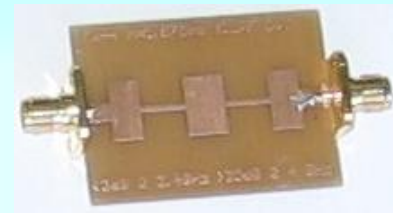


# Пројектовање филтра: Реализација каскадном везом одсечака вода

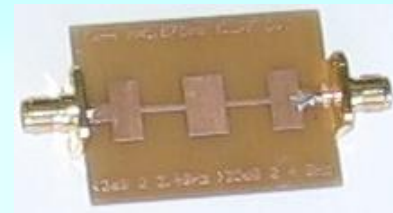


Дејан Тошић  
Владимир Петровић



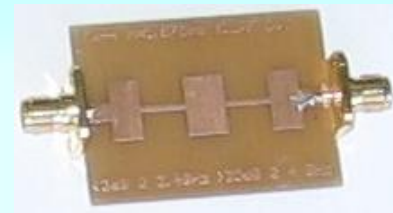
# Задатак

- Пројектовати микроталасни филтер пропусник **ниских** учестаности
- Гранична учестаност **3 dB** је **2,4 GHz**
- На учестаности **4 GHz** слабљење треба да је веће од **20 dB**
- Номиналне импедансе приступа су **50  $\Omega$**
- **$|s_{11}|$**  треба да је што **мање** у пропусном опсегу



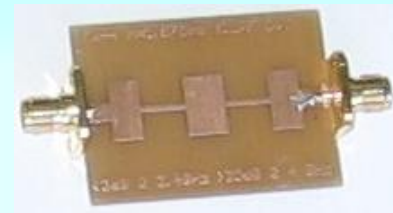
# Технологија

- Микротракасти вод
- Подлога **FR-4**
- Дебљина подлоге је **1,575 mm**
- Релативна пермитивност подлоге је **4,6**
- Дебљина метализације је **38  $\mu\text{m}$**
- Тангенс угла губитака је **0,02**
- Услед храпавости: у **MWO Rho=3**



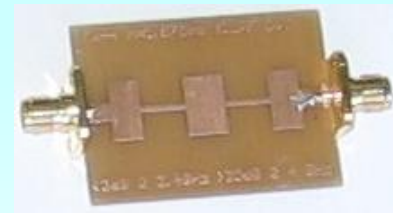
# Реализација

- Филтер реализовати као каскадну везу одсечака водова (*stepped-impedance*)
- Карактеристичне импедансе одсечака наизменично имају малу (**20  $\Omega$** ) вредност и велику (**90  $\Omega$** ) вредност
- Апроксимација је Батервортова



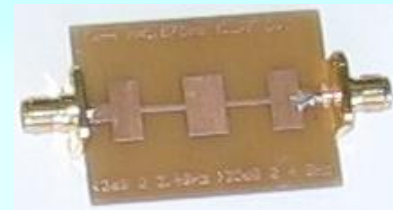
# Имплементација

- Издвојен склоп без кућишта
- Конектори **SMA**
- Уводни водови од **5 mm**, за **SMA**
- Најмања ширина метализације је **0,2 mm**
- На плочици одштампати само број индекса аутора (студента)
- За прављење плочице се користи нацрт (*layout*) направљен програмом **Protel**



# Пројектни поступак

Апроксимација, реализација,  
имплементација



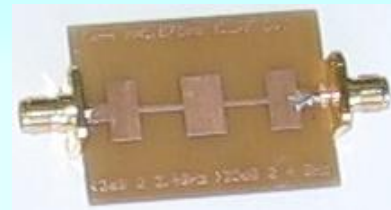
# Апроксимација

```
ProjekatFiltra.nb
```

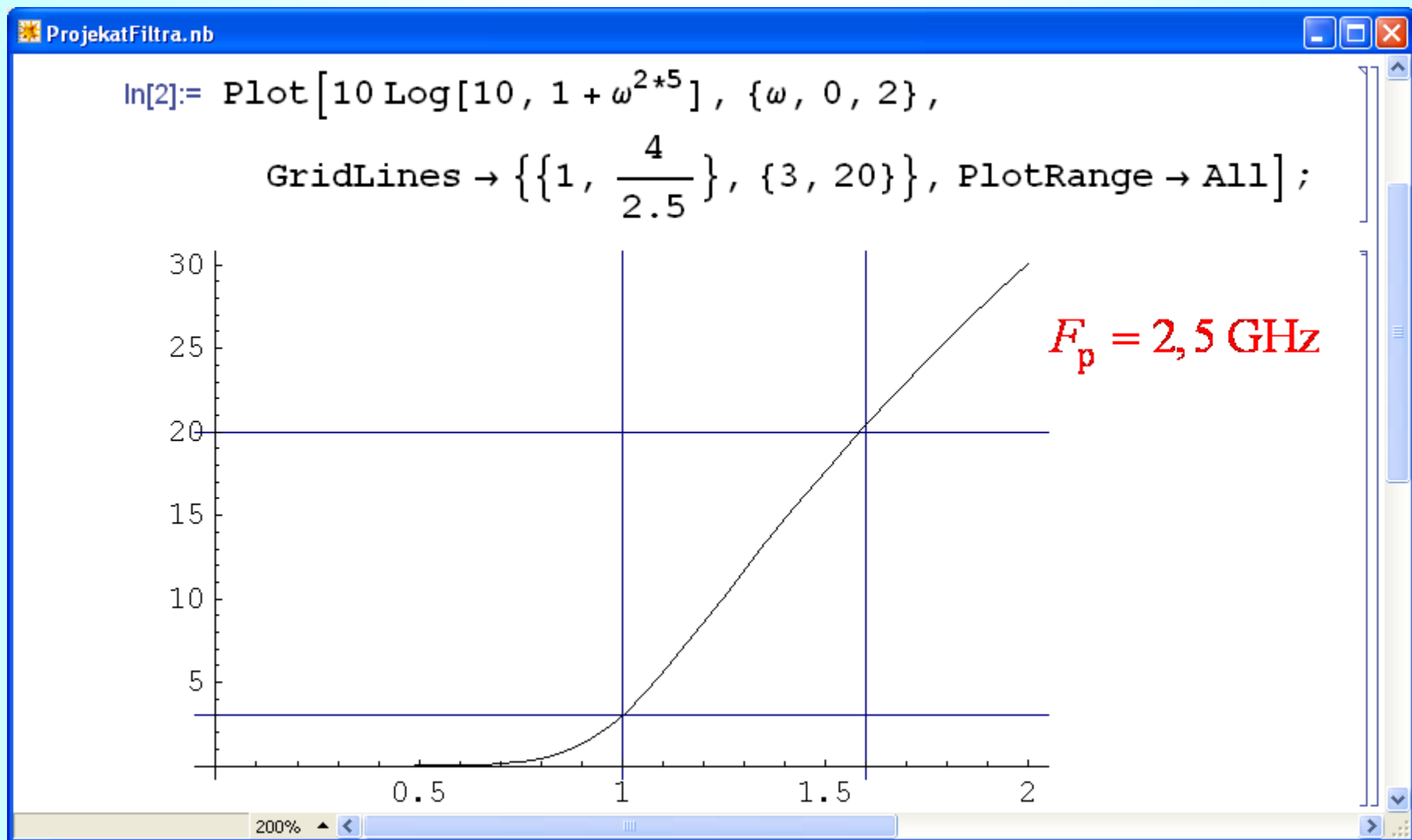
```
In[1]:= g = 2. Sin[ $\frac{2 \# - 1}{2 * 5} \pi$ ] & /@ Range[5]
```

```
Out[1]= {0.618034, 1.61803,  
         2., 1.61803, 0.618034}
```

