ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF SEMICONDUCTOR DEVICES EXPOSED TO TRANSITION RADIATION

Abstract. The subject of the paper is an analysis and a physical model of the occurrence of reversible failures in semiconductor diodes (when current-voltage characteristics of the devices are influenced by electromagnetic radiation (EMR)). The model is based on the mechanism with which the energy of currents induced by external EMR is converted into the energy of natural electromagnetic oscillations of solid-state components of radio units (transition radiation effect). The aim of the paper is to justify experimental studies on the basis of the proposed physical model of reversible failures (occurrence of negative resistance sections in current-voltage curve of semiconductor diodes). We determined external electromagnetic radiation and semiconductor device parameter ranges with which this physical model can be applied. We conducted some experiments to study the influence of pulsed electromagnetic radiation on the current-voltage characteristics of direct current diode sections. The experiments justified the presence of areas with negative differential resistance characteristic for the natural oscillation generation mode (an increase in forward current when the voltage drops). Our objectives are to perform experimental study of interactions between the currents induced by external EMR and electrostatic oscillations of a semiconductor structure. Such interactions result from conversion of energy of moving charges (induced currents) into energy of electromagnetic oscillations under conditions of transition radiation when the particle flux goes along the normal to a semiconductor structure boundary. The methods used are analytical methods, i.e. solving Maxwell's equations and medium equations in the framework of the hydrodynamic approach. The following results were obtained. Experimental studies of behavior of semiconductor components of electrical radio units exposed to strong pulsed electromagnetic fields have been carried out. The nature of changes in the performance of semiconductor components has been studied. It has been shown that the impact of pulsed electromagnetic radiation is accompanied by currents in the conductive elements of the units. We define here a certain type of reversible failures of semiconductor radio units. Failures of this type occur due to interaction between the external radiation induced currents and own fields of radio equipment components. Such failures occur in presence of transition radiation (when the current is directed along the normal to the boundary of the unit). We argue that such interactions lead to energy losses in induced currents due to excitation of natural oscillations in the units, i.e. the unit enters an oscillation generation mode, which is characterized by a change in the current-voltage characteristics of devices. With the results of comparative analysis of the experimental and calculated data obtained in this work, it is possible to use the proposed physical model of reversible failures and calculated derived relationships to determine criteria of occurrence and quantitative characteristics of reversible failures in semiconductor diodes exposed to pulsed electromagnetic radiation (occurrence of S-shaped sections of direct current).

Conclusion. The results obtained can be used to assess electromagnetic compatibility of active electronic devices (millimeter/submillimeter amplifiers, generators and transducers of electromagnetic oscillations) exposed to external pulsed electromagnetic fields. A comparative analysis of quantitative estimates of reversible failures of semiconductor devices depending on the spatial configuration of the affecting field (the induced current is normal to the structure boundary) allows us to solve the problem of optimizing the degree of distortion in the operating characteristics of these devices.

Keywords: electromagnetic radiation; semiconductor structures; surface oscillations; charged particles; decrement of oscillations.

Introduction

The whole variety of failures that occur in electronic equipment resulting from the impact of external factors is divided into categories: reversible and irreversible [1-3]. Irreversible failures lead to complete cease of equipment functioning. They occur when the changes in equipment internal parameters of the go beyond the permissible limits (when exposed to external electromagnetic radiation (EMI), irreversible failures usually occur due to thermal breakdown of components). Reversible failures are characterized by a temporary interrupt in functioning leading to a distortion in the output characteristics.

Available theoretical and experimental results of studies of the EMR impact on electrical radio equipment (ERE) mainly relate to irreversible failures [2]. At the same time, there are still many open questions as to what degree interaction between induced EMR currents and natural electromagnetic oscillations occurring directly in ERE components, may affect the performance of the ERE. Meanwhile, interactions of this kind actually determine the degree of deviation of the output characteristics from the normal values and the possibility of recovery of component normal functioning, i.e. reversibility criteria for the failures.

