

ГИБРИДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ О-ТИПА С МАГНИТНЫМ ФОКУСИРУЮЩИМ ПОЛЕМ

Одаренко Е. Н., Шматько А. А.
Харьковский национальный университет, пл. Свободы, 4, Харьков-61077, Украина
Тел.: (0572) 7075424; e-mail: evgeniy.n.odarenko@univer.kharkov.ua

Аннотация – Проведено многомерное моделирование электронно-волнового взаимодействия в гибридном преобразователе частоты с учетом изменения индукции магнитного фокусирующего поля. Установлена возможность повышения выходной мощности системы на высших гармониках частоты входного сигнала при уменьшении циклотронной частоты электронного потока. Рассмотрены физические причины обнаруженных эффектов.

I. Введение

Теоретическое исследование преобразования частоты и других нелинейных процессов в электронно-волновых системах типа О проводится обычно в рамках приближения одномерного движения потока заряженных частиц. Применение многомерных моделей для анализа нелинейных физических явлений сопровождается значительным усложнением математического аппарата и приводит к необходимости проведения большого количества численных расчетов [1]. Тем не менее, именно многомерное моделирование электронно-волнового взаимодействия позволяет получить наиболее достоверные результаты и проанализировать процессы, характерные для реальных приборов.

Одним из наименее изученных вопросов исследования энергообмена между высокочастотными полями и потоками заряженных частиц является преобразование частоты входного сигнала с учетом эффектов и явлений, обусловленных многомерностью пространства взаимодействия. В данной работе исследуется один из аспектов этой проблемы – влияние величины индукции магнитного фокусирующего поля на выходные характеристики гибридного умножителя частоты мм диапазона длин волн.

II. Основная часть

Рассматривается двухкаскадная электронно-волновая система, в которой модуляция ленточного электронного потока полем входного сигнала проис-

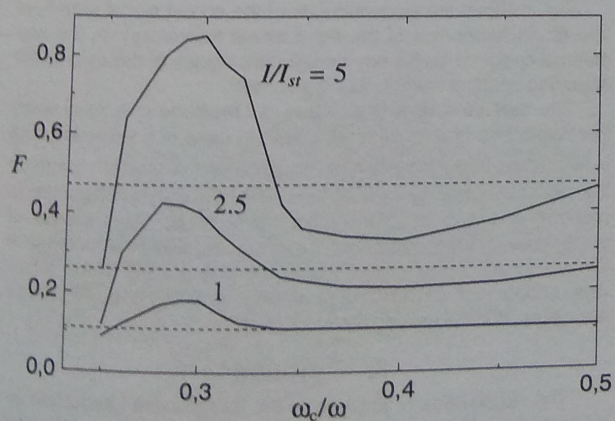


Рис. 1. Зависимости амплитуды четвертой гармоники от нормированной циклотронной частоты.

Fig. 1. Amplitude of the 4th harmonic vs normalized cyclotron frequency

ходит на нерезонансном участке пространства взаимодействия. Преобразование частоты осуществляется на выходном резонансном участке прибора. Для фокусировки пучка используется магнитоэстатическое поле с индукцией B_0 . Анализ физических процессов проводится на основе самосогласованной многомерной теории электронно-волнового взаимодействия, основные положения которой изложены в [2].

Следует отметить, что для моделирования рассматриваемой гибридной системы необходимо использовать две теории – для нерезонансного и резонансного типов энергообмена.

Предполагается, что поток электронов модулируется только полем с частотой входного сигнала ω , т.е. гармоники этой частоты не попадают в полосу пропускания электродинамической системы модулятора. Если учесть возбуждение электромагнитных полей на гармониках частоты входного сигнала, то необходимо рассматривать многочастотное электронно-волновое взаимодействие на нерезонансном участке гибридного прибора.

Используемая многомерная модель электронно-волнового взаимодействия позволяет учитывать ряд механизмов и физических факторов, которые воздействуют на выходные характеристики прибора. Наиболее существенные среди них: высокочастотное расслоение пучка, взаимодействие с поперечными компонентами высокочастотных полей, оседание электронов на поверхность электродинамической системы, многомерность траекторий заряженных частиц в пространстве взаимодействия. Изменение индукции фокусирующего поля приводит к усилению или ослаблению воздействия этих факторов на закономерности энергообмена в системе.

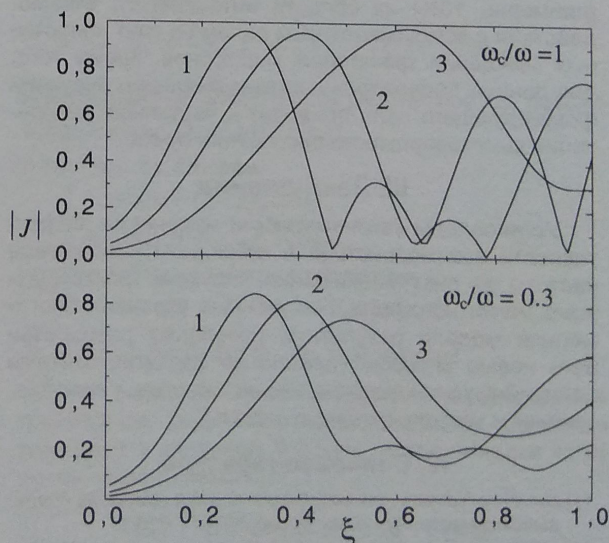


Рис. 2. Зависимости модуля конвекционного тока пучка от продольной координаты.

