

П.К. Скоробогатов, К.А. Епифанцев, Н.С. Дятлов, О.А. Герасимчук
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
ПРОЧНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

P.K. Skorobogatov¹, K.A. Epifantsev¹, N.S. Dyatlov¹, O.A. Gerasimchuk²

¹*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 31, Kashirskoe sh.,
Moscow, 114509, Russian Federation, e-mail: pkskor@spels.ru,
e-mail: kaepif@spels.ru, e-mail: nsdyat@spels.ru*

²*Deputy head of SPC PT VNIIA, e-mail: gerasimchuk@vniia.ru*

Electromagnetic influences and pulsing hardness of integrated circuits

Key words: electrical overstress, subthreshold effects, the integrated circuit

The results of the single pulsing electrical overstress (EOS) series with energy below the threshold of failure for modern submicron IC's design are presented. The study was conducted on two types of modern submicron VLSI. The obtained results confirm the possibility of accumulation of the effects of damage from repeated exposure EOS in modern IC's and allow you to get the dependence describing the additive nature of damage the IC's during exposure to subthreshold EOS. The obtained dependence agrees well with the Arrhenius equation, which indicates the thermal nature of the damage when exposed to a series of subthreshold EOS. The method of the IC's testing is proposed to determine the level of the IC's EOS hardness to the effects of multiple different pulsing voltages.

П.К. Скоробогатов¹, К.А. Епифанцев¹, Н.С. Дятлов¹, О.А. Герасимчук²

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское шоссе, 31, г. Москва,
115409, Россия, e-mail: pkskor@spels.ru, e-mail: kaepif@spels.ru, e-mail: nsdyat@spels.ru*

²*Заместитель руководителя НПЦ ИТ ВНИИА, e-mail: gerasimchuk@vniia.ru*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
ПРОЧНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Ключевые слова: электромагнитные воздействия, подпороговые эффекты, интегральные схемы

Представлены результаты исследования воздействия серии одиночных импульсов напряжения (ОИН) с энергией ниже порога отказа на современные СБИС, выполненные по субмикронным технологиям. Исследование было проведено на двух типах современных субмикронных СБИС. Полученные результаты подтверждают возможность накопления эффектов повреждения при многократном воздействии ОИН в современных СБИС и позволяют получить зависимость, описывающую аддитивный характер повреждений ИС во время воздействия подпороговых ОИН. Полученная зависимость хорошо согласуется с уравнением Аррениуса, что указывает на тепловой характер повреждений при воздействии серии подпороговых ОИН. Предложена методика проведения испытаний ИС по определению уровня стойкости ИС к воздействию многократных ОИН различной амплитуды.

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) подвергается широкому спектру электромагнитных воздействий, имеющих естественное и искусственное происхождение. Наиболее чувствительными к внешним воздействия являются полупроводниковые интегральные схемы (ИС), выходящие из строя вследствие наведенных электрических сигналов. Наводимые одиночные импульсные напряжения (ОИН) могут вызвать перегорание металлизации, пережигание р-п переходов и пробой диэлектриков [1]. Свойство выдерживать воздействие ОИН именуют импульсной электрической прочностью (ИЭП).

Однако, современная РЭА может подвергаться многократным электромагнитным воздействиям сопровождающим использование источников преднамеренных электромагнитных помех, применение электромагнитных видов оружия и атак террористов [2]. Характерной особенностью таких воздействий является относительно невысокий уровень наведенных электрических сигналов в сочетании с их многократным характером. Особенности технологии ИС обуславливают возможность накопления эффектов повреждения (аддитивный эффект) при многократном воздействии ОИН с подпороговой амплитудой. В работе [3] были приведены результаты эксперимента по воздействию серии ОИН подпороговых энергий на КМОП ИС CD4007. Полученные данные подтверждают наличие аддитивных эффектов в КМОП микросхемах.

