

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПОЧЕК РЕЗОНАТОРОВ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ

Я. К. Трохименко, В. И. Правда, В. Л. Исаков

В современных ЛБВ с интенсивными электронными пучками применяют замедляющие системы типа цепочек индуктивно связанных объемных резонаторов с положительным коэффициентом взаимной индуктивности. Такие системы характеризуются отрицательной дисперсией для основной

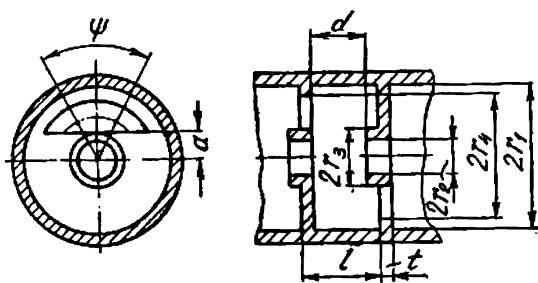


Рис. 1. Эскиз конструкции однощелевой замедляющей системы.

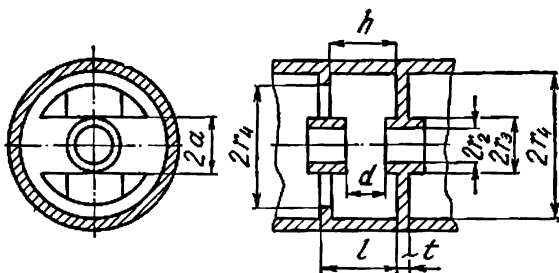


Рис. 2. Эскиз конструкции двухщелевой замедляющей системы.

пространственной гармоники. При взаимодействии электронного пучка с первой положительной пространственной гармоникой можно обеспечить усиление в сравнительно широкой полосе частот [1,2]. Эскизы простейших замедляющих систем рассматриваемого типа приведены на рис. 1,2.

До настоящего времени для практических целей не разработаны достаточно точные методы расчета подобных систем, поэтому важное значение приобретает экспериментальные исследования их дисперсионных свойств. С помощью геометрического моделирования можно распространить результаты экспериментального исследования на любой диапазон частот.

Ниже приведены результаты экспериментального исследования дисперсионных

характеристик цепочек резонаторов с однощелевыми диафрагмами, поочередно сдвинутыми на 180° (рис. 1), и двухщелевыми диафрагмами, поочередно сдвинутыми на 90° (рис. 2), что обеспечивает наиболее широкую полосу пропускания. Дисперсионные характеристики определя-

лись для первой положительной пространственной гармоники в наиболее длинноволновой полосе пропускания с преобладанием колебаний типа TM_{01} . Измерения проводились резонансным методом на макетах, закороченных на торцах отрезков замедляющих систем длиной в шесть периодов.

Исследовались зависимости формы дисперсионных характеристик от периода системы l , расстояния a от оси замедляющей системы до щели, радиуса пролетного канала r_2 , толщины диафрагмы t , радиуса r_3 и длины $l-d$ трубок дрейфа, вводимых в резонаторы для обеспечения оптимальных условий взаимодействия электронного пучка с полем бегущей волны. Для удобства моделирования все размеры на приподимых ниже графиках указаны в относительных единицах и выражены через критическую длину волны $\lambda_{кр} = 2,615r_1$ круглого волновода с волной типа TM_{01} .

В процессе наладки ЛБВ часто возникает необходимость в изменении величины ускоряющего напряжения, а следовательно, и необходимость изменения периода замедляющей системы. На рис. 3 приведены графики приращений относительных изменений фазовой скорости и длины волны для точек дисперсионной характеристики, соответствующих фазовому сдвигу на период $\varphi = 5\pi/3; 3\pi/2; 4\pi/3$ и $7\pi/6$. Как следует из графиков, фазовая скорость изменяется пропорционально увеличению периода системы, а полоса пропускания системы при увеличении периода расширяется. Задавая относительным изменением фазовой скорости или длин волн рабочего участка дисперсионной характеристики, по кривым (рис. 3), можно определить требуемое изменение периода системы.

