

Elektrotechnické měření (3)

JAN BOCEK, OK2BNG (jan.bocek@vitkovice.cz)
 ING. TOMÁŠ KLIMČÍK, SWL (tomas.klimcik@vitkovice.cz)

Přírozenou snahou každého radioamatéra vysílajícího na amatérských pásmech je mít dobré QTH, antény a dostatečný výkon. V praxi se slovem dostatečný míní co největší, což je také přirozené. Jedinou možností, jak této části snahy udělat zadobře, je pořídit si zesilovač, čili koncák, lineár anebo zkráceně PA (z anglického Power Amplifier). Když už takový PA máme a také víme, k jakému účelu ho budeme používat, je vhodné jej proměřit. Vždy je dobré vědět, zda můžeme věřit výrobcem propagovaným parametřům a zejména je třeba mít jistotu, zda je, či není konstruován jako CCS (Continuous Commercial Service) a jaký výkon odevzdává v závislosti na vstupním buzení.

Měření na vf zesilovači

Měřil: Jan Bocek
 Datum: 7.5.2000

Části:

1. Měření vstupní impedance PA
2. Kontrola výstupní impedance PA
3. Měření zesílení PA

Proměřovaný přístroj:

Typ: ZZ 1004
 Výrobce: UY5ZZ, Záporoží

Jde o zesilovač výkonu, jehož základem je elektronka GU74b (je ekvivalentem 4CX800, již jsou osazeny moderní PA jako Beta 91B a ACOM 2000). Elektronka je zapojena s uzemněnou katodou, je buzena do pasivní mřížky, na jejímž vstupu je zapojen bezindukční odpor 50 Ω. PA je pro všechny KV pásma od 160 do 10 metrů včetně pásem WARC. Pro výstupní výkon 600 W stačí buzení 25 W. Ostatní údaje viz tabulka 6.

Cíl měření:

1. Ověřit měření některé parametry uváděné výrobcem PA.
2. Přežkoušet funkci měřících přístrojů a všech ovládacích prvků.
3. Při měření se seznámit s novým přístrojem.

1. Měření vstupní impedance PA

Použité přístroje:

1. Měřič impedance MFJ-259B
2. Propojovací kabel 50 Ω o délce 0,6 m
3. PA typu ZZ-1004 s elektronikou GU74b
4. Propojovací kabel 50 Ω o délce 0,6 m
5. Odporová zátěž 75 Ω, 2 W (v konektoru PL)

Postup měření:

Před vlastním měření vstupní impedance je třeba ověřit parametry celého řetězce a jejich chování v závislosti na frekvenci.

Výstupní konektor měřeného PA je připojen kabelem k zátěži 75 Ω, vstupní konektor PA k měřiči impedance MFJ-259B - viz obr. 1.

PA je v klidovém stavu (poloha STBY) a vstup je připojen k výstupu přes obě relé tzv. „by-passem“. V tomto stavu provedeme kontrolní měření impedance v rozsahu 1,8 - 30 MHz. V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty přizpůsobení (SWR), odporu (R), reaktance (X), fázového posunu a impedance Z naměřené pro jednotlivé kmitočty.

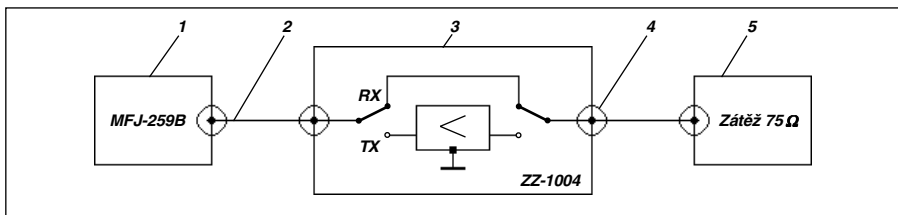
Měřič impedance MFJ-259B má normalizovanou výstupní impedanci 50 Ω a zátěž 75 Ω, což se správně projevilo tím, že při 1,8 MHz byla naměřena hodnota SWR rovna 1,5. Odchylnky naměřených hodnot jsou způsobeny kapacitami a indukčnostmi, které se v obvodu vyskytují. Výsledky v tabulce 1 lze považovat za přijatelné a prokazují, že veškerá propojení, přístroje i zátěž jsou v pořádku.

