается как:

$$\pi_{DCN} = \frac{1 - DC}{DC_1}$$

Коэффициент π_{TE} рассчитывается как:

$$\pi_{TE} = \exp \left(\frac{-Ea_{\text{нопор}}}{0.00008617} \left(\frac{1}{T_{AE} + 273} - \frac{1}{298} \right) \right)$$

где: $Ea_{\text{нопор}}$ – энергия активации в состоянии покоя, зависит от типа диода.

Коэффициент π_{CR} рассчитывается как:

$$\pi_{CR} = \frac{CR}{CR_1}$$

Коэффициент π_{DT} рассчитывается как:

$$\pi_{DT} = \left(\frac{T_{AO} + T_R - T_{AE}}{DT_1} \right)^2$$

Коэффициент π_{SJDT} рассчитывается как:

$$\pi_{SJDT} = \left(\frac{T_{AO} + T_R - T_{AE}}{44} \right)^{2.26}$$

Значения базовых интенсивностей отказа для выпрямительного диода

λ_{OB}	λ_{EB}	λ_{TCB}	λ_{SJB}	λ_{EOS}
0,0000616	0,0000308	0,000098	0,00021	0,00036

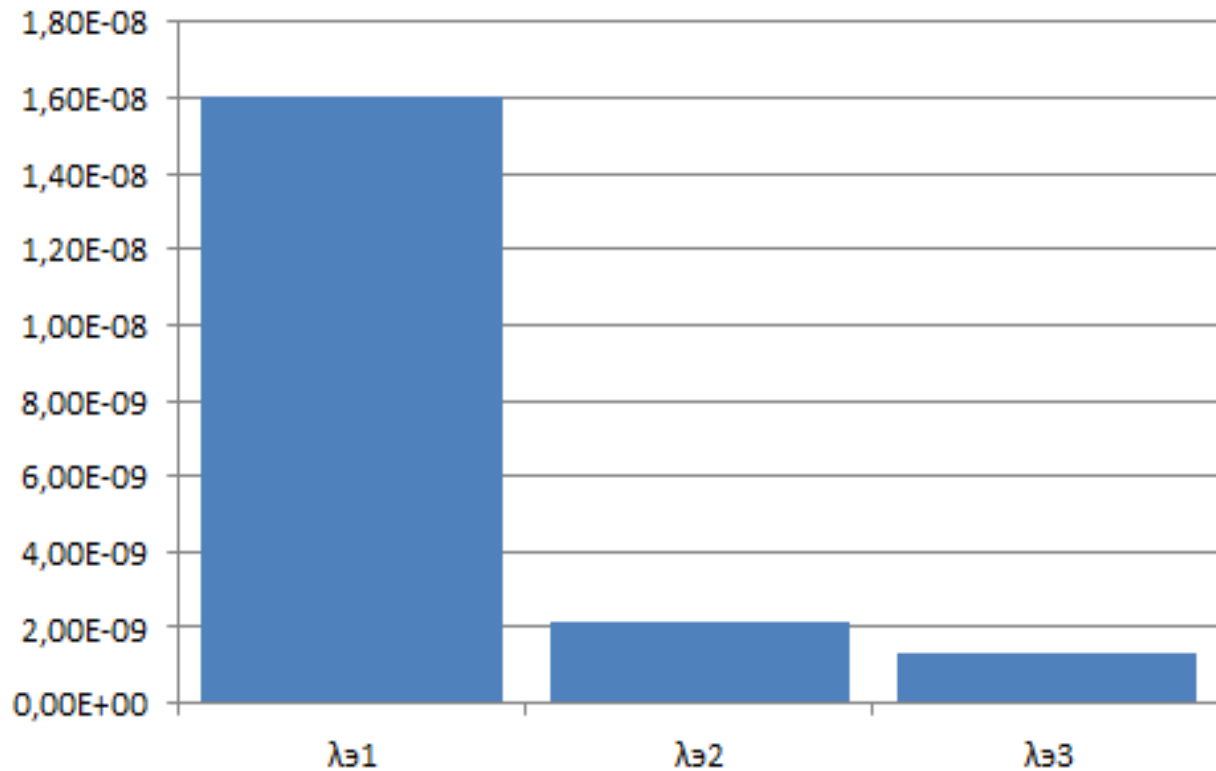
Значения коэффициентов для выпрямительного диода

№ п.п.	Обозначение коэффициента	Условия расчета	Значение
1	π_G	$B=0,223$ $Y=2014$	0,0093
2	π_{DCO}	$DC_1=0,23$	0,625
3	π_{TO}	$Ea_{op}=0,3$ $T_R=150\text{ }^\circ\text{C}$	0,031
4	π_S	$V_S=U_{раб}/U_{ном}=0,5$	1
5	π_{DCN}	$DC_1=0,77$	0,6
6	π_{TE}	$Ea_{нопор}=0,4$	1
7	π_{CR}	$CR_1=736,84$	0,5
8	π_{DT}	$DT_1=80$	0,0039
9	π_{SJDT}	$T_R=60\text{ }^\circ\text{C}$ Рабочая температура $T_{AO}=50\text{ }^\circ\text{C}$ Температура в режиме покоя $T_{AE}=25\text{ }^\circ\text{C}$	4,42

Результаты расчета ИО

	«Надежность ЭРИ»	217F	217Plus
Эксплуатационная интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч	0,016	0,00217	0,00129

Сравнение эксплуатационных ИО диода
«Д231»: $\lambda_{\text{э}1}$ – по справочнику «Надежность
ЭРИ», $\lambda_{\text{э}2}$ – по 217F, $\lambda_{\text{э}3}$ – по 217Plus



Анализируя полученные результаты расчета ИО, видно, что значения, полученные по справочникам «Надежность ЭРИ» и 217F дали расхождение в два порядка:

$$\lambda_{\text{э}1} / \lambda_{\text{э}2} = 7,37$$

В то же время, расхождение между значениями ИО, полученными по 217F и 217Plus всего в 2 раза:

$$\lambda_{\text{э}2} / \lambda_{\text{э}3} = 1,68$$

Данный результат согласуется с исследованиями, проведенными Корейским обществом «Управления качеством ЭКБ» и опубликованном в и говорит о существенном «плохой» надежности российской электроники.