



Jan Bocek, OK2BNG

Měření na anténách a napáječích

OBSAH

1. O JEDNOM MALÉM PŘÍSTROJI	6
2. TECHNICKÉ ÚDAJE RF-1	7
3. MĚŘENÍ L A C	7
4. MĚŘENÍ NA ANTÉNÁCH PŘI REZONANCI	9
5. MĚŘENÍ NA VEDENÍCH	11
6. ÚTLUM KOAXIÁLNÍCH KABELŮ	15
7. IMPEDANCE ($Z = R \pm jX$)	18
8. VEDENÍ JAKO IMPEDANČNÍ TRANSFORMÁTOR	24
9. KAPITOLA NEPATŘÍCÍ DO MĚŘENÍ	26
10. PŘÍKLADY	30
11. ZÁVĚR	34

1. O jednom malém přístroji

Velmi užitečnou pomůckou je přístroj, kterým můžeme měřit impedanci (Z) a SWR v závislosti na kmitočtu v širokém kmitočtovém rozsahu KV. Je dobře použitelný nejen při seřizování anténních systémů, ladění napáječů, ale i při nastavení vstupních a výstupních pi-člárků PA stupňů. Jmenuje se **RF ANALYST**.

RF ANALYST model RF-1 umožňuje lépe "vidět do antény". Soustředěním přístrojů, jako je vf generátor, měřič SWR, Z, L a C do malé krabičky, spolu s čítačem kmitočtu a přepínači, byla získána ohromující mobilnost přístroje, kterým můžeme měřit přímo na anténě nebo i uvnitř zařízení.

Přepínání rozsahu je podobné jako přepnutí pásma u TRX. Přepínači volíme jeden nebo dva měřené parametry, které se střídají, např. kmitočet a SWR. Pak změnou kmitočtu proměříme selektivitu antény z hlediska SWR a impedance.

Měřený objekt se připojuje do 50-ohmového konektoru standardního typu PL. Můžeme měřit i pomocí vodičů, pak k připojení slouží zemnicí svorka. Krátké vodiče, banánky i měrné součástky (R, C) jsou v příslušenství RF-1.

Cílem této příručky není náhrada průvodní brožury "INSTRUCTIONS RF-1, ale základní přiblížení k problematice měření ve vf technice v oblasti antén. Může posloužit při rozhodování zda koupit RF-1, anebo pomoci při realizaci antén. Proto jsou zde i kapitoly "nepatřící do měření", které zahrnují základní filozofické úvahy "jak na to".

Základní pojmy:

Z - impedance je komplexní odpor součástek zapojených v obvodu střídavého proudu. U antény se pro celý soubor součástek uplatňuje nejen reálná složka impedance, tzv. ohmický odpor R, ale zároveň také odpor X způsobený indukčností a kapacitou - její tzv. imaginární složka. Proto impedanci vyjádřujeme komplexní veličinou v algebraickém tvaru $Z = R \pm jX$. Tato impedance je vždy kmitočtově závislá.

SWR - určuje míru nepřizpůsobení dvou impedancí. Lze jej vyjádřit například vztahem $SWR = Z_0 / Z_z$, kde Z_0 je jmenovitá impedance napáječe a Z_z je impedance zátěže.

2. Technické údaje RF-1

<i>Parametr</i>	<i>Rozsah</i>	<i>Jednotka</i>
Frekvenční rozsah	1,2 - 35	MHz
Z (komplexní impedance)	1 - 2000	Ω
SWR (Standing Wave Ratio)	1:1,1 - 1:15	
Přesnost SWR	1 - 20	%
C - kapacita	10 - 3000	pF
L - indukčnost	0,04 - 200	μH
Z (normovaná, referenční)	50	Ω
- při kmitočtu 1,2 MHz	47	Ω
- při kmitočtu 35 MHz	56	Ω
Závislost SWR vychází z poměru	Z/50	

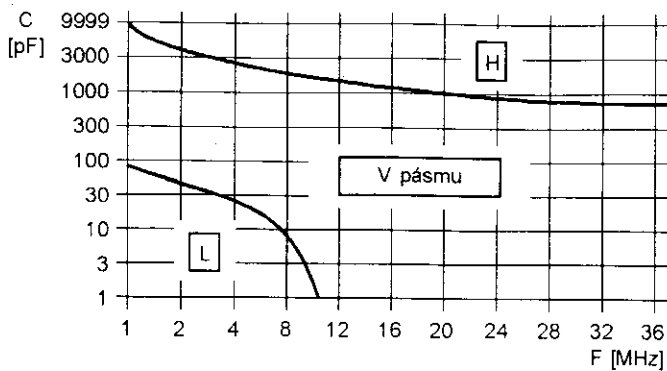
3. Měření L a C

Měření impedance je omezeno v rozsahu 8 až 2000 Ω , proto i měření L a C je možné pouze v tomto rozsahu. Toto měření slouží jako doplňkové k hlavnímu měření Z a SWR a dovolí nám analyzovat hodnotu jX zjištěním velikosti indukčnosti a kapacity.

Všeobecně platí, že pro měření kapacit větších hodnot volíme nižší kmitočty a pro kapacity menších hodnot vyšší kmitočty.

Podobně to bude i při měření indukčnosti. Doporučené kmitočty a "provozní pole" je určeno na obrázcích 1 až 4. Je dobré proměřit řadu prvků L a C na referenčním LC měřiči a srovnávat s RF-1.

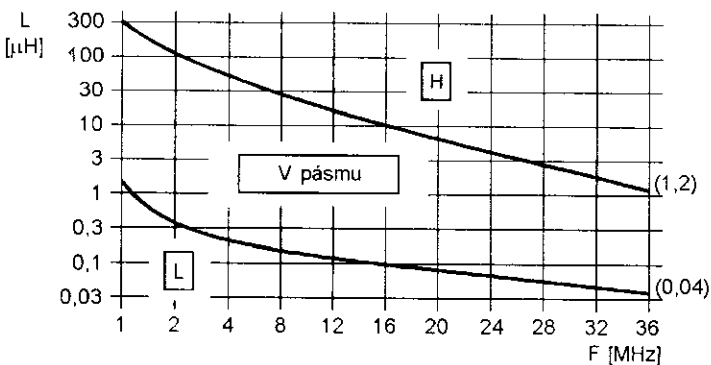
Z těchto měření pak vytvořit křivky podle vzoru na obr. 1 až 4.



H - high,
horní hranice
rozsahu

L - low,
dolní hranice
rozsahu

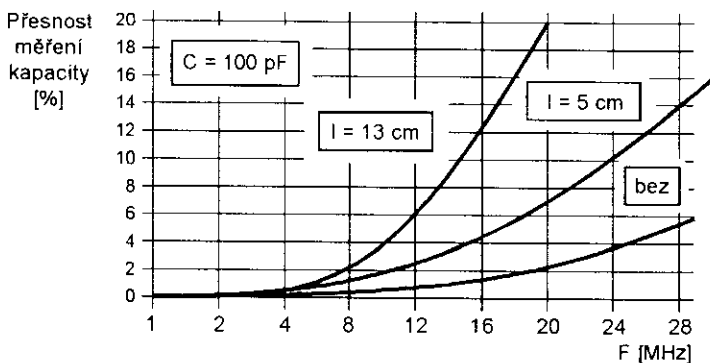
Obr. 1 - Použitelné pásmo měření C



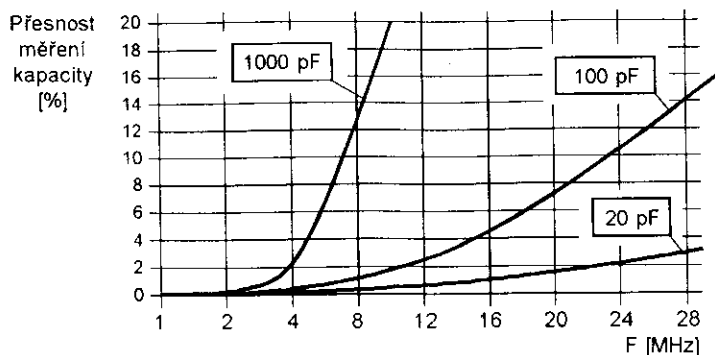
H - high,
horní hranice
rozsahu

L - low,
dolní hranice
rozsahu

Obr. 2 - Použitelné pásmo měření L



Obr. 3 - Vliv délky (l) připojovacích vodičů na přesnost měření kapacity v závislosti na kmitočtu v procentech



Obr. 4 - Vliv volby frekvence na přesnost při měření C v procentech

4. Měření na anténách při rezonanci

Rozměry různých typů v amatérské praxi nejčastěji používaných antén se vypočítají podle obecně platných rovnic:

- | | | | |
|-----|-------------|--------------------------------------|----------|
| (1) | Vertikál | $1/4 \lambda = 68,6 / F$ | [m; MHz] |
| (2) | Dipól | $1/2 \lambda = 142,65 / F$ | [m; MHz] |
| (3) | Loop (Quad) | $1 \lambda = 306,32 / F$ | [m; MHz] |
| (4) | Napáječ | $1/2 \lambda = 149,96 \times VF / F$ | [m; MHz] |

kde F = frekvence a VF = zkracovací koeficient napáječe

Zkracovací koeficient napáječů (VF) je obvykle 0,66, ale mnohé koaxiální kabely mají hodnotu 0,70 - 0,80.