Tab. 1 - Měření v poloze „RX“, jen zátěž

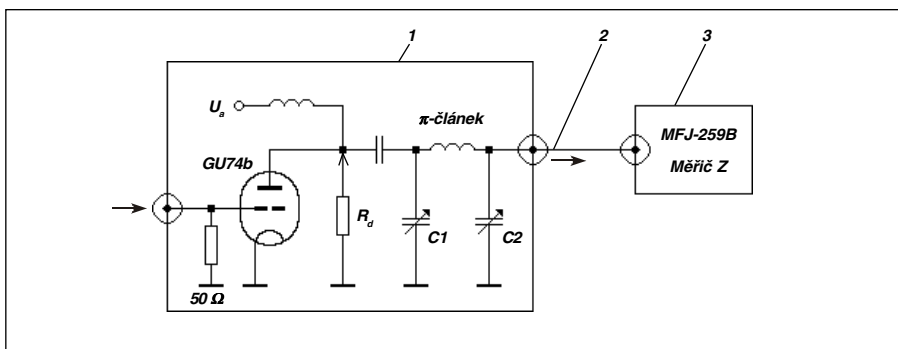
Pásmo [MHz]	SWR	R [Ω]	X [Ω]	Fáze [°]	Z [Ω]
1,8	1,5	73	12	0	73
3,5	1,5	65	19	10	68
7,0	1,5	50	21	20	55
14,0	1,4	36	9	10	37
21,0	1,2	41	4	0	42
28,0	1,0	54	2	0	54
28,5	1,0	54	0	0	54

Vlastní měření vstupní impedance provedeme obdobným způsobem, ale na zařízení připraveném k provozu, kdy PA je nažhaven a jsou přítomna všechna napětí. Přepínače jsou v poloze TX, tzn. že vstupní relé je naskočeno a měřiči signál se dostane až na vstupní obvod elektronky.

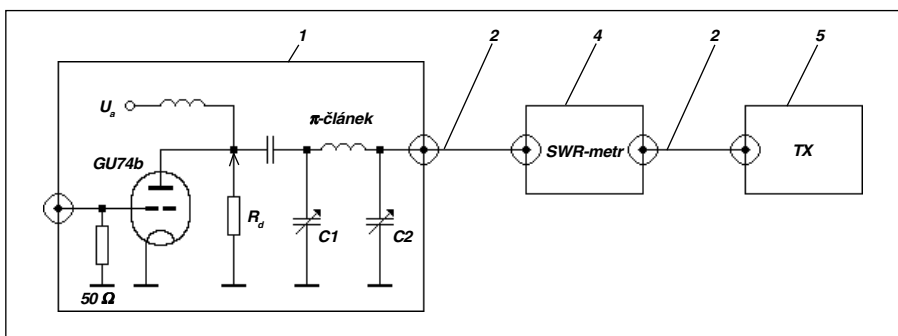
Naměřené hodnoty jsou v tab. 2. Vyplývá z nich, že provozně nejlepší je oblast v pásmu 1,8 a 3,8 MHz. Směrem k vyšším kmitočtům se postupně zhoršuje SWR, což si vynucuje nezbytnost kompenzace jalové složky impedance. Nejjednodušším řešením je použití ATU (anténního tuner). Platí totiž, že není-li na vstupu SWR 1,0, nevybudíme PA na optimální výkon.



Obr. 1 - Schéma zapojení pro měření vstupní impedance PA.



Obr. 2 - Měření výstupní impedance pomocí MFJ-259B.



Obr. 3 - Měření výstupní impedance pomocí SWR-metru SX 100.