Here we propose and verify a physical model of reversible failure occurrence in semiconductor diodes (from impact of electromagnetic-radiation-induced currents on current-voltage characteristics of the devices). This model is based on the mechanism converting the energy of currents induced by external EMR into the energy of natural electromagnetic oscillations of solid-state components of radio equipment (transition radiation effect). We also describe our experimental studies of the impact the pulsed electromagnetic radiation has on the current-voltage characteristics of direct current sections of diodes. The results of the comparative analysis of the experimental and calculated data obtained in this work make it possible to use the proposed physical model of reversible failures and the calculated ratios obtained on its basis to determine the criteria for occurrence of reversible failures as well as their quantitative characteristics.
Task solution

Problem formulation. In [5], a model is proposed for converting the energy of currents induced by external EMR into the energy of natural electromagnetic oscillations of solid-state components of the ERE, which leads to the occurrence of reversible failures in the latter (temporary alterations in their performance).

The possibility of this energy conversion is determined by the effect of transition radiation. This effect takes place when the induced current (the direction vector of the affecting EMR electric field strength) is perpendicular to the boundaries of the semiconductor device (in particular, diode) and manifests itself in the following [4].

When a charge moves in a material medium, the produced electromagnetic field is determined not only by the magnitude of the charge and its speed, but also by the dielectric properties of the medium. If these properties change when a charge with a constant speed crosses the interface between the media (semiconductor structure), the field created by the charge changes, the field partially separates from the particle and the separated portion can be radiated into space. The resulting radiation received the name of transition radiation. As a result, the electromagnetic-radiation-induced particle flux passage through a semiconductor structure leads to continuous process that converts the energy of the charges into the energy of natural oscillations of the field. The structure switches to oscillation generation.

Thus, the electronic system loses some of its energy, i.e. an increase in current is accompanied by drop in voltage, which leads to negative resistance sections in the current-voltage curve. This mode (of generation and instable oscillation) is characteristic for exponential increase in the amplitude of the natural oscillations of the structure ($\approx \exp(\gamma t)$), where $\gamma$ is the instability increment.

The results of beam instability studies (determination of instability increment) obtained in [5] let us to estimate the radiation energy of natural oscillations and to obtain the calculated relationships between the parameters of the impacting pulsed field, the semiconductor device parameters and the degree of deviation of device I-V curve within the direct current section.

The radiation power $\Delta P_{\text{rad}}$ of natural oscillations of a semiconductor device exposed to an external field (in the presence of induced current) can be defined as particle flux translational motion energy loss (kinetic energy) during the passage of a particle flux through the surface wave field localization region.

$$\Delta P_{\text{rad}} = \Delta W_{\text{rad}} / \Delta t,$$  

where $\Delta W_{\text{kin}} = (mv^2/2)(n_{ob}V)$; $mv^2/2$ is the kinetic energy of a particle of the beam induced by an external impulse; $n_{ob}, v, e, m$ are respectively concentration, drift velocity, charge and mass of the beam electrons, $V$ is the volume occupied by the induced current (the volume of the solid-state structure). In the beam instability mode, the drift velocity $v \approx v_0 \exp(+\gamma t)$, therefore:

$$\Delta P_{\text{rad}} \approx m v_0^2 \gamma (n_{ob}V)$$

where $\gamma = (\omega_0^2/\omega^2) \cdot \tau^{-1}$ is the increment of the beam instability of the surface oscillations of a structure within the semiconductor device having natural frequency $\omega_0$ (a surface polariton) [6]; $\omega_0 = \sqrt{4\pi\varepsilon n_{ob}/m}$ is the plasma frequency of the electrons of the flux induced by the external electromagnetic radiation; $\tau$ is the time the charge drifts through the oscillation localization region.

Thus, the energy $\Delta W_{\text{rad}}$ radiated during $\Delta t_{\text{rad}}$ – the time of exposure to an external EMR voltage pulse – is determined by the following equation:

$$\Delta W_{\text{rad}} = \Delta P_{\text{rad}} \Delta t_{\text{rad}} = m v_0^2 \gamma (\omega_0^2/\omega^2) \cdot \tau^{-1} (n_{ob}V) \Delta t_{\text{rad}}.$$  

The parameters determining the value of $\Delta W_{\text{rad}}$ can be estimated using the existing experimental relations between the characteristics of the currents induced in the structures under study [7-10] (i.e. concentration $n_b$, drift velocity $v_0$ and Langmuir frequency $\omega_b$ of the induced current electrons) and the parameters of the external pulsed electric field (amplitude $E_0$ and duration $\Delta t_{\text{imp}}$). Own frequencies $\omega_0$ are determined by the parameters of the structure of the semiconductor device under study (carrier concentration, dielectric permittivity and dimensions). For high frequency and pulsed semiconductor diodes studied here, the frequencies $\omega_0$ falls within the submillimeter range.