Vyplatí se vždy zkracovací koeficient vedení změřit.

Rezonanční délky některých antén jsou uvedeny v tabulce 1. To, co můžeme změřit na vedení v závislosti na kmitočtu, je na obr. 5.

Uvedené délky antén se obvykle musí upravit o 2 až 5 %, protože rezonanční délku ovlivňují okolní objekty, zemní rovina a profil krajiny. Anténa se doladí na optimální rezonanční kmitočet pomocí RF-1.

Pokud bychom nebrali v úvahu uvedené vzorce, pak bychom spočítali například pro "40 m pásmo" anténu o délce 21,34 m (2x 10,67 m) a zjistili bychom, že optimální SWR má na 6,521 MHz. Anténa je pro 40 m pásmo **DLOUHÁ** (rezonuje pod pásmem).

$$\begin{aligned} \text{Úprava: } & 21,34 \times 6,521 / 7,1 = 19,6 \text{ m} \\ & 21,34 - 19,6 = 1,74 \text{ m} \end{aligned}$$

Dipól je nutno teoreticky zkrátit oboustranně o 87 cm. V praxi bude optimální zkrácení o 60 cm.

Pokud je dipólová anténa v rezonanci, v ideálním případě se reaktance přibližuje nízkým hodnotám (viz Ikrényi, str. 127, obr. 10-3. a tabulka 10-1.).

Pro snazší orientaci slouží tabulka 1, kde jsou uvedeny rezonanční délky pro základní typy antén používané v amatérské praxi.

Tab. 1 - Rezonanční délky některých antén pro KV pásma				
<i>Frekvence</i> [MHz]	<i>Vertikál $\lambda/4$</i> [m]	<i>Dipól</i> [m]	<i>Quad</i> [m]	<i>Koaxiál $\lambda/2$</i> (VF = 0,66)
1,83	37,5	78	167,3	54,1
3,75	18,3	38,1	81,7	26,4
7,1	9,6	20,1	43,3	13,9
10,15	6,8	14,1	30,2	9,8
14,1	4,9	10,1	21,7	7
18,1	3,8	7,9	16,9	5,5
21,1	3,3	6,8	14,5	4,7
24,9	2,7	5,7	12,3	4
28,5	2,4	5	10,7	3,5

5. Měření na vedeních

Před tímto měřením se předpokládají určité základní znalosti v oboru vf techniky o měřeném objektu, kterým je napáječ nebo obecněji řečeno - vedení.

Co nás především zajímá?

- charakteristická impedace vedení $Z_0 = \sqrt{L/C}$
- činitel zkrácení $VF < 1$
- útlum kabelu $G [dB]$
- impedance zdroje signálu (TRX) Z_{in}
- impedance spotřebiče (antény) Z_{out}
- činitel nepřizpůsobení impedancí δ (delta)
- činitel odrazu (napětový, proudový) ρ (ró)
- činitel napětového stojatého vlnění $VSWR$
- rezonanční délka vedení nakrátko
- rezonanční délka vedení naprázdno
- opakovač impedance při délce $1/2 \lambda$ (lambda)
- impedanční transformátor při délce $1/4 \lambda$ (lambda)
- náhradní schéma zapojení obvodu zdroj - napáječ a spotřebič s uvedením všech složek

Pro snadnější pochopení vztahů mezi složkami Z , R , jX a $VSWR$ slouží dále uvedená grafická znázornění závislosti impedance daných vedení.

Vedení připojíme přes konektor 50Ω na RF-1 a druhý konec je buď zkratován nebo rozpojen. Při změně frekvence se bude impedance Z měnit v závislostech dle obrázků 5 a 6 (spodní části grafu). Délku vedení lze vyjádřit buď v algebraickém tvaru ($0,25 \lambda$, $0,5 \lambda$, ...), nebo trigonometrickém tvaru (45° , 90° , 120° , ...). Protože při uvažovaném měření Z nejsme schopni přímo rozlišit velikost jejích složek R a X , bude se průběh velikosti Z jevit jako soubor maxim a minim:

- u zkratovaného vedení se maximum impedance objevuje v krocích $1/4 \lambda$, $3/4 \lambda$, ... atd. (liché násobky)
- u otevřeného vedení má impedance svá maxima v krocích $1/2 \lambda$, 1λ , $3/2 \lambda$, 2λ ... atd. (sudé násobky)

Z učebnic vF techniky známe průběhy charakteristických velikostí reaktancí induktivního i kapacitního charakteru. Jejich doplněním do grafického vyjádření na obr. 5 a 6 (horní části grafu) se nám názorně vyjeví všechny souvislosti.

Při rezonančním kmitočtu může na vedení dojít k paralelní nebo sériové rezonanci. V blízkosti tohoto kmitočtu má vedení charakter indukční (při kladném jX) nebo kapacitní (při záporném jX). Tyto hodnoty lze pomocí RF-1 získat přímým změřením pF nebo μH a přepočtením do podoby X . Hodnota R se dá změřit při sériové rezonanci, kdy jsou složky $+jX$ a $-jX$ navzájem vykompenzovány a zůstane pouze činný odpor. Nepřímo je hodnota R také vyjádřitelná z údaje SWR.

Kontrolní výpočet pro zkracovací činitel VF kabelu:

Příklad 1

Kabel RG-58 o délce 15,2 m připojíme k RF-1 a druhý konec zkratujeme. Začínáme ladit od 1,2 MHz a hledáme minimální Z . Nalezneme minimum asi 4Ω na kmitočtu 6,48 MHz.

$$\begin{aligned} \text{Zkracovací činitel VF} &= \text{první F (nulové Z)} \times \text{délka kabelu} / 149,96 \\ \text{VF} &= 6,48 \text{ MHz} \times 15,2 \text{ m} / 149,96 \\ \text{VF} &= 0,658 \end{aligned}$$

Poznámky:

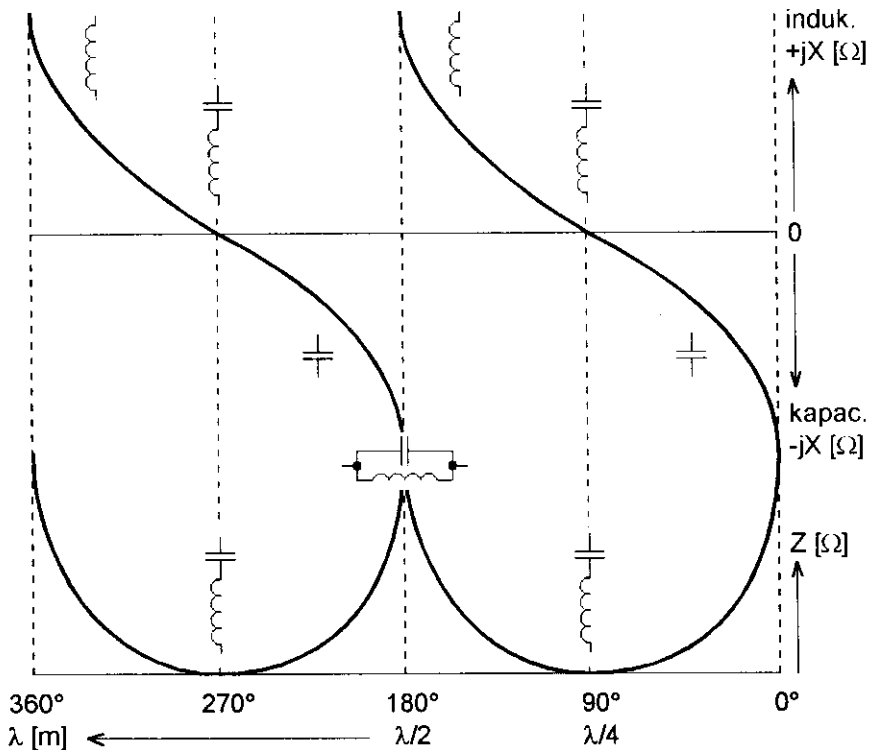
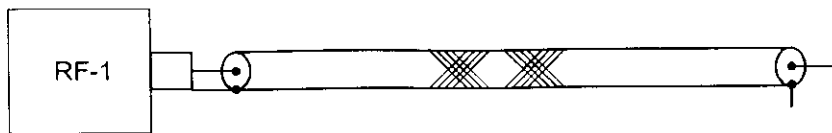
- je nutno pamatovat, že se střídají max. Z a min. Z ;
- přesnější měření kmitočtu je při max. Z ;

Stanovení délky napáječe například pro $F = 14,200$ MHz pak bude jednoduché:

$$\text{Délka napáječe} = 149,96 \times 0,66 / 14,2 = 6,95 \text{ m}$$

Můžeme tedy použít délky napáječe o násobcích 6,95, tj. 6,95 - 13,9 - 20,85 m. Tyto délky zaručí, že vstupní Z bude i na výstupu vedení, tzn. že výstupní Z TRXů (50Ω) se dostane až k anténě. Pokud má anténa vstupní Z také 50Ω , dojde k přizpůsobení impedancí a SWR vykazuje poměr blízko 1 : 1,1.

