

Б. А. Бедяев, М. И. Никитина, В. В. Турнев

ТРЕХЗВЕННЫЙ МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ФИЛЬТР НА ПОДЛОЖКЕ С ВЫСОКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

В квазистатическом приближении исследованы амплитудно-частотные характеристики трехзвенных микрополосковых фильтров (МПФ) на подложках с высокой диэлектрической проницаемостью. Рассмотрены случаи симметричного и антисимметричного кондуктивного подключения внешних линий к секции из трех микрополосковых резонаторов (МНР). Исследованы зависимости частот полюсов затухания на АЧХ секции от длины области связи МНР, положения точек кондуктивного подключения внешних линий и геометрических параметров секции. Показаны возможности формирования полюсов затухания вблизи полосы пропускания фильтра для увеличения прямоугольности АЧХ.

Микрополосковые частотно-селективные устройства на подложках из поликора широко распространены в технике СВЧ благодаря простоте и технологичности их изготовления. Однако в последнее время в микрополосковых схемах начинают использовать подложки из термостабильных керамик с высокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_r \sim 10^2$), позволяющие значительно уменьшить габариты устройств [1, 2]. Резонаторы на таких подложках обладают более высокой добротностью [3, 4]. Поэтому МПФ на подложках с высокой диэлектрической проницаемостью отличаются от МПФ на поликоровой подложке ($\epsilon_r = 9,6$) не только миниатюрностью, но и лучшими электрическими характеристиками.

660036, Красноярск, академгородок, Институт физики
им. Л. В. Киренского СО АН СССР, тел. (391-2) 25-95-91

Известно, что селективные свойства любого фильтра можно значительно улучшить, если на его АЧХ сформировать полюсы затухания. Для МПФ существует несколько способов их формирования слева и справа от полосы пропускания, а также перемещения их по оси частот. Однако для конструирования МПФ с оптимальными АЧХ необходимо знать закономерности поведения полюсов затухания при изменении тех или иных параметров устройства. Такие закономерности для случая двухзвенных МПФ исследованы в работе [5]. Использование выявленных закономерностей позволило создать двухзвенный МПФ, имеющий два полюса затухания слева от полосы пропускания и два справа. В результате в таком фильтре по сравнению с обычным МПФ почти в два раза лучше прямоугольность АЧХ и на 10-15 дБ выше потери в полосе задержания.

В настоящей работе в квазистатическом приближении [6] исследовано влияние геометрических параметров симметричной секции, состоящей из трех одинаковых параллельных МПР, на ее амплитудно-частотную характеристику. Полоски крайних МПР кондуктивно подключены к 50-омным линиям передачи. Рассматривалось два варианта кондуктивного подключения: симметричный и антисимметричный. При симметричном варианте конфигурация полосок МПР вместе с точками подключения линий имеет зеркальную симметрию, а при антисимметричном - осевую, как показано на рис. 1. Таким образом, для обоих вариантов обе точки кондуктивного подключения полосок МПР располагались на одинаковом расстоянии L_c от соответствующих концов полосок. Длина области связи МПР варьировалась параллельным смещением полосок относительно друг друга на величину L_a . Величина L_a считалась положительной, если центральная полоска секции смещена в направлении точек подключения линий передачи (см. рис. 1, а+, б+), и отрицательной, если центральная полоска смещена в противоположном направлении (см. рис. 1, а-, б-). Предполагалось, что подложка микрополосковой секции выполнена из керамики ТБНС ($\epsilon_r = 80$) и имела толщину $H = 1$ мм.

На рис. 1 приведены АЧХ четырех фильтров. Точками изображены АЧХ фильтров с симметричным подключением к внешним линиям, сплошными линиями - АЧХ фильтров с антисимметричным подключением. В расчете использовались следующие параметры: ширина полосок $w = 2$ мм, зазор между ними $S = 2$ мм, длина $l = 20$ мм, собственная добротность резонаторов

