

# НЕРЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ О-ТИПА С НАКЛОННЫМ ФОКУСИРУЮЩИМ ПОЛЕМ

Одаренко Е. Н., Шматько А. А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина

тел.: (057) 7021057; e-mail: oen@kture.kharkov.ua

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина  
пл. Свободы, 4, Харьков, 61077, Украина

тел.: (057) 7075133; e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

**Аннотация** – Рассмотрена многомерная модель нерезонансного усилителя мм диапазона с наклонным фокусирующим полем. В рамках самосогласованной нелинейной теории проведен анализ характеристик усилителя для различных значений мощности входного сигнала и угла наклона магнитоэстатического поля.

## I. Введение

Одним из способов повышения эффективности вакуумных приборов СВЧ является увеличение мощности электронных потоков. Повышение тока пучка обычно сопровождается увеличением его поперечных размеров, что, в свою очередь, приводит к уменьшению сопротивления связи. В приборах О-типа с длительным взаимодействием эта проблема проявляется наиболее существенно при увеличении рабочей частоты – в диапазоне мм и сумм длин волн. В генераторах на обратной волне для ее решения была предложена конструкция с наклонным по отношению к поверхности замедляющей системы (ЗС) электронным потоком – клинотрон [1]. Изменение траекторий электронов в пространстве взаимодействия также позволяет повысить эффективность энергообмена потока заряженных частиц с замедленной волной в генераторе дифракционного излучения с локальной магнитной неоднородностью [2]. Теоретические исследования различных режимов работы таких генераторов позволили установить основные закономерности многомерного электронно-волнового взаимодействия с учетом токооседания на поверхности ЗС, а также других эффектов, обусловленных поперечным движением частиц пучка [3]. Вместе с тем, представляет интерес исследование нерезонансной усилительной системы с наклонным фокусирующим полем, поскольку здесь, в отличие от генераторов, пространственное распределение интенсивности высокочастотного поля не является фиксированным, а устанавливается самосогласованным образом в процессе взаимодействия с электронным потоком.

## II. Основная часть

Схема исследуемой электронно-волновой системы представлена на рис. 1. Наклон силовых линий однородного магнитного поля под углом  $\chi$  к плоскости ЗС сопровождается соответствующим изменением траекторий электронов. В результате электронный поток конечной толщины может частично или полностью оседать на поверхность электродинамической системы. Рассматривается усиление на прямой волне, т.е. входной сигнал подается в пространство взаимодействия со стороны электронной пушки.

Для теоретического исследования многомерной усилительной системы с наклонным фокусирующим полем использовалась самосогласованная нелинейная теория нерезонансных приборов О-типа с дли-

тельным взаимодействием [4], которая позволяет проводить анализ физических процессов для различных значений мощности входного сигнала.

На рис. 1 представлены зависимости коэффициента усиления  $G$  от нормированной по длине пространства взаимодействия продольной координаты  $\xi$  для различных значений угла наклона  $\chi$ . Штриховая кривая соответствует стандартной фокусировке ( $\chi = 0$ ). Угол наклона фокусирующего поля измеряется в минутах. Значение  $\chi = -25'$  соответствует началу токооседания на поверхность электродинамической системы. Для выбранного значения мощности входного сигнала и длины ЗС коэффициент усиления достигает насыщения в пределах пространства взаимодействия. В этом случае наклон траекторий электронов приводит к смещению максимума зависимости  $G(\xi)$  в сторону электронной пушки, т.е. фактически происходит сокращение эффективной длины усилителя. Максимальный коэффициент усиления увеличивается незначительно. Токооседание на ЗС сопровождается снижением максимального значения  $G$ . Следует отметить, что в данной ситуации уменьшение длины пространства взаимодействия практически не сказывается на амплитудном распределении высокочастотного поля в отличие от резонансных систем, где структура поля определяется симметрией электродинамической системы в целом.