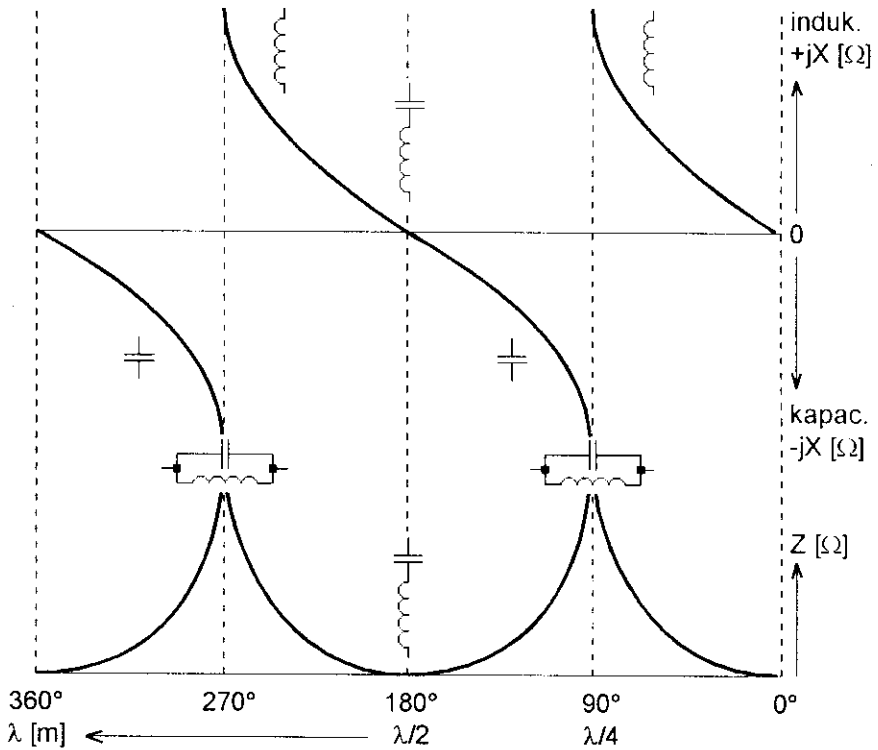
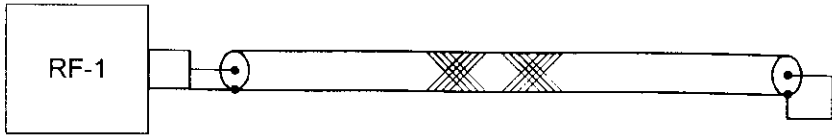
Otevřené vedení:



α [°]	360	315	270	225	180	135	90	45	0
λ	1	7/8	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4	1/8	0
jX [Ω]	∞	$+j$	0	$-j$	∞	$+j$	0	$-j$	∞
Z [Ω]	max.Z		min.Z		max.Z		min.Z		

Obr. 5 - Charakteristiky otevřeného vedení

Zkratované vedení:



α [°]	360	315	270	225	180	135	90	45	0
λ	1	7/8	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4	1/8	0
jX [Ω]	0	-j	∞	+j	0	-j	∞	+j	0
Z [Ω]	min.Z		max.Z		min.Z		max.Z		

Obr. 6 - Charakteristiky zkratovaného vedení

Příklad 2

Na zkratovaném zeleném koaxiálním kabelu o délce 7,72 m a průměru 8 mm měřením pomocí RF-1 nalezneme maximální hodnotu Z. Rezonanční kmitočet $\lambda/4$ tohoto vedení určíme jako střední hodnotu kmitočtů před a za naměřeným maximem (H na displeji) a bude v tomto případě 7,97 MHz.

$$\text{Vlnová délka mechanická} = 4 \times \text{délka skutečná} = 4 \times 7,72 = 30,88 \text{ m}$$

$$\text{Vlnová délka elektrická} = 300 / F = 300 / 7,97 = 37,64 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Zkracovací činitel VF} &= \text{mechanická délka} / \text{elektrická délka} \\ &= 30,88 / 37,64 \approx 0,82 \end{aligned}$$

6. Útlum koaxiálních kabelů

Jakost dielektrika z hlediska elektrické vodivosti spolu s ohmickým odporem vodičů koaxiálního kabelu jsou příčinou ztrát, které lze vyjádřit jako útlum v dB.

Princip měření vychází ze stejné metody měření impedance Z při rozpojeném a zkratovaném vedení. Délka vedení musí být dostatečně dlouhá, abychom vystačili s rozsahem 2 kroků (max. Z a min. Z) od 1,2 do 28 MHz. Obvykle vyhoví 10 m, lepší výsledky jsou však s délkou větší.

a) Metoda měřením SWR

Vedení je rozpojené a hledáme maximální hodnotu SWR. U bílého koaxiálního kabelu o průměru 6 mm bylo SWR 4,5. U khaki koaxy o průměru 14 mm bylo SWR 14. Útlum určíme z grafických závislostí SWR / ztráty (v dB) na obr. 7. Pro bílý koax vychází 1,8 dB, pro khaki 0,65 dB.

b) Metoda měřením impedance Z

Na zkratovaném vedení měřením hledáme minimum Z. Při větší délce nalezneme několik míst s minimální impedancí Z. Například pro bílý koax o průměru 6 mm pro TV účely můžeme naměřit minimální $Z = 17 \Omega$, khaki kabel o průměru 14 mm má minimum 3Ω .

Pro útlum platí závislost:

$$(5) \quad \text{útlum} = 8,69 \times \text{minimum } Z / \text{impedance vedení } (Z_0) \quad [\text{dB}; \Omega, \Omega]$$

$$\text{Příklad dle textu: } 8,69 \times 17 / 50 = 2,95 \text{ dB} \\ 8,69 \times 3 / 50 = 0,52 \text{ dB}$$

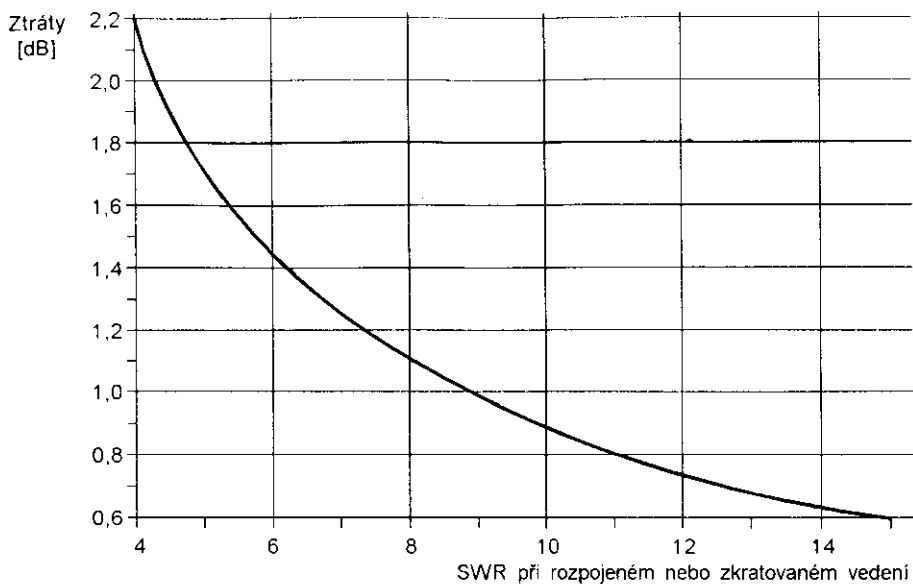
Pro kabel 50 Ω platí:

$$(6) \quad \text{útlum } 50 \Omega = 0,17 \times \text{minimum } Z \quad [\text{dB}; \Omega]$$

$$\text{Příklad dle textu: } 0,17 \times 3 = 0,51 \text{ dB} \\ 0,17 \times 17 = 2,89 \text{ dB}$$