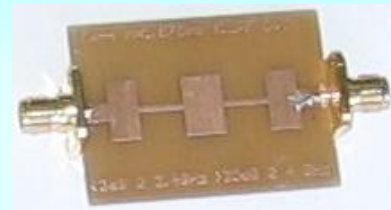
200%



# Апроксимација (2)







# LC реализација

**Filter Synthesis Wizard**

**Transmission Response Shape**  
Select the transmission response shape that you want to use to implement the filter.

Lowpass

Pass Band Stop Band

**Filter Synthesis Wizard**

**Filter Approximation Selection**  
Select an approximation to use for the transmission response.

Traditional Approximations

Butterworth (Maximally Flat Passband Magnitude)

Chebyshev (Equal Ripple Passband Magnitude)

Bessel (Maximally Flat Passband Delay)

**Filter Synthesis Wizard**

**Lowpass Parameter Specifications**  
Specify the lowpass parameter values.

Filter Order: N 5

Band Edge Frequency: FC 0.15915494309189535 GHz

Passband Parameter: PP Ripple [dB]

Passband Parameter Value: PV 3 dB

Source Resistance: RS 1 Ohm

Load Resistance: RL 1 Ohm

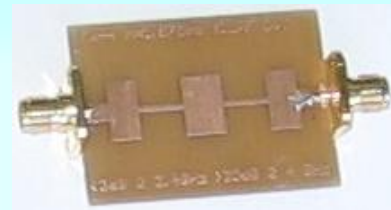
< Back Next > Cancel

**ProjekatFiltra.nb**

```
In[4]:=  $\frac{1}{2\pi}$  == 0.15915494309189535
```

Out[4]= True

200%



# LC реализација (2)

**Filter Synthesis Wizard**

**Lowpass Microwave Filter Technologies**  
Select the lowpass technology that you want to implement.

Ideal Electrical Model

**Filter Synthesis Wizard**

**Transmission Structure Selection**  
Select the transmission structure that you want to use to implement the filter.

Planar Physical Structures

- Microstrip
- Balanced Stripline

Electrical Models

- Lumped Element
- Ideal Transmission Line

**Lumped Element Spec Page**

**Lumped Element Parameter Specification**  
Select the lumped element topology, and element loss.

Topology

- Series Element First
- Shunt Element First

Element Loss

Include Element Loss

Inductor Q:

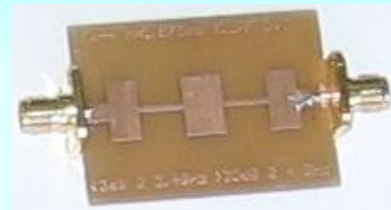
Capacitor Q:

Resonator Q:

