

X17ANT – 1. laboratorní úloha
Měření impedancí antén

Jméno: Tomáš Hejda
Datum měření: 15.10.2008
Datum zpracování: 19.10.2008

Obsah

1	Zadání.....	3
2	Použité přístroje a programy	3
3	Měření koeficientů odrazu, rezonančních kmitočtů a šířek pásma antén	4
4	Impedance a <i>PSV</i> monopólu nad rovinnou deskou	9
	Seznam použitých symbolů.....	11
	Příloha A Skripty použité při zpracování naměřených dat v MATLABu.....	12

1 Zadání

A. Teoretická příprava

- Seznamte se s měřením impedančního přizpůsobení s měřičem SiteMaster S400A.

B. Měření impedancí antén

- Pro vybrané vzorky antén změřte rezonanční frekvenci a šířku frekvenčního pásma pro odraz -13 dB.
- Pozorujte vliv kapacitního zakončení dipólu na rezonanční frekvenci a šířku frekvenčního pásma.
- Najděte rezonanční délku čtvrtvlnného monopólu nad odraznou rovinnou deskou.
- Výsledky měření přehledně zpracujte.
- Porovnejte šířky pásma měřených antén a výsledek zdůvodněte/diskutujte s ohledem na jednotlivé typy antén.
- Zdůvodněte/diskutujte případné odchylky fyzické délky vytvořených monopólů od čtvrtiny vlnové délky ve volném prostoru.
- Z naměřeného průběhu koeficientu odrazu čtvrtvlnného monopólu nad odraznou rovinnou deskou určete závislost PSV a dále závislost impedance (reálná a imaginární část) tohoto monopólu na frekvenci.

2 Použité přístroje a programy

Měřič koeficientů odrazu SiteMaster S400A, sada kalibrů OPEN, SHORT a LOAD

Měřič SiteMaster S400A pomocí vektorového analyzátoru určuje amplitudu a fázi koeficientu odrazu. Na displeji zobrazuje frekvenční závislost poměru výkonu generátoru a výkonu odraženého od vstupu antény v decibelech (anglicky Return Loss, RL). Vztah mezi RL a amplitudou koeficientu odrazu Γ v decibelech je prostý:

$$RL = -\Gamma \text{ [dB]}. \quad (2.1)$$

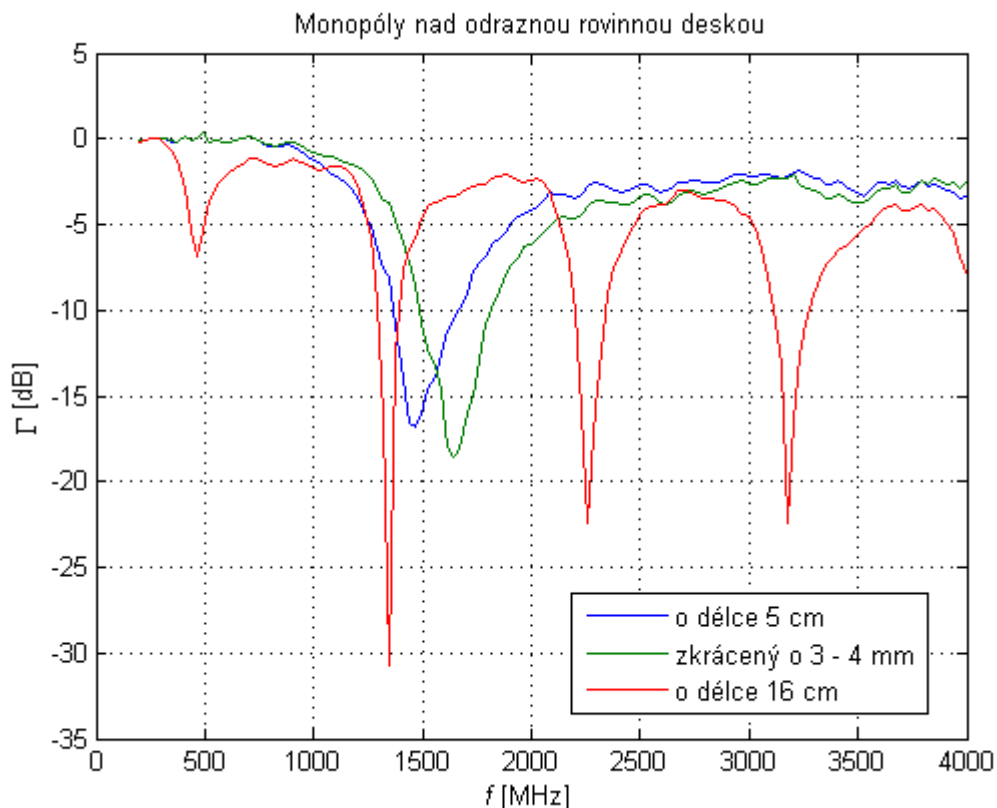
Výstupní data ve formátu xls již byla přepočtena na amplitudu koeficientu odrazu Γ [dB]. Přepočet na absolutní hodnotu koeficientu odrazu [-] se provede následovně:

