

Elektrotechnické měření (11)

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

V předešlých pokračováních jsme se zvesela oháněli pojmy reálný odpor R_a a jalová reaktance X_a , coby dvěma složkami komplexní impedance antény Z . Měřili jsme je nejčastěji přístrojem MFJ-259B nebo VA1. Lze předpokládat, že ne každý radioamatér takový přístroj vlastní (jeho cena je srovnatelná s cenou tribanderu pro horní pásma). Proto je na místě ukázat, že impedanci jako komplexní veličinu lze měřit i bez výše zmiňovaných zařízení, a to skoro zadarmo. Vždyť pouze možnost „vidět“ do antény dovoluje další smysluplné experimentování a budovatelské výsledky.

Úmyslně se dnes nebudeme zabývat vysvětlováním jakýchkoliv pojmů z oboru komplexních čísel či jejich geometrické interpretace v komplexní rovině. Vše je možné si osvěžit zalistováním v příslušné středoškolské učebnici.

Měření komplexní impedance antény

Měřil: Jan Bocek
 Datum: 26.11.2001

Cíl:

1. Vyrobit přípravek pro měření komplexní impedance ve tvaru $Z_a = R_a \pm jX_a$ a ověřit jeho funkci na typovém příkladu.
2. Naučit se geometricky vyhodnocovat jalovou složku impedance.
3. Uvědomit si základní pravidla geometrické interpretace komplexního prostoru a práce s komplexními čísly.

Popis přístroje:

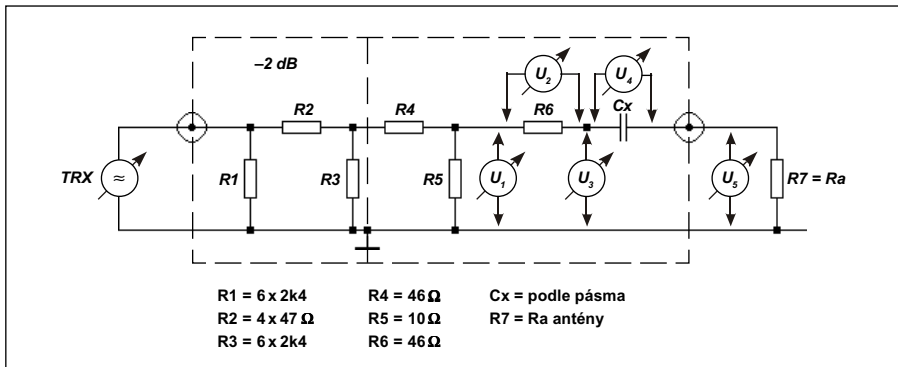
Princip měření je zřejmý z obr. 1, kde je zjednodušené schéma zapojení měřicí úlohy. Jednoduchý elektrický obvod sestává z řady odporů

a jednoho kondenzátoru. Zdrojem střídavého signálu je transceiver, zátěž tvoří měřená impedance. Úbity napětí na jednotlivých impedancích měříme voltmetrem.

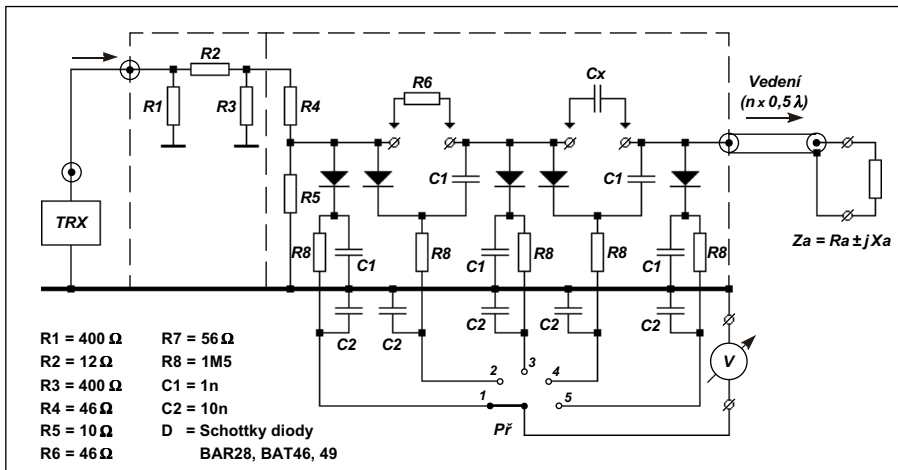
Na obr. 2 je skutečné zapojení přístroje. Vstupní dělič s úrovní -2 dB slouží ke snížení výkonové úrovně vstupního signálu, protože mnohé TRX mají minimální P_{out} okolo 6 W. Odpor R_6 je výměnný a má mít přibližně stejnou hodnotu jako předpokládaná měřená impedance. Velikost C_x se mění podle kmitočtového pásma a jeho hodnoty jsou v tab. 1. Střídavé napětí usměrňujeme pomocí vf diod a přes filtrační RC členy vedeme napětí na přepínač s pěti polohami. Výstup napětí je vyveden na měřicí svorky, na které připojíme stejnosměrný multimetr se vstupním odporem alespoň 1 M Ω . Vstupní a výstupní svorky vf signálu tvoří konektory PL259, jak je zobrazeno na obr. 3. Odpor R_6 a kondenzátor C_x se vkládá do šroubovacích svorek. Při montáži přístroje, i přes jeho jednoduchost, dodržujeme zásady montáže pro vf techniku – krátké

