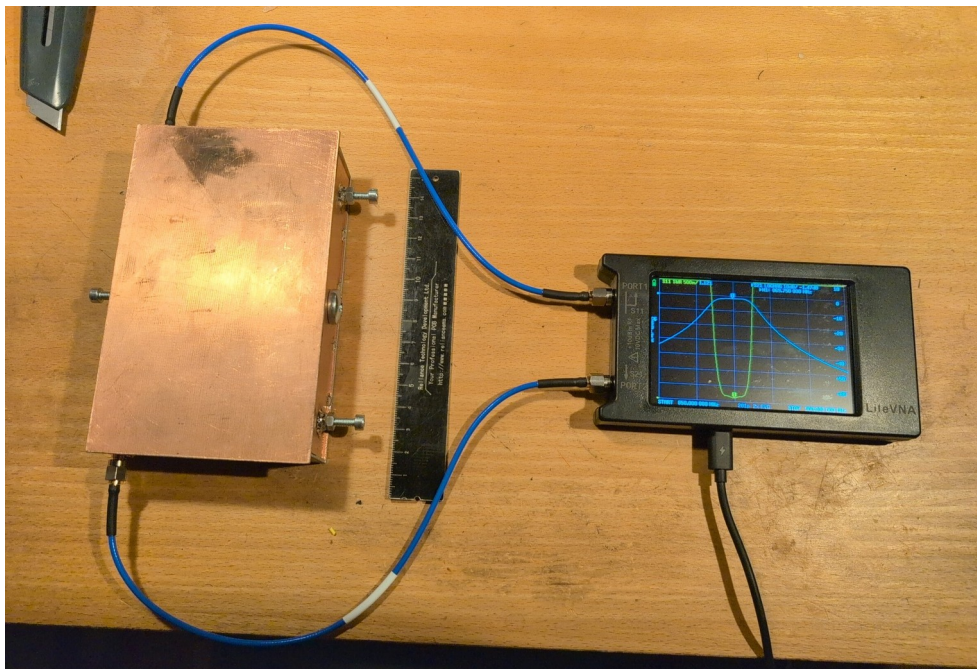


# Pásmová propust 870 MHz pro síť MeshCore

Martin Kimr, OK1MKH



Obrázek 1: První test funkce

## Motivace

Od dávných dob mě lákalo vyrobit si filtr, pásmovou propust, pomocí koaxiálních rezonátorů. Následující projekt je variantou této myšlenky. Jedná se o *interdigital bandpass filter*. Pokud si tento termín vyhledáte na internetu, najdete nejen teoretický popis a vysvětlení funkce, ale i celou řadu variant realizací takového filtru. Držel jsem se praxe a našel jsem hned dvě kalkulačky, které vypočítají rozměry filtru na základě několika zadaných parametrů. Odkazy na ně jsou:

[https://www.changpuak.ch/electronics/interdigital\\_bandpass\\_filter\\_designer.php](https://www.changpuak.ch/electronics/interdigital_bandpass_filter_designer.php)

<https://portia.astrophysik.uni-kiel.de/~koepfen/JS/InterdigitalFilter.html>

Realizace tohoto projektu by nebyla možná bez použití přístroje, který jsem se konečně odhodlal pořídit. Jedná se o levný VNA – vector network analyzer, v mém případě LiteVNA 64. Levný píšu proto, že *skutečné* přístroje tohoto druhu stojí běžně 100x více.

## Příprava

Při zadávání hodnot do kalkulačky jsem vycházel z materiálu, který jsem měl k dispozici – odstřížek měděné trubičky, zbytek z instalace klimatizační jednotky. Trubička měla průměr 9,5 mm. Velikost „krabice“ filtru jsem zvolil podle okoukaných konstrukcí. Vnitřní rozměr - výšku 30 mm jako zhruba trojnásobek průměru trubičky. Vycházel jsem z úvahy: Odchyłka způsobená nepřesností výroby na tak velkém rozměru bude procentuálně menší, než kdybych se snažil vše maximálně stlačit.

