

Koaxiální děliče výkonu

Jan Bílek, OK1TIC

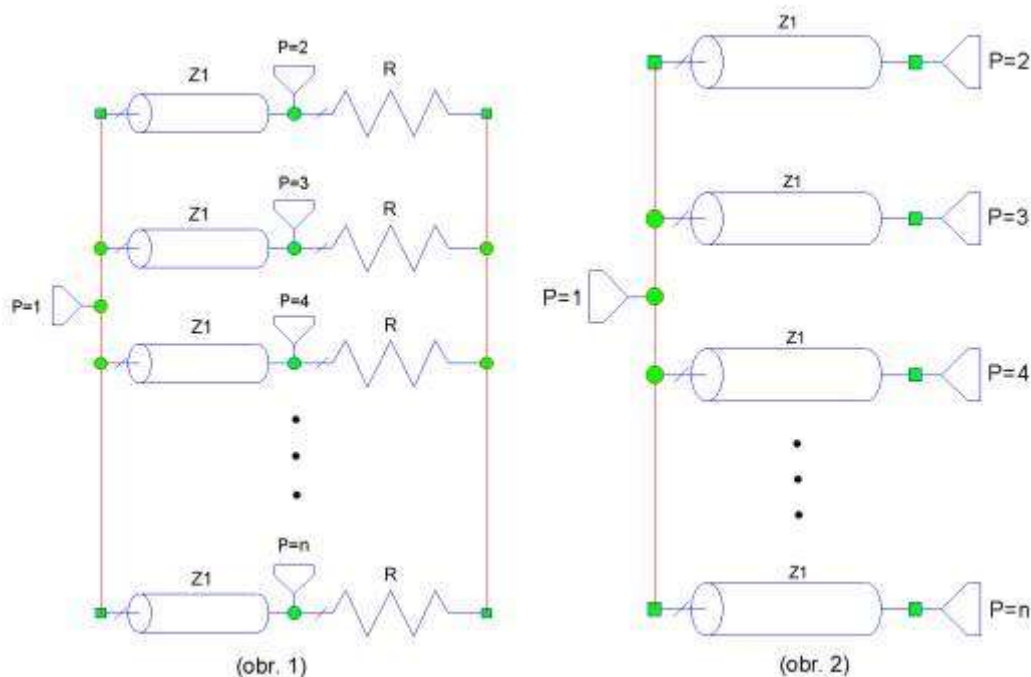
ÚVOD

Inovace klubového zařízení na VKV mě nedávno vedla k problému jak rozdělit výstupní výkon transceiveru do dvou koncových stupňů, přičemž každý koncový stupeň měl být buzen jiným výkonem. Klasický Wilkinsonův dělič na tento problém nenabízel odpověď. Řešení jsem našel v podobě nesymetrického děliče výkonu, který je popsán v [1]. Neboť si myslím, že tyto konstrukce nejsou mezi radioamatérskou veřejností příliš známy, rád bych proto v tomto článku všem zájemcům popsal princip a mou konstrukci zmiňovaného děliče a v tom kontextu se i zmínil o děličích výkonu obecně. Uvedené nástiny realizací budou uvažovány pro koaxiální vedení a pro pásmo 145MHz, je však zcela zřejmé, že pouhým použitím trojčlenky lze všechny údaje přepočítat i pro jiná pásma.

TROCHA TEORIE

1) Wilkinsonův dělič výkonu

Wilkinsonův dělič výkonu je obecně n-bran (zpravidla n=3), jehož úkolem je symetricky rozdělit vstupní výkon ze vstupní brány do všech zbývajících n-1 bran. Jeho schéma je na obr. 1.



Pro Wilkinsonův dělič platí následující vztahy:

$$Z_1 = \sqrt{n} \cdot Z_0 \quad (1)$$

$$R = Z_0 \quad (2)$$

Z_0 je impedance vstupní svorky a všech výstupních svorek (nadále budeme uvažovat standardních 50W). Délky všech použitých vedení jsou $lg/4$, kde lg je vlnová délka na použitém vedení (tj. $lg = l_{vzduch} \cdot \text{zkracovací koeficient vedení}$).

