

## ВОЛНОВОДНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ФИЛЬТРЫ

**В.В. Чижов, А.А. Звягинцев**

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,  
пл. Свободы, 4, Харьков, 61077

e-mail: [valery.v.chizhov@univer.kharkov.ua](mailto:valery.v.chizhov@univer.kharkov.ua)

В работе рассмотрен принцип работы и конструкция новой модификации электрически-управляемого волноводного фильтра, принцип работы которого основан на использовании связанных колебаний  $HE_{10(\delta+1)}$  и  $HE_{20\delta}$  – типа. Описана методика построения фильтра и приведены экспериментальные зависимости его характеристик. В ходе экспериментальных исследований использовались ферриты различных марок (ЗСЧ18, ЗСЧ19 и 10СЧ6Б). Установлено, что в зависимости от марки феррита относительная величина участка эффективной перестройки фильтра составляла 5-7%, при этом величина собственной добротности составляла  $Q_0 \approx 2000-4500$  ед.

### ВВЕДЕНИЕ

Электрически управляемые фильтры (ЭУФ) занимают особое место в ряду частотно-избирательных устройств микроволнового диапазона длин волн. Это связано с целым рядом существенных преимуществ по сравнению с механически перестраиваемыми фильтрами (МПФ), такими, как:

- а) недостижимая для МПФ скорость частотной перестройки;
- б) возможность электронной настройки на «0» однотипных фильтров при существующих технологических разбросах в изготовлении как волноводных, так и магнитодиэлектрических элементов фильтров;
- в) возможность осуществления автоматической подстройки частоты ЭУФ в процессе его эксплуатации.

Подобные фильтры позволяют использовать их при работе с большими мощностями (несколько кВт в непрерывном режиме или несколько МВт в импульсном).

### КОНСТРУКЦИЯ ФИЛЬТРА

Конструкция рассматриваемого ЭУФ (рис.1) представляет собой отрезок заперделного волновода - 1, в центре которого размещен комбинированный ферритодиэлектрический вкладыш, состоящий из тонкого ферритового образца 2 ( $l/a \approx 0.07$ , где  $a$  – ширина отрезка волновода,  $l$  – толщина ферритового вкладыша) и двух идентичных, симметрично

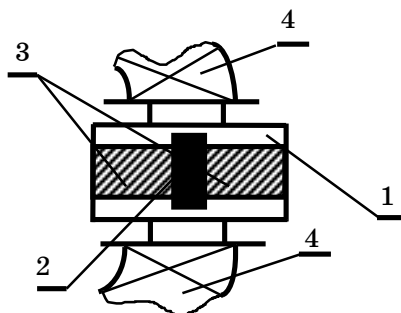


Рисунок 1 – Конструкция ЭУФ.  
Поперечное сечение

расположенных в волновом канале диэлектрических элементов, имеющих форму прямоугольных параллелепипедов – 3, расположенных в поле электромагнита. Материал диэлектрика – лейкосапфир, при этом главная оптическая ось лейкосапфировых образцов ориентирована вдоль волнового канала ЭУФ.

Выбор конструкции ЭУФ позволяет реализовать при работе фильтра принцип управляемой связи между различными, изначально вырожденными резонансами в одном

рабочем объеме [1-4]. На практике достичь вырождения резонансов в подобных конструкциях достаточно сложно, однако различие резонансных частот используемых резонансов на 10-15 МГц фактически не влияет на параметры фильтра. Экспериментальное исследование описанной конструкции фильтра позволило установить, что эффект управляемой связи между используемыми резонансами в подобных структурах наблюдается не только при отсутствии вырождения резонансов, но и при их значительной отстройке друг от друга. В таком случае величина перестройки существенно уменьшается без изменения качественных характеристик. Использование в конструкции фильтра лейкосапфира дает возможность повысить собственную добротность фильтра, т.е. увеличить крутизну склонов АЧХ и уменьшить ширину полосы пропускания фильтра. Величина зазоров между комбинированным ферритодиэлектрическим вкладышем и стенками волнового канала, а также длина отрезка волновода, в котором установлен феррито-диэлектрический вкладыш, выбираются из требований к электромагнитным параметрам ЭУФ: уровня потерь в полосе пропускания, ширине полосы, скорости перестройки резонанса, а также требований к массогабаритным параметрам фильтра, т.к. увеличение зазоров ведет к увеличению электромагнитной системы 4 фильтра. Конструктивно система подмагничивания ЭУФ выполнена в виде электромагнита с двумя обмотками. При этом первичная обмотка работает в режиме постоянного электромагнита, а вторичная – в режиме переменного электромагнита. В таком случае первичная обмотка служит для начальной настройки фильтра, а вторичная – как для перестройки фильтра, так и для обеспечения работы системы автоматической подстройки частоты (АПЧ).

