

РЕЗОНАНСНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОННЫХ И ПОЗИТРОННЫХ ПОТОКОВ

В.И. Канавец¹, Ю.Д. Мозговой², Н.В. Стахмич², С.А. Хриткин²

¹*МГУ им. М.В. Ломоносова;*

²*Московский государственный институт электроники и математики
(технический университет)*

e-mail: lmis@miem.edu.ru

The resonance effects of the interaction beams of charge particle for realization creating the amplifiers and generators of microwaves for study and diagnostics of the active ambiances are researched. Interaction between beams of charge particle is considered in round waveguide. The schemes to realization of the microwaves amplifiers on sonar beams, as well as schemes generator of microwaves on direct and inverse bunch electron are offered. The dispersion features at interaction between plasma waves are analyzed.

1. Исследуются резонансные эффекты при взаимодействии двух попутных или попутного и встречного потоков положительно и отрицательно заряженных частиц в гладких или периодических волноводах. Исследование взаимодействия попутных или встречных электронно-позитронных потоков проводится в рамках гидродинамической модели в приближении слабого сигнала, принятой в теории плазмы и микроволновой электроники [1-2]. Модель холодной бесстолкновительной плазмы соответствует пренебрежению тепловым движением носителей.

Использование энергии многолучевых потоков заряженных частиц разного знака перспективно для разработки мощных микроволновых устройств и для возможной реализации макроскопических квантовых электронно-позитронных плазмоидов [3-4]. Процессы в мощных микроволновых устройствах рассматриваются методами классической теории [1-2]. Физика электронно-позитронных плазмоидов рассматривается методами квантовой теории [3].

Согласно гидродинамической теории в потоках заряженных частиц распространяются быстрые и медленные волны пространственного заряда. В зависимости от значения параметра плазменной частоты и величины коэффициента редукции меняются значения фазовых скоростей и соотношения между фазовой и групповой скоростью волн. Рассматриваются условия синхронизма при взаимодействии быстрых и медленных волн пространственного заряда. При выполнении условий синхронизма устанавливается связь между волнами, приводящая к режимам усиления и генерации в мощных многолучевых микроволновых устройствах.

Исследование соотношения между усилением и генерацией в согласованных системах важно для понимания процессов в мощных

источниках микроволнового излучения на пространственно развитых электродинамических системах [1-2].

2. В общем случае колебательный режим в связанной системе определяется внутренней обратной связью волн, отражениями полей от входа и выхода, и обратной связью в пространственно развитых системах, позволяющих выделить эквивалентное кольцо обратной связи.

Продольные распределения полей в связанной системе зависят от граничных условий на входе и выходе электродинамической структуры. Предположим, что на входе и выходе системы нет отражений полей, и колебания в системе определяются распределенной обратной связью.

В случае пространственно развитых электродинамических структур связь в виде эквивалентного замкнутого кольца реализуется путем возбуждения поперечных мод электромагнитного поля. Учет эквивалентного кольца внешней обратной связи позволяет исследовать соотношение процессов абсолютной и конвективной неустойчивостей в потоках заряженных частиц.

В цепи эквивалентного кольца ставится условие замыкания полей. В системе возбуждаются моды колебаний номера n , где номер моды равен числу стоячих волн, которые укладываются по длине кольца. Самая низшая мода колебаний относится к режиму постоянной амплитуды поля вдоль кольца с учетом изменения амплитуды поля низшей моды во времени.

Рассматриваются соотношения между внутренней обратной связью волн и колебаниями в кольцевой системе. Первоначально рассматривается случай слабой двухволновой связи волн потоков. Это периодические и аperiodические связи волн с малым или большим усилением. В рассматриваемых системах условия замыкания полей в кольце легко выполняются. Если перейти к анализу процессов во времени, то при слабом усилении на длине системы L периодическая картина процесса усиления по координате сохраняется, а амплитуда поля медленно возрастает во времени, не нарушая при этом периодическую картину по координате.

Таким образом, получаются действительные волновые числа по координате (нет усиления - нет конвективной неустойчивости) и комплексные значения частоты – возникает возрастание полей во времени (существует абсолютная неустойчивость). Характерным примером является случай возбуждения низшей моды колебаний с неизменной амплитудой поля вдоль координаты. В данном случае нет комплексной постоянной распространения, а частота комплексная - мнимая часть частоты не равна нулю.

В приближении слабого сигнала разделяют четыре вида парной связи волн - аperiodическая и периодическая связи волн без усиления и аperiodическая и периодическая связи волн с усилением (режимы усиления ЛБВ и ЛОВ). В общем случае получаем многоволновую задачу о связанных колебаниях и волнах.

При условиях согласования и синхронизма с медленной волной пучка основную роль играет возрастающая по координате собственная волна связанной системы или возрастающее во времени колебание в цепи обратной связи. В системе есть характерная длина, соответствующая переходу от волновых к колебательным процессам, обусловленным внутренней обратной связью. По мере увеличения обратной связи становится важным развитие процессов во времени, описываемое с помощью зависимостей комплексной частоты от волнового числа.

