

# Precizní měřič PSV pro KV, VKV a UKV pásma

(Ing. Jan Bílek - [ok1tic@seznam.cz](mailto:ok1tic@seznam.cz))

## ÚVODEM

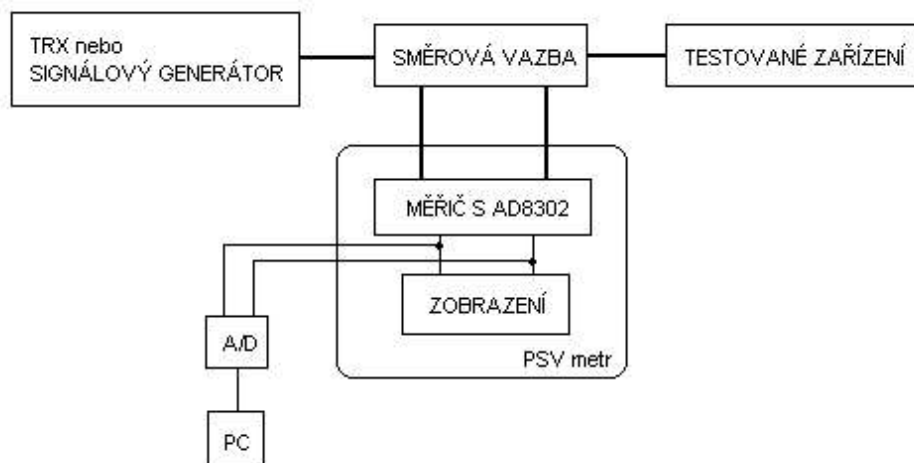
V odborné i radioamatérské literatuře je popsán nespočet různých PSV-metrů. Většina z nich ovšem trpí mnohými nectnostmi. Některé jsou kmitočtově závislé, některé příliš náročné na výrobu, jiné zase málo přesné. Většina z nich je navíc konstruována s detekčními diodami, jejichž výběr je rovněž problematický. Zkonstruovat si v domácích podmínkách opravdu kvalitní PSV metr je tedy poměrně náročným úkolem.

Hledání v literatuře a na internetu mě zavedlo až k jednomu „chytrému“ integrovanému obvodu, který je přímo předurčen pro výrobu měřiče PSV - k AD8302. Jeho vlastnosti a parametry mne natolik nadchly, že jsem se rozhodl, že si vyrobím vlastní PSV metr právě s tímto obvodem. Návrh celého měřiče však nebyl jednoduchý. Bylo třeba vyřešit mnoho otázek. A s tím, jak jsem se s těmito problémy popral, s tím, jak jsem nakonec svůj PSV metr zrealizoval, bych Vás chtěl v tomto článku seznámit.

Kapitola „Celková koncepce“ seznamuje čtenáře se základními principy funkčnosti celého PSV metru. Teoretická část (kapitola „Trocha teorie“) pojednává o základních teoretických poznatcích nutných k pochopení veškerých souvislostí a kapitola „Praktická realizace“ popisuje jakým způsobem jsem popisovaný PSV metr realizoval já. Cílem této kapitoly není poskytnout úplné informace, které by mohly sloužit k výrobě identické repliky, nýbrž spíše jen stěžejní parametry, které je třeba při realizaci dodržet. „Naměřené parametry“ ukazují dosažené vlastnosti PSV metru a kapitola „Další vlastnosti měřiče“ stručně uvádí další možné využití navrženého měřiče.

## CELKOVÁ KONCEPCE

Blokové schéma celého měřiče PSV, včetně okolních zařízení, je uvedeno na obrázku 1.



(obr. 1)

Celá RF cesta (tj. TRX - směrová vazba - testované zařízení) je v podstatě standardní. V obdobné konfiguraci funguje i drtivá většina ostatních měřičů PSV. Signál z TRXu nebo jiného zdroje harmonického VF signálu prochází směrovou vazbou, kde se část výkonu tohoto signálu oddělí a koaxiálním kabelem přivede na jeden ze vstupů AD8302 a druhá část postupuje dále k měřenému objektu. Od něho se jistá část výkonu odrazí zpět a putuje zpátky ke směrové vazbě. Ta opět z tohoto odraženého signálu oddělí část výkonu, který je veden ke druhému vstupu AD8302. Zbytek odraženého signálu putuje dále ke zdroji signálu, kde se částečně absorbuje a částečně odrazí opět ke směrové vazbě.

Obvod AD8302 má tedy dva VF vstupy. Má rovněž dva výstupy. Ty jsou však nízkofrekvenční resp. stejnosměrné. Obvod funguje tak, že jeden výstupní signál odpovídá fázovému rozdílu vstupních VF signálů. (Přesněji řečeno odpovídá *absolutní hodnotě* fázového rozdílu vstupních signálů!) Druhý výstup odpovídá poměru amplitud vstupních signálů vyjádřeném v logaritmické míře.

Pokud jsou tedy vstupními signály dopředný a odražený výkon, pak za předpokladu zanedbání útlumu kabelů máme na výstupu AD8302 informaci o hodnotě útlumu odrazů (RL) měřeného objektu. Tento údaj je jiným vyjádřením hodnoty PSV měřeného objektu (blíže viz. kapitola „Trocha teorie“) a zobrazuje nám jej ručičkový měřák. Využití informace o fázovém rozdílu již není tak jednoznačné. O tom je blíže pojednáno v kapitole „Další vlastnosti měřiče“.

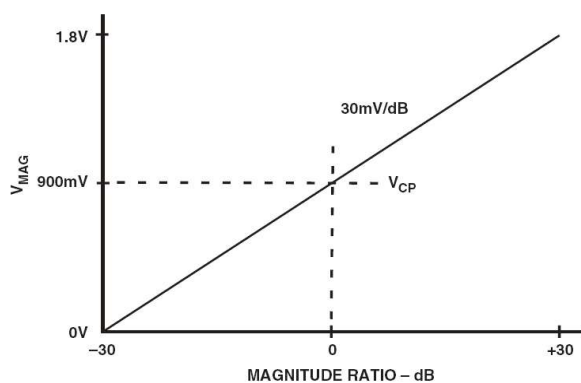
Jak je dále naznačeno v blokovém schématu na obrázku 1, výstupní signály z AD8302 lze digitalizovat a dále zpracovávat v PC. Pokud existuje možnost ovládat TRX či signálový generátor přes PC, nabízí se šance měření zautomatizovat (tvořit grafy zachycující závislost PSV na kmitočtu). K tomu by však bylo nutné naprogramovat obslužný software. To je námětem pro další zdokonalování tohoto PSV metru.

