

Elektrotechnické měření (7)

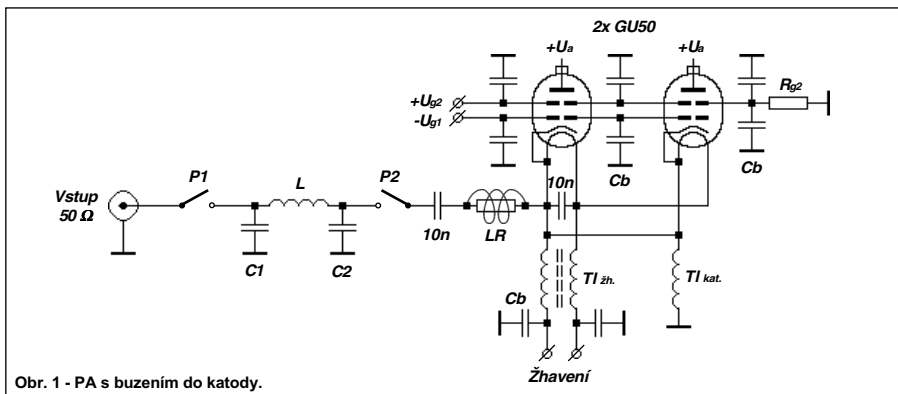
JAN BOCEK, OK2BNG (jan.bocek@vitkovice.cz)
 ING. TOMÁŠ KLIMČÍK, SWL (tomas.klimcik@vitkovice.cz)

Školní příklad místo úvodu, aneb ohlédnutí za podstatou.

Úkol: Jaký bude kapacitní odpor kondenzátoru o kapacitě 100 pF na kmitočtech amatérského pásma?

Odpověď: Výsledek najdete v tab. 1. Je zde uveden i vzorec (kalkulačku dnes vlastní každý). Z výsledků plyne, že kapacitní odpor je závislý na kmitočtu. Je třeba dodat, že indukční odpor taktéž.

Proč dnes takovýto úvod? Komerčně vyráběná zařízení mají zpravidla jmenovitou výstupní (transceivery) a vstupní (vř zesilovače čili PA) impedanci rovnu 50 Ω. Amatérské a poloamatérské konstrukce PA mají vstupní impedanci většinou jinou, přímo danou typem použitých elektronek, jejich zapojením a kvalifikací konstruktéra. Platí zde totéž co u na-páječů antén - plný výkon jsme schopni přenést z transceiveru do zesilovače pouze v případě impedančního přizpůsobení vstupu PA k výstupu TRX, jinými slovy TRX musí „vidět“ PA pouze jako činnou zátěž. A na to se v praxi velice často zapomíná.



Obr. 1 - PA s buzením do katody.

Měření přizpůsobení TRX a PA

Měřil: Jan Bocek
 Datum: 9.10.2000

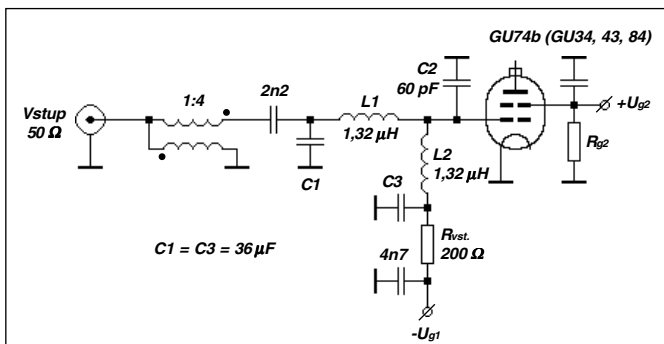
Části:

1. Měření vstupní impedance PA
2. Návrh přizpůsobení impedance PA
3. Měření a seřízení vstupních π-članků PA
4. Měření přizpůsobení pomocí SWR-metru

Proměřovaná zařízení:

Amatérsky zhotovené PA s elektronkami typu GU50, GU72, GU74, GU43, GU84, GU80, RE025, RE125, RE400, 3-500Z buzené jak do katody, tak do první mřížky. Klasický PA s buzením do katody je na obr. 1. Společná katodová tlumivka a tlumivky ve žhavení ovlivňují značnou měrou vstupní impedanci. Kompenzace a transformace se provádí předřazeným π-člankem.

