

УДК 621.373.9

Д.Б. Кучер, Д.Л. Голубцов

Академія військово-морських сил ім. П.С. Нахімова, Севастополь

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В КОНСТРУКЦИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА

Рассмотрены основные характеристики антенных систем и варианты их практического применения для излучения мощных электромагнитных помех в конструкциях ограниченного объема.

Ключевые слова: мощные электромагнитные излучения, рамочная антенна.

Введение

Постановка задачи. Развитие средств ведения радиоэлектронной борьбы выводит на первый план задачу выбора антенной системы, имеющей ограниченные конструктивные размеры при ее размещении в специальных корпусах. Для создания мощных электромагнитных помех данные антенные системы подключаются к специализированным генераторам (взрывоманнитные генераторы (ВМГ), виркаторы и т.д.) и должны выдерживать высокие значения по токам и напряжениям [1].

Анализ исследований и публикаций.

В работах [2, 3] были представлены результаты исследований токов, наводимых ВМГ на нагрузку. При комбинировании работы таких устройств в качестве нагрузки должна выступать антенная система, способная выдерживать токи в десятки килоампер. Для излучения мощных электромагнитных помех наиболее рациональным является выбор рамочной антенны, способной излучать магнитную составляющую поля, проникающую вглубь объектов. Основными преимуществами магнитно-рамочных антенн являются также их предельная компактность в сочетании с высоким коэффициентом полезного действия, способность непрерывно перекрывать заданный интервал частот, их симметричность и т.д. [4].

Целью данной работы является моделирование основных параметров антенной системы при размещении ее в конструкциях ограниченного объема.

Основная часть

Для решения задачи размещения излучающей системы в ограниченном объеме, рассмотрим следующий вариант конструкции (рис. 1), позволяющий задать параметры проектируемой антенны (табл. 1).

В качестве конструкции ограниченного объема рассмотрим цилиндр с диаметром $D=100-130$ мм и высотой $H=100\dots550$ мм (размеры рамочной антенны должны соответствовать заданным параметрам).

Рассмотрим основные характеристики антенной системы для мощных электромагнитных

помех. Одной из важнейших характеристик проектируемой антенны является полоса пропускания [5 – 8]. Выбранная антенна преобразует импульс напряжения $V(t)$, имеющий спектральную функцию $U(\omega)$, который поступает на ее вход по фидеру с волновым сопротивлением $\rho_{\text{ф}}$, в импульс электромагнитного поля $E(r,t)$, распространяющегося в виде свободной волны со спектральной функцией $E(r,\omega)$ [5,6]. Она может быть характеризована пространственно-частотной характеристикой (векторной передаточной функцией) $N_a(\omega,r)$, которая представляет отношение комплексной амплитуды вектора напряженности излученного электромагнитного поля в точке пространства r , к комплексной амплитуде сигнала $U(\omega)$ [5,6]. В дальней зоне напряженность электрического поля излучателя, занимающего объем V_a , определяется как [5]:

$$E(r, \omega) = -i \cdot (\omega/c) \cdot Z_0 I_0(\omega) \times \exp\left(-i\omega \frac{r}{c}\right) / (4\pi r) \cdot \int_{V_a} j(\omega, r') \exp(i\omega \frac{r'}{c} \cos \Theta) d^3 r', \quad (1)$$

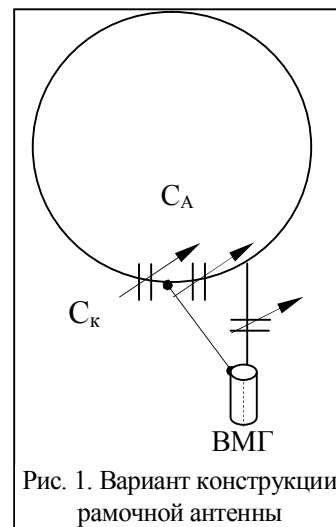


Рис. 1. Вариант конструкции рамочной антенны

Таблица 1

Параметры проектируемой антенны

r , м	0,045	0,055	0,065	0,075	0,085	0,095	0,105
d , м	2×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}
P , м	0,283	0,346	0,408	0,471	0,534	0,597	0,66
L , Гн	$9,32 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-7}$	$1,44 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-7}$	$1,98 \times 10^{-7}$	$2,25 \times 10^{-7}$	$2,53 \times 10^{-7}$
$R_{\text{из}}$, Ом	$1,2 \times 10^{-8}$	$2,81 \times 10^{-8}$	$5,4 \times 10^{-8}$	$9,7 \times 10^{-8}$	$1,6 \times 10^{-7}$	$2,5 \times 10^{-7}$	$3,7 \times 10^{-7}$

Примечание: r – радиус кольца антенны, м; d – диаметр провода, м; P – периметр антенны, м; L – индуктивность, Гн; $R_{\text{из}}$ – сопротивление излучения, Ом.