## TROCHA TEORIE

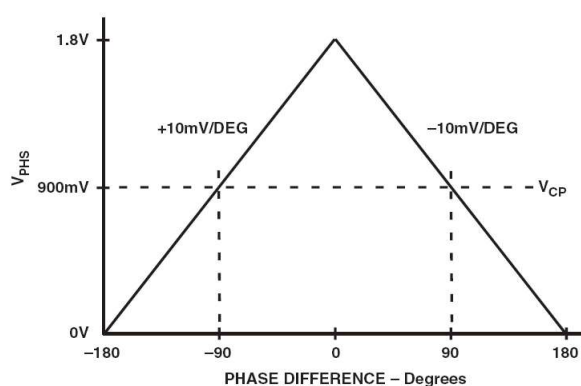
### *Vlastnosti obvodu AD8302*

Veškeré informace o funkčnosti a vlastnostech obvodu AD8302 jsou uvedeny v jeho katalogovém listu, který je ke shlédnutí na internetových stránkách firmy Analog Devices [1]. V následujícím textu vyzdvihnu jen ty nejpodstatnější, které jsou nutné pro pochopení koncepce tohoto PSV metru.

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, obvod AD8302 slouží k získání informace o podílu amplitud a rozdílu fází dvou VF signálů. Převodní charakteristika vstup-výstup pro oba výstupy je uvedena na obrázku 2 a 3. Těmto charakteristikám musí být přizpůsoben ručičkový měřák.



(obr. 2)



(obr. 3)

Jak plyne z obrázku 2, v základním zapojení obvodu (a stejné zapojení je použito i v tomto PSV metru) lze tedy měřit jak zisk (až do hodnoty 30dB), tak i útlum (do hodnoty -30dB). Měření fázového rozdílu, jak ukazuje obrázek 3, je možné v celém rozsahu (-180° až +180°), nelze ovšem jednoznačně určit, zda-li se jedná o rozdíl kladný či záporný, což je celkem vážný handicap tohoto obvodu.

Kmitočet vstupních signálů se může pohybovat od 0 do 2400MHz. Ovšem navrhnout desku plošných spojů a připojení vhodných konektorů tak, aby byla zajištěna bezproblémová funkčnost i na tak vysokých kmitočtech, je dosti obtížné. Většinou se tedy spokojíme, bude-li nám měřák

fungovat do cca 500MHz až 700MHz.

Napájení obvodu je standardních 2.7 - 5.5V, spotřeba obvodu je typicky 20mA pro napájení 5V.

Hlavním limitujícím parametrem obvodu, který musíme respektovat, je maximální výkon signálu, který můžeme přivést na jeho vstupní svorky. Tento maximální výkon v systému  $50\Omega$  činí  $P_{\max} = 0\text{dBm} = 1\text{mW}$ . Překročením této hranice riskujeme zničení obvodu. Minimální vstupní výkon, který je obvod schopen zpracovávat, je  $P_{\min} = -60\text{dBm} = 1\text{nW}$ . Tyto dva údaje musíme brát v úvahu při návrhu směrové vazby.

### *Návrh směrové vazby*

Směrová vazba musí být navržena především s ohledem na výkon signálu, který má vazbou procházet, a na kmitočtu tohoto signálu. Z toho plynou dva nejdůležitější požadavky na směrovou vazbu:

1. hodnota vazebního útlumu  $C$  (z angl. coupling)
2. preciznost provedení.

Vazební útlum  $C$ , obvykle vyjádřený v dB, nám udává, jak velká část výkonu se oddělí z procházejícího signálu. Jeho hodnota musí být volena tak, aby při nejvyšším výkonu procházejícím směrovou vazbou nebyla překročena hranice  $P_{\max}$  a zároveň při nejnižším procházejícím výkonu neklesla úroveň signálu na AD8302 pod  $P_{\min}$ . Nejvyšší výkon, který směrovou vazbou prochází, je vždy signál ze signálového generátoru popř. TRXu. Nejnižší výkon je vždy signál odražený od měřeného objektu.

Vezmeme-li tedy do ruky kalkulačku a budeme-li chtít propočítat situaci, kdy PSV metr bude instalován u závodního stanoviště, budeme muset počítat s výkony řádově 1 - 1000W (30 až 60 dBm) pro dopředný signál a s výkony v řádech 1mW až 100W (0 až 50 dBm) pro odražený signál. Jak vidno, rozpětí je značné.

Pokud budeme uvažovat výkon zesilovače  $P_{\text{PA}} = 1\text{kW}$ , pak hodnota vazebního útlumu  $C$  s ohledem na  $P_{\max}$  nám vychází:  $C \geq P_{\text{PA}} - P_{\max} = (60 - 0)\text{dB} = 60\text{dB}$ . Pokud si zalistujeme odbornou literaturu, zjistíme, že zrealizovat směrovou vazbu s vazbou  $C = 60\text{dB}$  sice je možné, ale náročné na přesnost výroby. (Změřená hodnota vazebního útlumu  $C$  se může značně lišit od navržených 60ti dB.) Je tedy třeba navrhnout směrovou vazbu s nižší hodnotou  $C$ . Jako hraniční se jeví hodnota 40dB. Ovšem to by nám zase limitovalo použitelný výkon na pouhých 10W! Z toho tedy vyplývá, že je nutné mezi směrovou vazbu a obvod AD8302 zařadit atenuátor. Jeho optimální hodnota pro  $P_{\text{PA}} = 1\text{kW}$  a  $C = 40\text{dB}$  se jeví jako  $A_{\text{ATT}} \geq P_{\text{PA}} - C - P_{\max} = (60 - 40 - 0)\text{dB} = 20\text{dB}$ .