Na obr. 2 a 3 jsou ideová schémata PA s buzením do první mřížky. Na obr. 2 je vstupní odpor určen hodnotou odporu 200 Ω a kompenzačním obvodem C1, L1, C2, L2, C3. Vstupní



Obr. 2 - PA s buzením do mřížky.

impedance 50 Ω se transformuje širokopásmovým trafem 1:4 na hodnotu 200 Ω. Na obr. 3A je vstupní impedance dána hodnotou odporu 50 Ω. Kompenzace vstupní kapacity elektronky je provedena π-člankem. Náhradní schéma vstupního obvodu je nakresleno na obr. 3C.

Na obr. 3B je na vstupu zapojen odpor 450 Ω. Důvodem je nízká vstupní kapacita elektronky a potřeba dostatečného napětí pro její vybuzení a napětí pro druhou mřížku.

Cíl měření:

Zjistit skutečnou hodnotu vstupní impedance PA a velikost její činné a jalové složky, navrhnout a ověřit přizpůsobení mezi TRX a PA a seznámit se s některými způsoby kompenzace vstupní kapacity elektronky.

Kapacita	Kapacitní odpor Xc [Ω] podle pásma					
	1,8	3,5	7,05	14,2	21,2	28,5
30 pF	2870	1500	750	370	250	190
60 pF	1450	760	370	190	125	90
100 pF	860	450	225	110	75	56
300 pF	290	150	75	37	25	18

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

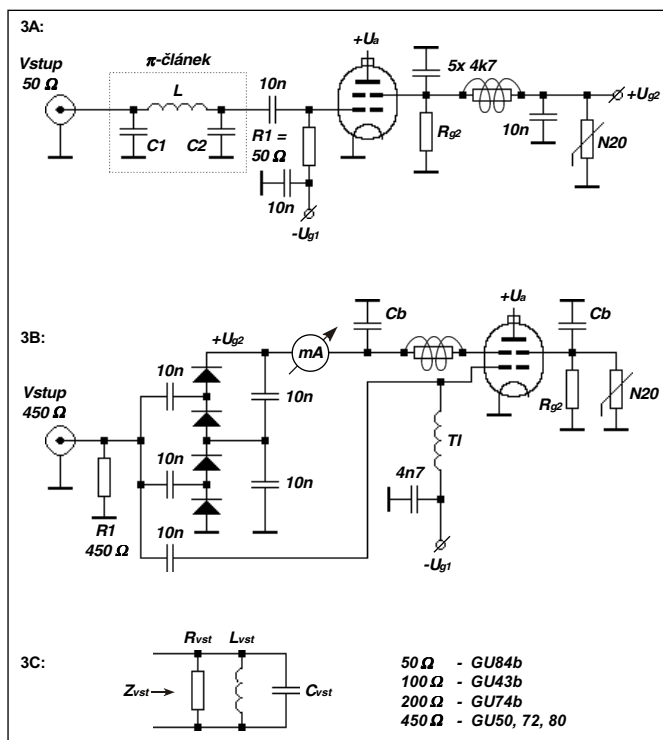
1. Měření vstupní impedance PA

Celkové blokové schéma, ze kterého budeme vycházet při všech dnešních měřeních, je na obr. 4. Pro měření můžeme použít vhodný měřič impedance (dále jen MI), v našem případě MFJ-259B. Z přístrojů přímo měřících impedanci se dají použít např. VA1, RF1, BM538 atd. Pro nepřímé měření pak voltampérovou nebo můstkovou metodu. Doporučujeme si prostudovat literaturu okolo měření impedance [1], [2], [3]. Ra a Xa změříme na všech uvažovaných kmitočtech a hodnoty zapišeme do tab. 2. Uvedená hodnota C_{vst} je zde jako pomocná pro případ, že bychom chtěli hodnotu Xa počítat pomocí vzorce v tab. 1. Na obr. 4A až 4C je na zjednodušených blokových schématech znázorněn vliv délky propojovacího vedení mezi měřicem impedance a svorkami PA. Na propojení byl použit kabel RG213 s konektory PL259. Všimněte si obzvláště zrádné situace na obr. 4C. Ra je sice v úrovni „padesátiohmové“ techniky a SWR vychází také poměrně nízký, ale ohmický odpor Rs na začátku propojovacího kabelu je jen 18,2 Ω!!! A zkuste něco přenést po takřka zkratovaném vedení. Proto propojení musí být realizováno velmi krátkými vodiči.

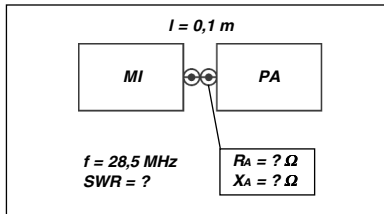
Pro další části řešení úkolů je nezbytná znalost naměřených hodnot Ra a Xa.

