

Antény a impedance.

OK2BUH 2006

Proč jsem začal psát tento seriál? Hodně amatérů si koupilo nebo i postavilo anténní analyzéry. Když se jich ptám co s tím budou dělat, tak většina odpoví: "no budu s tím měřit ty Ohmy". A co ještě? "Taky takové ty kladné a záporné věci". Někteří po mě i chtěli napsat takový návod, asi tak 10 bodů. V deseti bodech to nezvládnou, ale když budu stručný, tak bychom se mohli vejít do deseti kapitol. Bude to asi nejstručnější popis, který existuje v českém jazyce. Slibuji, že nebudu používat vědecké výrazy (snad mi vědci odpustí), budu se úmyslně vyhýbat matematickým vzorcům (ty se stejně opisují), nejsložitějším výrazem bude odmocnina a možná i logaritmus. Mimochodem víte jak má vypadat správná vědecká publikace? Musí jí rozumět pouze autor sám a ostatní vědci ze stejného oboru nesmí mít ani tušení o čem to vlastně je. Nemám nic proti vědeckým článkům, ale bylo jich napsáno dost a já nechci opisovat, chci na to jít jinak - pomocí praktických příkladů a různých legráček.

Kapitola první: Devět "ancí".

Tato kapitola bude nudná teorie, ale anténář který nezná devět "ancí" se nikdy nedozví co vlastně dělá.

V roce 1946 napsal OK1RV v časopise "Krátké vlny" pěkný článek s názvem "14 ancí". V radiotechnice skutečně existuje 14 ancí (správně immitancí), pro práci s anténami nám jich stačí poznat devět. Takže s chutí do toho:

Impedance je komplexní odpor, který se skládá ze dvou složek: První je složka reálná (opravdová, skutečná) a nazývá se **rezistance**. Budeme ji označovat písmenem R. Rezistance je ta část impedance, kde energie vykonává práci. Napětí i proud jsou přesně

ve fázi. Např. odpor umělé zátěže by měl mít čistou rezistanci (bezindukční, bezkapacitní) a veškerá energie se proměňuje v teplo. Rovněž vyzářovací odpor antény je rezistance (vyzařování je taky práce). Ale bohužel ztrátové odpory jsou taky rezistance, ztráta teplem

je taky práce.

Druhá složka je imaginární (zdánlivá, neskutečná nebo jalová), nazývá se **reaktance** a budeme ji označovat písmenem X.

Reaktance může být kladná potom je to **induktance**, nebo záporná bude **kapacitance**.

Zde však pozor! Kapacitancí je v angloamerické literatuře míněna kapacita což je samozřejmě něco zcela jiného. Kapacitu vyjadřujeme ve Faradech, kapacitanci v jalových Ohmech. Totéž platí pro induktanci. Aby nedošlo k omylům, je lépe tyto dva výrazy nepoužívat a nahradit je složeným výrazem **reaktance kapacitní** a **reaktance induktivní**.

Průchodem střídavého proudu reaktancí dochází k fázovému posuvu o čtvrt periody (90 stupňů). Napětí s proudem se tedy nikdy nepotkají ve stejném čase a žádná práce nemůže být vykonávána. U kapacitní reaktance se napětí opoždí za proudem u induktivní reaktance se proud opoždí za napětím. Kdo si to nemůže zapamatovat (jako já) použije známou mnemotechnickou pomůcku: "Cívka je jako dívka, napřed napětí, potom proud".

Pokud se kondenzátor nebo cívka průchodem proudem zahřívají, je to důkaz, že reaktance není čistá (obsahuje taky ztrátovou rezistanci). Potom ovšem fázový úhel nemůže být 90 stupňů, ale bude menší.

Zvláštní případ nastane když induktivní i kapacitní reaktance mají stejné hodnoty (ale samozřejmě opačná znaménka). Tento stav se nazývá **rezonance**. Kromě tohoto efektu (shodnosti reaktancí) nastanou v rezonanci ještě další dva efekty: fázový úhel bude roven nule a impedance dosáhne své maximální hodnoty v případě rezonance paralelní nebo minimální hodnoty u rezonance sériové. Zde je nutno podotknout jednu méně známou věc:

Toto vše platí pouze pro malé hodnoty činitele jakosti Q (do 10). Matematické vysvětlení tohoto jevu by zabralo několik stránek, proto jen stručně: Kromě jiných definic činitele jakosti Q existuje i jedna vědecká, která praví že Q je poměr energie v obvodu akumulované k energii v obvodu ztracené za dobu jedné periody. A v tom je ten problém. U vysokého Q jsou ty poměry na začátku a konci periody lehce nelineární a zavádějí přídatnou chybu.

To jsme ale trochu odbočili, vraťme se k našim "ancím".

Admitance je komplexní vodivost, je to vlastně převrácená hodnota impedance. Vyjadřuje se v jednotkách S (Siemens). Ale opět pozor na angloamerickou literaturu - tam se Siemens nepoužívá, místo toho mají jednotku Mho, což není nic jiného než Ohm napsaný pozpátku.

Admitance se opět skládá ze dvou složek - reálné **konduktance** a imaginární - **susceptance**.

Susceptance opět může být kapacitní a induktivní, ale pozor zde jsou znaménka opačně, kapacitní je kladná!

Možná se teď někdo zlobí, proč se učit převratné hodnoty, na všechny výpočty na anténách přesně musí stačit impedance. Ale později si ukážeme jak krásně se dají počítat přízpusobovací obvody na dvojitém Smithově diagramu právě pomocí admitancí. Pozor, převrácená hodnota mezi impedancí a admitancí platí pouze pro reálnou složku. Např. 50 ohm = 20 mS. Ale impedance komplexní např. 50 + j20 ohm odpovídá komplexní admitanci 17.3 - j7 mS a to už nemá s převrácenou hodnotou nic společného!

Na závěr záludná otázka: Jsou reaktance a rezistance kmitočtově závislé?

Reaktance jednoznačně ano. Kapacitní reaktance se bude se vzrůstajícím kmitočtem snižovat, induktivní zvyšovat. Susceptance opačně (proto ta změna znaménka).

U rezistance to tak jednoznačně není. Klasická rezistance (ohmický odpor) je frekvenčně nezávislá. Ale rezistance jako vyzářovací odpor antény se bude s kmitočtem měnit, protože se bude měnit vlnová délka vzhledem k mechanickým rozměrům zářiče.

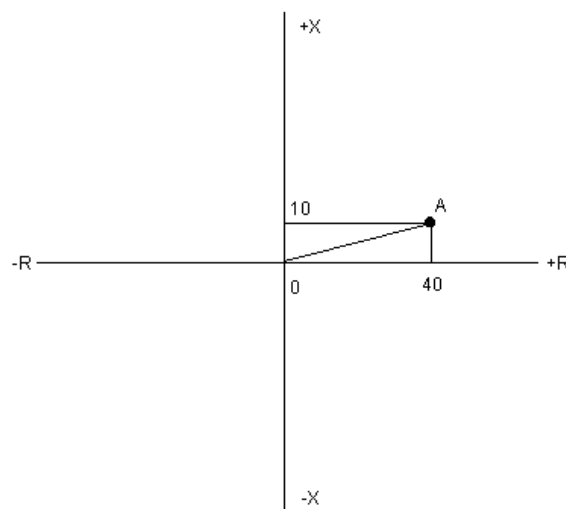
Kapitola druhá: Impedance je plocha.