Tab. 2 - Měření v poloze „TX“, vstupní impedance

Pásmo [MHz]	SWR	R [Ω]	X [Ω]	Fáze [°]	Z [Ω]
1,8	1,0	50	0	0	50
3,5	1,0	50	1	0	50
7,0	1,1	45	4	0	46
14,0	1,2	40	3	0	40
21,0	1,3	40	9	0	40
28,0	1,5	48	20	20	52
28,5	1,5	50	20	20	54

2. Měření výstupní impedance

Použité přístroje:

1. PA ZZ-1004 s elektronikou GU74b
2. Propojovací kabely 50 Ω o délce 0,6 m
3. Měřič impedance MFJ-259B
4. SWR-metr typ SX-100
5. Budič TX typ TS-850SAT

Postup měření:

Hned v úvodu je třeba vysvětlit, že při tomto měření ani tak nejde o vlastní impedanci výstupu, jako o míru impedančního přizpůsobení π-čláčku na výstupu PA vůči připojované anténě. Vycházíme z obr. 2. Na výstup je připojen MFJ-259B, PA je bez anodového napětí, ale výstupní anténní relé je aktivováno. Mezi anodu

elektronky a zem je připojen odpor $R_d = U_a : 2 \times I_a$, který nahrazuje dynamický odpor elektronky. V našem případě vychází $R_d = 2350 : 2 \times 0,45 = 2611 \Omega$, použijeme tedy odpor 2500Ω . Vlastní měření realizujeme tak, že pro jednotlivá kmitočtová pásma upravujeme jednotlivé prvky π -článku (C1, C2, L) tak, abychom našli jejich polohu, pro kterou bude SWR = 1,0.

Na výsledcích z tab. 3 je vidět, že pro pásma 1,8 a 3,8 MHz se hodnotu SWR = 1,0 nalézt vůbec nepodařilo. Svědčí to o tom, že π -článek není optimálně navržen (v obou případech je malá kapacita C2, u pásma 1,8 MHz je i malá indukčnost). Na ostatních pásmech je možné výstup naladit dobře, což nám dává jistotu, že PA bude za provozu slušně fungovat i v dynamickém režimu. Dynamickým režimem myslíme skutečnost, že PA je buzen proudem měnícím se od I_{min} do I_{max} s připojenou zátěží, jejíž impedance má i jalovou složku. Na obr. 3 je demonstrováno měření přizpůsobení π -článku za pomoci SWR-metru a budiče. Pro buzení stačí výkon 2 - 10 W, podle citlivosti SWR-metru. Samozřejmě, že v tabulce pak budou pouze hodnoty SWR (R, Z, X a fáze tímto měřicím přístrojem nezjistíme). Z praktického hlediska je třeba opět zdůraznit, že hodnoty SWR musí být skutečně 1,0. Hodnota 1,3 je považována za špatnou.

Tabulka 3 - Měření výstupní impedance a přizpůsobení π -článku

Pásma [MHz]	C1 [dílky]	C2 [dílky]	R [Ω]	X [Ω]	Fáze [°]	Z [Ω]	SWR
1,8	8	9	68	0	0	68	1,3
3,5	8	9	58	0	0	58	1,3
7,0	4	7	49	0	0	50	1,0
14,0	4	7	47	0	0	47	1,0
21,0	4	3	46	2	0	46	1,0
28,0	3	2	50	0	0	50	1,0

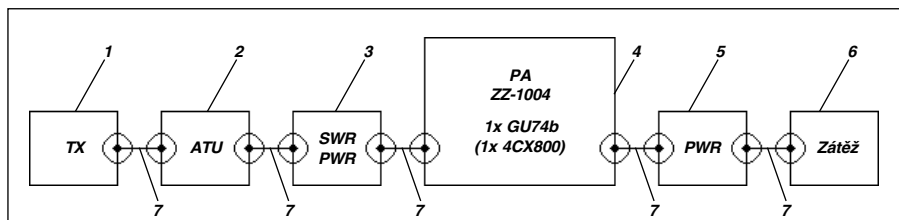
3. Měření zesílení PA

Použité přístroje:

1. TX, typ TS-850SAT
2. Anténní tuner, součást TX
3. SWR/PWR-metr, typ SX-100, Diamond
4. PA ZZ-1004, 600W
5. PWR-meter Rohde-Schwarz, 60 Ω , 0,2/2kW
6. Výkonová zátěž R/S, 60 Ω , 1kW
7. Propojovací kabely 75 Ω o délce 0,6m

Postup měření:

