

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЛЯТИВИСТСКИЙ СВЧ ГЕНЕРАТОР О-ТИПА С МАГНИТНЫМ ФОКУСИРУЮЩИМ ПОЛЕМ

Одаренко Е.Н., Шматько А.А.

Харьковский государственный университет, радиофизический факультет,
кафедра физики СВЧ, , пл. Свободы, 4, Харьков-310077, Украина
тел.: 0572- 457133, e-mail : Sergey.A.Pogarsky@univer.kharkov.ua

Аннотация – Представлены результаты исследования эффективности электронно-волнового взаимодействия в резонансном релятивистском генераторе в зависимости от различных параметров системы. Рассмотрен случай больших рабочих токов, характерный для импульсного режима работы прибора.

I. Введение

Использование потоков заряженных частиц с релятивистскими скоростями является одним из способов увеличения КПД и выходной мощности электронных приборов СВЧ. Ряд важных практических применений мощных электрорадиотехнических устройств – радиолокация, различные системы вещания и связи, обуславливают необходимость работы приборов в импульсном режиме. В связи с этим является актуальной задача исследования характеристик электронных приборов с большими рабочими токами, характерными для импульсного режима работы, а также поиска на этой основе новых возможностей повышения мощности и эффективности таких устройств. В данной работе рассматриваются зависимости максимального по зоне генерации электронного КПД от величины нормированного рабочего тока пучка для различных наборов параметров электронно-волновой системы.

II. Теоретическая модель

Анализ физических процессов проводится в рамках многомерной модели релятивистского резонансного генератора О-типа с длительным взаимодействием. Основные элементы такой модели рассмотрены в [1]. В самосогласованной постановке получена система уравнений, которая, в зависимости от

начальных условий, пригодна для анализа процессов в системах различного функционального назначения (генераторы, усилители, модуляторы и др.). Учитываются такие явления, как высокочастотное расслоение электронного потока, токооседание, поперечное движение электронов. Исходная система уравнений получена для произвольного пространственного распределения силовых линий фокусирующего магнитного поля.

Исследование проводится для прибора с гауссовской структурой СВЧ поля в электродинамической системе (генератор дифракционного излучения, оротрон).

III. Анализ результатов

На рис.1 представлены зависимости максимального по зоне генерации электронного КПД η от параметра эффективности взаимодействия G (G пропорционально рабочему току пучка) для различных значений релятивистского масс-фактора и нормированной циклотронной частоты (рис.1 - $\omega_c / \omega = 0.4$; рис.2 - $\omega_c / \omega = 0.1$). Здесь ω - частота колебаний в генераторе. При большем значении индукции магнитного поля наблюдаются различия в зависимостях $\eta(G)$ для различных значений релятивистского фактора γ_0 . В нерелятивистской системе ($\gamma_0 = 1.01$) при $G > 20$ дальнейшее увеличение рабочего тока не оказывает влияния на величину КПД. Подобная ситуация наблюдается и для $\gamma_0 = 1.3$. Эффективность взаимодействия в релятивистском

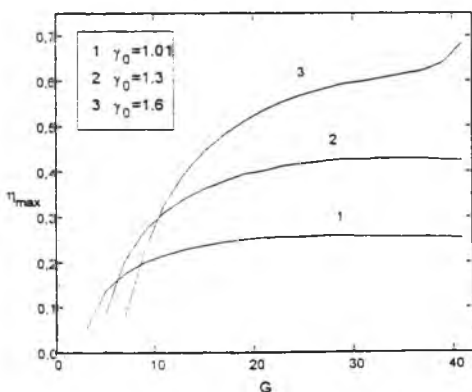


Рис.1. Зависимости КПД при $\omega_c / \omega = 0.4$.

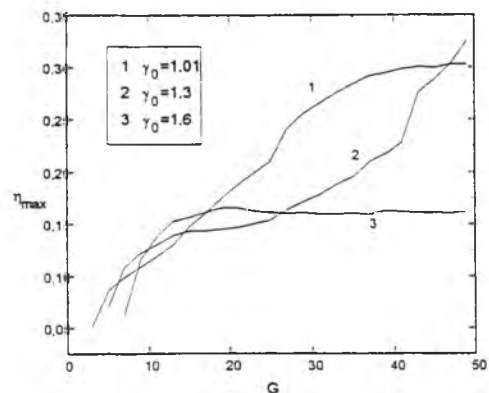


Рис.2. Зависимости КПД при $\omega_c / \omega = 0.1$.