Tab. 1 – Hodnoty C_x

f [MHz]	1,8	3,5	7	14	21	28
C_x [pF]	2000	1000	560	390	180	100



Obr. 1 – Princip měření impedance antény.

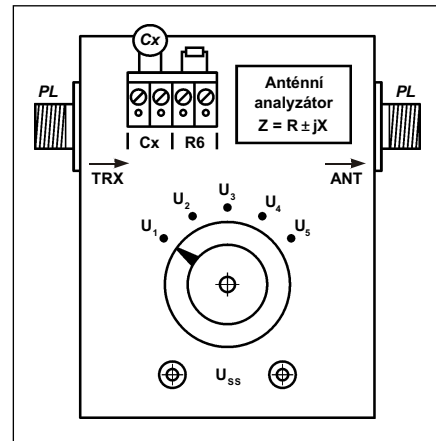


Obr. 2 – Zapojení přípravku pro měření impedance.

spoje, dobré blokovací kondenzátory, správné zemnění a stínění útlumového článku.

Popis přístroje:

1. Transceiver s plným rozsahem ladění 3,5–30 MHz v režimu TX
2. SWR-metr s rozlišovací schopností v oblasti 1,0 až 1,2
3. Bezindukční zátěž 50 nebo 75 Ω podle Z_{vst} SWR-metru
4. Propojovací T konektory PL259
5. Kalkulačka



Obr. 3 – Pohled na měřicí impedance – anténní analyzátor.

Schéma zapojení:

Ideová schéma je na obr. 1, ukázka praktické realizace zapojení je na obr. 2.

Použité přístroje a pomůcky

- anténní analyzátor – výše popsaný přípravek
- TRX s možností regulace vf výkonu
- sada měřných bezindukčních odporů 50, 75, 100, 300 Ω
- vedení o délce $\lambda/2$ pro dané pásmo
- sada kondenzátorů 2k, 1k, 560, 390, 180, 100 pF
- multimetr nebo voltmetr s R_{vst} min. 1 M Ω
- milimetrový papír, kružítko, tužka, trojúhelník

Postup měření

A. Ověření funkce přístroje

1. Zvolíme proměřované pásmo a zapojíme hodnotu C_x , např. 1k pro pásmo 80 m
2. Na výstupní konektor připojíme bezindukční odpor, např. 56 $\Omega/2$ W
3. Připojíme TRX a nastavíme v režimu CW takovou úroveň, aby napětí U_1 bylo v rozsahu 3–5 V
4. Měříme hodnoty U_1 až U_5 a hodnoty zapisujeme do tab. 2
5. Zvolíme měřítko pro grafické zobrazení, např. 1 V = 3 cm a doplníme do tab. 2 a při vyhodnocení měření se řídíme obr. 4
6. Úsečku pro U_1 označíme body A–A1
7. Na úsečce A–A1 vztčíme v bodě A kolmici a nanese velikost U_2 . Dostaneme bod B
8. Rovnoběžně s A–A1 vedeme budoucí osu y (X_a), kde velikost U_4 vymezí úsečku B–C
9. Kolmo na B–C v místě C vztčíme osu x (R_a)
10. Spojíme body A1–B a A1–C
11. Na A1–B vyneseme velikost U_3 a dostaneme bod B1

Tab. 2 – Úrovně napětí pro zátěž $R_a = 56 \Omega$

f [MHz]	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	R_a	X_a	Z
3,7	3,7	1,5	2,36	1,5	1,8	56	0	56
x 3 cm	11,1	4,5	7,1	4,5	5,4			

12. Na A1–C vyneseme velikost U5 a dostaneme bod C1
13. Opíšeme kružnici z bodu A –A1(U1)
14. Opíšeme kružnici z bodu B –B1 (U3)
15. Opíšeme kružnici z bodu C –C1 (U5)
16. Kružnice se protnou v bodě D
17. Spojnice bodů C–D na ose x určuje velikost odporu Ra
18. Fázový úhel mezi napětím a proudem zde není, $X=0$ (použili jsme bezindukční odpor), což jest důkazem, že funkce přístroje je správná.

