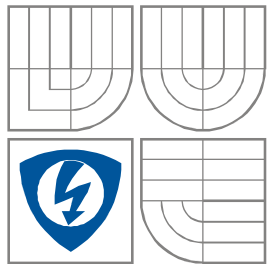


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# PLOŠNÉ A ČIPOVÉ ANTÉNY NA DESKÁCH PLOŠNÝCH SPOJŮ

PLANAR AND CHIP ANTENNAS ON PRINTED CIRCUIT BOARDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LUKÁŠ NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ URBANEC, Ph.D.

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Lukáš Novák

**ID:** 109704

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

### Plošné a čipové antény na deskách plošných spojů

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s obecnými pravidly rozmístování planárních a čipových antén (v pásmu 2,4GHz a 5GHz) na DPS s ohledem na: 1. prostorovou a polarizační diverzitu, 2. vzájemné ovlivňování parametrů antén sebe samých, 3. umístění antén na DPS (hrana desky a podobně). Pro vybraný druh antény (čipová anténa – „chip antenna“ a planární invertované F anténa – „planar inverted-f antenna - PIFA“) proveďte simulace a porovnání různých případů umístění antén odpovídající/odporující pravidlům pro návrh (např. antény příliš blízko u sebe, nedodržení velikosti zemní plochy okolo antén, atd.).

Prakticky zrealizujte a proveďte měření na vybraném modelovém příkladu správného (výrobce doporučeného) a „nesprávného“ (v praxi se nejvíce potýkáme právě s nemožností dodržení velikosti zemní plochy či možnosti umístění antény na hranu desky) umístění antén a porovnejte naměřené výsledky s výsledky simulací.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] LIN, Y. F., LIN C. H., CHEN, H. M., JAN, J. Y., CHEN, W. S. Design of ceramic chip antenna for 2.4/5 GHz WLAN applications. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Albuquerque, p. 985-988, 914, July 2006.
- [2] SHIN, Y. S., PARK, S. O. A novel PIFA for 2.4 and 5 GHz WLAN application. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Albuquerque, p.645-648, 915, July 2006.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se zaměřuje na pravidla správného rozmístování čipových a plošných antén na deskách plošných spojů vzhledem k prostorové a polarizační diverzitě, jejich vzájemnému ovlivňování a umístění antén na deskách plošných spojů, dále obsahuje simulace různého rozmístění vybraných čipových a plošných antén, poslední část je věnována realizaci a měření vybraných případů umístění antén.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Planární anténa, čipová anténa, prostorová diverzita, polarizační diverzita, vzájemné ovlivňování, CST.

## **ABSTRACT**

This work is focused on the rules for proper deployment of chip and planar antennas on circuit boards due to the spatial and polarization diversity, their interaction and placement of antennas on printed circuit boards, also includes simulation of various deployment of selected chip and planar antennas, last part is focused on realization and measurement of selected case of placement.

## **KEYWORDS**

Planar antenna, chip antenna, spatial diversity, polarization diversity, interaction, CST.

NOVÁK, L. *Plošné a čipové antény na deskách plošných spojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky 2015. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D..

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Plošné a čipové antény na deskách plošných spojů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucím bakalářské práce Ing. Tomáši Urbanci, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>xii</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Použité typy antén</b>	<b>2</b>
1.1 Planární antény .....	2
1.1.1 Teorie .....	2
1.1.2 Simulovaná anténa .....	4
1.2 Čipové antény .....	7
1.2.1 Teorie .....	7
1.2.2 Simulovaná anténa .....	8
<b>2 Rozmíst'ování s ohledem na polarizační a prostorovou diverzitu</b>	<b>11</b>
2.1 Prostorová diverzita .....	11
2.2 Polarizační diverzita .....	13
<b>3 Rozmíst'ování S ohledem na ovlivňování parametrů antén sebe samých</b>	<b>14</b>
3.1 Polarizace .....	14
3.2 Velikost antén .....	14
3.3 Vyzařování .....	14
3.4 Šíření povrchových vln a proudů zemní deskou .....	14
3.5 Shrnutí .....	15
3.6 Simulace vzájemného ovlivňování PIFA .....	15
3.7 Simulace vzájemného ovlivňování čipových antén .....	19
<b>4 Rozmíst'ování S ohledem na umístění antén na DPS</b>	<b>22</b>
4.1 Čipové antény .....	22
4.2 Planárně invertované F antény .....	23
4.3 Shrnutí .....	25
4.4 Simulace různých poloh antén na DPS .....	25

<b>5</b>	<b>Výroba zvolených antén</b>	<b>30</b>
5.1	Výroba planární invertované F antény.....	30
5.2	Výroba chipové antény .....	32
<b>6</b>	<b>Měření antén</b>	<b>36</b>
6.1	Měření Planární invertované F antény.....	36
6.1.1	Měření směrových charakteristik.....	36
6.1.2	Měření vzájemných poloh antén na DPS.....	39
6.2	Měření chipové antény.....	41
6.2.1	Měření vlivu nedodržení minimálního prostoru bez zemní plochy kolem antény .....	42
6.2.2	Měření vlivu špatného umístění antény na DPS.....	43
6.2.3	Měření vzájemného ovlivňování antén.....	45
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>47</b>
	<b>Literatura</b>	<b>48</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>49</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1	Vyzařování elementární plošky převzato z [4].	2	
Obrázek 1.2	Nejpoužívanější způsoby napájení planárních antén a) mikropáskovým vedením, b) mikropáskovým vedením s kapacitní vazbou, c) dvouvrstvé mikropáskové vedení, d) mikropáskové vedení s čtrtvlným transformátorem, e) napájení koaxiálním kabelem, d) napájení koaxiálním kabelem s kapacitní vazbou.	2	
Obrázek 1.3	Rozměry modelu antény převzato z [2].	4	
Obrázek 1.4	Parametr S11(dB) simulované antény v CST MS.	5	
Obrázek 1.5	Parametr S11(dB) antény převzato z [2].	5	
Obrázek 1.6	Vyzařovací diagram antény PIFA v rovině yz.	6	
Obrázek 1.7	Vyzařovací diagram antény PIFA v rovině yz.	6	
Obrázek 1.8	Vyzařovací diagram antény PIFA v rovině xz.	7	
Obrázek 1.9	Vyzařovací diagram antény PIFA v rovině xz.	7	
Obrázek 1.10	Struktura simulované čipové antény.	8	
Obrázek 1.11	Jednotlivé vrstvy čipové antény.	8	
Obrázek 1.12	Parametr S11 simulované čipové antény.	9	
Obrázek 1.13	Vyzařovací diagram čipové antény v rovině yz.	9	
Obrázek 1.14	Vyzařovací diagram čipové antény v rovině yz.	10	
Obrázek 1.15	Vyzařovací diagram čipové antény v rovině xz.	10	
Obrázek 1.16	Vyzařovací diagram čipové antény v rovině xz.	10	
Obrázek 2.1	Naznačení principu prostorové diverzity převzato z [7].	12	
Obrázek 2.2	Závislost korelace mezi dvěma PIFA na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.	12	
Obrázek 2.3	Diverzitní zisk pro dvě PIFA v závislosti na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.	12	
Obrázek 2.4	Závislost korelace mezi dvěma čipovými anténami na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.	13	
Obrázek 2.5	Diverzitní zisk pro dvě čipové antény v závislosti na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.	13	
Obrázek 3.1	Umístění PIFA při simulacích vzájemného ovlivňování.	15	
Obrázek 3.2	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.3 Anténa 2, rovina zx.	16
Obrázek 3.4	Anténa 1, rovina zy.		
	Obrázek 3.5 Anténa 2, rovina zy.	16	

Obrázek 3.6	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.7	Anténa 2, rovina zx.....	16
Obrázek 3.8	Anténa 1, rovina zy.	Obrázek 3.9	Anténa 2, rovina zy.....	17
Obrázek 3.10	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.11	Anténa 2, rovina zx.....	17
Obrázek 3.12	Anténa 1, rovina zy.	Obrázek 3.13	Anténa 2, rovina zy.....	17
Obrázek 3.14	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.15	Anténa 2, rovina zx.....	18
Obrázek 3.16	Anténa 1, rovina zy.	Obrázek 3.17	Anténa 2, rovina zy.....	18
Obrázek 3.18	Umístění čipových antén při simulacích vzájemného ovlivňování. ....			19
Obrázek 3.19	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.20	Anténa 2, rovina zx.....	19
Obrázek 3.21	Anténa 1, rovina zy.	Obrázek 3.22	Anténa 2, rovina zy.....	19
Obrázek 3.23	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.24	Anténa 2, rovina zx.....	20
Obrázek 3.25	Anténa 1, rovina zy.	Obrázek 3.26	Anténa 2, rovina zy.....	20
Obrázek 3.27	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.28	Anténa 2, rovina zx.....	20
Obrázek 3.29	Anténa 1, rovina zy.	Obrázek 3.30	Anténa 2, rovina zy.....	21
Obrázek 3.31	Anténa 1, rovina zx.	Obrázek 3.32	Anténa 2, rovina zx.....	21
Obrázek 3.33	Anténa 1, rovina zy.	Obrázek 3.34	Anténa 2, rovina zy.....	21
Obrázek 4.1	Příklady dobrých a špatných případů umístění antén na DPS převzato z [9].....			22
Obrázek 4.2	Příklady dobrých a špatných případů umístění antén na DPS převzato z [9].....			22
Obrázek 4.3	Příklad správného umístění více antén převzato z [9]. ....			22
Obrázek 4.4	Parametr S11 čipové antény v závislosti na procentuelní velikosti původní zemnicí plochy.....			23
Obrázek 4.5	Parametr S11 PIFA v závislosti na procentuelní velikosti původní zemnicí plochy. ....			24
Obrázek 4.6	S11 PIFA umístěné uprostřed zemnicí plochy. ....			24
Obrázek 4.7	S11 PIFA umístěné úplně Nalevo zemnicí plochy. ....			24
Obrázek 4.8	S11 PIFA umístěné úplně napravo zemnicí plochy.....			24
Obrázek 4.9	Kombinace antén č.1.....			25
Obrázek 4.10	S parametry pro kombinaci antén č.1, vzdálenost= $\lambda/4$ . ....			26
Obrázek 4.11	Kombinace antén č.2.....			26
Obrázek 4.12	S parametry pro kombinaci antén č.2, vzdálenost= $\lambda/4$ . ....			26
Obrázek 4.13	Kombinace antén č.3.....			27
Obrázek 4.14	S parametry pro kombinaci antén č.3, vzdálenost a,b= $\lambda/4$ . ....			27
Obrázek 4.15	Kombinace antén č.1.....			27
Obrázek 4.16	S parametry pro kombinaci antén č.1, vzdálenost= $\lambda/4$ . ....			28

Obrázek 4.17	Kombinace antén č.2.....	28
Obrázek 4.18	S parametry pro kombinaci antén č.2, vzdálenost= $\lambda/4$ .....	28
Obrázek 4.19	Kombinace antén č.3.....	29
Obrázek 4.20	S parametry pro kombinaci antén č.3, vzdálenost a,b= $\lambda/4$ .....	29
Obrázek 5.1	Parametr S11 pro různé materiály antény.....	30
Obrázek 5.2	Šablona pro vyříznutí PIFA s jejími rozměry v mm.....	31
Obrázek 5.3	Porovnání parametru S11 u realizované PIFA s její simulací.....	31
Obrázek 5.4	Vyrobená PIFA.....	32
Obrázek 5.5	Zjednodušená struktura pro výrobu chipové antény.....	32
Obrázek 5.6	Nejlepší dosažené výsledky zjednodušené antény.....	32
Obrázek 5.7	Rozměry zemní desky chipové antény převzato z [14].....	33
Obrázek 5.8	Upravená zemní deska chipové antény.....	33
Obrázek 5.9	Koplanární vedení.....	34
Obrázek 5.10	Závislost relativní permitivity FR4 na kmitočtu [15].....	35
Obrázek 5.11	Parametr S11 chipové antény pro vhodnou a nevhodnou zemní desku.....	35
Obrázek 5.12	Chipová anténa osazená na vyrobené zemní desce.....	36
Obrázek 6.1	PIFA se 67 % zemní plochou.....	36
Obrázek 6.2	Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině yz, f=2.4GHz.....	37
Obrázek 6.3	Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině zx, f=2.4GHz.....	37
Obrázek 6.4	Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině yz, f=5.725GHz.....	38
Obrázek 6.5	Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině zx, f=5.725GHz.....	38
Obrázek 6.6	Parametry S11 PIFA se 67 % zemní plochou.....	39
Obrázek 6.7	Vzájemná poloha antén č.2 podle 4.4.....	39
Obrázek 6.8	Vzájemná poloha antén č.3 podle 4.4.....	40
Obrázek 6.9	S-parametry PIFA pro vzájemnou polohu č.2 viz obr. 4.11 vzdálenost= $\lambda/4$ .....	40
Obrázek 6.10	S-parametry PIFA pro vzájemnou polohu č.3 viz obr. 4.13 vzdálenost a,b= $\lambda/4$ .....	41
Obrázek 6.11	Porovnání S11 antény osazené na vyrobené zemní desce a průběhu S11 uvedeného v [14].....	41
Obrázek 6.12	Zemní deska chipové antény s nedodrženým minimálním prostorem kolem antény.....	42
Obrázek 6.13	Vyrobená zemní deska s nedodrženým minimálním prostorem kolem antény s osazenou anténou.....	42
Obrázek 6.14	Vliv nedodržení minimálního prostoru bez zemní plochy kolem antény.....	43

Obrázek 6.15	Zemní deska s nevhodně umístěnou chipovou anténou.....	43
Obrázek 6.16	Osazená zemní deska s nevhodně umístěnou chipovou anténou.....	44
Obrázek 6.17	Změřené hodnoty S11 při správném a nesprávném umístění chipové antény.....	44
Obrázek 6.18	Zemní deska pro osazení dvěma chipovými anténami. ....	45
Obrázek 6.19	Vyrobena zemní deska osazená dvěma chipovými anténami.....	45
Obrázek 6.20	Změřené S parametry při umístění dvou chipových antén na jedné desce. .....	46

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1	Přehled typů planárních antén převzato z [5] .....	3
Tabulka 2.2	Vliv velikosti zemnicí plochy na vlastnosti antény převzato z [6] .....	4
Tabulka 2.3	Rozměry simulované PIFA.....	5
Tabulka 2.4	Rozměry simulované čipové antény .....	9

# ÚVOD

Jedním z trendů současných přenosných bezdrátových komunikačních zařízení je jejich co největší miniaturizace, to má vliv i na dílčí části těchto zařízení, jakými jsou například antény, těm je v zařízení často vymezen pouze velmi malý prostor a v jejich blízkosti jsou mnohdy umístěny jak dielektrické tak vodivé materiály, které ovlivňují jejich správnou činnost. Dalším z trendů je také zajištění co největší multifunkčnosti těchto zařízení a tím i používání několika různých technologií pro přenos informací, z toho plyne nutnost použití více antén. Použití více antén nemusí být nutně spojeno pouze s použitím více technologií přenosu, ale lze je použít k diverzifikačnímu příjmu a tím i ke snížení ztrát.

Jak bylo uvedeno výše, tak není možné umísťovat antény na DPS libovolně, ale je nutné dodržovat určitá pravidla pro jejich umístění, cílem této práce je seznámit se s doporučenými pravidly výrobců o rozmístování antén vzhledem k prostorové a polarizační diverzitě, jejich vzájemnému ovlivňování a umístění na DPS a provést simulace různých rozmístění pro vybrané typy antén. Všechny simulace byly prováděny v programu CST microwave studio.

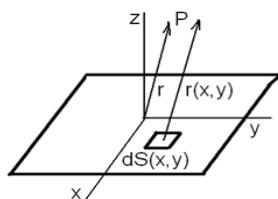
Bakalářská práce je rozdělena do šesti základních částí. V první části jsou popsány použité typy antén. Ve druhé části je rozebráno jejich umístění s ohledem na prostorovou a polarizační diverzitu. Třetí část se zabývá ovlivňováním antén sebe samých. Čtvrtá část se zabývá jejich umístěním na DPS. Pátá část popisuje výrobu vybraných antén a poslední část obsahuje porovnání měřených a simulovaných průběhů.

# 1 POUŽITÉ TYPY ANTÉN

## 1.1 Planární antény

### 1.1.1 Teorie

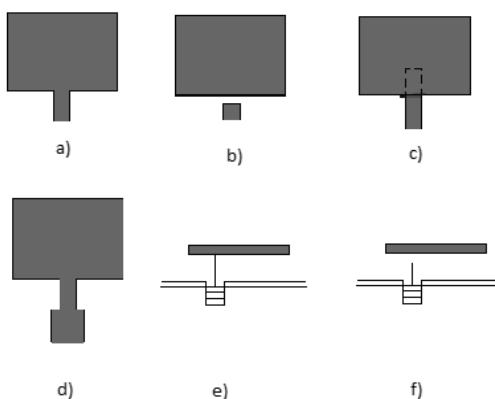
Mezi velice rozšířené typy antén patří planární antény, které využívají záření elementární plošky tzv. Huygensův princip:



Obrázek 1.1 Vyzařování elementární plošky převzato z [4].










Mezi jejich hlavní výhody patří malé rozměry, nízký profil, snadná integrovatelnost do planárních mikrovlnných obvodů, díky technologii výroby shodné s výrobou plošných spojů nízká výrobní cena i při malosériové výrobě, možnost naladění antény na více kmitočtů a možnost použití lineární nebo kruhové polarizace volbou polohy napájení. Jejich hlavními nedostatky jsou úzká impedanční šířka pásma, nízká polarizační čistota a nízká vyzařovací účinnost.

Existuje několik možností napájení, při napájení mikropáskovým vedením dochází k parazitnímu vyzařování napájecího vedení, tento problém výrazně potlačuje napájení koaxiálním kabelem, ale přicházíme o možnost snadné realizace napájecího systému při sdružování mikropáskových anténních prvků do anténních soustav.






Obrázek 1.2 Nejpoužívanější způsoby napájení planárních antén a) mikropáskovým vedením, b) mikropáskovým vedením s kapacitní vazbou, c) dvouvrstvé mikropáskové vedení, d) mikropáskové vedení s čtvrtlným transformátorem, e) napájení koaxiálním kabelem, f) napájení koaxiálním kabelem s kapacitní vazbou.

Tabulka 2.1 Přehled typů planárních antén převzato z [5].

