



УДК 621.396.96

**Е. Б. Соловьева**, д-р техн. наук  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
(Россия, 197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5,  
тел.: (812) 3461796, E-mail: selenab@hotmail.ru),  
**Н. В. Коровкин**, д-р техн. наук, чл.-кор. АЭ РФ  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
(Россия, 195251, С.-Петербург, ул. Политехническая, 29,  
тел.: (812) 5527572, E-mail: nv@caro.spb.ru)

### **Моделирование нелинейных процессов в экранированной камере на основе метода расщепления**

*(Статью представила канд. техн. наук Э. П. Семагина)*

Предложен метод построения нелинейной модели экранированной камеры с нелинейным объектом. Полученная модель имеет вид многочлена расщепленных сигналов. Она может быть использована для компенсации искажений характеристик электромагнитного поля в камере, порождаемых нелинейными процессами. Приведен пример моделирования реверберационной камеры с диодной петлей, дана оценка точности моделирования.

Запропоновано метод побудови нелінійної моделі екранованої камери з нелінійним об'єктом. Отримана модель має вигляд многочлена розщеплених сигналів. Її можна використовувати для компенсації спотворень характеристик електромагнітного поля у камері, породжуваних нелінійними процесами. Наведено приклад моделювання ревербераційної камери з діодною петлею, дано оцінку точності моделювання.

*К л ю ч е в ы е с л о в а : экранированная камера, моделирование, нелинейный оператор, метод расщепления.*

Точность и надежность измерений характеристик электромагнитного поля (ЭМП) в экранированной камере зависят от постоянства этих характеристик [1]. Известно, что при испытании помещенных в экранированную камеру нелинейных объектов высокочастотные входные сигналы возбуждают нелинейные демодуляционные процессы, существенно изменяющие низкочастотные характеристики ЭМП в камере [2]. Математическое моделирование данного аномального явления — важная задача, так как построенные модели можно использовать для компенсации «расстройки» камеры.

Следует заметить, что эффект расстройки камеры идентичен явлению возникновения низкочастотных помех внутри нелинейных электронных

устройств при воздействии внешнего высокочастотного ЭМП. Методы компенсации внутренних низкочастотных помех при математическом моделировании процессов их появления описаны в работах [3 — 5].

Моделирование экранированной камеры предлагается осуществлять на основе операторного подхода, когда моделируемый объект представляется в виде «черного ящика», а его нелинейный оператор аппроксимируется функциональным полиномом [6, 7]. Достоинство такого подхода — нахождение параметров полинома по соотношению вход—выход, т. е. с использованием измеренных (или вычисленных) входных и выходных сигналов камеры.

Будем рассматривать моделирование аномального явления расстройки камеры на основе метода расщепления. В качестве объекта исследования выберем реверберационную камеру с помещенной в нее диодной петлей [2]. Расстройка камеры наблюдается при сравнении выходных сигналов полиномиальных моделей камеры с диодным рассеивателем и без него.

#### **Моделирование нелинейных эффектов в экранированной камере.**

Экранированная камера представляет собой резонатор с большим числом резонансных точек. Поскольку основной вклад в резонансные явления вносит точка первого резонанса, исследования выполняются вблизи этой точки [8].

Реверберационная камера в диапазоне первого резонанса может быть описана операторными уравнениями:

во временной области

$$y_R(t) = F_R^t[x(t)], \quad (1)$$

где  $x(t)$  и  $y_R(t)$  — входной и выходной сигналы камеры;  $F_R^t$  — оператор, устанавливающий однозначное соответствие между множеством  $X$  входных  $x(t) \in X$  и множеством  $Y$  выходных  $y(t) \in Y$  сигналов;

в частотной области

$$Y_R(\omega) = F_R[X(\omega)], \quad (2)$$

где  $X(\omega)$  и  $Y_R(\omega)$  — частотное представление входного и выходного сигналов камеры;  $F_R$  — оператор резонатора.