With relation (3), it is possible to estimate the energy losses the currents induced by external EMR experience due excitation natural oscillations of metal-semiconductor-dielectric structures constituting semiconductor diodes. It is obvious that the generation mode in semiconductor devices leads to the occurrence of S-shaped direct current sections with negative differential resistance on the I-V curves for the device [11] because negative resistance characterizes the amount of energy the solid-state electronic system losses with radiation - (Fig. 1, section A-B) i.e.

$$dR = dU/dI < 0; \quad dU < 0; \quad dI > 0.$$

Thus, due to the exposure to external electromagnetic radiation, an increase in the forward current is accompanied by a decrease in the voltage on the diode. The presence of a negative resistance region on the I-V curve characterizes the possibility that a kind of reversible failure occurred (temporary change in current-voltage characteristics) resulted from the transformation of the induced current energy into oscillation energy, which is radiated into the environment.
As a result, the energy loss of the induced current during the exposure to a voltage pulse $\Delta I_{\text{imp}}$ in the experiment can be estimated by the following equation:

$$\Delta W_{\text{rad}} = \Delta P_{\text{rad}} \Delta t_{\text{rad}} = I_{\text{rad}} U_{\text{rad}} \Delta t_{\text{rad}}$$

where $I_{\text{rad}}$ is the magnitude of the direct current of the diode in the section A–B (Fig. 1); $U_{\text{rad}}$ is the voltage in the section A–B (Fig. 1) during the exposure to external EMR.

**Objective:**

1. Experimental assessment of the degree of distortion of the current-voltage characteristics of semiconductor diodes exposed to external electromagnetic radiation.
2. Determination of the presence of negative resistance direct current sections, depending on the parameters of the diode and external EMR.
3. A comparative analysis of the calculated data obtained on the basis of the physical model and experimentally obtained data (Figure 1.)

**The object of the study** is the current-voltage characteristics of the following semiconductor devices exposed to pulsed electromagnetic radiation: a 2D922B planar silicon diode with Schottky barrier and a KD409A silicon epitaxial diode. These units are used in high-speed impulse devices for converting alternating voltage. Electrical characteristics and parameters of the diodes are provided in Table 1.

**The scheme of the experiment and its results.**

Experimental studies of pulsed electromagnetic field impact on function of semiconductor devices have been carried out using Reference Standard of Ukraine for pulsed electric and magnetic fields (REMP Standard) developed at Molniya Research and Design Institute, NTU “KhPI” [6].

The experimental equipment consisted of a high-voltage pulsed power supply (HVPPS) being discharged to a field-forming system (FS) in the form of a symmetric closed stripline (SL) (Fig. 2).

**Table 1 — The Electrical Parameters of the Diodes and the Requirements to the REMP Parameters**

| Parameter                           | Magnitude          |
|-------------------------------------|--------------------|
| 1. Electric field strength, kV/m    | from $10^{-3}$ to 200 |
| 2. Magnetic field strength, A/m     | from 0.1 to 530     |
| 3. The duration of the pulse, ns, max. | 1                  |
| 4. Pulse duration at 0.5, mcs, max. | 100                |
| 5. Working volume dimensions         | 500×500×150         |

The HVPPS generates discrete high voltage pulses with temporal parameters provided in Table 1, the amplitudes of these pulses to ensure generation of necessary levels of $E$ and $H$ fields taking into account FS transformation.

The main requirement to FS is to generate $E$ and $H$ fields with uniform structure, certain directions of field vectors and amplitudes that can be easily calculated from geometrical sizes of FS. Guidelines of the stripline type are the most suitable to this requirement.

A flat TEM-type electromagnetic wave propagates along the SL and has a definite direction of the vectors of $E$ and $H$ fields in any transverse section of the SL (Fig. 3). The SL dimensions determine the dimensions of the working volume where the test object is located (the connection circuit of a semiconductor diode). In this case, the dimensions of the SL are chosen in such a way that the wave impedance of the SL be $50 \Omega$.

