



Открытое акционерное общество  
«Центральное конструкторское бюро автоматики»

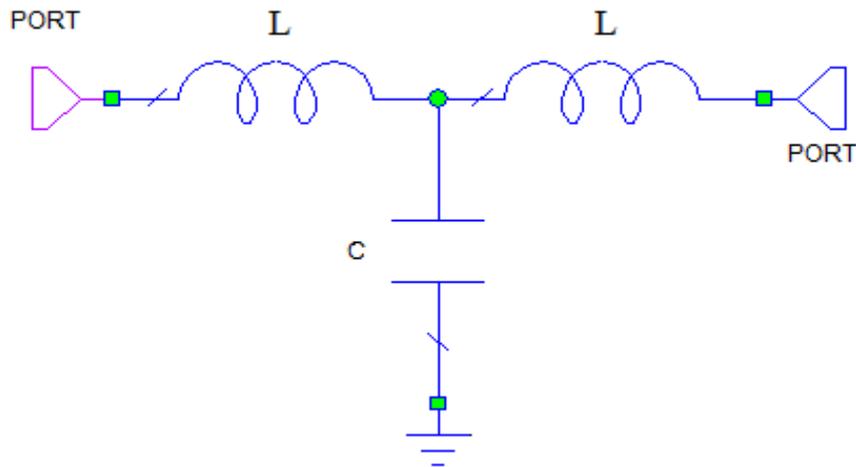
***Разработка методики физической реализации  
ФНЧ на отрезках линий с высоким и низким  
волновыми сопротивлениями.***

Студенческая работа

***Авторы: Белоусов А.А. (ОАО «ЦКБА», ОмГТУ)  
Тихонов Е.В. (ОАО «ЦКБА», ОмГТУ)***

Омск 2010 г.

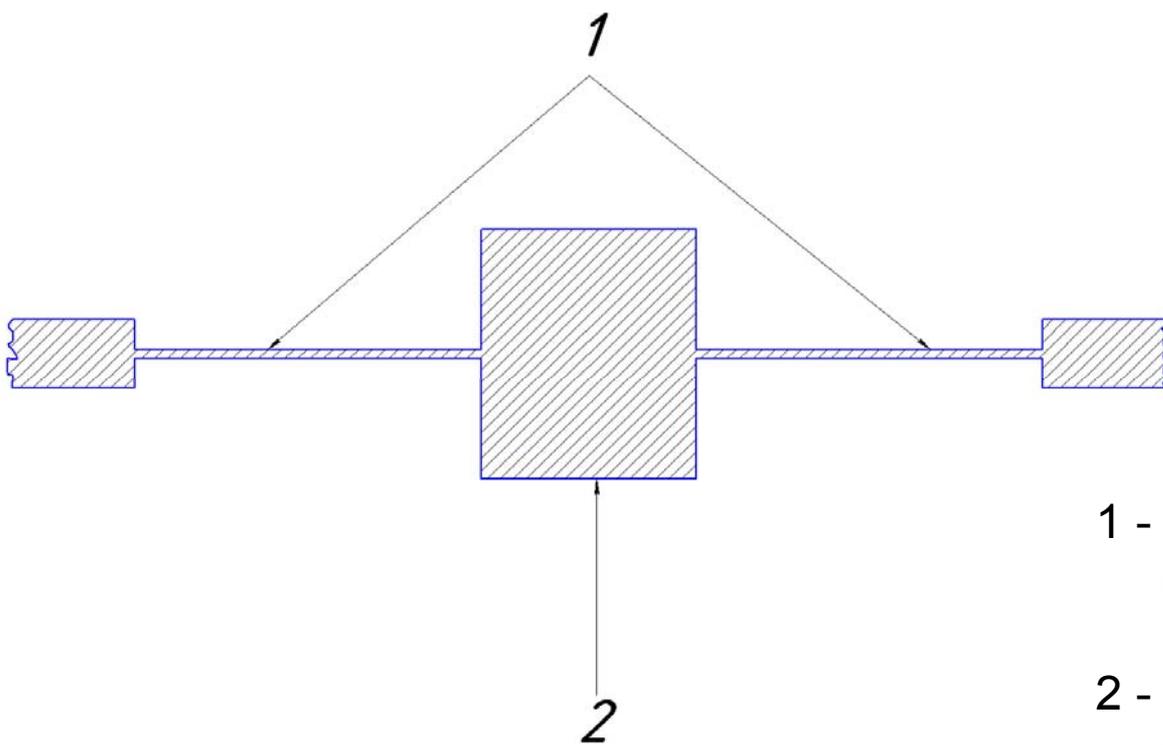
# ФНЧ на идеальных реактивных элементах



$$X_L = j\omega L$$

$$X_C = 1 / (j \omega C)$$

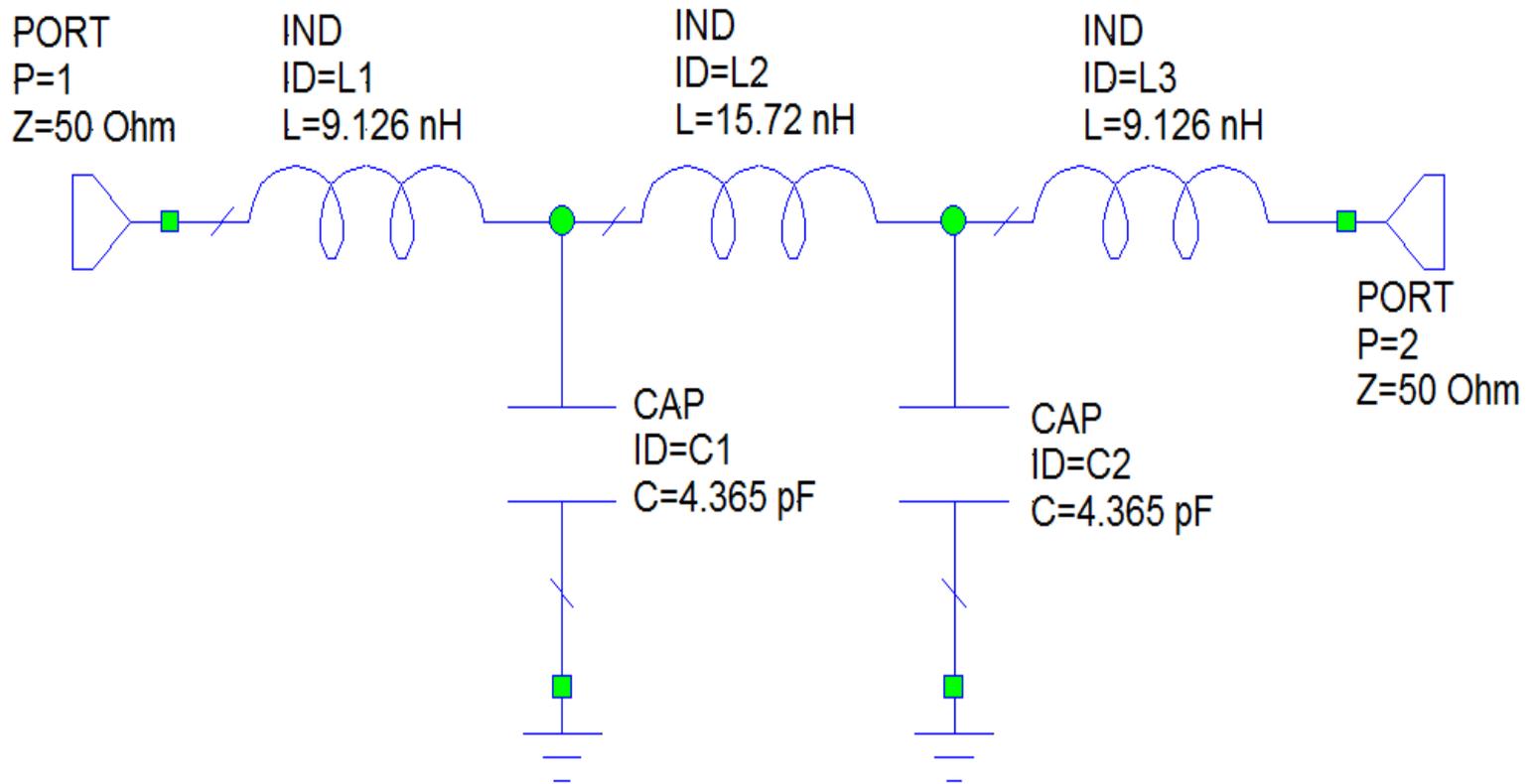
# Полосковый ФНЧ на отрезках НПЛ с высоким и низким волновыми сопротивлениями



