

## **ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СВЯЗИ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ**

***Константин Якубович Аубакиров***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31

***Александр Викторович Макеев***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, аспирант, тел. (383)361-07-31, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

***Анна Евгеньевна Жукова***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, тел. (383)361-07-31

В работе предложена методика проектирования элементов связи между резонаторами полосового фильтра.

**Ключевые слова:** электрические фильтры, электромагнитная совместимость, настройка.

## **ELECTRODYNAMIC DESIGN OF STRIP FILTER COMMUNICATIONS**

***Konstantin Ya. Aubakirov***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor of Department of Special Devices for Innovation and Metrology, phone: (383)361-07-31

***Alexander V. Makeev***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

***Anna E. Zhukova***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (383)361-07-31

A method for designing communication elements between resonators of a bandpass filter is offered.

**Key words:** electrical filters, electromagnetic compatibility, configuration.

### ***Введение***

Как показано в [1], методика проектирования электрических фильтров по рабочим параметрам, основанная на использовании низкочастотных фильтров-

прототипов, позволяет определить как внешние добротности первого и последнего резонатора фильтра:

$$(Q_e)_A = \frac{g_0 g_1 \omega_1'}{w} = \frac{b_1}{(J_{01}^2 / G_A)}, \quad (Q_e)_B = \frac{g_n g_{n+1} \omega_1'}{w} = \frac{b_n}{(J_{n,n+1}^2 / G_B)},$$

так и коэффициенты связи между  $j$  и  $j+1$  резонаторами

$$k_{j,j+1|j=1 \div n-1} = \frac{w}{\omega_1' \sqrt{g_j g_{j+1}}},$$

где  $g_0 \div g_{n+1}$  – параметры нормированного фильтра прототипа [3],  $b_1 \div b_n$  – параметры крутизны резонаторов фильтра [2, т.1],  $\omega_0 = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$  и  $w = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0}$  – центральная частота полосы пропускания фильтра и соответственно относительная полоса пропускания,  $J_{01}$  и  $J_{n,n+1}$  – параметры инверторов проводимости, обеспечивающих внешние добротности идеального сосредоточенного фильтра, нагруженного на проводимости  $G_A$  и  $G_B$ .

Предложенная в [1] методика расчета настроечных кривых по методу Dishal [5], используя [4], показала высокую эффективность при настройке 6-ти и 8-ми резонаторных фильтров для систем цифрового телевидения.

В то же время определение геометрических размеров элементов связи между одинаковыми объемными резонаторами [2] требует решения электродинамической задачи для окон в стенках конечной толщины. Такая возможность реализуется в рамках 3D моделирования с помощью «GST Studio Suite» для пары резонаторов [2, т.2].

Так как в диапазоне дециметровых телевизионных каналов расчетная величина  $k_{j,j+1}$  лежит в интервале от 0,0092 до 0,017, использование этой методики [4] представляется целесообразным как для определения резонансной частоты и собственной добротности резонаторов (рис. 1), так и для проектирования регулируемых элементов связи между резонаторами с заданными пределами изменения  $k_{j,j+1}$  (рис. 3, а, б).

## **Результаты**

Сборка из двух резонаторов (рис. 1) представлена на (рис. 2), а в табл. 1 приведены результаты расчета коэффициента связи в зависимости от ширины «окна».

Зависимость коэффициента связи пары резонаторов от ширины окна –  $S$

$S$ [мм]	10	20	24	28	32
$k_{j,j+1}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$1,76 \cdot 10^{-3}$	$3,057 \cdot 10^{-3}$	$4,562 \cdot 10^{-3}$	$5,982 \cdot 10^{-3}$

Зависимость  $k_{j,j+1}$  от  $S$  для «сборки» (рис.2) была определена для полосковой части резонатора прямоугольного сечением  $b = 85 \times 85$  мм и диаметре внутреннего короткозамкнутого проводника равном  $d = 28$  мм, высота области связи  $h = 78$  мм. Коаксиальная часть резонатора характеризуется:  $D = 27,5$  и  $d = 9$  мм, изменением длины этой части, обеспечивается грубая перестройка в диапазоне частот.

