

Модель оценки долговечности СВЧ-транзисторов большой мощности

Артюхова М. А.

Москва, 2015

Номер проекта 15-05-0029

выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2015г.

<http://miem.hse.ru/des>

Свойства надежности электрорадиоэлементов

- Безотказность
- Долговечность
- Сохраняемость

Показатели долговечности

- Минимальная наработка
- Гамма-процентный ресурс
- Средний ресурс
- Гамма-процентная наработка до отказа



Параметры СВЧ-транзистор 2Т939А

Таблица 1. Основные электрические параметры 2Т939 при $T_{\text{окр. среды}} = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$

| Параметры | Обозначение | Ед. изм. | Режимы измерения | Min | Max |
|---|-------------|----------|---|-----|-----|
| Обратный ток коллектора | $I_{кбо}$ | мА | $U_{кб}=30\text{В}$ | | 1 |
| Статический коэффициент передачи тока | h_{21E} | | $U_{кэ}= 12 \text{ В}, I_{к}= 200 \text{ мА}$ | 40 | 200 |
| Емкость коллекторного перехода* | $C_{к*}$ | пФ | $U_{кб}=12 \text{ В } f=10\text{МГц}$ | - | 5,5 |
| Граничная частота коэффициента передачи тока* | $F_{гр*}$ | ГГц | $f=300\text{МГц } I_{к}=200\text{мА}$ $U_{кэ}= 12 \text{ В}$ | 2,5 | - |
| Обратный ток эмиттера | $I_{эбо}$ | мА | $U_{эб}=3,5 \text{ В}$ | - | 0,5 |
| Граничное напряжение | $U_{кэогр}$ | В | $I_{э}=30\text{мА } I_{б}=0$ | 18 | - |

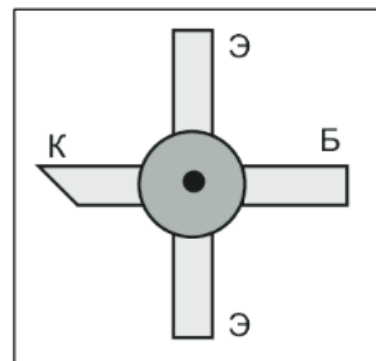
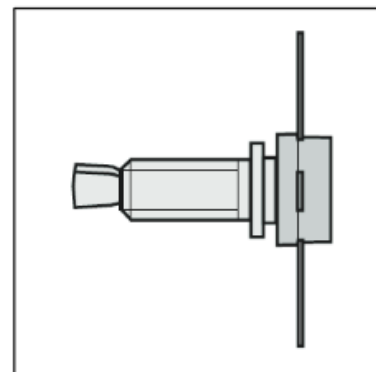


Таблица 2. Значения предельно допустимых электрических режимов эксплуатации 2Т939

| Параметры | Обозначение | Ед. изм. | Значение |
|--|----------------------|------------------|----------|
| Напряжение коллектор-база | $U_{кб \text{ max}}$ | В | 30 |
| Напряжение коллектор-эмиттер ($R_{бэ}=10\text{кОм}$) | $U_{кэ \text{ max}}$ | В | 30 |
| Напряжение эмиттер-база | $U_{эб \text{ max}}$ | В | 3,5 |
| Постоянный ток коллектора | $I_{к \text{ max}}$ | мА | 400 |
| Температура перехода | T_j | $^\circ\text{C}$ | 150 |
| Постоянная рассеиваемая мощность коллектора | $P_{к \text{ max}}$ | Вт | 4 |

Вероятность безотказной работы

$$P(t_{\text{сac}}) = P_1(t_{\text{сac}}) \cdot P_2(t_{\text{сac}}) \cdot P_3(t_{\text{сac}})$$

$P(t_{\text{сac}})$ – вероятность безотказной работы за срок активного существования;

$P_1(t_{\text{сac}})$ – вероятность безотказной работы в отсутствии воздействия ИИ;

$P_2(t_{\text{сac}})$ – вероятность безотказной работы под действием низкоинтенсивного ИИ;

$P_3(t_{\text{сac}})$ – вероятность безотказной работы при воздействии отдельных ядерных частиц;

$t_{\text{сac}}$ – срок активного существования.

Вероятность безотказной работы при отсутствии воздействия ионизирующего излучения

$$P_1(t_{сac}) = e^{-\Lambda \cdot t_{сac}}$$

Λ – эксплуатационная интенсивность отказов при отсутствие воздействия радиации;

$t_{сac}$ – срок активного существования.

$$\Lambda = \lambda_б \cdot K_p \cdot K_F \cdot K_\Phi \cdot K_\varepsilon \cdot K_{пр}$$

где: $\lambda_б$ – базовая интенсивность отказов; K_p – коэффициент режима;

$K_{пр}$ – коэффициент приемки; K_ε – коэффициент эксплуатации;

K_F – коэффициент, определяемый частотой и мощностью в импульсе для СВЧ транзисторов;

K_Φ – коэффициент, определяемый функциональным назначением прибора.

