

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМ С АНОМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ

Елизаров А.А.¹, Каравашкина В.Н.², Шаймарданов Р.В.¹

¹Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)

²Московский технический университет связи и информатики

Современный этап развития СВЧ приборов и устройств связан с необходимостью уменьшения их габаритных размеров при обеспечении надежного функционирования в широком диапазоне частот. Одним из решений указанной проблемы является использование в качестве резонансных структур замедляющих систем с аномальной дисперсией, при которой с ростом частоты колебаний фазовая скорость распространения волн также увеличивается.

В классической оптике обычно имеет место положительная дисперсия, которая может быть нормальной или аномальной. Дисперсия прозрачных для света тел в широкой полосе частот нормальная и, следовательно, положительная. И только в узких полосах вблизи резонансных частот молекул наблюдается аномальная дисперсия, обусловленная поглощением света. При этом направление потока энергии и фазовой скорости совпадает, т.е. дисперсия положительная. Следует отметить, что в отличие от всегда положительной нормальной дисперсии, аномальная дисперсия может быть как положительной, так и отрицательной. В последнем случае знаки замедлений фазовой и групповой скоростей не совпадают. Такая дисперсия в оптике связана с квантовыми эффектами, например, индуцированными переходами атомов и молекул в состояние с меньшей энергией. На рис. 1а приведены дисперсионные кривые для всех трех возможных случаев дисперсии [1].

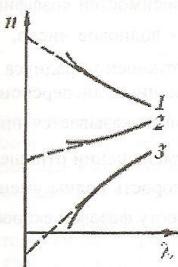


Рис. 1а

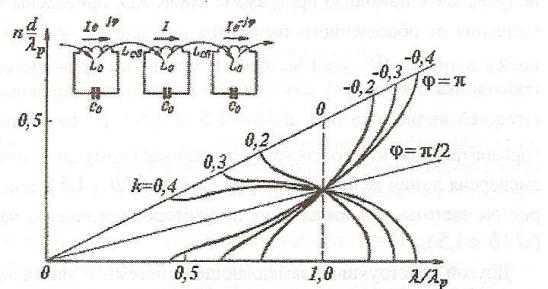


Рис. 1б

Все законы дисперсии электродинамических систем СВЧ обусловлены, естественно, неквантовыми эффектами. Так в замедляющих системах без потерь возможна положительная и отрицательная, нормальная и аномальная дисперсия. Из анализа свойств замедляющих систем на примерах электрических цепей, представляющих собой периодические последовательности связанных между собой ячеек из сосредоточенных индуктивностей и емкостей, следует, что система обладает положительной дисперсией, если связь ячеек индуктивная, и отрицательной, - если связь индуктивная.

В качестве примера цепочки, которая может обладать аномальной положительной дисперсией, рассмотрим цепочку индуктивно связанных контуров (рис.1б). Она служит эквивалентной схемой цепочки индуктивно связанных резонаторов.

Уравнение Кирхгофа для одного из контуров цепочки имеет вид $\frac{1}{j\omega C_0} I + j\omega [L_0 + L_{ca} (e^{i\varphi} + e^{-i\varphi})] I = 0$,

откуда следует уравнение дисперсии $\frac{\lambda}{\lambda_p} = \sqrt{1 + 2k \cos \varphi}$, где $\lambda_p = 2\pi c \sqrt{L_0 C_0}$; $k = \frac{L_{ca}}{L_0}$.

Полоса пропускания цепочки зависит от величины коэффициента связи и лежит в пределах $\sqrt{1 - 2k} \leq \lambda \leq \lambda_p \sqrt{1 + 2k}$.

Значение λ , соответствующее $\varphi = \pi/2$, не зависит от коэффициента связи и равно λ_p . Дисперсия цепочки отрицательная при $k < 0$ и положительная при $k > 0$. Если коэффициент связи отрицателен и достаточно велик по абсолютной величине, то в цепочке возможна аномальная положительная дисперсия при $\varphi > \pi/2$.

Примером конструкции замедляющей системы с аномальной положительной дисперсией может служить спираль с продольно-проводящим экраном (рис.2а). Такая структура использована для коррекции дисперси-

онной характеристики широкополосных ламп с бегущей волной [2], а также при разработке фидерных линий коротковолновых антенн [3 - 5].

