

УДК 621.396.677

Г.В. Ермаков, М.Н. Ясечко, А.В. Безверхий, А.В. Ирха

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ МНОГОЧАСТОТНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

Предложен усовершенствованный метод определения вероятности деградации полупроводниковых элементов входных трактов приемных устройств бортовых РЭС при использовании последовательностей мощных ультракоротких сигналов. Метод позволяет определить вероятности появления повреждений в различных типах полупроводниковых элементов при нормальном и равномерном законах распределения тепловой энергии. Проведено математическое моделирование вероятности возникновения повреждений полупроводниковых приборов с использованием нормального и равномерного законов распределений для тепловой энергии, возбуждающей р-п переход. Получены количественные оценки для вероятности отказов входных трактов приемных устройств при использовании последовательностей мощных многочастотных пространственно-временных сигналов.

Ключевые слова: *вероятность деградации, ультракороткие сигналы, закон распределения, тепловая энергия.*

Введение

Анализ литературы. Анализ большого числа экспериментов показывает [1 – 5], что значительную роль при оценке уровней повреждения полупроводниковых элементов играет режим воздействия (моноимпульсный или пачечный). При этом повреждения носят, как правило, вероятностный характер. Эксперименты также показывают, что повреждение полупроводниковых элементов в режиме одиночного импульса будет происходить при энергии (мощности) импульса существенно больших, чем мощность и энергия одного импульса при использовании последовательности сигналов наносекундной длительности.

При высокой частоте повторения этот эффект обычно объясняют накоплением тепла от импульса к импульсу. При этом необходимо, чтобы период последовательности был соизмерим со временем релаксации выпрямляющего контакта. Однако, как показывает эксперимент, эффект деградации наблюдается и в том случае, когда период пачки значительно больше тепловых постоянных, например, при частотах в десятки и сотни Гц [6].

Качественное объяснение эффектов деградации при использовании последовательности коротких сигналов при большой скважности может быть дано с помощью модели накопления повреждений [6]. В этой модели предполагается, что под действием одного импульса происходит незначительное локальное изменение структуры, например, образование дефекта. Выход прибора из строя будет происходить при достижении некоторого критического числа дефектов.

Существующие теории статистических отказов полупроводниковых элементов разработаны для случаев достаточно медленных деградационных процессов, таких как диффузия или электромиграция [7]. В то же время интерес представляют вероятности отказов входных трактов приемных устройств при использовании последовательностей мощных многочастотных пространственно-временных сигналов (МЧ ПВС).

Целью статьи является разработка метода определения вероятности деградации полупроводниковых элементов различных типов, а также получение количественных оценок для вероятности отказов входных трактов приемных устройств при использовании последовательностей мощных ультракоротких сигналов в зависимости от числа воздействующих импульсов, скважности и мощности.

Основная часть

Предположим, что под действием радиоимпульса достаточно большой интенсивности происходит образование дефектов структуры выпрямляющего контакта полупроводникового элемента, например, диода, что приводит к изменению его характеристик. Такой характеристикой может быть дифференциальная проводимость $p(t)$ выпрямляющего контакта. Под действием одного сигнала последовательности параметр $p(t)$ изменяется на некоторую величину δp . Изменение характеристик входных трактов приемных устройств будет связано с отклонением величины $p(t)$ от номинального значения p_0 , характеризующего нормальный режим работы. При достижении некоторого критического значения $p(t) = p_{кр}$, будет происходить деградация при-

многого устройства. Очевидно, что размеры дефекта зависят от энергии импульса, а их число определяется структурой полупроводника, его однородностью. Количество импульсов, приводящих к повреждению полупроводникового элемента, может изменяться от образца к образцу. Наблюдаемое уменьшение мощности импульсов, вызывающих повреждение диода, с увеличением частоты повторения обусловлено тем, что повреждение полупроводникового элемента может происходить путем создания большого числа дефектов. Энергия образования каждого из них сравнительно невелика. Для повреждения элемента одним импульсом требуется создание одного большого дефекта, при этом для его создания требуется значительная энергия.

