

УДК 621.396.6

Д.Б. Кучер¹, С.В. Тараненко¹, А.И. Харланов¹, В.П. Макогон²

¹Севастопольский военно-морской ордена Красной Звезды институт им. П.С.Нахимова

²Конструкторское Бюро «Радиосвязь» ООО «Телекарт Прибор», Севастополь

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА УКВ ДИАПАЗОНА

В работе рассматриваются особенности энергетического воздействия источника мощных электромагнитных излучений искусственного происхождения на вход приемных трактов средств связи УКВ диапазона.

Ключевые слова: мощные электромагнитные излучения, антенно-фидерные устройства.

Введение

Постановка задачи. Обеспечение устойчивой работы в условиях сложной помеховой обстановки имеет важное значение при разработке и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В отличие от радиопомех и шумов воздействие мощных электромагнитных излучений (МЭМИ) на РЭА неизбежно вызывает нарушение их функционирования в результате возникновения во внешних и внутренних цепях РЭА наведенных напряжений и токов, которые могут привести к локальному выделению за достаточно короткий промежуток времени на некоторых элементах РЭА большого количества теплоты, и как следствие, их расплавление и выгорание.

В связи с увеличением функциональной сложности РЭА, широким применением в ней высокочувствительных элементов вопросы обеспечения защиты РЭА от воздействия МЭМИ становятся все более актуальными.

Анализ литературы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в работах [3 – 5] показали, что воздействие МЭМИ на РЭА приводит к их функциональному поражению.

Для определения степени возможного поражения РЭА необходимо учитывать все особенности воздействия на них МЭМИ, при этом максимальные уровни наводок будут приходиться на РЭА имеющие антенно-фидерные устройства.

Целью данной работы является проведение исследования энергетического влияния МЭМИ на входные устройства РЭА в зависимости от места расположения и согласования антенн РЭА.

Основной материал

Рассмотрим электромагнитное влияние МЭМИ на антенно-фидерное устройство РЭА. Для определения мощности выделяемой на зажимах антенны, представим РЭА УКВ диапазона с направленной антенной типа «волновой канал» (рис. 1).

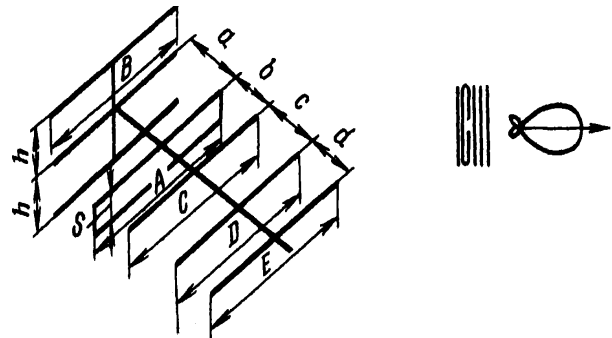


Рис. 1. Антенна типа «волновой канал»

Таблица 1
Размеры антенны типа «волновой канал»

Размеры, мм	
A	730
B	840
C	720
D	720
E	700
a	325
b	210
c	500
d	420
h	240
s	80
Длина U-колена, мм	
560	

Ток, протекающий через зажимы антенны, работающей в режиме приема, определяем через параметры той же антенны, работающей в режиме передачи. Следовательно, параметры антенны можно определять или в режиме излучения, или в режиме приема электромагнитных волн независимо от того, в каком режиме будет использована антенна. Характеристики направленности ХН, КНД антенны (рис. 2) и комплексная нагрузка (рис. 3) одинаковы при работе на излучение и на прием, если передатчик и приемник подключены к одной антенне [1].