Дисперсионные свойства замедляющей системы существенно зависят от параметров щелей связи. В рассматриваемой системе размеры и форма щели определяют только размером a . На рисунках 4 и 5 приведены дисперсионные характеристики однощелевой и двухщелевой систем для различных значений a . При увеличении размера a увеличивается резонансная длина щели, что в случае длинных щелей, когда резонансная длина щели больше критической длины волны резонатора, вызывает сдвиг дисперсионных характеристик в сторону длинных волн. Так как при одинаковых размерах щелей статический коэффициент связи в двухщелевой системе имеет большую величину [3], ее дисперсионные характеристики более пологи. Это подтверждается и графиком (рис. 6) для однощелевой и двухщелевой систем с одинаковыми размерами щелей и резонаторов.

Чтобы получить наибольшее сопротивление связи, при отработке замедляющей системы приходится экспериментально подбирать длину трубки дрейфа. Из сравнения дисперсионных кривых (рисунки 7 и 8) следует, что изменение длины трубки дрейфа одинаково влияет на дисперсионные характеристики систем с однощелевой и двухщелевой диафрагмами.

При возрастании длины трубки дрейфа увеличивается собственная длина волны тороидального резонатора, внутренние выступы которого образованы трубками дрейфа, что приводит к практически параллельному сдвигу дисперсионных кривых в сторону длинных волн. Подобный эффект наблюдается также и при росте радиуса трубки дрейфа r_3 (рис. 9).

На рис. 10 приведены дисперсионные характеристики для нескольких значений радиуса пролетного канала r_2 . Так как при увеличении r_2 одновременно увеличивался и радиус трубок дрейфа r_3 , заметна тенденция к сдвигу дисперсионных характеристик в сторону длинных волн. Однако при сравнительно большом радиусе пролетного канала начинает сказываться

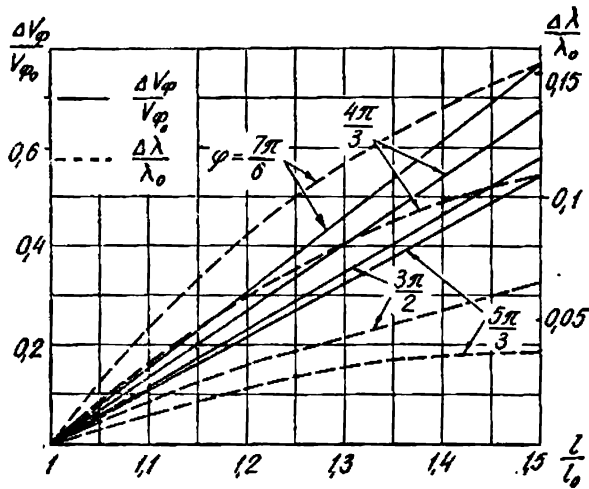


Рис. 3. График зависимости приращений фазовой скорости и длины волны от периода замедляющей системы:

$$2r_1 = 0,76\lambda_{кр}; \quad 2r_2 = 0,19\lambda_{кр}; \quad 2r_3 = 0,285\lambda_{кр}; \quad l = 0,19\lambda_{кр}; \\ a = 0,19\lambda_{кр}; \quad f = 0,048\lambda_{кр}; \quad l - d = 0,095\lambda_{кр}.$$

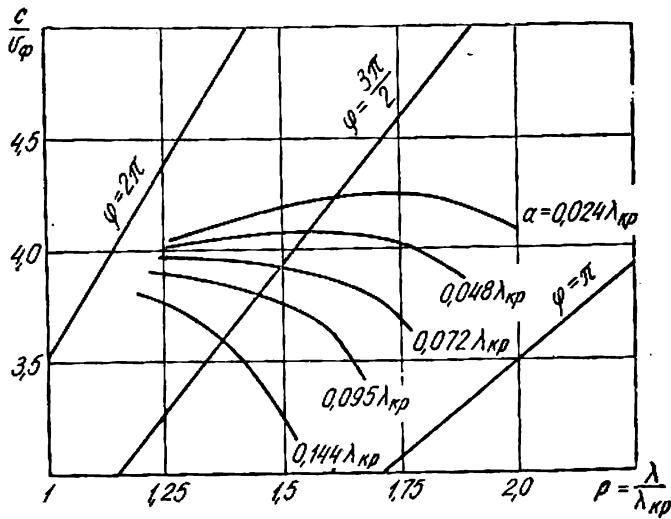


Рис. 4. График зависимости дисперсионной характеристики однощелевой системы от размеров щели:

$$2r_1 = 0,76\lambda_{кр}; \quad 2r_2 = 0,167\lambda_{кр}; \quad 2r_3 = 0,285\lambda_{кр}; \quad l = 0,285\lambda_{кр}; \\ f = 0,048\lambda_{кр}; \quad l - d = 0,144\lambda_{кр}.$$