Existuje ještě jednodušší dělič (obr. 2) založený na faktu o paralelním řazení čtvrtvlnných transformátorů impedance. Pro správnou funkčnost tohoto děliče musí mít každá větev v místě spojení všech vedení takovou impedanci Z_i , aby jejich paralelním spojením bylo dosaženo impedance vstupní svorky Z_0 . Budeme-li uvažovat ve všech větvích vedení o

stejné impedanci Z_1 , pak pro tento dělič budou platit vztahy:

$$Z_1 = \sqrt{Z_i \cdot Z_{OUT}}, \quad (3)$$

$$Z_i = n \cdot Z_0 \quad (4)$$

kde Z_{OUT} je impedance výstupních bran (zpravidla ji také uvažujeme 50ohm).

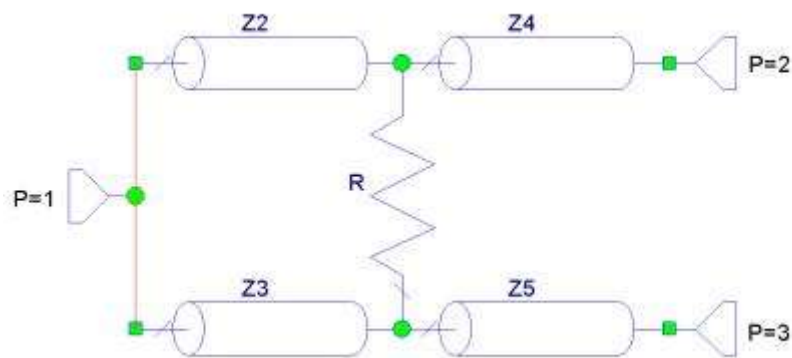
Chtěl bych ovšem upozornit na vhodnost použití Wilkinsonova obvodu před tímto jednoduchým děličem. U Wilkinsonova děliče výkonu totiž dochází k tomu, že všechny výstupní brány jsou mezi sebou vzájemně izolovány. To je dáno faktem, že signál šířící se z jedné výstupní brány směrem k druhé výstupní bráně prochází dvěma různými cestami. Cesta vedoucí přes rezistor R zjevně nezpůsobuje v šíření signálu děličem žádný fázový posuv. Druhá cesta vede přes dvě ramena Wilkinsonova děliče. Na této cestě však vzniká fázové zpoždění 180° , které způsobí, že signály procházející těmito dvěma cestami se sejdou s opačnou fází. Signály se vzájemně vyruší a přenos mezi výstupními svorkami je tedy ideálně nulový. Pro praxi to například znamená, že signál přijatý jednou anténou není zpětně vyzářován druhou anténou, nebo že špatné PSV jednoho koncového stupně (tedy výkon, co se od tohoto PA odráží zpět) neovlivňuje funkčnost druhého koncového stupně.

2) Vícestupňový dělič výkonu

Pokud chceme rozdělit výkon do více než dvou větví, máme dvě možnosti jak toto udělat. Chceme-li realizovat dělič s počtem větví maximálně čtyři, nejjednodušší variantou se jeví klasický Wilkinsonův dělič s více větvemi (viz. výše). Pokud bychom chtěli realizovat dělič s pěti nebo více větvemi, je díky nedostupnosti koaxiálních kabelů s impedancí větší než 93ohm tato varianta obtížně realizovatelná. Potom přichází v úvahu vícestupňový Wilkinsonův dělič. Ten vznikne řazením více Wilkinsonových děličů do stromové struktury (tedy každá výstupní brána Wilkinsonova děliče se stává vstupní branou následujícího děliče). Řazení jednotlivých děličů za sebou může být libovolné. Lze tak dosáhnout nesymetrického dělicího poměru mezi více výstupními branami. Například dvěma děliči se dvěma větvemi tak můžeme výkon rozdělit na polovinu a dvě čtvrtiny.

3) Dělič s nesymetrickým dělicím poměrem

Jedná se o dělič s dvěma větvemi. Jeho schéma je zobrazeno na obr. 3.



