UDC 621.3 **doi:** https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.1.20

Aleksandr Serkov, Vitalii Breslavets, Juliya Breslavets, Igor Yakovenko

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

EXCITATION OF OWN OSCILLATIONS IN SEMICONDUCTOR COMPONENTS OF RADIO PRODUCTS UNDER THE EXPOSURE OF THIRD-PARTY ELECTROMAGNETIC RADIATION

Abstract. The **subject** matter is the processes of analysis and mechanisms of interaction of EMP-induced currents and voltages with the processes characterizing the functional purpose of radio products, is usually carried out within the framework of the theory of distributed circuits. The presented approach makes it possible to evaluate the performance criteria in general (for example, to evaluate the critical energy characterizing a thermal breakdown), however, issues related to the determination of various types of electromagnetic interactions that occur directly in the components of a product under the influence of EMR remain open. The **aim** is the possibility of setting up theoretical and experimental studies based on the proposed calculation model for excitation of natural vibrations of a semiconductor structure (exponential growth of amplitude). The parameters of a third-party pulsed electromagnetic field, induced currents and characteristics of semiconductor devices have been established within which the regime of amplification of natural vibrations of a semiconductor structure is observed. The **objectives** are: mechanisms of interaction of induced currents with surface vibrations of semiconductor components of a radio product under the influence of pulsed electromagnetic radiation. The **methods** used are: methods of the theory of small perturbations in determining the spectrum of natural oscillations of the system - currents induced by electromagnetic radiation and natural oscillations of the components of the radio product. The following results are obtained: The mechanisms for the appearance of reversible failures of semiconductor components of radio products under the influence of third-party pulsed electromagnetic fields are determined. It has been established that the presence of a current induced by external radiation leads to the establishment of a mode of amplification of natural oscillations of semiconductor components of a radio product (reversible failures). **Conclusion.** Quantitative estimates of amplification (generation) modes of oscillations of semiconductor devices, distorting their performance depending on the parameters of external electromagnetic influence, allows developing mechanisms for electromagnetic compatibility of microwave radio products. A comparative analysis of the calculated data obtained in the work can be used in the manufacture of radio devices operating in the millimeter and submillimeter range (amplifiers, generators and frequency converters).

Keywords: induced current; electromagnetic pulse radiation; semiconductor components; surface oscillations; oscillation instability.

Introduction

The types of failures of electrical and radio products in the presence of third-party factors are divided into reversible and irreversible [1, 2]. Irreversible failures occur when the performance of a radio product in the presence of external electromagnetic radiation exceeds the permissible limits and the device completely loses its functionality. Reversible failures are characterized by a temporary loss of performance for the time of exposure to electromagnetic radiation. In the absence of electromagnetic influence, the performance of the product is restored. The existing theoretical and experimental studies of the influence of pulsed electromagnetic radiation on the performance of electrical and radio products are mainly aimed at studying irreversible failures. At the same time, the purpose of these works is to determine the performance criteria in general (for example, the critical energy that determines the thermal breakdown). Questions related to the physical mechanisms of interaction of induced currents and natur+al oscillations of components usually remained open.

This work belongs to this area of reversible failure research. It studied the influence of currents induced by external electromagnetic radiation on the waveguide characteristics of semiconductor products, leading to the appearance of reversible failures.

Task solution

In [3-7], the collisionless damping of surface plasmons was studied on the basis of the dispersion equation. and it is shown that the damping of oscillations is caused by the transformation of the surface plasmon field into Van Kampen waves. It is shown that this effect leads to a change in the current-voltage characteristics of semiconductor devices (the appearance of regions of negative resistance), i.e. reversible failures.

