

НЕЛИНЕЙНАЯ ДВУМЕРНАЯ ТЕОРИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОГО РЕЗОНАНСНОГО ГЕНЕРАТОРА О-ТИПА

Е.Н.ОДАРЕНКО, В.С.ЧУРСИН, А.А.ШМАТЬКО

Использование релятивистских электронных потоков в электронных СВЧ приборах является одним из способов повышения их выходной мощности и КПД, что важно при продвижении в коротковолновую часть миллиметрового диапазона волн.

В данной работе построена теоретическая двумерная модель резонансного релятивистского генератора О-типа (генератор дифракционного излучения, оротрон, ледатрон и др.) с магнитостатическим фокусирующим полем. Многомерность исходной теоретической модели предопределяет необходимость рассмотрения соответствующего высокочастотного (ВЧ) электрического поля с продольной и поперечной относительно направления движения электронов координатными компонентами. Кроме того, наличие поперечных смещений траекторий электронов обуславливает возможность токооседания на замедляющую систему, что в релятивистском случае представляет серьезную технологическую проблему. Таким образом, решение двумерной задачи электронно-волнового взаимодействия в релятивистских приборах позволяет исследовать более широкий круг физических явлений по сравнению с одномерной моделью, рассмотренной ранее [1].

Теоретическое исследование проводится на основе решения самосогласованной системы уравнений генератора, которая состоит из уравнения движения [2]

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = -\frac{e}{m_0\gamma} \text{Re} \left\{ \vec{E} + \vec{E}_q + \vec{v} \times \vec{B} - \frac{\vec{v}}{c^2} \left[\vec{v} (\vec{E} + \vec{E}_q) \right] \right\} \quad (1)$$

и уравнения возбуждения электродинамической структуры высокочастотным током

$$-\frac{dC_s}{dt} + (n - n_0)C_s = \frac{1}{2N_s\pi} \int_V \int_0^{2\pi} \vec{J} \vec{E}_s^* \exp(i\alpha t) d\alpha dV \quad (2)$$

где $\vec{v}$ - вектор скорости электрона; t - время; e и m_0 - заряд и масса покоя электрона; $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ - релятивистский масс-фактор; c - скорость света; $\vec{E}$ - вектор напряженности ВЧ электрического поля, действующего на электроны; K_s - поле пространственного заряда; $\vec{B}$ - вектор индукции магнитостатического фокусирующего поля; C_s - комплексная амплитуда высокочастотного колебания резонатора; ω - частота автоколебаний; $\omega_0 = \omega - 1/n_s / 2Q$ - собственная частота моды резонатора; Q_s - добротность; $N_s = e \int_V |\vec{E}_s|^2 dV$ - норма колебания; E_s - поле моды резонатора; $\vec{J}$ - вектор плотности тока; V - объем пространства взаимодействия.

Следует отметить, что в постановке задачи учитывается пространственная неоднородность фокусирующего поля. Продольная и поперечная компоненты вектора $\vec{A}$ в общем случае являются функциями двух координат. Неоднородность магнитостатического поля является дополнительным существенным фактором изменения условий энергообмена релятивистского пучка с полем электродинамической системы. Кроме того, учитывается высокочастотное растормаживание электронного потока, которое является следствием поперечной неоднородности электромагнитного поля замедляющей системы [3].

Исходная система интегро-дифференциальных уравнений решалась численно для различных распределений амплитуды ВЧ полей и магнитостатического поля. В данной работе приведены результаты расчетов для случая гауссовского распределения амплитуды ВЧ поля вдоль пространства

взаимодействия. Такая амплитудная огибающая реализуется в генераторах дифракционного излучения и оротронах. Результаты получены в режиме установившихся колебаний, когда основную эксплуатационную характеристику прибора - КПД можно представить в виде:

$$\eta = F^2 S_\gamma(F) \quad (3)$$

где F - амплитуда автоколебаний; $S_\gamma(F)$ - крутизна амплитудной колебательной характеристики генератора.

Рассмотрены два случая - слабые и сильные фокусирующие поля.

