



Открытое акционерное общество  
«Центральное конструкторское бюро автоматики»

# Компоненты многослойных интегральных схем СВЧ на основе LTCC

**Авторы:**

**Абрамова Елена Геннадьевна**

**инженер-конструктор 2 к.,**

**Гомзикова Татьяна Александровна**

**инженер-конструктор**

**Докладчик:**

**Абрамова Елена Геннадьевна**

# Разработка схемы электрической ФНЧ

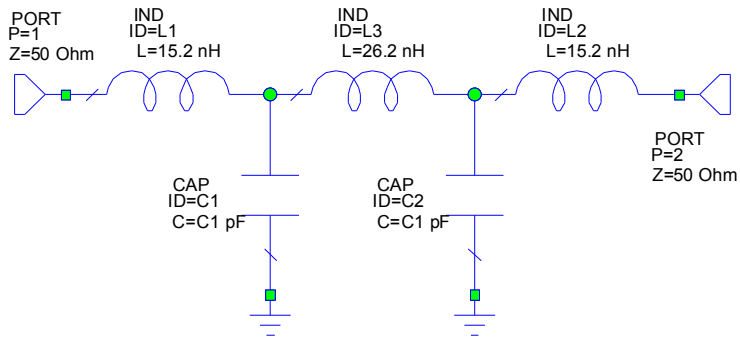


Рис. 1

Схема электрическая ФНЧ пятого порядка с частотой среза  $\omega_p = 600$  МГц

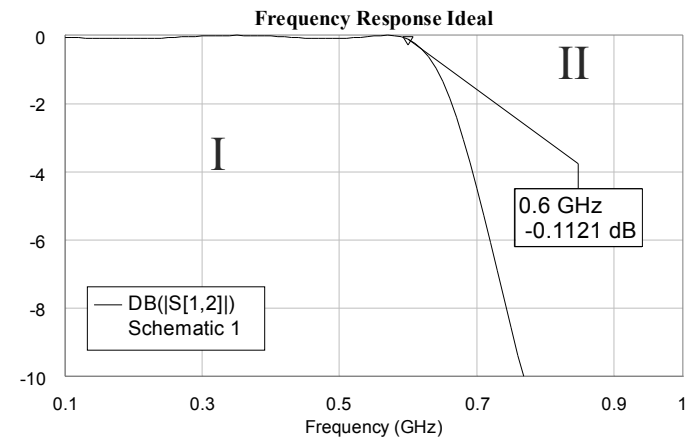
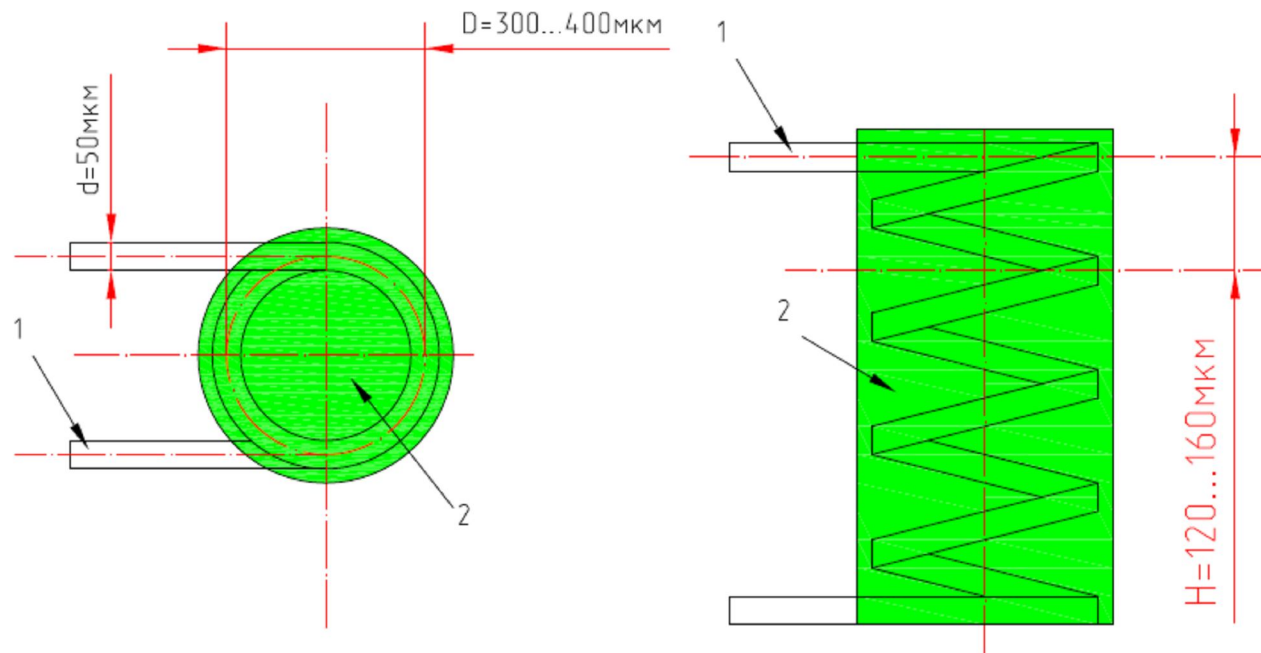


Рис. 2

АЧХ ФНЧ, состоящего из идеальных элементов:

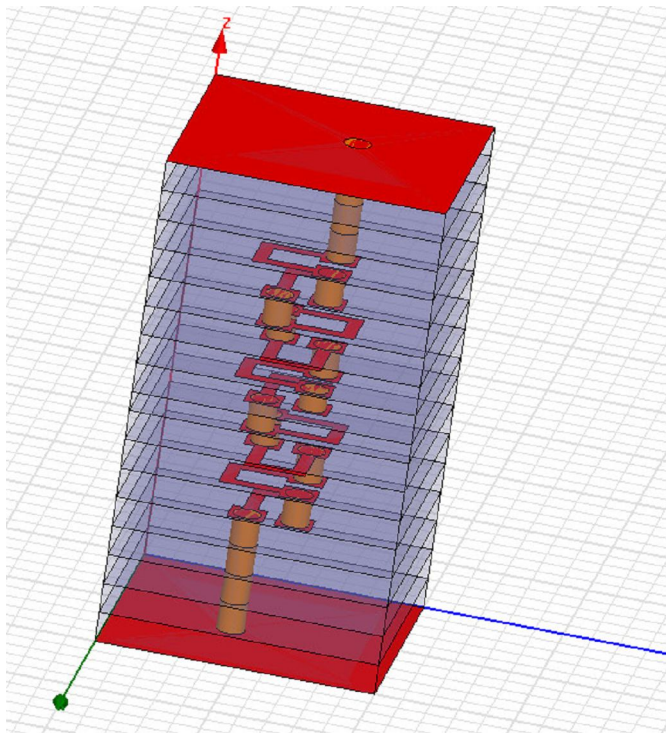
- I – полоса пропускания (ПП);
- II – полоса заграждения (ПЗ)

