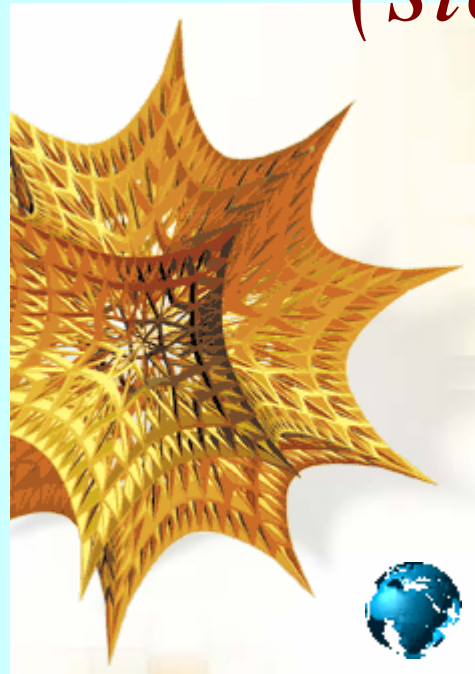
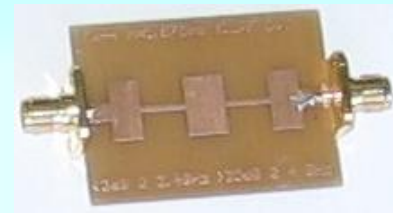


Пројектовање филтра: Реализација каскадном везом одсечака вода (*stepped-impedance filter*)

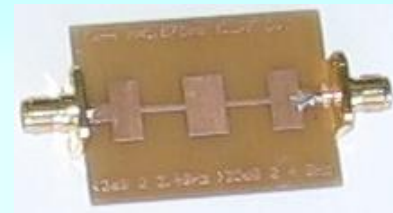


Дејан Тошић
Владимир Петровић



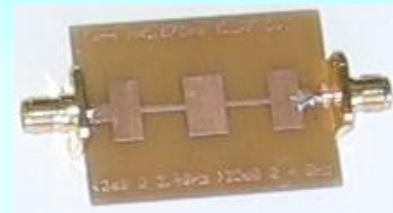
Задатак

- 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 Ω**
- **$|s_{11}|$** треба да је што **мање** у пропусном опсегу



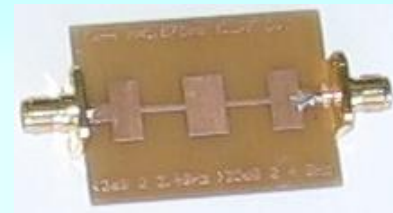
Технологија

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



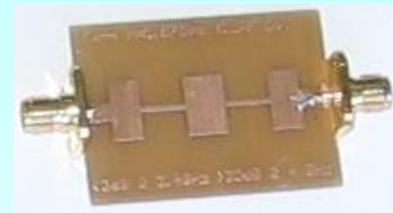
Реализација

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



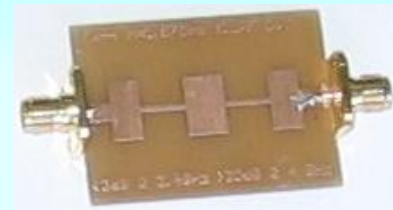
Имплементација

- Издвојен склоп без кућишта
- Конектори **SMA**
- Уводни водови од **5 mm**, за **SMA**
- Најмања ширина метализације је **0,2 mm**
- Резолуција метализације је **0,1 mm**
- На плочици одштампати само број индекса аутора (студента)
- За прављење плочице се користи нацрт (*layout*) направљен програмом **Protel**



Пројектни поступак

Апроксимација, реализација,
имплементација



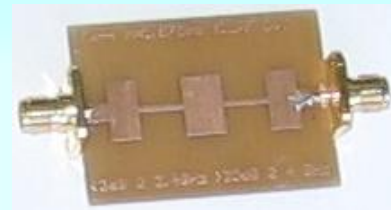
Апроксимација

```
ProjekatFiltra.nb
```

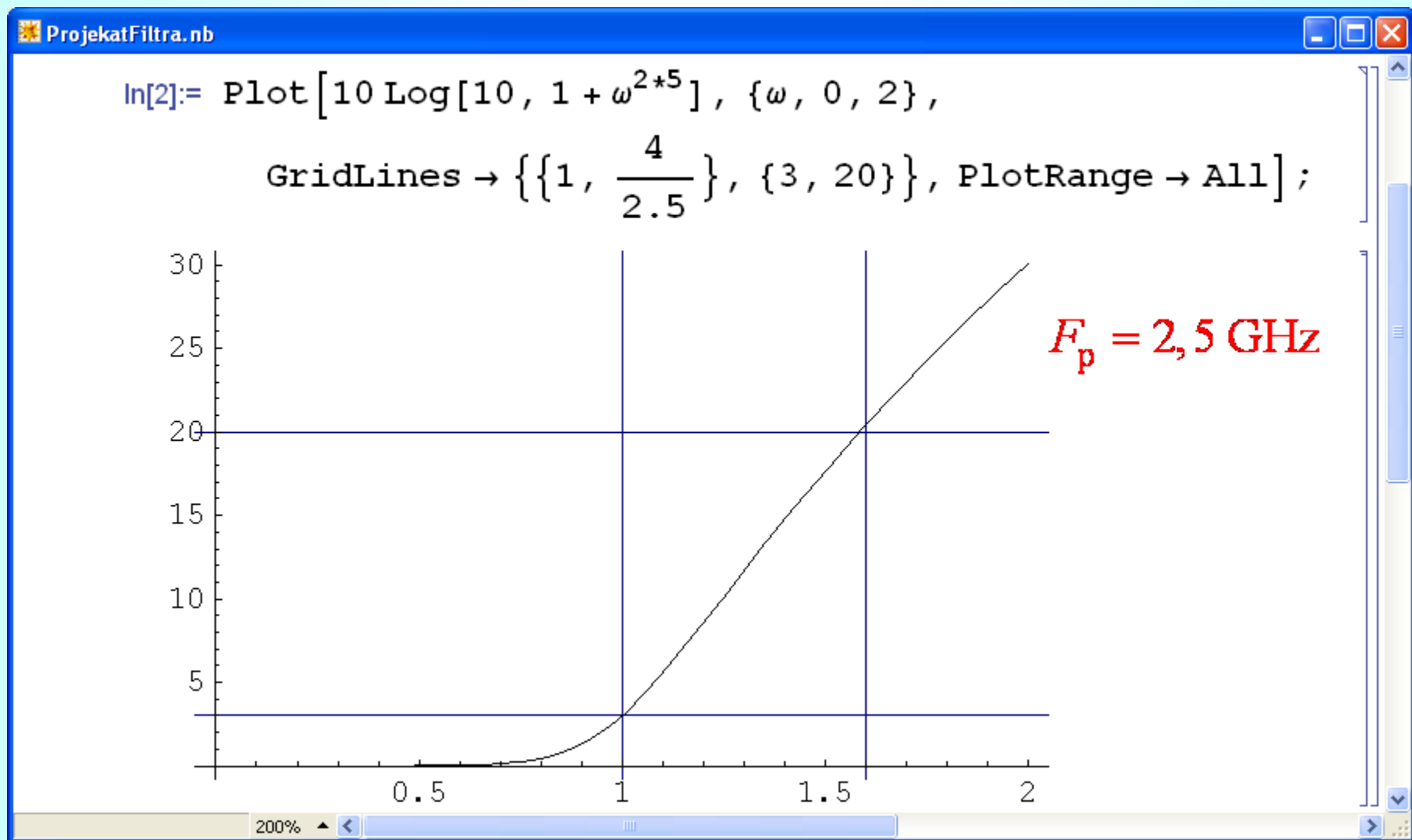
```
In[1]:= g = 2. Sin[ $\frac{2 \# - 1}{2 * 5} \pi$ ] & /@ Range[5]
```