П.К. Скоробогатов, К.А. Епифанцев, Н.С. Дятлов, О.А. Герасимчук
 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
 ПРОЧНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

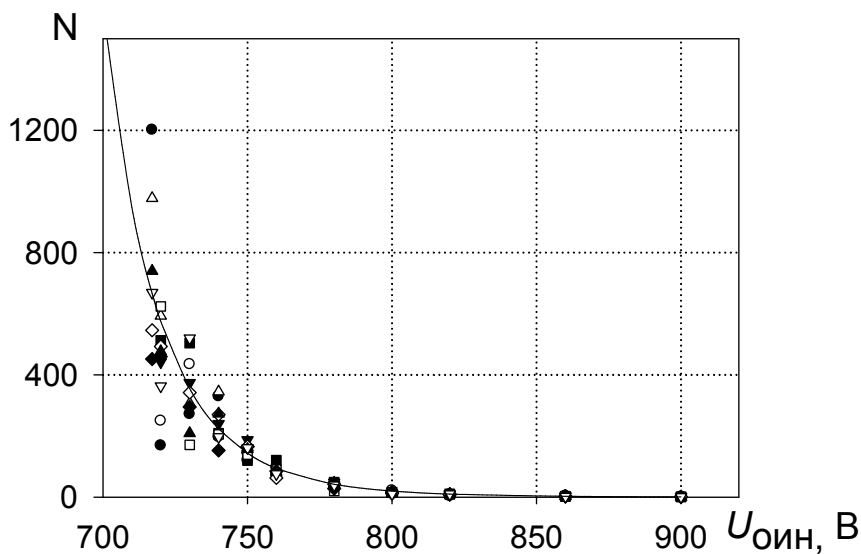
С повышением степени интеграции ИС растет возможность проявления подпороговых эффектов при воздействии серий импульсов напряжения. С целью более детального исследования данного эффекта было проведено исследование влияния серии ОИН на поведение современных СБИС двух типов.

Для каждого типа изделия была получена зависимость $N(U_{\text{ОИН}})$, где N – количество воздействий ОИН, амплитуды $U_{\text{ОИН}}$, до отказа образца. Данные зависимости изображены на рисунке 1.

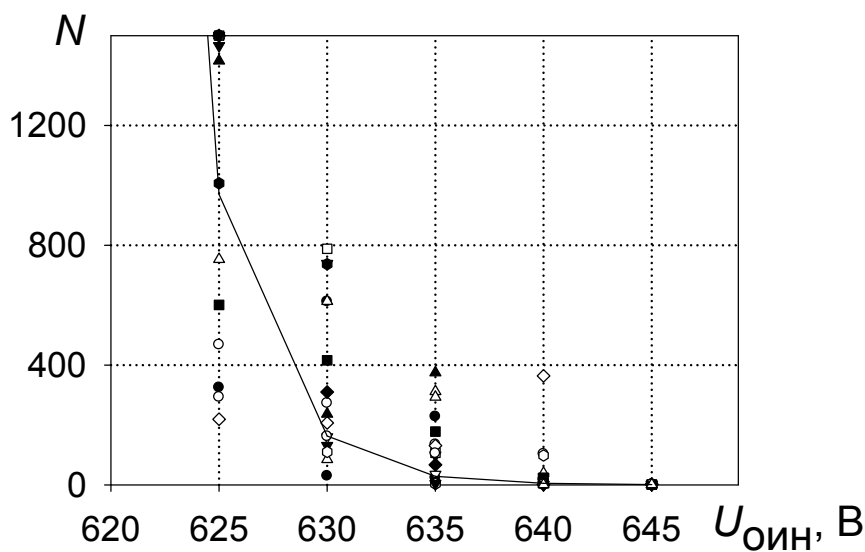
Для всех типов изделий наилучшее соответствие полученным данным обеспечивает функция:

$$N(U_{\text{ОИН}}) = \exp\left(b\left(\frac{1}{U_{\text{ОИН}}^2} - \frac{1}{U_0^2}\right)\right),$$

где U_0 – амплитуда порога отказа для данного типа изделия (определяется при испытаниях на импульсную электрическую прочность (ИЭП)), b – параметр аппроксимации, зависящий от типа изделия.



а)