**REQUIREMENTS**

Center Frequency: 870 [MHz]

Bandwidth: 10 [MHz]

Elements: 3 [+ -]

Passband Ripple: 0 [dB]

Impedance: 50 [ $\Omega$ ]

Ground plane space: 30  mm  inch

Rod diameter: 9.5  mm  inch

End plate to rod: 15  mm  inch

CALCULATE

Obrázek 2: Hodnoty zadané do kalkulačky filtru

Odpovědí mi pak byla celá řada parametrů:

Interdigital Bandpass Filter, based on work of Jerry Hinshaw, Shahrokh Monemzadeh (1985) and Dale Heatherington (1996).  
[www.changpuak.ch/electronics/interdigital\\_bandpass\\_filter\\_designer.php](http://www.changpuak.ch/electronics/interdigital_bandpass_filter_designer.php)  
 Javascript Version : 09. Jan 2014

-----  
 Design data for a 3 section interdigital bandpass filter.

Center Frequency : 869.5 MHz  
 Passband Ripple : 0 dB  
 System Impedance : 50 Ohm  
 Cutoff Frequency : 864.5 MHz and 874.5 MHz  
 Bandwidth (3dB) : 10 MHz  
 Fractional Bandwidth : 0.0115  
 Filter Q : 86.95  
 Estimated Qu : 2422.95  
 Loss, based on this Qu : 0.623 dB  
 Passband Delay : 63.662 ns

-----  
 Quarter Wavelength : 86.2 mm or 3.394 inch  
 Length interior Element : 77.89 mm or 3.067 inch  
 Length of end Element : 78.33 mm or 3.084 inch  
 Ground plane space : 30 mm or 1.181 inch  
 Rod Diameter : 9.5 mm or 0.374 inch  
 End plate to center of Rod : 15 mm or 0.591 inch  
 Tap to shorted End : 4.17 mm or 0.164 inch  
 Impedance end Rod : 78.245 Ohm  
 Impedance inner Rod : 83.430 Ohm  
 Impedance ext. line : 50.000 Ohm

-----  
 \*\*\*\* Dimensions, mm (inch) \*\*\*\*

#	End to Center	Center-Center	G[k]	Q/Coup
0	0.00 (0.000)			
1	15.00 (0.591)	51.28 (2.019)	1.000	0.707
2	66.28 (2.609)	51.28 (2.019)	2.000	0.707
3	117.55 (4.628)	0.00 (0.000)	1.000	1.000
4	132.55 (5.219)			

\*\*\*\* Box inside dimensions \*\*\*\*

Height : 86.20 mm or 3.394 inch  
 Length : 132.55 mm or 5.219 inch  
 Depth : 30.00 mm or 1.181 inch

Proč šířka pásma 10 MHz? Hrál jsem si se zadáváním různých hodnot a sledoval změnu výsledných údajů. Pro užší šířku pásma je třeba udělat odbočky (taps) na krajních rezonátorech blíže k uzemněnému konci, třeba jen 2 mm. To klade značné nároky na přesnost práce. A pak mě zneklidňoval narůstající parametr vložené ztráty, řádek Loss, based on this Qu, který s požadovanou ostrostí filtru také narůstal. Pro základní vysvětlení souvislostí vezměte označený blok a zeptejte se ChatGPT, ať vám jej vysvětlí.

Zkrátka: Protože mám filtr zařazen hned u antény a uplatní se při příjmu i při vysílání, požadují maximální propustnost, tedy minimální vloženou ztrátu v požadovaném pásmu.

## Realizace

Moc jsem se s tím nepáral. Bral jsem projekt jako potvrzení funkčnosti konceptu s tím, že nabyté zkušenosti uplatním na případném dalším vyrobeném kousku. Trochu předběhnu, když zde uvedu, že i tak mě výsledná funkce filtru velmi příjemně překvapila.

Takže vzal jsem: Měděnou trubičku, oboustranně plátovaný cuprexit, pilku, pilník, lámací nůž, smirkové plátno, úhelník a posuvné měřítko, vrtačku. Později malý pb hořáček, páječku, cín. Ano, taky přišla chvíle pro kladivo. Tedy celkem nic moc speciálního.

Nebudu se rozepisovat o tom, jak jsem vyrobil 30 mm pásky obvodu krabičky a horní a spodní destičku víka. Jedna věc je však důležitá – na horním i spodním víku jsem si měl nechat dostatečný přesah, aby se víka dala po celém obvodu krabičky připájet.