$$|\Gamma| [-] = 10^{-\frac{RL}{20}} = 10^{\frac{\Gamma[\text{dB}]}{20}}. \quad (2.2)$$

Před samotným měřením bylo nutné přístroj kalibrovat pomocí postupného připojování kalibrů OPEN (otevřený konec vedení), SHORT (zkratovaný konec vedení) a LOAD (přizpůsobená zátěž).

Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu **MATLAB** (viz příloha A).

3 Měření koeficientů odrazu, rezonančních kmitočtů a šířek pásma antén



Obrázek 3.1

Tabulka 3.1

Typ antény	Rezonanční kmitočty [MHz]	Šířka pásma pro odraz -13 dB [MHz]
monopól o délce 5 cm	1467	150
předchozí monopól zkrácený o cca 3 - 4 mm	1643	200
monopól o délce 16 cm	465,1	- ¹
	1349	75
	2262	100
	3175	90

Pro nekonečně tenký monopól spočteme rezonanční délku tak, aby pracoval stejně jako měřený monopól délky 5 cm na frekvenci 1467 MHz:

$$\frac{\lambda_r}{4} = \frac{c}{4f_r} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,467 \cdot 10^9} \text{ m} = 5,11 \text{ cm} .$$

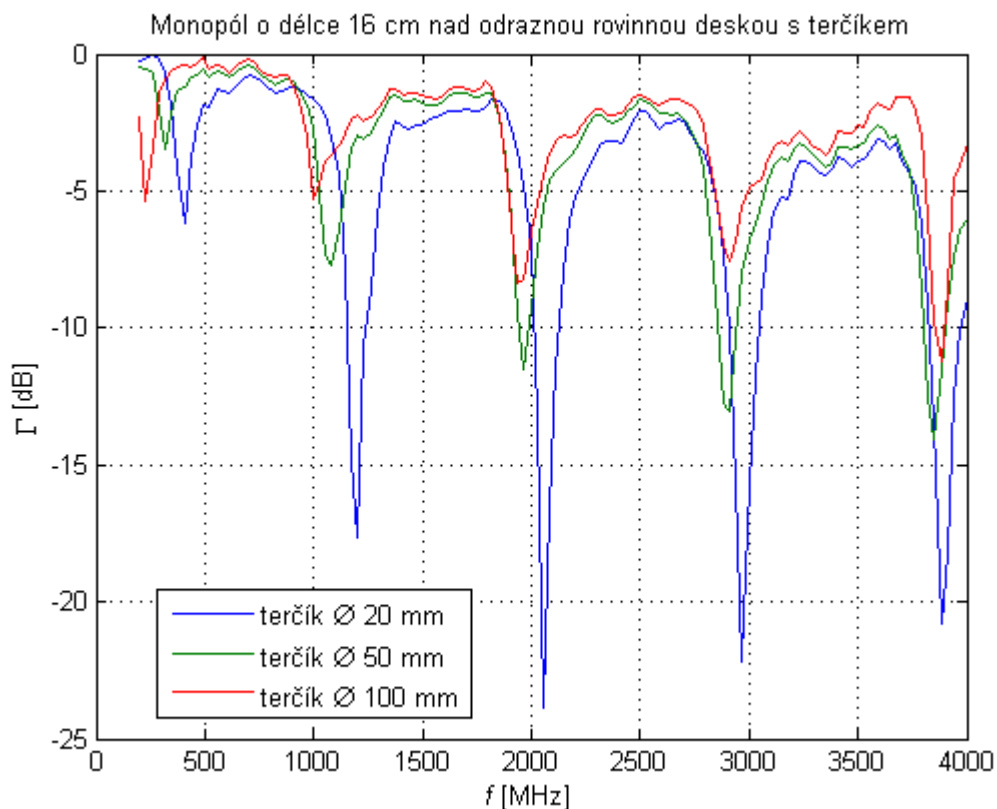
Vidíme, že rezonanční délka monopólu konečné tloušťky je menší. Je tomu tak proto, že při zvětšování průměru vodiče antény dochází ke zvyšování kapacity na jednotku délky a sou-