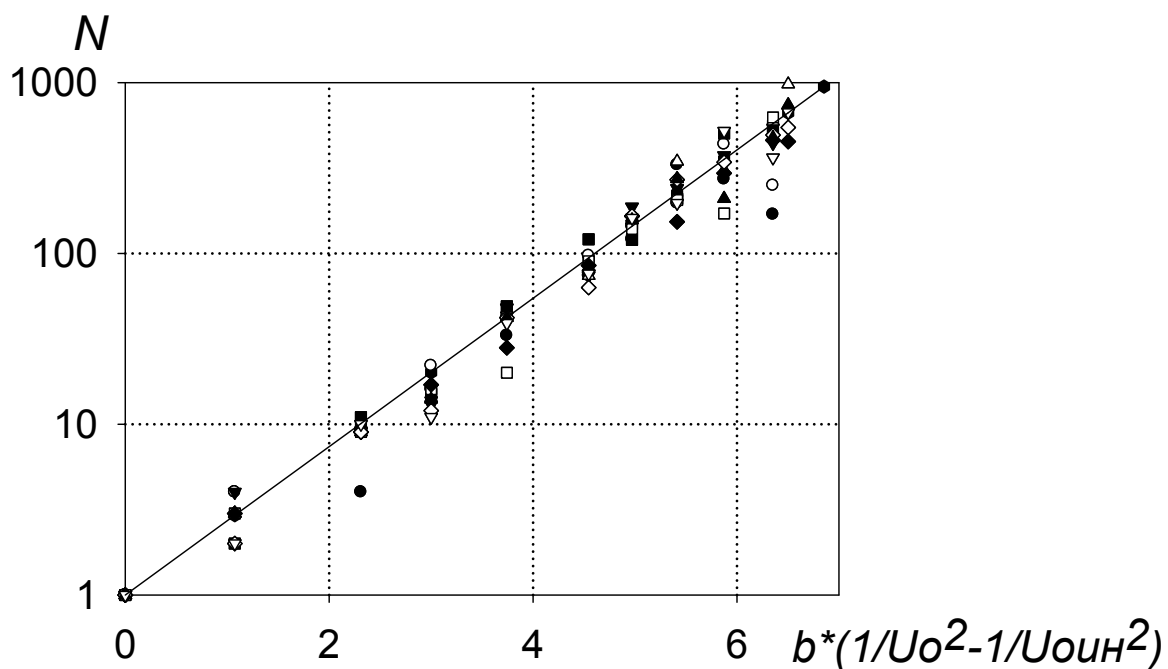
б)

Рис. 1. Зависимость $N(U)$ для МК ATtiny13A(а) и МК PIC24F16KA101-1/MQ (б)

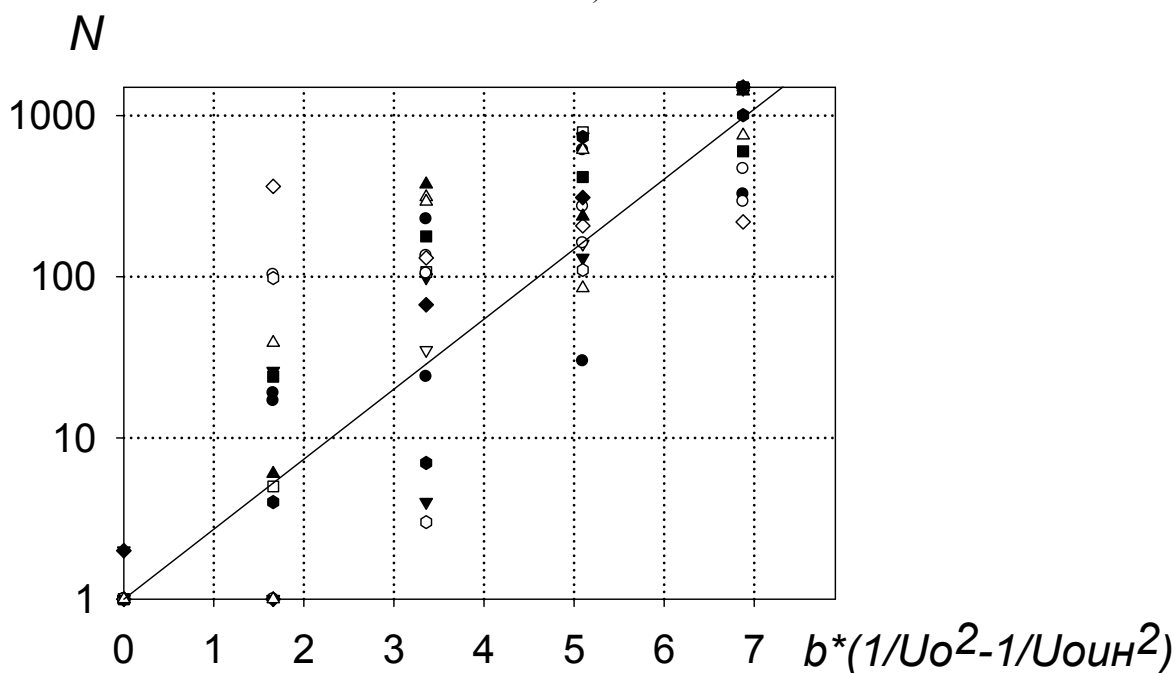
При выборе данной функции были получены линейные аппроксимирующие зависимости $N(b(\frac{1}{U_{оин}^2} - \frac{1}{U_0^2}))$, представленные на рис. 2 в логарифмическом масштабе по оси N .

