

Elektrotechnické měření (12)

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

V minulém čísle jsme navrhli a vyrobili přípravek, který umí změřit rezistanci (R_a) a reaktanci (X_a) antény. O tom, jak se dá změřit zkracovací činitel kabelu, již také leccos víme. Proto, když už tak trochu „vidíme“ do té naší antény, je dobré ukázat si, k čemu je to všechno dobré. Budíž to zároveň bráno, coby pokus o malé shrnutí praktických aplikací poznatků již dříve nabytých.

Smyslem dnešního počínání by mělo být vytvoření takové situace, která by umožnila připojit k anténě TRX se jmenovitou impedancí $50\ \Omega$ kabelem o impedanci $50\ \Omega$ libovolné délky.

Měření na anténě a kompenzace s transformací na $50\ \Omega$

Měřil: Jan Bocek
 Datum: 5.1.2002

Cíl:

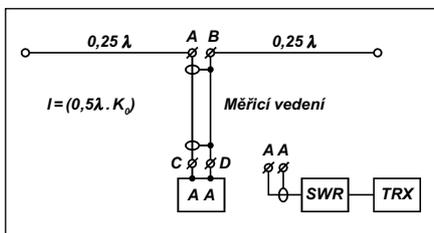
1. Naučit se měřit komplexní impedanci na konkrétní anténě
2. Odzkoušet si modelování vedení z hlediska transformace a kompenzace
3. Využít výsledky modelování k určení délky konkrétního vedení

Použité přístroje a pomůcky:

1. Anténní analyzátor podle RŽ 6/01
2. Osobní počítač se standardním tabulkovým procesorem MS Excel
3. SWR-metr SX-100
4. Transceiver IC-730
5. Koaxiální měřící vedení $\lambda/2$ podle kmitočtu
6. Dipóly pro 80 a 40m

Postup

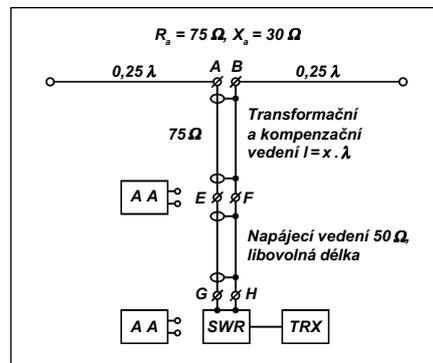
Máme klasickou rezonanční monobandovou anténu, kterou tvoří dipól $0,5\ \lambda$ (viz obr. 1). Abychom mohli změřit hodnoty R_a (sériová rezistance) a X_a (sériová reaktance) antény, musí být ve své provozní výšce. Jak již bylo dříve zdůvodňováno, měřící přístroj smíme s anténou pro účely tohoto měření propojit koaxiálním kabelem pouze o délce $\lambda/2$ nebo n -násobek $\lambda/2$. Při stanovení délky $\lambda/2$ pro konkrétní koaxiální kabel může se výhodně použít program *LineImp.xls* dostupný v [1].



Obr. 1 – Měření dipólu pomocí měřícího vedení $0,5\lambda$.

Po jeho spuštění si nalistujeme graf pro impedanci vedení. Objeví se nám něco podobného jako je na obr. 3. Na ose y jsou hodnoty v ohmech pro R_a a X_a . Na ose x je délka vedení ve vlnové délce lambda. Pokud zadáme naměřené hodnoty R_a a X_a na anténě a další údaje, můžeme pomocí šoupátka v jakémkoliv místě délky zjistit číselné hodnoty elektrické i mechanické délky kabelu. Dokonce zjistíme i SWR na konci kabelu pro normovanou impedanci. Než začneme, je vhodné se obeznámit s označením jednotlivých buněk a jejich významem podle tab. 1.

Označení R_L a X_L je použito pro veličiny, které jsme my již dříve pojmenovali R_a a X_a , můžeme se setkat i s označením R_s , X_s . Jsou to právě ony údaje, které chceme měřit na svorkách A–B naší antény (viz obr. 1). Dalšími vstupními proměnnými jsou Z_0 a K_0 , které známe, nebo jsme je naměřili. Samozřejmě je třeba zadat pracovní kmitočet f , na kterém chceme analýzu provádět. Obvykle se bere střední nebo dohodnutý kmitočet pásma. Nakonec zbývá zadat jmenovitou impedanci Z_{0trx} .