где c – скорость света; Z_0 – волновое сопротивление свободного пространства; $I_0(\omega) = U(\omega) / [Z_a(j, \omega) + \rho_\phi]$ – комплексная амплитуда тока на входе антенны; $Z_a(j, \omega)$ – входной импеданс антенны; $j(\omega, r')$ – функция распределения объемной плотности тока, нормированная к $I_0(\omega)$; r – радиус-вектор точки наблюдения, r' – радиус-вектор точки источника; θ – угол между r и r' .

$$\text{Тогда } \frac{E(r, \omega)}{U(\omega)} = R(\omega, r) H_a(\Theta, \omega).$$

Множитель $R(\omega, r) = \frac{\exp\left(i\omega \frac{r}{c}\right)}{4\pi r}$ можно трактовать как передаточную функцию свободного пространства, которая не зависит от характеристик излучателя; $H_a(\theta, \omega)$ имеет смысл пространственно-частотной векторной передаточной функции антенны [5]:

$$H_a(\Theta, \omega) = -i \frac{\omega}{c} \cdot \frac{Z_0}{[Z_a(j, \omega) + \rho_\phi]} \times \int_{V_a} j(\omega, r') \exp\left(i\omega \frac{r'}{c} \cos \Theta\right) d^3 r'. \quad (2)$$

Если известна передаточная функция антенны $H_a(\theta, \omega)$, то форма излученного в направлении θ электромагнитного импульса $E(t)$ определяется как обратное преобразование Фурье от произведения $H_a(\theta, \omega)$ на спектральную функцию возбуждающего импульса $U(\omega)$. В общем случае передаточная функция может быть выражена через параметры антенны:

$$H_a(\Theta, \omega) = -i \frac{\omega}{c} \cdot \frac{Z_0}{[Z_a(j, \omega) + \rho_\phi]} \times |f(\Theta, \omega)| \cdot \exp[i\Phi(\Theta, \omega)] \cdot p(\Theta, \omega), \quad (3)$$

где $|f(\Theta, \omega)| = \left| \int_{V_a} j(\omega, r') \exp\left(i\omega \frac{r'}{c} \cos \Theta\right) d^3 r' \right|$ – амплитудная диаграмма направленности (ДН); $\Phi(\theta, \omega)$ – фазовая характеристика направленности; $p(\theta, \omega)$ – поляризационная характеристика.

Для определения напряженности электрического и магнитного полей антенны определим величину $Z_a(j, \omega)$, которая будет определять полосу пропускания и значения напряженности электромагнитного поля. При этом под полосой пропускания будем понимать интервал частот, в котором $H_a(\theta, \omega)$ остается постоянной или изменяется в допустимых пределах. Величина $Z_a(j, \omega)$ будет иметь значение:

$$Z_a(j, \omega) = j\omega\mu_0 r^* \left[\ln\left(\frac{8r^*}{d^*}\right) - 2 \right], \quad (4)$$

где r^* – радиус витка соленоида; d^* – диаметр провода обмотки.

С учетом выражения (4), запишем:

$$H_a(\Theta, \omega) = -i \frac{\omega}{c} \cdot \frac{Z_0}{\left[j\omega\mu_0 r^* \left[\ln\left(\frac{8r^*}{d^*}\right) - 2 \right] + \rho_\phi \right]} \times \quad (5)$$

$$\times |f(\Theta, \omega)| \cdot \exp[i\Phi(\Theta, \omega)] \cdot p(\Theta, \omega).$$

Анализируя данную зависимость с учетом ограничений размеров антенны (табл. 1), при размещении ее в конструкциях ограниченного объема, можно сделать вывод, что полоса пропускания будет соответствовать значению $\Delta f \approx 40$ МГц. С учетом выбранной конструкции антенны рассмотрим характеристики ее излучения. Для этого запишем выражение характеризующее связь магнитного и электрического поля в дальней зоне излучения [5, 6]:

$$\begin{cases} \dot{E}_\varphi = \frac{\dot{I} e^{-j\alpha r} \alpha S \omega \mu_a}{4\pi r} \sin \theta; \\ \dot{H}_\theta = -\frac{\dot{I} e^{-j\alpha r} \alpha^2 I S}{4\pi r} \sin \theta, \end{cases} \quad (6)$$

где \dot{I} – эквивалентный ток в рамке; $\alpha = 2\pi/\lambda$ – коэффициент фазы; S – площадь последнего витка внешней спирали.

