

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОНТАКТНЫХ РАДИОПОМЕХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПЕРЕМЕННОГО КОНТАКТА, РАБОТАЮЩЕГО В НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВНУТРИСИСТЕМНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НА ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТАХ

CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL
MODELS OF CONTACT RADIO
INTERFERENCE UNDER IRRADIATION
OF A VARIABLE CONTACT OPERATING
IN A NONLINEAR MODE FOR SOLVING
APPLIED PROBLEMS OF ENSURING
AN INTRA-SYSTEM ELECTROMAGNETIC
MAGNETIC UNIT

**N. Grachev
A. Andryukhin**

Summary. The article discusses the modeling of contact noise generation processes in the design of electronic equipment, taking into account electromagnetic compatibility. The paper considers two types of contact jamming models. The main place is devoted to the analysis of a nonlinear model of contact noise formation. The analysis of a nonlinear model of the formation of contact radio interference, a nonlinear manifestation of the nature of contact resistance leads to a sharp increase in the frequency spectrum affected by contact noise. This is especially true for the case of irradiation of an alternating contact with a polyharmonic electromagnetic field while simultaneously operating on the radiation of several transmitters at once.

Keywords: simulation, contact interference models, electromagnetic compatibility.

Грачев Николай Николаевич

*К.т.н., профессор, МИРЭА — Российский
технологический университет (г. Москва)
nnggrachev@mail.ru*

Андрюхин Александр Гавриилович

*К.т.н., доцент, МИРЭА — Российский
технологический университет (г. Москва)
pr1110@list.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы моделирования процессов образования контактных помех при проектировании радиоэлектронных средств с учетом электромагнитной совместимости. В работе рассмотрены два типа моделей образования контактных радиопомех. Основное место отведено анализу нелинейной модели образования контактных помех. Проведенный анализ нелинейной модели образования контактных радиопомех, нелинейное проявление характера контактного сопротивления приводит к резкому увеличению спектра частот, пораженных контактными помехами. Это имеет особое значение к случаю облучения переменного контакта полигармоническим электромагнитным полем при одновременной работе на излучение сразу нескольких передатчиков.

Ключевые слова: моделирование, модели контактных помех, электромагнитная совместимость.

В технике одной из существенных проблем в последние годы стала проблема образования контактных помех радиоприему обусловленных наличием значительного числа радиоустройств на современных подвижных объектах, особенно мобильных подвижных средств и объектах авиации. Облучаемый переменный контакт рассматривается как линейное инерционное устройство с параметрами, обусловленными некоторым случайным процессом, изменяющим амплитуду и частотно-фазовые характеристики высоко-

частотного тока проводимости, наведенного внешним электромагнитным полем [1,2].

Эквивалентная схема облучаемого переменного контакта, как источника контактных помех представлена на рис. 1.

При рассмотрении переменного контакта в линейном режиме возникновение контактных помех может быть приближенно представлено в виде преобразова-

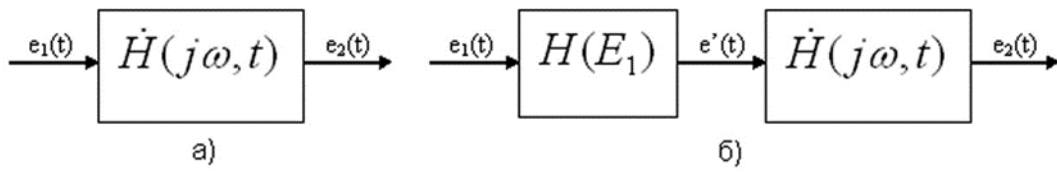


Рис. 1. Облучаемый переменный контакт, представленный как: а) — линейный параметрический инерционный четырехполюсник и б) работающий в нелинейном режиме, как последовательно соединенные два четырехполюсника.

ния напряженности электромагнитного поля некоторым гипотетическим четырехполюсником с комплексной передаточной функцией $\dot{H}(j\omega, t)$ (рис. 1, а).

Напряженность электромагнитного поля вторичного излучения переменного контакта может быть определена в виде:

$$e_2(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}_{e_1}(\omega) \dot{H}(j\omega, t) e^{j\omega t} dt,$$

где $\dot{S}_{e_1}(\omega)$ — энергетический спектр облучающего электромагнитного поля.

