

ВОЗБУЖДЕНИЕ ВНЕШНИМ СИГНАЛОМ ДВУХКАСКАДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВОЙ СИСТЕМЫ

Одаренко Е.Н., Шматько А.А.

ХНУ, пл. Свободы, 4, Харьков-61077, Украина

Тел.: (0572) 457424; e-mail: evgeniy.n.odarenko@univer.kharkov.ua

Аннотация – Исследованы стационарные выходные характеристики гибридного (нерезонансного и резонансного) прибора О-типа для различных значений амплитуды входного сигнала. Анализ проводится на основе многомерной нелинейной теории. Рассмотрены причины снижения уровня выходного сигнала в определенном диапазоне изменения амплитуды входного сигнала и показана возможность компенсации этого эффекта за счет повышения эффективности взаимодействия в выходном резонансном каскаде.

I. Введение

Теоретическое исследование неавтономных электронно-волновых систем с предварительной модуляцией электронного потока в основном проводится при условии слабого внешнего воздействия. С одной стороны, это приближение позволяет упростить расчетные соотношения, а с другой – оно является оправданным для усиления слабых сигналов. Вместе с тем, в многокаскадных схемах электронных приборов условие слабого внешнего воздействия выполняется не на всех участках пространства взаимодействия. Предварительная модуляция пучка для выходных каскадов может быть довольно сильной, вплоть до формирования электронных густок. В этом случае для анализа физических процессов необходимо использовать нелинейную теорию неавтономных колебательных систем с произвольным уровнем внешнего воздействия.

В данной работе рассматривается влияние величины амплитуды входного сигнала на характеристики двухкаскадной схемы гибридного электронного прибора О-типа с длительным взаимодействием. В зависимости от амплитуды внешнего сигнала на вход второго каскада может поступать электронный поток с различной степенью модуляции.

II. Основная часть

Исследование физических процессов в электронно-волновой системе проводится на основе многомерной самосогласованной нелинейной теории, основные положения которой изложены в [1]. В качестве модулятора и, одновременно, предварительного усилителя используется нерезонансная планарная структура с ленточным электронным потоком, который пропускается над гребенкой. Продольное амплитудное распределение высокочастотного поля в такой системе формируется в результате самосогласованного процесса электронно-волнового взаимодействия. Выходной каскад резонансный, с фиксированным амплитудным распределением высокочастотного поля.

В рамках данной работы рассматриваются стационарные решения комплексного уравнения возбуждения для выходного каскада. На рис. 1 эти решения представлены на плоскости (F, γ) для различных значений нормированной амплитуды входного сигнала (рис. 1.1 - $F_0 = 0.001$; рис. 1.2 - 0.005 ; рис. 1.3 - 0.02 ; рис. 1.4 - 0.05). F и γ - амплитуда и фаза колебаний в резонаторе. Графики на рис. 1 построены для различных значений параметра $1/G$ (числа на кри-

вых), где G - параметр эффективности взаимодействия, и для гауссовского амплитудного распределения высокочастотного поля в резонаторе f_R (орotron, генератор дифракционного излучения).

Увеличение амплитуды входного сигнала до значения $F_0 = 0.02$ сопровождается нарастанием величины максимальной амплитуды выходного сигнала F и качественными изменениями формы кривых для сравнительно больших значений параметра G ($G \geq 10$). Кроме того, при $F_0 \geq 0.02$ стационарные решения уравнений возбуждения существуют только в ограниченном интервале значений фазы γ . Увеличение F_0 до 0.05 приводит к снижению амплитуды колебаний и сужению области значений γ , где эти колебания возможны. Полученные результаты противоречат известным закономерностям динамики неавтономных колебательных систем с силовым внешним воздействием и формально соответствуют динамике систем с асинхронным воздействием (асинхронное возбуждение и тушение за счет изменения средней крутизны колебательной характеристики) [2]. Анализ микропроцессов в данной системе показывает, что отмеченное снижение амплитуды колебаний для $F_0 > 0.02$ происходит при условиях, когда в модуляторе амплитуда первой гармоники конвекционного тока достигает максимума. Следовательно, происходит формирование электронных густок, поступающих затем в резонансный каскад. Поскольку при гауссовской огибающей f_R в начале пространства взаимодействия интенсивность поля невелика, то в область максимальной амплитуды поля попадают уже «разлетающиеся» густки, что обуславливает снижение эффективности взаимодействия.

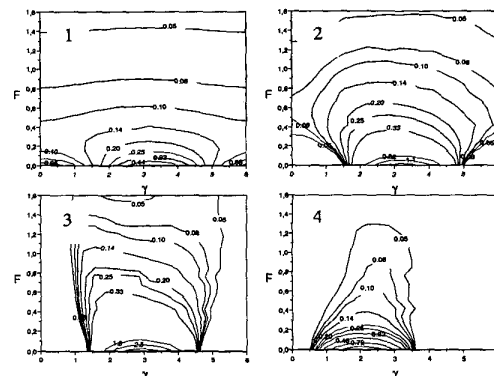


Рис. 1 Стационарные значения амплитуды и фазы колебаний (орotron)

Fig.1. Steady-state amplitude and phase values (orotron)

Естественно предположить, что, в случае формирования огибающей f_R с максимумом в начале пространства взаимодействия резонансного каскада, уменьшения величины амплитуды F не должно происходить. Действительно, в такой ситуации сформировавшиеся в модуляторе электронные сгустки сразу попадают в область максимального высокочастотного поля и эффективно отдают ему энергию.