Musíme ještě provést kontrolu s ohledem na  $P_{\min}$ . Musí platit, že  $P_{ZPĚT} - C - A_{ATT} > P_{\min}$ , kde  $P_{ZPĚT}$  je minimální výkon, o kterém předpokládáme, že bude procházet vazbou. (Jak bylo řečeno výše, jedná se o signál odražený od měřeného objektu, odtud index “ZPĚT“.) Dosadíme-li do vzorce, dojdeme k závěru, že:  $P_{ZPĚT} - 60 > 60$ . To je splněno pro  $P_{ZPĚT} > 0\text{dBm}$ , čili pro výkony nad 1mW. Tato hranice je tak nízká, že pro výkony TRXu nad 1W je stejně nad schopnosti měření obvodu AD8302, kterýžto je schopen měřit zisk a útlum jen do 30ti dB.

Závěrem této kapitoly tedy lze konstatovat, že pro radioamatérské účely se jeví jako vhodné použít směrové vazby o hodnotě  $C = 40\text{dB}$  spolu s atenuátorem 20dB předřazeným obvodu AD8302. Tuto variantu jsem použil i při mé realizaci. (V mém případě jsem uvažoval ještě malou výkonovou rezervu a útlum atenuátoru jsem volil  $A_{ATT} = 23,5\text{dB}$ .)

### *Provedení směrové vazby*

Jak plyne ze schématu na obrázku 1, směrová vazba má dvě vazební a jedno hlavní vedení. Jedno pro odečítání výkonu dopředného signálu, druhé pro odečítání výkonu odraženého signálu. Chceme-li směrovou vazbu používat pro účely měření PSV, je nezbytné, aby hodnota vazebního útlumu  $C$  obou vazebních vedení byla identická! Z toho plyne požadavek na co nejpřesnější symetrii a preciznost realizace.

Zda-li bude směrová vazba realizována v koaxiálním provedení, mikropáskovém vedení, vzduchovém páskovém či jiném vedení už je na konkrétních požadavcích, schopnostech a možnostech každého konstruktéra. Při výběru typu vedení musí brát zejména v úvahu hodnotu přenášených výkonů, snadnost návrhu a realizace a co nejoptimálnější navázání konektorů na všechna tři vedení. Já osobně volil vzduchové páskové vedení. (Je to vedení podobné mikropáskovému vedení, ale dielektrikem je vzduch.) Je relativně nenáročné na výrobu a lze jím přenést vysoké výkony. Podrobnější popis mnou realizované směrové vazby naleznete v kapitole „Praktická realizace“.

### *Útlum odrazů versus PSV*

Útlum odrazů  $RL$  (z angl. „return loss“) udává, jaký je poměr výkonů dopadající a odražené vlny. Jinými slovy udává, jak moc výkonu se odrazí zpět k TRXu od měřeného objektu. Tutéž informaci, leč v jiné formě, nám poskytuje PSV. Mezi PSV a  $RL$  existují následující převodní vztah:

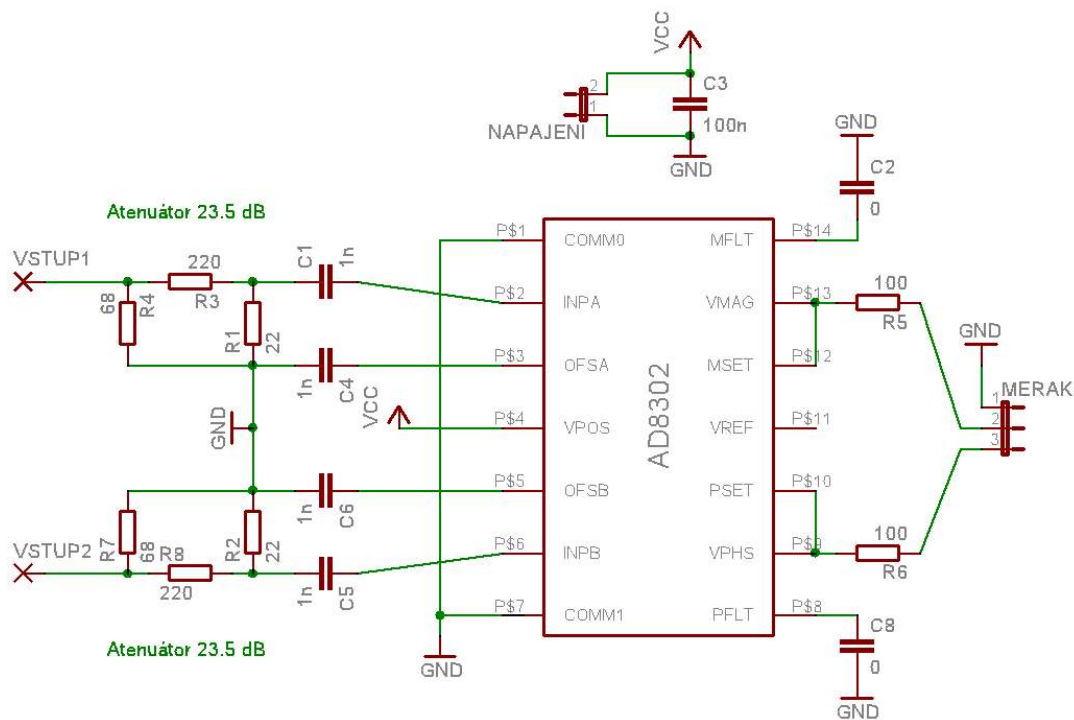
$$RL = -20 \cdot \log\left(\frac{PSV - 1}{PSV + 1}\right) \qquad PSV = \frac{(1 + 10^{\frac{-RL}{20}})}{(1 - 10^{\frac{-RL}{20}})}$$

Pokud nám tedy PSV metr ukáže hodnotu  $RL = -9,5\text{dB}$ , znamená to, že měřený objekt má  $PSV = 2$ . Obdobně  $PSV = 1,5$  odpovídá  $RL = -14\text{dB}$  atd.

## PRAKTICKÁ REALIZACE

### Měřič PSV

Zapojení měřiče sleduje přesně schéma uvedené v katalogovém listu obvodu. Jediný rozdíl je ten, že na vstupních branách není zapojen odpor o hodnotě  $50\Omega$ , nýbrž attenuátor sestávající ze třech odporů. Úroveň útlumu attenuátoru je již zmíněných  $23,5\text{ dB}$ . Schéma zapojení měřiče je na obrázku 4. Kondenzátory C2 a C8 mají skutečně nulovou hodnotu (tj. není připojen žádný kondenzátor). Blíže toto osvětlují informace v katalogovém listu.