# Конструкция бескаркасной цилиндрической катушки индуктивности

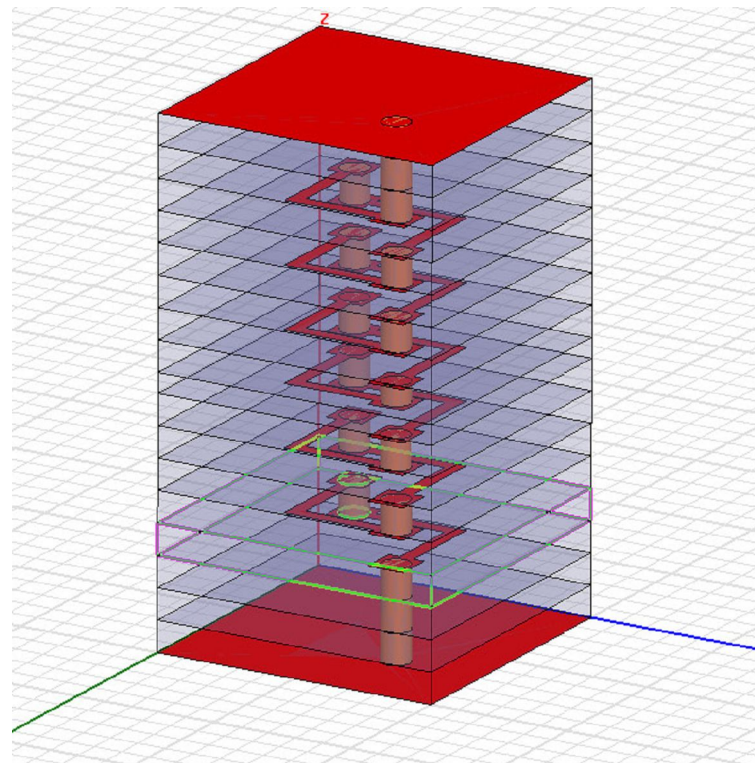


поз. 1 – золотая проволока;  
поз. 2 – эпоксидный лак.

Реализация катушек индуктивности с использованием Г-образных (а) и П-образных (б) отрезков линий

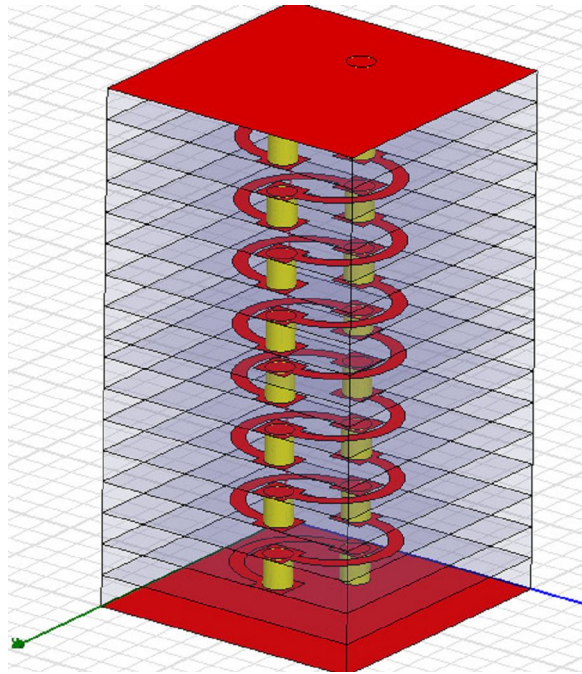


а)

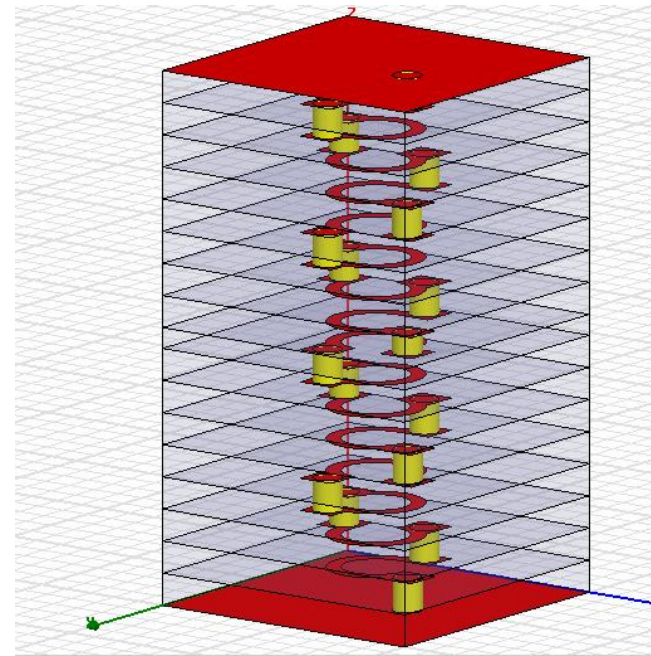


б)

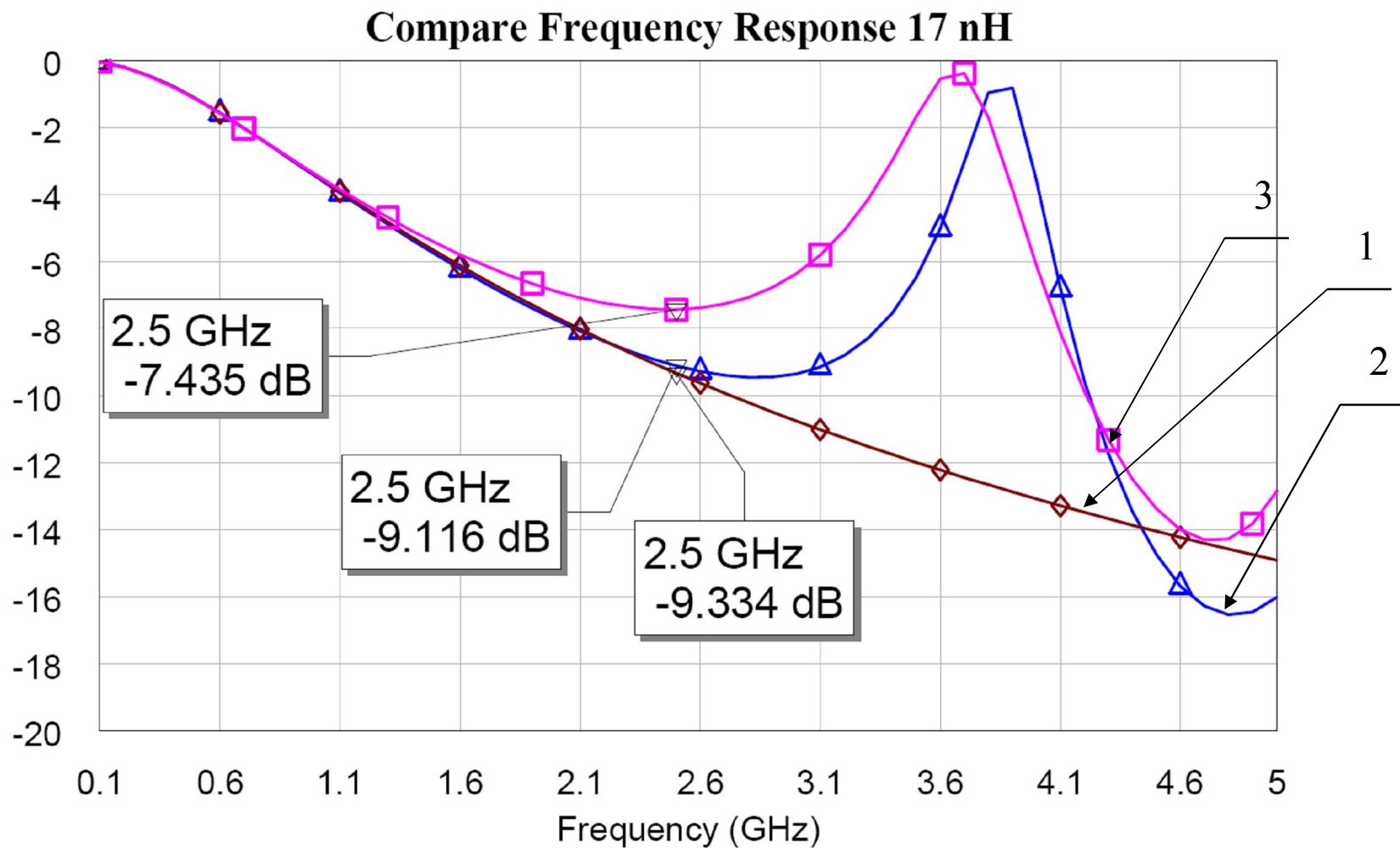
Реализация катушек индуктивности с использованием отрезков линий в виде дуги, равной  $\frac{1}{2}$  длины окружности (а), и дуги, равной  $\frac{3}{4}$  длины окружности (б)



