

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА КРЕСТООБРАЗНОМ ДИАФРАГМИРОВАННОМ ВОЛНОВОДЕ

*А. И. Терещенко, В. Г. Шульга, А. Г. Шейн*

Харьков

В мощных лампах бегущей волны в качестве замедляющих систем широко используются цепочки связанных объемных резонаторов. Их применение обусловлено достаточно высоким уровнем допустимой мощности рассеивания. К этому классу относит-

ся, например, система типа клеверный лист [1, 2] с отрицательной обратной связью. Мощные ЛБВ, созданные на базе этой системы, обеспечивают в непрерывном режиме выходную мощность порядка нескольких десятков киловатт [2].

Наряду со многими положительными качествами система типа «клеверный лист» обладает рядом недостатков, основным из которых является большая сложность получения удовлетворительных характеристик в широкой полосе частот, что ограничивает полосу рабочих частот ЛБВ до 7% [2].

Нами были предприняты экспериментальные исследования замедляющей системы типа крестообразного диафрагмированного волновода (рис. 1). Теоретические исследования [3, 4] показали,

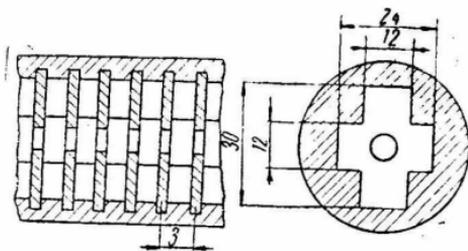


Рис. 1. Замедляющая система.

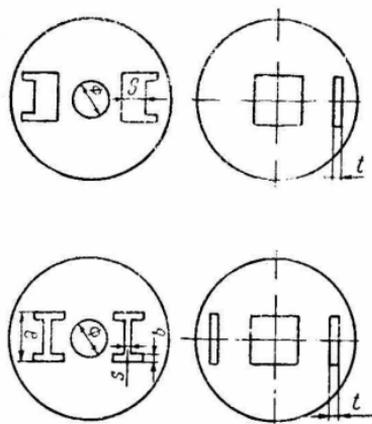


Рис. 2. Диафрагмы с различными щелями связи, используемые при эксперименте.

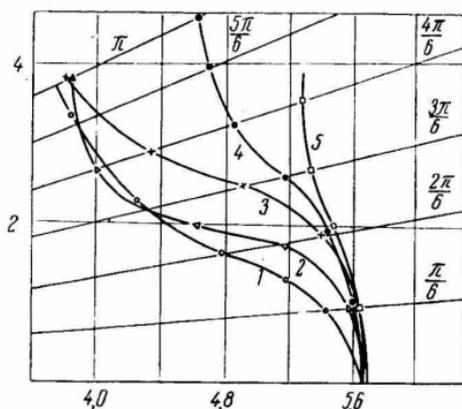


Рис. 3. Дисперсионные характеристики систем с различными щелями связи:

кривая 1 — без щелей связи; 2 —  $t = 1,5$  мм (диафрагмы рис. 2, а); 3 —  $t = 1,5$  мм (диафрагма рис. 2, б); 4 —  $t = 2,5$  мм (рис. 2, а); 5 —  $t = 2,5$  мм (рис. 2, б). Длина щелей связи 12 мм.

что в основной полосе пропускания такая система обладает положительной дисперсией на основной пространственной гармонике, причем полная полоса пропускания приближается к величине, реализуемой в прямоугольных диафрагмированных волноводах,

В то время как «квазикруговая» структура высокочастотного поля позволяет использовать цилиндрический пучок электронов, как в системе типа «клеверный лист». Кроме этого, большое число варьируемых элементов и возможность ввода отрицательной или положительной обратной связи позволяет надеяться на эффективное управление дисперсионными характеристиками системы без значительного ухудшения структуры высокочастотного поля в пространстве взаимодействия.

Элементами обратной связи служили щели, прорезаемые в диафрагмах между соседними резонаторами (рис. 2). Вариации формы и размеров этих щелей приводят к изменению полосы пропускания замедляющей системы.