Pro rychlou orientaci ve velikosti útlumu kabelu měřením na minimální Z při zkratovaném vedení slouží následující tabulka:

Minimální Z [Ω]	Útlum [dB]	
	Kabel 50 Ω	Kabel 75 Ω
1	0,17	0,11
2	0,34	0,23
3	0,51	0,34
4	0,68	0,46
5	0,85	0,57
6	1,02	0,69
7	1,19	0,81
8	1,36	0,92
9	1,53	1,04
10	1,7	1,15
12	2,04	1,39
14	2,38	1,62
16	2,72	1,85
18	3,06	2,08
20	3,4	2,31

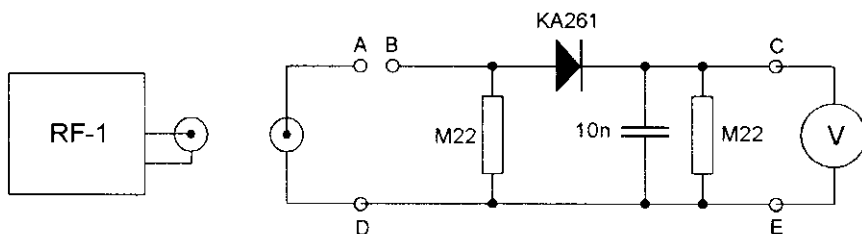


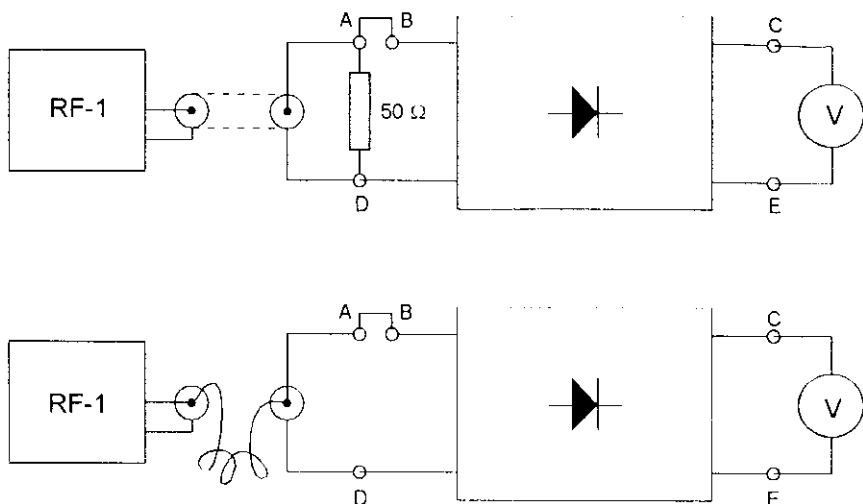
Obr. 7 - Měření ztrát vedení pomocí SWR

c) Měření porovnáním napětí

Pomocí jednoduchého přípravku pro měření vf napětí porovnáme napětí na zatěžovacím odporu 50 Ω s napětím na připojeném kabelu. Z naměřených hodnot dostaneme útlum v dB jejich dosazením do vztahu:

$$G = 20 \log(U_1/U_2) \quad [\text{dB}]$$





7. Impedance ($Z = R \pm jX$)

a) Měření na anténě

Při měření antén nás zajímá především jejich impedance Z a při připojení SWR. Také tato měření umožňuje RF ANALYST RF-1 od firmy Autek Research.

Obvykle ve všech anténářských knihách nalezneme u antén údaje vstupního odporu (R) a reaktance (X). Jak potom tyto údaje transformovat z údajů SWR a Z ? Budeme dále uvažovat, že anténa je v rezonanci na pracovním kmitočtu.

Je faktem, že obrazem rezistance R a reaktance X je SWR, protože

$$SWR = (A + B) / (A - B),$$

$$\text{kde } A = \sqrt{(R + Z_0)^2 + X^2} \quad \text{a} \quad B = \sqrt{(R - Z_0)^2 + X^2}$$

$Z_0 = \sqrt{L/C}$ je charakteristická impedance použitého vedení, závislá na fyzikálních vlastnostech.

Měříme-li analyzátozem RF-1 impedanci Z a SWR, můžeme odpor R vypočítat ze vzorce odvozeného ze základního vztahu dosazením vztahů pro Z a SWR:

$$R = \frac{(2500 + Z^2) \times \text{SWR}}{50 \times (\text{SWR}^2 + 1)}$$

SWR je přitom vztaženo na impedanci 50 Ω (referenční Z měřicího přístroje RF-1).

Reaktanci X pak vypočteme ze vztahu:

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

Vzájemné souvislosti jsou nejlépe patrné z grafických průběhů na obrázcích 8 až 10.

Když hodnoty R a X budou extrémně vysoké, pak i SWR bude mít větší hodnotu než 1 : 10. Tyto stavy však při realizaci anténního systému nebudeme uvažovat.

Příklad měření s RF-1:

Měříme dipól, kde SWR = 4 : 1 a Z = 90 Ω.

Na obr. 8 v ose Y je vyznačené SWR. Souřadnice SWR (4:1) a Z (90 Ω) udávají hodnotu R = 50 Ω.

Na obr. 9 se hodnoty SWR a Z přibližují hodnotě X = 70 Ω nebo 75 Ω.

Z měření vyplývá, že koax 50 Ω propojený na dipól má reaktanci 75 Ω. Tato reaktance způsobuje vysoké SWR. Zbavíme-li se této reaktance vhodnou kompenzací (kladná kompenzace indukčností, záporná kapacitou), bude i SWR nízké.

Změříme např. SWR = 2 : 1 a Z₀ = 75 Ω, které je nutno vykompenzovat. Obvykle se kompenzuje experimentálně. Hodnotu ale můžeme vypočítat ze vztahů:

$$C = \frac{159 \times 10^3}{f \times X_C} \quad [\text{pF}; \text{MHz}, \Omega] \quad \text{a} \quad L = 6,28 \times f \times X_L \quad [\mu\text{H}; \text{MHz}, \Omega]$$

takže

$$X_C = \frac{159 \times 10^3}{f \times C} \quad [\Omega; \text{MHz}, \text{pF}] \quad \text{a} \quad X_L = 6,28 \times f \times L \quad [\Omega; \text{MHz}, \mu\text{H}]$$

Na obr. 10 jsou (z obr. 8 a 9) soustředěny závislosti Z , R a X vzhledem k VSWR.

b) Měření charakteristické impedance vedení

Jakou charakteristickou impedanci Z_0 má použitý koaxiální kabel? Obvykle pomocí LC měřiče změříme hodnoty L a C a Z_0 vypočítáme. Například pro zelený coax o průměru 8 mm a délce 7,72 m můžeme naměřit následující hodnoty:

Veličina [jednotka]	Měřeno LC měřičem	Měřeno RF-1
L [μH]	2,9	3,3
C [pF]	380	472

Z_0 vypočteme ze vzorce:

$$Z_0 = 100 \times \sqrt{(100 \times L)/C} \quad [\Omega; \mu\text{H}, \text{pF}]$$

