

Исследование способа уменьшения емкостного соотношения в STW-резонаторах при помощи подключения внешних индуктивностей

Доклад подготовил студент
ФГБОУ ВО ОмГУ
физический факультет
Кафедра ЭФир
Жилин Н.М.

Введение

Емкостное соотношение резонаторов является отношением эквивалентных параметров STW-резонаторов. Типовое значение емкостного соотношения C_0/C_D для STW-резонатора составляет 1000-3000 в диапазоне 500-1000 МГц. $C_0/C_D \sim 1/(f_r - f_a)$, где f_r —частота последовательного резонанса, f_a —частота параллельного резонанса. Чем меньше C_0/C_D , тем больше обеспечивается диапазон подстройки генератора в требуемый номинал частоты и тем легче производство генераторов.

Эквивалентная схема одноходового STW-резонатора

Для анализа STW-резонатора использовалась эквивалентная схема с сосредоточенными элементами R , L , C . Эквивалентная схема одноходового STW-резонатора (рис.1) подобна эквивалентной схеме обычного ПАВ-резонатора и представляет собой двухполюсник с динамической индуктивностью L_D , динамической емкостью C_D , статической емкостью C_0 , и сопротивлением R_D , характеризующим внутренние потери в резонаторе.

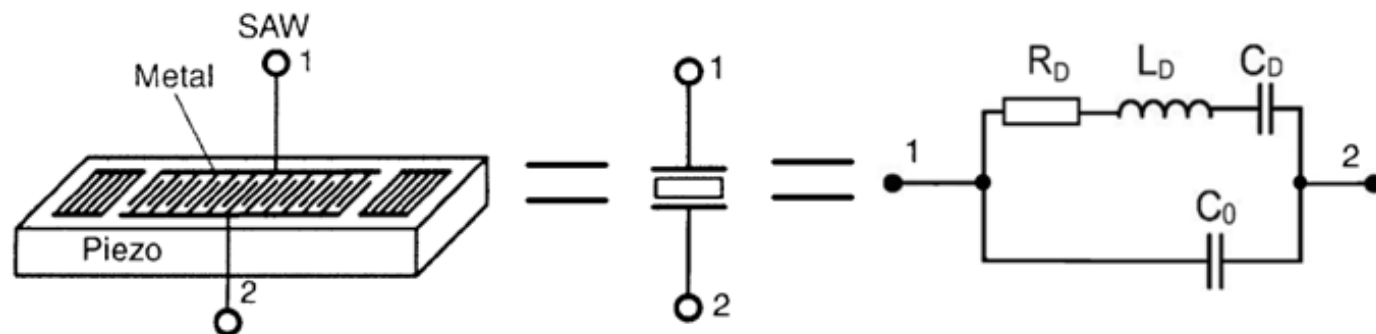


Рис. 1. Эквивалентная схема одноходового STW-резонатора с сосредоточенными элементами R, L, C

Эквивалентные параметры одноходового STW-резонатора

Для оценки эквивалентных параметров STW-резонатора в SMD-корпусе используются формулы из метода эквивалентных схем для одноходовых ПАВ-резонаторов:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \quad R_D = \frac{1}{G_M} \quad L_D = \frac{QR_D}{2\pi f_0} \quad C_D = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L_D} \quad (1)$$

где Q – добротность резонатора; G_M – максимальное значение действительной части проводимости на частоте f_0 ; Δf – полоса частот по уровню $G_M/2$. Статическая емкость C_0 измеряется на низкой частоте с учетом емкости SMD-корпуса.

Частота последовательного и параллельного резонанса STW-резонатора

Схема, изображенная на рис.1, имеет 2 резонанса: последовательный и параллельный резонанс (рис.2). Частота последовательного резонанса f_r определяется по формуле

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_D C_D}} \quad (2)$$

Частота антирезонанса f_a вычисляется из выражения

$$f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_D \left(\frac{C_0 \cdot C_D}{C_0 + C_D}\right)}} \quad (3)$$

Частота антирезонанса f_a всегда больше частоты последовательного резонанса f_r : $f_a > f_r$.