Velkou péči jsem věnoval výrobě rezonátorů, především jejich přesnému rozměru. Trochu oříšek byl, jak zaslepit otevřené konce. Nakonec jsem pomocí kousku tvrdé nerezové trubičky a 8 mm kovového kolíku, který do trubičky přesně zapadal, vysekal z [měděného pásku](#) kolečka. Ta jsem protlačil trubičkami na jejich konec a zapájel cínovou pájkou. Na ohřev a pájení se mi výborně osvědčil [malý hořák](#) – po zahřátí trubičky se cín s vysokým obsahem tavidla krásně rozlil. Hořák jsem později použil i na pájení trubiček k bočnicím.



Obrázek 3: Vysekávání koleček



Obrázek 4: Šrouby M8

Do krajních rezonátorů jsem si předem vyvrtal dolíčky v místě napojení přívodní a výstupní odbočky. Moje trubičky měly šikvný vnitřní průměr, právě takový, že se do něj zařízl šroub M8. Vyvrtal jsem tedy všechny otvory do bočnic – pro šrouby trubiček, pro maticky ladicích šroubků M4 a pro konektory.

Před kompletací jsem všechny vnitřní plochy a trubičky rezonátorů vyčistil a vyleštil do zrcadlového lesku filcovým kotoučkem do vrtačky. Kotoučkem, který už je navždy nasáknutý nějakou leštící pastou. Vše jsem odmastil. Lesklý a nezoxidovaný povrch méně brání průtoku vysokofrekvenčních proudů.

Do dlouhých bočnic jsem upevnil trubičky rezonátorů nejmenšími šrouby M8, které jsem doma našel. Z budoucí vnitřní strany krabičky jsem je za pomoci hořáčku připájel k bočnicím. Obvodové stěny krabičky jsem pájel rovnou na spodním víku. Zde bych upozornil, že jsem dost bojoval s kroucením, které způsoboval chladnoucí cín. Je dobré postupovat po malých vzdálených puntíčkách a nejlépe z obou stran destičky bočnice. Teprve později pak pájet delší úseky a opět střídát vnější a vnitřní stranu. Vnitřní a vnější měděná plocha cuprexitu bude spojena po obvodu dna, určitě je však potřeba ji propojit i v místě montáže konektorů.

Když bylo vše pohromadě, víko jsem přibodoval jen na několika místech, připojil jsem VNA a začal šroubovat ladicí šroubky. Teď teprve nastalo to správné vzrůšo!



## První ladění

Do problematiky kalibrace a vůbec použití maličkých VNA se nebudu pouštět, na internetu existuje celá řada návodů. Při měření mě zajímaly především dva parametry:

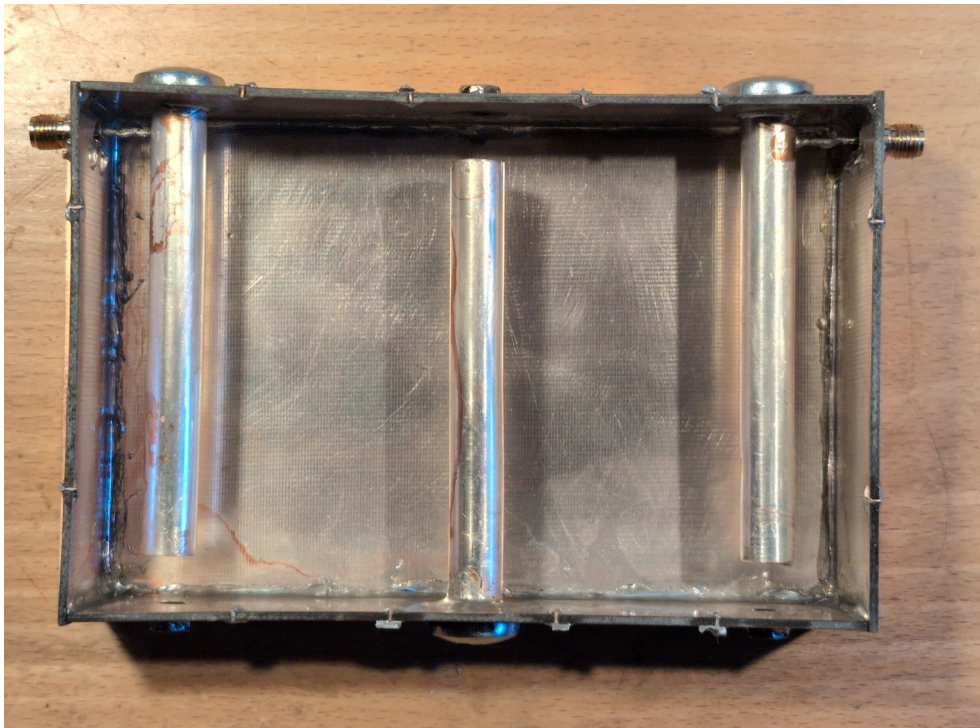
- S11 tedy to jak filtr a následující zátěž přizpůsobena přijímači / vysílači, na obrázcích přepočten na hodnotu SWR
- S21 průchozí útlum v dB.