Исследовался резонансный отрезок крестообразного диафрагмированного волновода, состоящий из шести резонаторов, соединенных между собой через прямоугольные (рис. 2, а, б) или круглые (рис. 2, в, г) отверстия для прохождения электронного пучка. Заметим, что размер и форма пространства взаимодействия мало влияют на характеристики систем, поэтому анализ их здесь не приводится.

Размеры крестообразного волновода выбирались из условия возбуждения синфазных волн с максимальным удалением от полосы «смешанных» волн [4] для обеспечения достоверных результатов измерений.

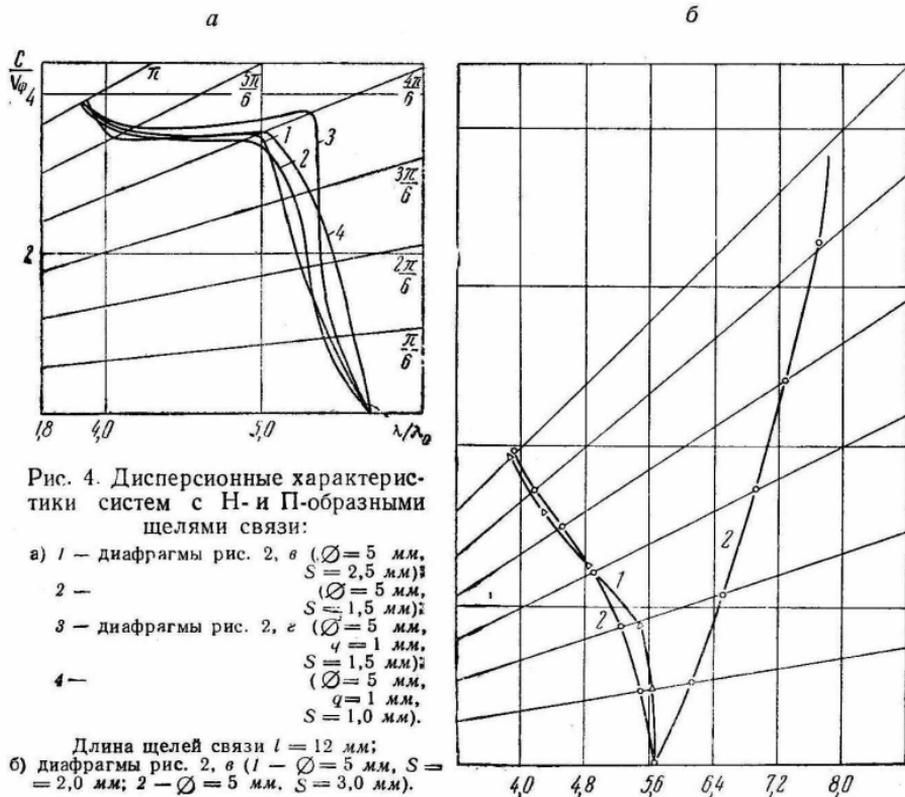
Поскольку полная полоса пропускания системы  $(0, \pi)$  составляет более 20%, основное внимание было обращено на возможность получения «столообразного» участка характеристики для использования ее в ЛБВ 0-типа.

На рис. 3 приведены кривые дисперсии системы с положительной обратной связью, обеспечиваемой путем введения щелей связи (рис. 2, а, б) с поворотом их на  $90^\circ$  в соседних резонаторах. Как видно из графиков, увеличение величины связи (что эквивалентно возрастанию ширины щелей) приводит к сужению полосы пропускания замедляющей системы. Это явление, аналогичное наблюдаемому в системах типа цепочки связанных резонаторов при введении положительной обратной связи [5], не является принципиально новым.

Однако анализ структуры высокочастотного поля в резонаторных областях показывает, что путем вариации не столько размеров, сколько формы щели связи можно успешно управлять дисперсией структуры.

