

УДК 621.1

А.Н. КОЗЛОВ, А.П. РЫБАКОВ

*Пермская государственная сельскохозяйственная академия
им. академика Д.Н. Прянишникова, Россия*

СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ФАКТОР ДЕГРАДАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Одним из факторов, снижающих гарантируемость элементов и устройств вычислительной техники и систем управления, является СВЧ излучение. Обоснована актуальность данной проблемы и приведен краткий анализ деградационного воздействия СВЧ излучения. Представлены ожидаемые параметры источников мощного СВЧ излучения, приведены пути проникновения СВЧ излучения в корпуса радиоэлектронной аппаратуры.

СВЧ излучение, деградационное воздействие, аэро-космическая техника, системы управления

Известно, что импульсы СВЧ излучения большой мощности способны выводить из строя элементы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), в первую очередь полупроводниковые [1]. Деградационные эффекты элементов РЭА могут быть обратимыми и необратимыми. В дальнейшем под термином «поражение» элемента будем понимать его необратимый отказ. Богатый инженерный опыт защиты РЭА от электромагнитного импульса (ЭМИ) ядерного взрыва мало пригоден для защиты от СВЧ излучения. Характер воздействия импульсов СВЧ излучения существенно отличается от характера воздействия электромагнитного импульса ядерного взрыва. ЭМИ не имеет высокочастотного заполнения (т.е. это видеоимпульс) и его спектр в основном сосредоточен в области относительно низких частот 1...100 МГц. СВЧ импульсы генерируются на определенной несущей частоте, а их спектр лежит в пределах от единиц до сотен гигагерц. Низкочастотный характер ЭМИ создает серьезные проблемы для его направленной канализации в пространстве на объект поражения, а для СВЧ излучения такая канализация легко реализуется при помощи антенных систем (рупорных, зеркальных, фазированных антенных решеток), что существен-

но повышает уровень СВЧ мощности, действующей на РЭА. ЭМИ проникает непосредственно через стенки корпуса радиоэлектронной аппаратуры, в то время как СВЧ излучение может проникать в РЭА через отверстия, стыки и неоднородности корпусов, а также через открытые разъемы отрывных кабельных линий. Поэтому оценка деградационного воздействия СВЧ излучения на объекты, содержащие элементы и устройства вычислительной техники и системы управления является важной и актуальной задачей.

Цель статьи – обоснование актуальности проблемы защиты элементов и устройств вычислительной техники и систем управления различных объектов от воздействия мощного СВЧ излучения.

Уровни энергии, достаточные для поражения (необратимой деградации) СВЧ излучением полупроводниковых элементов РЭА достаточно хорошо известны. В таблице 1 представлены известные экспериментальные данные о величине энергии, достаточной для поражения некоторых полупроводниковых элементов в зависимости от длительности СВЧ импульса [2 – 4]. Энергия поражения р-і-п диодов, используемых в ограничителях и антенных коммутаторах радиоэлектронных средств

(РЭС), лежит в пределах $5 \cdot 10^{-5} \dots 10^{-4}$ Дж, при длительности импульса десятки наносекунд [4]. В ряде случаев выход из строя приемного модуля РЭС определяется отказом маломощного усилителя, который в современной аппаратуре СВЧ диапазона проектируется на основе полевого транзистора с затвором Шотки (ПТШ GaAs), энергия поражения которого приведена в табл. 1.

Таблица 1

Энергия поражения полупроводниковых приборов [Дж] при различных длительностях СВЧ-импульса [нс]

Полупроводн. приборы	Длительность СВЧ-импульса, нс		
	0,1 нс	10 нс	100 нс
Диоды: смесит. кремниев.	$2 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-3} - 0,01$	$2 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-3}$ $0,01 - 0,1$	$6 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-3}$ $3,2 \cdot 10^{-2} - 3,2$
Транз. ПТШ GaAs.	$5 \cdot 10^{-5} - 0,01$	$5 \cdot 10^{-4} - 0,1$	$2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-1}$
ЦИМС: ТТЛ МОП	$3 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^{-3}$ $2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$ $6 \cdot 10^{-3} - 0,14$
АИМС	$3 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2} - 0,19$

Известно, что уровень энергии поражения в рабочем режиме ниже в 5...10 раз, а при воздействии импульсной последовательности уменьшается в 10...100 раз [2 – 4]. Установлено, что величина электрической напряженности СВЧ поля, при которой наступает необратимая деградация микросхем различных типов лежит в пределах от 4 до 5 кВ/см [3, 4].

Источником мощного СВЧ излучения могут являться мощные радиолокационные станции, а также СВЧ установки специального и военного назначения. На сегодняшний день мощность современных радиолокационных станций может достигать величины 100 – 1000 МВт.