Požadavek byl: Na požadované frekvenci 869,750 MHz získat SWR rovno 1, průchozí útlum 0 dB. Těžko realizovatelné, ale proč se o to aspoň nepokusit.

Šroubkem prostředního rezonátoru jsem naladil zhruba střední frekvenci filtru, krajními jsem se pak snažil parametry maximálně „vylepšit“. Neznám přesnou metodiku, ale postupnými kroky jsem dosáhl optima, které už se dál nepodařilo vylepšit.

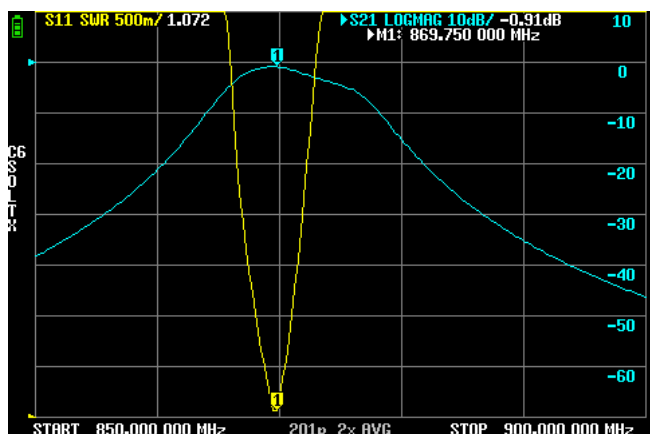
## Dokončení

Po týdnu jsem se mohl k projektu opět vrátit. Rozhodl jsem se před definitivním uzavřením celý vnitřní prostor postříbřit a vylepšit tak ještě trochu kvalitu a stabilitu povrchu. Použil jsem roztok dostupný v GM electronic. Dělal jsem to poprvé a výsledek bych hodnotil jako uspokojivý. Jak píše návod, předpokladem dobrého výsledku je co nejlepší kvalita a čistota podkladu.

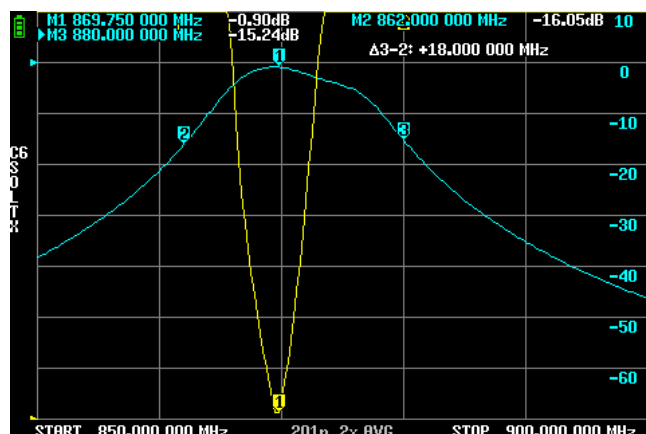


Obrázek 5: Čerstvě postříbřený filtr, zatím bez ladicích šroubků

Krabičku jsem uzavřel, jak to jen můj prototyp umožňoval a co nejlépe filtr naladil. Byl to trochu boj. Nepodařilo se mi získat pěknou symetrickou charakteristiku, zároveň co nejlepší SWR na pracovním kmitočtu a ještě co nejvyšší potlačení na hranách se sousedními pásmy. Následující obrázky jsou stejné, jen obsahují různé popisky. Z levého jsem nadšen, SWR 1:1,072 a průchozí útlum necelý 1 dB! Na pravém markery ukazují potlačení na hranách sousedních pásem, což je dobrý začátek.