2. Návrh přizpůsobení impedance PA

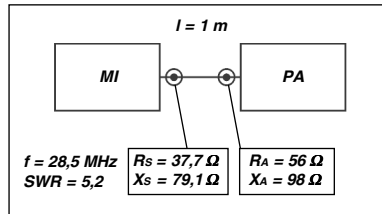
Pokud jsme v předchozí části neměřili reálnou složku vstupní impedance Ra blízkou 50 Ω a jalovou složku impedance Xa alespoň 10-krát větší, musíme s tím něco dělat. V praxi se tento stav projevuje nejčastěji tak, že SWR



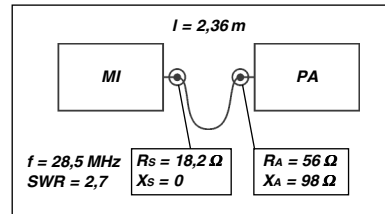
Obr. 3 - PA s buzením do pasivní mřížky.



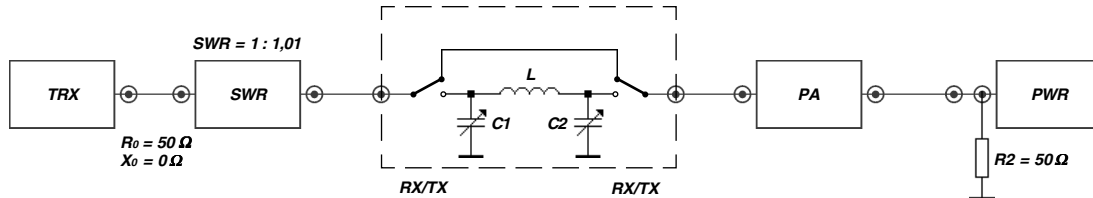
Obr. 4A - Správné měření



Obr. 4B - Chybné měření



Obr. 4C - Chybné měření



Obr. 4D - Uspořádání pracoviště při měření impedance PA

Obr. 4 - Zapojení obvodů pro měření impedance a kompenzaci vstupní kapacity.

je větší než 1,5 a PA se nedá vybudit na požadovaný výkon. Říkáme, že musíme přizpůsobit impedanci PA vykompenzovaním jalové složky. Jedním z řešení je zařadit na vstup PA π -článek s typickým označením svých vnitřních prvků C1, L, C2 (viz obr. 1, 3A, 4D). Pokud jsme nuceni takovýto vstupní filtr vyrobit, dobře nám poslouží pomůcka popsána v článku OK1IEC „Jak si pohrát s π -článekem“ [4]. Je zde popsána excelovská aplikace „piclanek.xls“ pro návrh a výpočet π -článeku, umožňující jeho odladění - v grafické podobě můžeme na obrazovce počítače sledovat změnu průběhů všech veličin až po vykompenzování složky X_0 .

Práce s programem je velmi jednoduchá. Již naměřené hodnoty R_A a X_A spolu s kmitočtem zapišeme do tabulky programu (obr. 5) a měníme hodnoty C1, L, C2 tak, až získáme vyhovující R_0 a X_0 . Vyhovující znamená, že reálný odpor R_0 se blíží 50 Ω a jalová složka X_0 je vykompenzována. Příklad článku, který transformuje R_A ze 100 Ω na 50 Ω je na obr. 5A. Celý zmiňovaný proces můžeme sledovat na obrazovce a navíc barevně - určující jsou průsečníky průběhů jednotlivých veličin s osou x. Je to podobné, jako když ladíme skutečný π -článek a sledujeme SWR, zda se blíží k nízké hodnotě. Výhodou této vizualizace je, že názorně vidíme směr ladění každého z prvků. A kdo někdy zkusil točit knoflíky skutečného článku, ten ví, že to není zase tak jednoduché.

