

Symetrické anténní tunery

Miroslav Šperlín, OK2BUH

Jednou probíhala na pásmu debata o tom, že radioamatéři kdysi používali dvojlampovky a výkon 10 wattů a dělali celý svět. Dnes máme superpřijímače a kilowatty a nikam se nedovoláme. Já jsem k tomu z legrace dodal: „Amatérům se přestalo dařit od té doby, co objevili koaxiál.“ Myslím to spíš jako vtip, ale když se trochu zamyslíme, tak něco pravdy na tom možná bude. V článku budu trochu „teoretizovat“, ale matematické vzorce budu raději popisovat slovy, protože vím, že je většina čtenářů stejně přeskakuje.

Systemy napájení antény

Způsoby napájení antény můžeme rozdělit na symetrické a nesymetrické, to asi všichni znají. K nesymetrickému napájení používáme koaxiální kabely, symetrické lze realizovat pomocí „žebříčku“ s rozpěrkami z izolantu nebo pomocí speciálních dvojlinek. Oba tyto způsoby byly vymyšleny proto, aby napájecí vedení nevyzařovalo. Napětí i proudy jsou v každém ze dvou vodičů vedení opačné a vyzářování se vyruší. Platí to nejen pro dvojlinku, ale i pro koaxiální kabel. Nechte se mýlit tím, že je vnější plášť koaxiálního kabelu uzemněn. I u koaxiálního kabelu platí podmínka rovnosti proudů ve vnitřním vodiči i opletení, jinak by vyzářoval magnetické pole. Typický příklad je magnetická anténa zhotovená z koaxiálního kabelu, kde plášť je sice uzemněn, ale protože jím neprotéká opačný proud, tak vnitřní vodič vyzářuje i přes opletení. Většinou se tvrdí, že koaxiální kabel vyzářuje kvůli plášťovým proudům. Bude ale vyzářovat i v opačném případě, když proud v plášti je nižší než proud středního vodiče, např. při připojení vertikálu bez radiálů. To jsme ale odbočili, v dalším textu se budeme věnovat symetrickým napájecím.

Způsob napájení dále dělíme na provoz s **postupnou** vlnou a se **stojatou** vlnou. U postupné vlny říkáme, že vedení je „hladké“, tzn. že se na něm netvoří žádné kmitny napětí ani proudy. Proud i napětí jsou ve všech bodech vedení stejné, impedance je rovněž po celé délce stejná a odpovídá charakteristické (vlnové) impedanci vedení. Poměr stojatých vln (PSV) je 1:1, tzn. že žádná stojatá vlna se na vedení nevyskytuje. Tento efekt nastane v jediném případě - když se impedance zátěže přesně shoduje s charakteristickou impedancí vedení.

Druhý způsob je napájení stojatou vlnou. Takové vedení nazýváme „rozvlněné“, vytvoří se na něm kmitny proudů i napětí, které budou tím větší, čím větší je rozdíl zatěžovací impedance od vlnové impedance vedení. Impedance již nebude stejná po celé délce vedení, v kmitnách proudů bude nižší a v kmitnách napětí vyšší než charakteristická, ale bude čistě reálná, nezátížená reaktancí. Naopak mezi kmitnami se reaktance objeví. Můžeme si zapamatovat, že pokud bude nad námi (směrem k anténě) kmitna proudů, tak reaktance bude kladná (indukční); pokud bude nejbližší kmitna nad námi napětí, tak reaktance bude záporná (kapacitní). Pokud se ale nacházíme přímo v kmitně, tak reaktance bude nulová. Do rozvlněného vedení můžeme „vstoupit“ pomocí tuneru v kterémkoliv bodě, ale měli bychom tuto teorii dokonale znát, abychom zvolili vhodné zapojení a kom-

ponenty tuneru. Pokud např. máme kondenzátory s malými mezerami, tak se určitě budeme vyhýbat napětíovým kmitnám. S některými typy tunerů se naopak musíme vyhnout kmitnám proudovým nebo příliš velkým reaktancím.