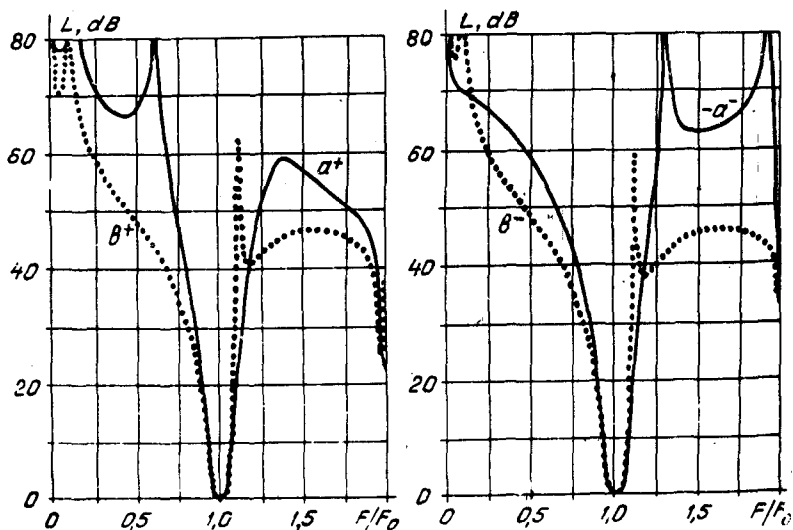
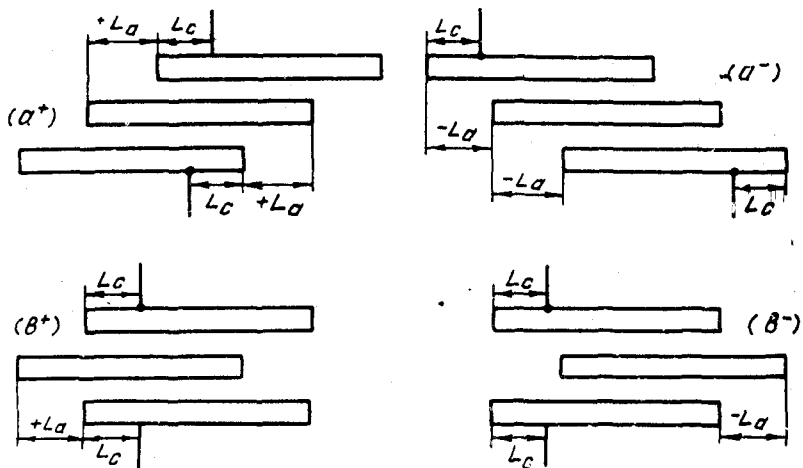


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики для четырех конструкций трехзвенных микрополосковых фильтров

$Q = 400$, $L = 5$ нм и $L = 50$ нм. При этом первая резонансная частота МПР с учетом концевых емкостей полосок $F \downarrow 1$ ГГц.

Из рисунков видно, что АЧХ всех рассмотренных фильтров совпадают только вблизи полосы пропускания. Для обоих случаев симметричного варианта подключения секции ($b+$ и $b-$) более крутым является правый склон АЧХ, благодаря наличию полюса затухания вблизи полосы пропускания. Видно также, что при симметричном подключении АЧХ секции слабо зависит от знака L , т.е. от направления смещения резонаторов. При этом полюс затухания, расположенный слева от полосы пропускания, всегда находится далеко от нее и поэтому практически не влияет на прямоугольность АЧХ.

При антисимметричном варианте подключения секции ($a+$ и $a-$) направление смещения резонаторов существенно влияет на АЧХ фильтра. При положительном знаке L два полюса затухания располагаются слева от полосы пропускания, обеспечивая заграждение в низкочастотной области более 65 дБ. В этом случае АЧХ фильтра симметрична вплоть до уровня $L = 50$ дБ. При отрицательном знаке L два полюса затухания располагаются справа от полосы пропускания, обеспечивая заграждение в высокочастотной области более 60 дБ. Отметим, что из всех четырех рассмотренных фильтров максимальной прямоугольностью АЧХ обладает фильтр ($a+$). Он обеспечивает хорошее заграждение как слева, так и справа от полосы пропускания.

Природа полюсов затухания на АЧХ рассмотренной секции, как и на АЧХ двухзвенной микрополосковой секции [7], заключается во взаимной компенсации емкостной и индуктивной связи МПР. Поэтому, варьируя параметры секции, можно не только перемещать полюсы затухания, но и уничтожать и создавать новые.

В частности при антисимметричном подключении и максимальной длине области связи МПР ($L = 0$) наблюдаются два полюса затухания, расположенных справа от полосы пропускания. При смещении МПР в область отрицательных значений L эти полюсы сохраняются. Однако они перемещаются вправо и расстояние между ними увеличивается. При смещении МПР в область отрицательных значений L_0 эти полюсы быстро сближаются и исчезают, превращаясь в обычный максимум затухания. При этом появляются два полюса слева от полосы пропускания, расстояние между которыми увеличивается.

При симметричном подключении секции и $L_a = 0$ наблюдаются по одному полюсу затухания слева и справа от полосы пропускания. Частота левого полюса затухания понижается при раздвижке резонаторов как в область положительных, так и в область отрицательных значений L_a . Частота же правого полюса при раздвижке МПР в любую сторону сначала возрастает, а затем убывает, приближаясь к полосе пропускания. Причем при смещении МПР в область отрицательных значений L_a полюс приближается к полосе пропускания быстрее.