Typ planární antény		Vyzařování	Směrnost	Polarizace	Šířka pásma	Poznámka
Flíčková anténa		Broadside	Střední	Lineární /Kruhová	Úzké	jednoduchý návrh
Slotová anténa		Broadside	Malá /Střední	Lineární	Střední	Obousměrná vyzařovací char.
Kruhová anténa		Broadside	Střední	Lineární /Kruhová	Úzké	složité napájení
Spirálová anténa		Broadside	Střední	Lineární /Kruhová	Široké	Balun, absorbér
Motýlková anténa		Broadside	Střední	Lineární	Široké	Balun, absorbér
Vivaldiho anténa		Endfire	Střední /Velká	Lineární	Široké	feed transition
LPDA(logaritmicko periodická anténa )		Endfire	Střední	Lineární	Široké	balun, dvouvrstvá
Anténa s povrchovou vlnou		Scannable	Velká	Lineární	Střední	řízení směru a naklápění směru paprsku
Quasi Yagi anténa		Endfire	Střední /Velká	Lineární	Široké	uniplanární, kompaktní

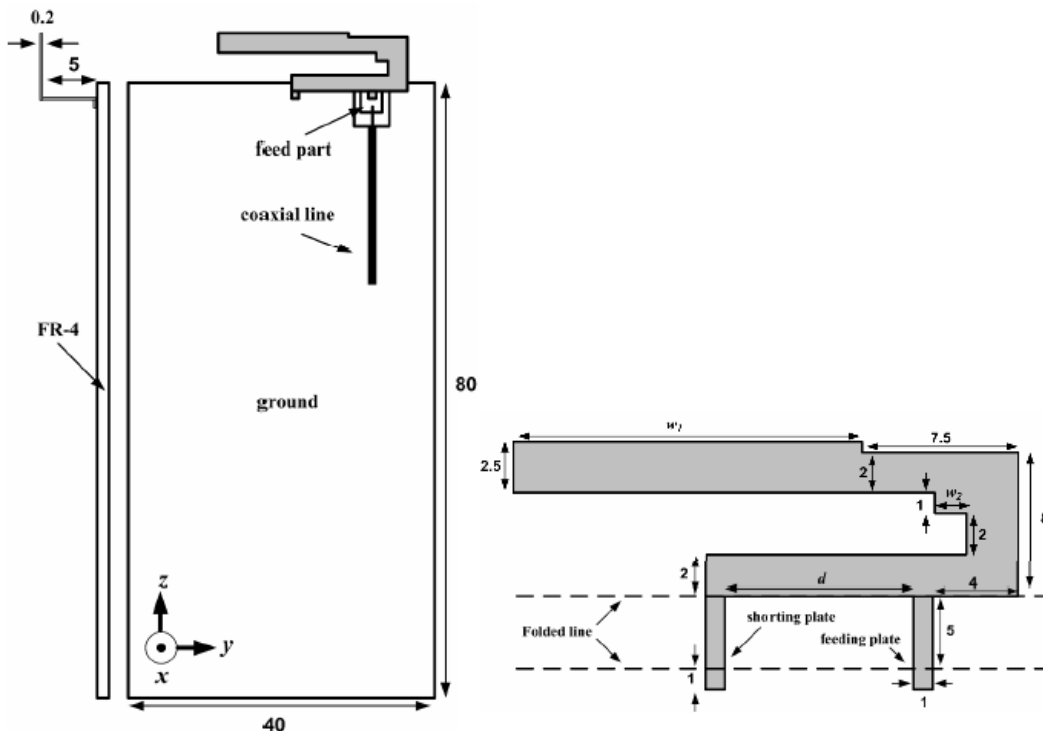


Tabulka 2.2 Vliv velikosti zemnicí plochy na vlastnosti antény převzato z [6].

Typ antény		Vliv na $f_r$	Vliv na šířku pásma	Vliv na směrovou charakteristiku
monopól		Velký (>15%)	Velký	Velký
zkratovaný monopól		Velký (>15%)	Velký	Velký
PIFA		Malý (≈5%)	Velký	Velký

### 1.1.2 Simulovaná anténa

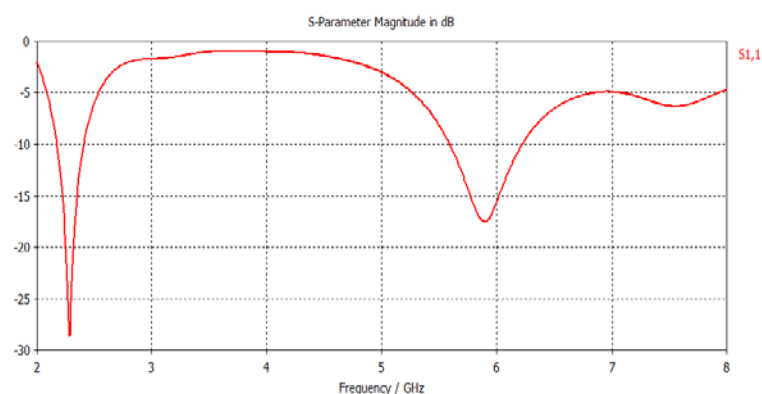
PIFA převzatá z [2] její geometrie je zobrazená na obrázku 2.2, anténa je upevněna na FR-4 substrátu o velikosti 40x80x1 mm<sup>3</sup>, spodní strana zemnicí desky je odstraněna. Anténa je napájena pomocí 50Ω koaxiálního vedení jehož vnitřní vodič je přímo připojen k napájecímu pinu. Hlavními ladícími parametry jsou vzdálenost mezi zkratovacím a napájecím pinem  $d$  pomocí které lze měnit impedanční přizpůsobení a šířky  $w_1$  a  $w_2$  pomocí kterých se nastavují rezonanční frekvence.



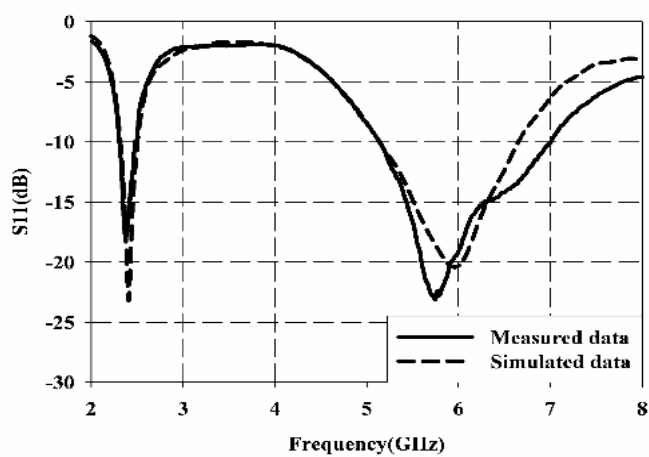
Obrázek 1.3 Rozměry modelu antény převzato z [2].

Tabulka 2.3 Rozměry simulované PIFA.

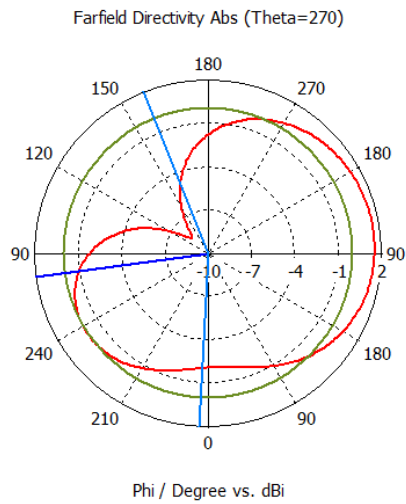
$w_1$	16,8mm
$w_2$	2mm
$d$	9mm



Obrázek 1.4 Parametr S11(dB) simulované antény v CST MS.



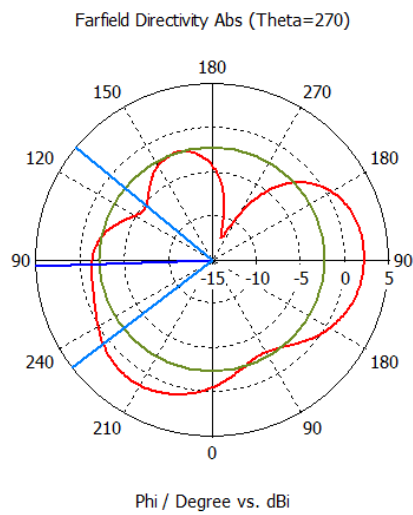
Obrázek 1.5 Parametr S11(dB) antény převzato z [2].



farfield (f=2.45) [1]

Frequency = 2.45  
 Main lobe magnitude = 1.5 dBi  
 Main lobe direction = 98.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 154.9 deg.  
 Side lobe level = -1.5 dB

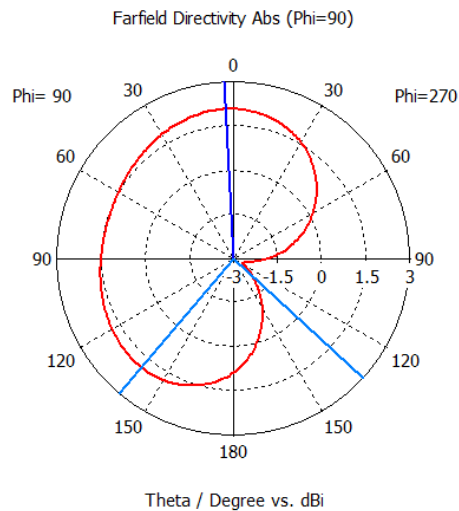
Obrázek 1.6 Vyzářovací diagram antény PIFA v rovině yz.



farfield (f=5.725) [1]

Frequency = 5.725  
 Main lobe magnitude = 2.2 dBi  
 Main lobe direction = 92.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 76.7 deg.  
 Side lobe level = -4.4 dB

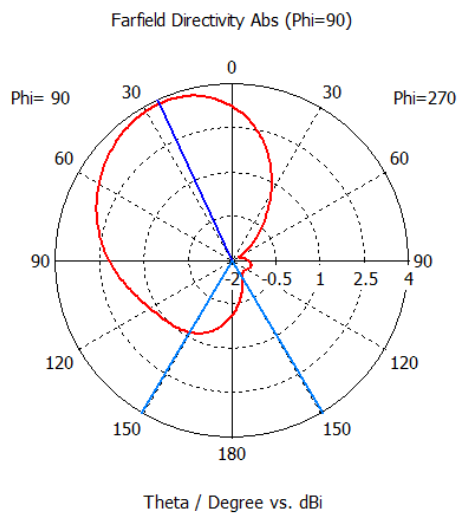
Obrázek 1.7 Vyzářovací diagram antény PIFA v rovině yz.



farfield (f=2.45) [1]

Frequency = 2.45  
 Main lobe magnitude = 2.1 dBi  
 Main lobe direction = 3.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 272.6 deg.

Obrázek 1.8 Vyzařovací diagram antény PIFA v rovině xz.



farfield (f=5.725) [1]

Frequency = 5.725  
 Main lobe magnitude = 3.8 dBi  
 Main lobe direction = 25.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 298.7 deg.

Obrázek 1.9 Vyzařovací diagram antény PIFA v rovině xz.

## 1.2 Čipové antény

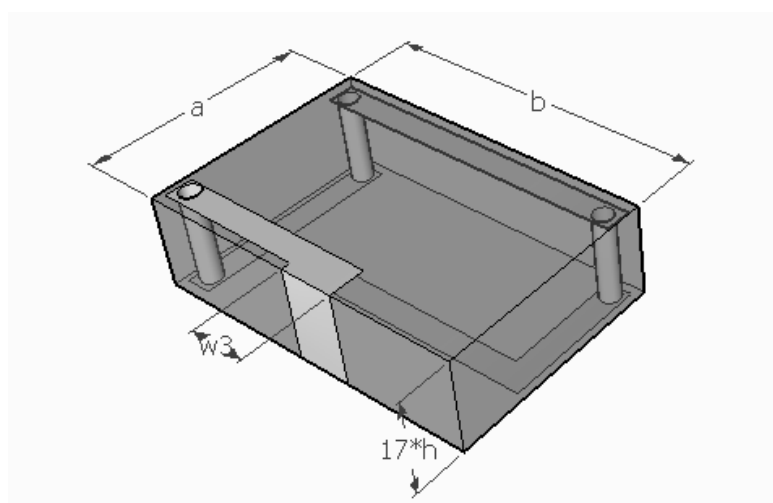
### 1.2.1 Teorie

Jsou malé antény z dielektrických materiálů o vysoké permitivitě využívající technologie Low Temperature Co-fired Ceramic (LTCC) a patentované hybridní elementy, které si výrobci pečlivě střeží. K osazení se používá SMD technologie. Pro jejich správnou funkci je nutno použití přizpůsobovacího obvodu. U antény je požadovaná určitá minimální zemnicí plocha. Zisk antén se pohybuje do 1 dBi. Používají se u frekvencí do 300MHz a u frekvencí vyšších než 2500MHz. Jsou velice

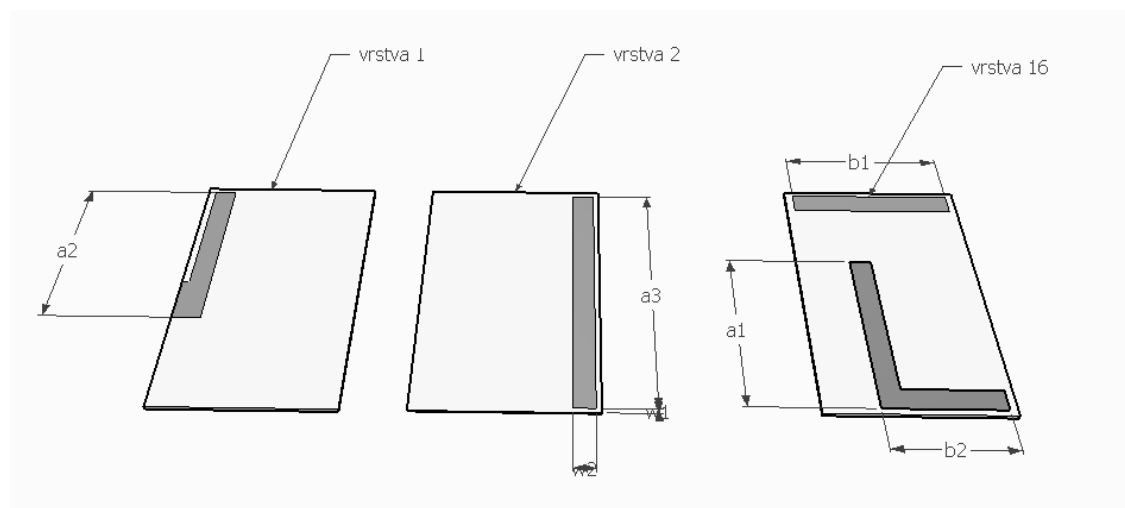
ovlnitelné zemnicí deskou, mohou být snadno rozladitelné například špatnou velikostí zemnicí desky nebo pouze špatnou tlouškou dielektrického substrátu. Antény jsou velice úzkopásmové, proto je potřeba je navrhovat na přesnou frekvenci. Nejčastěji se používají v bezdrátových komunikačních zařízeních, jako mobilní telefony a PDA, kde není potřeba velký výkon, ale jsou požadovány co nejmenší rozměry.

## 1.2.2 Simulovaná anténa

čipová anténa převzatá z [3] je vyrobená technologií LTCC z 19 vrstev keramického substrátu o  $\epsilon_r=7,8$  a výšce každé vrstvy 0,09144mm v [3] nebyly uvedeny všechny potřebné rozměry antény, neuvedené rozměry byly odhadnuty a optimalizací v CST upřesněny.



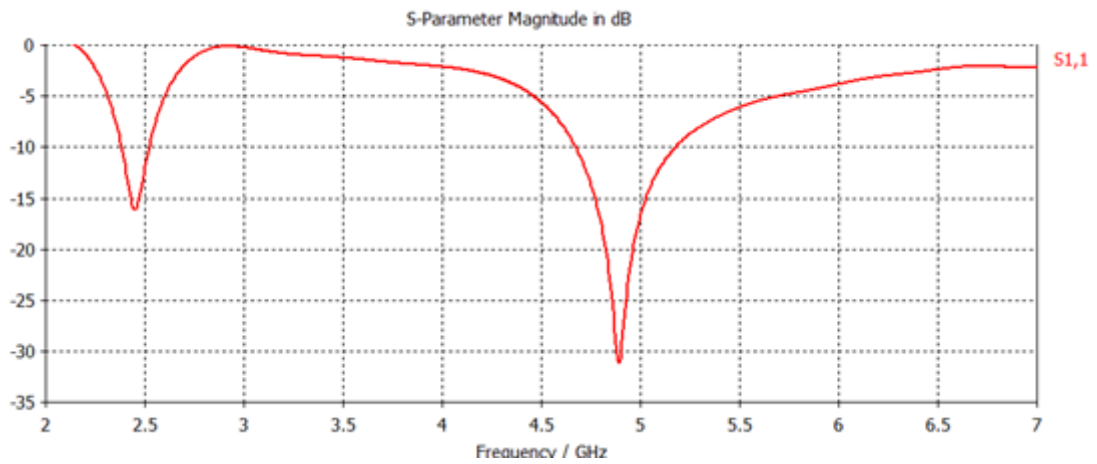
Obrázek 1.10 Struktura simulované čipové antény.



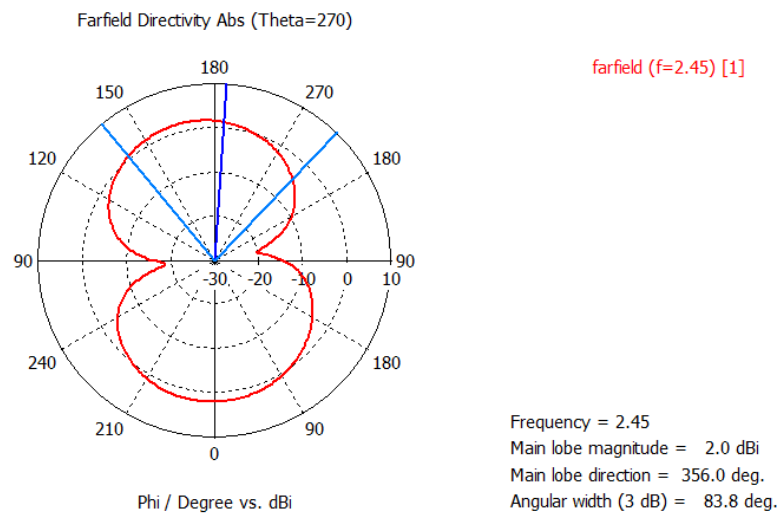
Obrázek 1.11 Jednotlivé vrstvy čipové antény.

Tabulka 2.4 Rozměry simulované čipové antény.

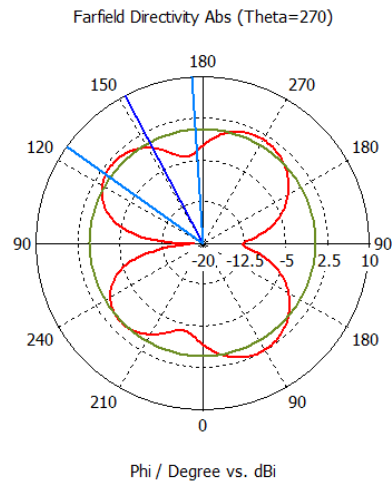
a	6mm	b <sub>2</sub>	2,89mm
a <sub>1</sub>	3,745mm	h	0,09144mm
a <sub>2</sub>	3,66mm	w <sub>1</sub>	0,11mm
a <sub>3</sub>	5,78mm	w <sub>2</sub>	0,455mm
b	3,8mm	w <sub>3</sub>	0,75598mm
b <sub>1</sub>	3,48mm		



Obrázek 1.12 Parametr S11 simulované čipové antény.



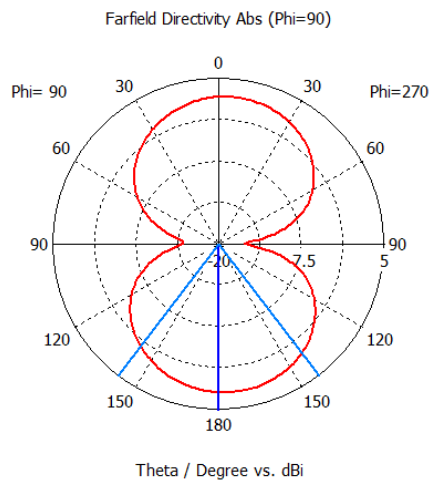
Obrázek 1.13 Vyzařovací diagram čipové antény v rovině yz.



farfield (f=5.25) [1]

Frequency = 5.25  
 Main lobe magnitude = 2.2 dBi  
 Main lobe direction = 28.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 50.9 deg.  
 Side lobe level = -1.7 dB

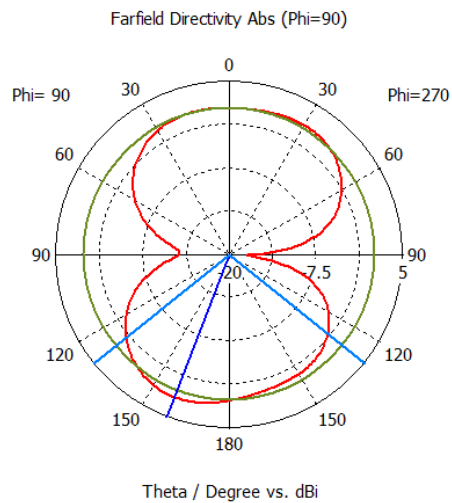
Obrázek 1.14 Vyzářovací diagram čipové antény v rovině yz.



farfield (f=2.45) [1]

Frequency = 2.45  
 Main lobe magnitude = 2.5 dBi  
 Main lobe direction = 180.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 74.3 deg.

