

# ПЛАНАРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА О-ТИПА С РАЗНОСКОРОСТНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПОТОКАМИ

Одаренко Е.Н., Шматько А.А.  
ХГУ, пл. Свободы, 4, Харьков - 310077, Украина  
тел. 0572-45-71-33, e-mail: Sergey.A.Pogarsky@univer.kharkov.ua

**Аннотация** - Представлены результаты исследования эффективности электронно-волнового взаимодействия в нерезонансном усилителе миллиметровых и субмиллиметровых волн О-типа. Анализ проведен в рамках нелинейной самосогласованной многомерной теории, одинаково пригодной как для усилителей на поверхностных волнах (ЛБВ) так и на объемных (ГДИ).

Рассмотрен один из способов повышения эффективности энергообмена в приборе за счет компенсации высокочастотного расслоения в электронном потоке конечной толщины начальными скоростями парциальных потоков.

## I. Введение

Достоверность теоретического моделирования электронно-лучевых приборов СВЧ обусловлена прежде всего диапазоном исследуемых физических явлений, непосредственно определяющих эксплуатационные характеристики. В приборах О-типа необходимость учета многомерности системы обычно возникает в случае снижения индукции фокусирующего магнитного поля или изменения ее пространственного распределения с целью улучшения условий энергообмена. В этом случае одним из факторов изменения эффективности взаимодействия является высокочастотное расслоение электронного потока. В данной работе исследуется возможность компенсации этого явления путем замены толстого пучка набором тонких пучков с различными начальными скоростями электронов.

## II. Основная часть

Рассматривается двумерная модель пространства взаимодействия с ленточным электронным потоком толщины  $\Delta$ , который пропускается между двумя проводящими плоскостями, на одной из которых расположена замедляющая система (ЗС)- гребенка. Пучок разбивается на три парциальных пучка, каждый из которых имеет толщину  $\Delta/3$  и, в общем случае, разные начальные продольные скорости  $V_{oi}$  ( $i$ -номер парциального пучка). В процессе взаимодействия моноскоростного потока электронов с неоднородным в поперечном направлении высокочастотным полем слои пучка, расположенные ближе к плоскости ЗС, группируются несколько ранее по сравнению с удаленными от ЗС слоями. Таким образом, первый максимум модуля высокочастотного тока  $J$  достигается для приближенных к ЗС слоев при меньшем значении продольной координаты. В этой связи отметим хорошо известный в электронике эффект смещения максимума модуля высокочастотного тока при изменении рассинхронизма скоростей частиц и синхронной волны. Причем увеличение рассинхронизации сопровождается смещением максимума  $|J|$  к коллекторному концу ЗС. Условия группирования различных слоев моноскоростного пучка формируются таким же образом, как нескольких пучков с различными значениями начальной продольной скорости. Следовательно, изменение