Изменение параметра δp под действием одного мощного ПВС длительностью $\tau_{\text{пвс}}$ будет пропорционально скорости процесса повреждения V [5]:

$$\delta p = \int_0^{\infty} V(t) dt. \quad (1)$$

Процесс увеличения деградации будет происходить в результате воздействия последовательных МЧ ПВС.

Для оценки скорости изменения параметра p целесообразно использовать активационную теорию Аррениуса, в соответствии с которой [8, 9]:

$$V(t) = V_0 \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_a}{k_B T}\right), \quad (2)$$

где \mathcal{E}_a – энергия последовательности МЧ ПВС;

V_0 – постоянная, зависящая от типа дефектов;

k_B – постоянная Больцмана;

T – температура выпрямляющего контакта, которая изменяется под действием последовательности МЧ ПВС.

Если изменение параметра p происходит под действием нескольких импульсов, то и энергия активации и постоянная V_0 могут быть разными для разных импульсов. Будем полагать, что изменения этих параметров от импульса к импульсу невелики и этими изменениями можно пренебречь.

В этом случае с использованием (1) можно получить уравнение, описывающее изменение параметра $p(t)$:

$$\frac{dp(t)}{dt} + \gamma p(t) = V_0 \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_a}{k_B T(t)}\right), \quad (3)$$

где $\gamma p(t)$ – релаксационный параметр, описывающий процесс восстановления полупроводниковой структуры.

Решение уравнения (3) имеет вид:

$$p(t) = V_0 \exp(-\gamma t) \int_0^t \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_a}{k_B T(t')}\right) dt'. \quad (4)$$

Для получения количественных оценок значений дифференциальной проводимости выпрямляющего контакта при воздействии пачки МЧ ПВС рассмотрим режим тепловыделения с длительностью импульсов $\tau_{\text{пвс}}$, периодом последовательности $T_{\text{пвс}}$ таким, что между воздействиями импульсов температура перехода успевает восстановиться до первоначального значения.

В [10] были получены оценки пространственно-временных характеристик МЧ ПВС, излучаемых цилиндрической ФАР, в зоне Фраунгофера при использовании равнодискретного одноступенчатого и многоступенчатого V-образных распределений частот по апертуре. Результаты расчетов показали, что длительность одиночного сигнала для равномерного амплитудного распределения по уровню 0,5 составляет величину порядка $\tau_{\text{и}}=3$ нс, крутизна переднего фронта – 1,5 нс, уровень первого бокового лепестка – порядка – 10дБ. Полученные результаты дают возможность аппроксимировать сформированный одиночный ПВС прямоугольным импульсом с точностью, достаточной для проведения последующих расчетов. Погрешность вычислений в этом случае составит не более 15%.

Изменение параметра $p(t)$ под действием пачки из N импульсов принимает вид [9]:

$$p_N = V_0 \eta(N, T_{\text{пвс}}, \gamma) \times \exp(-\gamma T_{\text{пвс}}) \int_0^{T_{\text{пвс}}} \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_a}{k_B T(t)} + \gamma t\right) dt, \quad (5)$$

где

$$\eta(N, T_{\text{пвс}}, \gamma) = \frac{1 - \exp(-\gamma N T_{\text{пвс}})}{\exp(-\gamma T_{\text{пвс}})} \exp(-\gamma T_{\text{пвс}} + \gamma \tau_{\text{пвс}}).$$

В рассматриваемом случае локальное повреждение и образование дефектов структуры в p-n переходе обусловлено его интенсивным локальным разогревом под действием импульсов. Эффективная локальная температура $T(t)$ в (5) может быть определена из решения уравнения теплопроводности [7]:

$$T(t) \approx T_0 + \frac{2P}{C\rho S} \sqrt{\frac{t}{\pi K}}, \quad (6)$$

при $\tau_{\text{рел}} < t < \tau_{\text{пвс}}$,

$$T(t) \approx T_0 + [T(\tau_{\text{пвс}}) - T_0] \operatorname{erf}\left(\frac{d + 2\sqrt{K\tau}}{2\sqrt{K\tau}}\right)$$

