

## **Hairpin filtr pro 1296 MHz na FR4**

### **Hairpin filter for 1296 MHz on FR4**

Jan Bilek, OK1TIC

#### **1. Úvodem**

V rámci stavby transvertoru na 1296 MHz jsem se rozhodl nezkopírovat některý ze stávajících návrhů plošného spoje, ale pokusit se o vlastní -pokud možno inovativní- návrh. Jde především o návrh tištěných RF filtrů. A právě jimi se chci věnovat v tomto článku.

#### **1. Preface**

*This article will deal with a design, realisation, measurement and optimisation of an RF filter suitable for 1296 MHz amateur radio band transverter.*

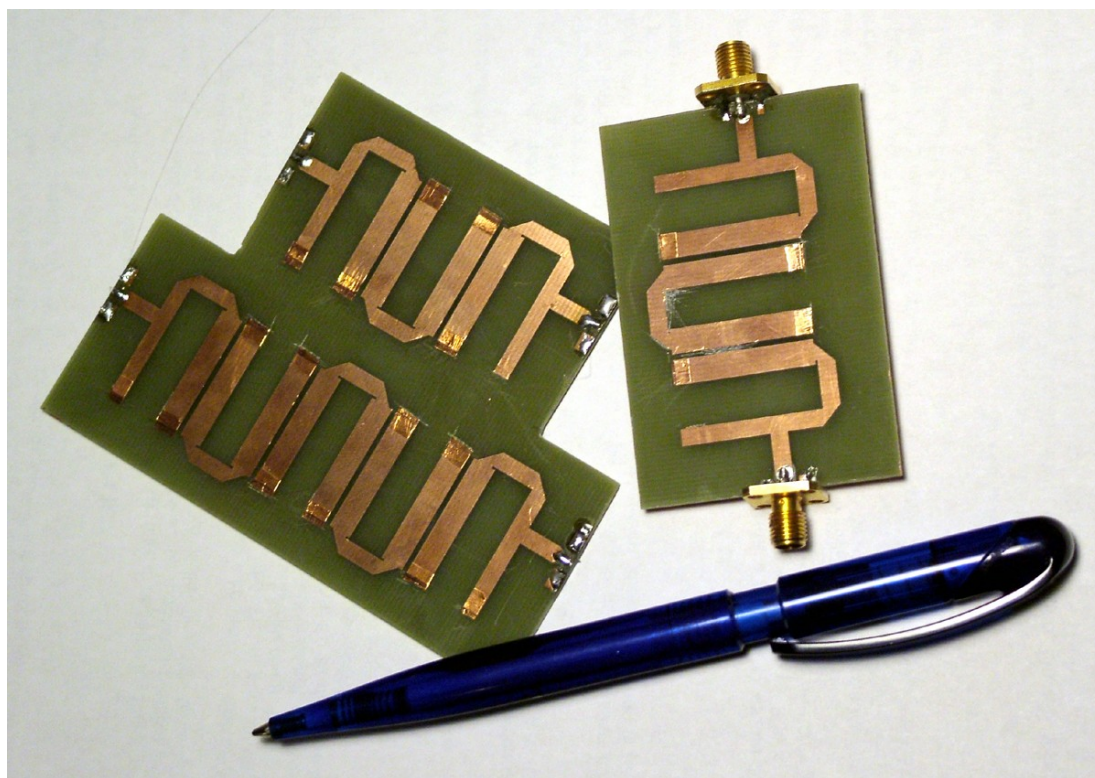
## 2. Popis

Vyhledal a analyzoval jsem nejrůznější druhy běžných mikrovlnných planárních filtrů a nakonec jsme zjistil, že z hlediska složitosti výroby, rozměrů a potlačení oscilátorového signálu (1152 MHz) velmi dobře vyhovují Hairpin filtry. Zřejmě ne nadarmo je lze naléznout v nejjednodušší koncepci transvertorů (např. dle F1JGP) HI. Z hlediska rozměrů a průchozího útlumu lépe vycházejí „stub“ filtry - tedy kapacitorem doladované vázané úseky vedení, které jsou na jednom konci zkratované. Tyto filtry však vyžadují doladovací trimry, které nejsou zrovna nejlevnější.