In the presented work, the mechanisms of attenuation of surface oscillations of semiconductor components of radio products are studied, when their interaction with conduction electrons is in the nature of collisions. Similar effects are realized in the case when the value of the electron concentration of induced currents is much less than the concentration of semiconductor carriers. The kinetic equation for surface oscillations has the form [4]:

$$\frac{\partial N_{\vec{q}}}{\partial t} = \frac{2\pi}{\hbar}\sum\left|W_{k_1 q k_2}\right|^2 \delta\left(E_1 - E_2 - \hbar\omega_{\vec{q}}\right)\times \times\left[\left(N_{\vec{q}}+1\right)n_{\vec{k}_1}\left(1-n_{\vec{k}_2}\right) - N_{\vec{q}}\, n_{\vec{k}_{21}}\left(1-n_{\vec{k}_1}\right)\right], \qquad (1)$$

where N_q - the number of plasmons in the state; $E_{1,2} = \hbar^2 k_{1,2}^2 / (2m)$ – electron energy; $W_{k_1 q k_2}$ - matrix element of electrons between states $k_1 \to k_2$. The first term on the right side of equation (1) describes the radiation of surface plasmons during the transition of electrons from state to state; the second is the processes of absorption of plasmons during reverse transitions. Plasma medium - a semiconductor structure (medium 1) occupies a region of space $0 \le y \le L$

$(\varepsilon_1(\omega)=\varepsilon_0-\omega_0^2/\omega^2)$, and areas $y<0;\quad y>L$ occupies a dielectric (vacuum) $\varepsilon_2=\varepsilon_d$.

The penetration depth of the wave field remains small compared to, i.e. the fields are localized at the boundaries independently of each other. We will consider the interaction of electrons and natural vibrations of a semiconductor structure near the boundary.

The Hamiltonian of the interaction of electrons with plasmons, which determines the matrix elementюб, has the form [5]:

$$\hat{H}^{(\text{int})}=-\frac{1}{c}\int\hat{j}(r)\hat{A}(r)dr\,. \qquad (2)$$

Here the vector potential: $div\vec{A}=0;\quad \vec{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{A}}{\partial t}$.

It is expressed through the operators of creation and annihilation of vibrations

$$\hat{a}_q^{(+)}(t)=\hat{a}_q\exp(i\omega t);\quad \hat{a}_q(t)=\hat{a}_q\exp(-i\omega t)$$

in the following way:

$$A_\alpha(\vec{r},t)=\sum_q A_\alpha(\vec{q})\vec{e}_\alpha\, e^{i\vec{q}\vec{r}}\left[\hat{a}_q(t)+\hat{a}_{-q}^{(+)}(t)\right];$$

$$e_{1x}=e_{2x}=\frac{q_x}{q\sqrt{2}};\quad e_{1y}=-e_{2y}=\frac{i}{\sqrt{2}};$$

$$e_{1z}=e_{2z}=q_z/\left(q\sqrt{2}\right);\quad q=\sqrt{q_x{}^2+q^2{}_z}; \qquad (3)$$

$$\omega_{-q}=\omega_q=\omega;$$

$$q_{\ y}=-iq\quad y<0;\, q_{\ y}=iq\quad y>0\,.$$

The value is found as a result of quantization of the energy of the plasmon electromagnetic field [5]

$$\hat{H}^{(em)}=\frac{\omega^2}{8\pi c^2}\int[\hat{A}(\omega,r)]^2\frac{d}{d\omega}(\omega\varepsilon(\omega))d\vec{r}\,, \qquad (4)$$

where integration is carried out over the entire region of plasmon localization. Substituting in (4) $[\hat{A}(\omega,r)]^2$, equating

$$H^{(em)}=\sum\frac{\hbar\omega_q}{2}\left[\hat{a}_q\hat{a}_q^+ +\hat{a}_q^+\hat{a}_q\right],$$

we get

$$A_q=\sqrt{4\pi e^2\hbar qc^2/\left(S\omega_q(\varepsilon_o+\varepsilon_d)\right)}\,,$$

where S - surface area of a semiconductor wafer.