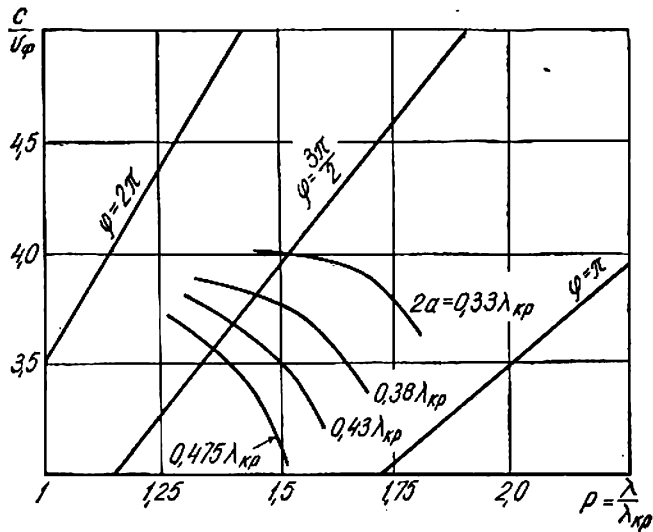


Рис. 5. График зависимости дисперсионной характеристики двухщелевой системы от размеров щели:

$2r_1 = 0,76\lambda_{кр}$; $2r_2 = 0,19\lambda_{кр}$; $2r_3 = 0,285\lambda_{кр}$; $l = 0,285\lambda_{кр}$;
 $t = 0,048\lambda_{кр}$; $l - d = 0,144\lambda_{кр}$.

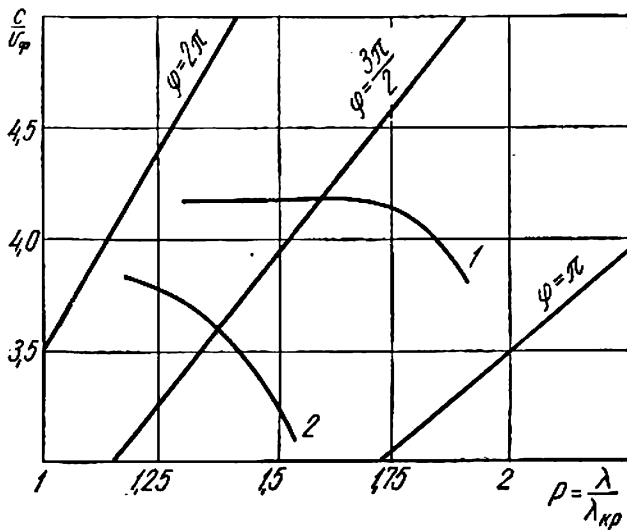


Рис. 6. График зависимости дисперсионной характеристики замедляющей системы от количества щелей:

$2r_1 = 0,76\lambda_{кр}$; $2r_2 = 0,19\lambda_{кр}$; $2r_3 = 0,285\lambda_{кр}$; $l = 0,285\lambda_{кр}$;
 $t = 0,048\lambda_{кр}$; $l - d = 0,144\lambda_{кр}$; 1 — двухщелевая $a = 0,142\lambda_{кр}$;
 2 — однощелевая $a = 0,0142\lambda_{кр}$.