Přístroje zapojíme podle obr. 4. Stupnice knoflíků kondenzátorů C1 a C2 na PA jsme označili hodnotami 1 až 10 (zleva). Jako budič jsme použili transceiver Kenwood TS-850 s anténním tunerem, který umožňuje plynulou regulaci výstupního výkonu. TX přepneme do režimu CW. Pro kontrolu SWR na vstupu PA je zapojen SWR-metr. Přepínání transceivru do režimu TX je vhodné realizovat pomocí šlapky (osvědčil se klíč RM31), čímž si uvolníme obě ruce. Na výstup PA je připojen měřič výkonu (PWR) a zátěž 60 Ω pro zatížení 1 kW. Propojovací konektory jsou krátké (jen 60 cm)



Obr. 4 - Zapojení přístrojů pro měření zesílení PA.

jsou opatřeny konektory PL. Po kontrole zapojení zapneme PA podle návodu výrobce. Podobně jako při měření vstupní impedance přezkoušíme průchodnost PA a funkčnost měřicích přístrojů, reláték i kabelů v režimu QRP (tj. bez zapnutého PA pomocí by-passu) při 10 a 100 W. Potom zapnutím zesilovače přejdeme do režimu QRO a PA přepneme do stavu TX (operate) a kontrolujeme klidový proud elektronky, který se bude pohybovat okolo 180 mA. Na transceivru nastavíme buzení 10 W a pomocí otočných prvků C1 a C2 naladíme výstupní obvod PA na maximální výstupní výkon. Na výstupním PWR se objeví hodnota okolo 180-200 W. Pečlivým doladěním vstupního anténního tuneru a výstupního obvodu PA naladíme soustavu na největší výstupní výkon. Hodnoty anodového proudu I_c a výstupní výkon zapisujeme do tab. 4. Při budicím výkonu 10 W vyzkoušíme všechna pásma. Konstantní údaje, jako U_a , U_{g2} , I_a , jsou uvedeny ve spodní části tab. 4 včetně některých výpočtů. Výstupní výkon při buzení 10 W je 180-380 W. Pro další část měření zvýšíme buzení na 25 W a znovu proladíme všechna pásma. Ze zaznamenaných hodnot pak zjistíme, že výstupní výkon se pohybuje v rozmezí 400-960 W. Nakonec vyzkoušíme na každém pásmu „co to dá“. Budicí výkon zvyšujeme jen do okamžiku, kdy výstupní výkon přestane lineárně narůstat. Tuto hodnotu pak rovněž zapíšeme do tabulky 4.

V další části proměříme každé pásmo zvlášť a hodnoty budeme zapisovat do tab. 5. Mimo známých hodnot, jako jsou poloha přepínače pásma, hodnota vstupního buzení, I_c a P_{out} přibýly hodnoty I_{g2} a C1 a C2, které za-

Tab. 4 - Výstupní výkon při různém buzení a výpočty

Pásma [MHz]	$P_{in} = 10 W$		$P_{in} = 25 W$		$P_{max} [W]$
	$I_c [mA]$	$P_{out} [W]$	$I_c [mA]$	$P_{out} [W]$	
1,8	220	180	340	400	600
3,5	260	340	380	960	1200
7	280	380	350	960	1200
10	270	220	360	500	850
14	280	360	420	960	960
18	260	220	370	500	850
21	250	220	360	500	850
24	250	220	360	500	850
28	250	250	360	500	950

Napájecí napětí 230 V		
$U_{an} = 2600 V$	$U_{am} = 2350 V$	$U_{g2} = 270 V$
$I_{an} = 180 mA$	$I_{am} = 450 mA$	
$R_d = 2350 / 2 \times 0,45 = 2500 W$		
$P_{out} = \frac{(1,56 \times I_a) \times U_a}{2} = \frac{(1,56 \times 0,45) \times 2350}{2} = 840$		
Odběr proudu ze sítě a příkon:		
zapnutí	3,0 A	
běh	0,5 A	115 W
při PTT (I_c)	2,4 A	552 W
plné buzení	5,2 A	1200 W
účinnost = $\frac{P_{out}}{P_{sítě}} \times 100 = \frac{840}{1200} \times 100 = 70 \%$		

pisujeme jen pro maximální výkon. Hodnoty C1 a C2 jsou přibližně stejné, jak pro buzení 10 W, tak 50 W. Při měření postupujeme tak, že zvyšujeme buzení P_{in} a sledujeme PWR a I_{g2} . Při hodnotě I_{g2} 10 až 15 mA doladíme C1 a C2 tak, aby proud I_{g2} byl minimální a P_{out} největší. Při určité hodnotě buzení začne I_{g2} prudce stoupat - znamená to, že PA je přebuzený.