В настоящее время широко обсуждается и используется термин «СВЧ-оружие» (в зарубежной печати также используется термин «микроволновое оружие») [1, 6 – 9]. Поражающим фактором СВЧ оружия является импульсное электромагнитное

излучение с длиной волны от 0,1 до 10 см. Испытания такого оружия и его элементов проводились США при проведении военных операций в Ираке [8, 9], однако такого оружия нет (пока) на вооружении ни у одного государства.

СВЧ оружие разделяют на два вида: первый – СВЧ установки, второй – СВЧ боеприпасы. В свою очередь СВЧ боеприпасы могут подразделяться на обычные и ядерные. В обычных СВЧ боеприпасах источником энергии является взрывомagnetный генератор на основе обычного взрывчатого вещества, а в ядерном – на основе ядерного заряда. Нагрузкой взрывомagnetного генератора является специальная генерирующая система, которая преобразует электрический импульс со взрывомagnetного генератора в импульс электромагнитного излучения СВЧ диапазона [1]. В СВЧ установках в качестве источника энергии могут использоваться емкостные накопители и взрывомagnetные генераторы с обычным взрывчатым веществом, а в качестве источника СВЧ излучения – генераторы на основе сверхмощных СВЧ приборов. В табл. 2 приведены основные ожидаемые параметры СВЧ оружия, взятые на основе анализа источников [1 – 5].

Таблица 2

Ожидаемые параметры СВЧ оружия

Параметры СВЧ оружия	СВЧ устан.	СВЧ боепр.
Мощность в импульсе, ГВт	10...100	1...10
Длина волны излучения, см	0,1...10	
Длительность импульса, нс	5...100	
Длительность фронта импульса, нс	0,1...1	
КНД антенны	$10^3 \dots 10^7$	$10^2 \dots 10^3$
Частота следования импульсов, Гц	0...400	–

СВЧ оружие может быть космического (воздушного) и наземного (морского) базирования, что обуславливает достаточно широкий спектр его применения. На рис. 1 изображены несколько типовых боевых ситуаций, которые можно разбить на два класса. Первый класс – характерный для СВЧ уста-

новок, второй – для СВЧ боеприпасов. Отличительной особенностью ситуаций первого класса является то, что главный максимум диаграммы направленности антенны СВЧ установки может быть точно направлен на цель, например, с помощью РЛС обнаружения и наведения. Для ситуаций второго класса, т.е. для СВЧ боеприпасов, особенность заключается в том, что в момент его задействования возможно значительное отклонение главного максимума диаграммы направленности антенны СВЧ боеприпаса от точки цели, но при этом цель попадает в угол раствора диаграммы направленности СВЧ боеприпаса.

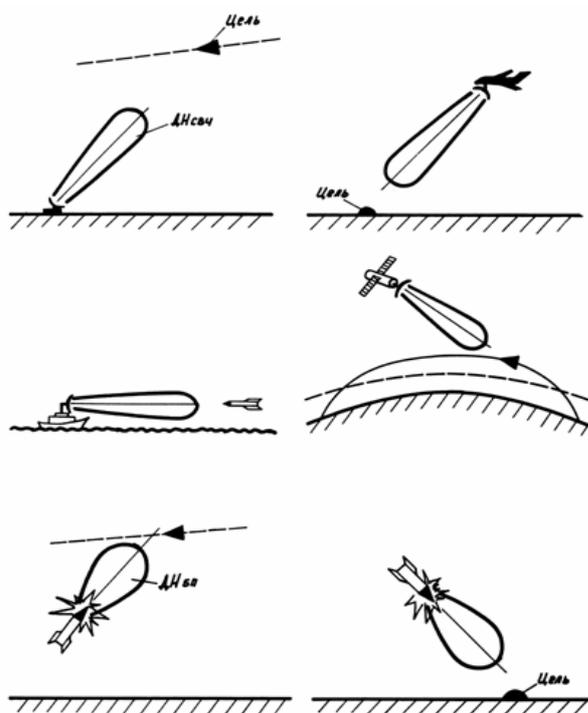


Рис. 1. Типовые ситуации применения СВЧ оружия

Пути проникновения СВЧ излучения в радиоэлектронную аппаратуру достаточно хорошо известны [2 – 8], однако механизмы проникновения не достаточно исследованы. СВЧ излучение может проникать в РЭА через антенно-фидерные устройства (АФУ), щели, отверстия и стыки в корпусах аппаратуры, через открытые разъемы, а также может непосредственно воздействовать через радиопрозрачные (пластиковые) элементы конструкции, например, на заряды твердого топлива.