а)

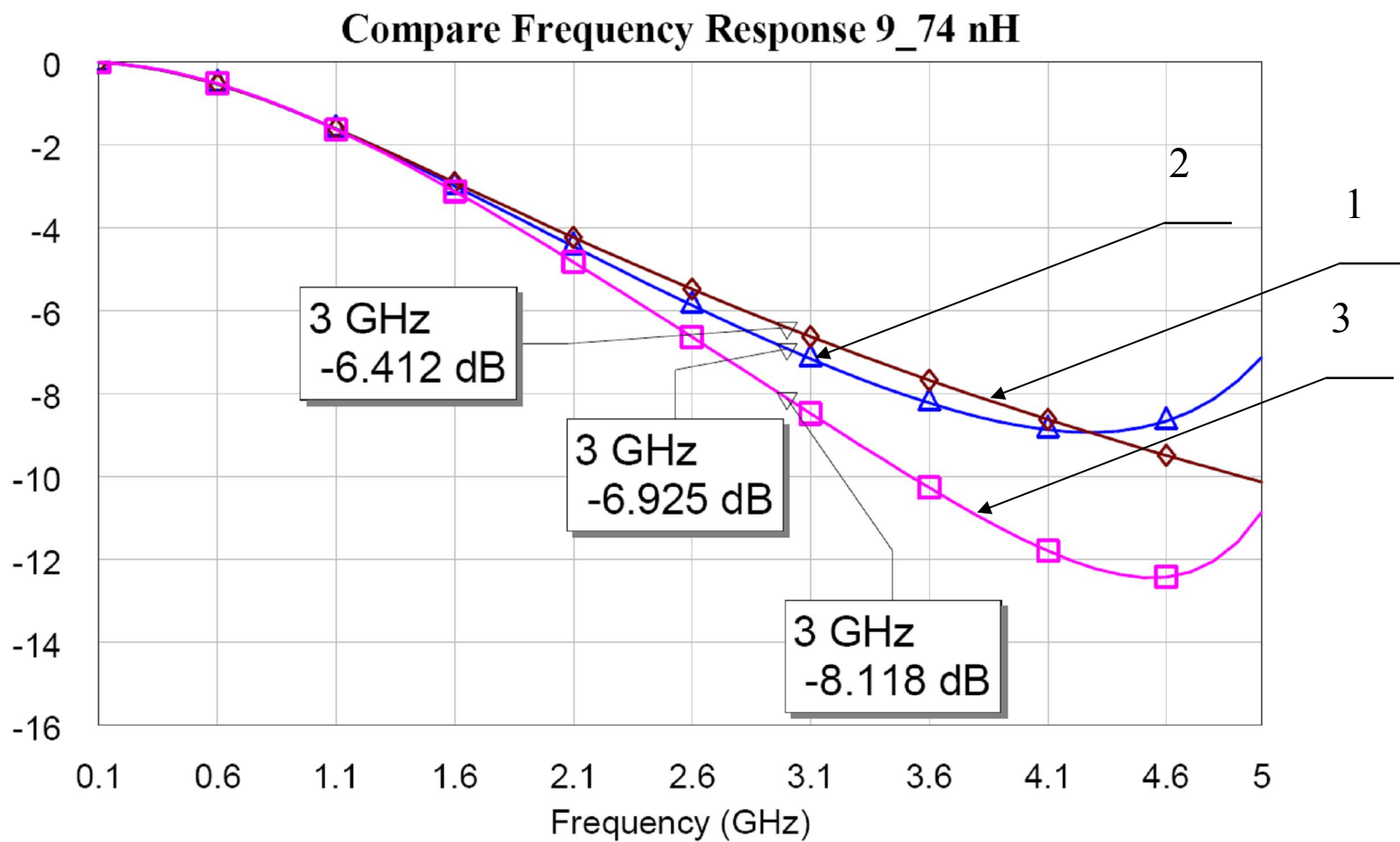


б)



АЧХ математической модели КИ (кривая 1) и 3D-модели КИ, реализованных с использованием Г-образных отрезков линии (кривая 2) и отрезков в виде дуги, равной  $\frac{1}{2}$  длины окружности (кривая 3)





АЧХ математической модели КИ (кривая 1) и 3D-модели КИ, реализованных с использованием П-образных отрезков линии (кривая 2) и отрезков в виде дуги, равной  $\frac{3}{4}$  длины окружности (кривая 3)

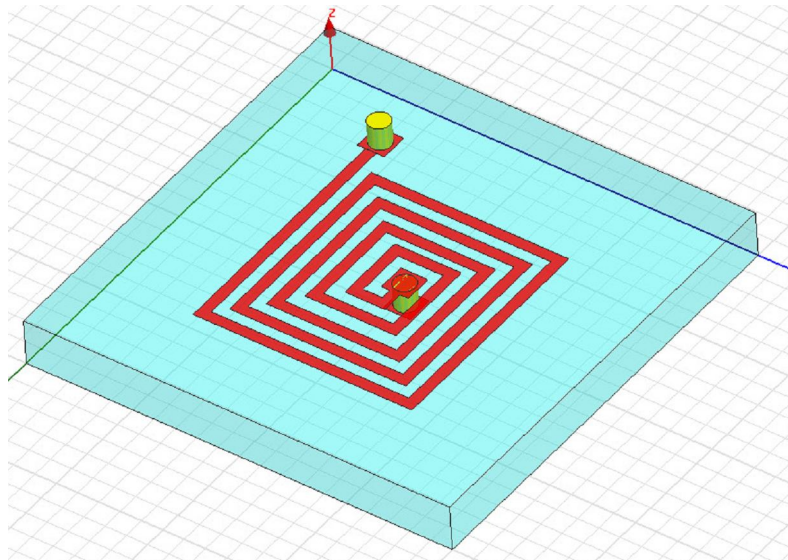
---

Таким образом, при необходимости реализовать КИ, АЧХ которой будет тождественно АЧХ “идеальной индуктивности” как можно в более широком диапазоне частот, то рекомендуются варианты реализации с использованием Г-образных и П-образных отрезков линии.

