

## 38. Základní vysokofrekvenční a mikrovlnné prvky a obvody, jejich popis pomocí rozptylových prvků

pouze první část otázky, druhá týkající se smithova diagramu a impedačního přizpůsobování je uvedena v jiném dokumentu

### 1 Rozptylové parametry

Jediné dvě veličiny, které jsme schopni v mikrovlnném obvodu určit jsou výkon a frekvence. V mikrovlnné technice proto používáme pro popis prvků takzvané s-parametry (Scattering Parameters), které popisují tok výkonu mezi jednotlivými branami mnohobranu. Přesto ale samotné s-parametry vyjadřují poměry *napěťových* vln do bran vstupujících k napěťovým vlnám z bran vystupujících. Tyto vlny ale mají vždy relaci k výkonům na odpovídající bráně. Relaci mezi vstupními a výstupními veličinami pomocí s-parametrů vyjadřujeme buďto pomocí soustavy rovnic

$$\begin{aligned} U_1^- &= S_{11}U_1^+ + S_{12}U_2^+ + \dots + S_{1N}U_N^+ \\ U_2^- &= S_{21}U_1^+ + S_{22}U_2^+ + \dots + S_{2N}U_N^+ \\ &\vdots \\ U_N^- &= S_{N1}U_1^+ + S_{N2}U_2^+ + \dots + S_{NN}U_N^+ \end{aligned}$$

nebo pomocí rozptylové matice

$$\begin{bmatrix} U_1^- \\ U_2^- \\ \vdots \\ U_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & S_{N2} & \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1^+ \\ U_2^+ \\ \vdots \\ U_N^+ \end{bmatrix} \quad (1)$$

Jednotlivé prvky rozptylové matice (s-parametry) lze vyjádřit výrazem

$$S_{ij} = \frac{U_i^-}{U_j^+} \quad \text{přičemž všechna ostatní } U^+ \text{ jsou nulová} \quad (2)$$

$S_{ij}$  tedy vyjadřuje přenos z brány  $j$  do brány  $i$ , prvky na hlavní diagonále jsou činiteli odrazu pro danou bránu.

Rozptylovou matici [S] můžeme v některých případech určit také přepočtem z matice impedační [Z] (resp. admitanční [Y]), postup uveden v [1].

#### 1.1 Normované s-parametry

V případě, že vlnové impedance jednotlivých bran nejsou stejné používáme *normované rozptylové parametry*.

$$a_n = \frac{U_n^+}{\sqrt{Z_{0n}}} \quad b_n = \frac{U_n^-}{\sqrt{Z_{0n}}} \quad (3)$$

kde  $a_n$  je vstupní a  $b_n$  výstupní normovaná amplituda napěťové vlny na  $n$ -té bráně. Vstupující a vystupující výkon jsou tedy dány vztahem

$$P_n^+ = \frac{1}{2}|a_n|^2 \quad P_n^- = \frac{1}{2}|b_n|^2 \quad (4)$$

Pro počítání s obecnými  $N$ -brany se používá *normovaná rozptylová matice*  $[s]$ .

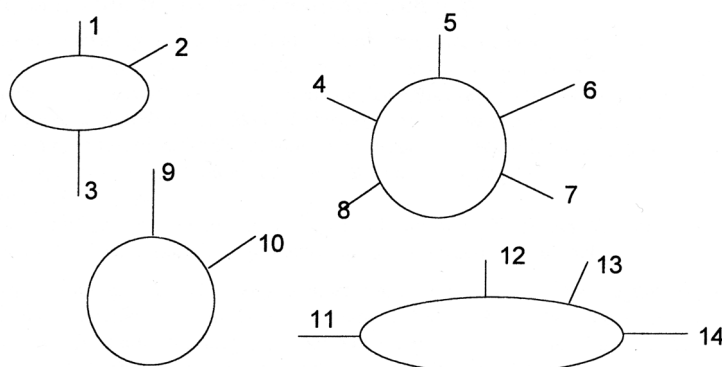
$$[b] = [s][a] \quad (5)$$

kde  $[a]$  a  $[b]$  jsou sloupcové vektory normovaných vstupních a výstupních amplitud. Jednotlivé prvky této matice lze vyjádřit jako

$$s_{ij} = \frac{b_i}{a_j} \quad \text{přičemž všechna ostatní } a \text{ jsou nulová.} \quad (6)$$