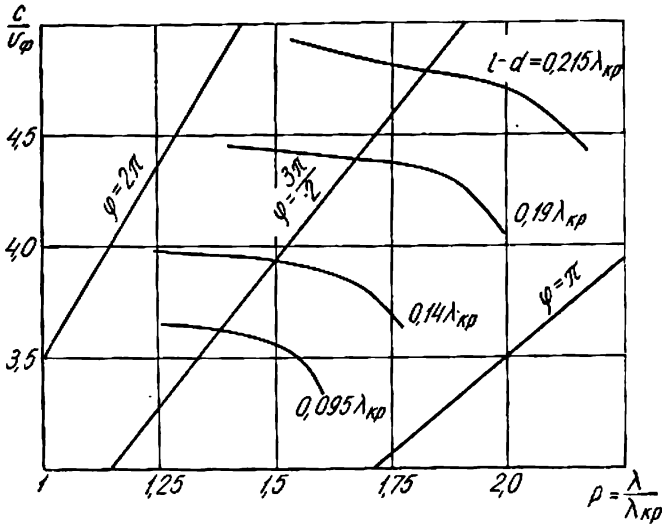


Рис. 7. График зависимости дисперсионной характеристики однощелевой системы от длины трубки дрейфа: $2r_1 = 0,76\lambda_{кр}$; $2r_2 = 0,167\lambda_{кр}$; $2r_3 = 0,285\lambda_{кр}$; $l = 0,285\lambda_{кр}$; $t = 0,048\lambda_{кр}$; $a = 0,072\lambda_{кр}$

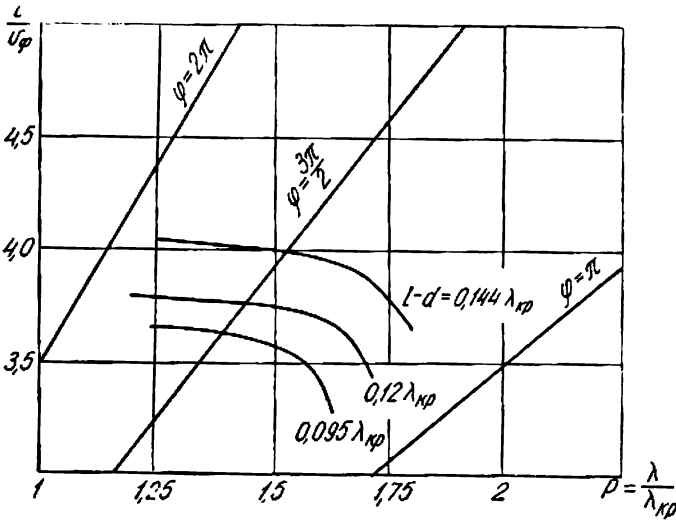


Рис. 8. График зависимости дисперсионной характеристики двухщелевой системы от длины трубки дрейфа: $2r_1 = 0,76\lambda_{кр}$; $2r_2 = 0,19\lambda_{кр}$; $2r_3 = 0,285\lambda_{кр}$; $l = 0,285\lambda_{кр}$; $t = 0,048\lambda_{кр}$; $a = 0,167\lambda_{кр}$

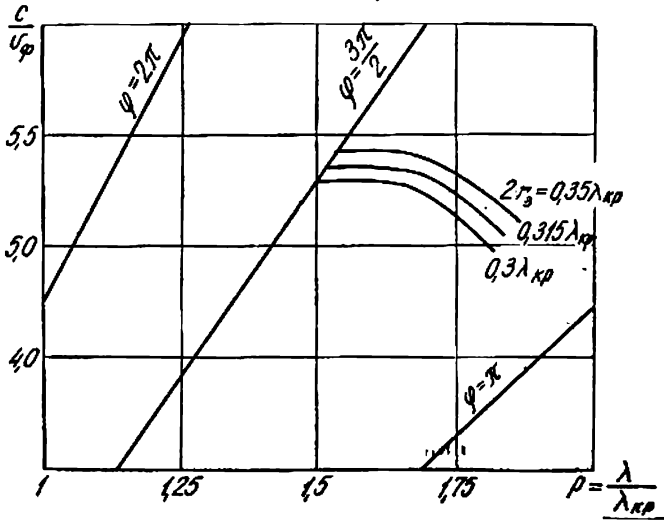


Рис. 9. График зависимости дисперсионной характеристики двухщелевой системы от внешнего диаметра трубки дрейфа:

$$2r_1 = 0,76\lambda_{кр}; \quad 2r_2 = 0,158\lambda_{кр}; \quad l = 0,21\lambda_{кр}; \quad a = 0,217\lambda_{кр}; \quad t = 0,048\lambda_{кр}; \quad l - d = 0,115\lambda_{кр}.$$

