

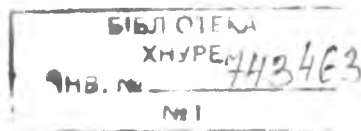
621.37.39(08)  
П 75

## СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

по материалам 1-го Международного радиоэлектронного Форума  
«ПРИКЛАДНАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА.  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»  
МРФ – 2002

Часть 2

8–10 октября 2002 г.  
Харьков, Украина



Харьков 2002

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ О-ТИПА ММ ДИАПАЗОНА

Е. Н. Оларенко, А. А. Шматько

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина

The regularities of physical processes in the on-line nonlinear millimeter waves oscillatory systems with different sorts of the external action are researched. The effect of space allocation parameters of the non-uniform focusing field on the characteristics of the forced oscillations in modes of stationary and non-stationary oscillations is considered. The regularities of the resonance characteristics conversion for different levels of external parametric action are researched.

Синхронизация и усиление колебаний в резонансных электронных приборах мм диапазона малой и средней мощности (орotron, генератор дифракционного излучения, ледатрон и др.) являются эффективными средствами формирования необходимых эксплуатационных характеристик выходного сигнала – как энергетических, так и частотных. Ввиду очевидных трудностей для достижения повышенных уровней мощности в рассматриваемых приборах, а также управления характеристиками электронно-волнового взаимодействия актуальными являются поиск и разработка эффективных и технически простых способов решения этих проблем. В данной работе теоретически рассматривается ряд возможных схем процесса энергообмена между электронным потоком и высокочастотным полем в неавтономных колебательных системах мм диапазона, в которых реализована возможность управления характеристиками выходного сигнала. В частности, это неавтономный резонансный прибор с внешним силовым высокочастотным воздействием, в котором используется замедляющая система гребенчатого типа и профилированное по определенному закону фокусирующее поле. Кроме того, рассматривается многокаскадная гибридная система, в которой выходной участок пространства взаимодействия представляет собой резонансную систему с параметрическим внешним воздействием.

Теоретическое исследование рассматриваемых электронно-волновых систем основывается на многомерной нелинейной самосогласованной теории резонансных приборов О-типа с длительным взаимодействием. Учитывается широкий спектр физических явлений, присущих реальным электронным приборам: многомерность траекторий электронов, их взаимодействие с поперечными компонентами высокочастотных и статических полей, высокочастотное расслоение пучка, токооседание, неоднородность фокусирующего поля и др. Следует отметить, что пространственное распределение индукции фокусирующего поля допускается произвольным.

Исходная система уравнений состоит из уравнения возбуждения, обобщенного на основании принципа пространственно-временной аналогии между волновыми и колебательными системами, и векторного уравнения движения:

$$\frac{d\vec{F}}{dx} + (d + i\Delta - GS)\vec{F} = A_{ext}, \quad \frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{|e|\hbar}{m} \operatorname{Re}\{\vec{E} + [\vec{v}, \vec{B}]\};$$

где  $\vec{F} = F \exp(-i\gamma)$ ;  $F$  и  $\gamma$  – амплитуда и фаза колебаний;  $x$  – обобщенная переменная, которая в зависимости от характера взаимодействия представляет собой или время или продольную координату;  $d$  – параметр затухания;  $\Delta$  в нерезонансной секции имеет смысл расстройки скоростей электронов и замедленной волны, в резонансной – норми-

рованной расстройки между собственной частотой рабочей моды резонатора и частотой сигнала ( $\Delta\omega$ );  $G$  - параметр эффективности взаимодействия, определяемый для каждого участка системы на основе электродинамических характеристик;  $S$  - комплексная крутизна колебательной характеристики, которую в нерезонансной секции можно определить как погонную или дифференциальную крутизну;  $A_{ext}$  характеризует внешнее силовое воздействие;  $\vec{v}$  - вектор скорости электрона;  $\vec{E}$  - вектор индукции электрического поля, которое включает высокочастотное поле замедленной волны и поле пространственного заряда;  $\vec{B}$  - вектор индукции фокусирующего магнитного поля (в общем случае неоднородного).