Ano, impedance má dva rozměry rezistanci a reaktanci. Není tedy možno ji zobrazit jako úsečku, ale vždy jako plochu a ještě k tomu nekonečnou. Je možno si to představit jako turistickou mapu, kde každý bod je definován dvěma souřadnicemi: zeměpisnou délkou a šířkou. Představme si, že jsme turisté a chceme dojít třeba do Pardubic. Máme ale přístroj GPS s rozbitým displejem, který ukazuje pouze vzdálenost, třeba 30 km. Víme tedy, že jsme na obvodu kružnice o poloměru 30 km v jejímž středu se nacházejí Pardubice. Ale nevíme směr. Zkoušíme tedy jít na západ, vzdálenost se zvětšuje. Dobrá, zkusíme to na východ a po chvíli zjistíme, že to také není ono. Tímto způsobem nakonec do večera Pardubice najdeme, ale značně vyčerpaní. V naprosto stejné situaci se ocitne stavitel antény vybavený pouze reflektometrem (měřičem PSV). Reflektometr se totiž chová přesně jako ta GPSka s rozbitým displejem - ukazuje pouze vzdálenost ke křídlenému bodu $50 + j0$, ale nevíme kterým směrem. Tak zkusíme zkracovat, potom prodlužovat, večer uléháme vyčerpaní a na anténě máme 50 uzlů. Je nějaké řešení? Ano, anténní analyzátor, který ukáže přesné souřadnice bodu kde se nacházíme (tedy rezistanci a reaktanci) vektor směru kam chceme jít a samozřejmě taky vzdálenost (PSV).

Nedávno se ptal jeden radioamatér na pásmu: "Když má moje anténa impedanci $40 + j10$ je to dohromady 50 Ohmů?" První číslo udává rezistanci, druhé induktivní reaktanci (kladné znaménko). Přímý součet jablek s hruškama samozřejmě možný není, ale jde to pomocí pravidla o sčítání vektorů vzájemně kolmých. Každé číslo umocníme, potom je sečteme a výsledek odmocníme. Vyjde nám 50 Ohmů. Právě jsme vypočítali absolutní hodnotu impedance $|Z|$, zvanou také magnituda. Nyní si to zkusíme vyřešit graficky podle obr.1. Obrázek představuje část nekonečné plochy. Na vodorovnou osu vynášíme rezistanci R , na svislou reaktance X . Bod A je impedance naší antény. Přepínač pravouhlého trojúhelníka nám vypočítala absolutní hodnotu impedance, úhel který svírá se základnou není nic jiného než fázový úhel ϕ a jeho kosinus nám udává účinnost přenosu. Jak jednoduché...

To je sice moc prima, že vidíme na mapě impedance kde jsme, ale jaké je PSV a jak ho napravit? Dá se to zjistit na tomto grafu? Samozřejmě dá, ale na pravouhlém grafu o nekonečné ploše a lineárních souřadnicích by to bylo poněkud nepohodlné. Naštěstí pro nás ve třicátých letech minulého století napadla pana Philipa H. Smitha, v inženýra společnosti RCA geniální myšlenka. Odstranil levou půlku nekonečné plochy, protože záporné rezistance se v běžném životě až tak často nevyskytují a pravou půlku nekonečnou stočil do kruhu!

Tím se rázem stane z nekonečné plochy konečná! Velkolepé a geniální! Nefunguje to tak náhodou i ve vesmíru? Jen pro zajímavost: Asi rok před Smithem napadla stejná myšlenka japonského inženýra Kurakawu, ale nedokázal ji tak rozvinout jako Smith.



Kapitola třetí: Úvod do Smithova diagramu.

Napřed si stáhneme kompletní Smith Chart ve formátu pdf [zde](#). Potom můžeme stáhnout "proložený" diagram [tady](#). Ten druhý zobrazuje současně impedance i admitance. Začneme tím "obyčejným" a až se nám bude zdát příliš jednoduchým, přejdeme na ten druhý. Doporučuji oba vytisknout abychom je měli stále na očích. Znáš dokonce jednoho a ten si je podleplil lepenkou a nosil je všude sebou. Jednou se nudil v čekárně u zubaře, tak to vytáhl a začal si tahat figurkami z "Člověče nezlob se". Pozoroval ho jeden děda a říká: "Když mě tu hru naučíte, tak si to s Vámi zahraju". (Já se nepříznám, chytil by mne Chocholoušek).

Tak už ho máte před sebou? Dobře, první věc které si povšimneme je **osa čistých rezistancí**. Je to jediná rovná čára na grafu a rozděluje ho na dvě poloviny. Někdo je zvyklý si diagram otočit, aby byla tato osa svisle, dnes je zvykem ji dávat vodorovně. Je to úplně jedno, ale dejme si ji teď vodorovně abychom "mluvili stejnou řečí". Tato osa je jediné místo v celém diagramu, kde se nevyskytují žádné reaktance. Vše co je nad osou má kladnou (induktivní) reaktanci nebo kladnou (kapacitní) susceptanci. Vše co je pod osou, tak opačně. Levý začátek osy má rezistanci nula, tedy zkrat, pravý konec má rezistanci nekonečno, tedy otevřený obvod (open circuit).

Dále si všimneme **kružnice čistých reaktancí** (současně i čistých susceptancí). Je to největší kružnice v diagramu, která vlastně tvoří jeho obvod. Na tuto kružnici bychom tedy mohli rozmístit různé bezeztrátové cívky a kondenzátory, rezistance je zde nulová. Celá ostatní plocha diagramu obsahuje kombinace různých rezistancí a reaktancí nebo konduktancí a susceptancí. Nyní si povšimneme kružnic, které se zvětšují zprava doleva a jsou zobrazeny celé. Jsou to kružnice **konstantních rezistancí**. Všechny body na takové kružnici mají stejnou rezistanci, ale každý má jinou reaktanci. Dále vidíme kružnice **konstantních reaktancí**, jsou to vlastně jen části kružnic, které chtějí jakoby "vyběhnout" z diagramu ven. Všechny body na nich mají stejnou reaktanci a různé rezistance.

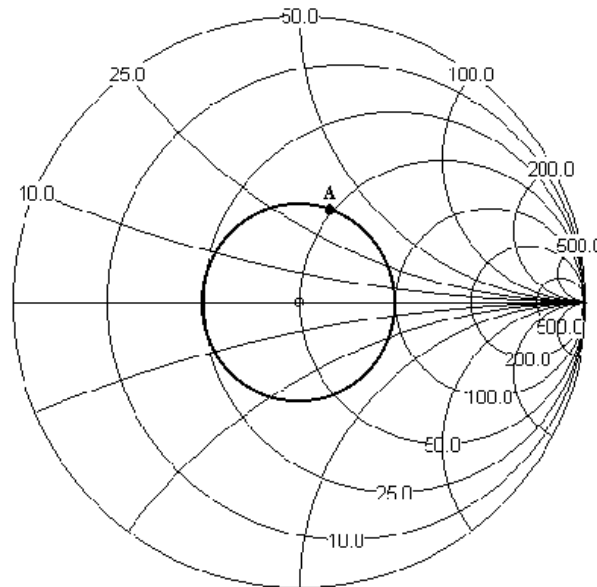
Nyní si povšimneme středu diagramu. Vidíme v něm číslo 1.0. To znamená, že diagram je **normován** pro jednotkovou impedanci. My ale většinou pracujeme s impedancí 50 ohm a proto si budeme normovat diagram pro tuto hodnotu (ale můžeme samozřejmě pro jakoukoliv jinou, třeba 75 ohm). Jak se to udělá? Zcela jednoduše, všechna čísla uvnitř diagramu vynásobíme padesáti. Takže teď máme ve středu diagramu naši vytouženou "golfovou jamku", která jako jediná má impedanci 50 +-j0 na kterou se těší náš koaxiál i transeiver.

