

$$|F(\theta)| = \frac{\cos((kL/2)\cos\theta)^2}{1 - ((kL/2)\cos\theta)^2} \times \\ \times \left| \epsilon_1' \frac{\sin\theta}{\sqrt{\epsilon_1' - \cos^2\theta}} ct_0(x_2 b, x_2 a) H_0^{(2)}(kb \sin\theta) - H_0^{(2)'}(kb \sin\theta) \right|^{-1} \\ x_2 = k \sqrt{\epsilon_1' - \cos^2\theta}.$$

Угол θ отсчитывается от оси z .

Предложенный в работе подход к расчету кольцевой антенны, расположенной на проводящем цилиндре со слоем диэлектрика, с использованием функций Грина соответствующей области позволил провести полное исследование всех полевых, энергетических и импедансных характеристик антенны. Он может быть плодотворно применен для исследования целого ряда других печатных и шелевых излучателей, лежащих на цилиндрической поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Munson R. E. — IEEE Trans., 1974, AP-22, № 1, p. 74.
2. Fonseca S. B., Giargola A. J. — IEEE Trans., 1983, AP-29, № 2, p. 248.
3. Панченко Б. А., Шабунин С. Н. — Радиотехника и электроника, 1981, 26, № 6, с. 1132.
4. Попереченко Б. А. — Научн. докл. высш. школы — Радиотехника и электроника, 1958, № 4, с. 46.

Уральский политехнический институт

Поступила в редакцию
24 июня 1985 г.

УДК 621.385

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОЛНОГО ПОДАВЛЕНИЯ СИГНАЛА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК — ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ У ГРАНИЦЫ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

А. П. Кузнецов, Н. Н. Кузнецов, С. П. Кузнецов

Эффект полного подавления электромагнитной волны в СВЧ приборах с длительным взаимодействием был обнаружен Р. Компфнером в ЛБВО и получил название срыва Компфнера [1]. В ряде работ (см., например, [2, 3]) предсказывалось существование этого эффекта в случае, когда частота сигнала лежит у границы полосы пропускания электродинамической системы. Совсем недавно срыв Компфнера у границы полосы был обнаружен экспериментально [4]. В настоящей заметке сообщается о том, что у высокочастотной границы полосы пропускания существуют еще

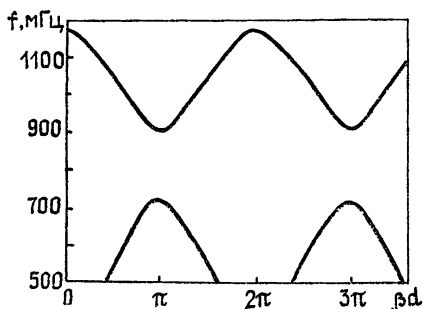


Рис. 1.

четыре типа эффекта подавления, имеющие отличную от срыва Компфнера физическую природу.

Для исследования процессов взаимодействия электронного потока и электромагнитного поля вблизи границы полосы пропускания была использована модельная система, представляющая собой обычную спиральную ЛБВ, на стеклянный баллон которой установлены с определенным периодом металлические кольца. В силу брэгговского переотражения волн от колец дисперсионная характеристика замедляющей системы модифицируется и возникают полосы непропускания (рис. 1). Достаточно большая величина этого эффекта была обеспечена благодаря наличию у каждого кольца емкостного за-

зора, так что кольцо по существу являлось резонатором, собственная частота которого лежала в рабочем диапазоне лампы. Данная модельная система позволяет исследовать особенности различных режимов вблизи границы полосы, в том числе генерацию, усиление и полное подавление сигнала. Достоинством описанной системы является простота, удобный рабочий диапазон частот и воз-

возможность оперативного вневакуумного управления электродинамическими характеристиками.