Значение коэффициентов математической модели λ_9 для СВЧ-транзистора 2Т949А

| Обозначение | Значение НС |
|-------------|----------------------|
| K_p | 2,36 |
| K_{np} | 0,2 |
| K_9 | 1 |
| K_F | 2 |
| K_ϕ | 1 |
| λ_6 | $0,14 \cdot 10^{-6}$ |

Вероятность безотказной работы при воздействии отдельных ядерных частиц

$$P_3(t_{cac}) = e^{-\nu \cdot t_{раб}}$$

ν – частота возникновения возможных отказов под действием отдельных ядерных частиц;
 $t_{раб}$ – время, в течение которого находится во включенном состоянии при установленном САС.

$$\nu = \int_{L_0}^{Lmax} \sigma(L) \cdot \varphi_{ТЗЧ}(L) dL + \int_{E_0}^{Emax} \sigma(E) \cdot \varphi_p(E) dE,$$

$\sigma(L)$, $\sigma(E)$ – зависимости сечений возникновения одиночных отказов от ЛПЭ ТЗЧ и энергии протонов, соответственно.

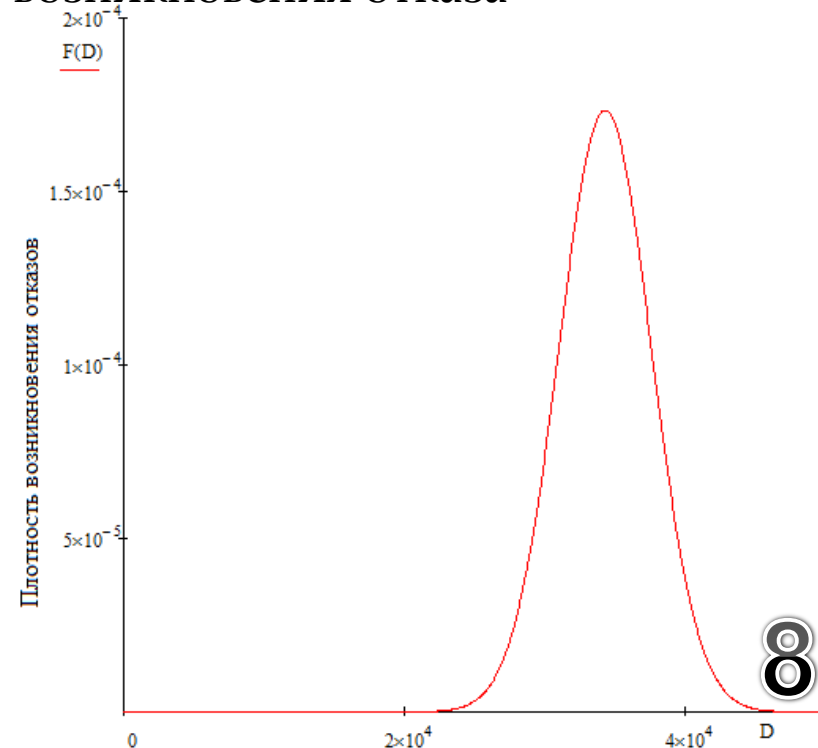
Вероятность безотказной работы при воздействии низкоинтенсивного ионизирующего излучения

$$P_2(t_{cac}) = 1 - F[D_{HD}(t_{cac})] == 1 - \int_{-\infty}^{D_{HD}(t_{cac})} f(d_{ПНД}) dd_{ПНД}$$

где:

$$f(d_{ПНД}) = \frac{C}{\sigma(d_{ПНД}) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{[d_{ПНД} - m(d_{ПНД})]^2}{2 \cdot \sigma(d_{ПНД})^2}}$$

плотность вероятности возникновения отказа



$m(d_{ПНД})$ - математическое ожидание;

$\sigma(d_{ПНД})$ - среднее квадратичное отклонение;

C - нормирующий множитель

Значение ВБР СВЧ-транзистора 2Т939А

| $P_1(t_{\text{сac}})$ | $P_2(t_{\text{сac}})$ | $P_3(t_{\text{сac}})$ | $P(t_{\text{сac}})$ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 0,99424 | 0,99998 | 0,99999 | 0,99421 |

| | |
|-----------------------------|------------------|
| $t_{\text{сac}}$ | 5 лет (43 800 ч) |
| Уровень поглощенной дозы ИИ | 3,2 крад |
| ПНД транзистора 2Т939А | 10^7 рад |