Obrázek 1.15 Vyzářovací diagram čipové antény v rovině xz.



farfield (f=5.25) [1]

Frequency = 5.25  
 Main lobe magnitude = 2.0 dBi  
 Main lobe direction = 159.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 102.2 deg.  
 Side lobe level = -0.9 dB

Obrázek 1.16 Vyzářovací diagram čipové antény v rovině xz.

## 2 ROZMISŤOVÁNÍ S OHLEDEM NA POLARIZAČNÍ A PROSTOROVOU DIVERZITU

Reálné prostředí není bezodrazové, signál se šíří nejen přímo, ale i odrazy od překážek a vzniká fázový posun, na anténě potom přijímáme superpozici několika fázově posunutých signálů což může vést buď ke konstruktivní, nebo k destruktivní interferenci. Velkou destruktivní interferenci nazýváme hluboký únik (deep fade) a může vyústit v dočasný výpadek komunikace.

Diverzitní příjem je dobře známý způsob jak zvýšit výkon bezdrátových komunikačních systémů snižováním ztrát vícenásobným šířením a mezikanálovým rušením. Diverzita antén může být provedena mnoha způsoby v závislosti na prostředí, prostoru a předpokládaném rušení.

Tato práce je zaměřena na typy diverzitních příjmů které nevyžadují změnu podoby vysílaných signálů, ale využívají pouze různých poloh a orientací přijímacích antén. Mezi takové diverzitní metody příjmu patří: diverzita s prostorovým výběrem, diverzita s polarizačním výběrem a diverzita s uhlovým výběrem, tato metoda vyžaduje antény s velkou směrovností, použití takových antén není v tomto případě uskutečnitelné proto uvažujeme pouze první dva uvedené typy diverzitních příjmů.

### 2.1 Prostorová diverzita

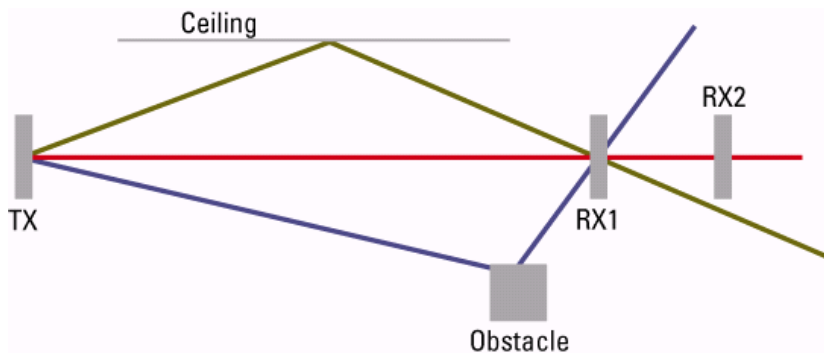
Pro zajištění dostatečné účinnosti systému s diverzitním příjmem je potřeba zajistit co nejmenší míru korelace mezi jednotlivými přijímacími anténami, hlavní problém tzv. deep fade se mění v řádu vlnových délek a jejich zlomků, z tohoto důvodu míra korelace mezi jednotlivými přijímacími anténami klesá s jejich vzdáleností. Při příjmu vnitřními anténami roste v důsledku členitějšího uspořádání uzavřených objektů míra krátkých odrazů, díky tomu můžeme očekávat dobrou účinnost diverzitního příjmu i při vzdálenosti antén ve zlomcích vlnové délky oproti otevřenému prostoru kde je potřeba vzdálenost antén v řádu násobků vlnové délky, vlnovou délku vypočítáme podle vztahu:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

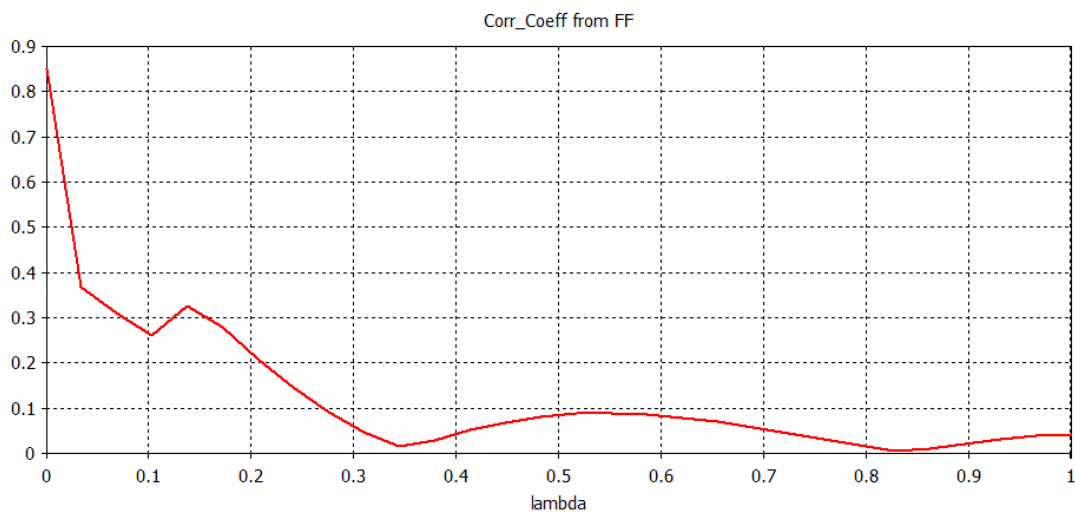
kde  $c$  představuje rychlost světla a  $f$  kmitočet.

Pro frekvenci 2,4GHz je potom délka vlny přibližně 12,5cm a pro frekvenci 5,4GHz 5,5cm

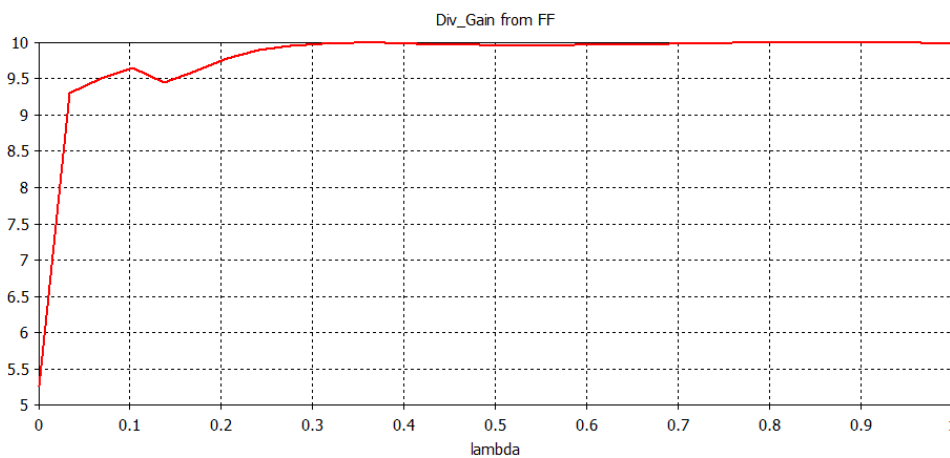




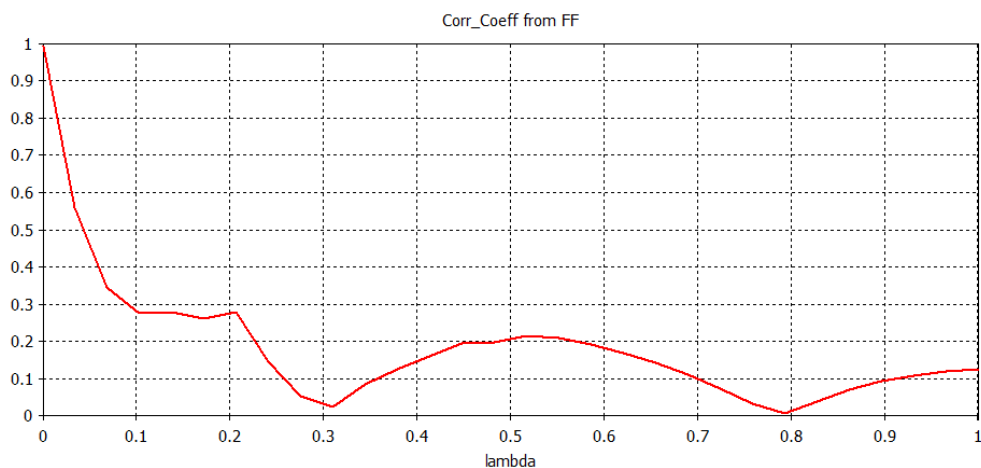
Obrázek 2.1 Naznačení principu prostorové diverzity převzato z [7].



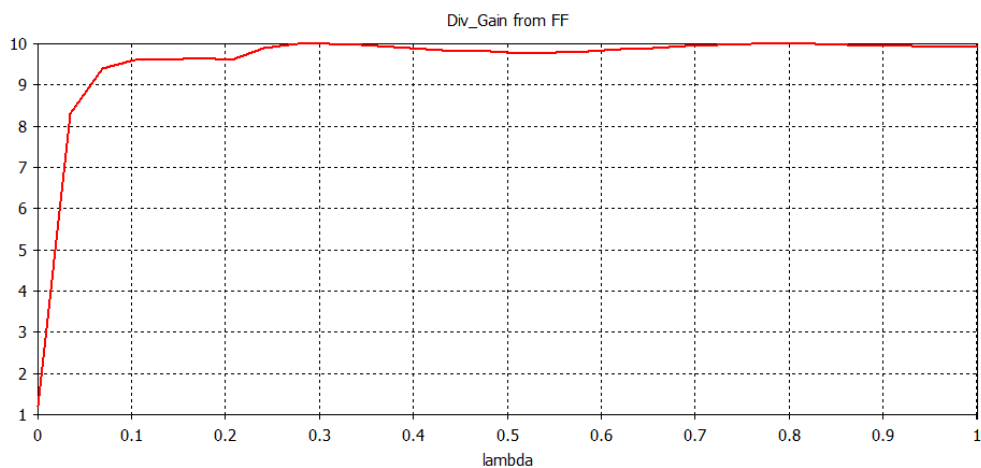
Obrázek 2.2 Závislost korelace mezi dvěma PIFA na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.



Obrázek 2.3 Diverzitní zisk pro dvě PIFA v závislosti na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.



Obrázek 2.4 Závislost korelace mezi dvěma čipovými anténami na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.



Obrázek 2.5 Diverzitní zisk pro dvě čipové antény v závislosti na jejich vzdálenosti vyjádřené ve vlnové délce.

## 2.2 Polarizační diverzita

Při odrazu signálu se nemusí měnit nejen jeho fáze jak bylo uvedeno výše, ale může se měnit i jeho polarizace, při použití jedné antény proto může dojít ke ztrátám. Pokud použijeme dvě ortogonálně polarizované antény můžeme tyto ztráty potlačit a zajistit až o 3dB vyšší příjem.

Polarizační diverzita je nejjednodušeji dosažitelný druh diverzity k dosažení u malých anténních systémů a tvoří základ mnoha současných diverzitních systémů. U této diverzity nezáleží na směrovosti, zisku ani vzdálenosti antén, pouze každá přijímá signál s jinou ortogonální polarizací (horizontální nebo vertikální polarizace).

## **3 ROZMISŤOVÁNÍ S OHLEDEM NA OVLIVŇOVÁNÍ PARAMETRŮ ANTÉN SEBE SAMÝCH**

Během návrhu více anténních systému musí být brán ohled na jejich vzájemné ovlivňování. Jejich vzájemné ovlivňování zvětšuje korelaci portů a snižuje vyzařovací účinnost. K dosažení velkého diverzitního zisku je potřeba aby korelace mezi porty antén bylo co nejmenší.

Faktory které mají vliv na vzájemné ovlivňování antén:

### **3.1 Polarizace**

Pokud jsou vlny ortogonálně polarizovány tak na sebe vzájemně nepůsobí, takže antény přenášející ortogonálně polarizovaný signál budou dostatečně izolovány. Pokud není polarizace ortogonální, je možno nalézt části antény kde je polarizace hodně zkreslená, pokud umístíme více antén tak, aby směry kde je polarizace hodně zkreslená byly ortogonální, můžeme docílit zlepšení izolace mezi anténami.

### **3.2 Velikost antén**

Minimální velikost antény je stanovena Chu-Harringtonovým limitem, při použití pouze jedné polarizace, se velikost antény zvětší.

### **3.3 Vyzařování**

Pokud jsou antény blízko u sebe vzniká ovlivňování elektromagnetickými poli antén. Směr největšího blízkého pole nemusí být nutně stejný jako směr největšího vzdáleného pole. Síla blízkého pole klesá více s vzdáleností než se silou vzdáleného pole.

### **3.4 Šíření povrchových vln a proudů zemní deskou**

Mnoho antén jako například monopóly a PIFA jsou řízeny přímo ze zemnicí desky. Vytváří v ní proudy a tyto proudy jsou společné pro všechny antény k zemi připojené. Při používání více antén musí být brán ohled na šíření povrchových vln a zemních proudů. Jeden ze způsobů jako zajistit aby ovlivňování povrchovými vlnami bylo nízké je použití technologií které omezují šíření povrchových vln jako elektromagnetické zádržné pásy (EBG) nebo návrhem antén obsahujících vyvážené napájení antén. Dále je nutno brát v úvahu že pokud je zemní deska využívána jako zářič, zvýší to velikost blízkého pole

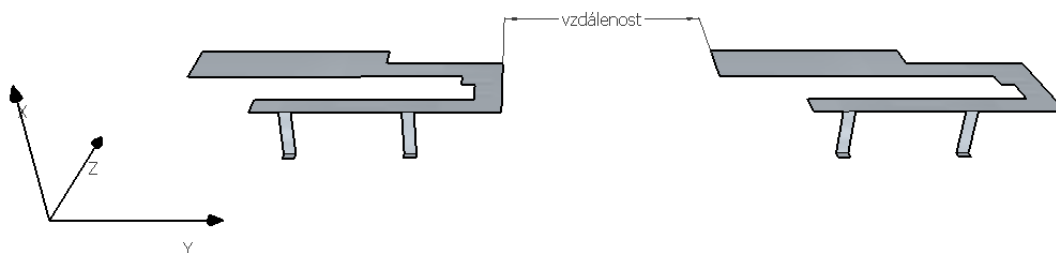
### 3.5 Shrnutí:

Antény by měly být orientovány tak, aby jejich směrové charakteristiky byly k sobě orientovány s co nejmenším ziskem.

Oddělení antén je velice důležité, čím více jsou antény blíže tím je důležitější.

Ovlivňování skrze povrchové vlny a zemní proudy by mělo být minimalizováno buďto vhodným návrhem nebo použitím technologií omezující tok proudu

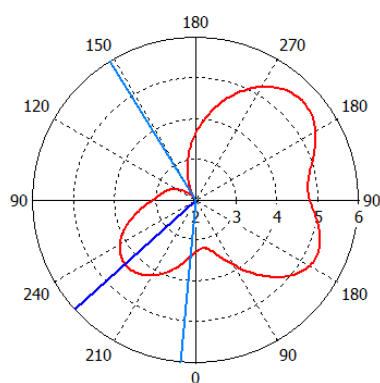
### 3.6 Simulace vzájemného ovlivňování PIFA



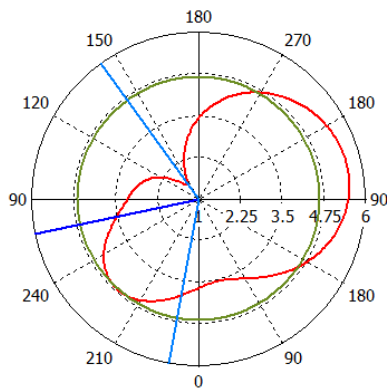
Obrázek 3.1 Umístění PIFA při simulacích vzájemného ovlivňování.

Tato i všechny následující simulace jsou prováděny pro  $f_r=2,45\text{GHz}$ , podle (2.1) je potom vlnová délka přibližně  $\lambda \approx 12,5\text{cm}$ .

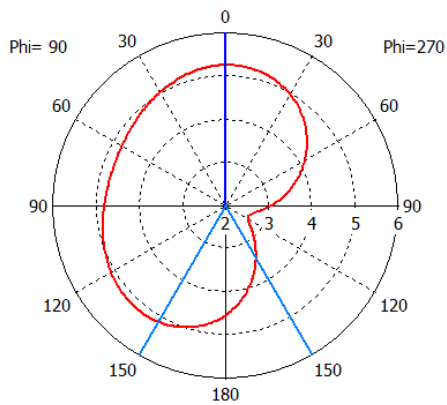
Směrové charakteristiky PIFA pro vzdálenost  $\lambda/4$ :



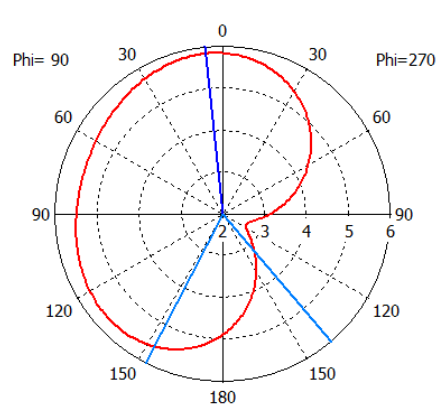
Obrázek 3.2 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.3 Anténa 2, rovina zx.

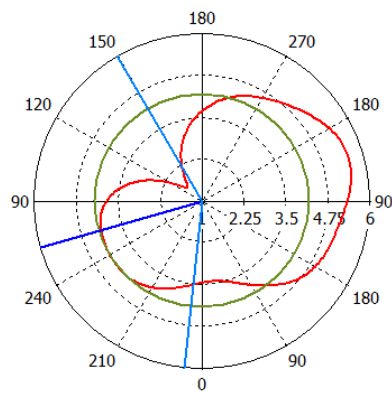


Obrázek 3.4 Anténa 1, rovina zy.

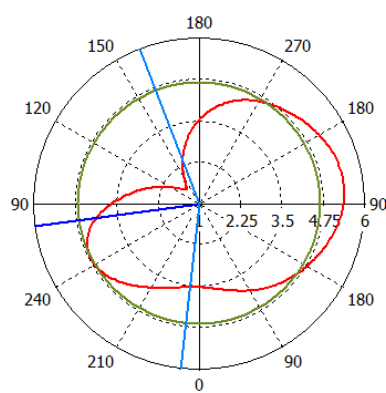


Obrázek 3.5 Anténa 2, rovina zy.

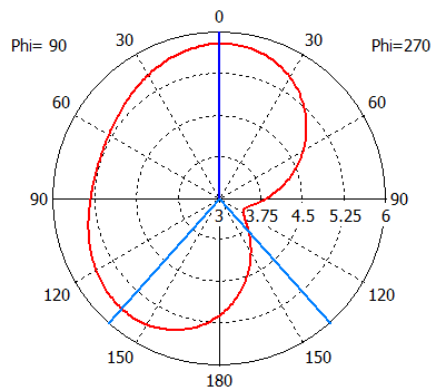
Směrové charakteristiky antén pro vzdálenost  $\lambda/2$ :



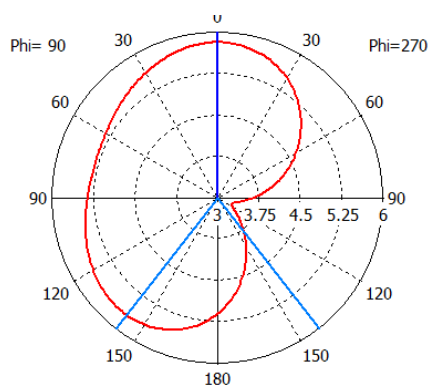
Obrázek 3.6 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.7 Anténa 2, rovina zx.

