

Формирование солитонов самоиндуцированной прозрачности в потоке циклотронных электронов-осцилляторов при возбуждении непрерывным сигналом*

А. А. Ростунцова^{1,2}✉, Н. М. Рыскин^{2,3}

¹Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

²Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского

³Саратовский филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН

✉ rostuncova@mail.ru

Задача преобразования непрерывного микроволнового излучения в периодическую последовательность ультракоротких импульсов (УКИ) актуальна для ряда практических приложений, см., например, [1]. Весьма эффективным оказывается подход, основанный на перенесении в классическую электронику методов, хорошо известных в квантовой оптике. Так, в работе [2] было показано, что при резонансном циклотронном взаимодействии непрерывного СВЧ излучения со встречным потоком возбужденных электронов-осцилляторов может наблюдаться генерация последовательности УКИ – солитонов самоиндуцированной прозрачности. В данной работе это явление исследуется с точки зрения развития в системе модуляционной неустойчивости (МН).

Электронно-волновое взаимодействие в рассматриваемой модели описывается системой уравнений, широко известной из литературы (см., например, [2]):

$$\frac{\partial a}{\partial t} - \frac{\partial a}{\partial z} = -p, \quad \frac{\partial p}{\partial z} + ip(\delta + |p|^2) = a, \quad (1)$$

где t, z – безразмерные время и координата соответственно, p – нормированный поперечный импульс электронов, a – безразмерная комплексная амплитуда поля волны, δ – начальная расстройка циклотронного резонанса. Для решений в виде монохроматической волны было получено нелинейное дисперсионное соотношение (3):

$$(\omega + k)(k - \delta - |P_0|^2) = -1. \quad (2)$$

Его анализ показал, что в исследуемой системе существует полоса непропускания, границы которой опускаются вниз по частоте с увеличением

*Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 19-72-10119.

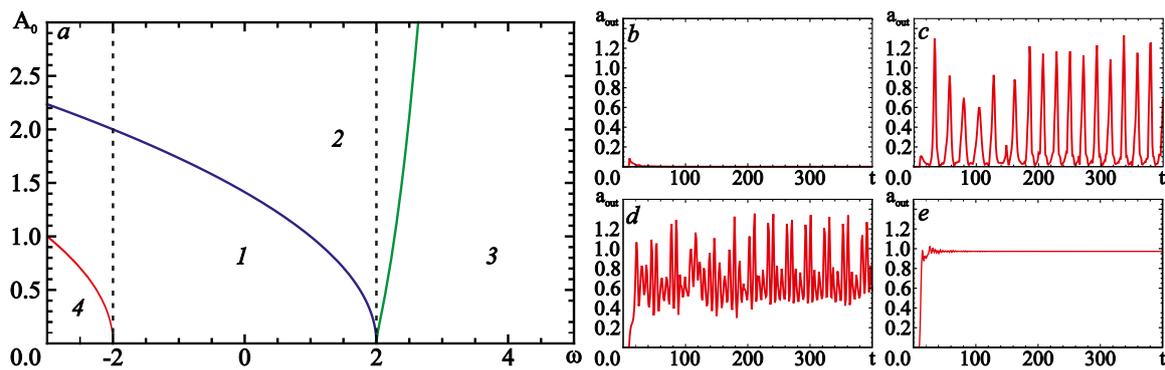


Рис. 1. Теоретическое разбиение плоскости параметров частота ω – амплитуда A_0 входного сигнала (а) на области непропускания (1), генерации последовательности солитонов (2) и стационарного прохождения сигнала (3,4), а также полученные в численных расчетах для $A_0 = 1$ осциллограммы выходного сигнала в режимах непропускания $\omega = 1.0$ (b), близкой к периодической $\omega = 1.5$ (c) и хаотической $\omega = 2.0$ (d) генерации последовательности импульсов и стационарного прохождения сигнала $\omega = 3.5$ (e), $\delta = 0$

мощности сигнала. Установлено, что на верхней ветви дисперсионной характеристики имеет место МН, причем с ростом мощности сигнала её характер меняется с конвективного на абсолютный. В рассматриваемой модели среда конечной длины возбуждается гармоническим сигналом на правом конце, поэтому, как известно из [3], конвективная МН приводит к стационарному прохождению волны, а абсолютная – к образованию периодических или хаотических последовательностей солитоноподобных импульсов. Сделаны теоретические оценки соотношений между параметрами входного сигнала, которые разделяют области с различной динамикой (см. рис. 1 (а)). Показано хорошее качественное соответствие полученных теоретических выводов результатам численного моделирования. Так, на рис. 1 (b–e) приведены численно полученные примеры осциллограмм выходного сигнала в различных режимах.

Список литературы

1. Месяц Г. А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. 704 с.
2. Зотова И. В., Гинзбург Н. С., Железнов И. В., Сергеев А. С. Модуляция интенсивного СВЧ-излучения при резонансном взаимодействии со встречным потоком невозбужденных циклотронных осцилляторов // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40, № 12. С. 1–10.
3. Балякин А. А., Рыскин Н. М. Смена характера модуляционной неустойчивости вблизи критической частоты // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30, № 5. С. 6–13.