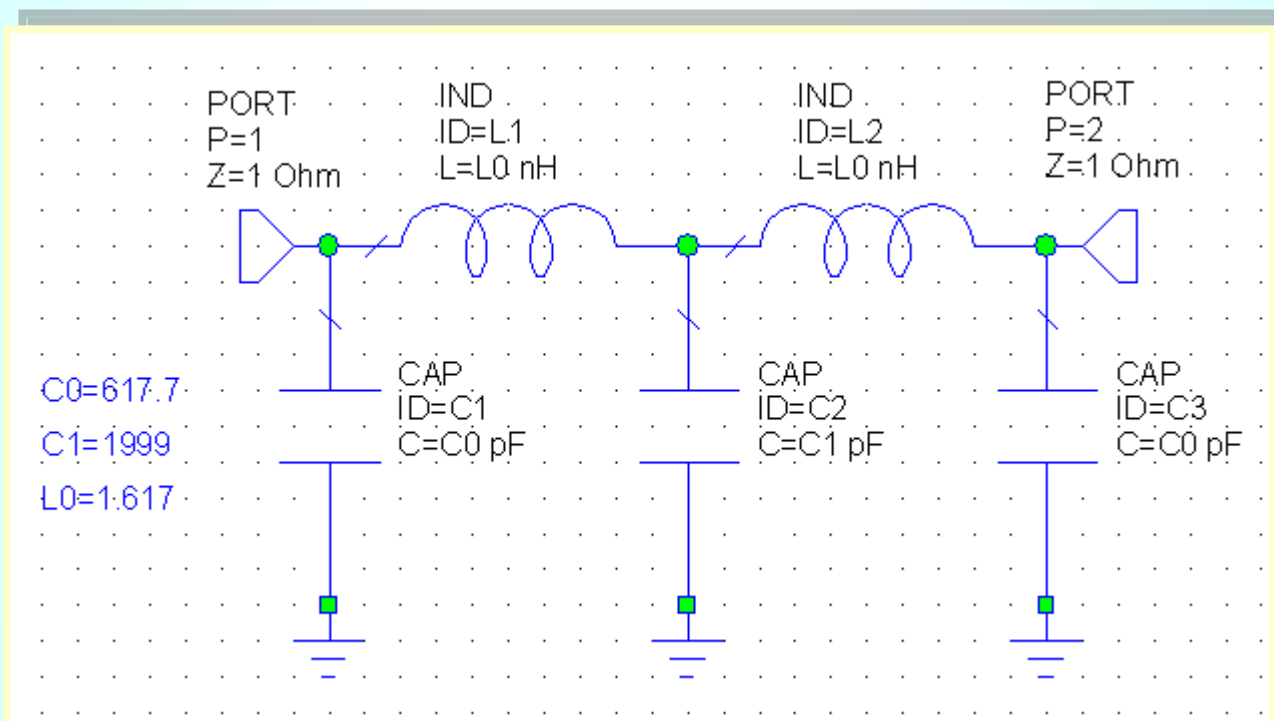
0 = Infinite Q

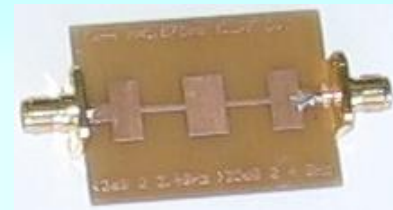
< Back   Next >   Cancel

< Back   Next >   Cancel



# LC реализација (3)





# Синтеза

$$\Theta_0 = C_{\text{proto}} Z_{c,\text{min}} / R_g$$

$$\Theta_0 = L_{\text{proto}} R_g / Z_{c,\text{max}}$$

ProjekatFiltra.nb

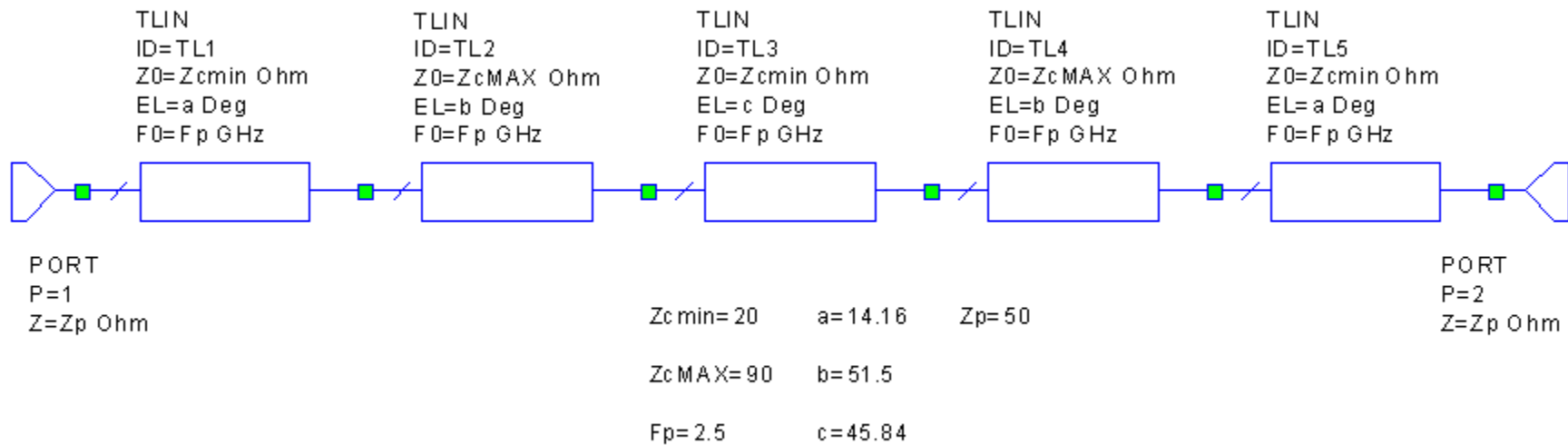
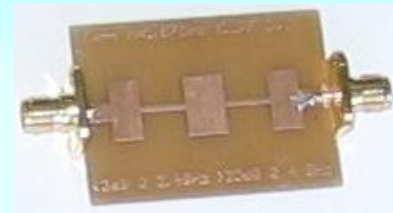
In[3]:=  $\Theta =$

```
MapIndexed[ (#1 If [oddQ[#2 // First],  $\frac{20}{50}$ ,  $\frac{50}{90}$ ]) &,  
g]  $\frac{180}{\pi}$ 
```

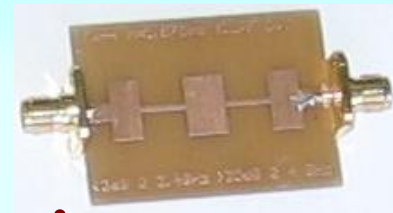
Out[3]= {14.1643, 51.5036, 45.8366, 51.5036, 14.1643}

200%

# Почетна реализација са идеалним водовима

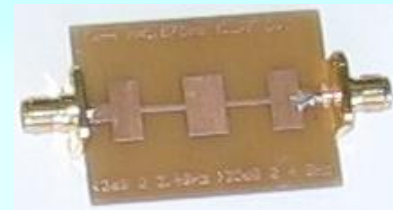


Гранична учестаност  
је незнатно повећана

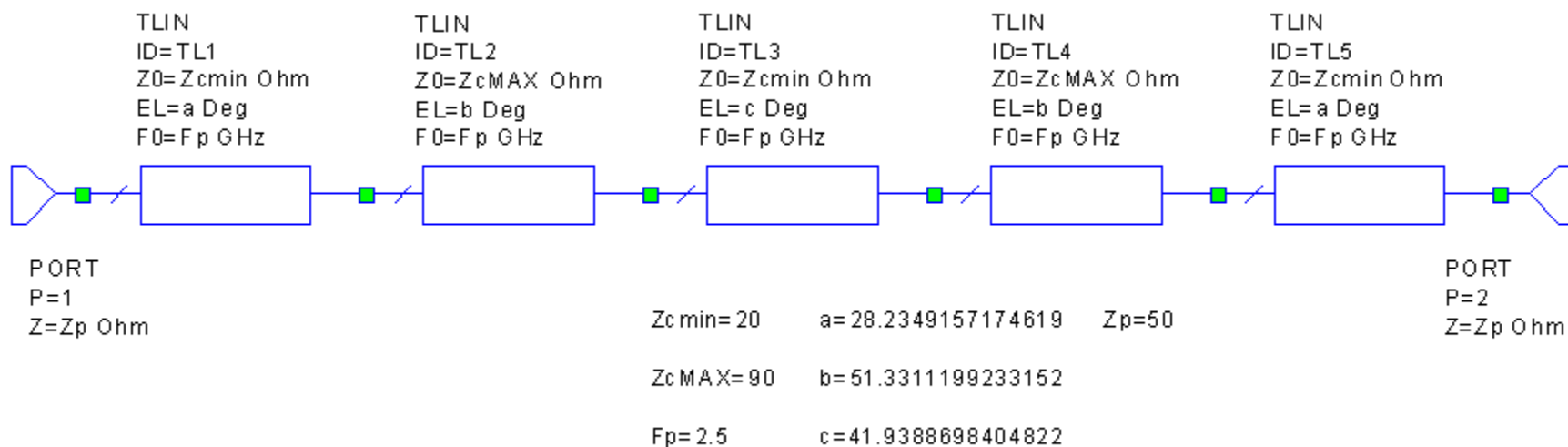


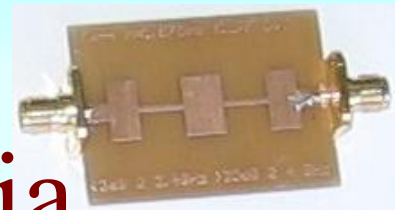
# Критеријуми оптимизације

- Модул параметра  $S_{21}$  треба да је већи од **-3 dB** за  $f < 2,5$  GHz, а на високим мањи од **-20 dB**,  $4$  GHz  $< f < 6$  GHz
- Модул параметра  $S_{11}$  треба да је мањи од **-10 dB** на ниским учестаностима