¹ Nebyla splněna podmínka odrazu maximálně -13 dB.

časnému snižování indukčnosti na jednotku délky. Navíc se však zvyšuje kapacita konce vodiče vůči zemi. Podmínka rezonance

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} \quad (3.1)$$

si pro zachování dané rezonanční frekvence vynucuje snížení indukčnosti antény jejím zkrácením.



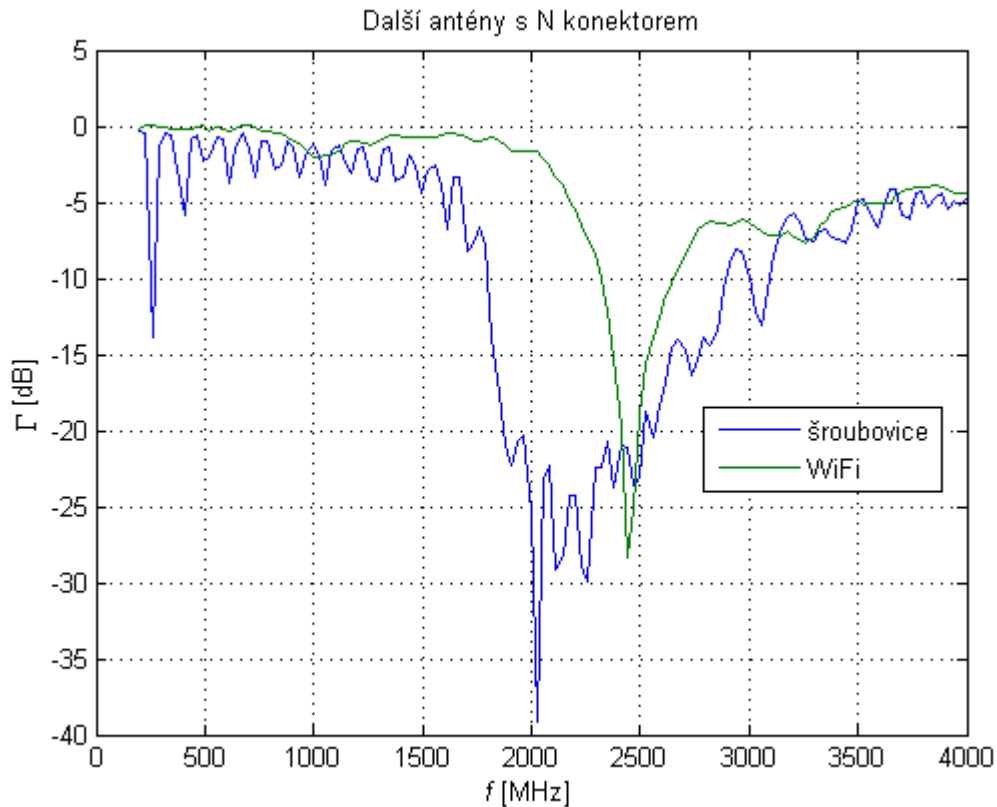
Obrázek 3.2

Tabulka 3.2

Typ antény	Rezonanční kmitočet [MHz]	Šířka pásma pro odraz -13 dB [MHz]
monopól o délce 16 cm s terčikem o průměru 20 mm	406,2	-
	1202	60
	2056	80
	2969	90
	3882	88
monopól o délce 16 cm s terčikem o průměru 50 mm	317,8	-
	1054	-
	1967	-
	2910	-
	3853	30
monopól o délce 16 cm s terčikem o průměru 100 mm	229,5	-
	995,3	-
	1938	-
	2910	-
	3882	-

Pokud monopól kapacitně zakončíme, klesne vlivem zvýšení kapacity antény její rezonanční frekvence. Plyne to z podmínky rezonance (3.1). Se zvětšováním průměru terčíku roste jeho kapacita vzhledem k zemi a reaktanční složka impedance antény klesá směrem k záporným hodnotám. To vede ke zhoršení přizpůsobení antény. Zároveň dojde k určitému rozšíření kmitočtového pásma.

