ТЕОРИЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ММ ДИАПАЗОНА

Одаренко Е.Н., Шматько А.А.
ХНУ, пл. Свободы, 4, Харьков-61077, Украина
тел. (0572) 45-71-33, e-mail: Evgeniy.N.Odarenko@univer.kharkov.ua

Аннотация - Представлены результаты исследования эффективности электронно-волнового взаимодействия в гибридном приборе миллиметровых и субмиллиметровых волн О-типа. В качестве примера рассмотрена схема усилителя с нерезонансным секционированным выходным каскадом, в котором замедляющая система может располагаться на разных сторонах планарной электродинамической структуры. Приведены результаты расчетов коэффициента усиления и электронного КПД на основе комбинированной нелинейной двухмерной теории гибридного усилителя.

I. Введение

Объединение в одной конструкции различных типов электронных приборов является одним из способов улучшения выходных характеристик и расширения функциональных возможностей электронно-волновых систем. В данной работе теоретически рассматривается усилитель О-типа, состоящий из резонансных и нерезонансных каскадов, что позволяет сочетать в одном устройстве свойства, присущие различным приборам (например, ЛБВ, ГДИ, оротрон, ледатрон, ладдертрон). Для исследования такой конструкции необходимо совместно использовать две модели нелинейного электронно-волнового взаимодействия, соответствующие резонансному и нерезонансному режимам энергообмена между электронным пучком и высокочастотным полем. Более того, для анализа физических процессов в гибридном приборе следует для разных каскадов рассматривать различные этапы развития колебательного процесса.

II. Основная часть

На рис. 1 представлены схемы нерезонансного (а) и резонансного (б) усилительных каскадов. В резонансных каскадах могут использоваться как объемные, так и открытые резонаторы. Теоретическая модель электронно-волновой системы состоит из нескольких основных компонентов.

Электронный поток. Используется ленточный пучок конечной толщины, который пропускается вблизи поверхности замедляющей системы (ЗС). Уравнение движения заряженных частиц трехмерное. Рассматривается нерелятивистский случай. В процессе анализа характеристик прибора учитывается возможность токооседания на поверхность ЗС за счет статических и динамических смещений траекторий электронов. Начальные условия по пучку произвольные – как с модуляцией по скорости и плотности, так и без нее. В поперечном сечении электронный поток разбивается на несколько парциальных пучков, каждый из которых имеет свою начальную скорость. Таким образом можно формировать определенное распределение пространственного рассинхронизма скоростей электронов и замедленной волны по толщине пучка.

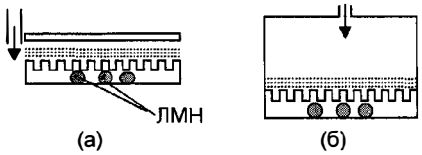


Рис.1 –Схемы усилительных каскадов
Fig. 1 – Amplifier stages scheme

Фокусирующее поле – магнитостатическое, в общем случае неоднородное. Пространственное распределение индукции формируется набором локальных магнитных неоднородностей (ЛМН, рис.1), количество которых варьируется. Каждая ЛМН характеризуется набором параметров: амплитудой, координатой центра и размером области локализации. Жесткость фокусировки определяется величиной индукции магнитного поля, которая также может изменяться.

Электродинамическая система. В усилительных каскадах в качестве ЗС используется гребенка. В нерезонансных каскадах ЗС расположена на одной из проводящих пластин, формирующих планарную структуру (рис.1а) или на обеих (двухрядная структура). В резонансных каскадах ЗС расположена на одном из зеркал открытого резонатора или на одной из стенок объемного резонатора (рис.1б). Высокочастотные поля имеют две координатные компоненты – перпендикулярную и параллельную плоскости ЗС. Пространственное распределение электромагнитного поля в резонансном каскаде фиксировано и определяется симметрией электродинамической системы. В нерезонансном каскаде амплитудное распределение формируется в процессе электронно-волнового взаимодействия.