The induced current density operator has the form:

$$\vec{\hat{j}}=\frac{e\hbar}{2im_0}\left[\hat{\Psi}^+\hat{\nabla}\hat{\Psi}-\hat{\Psi}\hat{\nabla}\hat{\Psi}^+\right];$$

$$\hat{\Psi}^+=\frac{1}{\sqrt{V}}\sum\hat{b}_k^+(t)\exp(-i(k_xx+k_zz))\sin k_yy$$

$$\hat{\Psi}=\frac{1}{\sqrt{V}}\sum\hat{b}_k(t)\exp(i(k_xx+k_zz)\sin k_yy \qquad (5)$$

$$V=SL\quad;k_y=\frac{\pi}{L}n;\quad n=1,2,3...$$

where $b_k^{(+)}(t)=b_k^{(+)}e^{iE_kt/\hbar};\, b_k(t)=b_k{}^{-iE_kt/\hbar}$ - operators of creation and annihilation of electrons with wave vector. Having carried out the integration in the expression (2), we obtain:

$$H^{(вз)}=\sum_{k_1qk_2}W_{k_1qk_2}b_{k_1}(t)(a_q(t)+a_{-q}^+(t))b_{k_2}^+(t)\,, \qquad (6)$$

where

$$W_{\vec{k}_1\vec{q}\vec{k}_2}=\frac{\dfrac{2k_{1y}k_{2y}(k_1^2-k_2^2)\cdot W_0q_x}{q^2+(k_{2y}-k_{1y})^2}}{\left[q^2+(k_{2y}-k_{1y})^2\right]^{-1}\cdot|q_x|};$$

$$W_0=\sqrt{2\pi e^2q_x\hbar^3/\left(m_0{}^2L_y{}^2S\omega_q(\varepsilon_0+\varepsilon_d)\right)}.$$

Given the law of conservation of energy $E_2=E_1-\hbar\omega_{\vec{q}}$ and assuming $q^2<<(k_{2y}-k_{1y})^2;\quad q<<k_x;\quad q\ <<k_z$ we get the following expression for the matrix element:

$$\left|W_{\vec{k}_1\vec{q}\vec{k}_2}\right|^2=W_0{}^2\left(\frac{\hbar k_y^{(+)}k_y}{m\omega_q}\right)^2;\quad k_y^+=\sqrt{k_y^2+\frac{2m\omega_q}{\hbar}}.$$

Oscillation decrement $\gamma=\frac{1}{2N_q}\frac{\partial N_q}{\partial t}$ determined by the processes of stimulated emission and absorption of waves by particles: $N_q>>1$:

Passing in the kinetic equation (1) from summation to integration ($\sum_{k_y}\ =\frac{L}{\pi}\int\limits_{-\infty}^{\infty}dk_y$) we get the following expression for the decrement .

$$\gamma=\frac{W_0{}^2VL}{4\pi^3\,m\hbar\omega_q{}^2}\int\limits_{k_y>0}dk\,k_y^+k_y^2\left(n_{k^{(+)}}-n_k\right). \qquad (7)$$

Consider the case of a Maxwellian distribution of electrons:

$$n_k=n_0\frac{(2\pi\hbar)^3}{(2\pi mT)^{3/2}}\exp\left(-\frac{\hbar^2k^2}{2mT}\right)$$

Substituting the values into formula (7) and using the dispersion law of surface plasmons $\omega_q^2=\omega_0^2/(\varepsilon_0+\varepsilon_d)$ we get:

$$\gamma\ =\sqrt{\frac{2}{\pi}}q_xv_T\left(\frac{T}{\hbar\omega}\right)\left(\exp\left(-\frac{\hbar\omega}{T}\right)-1\right)\times$$
$$\times\int\limits_{-\infty}^{\infty}x^2\sqrt{x^2+\frac{\hbar\omega}{T}}\ \exp\left(-x^2\right)dx. \qquad (8)$$

It is easy to make sure that the formula (7) in the limiting cases gives the same values of the decrement as the expressions (8). In the case of a degenerate electron gas, the difference $n_{k+}-n_k=n_k(\varepsilon_F+\hbar\omega)-n_k(\varepsilon_F)$ при $\varepsilon_F>>\hbar\omega$ can be represented as $\frac{\partial n_k}{\partial\varepsilon_F}\hbar\omega$ where

$$\frac{\partial n_k}{\partial \varepsilon_F} = n_k \delta(\varepsilon - \varepsilon_F) \quad ; n_k = 1.$$

As a result of integration (7) we again obtain the expression) for in the case of specular reflection of electrons from the boundary.