## 1.2 Slučování mikrovlnných $N$ -branů

$S$ -parametry lze popsat mikrovlnný obvod i v případě kdy vznikne propojením několika dílčích obvodů. Postup je takový, že očíslováme všechny brány postupně. Předpokládáme, že známe nor-



Obrázek 1: Výchozí stav při propojování čtyř mikrovlnných  $N$ -branů

mované rozptylové matice dílčích obvodů. Pokud nepropojíme žádné brány tak celková rozptylová matice vypadá takto

$$[s] = \begin{bmatrix} [s_1] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [s_2] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [s_3] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [s_4] \end{bmatrix} \quad (7)$$

Spojením libovolných dvou bran  $k$  a  $l$  se tyto eliminují a řád nové rozptylové matice se sníží o dvě – eliminují se  $k$ -tý a  $l$ -tý sloupec i řádek. Přepočítání hodnot prvků původní matice  $[s]$  na novou se řídí dosti složitým vztahem, který neuvádím, je uveden v [1] na straně 68.

## 2 Mikrovlnné prvky

### 2.1 Pasivní

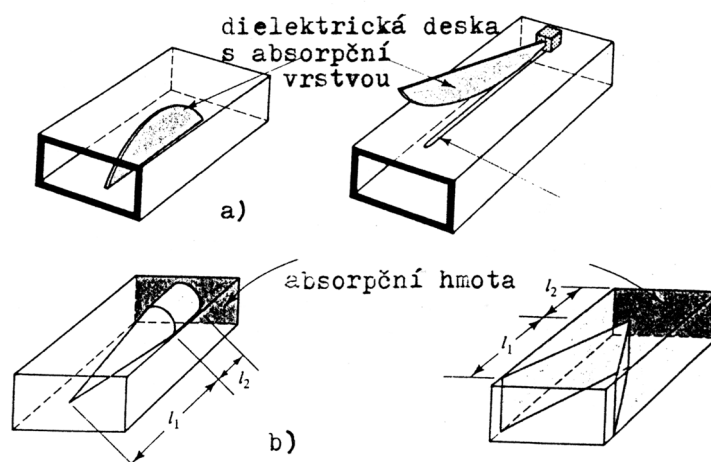
#### 2.1.1 Zeslabovače výkonu

Úkolem zeslabovačů (atenuátorů) je utlumit dopadající výkon v extrémním případě ho zcela eliminovat (bezodrazová koncovka). Jejich geometrické uspořádání je znázorněno na obrázku 2.

Atenuátor je dvoubran jehož rozptylová matice je

$$[s] = \begin{bmatrix} 0 & s_{12} \\ s_{21} & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Parametry  $s_{11} = s_{22} = 0$ , protože ideální atenuátor je z obou stran impedančně přizpůsoben. Dále je reciprokový takže  $s_{12} = s_{21} = 10^{-L/2}$ ,  $L$  je útlum atenuátoru v dB.



Obrázek 2: Mikrovlnný atenuátor (a) a bezodrazová zátěž (b)

Bezodrazová zátěž (koncovka) je speciální případ, jde totiž o jednobran. Její rozptylová matice je prvního řádu.

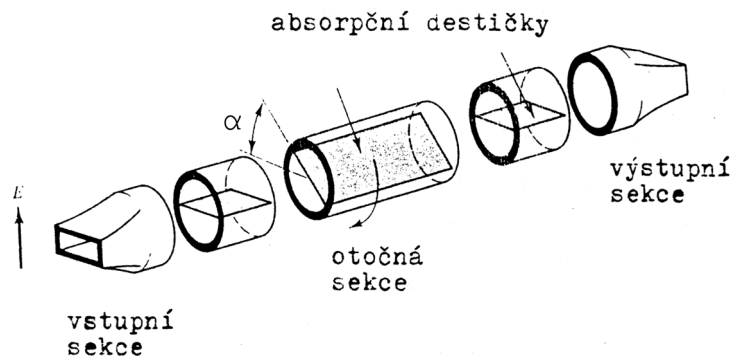
$$[s] = [s_{11}] = [\rho_z] \quad (9)$$

Atenuátory používámě většinou pro nastavení úrovně výkonu na vedení nebo na měření mikrovlnných veličin. mají hodnotu útlumu buď pevnou, nebo nastavitelnou, nejčastěji v rozsahu 0 – 40 dB.

Fungují na dvou principech. Buď výkon absorbují, nebo jej odrazí do úseku vlnovodu s vyšším mezním kmitočtem než je ta jeho (reaktanční atenuátory).