Из этого следует, что для получения зависимости $N(U)$ нет необходимости разрушать большое количество микросхем. Достаточно определить поровую амплитуду отказа U_0 и получить значение $N(U)$ в одной точке. Данный вывод позволяет с небольшими затратами проводить испытания на чувствительность ИС к воздействию серии ОИН подпороговых энергий.

Проанализировав зависимости, представленные на рисунке 1 можно заметить, что для разных исследуемых типов изделий диапазон напряжений, для которых количество воздействий ОИН было относительно небольшим $N(U_{оин}) < 1000$, существенно различается.



а)



б)

П.К. Скоробогатов, К.А. Епифанцев, Н.С. Дятлов, О.А. Герасимчук
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
ПРОЧНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Рис. 2. Зависимость $N(b(\frac{1}{U_{\text{ОИН}}^2} - \frac{1}{U_{\text{Э}}^2}))$ для МК ATtiny13A(a) и МК PIC24F16KA101-I/MQ(б)

Из этого следует, что для компонентов РЭА КА, испытывающих за срок эксплуатации большое количество воздействий ЭСР, критическая для компонента амплитуда напряжения $U_{\text{ЭДД}}$ может оказаться существенно ниже пороговой амплитуды отказа при воздействии ОИН $U_{\text{Э}}$.

Поэтому при проектировании РЭА необходимо учитывать ЭСР, возникающие вследствие внутренней электризации, и их влияние на работоспособность элементной базы, особенно при длительных сроках эксплуатации. С этой целью желательно проведение испытаний на чувствительность компонентов, входящих в состав РЭА КА, к воздействию серии ОИН.

Полученная в результате исследования аппроксимирующая функция $N(U_{\text{ОИН}}) = \exp(b(\frac{1}{U_{\text{ОИН}}^2} - \frac{1}{U_{\text{Э}}^2}))$ хорошо согласуется с формулой Аррениуса:

$$\nu^{-1} = \exp(\frac{E_{\text{Э}}}{kT}),$$

где ν^{-1} – величина, обратная скорости энергозависимых процессов в полупроводнике и соответствует количеству воздействий N , а kT – соответствует стрессам, вызванным импульсами напряжения ($U_{\text{ОИН}}^2$ определяет мощность, выделяемую в элементе микросхемы). Разность квадратов обратных напряжений в полученной зависимости связана с соотношением электрических стрессов в точках $U_{\text{Э}}$ и $U_{\text{ОИН}}$.

Хорошее согласование с уравнением Аррениуса указывает на тепловой механизм повреждений ИС при воздействии серии ОИН энергий ниже порога отказа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта офи-м № 14-29-09210

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Voldman S.H. Electrical Overstress (EOS): Devices, Circuits and Systems (Wiley, New York, 2013) 1st ed. 170.
2. Балук Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В.. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: «Группа ИДТ», 2008.
3. Скоробогатов П.К., Герасимчук О.А., Епифанцев К.А. Аддитивные эффекты повреждения цифровых микросхем при воздействии на их выводы импульсов напряжения// В сб.: Радиационная стойкость электронных систем "Стойкость-2011". - М.: МИФИ, 2011, вып.14. - С.91-92.

REFERENCES:

1. Voldman S.H. Electrical Overstress (EOS): Devices, Circuits and Systems (Wiley, New York, 2013) 1st ed. 170.
2. Baluk N.V. Kechiev L.N., Stepanov P.V. Powerful electromagnetic pulse: effects on electronics and methods of protection. M.: "Group of IDT", 2008.
3. Skorobogatov P. K., Gerasimchuk, O. A., Epifantsev, K. A. Additive effects in digital integrated circuits under electrical pulse overstresses to their pins. Radiation hardness of electronic systems, "Hardness-2011". - M.: MEPhI, 2011, vol.14. - P. 91-92.