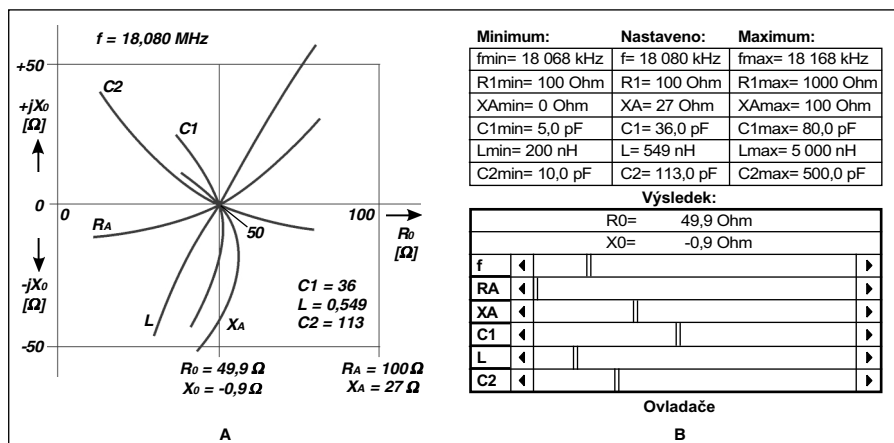
Nakonec odladěné hodnoty z tabulky na obrazovce (C1, L, C2, R_0 , X_0) přepíšeme do druhé části tab. 2.

3. Měření a seřízení vstupních π -článeku PA

Podle hodnot v tab. 2 sestavíme π -článeku pro jednotlivá pásma. Pro zkoušení využijeme přípravek podle obr. 4D. Místo C1 a C2 použijeme laditelné kondenzátory, můžeme zvolit

Tab. 2 - Hodnoty vstupních a výstupních veličin							
f [MHz]	3,7	14,2	18,1	21,2	28,5	28,5	28,5
C_{vst} [pF]	300	100	50	200	100	60	300
R_A [Ω]	79	75	90	90	85	56	60
X_A [Ω]	190	106	180	52	48	98	18
C1 [pF]	1750	222	222	47	47	47	145
L [μ H]	3,9	1,0	1,0	0,54	0,42	0,59	0,32
C2 [pF]	790	208	132	110	92	94	160
R_0 [Ω]	51,4	50,6	52,4	51,5	50,8	49,3	50,9
X_0 [Ω]	-1,0	-1,7	0,1	-2,2	-0,3	2,5	-1,5

i kombinaci - pevný a otočný kondenzátor paralelně. Cívky mají malou indukčnost a je snadné je vyrobit na kostičce o průměru 8 až 10 mm. Výhodné je použití laditelného jádra. Vlastní seřízení π -článeku provedeme jemným doladováním všech prvků v okolí hodnot dané tabulkou 2 na minimální SWR.



Obr. 5 - Obrazovka při ladění π -článeku pomocí programu piclanek.exe (C1, C2, RA, XA se protínají v souřadnicích X_0/R_0).

Protože π -článek má poměrně značný útlum (okolo 3,3 dB), což nám určitě při provozu na vyšších pásmech bude vadit, najdeme na obr. 4D propojku, která jej může v poloze přepínače RX přemostit.

Výsledky kompenzace lze pro názornost graficky znázornit. Příklad je uveden na obr. 6, kde jsou vyneseny průběhy SWR v závislosti na kmitočtu. Všimněte si, jak nízkého SWR se dá při úspěšné kompenzaci dosáhnout.

V další fázi je třeba takto připravený obvod připojit k PA, a to co nejlíže k jeho vstupnímu obvodu. Výše zmíněný „by pass“ již odpadá, protože je většinou již součástí PA. Konečné seřízení pak provedeme již při finálním zapojení a umístění obvodu. Výše zmíněný „by pass“ již odpadá, protože je většinou již součástí PA. Konečné seřízení pak provedeme již při finálním zapojení a umístění obvodu.

4. Měření přizpůsobení pomocí SWR-metru

Dobrý SWR-metr patří již mezi takřka povinné vybavení radiostanice s výstupním výkonem větším než 10 W. V tomto našem případě ale

mluvíme o SWR mezi zdrojem signálu a koncovým stupněm. Platí zde daleko přísnější měřítka, než při měření SWR na anténě, protože v případě, že SWR směrem do PA bude větší než 1,5, nejen že PA nevybudíme, ale zhoršíme tím kvalitu modulace, čímž budeme na obtíž ostatním uživatelům elektromagnetického spek-

tra. (Je dobré si něco nastudovat o produktech IMD3...) Takže pokud v zapojení podle obr. 4D ukazuje náš SWR-metr hodnotu 1,01 až 1,2 a PA odevzdává očekávaný nebo uváděný výkon, můžeme zkoušky ukončit, protože přizpůsobení TRX k PA je dobré. Pokud jsme ale obdrželi hodnotu 1,5 a vyšší, je přizpůsobení špatné a vysílání se odkládá (zakazuje).

