

# МНОГОПУЧКОВЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Одаренко Е. Н., Шматько А. А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166, Украина

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

Харьковский национальный университет

пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61077, Украина

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

**Аннотация** – Проведено исследование многомерной модели двухкаскадного умножителя частоты с многопучковой электронно-оптической системой. Наличие многоскоростного электронного потока позволяет эффективно управлять характеристиками энергообмена между высокочастотным полем и заряженными частицами. На основе многомерной нелинейной теории электронно-волнового взаимодействия найдены условия повышения выходной мощности устройства на высших гармониках частоты входного сигнала.

## I. Введение

Исследование процесса электронно-волнового взаимодействия в пространственно-развитых многопучковых системах проводится с учетом различных физических механизмов и факторов, в той или иной мере определяющих выходные характеристики устройства. В многомерном пространстве взаимодействия количество таких факторов довольно велико. В связи с этим необходимо анализировать степень их воздействия на закономерности энергообмена электронов с высокочастотными полями. Одним из наиболее существенных факторов, которые следует учитывать в многомерных моделях электронных приборов, является высокочастотное расслоение пучка заряженных частиц [1]. Это явление обусловлено неоднородностью электромагнитного поля в пределах поперечного сечения электронного потока. В данной работе рассматривается многопучковая электронно-волновая система О-типа, в которой каждый поток электронов имеет свою начальную скорость (начальный рассинхронизм с фазовой скоростью волны). С одной стороны, такая система эквивалентна однопучковой с электронным потоком соответствующей толщины, а с другой – позволяет управлять режимом взаимодействия каждого пучка с высокочастотным полем [2]. Основное внимание в работе уделено исследованию работы такой системы в режиме умножения частоты. Уменьшение длины волны сигнала приводит к усилению расслоения электронного потока. Применение многопучковой схемы позволяет компенсировать неблагоприятное воздействие высокочастотного расслоения на эффективность электронно-волнового взаимодействия.

## II. Основная часть

Исследуемая электронно-волновая система О-типа имеет двухкаскадное пространство взаимодействия, причем один из каскадов является модулятором многолучевого электронного потока на частоте входного сигнала. Это участок пространства взаимодействия может быть как резонансным, так и нерезонансным. Выходной каскад умножителя представляет собой резонансную систему с длительным взаимодействием. Фактически это неавтономная колебательная система с предварительной модуляцией электронного потока. Теоретический анализ про-

водится в рамках многомерной модели нелинейного электронно-волнового взаимодействия [3].

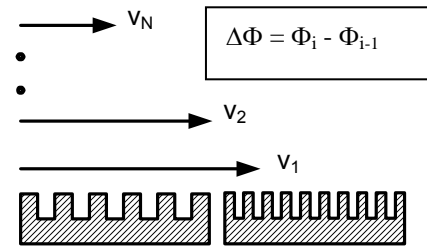


Рис. 1. Схема пространства взаимодействия с  $N$  электронными потоками.

Fig. 1. Interaction space scheme with  $N$  electron beams

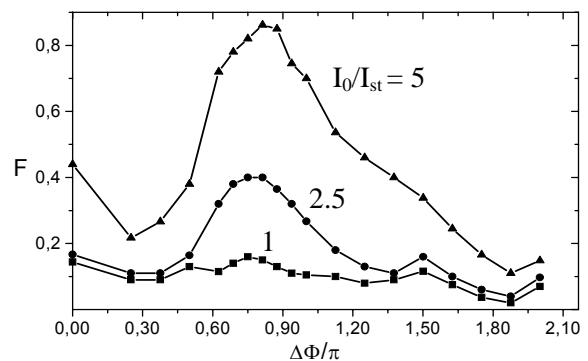


Рис. 2. Зависимости амплитуды выходного сигнала от нормированной разности начальной скорости электронных потоков.

Fig. 2. Output signal amplitude vs normalized difference of electron beams' initial velocities

Рассматривается вариант ступенчатого изменения начальной скорости электронных потоков по мере удаления от поверхности периодической структуры (рис. 1). Здесь  $\Phi = \beta b$ , где  $\beta = \omega/v_0$  – электронное волновое число,  $b = 1 - v_0/v$  – относительный рассинхронизм скорости электронов  $v_0$  и фазовой скорости замедленной волны  $v$ . В случае усиления на одной частоте такое распределение скоростей позволяет в значительной мере компенсировать высокочастотное расслоение пучка и повысить эффективность взаимодействия [2]. В умножителе частоты ситуация более сложная, поскольку здесь существуют два участка пространства взаимодействия с различной степенью неоднородности поля в поперечном сечении электронного потока.

На рис. 2 представлены зависимости амплитуды выходного сигнала от величины разности параметра пространственного рассинхронизма между смежными электронными потоками для различных значений

отношения рабочего тока к пусковому  $I_0/I_{st}$  в выходном резонансном каскаде. Коэффициент умножения равен четырем. Амплитуда входного сигнала выбиралась из условия максимума амплитуды выходного сигнала для заданного коэффициента умножения и в данном случае составляла  $-26$  дБ. Положительные значения параметра  $\Delta\Phi$  означают, что по мере удаления от поверхности замедляющей системы начальная скорость электронных потоков уменьшается. Отрицательные значения  $\Delta\Phi$  не рассматриваются, поскольку в этом случае эффективность энергообмена электронов с высокочастотным полем снижается. Причины этого явления рассмотрены в [2].

