

САМОСОГЛАСОВАННАЯ ТЕОРИЯ ЭФФЕКТА СМИТА-ПАРСЕЛЛА НА ГАРМОНИКАХ ЧАСТОТЫ ЛОВ В ДВУХРЕЖИМНОМ ГЕНЕРАТОРЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

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

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61161, Украина
тел.: +38-057-7021-057, e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²Харьковский национальный университет имени 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 теория эффекта Смита-Парселла на гармониках частоты ЛОВ с учетом двухрежимного взаимодействия – самосогласованного режима ЛОВ и распределенного параметрического режима ГДИ на гармониках частоты ЛОВ. На основе численного решения самосогласованной системы уравнений показано существование режима генерации ЛОВ на основной частоте и усиления дифракционного излучения параметрического типа на гармониках частоты ЛОВ колебаний.

I. Введение

Освоение новых частотных диапазонов приобретает в настоящее время первостепенное значение в связи с развитием новых современных технологий в различных отраслях науки. В этой связи использование новых нетрадиционных подходов взаимодействия электронов с полями колебательных систем соответствующего диапазона волн представляет несомненный научный интерес. В данной работе предложена автоколебательная система, основанная на одновременном использовании в одном приборе двух качественно различных режимов колебаний: режима поверхностных волн на основной частоте ЛОВ и режима объемных волн на эффекте Смита-Парселла, использующего высшие гармоники основной частоты ЛОВ. Ввиду того, что процесс электронно-волнового взаимодействия в общем случае нелинейный и двухчастотный, то целесообразно рассмотреть его последовательно с целью выяснения механизмов взаимодействия, начиная от линейного для двух режимов взаимодействия, и заканчивая нелинейным двухрежимным взаимодействием.

II. Основная часть

Известно, что при взаимодействии электронного потока с полем электродинамической системы в пучке возникают временные гармоники высокочастотного тока, которые могут быть использованы для последующего умножения частоты колебаний в комбинированной двухкаскадной электронно-волновой системе. Однако есть и другой путь использования высокочастотных гармоник ЛОВ в токе пучка – для когерентного возбуждения колебаний на эффекте Смита-Парселла (рис. 1).

Основная идея в таких приборах сводится к одновременному использованию разных временных гармоник тока – основной гармонике для генерации колебаний в режиме ЛОВ (поверхностный режим) и высших гармоник частоты ЛОВ в режиме существования объемных волн (эффект Смита-Парселла). Такой гибридный режим может быть реализован в одной колебательной системе, использующей периодическую структуру [1–3]. Известно, что в периодических структурах могут существовать независимо два режима возбуждения колебаний: режим поверхностных волн и режим объемных волн (чаще он называется режимом ди-

фракционного излучения). Отметим также, что самостоятельно режим дифракционного излучения на гармониках ЛОВ не возбуждается из-за высоких пусковых токов. Рассмотрим именно такую модель генератора.

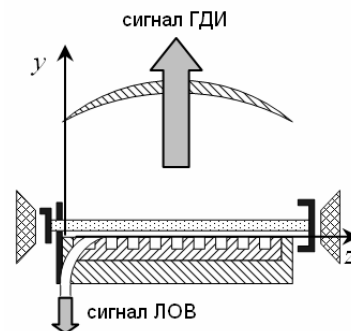


Рис. 1. Схема генератора.

Fig. 1. Generator scheme

Любой электронно-волновой процесс взаимодействия в электровакуумных приборах описывается самосогласованной системой уравнений, состоящей из уравнений движения электронов в высокочастотных и статических полях и уравнений возбуждения высокочастотным током сгруппированного электронного пучка высокочастотных полей системы соответствующей амплитуды и частоты. Формально в рассматриваемой модели самосогласованная система уравнений должна содержать два уравнения возбуждения: относительно амплитуды ЛОВ на первой гармонике и относительно амплитуды ГДИ на n -ой гармонике. В уравнениях движения присутствуют поля разных режимов, взаимодействующие между собой через электронный пучок:

$$\frac{d^2 Z}{d\xi^2} = \left(1 + \frac{1}{\Phi} \frac{d\theta}{d\xi}\right)^2 \left\{ \frac{\Phi}{2d\xi} [Ff_1(\xi)\Psi_1(Z)\cos(n\alpha + \gamma) + F_{\text{ЛОВ}}f_2(\xi)\Psi_2(Z)\cos(\alpha)] - \left[-\frac{\Phi}{4} [Ff_1(\xi)\Psi_1(Z)\sin(n\alpha + \gamma) + F_{\text{ЛОВ}}f_2(\xi)\Psi_2(Z)\sin(\alpha)] + \right. \right. \\ \left. \left. -\beta_v^2 v_x \left(\frac{\Phi}{2} B_y(\xi, Z) + \frac{dZ}{d\xi} B_z(\xi, Z) \right) + \beta_v^2 (Z - Z_b) \right] \right\}$$

$$\frac{d^2 \theta}{d\xi^2} = \left(1 + \frac{1}{\Phi} \frac{d\theta}{d\xi}\right)^3 \left\{ \frac{\Phi}{2} [Ff_1(\xi)\Psi_1(Z)\cos(n\alpha + \gamma) + F_{\text{ЛОВ}}f_2(\xi)\Psi_2(Z)\cos(\alpha)] + \right. \\ \left. E_{\text{пр}} - \Phi\beta_v^2 B_z(\xi, Z)v_x \right\}$$

Обозначения соответствуют работе [1].

В стационарном режиме амплитуда колебаний определяется крутизной колебательной характеристики и параметром эффективности взаимодействия G , который фактически характеризует величину положительной обратной связи в автоколебательной системе. В данном случае уравнение возбуждения сводится к нелинейному уравнению для нахождения амплитуды F через крутизну колебательной характеристики [1, 4]. Крутизна колебательной характеристики для режима ЛОВ представлена на рис. 2.

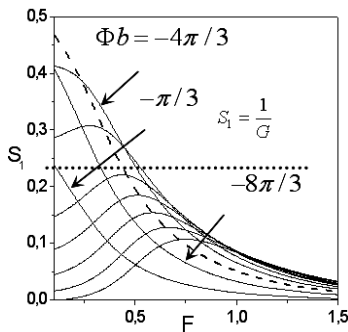


Рис. 2. Крутизна S_1 ЛОВ.

Fig. 2. Steepness S_1 for BWO

Для режима дифракционного излучения эта интегральная характеристика имеет вид:

$$S(F, \gamma) = \frac{1}{2\pi F \Delta_0} \int_{f_1(\xi)}^{f_2(\xi)} \Psi_1(Z) \int_0^{2\pi} \left(1 - i \frac{2}{\Phi} \frac{dZ}{d\xi}\right) \exp[i(n\alpha + \gamma)] d\varphi dZ_0 d\xi$$

Обратная ее величина при $F \rightarrow 0$ характеризует пусковой ток режима ГДИ на гармонике ЛОВ. При малых значениях амплитуды колебаний F в режиме ГДИ система уравнений движения может быть линеаризована по амплитуде F и величина S_1 найдена в аналитическом виде.

На рис. 3 изображена зависимость инкремента нарастания амплитуды колебаний в режиме ГДИ на третьей гармонике ЛОВ для различных значений стационарной амплитуды ЛОВ-колебаний от величины относительного рассинхронизма при оптимальных значениях разности фаз колебаний двух режимов.

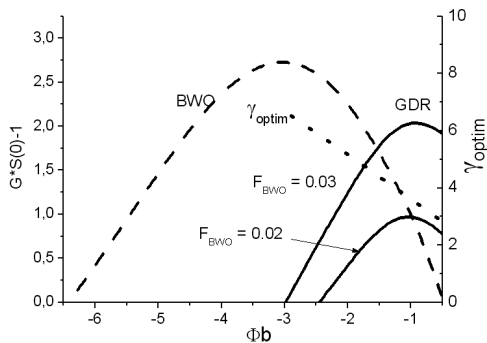


Рис. 3. Инкремент колебаний ЛОВ и ГДИ при оптимальных значениях фазы γ_{optim} .

Fig. 3. Oscillations increment of the BWO and GDR for optimal phase values γ_{optim}

Как следует из графиков, существуют такие значения параметра Φ_b , при которых наблюдается одновременная генерация колебаний ЛОВ и дифракционного излучения на третьей гармонике ЛОВ. Отметим также, что самостоятельно режим ГДИ не возбуждается в данной системе.