Из формул можно получить выражение для емкостного соотношения:

$$\frac{C_0}{C_D} = \frac{f_r}{2(f_a - f_r)} \quad (4)$$

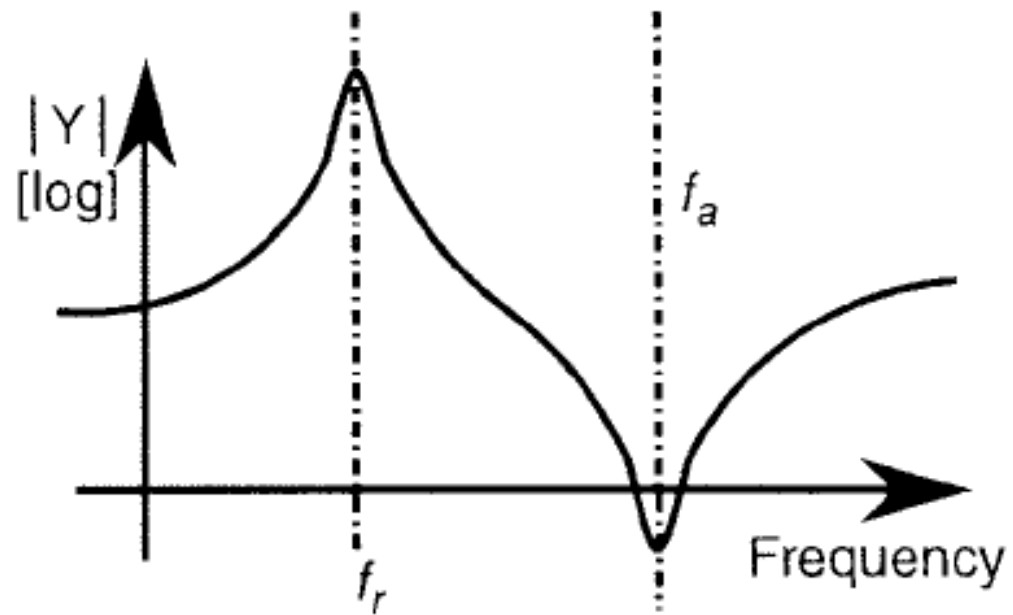


Рис.2. Частотная характеристика модуля проводимости $|Y|$ STW-резонатора

Влияние внешних индуктивностей на частоты последовательного и параллельного резонанса

В практических схемах генераторов на STW требуется изменить емкостное соотношение C_0/C_D STW-резонатора для возможности настройки центральной частотой f_0 STW-генератора. Для этого эффективно использовать подключение внешних элементов: последовательной L_S и параллельной индуктивности L_P . При последовательном подключении L_S к STW-резонатору f_r сдвигается вниз, а f_a остается прежней. При этом разность $f_a - f_r$ увеличивается. При параллельном подключении L_P к STW-резонатору f_a сдвигается вверх по частоте, а f_r остается прежней. Тогда разность $f_a - f_r$ снова увеличивается (рис.3). Для обоих случаев емкостное соотношение можно уменьшить согласно формуле (4) по сравнению с исходным значением для ПАВ-резонатора.