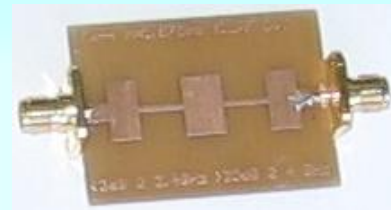
```
Out[1]= {0.618034, 1.61803,  
         2., 1.61803, 0.618034}
```

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

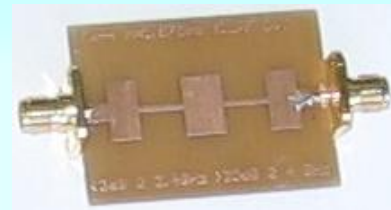
< Back Next > Cancel

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:

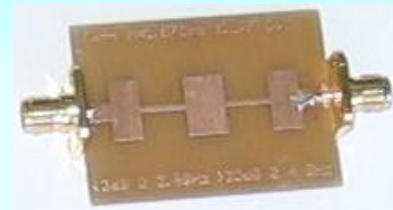
Capacitor Q:

Resonator Q:

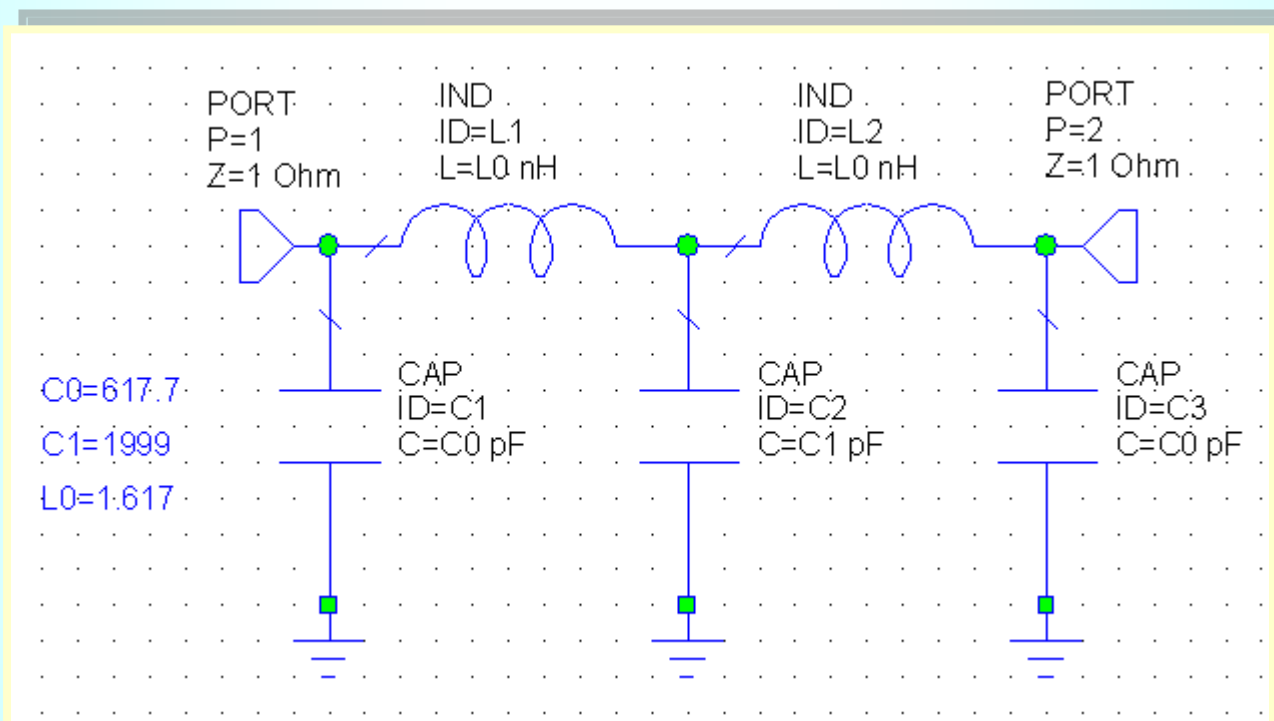
0 = Infinite Q

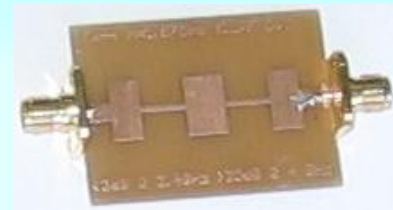
< Back Next > Cancel

< Back Next > Cancel



LC реализација (3)