Tak a teď to nejdůležitější: Žebříček nebo dvojlinka se hodí pro oba způsoby napájení, postupnou i stojatou vlnou. Ale koaxiální kabel je vymyšlen jen pro postupnou, a pokud bychom jej nutili do provozu se stojatou vlnou, tak se nám zle odvděčí přišernou ztrátou. Jak bychom ho mohli nutit do stojaté vlny? Třeba tím, že jednopásmovou anténu „přetahujeme“ tunerem na jiné pásmo (mysleno tunerem dole). Dokonce už je lehký zločin přetahovat z 3,5 na 3,8 MHz. Stejnou anténu se žebříčkem ale můžeme přetahovat, kam se nám zlíbí, protože žebříčku stojatá vlna nevadí.

Příklad č. 1: Máme dipól 2 x 20,5 m ve výšce 14 m. Na frekvenci 3,5 MHz je přesně v rezonanci a impedance na jeho svorkách je 50 Ω. Délka napáječe je 30 m. Při použití koax. kabelu bude PSV 1:1, při použití „americké“ dvojlinky bude na ní PSV 1:9. Přesto bude ztráta dvojlinky menší. Ze 100 W se nám ztratí:

na koax. kabelu RG58	13,8 W,
na koax. kabelu RG213	7,9 W,
na dvojlince 450 Ω	4 W,
na žebříku 600 Ω	3,7 W.

Teď anténu přetahneme tunerem na frekvenci 3,8 MHz. Impedance na svorkách antény se změní na 73 +j164 Ω. Ztráta nyní bude:

na koax. kabelu RG58	39 W,
na koax. kabelu RG213	26,5 W,
na dvojlince 450 Ω	3,5 W,
na žebříku 600 Ω	2,9 W.

Samozřejmě ve všech případech je PSV na konektoru vysílače dotazeno tunerem na 1:1 a tuner je uvažován jako bezztrátový.

Příklad č. 2: Nyní tuto anténu přetahneme tunerem na 7 MHz. Z antény se stane celovlnný dipól a impedance na jeho svorkách bude 4500 Ω. S koax. kabelem už to moc vysílat nebude. Ztráty:

koax. kabel RG58	89,8 W,
koax. kabel RG213	83,4 W,
dvojlinka 450 Ω	7,9 W,
žebřík 600 Ω	4,3 W.

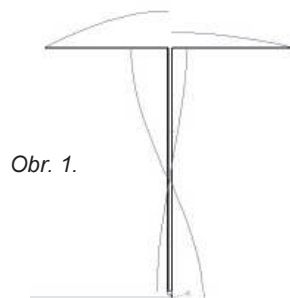
Příklad č. 3: Do třetice anténu přetahneme na 28,5 MHz. Impedance bude 2677 +j268 Ω. Ztráty:

koax. kabel RG58	92,4 W,
koax. kabel RG213	87,1 W,
dvojlinka 450 Ω	9,4 W,
žebřík 600 Ω	5,2 W.

Ztráty byly počítány programem TLD

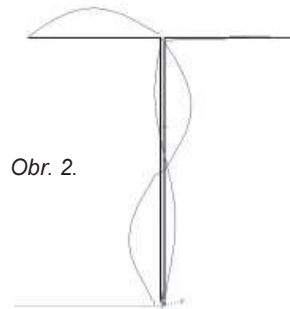
(Transmissions Line Details). Tak už chápete, proč se staří amatéři tak dovolávali? A nepotřebovali žádný PSV-metr, stačila jim doutnavka a žárovka. Tím nechci nikoho nabádat, aby utrl všechny koaxiální kabely a věnoval se manželce na věšení prádla. U otočných směrovek má koaxiální kabel své výhody, ale máme při jejich konstrukci docela svázané ruce neustálým hlídáním 50 Ω, mnohdy i na úkor jiných vlastností.