На рис. 1, *a* и *б* представлены функциональные схемы, соответствующие операторным уравнениям (1) и (2). При помещении в камеру нелинейного объекта уравнение (1) резонатора преобразуется к виду

$$\begin{aligned} y(t) = F^t[x(t)] &= F_R^t[x(t) + A_N^t[x(t)]] = F_R^t[x(t)] + F_R^t[A_N^t[x(t)]] = \\ &= F_R^t[x(t)] + F_N^t[x(t)] = y_R(t) + y_N(t), \end{aligned} \quad (3)$$

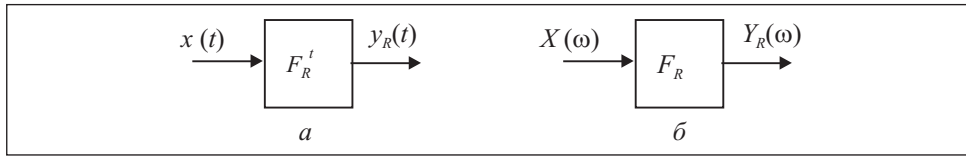


Рис. 1

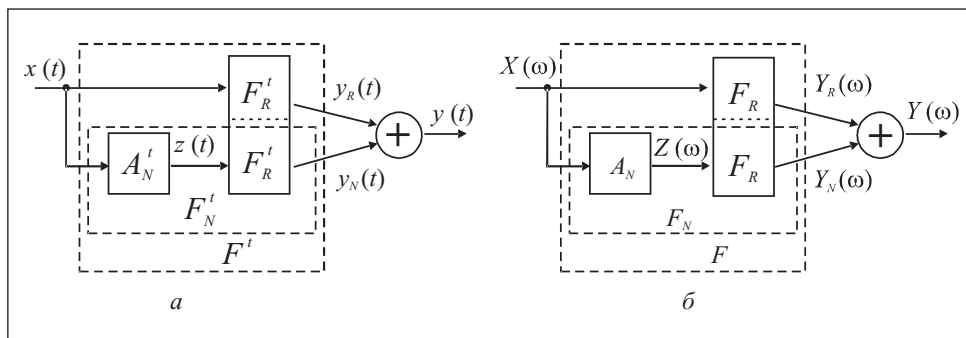


Рис. 2

где  $y(t)$  — выходной сигнал камеры с нелинейным объектом;  $A_N^t$  — оператор нелинейного устройства, описывающий однозначное соответствие между множествами  $X$  и  $Z$  его входных  $x(t) \in X$  и выходных  $z(t) \in Z$  сигналов ( $z(t) = A_N^t[x(t)]$ );  $y_N(t)$  — аддитивная нелинейная составляющая, обусловленная влиянием объекта на электромагнитные процессы в камере,  $y_N(t) = F_N^t[x(t)] = F_R^t[A_N^t[x(t)]]$ .

В частотной области операторному уравнению (3) камеры с нелинейным объектом соответствует равенство

$$\begin{aligned} Y(\omega) &= F[X(\omega)] = F_R[X(\omega)] + F_R[A_N[X(\omega)]] = \\ &= F_R[X(\omega)] + F_N[X(\omega)] = Y_R(\omega) + Y_N(\omega), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $A_N$  — оператор в соотношении вход—выход  $Z(\omega) = A_N[X(\omega)]$  нелинейного устройства;  $Y_N(\omega)$  — аддитивная составляющая, описывающая влияние нелинейных процессов на ЭМП в камере,  $Y_N(\omega) = F_N[X(\omega)] = F_R[A_N[X(\omega)]]$ .

На рис. 2, а и б изображены функциональные схемы, полученные на основе операторных уравнений соответственно (3) и (4). Сравнивая выражения (1) и (3), а также (2) и (4), видим, что нелинейные процессы в электронном устройстве изменяют характеристики экранированной камеры. Для устранения этого негативного явления выходной сигнал  $y(t)$  ( $Y(\omega)$ ) скорректируем на величину  $y_N(t)$  ( $Y_N(\omega)$ ), которая формируется согласно

уравнению  $y_N(t) = y(t) - y_R(t)$  или  $Y_N(\omega) = Y(\omega) - Y_R(\omega)$ . Сигналы в правых частях этих уравнений можно получить на основе математических моделей камеры с нелинейным устройством и без него.

Для моделирования исследуемых объектов используем метод расщепления — один из известных универсальных методов аппроксимации нелинейных операторов по соотношению вход—выход [9]. Достоинства метода расщепления заключаются в следующем:

построенная полиномиальная модель адаптирована к классу входных сигналов, следовательно, более проста по сравнению с альтернативными моделями (полиномом Вольтерры, NARMAX-моделью, персептронной нейронной цепью [7]);

многочлен расщепленных сигналов не связан с проблемой сходимости, что важно при моделировании существенно нелинейных процессов. Точность моделирования повышается при увеличении степени многомерного полинома;

многочлен расщепленных сигналов содержит линейно входящие параметры, поэтому вычисленные при решении задачи аппроксимации оператора параметры модели являются глобально оптимальными в равномерной и среднеквадратичной метриках [9].