при

$$t > \tau_{\text{пвс}}, \quad (7)$$

где P – рассеиваемая в p-n переходе мощность;

T_0 – начальная температура;

C, ρ – теплоемкость и плотность проводника;

$\tau_{\text{рел}} = d^2 / K$ – время релаксации;

K – температуропроводность проводника;

S, d – площадь и ширина р-п перехода.

Подставив (6), (7) в (5), для условия $\mathcal{E}_a > k_B T$ получаем для p_N оценку [8]:

$$p_N = V_0 \tau_{\text{пвс}} \exp\left[-\frac{\mathcal{E}_a}{k_B T(\tau_{\text{пвс}})}\right] \eta(N, T_{\text{пвс}}, \gamma), \quad (8)$$

где

$$\eta(N, T_{\text{пвс}}, \gamma) = \frac{1 - \exp(-\gamma N T_{\text{пвс}})}{\exp(-\gamma T_{\text{пвс}})} \exp(-\gamma T_{\text{пвс}} + \gamma \tau_{\text{пвс}}).$$

Очевидно, что статистические флуктуации дифференциальной проводимости выпрямляющего контакта $p(t)$ связаны со случайной величиной энергии \mathcal{E}_a , и именно ее флуктуации определяют статистику деградации (так как дефекты, образующиеся под действием серии импульсов перегрузки, могут возникать на различных центрах, кроме того, меняться условия образования дефектов).

Вероятность деградации полупроводникового элемента можно оценить как вероятность превышения параметром p критического значения $p_{\text{кр}}$:

$$P = \int_{p_{\text{кр}}}^{\infty} g(p) dp,$$

где $g(p)$ – плотность вероятности случайной величины p .

Если для случайной непрерывной величины \mathcal{E}_a известна плотность распределения вероятности $f(\mathcal{E}_a)$, то вероятность деградации полупроводникового элемента P можно оценить как вероятность превышения параметром p (после воздействия N импульсов последовательности МЧ ПВС) критического значения $p_{\text{кр}}$ [8]:

$$P = \int_{\mathcal{E}_0}^{\mathcal{E}(T, T_{\text{пвс}}, \gamma, \eta, \delta)} f(\mathcal{E}_a) d\mathcal{E}_a, \quad (9)$$

где $\mathcal{E}(T, T_{\text{пвс}}, \gamma, \eta, \delta) = k_B T \{ \ln(\delta) + \ln[\eta(N, T_{\text{пвс}}, \gamma)] \}$ – решение

уравнения (8) при $p_N = p_{\text{кр}}$;

$$\delta = V_0 \tau_{\text{пвс}} / p_{\text{кр}}.$$

Для оценки вероятности деградации полупроводникового элемента предположим, что энергия \mathcal{E}_a имеет нормальный закон распределения со средним $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ и дисперсией Δ^2 . Такой закон может быть обоснован для простых структур, например, диодов или транзисторов.

Тогда вероятность повреждения (превышения $p_{\text{кр}}$) для $\mathcal{E}_{\text{ср}} > \mathcal{E}_0$ будет иметь вид [9]:

при $\mathcal{E}(T, T_{\text{пвс}}, \nu, \eta, \delta) \geq \mathcal{E}_{\text{ср}}$:

$$P = \Omega \cdot \Delta \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \left\{ \begin{aligned} &\text{erf}\left(\frac{\mathcal{E}_{\text{ср}} - \mathcal{E}_0}{\sqrt{2}\Delta}\right) + \\ &+ \text{erf}\left(\frac{\mathcal{E}(T, T_{\text{пвс}}, \nu, \eta, \delta) - \mathcal{E}_{\text{ср}}}{\sqrt{2}\Delta}\right) \end{aligned} \right\},$$