Hairpin filtr je tvořen zpravidla lichým počtem (zpravidla 3 nebo 5) vázaných rezonátorů dlouhých  $\lambda/2$  tvarovaných do písmene „U“. Vše je zřejmé z obrázku 1.

Vstupní a výstupní vazba je většinou provedena prostou odbočkou zhruba v místě cca  $\lambda/8$  od konce krajního rezonátoru. Lze ji také provést dalším vázaným vedením.

Tvar rezonátoru je celkem důležitý a nemůže být libovolný. Pokud je „účko“ moc široké nebo úzké, filtr nepracuje optimálně. Pokud je „účko“ moc široké (spodní strana je srovnatelně dlouhá nebo delší než obě boční strany), snižuje se vazba mezi sousedními rezonátory. Na druhé straně pokud je „účko“ moc úzké, vzrůstá nežádoucí vazba mezi oběma bočními stranami „účka“.



Obr. 1: Destičky s testovacími Hairpin filtry  
Fig. 1: PCBs with testing Hairpin filters

## 2. Description

*I looked for several different kinds of common planar microwave filters but finally I found out that in terms of ease of fabrication, dimensions and local oscillator signal rejection very convenient filter is the Hairpin filter. When looking at dimensions and insertion loss probably better filter is the Stub filter - the one that is tuned into the resonance using high - Q capacitor trimmers. But these trimmers are not cheap so that's why I decided to do these experiments on Hairpin filters. You can also find this kind of filter in many transverter concepts - e.g. the one from F1JGP.*

Hairpin filters consist of usually odd number (3 or 5) of coupled half-wave resonators that are shaped into a letter „U“. Everything is clear from figure 1.

Input and output coupling is usually done by a simple tapping placed approximately  $\lambda/8$  from the end of edge resonator but it can be also realized by an additional coupled line next to the edge resonator.

Shape of the „U“ is pretty critical and can not be arbitrary. If the „U“ its to wide coupling coefficient is to low and insertion loss increases. Otherwise if the „U“ is to narrow parasitic coupling between the legs of resonator increases thereby decreasing the filter performances.

### 3. Realizace

Pro účely ověření správnosti návrhu jsem filtry realizoval celkem ve třech iteracích (resp. 2,5 iteracích). Každá iterace zahrnovala optimalizaci filtru (za pomoci naměřených dat z předchozí iterace a programu pro analýzu a simulaci VF obvodů), výrobu a měření. První iterace samozřejmě zahrnovala i samotný „hrubý“ návrh. Třetí iterace neobsahovala již výrobu a měření, neboť to již nebylo zapotřebí – shoda mezi naměřenými daty a simulací je natolik dobrá, že třetí výroba již nebyla potřeba. Výsledné rozměry jsou tedy výsledkem optimalizace z třetí iterace.