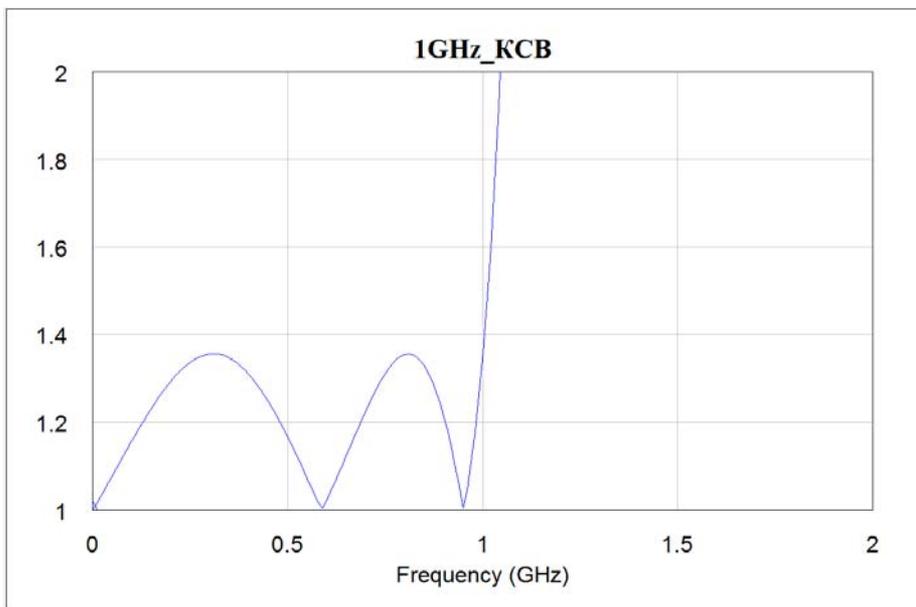
1 - отрезки с высоким  
волновым сопротивлением

2 - отрезки с низким  
волновым сопротивлением

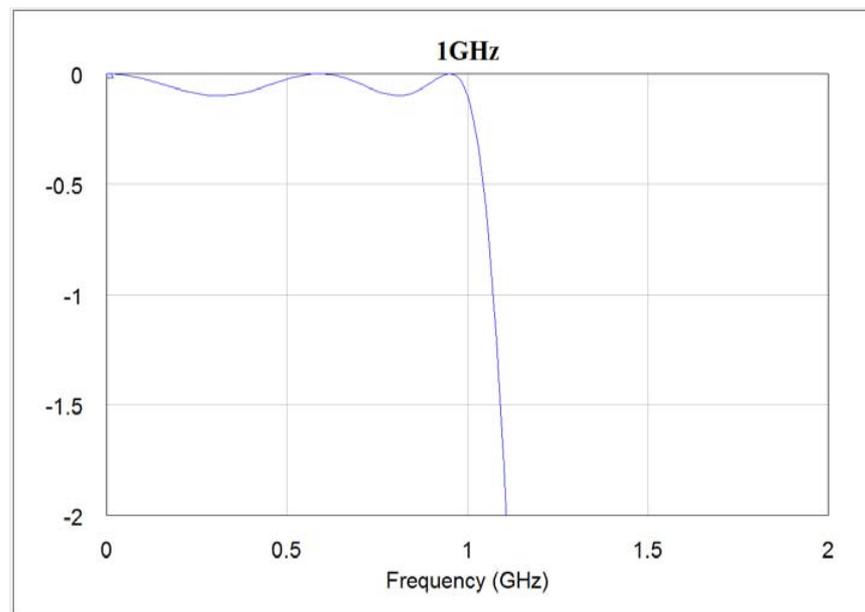
Чебышевский ФНЧ 5-го порядка  
на идеальных реактивных элементах  
с верхней границей полосы пропускания  
 $F_{\text{В}} \approx 1 \text{ ГГц}$



Электрические характеристики  
чебышевского ФНЧ 5-го порядка  
на идеальных реактивных элементах  
с верхней границей полосы пропускания  
 $F_B \approx 1$  ГГц