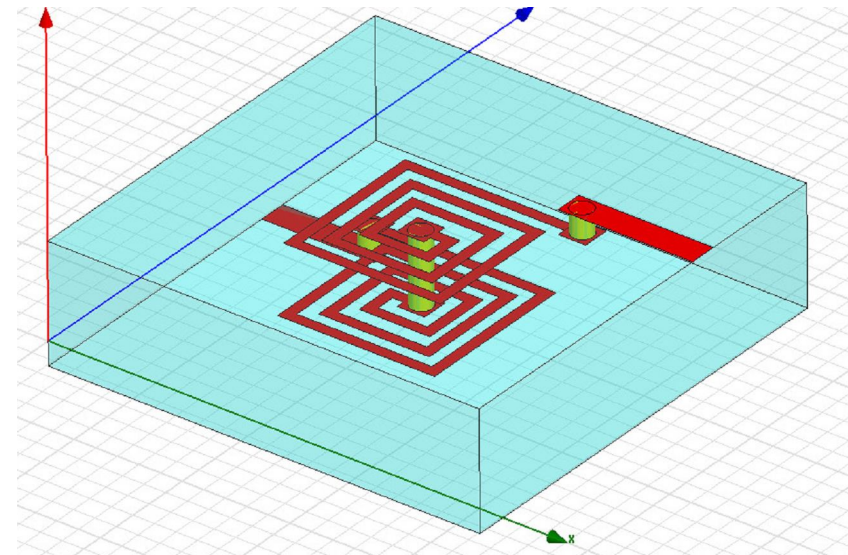
---



Реализация катушек индуктивности в виде плоской квадратной спирали (а) и стековой плоской квадратной спирали (б)



а)



б)

