

DOUBLE-MODE O-TYPE OSCILLATOR-AMPLIFIER WITH INCLINED FOCUSING FIELD

Odarenko E. N.¹, Shmat'ko A. A.²

¹Kharkiv National University of Radioelectronics, 14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine
phone: (057) 7021057, e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²V.N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Sq., Kharkov, 61022, Ukraine
Ph.: (057) 7075133, e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Abstract — Resonant O-type oscillator-amplifier with prolonged interaction is considered. Conditions of the simultaneous excitation of the oscillations on the surface and bulk waves are implemented in this device. Theoretical analysis is performed on the basis of nonlinear multidimensional theory of the beam-wave interaction. It is shown that focusing field incline results in efficiency enhancement in the surface wave mode and bulk waves mode on the harmonics of electron beam bunching frequency.

ДВУХРЕЖИМНЫЙ ГЕНЕРАТОР-УСИЛИТЕЛЬ О-ТИПА С НАКЛОННЫМ ФОКУСИРУЮЩИМ ПОЛЕМ

Одаренко Е. Н.¹, Шматько А. А.²

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина, тел.: (057) 7021057; e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина
пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина
тел.: (057) 7075133; e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Аннотация — Рассмотрен резонансный генератор-усилитель О-типа, в котором реализуются условия для одновременного возбуждения колебаний на частотах существования поверхностных и объемных волн. Теоретический анализ проведен на основе нелинейной многомерной теории электронно-волнового взаимодействия. Установлено, что наклон фокусирующего поля к поверхности замедляющей системы приводит к повышению эффективности взаимодействия генератора в режиме поверхностных волн и усилителя на высших временных гармониках частоты модуляции электронного потока в режиме объемных волн.

I. Введение

Разработка новых источников излучения терагерцового и субтерагерцового диапазонов длин волн является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений современной радиофизики и физической электроники. Применение для решения этой задачи квантовых приборов и генераторов СВЧ диапазона малой и средней мощности сталкивается с рядом физических и технологических проблем. Среди мощных приборов наилучшие результаты в настоящее время получены для лазеров на свободных электронах, в том числе основанных на использовании эффекта Смита-Парселла [1]. Маломощные варианты таких устройств – ледатроны, оротроны и генераторы дифракционного излучения (ГДИ) также рассматриваются как перспективные источники терагерцового и субтерагерцового излучения. Физические принципы функционирования этих приборов базируются на одновременном и взаимосвязанном существовании двух режимов работы – на замедленных поверхностных волнах (режим ЛОВ) и на быстрых объемных волнах дифракционного излучения (режим ГДИ). Связь между режимами осуществляется через электронный поток, который модулируется полем поверхностной волны и возбуждает в резонаторе объемные волны дифракционного излучения на гармониках ЛОВ, обеспечивающие положительную обратную связь. Анализ дисперсионных характеристик электродинамической системы ГДИ показывает, что в двухрежимной электронно-волновой системе возбуждение объемных волн происходит на одной из высших гармоник частоты режима ЛОВ. Это позволяет, с одной стороны, добиться значительного повышения рабочей частоты вплоть до терагерцового диапазона, а с другой – создавать двухчастотные

источники излучения с определенной фазировкой выходных сигналов кратных частот. Однако ввиду низких значений КПД приборов дифракционной электроники возникает задача повышения эффективности взаимодействия как в режиме ЛОВ, так и в режиме ГДИ. Одним из способов решения этой задачи является применение наклонного или неоднородного фокусирующего поля [2, 3].

В данной работе рассматривается двухрежимная электронно-волновая система с одним из вариантов профилированного магнитостатического поля – наклонной фокусировкой (клинотронная схема [4]).

II. Основная часть

На рис. 1 представлена схема двухрежимного электронного прибора с наклоном вектора индукции магнитостатического фокусирующего поля относительно плоскости гребенчатой замедляющей систе-

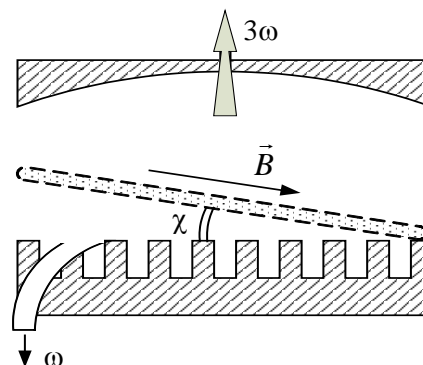


Рис. 1. Схема двухрежимной системы.

Fig. 1. Scheme of the double-mode beam-wave system

мы под углом χ . Вывод сигнала на частоте режима ЛОВ осуществляется непосредственно из замедляющей системы вблизи электронной пушки, на гармонике частоты ЛОВ – через отверстие связи на верхнем зеркале открытого резонатора (режим ГДИ).