Tak dobře, už jsi nás přesvědčil a všichni máme natahané antény se žebříčky, ale co dál? Můžeme je připojit k obyčejnému tuneru, tzn. jeden drát na „živý“ vývod tuneru a druhý drát na zem? Nebude jedna polovina dipólu mrtvá? No, úplně mrtvá nebude, protože vf energie se bude přenášet vzájemnou vazbou mezi vodiči, a to dokonce se správnou profází, ale v každém případě ta uzemněná polovina dipólu bude vyzářovat méně a navíc začne zářit svod, jak to vidíme na obr. 1. Situace je simulována v programu MMANA.



Obr. 1.

Bude to podobná chyba, jako když někdo napájí symetrický dipól koaxiálním kabelem bez balunu; anténa bude šilhat. Většina amatérů řekne: „Šilhání mi nevádí, ať si to šilhá, a vertikální vyzářování napáječe mi pomůže na Dxy“. Ani mně by šilhání nevádilo, kdybych neznal další strašné důsledky. Pokud by TRX stál na dokonalé zemi, tzn. na síti radiálů, tak je vše OK, bude to jen šilhat. Ale v běžném bytě nikdy nemáme dokonalou zem. Proud se nezastaví na kostře TRX, ale budou pokračovat po vedení sítě a doslova se „roztaňují“ po celém sídlišti. Nepomůže žádné uzemnění, to není zem, ale jen „drát do země“ a udělá jen jakýsi bočník, který situaci nepatrně zlepší. Taková anténa bude na vysílání až o 5 dB slabší a co je ještě horší, natahá do přijímače veškeré rušení z celého sídliště. Na obr. 1 jsme ale měli štěstí, že jsme se s bodem napájení trefili do kmitny proudů. Co se ale stane, když se trefíme do kmitny napětí (obr. 2)?



Obr. 2.

Hruža, zde už je pravá strana dipólu úplně „mrtvá“ a celé se to chová jen jako L-anténa. Takže vidíme, že tudy cesta nevede a bez symetrického tuneru se neobejdeme.

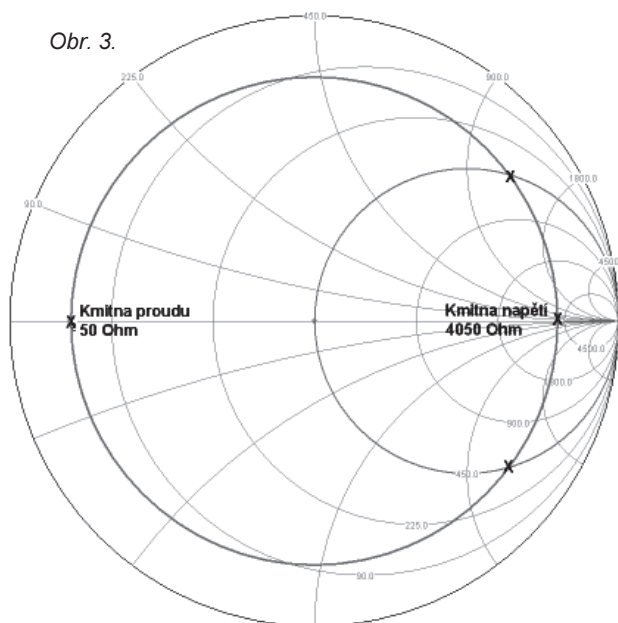
Symetrické tunery „pravé“ a „nepravé“

Za „nepravý“ symetrický tuner považujeme tuner nesymetrický, který je nuceně symetrizován na výstupu balunem. Takto je konstruováno hodně továrních tunerů. Budou pracovat dobře jen za určitých okolností, jak uvidíme dále. Plnohodnotné „pravé“ tunery jsou symetrické již svou konstrukcí a udrží svou symetrii v širokém rozsahu impedancí.

