

# Перестраиваемый моноблочный фильтр со структурой сегнетоэлектрической пленки

Нгуен Вьет Ан<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

<sup>2</sup>Государственный технический институт им. Ле Куи Дона

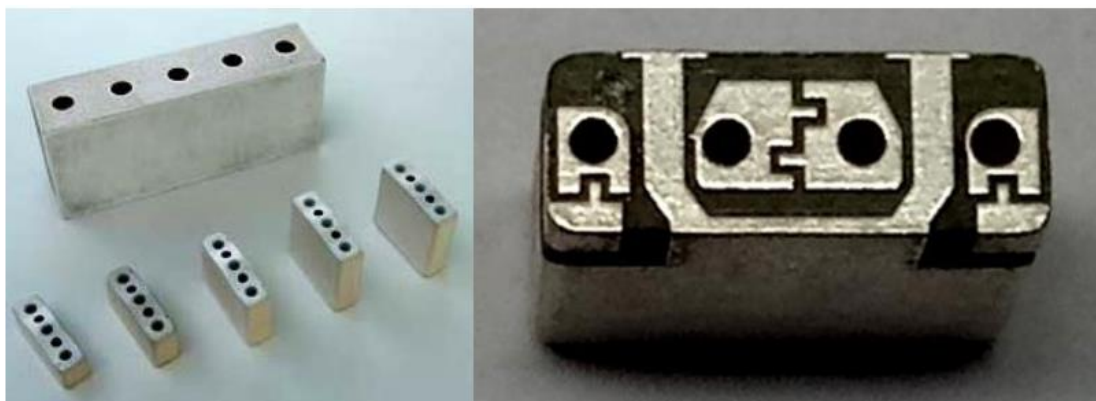
**Аннотация:** Рассмотрено проектирование многозвенного моноблочного фильтра на основе температурно-стабильной сегнетоэлектрической пленки (СЭП). Выполнено моделирование АЧХ и показана возможность ее электрической перестройки в заданном частотном диапазоне.

**Ключевые слова:** перестраиваемый фильтр, электрическая перестройка, сегнетоэлектрическая пленка.

## 1. Введение

В связи с бурным развитием электронных систем требования к частотно-избирательным устройствам постоянно возрастают, в частности, требования к форме амплитудно-частотной характеристики, расположению дополнительных полюсов затухания, уровню вносимых потерь и т. д. При этом высокие требования к электрическим характеристикам неизбежно сопровождаются ужесточением требований к габаритным размерам, эксплуатационным и стоимостным (экономическим) параметрам системы.

В диапазонах частот систем передачи навигационных данных, в частности таких, как GPS или ГЛОНАСС (L-диапазон), зачастую возможно выполнить вышеуказанные требования с использованием сверхвысокочастотных (СВЧ) фильтров на основе металлизированных монолитных керамических блоков (МКБ) [1-4]. На рисунке 1 показан пример СВЧ моноблочного фильтра.



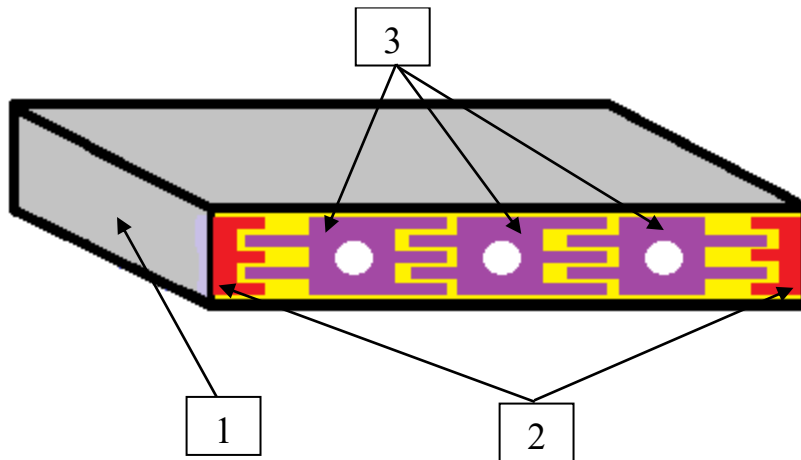
**Рисунок 1.** Вид металлизированных керамических блоков и классическая топология фильтра 4-го порядка с двумя полюсами затухания. [4].