Většina činností při práci se "šmitřákem" spočívá právě v tom "nahánění míčku do jamky".

Povšimneme si ještě čtyř kruhových stupnic na okraji diagramu. První se jmenuje "**Počet vlnových délek ke zdroji**". Začíná nulou a končí 0.50. Ne nadarmo se říká koaxiálu dlouhému $\lambda/2$ "opakovač impedance". Prodlužováním vedení vlastně otáčíme diagram dokola a každá polovina vlny bude přesně jedna otáčka. "**Počet vlnových délek k zátěži**" je totéž na druhou stranu. A s tímto otáčením se bude samozřejmě měnit i fázový úhel, což indikují poslední dvě stupnice.

Tak co, už bolí hlava? To přejde, taky mne bolela. Ale jednou přijde okamžik, kdy se rozsvítí a člověk pochopí všechny souvislosti naráz.

Zkusíme praktický příklad. Naše antena má impedanci změřenou antenním analyzerem 50 +j35 ohm. Pokusme se zjistit jaké má PSV. Každý analyzér nám to samozřejmě ukáže přímo, ale teď jde o výcvik. Namalujeme si tedy do Smithova diagramu bod o souřadnicích 50 +j35. Víme, že musí ležet na průsečíku kružnice konstantních rezistancí 50 a kružnice konstantních reaktancí 35 (zde musíme trochu interpolovat) a musí být v horní polovině (kladná reaktance). Tak už ho máme? Výborně, označíme si ho třeba jako bod A. K bodu musí být taky přiřazena frekvence, protože si pamatujeme, že reaktance je kmitočtově závislá. Záleží ale na tom, co chceme dělat. Pokud vymýšlíme přizpůsobovací článek, tak budou všechny body v grafu na stejné frekvenci a není třeba ji u každého psát. Když ale testujeme frekvenční závislost anteny, tak bude každý bod na jiné frekvenci. Dobře a co bude s tím PSV? Na to nám stačí obyčejné křížátko. Zapíchneme ho do středu grafu, tuhou na náš bod a točíme doprava, až protne osu rezistancí. A na ose čteme přímo hodnotu PSV=2, pokud je graf normovaný na jednotkovou impedanci a nebo v našem případě vidíme rezistanci 100 ohm, což poděleno 50 je také 2. A pokračujeme v točení dál, dostáváme se do oblasti záporných (kapacitních) reaktancí, znovu protne osu na hodnotě 25 ohm. To je polovina z 50, to je přece taky PSV=2, je to náhoda? Ale není, to je právě to kouzlo kruhového diagramu! A pokračujeme až máme celý kruh. A teď si zapamatujeme velmi důležitou větu, která je klíčem k bráně pochopení: **Všechny body na kružnici opsané kolem středu diagramu mají stejné PSV, přestože má každý jinou impedanci (v obou složkách)**. Velikost PSV je dána poloměrem této kružnice. PSV=1 má jediný bod na grafu - jeho střed. A nekonečné PSV má jediná kružnice - obvod grafu t.j. kružnice čistých reaktancí. Tak už se začíná v hlavě rozsvěcovat? No asi je ještě brzo, ale trošičku žhavit by to už mohlo.



Kapitola čtvrtá: Vlastnosti vedení.

Uděláme si opět praktický pokus. Koaxiál na konci zkratujeme a začneme ho postupně prodlužovat. To ho budeme po centimetrech nastavovat a pájet? To je hrozná práce! Nešlo by to opačně? Koupíme 20 m, sekáček na maso a... I tak je možno. Ale znám ještě třetí řešení: Nebudeme s ním dělat nic a budeme postupně zvyšovat frekvenci, "šmiťák" to nepozná, počet vlnových délek na vedení se bude zvyšovat. Ale pro názornost zůstaneme u toho původního výkladu. Takže znova: Nekonečně krátký, bezztrátový a zkratovaný koax má rezistanci nula, reaktanci nula. Začneme tedy vlevo na samém kraji osy a začneme ho postupně prodlužovat. Začne narůstat induktivní reaktance, ale rezistance ne (řekli jsme, že je bezztrátový). Pohybujeme se tedy po obvodu diagramu "směrem ke zdroji". PSV je samozřejmě nekonečno (no bodejť, když je zkratovaný). Reaktance stále narůstá a povšimneme si, že při délce 0,125 t.j. 1/8 lambda bude +j50 ohm. Zapamatujeme si že: **Při délce 1/8 a taky 3/8 bude reaktance vedení rovna jeho impedanci.** Je to jedna z možností, jak zjistit impedanci neznámého koaxiálu. A prodlužujeme dál. Induktivní reaktance stále narůstá a když dosáhneme celé půlotáčky, tak se stane divná věc: Reaktance uletí do nekonečna a současně se objeví nekonečná rezistance protože jsme se dotkli osy rezistancí na pravé straně. Co to proboha je? Nic zvláštního, jsme na délce lambda/4, je to paralelní rezonance. A teď vedení o kousíček prodloužíme a opět divná věc: Reaktance se vrátila z nekonečna, ale z druhé strany, je kapacitní! Samozřejmě, protože už jsme v dolní polovině diagramu. A jedeme dál, kapacitní reaktance klesá, když dosáhneme délku 0,375 t.j. 3/8 lambda, tak má opět 50 ohm, tentokrát ale -j. A už jsme na nule, udělali jsme celou otáčku t.j. lambda/2 a vedení při této délce se chová jako opakovač impedance a opakuje ten zkrat na začátku. Jak jednoduché! Co se ale stane když na začátku nebude zkrat ale necháme to otevřené? Vše bude stejné, pouze diagram se otočí o půl otáčky (budeme začínat vpravo). A nemusíme začínat zrovna na ose rezistancí, ale kdekoliv. Stačí si pouze zapamatovat, že vedení lambda/2 opakuje impedanci proto, že otočí diagram o celou otáčku, vedení lambda/4 otočí o půlotáčku a proto dělá vše opačně: z kladné reaktance udělá zápornou, z malé impedance velkou atd.