при $\mathcal{E}_0 < \mathcal{E}(T, T_{\text{пвс}}, \nu, \eta, \delta) < \mathcal{E}_{\text{ср}}$ (10)

$$P = \Omega \cdot \Delta \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \left\{ \begin{aligned} &\text{erf}\left(\frac{\mathcal{E}_{\text{ср}} - \mathcal{E}_0}{\sqrt{2}\Delta}\right) - \\ &- \text{erf}\left(\frac{\mathcal{E}_{\text{ср}} - \mathcal{E}(T, T_{\text{пвс}}, \nu, \eta, \delta)}{\sqrt{2}\Delta}\right) \end{aligned} \right\},$$

где $\Omega = \Delta \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left\{ 1 + \text{erf}\left(\frac{\mathcal{E}_{\text{ср}}}{\sqrt{2}\Delta}\right) \right\}$;

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-u^2) du.$$

Если энергия последовательности МЧ ПВС \mathcal{E}_a имеет равномерное распределение (что характерно для интегральных микросхем) в диапазоне $\mathcal{E}_0 \leq \mathcal{E}_a \leq \mathcal{E}_0 + \Delta \mathcal{E}$, то вероятность деградации будет иметь вид:

$$P = \begin{cases} P = 0 & \text{при } k_B T [\delta + \ln(\eta)] \leq \mathcal{E}_0, \\ P = \frac{k_B T [\delta + \ln(\eta)] - \mathcal{E}_0}{\Delta \mathcal{E}} & \\ P = 1 & \text{при } k_B T [\delta + \ln(\eta)] > \mathcal{E}_0 + \Delta \mathcal{E}. \end{cases} \quad (11)$$

Выражения (10), (11) являются основными расчетными и дают возможность получить численные оценки вероятности деградации P от числа импульсов N , от периода следования импульсов последовательности $T_{\text{пвс}}$, от мощности P одного импульса.

Величину \mathcal{E}_0 можно оценить как $k_B T_{\text{кр}}$, где $T_{\text{кр}} = (T_0 + \Delta T_{\text{кр}})$ – критическое значение температуры, используемое в модели Вунша-Белла, при достижении которого происходит повреждение р-п перехода. Величину $\Delta T_{\text{кр}}$ для разных р-п переходов, например кремниевых, можно определить по эмпирическому выражению, приведенному в работе [11]. Так для переходов р-п переходов с напряжением лавинного пробоя $-7 \dots -9$ В, $\Delta T_{\text{кр}} = 350 \dots 500^\circ$.

На рис. 1 представлена зависимость вероятности деградации полупроводникового элемента для нормального закона распределения P (10) от числа воздействующих радиоимпульсов N . Графики построены при следующих значениях параметров:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} / k_B T(\tau_{\text{пвс}}) = 10; \mathcal{E}_0 / \mathcal{E}_{\text{ср}} = 0,1; \delta = 3, \gamma = 10^{-4}.$$

График 1 соответствует $T_{\text{пвс}} = 250$ нс, $\Delta / E_{\text{ср}} = 1,3$;

график 2 – $T_{\text{пвс}} = 400$ нс, $\Delta / E_{\text{ср}} = 1,3$;

график 3 – $T_{\text{пвс}} = 250$ нс, $\Delta / E_{\text{ср}} = 1,8$;

график 4 – $T_{\text{пвс}} = 400$ нс; $\Delta / E_{\text{ср}} = 2$.