Сегнетоэлектрические материалы представляют интерес для СВЧ техники и их основными свойствами являются: высокая диэлектрическая проницаемость и ее зависимость от внешнего электрического поля. Это свойство позволяет реализовать конденсатор с электрической управляемой емкостью, линию передачи с электрической управляемой фазовой скоростью, электрические перестраиваемые фильтры, переключатели и т. д. В данной работе рассмотрено проектирование

малогабаритного СВЧ перестраиваемого ПФ на основе керамического монолитного блока со структурой сегнетоэлектрической пленки.

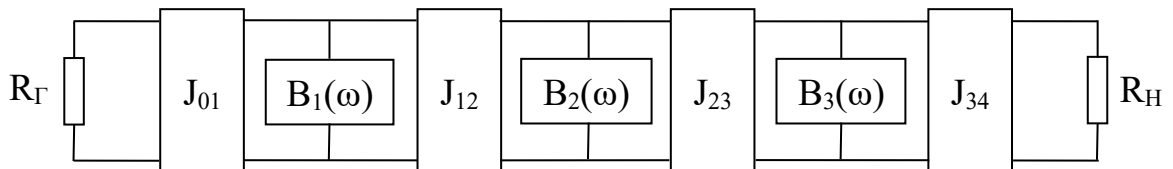
## 2. Выбор конструкции и расчет параметров СВЧ ПФ

Конструкция ПФ на КМБ, приведена на рисунке 2. ПФ реализуется на основе керамического монолитного блока - 1, конденсаторы связи выполнены в виде встречно штыревых структур (ВШП) на открытом конце КМБ – 3. СЭП сформирована в зазорах ВШП коаксиальных резонаторов с задачей изменения величины параметров конденсаторов связи при воздействии электрического поля, который подается на электроды 2. Таким образом, будет реализован СВЧ перестраиваемый ПФ на основе коаксиальных керамических резонаторов в структуре монолитных блоков с сегнетоэлектрической пленкой.



**Рисунок 2.** Конструкция сверхвысокочастотного перестраиваемого фильтра на основе коаксиальных керамических резонаторов в структуре монолитных блоков с сегнетоэлектрической пленкой: 1 - керамический монолитный блок с коаксиальными резонаторами; 2 – электроды на поверхности сегнетоэлектрической пленки; 3 - токопроводящие площадки, нанесённые на лицевую поверхность коаксиального керамического резонатора.

Для расчета параметров модели ПФ представленного на рисунке 2 можно рассмотреть ПФ в виде эквивалентной схемы из элементов с сосредоточенными элементами. На рисунке 3 показана обобщенная схема ПФ с инверторами проводимостей:



**Рисунок 3.** Обобщенная схема ПФ с инверторами проводимостей

Метод расчета коаксиальных резонаторов и ПФ с электрической перестройкой на СЭП рассмотрен в работах [5-9]. Параметры элементов схемы фильтра определяются следующими выражениями:

$$J_{01} = \sqrt{\frac{R_{\Gamma} \omega_0 C_{r1} \omega}{g_0 g_1 \omega_1}}, J_{12} = \frac{\omega \omega_0}{\omega_1} \sqrt{\frac{C_{r1} C_{r2}}{g_1 g_2}}, J_{23} = \frac{\omega \omega_0}{\omega_1} \sqrt{\frac{C_{r2} C_{r3}}{g_2 g_3}}, J_{34} = \sqrt{\frac{R_{\text{H}} \omega_0 C_{r3} \omega}{g_3 g_4 \omega_1}}, \quad (1)$$

$$C_{01} = \frac{J_{01}}{\omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{J_{01}}{R_\Gamma}\right)^2}}, C_{12} = \frac{J_{12}}{\omega_0}, C_{23} = \frac{J_{23}}{\omega_0}, C_{34} = \frac{J_{34}}{\omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{J_{34}}{R_H}\right)^2}}, \quad (2)$$

$$C_1 = C_{r1} - C_{01}^e - C_{12}, C_2 = C_{r2} - C_{12} - C_{23}, C_3 = C_{r3} - C_{34}^e - C_{23}, \quad (3)$$

$$C_{01}^e = \frac{C_{01}}{1 + \left(\frac{\omega_0 C_{01}}{R_\Gamma}\right)^2}, C_{34}^e = \frac{C_{34}}{1 + \left(\frac{\omega_0 C_{34}}{R_H}\right)^2}, \quad (4)$$