Thus, the idea of the interaction of surface plasmons and electrons as a collisional process leads to the same results as the method of dispersion relations. In addition, the use of the homogeneous plasma model is valid not only in the classical but also in the quantum approximation.

Equation (1) makes it possible to study the mechanisms of spontaneous emission of particles when $N_q << 1$. Consider the radiation created by a single particle moving at a speed. In this case, it follows from equation (1) at $q_x << k_x; \quad q_z << k_z$:

$$\frac{\partial N_{\vec{q}}}{\partial t} = \frac{4mL}{\hbar^3} \int_0^\infty \left| W_{k0,ky} \right|^2 \delta\left(k_0^2 - k_y^2 - \frac{2m\omega_q}{\hbar} \right) dk_y. \quad (9)$$

Taking into account the condition: $k_0^2 >> 2m\omega_q / \hbar$, let us determine the power of spontaneous emission of an electron:

$$\hbar\omega_q \frac{\partial N_{\vec{q}}}{\partial t} = \frac{4\pi e^2 q v_0^3}{V {\omega_0}^2}. \quad (10)$$

If the number of particles in the state is equal, then the right side must be multiplied by this value. Let us compare the radiation power with the value of the energy loss of a particle during its reflection from the interface.

The fields created by the particle will be described by the following equations:

$$\operatorname{rot} \vec{E}(\vec{r},t) = 0;$$
$$\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi e \delta(x)[\delta(y - v_0 t) + \delta(y - v_0 t)]\delta(z);$$
$$\vec{D}(\vec{r},t) = \int_\infty^t \varepsilon(t - t')\vec{E}(\vec{r},t')dt'; \qquad y > 0.$$

$$\begin{aligned} &rot\vec{E}(\vec{r},t) = 0; \qquad \operatorname{div} \vec{D} = 0; \\ &\vec{D}(\vec{r},t) = \varepsilon_d \vec{E}(\vec{r},t); \qquad y < 0. \end{aligned} \quad (11)$$

The Fourier components of the electron field have the following form:

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \sum_{q_x,q_z} \int_{-\infty}^{\infty} \vec{E}(\omega,\vec{q},y)\, e^{i(\vec{q}\vec{p} - \omega t)}\, d\omega;$$
$$q = \sqrt{q_x^2 + q_z^2},$$
$$E_x(\omega,\vec{q},y) = -\frac{ieq_x v_0 \cos(\omega/v_0)\, y}{\pi^2 \varepsilon(\omega) S\left(\omega^2 + q^2 v_0^2\right)},$$
$$E_y(\omega,\vec{q},y) = -\frac{ie\omega \sin(\omega/v_0)\, y}{\pi^2 \varepsilon(\omega) S\left(\omega^2 + q^2 v_0^2\right)}$$

$$\varepsilon(\omega) = \int_0^\infty \varepsilon(\tau)\, e^{i\omega\tau}\, d\tau. \quad (12)$$

Further

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_0 - \omega_0^2 / \omega^2; \quad \omega^2 >> q^2 v_0^2.$$

To these fields it is necessary to add free fields, which are solutions of homogeneous equations (11) in media “1” - “2”:

$$\begin{aligned} &E_x(\omega,\vec{q},y) = A_1\, e^{-qy}, \\ &E_y(\omega,\vec{q},y) = i\frac{q}{q_x} A_1\, e^{-qy}; \qquad y > 0; \\ &E_x(\omega,\vec{q},y) = A_2\, e^{qy}, \\ &E_y(\omega,\vec{q},y) = -i\frac{q}{q_x} A_2\, e^{qy}; \qquad y < 0. \end{aligned} \quad (13)$$