Кроме длительности электромагнитного импульса, на величины напряженностей излучаемых полей влияет сопротивление излучения выбранной комбинированной системы. Данное сопротивление учитывает активную мощность, излучаемую комбинированной системой в окружающее пространство.

Для определения сопротивления излучения перепишем систему (6) для амплитудных значений электрического и магнитного полей, учитывая, что $e^{-j\alpha r} \approx 1$, $\alpha = 2\pi \frac{1}{\lambda}$ и волновое сопротивление сре-

$$\text{ды } Z_B = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_a}} = 120\pi:$$

$$\begin{cases} E_{\varphi m} = \frac{I_{\max} S \omega \mu_a}{2\lambda r} \sin \theta; \\ H_{\theta m} = \frac{I_{\max} \omega \mu_a S}{2\lambda r} \sqrt{\frac{\epsilon_a}{\mu_a}} \sin \theta, \end{cases} \quad (7)$$

где I_{\max} – максимальное значение электрического тока, наводимого при взрыве ВМГ на последнем витке внешней спирали.

В графическом виде на рис. 2 представлены зависимости значений напряженности магнитного поля от тока ВМГ с учетом заданных параметров антенны (табл. 1).

Из анализа полученных зависимостей, представленных на рис. 2, можно сделать вывод, что при величинах тока $i \approx 1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$ А, напряженность магнитного поля в точке излучения антенной системой диаметром $D \approx 0.09$ м будет лежать в пределах $H \approx 4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$ А/м.ф.

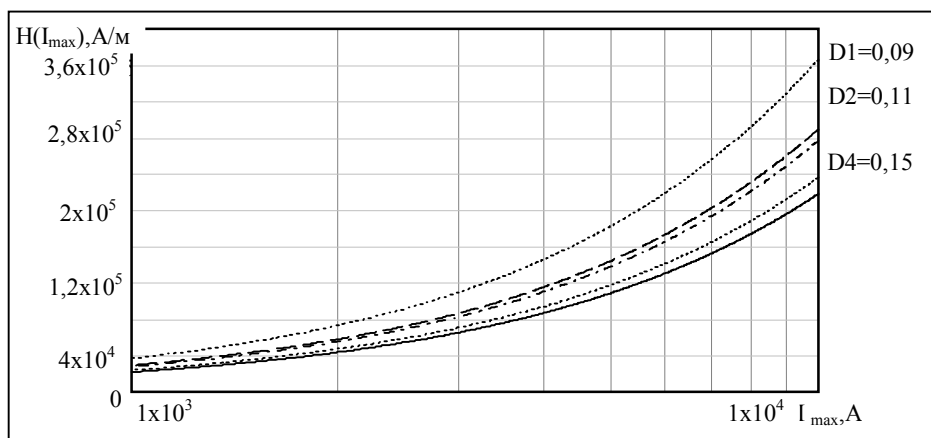


Рис. 2. Зависимость напряженности электромагнитного поля от тока ВМГ при различных радиусах рамки

Выбирая в качестве источника тока для антенны спиральный взрывомагнитный генератор [3] можно получить распределение амплитуд напряженности магнитного поля в дальней зоне из выражения (6).

В графическом виде на рис. 3 представлена зависимость изменения амплитудных значений H_{θ} от расстояния до точки излучения. Амплитуды полей в

дальней зоне обратно пропорциональны длине волны (или длительности $\tau_{и}$ при импульсном излучении) и прямо пропорциональны частоте колебаний тока в излучающей системе. При использовании в качестве генератора спирального ВМГ с диаметром витка 0,09 м амплитуда напряженности (рис. 3) магнитного поля для дальности до 200 м будет иметь значения $H > 0,18$ А/м.