During the experimental studies of EMR impact on the performance of semiconductor diodes, we used an SL-24 strip line with a height of 24 cm working with nanosecond pulses, since the mechanisms of external electromagnetic field influence studied here are implemented in this time range.
In the experiments, one of the indicated diodes was sequentially connected to a direct current source and resistances, one of which \((R_1)\) allowed the current of the diode \((I)\) to be changed, and the other \((R_2 = 50\Omega)\) provided matching mode with a cable connection to an oscilloscope (recorder) (Fig. 4).

![Fig. 3. The SL electromagnetic field vector directions.](image)

![Fig. 4. The scheme of the experiment](image)

![Table 2](image)

The circuit, with the exception of the diode, was placed in a shielded volume and was taken out of the field-formation system (FFS). The object being exposed to a pulsed electromagnetic field (diode) was itself located between the plates of the stripline (Fig. 5). Fig. 5 shows the variants of the arrangement of the diode relative to the acting external field.

In the course of the experiment, we studied the influence of a pulsed electromagnetic field on current-voltage characteristics of the diode when the intensity vector of the external electric field is directed parallel to the direct current of the diode (this case corresponds to Cherenkov radiation mechanism), Fig. 6.

![Fig. 5. Variants of the test object location within the field formation system](image)

![Fig. 6. The vector directions of the direct current diode and the external field under transition radiation](image)

The direct forward current of diode \(I\) increased from 5 to 30 mA. The temporal parameters of a field strength pulse generated in the SL system:
- front duration \(-0.5\) ns;
- field strength pulse duration \((\Delta t_{imp})\) \(-500\) ns.

During the experiment, we studied the effect of a pulsed electromagnetic field with field strength amplitudes \(E = 10, 20\) and \(30\ kV/m\) on the level of the resulting voltage pulse \((U)\) at the test object (diode).

Each step of increase in the current of the diode with an interval \(\Delta I = 5mA\) was accompanied by the impact of an EMR pulse in the field formation system. The evolution of the amplitude of the voltage pulse \((U)\) at the diodes depending on the step-by-step change in the forward current \((I)\) with simultaneous exposure to an external EMR was recorded with an oscilloscope.

Thus, we obtained the ratios of the voltage pulse \(U\) amplitude to the level of direct current at diode \(I\) for each of the indicated levels of the applied EMR \((E = 10, 20\) and \(30\ kV/m\)) and determined the shapes of the corresponding sections of the I-V curve.

The ratios of the voltage pulse amplitudes to the levels of direct current at the diodes are provided in Table 2. The data obtained shows that with increase in the current a decrease in the amplitude of the voltage pulse is observed, which corresponds to the I-V curve section with negative resistance of oscillation generation region (section A–B in Fig. 1).

The indicated diode types were chosen for the experimental studies because the working range of their parameters (current and voltage within the direct bias section) with electric field strength pulse duration in order of several hundred ns and the pulse amplitude about \(10–30\ kV/m\) determines the range of the radiation energy of natural electromagnetic oscillations of the semiconductor structures of the device components to be \(10^{-7}–10^{-6}\) J. The radiation energy determined on the basis of the proposed physical model of reversible failures of semiconductor devices falls within the same range.

![Table 2](image)
The analysis of the current-voltage characteristics obtained experimentally indicates the presence of sections with negative differential resistance similar to the calculated direct current section of the physical model of reversible semiconductor device failures (section A–B in Fig. 1) because under the experimental conditions the increase in direct current was accompanied by a decrease in the total (including the external influence) voltage at the diode.

In this case, the deviation character of the current-voltage characteristic obtained during the experiment did not depend on the pulse amplitude of the impacting voltage.

This mode of growth of radiation energy of electromagnetic oscillations of semiconductor devices due to the energy of induced currents is, in our opinion, determined by the mechanisms of beam instabilities.

**Analysis**

Let us present a comparative analysis of the values of radiation energy of natural oscillations of semiconductor diodes 2D922B and KD409A obtained experimentally and quantitative estimates of the magnitude of the radiation energy obtained by calculation based on the physical model of reversible failures of semiconductor devices proposed here.

It was found experimentally that an increase in the forward current of diode 2D922B within the range \( \Delta I \approx 5 \pm 30 mA \) (the amplitude of the impulse of the acting voltage falls within \( E_0 \approx 10 \pm 30 kV/m \)) leads to a drop in the amplitude of the voltage pulse at the diode within \( \Delta U \approx 1550 \pm 2800 mV \). This means that a section with negative resistance appear on the I-V curve of the diode (section A–B in Fig. 1).