приборе ($\gamma_0 = 1.6$) монотонно растет при увеличении G . Следовательно, в импульсном режиме работы с большими рабочими токами преимущество имеет релятивистский генератор, где реализуются условия энергообмена между электронами и СВЧ полем, обеспечивающие более высокий КПД. Иная ситуация наблюдается при уменьшении индукции фокусирующего поля. На рис.2 представлены зависимости $\eta(G)$ для случая слабого магнитного поля и различных значений параметра γ_0 . По сравнению с рис.1 для всех значений релятивистского фактора $\gamma_0 > 1.01$ наблюдается снижение эффективности взаимодействия. В нерелятивистском случае при $G > 30$ КПД прибора с $\omega_c / \omega = 0.1$ превышает КПД прибора с замагниченным пучком.

Отмеченное снижение электронного КПД обусловлено прежде всего оседанием электронов на поверхность замедляющей системы за счет увеличения поперечных смещений траекторий частиц при снижении индукции фокусирующего поля. С одной стороны, процесс токооседания уменьшает количество взаимодействующих с СВЧ полем электронов и тем самым снижает эффективность взаимодействия из-за уменьшения рабочего тока. С другой стороны, при определенных условиях токооседание может приводить к фазовой сортировке электронов (когда оседают преимущественно ускоряющиеся частицы) и тем самым - к повышению КПД [2]. Именно такая сортировка реализуется в нерелятивистском приборе для $G > 30$, где КПД при $\omega_c / \omega = 0.1$ превышает КПД прибора с замагниченным пучком.

В релятивистском приборе уменьшение индукции магнитного фокусирующего поля приводит к снижению эффективности электронно-волнового взаимодействия во всем диапазоне изменения параметра G . Увеличение массы заряженных частиц обуславливает более длительную их группировку, т.е. максимум амплитуды высокочастотного тока реализуется ближе к коллектору по сравнению с нерелятивистским прибором. В этом случае токооседание играет негативную роль, поскольку оно начинается в области пространства взаимодействия, где группировка электронного потока еще не завершена. Следовательно, оседают будут преимущественно тормозящиеся частицы.

IV. Список литературы

- [1] Е.Н.Одаренко, А.А.Шмат'ко "Нелинейная теория СВЧ генераторов О-типа с неоднородным магнитоэстатическим полем (двумерная модель)", Радиотехника и электроника, 39, №4, с.653-661, 1994.
- [2] V.S.Chursin, E.N.Odarenko, A.A.Shmat'ko "Theory of Resonant Relativistic Oscillator with Nonuniform Focusing Field", Int. J. of Infrared and Millimeter Waves, 17, №7, 1996.

MICROWAVE RELATIVISTIC PULSE O-TYPE GENERATOR WITH THE MAGNETIC FOCUSING FIELD

Odarenko E.N., Shmat'ko A.A.

Dept of Radiophysics, Kharkov State University
Svobody Sq., 4, Kharkov - 310077, Ukraine
e-mail: Sergey.A.Pogarsky@univer.kharkov.ua

Abstract - Results of the beam-electron interaction investigation in the resonant relativistic oscillator are represented at different values of the system parameters. The case of great beam current is considered for pulse device operation regime.

I. Introduction

The using of the charged particles relativistic velocities is the efficiency enhancement method for microwave electron devices. Applications of the high-power relativistic devices such as radar and communications systems cause the necessity of the pulse operation. Therefore the problem of investigation of the devices with great current, being used in pulsers, is actual. On this base new methods of the efficiency enhancement can be developed.

II. Theoretical model

The investigation of the physical processes is carried out within the framework of multidimensional model of the relativistic resonant O-type oscillator with prolonged interaction. The nonlinear self-consistent equations set is obtained for arbitrary space distribution of the dc magnetic focusing field. The multidimensional phenomena such as rf fiberling of the electron beam, settling of the particles onto the slow-wave structure, transversal motion of electrons are taking into account.

Orotron-type device with Gaussian form of the rf field amplitude envelope is investigated

III. Discussion

Numerical calculations are developed for two values of the normalized cyclotron frequency: $\omega_c / \omega = 0.4$ and 0.1. Here ω is the oscillations frequency. In the first case relativistic device efficiency increases when the beam current increases. It should be noted that the nonrelativistic device efficiency is almost fixed when beam current is large ($G > 20$). Hence the relativistic device is more suitable for pulse operation when the focusing field is strong.

The decrease of the cyclotron frequency results in efficiency reduction for any values of the relativistic mass-factor. In this case the non-relativistic device efficiency exceeds the relativistic device efficiency at $G > 30$. The main reason of the efficiency decrease is the settling of electrons onto the slow-wave structure. On the other hand this phenomenon results in phase selection of the electrons under the certain conditions (accelerated particles are settling primarily, and thus enhances the efficiency [2].

In the relativistic device the decrease of the focusing field displacement results in efficiency reduction at all values of the beam current. The bunching of the relativistic electron beam is difficult i.e. rf current maximum amplitude is formed at larger value of the longitudinal coordinate. Therefore in this case the damped electrons settle primarily and beam-wave interaction efficiency reduces.