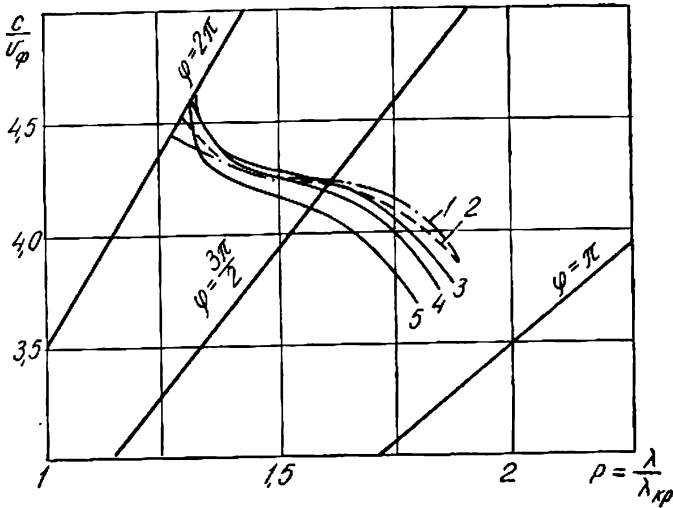


Рис. 10. График зависимости дисперсионной характеристики двухщелевой системы от диаметра пролетного канала:

$$2r_1 = 0,76\lambda_{кр}; \quad l = 0,285\lambda_{кр}; \quad a = 0,19\lambda_{кр}; \quad t = 0,048\lambda_{кр}; \quad l - d = 0,166\lambda_{кр};$$

$$1 - 2r_2 = 0,333\lambda_{кр}; \quad 2r_2 = 0,43\lambda_{кр}; \quad 2 - 2r_2 = 0,285\lambda_{кр};$$

$$2r_2 = 0,38\lambda_{кр}; \quad 3 - 2r_2 = 0,238\lambda_{кр}; \quad 2r_2 = 0,334\lambda_{кр}; \quad 4 - 2r_2 = 0,19\lambda_{кр};$$

$$2r_2 = 0,285\lambda_{кр}; \quad 5 - 2r_2 = 0,144\lambda_{кр}; \quad 2r_2 = 0,238\lambda_{кр}.$$

ваться влияние емкостной связи через пролетные отверстия, вызывающее изменение формы дисперсионных характеристик в области $2\pi > \varphi > 3\pi/2$ вблизи коротковолновой границы полосы пропускания.

При увеличении толщины диафрагмы дисперсионные характеристики почти параллельно сдвигаются в сторону коротких волн (рис. 11), а полоса пропускания несколько сужается.

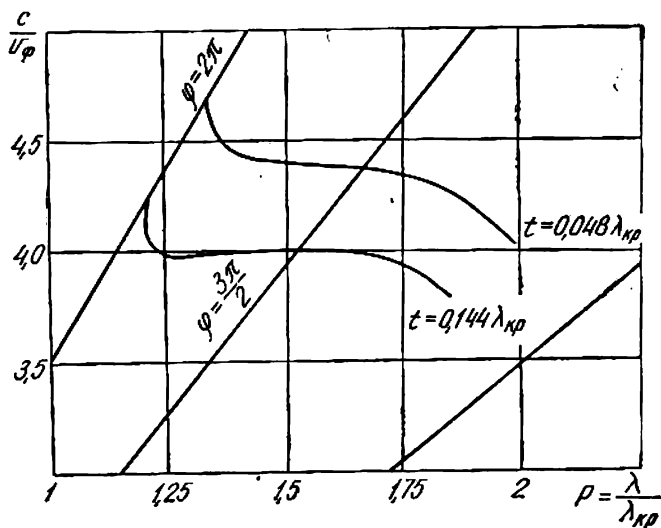


Рис. 11. График зависимости дисперсионной характеристики двухщелевой системы от толщины диафрагмы: $2r_1 = 0,73\lambda_{кр}$; $2r_2 = 0,163\lambda_{кр}$; $2r_3 = 0,244\lambda_{кр}$; $l = 0,244\lambda_{кр}$; $a = 0,184\lambda_{кр}$; $l - d = 0,122\lambda_{кр}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше результаты экспериментальных исследований позволяют определить размеры замедляющих систем для обеспечения требуемых параметров проектируемых ЛБВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Chodorow, E. J. Nalos, S. P. Ontsuka and R. H. Pantell. The design and characteristics of a megawatt space-harmonic TWT, Trans. IRE, 1959, vol. ED-6, p. 44.
2. R. J. Collier, G. D. Helm, I. P. Laico. The Ground Station High-Power TWT, BSTJ, 1963, vol. XLII, № 4, p. 1829.
3. M. A. Allen, G. S. Kino, On the theory of strongly coupled cavity chains, Trans. IRE, 1960, MTT-8, № 3, p. 362.