Při pohledu na výsledky v tab. 5 zjistíme, že v kmitočtovém pásmu 18-21 MHz nesouhlasí poloha přepínače pásma s uvedeným pásmem (např. pro pásmo 21 MHz je poloha přepínače 18 MHz). Výrobce udává jako parametr výstupní impedanci 50 Ω , my jsme však použili zátěž 60 Ω . Pro tuto zátěž je kalibrován i PWR-metr.

Tab. 5 - Hodnoty při zatížení PA

Pásma [MHz]	Přepínač [poloha]	$P_{in} [W]$	$I_c [mA]$	$I_{g2} [mA]$	C1 [dílky]	C2 [dílky]	$P_{out} [W]$
1,8	1,8	10	220				180
		25	340				400
		50	420	15	2	1	600
3,5	3,5	10	260				340
		25	380				960
		60	440	18	7	9	1200
7	7	10	280				380
		25	350				960
		50	440	18	5	7	1200
10	10	10	270				220
		25	360				500
		50	420	18	4	7	850
14	14	10	280				360
		25	420				960
		50	440	20	5	7	1080
18	14	10	260				220
		25	370				500
		50	440	20	2	4	850
21	18	10	250				220
		25	360				500
		60	450	10	4	7	850
24	21	10	250				220
		25	360				500
		60	450	20	4	4	850
28	24	10	250				250
		25	360				500
		60	450	8	3	2	950

Závěr

Měřením na VF zesilovači pro KV jsme zjistili, že odevzdává výkon o něco větší (800 W) než udává výrobce (600 W). Rovněž VF účinnost (70 %) při vysílání je dobrá. Energetická účinnost, kdy v klidu je odběr jen 10% z maximálního výkonu, je vynikající. Nebyla měřena hluchost přístroje, produkty IMD ani staticky kvalita signálu pomocí dvou tónů.

Ověřili jsme, že vstupní obvod se musí kompenzovat, protože vstupní SWR je horší než 1,2. Výstupní obvod není optimalizován pro pásmo 1,8 MHz. Výstupní výkon je poloviční než pro pásmo 3,5 MHz.

Z hlediska obsluhy je vynikající, že je na čelním panelu měřidlo I_{g2} , což umožňuje π -článek naladit na optimální hodnoty.

Protože hlavním cílem tohoto měření bylo ukázat na možnosti ověření základních technických parametrů PA v amatérských podmínkách, jsou tyto shrnuty v tab. 6. Z ní vyplývá, že hodnoty výrobce odpovídají výsledkům měření. Protože jsme měřili při síťovém napětí 230 V, účinnosti vychází o něco větší než při 220 V.

A úplně na závěr - zde nastíněné měření impedance π -článku může pomoci mnohým konstruktérům oživit jinak pro ně mrtvá a neúčinná pásma.

Tab. 6 - Technické parametry ZZ 1004 udávané výrobcem a naměřené		
<i>Parametr</i>	<i>Výrobce</i>	<i>Naměřeno</i>
Kmitočtový rozsah	1,8-28 MHz	1,8-28 MHz
Druhy provozu	CW, SSB	zkoušeno v CW a SSB
Odběr ze sítě	1300 W	1200 W
Výstupní výkon	600 W	500 - 960 W
Účinnost	50 %	70 %
Vstupní impedance	50 Ω	50 Ω
Výstupní impedance	50 Ω	50 Ω
Anodové napětí	2,2 kV	2,6 / 2,35 kV
Napájení	220 V / 8 A	230 V / 5,2 A

Použitá literatura:

- [1] The ARRL Handbook, 2000
- [2] Elektrovakuumnyje pribory, Moskva 1986
- [3] Notebook QRO, OK2BNG, 1998
- [4] CD-ROM QRO II, PA FLP (1-2 kW), OK2BNG, 2000
- [5] Dokumentace PA ZZ-1004