Поскольку метод расщепления инвариантен к временной и частотной областям, рассмотрим его на примере аппроксимации нелинейного оператора  $F$  из уравнения (4) (см. рис. 2, б).

**Нелинейное моделирование методом расщепления.** В рамках теории расщепления [9] синтез оператора  $F$  состоит в построении композиции двух операторов: оператора  $F_p$  расщепителя и оператора  $P^Q$  нелинейного безынерционного преобразователя (НБП).

Оператор-расщепитель  $F_p$  в точке  $\omega$  преобразует скалярный входной сигнал  $X(\omega)$  из множества  $X$  в соответствующий векторный сигнал  $\mathbf{X}_p(\omega) = F_p[X(\omega)] = [X_{p1}(\omega), X_{p2}(\omega), \dots, X_{pM}(\omega)]^T$ , где  $T$  — знак транспонирования, таким образом, чтобы в любой точке  $\omega$  из диапазона  $[\omega_a, \omega_b]$  ( $\omega \in [\omega_a, \omega_b]$ ) векторные сигналы, построенные на множестве  $X$ , не обращались в ноль и были различны.

Оператор НБП осуществляет отображение векторного сигнала  $\mathbf{X}_p(\omega)$  в соответствующий скалярный выходной сигнал  $Y(\omega)$ . Такой оператор описывается многомерным многочленом степени  $Q$

$$\begin{aligned} \tilde{Y}(\omega) &= P^Q[\mathbf{X}_p(\omega)] = \\ &= \sum_{i_1=0}^{I_1} \sum_{i_2=0}^{I_2} \dots \sum_{i_M=0}^{I_M} C_{i_1 i_2 \dots i_M} [X_{p1}(\omega)]^{i_1} [X_{p2}(\omega)]^{i_2} \dots [X_{pM}(\omega)]^{i_M}, \end{aligned} \quad (5)$$

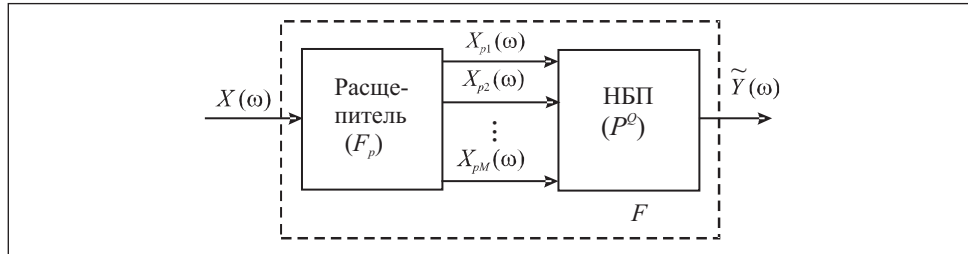


Рис. 3

где  $Q = I_1 + I_2 + \dots + I_M$ . Возможны и другие формы представления оператора  $P^Q$ , например в виде дробно-рациональной функции, экспоненциального многочлена и др. [9]. Операторному уравнению (5) соответствует функциональная схема, представленная на рис. 3.

Вектор  $\mathbf{C}$  параметров оператора  $P^Q$  находим, решая задачу аппроксимации

$$\|Y(\omega) - P^Q[\mathbf{X}_p(\omega)]\| \rightarrow \min_{\mathbf{C}}, \quad (6)$$

например в среднеквадратичной метрике ( $L_2$ ), т. е.

$$\|Y(\omega) - P^Q[\mathbf{X}_p(\omega)]\| = \frac{1}{G} \sqrt{\sum_{g=1}^G (Y_g(\omega) - P^Q[\mathbf{X}_{p,g}(\omega)])^2}.$$

**Характеристики реверберационной камеры с нелинейным рассеивателем.** В качестве объекта моделирования рассмотрим реверберационную камеру с помещенной в нее диодной петлей [2, 10]. Моделирование камеры выполним в частотной области. Предварительно опишем характеристики камеры, нелинейного рассеивателя, а также действующие в них сигналы во временной и частотной областях.