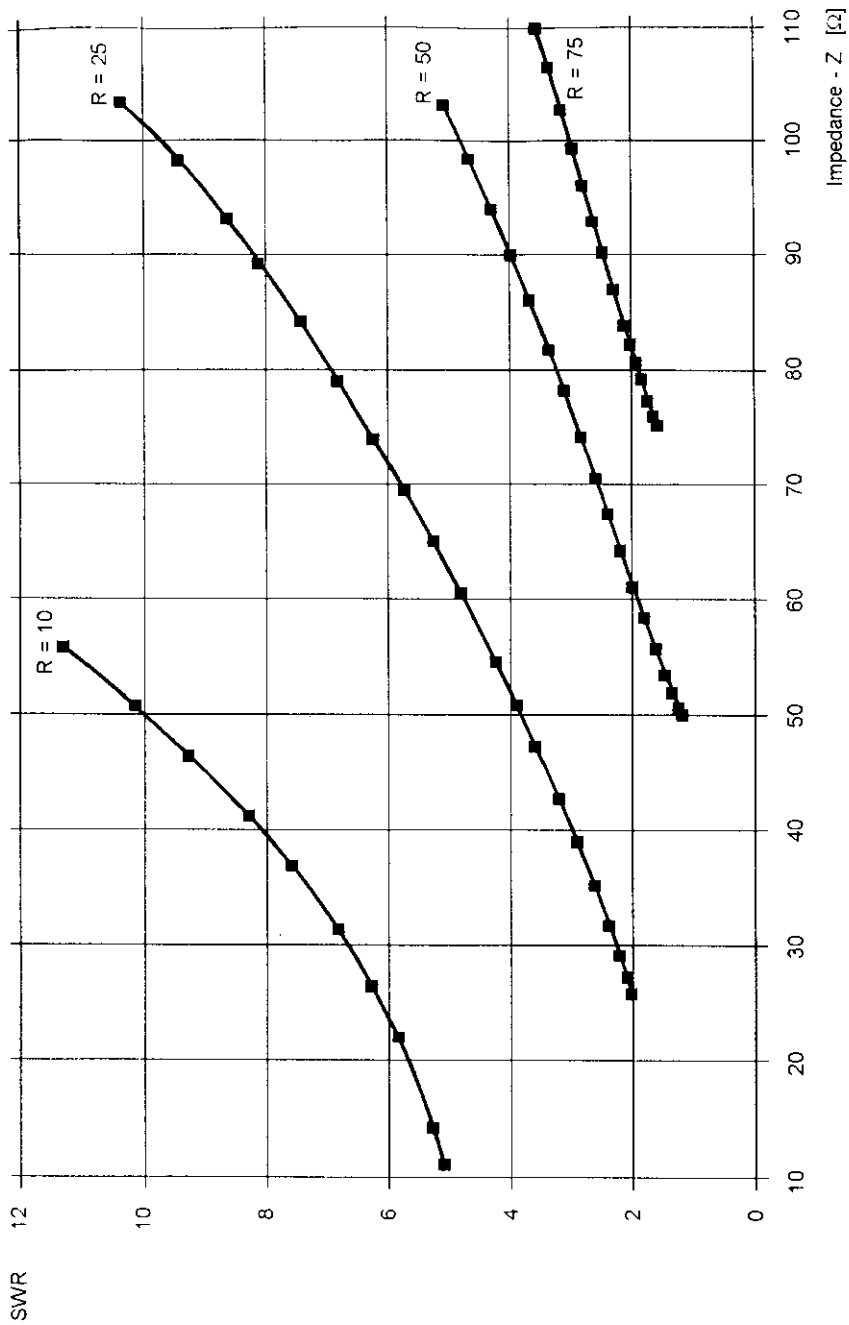
$$Z_{0(\text{LC})} = 100 \times \sqrt{290/380} = 87 \Omega$$

$$Z_{0(\text{RF1})} = 100 \times \sqrt{330/472} = 84 \Omega$$

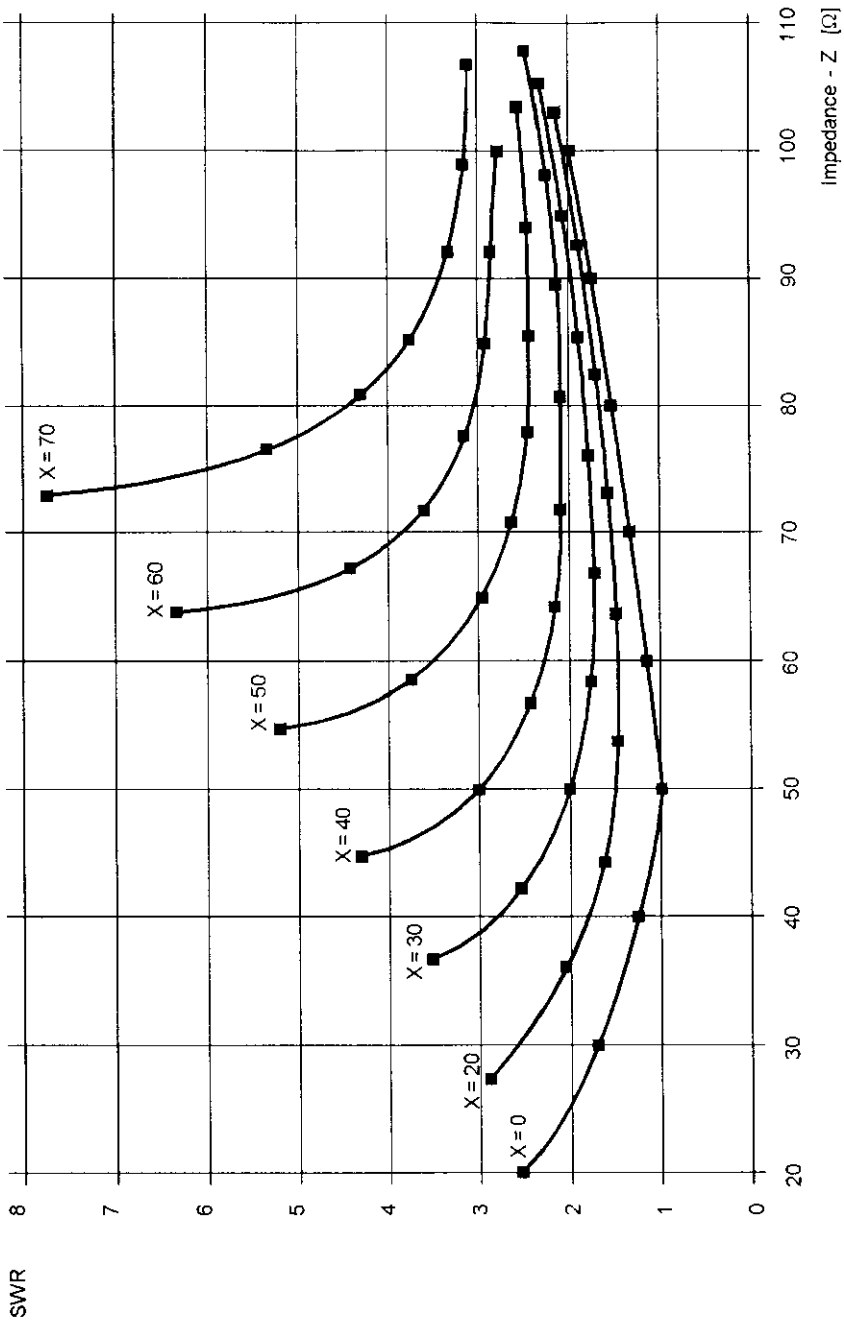
Přesnost měření je ± 10 %.

Tento kabel připojíme k RF-1 a ukončíme odporem 75Ω . Naměříme $Z = 86 \Omega$ a $\text{SWR} = 1,7$. Připojíme-li k RF-1 pomocí konektorů zátěž 50Ω a použijeme 1 m kabelu RG-58 s impedancí $Z_0 = 50 \Omega$, bude RF-1 ukazovat hodnoty $Z = 56 \Omega$ a $\text{SWR} = 1,4$.