На рис. 2, в, г приведены диафрагмы с П-образными и Н-образными щелями связи. Введение таких щелей обосновывается существованием довольно сильных электрических полей вблизи границы резонаторных областей и пространства взаимодействия, что позволяет изменять кривые дисперсии без изменения полосы пропускания системы. В результате удается скорректировать дисперсионную характеристику таким образом, что образуется «сто-

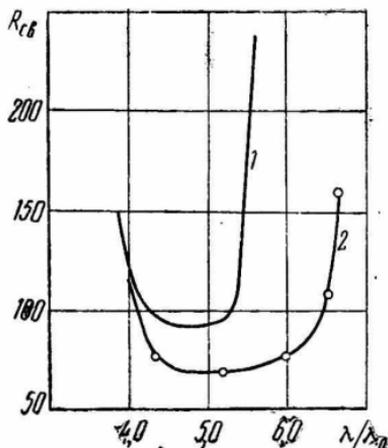
лообразный» участок (например, кривая 3 на рис. 4 соответствует Н-образным щелям связи с размерами  $b = 1$ ,  $\varnothing = 5$ ,  $l = 12$ ,  $S = 1,5$  мм) с шириной полосы около 17%. На рис. 4, а представлены кривые дисперсии системы при различных размерах щелей связи, соответствующих диафрагмам рис. 2, в, г.



Необходимо отметить, что при использовании диафрагм с П-образными щелями связи больших размеров наряду с резонаторными видами колебаний появляется «щелевая» полоса пропускания, обладающая отрицательной дисперсией (рис. 4, б).

Описанные в данной работе варианты щелей обратной связи не исчерпывают всего их многообразия. Например, путем введения Т-образных щелей можно получить вполне удовлетворительные характеристики, которые будут мало отличаться от приведенных на рис. 4, а. И наконец, в данной системе можно использовать, как и в «клеверном листе», отрицательную обратную связь, получаемую путем поворота каждого соседнего резонатора на  $45^\circ$  и введения радиальных щелей связи в местах локализации магнитного поля. Экспериментальные исследования показали,

что в этом случае полоса пропускания системы увеличивается до 35—40%, в зависимости от степени связи, однако сопротивление связи в рабочем диапазоне уменьшается. Для иллюстрации этого на рис. 5 показаны зависимости  $R_{св}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)$ : для системы с



положительной обратной связью (рис. 5, кривая 1) и для системы с отрицательной обратной связью (кривая 2). В связи с большой широкополосностью системы резонансы на видах колебаний, близких к нулевому, были выражены очень слабо, поэтому погрешность измерений  $R_{св}$  достаточно велика (до 30—40%) [6].

Рис. 5. Зависимости  $R_{св}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)$  для систем с положительной (кривая 1) и отрицательной (кривая 2) обратной связью.

## ВЫВОДЫ

1. Для использования замедляющей системы типа крестообразного диафрагмированного волновода в мощных ЛБВ или ЛОВ 0-типа ее дисперсия путем введения щелей связи определенной формы может быть скорректирована соответствующим образом.
2. Улучшение дисперсионных свойств системы достигнуто как введением положительной обратной связи при экранировке щелей через один резонатор или при повороте щелей в соседних резонаторах на  $90^\circ$ , так и посредством отрицательной обратной связи.
3. Повышение сопротивления связи при работе на основной пространственной гармонике с учетом большой полосы пропускания позволяет рекомендовать рассмотренные системы в качестве замедляющих структур мощных ЛБВ и ЛОВ 0-типа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. Chodorow, R. Craig. Some new circuits for high power travelling wave tubes. PIRE, 1957, 45, 8, 1106.
2. M. O. Bryant, A. Thomson, P. W. Wells. A high power CW travelling tubes. J. Electronics and Control, 1962, 12, 1, 49.
3. А. И. Терещенко, А. Г. Шейн. Замедляющие системы на диафрагмированных волноводах крестообразного поперечного сечения. «Радиотехника и электроника», X, 6, 1965.
4. А. Г. Шейн. К теории крестообразного диафрагмированного волновода. «Радиотехника и электроника», XII, 6, 1967.
5. З. И. Тараненко, Я. К. Трохименко. Замедляющие системы. Изд-во «Техника», Киев, 1966.
6. Р. А. Силин, В. П. Сазонов. Замедляющие системы. Изд-во «Советское радио», 1966.