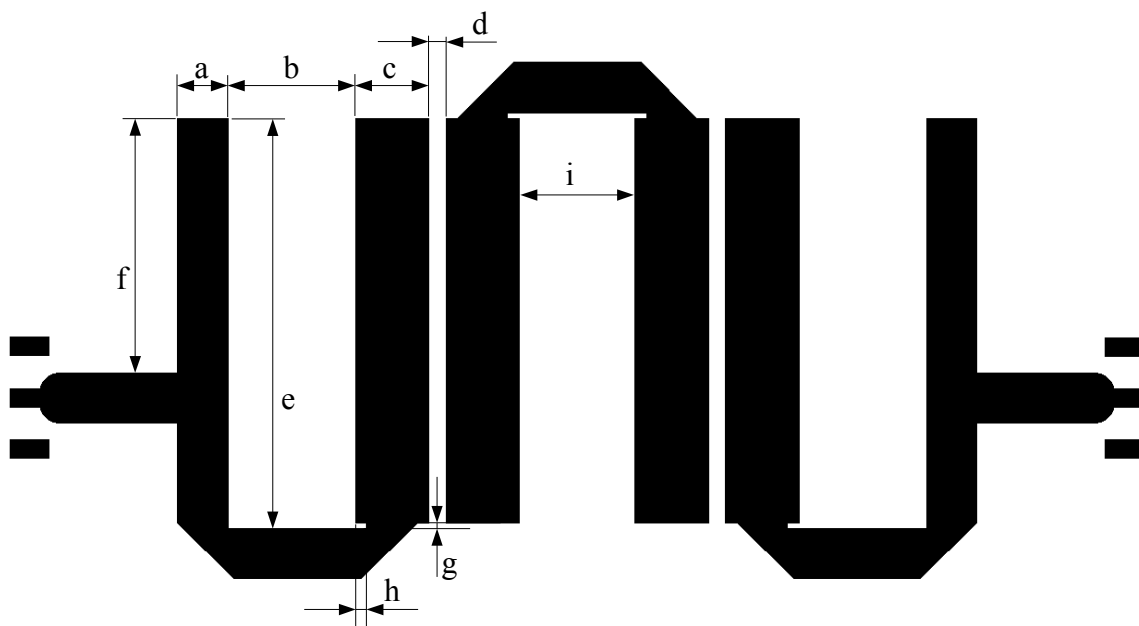
Použitá kritéria optimalizace v pořadí od nejdůležitějšího byla tato:

1. kmitočet
2. průchozí útlum
3. potlačení signálu LO a šířka propustného pásma.

Plošný spoj byl vygenerován přímo z programu a vyleptán fotocestou na oboustranně plátovaný FR4 substrát o tloušťce 1,5 mm (použil jsem světlocitlivý materiál zakoupený v GESu).

Finální rozměry doladěného filtru (dle obrázku 2) jsou následující:

a – 3.0mm    b – 7.62mm    c – 4.4mm    d – 1.0mm    e – 24.66mm  
f – 15.4mm    g – 0.36mm    h – 0.7mm    i – 6.92



Obr.2: Rozměry filtru  
Fig. 2: Filter Dimensions

V návrhu jsou použity dvě šířky pásků: 3,0mm a 4,4mm. Pětípólový filtr je pouhým „prodloužením“ třípólového filtru.

### 3. Realisation

*I realized the filter in three iterations (or in 2,5 to be more exact) in order to verify correctness of the filter design. Each iteration had three phases: optimisation of the filter design (using measured data from the previous iteration and software for RF analysis and simulation), fabrication and measurement. Of course the first iteration included also the rough design itself. Third iteration didn't have the fabrication and measurement phase since it was not necessary. The match between measured data and simulation was so accurate that another fabrication was not needed. So the final dimensions shown below result from the optimisation from the third iteration.*

*Criteria used during the optimisation were following (sorted from the most important):*

- 1. frequency*
- 2. insertion loss*
- 3. LO signal rejection.*

*PCB layout was generated directly from the software and etched on double-plated FR4 substrate with 1,5mm thickness (the one that can be bought at [www.ges.cz](http://www.ges.cz)).*

*Final dimensions (see figure 2) are:*

*a – 3.0mm    b – 7.62mm    c – 4.4mm    d – 1.0mm    e – 24.66mm  
f – 15.4mm    g – 0.36mm    h – 0.7mm    i – 6.92*

*Only two line widths were used in the design: 3,0 and 4,4 mm. Five-pole filter is just an „extension“ of the three-pole one.*