B. Měření komplexní impedance a její vyhodnocení

Budeme simulovat přítomnost jalové složky antény připojením paralelního kondenzátoru 1000 pF k odporu 56 Ω, jak je uvedeno na obr. 5

1. Po připojení paralelní kapacity proměňujeme hodnoty U1 až U5
2. Hodnoty zapíšeme do tab. 3
3. Ve stejném měřítku jako u předešlé úlohy zakresluje velikosti napětí podle obr. 5
4. Vertikální osa y z bodu A do A1 o velikosti U1
5. Horizontální osa x z bodu A do B o velikosti U2
6. Vertikální osa y z bodu B do C o velikosti U4
7. Na spojnici A1B označíme velikost U3 a dostaneme bod B1
8. Na spojnici A1C označíme velikost U5 a dostaneme bod C1
9. Opsané kružnice z bodu A, B, C se protnou v bodě D

f [MHz]	U1	U2	U3	U4	U5	Ra	Xa	Z
3,6	3,7	1,9	2,66	1,8	1,03	22	-23	32
x 3 cm	11,1	5,7	8,0	5,4	3,1			
3,7	3,7	1,7	2,66	1,6	1,3	29	-28	41

Vyhodnocení měření

Spojnice CD je zobrazením impedance Z, její kolmé průměty na osy x a y komplexní roviny umožňují odečíst hodnoty reálné rezistance R_a a jalové reaktance X_a . Při volbě vhodného měřítka lze tyto hodnoty získat přímo v ohmech.

Při tomto grafickém způsobu vyhodnocení se může stát, že se kružnice neprotnou přesně v jediném bodě, ale vytvoří malý trojúhelník. Pak bod D získáme nalezením středu tohoto trojúhelníku.

Změníme-li kmitočet, například o 100 kHz, budou hodnoty napětí jiné. Příklad je uveden v tab. 3. Napětí U4 se zmenší a tím se posunou osy x a y. Fázový úhel se příliš nezmění, ale zvětší se číselné hodnoty všech složek. Hodnoty uvedené v tab. 3 pro kmitočet 3,7 MHz nejsou graficky v obr. 5 zakresleny. Zmenšilo by to čitelnost obrázku. Podobné příklady si můžete procvičit sami.

Závěr

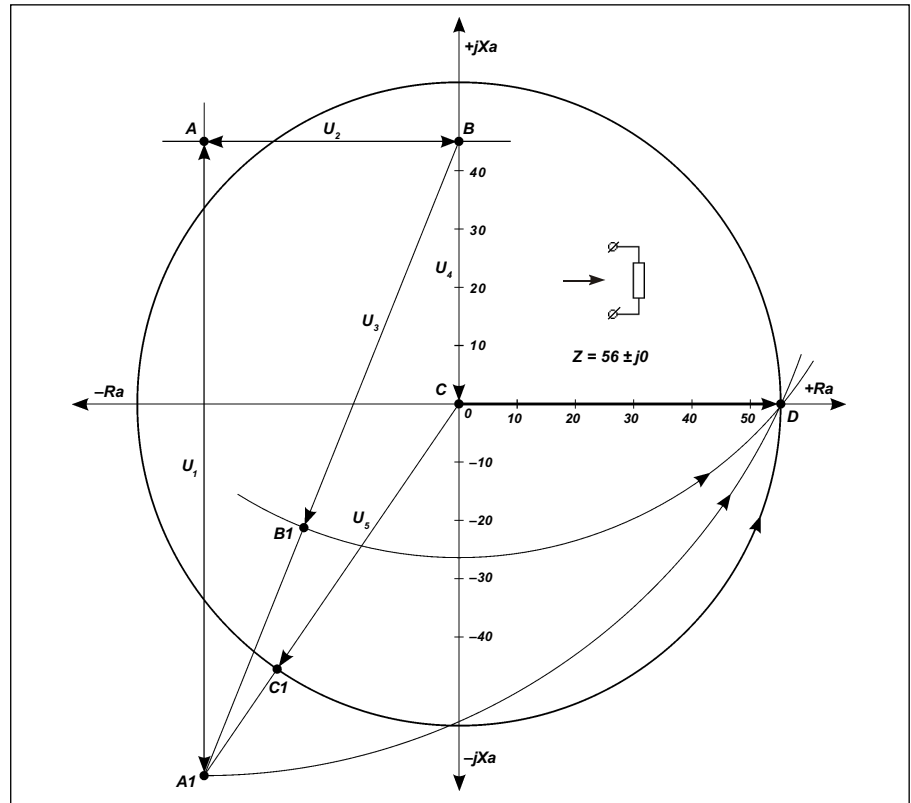
Měření pomocí přípravku vyžaduje vždy větší zručnost, než při používání integrovaného anténního analyzátoru. Výsledků si ale budeme více vážit, protože jsme k jejich získání museli vynaložit větší úsilí. Musíme přesně odečítat z měřicího přístroje, správně přepočítat konstanty pro rýsování a přesně rýsovat. Při měření na anténě, pokud to nelze provést přímo na jejich svorkách, potřebujeme měřicí vedení o délce $\lambda/2$ a jejich násobků.