Изменение контактного сопротивления в условиях периодических воздействий приводит к периодическому закону изменения во времени самой передаточной функции $\dot{H}(j\omega, t)$.

Представление контакта в виде двух соединенных четырехполюсников: линейного инерционного с переменными параметрами и нелинейного безынерционного, соответствует второй модели [3]. Которая, в свою очередь применима к случаю, если контакт облучается сильным электромагнитным полем, на контактом слое начинают проявляться нелинейные свойства. Если ток проходит через нелинейность формируются гармоники и комбинации частот исходного спектра, причем их порядок определяется порядком нелинейности. При нахождении контакта в состоянии покоя, то возникающие комбинации частот трудно отличить от неосновных излучений передатчиков, поскольку механизм возникновения тех и других одинаков. При подверженности контакта качке, вибрации и т.д., что характерно для подвижных объектов, то каждая составляющая спектра дополнительно «расплывается». Вышеупомянутые явления адекватно имитирует линейный четырехполюсник, являющийся составной частью второй модели контактного источника помехи. Сигнал с фиксированным спектром частот преобразуется на нелинейном переменном контакте в сигнал с широкой полосой, его спектр состоит из ряда гармоник, число которых определяется порядком нелинейности, а ширина спектра на каждой гармонике

непосредственно связана с частотой механических колебаний в месте контакта. Таким образом, общий спектр помехи в случае, когда переменный контакт обладает нелинейными свойствами, может занимать несколько октав, что увеличивает вероятность поражения приемников, имеющих значительную расстройку от номинальной частоты передатчика, облучаемого рассматриваемый контакт.

Представляется достаточно правдоподобным рассмотрение работы контакта в нелинейном режиме как прохождения сигнала, соответствующего напряженности облучающего электромагнитного поля, через последовательное соединение нелинейного безынерционного и линейного инерционного четырехполюсников, представленного на рис. 1 б с $H(E_1)$ и $\dot{H}(j\omega, t)$.

Преобразование спектра электромагнитного поля, в действительности происходящее за счет прохождения наведенного тока проводимости через нелинейное параметрическое комплексное сопротивление на стыке двух соприкасающихся элементов конструкции подвижного объекта, заменяется эквивалентным суммарным эффектом двух преобразований, из которых одно является нелинейным безынерционным, постоянным по времени, а второе — линейным, инерционным и переменным.

В качестве примера рассмотрим спектр электромагнитного поля вторичного излучения при следующих предположениях:

- ♦ облучающее поле является моногармоническим с частотой ω_0 : $e_1(t) = E_{1m} \cos \omega_0 t$;
- ♦ переключение нелинейного переменного контакта, а следовательно, и изменение передаточной функции $\dot{H}(j\omega, t)$ представляются в виде периодической функции времени, раскладываемой в ряд Фурье по элементам с частотой Ω :

$$\dot{H}(j\omega, t) = \sum_{k=1}^K H_k(j\omega) \cos(k\Omega + \varphi_k).$$

Предположим, что характеристика нелинейности передаточной функции $H(E_1)$ с достаточной точностью