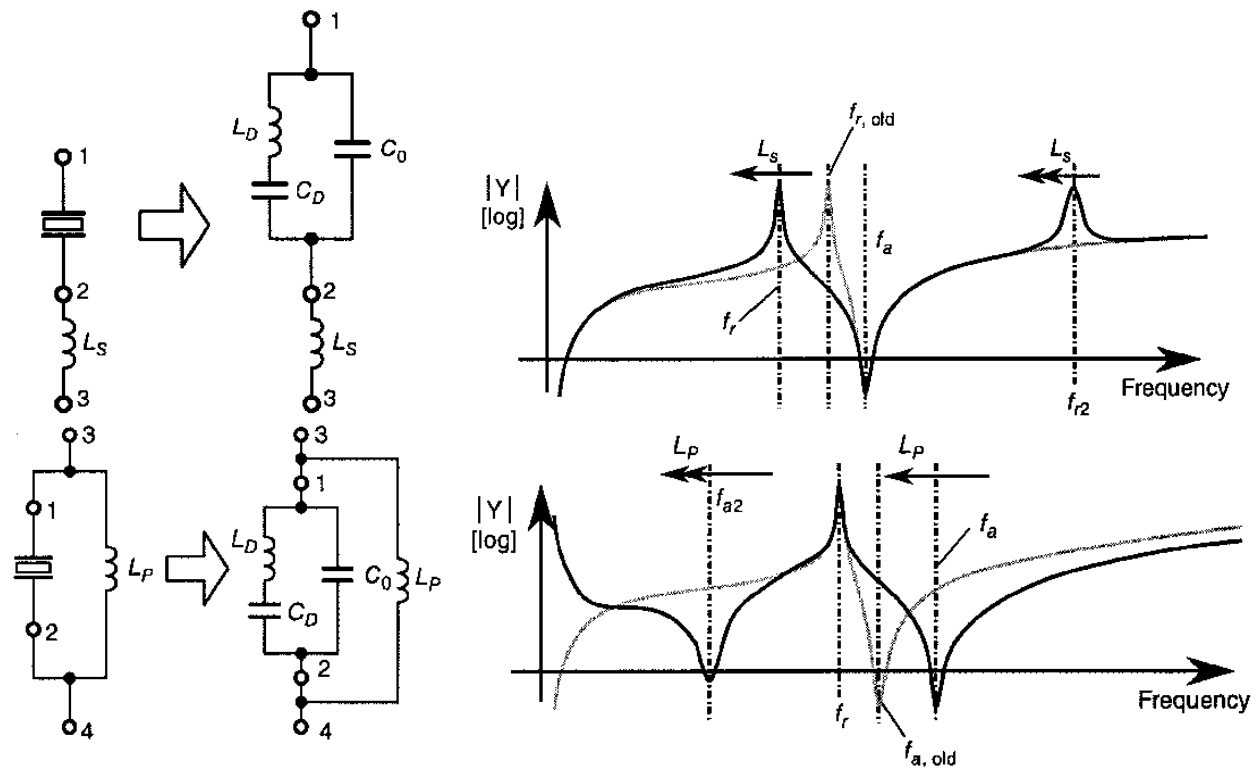


Рис.3. Последовательное и параллельное подключение индуктивностей L_S и L_P к STW-резонатору

Частотные характеристики активной и реактивной части проводимости STW-резонатора

Резонатор изготовлен на срезе $YX/36^\circ+90^\circ$ кварца и смонтирован в SMD-корпус 5x5x1,8 мм.
 $R_D=7,6 \text{ Ом}$, $C_D=0,003 \text{ пФ}$, $L_D=14,36 \text{ мкГн}$, $C_0=3,8 \text{ пФ}$, $Q=9000$, $C_0/C_D=1266$.

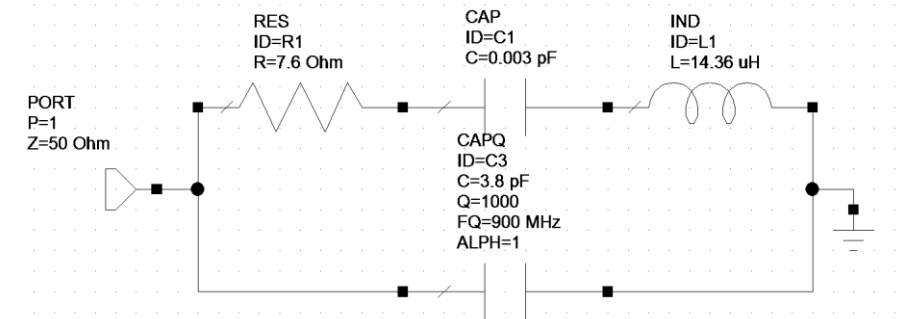
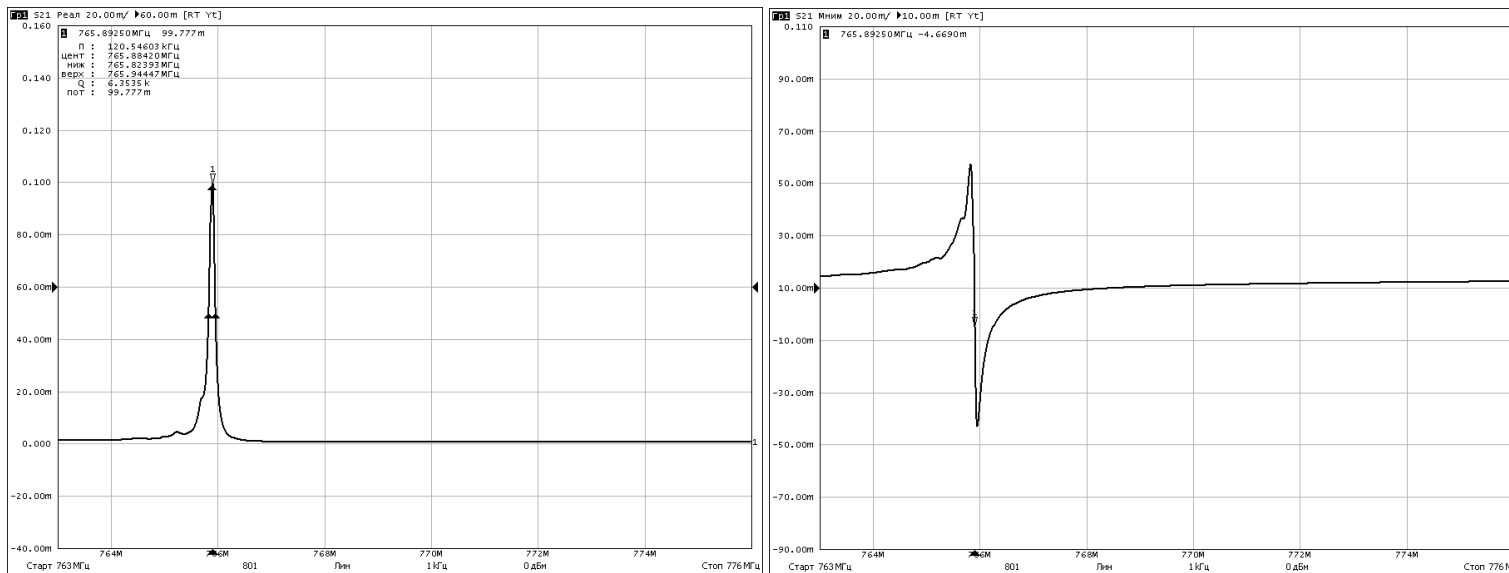


