

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ПРИБОРАХ СО СКРЕЩЕННЫМИ ПОЛЯМИ

Воловенко М. В., Никитенко О. М.
Харківський національний університет радіоелектроніки
м. Харків, 61166, Україна
тел.: 057-7021331, e-mail: nikon@kture.kharkov.ua

Аннотация — Рассмотрена возможность адаптации систем, описывающих работу приборов со скрещенными полями к линеаризованным. Такое упрощение позволяет значительно упростить изучение спектральных составляющих в выходном спектре приборов со скрещенными полями.

I. Введение

В последние годы методы нелинейной динамики находят все большее распространение при исследовании динамических систем самой различной природы. При этом выявляются ранее не обнаруженные хаотические режимы, позволившие объяснить ряд эффектов и особенностей систем, которые до этого не имели четкой физической трактовки.

Одним из наиболее распространенных приборов магнетронного типа является многорезонаторный магнетрон, используемый как генератор мощных электромагнитных колебаний. Существенной особенностью работы многорезонаторных магнетронов является так называемый «аномальный» шум, уровень которого значительно превышает шумы других приборов СВЧ, в частности, ЛБВ.

С этой точки зрения особый интерес вызывают задачи, связанные с движением заряженных частиц в скрещенных электрических и магнитных полях в таких областях как астрофизика, физика ускорителей, СВЧ-электроника и др.

Самоорганизация систем, которые содержат большое количество заряженных частиц, начинается с установления между ними устойчивых связей. Для этого частицы должны взаимодействовать друг с другом. Электронные системы являются привлекательным объектом исследования механизмов самоорганизации. Поля, которые при этом существуют, приводят к образованию электронных структур.

Самоорганизованные электронные структуры существуют при больших градиентах напряжений, при которых принцип локального равновесия не выполняется. Для анализа процессов в приборах со скрещенными полями используют уравнения движения, которые не содержат в явном виде диссипативных членов [1].

Самоорганизация электронов в электронных приборах со скрещенными полями развивается как процесс самосогласованного взаимодействия большого числа заряженных частиц с внешними полями относительно к каждой из них. Для описания таких полей зачастую используют методы аналитической механики [2].

Допускаются такие значения внешних параметров, при которых возможны лишь устойчивые решения. Линеаризуя эти уравнения, определяем набор составляющих. При изменении внешних параметров некоторые составляющие становятся неустойчивыми.

В этой связи, в настоящей работе исследуется сравнение энергетических спектров линеаризованных и нелинейных уравнений движения заряженных частиц в приборах со скрещенными полями.

II. Результаты исследований

Хорошо известно, что уравнения движения заряженных частиц (электронов) в скрещенных полях имеют вид для магнетронного диода:

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\frac{s}{4} + \frac{b}{s} + \frac{1}{4s^3}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{s^2} \right)$$

и для магнетрона:

$$\frac{d^2s}{dt^2} + \left(1 - \frac{d\varphi}{dt} \right) \frac{d\varphi}{dt} s = \frac{\beta}{s} \left(1 - 2N \ln \frac{s_l}{s_a} \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos^{Nn} \cos Nn\varphi \right),$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{1}{s} \frac{ds}{dt} \left(2 \frac{d\varphi}{dt} - 1 \right) = -\frac{2N\beta}{s} \ln \frac{s_l}{s_a} \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin^{Nn} \sin Nn\varphi$$

Учитывая, что в современных приборах магнетронного типа отношение $r_a/r_c < 2$, то безразмерный радиус s можно представить как $s = 1 + x$. В этом случае применив к уравнениям движения процесс линеаризации, эти уравнения примут вид для магнетронного диода:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = b - (1+b)x$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = x$$

и для магнетрона

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \alpha\beta + \beta - (1 + \alpha\beta + \beta)x$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = x$$

Решение этих уравнений может быть найдено в аналитическом виде.

Таким образом имеем для магнетронного диода

$$x(t) = \frac{b}{1-b} (1 - \cos \sqrt{1-b}t)$$

$$\varphi(t) = \frac{b}{1-b} t - \frac{b}{(1+b)\sqrt{1-b}} (1 - \sin \sqrt{1-b}t)$$

и для магнетрона

$$x(t) = \frac{(1+\alpha)\beta}{1+(1+\alpha)\beta} (1 - \cos \sqrt{1+\alpha\beta+\beta}t)$$

$$\varphi(t) = \frac{(1+\alpha)\beta}{1+(1+\alpha)\beta} t - \frac{(1+\alpha)\beta \cos \sqrt{1+\alpha\beta+\beta}t}{(1+\alpha\beta+\beta)^{3/2}}$$

Из этих решений видно, что заряженная частица, находящаяся в скрещенных полях, в цилиндрических конструкциях, участвует в двух видах движения: колебательном в радиальном направлении и ротационном (вращательном) в азимутальном направлении [3].