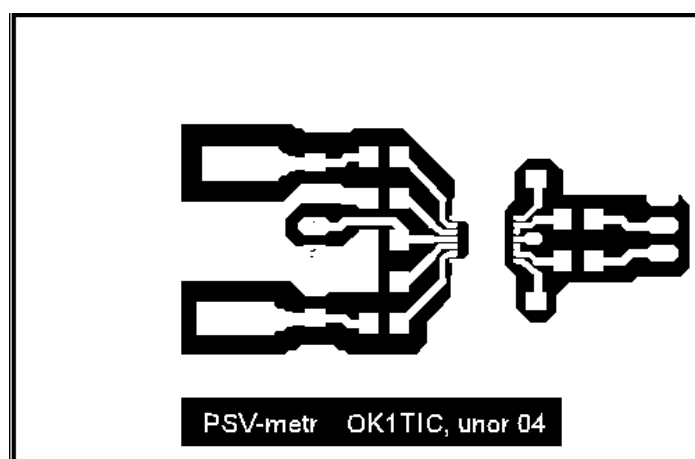
(obr. 4)

Na svorky označené „VSTUP1“ a „VSTUP2“ jsou připojeny přímo koaxiální kabely, které vedou ke konektorům BNC umístěných na předním panelu měřiče. Z hlediska možnosti měření fáze je absolutně *nutné*, aby oba kabely byly stejné délky! Z bezpečnostních důvodů lze v tomto místě připojit paralelně ke každému vstupu dvě antiparalelně zapojené ochranné diody. Pro jejich použití jsem se však nerozhodl.

Ke svorce s názvem „MĚŘÁK“ lze přímo připojit ručičkové měřáky. (Nebo jako jsem to

provedl já - jeden měřák s předřazeným přepínačem.) Je samozřejmě nutné měřáky přizpůsobit rozsahu měření - tedy 0 až 1.8V - přičemž je třeba brát v úvahu i fakt, že AD8302 může na svém výstupu poskytnout proud maximálně 8mA! Vývod, který je na AD8302 označen jako „VMAG“ nám dává hodnotu zisku resp. útlumu (podle převodní charakteristiky z obrázku 2) a vývod „VPHS“ informaci o fázovém rozdílu (podle převodní charakteristiky z obrázku 3). Pro další zpracování nebo pro automatizaci měření lze ke konektoru „MĚŘÁK“ připojit i AD převodník nebo rovnou mikroprocesor, který ADC obsahuje. V tomto případě je užitečné, aby z desky tištěného spoje byl vyveden i vývod „VREF“. Ten totiž slouží jako přesná napěťová reference pro AD převodník. Ke svorce „NAPÁJENÍ“ se přivádí napájecí napětí. Já použil napájení z laboratorního zdroje přes běžně dostupný stabilizátor 78L05 (na obrázku 4 není zachyceno). Bateriové napájení jsem nezkoušel.

Zapojení měřiče je velmi jednoduché, proto předpokládám, že si každý navrhne desku plošných spojů (DPS) přesně podle svých požadavků. Obrázek 5 ilustruje, jak jsem řešení DPS pojal já.



(obr. 5)

Deska má rozměry 64 x 41,6 mm. Je vyrobena z oboustranně plátovaného kuprextitu a umístěna v krabičce, která je také vytvořena z kuprextitu a je k desce přímo připájená. Všechny součástky, vyjma svorek „MĚŘÁK“ a „NAPÁJENÍ“, jsou osazeny na straně spojů. Koaxiální kabel je připájen na obdélníkové plošky v levé části DPS. Deska byla navržena pro osazení, které *nepočítá* s předřadným atenuátorem! (Pro ten jsem se rozhodl, až když byla deska vyrobena.) Není však žádný problém variantu s atenuátorem realizovat i na této desce, součástky (ve velikosti 1206) se tam bez potíží vejdou. Jak je dále vidět, deska má jisté rozměrové rezervy.

Obvod na DPS je chráněn proti rušení blokovacími kondenzátory a stíněním. Stínění je provedeno tak, že samotná DPS tvoří dno krabičky chránící obvod před nežádoucím rušením. Víčko krabičky a obvodové stěny, které jsou k DPS připájeny za zemní plochy, jsou taktéž z kuprextitu. Výška krabičky je cca 2cm.

Celý měřič - tj. krabičku s obvodem AD8302, ručkový měřák a další části - jsem umístil do krabice od jakéhosi starého měřáku - takže starý za nový. :-) Provedení ukazuje obrázek 6.

Ještě stojí za zmínku, že AD8302 lze u nás zakoupit například u firmy Amtek s.r.o. za cenu 535 Kč bez DPH za kus. Lze jej objednat i na stránkách výrobce (<http://www.analog-devices.com/>).