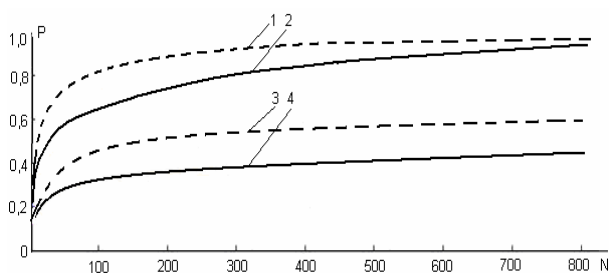


Рис. 1. Зависимость вероятности деградации р-п перехода от количества импульсов в пачке N для нормального закона распределения

На рис. 2 представлена полученная аналогичная зависимость вероятности деградации P при равномерном законе распределения от числа воздействующих радиоимпульсов N для $\Delta\mathcal{E}/\mathcal{E}_0=1$; $\delta=3$; $\gamma=10^{-4}$. График 1 соответствует $T_{пвс}=250$ нс; $\tau_{пвс}=5$ нс; $\mathcal{E}_0/k_B T(\tau_{пвс})=10$; график 2 – $T_{пвс}=400$ нс; $\tau_{пвс}=5$ нс; $\mathcal{E}_0/k_B T(\tau_{пвс})=10$; график 3 – $T_{пвс}=250$ нс; $\tau_{пвс}=5$ нс; $\mathcal{E}_0/k_B T(\tau_{пвс})=5$; график 4 – $T_{пвс}=400$ нс; $\tau_{пвс}=10$ нс; $\mathcal{E}_0/k_B T(\tau_{пвс})=5$.

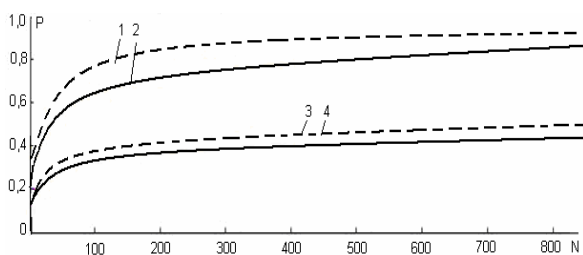


Рис. 2. Зависимость вероятности деградации р-п перехода от количества импульсов в пачке N для равномерного закона распределения

Параметр $\mathcal{E}_0/k_B T(\tau_{пвс})$ обратно пропорционален максимальной температуре, которая достигается в р-п переходе и показывает, во сколько раз энергия сигнала меньше тепловой энергии, достаточной для деградация элемента. Параметр $\Delta\mathcal{E}/\mathcal{E}_0$ характеризует разброс энергии сигнала на разных дефектах р-п перехода и в общем случае он может быть порядка единицы.

Анализ рис. 1, 2 показывает, что при увеличении количества импульсов вероятность деградации р-п перехода стремится к своему предельному значению. Если период следования сигналов в пачке меньше времени релаксации, то деградация элементов может наступить уже при 200÷300 импульсах в пачке. В случае, если время релаксации меньше периода следования импульсов, деградация наступает при $N=800\div 1000$ импульсов при определенных выше значениях энергии сигнала. При этом зависимость вероятности повреждений от длительности импульса гораздо менее существенная.

На рис. 3 представлена зависимость вероятности деградации полупроводниковых элементов P от

частоты повторения импульсов $F_{пвс}$ для нормального закона распределения. Графики построены при $\mathcal{E}_{ср}/k_B T(\tau_{пвс})=10$, $\mathcal{E}_{ср}/\mathcal{E}_0=10$, $\delta=3$, $\gamma=10^{-4}$, $N = 800$. Кривая 1 соответствует $\Delta/\mathcal{E}_{ср} = 1,3$; кривая 2 – $\Delta/\mathcal{E}_{ср} = 1,8$; кривая 3 – $\Delta/\mathcal{E}_{ср} = 2$.