Amatéři často používají délku koaxu lambda/2 pro měřicí účely, aby měli jistotu, že to co naměří dole mají i u antény. Zbytek koaxu mají smotaný pod stolem a zbytečně zvětšují ztráty. My znalci Smithova diagramu teď můžeme "machrovat", že dokážeme měřit na libovolné délce (musíme ji ale znát) a diagram si prostě pootočíme. Některé analyzáry třeba VA1 od fy Autek mají tuto funkci již zabudovanu. Zde možná bude někdo oponovat, že délku lambda/2 používá proto, aby měl dole reálnou impedanci bez reaktance. Ale proč? Pokud má PSV nízké, tak je to jedno a pokud je vysoké, tak stejně musí použít antenní tuner. A je lhostejné jestli ten kondenzátor otočí víc doleva nebo doprava, na ztráty to nemá vliv. Na ztráty má vliv jen to PSV, a to se přece s žádnými násobky nemění, pouze plynule klesá s délkou.

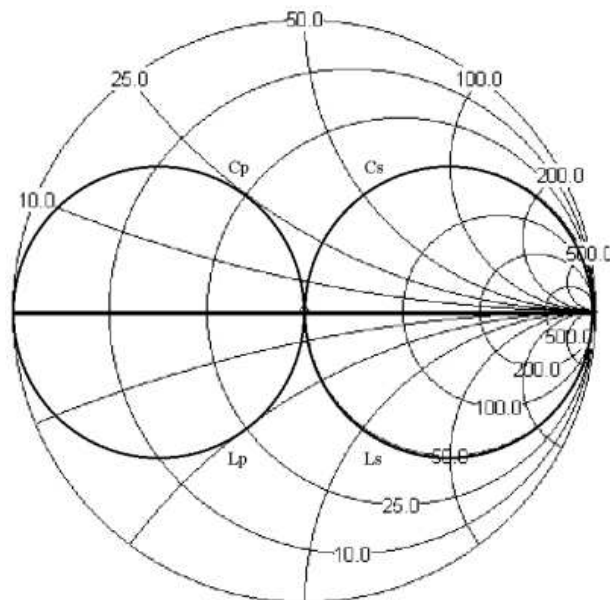
Zatím jsme uvažovali koaxiál bezztrátový, ale jak se bude chovat ten skutečný? Docela podobně, ale prodlužováním bude narůstat rezistance. Jsou to ohmické ztráty v mědi a dielektrické ztráty se nám taky projeví jako rezistance. Ztráty začnou vylepšovat PSV, už nebude nekonečné. Při větší délce už nebude reaktance obíhat po obvodu, ale s každou otáčkou se bude přibližovat ke středu, výsledek bude spirála, která při velké délce v tom středu skončí. Takže pokud máme několik stovek metrů starého koaxu, můžeme s ním omotat dům a máme dokonalou umělou zátěž.

Co můžeme analyzárem na koaxu měřit? **Délka:** Koax musí být na konci zkratován nebo rozpojen. Postupně zvyšujeme frekvenci a sledujeme sériové rezonance tzn. reaktance nula a rezistance blízko nule. Ze dvou blízkých rezonancí potom vypočítáme délku, samozřejmě elektrickou, mechanickou musíme ještě násobit koeficientem zkrácení. **Impedance koaxu:** opět rozpojen nebo zkratován a změnou frekvence najdeme 1/8 lambda a změříme reaktanci.

Přesnější metoda: koax zatížíme potenciometrem a hledáme minimální rozvlnění, potom potenciometr změříme ohmetrem. **Útlum koaxu v dB:** rozpojen nebo zkratován a měříme RL (return loss, česky útlum odrazu), hodnotu musíme dělit dvěma, jinak by to byl útlum tam i zpátky.

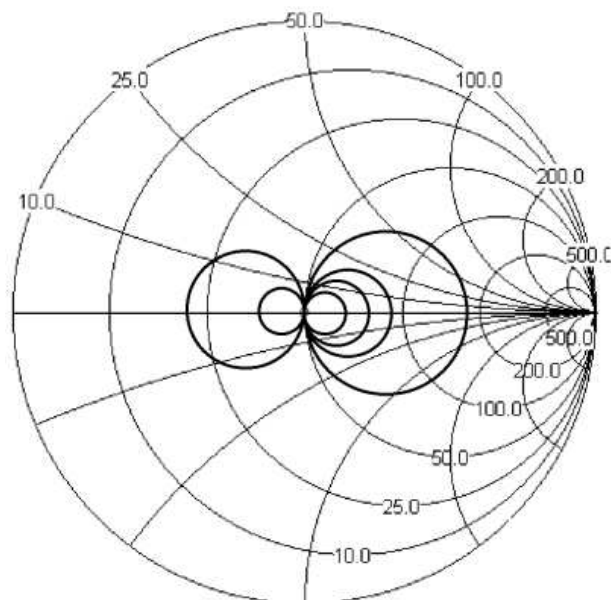
Kapitola pátá: Pohádka o kruhové krajině

Představme si, že žijeme v podivné zemi, kde ministerstvo dopravy zakázalo stavět rovné silnice a veškerá doprava probíhá po kruhových objezdech. Může za to nějaký pan Smith, protože nám stočil nekonečno do kruhu. Jedinou výjimku tvoří dálnice západ - východ, která je rovná (osa rezistancí). Uprostřed této divné země se nachází hlavní město. A my jsme zaměstnanci společnosti, která má za úkol sbírat impedance po celé krajině a vozit je do města. Do města ale vedou pouze tři cesty: Dálnice, kružnice konstantních rezistancí 50 ohm a kružnice konstantních konduktancí 20 mS. Ta poslední kružnice ale na běžném "šmit'áku" není, musíme si ji tam domalovat podle obrázku nebo použít diagram "proložený", který zobrazuje impedance i admittance současně.



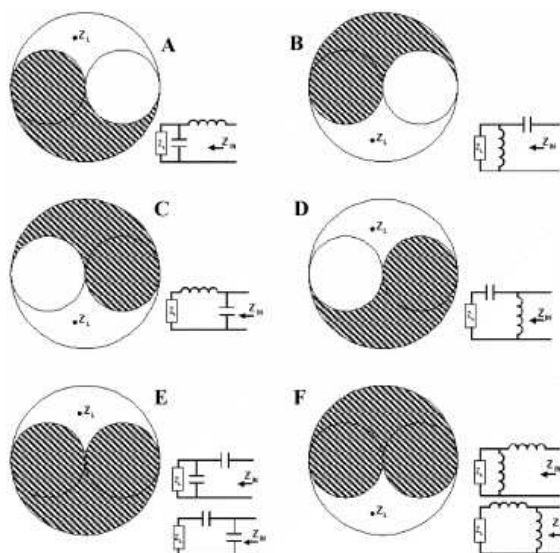
Do města vedou ještě jiné cesty, ale o tom později. Máme k dispozici tento "vozový park": **Transformátory** - ty se hodí výborně pro jízdu po dálnici, např. impedanci 200+ j 0 ohm dovezeme do města transformátorem (balunem) 1:4. Mimo dálnici jsou ale neohrabané, špatně zatáčejí a mají ztráty (reaktance jim vadí). Dále máme **odpory**, ty také mohou jezdit po dálnici i mimo ni, ale používáme je málo, protože "hrozně žerou" a energie našeho vysílače je vzácná. Naše oblíbená "voztka" budou kondenzátory a cívky. **Sériový kondenzátor** umí zatáčet pouze doleva. Budeme s ním tedy do "města" dovážet impedance po kružnici 50ti ohmových rezistancí směrem od severu až východu. **Sériová cívka** zatáčí pouze doprava, bude tedy dopravovat impedance po stejné kružnici od jihu až východu. **Paralelní kondenzátor** zatáčí doprava, ale po kružnicích konduktančních, takže budeme přijíždět do města od západu až severu a konečně **paralelní cívka** nám vykryje zbylou oblast západ až jih.