Úplně na závěr zbývá připomenout, že cílem našeho pachtění je vyrobit anténu, kterou lze

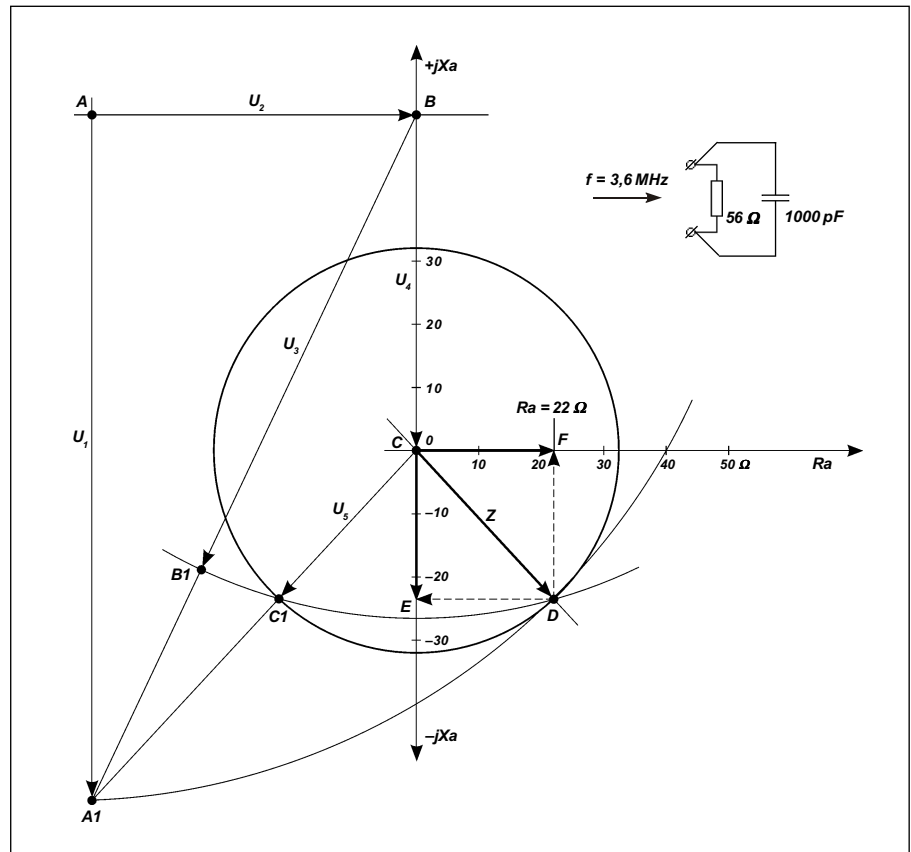
napájet bez kompenzačních reaktivních členů. Platí, že aby se anténa přiblížila dobrým anténám, může mít v přenášeném kmitočtovém pásmu reaktanci o velikosti $\pm jX = 10 \Omega$. Pro ostatní hodnoty je nezbytná kompenzace, kterou je nutno instalovat co nejbližší k anténě. K ověření správnosti provedené kompenzace můžeme opět použít tento přípravek – měli bychom se co nejvíce přiblížit k situaci na obr. 4.

Literatura:

- [1] G3EAE: A Box to Measure RF Impedances; Rad-Com 5/95
- [2] G3LDO: Measurement of Antenna Impedance; QEX 11/87
- [3] W8CGD: Measurement of R+jX; QST 6/65



Obr. 4 – Geometrické zobrazení impedance v komplexní rovině.



Obr. 5 – Geometrické zobrazení impedance $Z = R_a \pm jX_a$.