Obrázek 6: Výsledné parametry



Obrázek 7: Hranice sousedních pásem

## Testy

Hned po naladění jsem vyrazil do terénu. Nejblíže našemu pásmu jsou pásma používaná operátory GSM.



Obrázek 8: David...



Obrázek 9: ... a Goliáš!

Ve [Všeobecném Oprávnění](#) se lze dočíst, že *segment c* končí na 862 MHz a *segment d* začíná na 880 MHz. Vyrazil jsem na nedalekou kótu [Džbán](#), kde je jeden z masivních uzlových stožárů GSM sítě spolu s BTS. Předpokládal jsem zde i dosah řady repeaterů.

Testy jsem provedl na dvou místech – ve vzdálenosti 200 a 1000 m od stožáru. Testoval jsem tak, že jsem prováděl ping na vybraný repeater a zapisoval hodnoty SNR pro oba směry přenosu, v aplikaci zobrazené jako SNR there a SNR back. Průměroval jsem vždy přibližně deset hodnot.

<b>Džbán 1</b>	200 m od BTS	
SNR dB	there	back
<b>Miloš</b>		
bez filtru	0,63	-6,71
s filtrem	5,00	10,03
<b>Oblík</b>		
bez filtru	nechytá se	
s filtrem	2,80	6,85
<b>Tok</b>		
bez filtru	nechytá se	
s filtrem	-1,55	0,70

<b>Džbán 2</b>	1000 m od BTS	
SNR dB	there	back
<b>Kladno_Plzeň</b>		
bez filtru	-2,85	1,85
s filtrem	-1,25	2,50
<b>Miloš</b>		
bez filtru	-5,58	2,67
s filtrem	-2,19	5,31
<b>Tok</b>		
bez filtru	-4,13	0,19
s filtrem	-4,25	2,15

Hodnota šumového pozadí byla na displeji zařízeníčka Heltec V3 zobrazována:  
Bez filtru -102 dB v extrému -94 dB / s filtrem stabilně -116 dB

Z tabulky je zřejmé, že nárůst odstupů signálu od šumu při použití filtru v blízkosti stožáru BTS je zásadní a umožnil tak pracovat i s repeaterem, se kterými to bez filtru vůbec nebylo možné. Ve vzdálenosti 1000 m již vliv filtru není tak zásadní, ale pořád ještě představuje nezanedbatelné zlepšení příjmu. Ale jen příjmu? Překvapivě se při použití filtru zlepšil i signál ode mě vysílaný – přijímaný na straně vzdálených repeaterů. Pro tento jev jsme s kolegy nenašli uspokojivé vysvětlení.

Na základě zkušenosti z velmi zarušeného prostředí jsem si udělal ještě jeden test v prostředí, které je poměrně rádiově klidné. Z dostupných repeaterů jsem si vybral téměř 100 km vzdálený Ještěd:

<b>Ještěd</b>	SNR dB	
	there	back
bez filtru	-6,90	5,60
s filtrem	-6,50	4,19

Zde se žádné překvapení nekonalo, výsledky jsou téměř stejné.

### Průběžný závěr

Kromě toho, že vznikl pěkný kousek HW, který jistě někde nasadím, tak mě projekt nastartoval k další konstrukční činnosti! Samozřejmě teď vím, co bych udělal jinak a to byl jeden z cílů projektu. O velikosti desek vík už jsem psal. Pro minimalizaci spojování řadou konektorů a ušetření místa by bylo možné vstup realizovat přímo kablíčkem zakončeným IPEX konektorem. Nebo alespoň použít [úhlový konektor s](#)

[maticí](#) pro připojení pigtailu. Anténu šroubovat přímo na výstup lze už teď. Pro umístění ven bude též potřeba dořešit použití nějaké krabičky - filtr je poměrně velký.

Je toho celá řada, na čem lze ještě pracovat, pokud na prototyp navážu, doplním nějaké aktualizace. A pokud naváže ještě někdo další, bude to ještě lepší. Těším se na výsledky vašeho snažení!