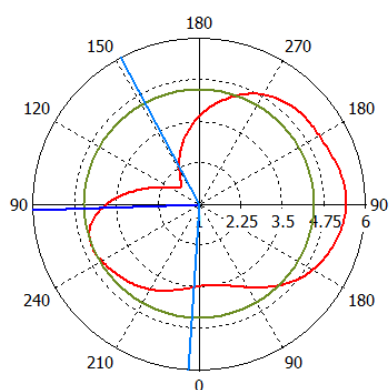


Obrázek 3.8 Anténa 1, rovina zy.

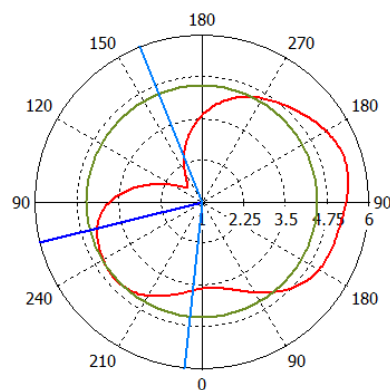


Obrázek 3.9 Anténa 2, rovina zy.

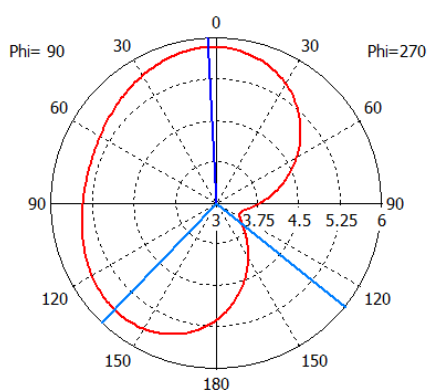
Směrové charakteristiky antén pro vzdálenost  $3\lambda/4$ :



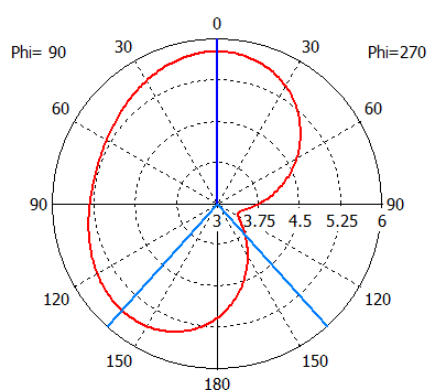
Obrázek 3.10 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.11 Anténa 2, rovina zx.

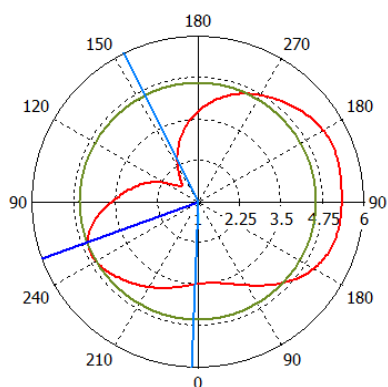


Obrázek 3.12 Anténa 1, rovina zy.

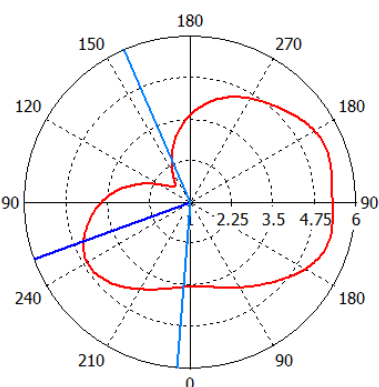


Obrázek 3.13 Anténa 2, rovina zy.

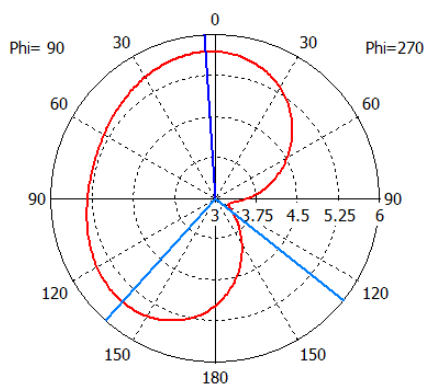
Směrové charakteristiky antén pro vzdálenost  $\lambda$ :



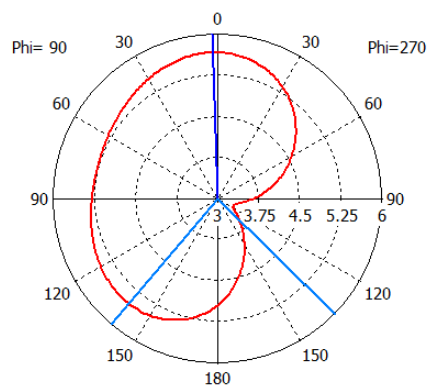
Obrázek 3.14 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.15 Anténa 2, rovina zx.

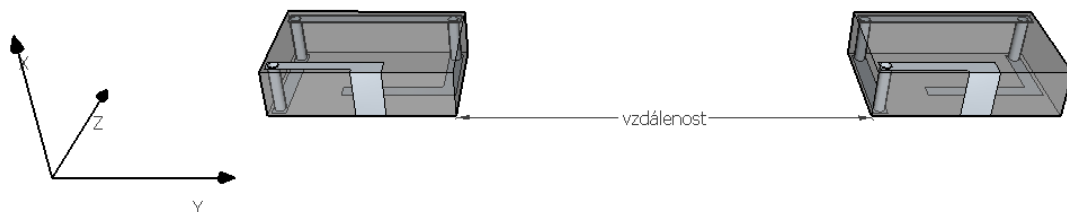


Obrázek 3.16 Anténa 1, rovina zy.



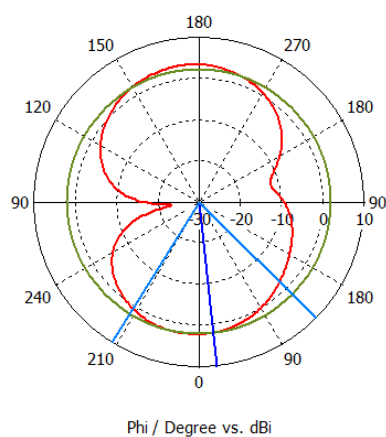
Obrázek 3.17 Anténa 2, rovina zy.

### 3.7 Simulace vzájemného ovlivňování čipových antén

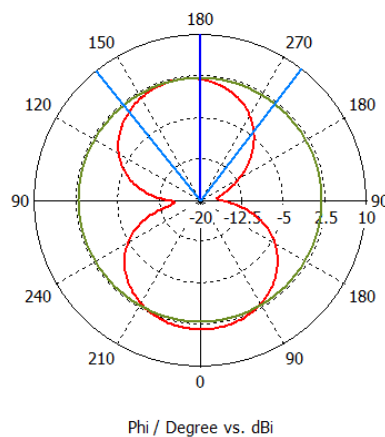


Obrázek 3.18 Umístění čipových antén při simulacích vzájemného ovlivňování.

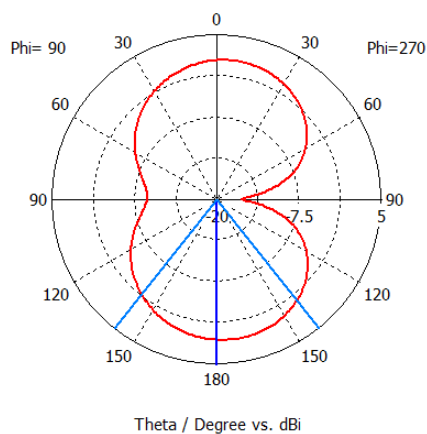
Směrové charakteristiky antén pro vzdálenost  $\lambda/4$ :



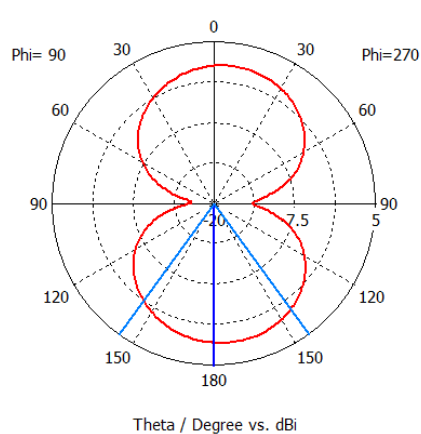
Obrázek 3.19 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.20 Anténa 2, rovina zx.



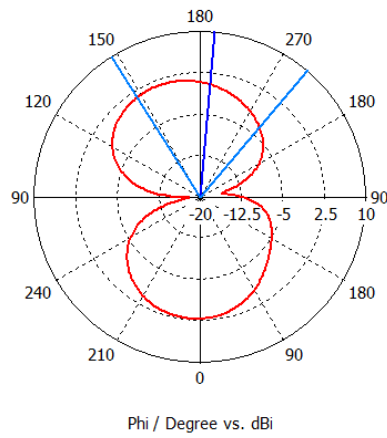
Obrázek 3.21 Anténa 1, rovina zy.



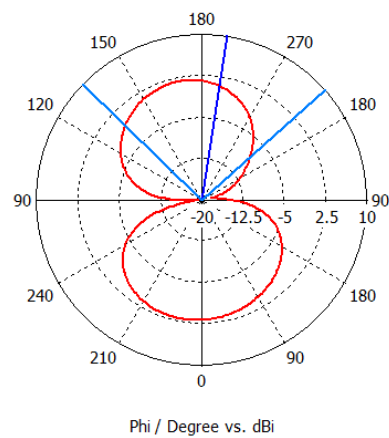
Obrázek 3.22 Anténa 2, rovina zy.



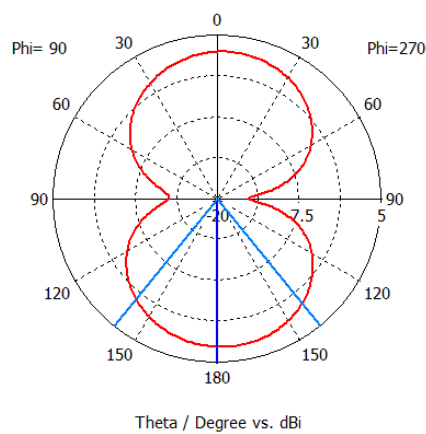
Směrové charakteristiky antén pro vzdálenost  $\lambda/2$ :



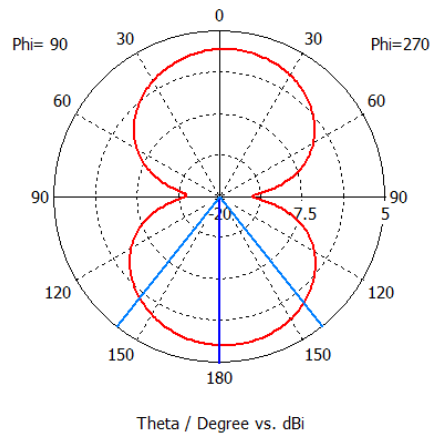
Obrázek 3.23 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.24 Anténa 2, rovina zx.

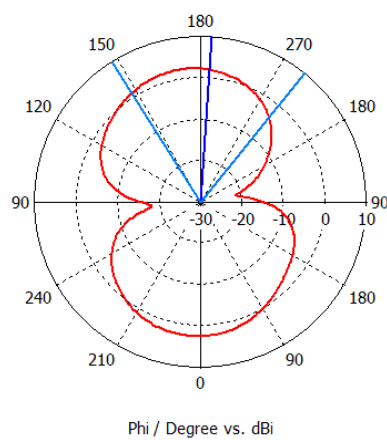


Obrázek 3.25 Anténa 1, rovina zy.

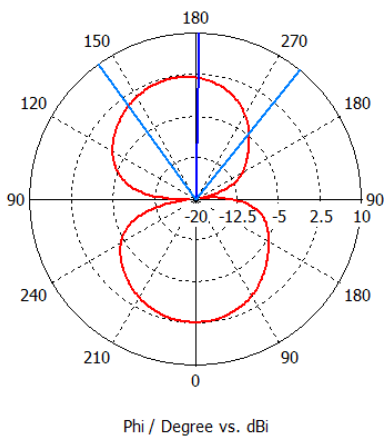


Obrázek 3.26 Anténa 2, rovina zy.

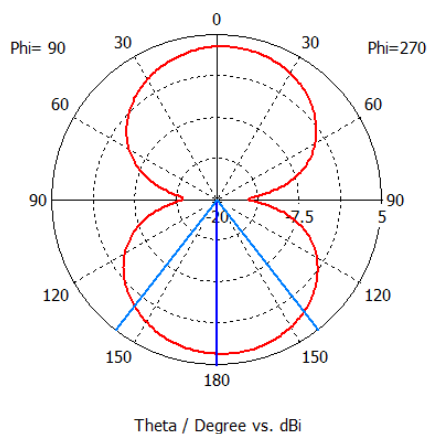
Směrové charakteristiky antén pro vzdálenost  $3\lambda/4$ :



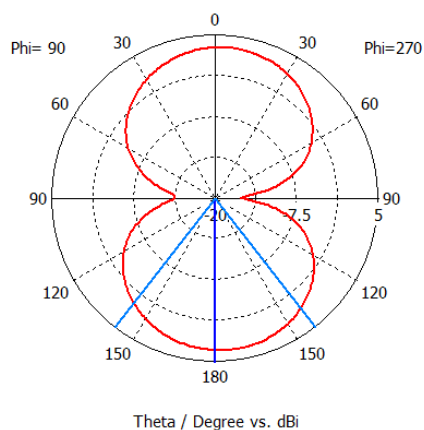
Obrázek 3.27 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.28 Anténa 2, rovina zx.

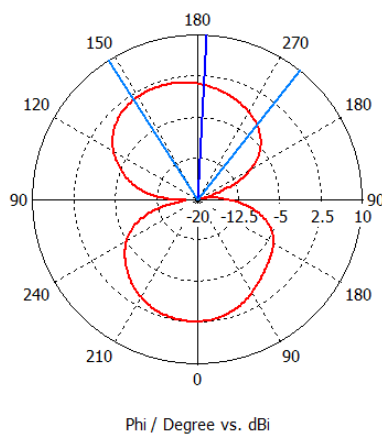


Obrázek 3.29 Anténa 1, rovina zy.

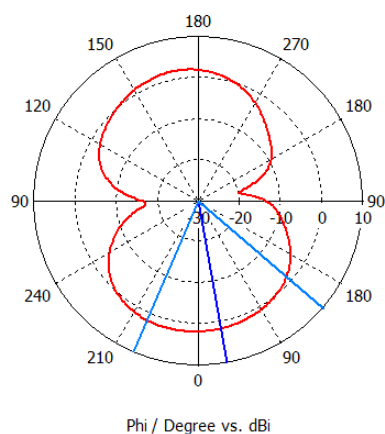


Obrázek 3.30 Anténa 2, rovina zy.

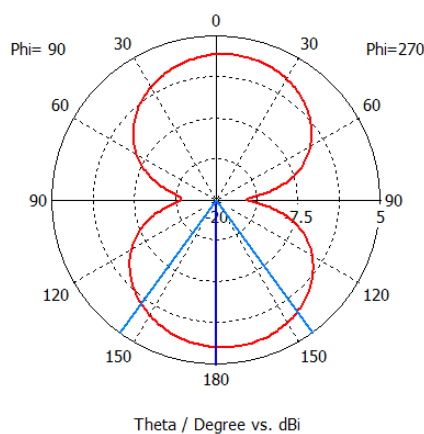
Směrové charakteristiky antén pro vzdálenost  $\lambda$ :



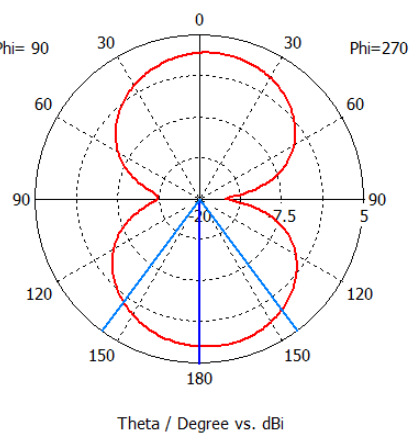
Obrázek 3.31 Anténa 1, rovina zx.



Obrázek 3.32 Anténa 2, rovina zx.



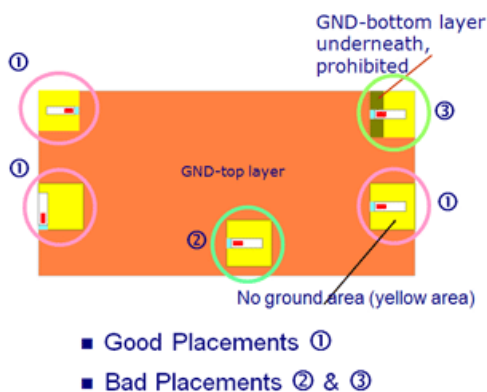
Obrázek 3.33 Anténa 1, rovina zy.



Obrázek 3.34 Anténa 2, rovina zy.

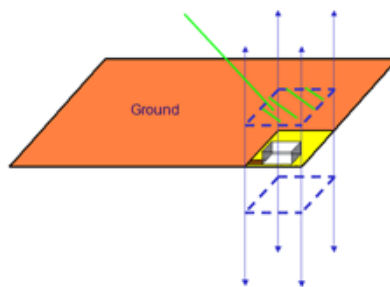
# 4 ROZMISŤOVÁNÍ S OHLEDEM NA UMÍSTĚNÍ ANTÉN NA DPS

## 4.1 Čipové antény



Obrázek 4.1 Příklady dobrých a špatných případů umístění antén na DPS převzato z [9].

V bezprostředním okolí antény musí být odstraněna zemnicí plocha a anténu je vhodné umístit co nejbližší hrany DPS.

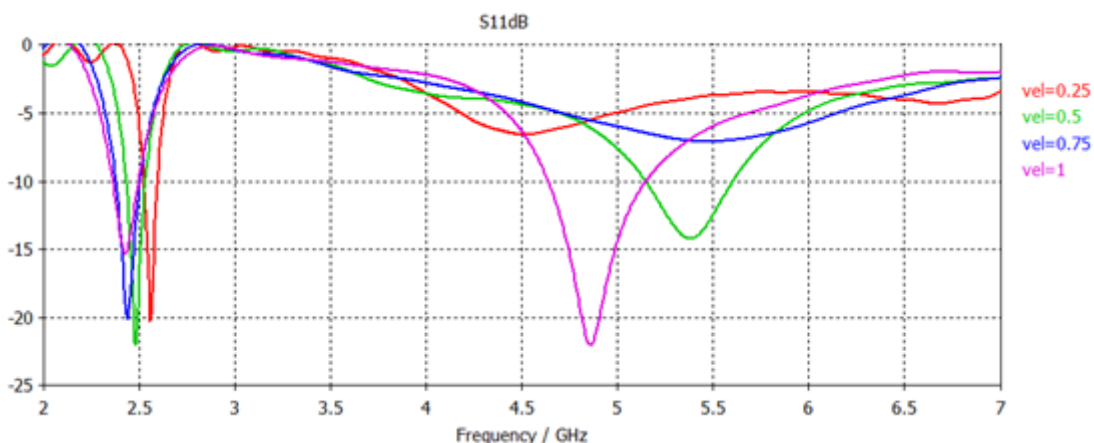


Obrázek 4.2 Příklady dobrých a špatných případů umístění antén na DPS převzato z [9].