Některé PA s buzením do mřížky mají na vstupu pasivní odpory v rozsahu 20 až 450 Ω (viz obr. 2 a 3). Vše závisí na velikosti vstupní kapacity elektronky a její strmosti. SWR vychází na nižších pásmech obvykle kolem 1,5, ale na vyšších se zhoršuje. Čím větší je C_{vst} , tím horší je SWR (pokud není provedena kompenzace C_{vst}). Na obr. 3C jsou uvedeny obvyklé hodnoty vstupního odporu pro některé elektron-

Tab. 3 - Vstupní odpory elektronek a hodnoty filtrů podle Čebyševa (obr. 2)

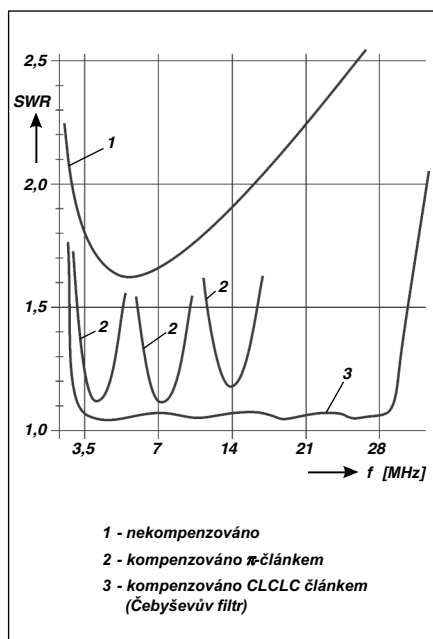
R_{vst} [Ω]	50	75	100	200	300	450
C1,3 [pF]	154	100	77	39	25	17
L1,2 [μ H]	0,35	0,5	0,7	1,4	2,0	3,1
C2 [pF]	243	162	120	60	40	27

ky. Souvisí to nejen s C_{vst} , ale i se strmostí a potřebou buďícího napětí. Příklad vhodné kompenzace pomocí Čebyševova filtru s $f_{max} = 30$ MHz najdete na obr. 2. Pro jiné velikosti R_{vst} jsou hodnoty všech prvků filtru v tab. 3. Pozor! Od kapacity C2 se musí odečíst hodnota vstupní kapacity elektronky! Proto se jako C2 často používá laditelný kondenzátor. Výhodou tohoto pětipólového filtru „CLCLC“ je podstatně menší útlum v propustném pásmu oproti π -článku. Reálná hodnota je okolo 0,5 dB.

Měření přizpůsobení pomocí SWR-metru je kontrolní a slouží hlavně pro ověření správné funkce kompenzace. Měříme vždy v širším kmitočtovém rozsahu, hodnoty jako vždy zapisujeme do tabulek. Pro vyvození závěrů je v tomto případě vhodná i grafická forma (viz obr. 6). Výsledkem musí být hodnota SWR 1,0 - 1,1 v celém rozsahu uvnitř pásma a to na všech používaných pásmech.

Závěr

Úkolem tohoto měření nebylo předložit kuchařku, jak zlepšit funkci PA nějakého konkrétního stupně.



Obr. 6 - Závislost SWR na kmitočtu u vstupních obvodů koncového stupně.

ního zapojení. Cílem bylo naznačit způsob, jak prověřit impedanční přizpůsobení mezi TRX a PA. Zabývali jsme se pouze otázkou impedančního přizpůsobení, nikoliv ztrát ve vstupním π -článku nebo filtrací nežádoucích IMD produktů. Vliv na kvalitu výstupního signálu a efektivnost buzení PA byl pouze naznačen.

Opět jsme se ujistili, že modelování problému na počítači ve vhodném programu výrazně usnadní a zrychlí jeho řešení.

A praktické zkušenosti? Díky výše naznačené pozornosti věnované problematice vstupních obvodů PA používajících soudobé moderní elektronky otevřely se některým PA možnostem pracovat i na pásmech 21 a 28 MHz.

Použité prameny:

- [1] Rádiožurnál 6/98 (Měření impedancí)
- [2] Rádiožurnál 2/99 (Měření střídavých veličin)
- [3] Rádiožurnál 5/99 (Měření kapacit)
- [4] Rádiožurnál 4/00 (Měření na PA)
- [5] Program piclanek.xls (<http://www.radioamater.cz>)
- [6] Amatérská radiotechnika a elektronika, 1984
- [7] PA Notebook, DL3FM (CQ-DL, 1-6/94)
- [8] Střídavá měření v amatérské radiotechnice, Svazarm 1987