Модель отказа под действием ионизирующего излучения и минимальная наработка

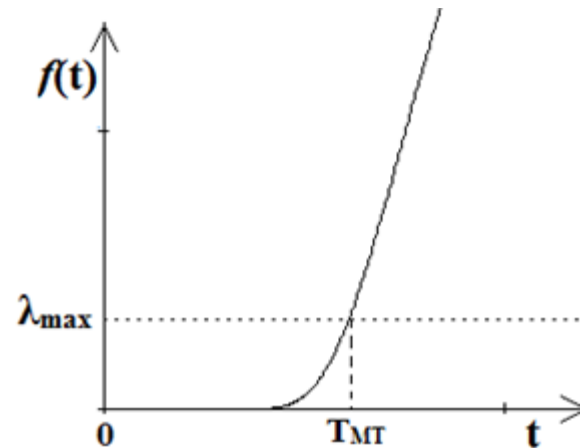
$$f(t) = \frac{c \cdot \beta}{t^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{\left(\frac{\beta}{t} - \alpha\right)^2}{2}},$$

$$\alpha = \frac{m(V_{OP})}{\sigma(V_{OP})}$$

$$\beta = \frac{\Pi_{OP} \cdot t_{cas}}{\sigma(V_{OP})}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\beta}{(T_{MH2})^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{\left(\frac{\beta}{T_{MH2}} - \alpha\right)^2}{2}}$$

$m(V_{OP})$ - средняя скорость изменения ОП;
 $\sigma(V_{OP})$ - среднеквадратичное отклонение скорости изменения ОП;
 Π_{OP} - предельное значение определяющего параметра



Сравнение минимальных наработок

| | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|-------------------|
| $T_{\text{М.Н}}$ по ТУ НС | $T_{\text{М.Н}}$ по ТУ ОР | $T_{\text{МН}} = \frac{T_{\text{МН}}(\text{НС})}{K_{\text{Н}} \cdot K_{\text{И}}}$ | $T_{\text{М.Н2}}$ |
| 25000 | 40 000 | 50 000 | 47 000 |

$$T_{\text{М.Н}} = \min(T_{\text{М.Н1}}, T_{\text{М.Н2}})$$

| Обозначение | Значение коэффициента |
|----------------|--------------------------|
| $K_{\text{Н}}$ | 0,5 |
| $K_{\text{И}}$ | 1 |

Выводы

Представленный в настоящем исследовании материал позволяет получить более точную прогнозную оценку показателей надежности и долговечности бортовой аппаратуры космических аппаратов.

Публикации

- Артюхова М.А. Прогнозирование надежности радиоэлектронных систем космических аппаратов при воздействии ионизирующего излучения // Качество. Инновации. Образование. – 2014. - № 2. – с.46-50. –0,4 п.л.
- Артюхова М.А. Влияние низкоинтенсивной радиации на СВЧ-устройства // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. - 2014. - Т. 8. № 10. - с. 10-12.
- Артюхова М.А. Информационно-логическая модель системы численного моделирования тепловых процессов в электронных средствах / Кокин Н.Н., Артюхова М.А., Линецкий Б.Л., Тихонов А.Н. // Качество. Инновации. Образование. - 2014. - № 11. - с. 66-71. - 4.
- Артюхова М.А. Особенности расчета надежности соленоидов и электромеханических коммутационных изделий / Артюхова М.А., Богачев К.А. // Качество. Инновации. Образование. - 2014. - № 12. – с. 5.
- Artyukhova M. Development of the method of prediction parameter of reliability chemical current sources operating in a “session” mode / Polesskiy S., Artyukhova M. // Reliability: Theory & Applications. - 2012. - Vol. 7. No. 4. - p. 90-101.
- Артюхова М.А. Метод учета влияния системы менеджмента надежности предприятия при расчетной оценке показателей безотказности электронных средств / Артюхова М.А., Жаднов В.В., Полесский С.Н. // Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2013. - № 2. - с. 48-53.
- Артюхова М. А. Оценка стойкости ИС для бортовой космической аппаратуры / Артюхова М. А., Полесский С. Н., Жаднов В. В. // Электронные компоненты. 2013. № 1. С. 72-76.
- Артюхова М.А. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры космических аппаратов при проектировании /Полесский С.Н., Жаднов В.В., Артюхова М.А., Прохоров В.Ф.// Компоненты и технологии: научно-технический журнал. № 8, 2010, - с. 93-98.
- Артюхова М.А. Оценка показателей надежности электронных средств с учетом многофакторного коэффициента качества производства / Артюхова М.А., Жаднов В.В., Полесский С.Н. // Компоненты и технологии. - 2014. - № 4(153). - с. 204-207.

Спасибо за внимание

Номер проекта 15-05-0029

выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2015 г.

<http://miem.hse.ru/des>