



К ВОПРОСУ О ПОРАЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ ГИГАНТСКИМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИМПУЛЬСОМ

Н.С. Вернигоров

директор ООО "Вихрь", д.т.н., профессор, лауреат премии Совмина СССР.
ООО "Вихрь" nsv@tomsk.ru

➤ Проблема воздействия электромагнитного импульса на полупроводниковые приборы является в настоящее время классической и уже достаточно полно исследована. Первые результаты влияния СВЧ-излучения на полупроводниковые приборы (ППП) с точки зрения поражения за счет теплового эффекта показаны в [1]. Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния на ППП сверхмощного короткоимпульсного СВЧ-излучения [2, 3]. Аналитический обзор по техническим средствам генерации гигантских СВЧ-импульсов приведен в [4].

Однако решение конкретной задачи (даже в математической модели) о возможности поражения объектов электромагнитным импульсом не ядерного взрыва пока остается без достаточного внимания.

Настоящая статья посвящена математическому прогнозированию возможности поражения гигантским электромагнитным импульсом не ядерного взрыва объектов, находящихся в свободном пространстве.

Постановка задачи: объект представляет собой летательный аппарат с известной скоростью полета в свободном пространстве. Требуется произвести расчет поражающего действия сверхмощного короткоимпульсного СВЧ-излучения в зависимости от дальности до летательного аппарата и от времени его приближения к поражаемой цели.

Методика решения задачи сводится к расчету наведенной мощности на нагрузке антенны объекта.

Модель объекта представлена в виде наиболее просто решаемой рупорной антенны, которая при этом позволяет моделировать широкий круг антенн с достаточно большим коэффициентом усиления и приемлемой шириной рабочей полосы частот. Начальные условия задачи: волноводный тракт имеет размеры $A=58$ мм, $B=29$ мм; датчик в волноводе представлен в виде несимметричного вибратора - штыря, расположенного на широкой стенке волновода.

Центральная длина волны антенны λ_0 ; рабочая полоса антенны выбрана из условия $\Delta f = \pm 5\% f_0$; сопротивление нагрузки антенны $Z_H=50$ Ом; к. б. в. антенны $\eta=0,9$. Размеры антенны рассчитывались из заданного КНД, равно-го 500. Импульсная мощность излучения генератора СВЧ выбрана $P_{изл}=3 \cdot 10^6$ Вт; коэффициент усиления излучающей антенны СВЧ-генератора $G_{изл}=1000$.

Предметом моделирования являлось определение зависимости наведенной мощности на входном элементе нагрузки антенны как функции $P_{нав} = f(\lambda_{ген.изл.})$ при фиксированном расстоянии до объекта 3 км, $P_{нав} = f(r)$, $P_{нав} = f(t)$, где $\lambda_{ген.изл.}$ — длина волны излучения генератора, r — расстояние до объекта, t — время полета объекта до цели.

В модели рассмотрено два варианта воздействия гигантского СВЧ-импульса:

- сигнал генератора воздействует в рабочей полосе антенны объекта;
- внеполосное воздействие на антенну объекта с ослаблением сигнала генератора (-40) дБ, включая все факторы ослабления сигнала антенно-фидерным трактом объекта.

Обозначим излучаемую энергию $W_{изл.}$. Тогда поглощенная объектом энергия будет равна

$$W_{пог.} = \frac{W_{изл.} G_{пр.об.} \lambda_{изл.ген.}^2 \rho_v 0.5 R_H}{2\pi r^2 |Z_H + Z_{вх.}|^2} \quad (1)$$

Здесь ρ_v — волновое сопротивление волновода,

$Z_{вх.}$ — входное сопротивление штыря.

Сопротивление излучения штыря в волноводе определялось по формуле [5]

$$R_{\Sigma} = \frac{2}{AB} \rho_v(\lambda) h_d(\lambda)^2 \sin^2\left(\pi \frac{X}{A}\right) \eta \frac{\sin^2\left(2\pi \frac{L1}{\lambda_v(\lambda)}\right)}{\sin^2\left(2\pi \frac{L1 + Z1}{\lambda_v(\lambda)}\right) + \eta^2 \cos^2\left(2\pi \frac{L1 + Z1}{\lambda_v(\lambda)}\right)} \quad (2)$$

где h_d — действующая высота штыря в волноводе,

L_1 — положение штыря относительно задней стенки волновода,

Z_1 — расстояние от штыря до ближайшего узла напряжения,

λ_v — длина волны в волноводе.