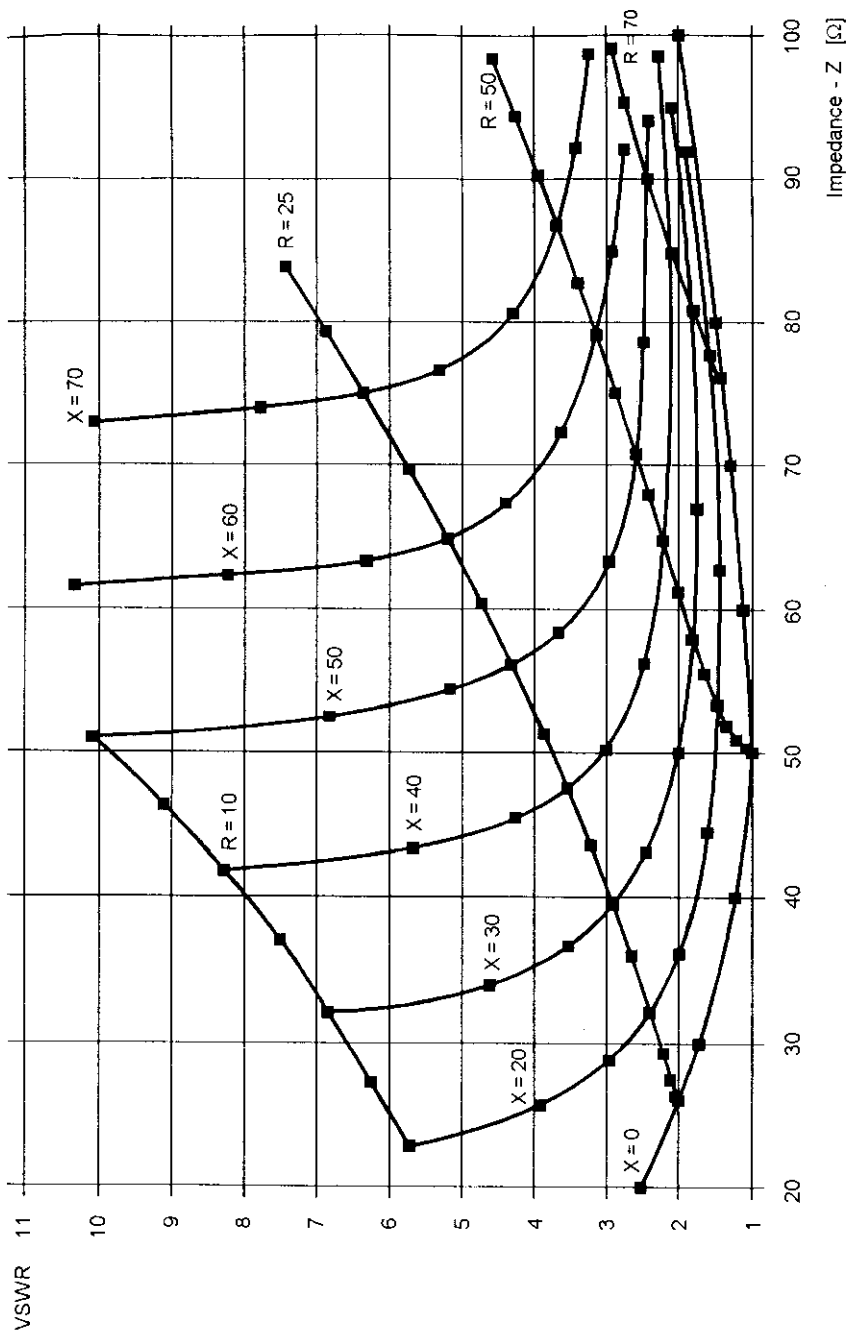
Měřením na LC měřiči jsme naměřili u tohoto kabelu $L = 0,4 \mu\text{H}$ a $C = 120 \text{ pF}$. Výpočtem dostaneme hodnotu 57Ω .



Obr. 8 - Vzájemný vztah SWR, Z a R



Obr. 9 - Vzájemný vztah SWR, Z a X



Obr. 10 - Komplexní vzájemný vztah VSWR, Z a X

Na základě příkladu uvedeného na str. 19 můžeme vyslovit pravidlo, že pomocí RF-1 lze změřit Z_0 kabelu za podmínky, že kabel je zakončen reálným odporem blížícím se jeho impedanci. Zpětnou vazbou je údaj SWR blížící se poměru 1 : 1.

Kontrolní výpočet Z_0 koaxiálního kabelu lze provést i proměřením průměrů vnitřního (d) a vnějšího vodiče (D).

$$Z_0 = 138 \log(D/d)$$

U dvojdřátového vedení je pro vzduchové dielektrikum:

$$Z_0 = 276 \log(D/d)$$

Dielektrická konstanta polyetylénu nebo polystyrénu sníží charakteristickou impedanci kabelu podle vztahu:

$$Z = Z_0 / \sqrt{\epsilon}$$

8. Vedení jako impedanční transformátor

Na délce vedení záleží, zda výkon ze zdroje bude přenesen ke spotřebiči. Bude-li Z zdroje rovno Z spotřebiče, pak je nutné, aby i vedení mělo tuto impedanci a přitom mělo délku v násobcích $\lambda/2$ (to jest sudé násobky $\lambda/4$). Toto je však třeba považovat za zvláštní případ, protože v praxi bude mít anténa vždy odlišnou impedanci než napáječ. Proto se musí impedance spotřebiče (antény) transformovat na úroveň impedance vedení.

Jsou-li vstupní Z a výstupní Z odlišné, můžeme je přizpůsobit vhodným vedením o délce $\lambda/4$ s impedancí:

$$Z_t = \sqrt{Z_{\text{vstupní}} \times Z_{\text{výstupní}}}$$

Podmínkou je vedení rovné délce $\lambda/4$ a dalším lichým násobkům $\lambda/4$ ($3/4 \lambda$, $5/4 \lambda$ atd.), které můžeme změřit pomocí RF-1, GDO nebo i teploměrem (tepelné uzly proudu).

Například: $Z_{\text{vstupu}} = 50 \Omega$, $Z_{\text{výstupu}} = 120 \Omega$ (např. Loop anténa)
 $Z_t = \sqrt{50 \times 120} = 77,5 \Omega$ (blíží se 75Ω)

Zkratované vedení pro kontrolu tohoto výpočtu proměříme pomocí RF-1. Maximum impedance musí odpovídat rezonančnímu kmitočtu.

Vstupní odpor antény R_{ant} většinou neznáme, ale lze jej zjistit ze změření hodnoty SWR. Za podmínky, že Z_0 je větší než R_{ant} platí:

$$\text{SWR} = Z_0 / R_{\text{ant}},$$

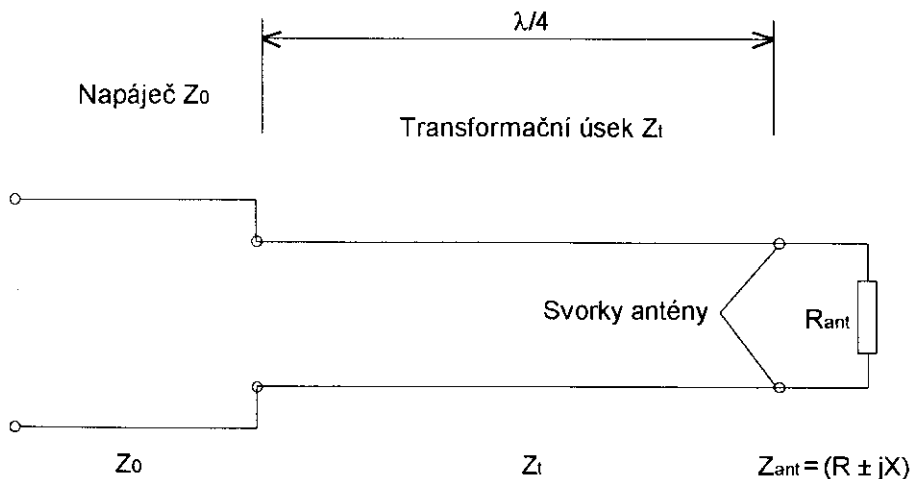
a tedy

$$R_{\text{ant}} = Z_0 / \text{SWR}$$

Impedance transformačního úseku pak bude:

$$Z_t = \sqrt{Z_0 \times R_{\text{ant}}} = Z_0 \sqrt{1/\text{SWR}}$$

Následující obrázek slouží pro lepší ujasnění pojmů. Podrobnosti jsou k nalezení ve specializovaných "anténářských" knihách.



9. Kapitola nepatřící do měření

Hlasitost - decibel - výkon - vedení - anténa - účinnost

Jak se projeví lepší účinnost antény nebo zvětšený výkon na přijímací straně?

Signál z reproduktoru hodnotíme jako dobrý, jestliže jeho úroveň je **PODSTATNĚ** vyšší než šum přijímače a ostatní rušení. Sílou S9 hodnotíme většinou takový signál, který způsobuje plnou výchylku S-metru, anebo že je toho "plný reproduktor". Technicky vzato je to napětí $50 \mu\text{V}$ na anténě 50Ω . Takto jsou cejchovány S-metry. Někdy stanice uvádějí, že je signál "S9 plus 10-20 dB". Decibel je ale poměrová jednotka uvádějící vztah dvou výkonů. Pro lepší srozumitelnost poslouží tabulka:

Síla signálu		U_{ant} [μV]	Slyšitelnost signálů	Rušení signálu šumem	Příklad	
S	[dB]				[dB]	P [W]
0	-54	0,1	neslyšitelné	jen šum		
1	-48	0,2	sotva	velmi silně		
2	-42	0,4	velmi slabé	velmi silně		
3	-36	0,8	slabé	silně ruší		
4	-30	1,5	ještě slabé	poměrně silně	4	2,5
5	-24	3	středně čitelné	středně silně	10	10
6	-18	6	dobře čitelné	poměrně slabě	16	40
7	-12	12	poměrně silné	slabě	22	160
8	-6	25	silné	velmi slabě	28	630
9	0	50	velmi silné	neregistrujeme	34	2500
	+6	100				
	+12	200				
	+18	400				
	+24	800				
	+30	1600				

Signál S9 (50 μV na 50 Ω anténě) je označen jako 0 dB. Udávání síly tímto způsobem nečiní obvykle žádné potíže. Rozpětí mezi jednotlivými stupni je vždy 6 dB, úroveň 6 dB ale odpovídá čtyřnásobnému zvětšení výkonu.