Symetrizace balunem

Jenom proboha ne balunem 1:9! To často slyším na pásmu a způsobuje mi to infarktové stavy: „Koaxiál má 50 Ω a dvojlinka 450 Ω, tak tam přece patří balun 1:9, ne?“ To je hluboké nepochopení principu laděného napáječe se stojatou vlnou. Ten může nabývat různých roztočivných impedancí, ale nikdy ne svojí vlastní. Tě se bude vyhýbat „jako čert kříži“, protože vlastně opisujeme kružnici na Smithově diagramu a 450 Ω bude v jejím středu. S tím balunem by to šlo v jediném případě – kdyby i anténa měla 450 Ω. Potom by to ale nebylo napájení stojatou vlnou, ale postupnou. Pokud teda už nějaký balun, tak proudový 1:1, jak uvidíme dále.

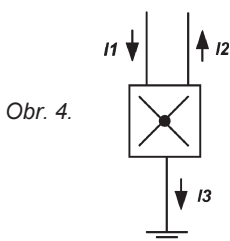
Smithův diagram na obr. 3 je normovaný pro impedanci 450 Ω, tzn. že tato impedance tvoří jeho střed. Kružnice představuje množinu impedancí, které se mohou vyskytnout na dvojlince 450 Ω, která je zatížena na svém konci odporem 50 Ω. Na obrázku je vlevo vyznačena kmitná proudy s impedancí 50 Ω, vpravo kmitná napětí s impedancí 4050 Ω. Jsou zde ještě vyznačena dvě místa, kde se sice nachází rezistance 450 Ω, ale zatížená silnou reaktancí 1090 Ω. Všechny impedance na obvodu kruhu mají jednu společnou vlastnost: Vůči vlnové impedanci dvojlinky mají PSV = 1:9. Je tedy zřejmé, že jediné místo, kde by se mohl připojit nějaký balun, je kmitná proudy a balun by musel mít převod 1:1. Pokud nejsme příliš „cimprlich“, tak řekneme, že oblast ne příliš vzdálená od kmitny proudy bude vhodná pro připojení balunu. Jak



Obr. 3.

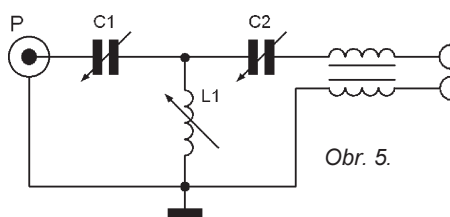
moc vzdálená, záleží na kvalitě izolace, reaktanci balunu a osobní odvaze.

Na obr. 4 vidíme „černou skříňku“ a v podstatě nás nezajímá, co je uvnitř. Do skříňky vedou tři vodiče. Proud I_1 a I_2 jsou proudy vzájemně opačné, představující napáječ antény. Proud I_3 uniká do země. Kirchhoffovy zákony platí i pro vř proudy. První Kirchhoffův zákon praví, že součet proudů tekoucích do uzlu se rovná součtu proudů z uzlu vytékajících. Pokud tedy jakýmkoliv způsobem zabráníme téci proudy I_3 , tak je zřejmé, že proudy I_1 a I_2 musí být stejně velké a vzájemně opačné směru. Tímto způsobem bychom tedy dosáhli dokonalé symetrie i při použití nesymetrického tuneru. Podaří se nám to? Částečně ano, v některých případech. Vysvětlíme si to.



Obr. 4.

Hodně továrních tunerů je zapojeno jako nesymetrický T-článek a přitom mají nesymetrický i symetrický výstup. Používají symetrizaci balunem, který je větší proudový 1:1, někdy bývá i napětěový 4:1. Zapojení takového tuneru vidíme na obr. 5:



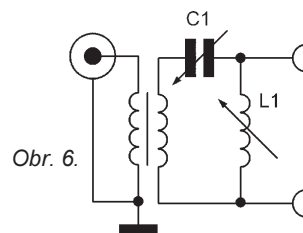
Obr. 5.