From the boundary conditions we find:

$$\begin{aligned} &A_1 = \frac{ieq_x v_0}{\pi^2 \varepsilon(\omega)} \frac{\varepsilon_d}{(\varepsilon(\omega) + \varepsilon_d)}; \\ &A_2 = -\frac{\varepsilon(\omega)}{\varepsilon_d} A_1. \end{aligned} \quad (14)$$

The normal component of the electric field in medium “1” has the form:

$$\begin{aligned} &\vec{E}_y(\vec{r},t) = -\frac{8\pi e v_0}{S(\varepsilon(\omega) + \varepsilon_d)} \times \\ &\times \sum_{q_x q_z} \frac{q}{\omega_q} e^{i\vec{q}\vec{p}} \sin\omega t; \quad t > 0; \\ &\vec{E}_y(\vec{r},t) = 0; \qquad t < 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Analysis

The energy loss of a particle for the excitation of a surface plasmon per unit time $\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$ is determined from the equation of motion:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = e v_0 E_y. \quad (16)$$

In this formula, one should substitute the value of the field at the point where the particle is located

$$x = 0; \quad y = v_0 t; \quad z = 0.$$

Next, it is necessary to average the expression for the energy loss over the time of flight by the particle of the region of interaction with the wave in the forward and backward directions: $\tau = 2L/v_0$

Then the average particle energy losses per unit time for excitation.

Then the average particle energy loss per unit time for excitation q - harmonics of the plasmon field takes the form:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -\hbar\omega_q \frac{\partial N_{\vec{q}}}{\partial t}. \quad (17)$$

Thus, the loss of particle energy (spontaneous emission of a surface plasmon) arises as a result of the transformation of the Van Kampen wave incident on the boundary into the plasmon field. Knowing the expression for the matrix element, one can estimate the integral of collisions of electrons with surface plasmons and find the change in the number of electrons $n_{k1} = n_{k0}\delta_{k1k0}$ capable of k_0 upon their transition to the state k as a result of spontaneous emission of surface plasmons ($N_q \to 0$).

As a result, we get:

$$\frac{\partial n_{k0}}{\partial t} = -n_{k0}\frac{4\pi e^2 q v_0^3}{V\omega_0^2\hbar\omega_q}\ ;\ \frac{\partial n_k}{\partial t} = -\frac{\partial n_{k0}}{\partial t}. \qquad (18)$$

The electron energy loss in this case during the transition is equal to:

$$E_0\frac{\partial n_{k0}}{\partial t} + E\ \frac{\partial n_k}{\partial t} = (E_0 - E\ )\frac{\partial n_{k0}}{\partial t},$$

where $$E_0 - E\ = \hbar\omega_q; \frac{\partial n_{k0}}{\partial t} = -\frac{\partial N_q}{\partial t}.$$

Let us give quantitative estimates. For wafer with transverse dimensions $a = 10^{-1}$ cm, with current density $j \sim 100$ A/cm ^{2}, ($v_0 = 3\cdot 10^9$ cm/s, $n_0 \sim 10^{11}$ cm^{-3}) energy loss for surface plasmon excitation ($\omega \sim 10^{10}$ s^{-1}, $q \sim 3$ см$^{-1}$) equal $\left|\frac{d\varepsilon}{dt}\right| \sim 1$ µW.

For modern semiconductor components of radio products, such losses are quite detectable and can cause reversible failures (the appearance of segments of current-voltage characteristics with negative resistance).

Conclusions

The mechanisms of attenuation of surface electromagnetic oscillations in semiconductor components of electrical and radio products based on the concepts of Van-Kampen waves are determined. It is shown that the damping of oscillations of this kind is due to the fact that oscillations excite Van Kampen waves at the media interface, which are modulated by the surface wave field and carry the field energy deep into the medium.