1. Входной сигнал  $u(t)$  камеры — гармоническое колебание, модулированное цепочкой прямоугольных импульсов,

$$u(t) = \sum_i f(t - iT_m). \quad (7)$$

Здесь  $f(t) = \sin(\omega_c t) \delta_1(t) \delta_1(T_p - t)$ , где  $\delta_1(t)$  — единичная ступенчатая функция;  $T_c = 2\pi/\omega_c = 1/f_c$ ;  $f_c = 900$  МГц — несущая частота;  $T_p = N_p T_c$ ;  $N_p$  — целая константа, выбираемая при условии заполнения импульсом половины периода  $T_m = 2\pi/\omega_m$  при  $n=1$ ;  $\omega_m$  — модулирующая частота, определяемая из приближенного равенства  $\omega_1 \approx n\omega_m$  (следовательно,  $T_m \approx nT_1$  при  $T_1 = 2\pi/\omega_1$ );  $n, n \in [2; 10]$  — номер гармоники сигнала (7);

$\omega_1 = 2\pi f_1$  — частота первого резонанса в камере;  $f_1 = 30,78$  МГц. Тогда  $T_p = T_1/2 = \pi/\omega_1$ . Воздействие сигнала  $u(t)$  показано на рис. 4, а.

Амплитудный спектр импульса воздействия (7) с учетом номера гармоники сигнала описывается выражением

$$U(\omega) = \frac{2}{T_m} \left| \frac{2\omega_c}{\omega_c^2 - \omega^2} \sin(\omega T_p/2) \right| = \left| \frac{\omega_1}{\pi} \left( \frac{2\omega_c}{\omega_c^2 - \omega^2} \right) \sin(\omega T_p/2) \right|, \quad (8)$$

где  $T_m = n2\pi/\omega_1$ ;  $\omega \in [2\pi \cdot 30,5 \cdot 10^6; 2\pi \cdot 31,3 \cdot 10^6]$  рад/с.

2. Выходной сигнал камеры — мощность ЭМП в точке первого резонанса — определяется как интеграл свертки:

$$E_R(t) = E_0 \omega_1^2 \int_0^t u(\tau) K_R(t-\tau) d\tau, \quad (9)$$

где  $E_0 = 2 \cdot 10^{-6}$  — масштабный множитель;  $K_R(t) = \frac{e^{-\gamma_1 t}}{\hat{\omega}_1} \sin(\hat{\omega}_1 t) \delta_1(t)$ ;

$\hat{\omega}_1 = \sqrt{\omega_1^2 - \gamma_1^2}$ ;  $\gamma_1 = \omega_1/(2Q_1)$ ;  $Q_1 = 1424,8$  — добротность в точке  $f_1$ . Используя выражения (8) и (9) получаем амплитудный спектр мощности ЭМП в камере:

$$E_R(\omega) = E_0 \omega_1^2 K_R(\omega) U(\omega), \quad (10)$$

где  $K_R(\omega) = |K_R(j\omega)|$  — модуль изображения по Фурье характеристики  $K_R(t)$ ,

$$K_R(\omega) = \left| \frac{1}{(\gamma_1 + j\omega)^2 + \hat{\omega}_1^2} \right|. \quad (11)$$

3. Нелинейный рассеиватель — петля с восемью диодами — имеет следующие параметры: радиус окружности  $R_0 = 0,2035$  м; площадь круга  $S = \pi R_0^2 = 0,1301$  м<sup>2</sup>; индуктивность петли [11]

$$L(\omega) = \frac{l}{2\pi r} \sqrt{\frac{\mu_0}{2\omega\gamma}},$$

где  $l = 2\pi R_0 = 1,2786$  м — длина окружности,  $r = 0,0005$  м — радиус проволоки;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ;  $\gamma = 6 \cdot 10^7$ .

4. Выходной сигнал (мощность ЭМП) камеры с диодным рассеивателем в точке первого резонанса определяется из выражения

$$E(t) = E_R(t) + \frac{\mu_0 S \cos(\alpha)}{L} E_0 \omega_1^2 \int_0^t z(t) K_R(t-\tau) d\tau = E_R(t) + E_N(t). \quad (12)$$

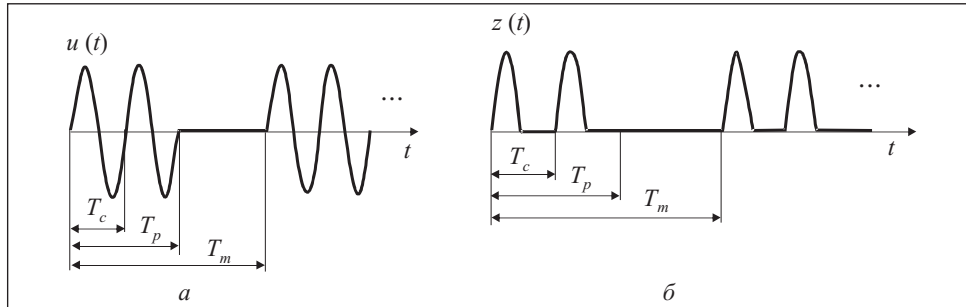


Рис. 4

Здесь  $z(t)$  — изображенный (на рис. 4, б) выходной сигнал диодной петли при показанном на рис. 4, а воздействии (7);  $\cos(\alpha) = 1$ , где  $\alpha$  — угол между магнитным полем в камере и нормальным вектором петли.