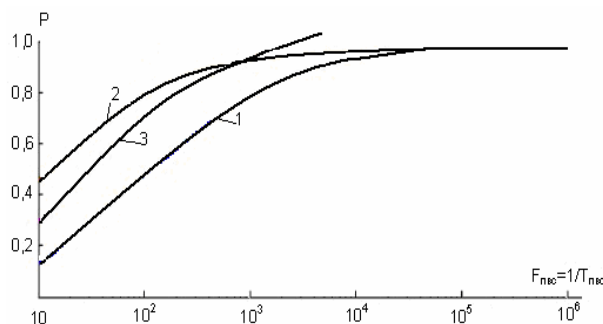


Рис. 3. Зависимость вероятности деградации от частоты повторения импульсов

Из выражения (8) следует, что при $\gamma T_{пвс}$, $N\gamma T_{пвс} \ll 1$ вероятность деградации пропорциональна $\log(N)$ и нарастает с увеличением количества воздействующих импульсов, а при $N\gamma T_{пвс} \gg 1$ вероятность P стремится к постоянной величине.

На рис. 4 представлена зависимость вероятности деградации полупроводниковых элементов от относительной мощности $P/P_{кр}$ для нормального закона распределения. Графики на рис. 3, 4 построены при $\Delta/\mathcal{E}_{ср}=1$, $\mathcal{E}_{ср}/\mathcal{E}_0=1$, $\delta=1$, $N=800$: кривая 1 – $\gamma T_{пвс}=10^{-2}$; кривая 2 – $\gamma T_{пвс}=10^{-5}$.

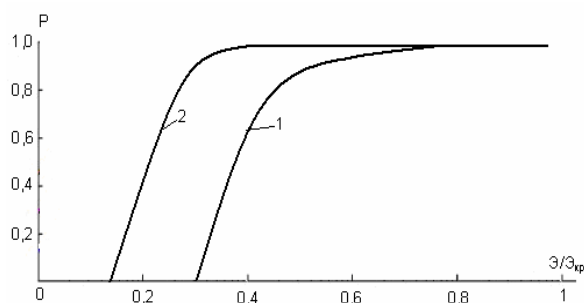


Рис. 4. Зависимость вероятности деградации от относительной энергии

Кривые рис. 4 показывают, что выход из строя полупроводникового прибора происходит при превышении определенного уровня мощности.

Если зафиксировать вероятность деградации на уровне 0,5 в выражении (10), то можно определить зависимость относительной мощности $\mathcal{E}/\mathcal{E}_{кр}$ импульса от периода повторения импульсов $T_{пвс}$ в пачке. Полагая $\mathcal{E}_0=k_B T_{кр}$, для случая $N\gamma T_{пвс} \ll 1$ получим:

$$\frac{\mathcal{E}_{50\%}}{\mathcal{E}_{кр}} \sim \frac{1 + \frac{\Delta}{2k_B T_{кр}}}{\delta + \ln(\gamma T_{пвс})}$$

Из полученного выражения следует, что с уменьшением периода повторения импульсов энергия $\mathcal{E}_{50\%}$ импульса, необходимая для деградации полупроводникового перехода, уменьшается.

Выводы

Предложен усовершенствованный метод определения вероятности деградации полупроводниковых элементов входных трактов приемных устройств, в котором статистические особенности процесса повреждения определяются флуктуациями энергии, необходимой для функционального поражения.

Метод позволяет описывать зависимость вероятности появления повреждений от числа воздействующих радиоимпульсов N , периода пачки $T_{\text{пвс}}$, длительности импульса $\tau_{\text{пвс}}$ и от мощности сигнала.