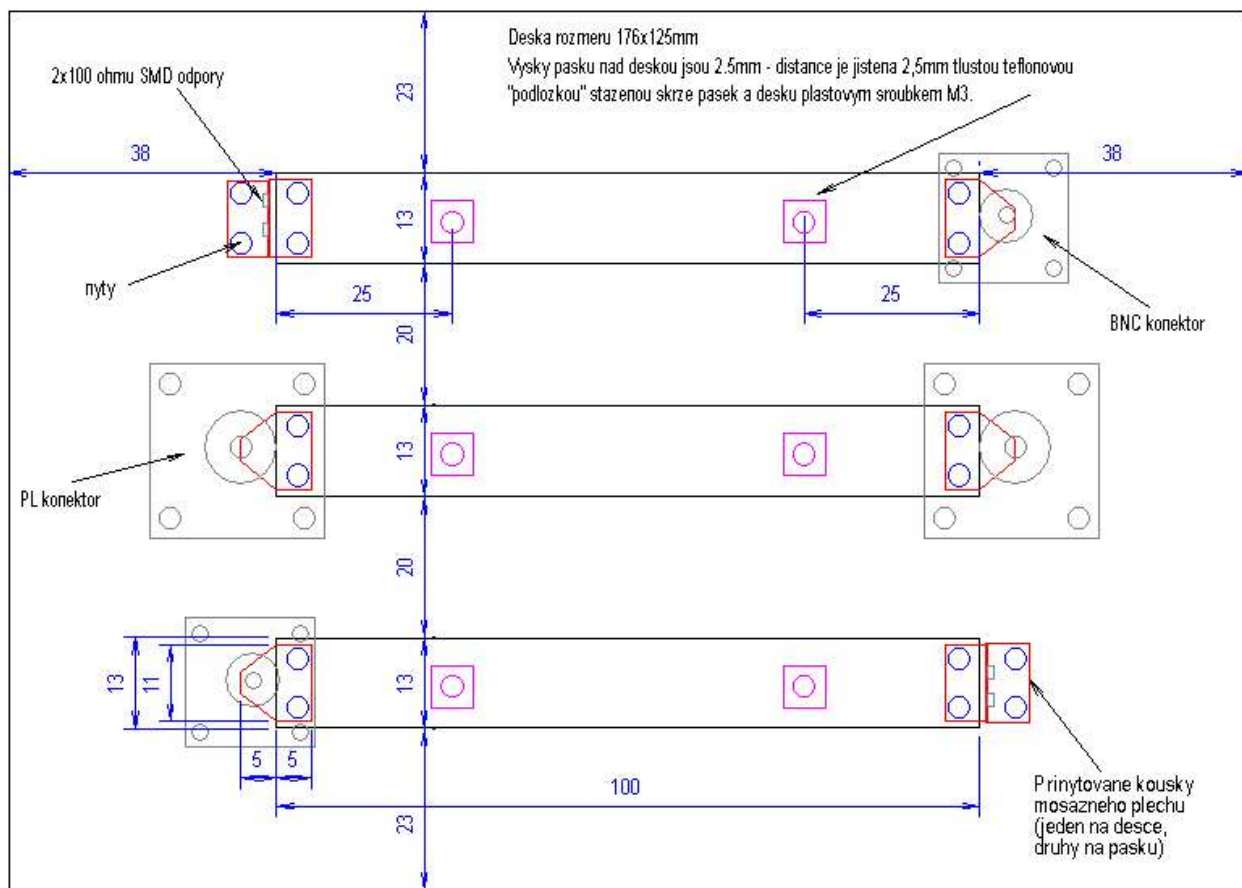


(obr. 6)

### *Směrová vazba*

Stěžejní rozměry, které mohou sloužit jako podklad pro realizaci směrové vazby, jsou zachyceny na obrázku 7.





(obr. 7)

## Deska

Směrová vazba (tj. deska včetně pásků) je zrealizována z 2 mm tlustého hliníkového plechu. (Nic zřejmě nebrání tomu, aby byl použit jiný, třeba kvalitnější kov či slitina.) Deska má rozměry 176 x 125 mm. Není důvodu, aby tyto rozměry byly větší, pokud je potřeba, menší bych však už raději nedoporučoval. Po obvodu desky jsou vyvrtány otvory pro připevnění desky ke krabici (ty na obrázku nejsou zachyceny). Otvory pro šroubky, zejména pak pro ty, které upevňují konektory, jsou větším vrtákem vybrány tak, aby šroubek s kuželovou hlavičkou nevyčníval z plochy desky! (Aby šroubky neovlivňovaly vazbu mezi pásky a deskou a mezi pásky vzájemně.) To neplatí pro plastové šroubky, které slouží k fixaci pásků.

K desce jsou přinýtovány kousky mosazného plechu ve tvaru „L“. Ty slouží pro připájení zakončovacích odporů (každé vazební vinutí musí být zakončeno charakteristickou impedancí - tj. zde 50Ω). Oba zakončovací odpory sestávají ze dvou paralelně řazených SMD odporů velikosti 1206 s hodnotou 100Ω. Deska by neměla být nějak výrazně poškrábána a měla by být pokud možno co nejrovnější.

## Pásky

Pásky mají rozměry 100 x 13 x 2 mm, jsou umístěny ve výšce 2,5 mm nad deskou. To zaručuje jejich charakteristickou impedanci 50Ω. Pásky jsou připevněny k desce plastovými šroubky (třeba těmi, co lze nalézt v PC, nebo je lze na českém trhu i zakoupit). Vzdálenost pásků od desky určují teflonové podložky. Ty jsou „vystříženy“ z teflonové desky, jejíž tloušťka je právě 2,5 mm. (Já zvolil teflonové distanční podložky, neboť jsem měl tento materiál k dispozici a neboť jde o kvalitní izolant. Jelikož však nejde o příliš vysokonapěťovou aplikaci, zřejmě by vyhověl i jiný, ne tak 'kvalitní' izolant.)

Na obrázku 7 je uvedeno, že vzdálenost plastových šroubků od konců pásků je 25 mm. Tato vzdálenost není nikterak kritická a konstruktér si ji může sám zvolit podle jeho požadavků.

Na oba konce každého z pásků jsou opět přinýtovány mosazné plíšky. Některé z nich slouží k připájení již zmíněných zakončovacích odporů, jiné pro připájení konektorů. Nýtování je třeba provést tak, aby se nám pásek v místě otvorů pro nýty neohnul! Rovněž je třeba přečnívající zbytek nýtku pečlivě zabrousit pilníkem tak, aby byla co nejméně narušena rovina pásku, aby vliv nýtu na tuto rovnu byl co možná nejmenší. To platí zejména pro spodní stranu pásku - tedy tu, která je orientována směrem k desce.

## Konektory

Konektory pro pásek, jímž prochází hlavní výkon, jsou typu PL, konektory na koncích vazebních vinutí jsou typu BNC. Oba typy jsou „samičky“ se čtyřmi otvory pro připevnění na panel.

Konektory jsou umístěny na opačné straně desky, než pásky. Jsou podle potřeby zabroušeny tak, aby co nejlépe dosedaly na desku. Rovněž vnitřní kolík konektorů je třeba zkrátit tak, aby jeho konec byl přesně v rovině mosazných plíšků umístěných na koncích pásků. Vzhledem k tomu, že deska je připevněna přímo na stěně krabičky, pak všechny konektory koukají ven z krabičky a lze na ně přímo připojit koaxiální kabely měřící RF cesty.