Из (2) для центральной частоты f_0 определялось значение h_{od} . В рабочей полосе рупорной антенны объекта реактивное сопротивление штыря принималось равным нулю, что на практике достигается известными техническими решениями. Тогда активная часть входного сопротивления штыря определяется по формуле

$$Re(\lambda) = W_b \frac{\sinh(2\beta(\lambda)L1_o) - \lambda_v(\lambda) \frac{\beta(\lambda)}{2\pi f(\frac{L1_o}{\lambda_v(\lambda)})} \sin[4\pi \frac{L1_o}{\lambda_v(\lambda)} f(\frac{L1_o}{\lambda_v(\lambda)})]}{\cosh[2\beta(\lambda)L1_o] - \cos[4\pi \frac{L1_o}{\lambda_v(\lambda)} f(\frac{L1_o}{\lambda_v(\lambda)})]} \quad (3)$$

где $L1_o$ — геометрическая длина штыря,

$f(\frac{L1_o}{\lambda_v(\lambda)})$ — коэффициент для отношения длины плеча вибратора к длине волны $L1_o/\lambda$ и отношения $L1_o/d$ к диаметру штыря,

W_b — волновое сопротивление штыря.

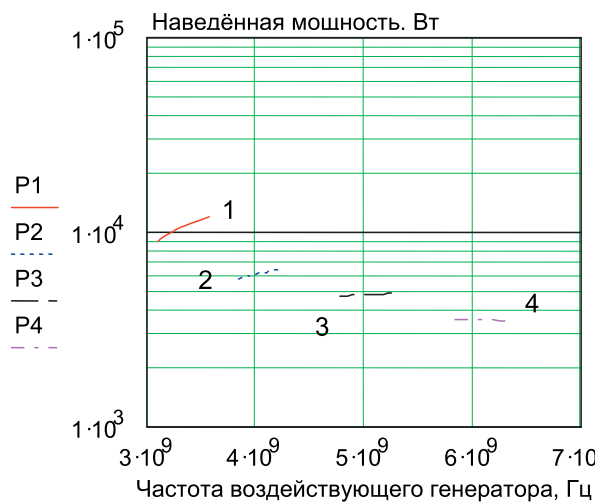


Рис. 1

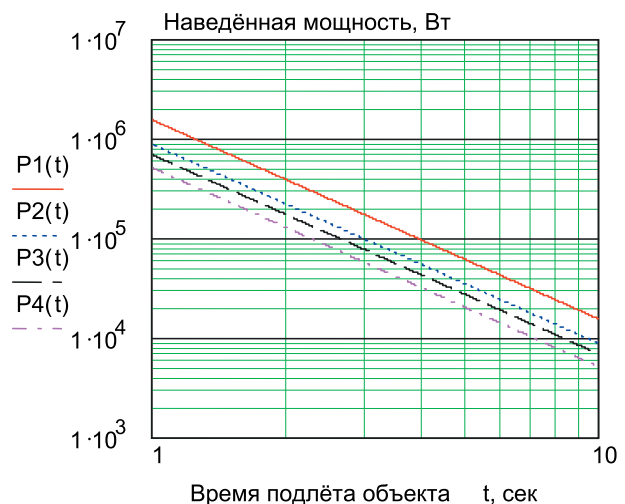


Рис. 2

Расчет проводился для четырех объектов с центральной рабочей частотой антенн: $f1_0=3333$ МГц, $f2_0=4000$ МГц, $f3_0=5000$ МГц, $f4_0=6000$ МГц.

В модели скорость летательного аппарата объекта равна 900 км/ч, или 250 м/с, что соответствует маршевой скорости ракет «Томагавк» морского (BGM-109), авиационного (AGM-86B) и наземного (BGM - 109G) базирования.

На рис. 1 представлена зависимость наведенной мощности на нагрузку антенны объекта при попадании сигнала генератора в рабочую полосу антенны для дальности до объекта 3 км. При указанных параметрах канала поражения произойдет катастрофический отказ входного тракта.

Здесь и далее центральная частота антенны объекта: 1 — 3333 МГц, 2 — 4000, 3 — 5000, 4 — 6000 МГц.