Очевидно, что смещение резонаторов друг относительно друга изменяет связи между резонаторами, а, значит, изменяет ширину полосы пропускания и потери в ней. На рис. 2 представлены зависимости минимальной величины затухания СВЧ мощности в полосе пропускания фильтров L_0 от относительного смещения резонаторов L_a/L_1 . Сплошная линия относится к

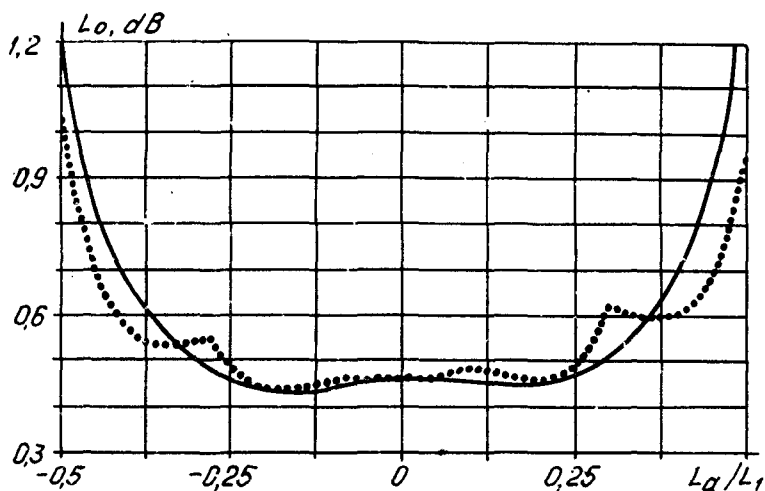


Рис. 2. Зависимости минимальных потерь в полосе пропускания симметричной секции (b) и антисимметричной секции (a) от смещения полосок резонаторов

фильтру с антисимметричным подключением к линиям передачи, пунктирная линия относится к фильтру с симметричным подключением. На рис. 3 для этих же фильтров показаны зависимости относительной ширины полосы пропускания по уровню 3 дБ от относительного смещения МПР. Совпадение сплошной и пунктирной линий на рисунке говорит о том, что ширина полосы пропускания практически не зависит от симметрии подключения МПФ к линиям передачи.

На рис. 4 точками показана зависимость частоты правого полюса затухания от величины зазора S между полосками для секции с симметричным подключением в случае $L_a = 0$ и $L_c = 0$. Сплошными линиями – аналогичные зависимости для секции с антисимметричным подключением. Как правило, на АЧХ секции с антисимметричным подключением наблюдаются справа от полосы пропускания два полюса затухания. Однако, из рис. 4 видно, что при некоторых величинах зазора S такая секция вообще не

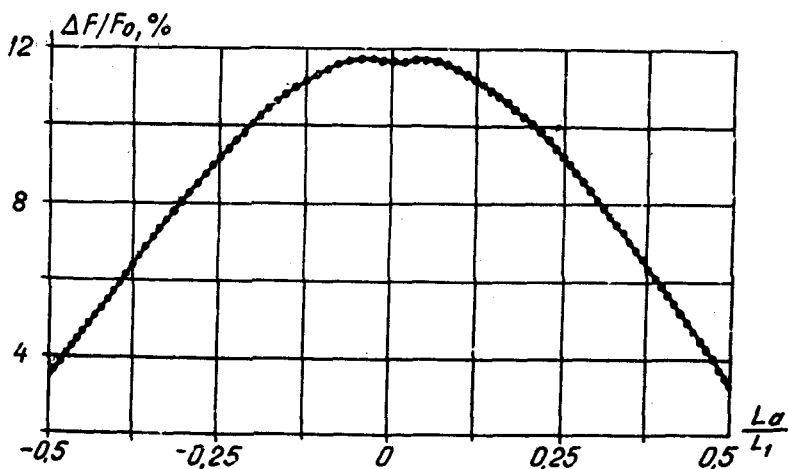


Рис. 3. Зависимости ширины полосы пропускания фильтров от величины смещения полосок резонаторов

