

ДВУХРЕЖИМНЫЙ ИСТОЧНИК КОЛЕБАНИЙ О-ТИПА СУБТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Одаренко Е. Н.¹, Шматько А. А.², Юдинцев П. В.²

¹Харьковский национальный университет радиозлектроники

пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина

тел.: +38-057- 7021-057; e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина

пл. Свободы, 4, Харьков, 61077, Украина

тел.: +38-057-7075-133, e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Аннотация — Развита нелинейная многомерная теория двухрежимного источника О-типа субтерагерцового диапазона на основе распределенной параметрической модуляции электронного пучка колебанием частоты ЛОВ-генератора и усилении дифракционного излучения на гармониках частоты ЛОВ. Численно исследованы выходные характеристики генератора ЛОВ и параметрического усилителя дифракционного излучения.

I. Введение

При освоении терагерцового диапазона перво-степенное значение приобретает задача разработки эффективных источников колебаний, построенных на новых принципах взаимодействия. Одним из путей решения этой задачи может быть использование генераторов и усилителей, работающих на высших временных гармониках частоты. Однако непосредственное использование таких режимов сопряжено со значительными техническими трудностями. Другим направлением является использование одновременно двух качественно различных режимов работы источников колебаний, в одном из которых могут относительно легко возбуждаться колебания на основной частоте, а в другом на более высоких частотах происходит параметрическая распределенная модуляция электронного пучка, существенно облегчающая возбуждение колебаний на гармониках основной частоты. Такой источник субтерагерцового диапазона может быть создан на основе объединения в одном приборе режима ЛОВ и режима усиления дифракционного излучения (ДИ) на гармониках частоты ЛОВ. За счет параметрической распределенной модуляции пучка колебанием частоты генератора ЛОВ создаются необходимые предпосылки для возбуждения колебаний в режиме усиления ДИ на гармониках частоты исходного колебания ЛОВ. На электроны пучка воздействует одновременно высокочастотное поле режима ЛОВ и режима ДИ. Это приводит к необходимости построения нелинейной теории электронно-волнового взаимодействия на двух модах (режим ЛОВ и режим ДИ) и двух частотах: основной частоте генератора ЛОВ и частоте субтерагерцового диапазона в режиме ДИ.

II. Основная часть

Моделирование физических процессов в рассматриваемой резонансной электронно-волновой системе О-типа в двухмодовом двухчастотном режиме будем проводить на основе самосогласованной многомерной теории с учетом заданного пространственного распределения вектора индукции фокусирующего поля и возможного оседания электронов пучка на поверхность электродинамической системы [1-3]. Для описания двухрежимного взаимодействия применяется методика, хорошо апробированная в задачах о многочастотном или многомодо-

вом электронно-волновом взаимодействии. В дальнейшем при построении нелинейной теории используются следующие основные допущения:

— в открытом резонаторе с периодической структурой возбуждаются поля на первой гармонике ЛОВ-генератора (поверхностная обратная волна) и на одной из высших гармоник частоты ЛОВ в режиме ДИ (объемная волна в открытом резонаторе с решеткой);

— на первой гармонике ЛОВ происходит взаимодействие электронного потока с обратной волной в режиме генерации, на высшей гармонике ЛОВ происходит параметрическое усиление этого сигнала в режиме ДИ.

Следовательно, в уравнениях движения необходимо учесть первую гармонику поля ЛОВ и поле ДИ на высшей гармонике частоты ЛОВ. Трехмерные уравнения движения электрона можно представить в общем виде:

$$\frac{d\vec{v}_i(\vec{r}, t)}{dt} = \frac{e}{m} \left\{ \vec{E}_{\text{BWO}} + \vec{E}_{\text{DR}} + [\vec{v} \times \vec{B}] \right\}.$$

Здесь: $\vec{v}_i(\vec{r}, t)$ — скорость i -го электрона, $\vec{E}_{\text{BWO}}$ — поле поверхностной обратной пространственной гармоники в режиме ЛОВ на основной частоте; $\vec{E}_{\text{DR}}$ — поле поверхностной пространственной гармоники поля режима ДИ на высшей временной гармонике колебания ЛОВ; $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_1$ — индукция статического магнитного профилированного поля ($\vec{B}_0$, $\vec{B}_1$ — постоянная и переменная ее части соответственно). Продольные амплитудные огибающие высокочастотных полей ГДИ и ЛОВ характеризуются функциями $f_1(\xi)$ и $f_2(\xi)$ соответственно:

$$f_1(\xi) = \left(w \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right)^{-\frac{1}{2}} \exp \left[- \left(\frac{\xi - 0.5}{w} \right)^2 \right],$$
$$f_2(\xi) = \sqrt{2} \cos \left(\frac{\pi}{2} \xi \right),$$

где w — ширина пятна поля ДИ в резонаторе, $\xi = z / L$ — нормированная на длину области взаимодействия L продольная координата.

Уравнения движения дополняются двумя многомерными уравнениями возбуждения для определения амплитуд ЛОВ-колебания и колебания ДИ.

Таким образом, сформулированная математическая модель самосогласованного двухрежимного взаимодействия позволяет находить энергетические и частотные характеристики генератора ЛОВ на основной частоте и параметрического распределенного усилителя ДИ на высшей гармонике ЛОВ в субте-

рагерцовом диапазоне. Полученная система нелинейных интегро-дифференциальных уравнений при малых амплитудах (начальная стадия процесса) позволяет получить аналитические выражения для пусковых характеристик генератора ЛОВ, коэффициента усиления ДИ и найти области параметров существования указанных режимов в электронно-волновой системе в выбранном диапазоне частот.