Balun vlastně vynucuje symetrii, svojí reaktancí potlačuje souřazové (common mode) proudy, a kdyby v jedné větvi tekla větší proud, tak ho transformuje s opačnou fází do druhé větve. U balunů platí pravidlo čtyřnásobku, tzn. že jejich indukční reaktance musí být minimálně čtyřnásobná než impedance, na které pracují. Zde máme však nároky vyšší. Pokud „přežijeme“ nesymetrii 10 %, tak by reaktance měla být desetnásobná. Pokud si dáme pozor a nebudeme se na žebříčku příliš vzdalovat od kmitny proudy, tak

Diskuse o Mini-Whipu

Do diskuse o anténě Mini-Whip (PE 11/09, PE 1 a 2/10) jsme dostali opět několik zajímavých příspěvků. Zveřejníme je v PE .../2010.

bude tento tuner pracovat dobře. Běda se však přiblížit k napětěové kmitně. U žebříčku 600 Ω, na jehož konci bude 50ohmový dipól, bude impedance v kmitnách napětí 7200 Ω. Každý vodič proti zemi tedy má 3600 Ω a reaktance balunu by musela být 36 000 Ω. Na první pohled vidíme, že takový balun je nerealizovatelný. I kdyby se nám podařilo dosáhnout potřebnou indukčnost, tak při tom počtu závitů by zase jejich vzájemná kapacita byla neúnosná, nehledě k tomu, že by to nevydržel napětěově. Tento typ tuneru se tedy hodí pro provoz postupnou vlnou (např. skládaný dipól napájený 300Ω dvojlinkou) nebo i pro provoz stojatou vlnou, ale jen v blízkosti kmiten proudy. Při vícepásmovém provozu je ale obtížné ty kmitny uhlídat, protože na každém pásmu budou jině. Některé firmy používají ve svých tunelech proudové baluny a jiné firmy napětěové. Který je lepší? Kdybych já byl výrobce, tak bych určitě použil proudový; pokud má dobrou izolaci, tak přežije i kmitnu napětí. Sice nebude stačit svou reaktancí a přestane symetrizovat, ale nějak vysílat to bude a zákazník bude spokojený. Kdybych použil napětěový, tak ten v kmitně napětí vybuchne a budou reklamace. Co když to celé otočíme a ten balun dáme na vstup a tuner odizolujeme od země? Situace se příliš nezmění, opět to bude použitelné jen v kmitnách proudy. Přesto tento způsob s oblíbenou používám na „portejblu“. Tuner dám na dvě cihly a koaxiální kabel vedoucí k transeiveru namotám na kus feritu. Funguje to dobře, ale považuju to za „nouzovku“. A co když dáme na vstup tuneru napětěový balun? Zkusíme si to namalovat (obr. 6):



Obr. 6.

Zde odpadá problém s reaktancí, protože balun trvale pracuje na impedanci 50 Ω. Takový balun s převodem 1:1 není problém vyrobit tak, aby pracoval na všech KV pásmech. V kmitnách proudy opět nebude žádný problém. Jak se to ale bude chovat v kmitnách napětí? Horní zdířka je v pořádku, na balun se dostane impedance již přetransformovaná LC členem. Spodní zdířka ale jde na balun přímo a izolace mezi „primárem“ a „sekundárem“ bude namáhaná vysokým napětím. Pokud bude kvalitní teflonová, tak by to mohla vydržet. Máme zde ale další problém: kapacita mezi vinutím. Ta bývá u klasického balunu, vinutého dvěma dráty současně, dost velká, řádově desítky pF. To je špatné, kapacitní reaktance na vyšších pásmech bude řádově jen stovky ohmů, to při vysoké impedanci vedení v kmitně napětí dokonale „rozhodí“ symetrii. S tímto tunerem se tedy můžeme trochu přiblížit ke kmitně napětí jen na dolních pásmech, na těch horních musíme opět poslušně utíkat ke kmitnám proudy. Na určité řešení přišel Frits, PA0FRI, a nazval ho S-match. O něm příště.

(Pokračování)