Není vhodné umístit žádné kovové předměty a baterie nad a pod žlutě vyznačenou oblast



Obrázek 4.3 Příklad správného umístění více antén převzato z [9].



Obrázek 4.4 Parametr S11 čipové antény v závislosti na procentuelní velikosti původní zemnicí plochy.

## 4.2 Planárně invertované F antény

PIFA je varianta monopólu kde horní část je přeložena tak, aby byly paralelně k zemnicí desce. To se provádí ke snížení výšky antény, při zachování rezonanční délky antény. Tato paralelní část představuje kapacitu k vstupní impedanci antény, která je kompenzována zavedením zkratovacího pinu. Konec pinu je připojen k zemnicí desce na okraji, jeho funkcí je rozšířit šířku pásma antény.

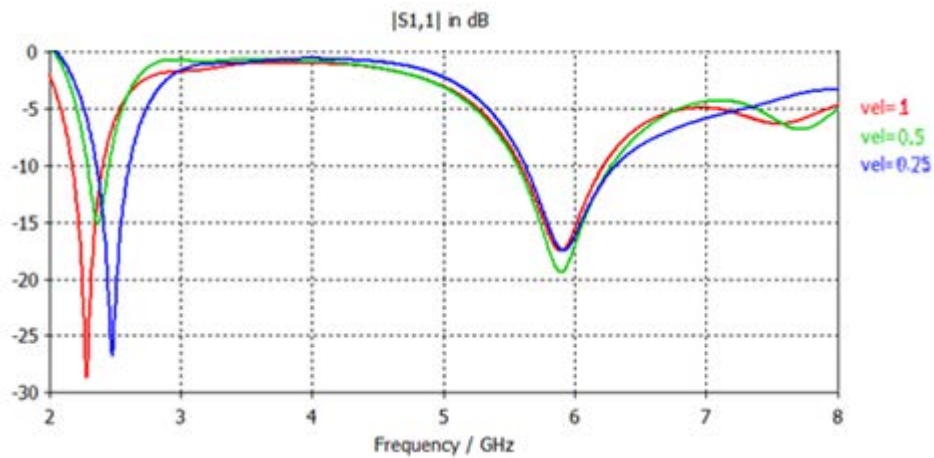
Šířka pásma je ovlivňována velikostí zemnicí plochy, změnou velikosti zemnicí plochy můžeme měnit přenosové pásmo antény, například pokud zemnicí plochu zmenšíme, rozšíří se přenášené pásmo.

Všeobecně by minimální délka hrany ( $L$ ) zemnicí plochy měla být alespoň  $\lambda/4$ , pokud je  $L$  delší než  $\lambda/4$  tak se anténě razantně zlepšují vyzařovací vlastnosti, na druhou stranu pokud je  $L$  výrazně menší než  $\lambda/4$  tak se ladění antény stává velmi problematické a klesá její celkový výkon.

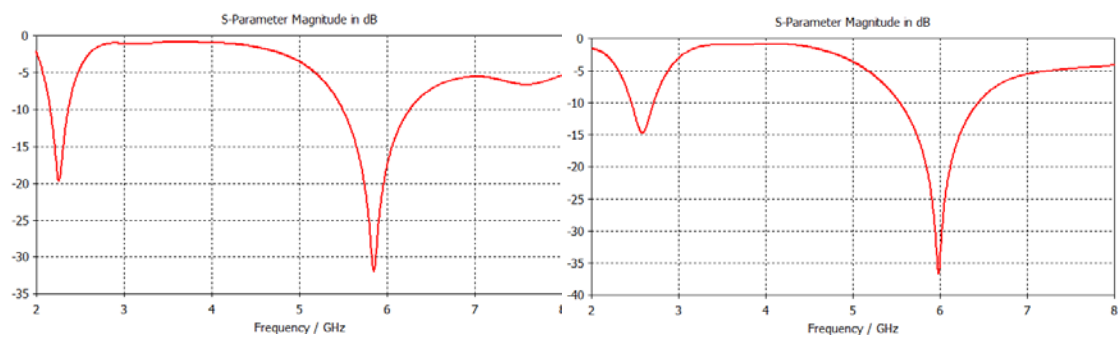
Šířka pásma klesá pro  $L$  menší než  $0,8\lambda$  u čtvercového tvaru zemnicí plochy a pro  $L$  menší než  $0,4\lambda$  u obdélníkové zemnicí plochy.

Zisk je ovlivněn velikostí zemnicí plochy, zemnicí plocha je vlastně elektricky polovina dipólu takže s její velikostí roste její zisk

Nejvhodnější umístění PIFA je v blízkosti rohů, kde je její zkratovací pin připojen k hraně zemnicí plochy

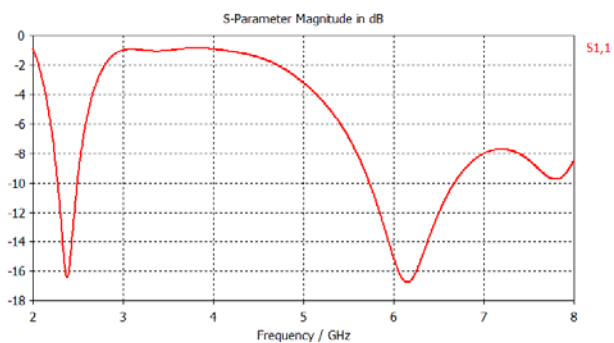


Obrázek 4.5 Parametr S11 PIFA v závislosti na procentuelní velikosti původní zemnicí plochy.



Obrázek 4.7 S11 PIFA umístěné úplně nalevo zemnicí plochy.

Obrázek 4.6 S11 PIFA umístěné uprostřed zemnicí plochy.



Obrázek 4.8 S11 PIFA umístěné úplně napravo zemnicí plochy.

### 4.3 Shrnutí

Každá anténa má své specifické požadavky avšak tyto jsou pro většinu z nich společné:

Je žádoucí aby byla anténa co možná nejvíce izolovaná od všech ostatních komponent na DPS zejména od krystalových oscilátorů, spínaných zdrojů a vysokorychlostních sběrnic. Vše v oblasti blízkého pole antény (vzdálenost jedné vlnové délky od antény) má vliv na vyzařovací a charakteristiku a výkon antény

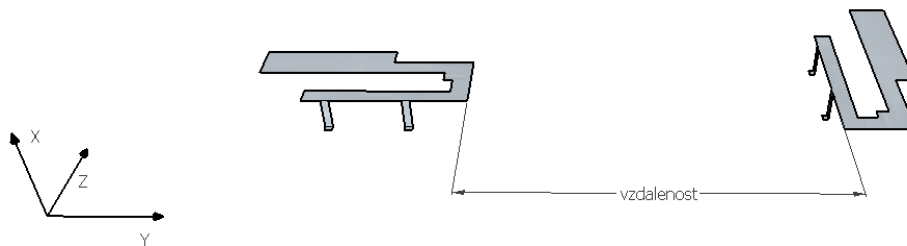
Je potřeba dodržovat odstup cest DPS od antény, cesty samotné se mohou stát anténami a rezonovat na stejné frekvenci jako anténa. Ze stejného důvodu je nutné ošetřit i nestíněné kabely a drátové propojky.

Anténa samotná je pouze poloviční část celé anténní struktury, druhou polovinou je zemnicí deska, která vlastnosti antény velice ovlivňuje viz výše.

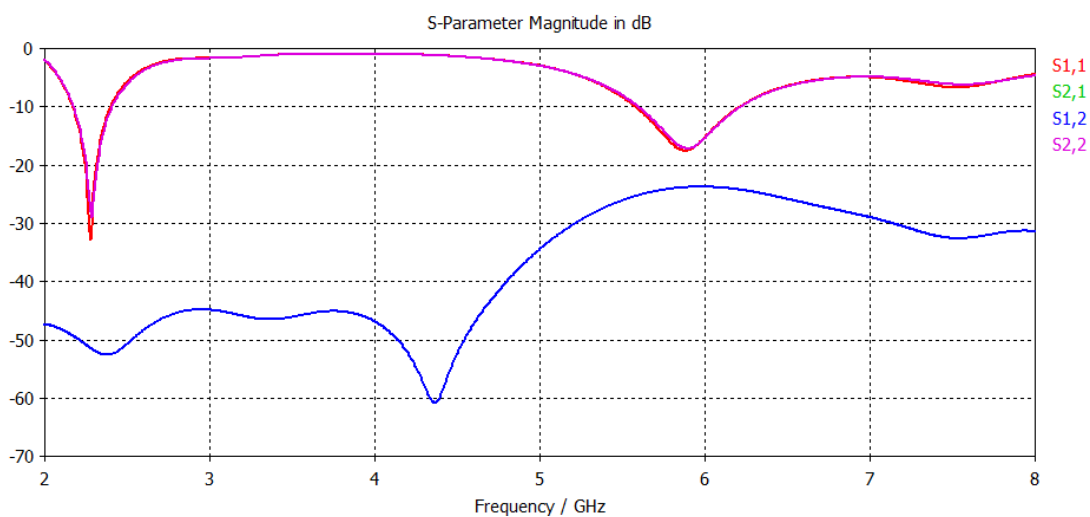
Antény jsou přizpůsobeny na impedanci  $50\Omega$ , jejich připojení k obvodu je většinou provedeno přizpůsobeným mikropáskovým nebo koplanárním vedením.

Vlastní obal zařízení nesmí být vyroben z vodivého materiálu, znemožňoval by tak funkci antény, řešením umístěním nevodivých částí do vodivého krytu není také příliš vhodné.

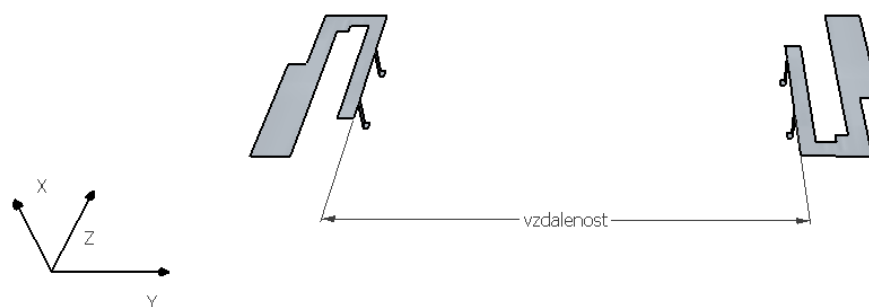
### 4.4 Simulace různých poloh antén na DPS



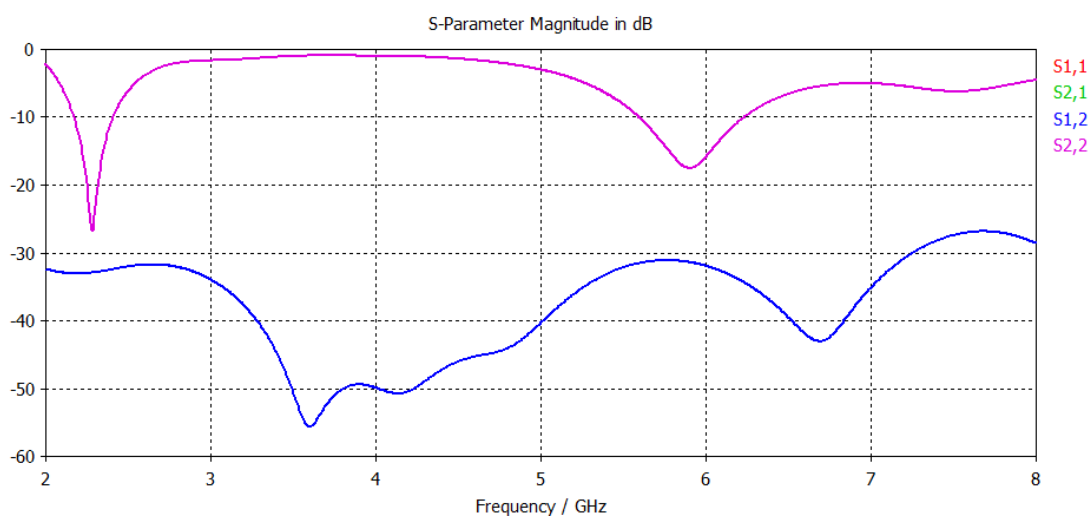
Obrázek 4.9 Kombinace antén č.1.



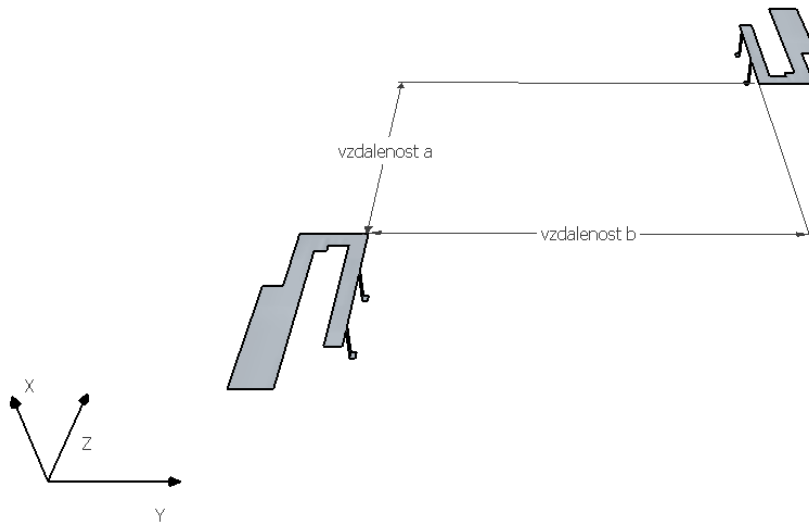
Obrázek 4.10 S parametry pro kombinaci antén č.1, vzdálenost= $\lambda/4$ .



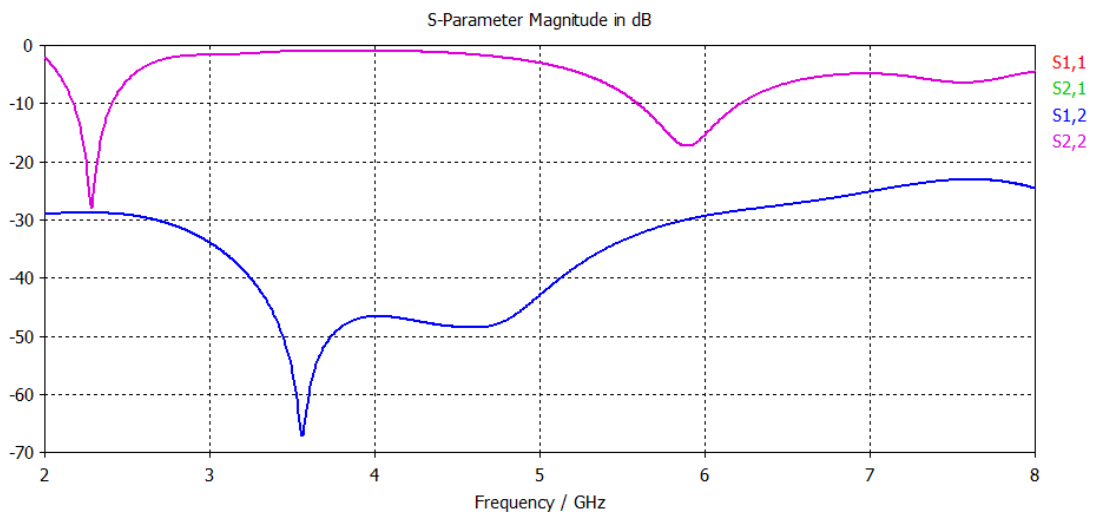
Obrázek 4.11 Kombinace antén č.2.



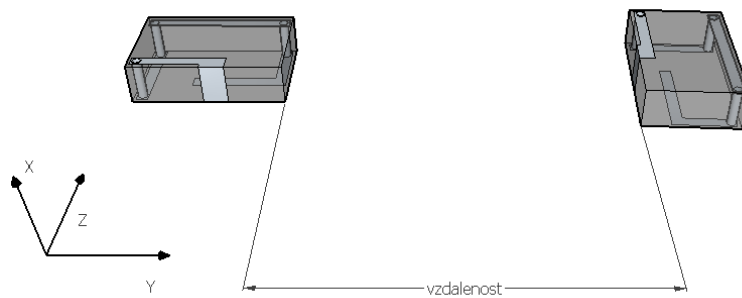
Obrázek 4.12 S parametry pro kombinaci antén č.2, vzdálenost= $\lambda/4$ .



Obrázek 4.13 Kombinace antén č.3.

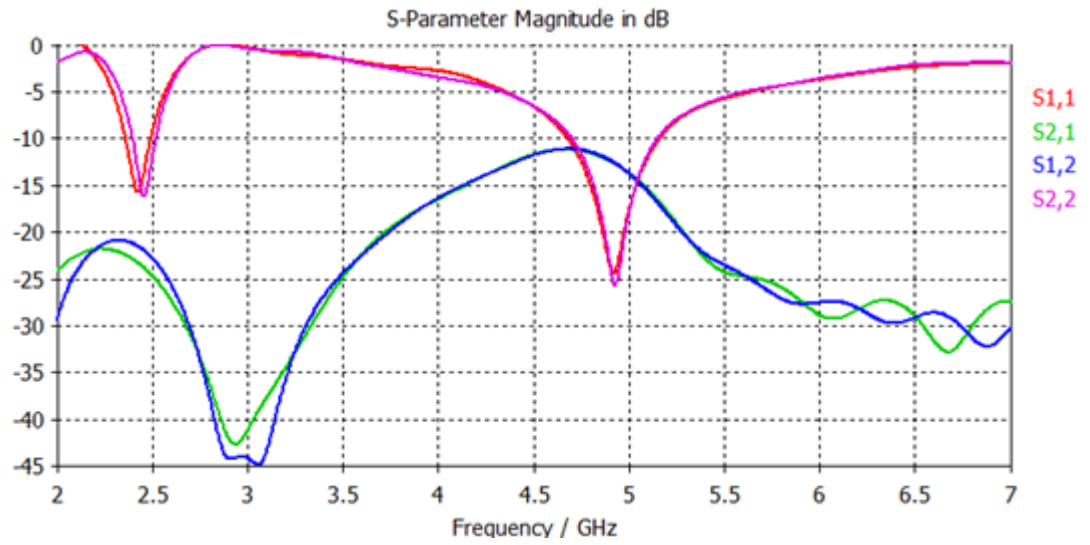


Obrázek 4.14 S parametry pro kombinaci antén č.3, vzdálenost  $a, b = \lambda/4$ .

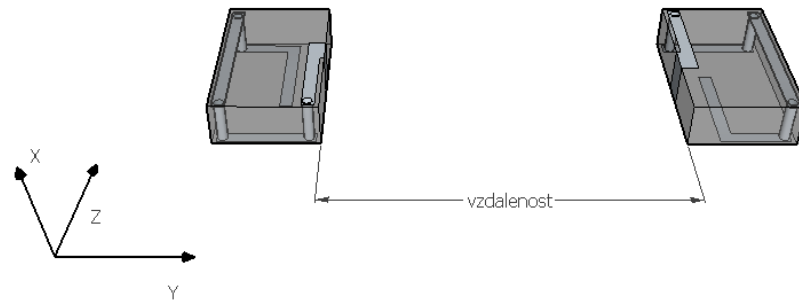


Obrázek 4.15 Kombinace antén č.1.