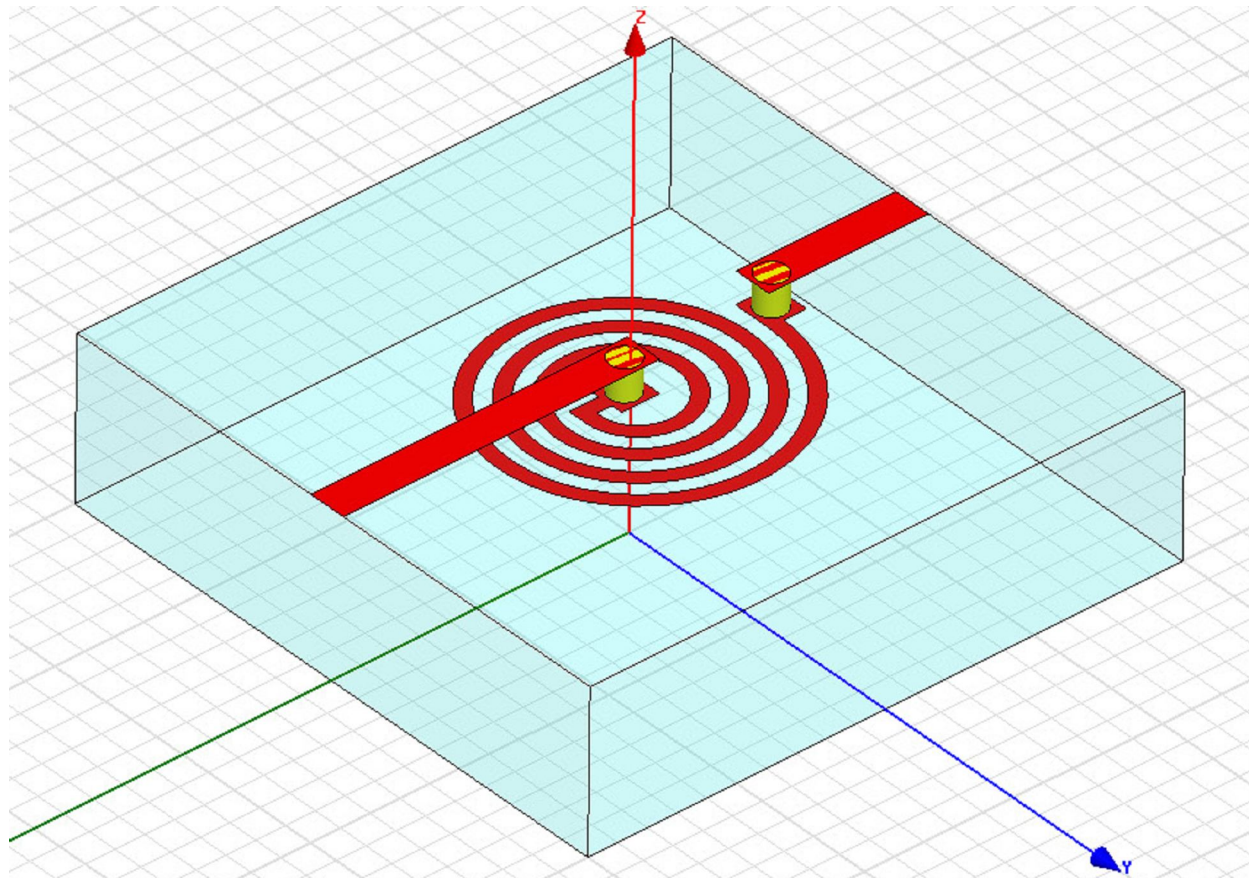
$$L_t = L_1 + L_2 + 2 * M,$$

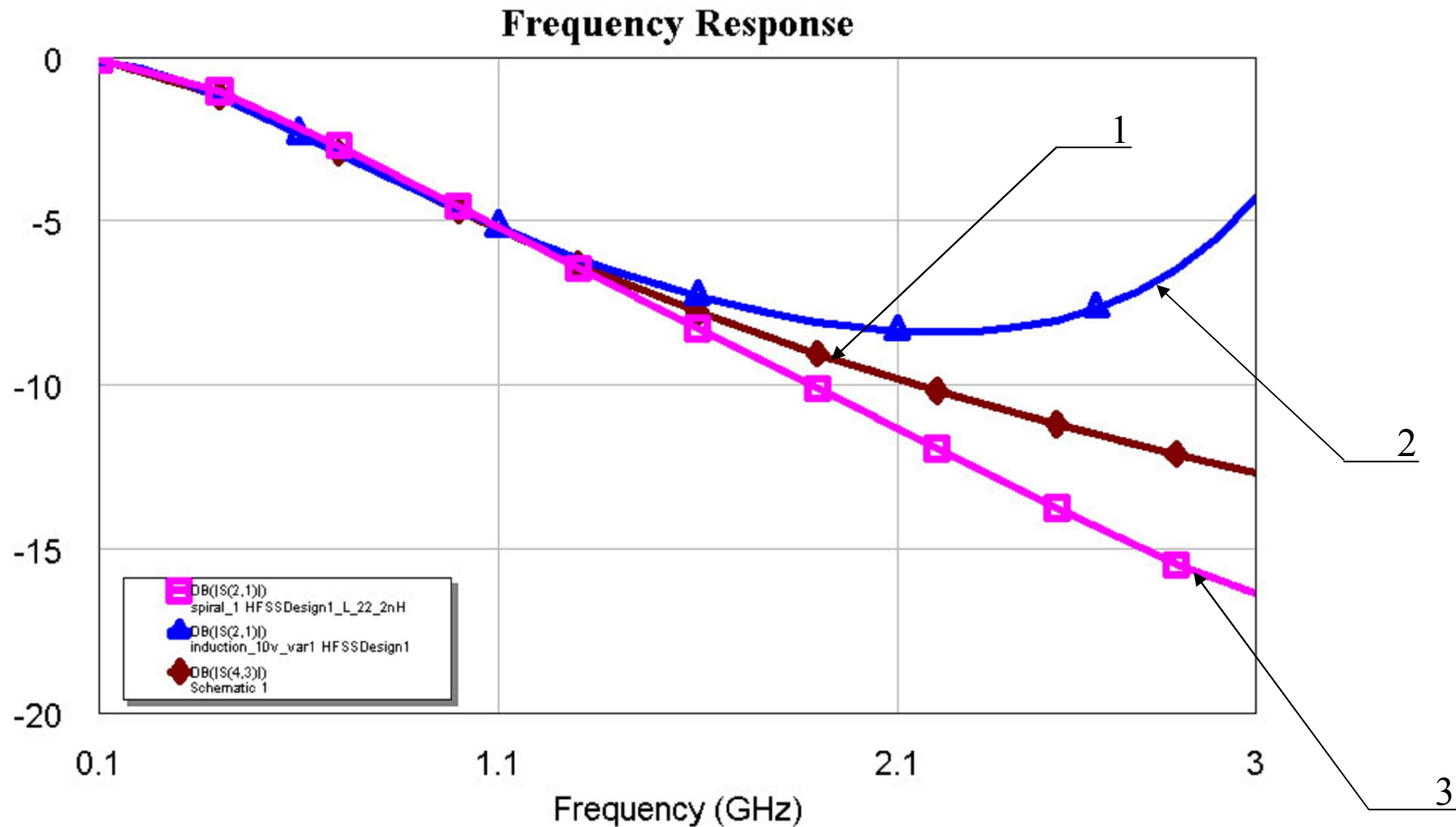
$$\text{где } M = k * \sqrt{L_1 L_2}$$

$$\text{если } L_1 = \dots = L_n = L, \text{ то } L_t \approx n^2 L,$$

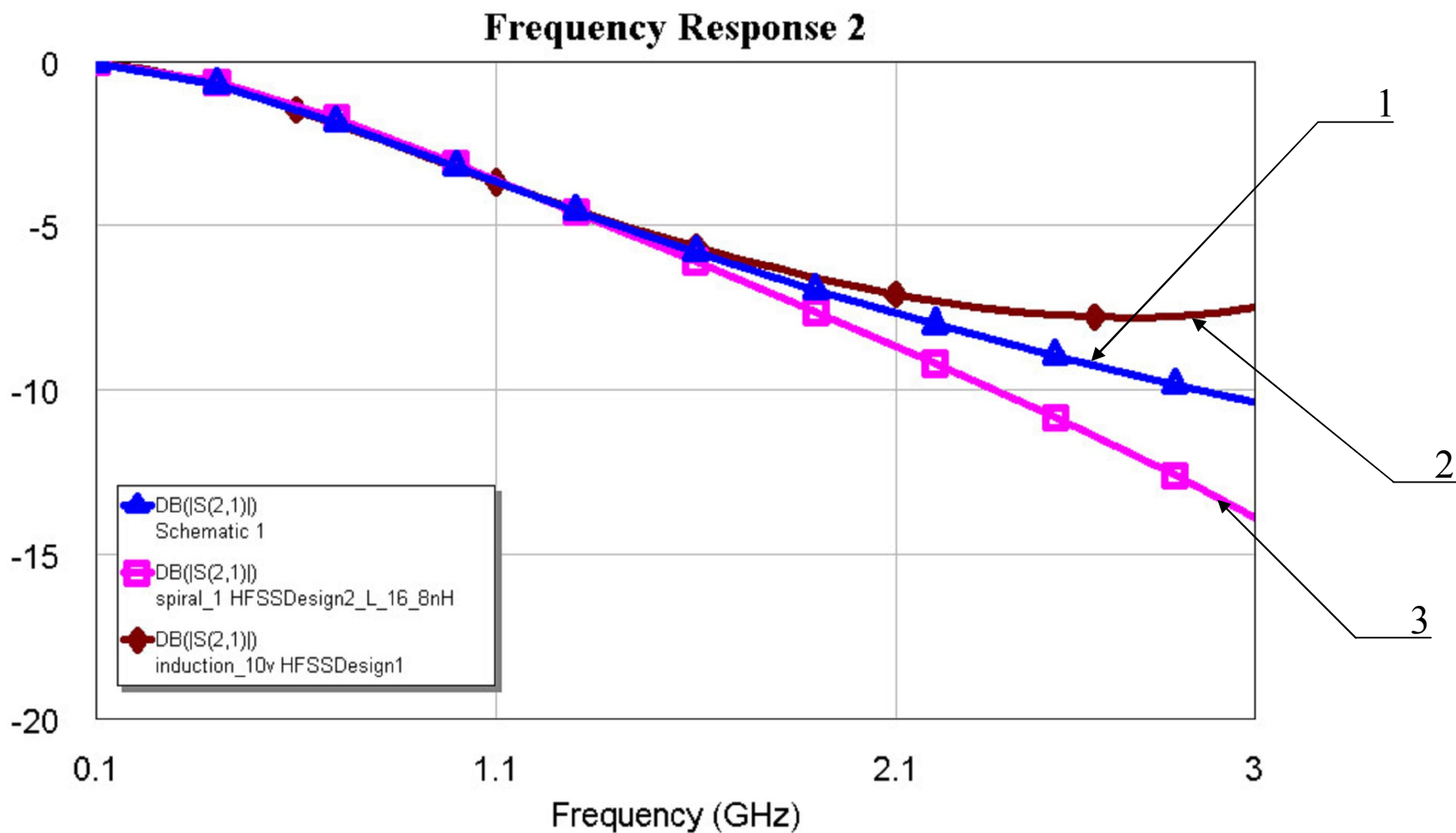
где  $n$  – количество катушек в стеке

Реализация катушек индуктивности в виде плоской круглой спирали

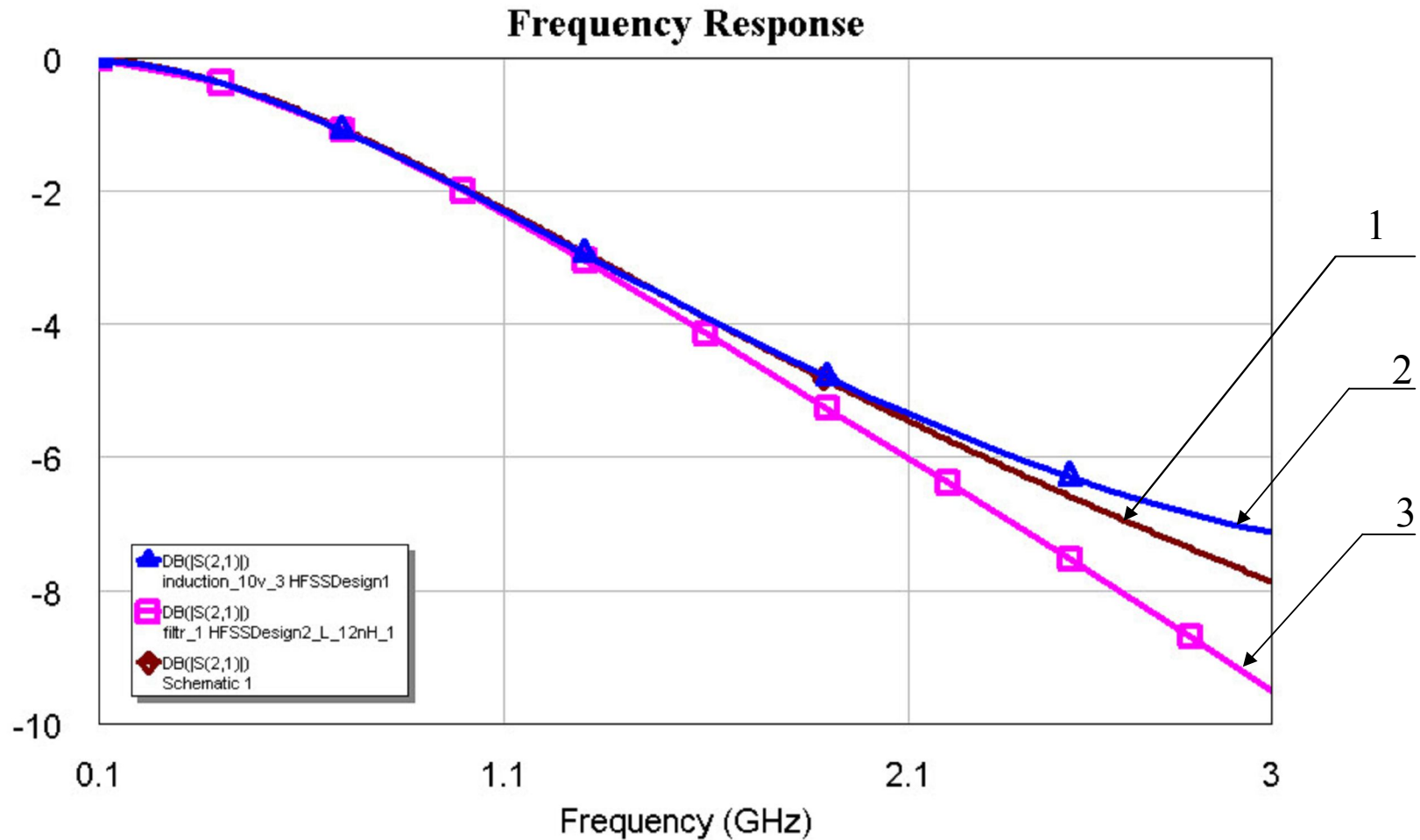




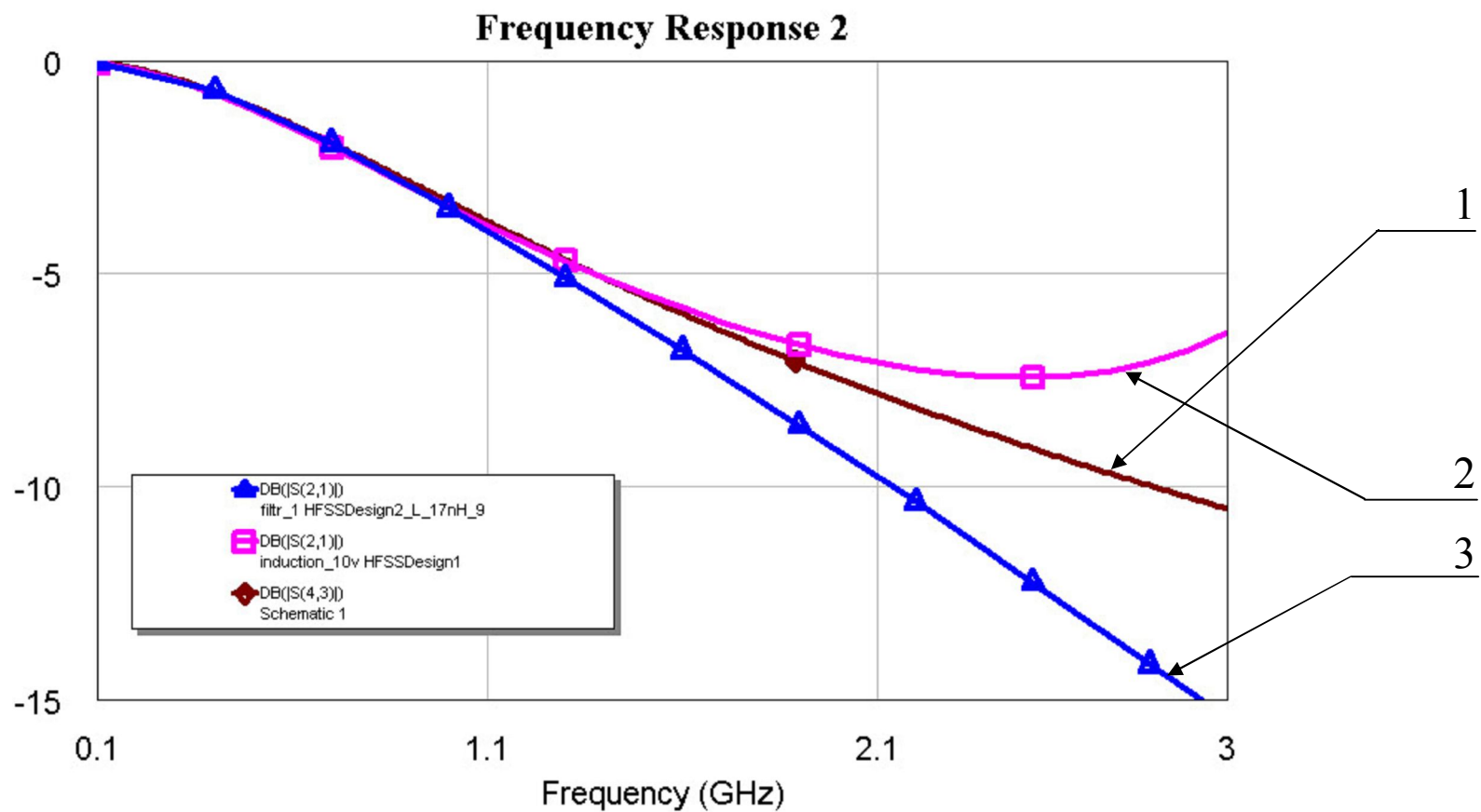
АЧХ математической модели КИ (кривая 1) и 3D-модели КИ, реализованных с использованием отрезков линии в виде дуги, равной  $\frac{1}{2}$  длины окружности (кривая 2) и в виде плоской круглой спирали (кривая 3)



АЧХ математической модели КИ (кривая 1) и 3D-модели КИ, реализованных с использованием отрезков линии в виде дуги, равной  $\frac{3}{4}$  длины окружности (кривая 2) и в виде плоской круглой спирали (кривая 3)