Из графиков видно, что в режиме регенеративного усиления применение многопучковой электронно-оптической системы с разными скоростями электронных потоков практически не сказывается на уровне выходного сигнала. В режиме синхронизации ( $I_0/I_{st} > 1$ ) наблюдается явно выраженный максимум амплитуды выходного сигнала, причем для различных значений отношения рабочего тока к пусковому он реализуется при  $\Delta\Phi \approx \pi$ . Расчеты показывают, что аналогичный эффект наблюдается и для других значений коэффициента умножения частоты.

Следует отметить, что увеличение параметра  $I_0/I_{st}$  приводит к росту не только абсолютного значения амплитуды выходного сигнала для  $\Delta\Phi \approx \pi$ , но и ее отношения к амплитуде сигнала в случае, когда все электронные пучки имеют одинаковую начальную скорость. Следовательно, воздействие изменения распределения начальных скоростей электронных потоков на эффективность многопучкового умножителя частоты обусловлено в основном нелинейными процессами в электронно-волновой системе.

### III. Заключение

Показано, что применение нескольких электронных потоков с различными начальными скоростями в электронно-волновых системах О-типа позволяет повысить эффективность взаимодействия не только на частоте входного сигнала в режиме усиления, но и на ее высших гармониках в режиме умножения. Эффект достигается благодаря компенсации высокочастотного расслоения в многоскоростном электронном потоке. Использование нескольких электронных потоков вместо одного мощного пучка позволяет сохранить уровень мощности в системе и осуществлять эффективное управление характеристиками электронно-волнового взаимодействия.

### IV. Список литературы

- [1] Л. А. Вайнштейн, В. А. Солнцев. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Сов. радио, 1973. – 400 с.
- [2] Одаренко Е. Н., Шевченко Н. Г. Плоский СВЧ усилитель О-типа с многослойным электронным пучком. Вестн. Харьк. ун-та, 2000, № 467, вып. 1, с. 98-101.
- [3] Одаренко Е. Н., Шматько А. А. Вынужденные колебания в нелинейных электронно-волновых системах О-типа – моделирование и анализ. – В кн.: 12-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2002). Материалы конф. [Севастополь, 9-13 сентября 2002 г.]. – Севастополь: Вебер, 2002, стр. 201-202.

## MILLIMETER WAVES MULTIBEAM FREQUENCY MULTIPLIER

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

**Abstract** – The research of multidimensional model of two-stage frequency multiplier with multibeam electron-optical system is carried out. The presence of multiple-speed electronic stream allows effectively controlling the characteristics of interaction between high-frequency field and charged particles. On the basis of beam-wave interaction multidimensional nonlinear theory, increase conditions of output power at higher harmonics of the input signal frequency have been obtained.

### I. Introduction

One of the most essential factors, which should be taken into account in multidimensional models of electron devices, is high-frequency breaking of the electron beam [1]. This phenomenon is stipulated by discontinuity of electromagnetic field in the electron beam cross-section. Considered in this paper is multibeam O-type beam-wave system, where each stream of electrons has its own initial velocity. The main attention is paid to investigation of such system operation in the frequency multiplication mode.

### II. Main Part

The O-type beam-wave system researched has two spaces of interaction. One of its stages is multi-beam electron beam modulator on the input signal frequency. This interaction space section can be both resonance and non-resonance. The output stage of the multiplier represents the resonance system with prolonged interaction. Actually it is a non-autonomous oscillatory system with preliminary modulation of electron beam. Theoretical analysis has been carried out within the framework of multidimensional model of nonlinear beam-wave interaction [3].

Fig. 2 shows dependences of the output amplitude on the value of velocity difference between contiguous electron beams for different values of operating current/starting current ratio in the output resonance stage. Multiplying coefficient equals four. The input amplitude is selected from condition of the output amplitude maximum for the given multiplying coefficient and in this case it is  $-26$  dB. Positive  $\Delta\Phi$  values mean that the initial speed of electron beams is decreasing in accordance with moving away from slow-wave circuit surface.

Application of multibeam electron-optical system with different velocities of electronic beams practically had no effect on the output signal level in regenerative amplification mode. In synchronization mode the obviously expressed maximum of the output amplitude is obvious. This peak is located at  $\Delta\Phi \approx \pi$  for different values operating current/starting current ratio. The calculations show that the same effect is observed for other values of frequency multiplying coefficient.

### III. Conclusion

Application of several electron beams with different initial velocities in the O-type beam-wave systems allows enhancing interaction efficiency not only at input signal frequency in the amplification mode but also at its higher harmonics in multiplying mode. Using of several electronic beams instead of one powerful beam allows saving system power level and realizing effective control of beam-wave interaction characteristics.