Naše poslední "voztka" budou **sériové linky** a **pahýly**. Budou to většinou různé úseky koaxiálů. Sériové linky si dokáží kreslit vlastní kružnice a to jsou ty další "cesty do města" o kterých byla řeč. Každé sériové vedení totiž nakreslí kružnici jejíž střed se bude nacházet na ose rezistancí na hodnotě odpovídající charakteristické impedanci tohoto vedení. Pokud zvolíme průměr této kružnice tak, aby procházel "městem", tak všechny impedance po jejím obvodu do města můžeme dovézt. Situaci vidíme na obrázku. A proč jsme si tu pohádku vykládali? Protože se teď naučíme přizpůsobit cokoliv k čemukoliv.



Kapitola šestá: Přizpůsobení pomocí L článků

Pomocí Smithova diagramu lze velmi snadno navrhovat různé LC přizpůsobovací obvody. Ukážeme si to na příkladu klasického L článku. Můžeme to provádět pomocí pravítka, kružítko a kalkulačky, ale v dnešní době je práce pomocí počítače daleko efektivnější. Vhodných programů je několik, doporučuji vynikající program švýcarského profesora Fritze Dellspergera, který je možno stáhnout zdarma zde: <http://fritz.dellsperger.net>. Neplacená verze sice umožňuje použít pouze pět elementů, to nám ale pro amatérské použití bude stačit. Výklad ale povedu tak, aby mohli "kružítkovat" i ti, kteří počítač nemají. Antenním analyzerm jsme změřili impedanci naší anteny 25+J100 na frekvenci 7 MHz. To odpovídá PSV=10,3. Zaneseme tedy souřadnice bodu resistance = 25 a kladná reaktance = 100. Protože žádný L článek není schopen pokrýt celou plochu impedancí, musíme napřed zvolit vhodný typ podle následujícího obrázku.

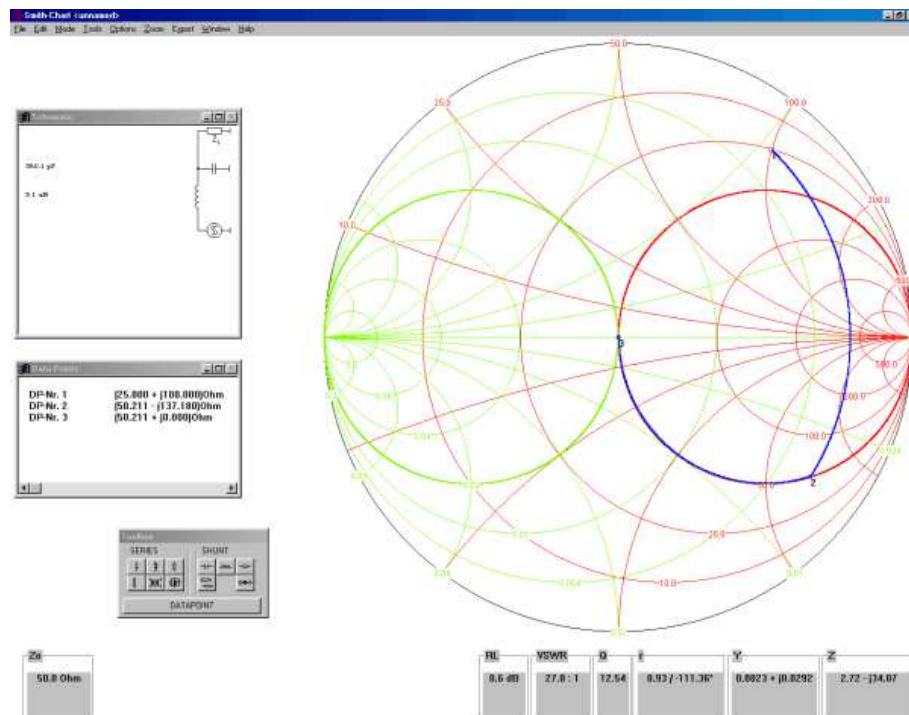


Vidíme, že pro náš případ jsou vhodné typy A, D a E. Rozhodneme se zda preferujeme horní propust, dolní propust, nebo nechceme použít indukčnost. Zvolíme tedy např. typ A. Postupujeme od zátěže. Jako první tedy budeme zadávat paralelní kondenzátor. Klikneme na značku kondenzátoru v nabídce SHUNT (paralelní). Program sám nakreslí odpovídající kružnici konstantních konduktancí po které se můžeme pohybovat pomocí myši. Počátek kružnice leží v našem bodu a je možno se pohybovat pouze pravotočivě, přesně tak, jak jsme četli v předešlé kapitole. Nyní je naším úkolem dostat se na kružnici resistancí 50 ohm, která nás "doveze do města", tedy do středu diagramu. Protože víme, že další prvek je sériová cívka, která umí zatáčet taky doprava, musíme se dostat až na ten druhý průsečík v dolní polovině diagramu. Na průsečíku klikneme myší. Kruhový oblouk se v tomto místě ukončí a program nám automaticky vypočítá kapacitu kondenzátoru 360 pF a zobrazí ji na schematu. "Kružítkáři" to mají trochu složitější, musí kapacitu vypočítat sami. Musí si odměřit kolik susceptance na kruhovém oblouku "odjeli". Začali jsme na -0.0094 a končili na +0.0064, celkový rozdíl je tedy 0.0158 S. Tuto hodnotu zadají do vzorce pro Cp na následujícím obrázku. (Susceptance jsou značeny B a reaktance X a vše se zadává v základních jednotkách Hz, ohm, Siemens, Henry, Farad).

$$L_s = \frac{X}{2\pi f} \quad C_s = \frac{1}{2\pi f X}$$

$$L_p = \frac{1}{2\pi f B} \quad C_p = \frac{B}{2\pi f}$$

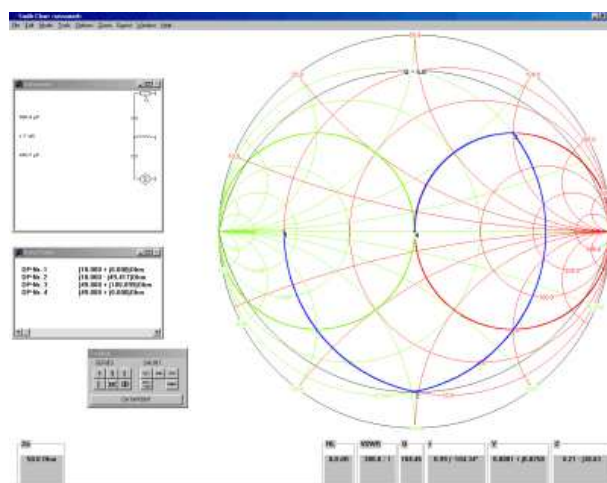
Dále je to už jednoduché. Zadáme sériovou indukčnost, dojedeme do "města" (středu diagramu). PSV bude =1 a program zapíše do schematu hodnotu indukčnosti 3,1 mikroH. Hotovo! "Kružítkáři" ještě odečtou kolik odjeli tentokrát ne susceptance ale reaktance, bylo to z -136,5 ohm do nuly, takže $X=136,5$ a zadají do vzorce pro výpočet L_s . Vypadá to možná složitě, ale při troše tréninku budete brzo schopni za minutu vypočítat víc přizpůsobovacích článků, než udělat závodních spojení. Na počítači, samozřejmě. Kružítkem to nezkoušejte, to je na vypíchnutí oka!