При электродинамическом расчете конструктивных элементов ЭУФ (сечение волнового канала, размеры диэлектрических вкладышей) использовались результаты, полученные в работах [1,2]. На основании результатов работ [1,2], а также результатов, полученных нами в ходе экспериментальных исследований, следует отметить, что:

1 Указанный электродинамический расчет носит приближенный характер из-за сложности исследуемой структуры (наличие зазоров и гиротропных и анизотропных включений), поэтому в реальной конструкции необходима экспериментальная “доводка” размеров диэлектрических образцов.

2 “Доводка” размеров диэлектрических и ферритовых образцов может быть значительно облегчена с помощью измерительных секций, описанных в работах [2,3].

3 Изменение ориентации главной оптической оси лейкосапфира на  $90^\circ$  (ось  $C$  направлена параллельно силовым линиям внешнего подмагничивающего поля) приводит к увеличению собственной добротности системы, однако усложняет “доводку” размеров диэлектрических образцов.

4 Наличие анизотропных образцов позволяет классифицировать рабочие типы колебаний – как колебания  $HE_{10(+1)}$  - и  $HE_{20}$  - типа.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис.2 приведены экспериментальные зависимости изменения резонансной частоты  $HE_{10(+1)}$  - и  $HE_{20}$  - типов колебаний от величины внешнего подмагничивающего поля (для удобства приведены зависимости от величины тока в катушке электромагнита). На рис.2 точка с координатами  $I_k$ ,  $F_k$  соответствует окончанию участка эффективной перестройки исследуемых резонансов.

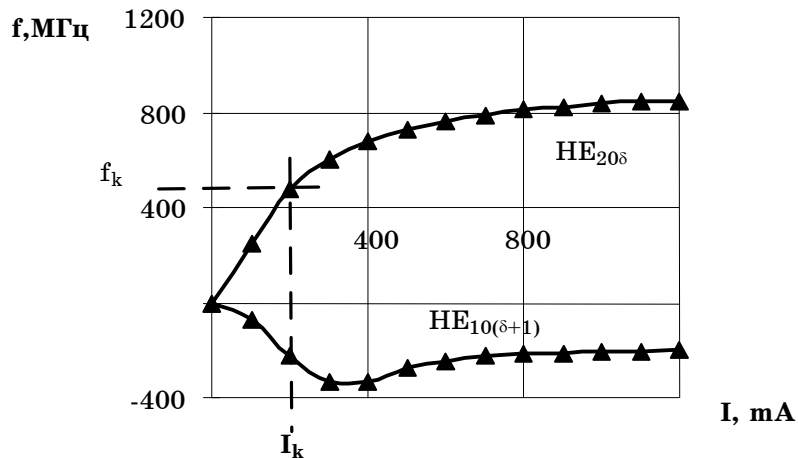


Рисунок 2 - Зависимость изменения резонансных частот колебаний  $HE_{10(\delta+1)}$  и  $HE_{20\delta}$  от внешнего подмагничивающего поля

С учетом более эффективной перестройки резонансной частоты в качестве рабочего типа ЭУФ был выбран резонанс  $HE_{20\delta}$ . Участок АЧХ при  $f_p \geq f_k$  не может быть использован при работе фильтра, т.к. он соответствует состоянию “технического” насыщения феррита.

Для более подробного анализа работы фильтра на рис.3 приведена зависимость изменения резонансной частоты колебания  $HE_{20\delta}$  - типа от величины внешнего подмагничивающего поля. Здесь  $f_0$  - значение резонансной частоты исследуемой структуры при размагниченном ферритовом образце и при отсутствии внешнего подмагничивающего поля. Приведенная зависимость отражает изменение резонансной частоты

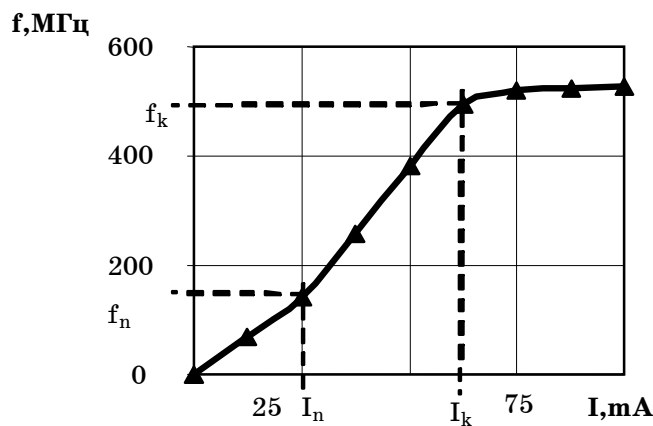


Рисунок 3 – Зависимость резонансной частоты резонанса  $HE_{20\delta}$  при малых полях подмагничивания