**Absorbční atenuátory** Útlum vzniká v tenké odporové vrstvě nanesené na skleněné (dielektrické) destičce, jejíž konce jsou zaobleny nebo zkoseny kvůli impedančnímu přizpůsobení. Destička je umístěna rovnoběžně s vektorem  $\mathbf{E}$  a to v místě kde má největší amplitudu. Útlum se mění různou hloubkou zasunutí destičky do vlnovodu. Tato konstrukce je jednoduchá a nachází v mikrovlnné technice široké uplatnění, není ale vhodná na přesná měření kvůli frekvenční závislosti útlumu na frekvenci.

Tyto problémy odstraňuje *rotační atenuátor* jeho schéma je na obrázku 3. Rotační atenuátor začíná



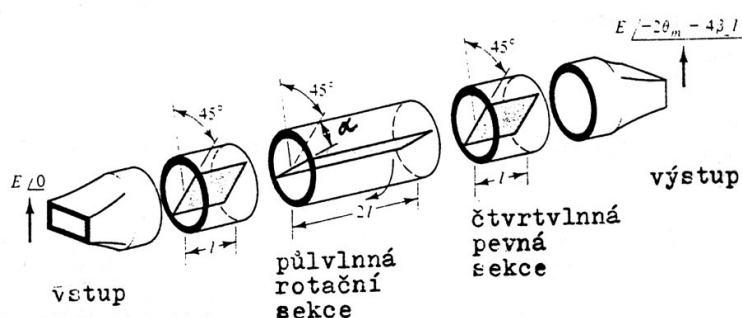
Obrázek 3: Rotační atenuátor

a končí přechodem mezi obdélníkovým a kruhovým vlnovodem který převádí dominantní vid  $TE_{10}$  z obdélníkového vlnovodu na  $TE_{11}$  v kruhovém. Dvě krajní kruhové sekce zajišťují impedanční přizpůsobení, útlum se nastavuje otáčením prostředního dílu.

### 2.1.2 Posouvače fáze

**S dielektrickou deskou** Konstrukce stejná jako atenuátor s destičkou, jen je destička mnohem tlustší s není pokrytá odporovou vrstvou. Posunutí fáze nastane kvůli zpomalení postupu vlny dielektrikem.

**Rotační** Konstrukce podobná rotačnímu atenuátoru viz 4. Celý posouvač je dlouhý  $4l$  což odpovídá jedné vlnové délce. Otáčíme zase prostředním dílem o úhel  $\alpha$  a fázové zpoždění se zvyšuje o hodnotu  $2\alpha$ . Při nulovém úhlu má hodnotu  $\lambda_v/\beta$ .



Obrázek 4: Rotační posouvač fáze

**Se změnou rozměru a** Tento posouvač je kus vlnovodu, který je možné mechanicky deformovat tak, že se mění jeho širší rozměr „a“ a tím i  $\lambda_v$  což má za následek změnu fáze výstupní vlny.

### 2.1.3 Izolátor a cirkulátor

Tyto dva neregiproké prvky jsou hezky popsány na webu katedry pole na adresách

[http://www.rfprop.com/For\\_students/mit/FRVS\\_03\\_soubory/cirk.htm](http://www.rfprop.com/For_students/mit/FRVS_03_soubory/cirk.htm)

[http://www.rfprop.com/For\\_students/mit/FRVS\\_03\\_soubory/is.htm](http://www.rfprop.com/For_students/mit/FRVS_03_soubory/is.htm)