Рис.4. частотные характеристики активной и реактивной части проводимости STW-резонатора на $f_0=766 \text{ МГц}$

Расчетная и экспериментальная характеристики модуля проводимости исходного резонатора

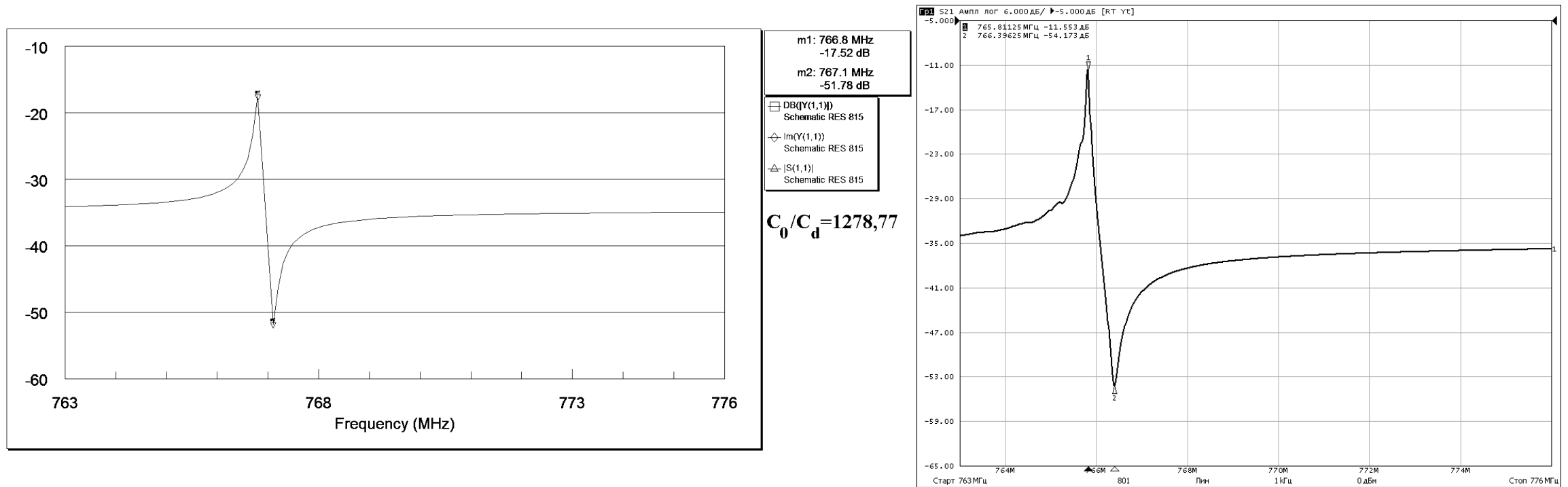
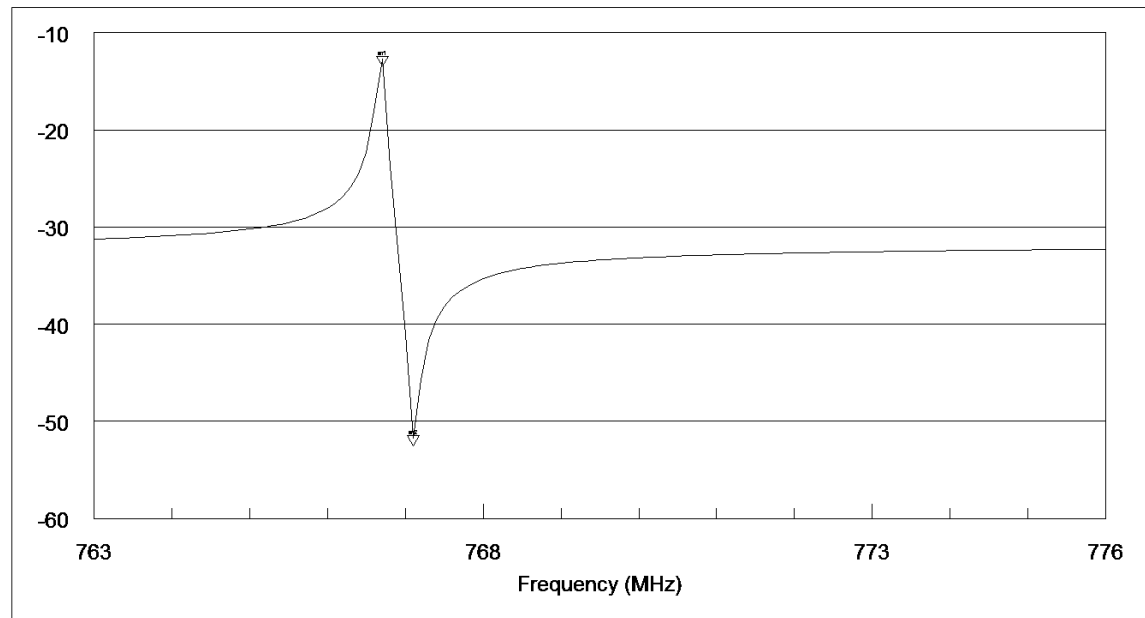