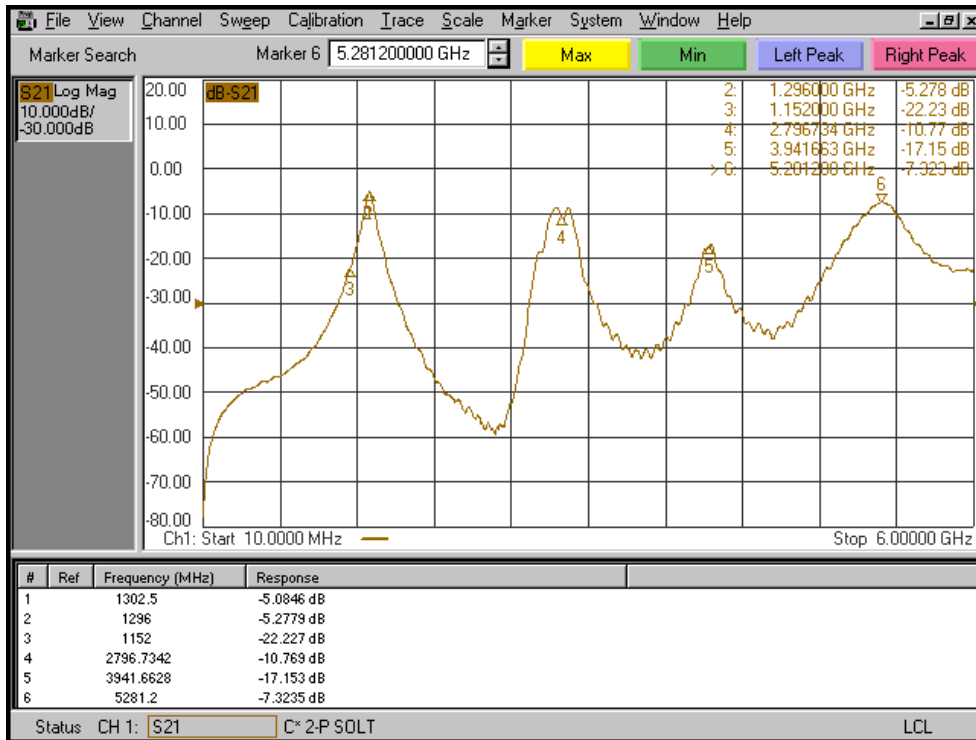
### 4. Měření

Jak bylo řečeno výše, třetí iterace nedospěla až do fáze výroby. Proto zde uvádím naměřená data z druhé iterace. Vzhledem k věrohodnosti simulace v MWO však lze s velmi vysokou jistotou předpokládat, že doladěné filtry budou vykazovat obdobný - téměř identický - průběh, jen minimum útlumu bude na 1296 MHz a ne na 1302 MHz.