где:  $C_{r1}, C_{r2}, C_{r3}$  – Емкости контуров;  $C_1, C_2, C_3$  - Параллельные емкости;  $C_{01}, C_{12}, C_{23}, C_{34}$  - Емкости связи.  $J_{01}, J_{12}, J_{23}, J_{34}$  - Инверторы проводимости звеньев в обобщенной схеме ПФ;  $R_\Gamma$  и  $R_H$  - сопротивления генератора и нагрузки. Пусть  $R_\Gamma = R_H$  и  $J_{01} = J_{34}$ ;  $g_0, g_1, g_2, g_3, g_4$  - Нормированные параметры элементов схемы фильтра-прототипа нижних частот;  $\omega_0 = 2\pi f_0$  - Центральная частота характеристики ПФ;  $\omega'$  и  $\omega_1'$  - Чебышевские характеристики.

Коэффициенты связи между контурами  $k_{i,i+1}$ , внешняя добротность  $Q_e$  рассчитаются через коэффициенты инверсии инверторов проводимости таким образом:

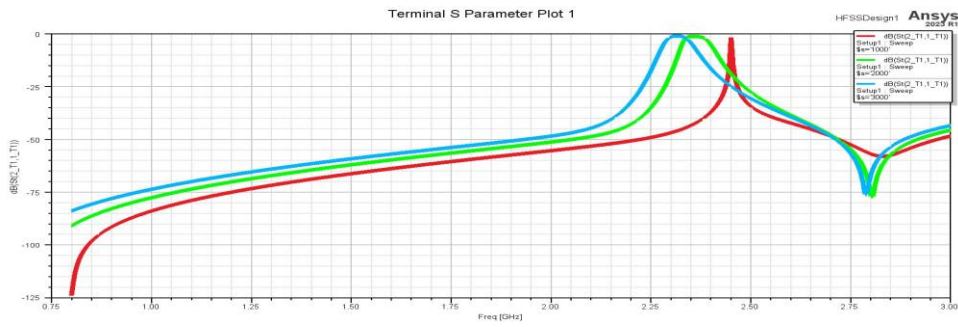
$$k_{i,i+1} = \frac{J_{ii+1}}{\sqrt{b_i b_{i+1}}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \frac{1}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}, \quad (5)$$

$$Q_e = \frac{b_1 R_\Gamma}{J_{01}^2} = \frac{b_4 R_H}{J_{34}^2} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} g_0 g_1, \quad (6)$$

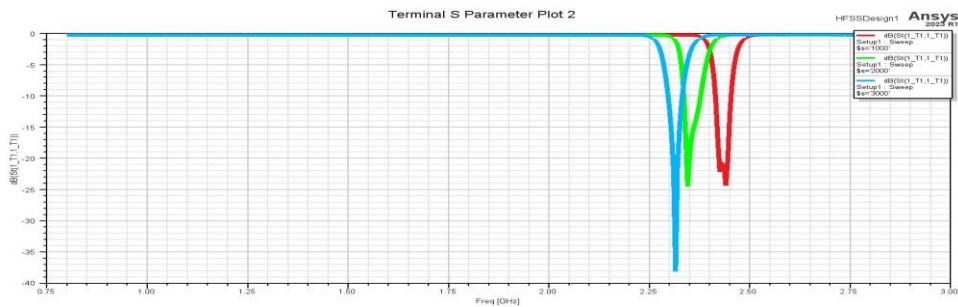
где:  $b_i$  - параметр крутизны реактивной проводимости;  $\Delta\omega$  - ширина полосы пропускания ПФ.

### 3. Моделирование ПФ

Моделирование и расчет фильтра выполнены с помощью программного обеспечения Ansys HFSS Electronics Desktop. Результаты расчета S-параметров, показаны на рисунках 4, 5.