3. В случае значительного усиления на заданной длине системы следует учитывать дополнительные процессы, обеспечивающие усиление полей в отсутствии генерации. В электронике следует вводить распределенное затухание и учитывать отражения и рассеяния полей на входе и выходе. Основную роль играет синхронизм медленной волны одного потока, переносящей отрицательную мощность, и быстрой волны другого потока, переносящего положительную мощность. Появляется периодическая связь волн с усилением. При выполнении пусковых условий возникает генерация гармонических колебаний в системе, согласно известному механизму ЛОВ. Процессы в электронной или электронно-позитронной средах сфазированы и описываются с помощью макроскопических волновых функций. Взаимодействие быстрых волн этих потоков соответствует направленному ответвителю. При слабой связи широких потоков заряженных частиц возникает двухволновая связь волн, а при связи узкого попутного и широкого встречного пучков реализуется трехволновая связь, рис. 1.

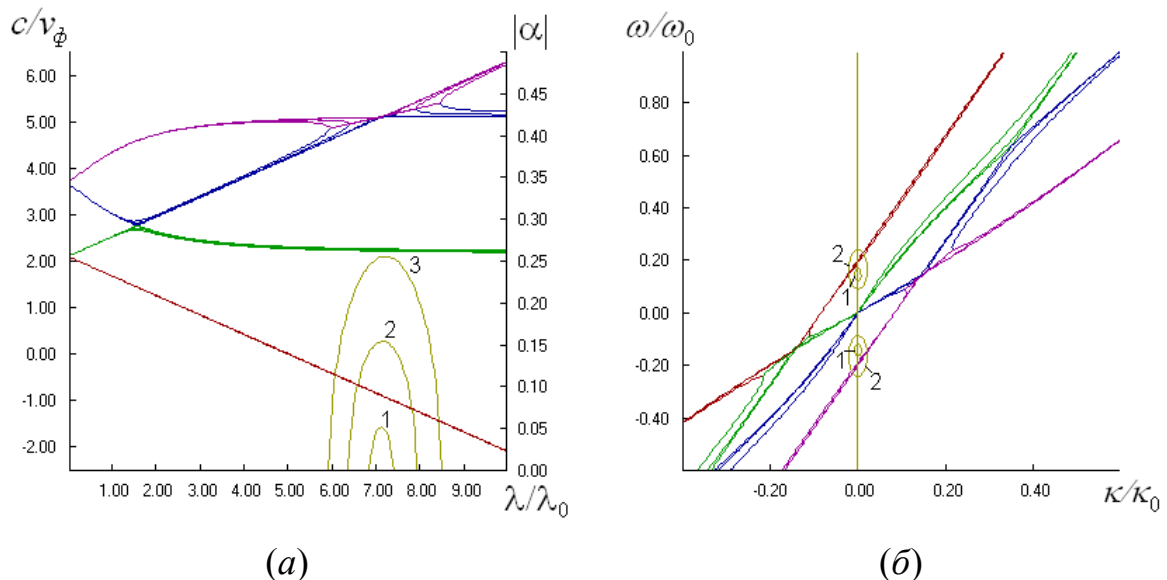


Рис. 1. Дисперсионные зависимости взаимодействия узкого электронного и широкого позитронного попутных потоков ($U_{01}=20$ кВ; $R_1=0,5$; $U_{02}=70$ кВ; $\omega_{p1,2}=0,2$) в координатах: а) $c/v_\phi=f(\lambda/\lambda_0)$; б) $\omega/\omega_0=f(k/k_0)$ при изменении коэффициента взаимодействия пучков: а) $M_{12}=M_{21}=1. - 0,05$; 2. - $0,15$; 3. - $0,25$; б) $M_{12}=M_{21}=1. - 0,25$; 2. - $0,75$

Рассмотрим режим взаимодействия в системе двух попутных электронно-позитронных потоков в круглом гладком волноводе, рис. 1. Из рис. 1а видно, что условия синхронизма выполняются для медленной волны более быстрого позитронного потока и медленной волны более медленного электронного потока. Рассматривается случай трехволновой связи волн, соответствующий периодической связи волн и режиму типа ЛБВ. Полученные дисперсионные характеристики замедления от длины волны на рис. 1а соответствуют зависимостям комплексной частоты от волнового числа, приведенным на рис. 1б. Дисперсионные зависимости на рис. 1б согласно правилам Стэррока, соответствуют конвективной неустойчивости двухпучкового взаимодействия потоков заряженных частиц [5].

4. В общем случае, следует рассматривать взаимодействие попутных и встречных потоков заряженных частиц одного или разного знаков. Пучки могут быть широкие или узкие. Взаимодействие быстрых волн этих потоков соответствует направленному ответвителю с периодической или аperiodической связью волн. Попутный поток рассматривается с ограниченным расхождением медленных и быстрых волн. При слабой связи широких потоков заряженных частиц возникает двухволновая связь волн, а при связи узкого попутного и широкого встречного пучков реализуется трехволновая связь, рис. 2.