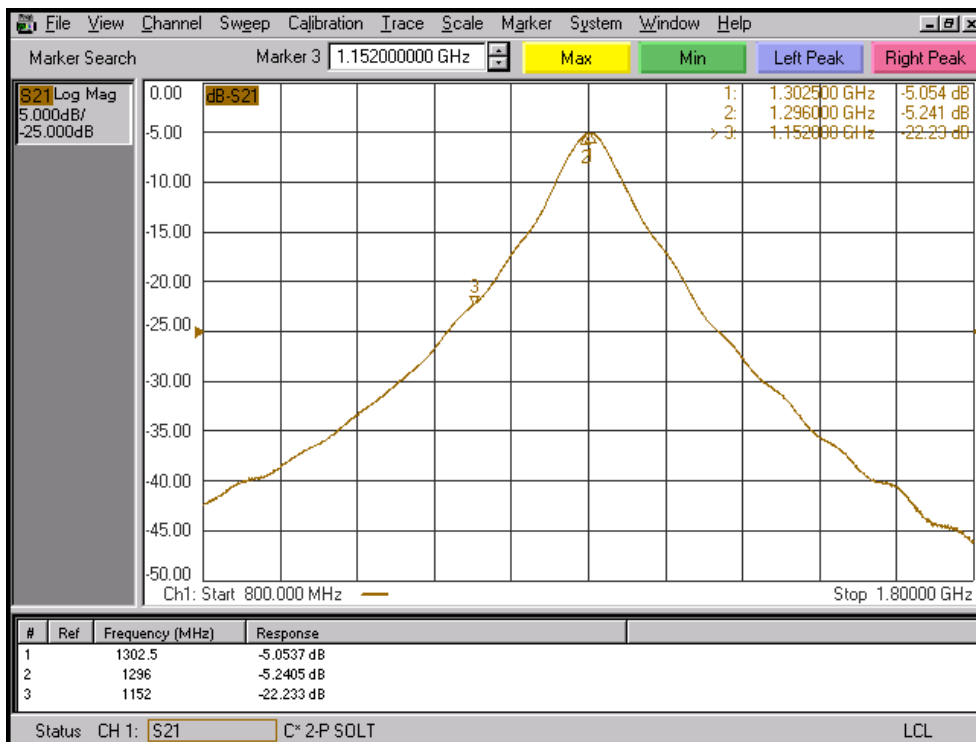
Obrázek 3 zachycuje průběh přenosové charakteristiky pro třípólový filtr. Obrázek 4 zachycuje totéž v detailu. Útlum odrazů pro kmitočet s nejmenším průchozím útlumem (1302,5 MHz) je -9,9dB.

Obrázek 4 ukazuje, že měřený filtr má vložený útlum roven -5dB. Stojí za zmínku, že během první iterace jsem dosáhl pro třípólový filtr útlumu -4,6dB.

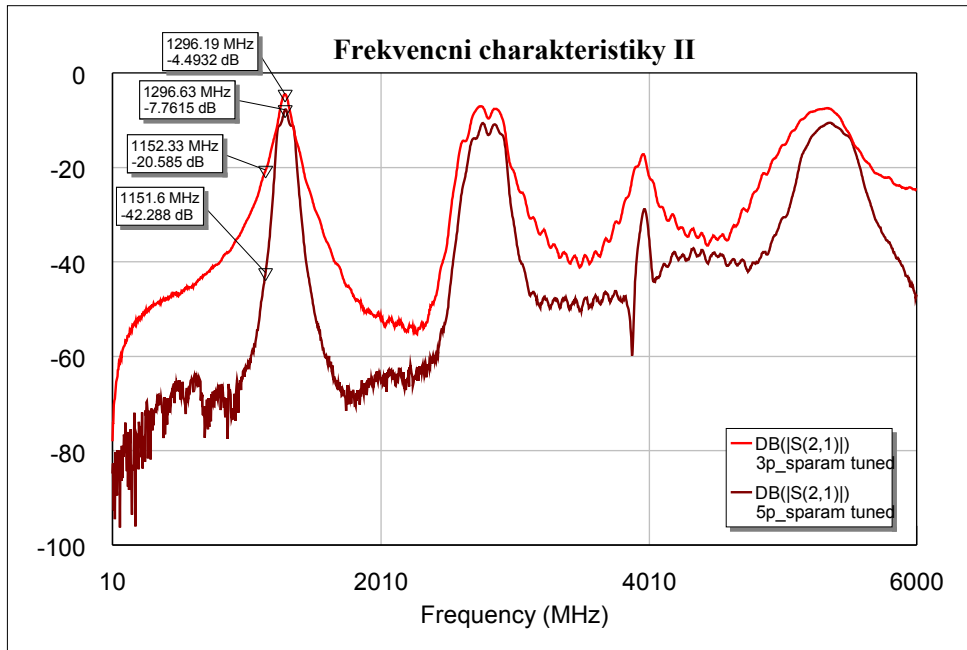
Rozdíl v přenosové charakteristice mezi třípólovým a pětípólovým filtrem je jasně patrný z obrázku 5. Lze pozorovat podstatně strmější charakteristiku v oblasti 1300MHz, dvojnásobný útlum pro kmitočet LO, ale i cca dvojnásobný útlum v propustném pásmu. Tedy něco za něco. (Naměřená data pochází z první iterace poté, co byl filtr doladěn kousky měděných plíšků.)