На основе интегрального выражения (12) получим амплитудный спектр мощности ЭМП в камере с нелинейным рассеивателем

$$E(\omega) = E_0 \omega_1^2 \left| \left( 1 + \frac{\mu_0 S \cos(\alpha)}{L} \left( \frac{1 + e^{-j\omega T_c/2}}{1 - e^{-j\omega T_c}} \right) \right) \frac{1}{(\gamma_1 + j\omega)^2 + \bar{\omega}_1^2} \right| U(\omega). \quad (13)$$

**Моделирование камеры с нелинейным рассеивателем.** Построим частотную полиномиальную модель реверберационной камеры с нелинейным рассеивателем. Камера описана операторным уравнением (4) и представлена в виде функциональной схемы на рис. 2, б.

Для удобства формирования полиномиальной модели представим действующие в реверберационной камере сигналы следующим образом: воздействие

$$X(\omega) = 1/U(\omega), \quad (14)$$

реакция

$$Y(\omega) = 1/E(\omega), \quad (15)$$

где частотные зависимости  $U(\omega)$  и  $E(\omega)$  соответствуют выражениям (8) и (13).

Согласно методу расщепления [9] построение нелинейной модели объекта включает два этапа.

1. *Расщепление множества входных сигналов  $X(\omega)$  по переменной  $\omega$ .* Из формул (8) и (14) получаем описание множества воздействий:

$$X(\omega) = \left| \frac{n\pi}{\omega_1} \left( \frac{\omega_c^2 - \omega^2}{2\omega_c} \right) \frac{1}{\sin(\omega T_p / 2)} \right|,$$

где  $n \in [2; 10]$ ;  $\omega \in [2\pi \cdot 30,5 \cdot 10^6; 2\pi \cdot 31,3 \cdot 10^6]$  рад/с;  $T_p = T_1 / 2 = \pi / \omega_1$ . Сигнал  $X(\omega)$  в указанных диапазонах изменения параметров  $n$  и  $\omega$  представим в виде

$$X(\omega) = \left| \frac{n\pi \left( \frac{\omega_c^2 - \omega^2}{2\omega_c} \right)}{\omega_1} \right| B(\omega), \quad (16)$$

где

$$B(\omega) = \left| \frac{1}{\sin((\omega/\omega_1)(\pi/2))} \right|.$$

Из анализа равенства (16) следует, что сигнал  $X(\omega)$  не расщеплен по переменной  $\omega$ , так как не расщеплен множитель  $B(\omega)$ . Действительно, равенство  $B(\omega_A) = B(\omega_B)$  выполняется не только при  $\omega_A = \omega_B$ , но и при условии  $\omega_A \neq \omega_B$ , когда  $\omega_A < \omega_1$ ,  $\omega_B > \omega_1$  и  $\omega_1 - \omega_A = \omega_B - \omega_1 = d$  (рис. 5, а).

Сформируем вектор

$$\mathbf{V}_p(\omega) = F_p[B(\omega)] = \left[ B(\omega), \frac{d(B(\omega))}{d\omega} \right] \quad (17)$$

и покажем, что сигналы, входящие в него, расщеплены по переменной  $\omega$ . Производная  $d(B(\omega))/d\omega = B'(\omega)$ , полученная графическим дифференцированием изображенного на рис. 5, а сигнала  $B(\omega)$ , представлена на рис. 5, б.