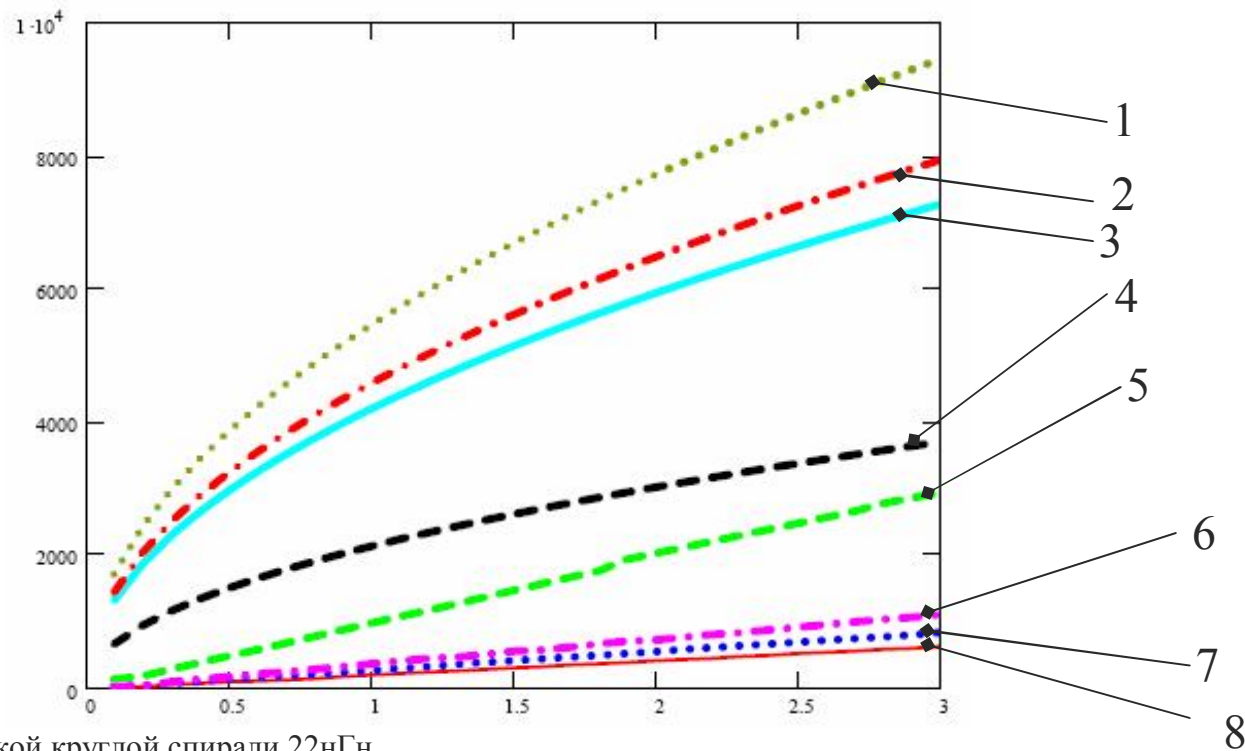
АЧХ математической модели КИ (кривая 1) и 3D-модели КИ, реализованных с использованием П-образных отрезков линии (кривая 2) и в виде плоской квадратной спирали (кривая 3)



АЧХ математической модели КИ (кривая 1) и 3D-модели КИ, реализованных с использованием Г-образных отрезков линии (кривая 2) и в виде плоской квадратной спирали (кривая 3)



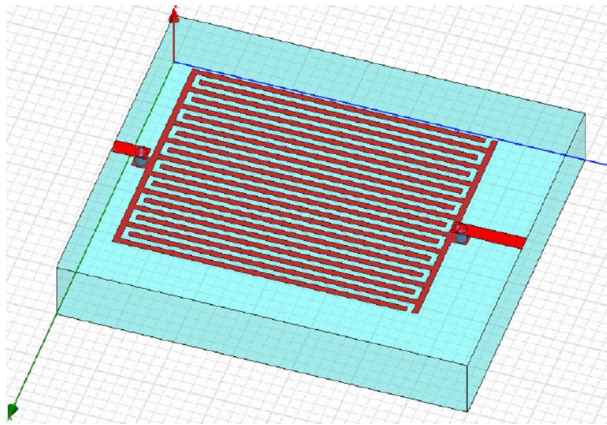
## Определение добротности катушек индуктивности



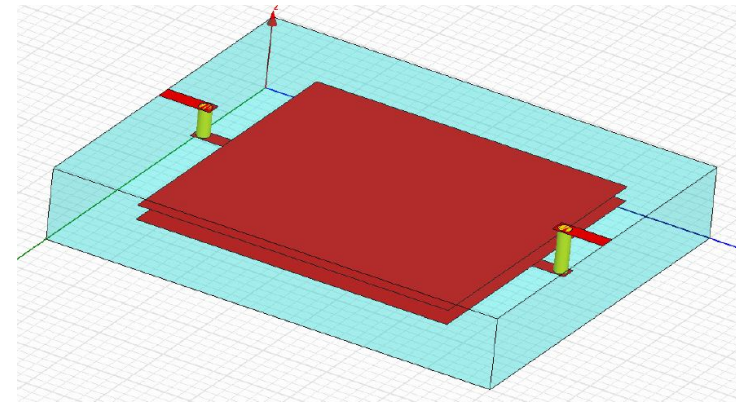
- 1 – КИ в виде плоской круглой спирали 22нГн
- 2 – КИ в виде плоской квадратной спирали, 17 нГн
- 3 – КИ в виде плоской круглой спирали, 16 нГн
- 4 – КИ в виде плоской квадратной спирали, 12 нГн
- 5 - 3D-модель КИ, реализованной с использованием П-образных отрезков линии, 12 нГн
- 6 - 3D-модели КИ, реализованных с использованием Г-образных отрезков линии, 17 нГн
- 7 - 3D-модели КИ, реализованных с использованием отрезков линии в виде дуги, равной  $\frac{3}{4}$  длины окружности, 16 нГн
- 8 - 3D-модели КИ, реализованных с использованием отрезков линии в виде дуги, равной  $\frac{1}{2}$  длины окружности, 22 нГн