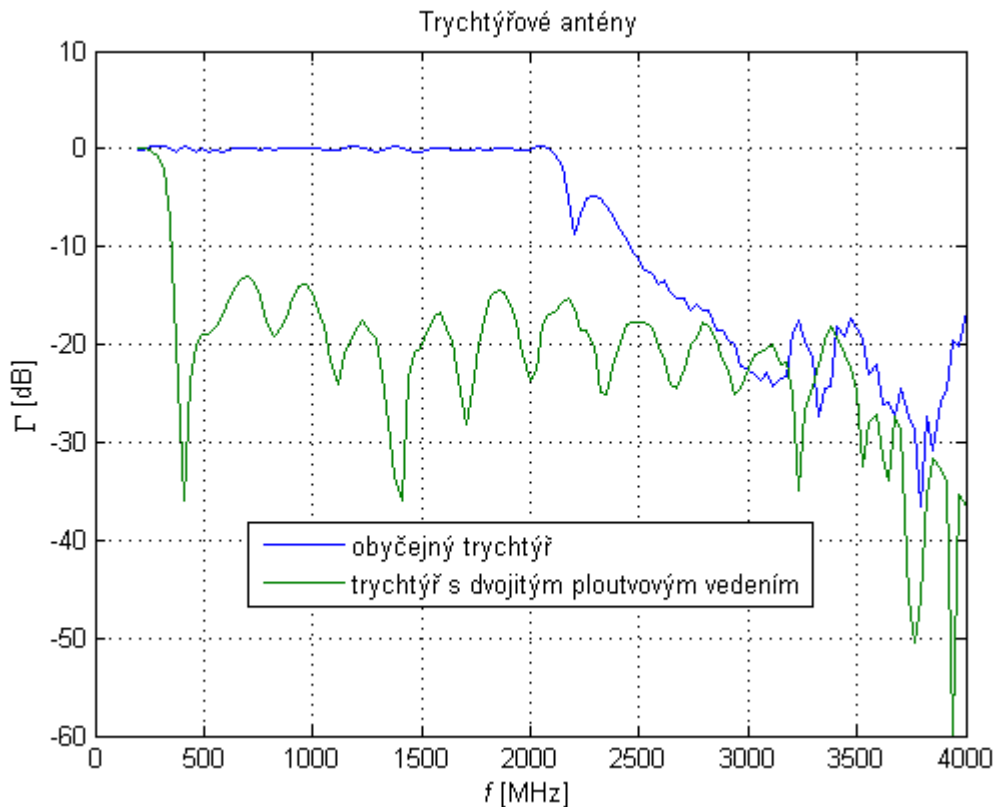
Protože je monopól rezonanční anténou, má poměrně úzké pracovní frekvenční pásmo.



Obrázek 3.3

Tabulka 3.3

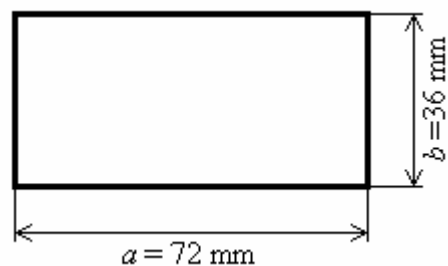
Typ antény	Rezonanční kmitočet [MHz]	Šířka pásma pro odraz -13 dB [MHz]
šroubovicová anténa	2026	1030
WiFi anténa	2439	205



Tabulka 3.4

Typ antény	Mezní kmitočet [MHz]	Šířka pásma pro odraz -13 dB
trychtýřová anténa	2085	nelze určit (horní mezní kmitočet mimo rozsah měření)
trychtýř s dvojitým ploutvovým vedením	230	nelze určit (horní mezní kmitočet mimo rozsah měření)