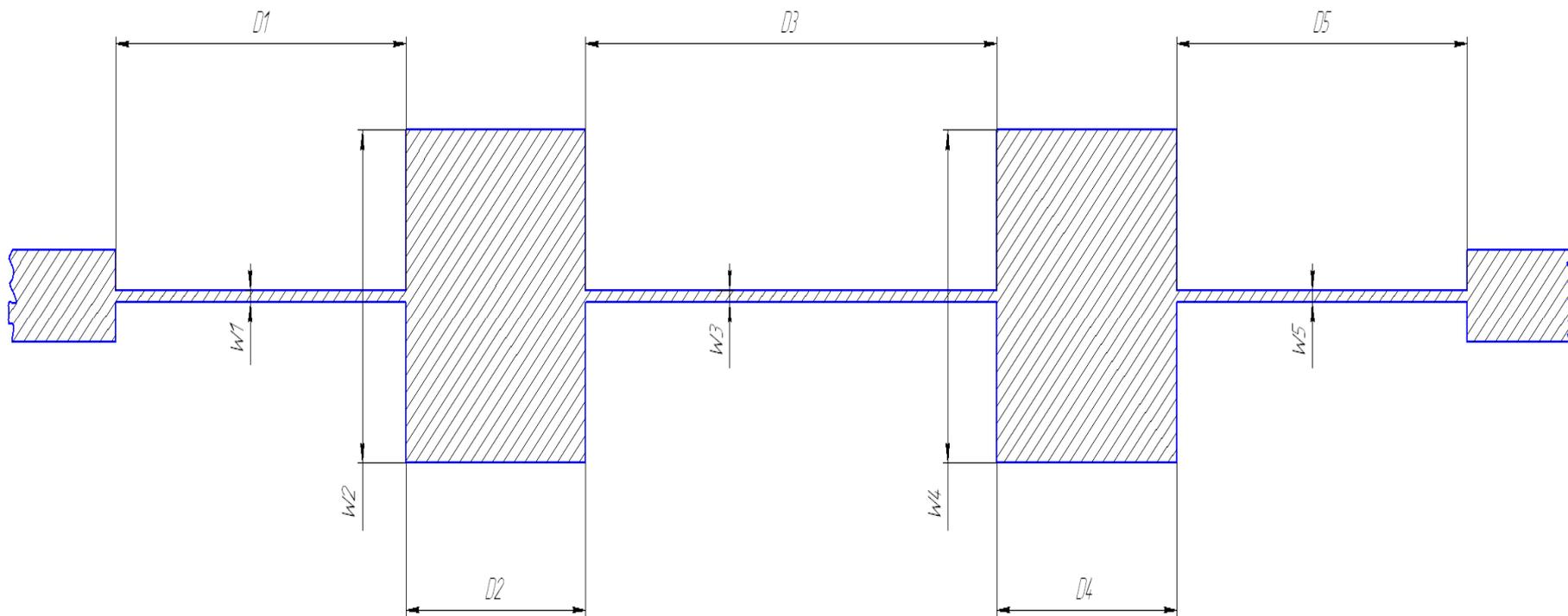


КСВН ФНЧ 5-го порядка



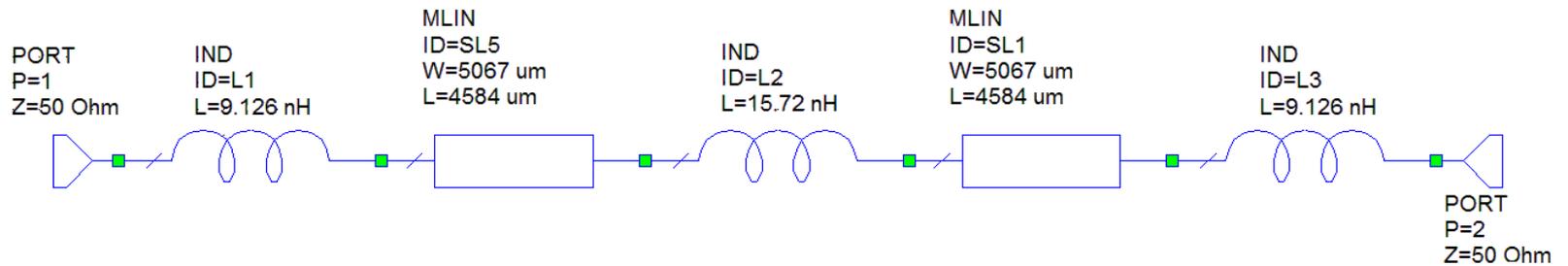
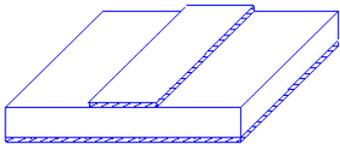
АЧХ ФНЧ 5-го порядка