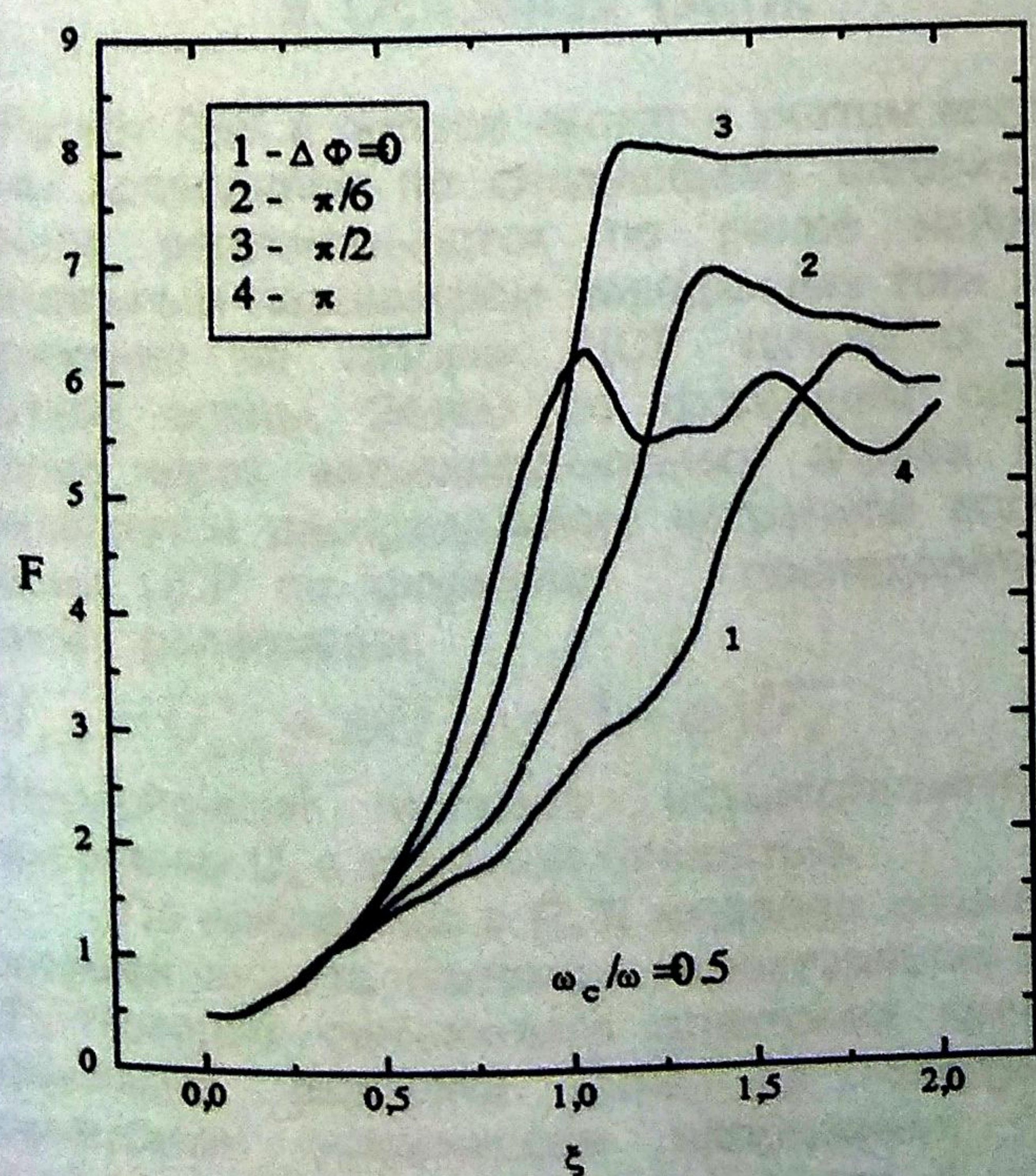


Рис. 1. Зависимости амплитуды сигнала от продольной координаты

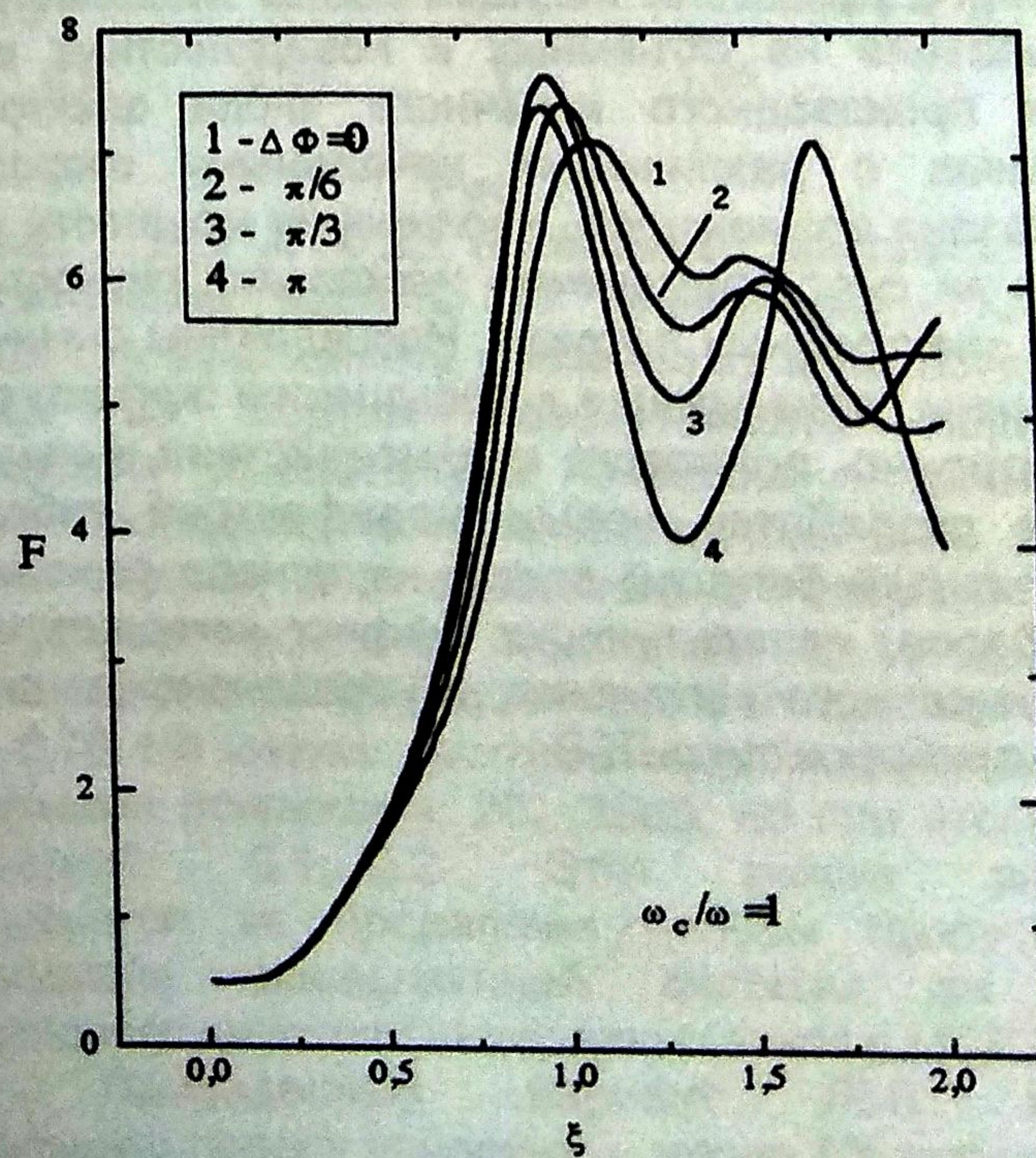


Рис. 2. Зависимости амплитуды сигнала от продольной координаты

начального рассинхронизма от слоя к слою в пучке конечных поперечных размеров может приводить к некоторой компенсации эффекта расслоения и, как следствие, к повышению эффективности взаимодействия.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости амплитуды сигнала  $F$  от продольной координаты  $\xi$  при различных значениях нормированной циклотронной частоты и разности рассинхронизмов  $\Delta\Phi$  между соседними слоями пучка. Из графиков видно, что при снижении индукции фокусирующего поля эффект компенсации расслоения проявляется сильнее (Рис.2). Наряду с увеличением максимального значения  $F$  наблюдается значительное сокращение расстояния, соответствующего первому максимуму амплитуды. Численный анализ микропроцессов в приборе показывает, что в случае  $\Delta\Phi = \pi/2$  происходит выравнивание условий группирования всех слоев, т.е. в пределах пучка модуль амплитуды первой гармоники конвекционного тока изменяется незначительно. Снижение индукции фокусирующего поля сопровождается нарастанием эффектов, обусловленных поперечными смещениями траекторий электронов: токооседание, взаимодействие с поперечными компонентами высокочастотного поля и др. В условиях, когда поток электронов пропускается в непосредственной близости от поверхности ЗС, даже небольшое варьирование условий энергообмена может привести к существенному изменению выходных характеристик. Например, для  $\omega_c/\omega = 0.5$  пучок оседает практически полностью при  $\xi > 1.8$ . Поэтому смещение области формирования электронного сгустка к началу пространства взаимодействия (в случае  $\Delta\Phi = \pi/2$  максимум  $|J|$  достигается при  $\xi = 1.3$ ) позволяет существенно повысить эффективность электронно-волнового взаимодействия. При этом здесь достигается уровень  $F$  даже несколько больший, чем в случае сильного фокусирующего поля ( $\omega_c/\omega = 1$ ).