Obr. 2 – Napojení dipólu pomocí transformačního a kompenzačního vedení.

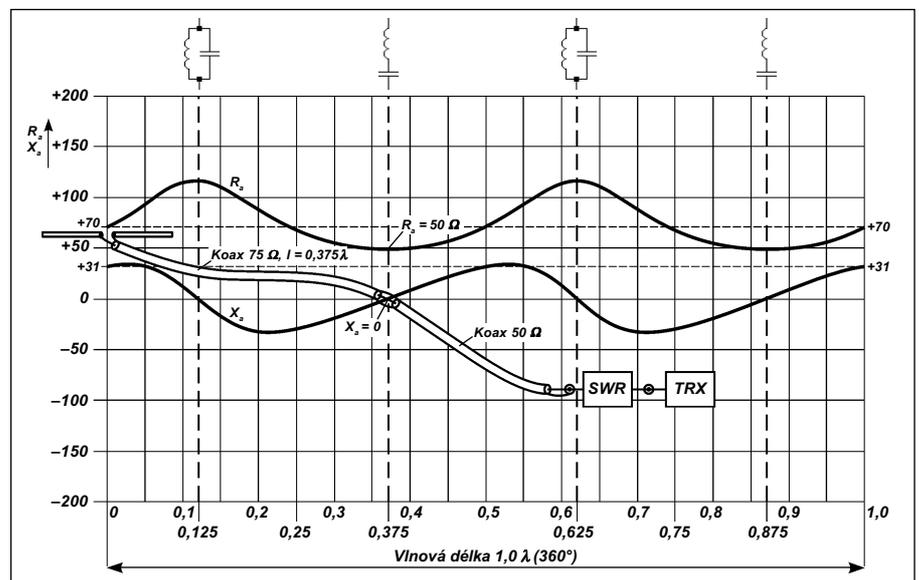
Hodnoty se zadávají do žlutě vybarvených políček, výsledek můžeme sledovat jak v číselné podobě v příslušných buňkách, tak v graficky vyjádřených průbězích jednotlivých složek impedance (viz obr. 3). Žluté kolmé „čáry“ na obrazovce nám ukazují místa, kde dochází k rezonanci. Na obr. 3 jsou tato místa označena symboly sériové a paralelní rezonance. Při trošce cviku porozumíme jednotlivým trendům při rezonanci vedení jak ve zkratu, tak při jeho rozpojení.

Ale vraťme se k měření obou složek impedance vlastní antény. Jak již bylo řečeno, potřebujeme k tomu měřící vedení o délce $\lambda/2$. Do *LineImp* zadáme Z_0 a K_0 použitého kabelu, místo R_L a X_L vložíme hodnotu 0 (v programu nahrazuje nekonečný odpor rozpojeného vedení), a pak již jen zadáváme pracovní kmitočty. V příslušném okénku najdeme mechanickou délku kabelu příslušující elektrické délce $\lambda/2$ (viz tab. 2). Vyrobíme kabel. Nyní již můžeme změřit obě složky impedance antény, např. jednoduchým anténním analyzátozem, který jsme popsali v RŽ 6/01. Zapojíme ho podle obr. 1 mezi svorky A–B a C–D.

Označení	Význam
R_L	Sériová impedance antény (zátěž), rezistance
X_L	Sériová impedance antény (zátěž), reaktance
Z_0	Impedance použitého vedení
K_0	Zkracovací koeficient vedení
f	Pracovní kmitočet v MHz
λ	Délka vedení ve vlnové délce
L	Délka vedení v metrech na zadané frekvenci
R_s	Sériová impedance v daném místě kabelu, její rezistance
X_s	Sériová impedance v daném místě kabelu, její reaktance
L_s	Induktivnost odpovídající X_s
C_s	Kapacita odpovídající X_s
R_p	Paralelní impedance v daném místě kabelu, její rezistance
X_p	Paralelní impedance v daném místě kabelu, její reaktance
L_p	Induktivnost odpovídající dané X_p
C_p	Kapacita odpovídající dané X_p
Z_{0trx}	Impedance na konci vedení odpovídající TRX nebo měřicímu přístroji
PSV	Výsledek PSV (SWR) na konci vedení

bujeme k tomu měřící vedení o délce $\lambda/2$. Do *LineImp* zadáme Z_0 a K_0 použitého kabelu, místo R_L a X_L vložíme hodnotu 0 (v programu nahrazuje nekonečný odpor rozpojeného vedení), a pak již jen zadáváme pracovní kmitočty. V příslušném okénku najdeme mechanickou délku kabelu příslušující elektrické délce $\lambda/2$ (viz tab. 2). Vyrobíme kabel. Nyní již můžeme změřit obě složky impedance antény, např. jednoduchým anténním analyzátozem, který jsme popsali v RŽ 6/01. Zapojíme ho podle obr. 1 mezi svorky A–B a C–D.