# Топология токонесущего проводника полоскового ФНЧ 5-го порядка.

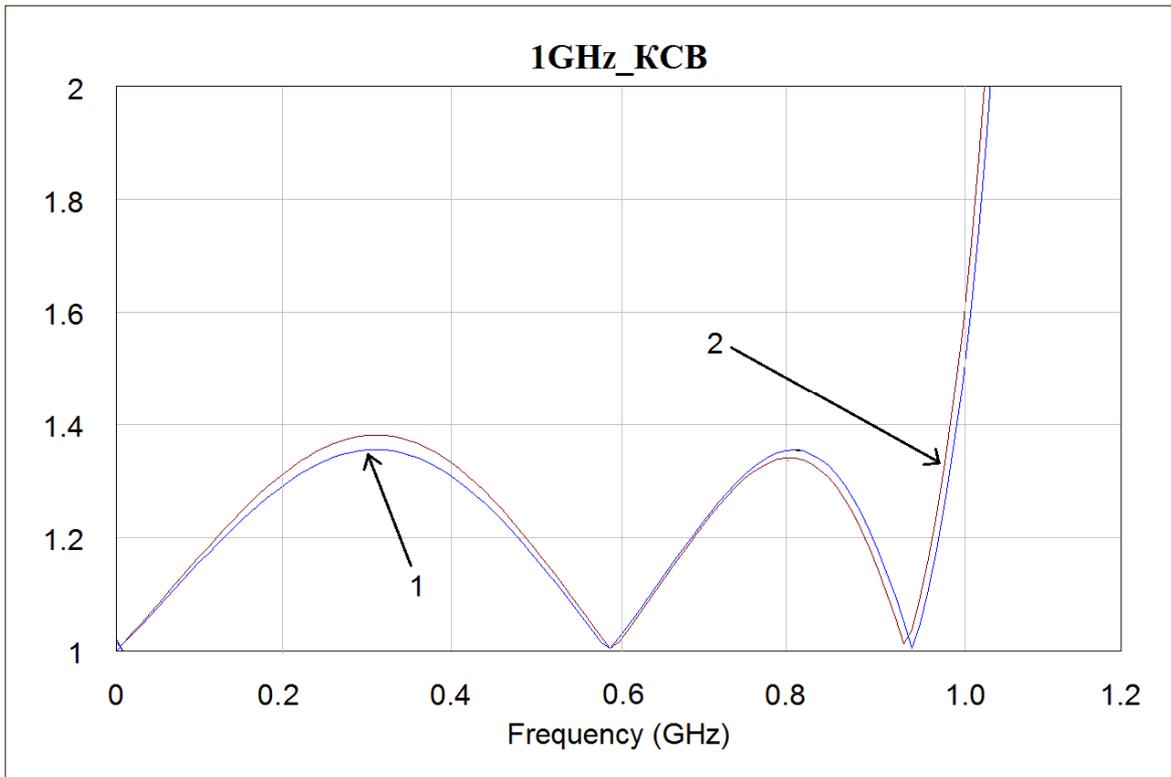


# Схема с заменой идеальных конденсаторов на отрезки НПЛ с низким волновым сопротивлением.

MSUB  
Er=9.6  
H=500 um  
T=7 um  
Rho=1  
Tand=0.0001  
ErNom=9.6  
Name=SUB1



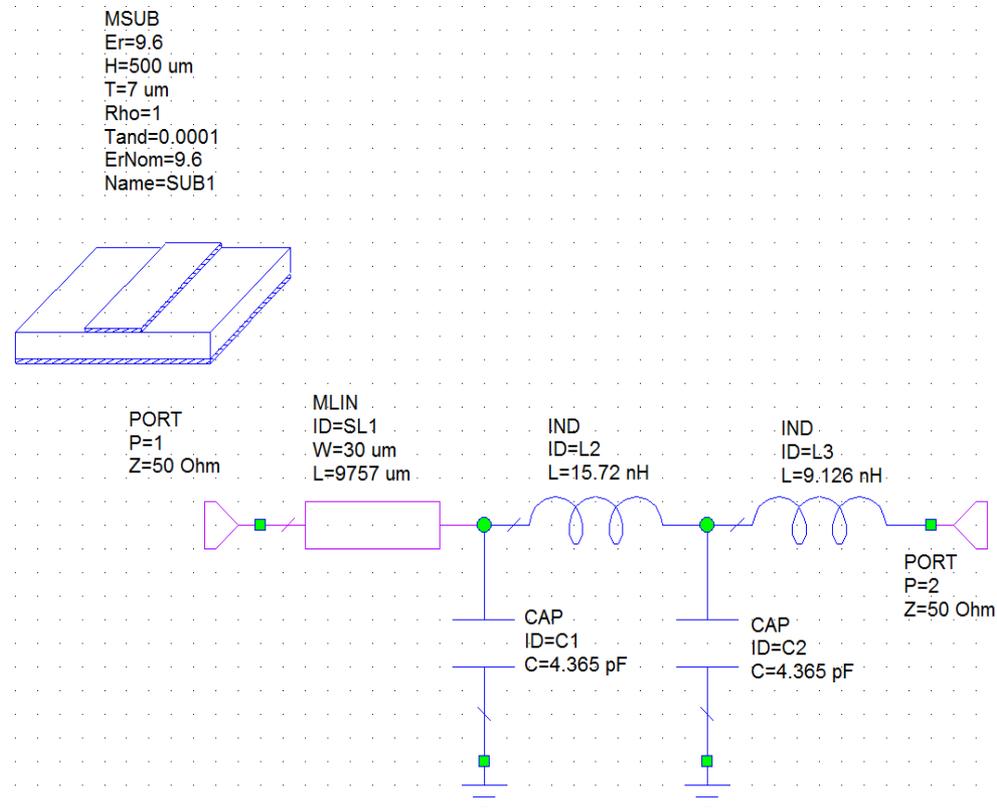
# КСВН ФНЧ 5-го порядка



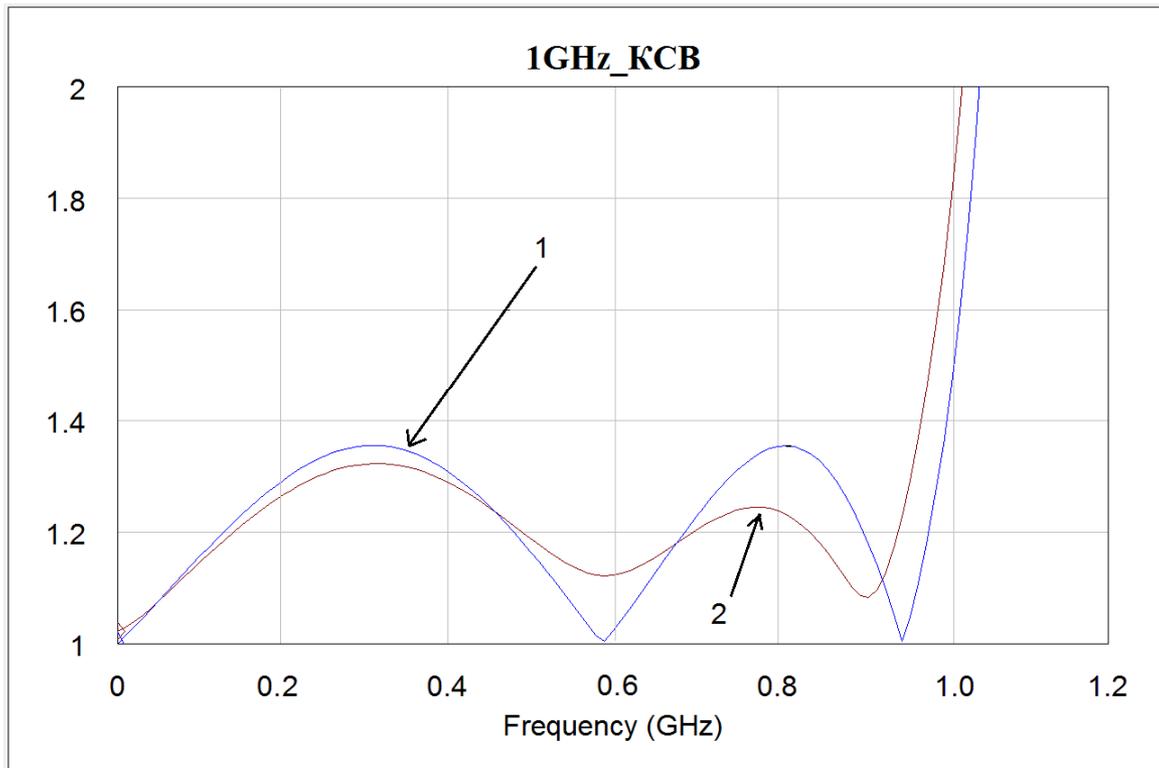
Кривая 1 – частотная зависимость КСВН ФНЧ на идеальных реактивных элементах

Кривая 2 – частотная зависимость КСВН ФНЧ, где идеальные ёмкости заменены на отрезки НПЛ с низким волновым сопротивлением

# Схема ФНЧ 5-го порядка, с заменой одной идеальной индуктивности на отрезок НПЛ с высоким волновым сопротивлением.



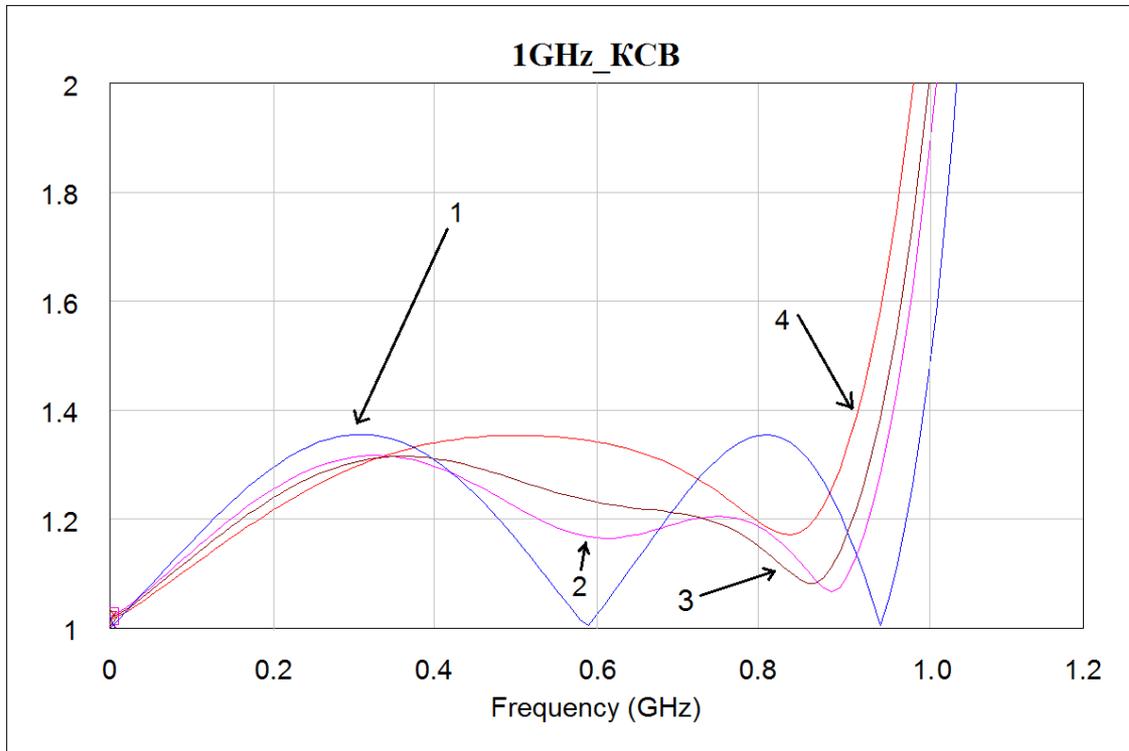
# КСВН ФНЧ 5-го порядка.



Кривая 1 - частотная зависимость КСВН ФНЧ на идеальных реактивных элементах

Кривая 2 - частотная зависимость КСВН ФНЧ, где одна идеальная индуктивность заменена на отрезок НПЛ с высоким волновым сопротивлением

# КСВН ФНЧ 5-го порядка



Кривая 1 - частотная зависимость КСВН ФНЧ на идеальных реактивных элементах

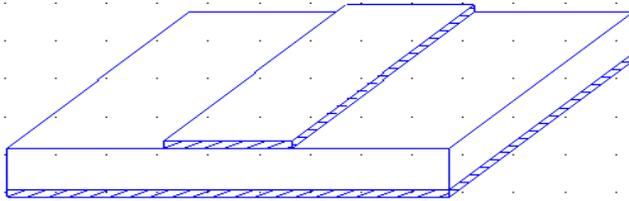
Кривая 2 частотная зависимость КСВН ФНЧ, где одна идеальная индуктивность заменена на отрезок НПЛ с высоким волновым сопротивлением, длина отрезка расчетная

Кривая 3 - частотная зависимость КСВН ФНЧ, где одна идеальная индуктивность заменена на отрезок НПЛ с высоким волновым сопротивлением, длина отрезка больше расчетной.

Кривая 4 - частотная зависимость КСВН ФНЧ, где одна идеальная индуктивность заменена на отрезок НПЛ с высоким волновым сопротивлением, длина отрезка меньше расчетной.

