

УДК 621.396.677

М.Н. Ясечко, К.В. Садовый, А.А. Ковальчук, О.В. Тесленко

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ

*Определены энергетические параметры электромагнитного импульса для функционального поражения радиоэлектронной аппаратуры летательных аппаратов тактического уровня действия.*

**Ключевые слова:** энергия, функциональное поражение, радиоэлектронные средства.

### Введение

Технология ФП предусматривает использование ЭМИ малой длительности (от долей до десяти наносекунд) с шириной спектра до 10 ГГц и большой мощности (от сотен МВт до единиц ГВт). Возможны два варианта воздействия таких ЭМИ на электронную аппаратуру при решении задач ФП: внутрисполосное или внеполосное [60]. Напряжение (электромагнитное поле) наводится в систему противника либо через "переднюю дверь" (то есть через ее антенну, купол или другие чувствительные элементы), либо через "заднюю дверь". В последнем случае электромагнитное поле проникает через внешние элементы, отверстия, двери, металлическую арматуру и т.д. и затем наводит напряжение (паразитное электромагнитное поле) на линии электроснабжения и передачи данных. Попав внутрь, напряжение (поле) может выводить из строя или нарушать работу электронных схем, их компонентов и систем управления программным обеспечением. Собственно электронная схема устройства передает импульс и вызывает более глубокое повреждение электронных систем.

### Основная часть

Анализ проведенных исследований показал, что соотношение для количественной оценки требуемой мощности на входе полупроводникового прибора, приводящей к его деградации, можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{фп}} = K_{\text{п}} \left( \tau_{\text{р}\Sigma} \right)^{-1/2} S_{\text{р-п}}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{п}}$  – константа (постоянная повреждения), зависящая от типа полупроводникового прибора и имеющая размерность  $[\text{кВт} \cdot (\text{мкс})^{1/2} \cdot \text{см}^{-2}]$ ;

$\tau_{\text{р}\Sigma}$  – суммарное время воздействия пачки коротких импульсов на поражаемые тракты;

$S_{\text{р-п}}$  – площадь р-п перехода в  $\text{см}^2$ .

Требуемая мощность электромагнитного импульса на входе приемника радиоэлектронной системы для его функционального поражения с учетом (1) должна быть:

в случае внутрисполосного воздействия

$$P_{\text{фп}}^{(1)} = K_{\text{п}} (\tau_{\text{р}\Sigma})^{-1/2} S_{\text{р-п}} K_{\text{сп}} K_{\text{пол}}^{-1}, \quad (2)$$

в случае внеполосного воздействия

$$P_{\text{фп}}^{(2)} = K_{\text{п}} (\tau_{\text{р}\Sigma})^{-1/2} S_{\text{р-п}} K_{\text{вп}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{сп}}$  – коэффициент потерь за счет рассогласования ширины спектра ЭМИ ( $\Delta f_{\text{р}}$ ) с полосой пропускания ( $\Delta f_{\text{п}}$ ) радиотехнической системы подавляемых БПЛА;

$K_{\text{вп}}$  – коэффициент потерь за счет экранирования;

$K_{\text{пол}}$  – коэффициент потерь по поляризации.

Требуемая плотность потока мощности ЭМИ на апертуре антенны поражаемого БПЛА при внутриполосном поражении может быть вычислена как

$$S_{\text{фп}}^{(1)} \geq (P_{\text{фп}}^{(1)} / A_{\text{эф}}) K_{\text{ур}}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{ур}}$  – коэффициент потерь за счет углового

рассогласования (несовпадения) направлений максимумов диаграмм направленности антенн средства функционального поражения и поражаемой радиотехнической системы БПЛА;

$A_{\text{эф}}$  – эффективная площадь антенны передающей радиолинии БПЛА на частоте воздействующего сигнала.

Результаты расчета в соответствии с (2) и (3) требуемых значений  $P_{\text{фп}}^{(1)}$  для случая внутриполосного функционального поражения полупроводниковых элементов при двух значениях  $K_{\text{сп}} = 10$  и 15 дБ, а также требуемых значений  $P_{\text{фп}}^{(2)}$  для случая внеполосного функционального поражения при двух значениях  $K_{\text{вп}} = 30$  и 40 дБ приведены в табл. 1.

Там же приведены усредненные значения  $K_{\text{п}}$ , полученные теоретически и экспериментально, а также возможные значения  $S_{\text{р-п}}$  для основных типов полупроводниковых приборов.

Таблица 1

Требуемые значения  $P_{\text{фп}}^{(1,2)}$ , Вт

Тип полупроводникового прибора	$K_{\text{п}}$	$S_{\text{р-п}}, \text{см}^2$	$\tau_{\text{р}\Sigma}, \text{мкс}$	$K_{\text{пол}}=0,5$			
				$P_{\text{фп}}^{(1)}, \text{Вт}$		$P_{\text{фп}}^{(2)}, \text{Вт}$	
				$K_{\text{сп}}=10 \text{ дБ}$	$K_{\text{сп}}=15 \text{ дБ}$	$K_{\text{вп}}=30 \text{ дБ}$	$K_{\text{вп}}=40 \text{ дБ}$
Диоды коммутирующие, транзисторы маломощные	0,2	$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$	255,0	0,06...3,1	0,2...9,48	62...3125	625...31250
Диоды микроволновые	0,02	$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$	255,0	0,006...0,31	0,002...0,95	6,25...310,25	62,5...3100,25
Схемы интегральные	0,2	$10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-3}$	55,02	0,006...0,012	0,002...0,4	6,25...12,5	62,5...125

Результаты расчетов, приведенные в табл. 1, показывают, что для осуществления внутриполосного функционального поражения пачкой импульсов с суммарным временем воздействия  $\tau_{\text{р}\Sigma} = 255$  мкс микроволновых диодов и интегральных схем необходима мощность на входе приемников поражаемых радиотехнических систем  $P_{\text{фп}}^{(1)}$  от 0,006 до 0,4 Вт, а коммутирующих диодов и маломощных транзисторов соответственно –  $P_{\text{фп}}^{(1)} = 0,06 \dots 9,5$  Вт.

