

# УМНОЖЕНИЕ ЧАСТОТЫ В ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВОЙ СИСТЕМЕ О-ТИПА

Одаренко Е. Н., Шматько А. А.

Харьковский национальный университет, пл. Свободы, 4, Харьков - 61077, Украина  
Тел.: (0572) 457424; e-mail: evgeniy.n.odarenko@univer.kharkov.ua

**Аннотация** – Теоретически исследуется гибридная электронно-волновая система О-типа в режиме умножения частоты. Анализ проводится на основе самосогласованной нелинейной теории взаимодействия потока заряженных частиц с высокочастотными и статическими полями, которая учитывает многомерность электронно-оптической и электродинамической системы. Установлены основные закономерности усиления гармоник частоты входного сигнала для различных параметров электронно-волновой системы.

## I. Введение

Взаимодействие заряженных частиц с электромагнитными полями в многокаскадных электронно-волновых системах сопровождается формированием пространственно-временной структуры электронных потоков, богатой гармоническими составляющими. Повышение мощности входных сигналов  $P_0$  приводит к значительному усложнению энергообмена между пучком и синхронной волной, что обусловлено нелинейностью физических процессов. Использование определенных участков пространства взаимодействия для усиления гармоник входного сигнала позволяет, с одной стороны, увеличивать частоту излучения, а с другой – при определенных условиях повышать эффективность энергообмена.

В данной работе на основе самосогласованной многомерной теории [1] рассматривается одна из возможных схем умножения частоты в гибридной электронно-волновой системе, включающей в себя нерезонансные и резонансные участки пространства взаимодействия. Теоретическое исследование проводится для различных уровней мощности входных сигналов с учетом эффектов, обусловленных многомерностью траекторий электронов и электромагнитных полей замедляющих структур.

## II. Основная часть

Рассматривается гибридная схема умножителя частоты, в которой усиливается сигнал поступает на

вход нерезонансной электронно-волновой системы, а выделение гармоники частоты этого сигнала происходит в резонансной системе О-типа с длительным взаимодействием. Нерезонансный участок пространства взаимодействия в общем случае является секционированным с целью повышения эффективности энергообмена и устранения паразитных обратных связей. В данной работе основное внимание уделено анализу усиления сравнительно мощных входных сигналов, т.е. на вход резонансного участка пространства взаимодействия поступает электронный поток, промодулированный как по скорости, так и по плотности в результате нелинейного электронно-волнового взаимодействия.

Важную роль при исследовании многочастотных режимов работы электронных приборов с длительным взаимодействием играет сопротивление связи, во многом определяющее эффективность взаимодействия потоков заряженных частиц с полем замедляющей системы [2]. В многомерных моделях электронно-волнового взаимодействия учет изменения этого параметра является естественным, причем рассматривается также изменение амплитудного распределения как продольного, так и поперечного высокочастотного поля по толщине пучка. Следовательно, в данном случае изменение сопротивления связи для различных гармоник частоты сигнала и высокочастотное расслоение пучка являются взаимосвязанными факторами электронно-волнового взаимодействия.

Расчеты были проведены для случая гауссовского амплитудного распределения поля на резонансном участке пространства взаимодействия. Предполагалось также, что импедансная поверхность расположена только на одной плоскости нерезонансной планарной структуры. На рис.1 представлены амплитудные зависимости действительной части средней комплексной крутизны колебательной характеристики резонансного каскада для различных гармоник

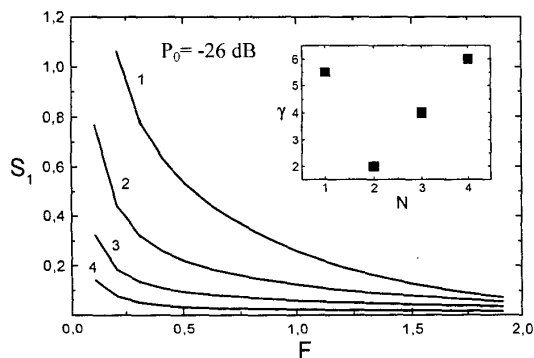


Рис. 1. Крутизна амплитудной колебательной характеристики

Fig. 1. Real part of the transadmittance

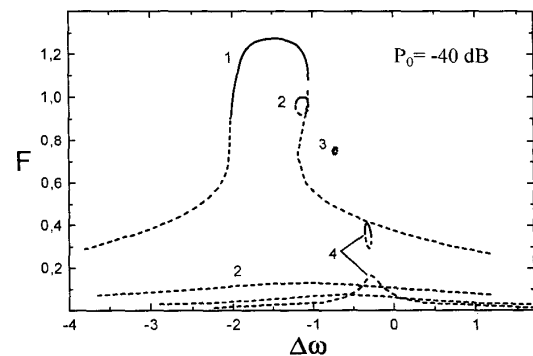


Рис. 2. Резонансные характеристики для различных гармоник частоты входного сигнала

Fig. 2. Amplitude response for different harmonics of the input signal frequency

частоты входного сигнала (номер кривой совпадает с номером гармоники  $N$ ). Показаны также оптимальные значения фазы выходного сигнала  $\gamma$  для различных значений  $N$ . Увеличение номера гармоники приводит к снижению эффективности взаимодействия (электронный КПД пропорционален  $S_1$ ). Изменение сопротивления связи с увеличением  $N$  обуславливает дополнительное уменьшение  $S_1$ . Из графиков на рис.1 следует, что для данного набора параметров системы эффективное умножение частоты можно получить лишь при  $N < 5$ . Чтобы получить более высокий коэффициент умножения, следует скомпенсировать уменьшение сопротивления связи при повышении частоты выходного сигнала.