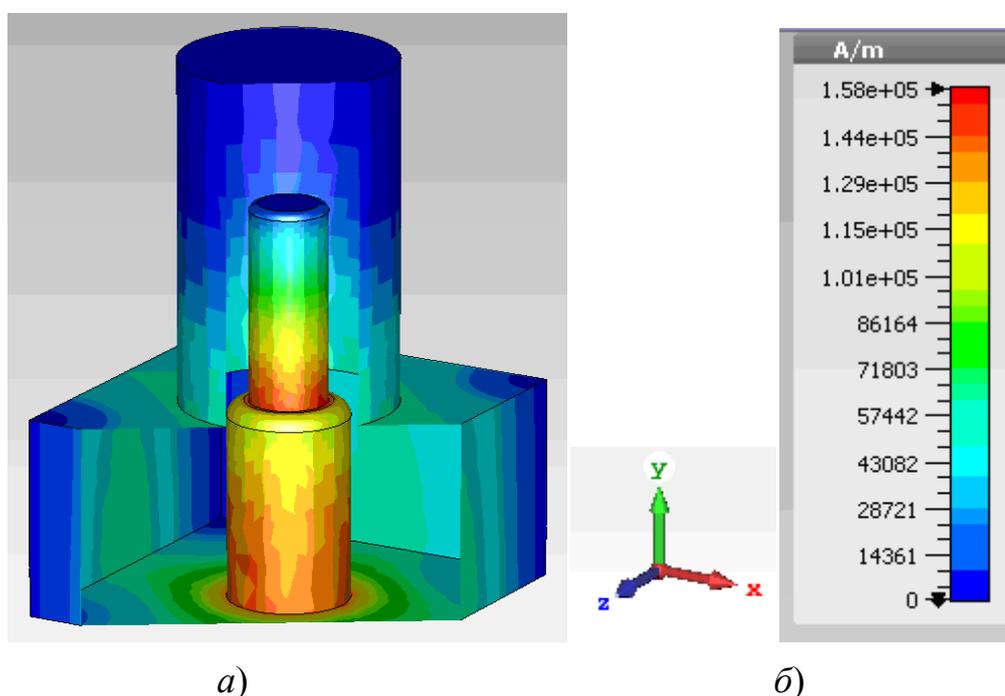


Рис. 1. Электромагнитная модель резонатора смешанной коаксиально-полосковой конструкции для определения резонансной частоты:

а) распределение плотности тока проводимости; б) шкала напряженности магнитного поля на поверхности проводника

Предложенный в [2 т.2] метод определения коэффициента связи между двумя одинаковыми резонаторами, требует получения двугорбой кривой коэффициента передачи (связь выше критической) и, как следствие, установку двух Waveguide Port и сопутствующих им дополнительных элементов связи. Также анализ кривых  $|S_{21}(\omega)|^2$  требует дополнительных затрат времени.