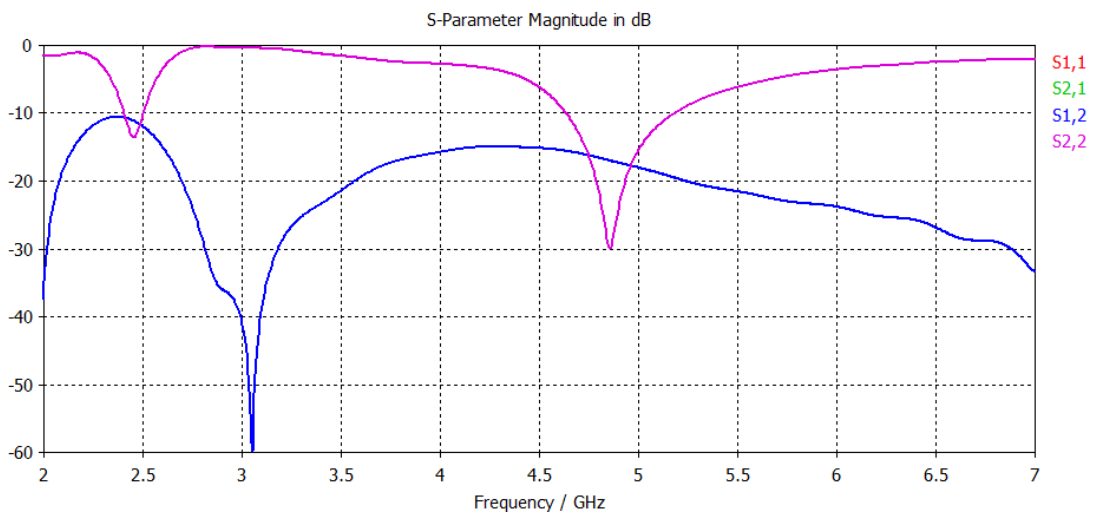




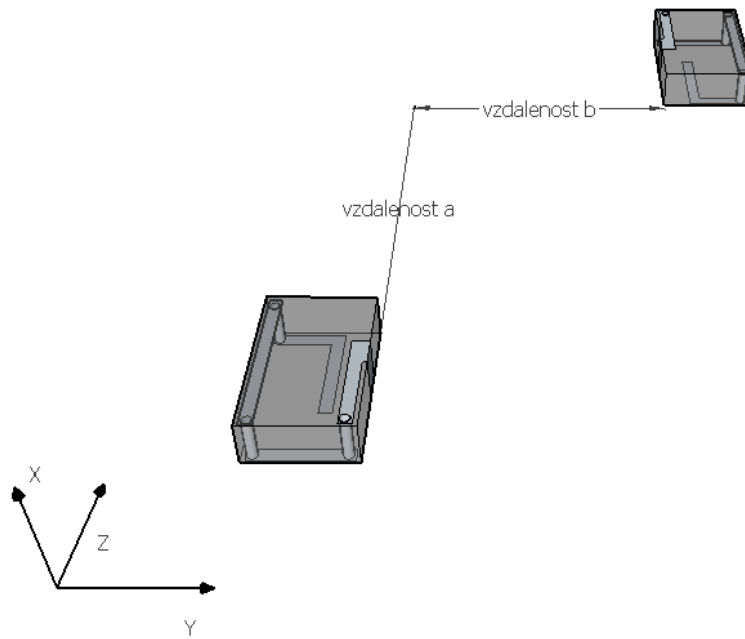
Obrázek 4.16 S parametry pro kombinaci antén č.1, vzdálenost= $\lambda/4$ .



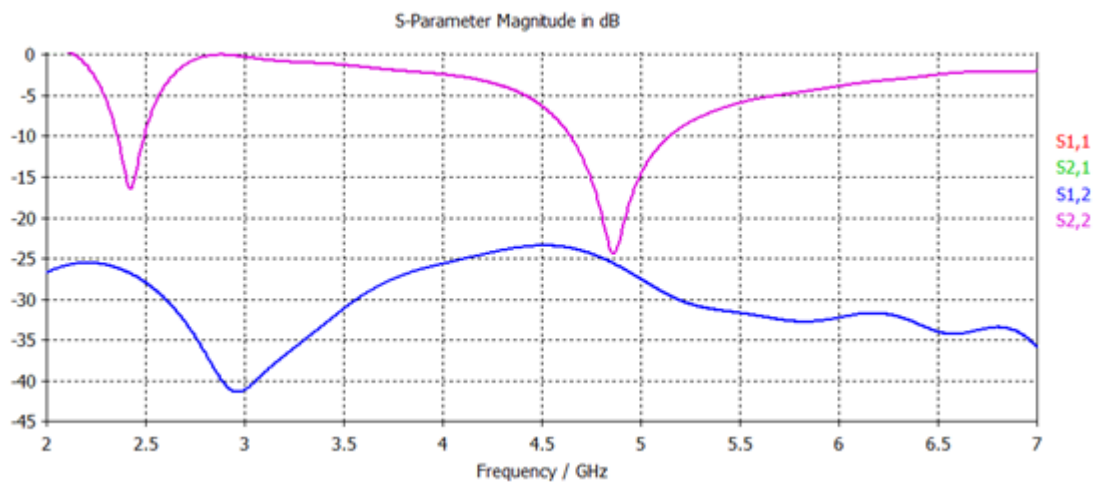
Obrázek 4.17 Kombinace antén č.2.



Obrázek 4.18 S parametry pro kombinaci antén č.2, vzdálenost= $\lambda/4$ .



Obrázek 4.19 Kombinace antén č.3.

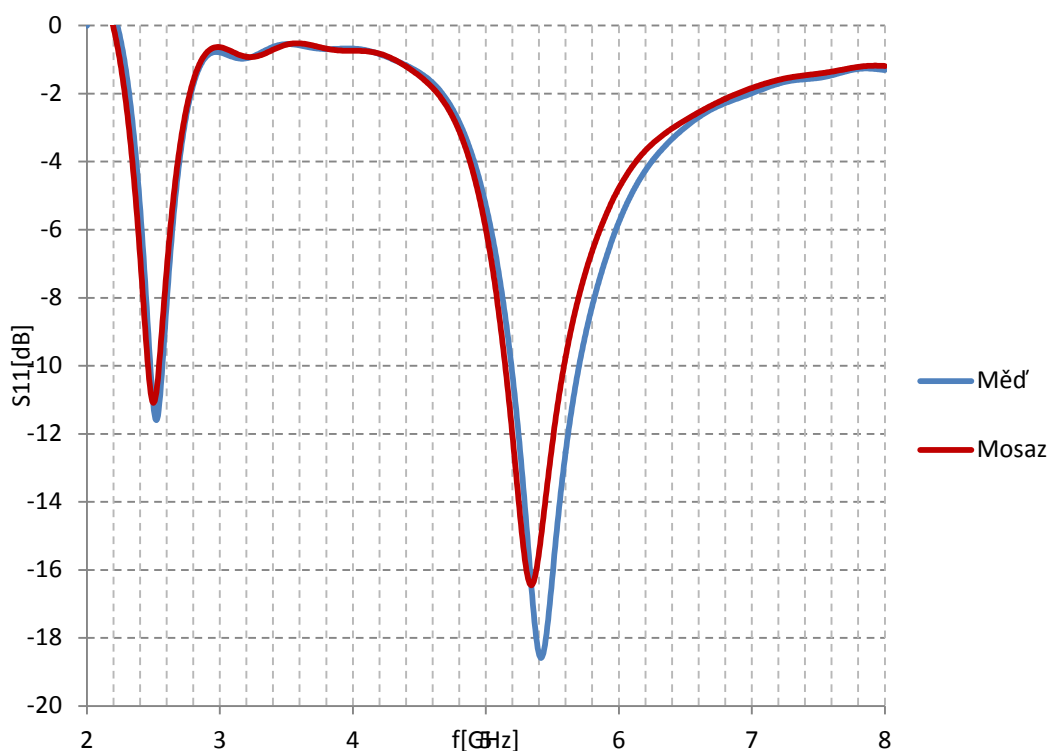


Obrázek 4.20 S parametry pro kombinaci antén č.3, vzdálenost  $a, b = \lambda/4$ .

## 5 VÝROBA ZVOLENÝCH ANTÉN

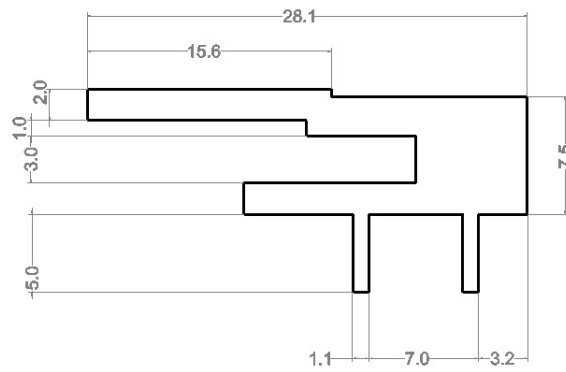
### 5.1 Výroba planární invertované F antény

Anténa z 1.1 byla mírně popravena, aby bylo možné ji vyrobit. Zemní plocha je vyrobena ze substrátu FR4 o tloušťce 1,5mm, pro samotnou anténu byly dostupné tři různé materiály mosazný plech o tloušťce 0,15mm, měděný plech o tloušťce 0,2mm a hliníkový plech o tloušťce 0,67mm. Vzhledem ke snadnému vyřezávání motivu byl hliníkový plech zamítnut a na výběr zbyly pouze plech měděný a mosazný, oba materiály mají velmi podobné dielektrické vlastnosti. Anténa z obou materiálů byla simulována v CST.

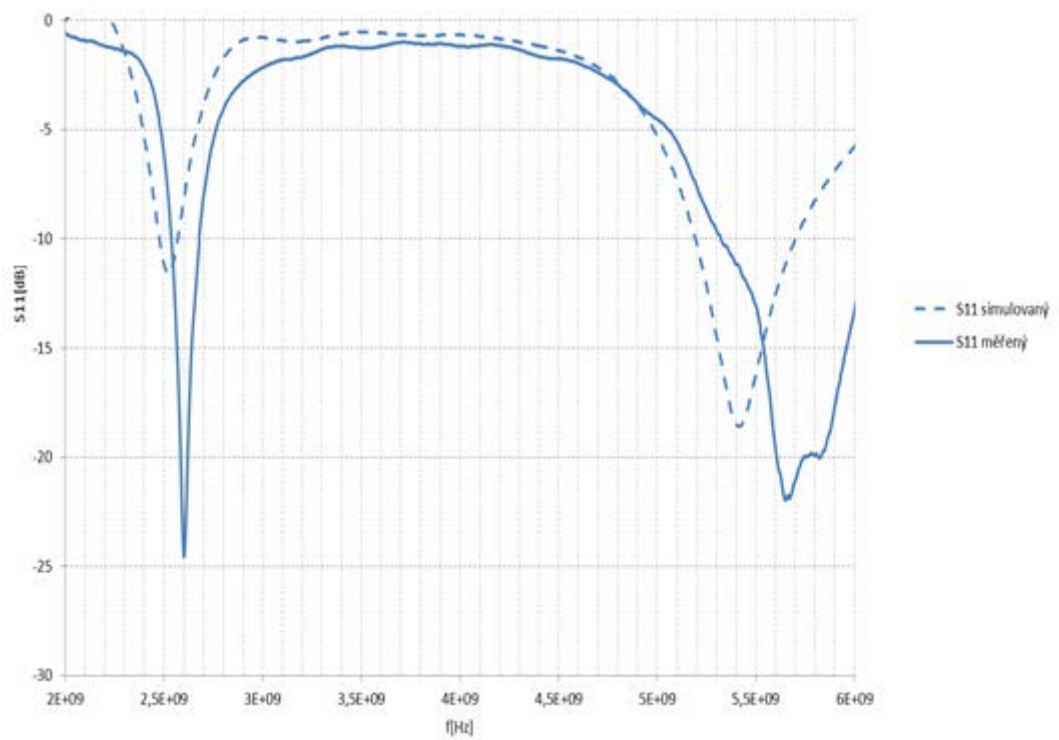


Obrázek 5.1 Parametr S11 pro různé materiály antény.

Vzhledem k tomu že je anténa velice malých rozměrů a oba materiály mají podobné dielektrické vlastnosti, nemá typ materiálu příliš velký vliv, z důvodu lepší mechanické pevnosti byl zvolen pro výrobu měděný plech. Zemní deska má tedy rozměry 20x40x1,5 mm<sup>3</sup>. Rozměry antény jsou uvedeny na obr. 5.2. Vzdálenost napájecího pinu od delší hrany zemní desky je 8mm a od kratší hrany 12,7mm.



Obrázek 5.2 Šablona pro vyřízení PIFA s jejími rozměry v mm.



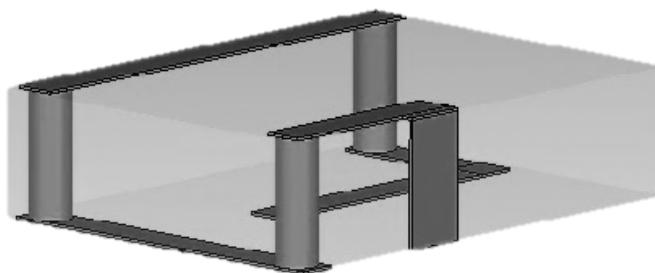
Obrázek 5.3 Porovnání parametru S11 u realizované PIFA s její simulací.



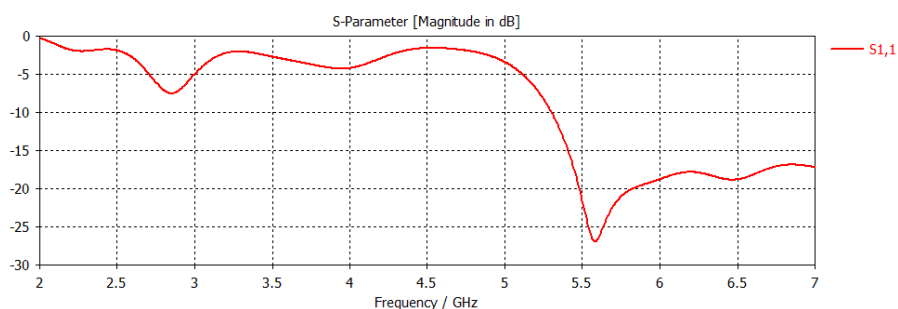
Obrázek 5.4 Vyrobena PIFA.

## 5.2 Výroba chipové antény

Anténu uvedenou v 1.2 se bohužel z technologických důvodů nepodařilo vyrobit. Struktura antény byla proto zjednodušena viz obr. 5.3 a jako dielektrikum byly uvažovány materiály o vysoké permitivitě dostupné v laboratoři vysokofrekvenční techniky (Arlon 1000 a Arlon 600)



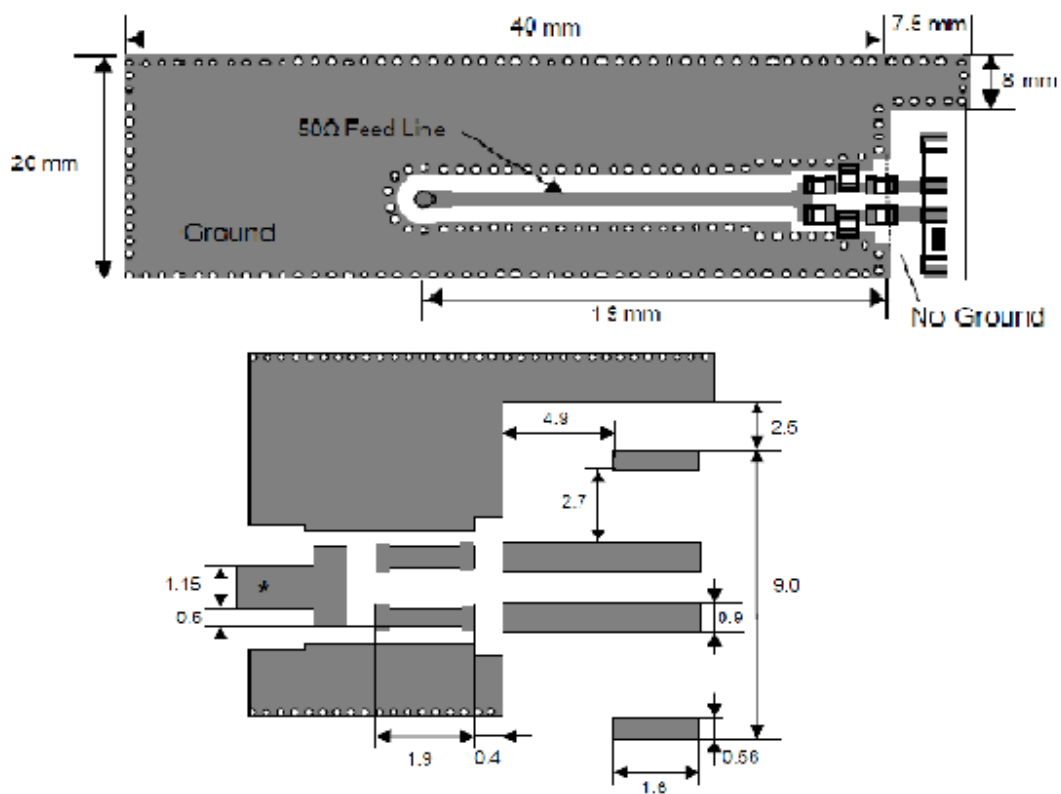
Obrázek 5.5 Zjednodušená struktura pro výrobu chipové antény.



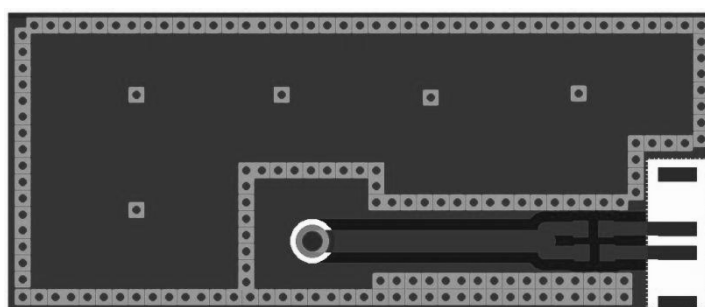
Obrázek 5.6 Nejlepší dosažené výsledky zjednodušené antény.

Na obr 5.4 je vidět že by se anténa dala použít v pásmu 5,5GHz, ale pro pásmo 2,4GHz je nevyhovující. Z tohoto důvodu bylo nutno použít anténu komerčně vyráběnou firmou wurth elektornik a to vícevrstvou dvoupásmovou chipovou anténu 7488912455 [14]. Pro tuto anténu bylo nutné vyrobit odpovídající zemní desku, ta byla po komunikaci s techniky firmy Wurth mírně poupravena (deska zobrazená v datasheetu je univerzální pro více druhů chipových antén) a dále byla deska

prokovená v rastru  $\frac{1}{4}$  nejmenší vlnové délky aby bylo zamezeno vzniku parazitních vidů.



Obrázek 5.7 Rozměry zemní desky chipové antény převzato z [14].



Obrázek 5.8 Upravená zemní deska chipové antény.