Kapitola sedmá: T články a Pí články

V minulé kapitole jsme se naučili navrhovat L články. Jejich výhodou, kromě jednoduchosti jsou minimální ztráty. Bohužel obsáhnou jen polovinu plochy Smithova diagramu, proto jsou vhodné pouze pro jednocelová přizpůsobení. Pokud potřebujeme univerzální tuner, musíme použít T článek nebo Pí článek. Zásady návrhu jsou podobné, ale je potřeba hlídat abychom nedosáhli vysokého činitele provozního Q. Proč se bojíme vysokého Q? Protože ztráty tuneru jsou dány poměrem Q naprázdno ku Q provoznímu. Pokud tedy tuner bude mít Q naprázdno = 100 (to je dáno kvalitou komponentů) a nám se podaří navrhout provozní Q = 60, tak jsme vlastně přišli o 60% výkonu (utluče se v cirkulačních proudcích). Toto jsme u L článků hlídat nemuseli, tam se Q nastaví automaticky na hodnotu potřebnou pro daný převod impedancí. Pokud ale máme k dispozici tři proměnné prvky, tak si můžeme "nakroutit" libovolné Q a tedy i ztrátu. Při návrhu si tedy stanovíme jakou ztrátu "psychicky uneseme" a v programu si zapneme **kružnice konstantního Q**. Můžeme si jich zapnout libovolný počet, třeba pro Q = 3, 5, 10, 15 a snažíme se je v průběhu návrhu nepřekročit. Hodnoty Q pro jednotlivé body se zobrazují taky v okně výpočtů.

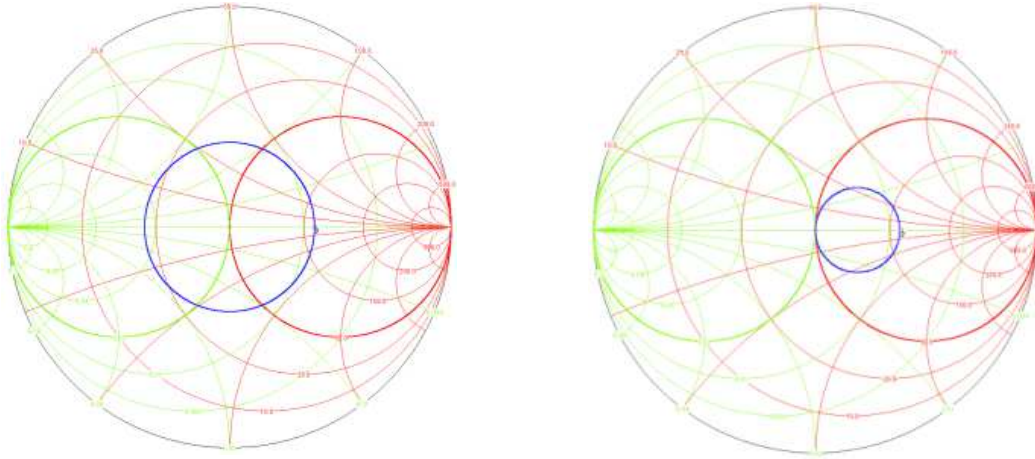
Zkusíme konkrétní návrh: Zadáme datapoint impedance naší anteny, třeba 10 +j10 na frekvenci 3,5 MHz. Stanovíme si maximální Q = 5 a zapneme si na to kružnici. Začínáme sériovým kondenzátorem. Jedeme myší po kružnici konstantních rezistancí a sledujeme jak klesá kapacita kondenzátoru. Při hodnotě asi 920 pF narazíme na kružnici Q. Dál tedy nesmíme, pokud nechceme překročit ztrátu. Klikneme myší, kruhový oblouk se ukončí, zadáme paralelní indukčnost a pokračujeme po další kružnici až k hornímu průsečíku s "přiváděčem do města". Zadáme poslední sériový kondenzátor a dál to už znáte.



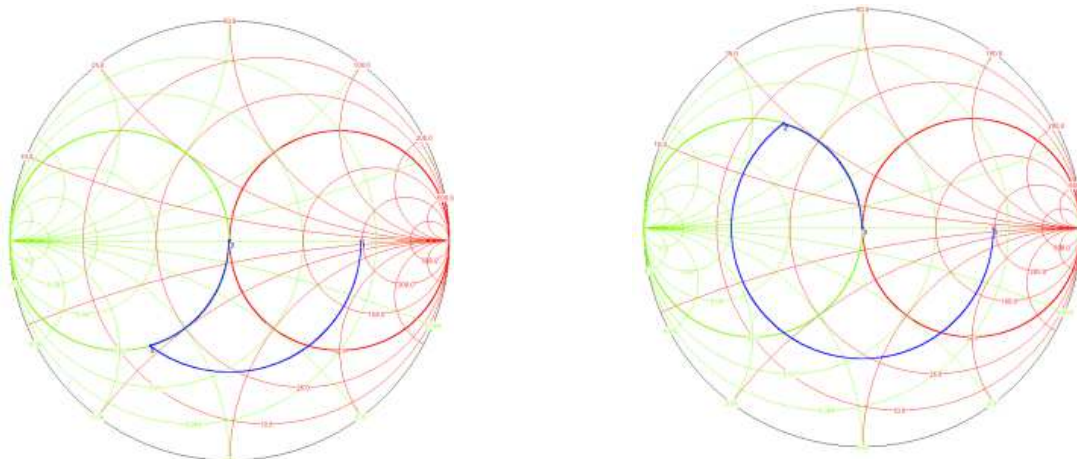
No jo, ale žádný tovární T článek kapacitu 920 pF přeci nemá, ty mají tak 200 maximálně 250 pF. A to je právě to neštěstí. Jakou to bude mít ztrátu si vypočítejte za domácí úkol. Hruža co? A to platí jen v případě, že je uživatel poučen a dá si ten výstupní kondík naplno. Jinak si může nakroutit ztrátu libovolnou. Je pravda, že na vyšších impedancích to tak hrozné nebude, tam zase bude mít problém Pí článek. Tak zatím trénujte různé kombinace T i Pí článků pro impedance "posbírané" z celé plochy a sledujte ztráty.

Kapitola osmá: Přizpůsobení vedením.