Рис.5. Смоделированная и экспериментальная модули проводимости исходного STW-резонатора

Расчетная и экспериментальная характеристики модуля проводимости резонатора с последовательным соединением индуктивности $L=3$ нГн



m1: 766.7 MHz
-12.73 dB

m2: 767.1 MHz
-51.76 dB

$C_0/C_d = 958$

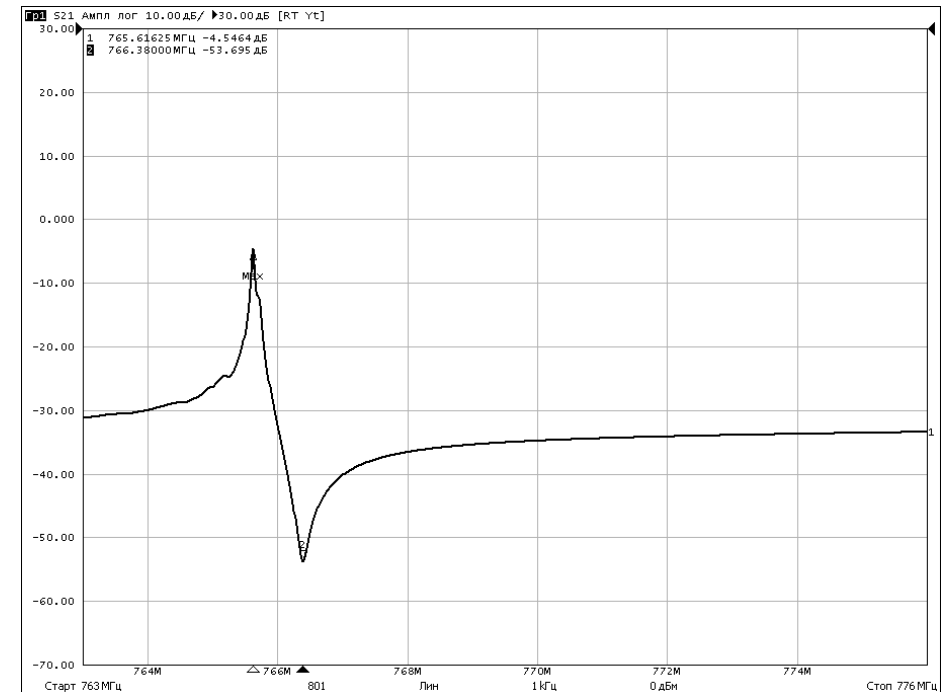


Рис.6. Смоделированная и экспериментальная модули проводимости STW-резонатора с последовательным подключением индуктивности $L_p=3$ нГн