# Оптимизована реализација са водовима

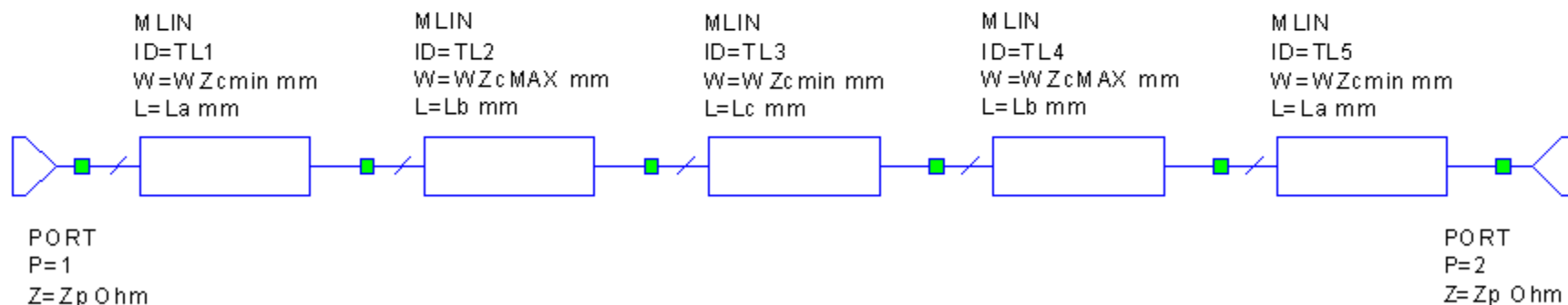
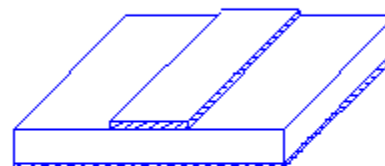




# Почетна имплементација (без моделовања дисконтинуитета)

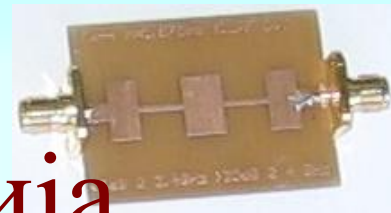
$W_{Zc\min} = 10.7$      $L_a = 4.66$      $Z_p = 50$   
 $W_{Zc\max} = 0.87$      $L_b = 9.54$   
 $L_c = 6.98$

MSUB  
Er=4.6  
H=1.575 mm  
T=0.038 mm  
Rho=3  
Tand=0.02  
ErNom=4.6  
Name=FR4



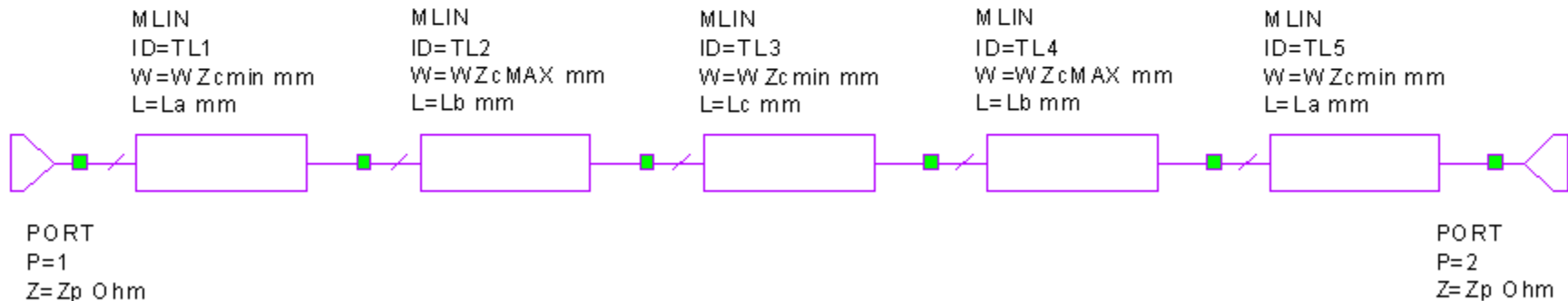
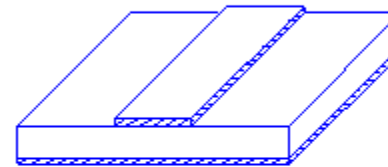


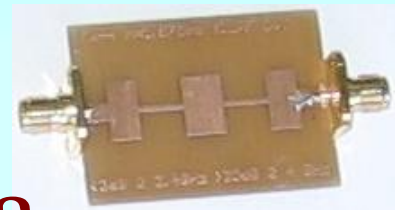
# Тјунована имплементација (са заокруживањем)



$W_{Zc\min} = 10$        $L_a = 5$        $Z_p = 50$   
 $W_{Zc\max} = 0.8$        $L_b = 9$   
 $L_c = 7$

MSUB  
Er=4.6  
H=1.575 mm  
T=0.038 mm  
Rho=3  
Tand=0.02  
ErNom=4.6  
Name=FR4

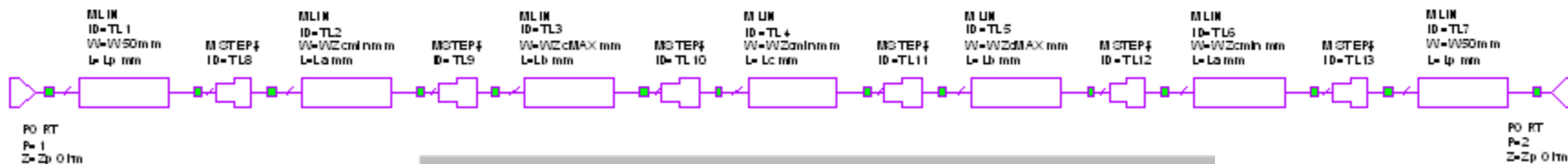
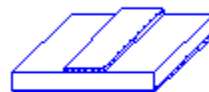




# Оптимална имплементација (са дисконтинуитетима и уводницима)

$WZ_{cmin}=10$      $L_a=5$      $Z_p=50$   
 $WZ_{cMAX}=0.8$      $L_b=7.6$      $L_p=5$   
 $W50=2.9$      $L_c=7$

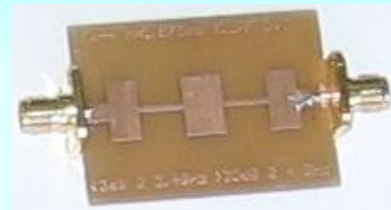
MSUB  
 $B=4.6$   
 $H=1.575$  mm  
 $T=0.038$  mm  
 $Rho=3$   
 $Tair=0.02$   
 $BNom=4.6$   
 Name=FR4