Máme deltaloop a naměříme anténním analyzerm impedanci 112,5 ohmu a reaktanci J0 (je tedy v přesné rezonanci). Chtěli bychom ho přizpůsobit na 50 ohm změnou délky padesátiohmového koaxiálu. Podaří se to? Ani náhodou! Situaci vidíme na obrázku. Uprostřed kruhového objezdu stojí krásná blondýna (hodně mladí a hodně staří si mohou představit jiné lákadlo, třeba plný talíř dobrého jídla). Můžeme jezdit dopředu, dozadu, pomalu nebo rychle a jsme od blondýny pořád stejně daleko. Přitom souřadnice našeho auta se mění (impedance), ale vzdálenost ke středu, tedy PSV, se nemění. Ale přece někteří amatéři stříhají koaxiál, hledají nejlepší PSV a daří se jim to. Nic se jim nedaří! Pouze "naletěli" svému PSVmetru! Většina přístrojů totiž nedokáže tu kružnici správně opsat. Zmatou je kmitny napětí a proudu a opisují elipsu nebo jiný "patvar". Čím je přístroj "kulatější", tím je dražší. A ty skutečně "kulaté" stojí stovky tisíc i víc (to se týká spíš analyzérů). Takže nestříhejte koaxiál, dělá si to z vás srandu. Může být ale ještě jedna příčina proč se PSV mění. Špatná symetrizace, koaxiál vyzářuje. Ale o tom už jsem psal v jiném článku.



No dobrá, ale jak ten případ vyřešíme? Jednoduše! Necháme "blondýnu" tam kde je a posuneme celý "kruhový objezd" doprava, jak to vidíme na dalším obrázku. Použijeme koaxiál 75 ohm a po půlotáčce t.j. $\lambda/4$ jsme u blondýny. Vedení se vždy otáčí kolem své vlastní impedance, zvolíme tedy takovou impedanci, aby se kružnice na jedné straně dotkla středu diagramu a druhou stranou protla impedanci anteny. Dále můžeme samozřejmě pokračovat libovolnou délkou padesátiohmového koaxu. Jaké z toho plyne poučení? **Koaxiál $\lambda/4$ může transformovat impedanci nahoru i dolu, ale cílová impedance musí být rozdílná od jeho vlastní.** Není možno padesátiohmovým koaxem transformovat něco na 50 ohm. Ještě vzoreček $Z_0 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$. Problém je ale v tom, že nemáme příliš na výběr v impedancích koaxiálů. Kdyby měl náš deltalooop impedanci 200 ohm, tak bychom na tento druh přizpůsobení potřebovali koaxiál 100 ohm a ten není zcela běžný. Zkusíme to jinak: Použijeme obyčejný koax třeba 50 ohm a budeme prodlužovat délku až se dotkneme kružnice konduktancí 20 mS.



Aha, to už známe, z tohoto místa se umíme dostat do středu pomocí paralelní cívky. Šlo by to, ale mít cívku venku na dešti asi není to pravé. Ale protože už známe vlastnosti vedení, tak víme, že úsek vedení se může chovat jako indukčnost. Zkusíme do tohoto místa zařadit **paralelní pahýl**. Pahýl z koaxiálu je odolný proti povětrnosti, dá se zasunout třeba do trubky stožáru, nebo i zahrabat do země. Od pahýlu až k zařízení už může mít koaxiál libovolnou délku a je dokonale přizpůsobený. Program se nás bude ptát, jestli má být pahýl zkratovaný nebo otevřený. Pravděpodobně zvolíme variantu, která vychází kratší. V dolní polovině diagramu (kapacitní) vychází kratší zkratované pahýly, v horní polovině otevřené. Můžeme ale preferovat ochranu před statickou elektřinou, v tom případě použijeme vždy zkratovaný, i když bude delší. Náš příklad má samozřejmě dvoje řešení. Můžeme náš seriový koaxiál prodlužovat až k tomu hornímu průsečíku s kružnicí konduktancí a potom použít pahýl jako paralelní kapacitu. Ta první varianta je ale výhodnější, protože ta sériová část je přeci jenom namáhána vyšším PSV a proto by měla být co nejkratší. Může být pahýl zapojen taky jako sériová indukčnost nebo kapacita? Může, ale není to výhodné, protože na plášti bude vř energie a bude to vyzařovat. Pomocí pahýlů se dá opravdu jednoduše a přitom kvalitně přizpůsobit cokoliv. Bohužel pouze na jedno pásmo.

Kapitola devátá: Ztráty napáječů

Stáhneme si ještě jeden vynikající program TLDetails od AC6LA na jeho stránkách <http://www.ac6la.com/tldetails.html>. Program obsahuje velké množství koaxiálních i dvojlínekových napáječů. Můžeme si nadefinovat i vlastní. Program vypočítá skutečnou ztrátu vedení v závislosti na PSV, dokáže zjistit ztrátu v mědi i ztrátu dielektrickou. Dokáže taky přepočítat impedanci ze vstupu na výstup a opačně a co je velmi důležité, při tomto výpočtu s tou ztrátou a jejím vlivem na impedanci počítá. Vestavěný Smithův diagram tedy neběhá dokola jako "oslík na kolotoči", ale opisuje skutečnou spirálu konkrétního napáječe.

Enter values directly, or click spinners, or click and hold spinners.

1. Choose Transmission Line, Modify Parameters if Desired.

Type: Generic 450 ohm Window

Ro: 450

VF: 0.91

K1: 0.027129

K2: 0.000242

(Serenade equivalents) C1: 0.028146, C2: 0.007940

2. Set Frequency, R, and X.

MHz: 3.5

R: 30

X: 20

At Input / At Load

Matched Loss dB / 100 m: 0.169

3. Set Line Length and Input Power.

Length: 17

Units: Meters

Electrical Length Modulo 1/2 Wavelength: 0.2181 λ, 78.52 °

Input Watts: 100

Results

	At Input	At Load
R	1095.94	30.00
X	2380.48	20.00
Z	2620.65	36.06
SWR	14.342	15.054
SWR (50)	125.369	2.044

Line Zo: 450 -j 1.088

Loss

	dB	W	% of Total Loss
Cond.	0.028	0.635	12
Diel.	0.000	0.011	0
SWR	0.199	4.475	87
Total	0.228	5.120	

Power at Load: 94.88 W

Prime Center: 50 (Differs from current Ro)