Расчетная и экспериментальная характеристики модуля проводимости резонатора с последовательным соединением индуктивности $L=7$ нГн

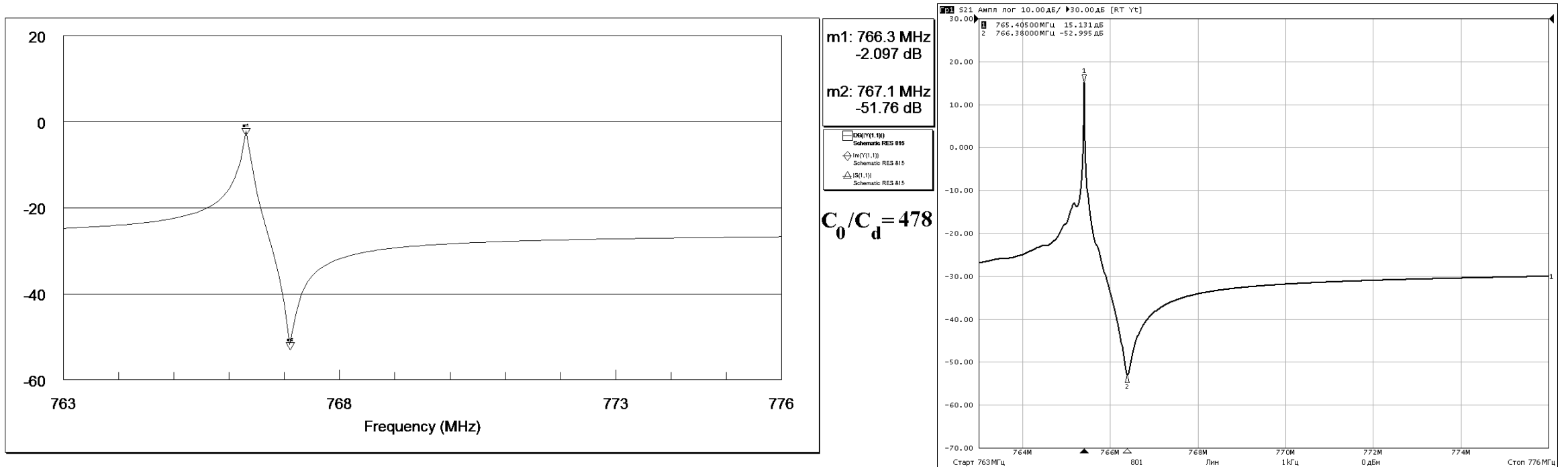


Рис.7. Смоделированная и экспериментальная модули проводимости STW-резонатора с последовательным подключением индуктивности $L_p=7$ нГн

Расчетная и экспериментальная характеристики модуля проводимости резонатора с параллельным соединением индуктивности $L=47$ нГн