На рис.1 представлены зависимости электронного КПД от параметра рассинхронизма $\Phi = 100(1 - v_0/v_\phi)$, где v_0 - начальная продольная скорость электронов; v_ϕ - фазовая скорость синхронной с пучком волны замедляющей системы. Кривые построены для случая достаточно сильного фокусирующего поля, когда траектории частиц можно считать практически прямолинейными. Здесь $\omega_c/\omega = 0.4$, где ω_c - циклотронная частота.

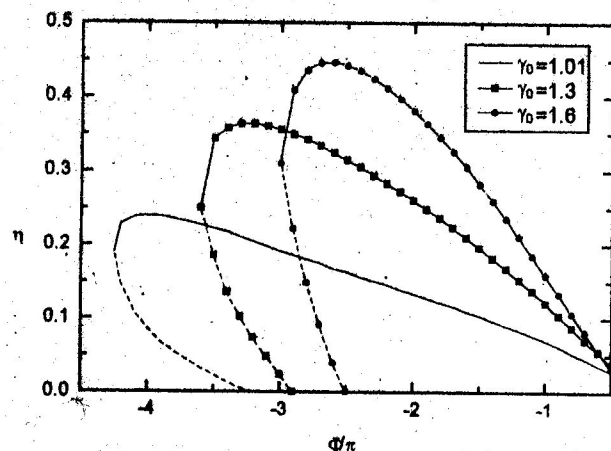


Рис. 1. Электронный КПД при $\omega_c/\omega = 0.4$.

Штриховые участки кривых соответствуют области колебательного гистерезиса в случае жесткого режима самовозбуждения колебаний.

Увеличение релятивистского фактора γ_0 ($\gamma = \gamma_0$ при $v = v_0$) сопровождается сужением зоны генерации по параметру рассинхронизма и повышением КПД. Результаты качественно соответствуют полученным в рамках одномерной теории. Это свидетельствует о достоверности выбранной многомерной модели.

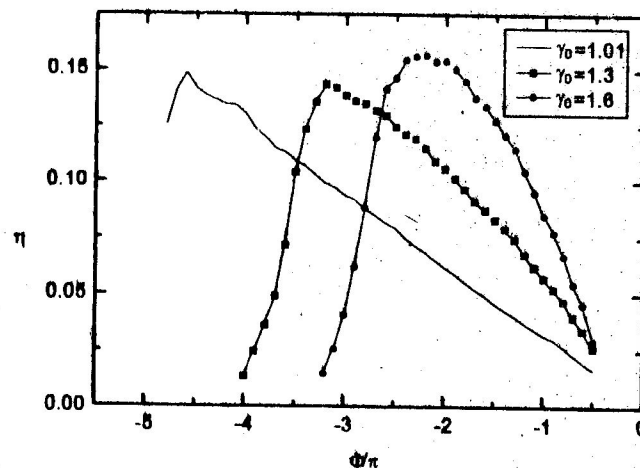


Рис. 2. Электронный КПД при $\omega_c/\omega = 0.1$.

На рис. 2 представлены зависимости $\eta(\Phi)$ для различных значений релятивистского фактора и $\omega_c/\omega = 0.1$ (слабые магнитные поля). В этом случае значительную роль играют поперечные смещения траекторий электронов - как статические, так и динамические. Наблюдаются значительные различия в зависимостях КПД по сравнению со случаем замагниченного электронного потока. Эффективность электронно-волнового взаимодействия снижается для всех значений релятивистского фактора. Более того, увеличение параметра γ_0 почти не сказывается на значении максимального по зоне генерации КПД.

Дополнительные расчеты при слабых фокусирующих полях показали, что поперечные смещения траекторий электронов приводят к частичному оседанию пучка на поверхность замедляющей системы. В первую очередь оседают ближайшие к замедляющей системе электроны, которые взаимодействуют с наиболее сильным ВЧ полем. В рассматриваемой ситуации это явление обуславливает снижение эффективности электронно-волнового взаимодействия безотносительно к изменению релятивистского фактора. Однако, с увеличением параметра γ_0 максимальное значение амплитуды высокочастотного тока формируется ближе к коллекторному концу пространства взаимодействия по сравнению со случаем нерелятивистского пучка. Следовательно, при больших γ_0 (например, $\gamma_0 = 1.6$) токооседание начинается при меньшей степени сгруппированности потока заряженных частиц, что приводит к более значительному снижению КПД по сравнению со случаем $\gamma_0 = 1$.