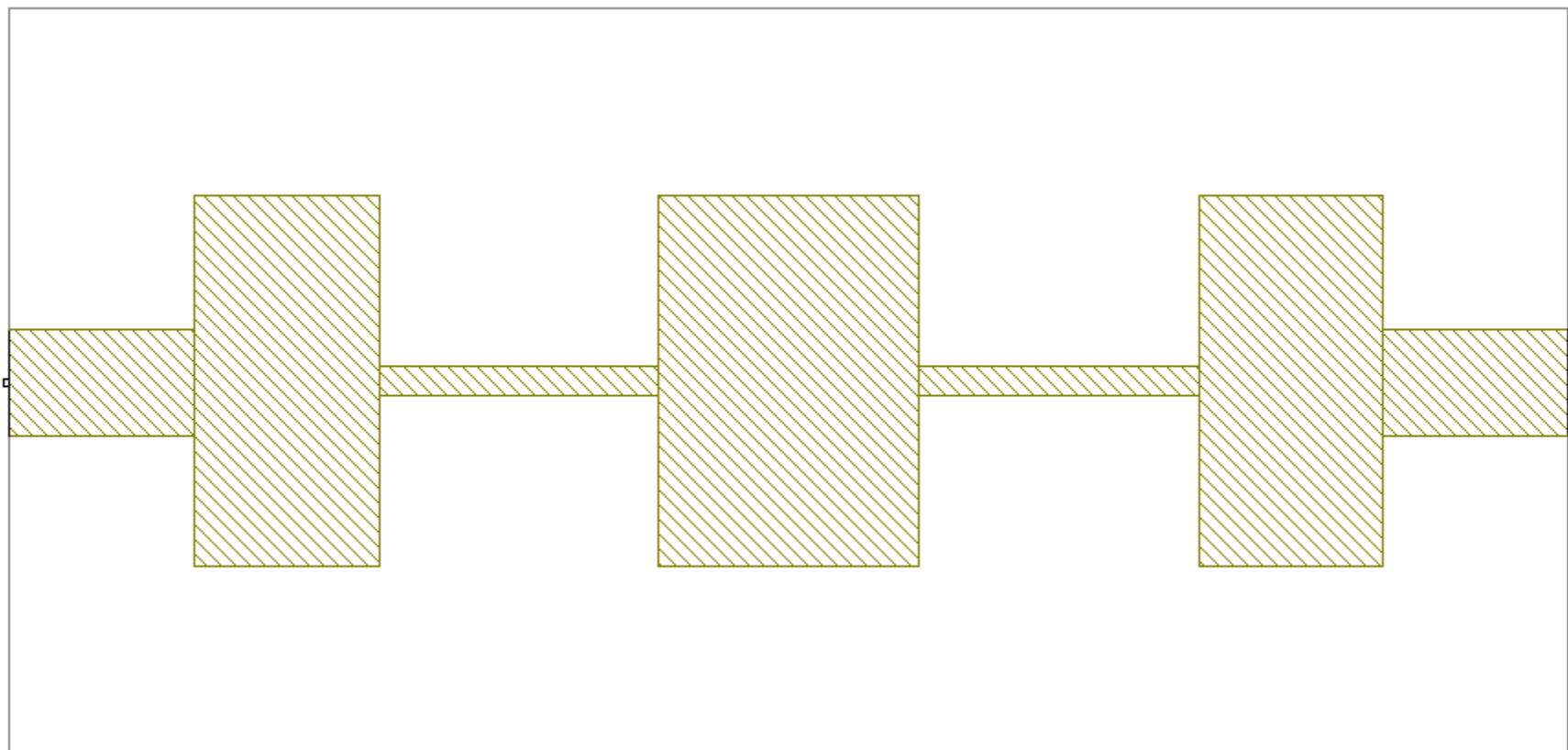
$WZ_{cmin}=10$      $L_a=5$      $Z_p=50$

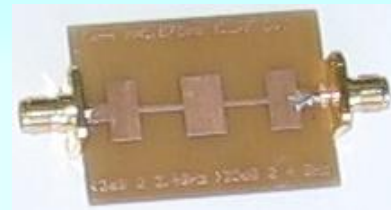
$WZ_{cMAX}=0.8$      $L_b=7.6$      $L_p=5$