Při návrhu zemní desky bylo nutno dopočítat rozměry koplanárního vedení pro náš případ a to podle vztahu [15] k samotnému výpočtu byl použit online kalkulačtor dostupný z [16]:

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{1}{\frac{K(k)}{K(k')} + \frac{K(k_l)}{K(k_l')}} \quad (5.1)$$

kde:

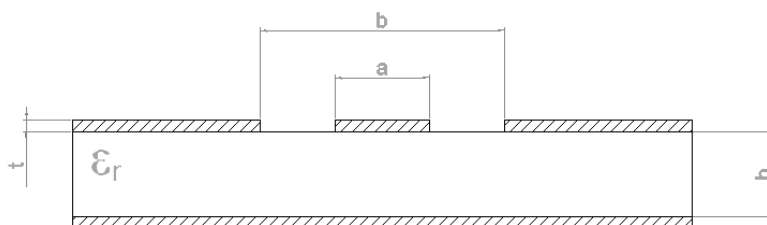
$$k = a/b \quad (5.2)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad (5.3)$$

$$k_l' = \sqrt{1 - k_l^2} \quad (5.4)$$

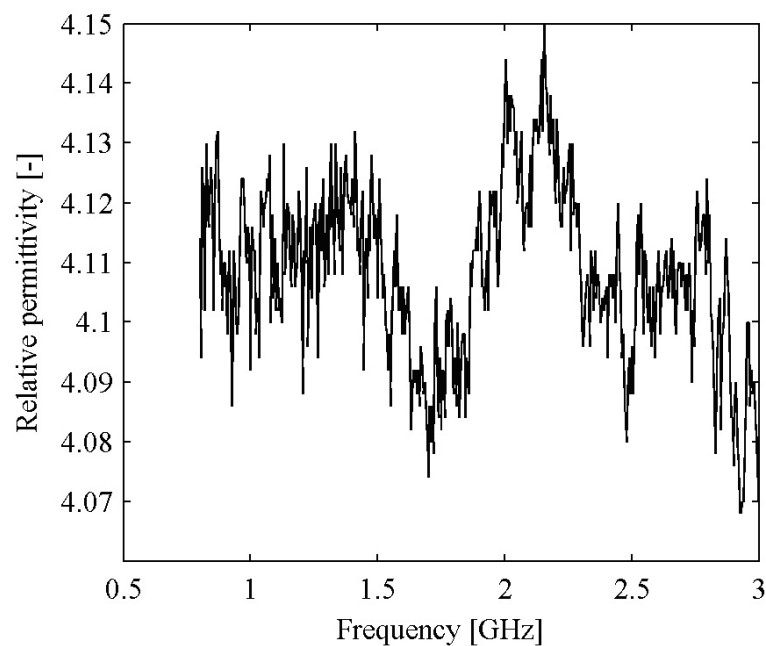
$$k_l = \frac{\tanh\left(\frac{\pi a}{4h}\right)}{\tanh\left(\frac{\pi b}{4h}\right)} \quad (5.5)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{1 + \epsilon_r \frac{K(k') K(k_l)}{K(k) K(k_l')}}{1 + \frac{K(k') K(k_l)}{K(k) K(k_l')}} \quad (5.6)$$



Obrázek 5.9 Koplanární vedení.

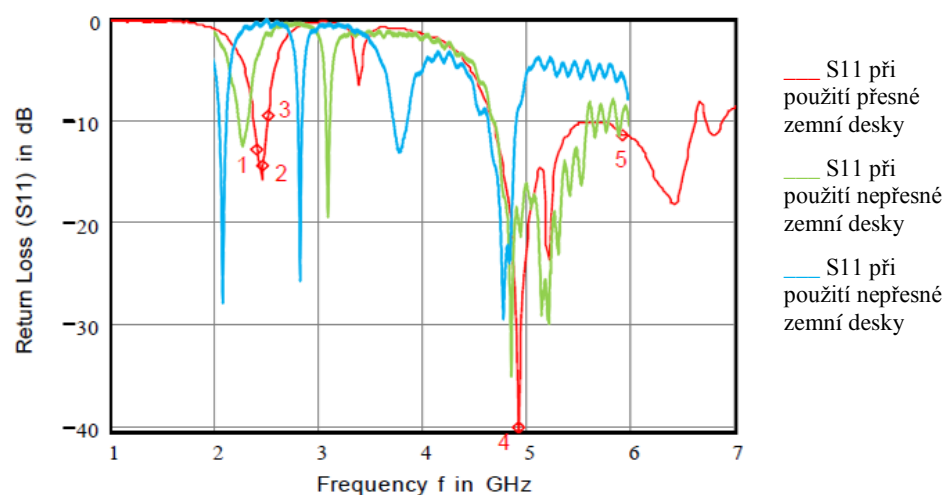
Jako dielektrikum zemní desky byl zvolen substrát FR4 o tloušťce 0,8mm, jelikož se relativní permitivita substrátu s kmitočtem mění, byla pro co nejvyšší přesnost návrhu z obr. 5.8 odečtena přesná hodnota relativní permitivity pro námi používaný kmitočet  $\epsilon_r = 4,12$ .



Obrázek 5.10 Závislost relativní permitivity FR4 na kmitočtu [15].

Rozměry koplanárního vedení byly potom podle 5.1 pro  $Z_0=50\Omega$  dopočítány  $a=1,5\text{mm}$  a  $b=3,008\text{mm}$ .

Při výrobě zemní desky je potřeba dodržovat vysokou přesnost, při špatně navrženém koplanárním vedení se parametry antény velice mění i při malých nepřesnostech viz obr 5.10.



Obrázek 5.11 Parametr S11 chipové antény pro vhodnou a nevhodnou zemní desku.





Obrázek 5.12 Chipová anténa osazená na vyrobené zemní desce.

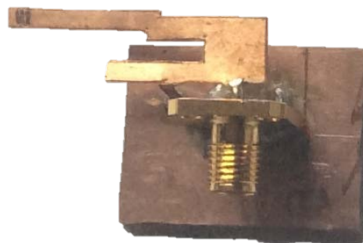
Deska je dále osazena jednoduchou dolní propustí tvořenou SMD induktorem o indukčnosti  $2,7\text{nH}$  a jednoduchou horní propustí tvořenou SMD kapacitorem o kapacitě  $1,8\text{pF}$ .

## 6 MĚŘENÍ ANTÉN

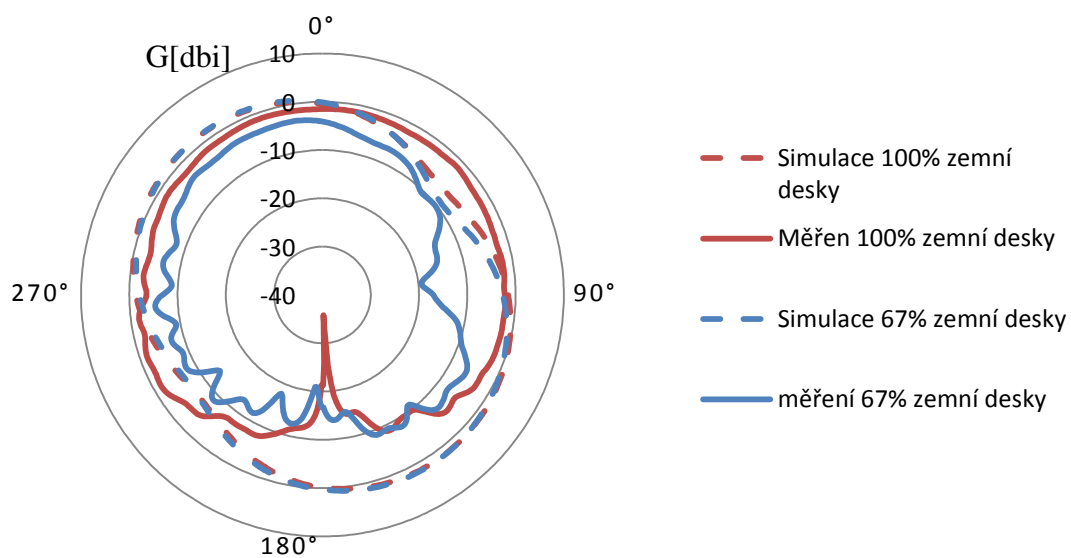
### 6.1 Měření Planární invertované F antény

#### 6.1.1 Měření směrových charakteristik

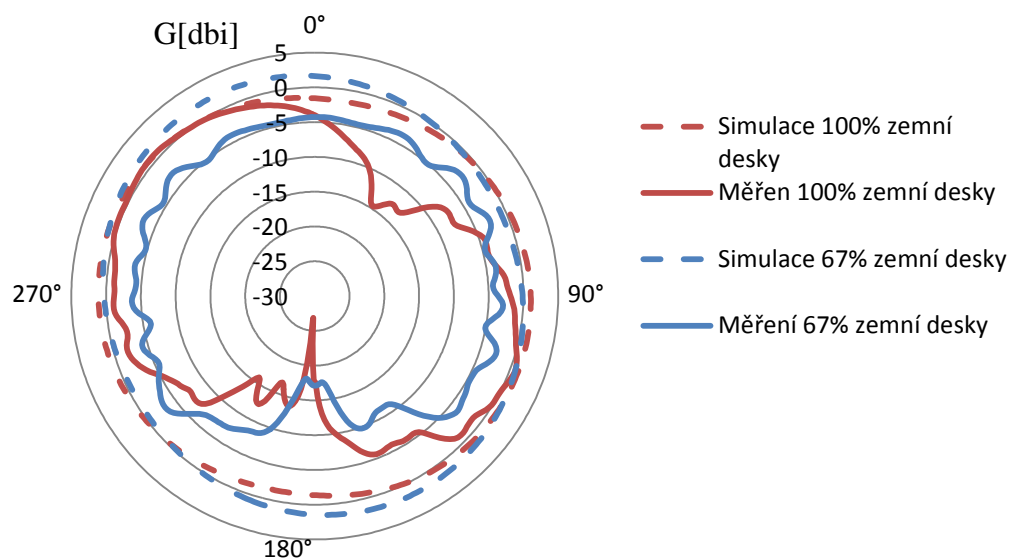
Měření směrových charakteristik proběhlo v bezodrazové stíněné komoře na Ústavu Radioelektroniky. Pro měření byla vybrána PIFA se zemní plochou o 33 % menší než byla doporučená velikost zemní plochy a PIFA se zemní plochou doporučené velikosti pro porovnání.



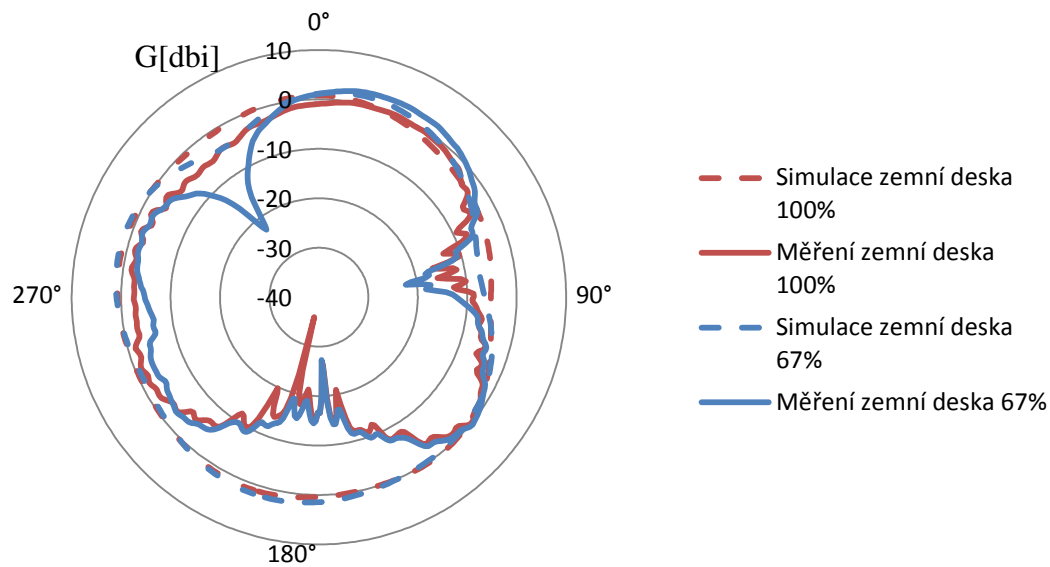
Obrázek 6.1 PIFA se 67 % zemní plochou



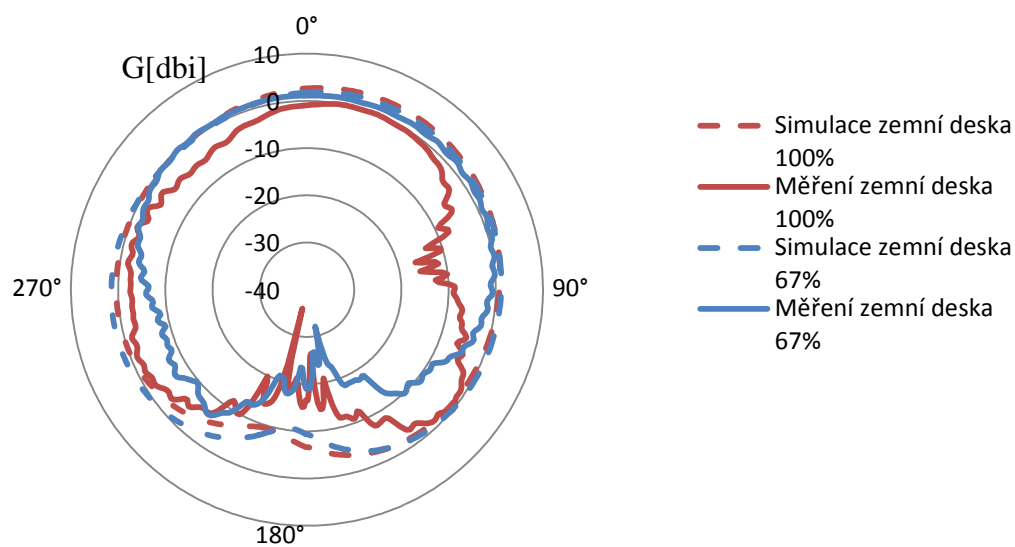
Obrázek 6.2 Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině yz,  $f=2,4\text{GHz}$ .



Obrázek 6.3 Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině zx,  $f=2,4\text{GHz}$ .

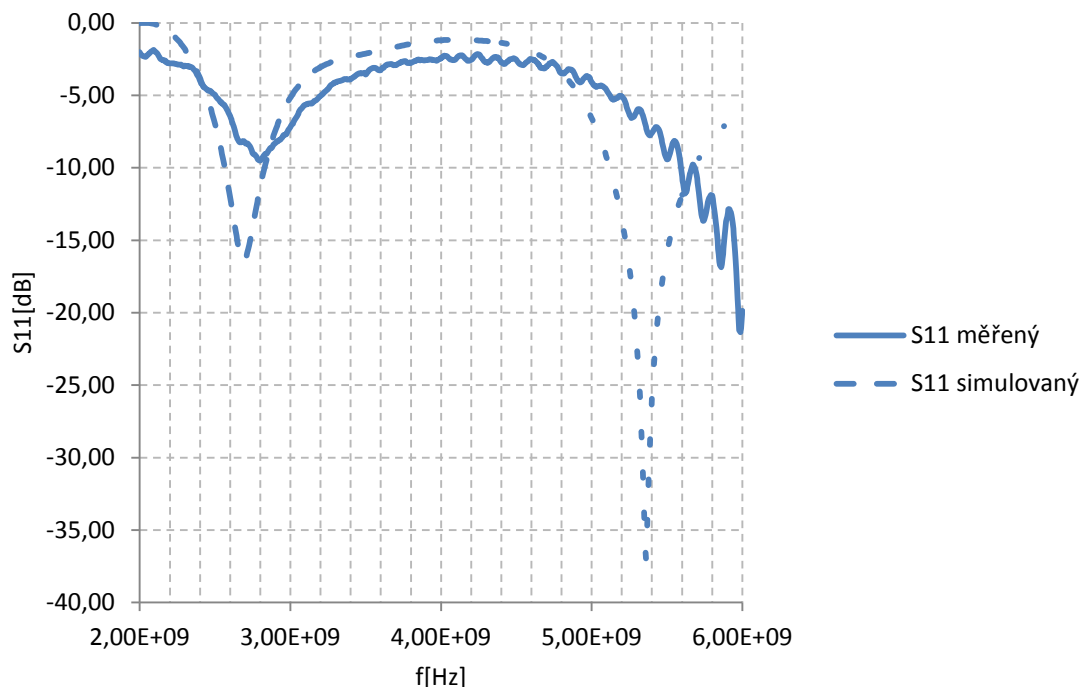


Obrázek 6.4 Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině yz,  $f=5,725\text{GHz}$ .



Obrázek 6.5 Vyzařovací diagram antén PIFA v rovině zx,  $f=5,725\text{GHz}$ .

Vzhledem k realizaci PIFA viz. obr. 6.1 můžeme brát v potaz bohužel jen vrchní polorovinu změřených směrových charakteristik, dolní polorovina je ovlivněna nevhodně umístěným SMA konektorem.

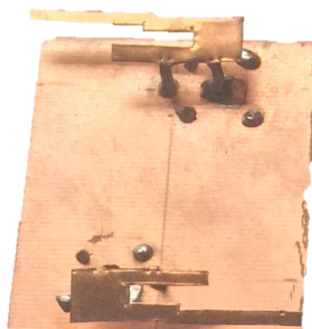


Obrázek 6.6 Parametry S11 PIFA se 67 % zemní plochou.

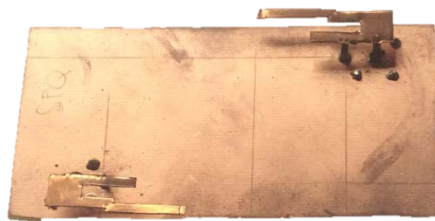
Z obr.6.6 je patrné že nedostatečná velikost zemní plochy způsobuje rozladění především vyššího rezonančního kmitočtu, menší zemní plocha působí taktéž určitou deformací směrových charakteristik.

### 6.1.2 Měření vzájemných poloh antén na DPS

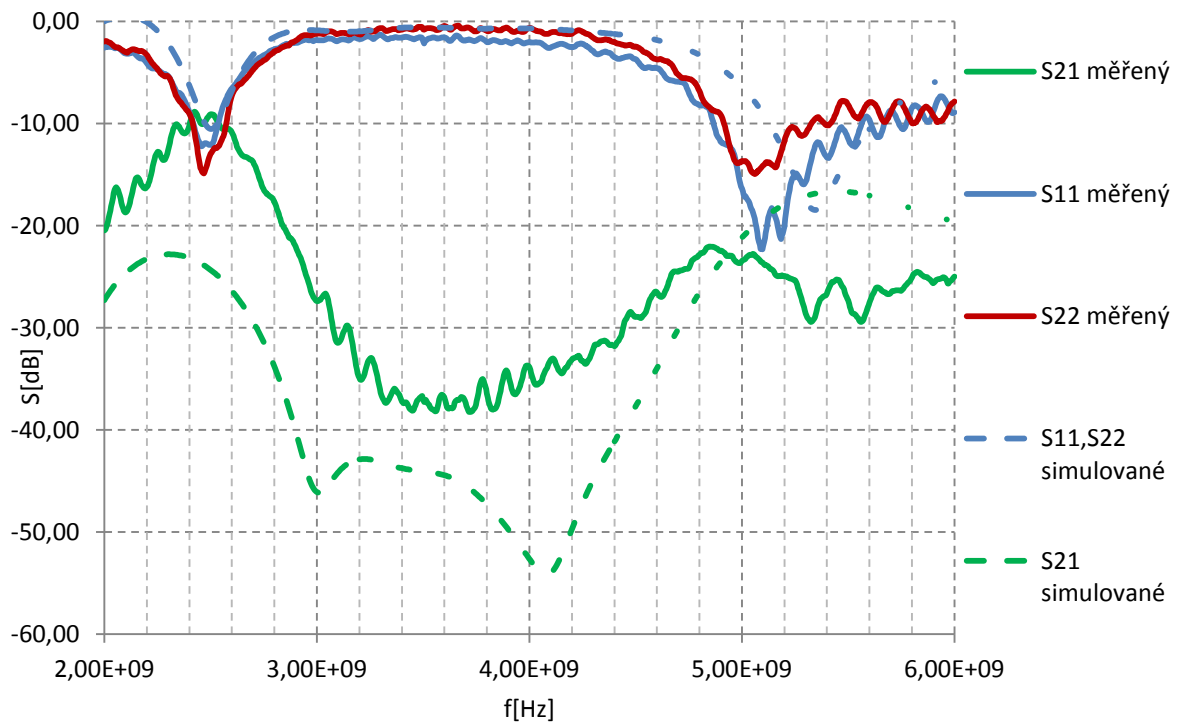
Pro měření vzájemných vlivů poloh antén na DPS byly vyrobeny dva přípravky pro dva případy ze tří možných vzájemných poloh uvedených v 4.4. Všechny vzdálenosti byly zachovány tak jako v 4.4 tedy  $\lambda/4$ .