Таким образом, эффекты, обусловленные поперечным движением электронов в пучке, оказывают значительное влияние на характеристики процесса энергообмена в приборе с конечным значением индукции фокусирующего поля.

Список литературы: 1. Шматко А.А. Возбуждение колебаний в нелинейных электронно-волновых резонансных системах О-типа миллиметрового диапазона: Дис. ... докт. физ.-мат. наук: 01.04.04. - Харьков, 1987. - 392 с. 2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. - М.: Наука, 1988. - 509 с. 3. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. - М.: Сов. Радио, 1973. - 398 с.

SUMMARY

Nonlinear theoretical analysis of the physical phenomena in the relativistic resonant O-type oscillator is carried out. The two-dimensional model of the electron-wave system is described. Numerical results are obtained for nonlinear steady-state regime.

УДК 551.590.2; 574.2; 577.3.043

ЦИКЛИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР ОБОСТРЕНИЙ ХРОНИЧЕСКИХ ПСИХИЧЕСКИХ И НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВ У ДЕТЕЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

И.Г.ЗАХАРОВ, М.К.МИЩАНОВА

Известно, что состояние детей с различными психическими и неврологическими расстройствами является неустойчивым и может значительно ухудшиться даже при незначительных, по привычным меркам, изменениях социальной обстановки, усилении физической и эмоциональной нагрузки. Этому способствует, в частности, то обстоятельство, что даже при отсутствии выраженных органических поражений головного мозга, такие расстройства почти всегда развиваются на фоне хронической недостаточности мозгового кровообращения, патологии моторной, сенсорной и вегетативной сфер ante- и перинатального генеза [1]. Особую роль при этом имеют родовые травмы шейного отдела позвоночника, которые не только инициируют развитие заболевания, но и препятствуют компенсации имеющихся нарушений в процессе развития детского организма. Как следствие, происходит снижение адаптивных возможностей организма и повышение его чувствительности к влиянию внешних факторов не только социального, но и природного характера, например, погодных условий. К таким факторам следует также отнести изменения естественного электромагнитного фона Земли, которые могут оказывать заметное влияние на организм человека, особенно в детском возрасте (см., например, обзор литературы в [2]). Однако в литературе практически отсутствуют результаты сравнительного анализа изменений состояния здоровья разных категорий населения для одних и тех же условий, что значительно затрудняет поиск наиболее существенных факторов и механизмов их влияния на организм человека. Цель данной работы - выявить основные циклы в изменении состояния детского организма и на основе сравнения с данными для других заболеваний рассмотреть их возможные причины.

Для анализа использованы данные о частоте обращений в отдел детской психоневрологии Украинского НИИ клинической и экспериментальной неврологии и психиатрии (г. Харьков) в 1993 г. по поводу возможных психических и неврологических расстройств у детей (задержки психического и неврологического развития, различные нарушения речи, в т.ч. заикания, эпилептические и синкопальные приступы, нарушения поведения в виде чрезмерной агрессивности, психомоторной расторможенности, а также головные боли различного генеза, головокружения, повышенная утомляемость и т.д.). Характерной особенностью почти всех из представленных расстройств является то, что они проявляются при повышенном возбуждении нервной системы. Общее число обращений составило 678. Основная часть расчетов выполнена методом наложения эпох. Установлены следующие циклы в частоте обращений.

Недельный цикл. Частота обращений (ЧО) в течение недели (см. рис. 1) имеет 2 максимума: в понедельник (+ 12 % к среднему уровню) и в четверг (+ 27 %). Первый может быть результатом отсроченного обращения после выходных дней, второй соответствует недельному максимуму многих других заболеваний [3, 4]. В частности, на рис. 1 представлены для сравнения недельные, вариации числа тяжелых травм при дорожно-транспортных происшествиях в Харькове (Тдт) и числа суицидных попыток (СП) по данным поступлений в 15-ю Харьковскую городскую