Синтеза

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

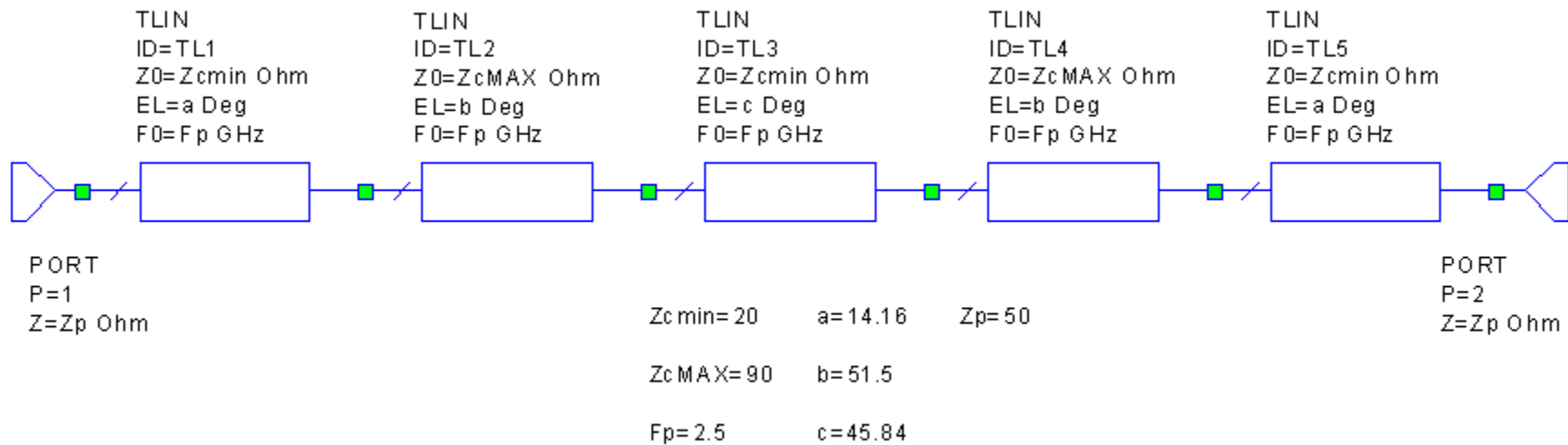
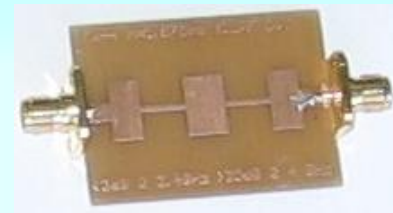
$$\Theta_0 = L_{\text{proto}} R_g / Z_{c,\text{max}}$$

```
ProjekatFiltra.nb

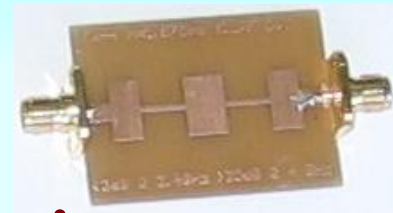
In[3]:=  $\Theta =$ 
MapIndexed[ (#1 If [oddQ[#2 // First],  $\frac{20}{50}$ ,  $\frac{50}{90}$  ] ) &,
g]  $\frac{180}{\pi}$ 

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

Почетна реализација са идеалним водовима