Trychtýřové antény jsou antény vlnovodného typu. Každý vlnovod má kritické kmitočty, jež jsou určeny jeho rozměry. Pod nejnižším kritickým kmitočtem (v tabulce 3.4 označeným jako mezní) se vlna vlnovodem nešíří. Nad tímto kmitočtem se začíná šířit dominantní vid a na vyšších kritických frekvencích se přidávají další vidy. Rozměry vlnovodu první antény (graf modré barvy na obrázku 3.4) jsou znázorněny na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5

Pro kritický kmitočet obdélníkového vlnovodu, od něhož se začíná šířit vid TE_{mn} nebo TM_{mn} , platí vztah

$$f_k = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}, \quad (3.2)$$

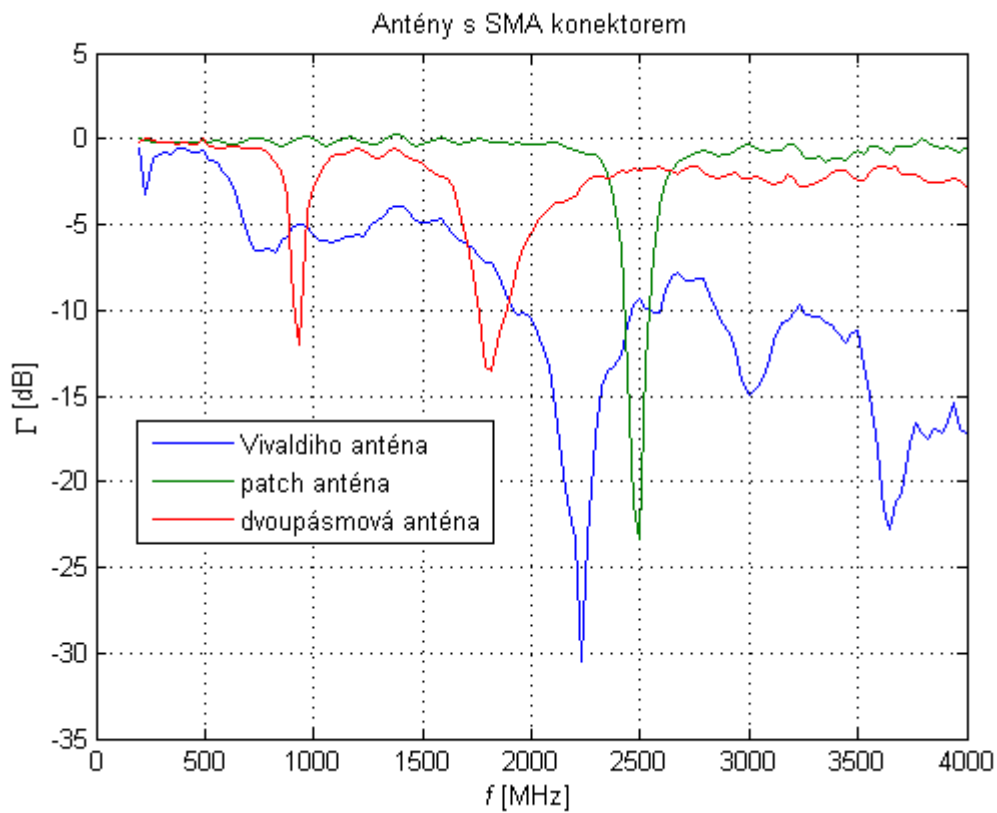
Pro dominantní vid TE_{10} a vzduchový vlnovod dostaneme

$$f_k = \frac{c}{2a} \quad (3.3)$$

a po dosazení

$$f_k = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 72 \cdot 10^{-3}} \text{ Hz} = 2083,33 \text{ MHz},$$

což je v souladu se změřenou hodnotou.



Obrázek 3.6

Tabulka 3.5

Typ antény	Rezonanční kmitočet [MHz]	Šířka pásma pro odraz -13 dB [MHz]
Vivaldiho anténa	2233	300
patch anténa	2498	100
dvoupásmová anténa	936,4	-
	1820	80

Dvoupásmová anténa vzhledem k hodnotám rezonančních kmitočtů nalezne využití při detekci GSM signálů.

