

НАБЛЮДЕНИЕ САМОВОЗДЕЙСТВИЯ МОДУЛИРОВАННЫХ ВОЛН В НЕЛИНЕЙНОЙ ЛИНИИ

Л. И. Загрядская, Л. А. Островский

В теоретических работах последних лет [1-3] были исследованы эффекты «самовоздействия» модулированных волн в нелинейных средах. Эти эффекты, связанные с деформацией огибающих амплитуды и частоты волны, проявляются различным образом в зависимости от параметров нелинейности и дисперсии. В настоящей заметке изложены результаты эксперимента по наблюдению самовоздействия в искусственной линии (цепи звеньев с сосредоточенными параметрами) типа фильтра высоких частот (рис. 1), содержащей нелинейные индуктивности на ферритах Ф-100. Из-за сильной дисперсии квазигармонический сигнал в линии почти не искасался, но скорость основной гармоники зависела от ее амплитуды. На достаточно высоких частотах ($\omega^2 \gg \omega_{kp}^2 = 1/4 LC$) можно пренебречь дискретностью параметров линии (пространственной дисперсией). Тогда, считая одно звено эквивалентным отрезку единичной длины распределенной системы, найдем, что фазовая скорость волны $v_f(\omega, \bar{I})$ равна $-\omega^2 \sqrt{\bar{L}(\bar{I})C^*}$, где \bar{I} — амплитуда тока, $\bar{L}(\bar{I})$ — средняя индуктивность, равная отношению амплитуд потока индукции $\bar{\Phi}$ и тока в катушке с ферритом. Измеренная зависимость фазового сдвига β волны с частотой $f = 300 \text{ кГц}$ на одном звене линии от амплитуды напряжения (пропорциональной $\bar{\Phi}$) представлена на рис. 2 (функция $\bar{L}(\bar{I})$ возрастает).

Прохождение модулированных волн через линию (число звеньев $n = 20 - 34$) изучалось в диапазоне несущих частот $f = 200 - 500 \text{ кГц}$, частота модуляции F изменялась от $0,02f$ до $0,15f$. Очевидно, что указанная зависимость β от \bar{U} должна приводить к появлению фазовой (частотной) модуляции в амплитудно-модулированной волне. Этот эффект хорошо виден из рис. 3 (а) — вход линии, (б) — 20-е звено). Период калибрационных меток совпадает с периодом входного сигнала ($f = 200 \text{ кГц}$, $\bar{U}_{\text{вх}} = 10 \text{ в}$), на выходе же фаза изменяется на величину порядка π . Соответствующая девиация частоты достигает 10—15% от несущей. При уменьшении амплитуды фазовая модуляция, естественно, исчезает.

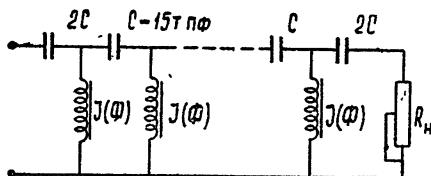


Рис. 1.

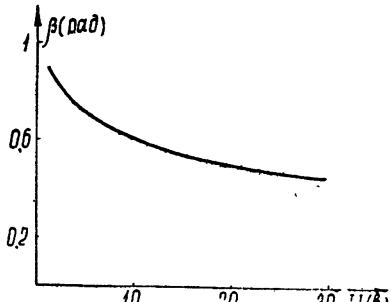


Рис. 2.

Одним из наиболее интересных нелинейных эффектов, характерных для исследуемой линии, является самомодуляция (временная самофокусировка) монохроматической волны [2]: последняя неустойчива по отношению к модулирующим возмущениям в определенном интервале частот модуляции**. Этот эффект наблюдался при различных значениях амплитуды и частоты входного сигнала: если колебания на входе линии имеют малую амплитудную модуляцию с коэффициентом $M_{\text{вх}}^{***}$, то коэффициент модуляции M волны в линии возрастает с расстоянием. Пример осциллограмм напряжения на входе и выходе линии ($n = 20$, $f = 300 \text{ кГц}$, $\bar{U}_{\text{вх}} = 10 \text{ в}$), приведенных к одному масштабу амплитуды, приведен на рис. 4. Для этого случая $M_{\text{вх}} = 9\%$, $M_{\text{вых}} = 16\%$. Наибольшее отношение $N = M_{\text{вых}}/M_{\text{вх}}$ в эксперименте превышало 2

* Как известно, в данной системе фазовая и групповая скорости направлены в противоположные стороны (линия обратной волны).