$W50=2.9$      $L_c=7$

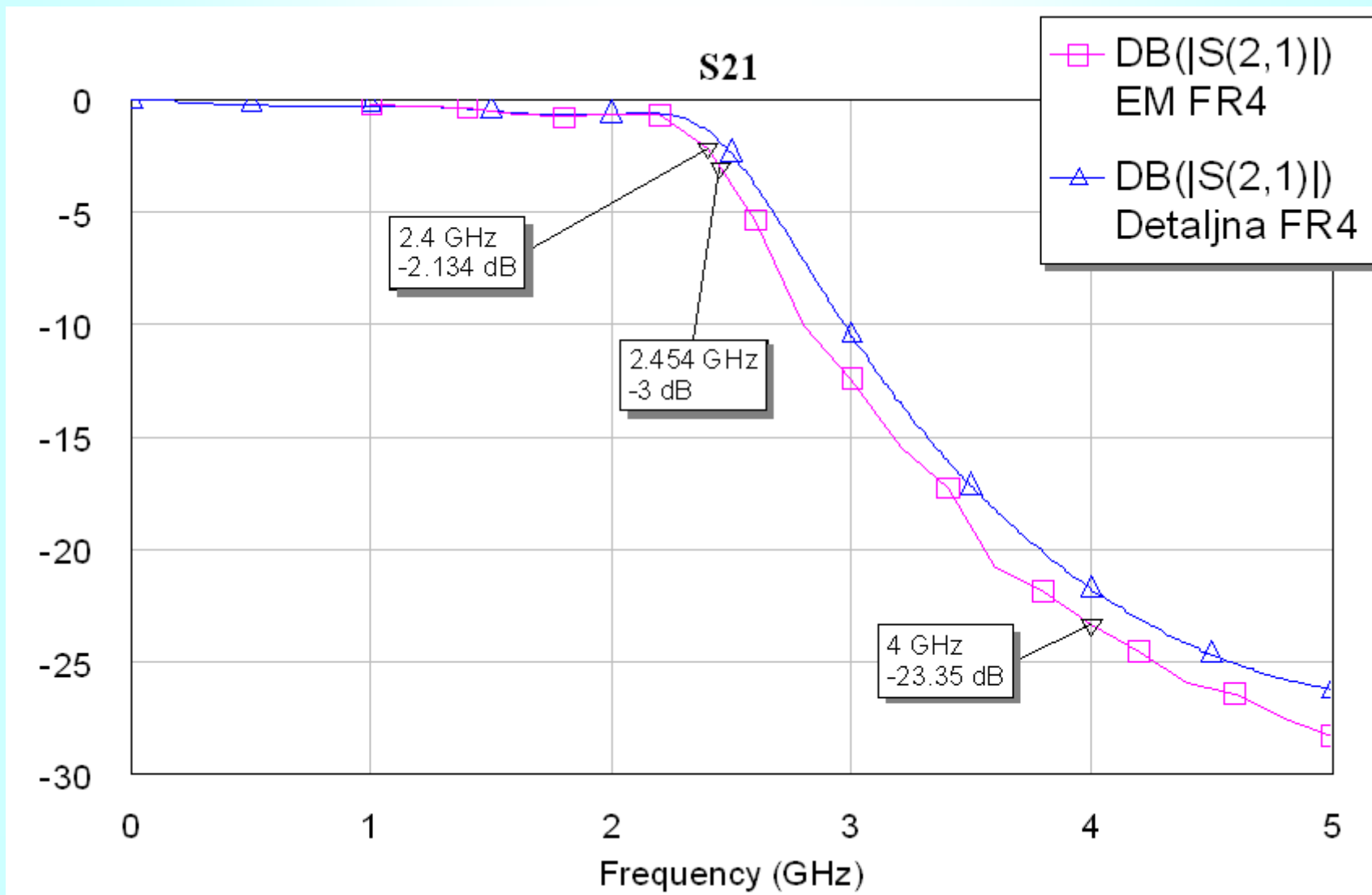


# Нацрт (layout) за ЕМ 3D симулацију

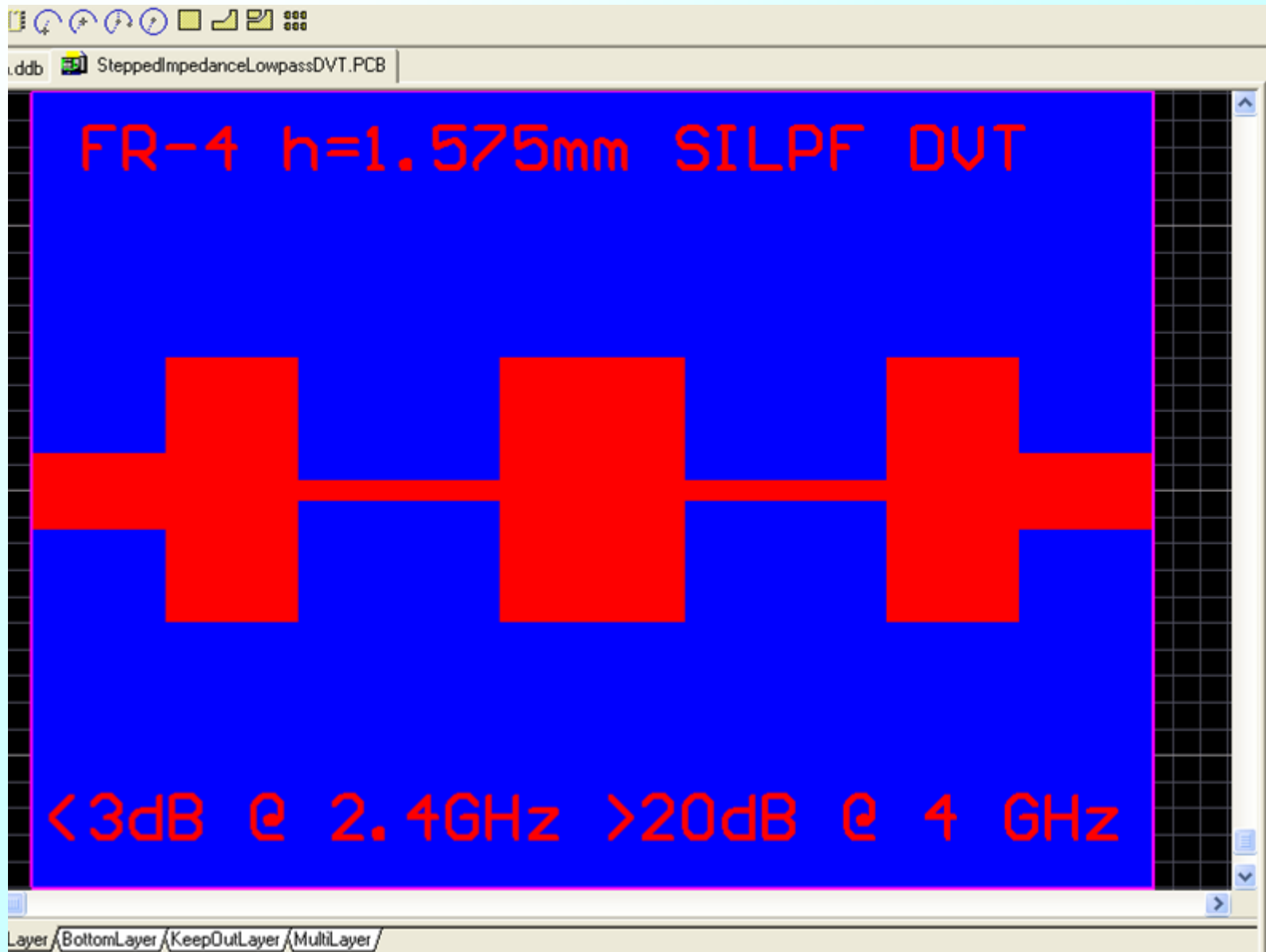
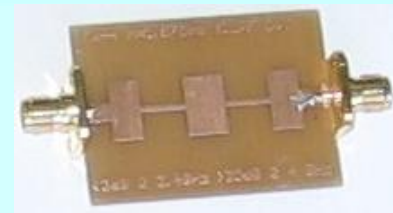