Из рис. 5 видно, что равенство  $B'(\omega_A) = B'(\omega_B)$  справедливо лишь при условии  $\omega_A = \omega_B$ . Таким образом, во всех точках диапазона  $\omega \in [2\pi \cdot 30,5 \cdot 10^6; 2\pi \cdot 31,3 \cdot 10^6]$  рад/с векторные сигналы  $\mathbf{V}_p(\omega)$  различны, следовательно, расщеплены. Очевидно, что при расщеплении множителя  $B(\omega)$  в выражении (16) по переменной  $\omega$  происходит расщепление сигнала  $X(\omega)$  по указанной переменной. Поэтому при расщепленном векторе  $\mathbf{V}_p(\omega)$  из выражения (17) расщепленным является также вектор

$$\mathbf{X}_p(\omega) = F_p[X(\omega)] = \left[ X(\omega), \frac{d(X(\omega))}{d\omega} \right]. \quad (18)$$

2. *Формирование НБП.* При расщеплении (18) полиномиальная модель (5) реверберационной камеры с диодным рассеивателем имеет вид двумерного ( $M=2$ ) многочлена

$$\tilde{Y}(\omega) = P^Q[\mathbf{X}_p(\omega)] = \sum_{i_1=0}^{I_1} \sum_{i_2=0}^{I_2} C_{i_1 i_2} [X(\omega)]^{i_1} \left[ \frac{d(X(\omega))}{d\omega} \right]^{i_2}, \quad (19)$$

где  $Q = I_1 + I_2$ . Параметры модели (19) находим в результате решения задачи аппроксимации (6) в среднеквадратичной метрике на множествах входных  $X(\omega)$  (14) и выходных  $Y(\omega)$  (15) сигналов при  $n \in [2; 10]$ ,  $\omega \in [2\pi \cdot 30,5 \cdot 10^6; 2\pi \cdot 31,3 \cdot 10^6]$  рад/с.



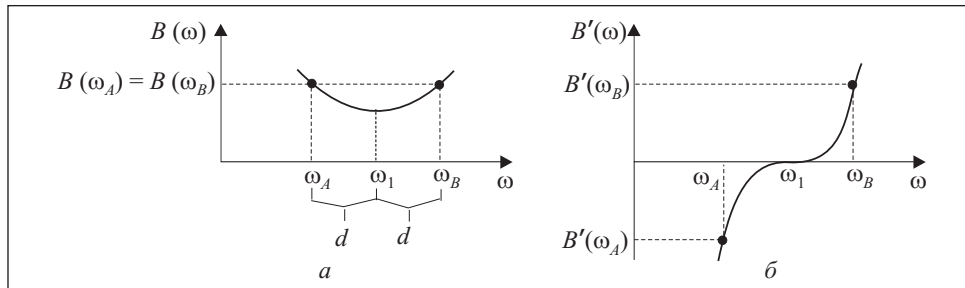


Рис. 5

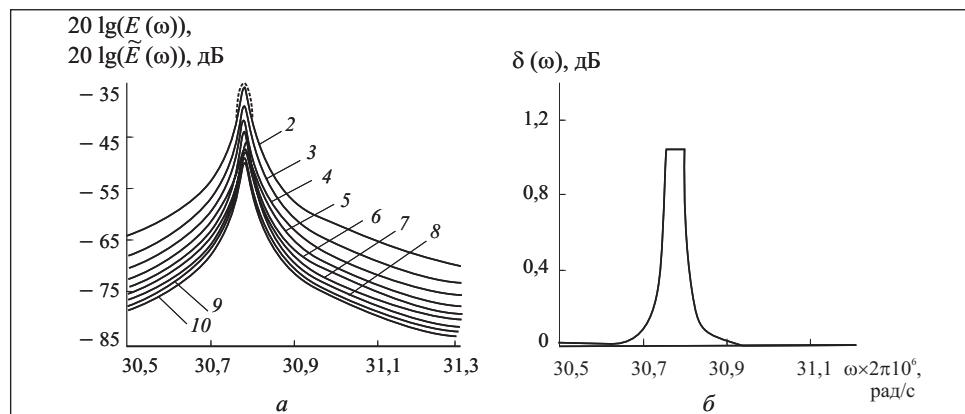


Рис. 6

Результаты моделирования реверберационной камеры с диодной петлей квадратичным полиномом (19) ( $Q=2$ ) представлены на рис. 6. Амплитудные спектры мощности ЭМП  $20 \lg(E(\omega))$  дБ и  $20 \lg(\tilde{E}(\omega))$  дБ, где  $\tilde{E}(\omega)=1/\tilde{Y}(\omega)$ , показаны на рис 6, а. Сплошные линии соответствуют сигналу  $E(\omega)$  из выражения (13), а штриховые линии  $\tilde{Y}(\omega)$  выходному сигналу модели (19). Номер кривой соответствует номеру гармоники  $n$  входного сигнала камеры. На рис. 6, б изображена абсолютная погрешность моделирования  $\delta(\omega)=|20 \lg(E(\omega))-20 \lg(\tilde{E}(\omega))|$ , дБ. Зависимость  $\delta(\omega)$  одинакова для всех гармоник  $n$ .