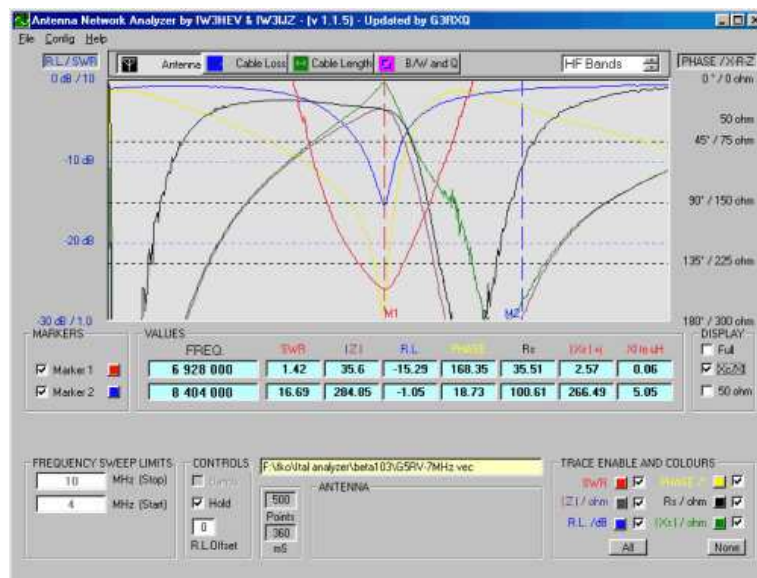
Close

Zkusíme praktický pokus. Natáhneme dipól 2x19 m ve výšce 10 m nad zemí. Připojíme 17 m koaxiálu RG58. Antenním analyzerem naměříme dole hodnotu rezistance 87 ohm a reaktance 0 na frekvenci 3,75 MHz. Reaktance je nulová, naše antena je asi v rezonanci. Je to pravda? Zkusme si naměřené hodnoty zadat do programu jako "At input". Zadáme typ koaxiálu a jeho skutečnou mechanickou délku (program si příslušné zkrácení vypočítá). V tabulce "At load" vidíme hodnotu impedance na svorkách anteny: 34,01 -j17,45. Takže žádná rezonance, antena je "krátká". Vidíme PSV zhruba 1,7, totální ztrátu asi 0,5 dB, to odpovídá ztraceným 11 Wattům ze sta. To není až tak špatné. Tak a co se stane když antenu "znásilníme" tunerem na 7 MHz? Tuner to bezpochyby dokáže na PSV=1, ale co udělá ztráta? Zkusme analyzerem změřit impedanci na 7,05 MHz.. Naměřili jsme 8,8 ohm -j66 a zadáme do programu jako "At input". Nezapomeneme taky změnit frekvenci. To je "masakr"! PSV nahore je 105, dole se nám "vylepšilo" na 15 vlivem ztráty kabelu, ztráta je přes 8 dB, to znamená, že ze 100 W jsme 85 ztratili a na antenu se dostane pouze 15 W. To je nepoužitelné, co teď? Máme dvě možnosti, buď to jinou antenu nebo jiný napáječ. Necháme antenu jak je a použijeme "americkou" dvojlítku 450 ohm (dá se koupit u nás). Napřed si ale přepíšeme skutečnou impedanci anteny z tabulky "At load" t.j. 4981 +j1174 do těch horních okýnek také jako "At load" a změníme typ napáječe na "Generic 450 ohm Window". To je paráda! Ztráta klesla na pouhých 0.26 dB. No jo, ale teď se nám určitě pokazila ta osumdesátka. Ale nepokazila, vyzkoušejte. Žádné PSV nás už nemusí zajímat, máme laděný napáječ, bez problémů to tunerem přetáhneme kamkoliv s minimální ztrátou. Ale co když nemáme symetrický tuner? Žádné neštěstí. Připojíme na dvojlítku krátký kousek koaxu s navlečenými toroidy jako proudový balun a připojíme na obyčejný tuner. Koax bude namáhán vysokým PSV, ale nebojte, nevybuchne. Ztrátu už si umíme vypočítat, pokud bude krátký, tak to bude pár desetin dB. Jaké z toho plyne poučení? Nezabývejme se úzkostlivě PSV, ale vždy pečlivě kalkulujeme celkové ztráty napáječů a tunerů.

Kapitola desátá: Antenní analyzéry

Analyzérů se vyrábí hodně, ale většina je pro amatéra cenově nedostupná. Ty cenově dostupné zase nemají grafické zobrazení a některé dokonce nedokáží rozlišit reaktanci a rezistanci a zobrazují pouze absolutní hodnotu impedance (RF1). Práce z analyzérem který má pouze numerický displej je velmi nepraktická a časově náročná. Představme si, že nastavujeme třeba všepásmový vertikál. Musíme provést minimálně sto měření a nakreslit si to do grafu. Na anteně s čímkoliv pohneme a opět sto měření. Slabší povahy po pár týdnech končí v Bohnicích. Na grafickém analyzérovi vidíme všechny změny průběžně a nastavení vícepásmové anteny je opravdu otázkou půlhodiny. Jediná nevýhoda je potřeba počítače, nejlépe notebooku. Popíšeme si grafický analyzér podle IW3HEV. Podrobnosti je možno shlédnout na stránkách autora <http://www.qsl.net/iw3hev>. Jedná se o analyzér vektorový (na rozdíl od můstkových).

Princip je následující: Generátor tvořený DDS čipem přeladuje zvolený rozsah frekvencí. Tento signál je přes směrový vazební člen přiveden na měřený objekt (třeba antenu). Směrový člen má dva výstupy odpovídající přímé a odražené vlně (FWD, REV). Tyto dva signály se přivedou na vstupy speciálního obvodu AD8302. Obvod obsahuje přesné logaritmické zesilovače, limitery a součtové členy. Na jednom výstupu se objeví informace o magnitudě (absolutní impedanci Z), na druhém výstupu je informace o fázi mezi vstupy. Tyto dvě analogové informace se digitalizují pomocí A/D převodníků a přivádějí do počítače. Počítač z nich dokáže vypočítat rezistanci, reaktanci, PSV, RL (return loss), reaktanci dokáže přepočítat přímo na hodnotu kapacity nebo indukčnosti atd. Obvod AD8302 má ale bohužel jednu drobnou chybu na kráse: dokáže sice rozlišit fázi s přesností na jeden stupeň, ale bohužel jen v rozsahu 0 až 180 stupňů. Co to znamená? Nepozná ve které polovině kruhu Smithova diagramu se nachází, nepozná tedy znaménko reaktance. To nepozná víc analyzérů včetně známého MFJ259. V grafickém zobrazení to zas až takové neštěstí není, podle tvaru křivky je zřejmé jestli s frekvencí stoupá nebo klesá. Software dokáže znaménko zjistit podle vzájemné polohy dvou kurzorů, ale při velmi "kudrnatém" průběhu může dojít k omylu. Ovládání software je natolik intuitivní, že snad žádné vysvětlení nepotřebuje. Existuje i software se Smithovým diagramem, ale je to napsáno v DOSu a nepracuje korektně. Snad se časem něčeho dočkáme. Na obrázku je ukázka měření anteny G5RV v pásmu 7 MHz.



V úvodu jsem slíbil deset kapitol, tak budeme končit. A kde jsou ty slíbené anteny? Už žádné "plánky" nepotřebujeme, teď jsme schopni si navrhnout svoje vlastní anteny. K tomu účelu ale potřebujeme nějaký program, třeba MMANA, který si můžeme stáhnout zde: <http://mmhamssoft.ham-radio.ch/mmmana/index.htm>. Slyšel jsem názory, že to k ničemu není, že to nemůže vystihnout skutečné vlastnosti QTH. Ano, skutečná antena bude vždy horší než ta vypočítaná, ale nikdy nemůže být lepší. I to je velký přínos, nebudeme se snažit stavět něco, co nemůže chodit. A o tom to je. Analyzéry, Smithovy diagramy a antenářské programy jsou k tomu, abychom se co nejméně naběhali. Někteří mně nebudou mít rádi, protože suchými teoriemi jim beru to nádherné kouzlo antenářské "duchařiny". Ale neberu, kouzla existují, ale v mnohem menší míře než je jim přisuzováno. Že to někomu chodí a jinému ne je v 95% změřitelné a vysvětlitelné. A pořad nám ještě zbývá "kouzelná" ionosféra.