### III. Заключение

Развита многомерная нелинейная теория планарного усилителя бегущей волны миллиметрового диапазона на объемных и поверхностных волнах для производного конечного числа электронных потоков с различными начальными скоростями. Показана возможность увеличения мощности усилителя за счет применения нескольких разноскоростных электронных потоков. Исследованы физические причины, приводящие к повышению эффективности электронно-волнового взаимодействия и намечены пути разработки новых модификаций гибридных усилителей бегущей волны на основе резонансных приборов, использующих эффект когерентного дифракционного излучения, и нерезонансных планарных приборов типа ЛБВ.

## PLANAR TRAVELING - WAVE AMPLIFIER OF MM-WAVE BAND WITH DIFFERENT VELOCITIES OF ELECTRON STREAMS

E.N. Odarenko, A.A. Shmat'ko  
Kharkov State University, Dept. of Radiophysics  
Svobody Sq. 4, Kharkov - 310077, Ukraine  
Tel.: 0572-45-71-33,

*Abstract* - Results of the electron-wave interaction in nonresonant travelling-wave-tube amplifier with few electron beams is discussed. Beams have different initial velocities. Two cases of small and strong magnetic field are considered.

### I. Introduction

The development of planar travelling-wave amplifiers of millimeter waves of O-type requires the creation of adequate mathematical theory of electron-wave interaction.

One of the ways of increasing of the microwave power is the application of different velocities of electron beams for the high frequency segregate compensation.

### II. Basic part

Two-dimensional model of interaction space with three electron streams is considered. The beams have different initial velocities. Beams arrange near to the periodical structure are bunched early in comparison with more off ones.

Beams segregating occurs in different ways depending on the value of static magnetic field. Two cases (strong and small magnetic field) were considered. It is shown that in case of small field the compensation effect of the segregation by different velocities streams is more strong. Moreover, the increasing of signal power and the shorting of optimal tube length are connected. In case of small magnetic field another factors are affected on electron-wave interaction process (e.g. the setting of electrons on RS, electron interaction with transverse high frequency field). In this case signal power is higher than in the case of strong field.

### III. Conclusion

The developed theory in the combination with resonant microwave theory may be used for the consideration of new modification of millimetre range devices.