When the pulse duration \( \Delta t_{imp} \approx 500 ns \), the range of radiation energy determined using equation (4)

\[
\Delta W_{rad} \approx 0,6 \cdot 10^{-9} - 1,2 \cdot 10^{-8} J.
\]

For KD409A diode, with similar parameters of the acting pulse and in the same direct current ranges, the drop in the voltage amplitude at the diode is within \( \Delta U \approx 950 \pm 1400 mV \), and the radiation energy is \( \Delta W_{rad} \approx 0,3 \cdot 10^{-9} - 0,8 \cdot 10^{-8} J \).

Let us determine now the energy losses of charged particle fluxes induced by external pulsed radiation, occurring due to the excitation of natural oscillations of solid-state structures, using the physical model of reversible failures proposed here (equation (3)).

The parameter levels that determine \( \Delta W_{rad} \) can be estimated using the existing experimental dependencies relating the induced current magnitude in silicon structures constituting the objects under study (diodes) [7] to the levels of external electric field strengths \( E_0 \) (i.e., the concentration of electrons of the induced current \( \omega_0^2 = 4\pi e^2 n_0 / m \) and drift speed \( v_0 \)).

When changing the parameters of the acting pulse, similar to that used in the experiment \( (E_0 \approx 10 \pm 30 kV/m, \Delta t_{imp} \approx 500 ns) \) for the studied silicon diodes 2D922B and KD409A the values of the parameters falls within the following ranges:

\[
n_0 \approx 10^{10} - 10^{12} cm^{-3}, \quad v_0 \approx 10^6 - 10^7 cm/s,
\]

\[
\omega_0 \approx 10^9 s^{-1}.
\]

The natural frequencies (surface polaritons) of the \( \omega_0 \) structures constituting the diodes are determined from the magnitudes of the Langmuir oscillations \( \omega_0 = \sqrt{4\pi e^2 n_0 / m} \), i.e. electron concentration \( n_0 \) in semiconductor component constituting the diodes:

\[
\omega_1 \approx \omega_0 \approx 10^{10} - 10^{11} s^{-1} [7].
\]

While the value of \( \Delta W_{rad} \) is \( 10^{-7} - 10^{-9} J \) according to (3).

The comparative analysis of the experimental and calculated data shows that the transition radiation energy for the studied semiconductor devices (diodes) is determined by one order of magnitude \( \Delta W_{rad} \approx 10^{-7} - 10^{-9} J \) with a general tendency of increase in the radiation energy depending on the physical parameters of the component materials and characteristics (amplitude increase) of the applied voltage pulse.

**Conclusions**

1. We have justified the experimental procedure for studying a physical model proposed in [5] and describing the occurrence of reversible failures (the effects the current induced by electromagnetic radiation has on current-voltage characteristics of semiconductor devices). We have also determine the ranges of external electromagnetic radiation parameter values at which this physical model can be applied (electric field strength amplitude \( E < 100 kV/m \) and pulse duration \( \Delta t_{imp} \approx 500 ns \).

2. The experimental studies were performed to determine the impact pulsed electromagnetic radiation (with electric field strength amplitude \( E \approx 10 \pm 30 kV/m \) and pulse duration \( \Delta t_{imp} \approx 500 ns \) ) has on the current-voltage characteristics of direct current sections of diodes (namely 2D922B silicon planar diode with a Schottky barrier and KD409A silicon epitaxial diode). They revealed the presence of negative differential resistance sections in the curve, characterizing the mode of generation of natural oscillations in these devices (increase in direct current accompanying the voltage drops).

The results of a comparative analysis of the experimental and the calculated data obtained here make it possible to use the proposed physical model of reversible failures and the calculated relationships derived from it to determine the criteria for the occurrence of reversible failures in semiconductor diodes exposed to pulsed electromagnetic radiation (the occurrence of S-shaped sections of direct current curve) and quantitative characteristics of such failures.
References

1. Beletsky, N.N., Svetlichny, V.M., Halameida, D.D. and Yakovenko, V.M. (1991), *Electromagnetic phenomena of the microwave range in inhomogeneous semiconductor structures*, Naukova Dumka, Kyiv, 216 p.

2. Zi C. (1984), *Physics of semiconductor devices*, Mir, Moscow, 456 p.

3. Mikhailov, M.I., Razumov, L.D. and Sokolov, S.A. (1979), *Electromagnetic effects on communication facilities*, Radio and communication, Moscow, 225 p.