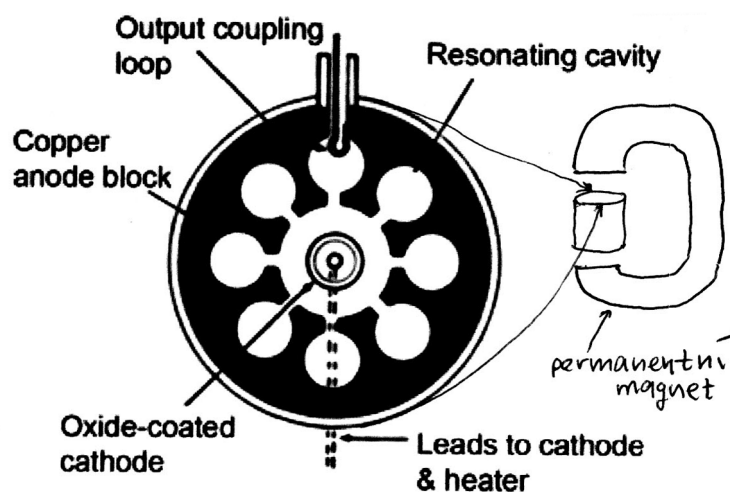
## 2.2 Aktivní

### 2.2.1 Magnetron

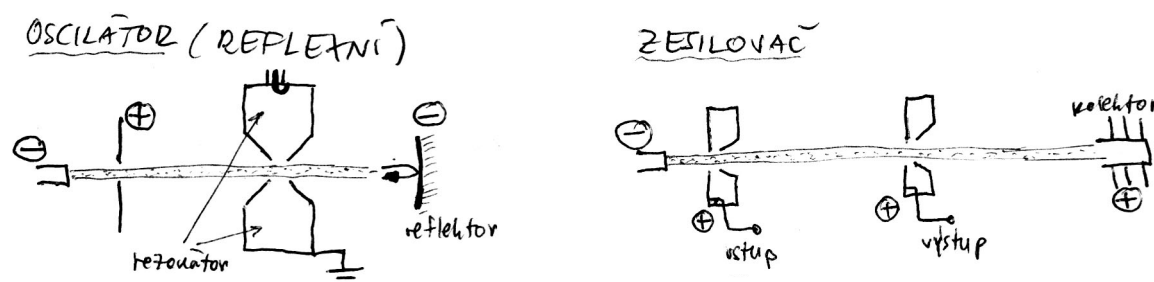
Magnetron je vysokovýkonový MV generátor. Kvůli nestabilitě jeho frekvence se používá hlavně k MV ohřevu, je například v každé mikrovlnné troubě. Na katodě je vysoké záporné napětí a vysoká teplota - $i$  emituje elektrony, kter působením magnetického pole rotují kolem jádra. Kvůli rezonančním dutinám se elektrony zhlukují a vytvářejí vysokofrekvenční vlnění, které se přenáší ven vazební smyčkou.

### 2.2.2 Klystron

Klystron se používá ve dvou funkcích, buď jako oscilátor nebo jako zesilovač. Oba jsou nakresleny na obrázku 6.



Obrázek 5: Magnetron



Obrázek 6: Dva typy klystronů

**Oscilátor** Elektronový paprsek zaostřený průletem kladně nabitým otvorem prochází rezonátorem a za ním se odráží od záporně nabitého reflektoru zpět do rezonátoru -  $\zeta$  kladná zpětná vazba. Frekvence se dá přeladit změnou rozměru rezonátoru.

**Zesilovač** Vstupním buzním rezonátorem svazek zpomalován a zrychlován, v místě druhého rezonátoru shluky elektronů budí silnější signál.

### 2.2.3 MV dioda

Využívá se záporného diferenciálního odporu diod. Více viz varaktor, lavinová, Gunnova, tunelová dioda.

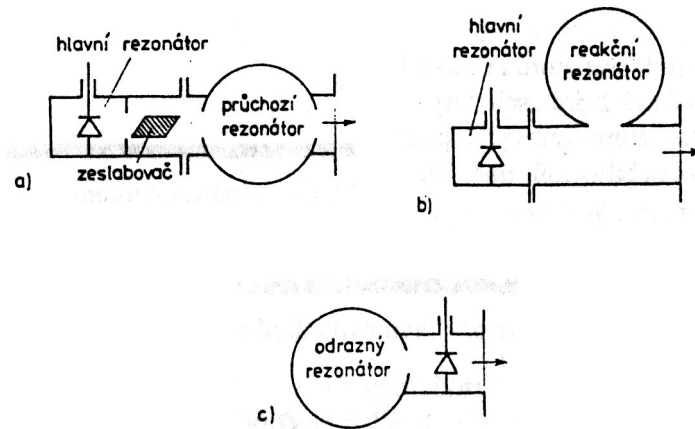
### 2.2.4 MV tranzistory

Pro mikrovlnné použití se používají tyto typy tranzistorů:

**JFET** nízký šum, velký vstupní odpor, použití do 100 GHz

**HEMT** High Electron Mobility Transistor, nízký šum, velké výkonové zesílení, do 100 GHz dále se používají tranzistory MOSFET a MESFET

### 2.2.5 Oscilátor s mikrovlnnou diodou



Obrázek 7: Oscilátory s MV diodou

## Literatura

- [1] *Prof. Ing. Jan Vrba, CSc.: Úvod do mikrovlnné techniky*  
Vydavatelství ČVUT, Praha 2000