Учитывается два варианта поступления высокочастотного сигнала в усилительные каскады – непосредственно в ЗС и через модулированный электронный пучок.

Планарные усилительные каскады могут быть секционированными. Секции разделяются либо поглощающими вставками, либо участками дрейфа. Рассматривается несколько возможных вариантов гибридного усилителя, различающихся последовательностью расположения резонансных и нерезонансных колебательных систем. В частности, двухкаскадные схемы с выходной секцией резонансного или нерезонансного типа. Секции могут различаться шагом периодической системы (т. е. рассинхронизмом скоростей электронов и замедленной волны).

На рис. 2 и 3 представлены зависимости коэффициента усиления K и электронного КПД η от безразмерной продольной координаты ξ для гибридного усилителя, состоящего из модулирующего резонансного устройства с длительным взаимодействием и нерезонансного секционированного выходного каскада. Штриховые кривые соответствуют несекционированной ЗС. Кривые построены для амплитуды входного сигнала $F_0 = 0.005$; параметра рассинхронизма $b=(1-v_0/v)=-\pi/50$ для коэффициента усиления и $-\pi/25$ для КПД; здесь v_0 – начальная продольная скорость электронов, v – фазовая скорость замедленной волны; ξ_1 - длина первой секции нерезонансного каскада. Во второй секции этого каскада гребенка расположена на верхней пластине. Такое секционирование планарной структуры позволяет увеличить как максимальный коэффициент

2000 10th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" CriMiCo'2000. 11-15 September, Sevastopol, Ukraine
© 2000: CriMiCo'2000 Organizing Committee; Weber Co. ISBN: 966-572-048-1. IEEE Catalog Number: 00EX415

усиления, так и максимальный электронный КПД. Следует отметить случай ξ_1=0, когда ЗС выходного каскада неразрывна, но импедансная поверхность

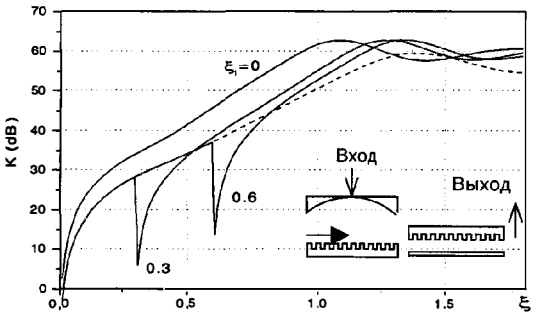


Рис. 2 – Зависимости коэффициента усиления от продольной координаты
Fig. 2 – Gain vs longitudinal coordinate

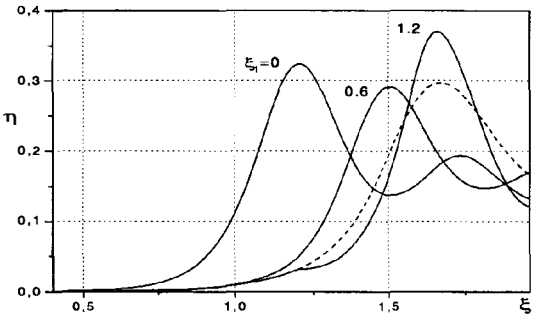


Рис. 3 – Зависимости электронного КПД от продольной координаты
Fig. 3 – Efficiency vs longitudinal coordinate

находится на верхней пластине (схема на рис.2). Здесь максимальные значения K и η не превышают соответствующих величин для секционированного каскада, однако достигаются они при меньших значениях продольной координаты, т. е. оптимальная длина прибора сокращается. В результате получается, что в максимуме коэффициента усиления для ξ_1=0 значение K превышает на 10 дБ значение для выходного каскада с гребенкой, расположенной на нижней пластине (рис. 2, ξ =1.1).