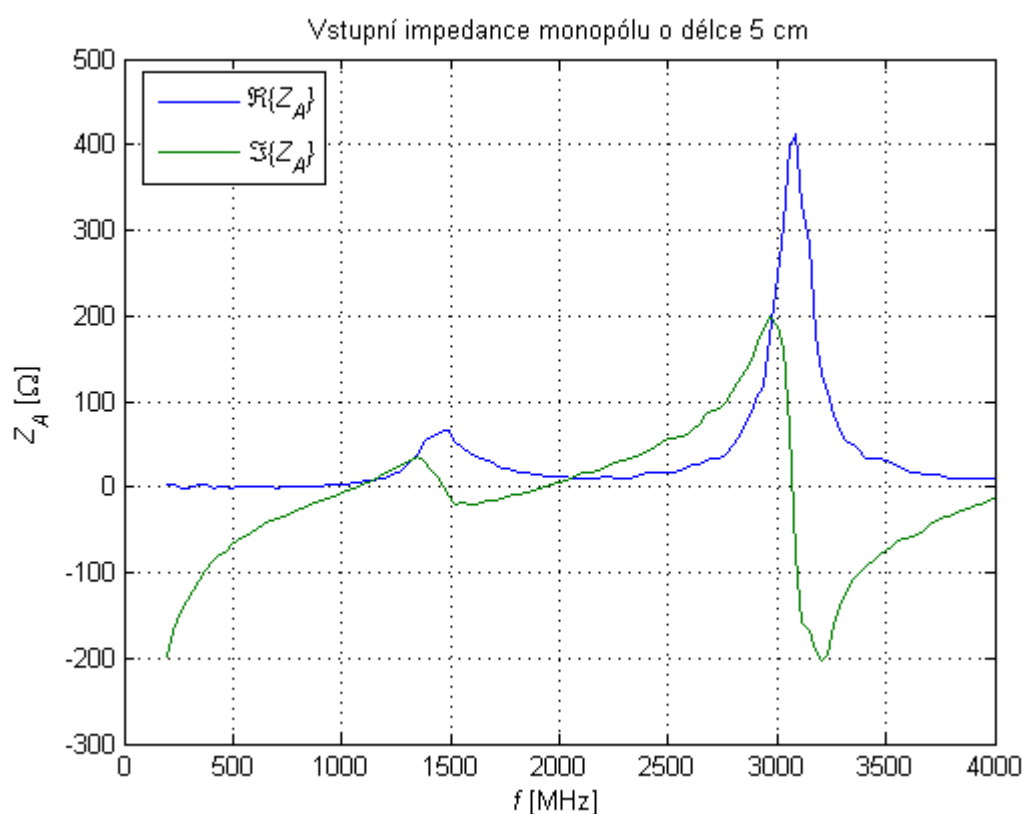
4 Impedance a *PSV* monopólu nad rovinnou deskou

Pro výpočet závislosti reálné a imaginární části impedance antény a *PSV* na kmitočtu vybereme monopól o délce 5 cm. Vztah mezi koeficientem odrazu Γ , charakteristickou impedancí přívodního vedení $Z_0 = 50 \Omega$ a vstupní impedancí antény Z_A lze vyjádřit rovnicí

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}. \quad (4.1)$$

Po úpravě dostaneme vzorec pro impedanci Z_A :

$$Z_A = Z_0 \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}. \quad (4.2)$$