Рассмотрим сначала колебательную систему с внешним силовым воздействием и профилированным магнитным полем. Известны результаты экспериментальных и теоретических исследований воздействия локально-неоднородного фокусирующего поля на эксплуатационные характеристики резонансных генераторов с длительным взаимодействием О-типа, которые свидетельствуют о возможности значительного улучшения этих характеристик и управления ими. В неавтономных колебательных системах интерес представляет прежде всего воздействие локальной магнитной неоднородности на характеристики вынужденных колебаний. В качестве независимых параметров, характеризующих неоднородность фокусирующего поля, выбирались следующие: «амплитуда»  $A_m$ , задающая степень отклонения значения магнитной индукции в центре неоднородности от ее невозмущенного значения; продольная координата центра неоднородности  $\xi_m$  и полуширина области неоднородности  $w_m$ .

На рис. 1 представлены зависимости, иллюстрирующие преобразование резонансных характеристик при изменении параметров локальной магнитной неоднородности  $A_m$  и  $\xi_m$  ( $w_m = 0,2$ ).

Сплошные участки кривых соответствуют устойчивым значениям стационарной амплитуды колебаний, штриховые - неустойчивым. Перемещение магнитной неоднородности вдоль пространства взаимодействия сопровождается не только изменением максимального значения амплитуды вынужденных колебаний, но и смещением его вдоль частотной оси, а также изменением ширины полосы синхронизации и формы резонансных кривых.

Следовательно, для фиксированных значений частотной расстройки  $\Delta\omega$  изменение параметров магнитной неоднородности сопровождается переходом от режима стационарных колебаний к режиму биений, т.е. наряду с изменением энергетических характеристик происходит преобразование спектра выходного сигнала. Следует отметить, что для различных соотношений частоты внешнего воздействия и частоты автоколебаний реализуются различные закономерности преобразования энергетических и частотных характеристик неавтономной системы. Таким образом, применение локально-неоднородного фокусирующего поля с изменяемыми параметрами позволяет

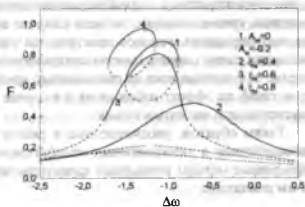


Рис. 1. Резонансные характеристики для различных значений параметров локальной магнитной неоднородности.

эффективно управлять выходными характеристиками неавтономной колебательной системы.

Рассмотрим далее неавтономную колебательную систему с параметрическим внешним воздействием, которая является частью многокаскадной электронно-волновой системы. Группировка электронного потока полем внешнего сигнала осуществляется в нерезонансной части пространства взаимодействия, либо на комбинированных резонансно-нерезонансных участках.

На рис. 2 представлены резонансные характеристики для различных значений мощности входного сигнала:  $P_0 = -60; -46; -40; -34; -26$  dB (кривые 1-5 соответственно). Штрихпунктиром обозначена «скелетная» кривая, соответствующая автономным колебаниям. Увеличение амплитуды входного сигнала сопровождается существенным изменением формы резонансных кривых и распределения на них устойчивых и неустойчивых значений амплитуды колебаний.

Нарушается симметрия зависимостей  $F(\Delta\omega)$  относительно «скелетной» кривой, характерная для неавтономных колебательных систем с внешним силовым воздействием, что свидетельствует о преобразовании закономерностей физических процессов при изменении уровня входного сигнала или, что эквивалентно, при изменении характеристик модулирующих участков пространства взаимодействия. Кроме того, существенно изменяется также ширина полосы синхронизации. Помимо расширения происходит изменение ее расположения на резонансных кривых и относительно частотной оси. Примерно такой же эффект наблюдался и в случае изменения параметров неоднородности фокусирующего магнитного поля.

Таким образом, рассмотренные в работе закономерности электронно-волнового взаимодействия в неавтономных колебательных системах позволяют разрабатывать эффективные методы управления характеристиками вынужденных колебаний в приборах мм диапазона.

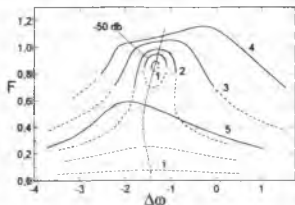


Рис. 2. Резонансные характеристики для различных значений мощности внешнего параметрического воздействия.