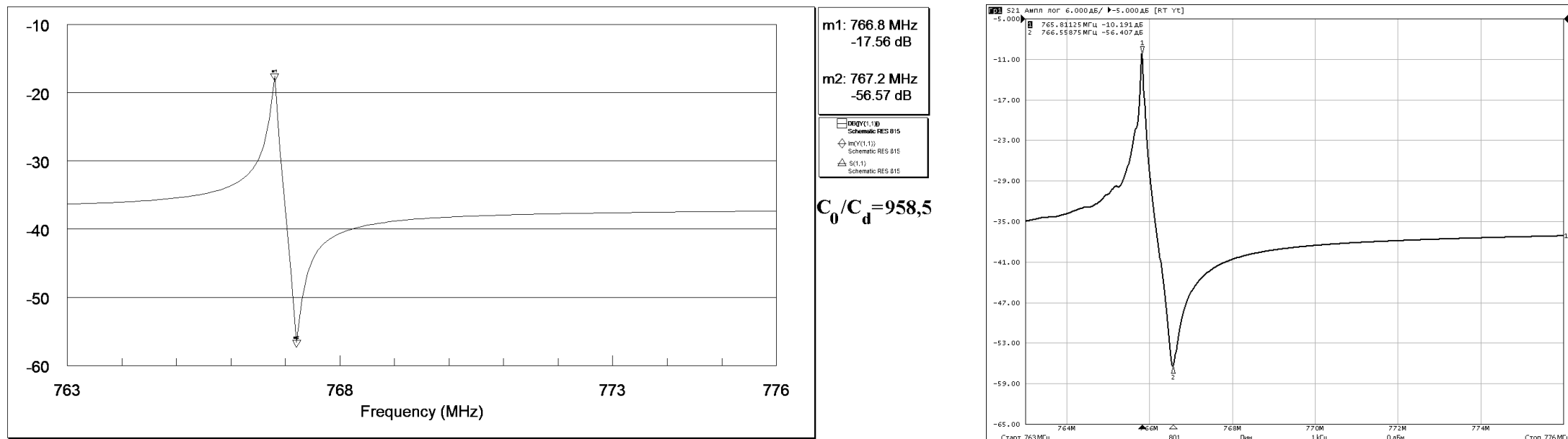


Рис.8. Смоделированная и экспериментальная модули проводимости STW-резонатора с параллельным подключением индуктивности $L_s=47$ нГн

Расчетная и экспериментальная характеристики модуля проводимости резонатора с параллельным соединением индуктивности $L=15$ нГн