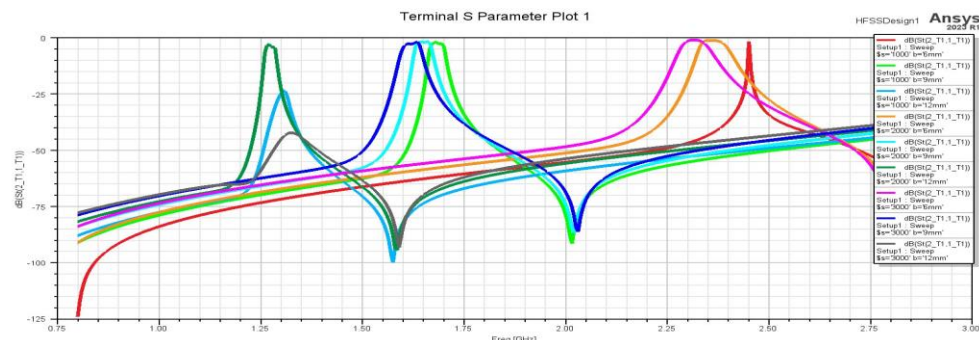


a)

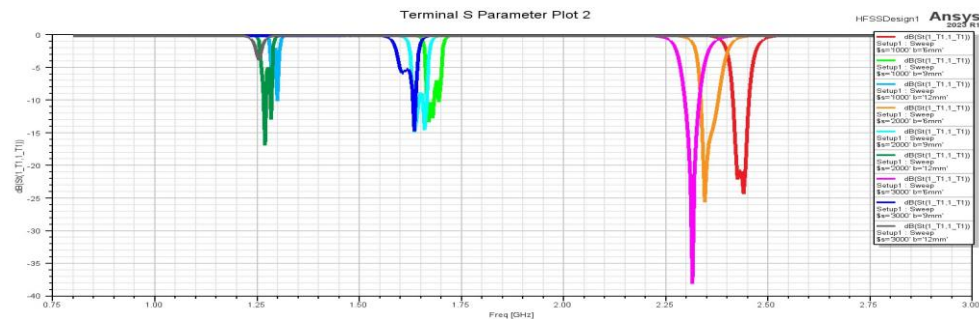


b)

**Рисунок 4.** Полученные S-параметры проектированной модели ПФ при изменении диэлектрической проницаемости СЭП: а) S21; б) S11.



a)



b)

**Рисунок 5.** Полученные S-параметры проектированной модели ПФ при одновременном изменении диэлектрической проницаемости СЭП и толщины керамического блока: а) S21; б) S11.

#### 4. Заключение

В данной работе показано проектирование малогабаритного СВЧ перестраиваемого ПФ на основе керамического монолитного блока со структурой сегнетоэлектрической пленки. Рассчитана АЧХ модели фильтра и показана возможность ее электрической перестройки. Очевидно, что изменение относительной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) сегнетоэлектрической пленки приводит к смещению центральной частоты и изменению ширины полосы пропускания проектируемого фильтра. Таким образом, подтверждена возможность реализации электрической перестройки частотных характеристик СВЧ ПФ на основе структуры с СЭП. Предложенная модель допускает проектирование перестраиваемого СВЧ ПФ за счёт варьирования различных параметров как по отдельности, так и в совокупности.

#### Список литературы

1. A.Iu Beliaikov et al., Band-pass ceramic filter with coplanar coupling element, Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Jaroslava Mudrogo, №. 7 (98), pp. 71-73 (2016).
2. E.V. Petrov, V.V. Popov, A.Iu Beliaikov, Small-size ceramic bandpass filter with wide suppression frequency band, Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Jaroslava Mudrogo, v. 1, №. 75, pp. 26-29 (2013).
3. Wang X., Wu K. L., Yin W. Y., A novel surface-mounted monoblock dielectric filter, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 4, №. 11, pp. 1822-1827 (2014).
4. R. Semernya, A. Vilenskiy, S. Chernyshev. Design of rf filters with high selectivity on monolithic ceramic blocks // itm web of conferences 30, 0 (2019). Crimico'2019. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20193006001>.
5. Г. Л. Маттей, л. Янг, е. М. Т. Джонс. Фильтры свч, согласующие цепи и цепи связи (ч1) // м: связь, 1971.
6. Д. Б. Халяпин. Коаксиальные и полосковые фильтры сверхвысоких частот // м: связь, 1969. – 64с.
7. А. Э. Баскакова. Перестраиваемые фильтры свч на элементах с сосредоточенными параметрами // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-петербург – 2016.
8. А. А. Иванов. Многослойные нанокompозитные сегнетоэлектрические пленки в устройствах свч // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-петербург - 2018.
9. Н. Н. Антонов, И. М. Бузии, О. Г. Вендик и др. Сегнетоэлектрики в технике свч // ред. О. Г. Вендика, м: сов. Радио. 1979 - 272 с.