Například posloucháme stanici silou S9 a stanice uvádí výkon 100 W. Požádáme stanici o snížení výkonu na 25 W a síla poklesne o 1S na S8. Snížíme-li výkon na 6,25 W, bude opět pokles o 1S to je na S7. Obráceně, pokud bychom chtěli zvýšit sílu o 1S, pak bychom museli zvětšit výkon vysílače na 400 W. Jedná se v podstatě o Ohmův zákon, podle kterého se při konstantním odporu (neměníme anténu) při zdvojnásobení napětí musí i zdvojnásobit proud ($U = R \cdot I$). Protože $P = U \cdot I$, roste výkon oproti proudu nebo napětí vždy kvadraticky.

Zdvojnásobení výkonu vysílače můžeme většinou označit jako bezúčelné, protože zisk 3 dB protistanice sotva postřehne. Zvětšení výkonu 4-krát však zpravidla nelze přehlédnout.

V cestě vyzařování ale stojí samotná anténa s vedením. Tyto komponenty s nízkou účinností mohou výkon z vysílače proměnit v teplo. Proto je vhodné se otázce **účinnosti** anténního systému doopravdy věnovat vážně.

Například při účinnosti antény 50 % a zisku 3 dB bude celkový efekt bez zisku.

Tab. 3 - Zjednodušené údaje některých antén

Typ antény	Impedance antény Z [Ω]	Ztrátový odpor antény Rz [Ω]	Vyzařovací odpor Ra [Ω]	Účinnost [%]
Dipól $1/2 \lambda$	70	2	68	95
VA $1/4 \lambda$	25	20 (10)	5 (15)	20 (60)
Yagi	5	10 (2)	15 (7)	30 (70)
QUAD (Loop)	50 (100)	2	48 (98)	95 (98)
HB9CV	300 (75)	10	280 (65)	93 (86)

Proč zrovna nízké SWR?

Kvalita prostředků nutná pro QSO ukrytá v poměrně drahém transceiveru se projeví až při připojení k "efektivní" anténě. Pokud máme jasno, co od "toho všeho očekáváme" (QSO se sousedy, na větší vzdálenosti, velké vzdálenosti, DXing, contesty...) a připravili jsme se na zkoušky pro licenci, mohou nám pomoci i tyto řádky k záměru používat "efektivní" anténu.

Některé zásady, které určují, zda anténní systém bude účinný:

1. délka antény je rezonanční k používanému kmitočtu
2. na vedení je měřitelné nízké SWR
3. výška antény nad zemí je optimální
4. pod anténou je zemní systém
5. okolí antény neovlivňuje vyzařování antény, ani referenční anténa neovlivňuje hodnocenou anténu

V minulosti bylo nízké SWR prezentováno jako významný a vynikající **PARAMETR** určující kvalitu antény. Nízké SWR ale není vůbec indikací dobré efektivnosti antény. Je jen samozřejmostí v oblasti přenosu energie z vysílače do antény.

Nízké SWR není zárukou efektivního vyzařování výkonu anténou.

Důvodem proč je SWR nesprávně používáno jako parametr antény, je ve snadné měřitelnosti této veličiny. Další důležité parametry, jako je rezonanční kmitočet, vodivost, zemní odpory, vyzařovací diagramy, zisk antény, impedance a další veličiny, jsou měřitelné obtížněji.

Poměr vyzařovacího a ztrátového odporu antény určuje celkové ztráty antény, společně se špatným zemním systémem, špatnou vodivostí použitých vodičů, přechodovým odporem svorek, opředem koaxů a podobně. To vše se projeví v "ploché" charakteristice SWR vzhledem ke kmitočtu. Zkracované antény mají obvykle úzkou šířku přenášeného pásma s nízkým SWR. Pokud nemají, je to známkou nízké elektromechanické kvality antény.

Jedinou amatérskou metodou jak zjistit kvalitu antény, je srovnávací metoda anténních systémů. Potřebujeme mít **REFERENČNÍ**, měrnou anténu. Obvykle se používá měřný dipól, který musí být v dostatečné vzdálenosti (alespoň λ) od hodnocené antény. Testovat je nutno v různých podmínkách

šíření, při praktickém QSO. Nesmíme dělat závěry za jeden večer. Bude trvat nějaký čas, než získáme **POZNÁNÍ**, jak naše anténa pracuje.

Závěrem si zkuste odpovědět na testové otázky:

1. Kde začíná a končí napáječ antény? (nakreslete schéma zapojení TRX - ANT)
2. Určete přesně rozhraní mezi napáječem a anténou.
3. Odpovídá rezonanční kmitočet antény používanému kmitočtu?
4. Na čem závisí změřená hodnota vstupní impedance antény?
5. Je změřena impedance použitého vedení?
6. Ovlivňuje délka vedení výstupní impedanci TRX?
7. Zakončíme vedení reálným odporem rovnajícím se vstupnímu odporu antény a změříme SWR zda je nízké.
8. Je zaznamenána hodnota ohmického odporu napáječe mezi začátkem a koncem vedení u vnitřního vodiče a opletení?
9. Je zemní systém pod anténou proměřen a jeho hodnota je menší než 5Ω ?
10. Je znám ohmický odpor celé délky vodiče použitého jako zářič antény?
11. Je proměřena charakteristika SWR / kmitočet v sestavě anténní soustavy, která již nebude měněna? (včetně všech propojovacích kabelů, přepínačů, měření)
12. Lze dosáhnout minimální výšky antény nad zemní rovinou $0,25 \lambda$?
13. Jsou v blízkosti antény $0,1 \lambda$ kovové předměty o délce větší než $0,1 \lambda$?
14. "Zvážili" jste zisk své antény? (jednotkový obdélník se stranou 360°)
15. Zakreslili jste vyzařovací diagram antény do směrové mapy světa?
16. Jaký úhel má vertikálně vyzářená energie zkoumané antény?
17. Sestavte seznam literatury a časopisů o anténách ve své knihovně.
18. Napište seznam kvalitní anténářské literatury, kterou chcete koupit.
19. Vypočítejte poměr investice do antény k ceně transceiveru.
20. Jakou známku obdržíte při zkoušce z předmětu "Ikrényi"?
21. Opatřte si testové otázky pro zkoušky amerických amatérů (ARRL) ve své třídě a vypracujte písemně část antény a napáječe.
22. Toužíte mít "efektivní" anténu a pak ji využívat? (jestliže ne, pak váš automatický anténní tuner a kus drátu stačí pro vaši zábavu a TVI sousedů)

Poznámky:

- a) Antény, které využívají ohmický odpor jako součást anténního systému impedance, zde neuvažujeme.

- b) Někdy je obtížné změřit SWR a Z antény dobrými přístroji, protože v blízkosti antény (i do 10 km) jsou zdroje silného elektromagnetického pole (jiné vysílače). Indukované napětí na anténě způsobí buď nemožnost "vynulování" impedančního mostu, nebo bude indikován nesprávný údaj. V tomto případě jsou pak blíže pravdy výsledky z měření pomocí indikátorů SWR s vazebním vedením.

10. Příklady

1. Připojíme 7 m koaxiálního kabelu a měříme jej jako rozpojené vedení. Nalezneme rezonanci na 20,8 MHz (f_0). Pak konec koaxu zkratujeme a hledáme rezonanci. Nalezneme 28,2 MHz (f_n).

Zkracovací činitel bude:

$$VF = f_0 / f_n = 20,8 / 28,2 = 0,73$$

2. Hledáme proměřením délku napáječe pro anténu 14,2 MHz tak, aby přenesla vstupní Z na svorky antény. Elektrická délka $0,5 \lambda$ pro 14,2 MHz je 10,56 m. Fyzikální délka je zkrácená o $VF = 0,73$ a bude:

$$l_{\text{skut.}} = 10,56 \times 0,73 = 7,71 \text{ m}$$

Můžeme použít násobky $0,5 \lambda$ (7,71 - 15,42 - 23,13 - 30,84 m). O správnosti této délky se přesvědčíme, připojíme-li na konec vedení odpor rovnající se Z_0 vedení a SWR bude nízké, blízko hodnoty 1.