при малых токах катушки магнитной системы, т.е. при малых подмагничивающих полях. В нашем случае величина внешнего подмагничивающего поля в области феррита изменялась в пределах 25 - 75 Э.

Для наиболее эффективного использования ЭПФ выбирается линейный участок АЧХ:  $f_n < f_p < f_k$ , т.к. в этом случае не возникают трудности при использовании в структуре ЭУФ системы АПЧ. Наличие технологических разбросов в конструкциях однотипных фильтров и

магнитодиэлектрических элементов компенсируется величиной начального внешнего подмагничивающего поля.

Приведенные зависимости и численные данные соответствуют ЭУФ с поперечным подмагничиванием ферритового образца. При определенном изменении конструкции фильтра, размеров ферритового и лейкосапфировых образцов, а также формы ферритового образца, с целью осуществления преимущественно продольного подмагничивания феррита в волновом канале фильтра и использовании принципа управляемой связи между практически вырожденными резонансами одного рабочего объема возможно увеличение используемого линейного участка АЧХ на 10-12%.

#### ВЫВОДЫ

1 Экспериментально исследована структура волноводно-диэлектрического резонатора с комбинированным феррито-диэлектрическим вкладышем, на основании чего предложена общая конструкция электрически управляемых селективных устройств микроволнового диапазона длин волн.

2 Установлено, что эффект управляемой связи между низшими типами колебаний существует не только при наличии вырождения (или малой отстройки) данных типов колебаний, но и при их отстройке на значительную величину (500 МГц).

3 Приведена методика выбора оптимального режима работы ЭУФ как при поперечном, так и продольном подмагничивании ферритового образца фильтра.

4 Проведены лабораторные исследования ЭУФ с различными марками ферритов (ЗСЧ18, ЗСЧ19, 10СЧ6Б), при этом установлено, что линейный участок эффективной перестройки частоты фильтра изменялся в пределах 5-7%, а величина собственной добротности фильтра составляла 2000-4500 ед.

#### SUMMARY

##### THE WAVEGUIDE ELECTRICALLY-TUNED FILTERS

V. V. Chizhov, A. A. Zvyagintsev

Kharkov National University, Svobody Sq., 4, Kharkov, 61077, Ukraine

Ph: (0572) 707-54-24, 707-53-19, e-mail: valery.v.chizhov@univer.kharkov.ua

*The principle of functioning and structure of electrically-tuned waveguide filter (ETF) have been observed. Similar filters allow to use it in functioning with powerful energy sources (up to megawatts in pulse mode). The functioning principle of observed filter was based on using of coupled  $HE_{10(\delta+1)}$  and  $HE_{20}$  - modes.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробкин В.А., Двадненко В.Я., Великоцкий В.Н. Исследование управляемого возбуждения волны высшего типа в прямоугольном волноводе с симметричной ферритовой и ферритодиэлектрической структурой // Известия ВУЗов. Радиофизика. – 1981. – Т.24, №10. – С. 1291-1292.
2. Коробкин В.А., Пятак Н.И., Двадненко В.Я. и др. Перестраиваемые ферритовые фильтры на основе волноводно-диэлектрических резонаторов // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. – 1983. – Т.26, №1. – С. 25-31.
3. Чижов В.В., Де-Мондерик В.Г., Старшинова Е.И., Двадненко В.Я. и др. Секция для неразрушающего контроля ферритовых элементов фазовращателей // XVI научно-техническая конференция НИИП: Материалы конференции. – Жуковский, 1991. – Ч.2. – С.72.
4. Чижов В.В., Звягинцев А. А. Особенности контроля параметров ферритовых элементов СВЧ-устройств // 7-я Международная Крымская конференция «СВЧ – техника и телекоммуникационные технологии»: Материалы конференции. – Севастополь, 1997. – С. 622-623.

**Чижов В.В.**, научн. сотрудник;

**Звягинцев А.А.**, кандидат физ.-мат. наук,

доцент

*Поступила в редакцию 28 сентября 2008 г.*