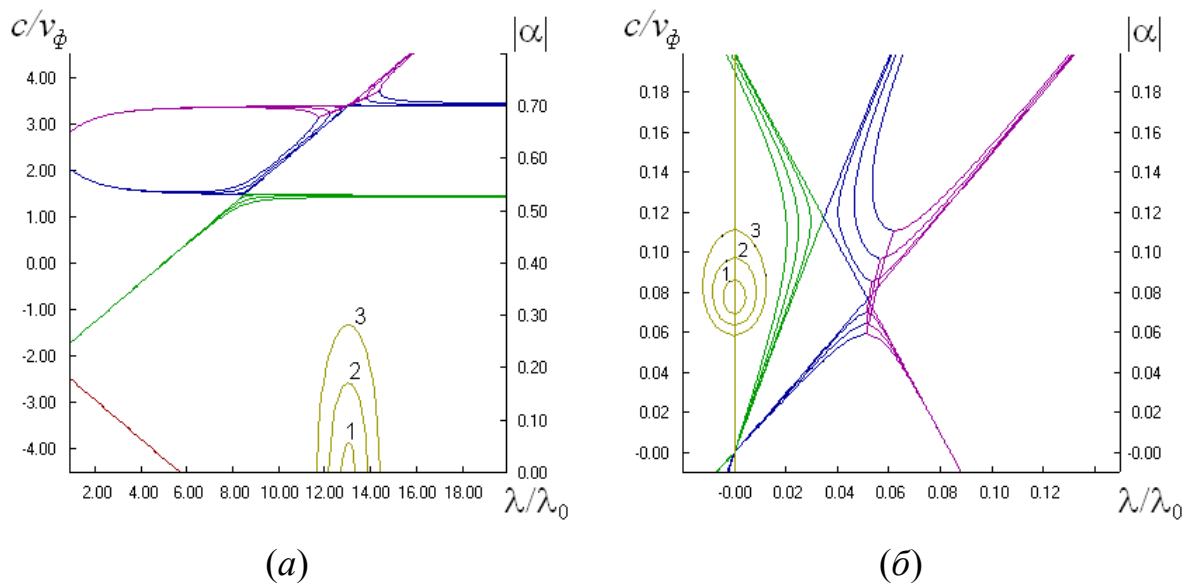


Рис. 2. Дисперсионные зависимости взаимодействия узкого попутного электронного и широкого встречного позитронного потоков ($U_{01}=50$ кВ, $R_1=0,5$; $U_{02}=70$ кВ; $\omega_{p1,2}=0,2$) в координатах: а) $c/v_\phi=f(\lambda/\lambda_0)$; б) $\omega/\omega_0=f(k/k_0)$ при изменении коэффициента взаимодействия пучков: а) $M_{12}=M_{21}=1, -0,05; 2, -0,15; 3, -0,25$; б) $M_{12}=M_{21}=1, -0,25; 2, -0,5; 3, -0,75$

Из рис. 2а следует, что при взаимодействии медленной волны попутного электронного и быстрой волны встречного позитронного

потоков заряженных частиц реализуется режим связи типа ЛОВ. Синхронизм быстрой волны попутного электронного и быстрой волны встречного позитронного потоков заряженных частиц приводит режиму направленного ответвителя с периодической связью.

На рис. 2б приведены дисперсионные зависимости комплексной частоты от волнового числа. В соответствии с правилами Стэррока полученные дисперсионные характеристики соответствуют абсолютной двухпучковой неустойчивости попутного и встречного потоков заряженных частиц [5].

Роль обратной волны периодической структуры играет быстрая волна встречного потока, переносящая отрицательную мощность при положительной запасенной энергии потока. Резонансные эффекты взаимодействия при синхронизме быстрых и медленных волн попутных и встречных потоков приводят к интерференционному механизму периодической обратной связи с усилением ЛОВ типа. При токах больших пускового значения в системе возникает генерация микроволновых колебаний. Микроволновые процессы в электронных или электронно-позитронных средах сфазированы и в общем случае описываются с помощью макроскопических волновых функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.П.Бугаев, В.И.Канавец, В.И.Кошелев, В.А.Черепенин. Релятивистские многоволновые СВЧ генераторы. Н.: Наука. 1991.
2. В.И.Канавец, Ю.Д.Мозговой, А.И.Слепков. Излучение мощных электронных потоков в резонансных замедляющих системах. М. МГУ. 1993.
3. В.И.Канавец. Электронно-позитронное вещество: от позитрония до сверхжидкости и шаровой молнии. М.: Изд-во «Педагогическое общество России». 2009.
4. В.Е.Фортков. Экстремальные состояния вещества на земле и в космосе. М.: Наука. 2008.
5. А.Ф.Александров, А.А.Рухадзе. Лекции по электродинамике плазмopodobных сред (неравновесные среды). М. МГУ. 2002.