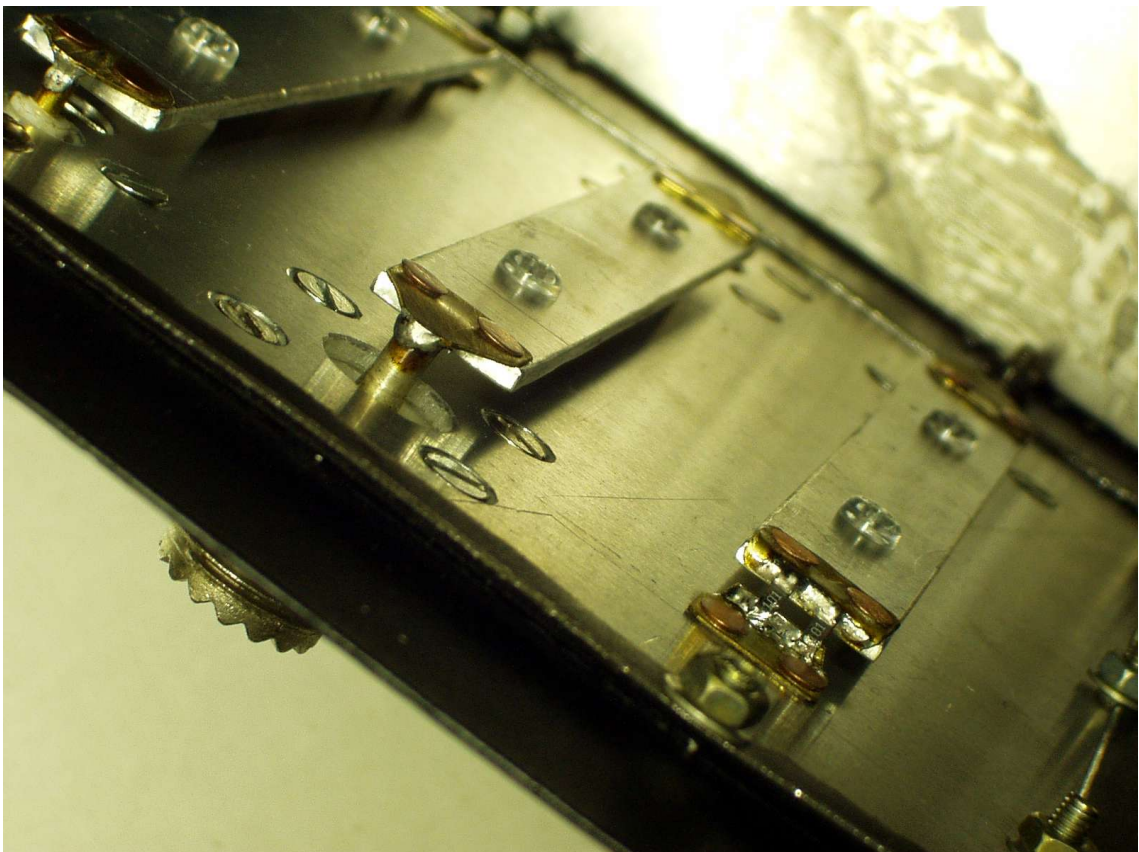
## Krabička

Krabička je vyrobena z kovu. Její stěna, která je protilehlá desce, by měla být od desky vzdálená minimálně 4 cm! Jak jsem si sám vyzkoušel, pokud se nachází nějaký objekt (tím spíše vodivý) ve vzdálenosti menší než 4 cm od desky, pak se rapidně mění její parametry - zejména vazební útlum.

Jak jsem realizoval svou vazbu můžete vidět na obrázcích 8 a 9.



(obr. 8)



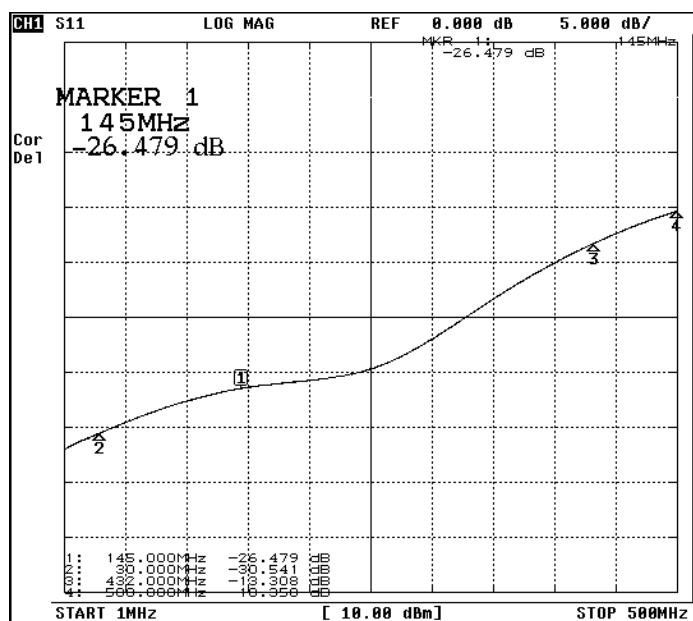
(obr. 9)

## NAMĚŘENÉ PARAMETRY

Následující měření byla provedena na obvodovém analyzátoru Advantest R3765CG.

### *Měřič PSV*

Graf na obrázku 10 zachycuje závislost útlumu odrazů vstupu A na kmitočtu. Tatáž závislost pro vstup B má téměř identický průběh, proto jí zde neuvádím.

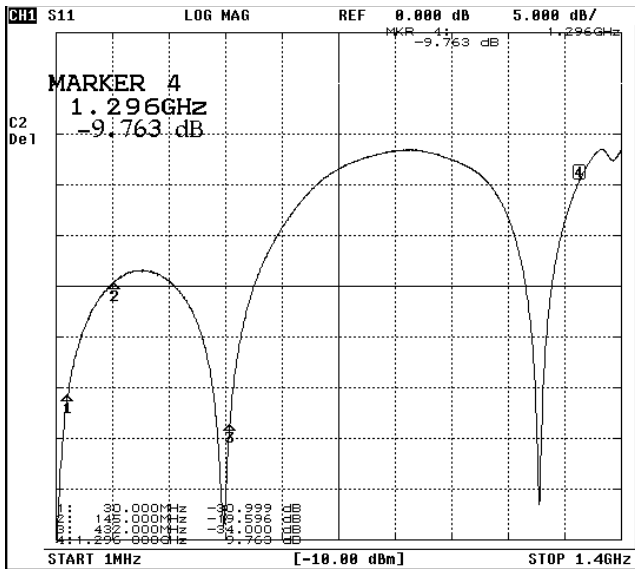


(obr. 10)