Энергетический спектр определим как

$$\left(\frac{ds}{dt} \right)^2 + \left(s \frac{d\varphi}{dt} \right)^2.$$

Полученный таким образом спектр приведен на рис. 1.

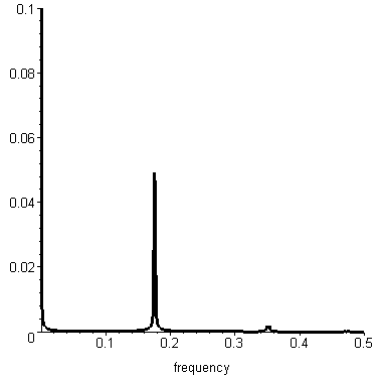


Рис. 1. Энергетический спектр.

Fig. 1. Energy spectrum

При этом энергетический спектр, полученный из линеаризованного описания имеет вид

$$1 - 0.1436311652 \cos(t) - 0.8367827665 \cos(2t) - 0.02267860502 \cos(3t) + 0.003092537049 \cos(4t).$$

Сравнение спектральных составляющих, полученных численным и линеаризованным методом, показывают совпадение по частоте, чего нельзя сказать об амплитуде.

III. Заключение

Показано, что применение линеаризованного подхода к изучению движения заряженных частиц в приборах со скрещенными электрическим и магнитным полями позволяет значительно упростить решение задач по оцениванию частот спектральных составляющих.

V. Список литературы

- [1] Усыченко В. Г. Самоорганизация электронов в электронных приборах // Журнал технической физики. 2004. т. 74. № 11. С 38 – 46.
- [2] Усыченко В. Г. Электронная синергетика. Физические основы самоорганизации и эволюции материи. Спб. : Издательство Лань, 2010. 240 с.
- [3] Воловенко М. В., Никитенко О. М. Упрощение подхода к моделированию приборов со скрещенными полями // 21-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011): материалы конф. в 2 т. (Севастополь, 12—16 сент. 2011 г.). Севастополь : Вебер, 2011. Т. 1. С. 342-343.

TWO APPROCHES COMPARISON CONCERNING THE DETERMINATION OF SPECTRUM IN CROSSED-FIELD DEVICES

Volovenko M. V., Nikitenko O. M.
 Kharkiv National University of Radioelectronics
 Kharkiv, 61166, Ukraine
 Ph.: 057-7021331, e-mail: nikon@kture.kharkov.ua

Abstract — The possibility of adaptation of the systems describing operation of devices with crossed fields to the linearized ones is considered. This simplification allows significantly simplifying the study of output spectrum in certain processes in crossed-field devices.

I. Introduction

In recent years the methods of non-linear dynamics find their increasing application in researches of dynamic systems of completely different nature. Self-organized electron structures exist, when the pressure gradient is large. To analyze the processes in crossed-field devices the motion equations without dissipative terms are used. In this work we studied the comparison of energetic spectra of linearized and nonlinear motion equations in crossed-field devices.

II. Main Part

The solution of linearized equations can be found in analytical form. Thus we have the following for a magnetron diode:

$$x(t) = \frac{b}{1-b} (1 - \cos \sqrt{1-b}t) ;$$

$$\varphi(t) = \frac{b}{1-b} t - \frac{b}{(1+b)\sqrt{1-b}} (1 - \sin \sqrt{1-b}t)$$

for a magnetron

$$x(t) = \frac{(1+\alpha)\beta}{1+(1+\alpha)\beta} (1 - \cos \sqrt{1+\alpha\beta+\beta}t)$$

$$\varphi(t) = \frac{(1+\alpha)\beta}{1+(1+\alpha)\beta} t - \frac{(1+\alpha)\beta \cos \sqrt{1+\alpha\beta+\beta}t}{(1+\alpha\beta+\beta)^{3/2}}$$

Thus a charged particle in crossed fields in cylindrical structures, participates in two kinds of movement: oscillatory movement in radial direction and rotational one in azimuthal direction. Energetic spectrum is defined as

$$\left(\frac{ds}{dt}\right)^2 + \left(s \frac{d\varphi}{dt}\right)^2$$

The diagram of energetic spectrum is shown in Fig. 1.

The comparison spectrum components both numerical and linearized methods have shown good frequency coincidence.

III. Conclusion

It is shown that the use of the linearized approach to study the charged particles' motion in crossed electric and magnetic fields allows simplifying the solution of such problems to estimate the frequency of spectral components.