В результате решения исходной системы уравнений были найдены области параметров одновременного существования режима генерации ЛОВ и режима усиления ДИ в субтерагерцовом диапазоне.

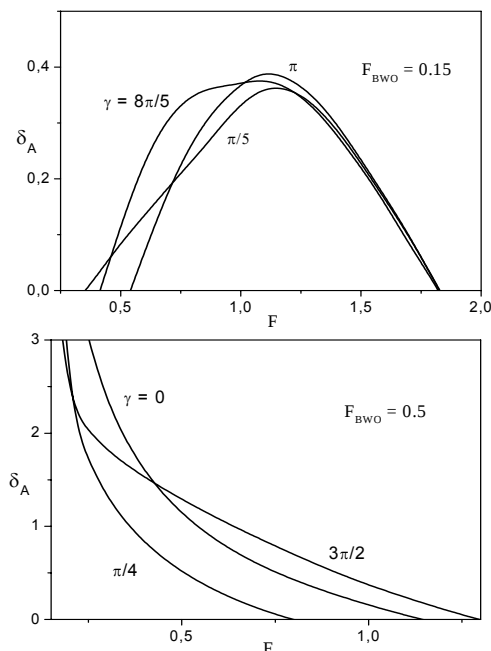


Рис. 1 Амплитудные зависимости нелинейного инкремента нарастания амплитуды ДИ.

Fig. 1 Nonlinear increment vs. oscillation amplitude

На рис. 1 представлены результаты расчета нелинейного инкремента δ_A нарастания амплитуды усиливаемого сигнала ДИ для различных значений фазы колебаний и двух значений амплитуды колебаний ЛОВ. Фактически усилительный режим соответствует неавтономной распределенной системе с внешним сигналом ЛОВ. Отметим существование как мягкого, так и жесткого режимов усиления ДИ.

Величина амплитуды колебаний ЛОВ и разность фаз двух колебаний оказывает существенное влияние на нелинейный инкремент амплитуды усиливаемого ДИ. Повышение амплитуды колебаний ЛОВ сопровождается переходом к мягкому режиму возбуждения, т.е. происходит «навязывание» режима возбуждения колебаний ЛОВ на первой гармонике режиму возбуждения колебаний ДИ на высшей гармонике.

III. Заключение

Построена теория двухрежимного электронно-волнового взаимодействия в приборе О-типа, обеспечивающего одновременно генерацию ЛОВ-колебаний и усиление дифракционного излучения на гармониках частоты ЛОВ. Анализ полученных результатов указывает на возможность создания эф-

фективных источников колебаний в субтерагерцовом диапазоне.

IV. Список литературы

- [1] Шматко А. А. Электронно-волновые системы миллиметрового диапазона. Том 1. — Харьков: ХНУ, 2008. — 464 с.
- [2] Одаренко Е. Н., Шматко А. А. Нелинейная теория СВЧ генераторов О-типа с неоднородным магнитостатическим полем (двухмерная модель). Радиотехника и электроника, 1994, 39, №4, с 653 — 661.
- [3] Одаренко Е. Н., Шматко А. А. Нелинейная теория неавтономных многомерных электронно-волновых систем миллиметрового диапазона (усилители и умножители). Успехи современной радиоэлектроники, 2007, № 10, с. 33 — 45.

SUBTERAHERTZ DOUBLE-MODE O-TYPE OSCILLATION SOURCE

Odarenko E.N.¹, Shmat'ko A. A.², Udintcev P. V.²

¹Kharkov National University of Radioelectronics, Lenin av., 14, Kharkov, 61166, Ukraine

Ph.: +38-057- 7021-057, e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²Kharkov National University by V. N. Karazin

Svobody Sq., 4, Kharkov, 61077, Ukraine

Ph.:+38-057-7075-133;

e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Abstract — The nonlinear multidimensional theory of the subterahertz O-type dual-mode source on the basis of the distributed self-reactance modulation of electron beam by BWO oscillations and amplification of diffraction radiation on the harmonics of BWO frequency is developed. Numerical investigations of output characteristics of BWO oscillator and parametric amplifier of diffraction radiation are performed.

I. Introduction

Development of effective vibration sources, built with the help of new principles of beam-wave interaction, is important for the terahertz band conversion. Perspective method of solution of this problem is the simultaneous use of two operation regimes of sources of oscillations. Such subterahertz generator can be created on the basis of integration in one device of the BWO mode and the mode of amplification of diffraction radiation on BWO frequency harmonics. Beam electrons are attacked by both the BWO field and the field of diffraction radiation. Thus the beam-wave interaction nonlinear theory, taking into account two modes (BWO and diffraction radiation regimes) and two frequencies (BWO fundamental frequency and subterahertz frequency) is developed.

II. Main Part

A self-consistent method, officially accepted in tasks concerning multifrequency or multimode beam-wave interaction, is used for description of dual-mode interaction. Basic assumptions, applied in this work for development of nonlinear theory are the following:

— in the open resonator with a periodic structure the fields excite on the first harmonic of the BWO frequency (a surface return wave) and on the one of high harmonics of the BWO frequency in mode of diffraction generation (a spatial wave in the open resonator with lattice);

— interaction of an electron beam with the inverse wave in generation mode takes place on the first BWO harmonic. This signal is parametrically amplified on the highest BWO harmonic in the mode of diffraction radiation.

III. Conclusion

The theory of the dual-mode beam-wave interaction in the O-type device is developed. The obtained results of the analysis indicate the possibility of creation of effective subterahertz oscillation source.