Исследование эффекта полного подавления проводилось на частотах, лежащих вблизи высокочастотной границы полосы (около 730 МГц) у π -вида замедляющей системы. Система была согласована в середине полосы пропускания. На вход ЛБВ подавался сигнал на некоторой частоте, а затем подбирались значения ускоряющего напряжения и тока пучка, при которых сигнал в выходном тракте отсутствовал. Результатом исследования являются графики зависимости ускоряющего напряжения U и тока пучка I от частоты сигнала f (рис. 2а и 3а). Было обнаружено пять различных режимов подавления, которым отвечают разные ветви на плоскостях напряжение — частота и ток — частота: 1 — ветвь, соответствующая срыву Компфнера; 2 — ветвь, соединяющаяся с ветвью 1 и уходящая во внеполосную область, этот эффект подавления был назван реактивным (см. ниже); 3 — низковольтная внеполосная ветвь; 4 — высоковольтная внеполосная ветвь; 5 — ветвь, соответствующая взаимодвижению пучка с обратной волной. Экспериментально снятые графики демонстрируют оборванные куски кривых, на концах которых происходит самовозбуждение системы (кружочки на рис. 2а и 3а). Форма кривых не зависит от условий согласования, однако от них зависит положение точек самовозбуждения.

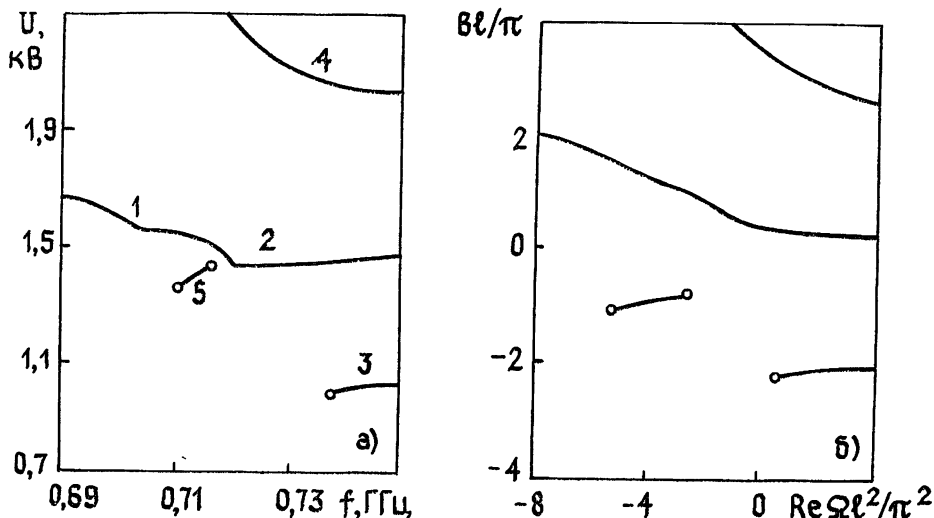


Рис. 2.

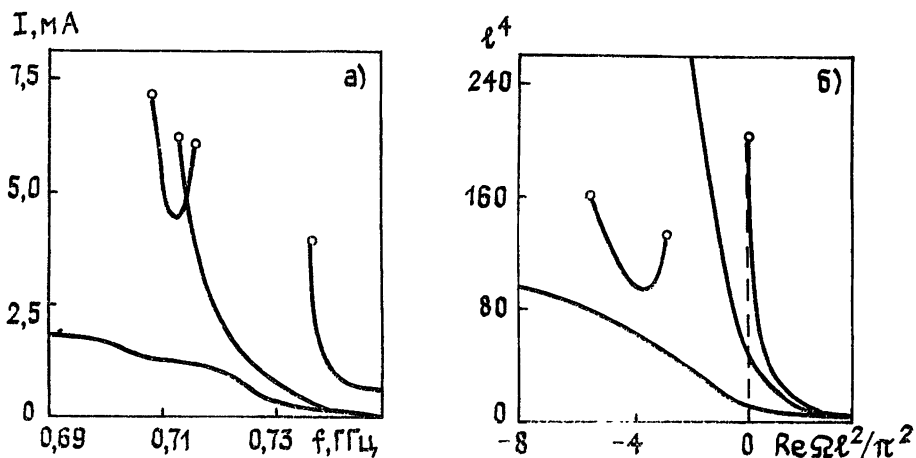


Рис. 3.