Obr. 3: Průběh naměřené přenosové charakteristiky během druhé iterace  
 Fig. 3: Measured transfer characteristic during the second iteration



Obr. 4: Průběh naměřené přenosové charakteristiky během druhé iterace v detailu  
 Fig. 4: Measured transfer characteristic in detail - second iteration



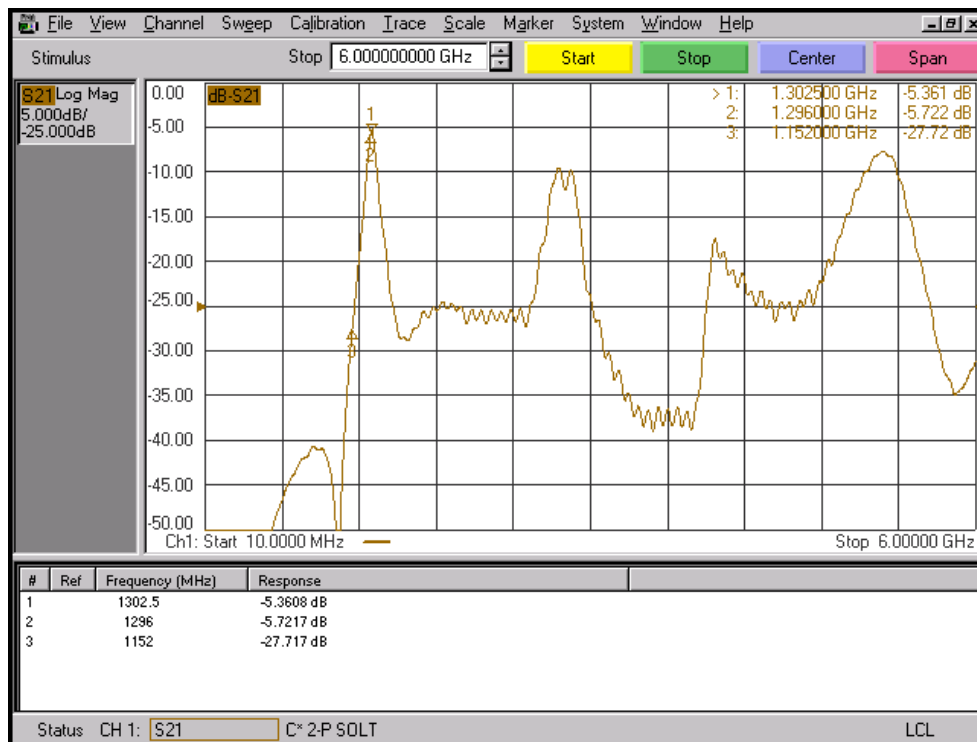
Obr. 5: Porovnání naměřených dat pětipólového (hnědá) a třípólového (červená) filtru  
 Fig. 5: Comparison of measured data for five-pole (brown) a three-pole (red) filter

Během měření jsem rovněž zkusil simulovat vliv zemní roviny NAD filtrem. Filtr totiž bude nakonec uložen v krabici s víkem a zajímalo mne, jaký bude vliv víka. Tento pokus jsem prováděl kouskem měděného plíšku (cca 2x10cm), kterým jsem propojil stínění obou konektorů tak, že výška plíšku nad rezonátorem byla cca 1cm. Přenosová charakteristika pak vypadala dle obrázku 6.