Результаты расчетов показывают, что для относительно малых уровней мощности входного сигнала, когда в пределах пространства взаимодействия происходит экспоненциальное нарастание амплитуды колебаний, наклон траекторий электронов к поверхности ЗС приводит к существенному повышению

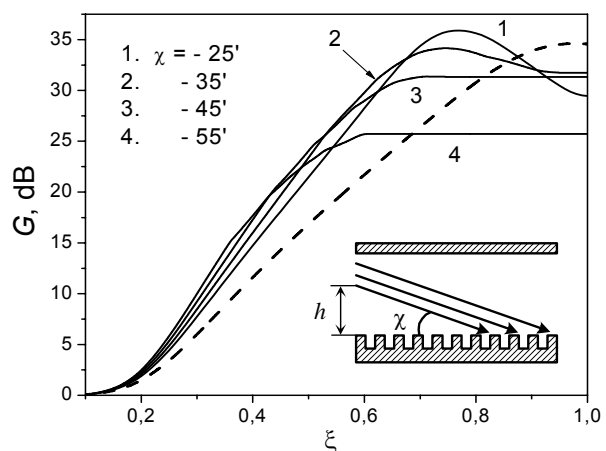


Рис. 1. Коэффициент усиления для различных значений угла  $\chi$ .

Fig. 1. Gain for different values of tilt angle  $\chi$

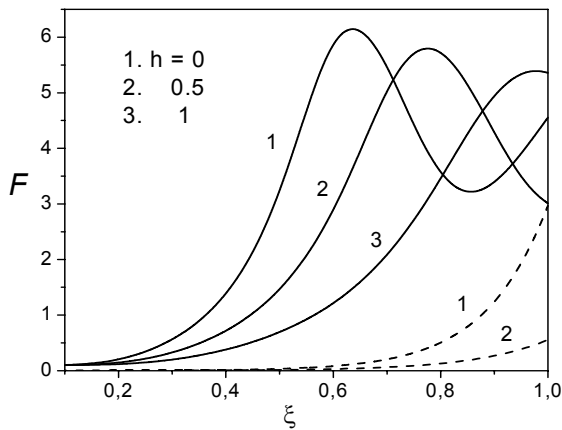


Рис. 2. Амплитуда сигнала для различных значений  $h$ .  
Fig. 2. Signal amplitude for different  $h$  values

максимального коэффициента усиления. Следовательно, в данном случае наклон фокусирующего поля позволяет реализовать более интенсивную группировку электронного потока, т.е. получить определенный уровень мощности сигнала на меньшей длине пространства взаимодействия. Аналогичный вывод можно сделать на основании данных, представленных на рис. 1, где в области значений  $\xi < 0.4$  для всех рассмотренных углов наклона  $\chi$  наблюдается увеличение эффективности взаимодействия.

На рис. 2 представлены амплитудные распределения высокочастотного поля вдоль пространства взаимодействия в случае  $\chi = 0$  для различных значений прицельного расстояния  $h$ , нормированного на толщину пучка, и мощности входного сигнала. Нулевое значение параметра  $h$  означает, что электронный поток пропускается вплотную к поверхности ЗС. Сплошными кривыми показаны зависимости для  $P_0 = -20$  дБ, штриховыми кривыми – для менее мощного входного сигнала ( $P_0 = -60$  дБ). Очевидно, что изменение прицельного расстояния оказывает примерно такое же воздействие на закономерности физических процессов в усилителе, как и наклон траекторий электронов к поверхности ЗС. Таким образом, можно сделать вывод о том, что основным механизмом повышения эффективности взаимодействия за счет наклонного движения электронов в нерезонансном усилителе является изменение сопротивления связи.

### III. Заключение

В работе установлены основные закономерности влияния наклонного движения электронного потока на эффективность энергообмена в нерезонансном усилителе О-типа с длительным взаимодействием. Показана возможность управления выходными характеристиками усилителя за счет изменения угла наклона фокусирующего поля для различных значений мощности входного сигнала.