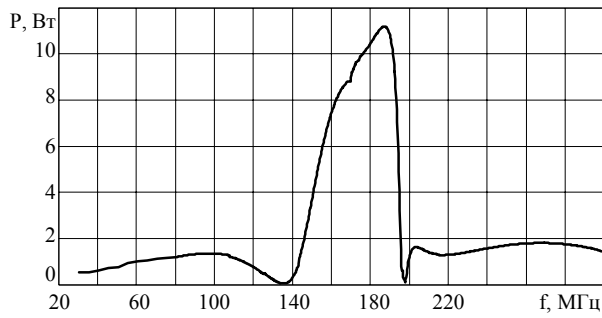


Рис. 2. КНД антенны в частотном диапазоне

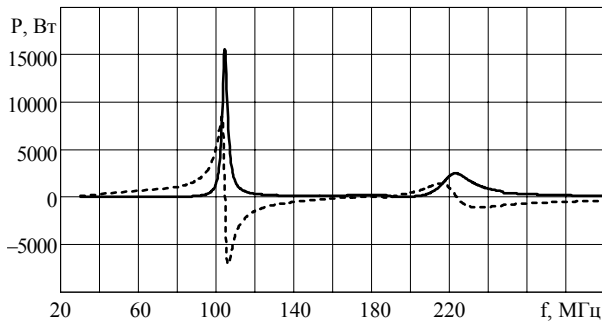


Рис. 3. Комплексная нагрузка антенны:

— активная R_A составляющая нагрузки;
 --- реактивная X_A составляющая нагрузки

Мощность, выделяемая в нагрузку приемной антенны, определяется исходя из следующей зависимости [2]:

$$P = (I_n^2 R_H) / 2. \quad (1)$$

Ток I_n , протекающий через зажимы приемной антенны при подключении нагрузки, определяется выражением [1]:

$$I_n = \frac{E(\vec{e}_A \vec{e}_B)}{|Z_A + Z_H|} \cdot \sqrt{\frac{DR_\Sigma}{30k^2}} \cdot F(\theta, \varphi). \quad (2)$$

Используя соотношение (1) и (2) получим [2]:

$$P = \frac{E^2 G \lambda^2}{960 \pi^2} \cdot \frac{4 R_H R_A}{|Z_A + Z_H|^2} \cdot |(\vec{e}_A \vec{e}_B)|^2 \cdot F^2(\theta, \varphi)$$

или $P = P_{\max} F^2(\theta, \varphi) \cdot \rho_{\text{пол}}$. (4)

Мощность, отдаваемая приемной антенной нагрузке, определяется четырьмя множителями, из которых первый P_{\max} – максимальная мощность выделяемая в нагрузку и определяется формулой (5) [2]:

$$P_{\max} = (E^2 G \lambda^2) / (960 \pi^2), \quad (5)$$

где G – коэффициент усиления антенны; E – напряженность поля на входе антенны.

Квадрат нормированной ХН $F^2(\theta, \gamma)$ представляет собой число, значение которого зависит от диаграммы направленности ДН антенны в пространстве. Если максимум ДН будет ориентирован в направлении прихода волн, то $F_{\max}(\theta, \gamma) = 1$. Таким образом, путем изменения углового положения оси или раскрыва антенны (поворота ее ДН) можно добиться увеличения мощности в нагрузке.

Величина ρ характеризует согласование входного сопротивления антенны с сопротивлением нагрузки [2]

$$\rho = 4 R_A R_H / ((R_A + R_H)^2 + (X_A + X_H)^2). \quad (6)$$

Максимальное значение ρ принимает при условии полного согласования, где R_A , R_H , X_A , X_H , активные и реактивные составляющие входных сопротивлений антенны и нагрузки соответственно.

Величина $a_{\text{пол}}$ представляет собой коэффициент поляризованной согласованности [2].

Возвращаясь к выражению (4), можно отметить, что в правой части три множителя принимают максимальное значение, равное единице, при выполнении следующих условий:

- совмещение максимума приема волны с направлением ее прихода $F_{\max}(\theta, \gamma) = 1$;
- согласование входного сопротивления антенны с сопротивлением нагрузки $\rho = 1$;
- полное поляризационное согласование антенны с принимаемой электромагнитной волной $a_{\text{пол}} = 1$.