Увеличение угла χ приводит к изменению эффективной амплитудной огибающей высокочастотного поля, действующего на электроны пучка, и, соответственно, к снижению пускового тока. Это явление наблюдается как в режиме ЛОВ (косинусоидальная огибающая поля), так и в режиме ГДИ (гауссова огибающая поля), что иллюстрируется на рис. 2. Здесь представлены зависимости нормированного пускового тока от параметра относительного рассинхронизма скоростей электронов и замедленной волны. Сплошные кривые соответствуют режиму ГДИ, штриховые – режиму ЛОВ. Очевидно, что в режиме ГДИ на гармонике частоты модуляции электронного потока реализуется более существенное снижение

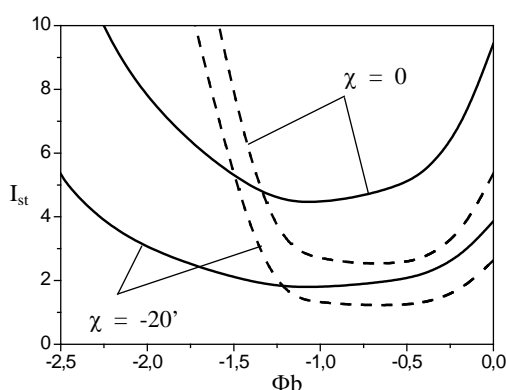


Рис. 2. Зависимости пускового тока от параметра рассинхронизма для ЛОВ и ГДИ.
Fig. 2. Starting current vs. velocity parameter for BWO and DRG

пускового тока по сравнению с режимом ЛОВ. В результате для значения угла наклона фокусирующего поля $\chi = -20^\circ$ минимальные значения пускового тока для ЛОВ и ГДИ оказываются практически равными.

На рис. 3 представлены результаты решения стационарного уравнения возбуждения для режима ГДИ на третьей гармонике частоты модуляции электронного потока полем поверхностной волны. По оси абсцисс отложена разность фаз между сигналами ЛОВ и ГДИ, по оси ординат – амплитуда сигнала, который выводится на объемной волне. Рис. 3а соответствует амплитуде сигнала ЛОВ $F_1 = 0.1$, а рис. 3б – $F_1 = 0.2$. Увеличение угла наклона фокусирующего поля сначала приводит к значительному повышению амплитуды F , а затем – к некоторому ее снижению из-за оседания части электронного потока на поверхность замедляющей системы. Кроме того, на рис. 3а изменяется качественный характер стационарных решений: однозначная зависимость $F(\gamma)$ переходит в многозначные, что свидетельствует об изменении режима неавтономной колебательной системы. Режим регенеративного усиления сменяется режимом принудительной синхронизации полем поверхностной волны.

На рис. 3б все зависимости $F(\gamma)$ являются однозначными, т. е. режим регенеративного усиления наблюдается для всех рассмотренных значений угла

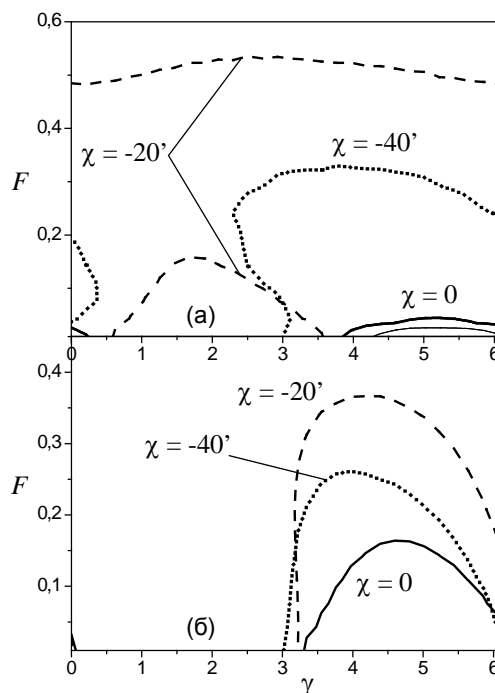


Рис. 3. Стационарные значения амплитуды и фазы колебаний ГДИ.

Fig. 3. Stationary values of the amplitude and phase of the DRG oscillations

наклона фокусирующего поля. Максимальное значение амплитуды выходного сигнала на третьей гармонике ниже, чем на рис. 3а. Следовательно, в данном случае действие механизма повышения эффективности взаимодействия за счет наклона фокусирующего поля несколько ослабляется, что соответствует результатам, представленным на рис. 2.

III. Заключение

Наклон вектора индукции магнитного фокусирующего поля относительно поверхности замедляющей системы сопровождается преимущественным повышением эффективности взаимодействия для режима объемных волн в рассмотренном электронном приборе. Это связано с различием амплитудных огибающих высокочастотного поля для режимов ЛОВ и ГДИ. В результате мощность выходного сигнала на третьей гармонике частоты модуляции электронного потока оказывается выше для режима синхронизации колебательной системы ГДИ относительно слабого сигналом ЛОВ по сравнению с режимом регенеративного усиления.

IV. References

- [1] Vinit Kumar and Kwang-Je Kim. Analysis of Smith-Purcell free-electron lasers. *Physical Review*, 2006, E 73, 026501.
- [2] Odarenko E. N., Shmat'ko A. A. Nonlinear Theory of Resonant Oscillators with an Oblique Magnetostatic Field. *Journal of Communication Technology and Electronics*, 1994, Vol. 39, No 2, pp. 61–66.
- [3] Odarenko YE. N., Shmat'ko A. A. Nonlinear Theory of O-Type Microwave Oscillators with Nonuniform Magnetostatic Field (Two-Dimensional Model). *Journal of Communication Technology and Electronics*, 1994, Vol. 39, No 9, pp. 1–8.
- [4] Levin G. Ya., Borodkin A. I., Kirichenko A. Ya. i dr. Pod red. A. Ya. Usikova. *Klinotron [Clinotron]*. Kiev, Naukova dumka, 1992, 200 p.