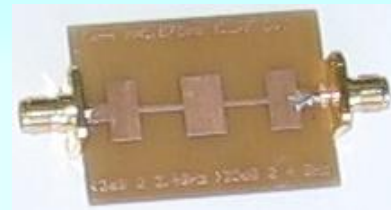


# ОДЗИВ

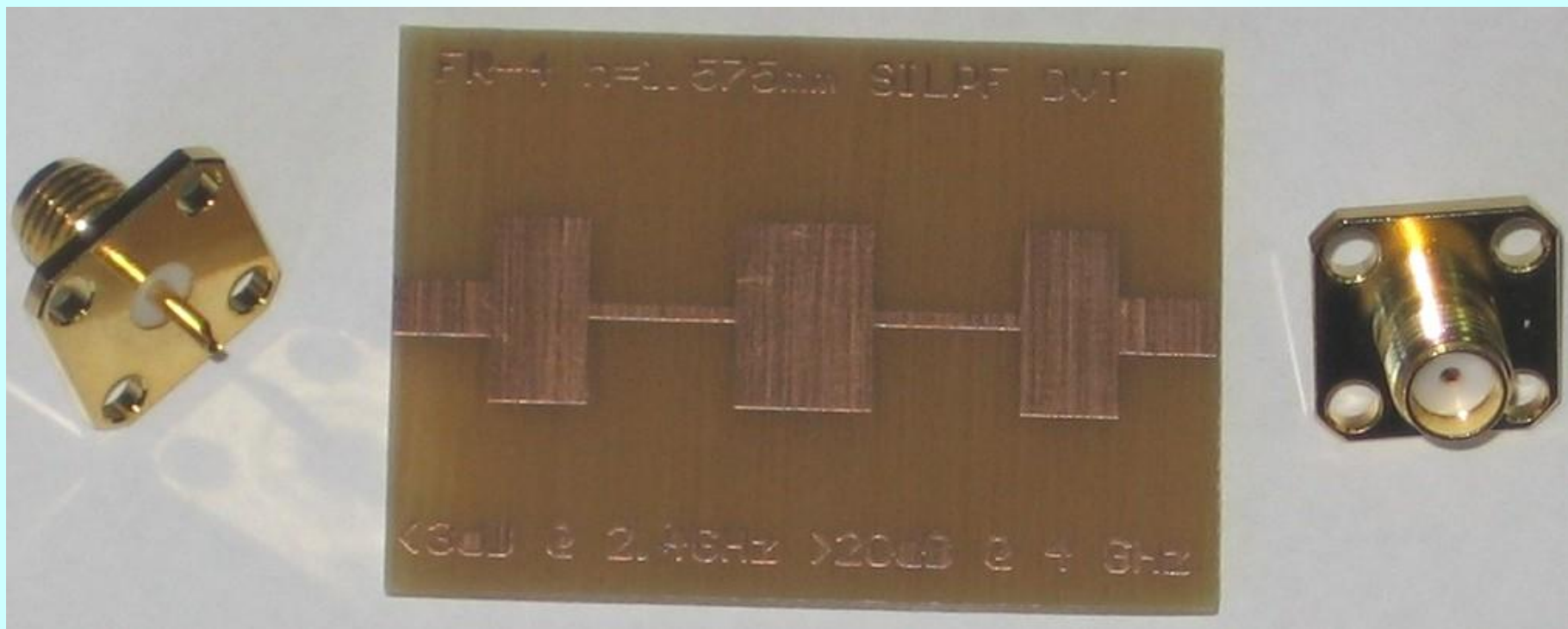


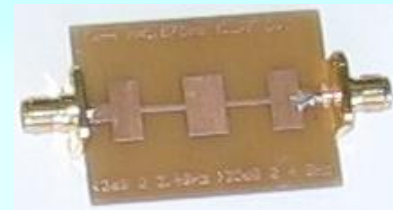
# Нацрт у програму Protel



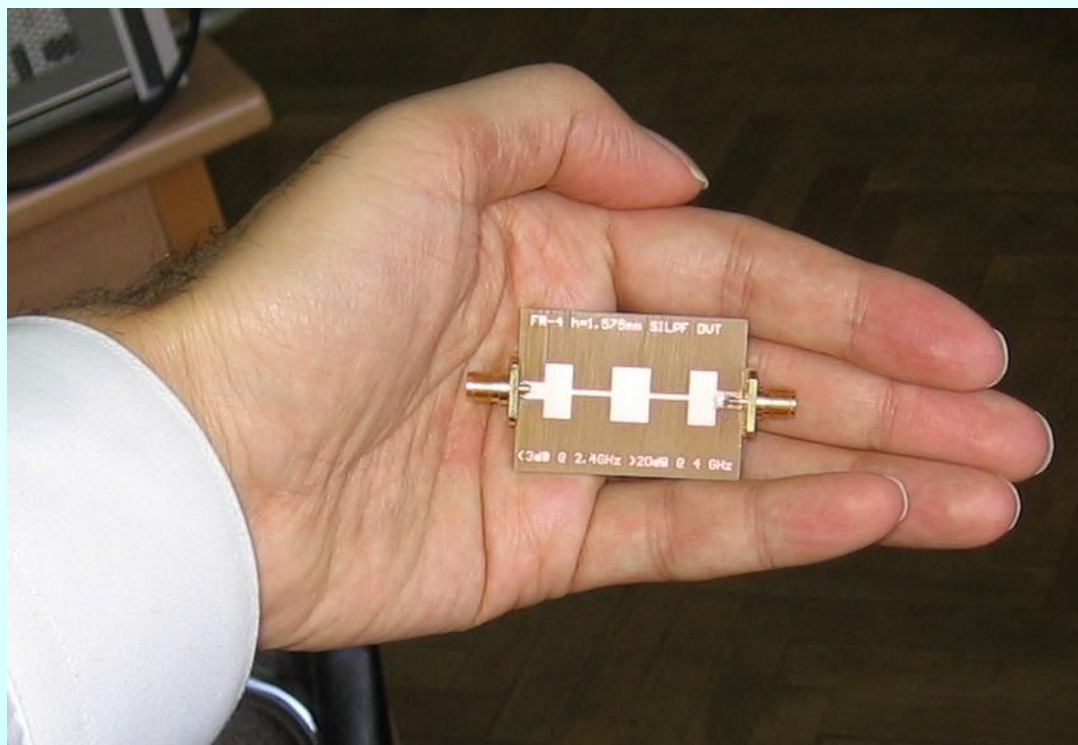


# Конектори



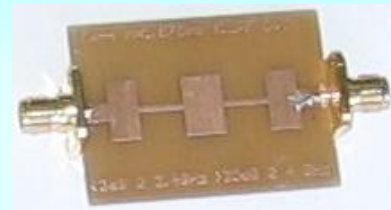


# Лабораторијски прототип





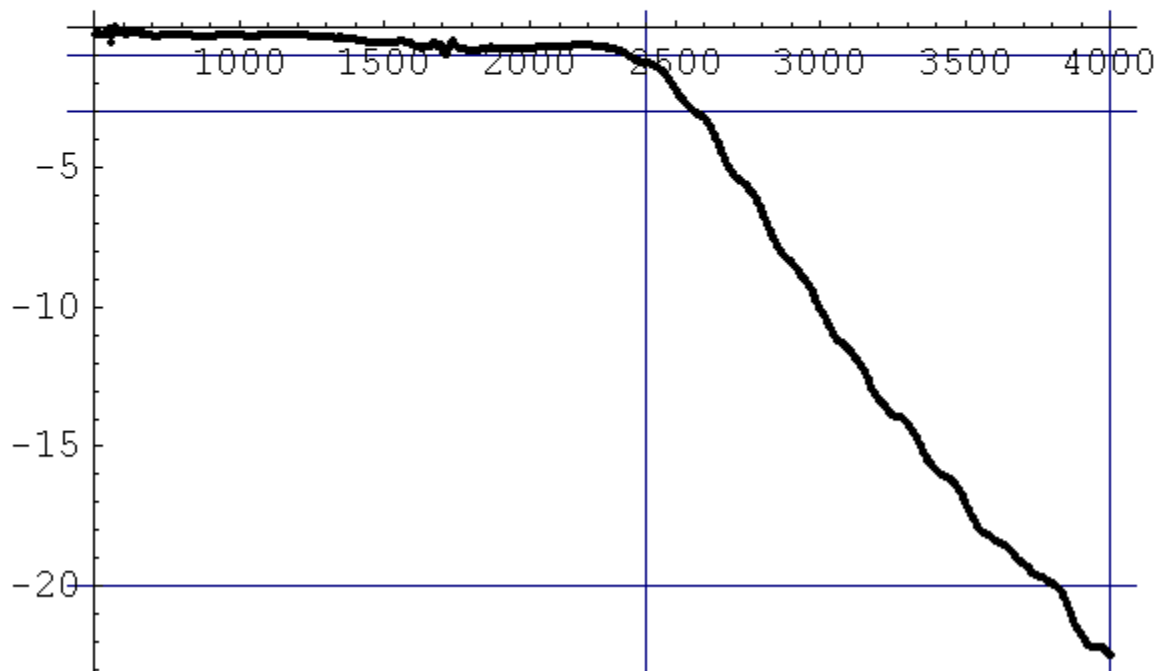




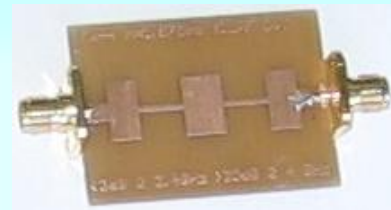
# Мерење

Мерење.nb