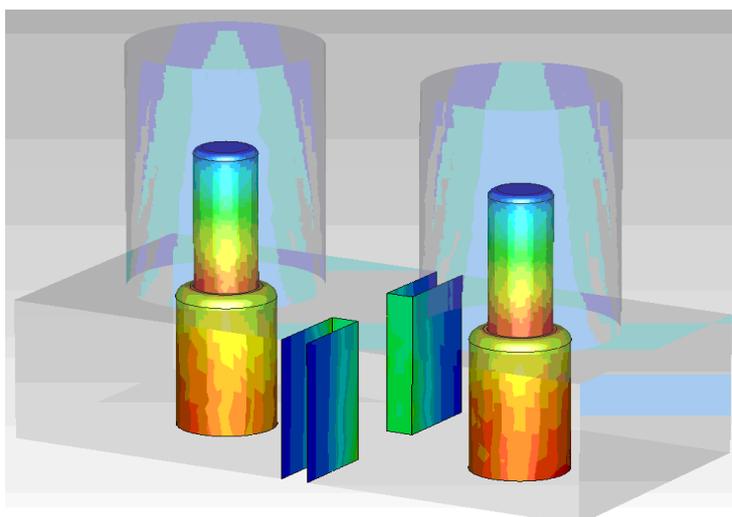


Рис. 2. Сборка двух резонаторов, связанных через «окно» в перегородке

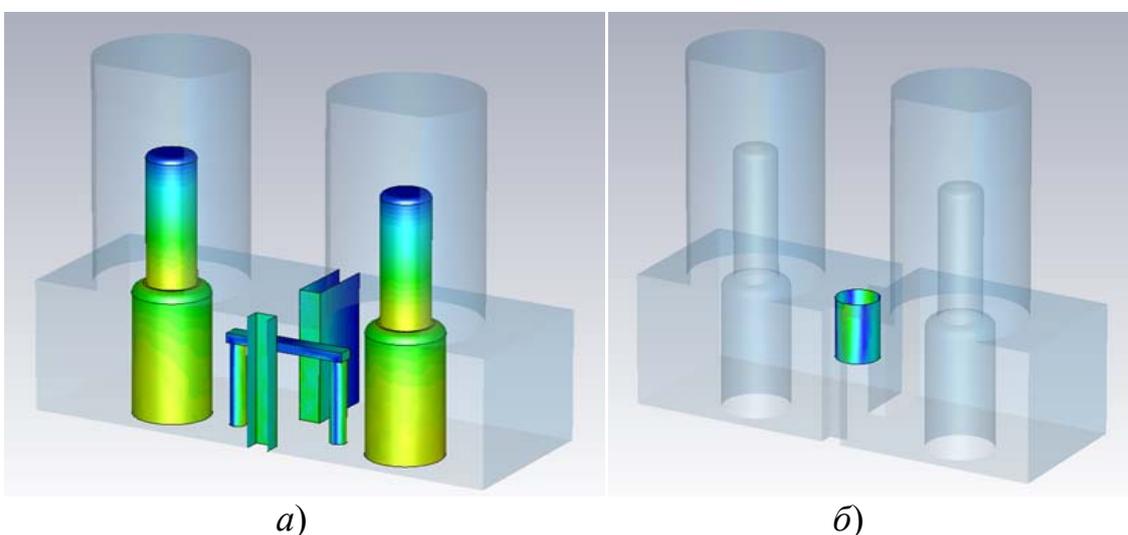


Рис. 3. Два резонатора, связанных регулируемыми элементами связи:  
 а) связанных короткозамкнутой петлей; б) связанных короткозамкнутым винтом в «окне»

### Заключение

В настоящей работе использован альтернативный способ вычисления коэффициента связи. Так, при задании в плоскости симметрии, разделяющей связанные по электромагнитному полю объемы, электрической и магнитной стенки, в режиме Eigenmode Calculation определяются две частоты –  $f_{H_{\tau=0}}$

и  $f_{E_{\tau=0}}$  с высокой точностью. Тогда  $k_{св} = \frac{|f_{H_{\tau=0}} - f_{E_{\tau=0}}|}{\sqrt{f_{H_{\tau=0}} \cdot f_{E_{\tau=0}}}}$  для соответствующей

пары резонаторов. Данные табл. 1 позволяют определить минимально необходимый коэффициент связи из соображений электрической прочности фильтра. Увеличение последнего при настройке осуществляется перемещением короткозамкнутых винта и петли (рис. 3, а, б).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полоснопропускающие фильтры из цепочек одинаковых резонаторов для решения задач электромагнитной совместимости / К. Я. Аубакиров, А. Г. Вихорев, В. П. Разинкин, А. В. Макеев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 42–48.
2. Маттей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. В 2 томах: Пер. с англ. / Л. В. Алексеева и Ф. В. Кушнера. – М.: Связь, т. 1 1971. – 440 с., т. 2 1972. – 496 с.
3. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров. – М.: Советское радио, 1974. – 288 с.
4. Курушин А. А. Школа проектирования СВЧ – устройств в GST Studio Suite / А. А. Курушин.- М.: Сам полиграфист, 2014. – 433 с.
5. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003.- 496 с.
6. Dishal M. Alignment and Adjustment of Synchronously Tuned Multiple-Resonant-Circuit Filters.-«Proc. IRE», Nov. 1951, v. 39, № 11, pp. 1448-1455.

© К. Я. Аубакиров, А. В. Макеев, А. Е. Жукова, 2019