На рис. 2б и 3б приведены графики зависимостей безразмерного напряжения $B l$ и безразмерного тока l^4 от безразмерной отстройки частоты от граничной $\text{Re } \Omega l^2$ для случая полного подавления сигнала, найденные с помощью модифицированной волновой теории [3]. Развита в [3] теория самовозбуждения ЛБВ у границы полосы пропускания позволяет указать на этих графиках положение точек самовозбуждения. (Параметр граничных условий $\alpha l = 30$, параметр диссипации $\text{Im } \Omega l^2 / \pi^2 = -1$. Методику расчета и конкретную расшифровку параметров см. в [3, 5].) Количество

обнаруженных кривых, характер их взаимного расположения, положение точек самовозбуждения, вид частотных зависимостей и в теории и в эксперименте совпадают. К сожалению, на настоящий момент нельзя провести более детальное сопоставление экспериментальных и теоретических результатов, что обусловлено отсутствием обработанных методик измерения параметров системы электронный поток — электромагнитное поле у границы полосы пропускания. Поэтому приходится ограничиться оценкой этих параметров по порядку величины и представлением результатов в безразмерной форме. Ясно, однако, что качественную картину происходящих процессов описать удастся, что позволяет использовать волновую теорию [3, 5] для объяснения физических явлений, происходящих при реализации наблюдаемых эффектов подавления.

Как показывает теоретический анализ, при работе ЛБВ вдали от границы полосы электронный пучок отбирает энергию у электромагнитной волны. При этом кинетическая энергия электронов растет, а амплитуда электромагнитной волны падает и обращается в нуль на выходе прибора (срыв Компфнера, ветвь 1 на рис. 2, 3). При приближении к границе полосы в условиях синхронизма с пучком оказывается и обратная пространственная гармоника замедляющей системы. Поэтому часть энергии падающей волны переизлучается электронами назад, в подводящий волновод. Когда ускоряющее напряжение таково, что пучок находится в точном синхронизме с границей полосы, эффективность отбора энергии электронами у прямой волны точно равна эффективности излучения ими обратной волны. При этом суммарная кинетическая энергия электронов в процессе взаимодействия не меняется, сдвиг фаз между полем и током равен точно $\pi/2$, а из системы во входной тракт идет встречный поток мощности, равный входному (реактивное подавление, ветвь 2 на рис. 2, 3)*. Аналогичные эффекты наблюдаются и во внеполосной области (ветви 3 и 4), хотя взаимодействие не является чисто реактивным: для ветви 3 встречный поток мощности чуть меньше, а для ветви 4 чуть больше входного. Заметим, что график зависимости тока подавления от частоты, отвечающий внеполосной ветви 4, на граничной частоте имеет вертикальную касательную (пунктир на рис. 3б). Это обстоятельство можно использовать для точного измерения частоты отсечки замедляющей системы. Своеобразный механизм энергообмена пучка и поля соответствует ветви 5. В этом случае пучок отдает свою энергию полю, и с пушечного конца системы излучается в подводящий волновод усиленный сигнал. В то же время полное поле на коллекторном конце, складывающееся из сигнала, непосредственно прошедшего через систему, сигнала, отраженного от пушечного конца и излученного пучком вперед, равно нулю. При уменьшении ускоряющего напряжения прямая гармоника поля выходит из синхронизма, встречное излучение пучка резко возрастает и решение, соответствующее ветви 5, превращается в решение, отвечающее стартовому режиму лампы обратной волны. Поэтому данный эффект подавления мало устойчив и в эксперименте может наблюдаться лишь в небольшом диапазоне частот в окрестности границы полосы пропускания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевчик В. Н., Трубцеков Д. И. Аналитические методы в электронике СВЧ. — М.: Сов. радио, 1970. — 584 с.
2. Аркадакский С. С. — Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 7, с. 896.
3. Кузнецов А. П., Кузнецов С. П. — Изв. вузов — Радиофизика, 1984, 27, № 8, с. 1049.
4. Васильев А. Е., Жарков Ю. Д. — Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1985, № 4, с. 22.
5. Кузнецов А. П., Рожнев А. Г. — Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1985, № 9, с. 3.

Саратовский государственный
университет

Поступила в редакцию
23 января 1985 г.,
после переработки
21 октября 1985 г.

УДК 621.372.2

О КИНЕМАТИКЕ СОЛИТОНОВ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ С ВАРИКАПАМИ

С. В. Нестеров, А. В. Пец

Распространение волн в электромагнитной линии передачи типа фильтра низких частот можно описать уравнением [1, 2]

* Приведенные рассуждения справедливы строго в отсутствие диссипации. В противном случае часть входной мощности идет на покрытие диссипативных потерь.