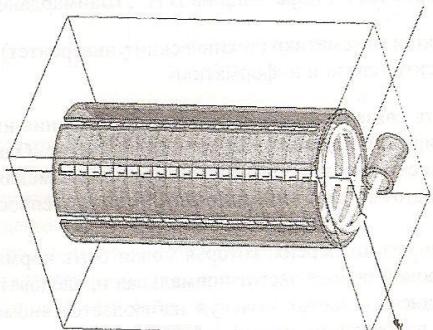


Рис. 2а

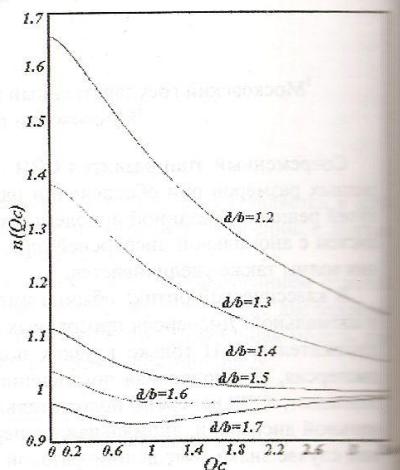


Рис. 2б

Результаты численного расчета дисперсионного уравнения спирали с продольно-проводящим экраном, полученные с помощью программы MathCAD, приведены на рис.2а в виде зависимостей коэффициента замедления от обобщенного параметра спирали $Q_c = b k \operatorname{tg} \Phi$ (где $k = 2\pi / \lambda$ - волновое число, λ - длина волн в линии, Φ - угол намотки спирального проводника), при различном отношении радиуса внешнего проводника d к радиусу внутреннего спирального проводника b . Из представленных дисперсионных зависимостей видно, что при $d/b = 1,5$ и $Q_c > 2$ дисперсионная характеристика оказывается практической горизонтальной, что соответствует минимальному значению дисперсии. При уменьшении отношения d/b дисперсия линии меняется с нормальной ($d/b > 1,5$), при которой фазовая скорость волны уменьшается с ростом частоты, на аномальную, при которой увеличение частоты приводит к росту фазовой скорости волны ($d/b < 1,5$).

Другой конструкцией замедляющей системы с аномальной дисперсией является спираль в экране с аномальной проводимостью в азимутальном направлении. Наличие участка с аномальной дисперсией теоретически и экспериментально подтверждено на модели, в которой снаружи цилиндрической спирали устанавливались полукольца с отогнутыми наружу и изолированными друг от друга концами (рис.3а) [6]. Изменяя длину отогнутых концов и расстояние между ними, можно в достаточно широких пределах изменять аномальную проводимость в азимутальном направлении.

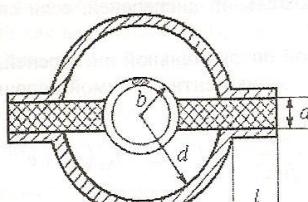


Рис. 3а

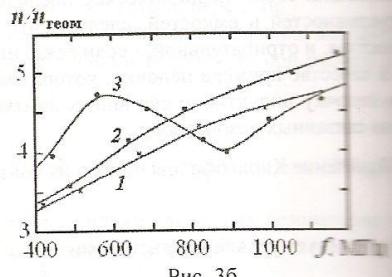


Рис. 3б

На рис.3б приведены экспериментальные дисперсионные характеристики макета, полученные для $d/b = 1,2$, зазор между отогнутыми концами $a = 0,1$ мм и длины $l = 5$ мм (кривая 2) и $l = 20$ мм (кривая 3). Для сравнения здесь же показана характеристика, полученная для той же спирали без экрана (кривая 1). Анализ полученных кривых показывает, что при изменении длины отогнутых концов полуколец можно упростить протяженностью и крутизной участка аномальной дисперсии.

Литература

- Силин Р.А., Сазонов В.П. Замедляющие системы. М.: «Советское радио», 1966.
- Демина Г.Р., Изюмова Т.И., Пчельников Ю.Н. Влияние экрана на анизотропную проводимостью на дисперсионные свойства и коэффициент связи спиральной замедляющей линии // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1967, вып.9, с.41-49.