Для осуществления внеполосного функционального поражения микроволновых диодов и микросхем необходима мощность  $P_{\text{фп}}^{(2)}$  от 6,25 до 125 Вт, а коммутирующих диодов и маломощных транзисторов

соответственно –  $P_{\text{фп}}^{(2)} = 62 \dots 312250$  Вт.

Приведенные значения  $P_{\text{фп}}^{(1,2)}$  в точке поражения позволяют рассчитать значение напряженности электрического поля, достаточную для ФП радиоэлементов модулятора передающей радиолинии БПЛА.

Очевидно, что длительность пачки поражающих импульсов может быть и короче. Необходимо, чтобы мощность, выделяемая на радиоэлементах, соответствовала данным, приведенным в таблице.

Меньшая длительность пачки (при той же энергии) является технологически более выгодным вариантом при условии, что она может быть реализована на существующей элементной базе.

Сравнительный анализ значений  $P_{\text{фп}}^{(1,2)}$  показывает, что энергетически более выгодным является режим внутрисполосного воздействия. В случае ФП модуляторов передающих радиолиний БПЛА именно этот режим будет иметь место, поскольку предполагается наличие антенной системы.

Как видно из табл. 1, максимальная мощность  $P_d$  при внутрисполосном подавлении, необходимая для деградации полупроводниковых диодов и транзисторов составляет величину 9,5 Вт, для внеполосного – 312,2 кВт. Для расчета напряженности электрического поля, которую необходимо создать на апертуре бортовой антенны телевизионного канала, воспользуемся известной зависимостью:

$$P_d = S \cdot A_{\text{эфф}},$$

где  $S = E_{\text{max}}^2 / 2Z_v$  – плотность потока мощности принимаемого сигнала;  $Z_v = 120\pi$  – волновое сопротивление свободного пространства;  $A_{\text{эфф}} = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$  – эффективная площадь антенны;  $\lambda$  – длина волны.

Учитывая поперечные размеры БПЛА, предположим, что линейный размер бортовой антенны передающего телевизионного канала составляет величину порядка  $L=20$  см. Предположим также, что амплитудное распределение в апертуре антенной систем является равномерным. В этом случае для нижней частоты спектра  $f_{\text{н}}=10$  ГГц с учетом  $K_{\text{пр}}=-13$  дБ и  $K_{\text{сп}}=-15$  дБ получим:

$G = 2L / \lambda = 13,3$ ,  $A_{\text{эфф}} = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , напряженность электрического поля при внутрисполосном воздействии должна быть больше, чем  $E_{\text{фп}}^{(1)} = 70$  кВ/м, при внеполосном –  $E_{\text{фп}}^{(2)} = 12$  МВ/м.

Очевидно, что при внутри- и внеполосном воздействии расстояние, на котором возможно осуществление ФП будет различным. Как указывалось выше, предполагается, что основным режимом работы средства ФП БПЛА с использованием многочастотных пространственно-временных сигналов является режим внутрисполосного воздействия.

## Выводы

Определены энергетические требования к средству функционального поражения радиотехнических систем бортового разведывательного обсервирования БПЛА.

Установлено, что при реализации внутрисполосного режима работы средства для деградации микроволновых диодов и интегральных схем необходима мощность на входе приемников поражаемых РЭС от 0,006 до 0,4 Вт, а коммутирующих диодов и маломощных транзисторов соответственно – 0,06 ... 9,5 Вт.

Для осуществления внеполосного функционального поражения микроволновых диодов и микросхем необходима мощность от 6,125 до 125 Вт, а коммутирующих диодов и маломощных транзисторов соответственно – 62 ... 31250 Вт.

## Список литературы

1. Шифрин Я.С. Антенны / Я.С. Шифрин. – Х.: ВИРТА им. Говорова, 1976. – 407 с.
2. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
3. Фокусировка электромагнитного излучения и ее применение в радиоэлектронных средствах СВЧ / Под ред. В.И. Гомозова. – Х.: "Городская типография", 2011. – 330 с.
4. Усанов Д.А. Воздействие мощного микроволнового излучения на полупроводниковые диодные структуры в цепях СВЧ / Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль // Радиоэлектроника. – 2003. – № 3. – С. 40-48.
5. Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов / Г.А. Месяц. – М.: Сов. радио, 1974. – 256 с.
6. Антипин В.В. Влияние мощных импульсных микроволновых помех на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы / В.В. Антипин, В.А. Годовицын // Зарубежная радиоэлектроника. – 1995. – № 1. – С. 37-53.

Надійшла до редколегії 21.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Єрмаков, НТУ «ХПІ», Харків.

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИМОГИ ДО ЗАСОБІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ

М.М. Ясечко, К.В. Садовий, А.О. Ковальчук, О.В. Тесленко

Визначені енергетичні параметри електромагнітного імпульсу для функціонального ураження радіоелектронної апаратури літальних апаратів тактичного рівня дії.

**Ключові слова:** енергія, функціональне ураження, радіоелектронні засоби

## ENERGY REQUIREMENTS FOR DRUGS FUNCTIONAL DAMAGE

M.N. Iasechko, K.V. Sadovyi, A.A. Kovalchuk, O.V. Teslenko

Energy requirements of electromagnetic pulse for functional damage defeat electronic equipment aircraft tactical level action.

**Keywords:** energy, functional damage, radiotechnical facilities.