Na obr. 2 jsou zobrazeny svorky označené E–F. Je to ono toužebně hledané místo, které nám má umožnit napojení transceiveru na anténu libovolně dlouhým vedením o jmenovité impedanci shodné s impedancí vstupu/výstupu našeho TRX ($50\ \Omega$). Aby to bylo možné, musí být v tomto místě reaktanční složka sériové impedance rovna 0 a rezistanční složka rovna $50\ \Omega$. Nalezneme jej tak, že si po dosazení výše uvedených hodnot budeme hrát s programem *LineImp.xls* tak dlouho, až pochopíme, jak je to



Obr. 3 – Rozložení složek R_s a X_s podél napájecího vedení.

R_L [Ω]	X_L [Ω]	Z_0 [Ω]	K_0	f [MHz]	λ	L [m]	R_s [Ω]	X_s [Ω]	R_p [Ω]
0	0	75	0,66	1,850	0,498	53,316	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	3,550	0,498	27,784	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	3,750	0,498	26,303	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	7,050	0,498	13,991	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	10,125	0,498	9,742	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	14,200	0,498	6,946	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	18,100	0,498	5,449	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	21,250	0,498	4,64	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	24,900	0,498	3,961	0,0	0,0	0,0
0	0	75	0,66	28,500	0,498	3,46	0,0	0,0	0,0

s tou sériovou a paralelní rezonancí a podaří se nám dostat hledané hodnoty (viz obr. 3 a tab. 3A a 3B). Pro lepší orientaci uvádíme několik příkladů.

Příklad 1:

Na svorkách antény A–B naměříme impedanci $R_L = 70\ \Omega$ a $X_L = 31\ \Omega$. Použijeme kabel o impedanci $75\ \Omega$ se zkracovacím činitelem $0,762$, jehož charakteristické údaje jsme již zapsali do tabulky v programu *LineImp*.

Vyšetřovaný dipól uvažujeme pro kmitočty $7,050\ \text{MHz}$. Jmenovitá impedance $Z_{0,tx}$ je $50\ \Omega$. Budeme pohybovat šoupátkem na obrazovce až do bodu, kdy je X_s blízké nulové hodnotě. Pak $R_s = R_p$ a její hodnota je blízko $50\ \Omega$, o čemž nás informuje i nízká hodnota PSV. Ostatní veličiny nejsou v tomto okamžiku pro naši analýzu užitečné. Proto je v tab. 3A neuvádíme.

V našem případě zůstane na kabelu $75\ \Omega$ v délce $12,024$ metrů jen rezistance $48,8\ \Omega$. Reaktance zmizela, a proto můžeme v místě svorek E–F připojit kabel $50\ \Omega$ libovolné délky. O správnosti tohoto kroku se můžeme přesvědčit zapojením SWR-metru na svorky G–H. Stejně tak jsme se mohli přesvědčit o nevyhovujícím (horším) SWR měřením podle obr. 1, kde jsme mohli SWR připojit ke svorkám C–D. Při hraní si s programem na několika dalších příkladech s různou vstupní impedancí antény si můžeme znovu potvrdit, že změnou délky kabelu lze provést jak transformaci, tak kompenzaci jalové složky.

Příklad 2:

Použijeme kabel s plným dielektrikem, který má impedanci opět $75\ \Omega$, ale zkracovací koeficient je standardní $0,66$ (tab. 3B). Všimněme si, že pro stejnou impedanci, jako v předešlém příkladě, je λ skoro stejná, ale délka kabelu je jiná. A jak můžeme vidět na obr. 3, situace se opakuje o kousek dál, kde je lambda $0,875$. Podobných šetření můžeme provést celou řadu, podle toho, jaké kabely vlastníme.