** Эта неустойчивость может трактоваться как параметрическое усиление боковых частот $f_{1,2} = f \pm F$, возможность которого следует из соотношений Мэнли-Роу.

*** Входной сигнал не модулировался по частоте; согласно теории, частотная модуляция на входе также приводит к появлению нарастающей амплитудной модуляции.

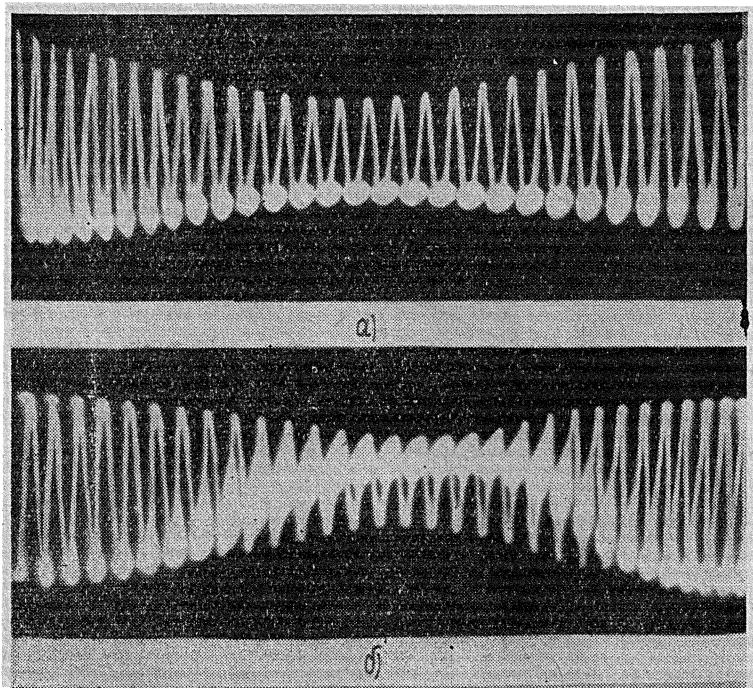


Рис. 3.

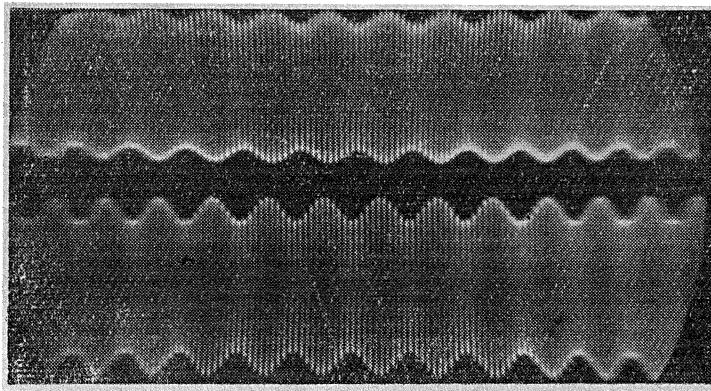


Рис. 4.

Изменение N вдоль линии при различных напряжениях $\bar{U}_{\text{вх}}$ ($f = 300 \text{ кГц}$) показано на рис. 5. Колебания $N(n)$ вызваны локальными отражениями волн. Были сняты также зависимости N от несущей частоты f (функция $N(f)$ падает из-за уменьшения групповой задержки в линии), от частоты модуляции F (максимум $N(F)$ лежит в интервале $F \approx 25 \div 45 \text{ МГц}$) и от амплитуды падающего сигнала $\bar{U}_{\text{вх}}$ (при малых $\bar{U}_{\text{вх}}$ — менее 1.5 в — эффект незаметен, а при $\bar{U}_{\text{вх}} \approx 10 \text{ в}$ наступает насыщение, и далее $N(\bar{U}_{\text{вх}})$ медленно убывает). Заметим также, что рост N наблюдается при $M_{\text{вх}} \leq 20 \div 30\%$; при больших $M_{\text{вх}}$ происходит ограничение эффекта из-за нелинейности.