# Определение волнового сопротивления с помощью программы MicroWave Office

MSUB  
Er=9.6  
H=500 um  
T=7 um  
Rho=1  
Tand=0.0001  
ErNom=9.6  
Name=SUB1



re=20.3

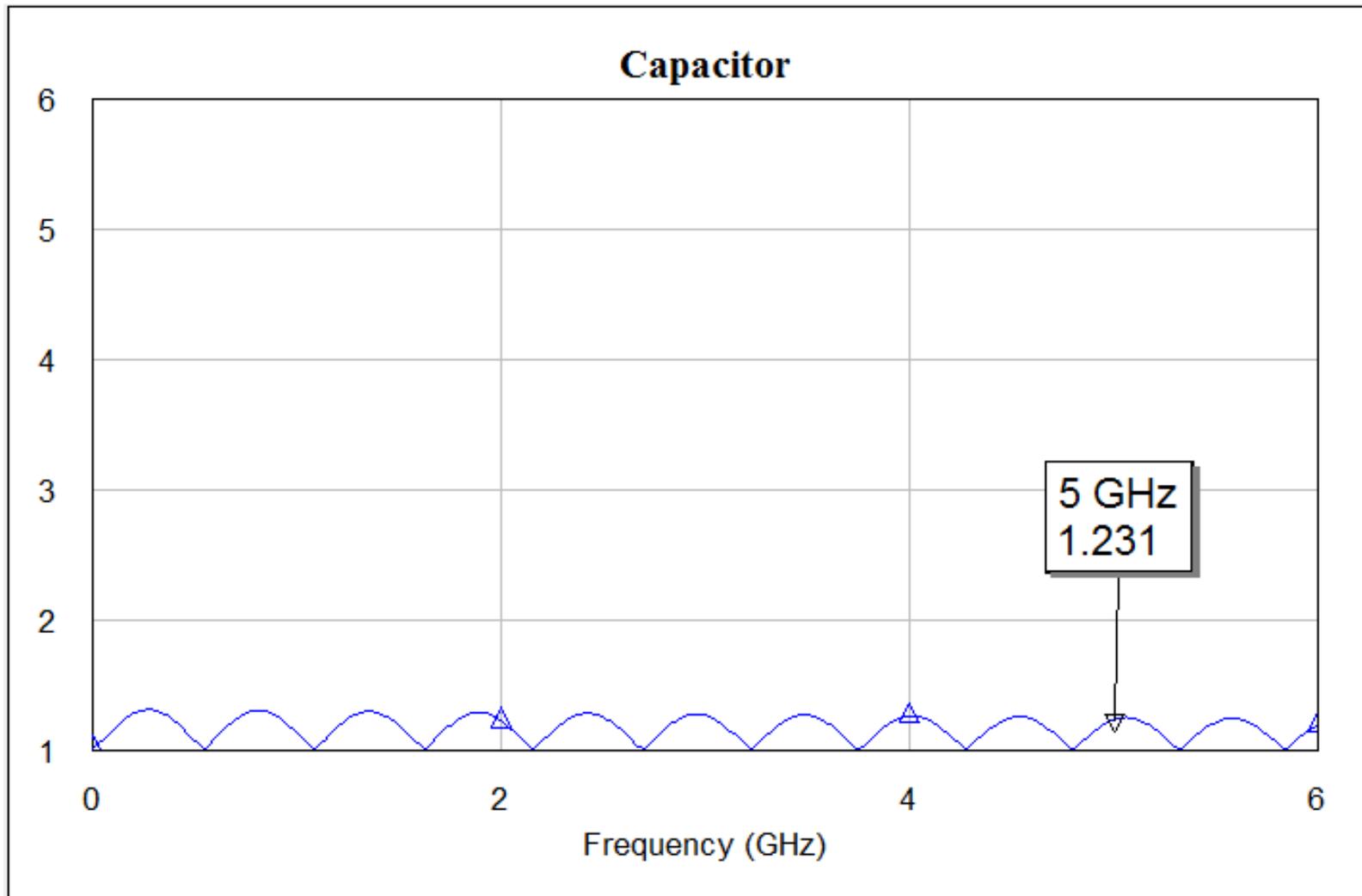
PORT  
P=1  
Z=re Ohm

MLIN  
ID=TL1  
W=2266 um  
L=1e5 um



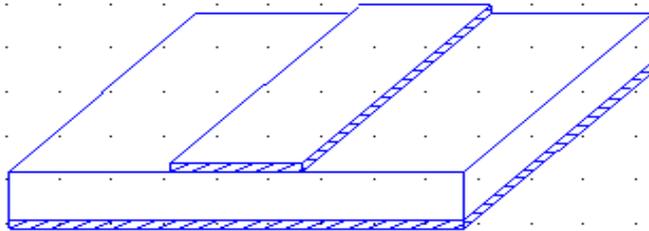
PORT  
P=2  
Z=re Ohm

# Частотная зависимость КСВН исследуемого отрезка НПЛ при определении волнового сопротивления



# Определение $\sqrt{\epsilon_{\text{эфф}}}$ с помощью программы MicroWave Office

MSUB  