A kinetic equation has been obtained that describes the change in the number of surface plasmons as a result of their interaction with conduction electrons; its solutions are given, which determine the decrement of oscillations and the power of spontaneous emission of particles.

The presented approach makes it possible to evaluate the performance criteria of electrical radio products and solve issues related to the description of various kinds of electromagnetic interactions that occur directly in the components of the product when exposed to pulsed radiation.

Quantitative estimates of amplification (generation) modes of oscillations of semiconductor devices, distorting their performance depending on the parameters of external electromagnetic influence, allows developing mechanisms for electromagnetic compatibility of microwave radio products.

References

1. Beletsky, N.N., Svetlichny, V.M., Halameida, D.D. & Yakovenko, V.M. (1991), *Electromagnetic phenomena of the microwave range in inhomogeneous semiconductor structures*, Science thought, Kyiv, 216 p.
2. Zi, C. (1984), *Physics of semiconductor devices*, Mir, Moscow, 456 p.
3. Mikhailov, M.I., Razumov, L.D. & Sokolov, S.A. (1979), *Electromagnetic influences on communication facilities*, Radio and communication, Moscow, 225 p.
4. Steele, M. and Vyural, B. (1973), *Interaction of Waves in Solid State Plasma*, Atomizdat, Moscow, 312 p.
5. Myrova, L.O. & Chepizhenko, A.Z. (1988), Ensuring the resistance of communication equipment to ionizing electromagnetic radiation, Radio and communication, Moscow, 235 c.
6. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. & Losev, F.V. (2013), “Influence of the flux of charged particles. Induced by external electromagnetic radiation, on the waveguide characteristics of semiconductor components of electrical and radio products”, *Bulletin of NTU “KhPI"*, No. 27, pp. 83–89.
7. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. & Losev, F.V. (2013), “Attenuation of surface oscillations of semiconductor structures of electrical and radio products under the influence of external electromagnetic radiation”, *Bulletin of NTU “KhPI"*, No. 27, pp. 96–103.

Received (Надійшла) 19.11.2021
Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.01.2022

About the authors / Відомості про авторів

Серков Александр Анатолійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Aleksandr Serkov– Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e mail: saa@kpi.kharkov.ua; ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6446-5523.

Бреславець Віталій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Vitalii Breslavets – candidate of technical sciences, Associate Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e mail: bres123@ukr.net; ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9954-159X.

Бреславець Юлія Віталіївна – асистент кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Juliya Breslavets – assistant of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: juliettar941gmail.com; ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4530-8028.

Яковенко Ігор Володимирович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Igor Yakovenko– Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e mail: yakovenko60iv@ukr.net; ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0963-4347.

Порушення власних коливання напівпровідникових комплектуючих радіовиробів при дії сторінного електромагнітного випромінювання