Список литературы

1. Garver R.V. Dynamic diode mixer damage measurements / R.V. Garver, C. Fazi, H. Druns // *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest*, 1985. – P. 535-536.
2. Glan Chance V. Transin mixer damage / V. Glan Chance // *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest*, 1989. – P. 475-477.
3. Christon A. GaAs mixer burnout mechanisms at 36-94 GHz / A. Christon // *Annual Proc. Reliab. Physics*, 1980. – P. 140-144.
4. Dale M. Planar doped barrier diodes offering improved microwave burnout performance over Si and GaAs Schottky diodes / M. Dale, S. Neylon, A. Condie, M.J. Kearacy // *19 Europe Microwave Conf. Proc.*, 1989. – P. 237-243.
5. Whalen J.J. The RF Pulse Susceptibility of UHF Transistors / J.J. Whalen // *IEEE Trans.*, 1975. – Vol. EMC-17. – No. 1. – P. 118-126.
6. Васильев К.Б. Статистика отказов цифровых ИМС, вызванных импульсным радиоизлучением / К.Б. Васильев, А.В. Ключник, А.В. Солодов // 9-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь, 1999. – С. 329-330.
7. Физические основы надежности интегральных схем / В.Ф. Сынов, Р.П. Пивоваров, Б.К. Петров, Т.В. Долматов; Под ред. Ю.Г. Миллера. – М.: Сов. радио, 1976. – 320 с.
8. Ключник А.В. Моделирование вероятности повреждения СВЧ диодов импульсным радиоизлучением / А.В. Ключник, А.В. Солодов, Ю.А. Пирогов // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». – М.: ИРЭ РАН, 2010. – С. 255-261.
9. Ключник А.В. Статистика повреждения СВЧ диодов импульсным радиоизлучением / А.В. Ключник, Ю.А. Пирогов, А.В. Солодов // *Радиоэлектроника*. – 2010. – №12. – С. 22-29.
10. Ясечко М.Н. Оценивание характеристик многочастотных пространственно-временных сигналов при многоступенчатом распределении частот по апертуре цилиндрической ФАР / М.Н. Ясечко, Г.В. Ермаков // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХУ ПС, 2010. – Вип. 9(90). – С. 126-129.
11. Антипин В.В. Влияние мощных импульсных микроволновых помех на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы / В.В. Антипин, В.А. Годовицын, Д.В. Громов, А.О. Кожевников, А.А. Раваев // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1995. – №1. – С. 37-52.

Поступила в редколлегию 19.08.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ДЕГРАДАЦІЇ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИБОРІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ БАГАТОЧАСТОТНИХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ СИГНАЛІВ

Г.В. Єрмаков, М.М. Ясечко, А.В. Безверхий, А.В. Ірха

Запропонований удосконалений метод визначення ймовірності деградації напівпровідникових елементів вхідних трактів приймальних пристроїв бортових РЕС при використанні послідовностей потужних ультракоротких сигналів. Метод дозволяє визначити ймовірності появи ушкоджень в різних типах напівпровідникових елементів при нормальному та рівномірному законах розподілення теплової енергії. Проведено математичне моделювання ймовірності виникнення ушкоджень напівпровідникових пристроїв з використанням нормального та рівномірного законів розподілення для теплової енергії, що збуджує р-п перехід. Отримані кількісні оцінки для ймовірності відмов вхідних трактів приймальних пристроїв при використанні послідовностей потужних багато частотних просторово-часових сигналів.

Ключові слова: ймовірність деградації, ультракороткі сигнали, закон розподілення, тепла енергія.

METHOD OF RECEIVER SEMI-CONDUCTOR ELEMENTS DEGRADATION PROBABILITY DEFINITION AT USE OF MULTI-FREQUENCY SPATIAL-TEMPORARY SEQUENCES

G.V. Yermakov, M.N. Yasechko, A.V. Bezverhiy, A.V. Irha

The advanced method of radar receiver entrance paths elements semi-conductor degradation probability definition is offered at use of powerful ultrashort signals sequences. The method allows to define probabilities of damages occurrence to various types of semi-conductor elements at normal and uniform laws of thermal energy distribution. Mathematical modeling of semi-conductor damages occurrence devices probability with use of normal and uniform laws of distributions for thermal energy raising p-n transition is spent. Quantitative estimations for probability of receiver entrance paths refusals are received at use of of powerful multifrequency spatial-temporary signals sequences.

Keywords: probability of degradation, ultrashort signals, the distribution law, thermal energy.