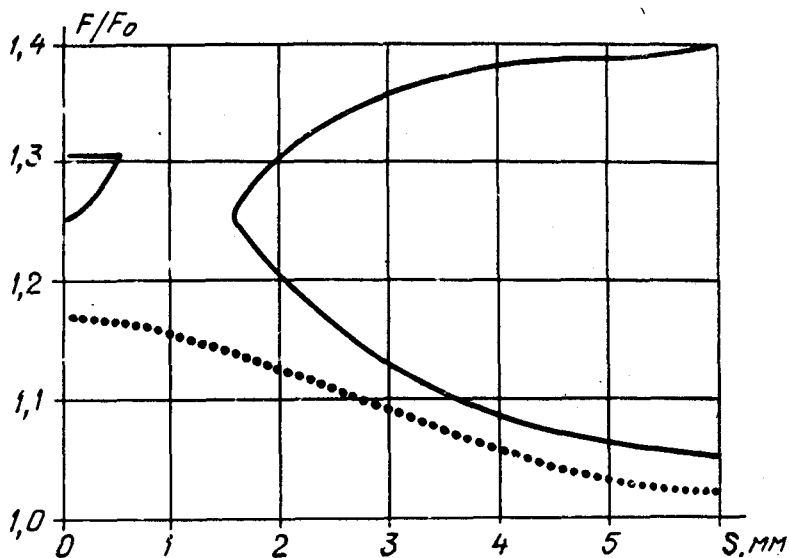


Рис. 4. Зависимости частоты полюсов затухания от величины зазора между МПР

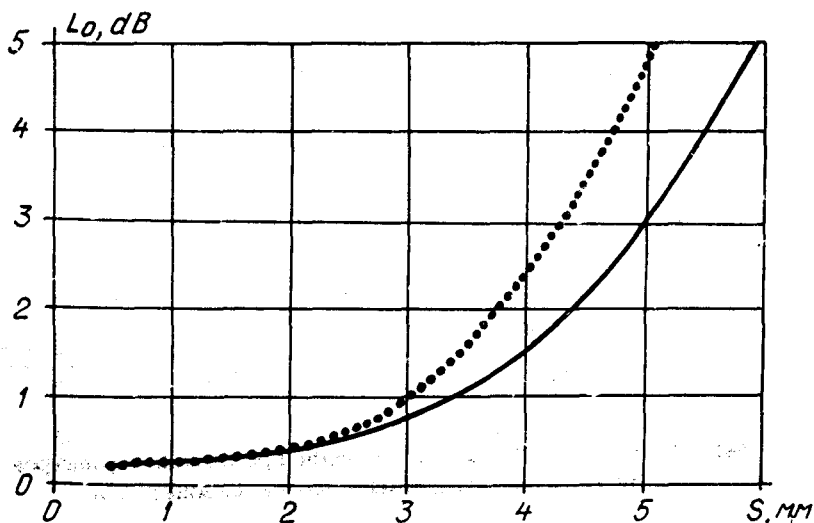


Рис. 5. Зависимости величины минимальных потерь в полосе пропускания от зазора между МПР

имеет полюсов затухания справа от полосы пропускания. На рис. 5 представлены зависимости минимальных потерь в полосе пропускания от величины зазора S при $L_0 = 0$. Исследование показало, что в секции как с симметричным, так и антисимметричным подключением полюс затухания с ростом S приближается к полосе пропускания. Но в секции с симметричным подключением полюс затухания подходит ближе.

Заключение. В работе исследованы АЧХ трехзвенных микрополосковых секций с осевой и зеркальной симметрией, в которых полоски крайних резонаторов кондуктивно связаны с линиями передачи. Показано, что подбором параметров таких секций можно получать полосовые фильтры, имеющие либо симметричную и максимально прямоугольную АЧХ, либо АЧХ с высокой крутизной правого и левого склона. Фильтры с наибольшим затуханием вне полосы пропускания реализуются только на осесимметричной секции с антисимметричным подключением к линиям передачи.

Список литературы

1. Заикин В. А., Смыслов Г. М. Выбор диэлектрической подложки при миниатюризации полосно-пропускающих фильтров дециметрового диапазона // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 9(423). - С. 9--11.
2. Беляев Б. А., Тюрнев В. В., Елисеев А. К., Шихов Ю. Г., Разгин Г. М. Исследование микрополосковых резонаторов и устройств СВЧ на их основе. Ч. III. - Красноярск, 1988. - 62 с. - (Препринт №468Ф/ АН СССР. ИФСО).
3. Лифшиц Ю. А., Симин Г. С., Хрусталева В. В. Высокодобротные термостабильные элементы СВЧ ИС // Микроэлектроника. - 1985. -14, Вып. 3. - С. 281-284.
4. Беляев Б. А., Тюрнев В. В., Елисеев А. К., Разгин Г. М. Исследование микрополосковых резонаторов и устройств СВЧ на их основе. - Красноярск, 1987. - 55 с. (Препринт №415Ф/ АН СССР ИФСО).
5. Беляев Б. А., Тюрнев В. В. Двухзвенный микрополосковый СВЧ фильтр. Ч. I. - Красноярск, 1990. - 60 с. - (Препринт №652Ф/ АН СССР ИФСО).
6. Тюрнев В. В. Квазистатическая теория связанных микрополосковых линий. - Красноярск, 1989. - 19 с. - (Препринт №57Ф/ АН СССР ИФСО).
7. Беляев Б. А., Тюрнев В. В. Исследование частотных зависимостей коэффициентов связи микрополосковых резонаторов. - Красноярск, 1991. - 43 с. - (Препринт №695Ф/ АН СССР. ИФСО).