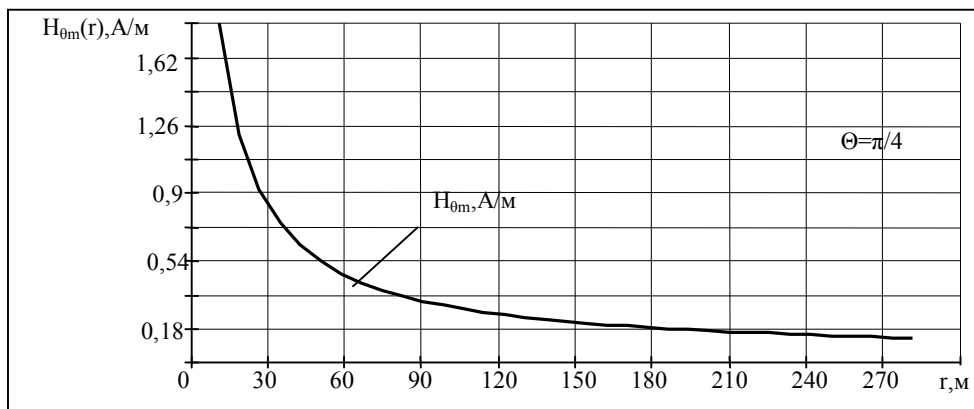


Рис. 3. Распределение амплитуд напряженностей магнитного поля в дальней зоне излучения рамочной антенны

Выводы

В результате проведенных исследований получены основные характеристики антенной системы предназначенной для излучения мощных электромагнитных помех при ее размещении в конструкциях ограниченного объема.

Антенна с выбранными параметрами будет иметь ограниченную полосу пропускания

$$\Delta f \approx 40 \text{ МГц.}$$

Несмотря на то, что энергия выделяемая в пространство будет составлять 10-15% от подаваемой с генератора, выбранная антенная система позволяет сконцентрировать на дальности до 200 метров значения напряженности магнитного поля 0,18 – 1,7 А/м, что приведет к выводу из строя чувствительных элементов радиоэлектронной аппаратуры в дальней зоне излучения.

Список литературы

1. Прищепенко А.Б. Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона / А.Б. Прищепенко. – М.: БИНОМ.
2. Особенности применения спиральных взрывомагнитных генераторов в конструкциях ограниченного объема / Д.Б. Кучер, Д.Л. Голубцов, В.Н. Мардерос, Т.В. Зонтова // 36. наук. пр. ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 3(28). – С. 27-32.
3. Особенности генерирования мощных электромагнитных помех спиральным взрывомагнитным генератором / Д.Б. Кучер, С.В. Тараненко, А.И. Харланов, Ю.М. Бусяк // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2009. – Вып. 4(78). – С. 86-90.
4. Ротхаммель К. Антенны / К. Ротхаммель. – Изд. 11-е, доп. Алоиз Кршике, 2008, в 2-х томах. – 828 с.
5. Андреев Ю.А. Малогабаритные сверхширокополосные антенны для излучения мощных электромагнитных импульсов / Ю.А. Андреев, Ю.И. Буянов, В.И. Кошелев // Журнал радиоэлектроники. – Институт сильноточной электроники СО РАН. – 2006. – Вып. №2. – С. 12-28.

6. Марков Г.Т. Антенны / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.

Фано. – М.: Сов. Радио, 1965. – 72 с.

7. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пос. для вузов / Васильев Д.В, Витоль М.Р., Горшенков Ю.Н. и др. / под ред. К.А. Самойло. – М.: Радио и связь, 1982. – 528 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2011

8. Фано Р. Теоретические ограничения полосы согласования произвольных импедансов: пер. с англ. / Р.

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

ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕШКОД У КОНСТРУКЦІЯХ ОБМЕЖЕНОГО ОБ'ЄМУ

Д.Б. Кучер, Д.Л. Голубцов

В статті розглянуті основні характеристики антенних систем та варіанти їх практичного застосування для випромінювань потужних електромагнітних перешкод в конструкціях обмеженого об'єму.

Ключові слова: *потужні електромагнітні випромінювання, рамкова антена.*

SPECIAL CONDITIONS OF PLACEMENT OF SPIRAL SYSTEMS FOR POWERFUL MAGNETIC INTERFERENCE RADIATION IN THE LIMITED SIZE CONSTRUCTIONS

D.B. Kuher, D.L. Golubtsov

Principle characteristics of spiral systems and variants of their application for powerful magnetic interference radiation in the limited size constructions have been revealed in the article.

Keywords: *powerful electromagnetic radiations, loop-aerial.*