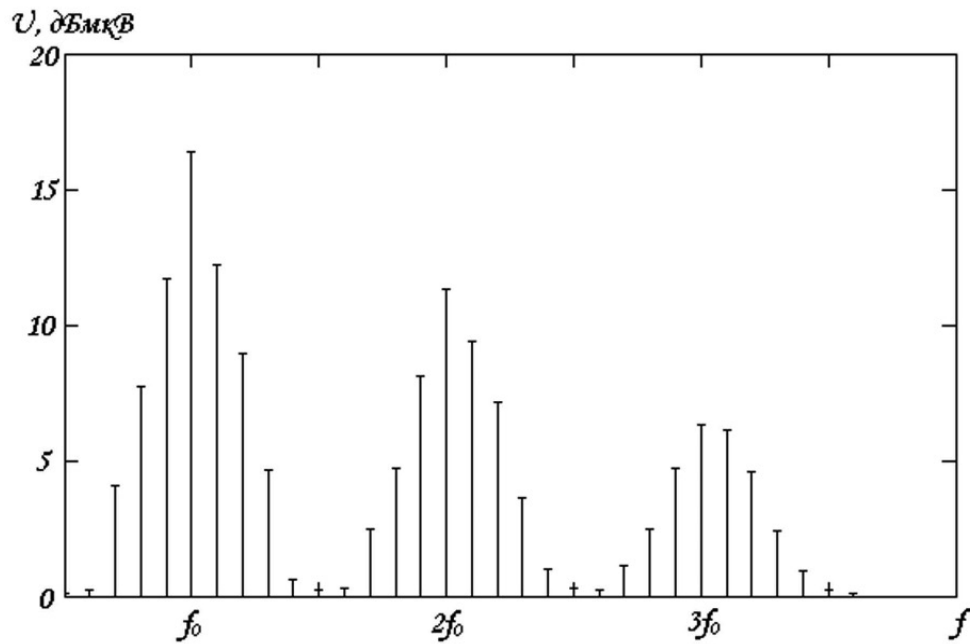


Рис. 2. Спектрограмма контактных помех

аппроксимируется полиномом, содержащим члены всех степеней от 1 до N :

$$H(E) = \sum_{n=1}^N q_n E_1^n,$$

где q_n — коэффициент аппроксимации.

Методами анализа нелинейных электрических цепей находим, что на выходе нелинейного четырехполюсника сигнал $e'(t)$ кроме составляющей на основной частоте ω_0 будет содержать составляющие и на ее гармониках $2\omega_0, 3\omega_0 \dots$ до $N\omega_0$ включительно (рис. 2).

Запишем $e'(t)$ в виде ряда Фурье

$$e'(t) = \sum_{n=1}^N A_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n)$$

$$\omega_1 = n\omega_0 + \kappa\Omega,$$

где A_n — амплитуда n -й гармоники;

ϕ_n — фаза n -й гармоники.

Тогда напряженность поля вторичного излучения можно определить по формуле:

$$e_2(t) = E_1 \operatorname{Re} \left\{ \dot{H}(j\omega, t) \right\} = \sum_{n=1}^N A_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n) \sum_{k=1}^K H_k(\omega) \cos(k\Omega t + \phi_k)$$

После несложных, но громоздких вычислений с использованием формул кратных дуг находим

$$e_2(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \frac{A_n H_k(n\omega_0)}{2} \left\{ \cos[(n\omega_0 + \kappa\Omega)t + \phi_n + \phi_k] + \cos[(n\omega_0 - \kappa\Omega)t + \phi_n - \phi_k] \right\}$$

Из полученного выражения следует, что электромагнитное поле вторичного излучения нелинейного периодического контакта содержит спектральные составляющие на частотах $\omega_1 = n\omega_0 + \kappa\Omega$. Спектрограмма выходного сигнала представлена на рис. 2. При облучении мощным электромагнитным полем контактные помехи возникают не только около основной частоты облучающего поля, но также и около ее гармоник.

Нелинейное проявление характера контактного сопротивления ведет к резкому увеличению спектра частот, пораженных контактными помехами. В высокой степени это имеет отношение к облучения переменного контакта полигармоническим электромагнитным полем при одновременной работе на излучение сразу нескольких передатчиков.

Третья — дуговая модель контактной помехи, в которой при значительном увеличении напряженности облучающего поля возможно нарушение связей решетки окисной пленки, что по сути является начальной стадией пробоя диэлектрического слоя между контак-

тирующими элементами, т.е. стадии дугообразования. Взаимные связи между дугой, возникающей при облучении переменных контактов высокочастотным полем, и спектром вторичного излучения от нее не изучены до сих пор. Проводимые исследования показывают,

соответствие спектра излучения электрической дуги на переменном контакте, облучаемом высокочастотным электромагнитным полем, гауссовской кривой, центрированной относительно частоты облучаемого передатчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев А.Г., Матисен А. И., Патрин В. С. Защита радиоприема на судах от помех. — Л.: Судостроение, 1973. — 208 с.
2. Клементенко А.Я., Панов Б. А., Свешников В. Ф. Контактные помехи радиоприему. — М.: Воениздат, 1979. — 116 с.
3. Радиозлектронные средства и мощные электромагнитные помехи — М: РиС — 1987. — 241с.

© Грачев Николай Николаевич (nngachev@mail.ru), Андрюхин Александр Гаврилович (pr1110@list.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МИРЭА — Российский технологический университет 1