На рис. 2 показана зависимость наведенной мощности на нагрузку антенны от времени подлета объекта до цели. При прямом прохождении сигнала в рабочую полосу антенны поражение объекта наступит за 10 с до подлета объекта к цели, что эквивалентно поражению на расстоянии 2,5 км. При внеполосном воздействии с ослаблением (- 40) дБ поражение объекта наступит за 2 с до подлета объекта до цели, или на расстоянии 500 м от поражаемой цели.

На рис. 3 показаны зависимости наведенной мощности от дальности до объекта как для ситуации прямого прохождения поражающего сигнала в антенный тракт объекта, так и при ослаблении сигнала на (- 40) дБ.

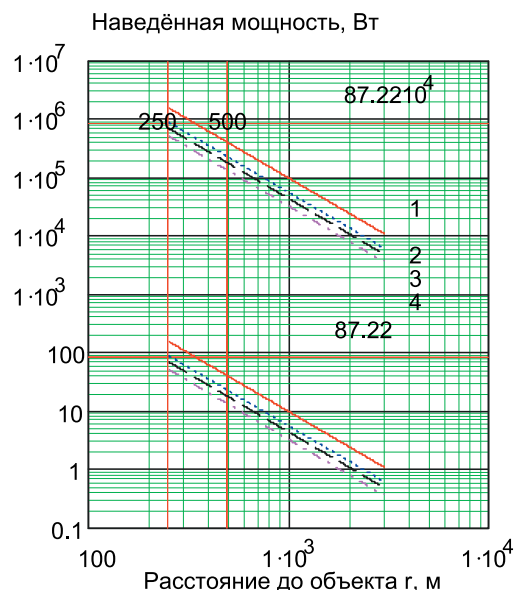


Рис. 3

Расчет проводился для основного типа волны волновода. Учитывая вклад высших типов колебаний, реально наведенная на нагрузку антенны мощность будет значительно больше, что показано в [6].

Кроме воздействия непосредственно на входные цепи радиоприемной части объекта, гигантские СВЧ-импульсы влияют на электронные схемы, находящиеся под металлическим корпусом (экраном) объекта, не имеющие отношения к входным антенным цепям. Особый интерес представляет воздействие СВЧ-излучения на элементы радиоэлектронных схем в виде интегральных микросхем (ИМС).

Эксперименты показали, что при воздействии импульсом СВЧ-излучения наведенной энергии $2 \cdot 10^7$: $3 \cdot 10^7$ Дж достаточно, чтобы конкретная электронная схема генератора прямоугольных импульсов перестала функционировать с заданными до воздействия параметрами по частоте и амплитуде выходного сигнала. Подобный эффект приведет к потере работоспособности системы, что достаточно для потери объектом заданной цели. При наведенной энергии $5 \cdot 10^7$ Дж и более ИМС выходит из строя.

Эксперименты проводились на ИМС старой архитектуры, выполненных по р-п-технологии. При воздействии на ИМС, выполненных по технологии КМОП, порог поражения падает за счет воздействия статического потенциала, наведенного СВЧ-излучением.

Таким образом, применение гигантского электромагнитного импульса имеет реальную возможность пора-

жения объектов за счет вывода из строя их электронных компонентов. При этом поражение объекта происходит на расстоянии, не приводящем к катастрофическим последствиям для защищаемой стороны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Winch D., Bell R. Determination of threshold failure levels semiconductor diodes and transistors due to pulse voltage // IEE Trans. — 1968. — Vol. NS-15. — P. 244-252.

2. Keith Florid H. Interaction and influence high power microwave on electronics// Annales de Physique. - 1989. — Vol. 14. — P. 101.

3. Вернигоров Н.С., Саркисян А.П., Сулакшин А.А., Шаркеев Ю.П. Экспериментальные исследования воздействия импульсного СВЧ-излучения на материалы// Информост. — 2002. — № 6. — С. 51. Электронный вариант: www.informost.ru.

4. Панов В.В., Саркисян А.П. Некоторые аспекты проблемы создания СВЧ-средств функционального поражения // Зарубежная радиоэлектроника. — 1995. — № 10, 11, 12.

5. Антенны и устройства СВЧ/Под ред. Д.И. Воскресенского. — М.: Сов. Радио, 1972.

6. Вернигоров Н.С., Харин Б.В. Влияние антенно-фидерного тракта нелинейного объекта на дальность обнаружения в нелинейной локации // Радиотехника и электроника. — 1997. — Т. 42. — № 12.