Er=9.6  
H=500 um  
T=7 um  
Rho=1  
Tand=0.0001  
ErNom=9.6  
Name=SUB1



re=1.255e4

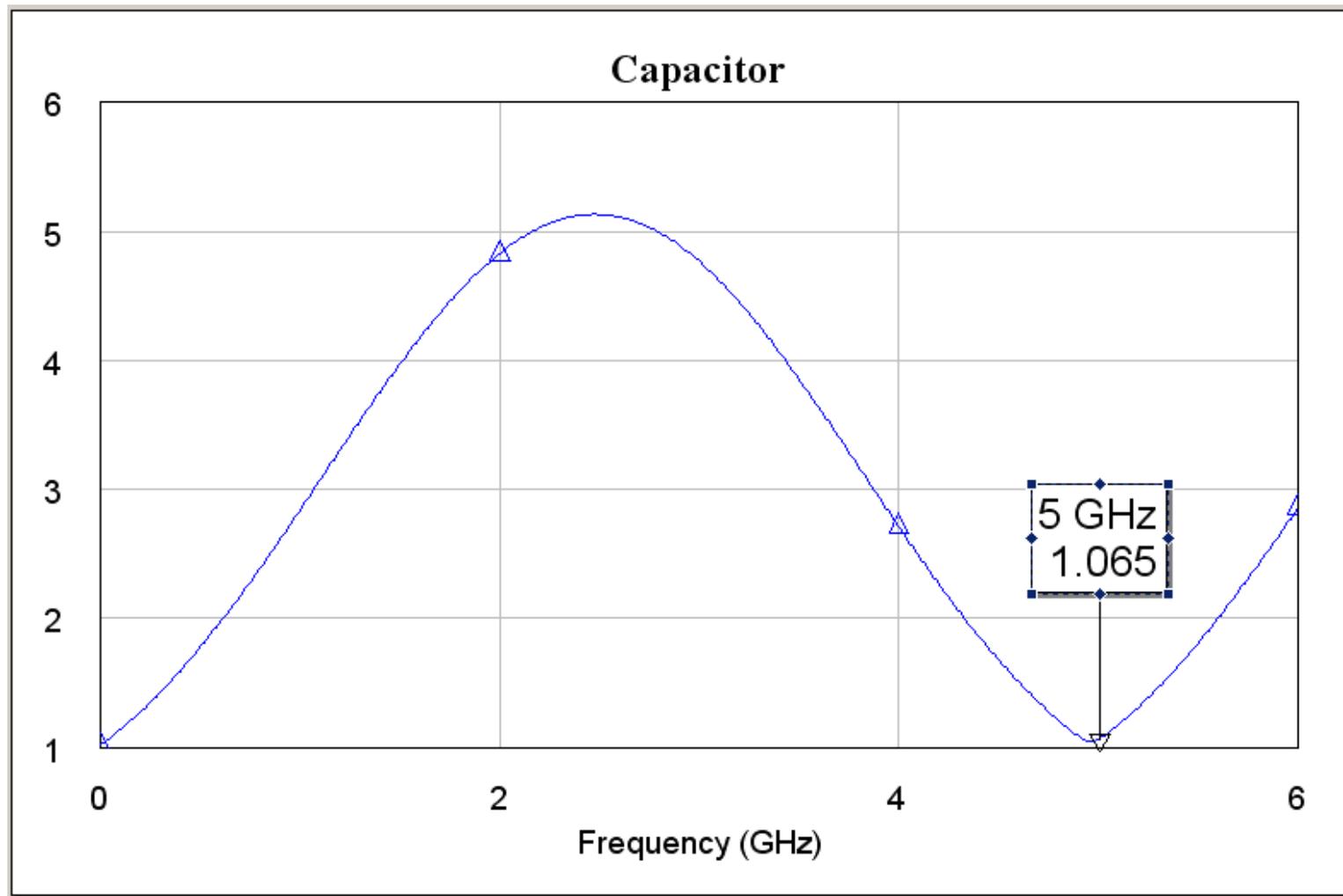
PORT  
P=1  
Z=50 Ohm

MLIN  
ID=TL1  
W=30 um  
L=re um

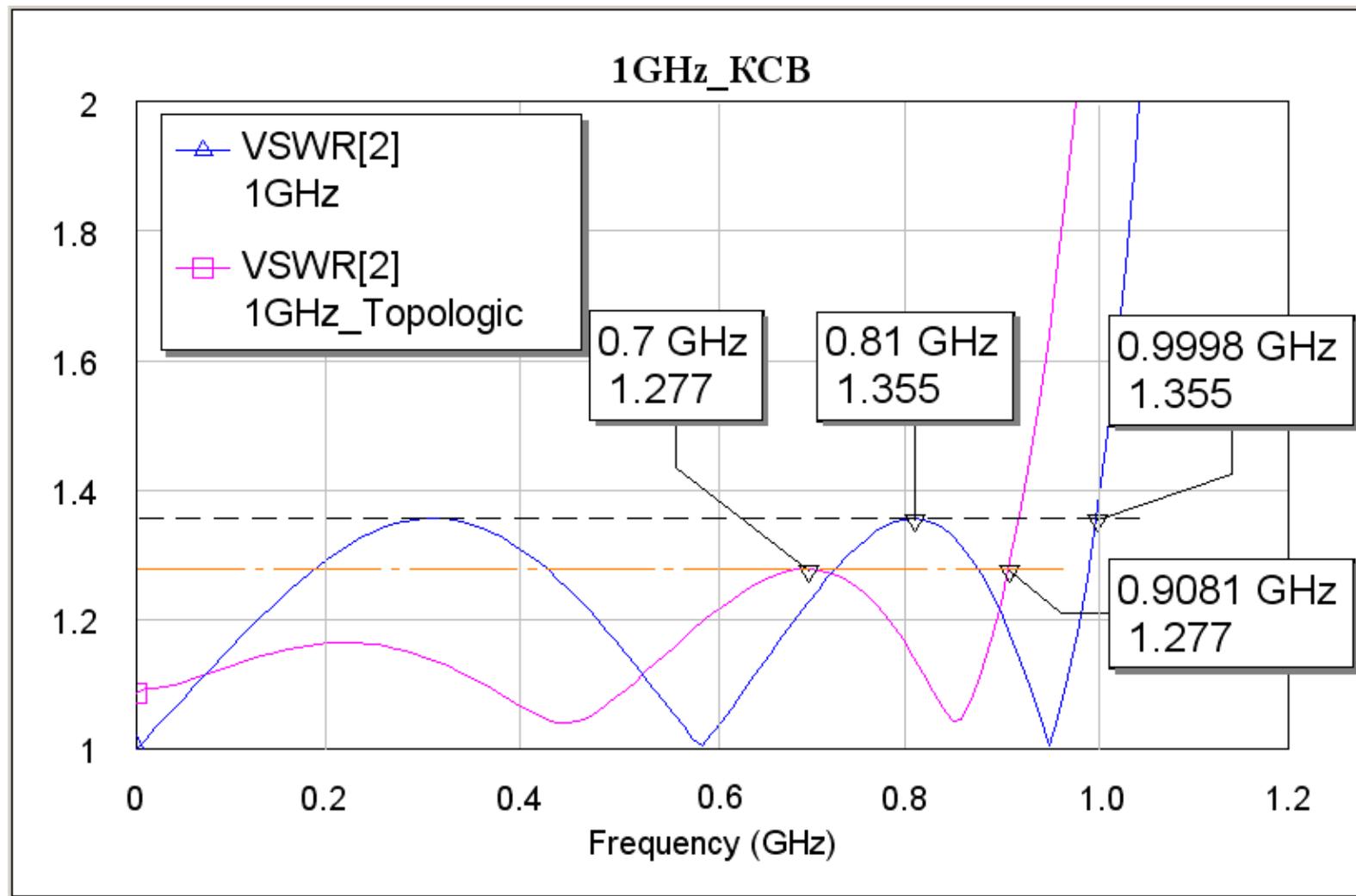


PORT  
P=2  
Z=50 Ohm

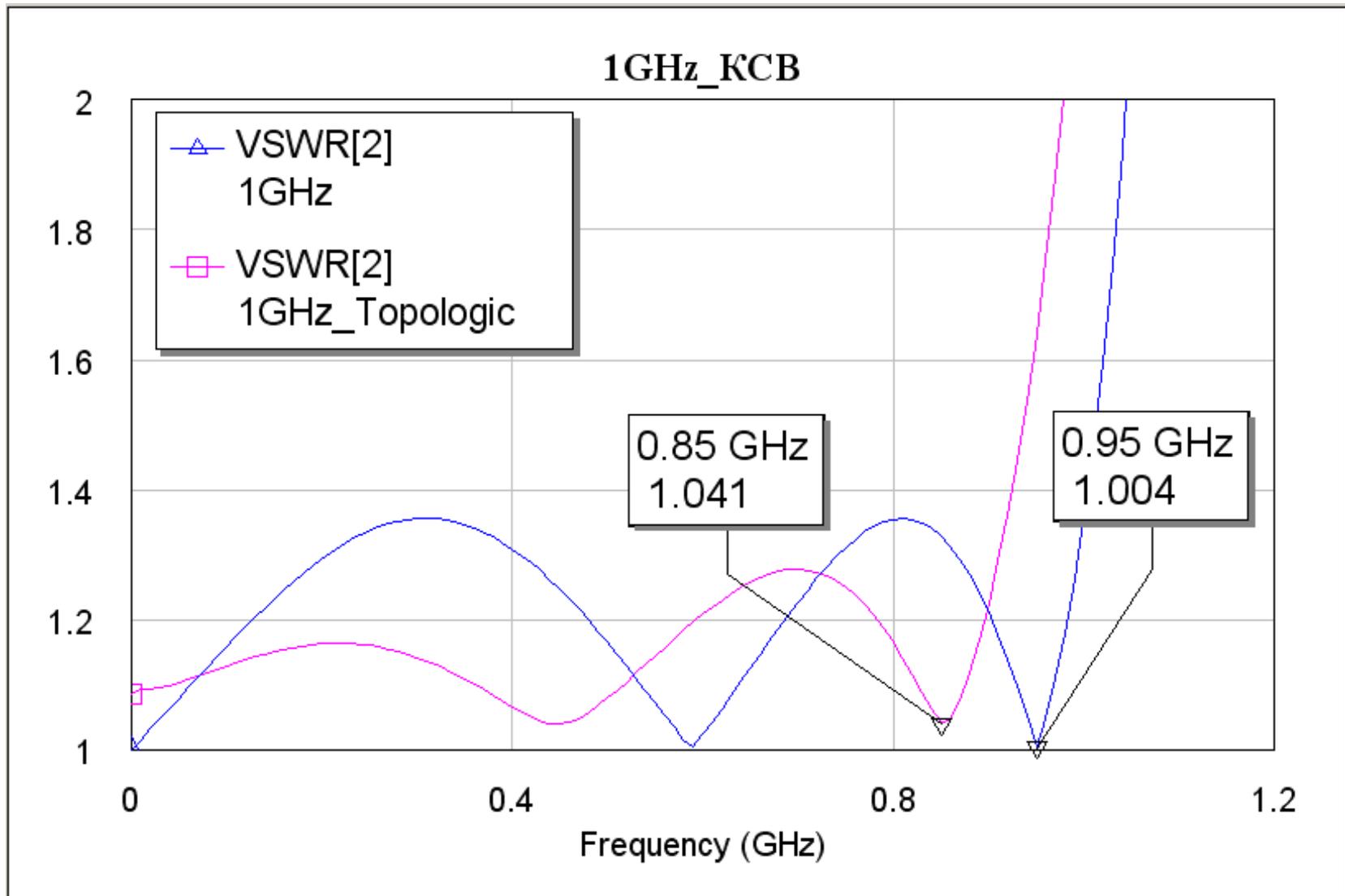
# Частотная зависимость КСВН исследуемого отрезка НПЛ при определении $\sqrt{\epsilon_{эфф}}$