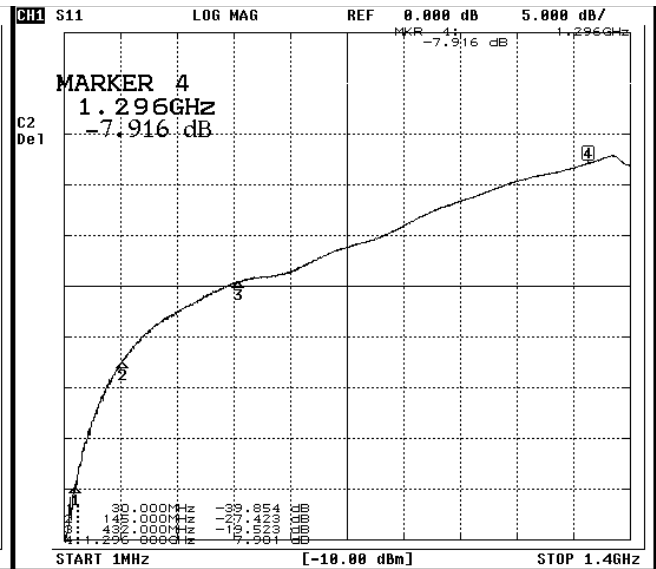
Jak je vidět, vstupní RL obou svorek měřiče je menší než -10dB (tedy PSV cca pod 2) pro všechny kmitočty pod 500MHz. Nic tedy nebrání použití měřiče až do pásma 432 MHz. (Vše samozřejmě závisí na preciznosti provedení. Při dodržení základních zásad pro konstrukci zařízení pracujících na UHF pásmech není problém dosáhnout tohoto výsledku.)

### *Směrová vazba*

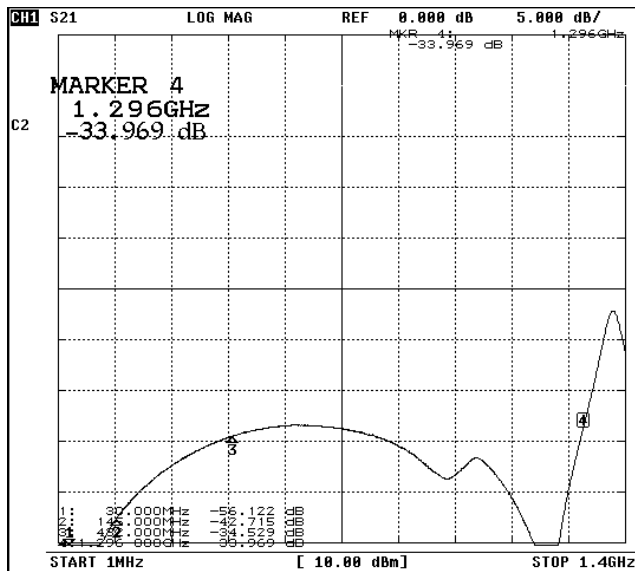
Jednotlivé parametry směrové vazby jsou patrné z následujících grafů.



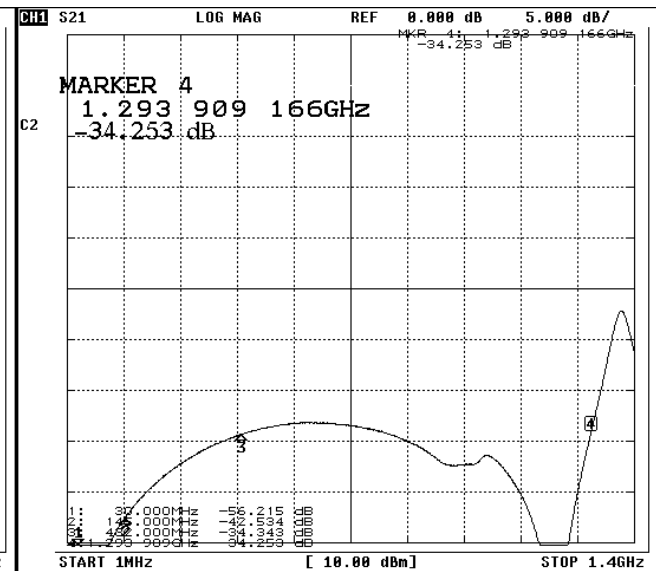
(obr. 11)



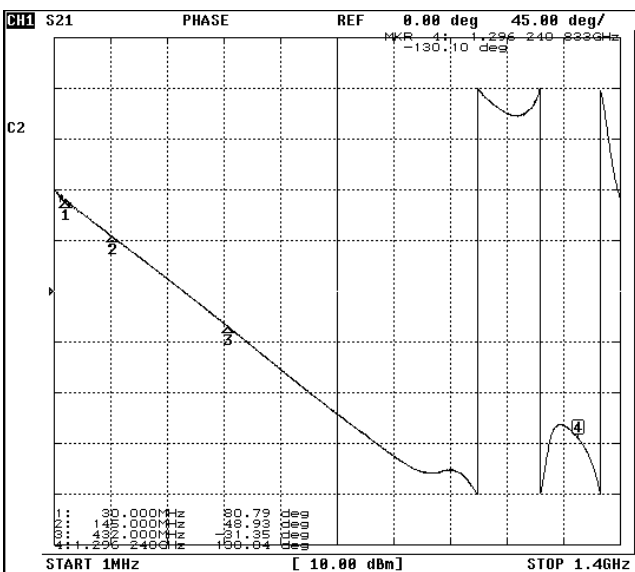
(obr. 12)



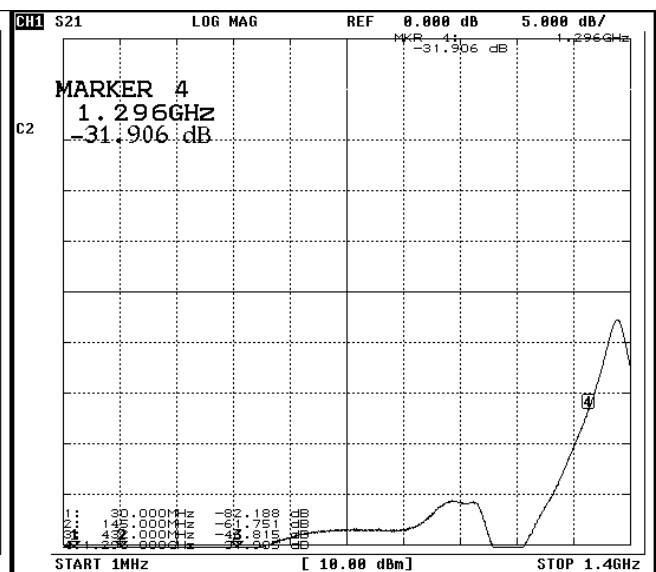
(obr. 13)



(obr. 14)



(obr. 15)



(obr. 16)

Obrázek 11 zachycuje útlum odrazů na vstupu směrové vazby. Jak je vidět, na kmitočtech pod cca 500MHz je vstupní RL hlavního pásku menší než cca -20dB (tedy PSV pod 1,2). Na vyšších kmitočtech je již situace horší.