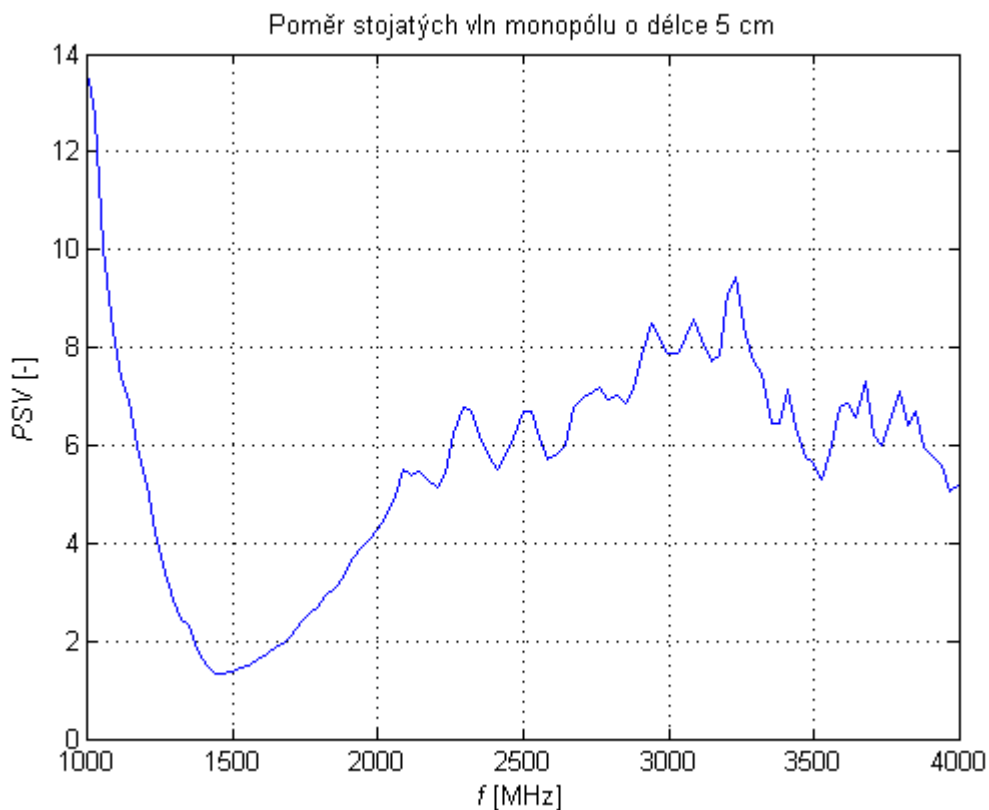
Obrázek 4.1

Z grafu na obrázku 4.1 můžeme určit rezonanční frekvence 1467 MHz a 3087 MHz. Pokud tento graf porovnáme se závislostí koeficientu odrazu Γ na frekvenci (modrý graf na obrázku 3.1), všimneme si, že koeficient odrazu poklesl pouze pro případ rezonančního kmitočtu 1467 MHz. To je dáno tím, že na frekvenci 3087 MHz má anténa několikrát vyšší reálnou složku impedance než na kmitočtu první rezonance, a tudíž není přizpůsobena k 50Ω vedení.

Poměr stojatých vln se určí ze vztahu

$$PSV = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}. \quad (4.3)$$

Z grafu na obrázku 4.2² je patrné, že na rezonanční frekvenci 1467 MHz je poměr stojatých vln nejmenší, konkrétně $PSV = 1,339$.



Obrázek 4.2

² Zobrazený interval kmitočtů začíná na 1000 MHz, neboť na nižších kmitočtech roste PSV do vysokých hodnot a zároveň se zde objevují záporné hodnoty, což je dáno chybou určení koeficientu odrazu Γ , kdy jeho hodnoty přesáhly o setiny referenční hladinu 0 dB.

Seznam použitých symbolů

a	1. rozměr vlnovodu
b	2. rozměr vlnovodu
c	rychlost světla
C	celková kapacita antény
f_r	rezonanční frekvence antény
L	celková indukčnost antény
m	počet půlvln vidu TE nebo TM ve směru rozměru a
n	počet půlvln vidu TE nebo TM ve směru rozměru b
PSV	poměr stojatých vln
RL	Return Loss, poměr mezi vyzářeným a odraženým výkonem [dB]
Z_0	charakteristická impedance vedení (50 Ω)
Z_A	vstupní impedance antény
ϵ_r	relativní permitivita (dielektrika uvnitř vlnovodu)
λ_r	rezonanční vlnová délka antény
ω_r	rezonanční úhlová frekvence antény
Γ	koeficient odrazu