А. А. Серков , В. С. Бреславець , Ю. В. Бреславець, І. В. Яковенко

Анотація. Предметом дослідження є процес аналізу механізмів взаємодії наведених ЕМІ струмів і напруги з процесами, що характеризують функціональне призначення радіовиробів, зазвичай проводиться в рамках теорії ланцюгів з розподіленими параметрами. Представлений підхід дозволяє оцінити критерії працездатності в цілому (наприклад оцінити критичну енергію, що характеризує тепловий пробій), проте питання пов'язані з визначенням різного роду електромагнітних взаємодій, що протікають безпосередньо в комплектуючих вироби при впливі ЕМІ залишаються відкритими. **Метою дослідження** є можливість постановки теоретичних та експериментальних досліджень на основі запропонованої розрахункової моделі порушення власних коливань напівпровідникової структури (експоненційного зростання амплітуди). Встановлено параметри стороннього імпульсного електромагнітного поля, наведених струмів та характеристик напівпровідникових приладів у межах яких спостерігається режим посилення власних коливань напівпровідникової структури. **Цілі такі**: механізми взаємодії наведених струмів з поверхневими коливаннями напівпровідникових комплектуючих радіовиробу за умов впливу імпульсного електромагнітного випромінювання. **Методи, що застосовувались при дослідженні**: методи теорії малих обурень щодо спектру власних коливань системи - наведені електромагнітним випромінюванням струми і власні коливань комплектуючих радіовиробів. **Отримано такі результати**: Визначено механізми появи оборотних відмов виробів напівпровідникових комплектуючих радіовиробів за умов впливу сторонніх імпульсних електромагнітних полів. Встановлено, що наявність наведеного зовнішнім випромінюванням струму призводить до встановлення режиму посилення власних коливань напівпровідникових комплектуючих радіовиробів (зворотних відмов). **Висновки**. Кількісні оцінки режимів посилення (генерації) коливань напівпровідникових приладів, що спотворюють їх робочі характеристики залежно від параметрів зовнішнього електромагнітного впливу, дозволяє розробляти механізми електромагнітної сумісності радіовиробів НВЧ-діапазону. Порівняльний аналіз, отриманих у роботі розрахункових даних може бути використаний при виготовленні радіовиробів, що працюють у міліметровому та субміліметровому діапазоні (підсилювачів, генераторів та перетворювачів частоти).

Ключові слова: наведений струм; електромагнітне імпульсне випромінювання; напівпровідникові комплектуючі; поверхневі коливання; нестійкість коливань.

Возбуждение собственных колебаний полупроводниковых комплектующих радиоизделий при воздействии стороннего электромагнитного излучения

А. А. Серков, В. С. Бреславец, Ю. В. Бреславец, И. В. Яковенко

Аннотация. **Предмет исследования** – процесс анализа механизмов взаимодействия наведенных ЭМИ токов и напряжений с процессами, характеризующими функциональное назначение радиоизделий, обычно проводится в рамках теории цепей с распределенными параметрами. Представленный подход позволяет оценить критерии работоспособности в целом (например, оценить критическую энергию, характеризующую тепловой пробой), однако вопросы связанные с определением различного-рода электромагнитных взаимодействий, протекающих непосредственно в комплектующих изделия при воздействии ЭМИ остаются открытыми. **Цель исследования** — возможность постановки теоретических и экспериментальных исследований на основе предложенной расчетной модели возбуждения собственных колебаний полупроводниковой структуры (экспоненциального роста амплитуды). Установлены параметры стороннего импульсного электромагнитного поля, наведенных токов и характеристик полупроводниковых приборов в рамках которых наблюдается режим усиления собственных колебаний полупроводниковой структуры. **Исследованы**: механизмы взаимодействия наведенных токов с поверхностными колебаниями полупроводниковых комплектующих радиоизделия в условиях воздействия импульсного электромагнитного излучения. **Использованы следующие методы**: методы теории малых возмущений при определении спектра собственных колебаний системы - наведенные электромагнитным излучением токи и собственные колебаний комплектующих радиоизделия. **Следующие результаты получены**. Определены механизмы появления обратимых отказов изделий полупроводниковых комплектующих радиоизделий в условиях воздействия сторонних импульсных электромагнитных полей. Установлено, что наличие наведенного внешним излучением тока приводит к установлению режима усиления собственных колебаний полупроводниковых комплектующих радиоизденлия (обратимым отказам). **Выводы.** Количественные оценки режимов усиления (генерации) колебаний полупроводниковых приборов, искажающие их рабочие характеристики в зависимости от параметров внешнего электромагнитного воздействия, позволяет разрабатывать механизмы электромагнитной совместимости радиоизделий СВЧ –диапазона. Сравнительный анализ, полученных в работе расчетных данных может быть использован при изготовлении радиоизлелий, работающих в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне (усилителей, генераторов и преобразователей частоты).

Ключевые слова: наведенный ток; электромагнитное импульсное излучение; полупроводниковые комплектующие; поверхностные колебания; неустойчивость колебаний.