Obrázek 12 demonstruje průběh koeficientu odrazu na výstupech z vazebních pásků. To nám tedy ukazuje jak precizně a kvalitně / popř. nekvalitně jsou tyto pásky provedeny. Je vidět, že  $RL < -20\text{dB}$  odpovídá pro kmitočty menší než cca 430MHz.

Obrázky 13, 14 a 15 ukazují hodnotu vazebního útlumu C. Tedy přenos ze vstupního konektoru hlavního pásku na výstupní konektor jednoho z vedlejších pásků. Obrázky 13 a 14 zachycují absolutní hodnotu tohoto přenosu vyjádřenou v decibelech pro oba vazební pásky. Porovnáním těchto průběhů lze dojít k závěru, že v případě této realizace bylo dosaženo poměrně vysokého stupně symetrie celé směrové vazby. Ukazatelé na obrázku 13 indikují, že na 145MHz dosahuje vazební útlum hodnoty 42,7dB, na kmitočtu 432MHz 34,5dB. Oblast krátkých vln leží kdesi pod úrovní 55dB.

Obrázek 15 pak průběh fáze tohoto přenosu. (S ohledem na obrázek 15 je však třeba čtenáře upozornit, že toto měření není zcela přesné. A sice proto, že fáze nebyla měřena v rovinách konektorů směrové vazby. Pro měření totiž bylo použito přechodek PL -> N a BNC -> N a měřicí rovina byla umístěna v úrovni N konektorů. Tj. měření je ovlivněno jistou systematickou chybou vzniklou přítomností těchto přechodek, jejíž velikost je v řádu několika stupňů a samozřejmě se mění s kmitočtem.)

Na obrázku 16 je zachycen průběh izolace. Tj. přenos ze vstupní brány hlavního pásku na výstupní bránu vazebního pásku, který je určen pro vyvážení výkonu v opačném směru. Je žádoucí, aby tento parametr nabýval pokud možno co největších (uvažujeme-li jej v záporných hodnotách, pak co nejmenších) hodnot. Je vidět, že pro kmitočty pod 1GHz leží tento parametr pod hranicí 40dB, tudíž měření de facto vůbec neovlivňuje.

## DALŠÍ MOŽNOSTI MĚŘIČE

### *Měření fáze*

Abychom mohli měřit fázi, je třeba dostát některým požadavkům. Za prvé je nutné, aby oba příklady signálu měly mezi vstupem do obvodu AD8302 a měřicí rovinou *stejnou elektrickou délku*. všechny použité koaxiální kabely tedy musí mít pokud možno identickou délku. Za druhé je třeba analyzovat fázové poměry v celé vysokofrekvenční sestavě včetně směrové vazby. V poslední řadě je třeba stanovit metodu, která nám umožní zjistit, zda měřený objekt má kapacitní či induktivní charakter (tato nutnost plyne z nejednoznačného určení fáze obvodem AD8302 - viz. výše).

Ovšem jak ukázaly mé experimenty v této oblasti, je téměř nemožné dosáhnout uspokojujících výsledků bez kalibrace celé měřicí sestavy. Ta samozřejmě vyžaduje jistý stupeň automatizace měření, softwareového zpracování naměřených hodnot a tedy i složitější hardware. V tomto ohledu se nabízí zpracování naměřených hodnot pomocí PC tak jak bylo naznačeno v úvodní kapitole tohoto textu.

### *Měření parametrů dvojbranů*

Použití výše popsaného měřiče se však nemusí omezovat pouze na měření koeficientu odrazu. Použije-li se v měřicí aparatuře místo jedné směrové vazby vazeb dvou, pak lze snadno měřit i koeficient přenosu dvojbranů. Opět, pokud se měření zautomatizuje a pokud měření bude zahrnovat i kalibraci, lze měřit i komplexní koeficient přenosu.

## **ZAVĚR**

Jak ukazují naměřené hodnoty, parametry měřiče PSV a směrové vazby jsou naprosto dostatečné pro jeho použití v kmitočtovém spektru od krátkých vln až po cca 500 MHz. Na nižších kmitočtech má sice směrová vazba menší citlivost (větší hodnotu vazebního útlumu) než je tomu v pásmu 2m, pro radioamatérské potřeby, kde se nejnižší používané hodnoty výstupních výkonů pohybují nejčastěji v jednotkách wattů, to však nepředstavuje žádné omezení.

Co se týče přesnosti celého měřiče, troufl bych si konstatovat, že ta se odvíjí zejména od přesnosti zobrazovací jednotky (tedy od přesnosti ručkového měřáku či případně AD převodníku a dalších obvodů) a samotného obvodu AD8302. Vliv směrové vazby (zejména hodnoty izolace) na výslednou přesnost měření PSV je dle mého názoru minimální. To vše mne vede k závěru, že výsledná přesnost měřiče se pohybuje pod 10%.

Směrová vazba byla rovněž podrobena zkouškou, kdy skrze ní procházel v pásmu 2m výkon cca 500W. Během této zkoušky jsem nezaznamenal žádné známky jakéhokoliv ohřívání či jiných nežádoucích efektů. Očekávám, že navržená vazba snese i větší výkony než mnou vyzkoušených 500W.

Přeji všem, kteří se rozhodnou pro stavbu tohoto PSV metru, mnoho zdaru. Jakékoliv otázky či připomínky rád prodiskutuji.

## **LITERATURA**

[1] katalogový list obvodu AD8302:

[http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/797075782AD8302\\_a.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/797075782AD8302_a.pdf)