# Нахождение поправочных коэффициентов первого типа (Кпопр.1)



# Нахождение поправочных коэффициентов второго типа (Кпопр.2)



# Результаты вычислений Кпопр.1 и Кпопр.2

5-ти звенный ФНЧ					
Фв-ид, ГГц	Фв-пи, ГГц	Кпопр.1	Фмин-ид, ГГц	Фмин-пи, ГГц	Кпопр.2
1	0,908	1,101	0,950	0,850	1,118
2	1,811	1,104	1,900	1,700	1,118
3	2,712	1,106	2,850	2,550	1,118
4	3,592	1,114	3,800	3,390	1,121
5	4,466	1,120	4,760	4,210	1,131
6	5,364	1,119	5,710	5,070	1,126
7	6,253	1,119	6,660	5,910	1,127
8	7,117	1,124	7,610	6,710	1,134
9	8,071	1,115	8,560	7,580	1,129
10	8,985	1,113	9,510	8,430	1,128

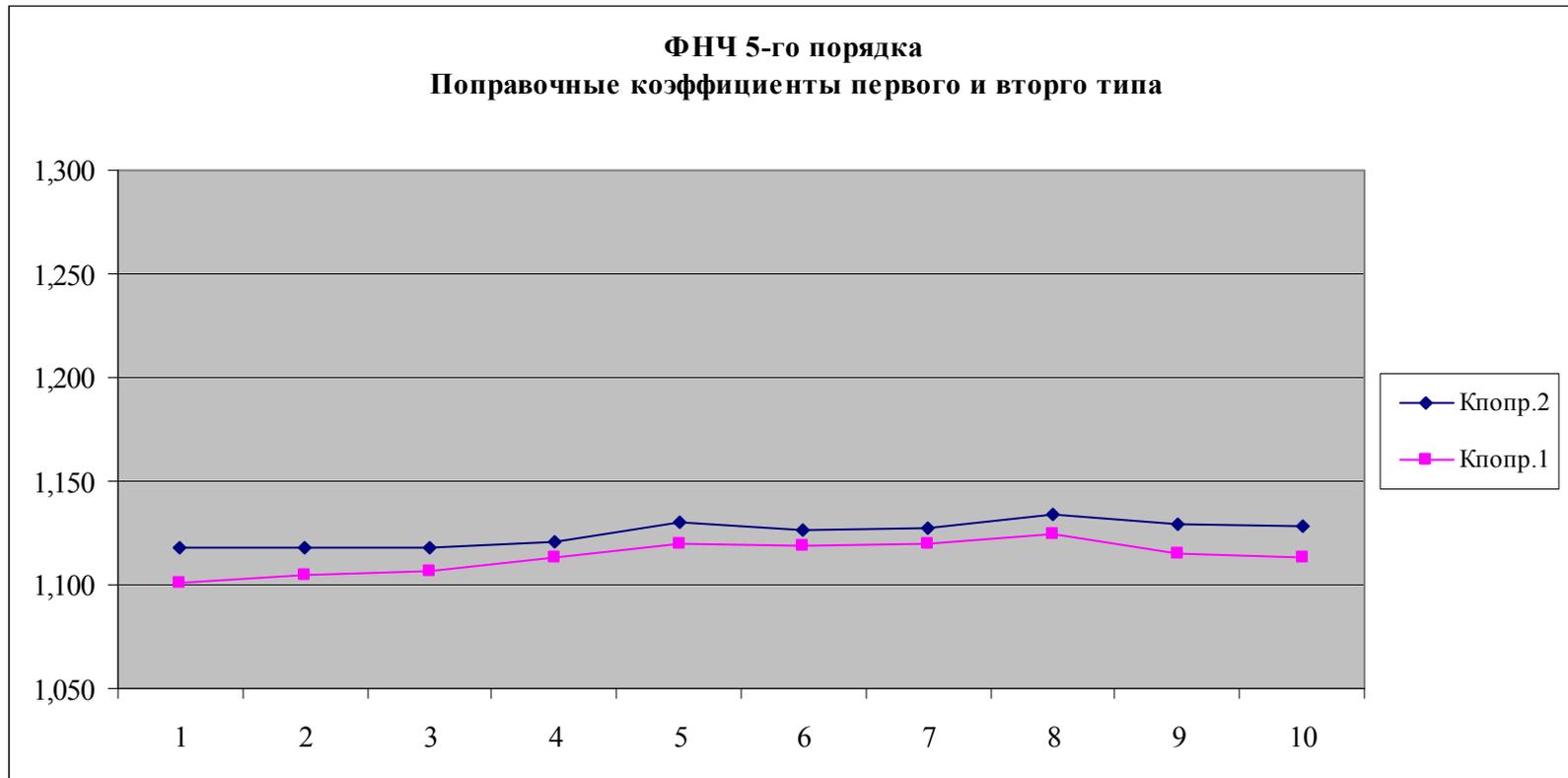
$$K_{\text{попр.1}} = \frac{F_{\text{в-ид}}}{F_{\text{в-пи}}}$$