EXCITATION OF THE NONLINEAR TWO-STAGE ELECTRON-WAVE SYSTEM BY EXTERNAL SIGNAL

Odarenko E.N., Shmat'ko A.A.

Kharkov National University

Svobody Sq.4, Kharkov - 61077, UKRAINE

phone: (0572) 457424

e-mail: evgeniy.n.odarenko@univer.kharkov.ua

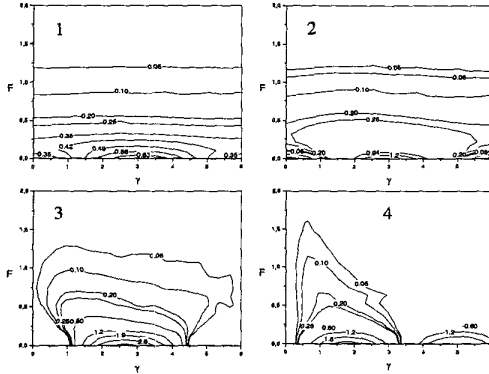


Рис. 2 Стационарные значения амплитуды и фазы колебаний (резонансная ЛОВ)

Fig.2. Steady-state amplitude and phase values (resonance BWO)

На рис.2 представлены стационарные значения F и γ для косинусоидальной функции f_R , характерной для резонансной ЛОВ. Графики на рис. 2.1-2.4 соответствуют тем же значениям F_0 , что и на рис. 1.1-1.4. Увеличение амплитуды входного сигнала с 0.02 до 0.05 по-прежнему приводит к сужению области возможных значений γ , но максимальная амплитуда выходного сигнала не уменьшается, а даже несколько увеличивается для определенных значений параметра G . Следует отметить, что в резонансной ЛОВ также происходит снижение эффективности энергообмена при нарастании амплитуды входного сигнала, но этот эффект проявляется для больших по сравнению с оротроном значениях F_0 . В этом случае электронные сгустки формируются не в конце модулятора, а ближе к его центру.

III. Заключение

Проведенные в работе исследования позволяют разрабатывать методики повышения эффективности энергообмена в многокаскадных электронно-волновых системах с длительным взаимодействием мм диапазона. Используемая многомерная математическая модель пригодна для анализа широкого круга разнообразных функциональных устройств.

IV. Список литературы

- [1] Одаренко Е.Н., Шмат'ко А.А. Теория гибридных электронных приборов мм диапазона. - В кн. 10-я Международная Крымская конференция "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии". Материалы конференции [Севастополь, 11-15 сентября 2000 г.]. Севастополь: Вебер, 2000, стр. 171-172.
- [2] Капранов М.В., Кулешов В.Н., Уткин Г.М. Теория колебаний в радиотехнике. М.: Наука, 1984. - 320 с.

Abstract - The steady-state characteristics of the hybrid O-type device for different input amplitude values are investigated. The analysis is carried out on the basis of the multidimensional nonlinear theory. The reasons of the output signal level decrease for the particular input amplitude values are considered. The possibility of this phenomenon compensation due to interaction efficiency enhancement in the output resonance stage is shown.

I. Introduction

The theoretical investigations of the non-autonomous electron - wave systems with preliminary modulation of electron beam in general are carried out under condition of the weak external signal. In the multistage electron devices schemes this condition is not fulfilled on all sections of the interaction space. The preliminary modulation of the electron beam for output stages can be rather strong, up to creation of the bunches. In this case it is necessary to use the nonlinear theory of non-autonomous oscillating systems with arbitrary external signal amplitude.

II. Main part

The investigation of physical processes in the electron - wave system will be carried out on the basis of the multidimensional self-consistent nonlinear theory, which main positions are explained in [1]. As the modulator and, simultaneously, preamplifier the nonresonance planar structure with sheet electron beam is used. An output stage is resonance, with fixed rf field amplitude distribution.

In the present work the steady-state solutions of the complex excitation equation for an output stage are considered. In Fig. 1 these solutions are represented for different input amplitude values. Graphics in Fig. 1 are plotted for different parameter $1/G$ values (number on curves), where G is the interaction efficiency parameter, and for Gaussian form of the rf field amplitude distribution in the resonator (orotron, diffraction radiation generator).

The input amplitude increase results in the maximum output amplitude growth and qualitative changes of the curves form (Fig. 1.1-1.3). The further amplitude increase reduces the oscillations amplitude (Fig. 1.4). The microprocesses analysis in the given system displays that the oscillation amplitude decrease happens in conditions, when the rf current first harmonic amplitude achieves a maximum. Therefore, there is a creation of electron bunches acting then in a resonance stage. At a Gaussian envelope function the field strength is weak at the interaction space beginning. Hence the scattering bunches go to area of the rf field maximum amplitude that stipulates the interaction efficiency decrease.

In case of the envelope function creation with a maximum at the interaction space beginning of a resonance stage the amplitude decrease should not happen. Indeed, in such situation the electron bunches, which have generated in the modulator, at once hit in area of the rf field maximum.

In Fig. 2 the steady-state amplitude and phase values are represented for the cosine envelope function (resonance BWO). Graphics in Fig. 2.1-2.4 correspond to the same input amplitude values, as in Fig. 1.1-1.4. The input amplitude increase results in the contraction of possible phase values area, but the maximum output amplitude is not diminished, and even is a little increase for some values of the parameter G .

III. Conclusion

The investigations, carried out in the work, allow to develop the efficiency enhancement techniques in multistage mm waves electron - wave systems with prolonged interaction.