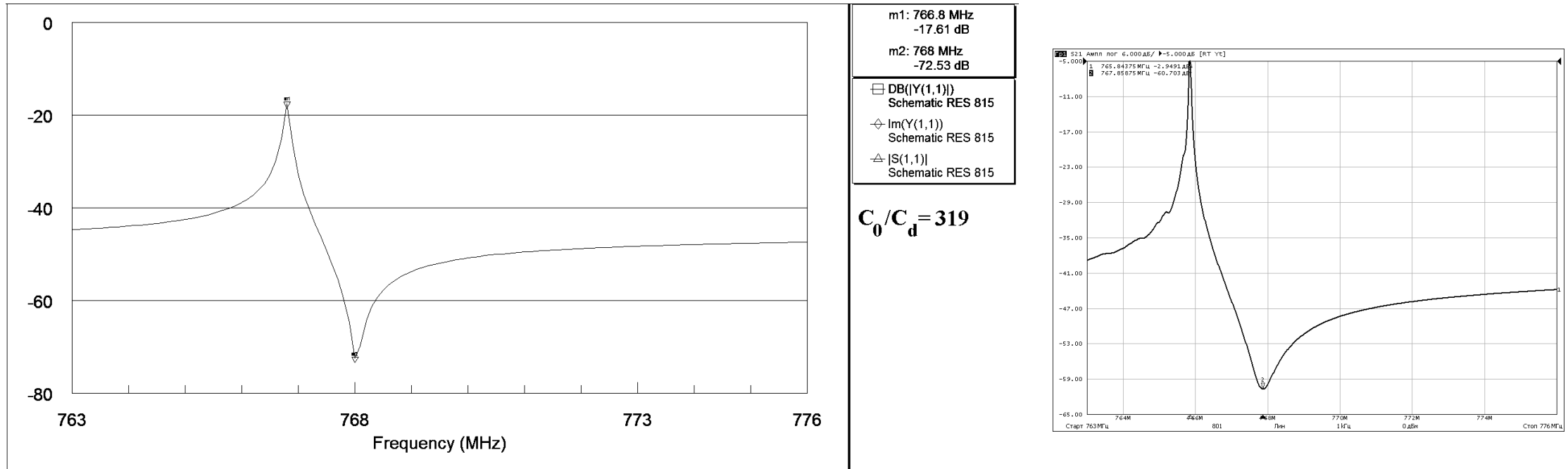


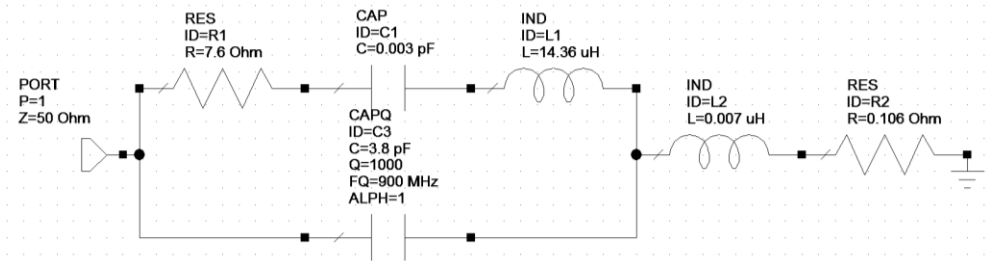
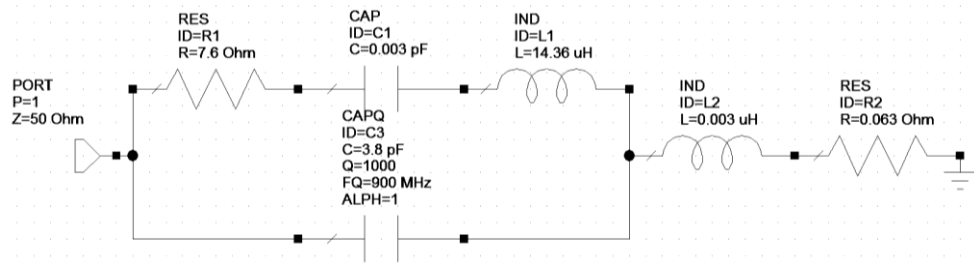
Рис.9. Смоделированная и экспериментальная модули проводимости STW-резонатора с параллельным подключением индуктивности $L_s=15$ нГн

Выводы

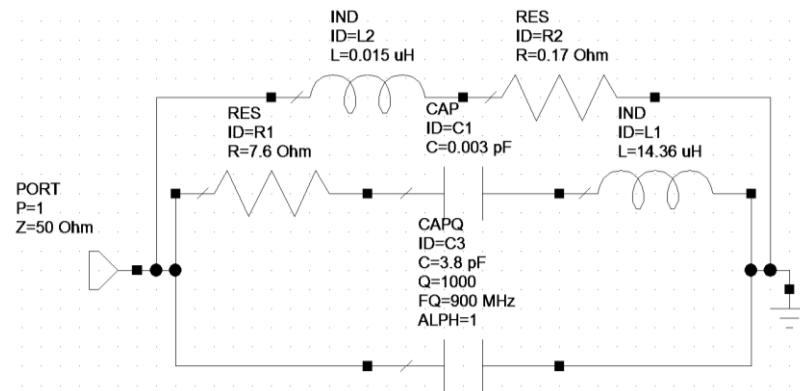
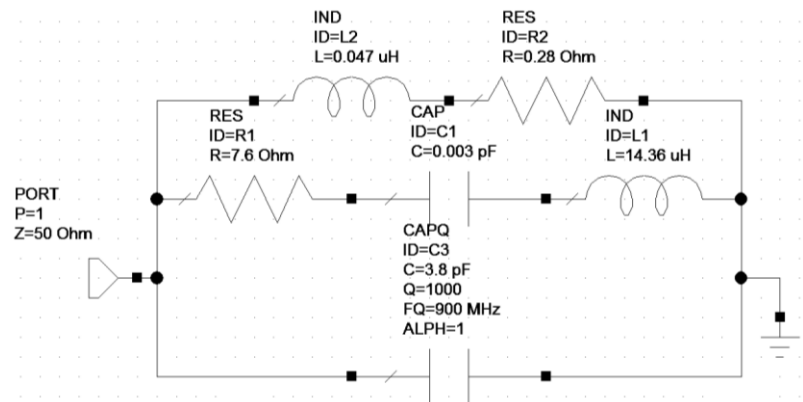
Экспериментальные данные, полученные при подключении последовательной и параллельной индуктивности, подтверждают возможность регулирования емкостного соотношения STW-резонаторов до 300 без существенного ухудшения параметров. Этот метод регулировки C_0/C_D может использоваться при практическом применении STW-резонаторов в генераторах для подстройки центральной частоты.

Список литературы

1. W. Soluch Scattering Matrix Approach to One Port SAW Resonators// Proc.IEEE IFCS-EFTF. 1999. P. 859-862.
2. A. Link, P. Warder Golden Age for Filter Design// IEEE Microwave Magazine, august, 2015, P. 60-72.
3. I.D. Avramov Surface Transverse Wave Resonators in Lower GHz Frequency Range // International Journal of High Speed Electronics and Systems, vol. 10, 2000, p. 735-792
4. Коямада, Исихара, Ёсикава Узкополосные фильтры на основе резонаторов для поверхностных акустических волн – ТИИЭР, 1976, № 5, С. 137-140



Эквивалентные схемы STW-резонатора на $f_0=766$ МГц с последовательным подключением индуктивности $L_S=3$ нГн и 7 нГн



Эквивалентные схемы STW-резонатора на $f_0=766$ МГц с параллельным подключением индуктивности $L_S=47$ нГн и 15 нГн