Porovnáním obrázků 3 a 6 docházím k tomuto závěru: Zemní rovina umístěná nad filtrem:

- zvyšuje průchozí útlum v propustném pásmu
- převážně snižuje průchozí útlum mimo propustné pásmo
- střední kmitočet propustného pásma zůstává stejný (filtr se nerozladí - alespoň ne tak že by to vadilo).

Tyto důsledky jsou samozřejmě pro činnost filtru nežádoucí. Experimenty jsem zjistil, že rozumné je umístit víko krabice alespoň 2cm nad filtr.



Obr. 6: Vliv zemní roviny umístěné nad filtrem  
 Fig. 6: Influence of a ground plane placed above the filter

#### 4. Measurements

As it was mentioned above the third iteration did not include the fabrication. So herein shown data comes from the second iteration. With regards to the confidence of the simulation one can expect that tuned filters will embody almost the same behaviour. Only the minimum of insertion loss will lie at 1296 MHz.

Three-pole transfer characteristic is shown on figure 3. Figure 4 depicts the same characteristic but in a detail. This trace shows that the insertion loss of measured filter was around -5dB. It can be noted here that filter measured during the first iteration had the insertion loss equal to -4,6dB. So there are some fabrication abnormalities. Attenuation of reflection at the frequency with the lowest insertion loss (1302,5 MHz) is -9,9dB.

Difference in transfer characteristic between the three-pole and five-pole filter can be clearly seen from figure 5. One can observe much steeper slopes around 1300MHz, double insertion loss in the stopband but also almost double insertion loss in the passband. (Measured data comes from the first iteration when the filters were finally tuned using pieces of copper lame.)

I've also tried to estimate the influence of a ground plane placed above the filter during my experiments. The fact is that the filter will be finally placed in a box so I wanted to know how the top cover will modify filter characteristics. For this experiment I used a piece of copper lame (20x100 mm) to directly connect the ground potentials of input and output connectors. The height of the lame above the filter was approximately 10 mm. The transfer characteristic is shown on figure 6.

Looking at figures 3 and 6 we can deduce that the ground plane placed above the filter:

- increases pass-band insertion loss
- mostly decreases pass-stop insertion loss
- central frequency of the filter remains constant (the filter isn't visibly untuned)

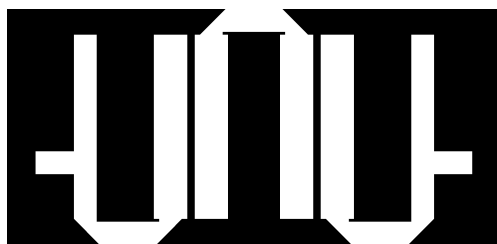
*Of course these effects are negative for the filter functionality. I've found out that a reasonable height of the top cover above the filter is about 2cm.*

## 5. Závěrem

Popsaný filtr je vhodný pro použití v transvertoru či jiném zařízení pracujícím na 23cm. Ovšem stojí za zmínku, že vložený útlum tohoto filtru (cca -4,6 až -5dB) není nejnižší. To je dáno především tím, že veškerá VF energie procházející skrz filtr je soustředěna pouze v mikropáskové struktuře, která nedosahuje vysokých činitelů jakosti. Filtry se proto z šumového hlediska nehodí bezprostředně za anténu. Je vhodné jim předřadit alespoň jeden nízkošumový zesilovač pokud možno s nějakým jakostním selektivním členem.

## 5. Conclusion

*Described filter can find its use in transvertor designs working at 23cm wavelength. But it must be mentioned that reached insertion loss of -4,6 to -5dB is not too good. This is caused mainly by the fact that all the RF energy is concentrated in the microstrip structure that doesn't exhibit high  $Q_s$ . Thus from the noise figure stand-point these filters are not suitable to be placed just next to the antenna. It is good to place them behind some LNA with high- $Q$  selective filter.*



Obr. 7: Výkres třípólového filtru pro tisk (obdélník 65,3x31,1mm)

Fig. 7: Three-pole filter PCB layout - Print size (65,3x31,1mm rectangle)