3. Pro vodič s průřezem 1 mm^2 a délkou 100 m platí:

Odpor vedení činí:

$$R = \rho \times l/s = 0,0175 \times 100/1 = 1,75 \Omega$$

Bude-li vodič z PK (špatná měrná vodivost):

$$R = 0,2 \times 100/1 = 20 \Omega$$

Vodivost antény je velmi důležitá záležitost. Nedokonalé spoje trubek u směrovek, zkorodované spoje příhradových vertikál, železné trubky nosného ráhna, ohmické ztráty přizpůsobení na anténě, přechodové odpory konektorů, to vše lze zahrnout do položky "ztrátový odpor antény - R_z ". Pokud je vstupní odpor antény vysoký, R_z se tolik neuplatní. Pokud R_z dosahují hodnoty až 50 % vyzařovacího odporu, je značná část energie přeměněna pouze v teplo. Pak vede cesta k lepší účinnosti antény (při její dostatečné výšce, rezonanční délce atd.) snížením ztrátových odporů např. u vertikálních antén z 20 Ω na 2 Ω .

Poznámka: Proměřte všechny ohmické odpory v obvodu TRX - anténa!

4. Při výpočtu kapacitní nebo indukční reaktance platí, že:

$$X_C = \frac{159 \times 10^3}{f \times C} \quad [\Omega; \text{MHz}, \text{pF}] \quad C = \frac{159 \times 10^3}{f \times X_C} \quad [\text{pF}; \text{MHz}, \Omega]$$

$$X_L = 6,28 \times f \times L \quad [\Omega; \text{MHz}, \mu\text{H}] \quad L = \frac{X_L}{6,28 \times f} \quad [\mu\text{H}; \text{MHz}, \Omega]$$

Indukčnost i kapacita zůstávají většinou konstantní, ale mění se kmitočet, a tudíž i impedanční odpor.

Pro představu velikosti Z v Ω jsou v tabulce 4 uvedeny kmitočty amatérských pásem a odpovídající "odpory" součástek L a C tvořících uvedené impedance.

Tab. 4 - Závislost reaktance X_L , X_C na kmitočtu u vybraných součástek L a C						
f [MHz]	1,8	3,5	7	14	21	28
10 μH	113	219	440	880	1318	1758
5 μH	56	109	220	440	659	879
2 μH	22	44	88	176	263	351
10 pF	8833	4542	2271	1135,7	757	567
100 pF	883,3	454,2	227,1	113,5	75,7	56,7
1000 pF	88,33	45,42	22,71	11,35	7,57	5,67

Hodnoty jsou v ohmech

5. RF-1, ale i GDO můžeme použít při měření L nebo C rezonanční metodou. Důležité je znát některou hodnotu L nebo C, zbývající veličinu vypočteme podle Thomsonova vzorce pro rezonanční kmitočet:

$$f_{\text{rez.}} = \frac{159,154}{\sqrt{LC}} \quad [\text{MHz, } \mu\text{H, pF}]$$

Pro snadnější počítání slouží tzv. LC konstanty v tabulce 5. Budeme například měřit rezonanci LC obvodu (zapojeno do série mezi RF konektor a zemnicí svorku) se známou hodnotou $C = 37 \text{ pF}$. V tab. 5 nalezneme při rezonančním kmitočtu 7 MHz LC konstantu 516,94. Hledaná velikost L pak bude:

$$L = 516,94 / 37 = 13,97 \mu\text{H}$$

Pokud máme přesný $C = 100 \text{ pF}$, pak se odečítání v tabulce zjednoduší a LC konstanta udává přímo indukčnost cívky $LC/100$.

6. RF-1 poslouží také jako pomůcka při zjišťování impedance Z libovolného čtyřpólu. Například potřebujeme kmitočtově prověřit dva transformátory s převodem 1 : 9. Výstup je zatížen odporem 500Ω (470) a RF-1 indikuje $Z = 55 \Omega$, $\text{SWR} = 1,0$ na kmitočtu 3,5 MHz. Výsledky, ze kterých můžeme vyvodit potřebné závěry pro danou aplikaci, jsou v následující tabulce:

f [MHz]	Trafo 1		Trafo 2	
	Z [Ω]	SWR	Z [Ω]	SWR
3,5	55	1,0	55	1,0
6,5	44	1,1	55	1,0
14,4	36	2,6	55	1,0
26,6	84	4,8	70	1,8

7. RF-1 zapojíme na výstup PA stupně, anodu elektronky zatížíme vypočtenou hodnotou R_d a ladíme pí-článek na zvoleném pásmu. Kontrolujeme údaje Z a SWR zobrazované na RF-1 až nalezneme optimální polohu odbočky na cívce.

8. Nastavení pí-článeků u PA stupně. RF-1 připojíme na vstup. Vypočtené hodnoty pí-článeků jsou osazeny a na místo C2 použijeme otočný kondenzátor. Ladíme na minimální SWR .

Tab. 5 - Tabulka LC konstant do 15,3 MHz

<i>f</i>	<i>k</i>	<i>f</i>	<i>k</i>	<i>f</i>	<i>k</i>	<i>f</i>	<i>k</i>
1,0	25330,00	4,6	1197,07	8,2	376,71	11,8	181,92
1,1	20933,88	4,7	1146,67	8,3	367,69	11,9	178,87
1,2	17590,28	4,8	1099,39	8,4	358,99	12,0	175,90
1,3	14988,17	4,9	1054,98	8,5	350,59	12,1	173,01
1,4	12923,49	5,0	1013,20	8,6	342,48	12,2	170,18
1,5	11257,78	5,1	973,86	8,7	334,65	12,3	167,43
1,6	9894,53	5,2	936,76	8,8	327,09	12,4	164,74
1,7	8764,71	5,3	901,74	8,9	319,78	12,5	162,11
1,8	7817,90	5,4	868,66	9,0	312,72	12,6	159,55
1,9	7016,62	5,5	837,36	9,1	305,88	12,7	157,05
2,0	6332,50	5,6	807,72	9,2	299,27	12,8	154,60
2,1	5743,76	5,7	779,62	9,3	292,87	12,9	152,21
2,2	5233,47	5,8	752,97	9,4	286,67	13,0	149,88
2,3	4788,28	5,9	727,66	9,5	280,66	13,1	147,60
2,4	4397,57	6,0	703,61	9,6	274,85	13,2	145,37
2,5	4052,80	6,1	680,73	9,7	269,21	13,3	143,20
2,6	3747,04	6,2	658,95	9,8	263,74	13,4	141,07
2,7	3474,62	6,3	638,20	9,9	258,44	13,5	138,98
2,8	3230,87	6,4	618,41	10,0	253,30	13,6	136,95
2,9	3011,89	6,5	599,53	10,1	248,31	13,7	134,96
3,0	2814,44	6,6	581,50	10,2	243,46	13,8	133,01
3,1	2635,80	6,7	564,27	10,3	238,76	13,9	131,10
3,2	2473,63	6,8	547,79	10,4	234,19	14,0	129,23
3,3	2325,99	6,9	532,03	10,5	229,75	14,1	127,41
3,4	2191,18	7,0	516,94	10,6	225,44	14,2	125,62
3,5	2067,76	7,1	502,48	10,7	221,24	14,3	123,87
3,6	1954,48	7,2	488,62	10,8	217,16	14,4	122,15
3,7	1850,26	7,3	475,32	10,9	213,20	14,5	120,48
3,8	1754,16	7,4	462,56	11,0	209,34	14,6	118,83
3,9	1665,35	7,5	450,31	11,1	205,58	14,7	117,22
4,0	1583,13	7,6	438,54	11,2	201,93	14,8	115,64
4,1	1506,84	7,7	427,22	11,3	198,37	14,9	114,09
4,2	1435,94	7,8	416,34	11,4	194,91	15,0	112,58
4,3	1369,93	7,9	405,86	11,5	191,53	15,1	111,09
4,4	1308,37	8,0	395,78	11,6	188,24	15,2	109,63
4,5	1250,86	8,1	386,07	11,7	185,04	15,3	108,21

11. Závěr

RF-1 je užitečná pomůcka, která může pomoci při analýze anténního systému i při jeho realizaci. Pomůže nám uskutečnit naše sny při efektivním vyzařování velmi drahé modulované v_f energie. Rovněž nám dopomůže k dobrým přijímacím anténám, takže budeme nejen slyšeni u protistanice, ale také my budeme tyto stanice dobře poslouchat.

RF-1 můžeme používat při nastavování všech čtyřpólů v oblasti KV. Je vhodnou pomůckou při řešení vstupního pí-článku PA stupně i jeho výstupního pí-článku. Může nahradit známé GDO a další přístroje k ověření rezonance (Q-metry), impedance (Z-metry) a různé anténascopy, ČSV-metry a ohmometry vůbec.

Po závěru má následovat seznam literatury. Doporučuji, aby si každý sám vypracoval takový seznam. Bez dobrých příruček z radioamatérské praxe se neobejdeme. Proto i těchto pár stránek chce být o trochu více než jen zamyšlením nad problematikou uvedenou v nadpise.