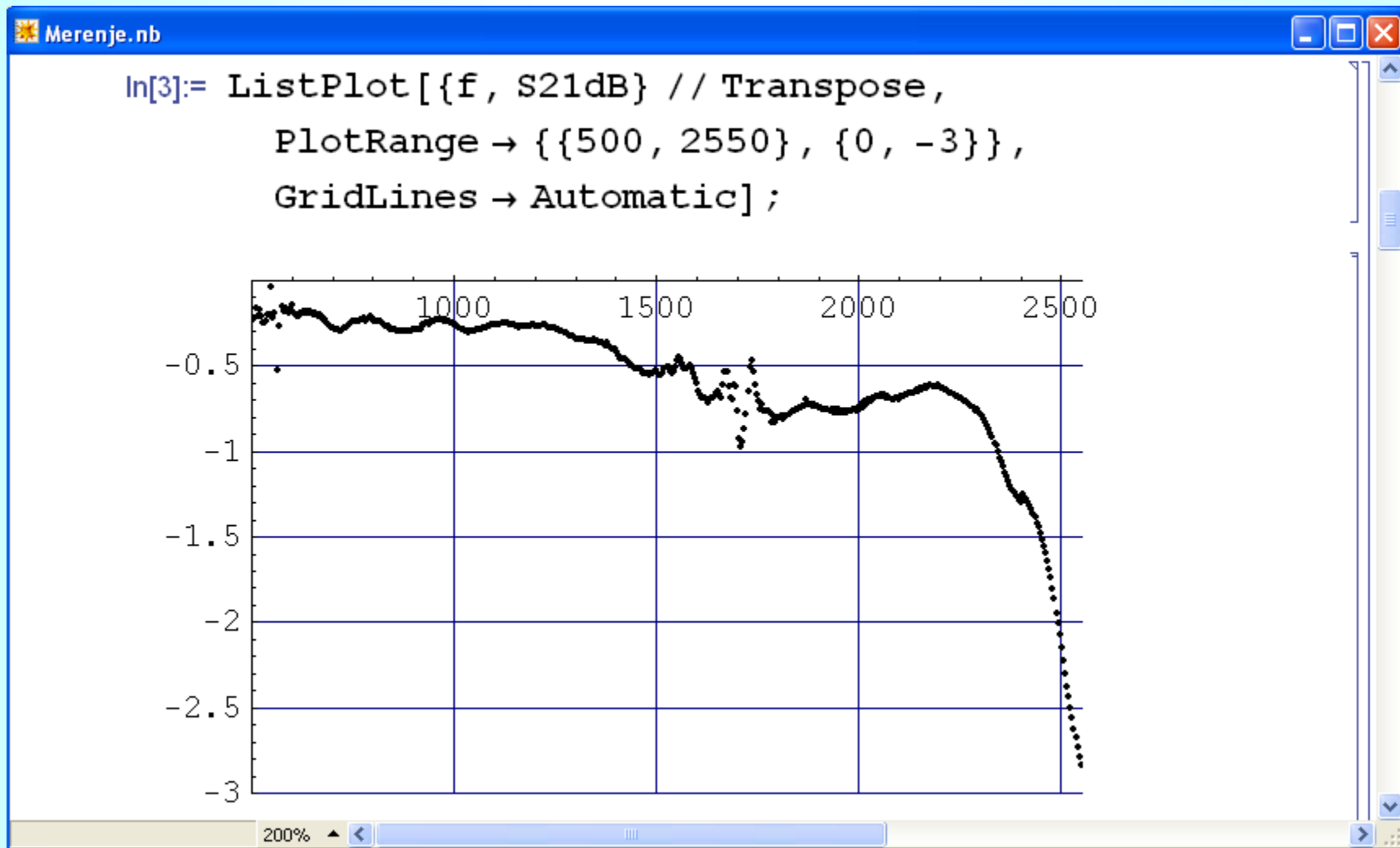
```
In[2]:= {f, S21re, S21im} = t // Transpose;  
S21dB = 20 * Log[10, Sqrt[S21re^2 + S21im^2]];  
ListPlot[{f, S21dB} // Transpose, PlotRange -> All,  
GridLines -> {{2400, 4000}, {-1, -3, -20}}];
```

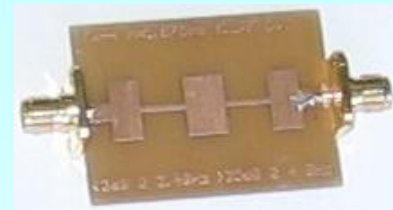


200%



# Мерење (2)





В. Петровић • Д. В. Тошић • А. Р. Ђорђевић  
**Микроталасна пасивна кола**

*рукопис уџбеника у припреми, 9. октобар 2006.*