- ных [3]. Елизаров А.А., Каравашина В.Н., Кухаренко А.С. Исследование фидерных линий на отрезках замедляющих систем с аномальной дисперсией // Измерительная техника, 2009, №7, с.50-52.
4. Патент РФ на изобретение № 2339128, МПК Н 01 Р 5/02, Н 01 Р 3/08. Коаксиальная фидерная линия / А.А.Елизаров, В.Н.Каравашина, М.Д.Морозовская. Бюл. «Открытия, изобретения» № 32, 2008.
5. Патент РФ на изобретение № 2364995, МПК Н 01 Р 5/02, Н 01 Р 3/08. Микрополосковая фидерная линия / А.А.Елизаров, В.Н.Каравашина, А.С.Кухаренко. Бюл. «Открытия, изобретения» № 23, 2009.
6. Пчельников Ю.Н., Шумская Л.П. Спираль в экране с емкостной проводимостью в азимутальном направлении // Радиотехника и электроника, 1999, том 44, № 9, с.1139-1141.

ANALYSIS OF PHYSICAL AND STRUCTURAL FEATURES OF SLOW-WAVE STRUCTURES WITH ABNORMAL DISPERSION

The analysis of physical and constructive features of slow-wave systems with an abnormal dispersion is considered. Possibilities obtain an abnormal dispersion in the spiral structures placed in the screen with longitudinal conductivity or the screen with capacitor conductivity in an azimuthal direction are shown.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СОЗДАНИЯ КОРОТКОВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТРАДИЦИОННЫХ РЕЗОНАТОРНЫХ СИСТЕМ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ МЕТОДАМИ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Гутцайт Э.М.¹, Курушин А.А.¹, Маслов В.Э.²

¹Московский энергетический институт (Технический университет),

²ООО «ЛЕДРУ»

В настоящее время проявляется повышенный интерес к светодиодам (СД) с объёмными резонаторами (ОР). В монографии [1] обстоятельно рассмотрены их преимущества перед обычными СД. Реальные СД с ОР, применяемые в волоконных линиях связи в ИК диапазоне длин волн, основаны на традиционной лазерной технологии. Они содержат многослойные зеркала Брэгга, ограничивающие полуволновые резонаторы (ПР) с квантовыми ямами. Однако современные достижения нанотехнологии позволяют использовать богатый опыт техники СВЧ при создании электромагнитных излучателей (ЭИ) оптического диапазона длин волн на основе ОР с квантовыми нитями и точками (КН и КТ). В докладе рассмотрены различные схематические варианты ЭИ на основе четвертьвольновых многорезонаторных систем, а также представлены результаты анализа этих систем при использовании электродинамической программы HFSS [2].

Четвертьвольновые резонаторы (ЧР) удобны для создания ЭИ, поскольку являются открытыми, и на открытом конце ОР в пучности стоячей волны электрического поля предлагается размещать КН или КТ. Однако ЧР в отличие от закрытых ПР обладают более низкими значениями собственной добротности, и поэтому целесообразно использовать ЧР с полуволновыми стабилизирующими резонаторами (СР), т.к. из техники СВЧ известно, что высокодобротные СР, электромагнитно связанные с низкодобротной резонаторной системой, существенно увеличивают её собственную добротность. И в связи с этим в настоящей работе рассматриваются некоторые возможные варианты использования высокодобротных СР, связанных с ЧР. Рассматриваемые ЭИ в основном предназначены для создания белых источников света и высококачественных дисплеев.

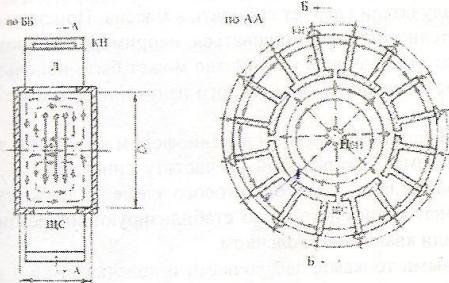


Рис.1.

Рис.2.

Результаты расчётов свидетельствуют о том, что при одинаковой длине резонаторов, например $l = 250$ нм, диаметры резонаторов, между которыми расположены синие ($\lambda_c = 460$ нм), зелёные ($\lambda_s = 525$ нм) и красные ($\lambda_k = 635$ нм) КТ, составляют около 300, 360 и 480 нм соответственно. При этом протяжённости СР,

На рис.1 приведен один из вариантов использования закрытых СР с открытыми ЧР и КТ. Основным ОР здесь является система, рассмотренная в [3] и состоящая из цилиндрических ЧР (ЦЧР), которые возбуждаются противофазно на видах колебаний H_{111} . В качестве СР предлагаются полуволновые отрезки прямоугольных волноводов (ширины a и высотой b) с видами H_{103} . На рисунке, где показаны три ячейки ОР, условно изображены электрические (сплошные) и магнитные (штриховые) силовые линии, а также щели связи (ЩС) по магнитному полю между резонаторами.