Fig. 2. Spatial distribution of the rf current module

HYBRID O-TYPE FREQUENCY SHIFTER WITH MAGNETIC FOCUSING FIELD

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

Kharkov National University

Svobody Sq.4, Kharkov - 61077, Ukraine

phone: (0572) 7075424

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

На рис. 1 представлены зависимости амплитуды выходного сигнала F на четвертой гармонике частоты входного сигнала от нормированной циклотронной частоты для различных значений отношения рабочего тока к пусковому I/I_{st} . Здесь $\omega_c/\omega = B_0 e/m$, где e , m – заряд и масса электрона. Характеристики рассчитывались для фиксированного значения мощности входного сигнала ($P_0 = -26$ дБ). Штриховыми прямыми показаны значения амплитуды в случае, когда траектории электронов считаются прямолинейными ($\omega_c/\omega \gg 1$). В случае слабого фокусирующего поля ($\omega_c/\omega < 0.25$) происходит оседание значительной части электронного потока на поверхность электродинамической системы. Эффективность взаимодействия снижается и амплитуда выходного сигнала мала (см. рис. 1). Увеличение нормированной циклотронной частоты сопровождается существенным нарастанием амплитуды выходного сигнала, причем для $\omega_c/\omega \approx 0.3$ величина F превышает значение, соответствующее жесткой фокусировке электронного потока.

Следует отметить, что относительное увеличение амплитуды выходного сигнала за счет изменения индукции фокусирующего поля нарастает с увеличением отношения I/I_{st} . Следовательно, отмеченное явление обусловлено динамическими смещениями траекторий электронов за счет взаимодействия с поперечными компонентами высокочастотного поля.

На рис. 2 представлены пространственные распределения модуля высокочастотного тока пучка на выходном участке пространства взаимодействия для различных значений индукции фокусирующего поля. Номера кривых соответствуют номерам парциальных слоев, на которые условно разбивается электронный поток при численном многомерном моделировании. Для меньшего значения нормированной циклотронной частоты происходит снижение амплитуды конвекционного тока пучка. Однако в этом случае ближайшие к поверхности замедляющей системы слои пучка не перегруппировываются несколько раз за время движения в пространстве взаимодействия, как это происходит при $\omega_c/\omega = 1$. Данный результат обусловлен выходом части электронного потока (примерно 10%) из области интенсивного взаимодействия с высокочастотным полем за счет поперечных смещений траекторий электронов. Кроме того, для данных параметров системы снижение индукции фокусирующего поля приводит к частичной компенсации высокочастотного расслоения пучка.

III. Заключение

Установлены закономерности изменения эффективности взаимодействия в гибридном умножителе частоты за счет уменьшения индукции фокусирующего магнитного поля. Полученные в рамках многомерной модели результаты позволяют разрабатывать новые способы управления характеристиками нелинейных электронно-волновых систем с преобразованием частоты входного сигнала.

IV. Список литературы

- [1] Дж. Роу. Теория нелинейных явлений в приборах сверхвысоких частот. М.: Сов. радио, 1969. – 616 с.
- [2] Одаренко Е. Н., Шмат'ко А. А. Вынужденные колебания в нелинейных электронно-волновых системах О-типа – моделирование и анализ. – В кн. 12-я Международная Крымская конф. "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии". Материалы конф. [Севастополь, 9-13 сентября 2002 г.]. Севастополь: Вебер, 2002, стр. 201-202.

Abstract – The multidimensional simulation of beam-wave interaction in the hybrid frequency shifter is carried out taking into account the change of the magnetic focusing field induction. The enhancement of the output power of higher harmonics of the input signal frequency is obtained for certain values of the input signal frequency. The physical reasons of the detected effects are considered.

I. Introduction

The theoretical investigation of the frequency conversion and other nonlinear processes in the O-type beam-wave systems performs usually within the framework of approximation of the one-dimensional driving of the electron beam. Nevertheless, the multidimensional simulation of beam-wave interaction allows to receive the most authentic results and to analyze processes, reference for actual devices.

One of the least investigated problems of research of the interaction between rf fields and streams of charged particles is the frequency conversion in the multidimensional nonlinear beam-wave systems. In this work one of aspects of this problem - effect of the magnetic focusing field induction value on the output characteristics of the millimeter waves hybrid frequency multiplier is investigated.

II. Main part

The two-stage beam-wave system is considered. The sheet electron beam is modulated by an input signal field in the non-resonance region of the interaction space. The conversion of frequency realizes at the output resonance stage of the device. The magnetostatic field is used for electron beam focusing. The analysis of physical processes is carried out on the basis of the self-consistent multidimensional theory of beam-wave interaction, which main positions are explained in [2].

It should be noted that for simulation of the considered hybrid system it is necessary to use two theories - for nonresonance and resonance interaction types.

It is supposed that the electron beam is bunched by field with frequency of an input signal, i.e. the harmonics of this frequency do not hit in the pass band of the electrodynamic system of the modulator. If to take into account excitation of electromagnetic fields on harmonics of the input signal frequency, it is necessary to consider multifrequency beam-wave interaction in the non-resonance stage of the hybrid device.

Fig. 1 shows the dependences of the output signal amplitude (the fourth harmonics of the input signal frequency) on the normalized cyclotron frequency for different values of the ratio of the operating beam current to starting current.

The dashed lines show values of amplitude in a case when the trajectories of electrons are linear. In case of a weak focusing field ($\omega_c/\omega < 0.25$) there is a settling of a part of electron beam on the electrodynamic system surface. The efficiency of interaction is reduced and output signal amplitude is small. The increase of normalized cyclotron frequency results in the essential increase of the amplitude. Fig. 2 shows the space distributions of the rf current module in the output stage of the interaction space for different values of the focusing field induction.

III. Conclusion

The regularities of change of the beam-wave interaction efficiency in a hybrid frequency multiplier are investigated for different values of the focusing magnetic field induction. The results obtained within the framework of multidimensional model allow developing new methods of control of the nonlinear beam-wave systems characteristics with conversion of the input signal frequency.