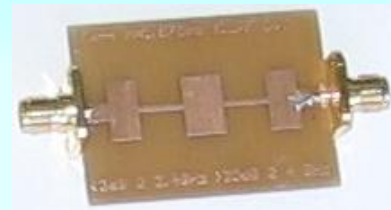


Гранична учестаност
је незнатно повећана

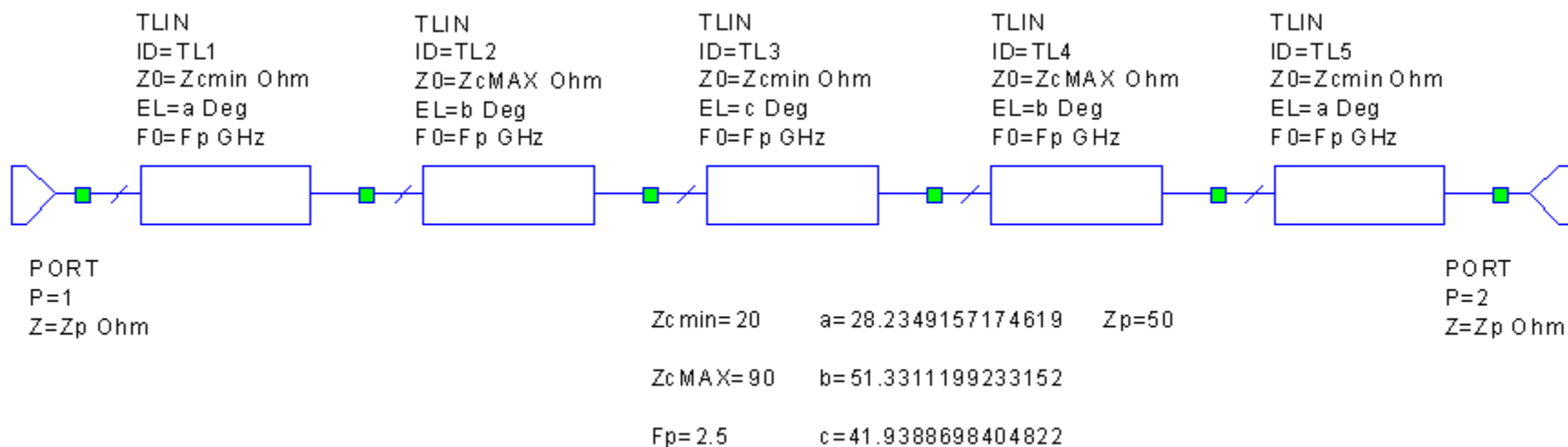


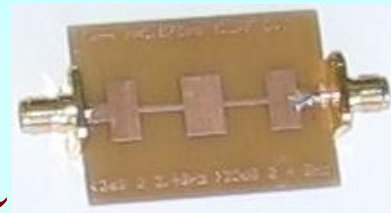
Критеријуми оптимизације

- 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

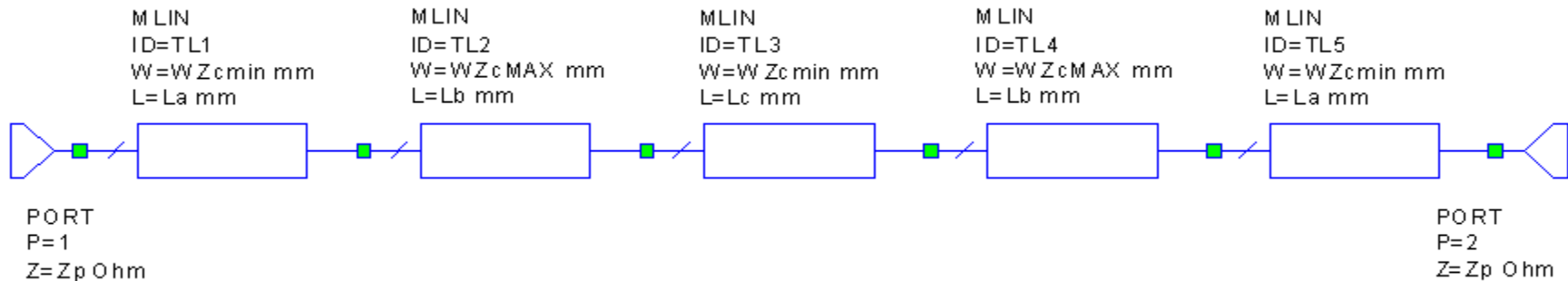
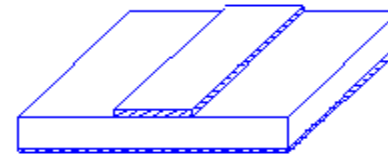




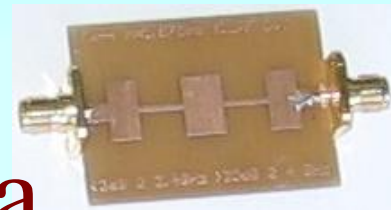
Почетна имплементација (без моделовања дисконтинуитета и уводника)