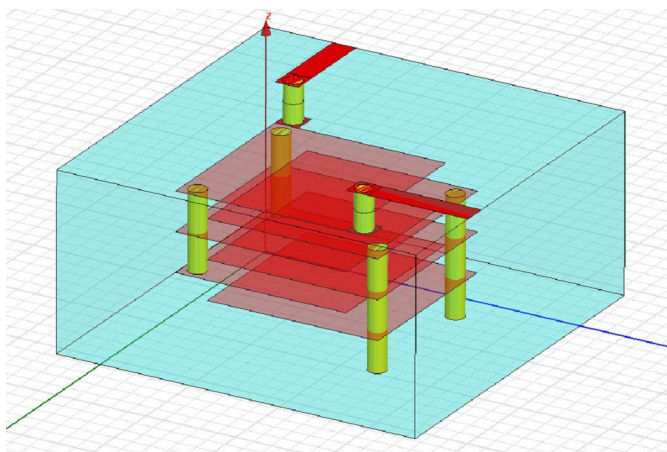
## Варианты реализации конденсаторов



Встречно-штырьевой конденсатор



Плоскопараллельный конденсатор



Стековый конденсатор

*Определение емкости стекового конденсатора*

$$C = 8,854 * 10^{-6} \frac{\epsilon_r A (n - 1)}{d},$$

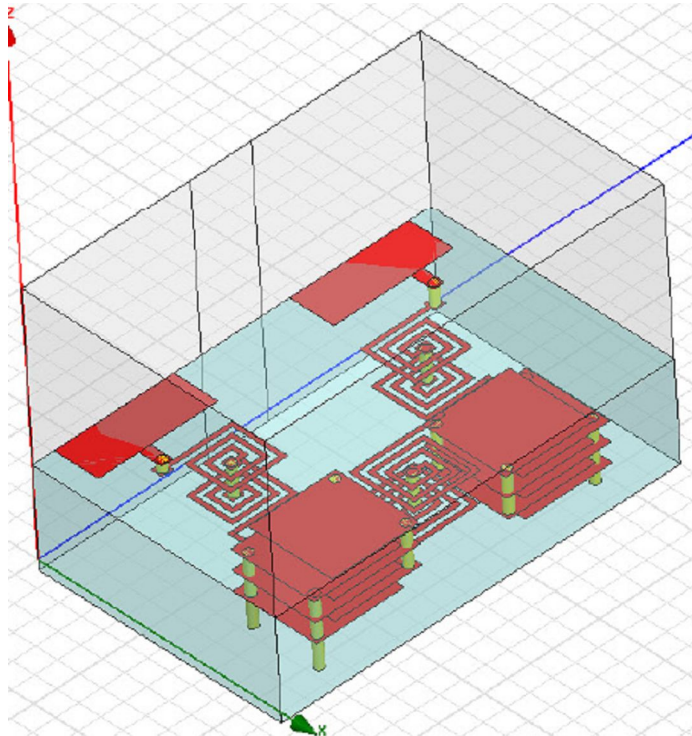
*где  $\epsilon_r$  - диэлектрическая проницаемость материала,*

*A - площадь обкладок,*

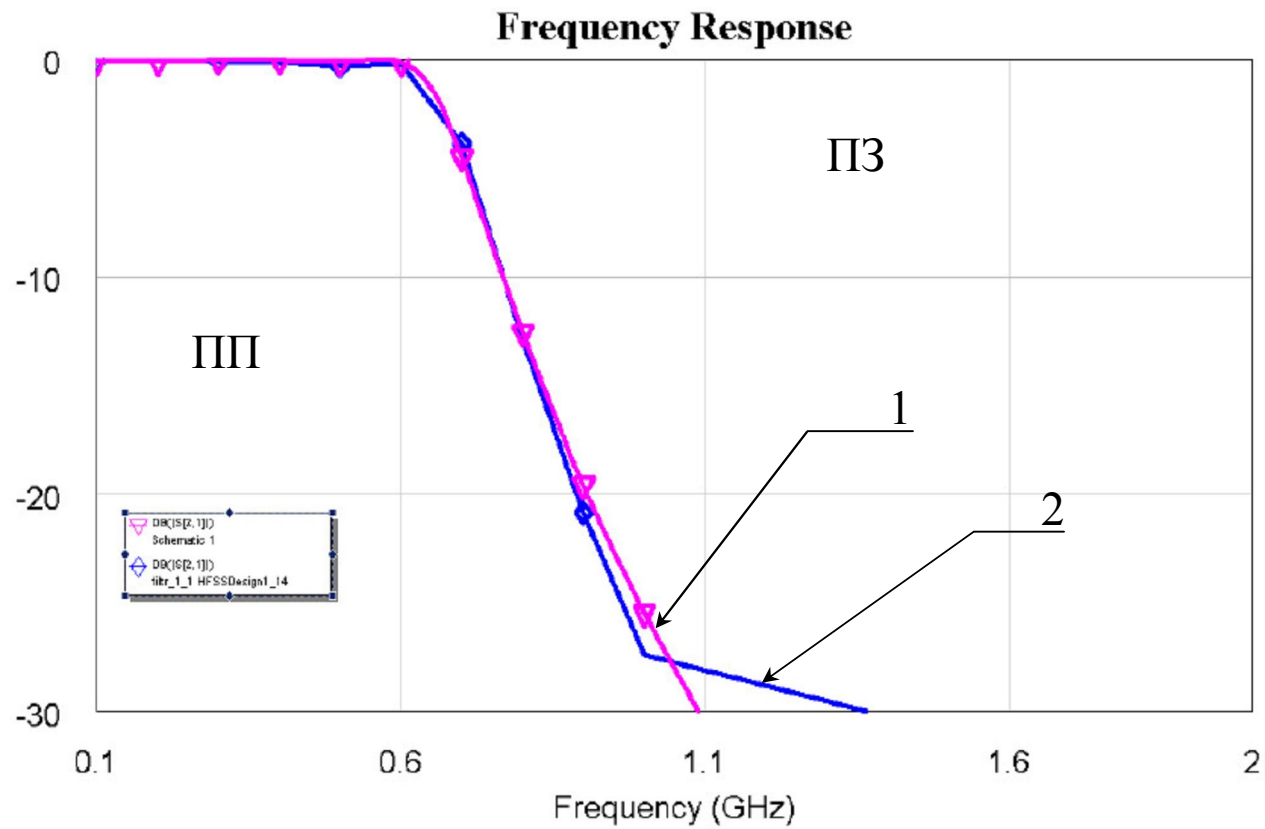
*n - количество обкладок в стеке,*

*d - толщина слоя диэлектрика между двумя обкладками*

## Оптимальная конструкция ФНЧ, реализованного по технологии LTCC



Данный ФНЧ имеет габариты  $5,5 \times 8,7 \times 2,16$  мм. Конструкция фильтра реализована в 10 слоях. Толщина каждого керамического слоя при моделировании принималась равной 216 мкм. Контактные площадки межслойных переходов имели размеры  $254 \times 254$  мкм, диаметр штырей, играющих роль межслойных переходов, составил 200 мкм. Минимальная ширина внутренних проводников и зазоров принималась равной 100 мкм



АЧХ ФНЧ:

- 1 - реализованного на идеальных элементах;
- 2 - реализованного с использованием стекowych катушек и конденсаторов

---

В данной работы был проведен анализ различных способов реализаций пассивных элементов с помощью технологии LTCC и выбраны оптимальные конструкции.

Оптимальным вариантов для реализации индуктивностей выбрана катушка в виде квадратной спирали, не смотря на то что катушки в виде круглой спирали имеют меньшие габариты, однако последние являются более сложными в изготовлении. Для уменьшения габаритов в фильтре использованы катушки индуктивности в виде стековой плоской квадратной спирали.

Оптимальным вариантом реализации емкостей выбран стековый конденсатор, т. к. при одинаковом значении емкостей габариты такого конденсатора минимальны.

Использование выбранных способов реализации элементов позволило получить минимальные габариты ФНЧ, не изменив его электрические параметры.

---

## Литература

- Вольхин Ю.Н., Серебренников А.А. Измерение индуктивностей бескаркасных катушек индуктивности в диапазоне СВЧ // Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем: сборник докладов научно-технической конференции, 2008 г. С. 58 – 61.
- Bahl, I. J. Lumped elements for RF and microwave circuits / Inder Bahl. - Artech House microwave library, 2003.



Спасибо за внимание