(obr. 3)

Pro tento dělič platí dle [1] vztahy:

$$\begin{aligned} \frac{P_3}{P_2} &= k^2 & R &= Z_0 \frac{1+k^2}{k} \\ Z_2 &= Z_0 \sqrt{k(1+k^2)} & Z_4 &= Z_0 \sqrt{k} \\ Z_3 &= Z_0 \sqrt{\frac{1+k^2}{k^3}} & Z_5 &= \frac{Z_0}{\sqrt{k}} \end{aligned} \quad (5)$$

kde P3 a P2 jsou požadované výkony na branách 3 a 2. Všechny brány mají impedanci Z0. Délky všech vedení jsou opět lg/4.

NÁVRH, SIMULACE A REALIZACE

1) Impedance koaxiálních vedení

Nejprve bychom si měli sesummarizovat, jaké hodnoty impedancí koaxiálních vedení Zkoax máme k dispozici. Běžně na trhu lze sehnat koaxiální kabely s impedancemi 50ohm a 75ohm. Na trhu lze sehnat i kabel s impedancí 93ohm, jehož označení je RG-62. Na kabely s jinými hodnotami impedancí jsem na našem trhu nenarazil. Ovšem při konstrukci děličů nejsme limitováni pouze těmito hodnotami. Kabely lze spojovat i paralelně. Dosáhneme tak dalších impedancí - viz Tab. 1.

Hodnoty impedancí vedení pro dva paralelně řazené kabely:

<i>Impedance kabelů[ohm]:</i>	<i>Výsledná impedance Zkoax [ohm]:</i>
50, 50	25
50, 75	30
50, 93	30,52
75, 75	37,5
75, 93	41,52
93, 93	46,5

(tab. 1)

2) Wilkinsonův dělič

Vezmeme-li do ruky kalkulačku a dáme se do výpočtu Wilkinsonova děliče (nebo jakéhokoliv jiného děliče), brzy zjistíme, že nemáme k dispozici koaxiální vedení přesně o vypočtené hodnotě impedance. Rád bych tedy zdůraznil, že veškerý návrh děličů spočívá v hledání kompromisů mezi přesně vypočtenými hodnotami impedancí a impedancemi, které máme k dispozici. (Tyto kompromisy samozřejmě odpadají, použijeme-li realizaci děliče například v mikropáskové struktuře.)

Při návrhu postupujeme tak, že ze vzorce (1) vypočteme přesnou -požadovanou- hodnotu impedance vedení Z1. Potom se zamyslíme, jaké vedení s co nejbližší hodnotou impedance (Zkoax) máme k dispozici. Tu pak použijeme k realizaci.

Simulací (např. v Microave Office nebo v dostupném programu RFSim99 od firmy HyDesign) i praktickou realizací se lze přesvědčit o tom, že pokud použijeme vedení s trochu jinou hodnotou impedance, než-li teoreticky vypočtenou, parametry děliče se zhorší jen málo. Výsledné parametry děliče jsou mnohem více závislé na míře preciznosti při jeho realizaci.

Pro správně navržený dělič, rezistor neabsorbuje téměř žádnou vf energii, hodnotu jeho ztrátového výkonu lze tedy počítat jako cca setinu vstupního výkonu. Pro výkony v řádu desítek wattů postačí několik sériově či paralelně řazených SMD rezistorů, v pásmu 145 MHz, přivřeme-li jedno oko, poslouží i běžný čtvrtwattový odpor.