Коэффициент усиления антенны в формуле (2) определяется в зависимости от КПД η и КНД D антенны [1]:

$$G(\theta, \varphi) = \eta_A D(\theta, \varphi). \quad (7)$$

Наведенная амплитудная напряженность поля в точке приема антенны рассчитывается по интерференционной формуле (8), считая очевидным поражение МЭМИ в «зоне освещенности» [3]:

$$E_{\max} = (245 \cdot \sqrt{P_{1(\text{кВт})}} \cdot D_1 / r_{(\text{км})}) \cdot F. \quad (8)$$

При этом множитель ослабления зависит от высот антенн [3]:

$$F = \sqrt{1 + 2R \cos(\theta + (2\pi/\lambda) \cdot \Delta r) + R^2}, \quad (9)$$

где R – модуль коэффициента отражения; Δr – разность хода лучей; θ – угол потери фазы.

Анализ необходимо производить с учетом спектральной характеристики сигнала МЭМИ в точке приема [4]:

$$S(j\omega) = 1/(a_1 + j\omega) - 1/(a_2 + j\omega), \quad (10)$$

где a_1 и a_2 рассчитываются исходя из длительности импульса $\tau_{\text{и}}$ и переднего фронта $\tau_{\text{ф}}$ [4].

На рис. 4–7 показана мощность, выделяемая на нагрузку приемной антенны в УКВ диапазоне в зависимости от расположения антенна от источника МЭМИ. Данные графические зависимости получены из условий: мощность излучения генератора МЭМИ в пределах 10^{10} Вт; длительность импульса $\sim 2,2$ мс, при величине переднего фронта ~ 300 мкс [5]; высота подъема антенны МЭМИ $h_1 = 50$ м с коэффициентом усиления 3; высота приемной антенны $h_2 = 2$ м; почва сухая с параметрами: $\epsilon = 4$, $\sigma = 0,001$ сим/м. Распространение происходит в условиях нормальной атмосферной рефракции, эквивалентным радиусом Земли $a_0 = 8,5 \cdot 10^6$ м.