4. Steele, M. and Vyural, B. (1973), *Wave interaction in a solid-state plasma*, Atomizdat, Moscow, 312 p.

5. Myrova, L.O. and Chepizhenko, A.Z. (1988), *Ensuring the durability of communication equipment to ionizing electromagnetic radiation*, Radio and communication, Moscow, 235 p.

6. Kravchenko, V.I., Yakovenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2009), “Influence of third-party electromagnetic radiation on the waveguide characteristics of semiconductor components of electrical radio products”, *Bulletin of NTU "KPI*”, No. 11, pp. 62–69.

7. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2012), “Excitation of electromagnetic oscillations in 2-D electronic structures by currents induced by external radiation”, *Bulletin of NTU "KPI*”, No. 21, pp. 154–161.

8. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2012), “Generation of electromagnetic oscillations of a semiconductor structure under conditions of third-party electromagnetic effects”, *Bulletin of NTU "KPI*”, No. 21, pp. 161–169.

9. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev F.V. (2013), “The influence of the flow of charged particles. Induced by external electromagnetic radiation, on the waveguide characteristics of semiconductor components of electrical radio products”, *Bulletin of NTU "KPI*”, No. 27, pp. 83–89.

10. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2013), “Attenuation of surface oscillations of semiconductor structures of electrical radio products under the influence of external electromagnetic radiation”, *Bulletin of NTU "KPI*”, No. 27, pp. 96–103.

11. Kravchenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2013), “Kinetic mechanisms of interaction of surface vibrations with conduction electrons of semiconductor structures under the influence of external electromagnetic radiation”, *Bulletin of NTU "KPI*”, No. 27, pp. 103–111.

Received (Надійшла) 10.04.2019
Accepted for publication (Прийнято до друку) 29.05.2019

Відомості про авторів / About the Authors

Князь Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу "Електромагнітна сумісність та безпека" науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту "Молния", Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Володимир Михайлович Князьєв – Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу "Електромагнітна сумісність та безпека" науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту "Молния", Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Володимира Михайловича Князьєва – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу "Електромагнітна сумісність та безпека" науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту "Молния", Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Алеся Александровна Серков – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Александр Сергійович Серков – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Віталій Володимирович Бресславець – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Віталій Володимирович Бресславцев – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Яковенко Ігор Володимирович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Igor Yakovenko – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; 

e-mail: yakovenko60iv@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-0963-4347

114

Електромагнітна сумісність напівпровідникових приладів в умовах перехідного випромінювання