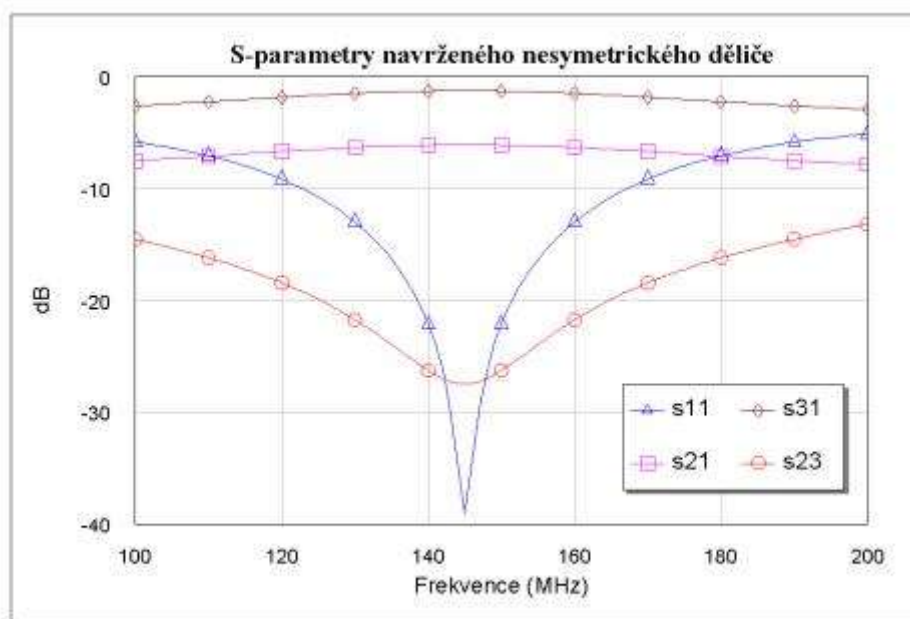
3) Nesymetrický dělič výkonu

Pro návrh a realizaci nesymetrického děliče platí stejné principy jako pro Wilkinsonův dělič (viz. výše), vycházíme při tom ze vztahů (5).

V mém případě jsem potřeboval rozdělit 40W na 10W a 30W, tedy $k=3$. Za pomoci simulačního programu jsem zvolil následující aproximaci přesných hodnot impedancí vedení: $Z_2=93\text{ohm}$, $Z_4=50\text{ohm}$, $Z_3=30\text{ohm}$, $Z_5=25\text{ohm}$, $R=68\text{ohm}$. Vidíme, že $Z_4=Z_0$. Pokud nepotřebujeme dodržet správné fázování signálů v obou výstupních branách, můžeme toto vedení vypustit.

Průběhy parametrů tohoto děliče získané simulací jsou uvedeny na (obr. 4). Zde s_{11} odpovídá útlumu odrazů od vstupní brány, s_{21} a s_{31} odpovídají přenosům do bran 2 a 3, s_{23} pak odpovídá izolaci mezi branami 2 a 3. Z hodnot s_{21} a s_{31} plyne, že záměnou teoretických hodnot impedancí vedení za jiné, dojde ke změně koeficientu k . Míra této změny odpovídá míře naší aproximace. Hodnota s_{32} je silně závislá na velikosti odporu R .

Po realizaci tohoto děliče jsem na jeho výstupních branách naměřil výkony cca 32W a 8W, což (s ohledem na míru aproximace) celkem dobře odpovídá požadavkům. Rovněž PSV na všech branách bylo dobré, hodnoty s_{32} jsem neměřil. Zapojení stínění všech kabelů by dle simulace mělo být do jednoho společného bodu. V praxi jsem si ovšem ověřil, že porušení této podmínky nemá zásadní vliv na parametry děliče, pouze se může mírně pozměnit koeficient k .



(obr. 4)

ZÁVĚREM

Veškeré uvedené principy byly demonstrovány na příkladu děliče výkonu. Záměnou výstupních bran za vstupní a opačně lze identickou strukturou realizovat slučovač výkonů. V případě slučování však většinou nechceme, aby každá z větví přispívala na výsledném výstupním výkonu jinou měrou. Používají se tedy výhradně Wilkinsonovy slučovače. Výčet možných děličů/slučovačů v tomto článku zdaleka není kompletní. Existují ještě další děliče výkonu např. kruhové děliče/slučovače. Myslím si ale, že složitost jejich konstrukce převyšuje jejich klady - *pro běžné radioamatérské činnosti na VKV a UKV*. Zájemce o tuto problematiku proto odkazují na [1].

REFERENCE

[1] *Planární mikrovlnné obvody* - Doc. Ing. Karel Hoffmann, CSc., Vydavatelství ČVUT