Příloha A Skripty použité při zpracování naměřených dat v MATLABu

nacteniDat.m

```
monopol=xlsread('Impedance.xls','A5:C134');
zkracenyMonopol=xlsread('Impedance.xls','E5:G134');
monopol16cm=xlsread('Impedance.xls','I5:K134');
monopolSDestickou20mm=xlsread('Impedance.xls','M5:O134');
monopolSDestickou50mm=xlsread('Impedance.xls','Q5:S134');
monopolSDestickou100mm=xlsread('Impedance.xls','U5:W134');
sroubovice=xlsread('Impedance.xls','Y5:AA134');
wifi=xlsread('Impedance.xls','AC5:AE134');
trychtyr=xlsread('Impedance.xls','AG5:AI134');
trychtyrPloutev=xlsread('Impedance.xls','AK5:AM134');
vivaldi=xlsread('Impedance.xls','AO5:AQ134');
patch=xlsread('Impedance.xls','AS5:AU134');
dvojpassmova=xlsread('Impedance.xls','AW5:AY134');
```

grafyCiniteleOdrazu.m

```
figure(1);
plot(monopol(:,1), monopol(:,2), zkracenyMonopol(:,1),
      zkracenyMonopol(:,2), monopol16cm(:,1), monopol16cm(:,2));
title('Monopóly nad odraznou rovinnou deskou');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\Gamma [dB]');
legend('o délce 5 cm', 'zkrácený o 3 - 4 mm', 'o délce 16 cm');
legend('Location','Best');
grid on;
figure(2);
plot(monopolSDestickou20mm(:,1), monopolSDestickou20mm(:,2),
      monopolSDestickou50mm(:,1), monopolSDestickou50mm(:,2),
      monopolSDestickou100mm(:,1), monopolSDestickou100mm(:,2));
title('Monopól o délce 16 cm nad odraznou rovinnou deskou s terčikem');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\Gamma [dB]');
legend('terčík \oslash 20 mm', 'terčík \oslash 50 mm', 'terčík \oslash
      100 mm');
legend('Location','Best');
grid on;
figure(3);
plot(sroubovice(:,1), sroubovice(:,2), wifi(:,1), wifi(:,2));
title('Další antény s N konektorem');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\Gamma [dB]');
legend('šroubovice', 'WiFi');
legend('Location','Best');
grid on;
figure(4);
plot(trychtyr(:,1), trychtyr(:,2), trychtyrPloutev(:,1),
      trychtyrPloutev(:,2));
title('Trychtýřové antény');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\Gamma [dB]');
legend('obyčejný trychtýř', 'trychtýř s dvojitým ploutvovým vedením');
legend('Location','Best');
grid on;
figure(5);
plot(vivaldi(:,1), vivaldi(:,2), patch(:,1), patch(:,2), dvojpassmova(:,1),
      dvojpassmova(:,2));
```

```

title('Antény s SMA konektorem');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\Gamma [dB]');
legend('Vivaldiho anténa', 'patch anténa', 'dvoupásmová anténa');
legend('Location', 'Best');
grid on;

```

impedanceAPSVMonopolu.m

```

antena=monopol;
frekv=antena(:,1);
Z_0=50;


```

%prevod [dB] na [-]
abs_s_11=10.^(antena(:,2)/20);


```

%prevod [°] na [rad]
faze_s_11=2*pi*antena(:,3)/360;


```

%prevod exp tvaru na slozkovy
s_11 = abs_s_11.*exp(i*faze_s_11);
Z_A=Z_0*(1+s_11)./(1-s_11);
PSV=(1+abs_s_11)./(1-abs_s_11);
figure(1);
plot3(frekv, real(Z_A), imag(Z_A));
title('Vstupní impedance monopólu o délce 5 cm');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\Re{\it{Z}_A}\rm{ [\Omega]}');
zlabel('\Im{\it{Z}_A}\rm{ [\Omega]}');
grid on;
figure(2);
plot(frekv, real(Z_A), frekv, imag(Z_A));
title('Vstupní impedance monopólu o délce 5 cm');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\it{Z}_A\rm{ [\Omega]}');
legend('\Re{\it{Z}_A}', '\Im{\it{Z}_A}');
legend('Location', 'Best');
grid on;
figure(3);
plot(frekv, PSV);
title('Poměr stojatých vln monopólu o délce 5 cm');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\it{PSV}\rm{ [-]}');
grid on;
figure(4);
plot(frekv, PSV);
title('Poměr stojatých vln monopólu o délce 5 cm');
xlabel('\it{f}\rm{ [MHz]}');
ylabel('\it{PSV}\rm{ [-]}');
xlim([1000 4000]);
grid on;

```


```


```


```