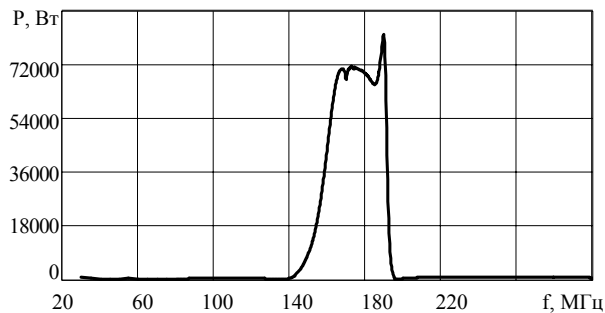


Рис. 4. Мощность сигнала Р в нагрузке антенны на расстоянии 500 м

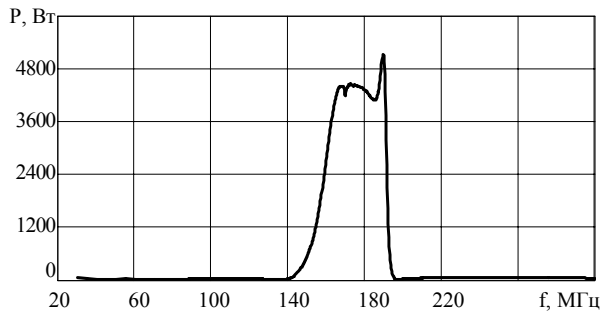


Рис. 6. Мощность сигнала Р в нагрузке антенны на расстоянии 1 км

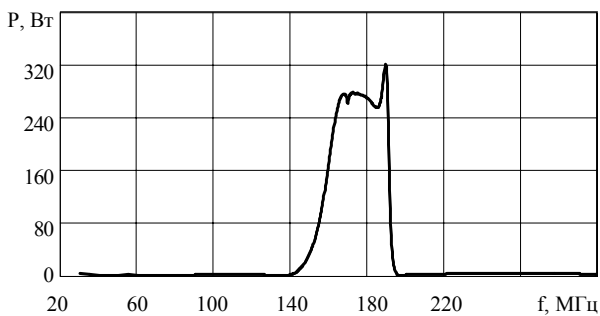


Рис. 6. Мощность сигнала Р в нагрузке антенны на расстоянии 2 км

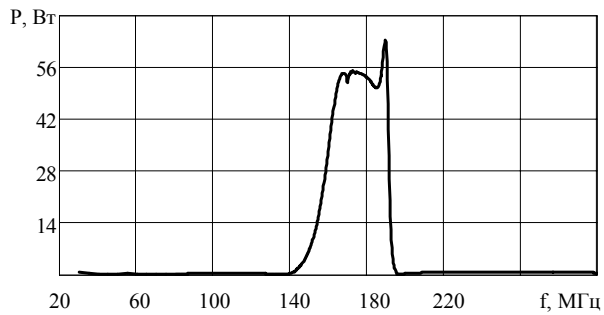


Рис. 7. Мощность сигнала Р в нагрузке антенны на расстоянии 3 км

Анализируя полученные результаты, получаем, что энергия, наводимая на зажимах антенны, при длительности импульса 2,2 мс, колеблется от сотен Дж на расстоянии 500 м от источника излучения, до

10^{-2} Дж на расстоянии 3 км, в пределах согласования антенны. При воздействии подобных высоких значений энергии в изделиях могут наблюдаться:

- пробой р-п переходов у полупроводниковых приборов;
- пробой газовых и газонаполненных промежутков;
- расплавление и обрыв токоведущих дорожек, мест паяк;
- сбои в работе и появлении ложных сигналов [6].

Выводы

Для ограничения значительных по амплитуде токов и напряжений, возникающих под действием МЭМИ в АФУ необходимо применять различного типа защитные устройства, такие полупроводниковые (разрядники, кремниевые ограничительные диоды, варисторы и т.д.) и конструктивные (заземление, экранирование и т.д.). Необходимо учитывать, что полупроводниковые защитные устройства имеют эффективность только при условии высокого быстродействия по отношению к длительности фронта ЭМИ.

Правильность выбора и применения защитных устройств является одним из важнейших условий, обеспечивающих требуемые технические и эксплуатационные характеристики аппаратуры, ее надежность, а также надежность самих защитных устройств в условиях различного рода перенапряжений цепях РЭА.

Список литературы

1. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства / А.З. Фрадин. – М.: Связь, 1977. – 340 с.
2. Ильницкий Л.Я. Теория антенных устройств / Л.Я. Ильницкий, Л.В. Сибрук, М.И. Фузик. – К.: КМГУА, 1996. – 176 с.
3. Долуханов Н.П. Распространение радиоволн / Н.П. Долуханов. – М.: Связь, 1972. – 260 с.
4. Кравченко В.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В.И. Кравченко, Е.А. Болотов, Н.И. Летунова. – М.: Радиосвязь, 1987. – 251 с.
5. Моделирование теплового механизма в полупроводниках при импульсном воздействии ЭМП / Ю.Ф. Лонин, В.И. Чумаков, А.В. Столярчук, Н.И. Слипченко, А.М. Егоров // ВАНТ, Серия «Яд.-физ.иссл.». – 2004. – 43, № 2. – С. 203-205.
6. Кучер Д.Б. Мощные электромагнитные излучения и сверхпроводящие защитные устройства / Д.Б. Кучер. – Севастополь: Ахтиар, 1997. – 240 с.

Поступила в редколлегию 24.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ НА РАДІОЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ УКХ ДІАПАЗОНУ

Д.Б. Кучер, С.В. Тараненко, О.І. Харланов, В.П. Макогон

У роботі розглядаються особливості виділення енергії від джерела потужних електромагнітних випромінювань штучного походження на вході приймальних трактів засобів зв'язку УКХ діапазону.

Ключові слова: *потужні електромагнітні випромінювання, антено - фідерні пристрої.*

**FEATURES OF INFLUENCE OF POWERFUL ELECTROMAGNETIC RADIATIONS
ON RADIO ELECTRONIC FACILITIES FM RANGE**

D.B. Kucher, S.V. Taranenko, A.I. Charlanov, V.P. Makogon

The features of selection energy are in-process examined from the source of powerful electromagnetic radiations of artificial origin on the entrance of receiving highways of communication means FM range.

Keywords: *powerful electromagnetic radiations, antenna-feeder devices.*