III. Заключение

Таким образом, в работе построена самосогласованная теория когерентного эффекта Смита-Парселла при одновременной генерации колебаний ЛОВ и ГДИ. Найдены параметры системы, при которых реализуется двухрежимная работа генератора.

IV. Список литературы

- [1] Одаренко Е. Н., Шматько А. А., Юдинцев П. В. // Вісник ХНУ, Радіофіз. та електрон. № 834. 2008. С. 13–17.
 [2] Одаренко Е. Н., Шматько А. А., Юдинцев П. В. Двухрежимный источник колебаний О-типа субтерагерцового диапазона // 19-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрымМиКо'2009): материалы конф. в 2 т. (Севастополь, 14–18 сент. 2009 г.). Севастополь: Вебер, 2009. Т. 1. С. 169–170.

- [3] Одаренко Е. Н., Шматько А. А., Юдинцев П. В. Физическая природа эффекта Смита-Парселла и его моделирование // 18-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрымМиКо'2008): материалы конф. в 2 т. (Севастополь, 8–12 сент. 2008 г.). Севастополь: Вебер, 2008. Т. 1. С. 198–199.
 [4] Шматько А. А. Электронно-волновые системы миллиметрового диапазона. Том 1. Харьков: Изд-во ХНУ, 2008. 464 с.

SELF-CONSISTENT THEORY OF SMITH-PURCELL EFFECT AT HARMONICS OF BWO FREQUENCY IN THE DOUBLE-MODE PARAMETRIC OSCILLATOR

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

¹Kharkov National University of Radioelectronics
 14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine
 phone: +38-057- 7021-057

e-mail: oen@kture.kharkov.ua
²Kharkov National University by V. N. Karazin
 4, Svobody Sq., Kharkov, 61077, Ukraine
 phone: +38-057-7075-133

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

Abstract — The non-linear theory of Smith-Purcell effect on harmonics of BWO frequency taking into account the two-mode interaction – self-consistent BWO mode and the distributed parametric mode of the diffraction radiation on harmonics of BWO frequency is developed. On the basis of the numerical solution of the self-consistent equations set the existence of the BWO mode of oscillations and parametric type amplification of the diffraction radiation on BWO harmonics is shown.

I. Introduction

New approaches to beam-wave interaction in electron devices for new frequency ranges are the important problem in modern microwave electronics. In this work the oscillation system based of the simultaneous usage of the two different oscillation modes: surface wave mode of BWO reference frequency and spatial wave mode (Smith-Purcell effect) that use harmonics of the BWO frequency is proposed.

II. Main Part

It is known that interaction of the electron beam with electro-dynamics system fields results in the bunching and appearance of the harmonics of high frequency current which can be used for frequency multiplication in two-stage devices. There is other way of BWO frequency harmonics using – coherent excitation of the Smith-Purcell radiation. Simultaneous usage of different current harmonics – the first harmonic for BWO oscillation excitation (surface wave mode) and higher harmonics of BWO frequency for diffraction radiation mode (Smith-Purcell effect) is the main concept of the proposed hybrid electron device with the periodical slow-wave system.

Beam-wave interaction modeling is performed on the base of solving of the self-consistent set of equations. Oscillatory characteristic transadmittance is used for analyzing the diffraction radiation starting conditions and stationary amplitude obtaining.

Fig. 1 shows the device scheme with two signal outputs. Fig. 2 represents BWO oscillatory characteristic steepness S_1 for different values of velocity mismatch parameter Φ_b .

Increment of oscillations amplitude growth and starting current are the main characteristics of the double-mode electron-wave system starting mode. BWO and generator of diffraction radiation (GDR) increments are plotted in Fig. 3 for the best values of the phase difference. There is a range of the Φ_b values where simultaneous excitation of the BWO and GDR oscillations is occurred.

III. Conclusion

Self-consistent theory of the coherent Smith-Purcell radiation is developed for mode of simultaneous oscillation of BWO and diffraction radiation. Ranges of system parameters values corresponding with two-mode interaction are defined.