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

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

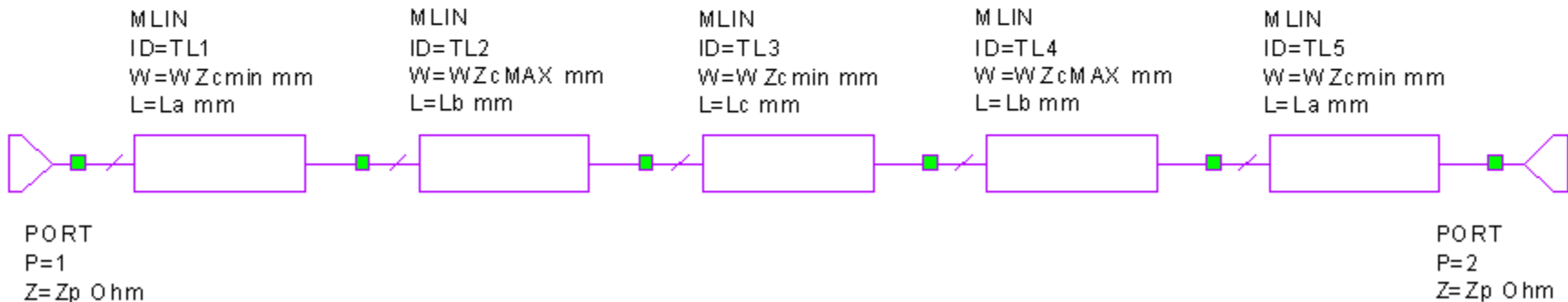
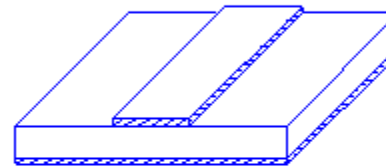


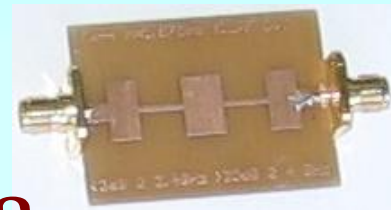
Тјунована имплементација (са заокруживањем)



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

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

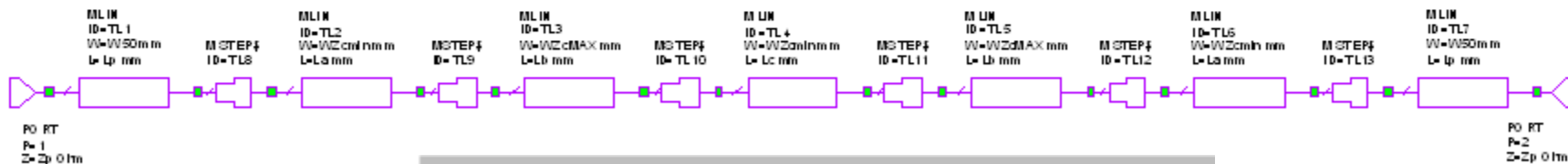
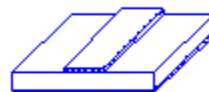