Из рис. 6 видно, что модель (19) при  $Q=2$  достаточно точно описывает электромагнитные процессы в реверберационной камере с диодным рассеивателем в точке первого резонанса.

**Полиномиальная модель резонатора.** Моделирование резонатора (пустой реверберационной камеры) выполним в частотной области на

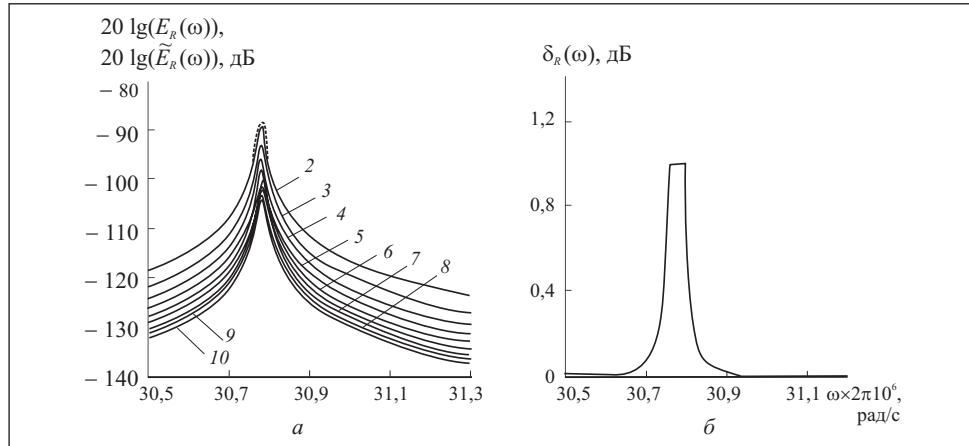


Рис. 7

множествах входных сигналов (14) при  $U(\omega)$  из выражения (8) и выходных сигналов

$$Y_R(\omega) = 1/E_R(\omega), \quad (20)$$

где  $E_R(\omega)$  — амплитудный спектр мощности ЭМП (10) с учетом (11) при  $n \in [2; 10]$ ;  $\omega \in [2\pi \cdot 30,5 \cdot 10^6; 2\pi \cdot 31,3 \cdot 10^6]$  рад/с.

Поскольку оператор  $F_R$  не линеен относительно частоты  $\omega$ , для его аппроксимации используем многомерный многочлен расщепленных сигналов. Заметим, что расщепление воздействия  $X(\omega)$  по переменной  $\omega$  было выполнено ранее, и его результатом является вектор  $\mathbf{X}_p(\omega)$  (18).

Таким образом, полиномиальная модель резонатора имеет вид

$$\tilde{Y}_R(\omega) = P_R^Q[\mathbf{X}_p(\omega)] = \sum_{i_1=0}^{I_1} \sum_{i_2=0}^{I_2} D_{i_1 i_2} [X(\omega)]^{i_1} \left[ \frac{d(X(\omega))}{d\omega} \right]^{i_2}, \quad (21)$$

где  $Q = I_1 + I_2$ ;  $P_R^Q$  — оператор НБП с вектором параметров  $\mathbf{D}$ .

Параметры модели (21) находим, решая задачу аппроксимации  $\|Y_R(\omega) - P_R^Q[\mathbf{X}_p(\omega)]\| \rightarrow \min_{\mathbf{D}}$  в метрике  $L_2$  на множествах входных  $X(\omega)$  (14)

и выходных  $Y_R(\omega)$  (20) сигналов.

Результаты моделирования резонатора квадратичным полиномом ( $Q = 2$ ) показаны на рис. 7. Амплитудные спектры мощности  $20 \lg(E_R(\omega))$  дБ и  $20 \lg(\tilde{E}_R(\omega))$  дБ, где  $\tilde{E}_R(\omega) = 1/\tilde{Y}_R(\omega)$ , представлены на рис. 7, а. Сплошные линии соответствуют сигналу  $E_R(\omega)$  из выражения (10), а штриховые линии выходному сигналу  $\tilde{Y}_R(\omega)$  модели (21). Номер кривой соответствует

номеру гармоники  $n$  входного сигнала. На рис. 7, б представлен график абсолютной погрешности моделирования

$$\delta_R(\omega) = |20 \lg(E_R(\omega)) - 20 \lg(\tilde{E}_R(\omega))|, \text{ дБ.}$$

Зависимость  $\delta_R(\omega)$  одинакова для всех гармоник  $n$ . Из рис. 7 видно, что модель (21) описывает электромагнитные процессы в резонаторе практически с такой же точностью, как и в случае камеры с диодной петлей.