Таким образом, секционирование нерезонансного каскада с комбинированным расположением ЗС позволяет значительно улучшить выходные характеристики и при определенных условиях уменьшить оптимальную длину прибора. Отмеченные эффекты обусловлены в первую очередь многомерностью используемой модели и являются следствием изменения условий группирования и энергоотбора в электронном потоке конечной толщины.

III. Заключение

Построенная нелинейная теория электронного прибора гибридного типа позволяет проводить моделирование и расчет характеристик различных составных устройств миллиметрового диапазона: генераторов, усилителей, преобразователей и др. с учетом различных физических факторов.

THEORY OF THE MM WAVES HYBRID ELECTRON DEVICES

E.N. Odarenko, A.A. Shmat'ko
Kharkov National University, Dept. of Radiophisics,
Svobody Sq.4, Kharkov, 61077, UKRAINE
Tel.: (0572) 45-71-33
e-mail: Evgeniy.N.Odarenko@univer.kharkov.ua

Abstract - The results of research of the electronic – wave interaction efficiency in the O - type hybrid device of millimeter and submillimeter waves are presented. The amplifier scheme with nonresonance partitioned output stage is considered, in which the slow-wave system can be allocated on the different sides of planar electrodynamic structure. Results of the gain and efficiency calculations are presented on the basis of the combined nonlinear two-dimensional theory of a hybrid amplifier.

I. Introduction

The association of different types of electron devices In one construction is one of the ways of the output characteristic improvement and extension of electronic - wave systems functionalities. In the present report the O - type amplifier consisting of resonant and nonresonant stages is theoretically considered that aliows to combine the properties which inherent to different devices (e.g., TWT, orotron, Iedatron, laddertron) in one device. For research of such construction it is necessary to use two models of electronic - wave interaction appropriate to resonant and nonresonance modes of interaction between a beam and a high-frequency field.

II. Basic part

In a fig. 1 the scheme of nonresonant (a) and resonant (б) of amplifier stages are presented. In resonant stages both cavity, and open resonator can be used. The theoretical model of the electron - wave system consists of several main parts.

Electron beam. The sheet beam of finite width is used. It passes near to a surface of a slow-wave circuit. An equation of charged particles motion is three-dimensional. During the analysis of the device characteristics the possibility of electron settling on a grating surface is taken into account at the expense of static and dynamic displacements of electrons trajectories.

Focusing field - magnetostatic, in general case it is nonuniform. The space distribution of induction is shaped by a set of local magnetic nonuniformities (LMN, fig.1), whose amount varies. Each LMN is characterised by a set of parameters: amplitude, co-ordinate of centre and size of localisation area.

The electrodynamic system. In amplifier stages the grating is used as slow-wave system. In nonresonance stages grating is located on one of conductive slices forming a planar structure (fig. 1a) or on the both (two-row structure) of them. In resonant stages grating is located on one of the mirrors of an open resonator or on one of the resonant cavity walls (fig. 1б). The rf fields have two co-ordinate components - perpendicular and parallel to grating plane. The spatial distribution of an electromagnetic field in a resonant stage is fixed and is determined by symmetry of the electrodynamic system. In nonresonant stage the amplitude distribution is shaped during electron - wave interaction.

In Fig. 2 and 3 the gain and electronic efficiency are shown as functions of longitudinal co-ordinate for the hybrid amplifier consisting of the modulating resonant device with prolonged interaction and a nonresonant partitioned output stage. The dashed curves correspond to not partitioned slow-wave system. ξ_1 - length of the first section of a nonresonant stage. In the second section of this stage the grating is located on a upper slice. Such sectionalization of planar structure allows to magnify both maximum gain and maximum electronic efficiency.

III. Conclusion

The results of theoretical research of a hybrid type devices allow to carry out simulation and calculation of the characteristics of different multicomponent millimetre-wave devices: generators, amplifiers, converters, etc.

© 2000: CrMiCo'2000 Organizing Committee; Weber Co. ISBN: 966-572-048-1. IEEE Catalog Number: 00EX415