Все полученные результаты в качественном отношении согласуются с выводами теории [2]. Количественные же расчеты чрезвычайно затруднены из-за сильной нелинейности и, особенно, из-за значительной диссипации. Последняя мала для волн малой амплитуды, однако с ростом поля в феррите резко растут нелинейные потери (перемагничивание происходит в пределах петли гистерезиса). Практически, например, напряжение волны с $\bar{U}_{\text{вх}} = 6 \text{ в}$ при $n = 25$ убывает почти втрое, причем особенно резкое затухание происходит на первых звеньях. Формулы, полученные для линии с по-

стоянным затуханием, дают хорошее совпадение с теорией всюду, кроме указанного начального участка линии, где N нарастает более быстро, чем дает расчет. Это связано, по-видимому, с релаксационными процессами, которые могут дополнительно изменять коэффициент модуляции [4].

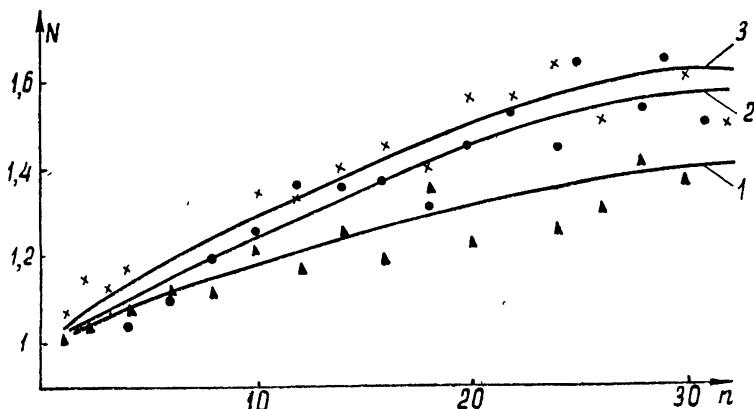


Рис. 5. Изменение N вдоль линии:

- 1) (Δ) — $U_{Bx}=3$ с, $M_{Bx}=10,5\%$; 2) (\bullet) — $U_{Bx}=4$ с, $M_{Bx}=7\%$; 3) (\times) — $U_{Bx}=20$ с, $M_{Bx}=10,5\%$.

Следует отметить, что в линии с теми же индуктивностями, но собранной по схеме фильтра нижних частот, нарастания модуляции не наблюдалось — в полном соответствии с теоретическими соображениями, по которым временная самофокусировка возможна лишь при определенных условиях относительных знаков параметров нелинейности и дисперсии*. В линии, показанной на рис. 1, эти условия выполняются.

Укажем в заключение, что полученные результаты имеют, по-видимому, некоторый практический интерес и могут быть, в частности, использованы для моделирования соответствующих процессов в нелинейной оптике.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Л. А. Островский, ЖТФ, 33, 905 (1963).
- 2 Л. А. Островский, ЖЭТФ, 51, 1189 (1966).
- 3 А. Г. Литвак, В. И. Таланов, Изв. высш. уч. зав — Радиофизика, 10, № 4, 539 (1967).
- 4 С. А. Ахманов, А. П. Сухоруков, Письма в ЖЭТФ, 5, 108 (1967).

Научно-исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
18 сентября 1967 г.

УДК 621.371.18 : 533.9

РАДИОЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ

Ф. В. Смирнов

Электромагнитные характеристики плазменного слоя рассматривались многими авторами [1—6]. Однако в проведенных исследованиях отсутствует систематическое количественное изучение проблемы. Настоящее сообщение является развитием цитированных работ в указанном аспекте и представляет собой сокращенное изложение [7].

Рассматривались коэффициенты прохождения T , отражения R и поглощения A плоской электромагнитной волны, падающей нормально на плоский слой однородной

* Точнее, когда произведение величин $(\partial^2 k / \partial \omega^2)$ и $(\partial k / \partial A)$ (A — амплитуда сигнала) отрицательно [2].