Оптимална имплементација (са дисконтинуитетима и уводницима)

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

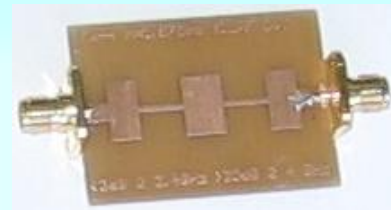
MICRO
 $B=4.6$
 $H=1.575$ mm
 $T=0.038$ mm
 $Rho=3$
 $Tand=0.02$
 $B Nom=4.6$
 $Name=FR 4$



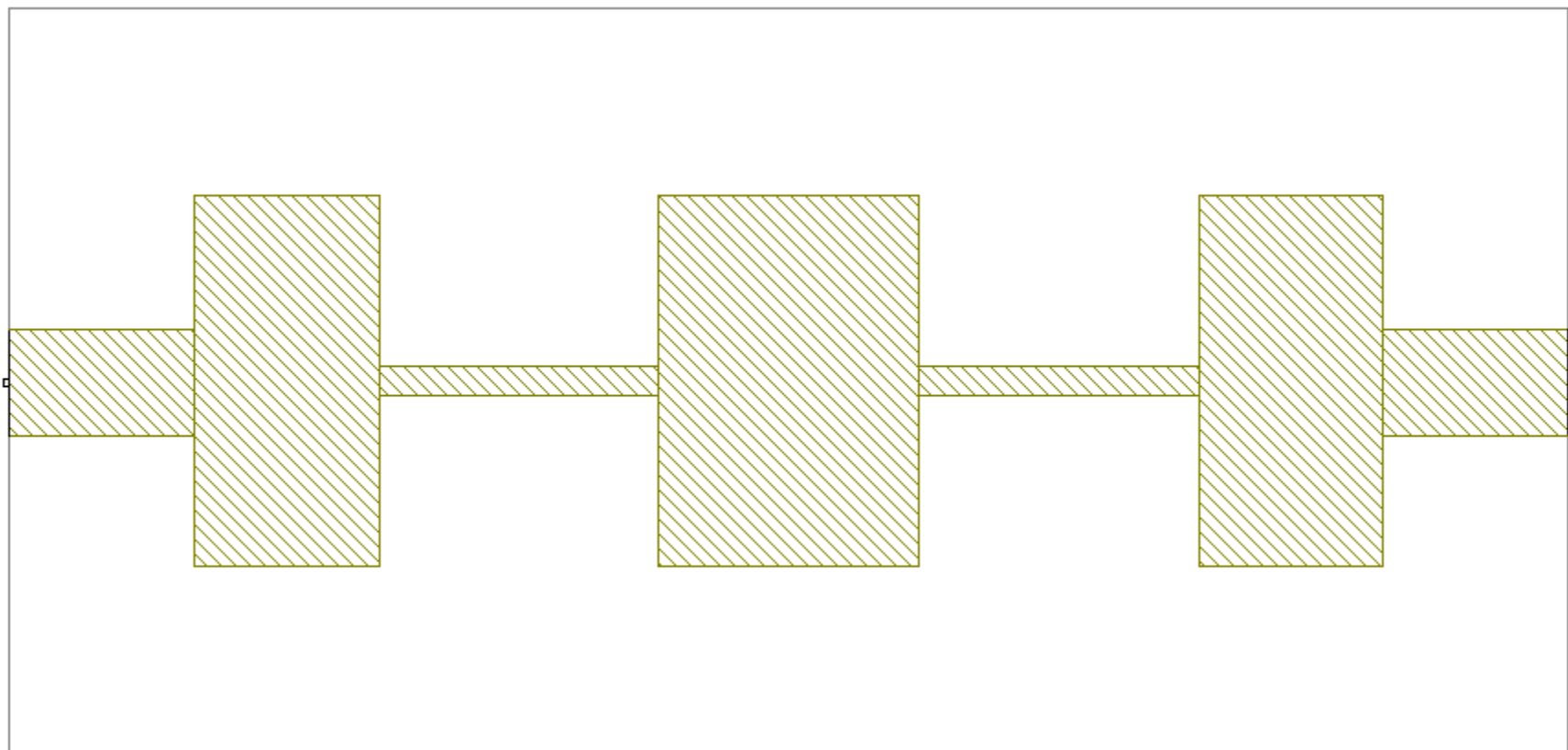
$WZ_{cmin}=10$ $L_a=5$ $Z_p=50$

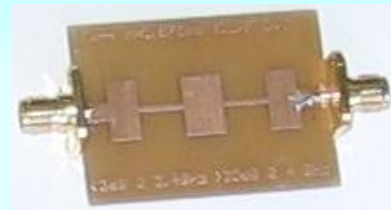
$WZ_{cMAX}=0.8$ $L_b=7.6$ $L_p=5$

$W50=2.9$ $L_c=7$

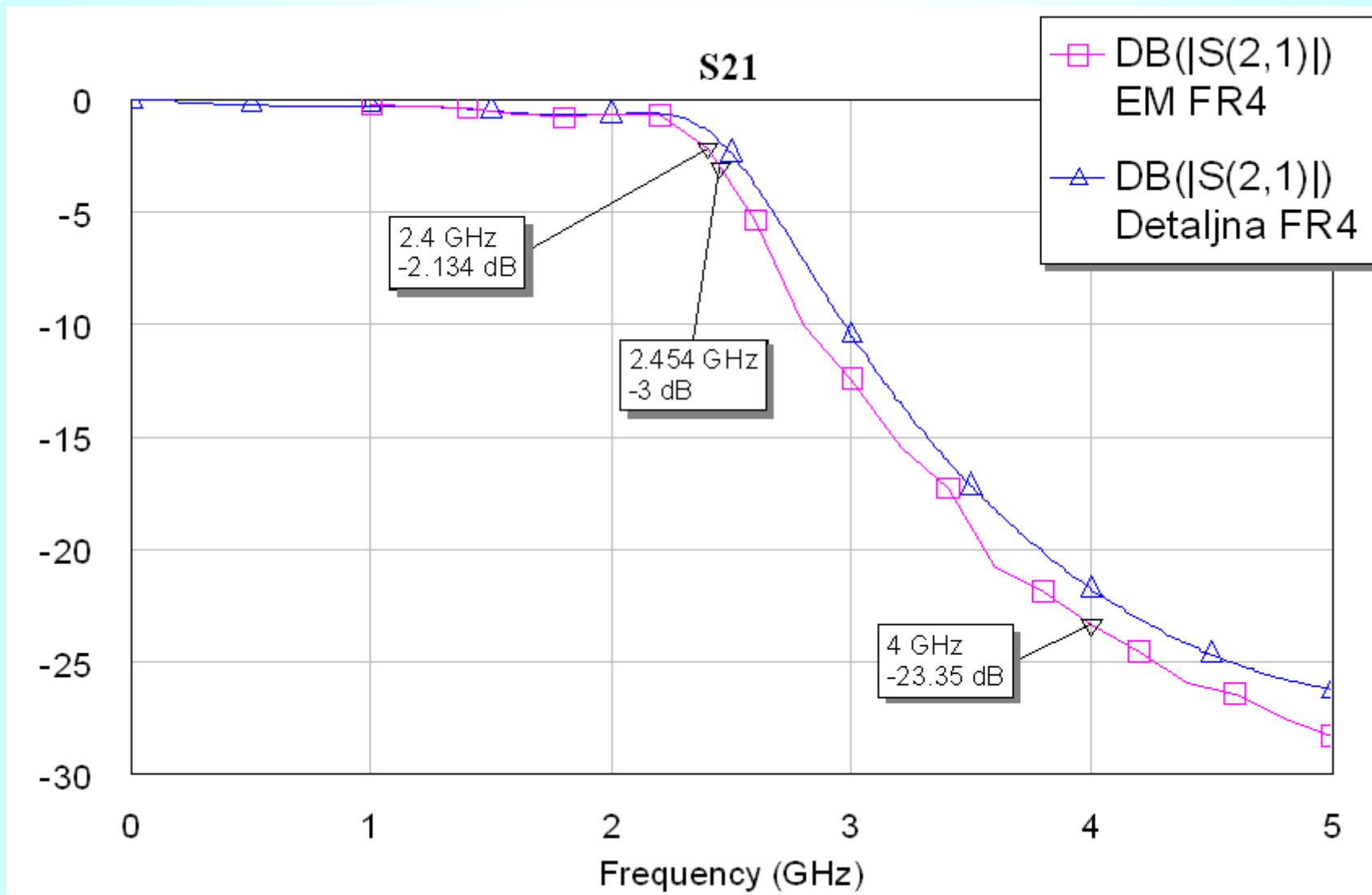


Нацрт (layout) за ЕМ 3D симулацију