**Выводы.** Моделирование экранированной камеры с нелинейным объектом и без него может быть выполнено на основе операторного подхода, в рамках которого эффективным методом аппроксимации нелинейного оператора камеры является метод расщепления. Поскольку многочлен расщепленных сигналов адаптирован к воздействию, его форма проще по сравнению с другими альтернативными моделями. Полученные в результате моделирования экранированной камеры параметры модели глобально оптимальны в равномерной и среднеквадратичной метриках. Точность моделирования повышается при увеличении степени аппроксимирующего полинома.

Результаты моделирования реверберационной камеры с диодным рассеивателем и без него свидетельствуют об изменении низкочастотных характеристик ЭМП в исследуемом объекте под влиянием нелинейных демодуляционных процессов в диодной петле при высокочастотном воздействии.

Математическое описание аномального явления, наблюдаемого при помещении в камеру нелинейного устройства, дает возможность численно компенсировать искажения характеристик ЭМП в камере, вызванные данным явлением.

The method is proposed for construction of nonlinear model of screened chamber with nonlinear object. The model obtained is formed as a polynomial of split signals. This model can be used for compensation of characteristic distortions of an electromagnetic field in the chamber. These distortions are produced by nonlinear processes. The example of modeling of the reverberation chamber with nonlinear loop is presented. The accuracy of modeling is estimated.

1. Paul C. R. Introduction to Electromagnetic Compatibility. — New York. : John Wiley & Sons, 1992. — 523 p.
2. Krauthauser H. G., Tkachenko S., Nitsch J. Strong linear and non-linear coupling to system-cavity modes from repetitive high frequency illumination // Proc. of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 01). Torino, Italy, 10—14 september, 2001. — Torino : Geda Grafica&Stampa. — 2001. — P. 103—106.
3. Nitsch J., Korovkin N., Solovyeva E. Examination of the demodulation effect of two-tone disturbances on nonlinear elements // Advances in Radio Science. — 2004. — № 2. — P. 1—6.

4. Коровкин Н. В., Соловьева Е. Б., Нитч Ю. Низкочастотные помехи в нелинейных электронных устройствах при воздействии внешнего электромагнитного поля // Электричество. — 2005. — № 8. — С. 34—40.
5. Соловьева Е. Б., Коровкин Н. В., Нитч Ю. Синтез компенсаторов нелинейных искажений сигналов по соотношению вход-выход // Электрон. моделирование. — 2005. — 27, № 5. — С. 3—14.
6. Данилов Л. В. Ряды Вольтерры—Пикара в теории нелинейных электрических цепей. — М.: Радио и связь, 1987. — 224 с.
7. Mathews V. J., Sicuranza G. L. Polynomial signal processing. — N. Y. : John Wiley & Sons, 2000. — 452 p.
8. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В. И. Кравченко, Е. А. Болотов, Н. И. Летунова; под ред. В. И. Кравченко. — М. : Радио и связь, 1987. — 255 с.
9. Ланнэ А. А. Нелинейные динамические системы: синтез, оптимизация и идентификация. — Л. : ВАС, 1985. — 286 с.
10. Соловьева Е. Б., Коровкин Н. В., Крауэтхойзер Х. Г. и др. Моделирование аномального возбуждения в реверберационной камере // 5-й Междунар. симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии: Сб. науч. докладов. С.-Петербург, 16—19 сентября, 2003 г. — С.-Петербург : СПбГЭТУ. — 2003. — С. 64—67.
11. Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчет индуктивностей. — Л. : Энергоатомиздат, 1986. — 487 с.

Поступила 26.12.06

*СОЛОВЬЕВА Елена Борисовна, д-р техн. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», который окончила в 1987 г. Область научных исследований — идентификация, моделирование и синтез нелинейных аналоговых и цифровых систем.*

*КОРОВКИН Николай Владимирович — д-р техн. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, который окончил в 1977 г. Область научных исследований — анализ процессов в цепях с переменной структурой и в вентильных цепях; методы расчета процессов в системах, описываемых жесткими уравнениями; задачи электромагнитной совместимости; исследования импульсных процессов в линейных и нелинейных системах.*