Tato kompenzace pomocí kabelu, který je vyladěn do sériové rezonance při zatížení (tj. nakrátko), je možná jen do určité velikosti reaktance, řekněme do $50\ \Omega$. Při větší reaktanci se musí použít paralelní kompenzace a transformace. To ale není předmětem dnešního měření.

Závěr

Na základě výše uvedeného můžeme konstatovat, že pro dobrou funkci laděné jednopásmové dipólové antény je nezbytné znát hodnoty R_a a X_a v daném prostředí (tuto hodnotu ovlivňuje mnoho okolností, jako je průřez vodiče a jeho vodivost, vodivost země v daném místě, profil krajiny, výška nad zemí, okolní předměty, délka ramen antény, symetrie ramen). V praxi se dají změřit pouze za použití měřicího vedení o délce $\lambda/2$, též nazývaného **opakovač impedance**.

Tab. 3A – Příklady vypočtených délek kompenzačního a transformačního vedení pro kabel $75\ \Omega$ s $K_0 = 0,762$

R_L [Ω]	X_L [Ω]	Z_0 [Ω]	K_0	f [MHz]	λ	L [m]	R_s [Ω]	X_s [Ω]	R_p [Ω]	$Z_{0,tx}$ [Ω]	PSV min.
70	31	75	0,762	7,050	0,371	12,024	48,8	0,0	48,8	50	1,02
83	31	75	0,762	7,050	0,341	11,044	50,1	0,3	50,1	50	1,02
83	45	75	0,762	7,050	0,339	10,992	42,4	0,0	42,4	50	1,2
83	25	75	0,762	7,050	0,334	10,837	53,9	0,8	53,9	50	1,06
96	25	75	0,762	7,050	0,307	9,96	51,2	0,2	51,2	50	1,0
60	30	75	0,762	7,050	0,398	12,9	45,7	1,0	45,7	50	1,12
96	25	75	0,762	3,750	0,307	18,725	51,2	0,2	51,2	50	1,0
96	25	75	0,762	3,550	0,307	19,780	51,2	0,2	51,2	50	1,0

Tab. 3B – Příklady vypočtených délek kompenzačního a transformačního vedení pro kabel $75\ \Omega$ s $K_0 = 0,66$

R_L [Ω]	X_L [Ω]	Z_0 [Ω]	K_0	f [MHz]	λ	L [m]	R_s [Ω]	X_s [Ω]	R_p [Ω]	$Z_{0,tx}$ [Ω]	PSV min.
60	30	75	0,66	7,050	0,392	10,996	45,7	0,9	45,7	50	1,12
70	30	75	0,66	7,050	0,377	10,6	49,5	1,4	49,5	50	1,04
70	30	75	0,66	7,050	0,875	24,58	49,5	0,9	49,5	51	1,04

Rozpojený kabel ($R_L = 0$) a hledáme délku pro $\lambda/2$.

Umožňuje nám měřit i ve výškách, do kterých se tak snadno nedostaneme.

Zde naznačená možnost transformace a kompenzace pomocí sériového vedení je jednou z možností, jak zlepšit funkci antény, kterou vlastníme. Přitom stačí vědět jak na to, trochu projektovat na obrazovce i na papíru a potom „něco“ s tím udělat. To něco znamená ustříhnout správnou délku koaxu o stanovené impedanci a přesvědčit se, že to je lepší. **Co tím vším získáme? Vedení je přizpůsobené, je dobrý činitel SWR, sníží se podstatně TVI a můžeme zjistit lepší efektivnost vyzařování antény.** A to snad stojí za tu trochu zde popsané námahy. Není-liž pravda?

Doporučená literatura:

- [1] Bílek Jiří, OK1IEC: Přizpůsobení antén; RA 6/00
- [2] <http://www.radioamater.cz/Lineimp.exe>
- [3] Daneš Josef: Amatérská radiotechnika 3. díl
- [4] Bienkowski Z.: Amatérské antény KF; 1979
- [5] Cebik L.B.: Basic Antenna Modelling; 1999
- [6] Devoldere John, ON4UN: Low-Band Dxing; 1999
- [7] Grigorov Igor: Urban Antennas; 2001
- [8] Ikrényi Imrich: Amatérské KV antény; 1972
- [9] Rothammel Karl: Antennen Buch; 2001
- [10] Orr William, W6SAI.: Radio Handbook; 1988
- [11] ARRL: Antenna Book; 2000