Воздействие СВЧ излучения на РЭС цели через антенно-фидерное устройство можно оценить по параметрам его параметрам [1]. Проникновение СВЧ излучения в отверстия, щели и стыки корпуса – явление значительно более сложное для анализа. Известны результаты экспериментальных исследований проникновения СВЧ излучения через отверстия, которые показали, что максимум проникающей способности СВЧ излучения наблюдается при соблюдении резонансных условий, т.е. в том случае, когда размеры отверстий кратны длине волны излучения. Проникающая способность резко уменьшается на волнах длиннее резонансной волны отверстия, но наблюдаются небольшие случайные пики на резонансных длинах волн проводников, находящихся внутри корпуса. На волнах короче резонансной длины волны отверстия наблюдаются более медленный спад проникающей способности, но возникают острые резонансы благодаря множеству типов колебаний в объеме корпуса аппаратуры [1, 3].

Проникновение СВЧ излучения через разъемы и кабельные соединения сильно зависит от их конструктивных особенностей. Открытые штепсельные разъемы имеют существенные отличия от отверстий (наличие штырей, кабеля и т.д.). Сведений об анализе прохождения СВЧ излучения через разъемы крайне мало. Воздействие СВЧ излучения через открытые штепсельные разъемы отрывных кабельных соединений объектов авиационно-космической техники может привести к выходу из строя бортовой РЭА и других внутренних элементов, например элементов пироматериалов. Однако в большинстве образцов авиационно-космической техники элементы бортовой РЭА не подвергаются непосредственному воздействию СВЧ излучения, так как находятся в составе экранированных узлов. В этом случае поражение элементов происходит под действием напряжений и токов, индуцированных в штырях открытых штепсельных разъемов и неэкранированных кабелях, которые электрически соединены с элементами РЭА. Теоретические оценки

ослабления СВЧ излучения при проникновении через открытые штепсельные разъемы и величин напряжений и токов, наводимых СВЧ излучением в штырях разъема и соединенных с ними проводах кабеля, весьма затруднены вследствие большого числа влияющих факторов. В то же время необходимость и актуальность подобных теоретических и экспериментальных исследований велика. Это обусловлено наличием открытых штепсельных разъемов в современных образцах авиационно-космической техники. Известны результаты экспериментальных исследований и некоторого теоретического описания проникновения СВЧ излучения с длиной волны 3,2 см через некоторые штепсельные разъемы, используемые в авиационно-космической технике [5].

На основе анализа типовых образцов авиационно-космической техники, можно заключить, что для таких объектов основными путями проникновения СВЧ излучения являются:

1. Антенно-фидерные устройства бортовых радиоэлектронных средств.
2. Открытые штепсельные разъемы бортовой РЭА и отрывных кабельных соединений.
3. Радиопрозрачные элементы конструкции корпусов, как самих объектов, так и аппаратуры.

Таким образом, разработка методического аппарата для оценки уровня гарантоспособности вычислительных систем и систем управления авиационно-космической техники в условиях воздействия СВЧ излучения является актуальной задачей.

Литература:

1. Keith Florig H. The future battlefield: A blast gigawatts? // IEEE Spectrum. – March 1988. – P. 50-54.
2. Панов В.В., Саркисян А.П. Некоторые аспекты проблемы создания СВЧ-средств функционального поражения // Зарубежная радиоэлектроника. – 1993. – № 10. – С. 11-12.

3. Исследование физических процессов деградации изделий электронной техники в мощных электромагнитных полях / И.И. Магда, С.В. Блудов и др. // Материалы 3-й Крымской конференции "СВЧ техника и спутниковый прием". – Севастополь, 1993. – Т. 5. – С. 10.

4. Влияние мощных импульсных микроволновых помех на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы / В.В. Антипин, В.А. Годовицын и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1995. – № 1. – С. 37-41.

5. Kozlov, A. Rybacov, V. Pashkevich. Penetration of microwaves into nonuniformly screened spaces // Latvian journal of physics and technical sciences. ISSN 0868-8257. – 2000. – № 4. – С. 31-38.

6. Michael Abrams. The Dawn of the E-Bomb [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vrtp.ru/index.php?act=categories&CODE=article&article=783>.

7. Рухадзе А.А. Мифы и реальность. О лучевом оружии в России. (О целях и возможностях их достижений) // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.11374, 28.07.2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001b/00160112.html>).

8. «Безвредное» оружие, которое США хотят применить в Ираке, может оказаться чрезмерно вредным [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inauka.ru/news/article55125.html>.

9. Северский А. Опасные опыты над иракцами. США испытывают СВЧ-оружие» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inforos.ru/?id=8571>).

Поступила в редакцию 22.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Цаплин, ФГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет», Пермь.