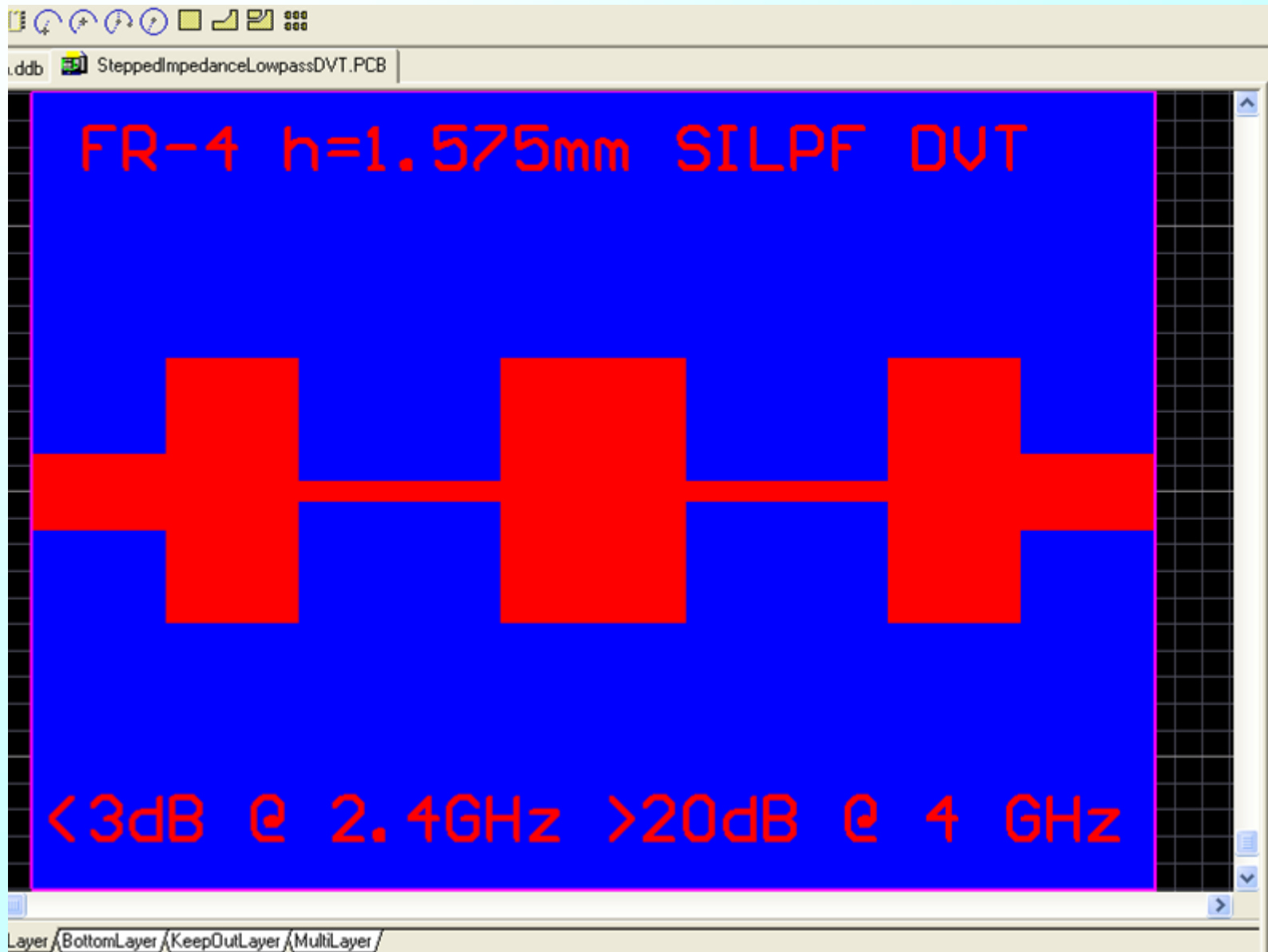
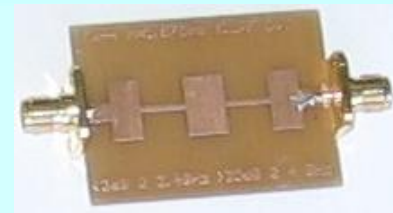


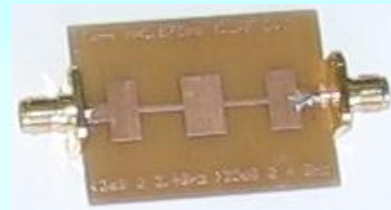


ОДЗИВ

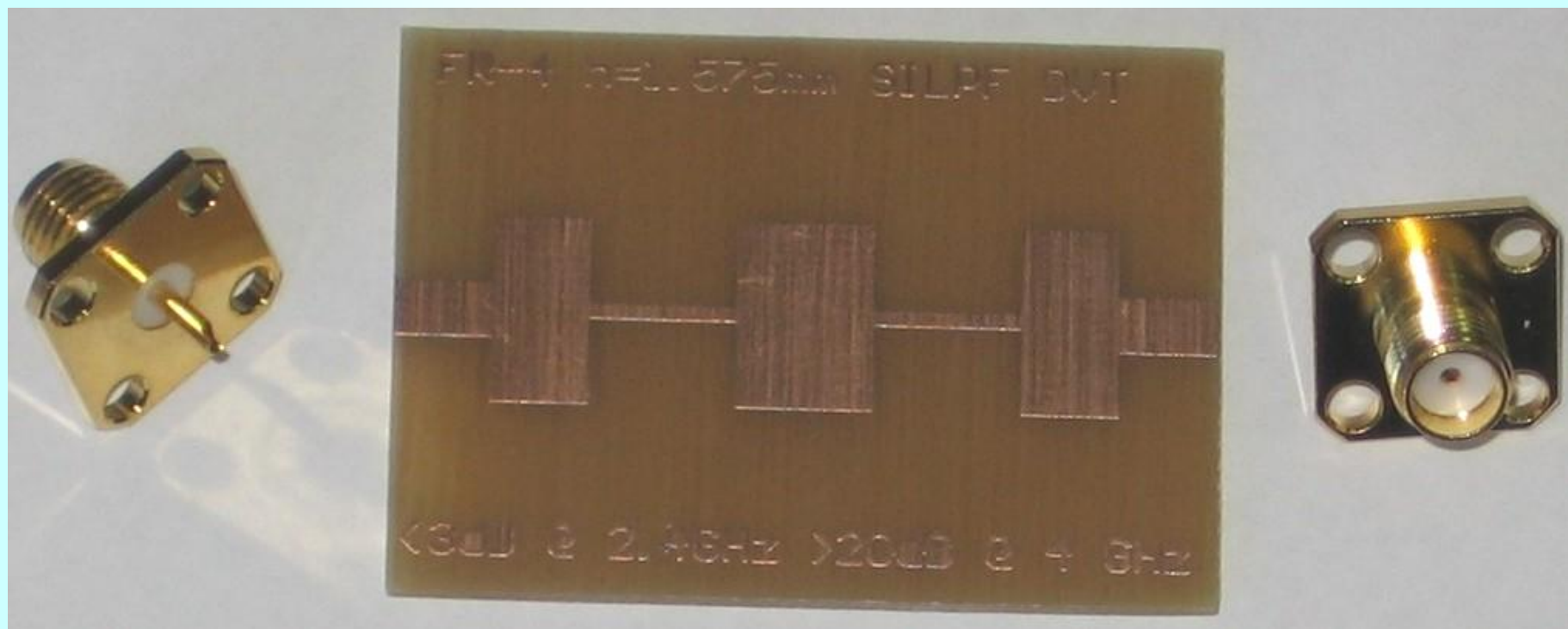


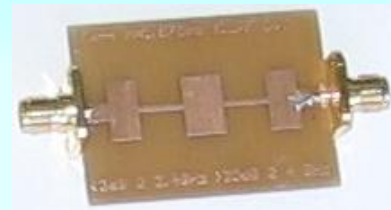
Нацрт у програму Protel



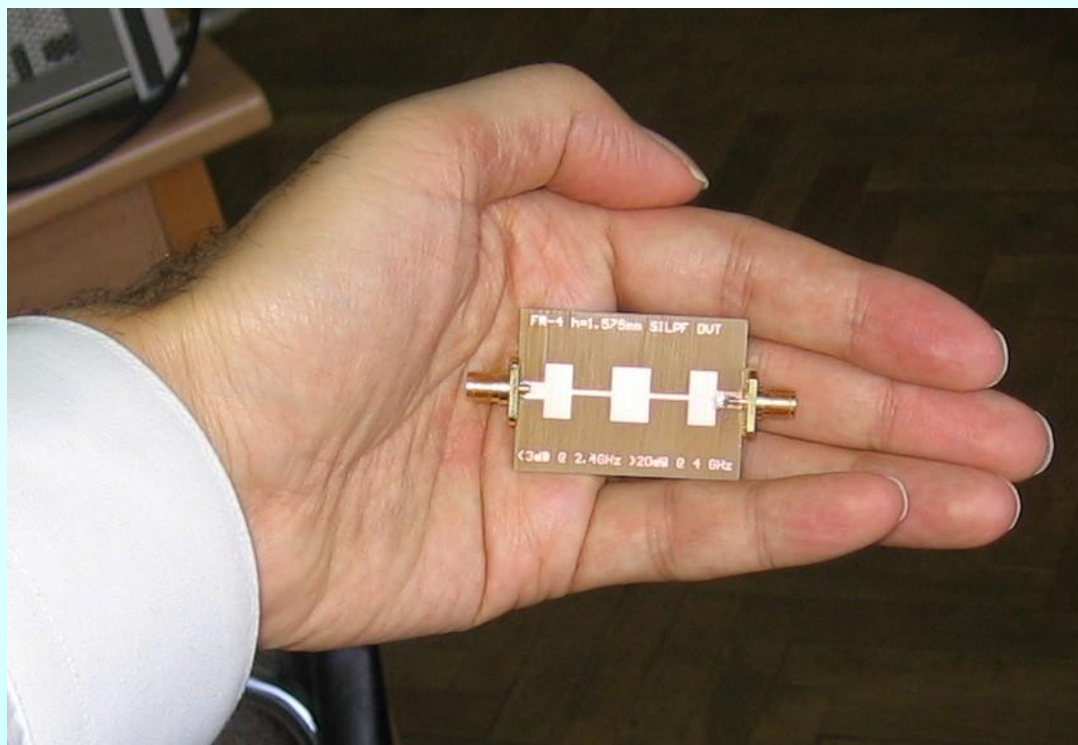


Конектори

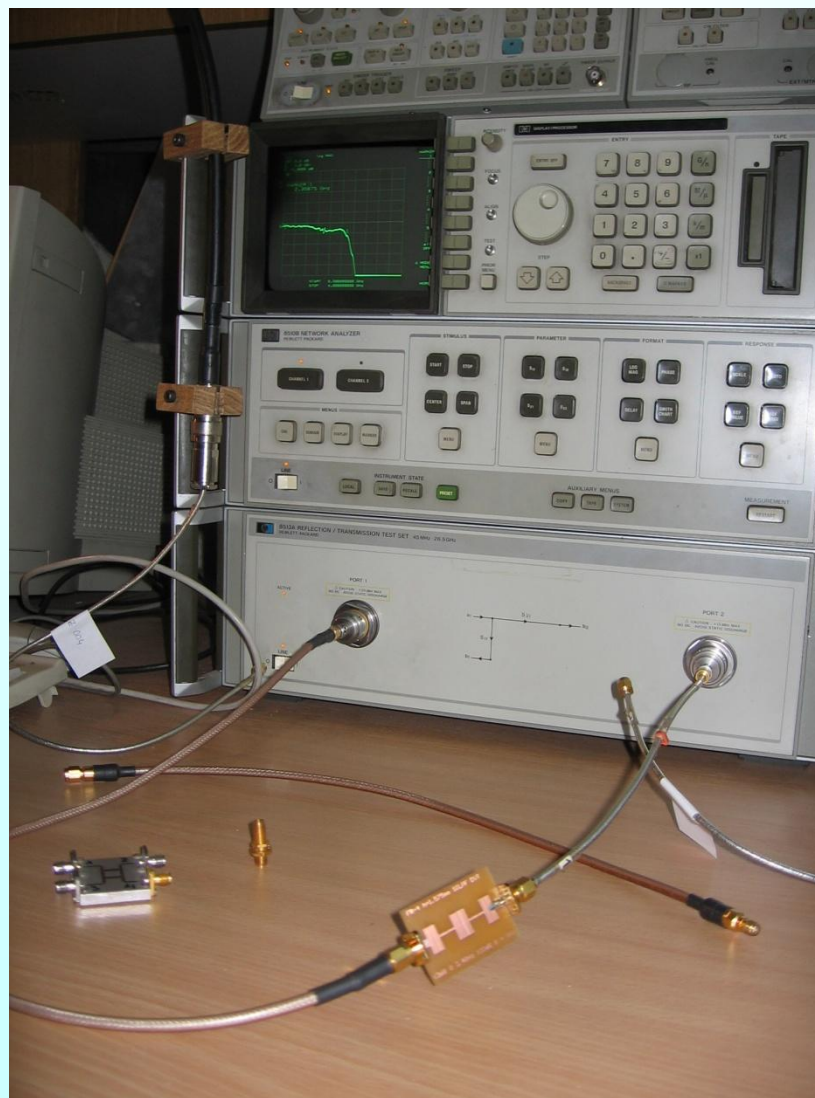
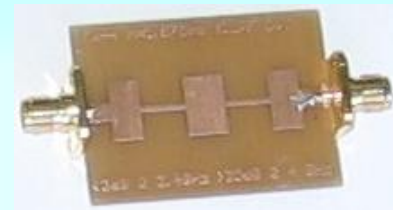


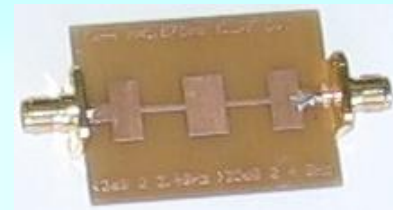


Лабораторијски прототип



Опрема