Изменение оптимального значения фазы выходного сигнала для различных значений  $N$  свидетельствует о том, что для данного уровня входной мощности процесс энергообмена в модуляторе является существенно нелинейным и для теоретического анализа нельзя ограничиваться линейным приближением. В этой связи следует отметить, что для значения  $P_0 = -60$  dB для всех гармоник оптимальное значение фазы  $\gamma$  одинаково и равно  $\pi$ .

На рис. 2 представлены резонансные характеристики для различных значений  $N$ . Сплошные кривые соответствуют устойчивым значениям амплитуды колебаний, штриховые – неустойчивым. Увеличение номера усиливаемой гармоники сопровождается, помимо снижения максимальной амплитуды колебаний, изменением оптимальной частотной расстройки  $\Delta\omega$  и сужением полосы синхронизации.

Повышение мощности входных сигналов приводит к изменению условий умножения частоты в исследуемой системе. Результаты расчетов показывают, что для значений  $P_0$ , превышающих некоторое пороговое значение (определяется набором независимых параметров системы), эффективное умножение частоты становится проблематичным. В этом случае даже для второй и третьей гармоники уровень выходной мощности оказывается примерно равным или меньшим мощности входного сигнала. Данная ситуация характеризуется значительным уровнем группировки пучка на входе резонансного участка пространства взаимодействия. В этом случае выходные характеристики системы в основном определяются свойствами модулирующих (нерезонансных) участков прибора.

### III. Заключение

Рассмотренные закономерности умножения частоты в гибридной электронно-волновой системе позволяют определить основные факторы, воздействующие на эффективность энергообмена при усилении гармоник исходной частоты. Следует отметить возможность анализа в рамках используемой модели различных схем умножения и преобразования частоты и разработки на этой основе эффективных multifunctional устройств.

### IV. Список литературы

- [1] Одаренко Е. Н., Шматько А. А. Вынужденные колебания в нелинейных электронно-волновых системах О-типа – моделирование и анализ. - В кн. 12-я Международная Крымская конф. "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии". Материалы конф. [Севастополь, 9-13 сентября 2002 г.]. Севастополь: Вебер, 2002, стр. 201-202.
- [2] Кац А. М., Ильина Е. М., Манькин И. А. Нелинейные явления в СВЧ приборах О-типа с длительным взаимодействием. - М.: Сов.радио, 1975.- 296 с.

## FREQUENCY MULTIPLICATION IN THE HYBRID O-TYPE BEAM-WAVE SYSTEM

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

Kharkov National University

Svobody Sq.4, Kharkov - 61077, Ukraine

phone: (0572) 457424

e-mail: evgeniy.n.odarenko@univer.kharkov.ua

**Abstract** – Using of hybrid O-type beam-wave system as a frequency multiplier is theoretically researched. We have carried out the analysis on the base of nonlinear self-consistent theory of beam-wave interaction, which takes into account the multidimensionality of electron-optical and electrodynamic systems. The main regularities of input signal harmonics amplification for different parameters of the beam-wave system are obtained.

### I. Introduction

The interaction of charged particles with electromagnetic fields in multistage beam-wave systems results in the creation of electron streams time-space structure with variety of harmonics. The increase of input signals power  $P_0$  complicates the interaction between the electron beam and synchronous wave, which is stipulated by nonlinearity of physical processes. Using of particular sections of interaction region for input signal harmonics amplification allows, on the one hand, to increase the radiation frequency, and on the other hand - to enhance the efficiency under certain conditions.

The present work describes one of the possible schemes of the frequency multiplication in the hybrid beam-wave system including nonresonance and resonance sections of the interaction region on the basis of the multidimensional self-consistent theory [1]. Theoretical investigation of different power levels of input signals in view of effects stipulated by multi-regularity of electrons trajectories and electromagnetic fields of the slow-wave circuits is performed.

### II. Main part

In this paper considered is the hybrid scheme of frequency multiplier, in which the initial signal enters the input of the nonresonance beam-wave system, and amplification of the frequency harmonics of this signal takes place in the resonance O-type system with prolonged interaction. Generally the nonresonance section of the interaction region is partitioned with the purpose of efficiency enhancement and parasitic feedbacks elimination. The present work is focused on the analysis of amplification of rather powerful input signals. The velocity-modulated and density-modulated electron beam enters the resonance section of the interaction region.

The calculations were performed for the Gauss amplitude distribution of rf field in resonance section of interaction region. We also assumed that impedance surface is disposed only on one plane of nonresonance planar structure.

Fig. 1 shows amplitude depending on the real part of transadmittance of resonance stage oscillatory characteristic for different harmonics of the input signal frequency (number of the curve coincides with harmonic number  $N$ ). The optimum values of the output signal phase for different  $N$  are also shown.

Fig. 2 shows the amplitude-frequency responses for different values  $N$ . Solid curves indicate the steady values of oscillations amplitude; dashed curves indicate the unstable amplitude values. The increase of amplified harmonics number results in the decrease of maximum oscillations amplitude, change of the optimum frequency detuning, and synchronization band narrowing.

### III. Conclusion

The considered regularities of frequency multiplication in the hybrid beam-wave system allow to determine the main factors influencing the efficiency and output power. Used physics-based nonlinear model provides the opportunity of the analysis of the different frequency multiplication and conversion schemes and multidimensional simulation capability for high-performance devices design.