### IV. Список литературы

- [1] Клинонрон / Левин Г. Я., Бородкин А. И., Кириченко А. Я. и др. Под ред. Усикова А. Я. – К.: Наук. думка, 1992. – 200 с.
- [2] Балаклицкий И. М., Воробьев Г. С., Цвык А. И., Шестопалов В. П. Увеличение эффективности работы генераторов дифракционного излучения с магнитной фокусировкой. Изв. вузов. Радиотехника, 1977, №10, с. 93-96.
- [3] Одаренко Е. Н., Шматько А. А. Нелинейная теория резонансных генераторов с наклонным магнитостатическим полем. Радиотехника и электроника, 1993, **38**, №9, с. 1690-1695.

- [4] Одаренко Е. Н., Шматько А. А. Планарный усилитель бегущей волны миллиметрового диапазона О-типа с разнородными электронными потоками. – В кн.: 9-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Материалы конф. [Севастополь, 1999 г.]. – Севастополь: Вебер, 1999, стр. 123-124.

## NONRESONANT O-TYPE AMPLIFIER WITH INCLINED FOCUSING FIELD

Odarenko E. N., Smat'ko A. A.  
Kharkov National University of Radioelectronics  
Lenin av., 14, Kharkov, 61166, Ukraine  
Tel.: (057) 7021057  
e-mail: oen@kture.kharkov.ua  
Kharkov National University  
Svobody Sq.4, Kharkov, 61077, Ukraine  
Tel.: (057) 7075133  
e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

**Abstract** – Multidimensional model of nonresonant millimeter waves amplifier with inclined focusing field is considered. Within the framework of nonlinear self-consistent theory, analysis of the amplifier characteristics for different values of input power and magnetostatic field tilt angle is carried out.

### I. Introduction

One of the methods for vacuum microwave devices efficiency enhancement is to increase electron beam power. Beam current increasing results in the beam transversal sizes enlargement. Hence the coupling impedance in the beam-wave system decreases. In order to solve the problem the design with inclined electron beam - clinotron was offered [1]. The change of electrons' trajectories in the interaction space also allows enhancing efficiency in the diffraction radiation generator with localized magnetic nonuniformity [2]. The research of the nonresonant amplifying system with inclined focusing field is interesting because, as against generators, the spatial distribution of rf field amplitude is not fixed but is formed in self-consistent manner during beam-wave interaction.

### II. Main Part

The scheme of the researched beam-wave system is presented in Fig. 1. Sheet electron beam with finite thickness can settle on the slow-wave system surface partially or completely.

In order to theoretically analyze the multidimensional beam-wave system with inclined focusing field the nonlinear self-consistent theory of nonresonant O-type devices with prolonged interaction was used [4]. This theory allows investigating physical processes for different values of the input power and tilting angle.

In Fig. 1 the gain  $G$  vs normalized on the interaction space longitudinal coordinate  $\xi$  for different tilt angle values. The dashed curve corresponds to standard focusing ( $\chi = 0$ ). Tilting of electrons' trajectories results in amplifier interaction length decreasing.

In Fig. 2 the rf field amplitude distributions for the  $\chi = 0$  case and different values of the parameter  $h$ , which is normalized on the beam width, and input power are presented. Electron beam passes closely to the slow-wave system surface when  $h = 0$ . The solid curves show dependences for input power  $P_0 = -20$  dB, dashed curves correspond to  $P_0 = -60$  dB. It is clear that the changing of the parameter  $h$  influences physical processes regularities in the amplifier as well as electrons trajectories inclination.

Thus the main mechanism of the efficiency enhancement in the nonresonant amplifier with inclined focusing field is the coupling impedance changing.

### III. Conclusion

The main regularities of the electron beam inclination effect on the efficiency of the nonresonant O-type amplifier with prolonged interaction have been considered. The possibility of the amplifier output characteristics control by variation of focusing field tilt angle is shown for different values of input power.