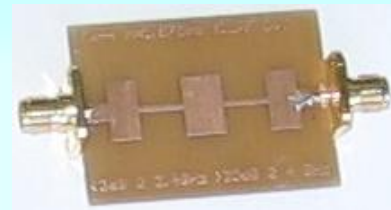
Мерење

Мерење.nb

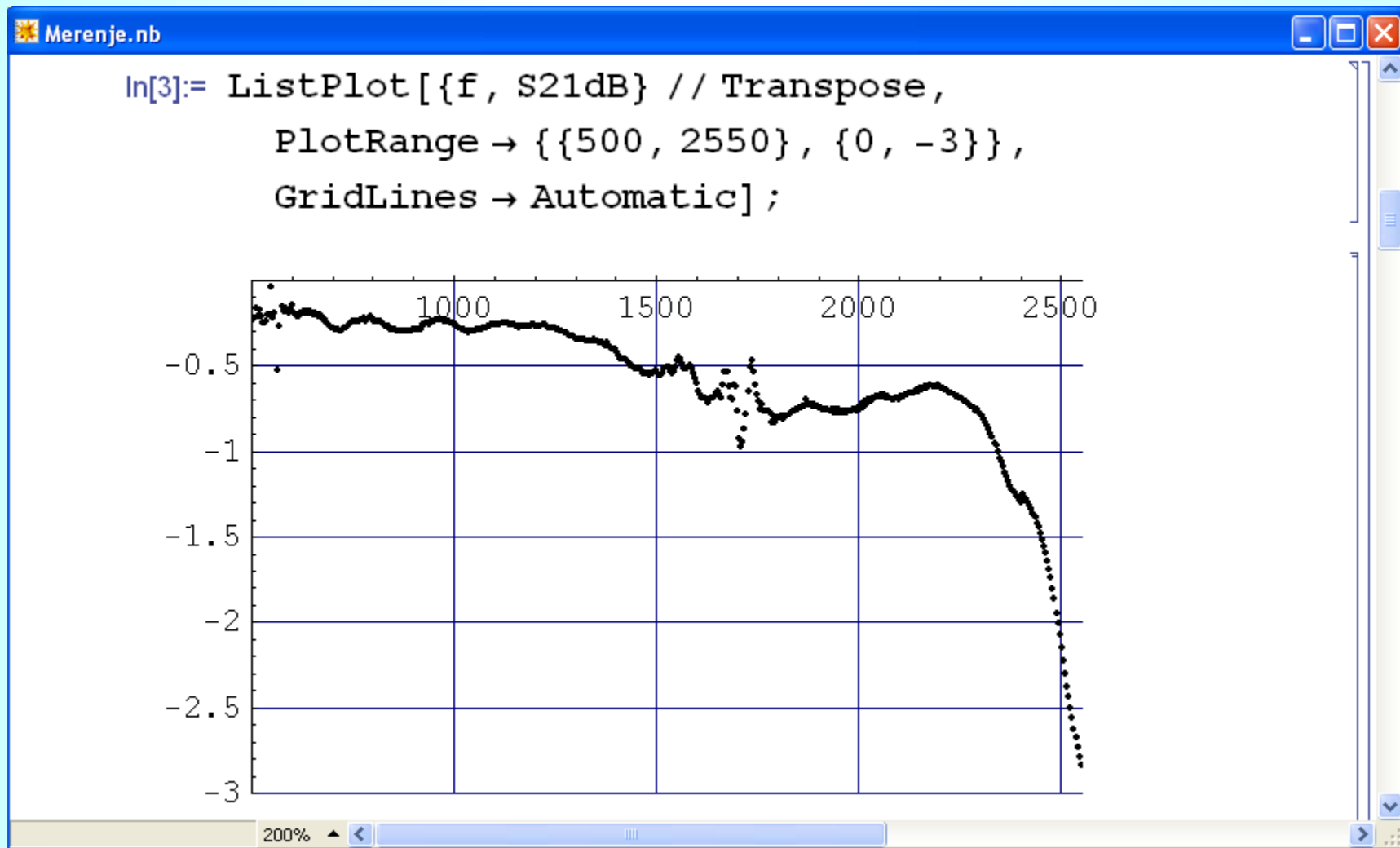
```
In[2]:= {f, S21re, S21im} = t // Transpose;  
S21dB = 20 * Log[10, Sqrt[S21re^2 + S21im^2]];  
ListPlot[{f, S21dB} // Transpose, PlotRange -> All,  
GridLines -> {{2400, 4000}, {-1, -3, -20}}];
```

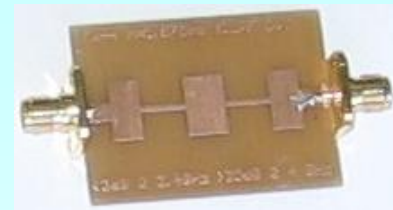


200%



Мерење (2)





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

рукопис уџбеника у припреми, 9. октобар 2006.