$$K_{\text{попр.2}} = \frac{F_{\text{мин-ид}}}{F_{\text{мин-пи}}}$$

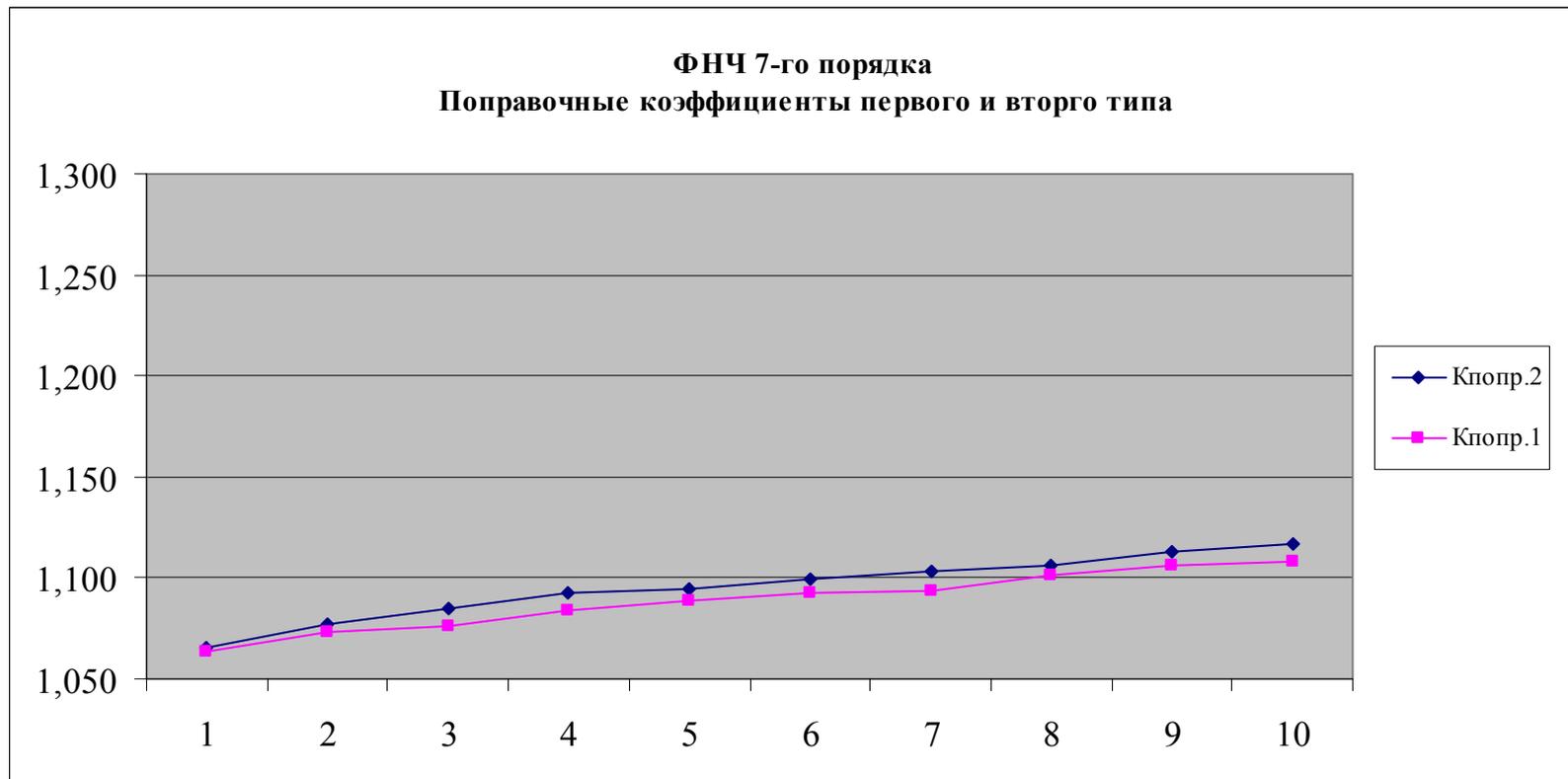
# График зависимости коэффициентов Кпопр.1 и Кпопр.2 для 3-звенного ФНЧ



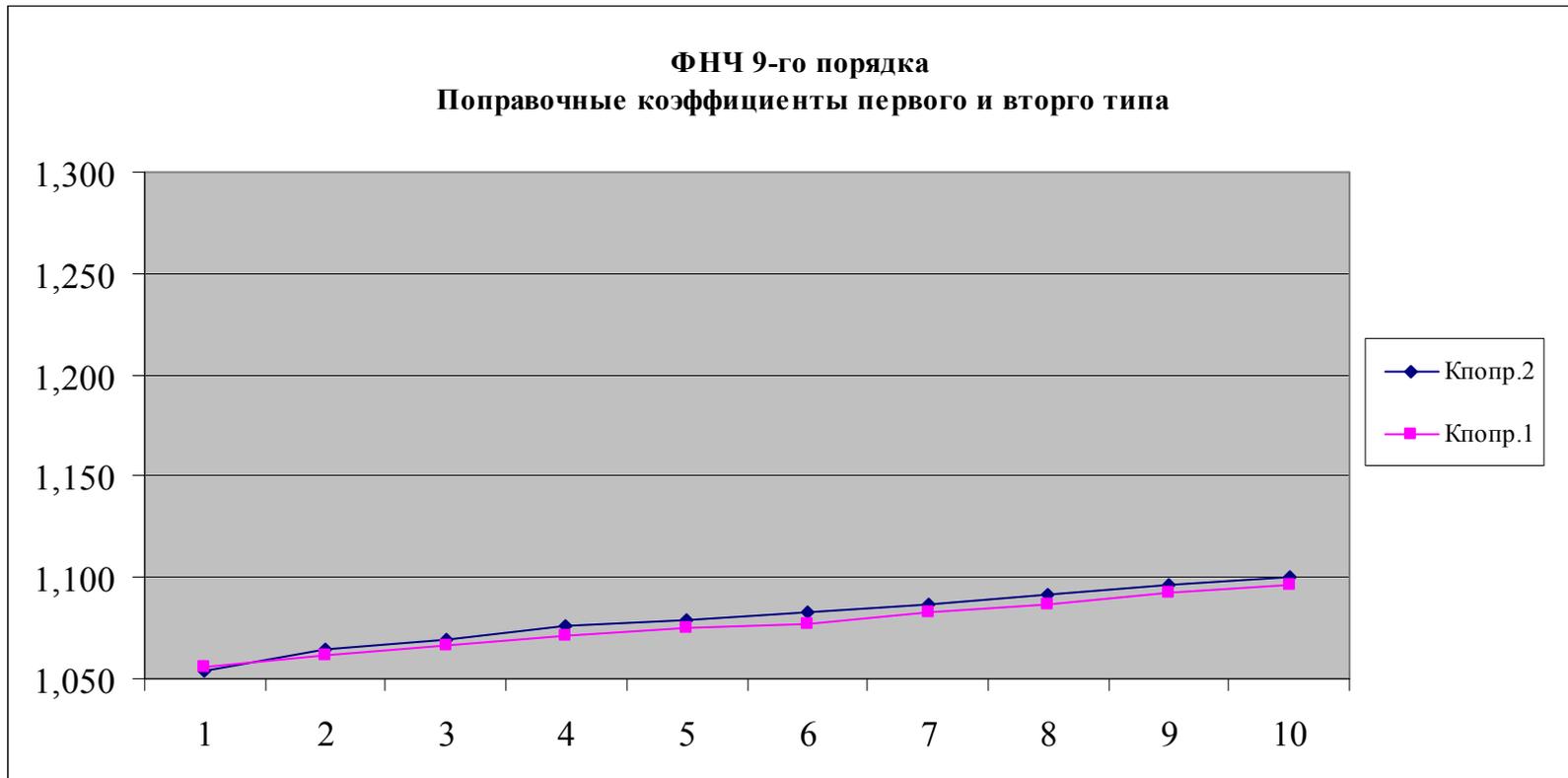
# График зависимости коэффициентов $K_{\text{попр.1}}$ и $K_{\text{попр.2}}$ для 5-звенного ФНЧ



# График зависимости коэффициентов Кпопр.1 и Кпопр.2 для 7-звенного ФНЧ



# График зависимости коэффициентов Кпопр.1 и Кпопр.2 для 9-звенного ФНЧ



## **Что ещё предстоит сделать?**

- **Рассчитать коэффициенты для ФНЧ более высоких порядков**
- **Разработать методику физической реализации полоскового ФНЧ с “идеальными” чебышевскими характеристиками**