В. В. Князь, О. А. Серков, В. С. Бресславцев, І. В. Яковенко

Анотація. Предметом вивчення є аналіз процесів і фізична модель виникнення оборотних відмін випромінювання із напівпровідникових приладів (впливу наведених електромагнітних випромінювань (ЕМВ) струмів на вольт-амперні характеристики приладів). Дана модель базується на механізмі перетворення енергії наведених зонністю ЕМВ струмів у енергію електронів напівпровідникових колів з взаємодією твердотілних компонується радіоізотопів (ефекті перехідного випромінювання). Мети – обґрунтування постановки експериментальних досліджень на базі запроектованої фізичної моделі оборотних відмін (появи областей вольт-амперних характеристик напівпровідникових приладів з негативним опором). Визначено область параметрів зовнішніх електромагнітних випромінювань і напівпровідникових приладів при яких реалізується дана фізична модель. Проведено експериментальні дослідження впливу імпульсного електромагнітного випромінення на вольт-амперні характеристики ділянок прямого струму діодів. Вони показали зменшення та негативного диференціального опору, що характеризуються допоміжними зонністю електронів (збільшення прямого струму при падінні напруги). Завдання: експериментальні дослідження взаємодії наведених ЕМВ струмів з вольт-амперними характеристиками приладів, визначення області з перехідним випромінюванням, оцінка впливу на характеристики приладів, визначення опорних зонністю ЕМВ струмів на вольт-амперні характеристики приладів, визначення області з перехідним випромінюванням, оцінка впливу на характеристики приладів, визначення опорних зонністю ЕМВ струмів на вольт-амперні характеристик
Зовнішні ЕМ і струмів з електростатичними коливаннями напівпровідникової структури, заснована на реалізації перетворення енергії рухомих зарядів (наведених струмів) в енергію електромагнітних коливань в умовах переходного випромінювання, коли потік частинку рухається по нормальні до межі напівпровідникової структури. Використовувані методи: аналітичні методи рішення рівняння Максвелла і рівнянь середовища в рамках гідродинамічного підходу. Отримані наступні результати: Проведено експериментальні дослідження функціонування напівпровідникової комплектуючих електродіодних виробів в умовах впливу сильних імпульсних електромагнітних полів. Вивчені характеристики зміни працездатності напівпровідникової комплектуючих елементів з технічних засобів. Показано, що вплив імпульсного електромагнітного випромінювання супроводжується виникненням струмів в провідних елементах виробів. Визначено один з типів обратних відмов напівпровідникової елементі бази електродіодних виробів, заснований на взаємодії струмів, наведених зовнішнім випромінюванням, з власними полями структур, комплектуючих виробів. Подібні відмови реалізуються в умовах переходного випромінювання (струм спрямований по нормалі до межі структури). Показано, що дана взаємодія проводить до енергетичних втрат наведених струмів на збуження власних коливань структур, тобто появи режиму генерації коливань, який характеризується зміною волт – амперних характеристик роботи. Результати порівняльного аналізу, отриманих в даній роботі експериментальних і розрахункових даних, дозволяють використовувати запропоновану фізичну модель обратних відмов і отримані на її основі розрахунки співвідношення для визначення критеріїв виникнення і кількісних характеристик обратних відмов напівпровідникової діодів в умовах впливу імпульсного електромагнітного випромінювання. (Повні S-підібних ділянок прямого струму). Висновки. Результати, отримані в роботі, можуть бути використані при оцінці електромагнітної сімії сімі активних радіоелектронних приладів (підсилювачів, генераторів і перетворювачів електромагнітних коливань міліметрового та субміліметрового діапазонів) в умовах впливу зовнішніх імпульсних електромагнітних полів. Проведений в роботі порівняльний аналіз кількісних оцінок обратних відмов напівпровідникової приладів в залежності від просторової конфігурації випромінювання поля (наведений струм нормальної кордоні структури) дозволяє вирішувати задачі оптимізації ступеня спотворення робочих характеристик даніх приладів.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання; напівпровідникові структури; поверхневі коливання; заряджені частинки; декремент коливань.

Електромагнітна композитна структура використовується в зовнішніх захисних елементах виробів (мікроконтролерних схемах), яка випромінює електромагнітні коливання в умовах переходного перехідного випромінювання (струм спрямований по нормалі до межі структури). Показано, що вплив імпульсного електромагнітного випромінювання супроводжується виникненням струмів в провідних елементах виробів. Визначено один з типів обратних відмов напівпровідникової елементі бази електродіодних виробів, заснований на взаємодії струмів, наведених зовнішнім випромінюванням, з власними полями структур, комплектуючих виробів. Подібні відмови реалізуються в умовах переходного випромінювання (струм спрямований по нормалі до межі структури). Показано, що дана взаємодія проводить до енергетичних втрат наведених струмів на збуження власних коливань структур, тобто появи режиму генерації коливань, який характеризується зміною волт – амперних характеристик роботи. Результати порівняльного аналізу, отриманих в даній роботі експериментальних і розрахункових даних, дозволяють використовувати запропоновану фізичну модель обратних відмов і отримані на її основі розрахунки співвідношення для визначення критеріїв виникнення і кількісних характеристик обратних відмов напівпровідникової діодів в умовах впливу імпульсного електромагнітного випромінювання. (Повні S-підібних ділянок прямого струму). Висновки. Результати, отримані в роботі, можуть бути використані при оцінці електромагнітної сімі сім активних радіоелектронних приладів (підсилювачів, генераторів і перетворювачів електромагнітних коливань міліметрового та субміліметрового діапазонів) в умовах впливу зовнішніх імпульсних електромагнітних полів. Проведений в роботі порівняльний аналіз кількісних оцінок обратних відмов напівпровідникової приладів в залежності від просторової конфігурації випромінювання поля (наведений струм нормальної кордоні структури) дозволяє вирішувати задачі оптимізації ступеня спотворення робочих характеристик даніх приладів.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання; напівпровідникові структури; поверхневі коливання; заряджені частинки; декремент коливань.