Obrázek 6.7 Vzájemná poloha antén č.2 podle 4.4.

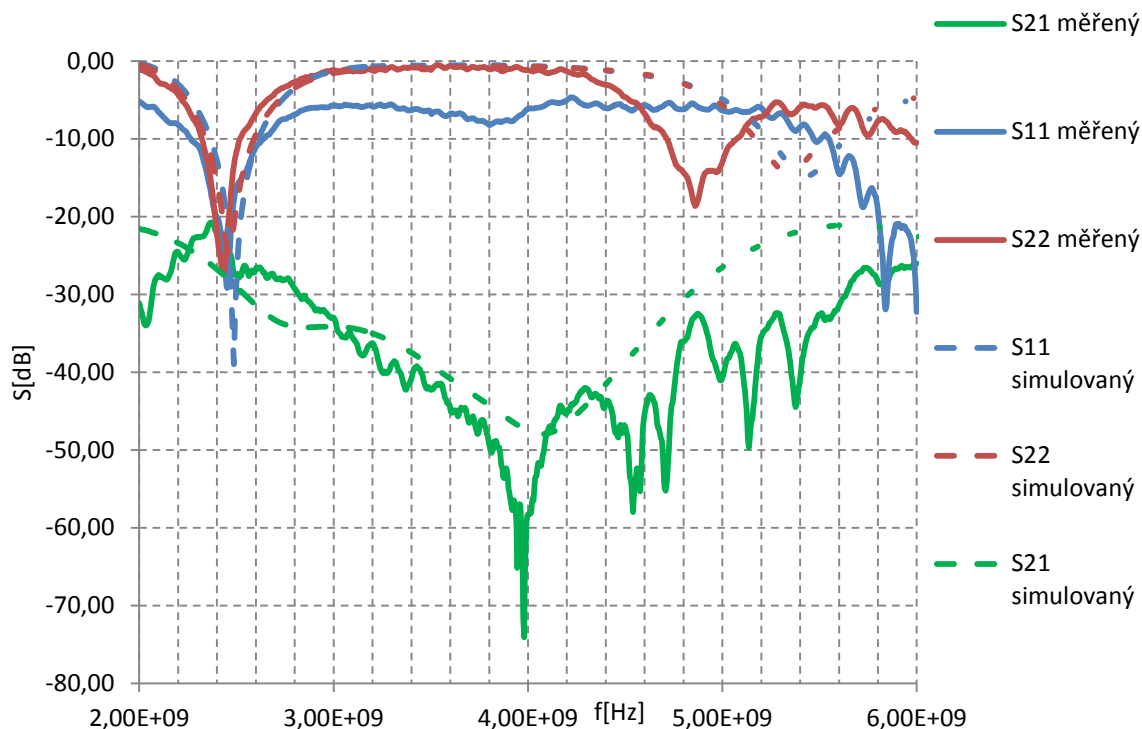


Obrázek 6.8 Vzájemná poloha antén č.3 podle 4.4.



Obrázek 6.9 S-parametry PIFA pro vzájemnou polohu č.2 viz obr. 4.11 vzdálenost= $\lambda/4$

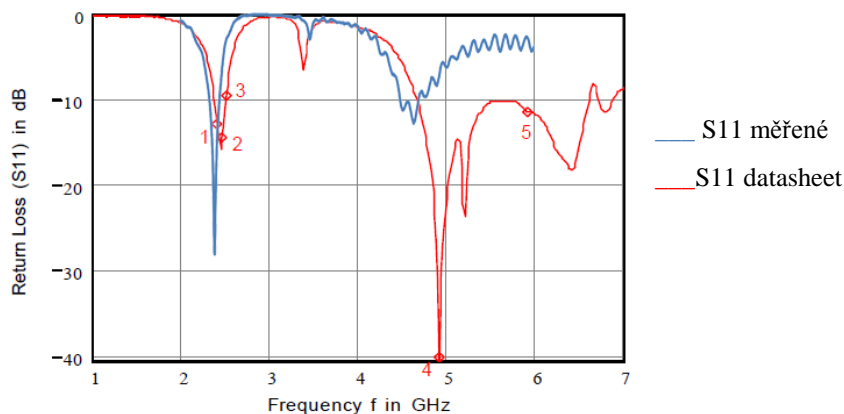
Prizpůsobení na nižším rezonančním kmitočtu je uspokojivé, rozdílné průběhy S11 na vyšším rezonančním kmitočtu budou nejspíše dány nepřesností výroby antény, kdy je vyšší rezonanční kmitočtet velice ovlivnitelný vzdáleností mezi zkratovacím a napájecím pinem a i při malé odchylce dochází k rozladění.



Obrázek 6.10 S-parametry PIFA pro vzájemnou polohu č.3 viz obr. 4.13 vzdálenost  $a, b = \lambda/4$ .

Při vzájemné poloze č.3 bylo dosaženo mnohem lepšího přizpůsobení na dolním rezonančním kmitočtu, jemná odlišnost parametrů S11 a S22 je dána většími rozměry zemní desky, než na jakou byla anténa navrhována, to nejspíše ještě znásobilo i vliv nepřesnosti mezi napájecím a zkratovacím pinem a vyšší rezonanční kmitočet je tak velice rozladěný

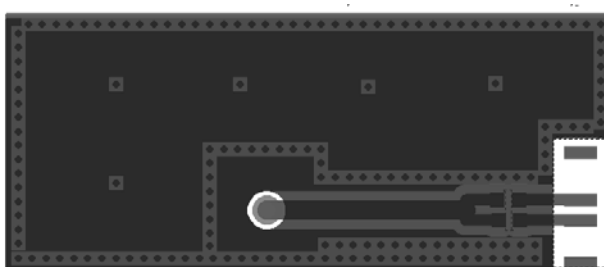
## 6.2 Měření chipové antény



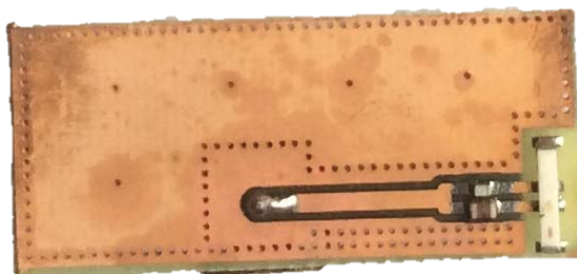
Obrázek 6.11 Porovnání S11 antény osazené na vyrobené zemní desce a průběhu S11 uvedeného v [14].

### 6.2.1 Měření vlivu nedodržení minimálního prostoru bez zemní plochy kolem antény

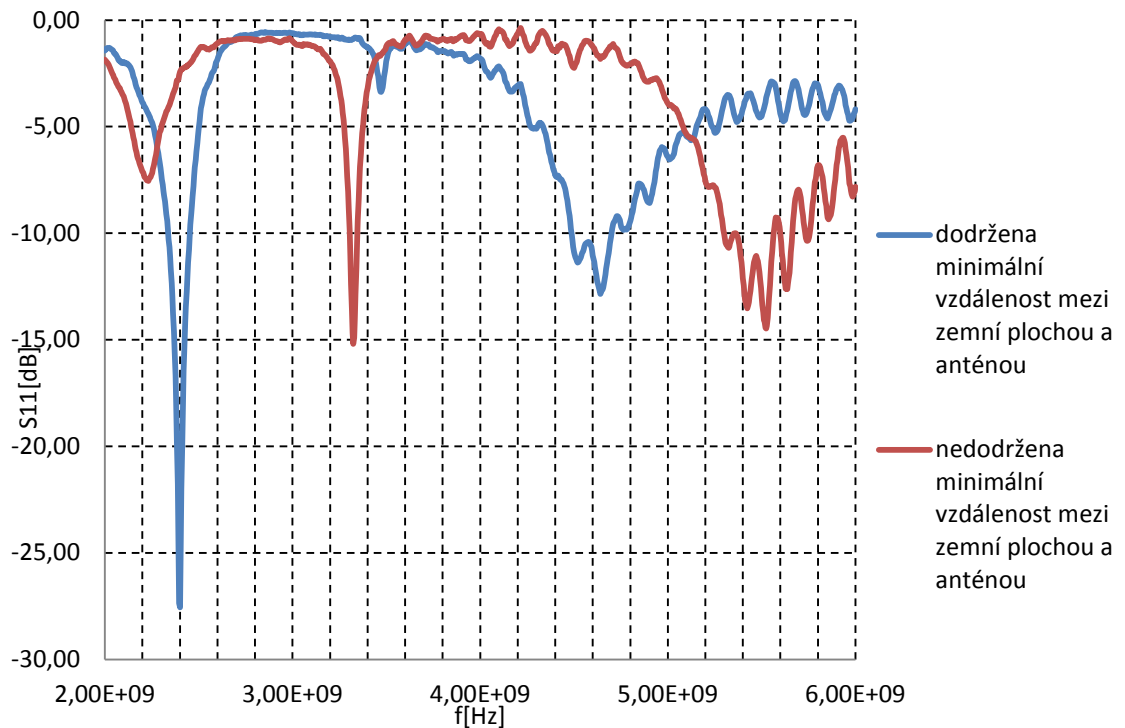
Vzhledem k neustálé miniaturizaci elektronických přístrojů je velká snaha i o miniaturizaci antén, při použití chipových antén je však důrazně doporučováno dodržovat určitý minimální prostor kolem antény bez zemní desky a jakýchkoli jiných kovových předmětů. Pro ověření vlivu nedodržení této podmínky byla vyrobena zemní deska, která má výrobcem doporučenou plochu kolem antény zmenšenu o 50 % viz. obr. 6.9.



Obrázek 6.12 Zemní deska chipové antény s nedodrženým minimálním prostorem kolem antény.



Obrázek 6.13 Vyrobená zemní deska s nedodrženým minimálním prostorem kolem antény s osazenou anténou.

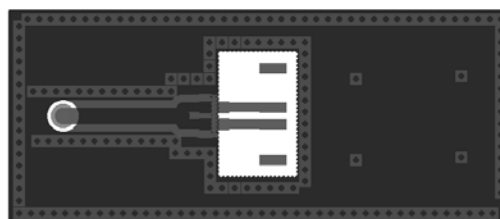


Obrázek 6.14 Vliv nedodržení minimálního prostoru bez zemní plochy kolem antény.

Z obr 6.10 je vidět že je potřeba minimální prostor kolem antény dodržovat, jinak dojde k jejímu rozladění a vzniku parazitních rezonancí a v praxi je potom anténa nepoužitelná.

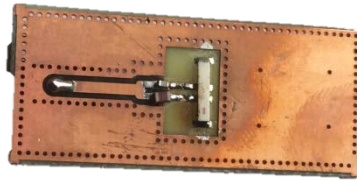
## 6.2.2 Měření vlivu špatného umístění antény na DPS

Jak bylo uvedeno v 4.1 anténu je nutno umísťovat na hranu zemní desky, nejlépe do některého z rohů, na obr 6.16 je příklad nevhodného umístění antény doprostřed zemní desky.

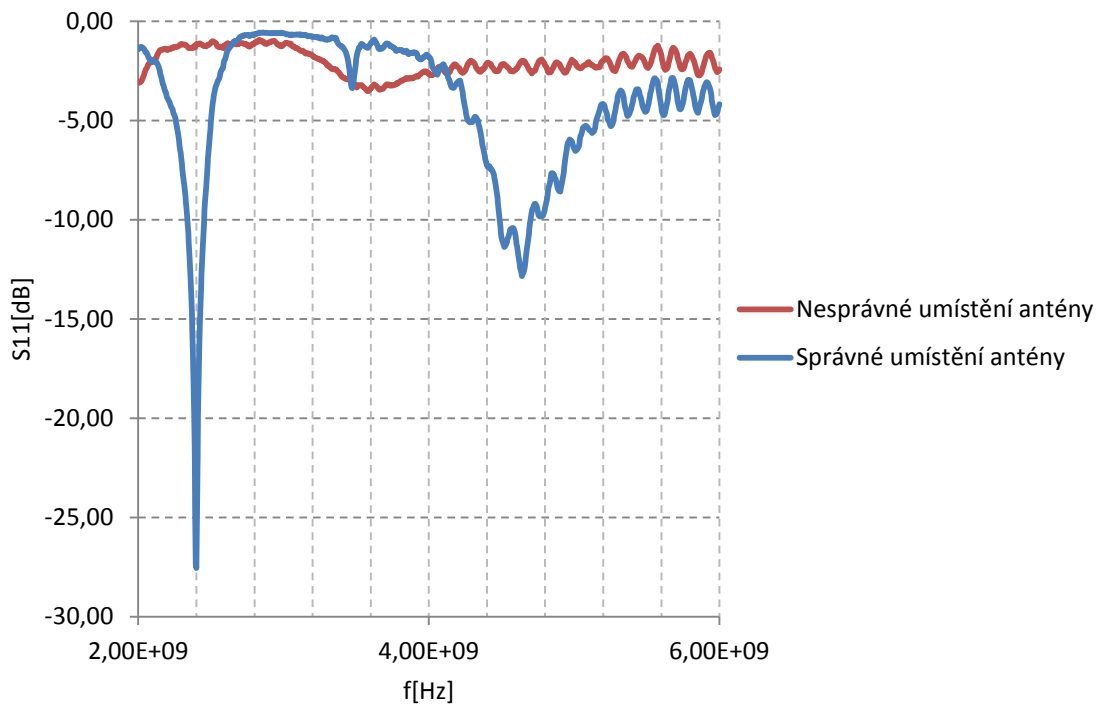


Obrázek 6.15 Zemní deska s nevhodně umístěnou chipovou anténou.





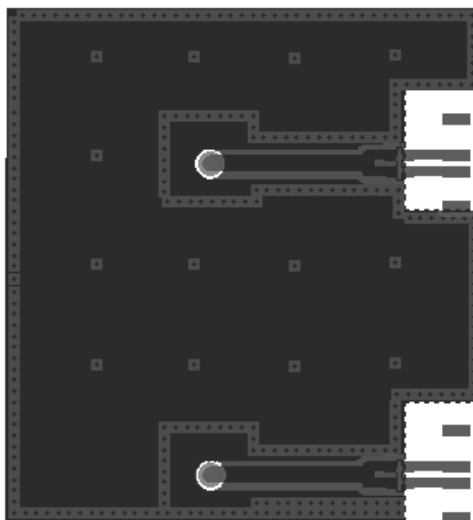
Obrázek 6.16 Osazená zemní deska s nevhodně umístěnou chipovou anténou.



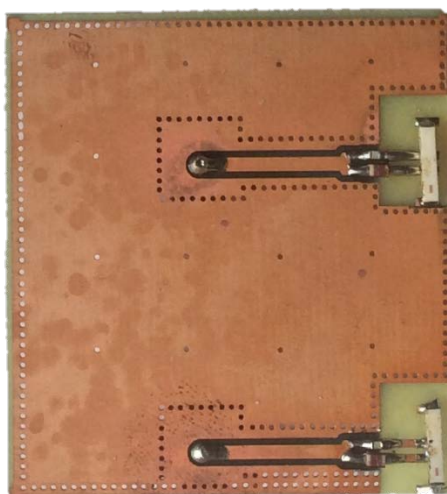
Obrázek 6.17 Změřené hodnoty S11 při správném a nesprávném umístění chipové antény.

Z obr. 6.17 je vidět že pokud se nebudeme držet pokynů k umístování antény na DPS, dojde k tomu, že anténa nebude správně pracovat.

### 6.2.3 Měření vzájemného ovlivňování antén

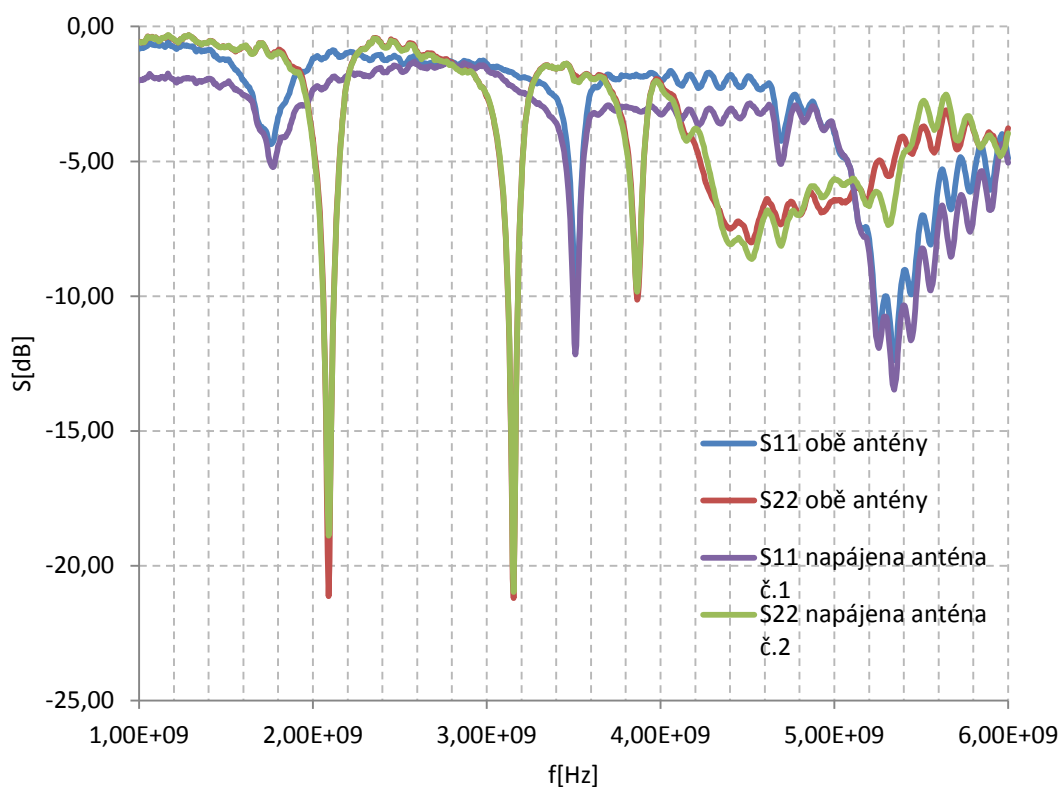


Obrázek 6.18 Zemní deska pro osazení dvěma chipovými anténami.



Obrázek 6.19 Vyrobená zemní deska osazená dvěma chipovými anténami.

Chipová anténa na obr. 6.19 umístěna výše je dále označena jako anténa č.1 a anténa umístěna níže je dále označena jako anténa č.2.



Obrázek 6.20 Změřené S parametry při umístění dvou chipových antén na jedné desce.

Z obrázku 6.20 je patrné že vlivem použití zemní desky jiných rozměru došlo k lehkému rozladění obou antén a ke prudkému zvětšení parazitní rezonance u obou antén na kmitočtech 3,16 a 3,5GHz, tato parazitní rezonance se projevuje i u správně fungující antény avšak ne tak razantně. Anténa č.2 je ovlivněna hlavně zemní deskou, anténa č.1 je ovlivněna jak deskou, tak anténou č.2.

## 7 ZÁVĚR

V programu CST Microwave Studio byly odsimulovány vybrané typy planárních a čipových antén, u planárních to byla anténa PIFA [2] její nasimulované charakteristiky odpovídaly, charakteristikám uvedeným v [2], model čipové antény byl převzat z [3], u této antény byla tvorba modelu ztížena tím, že mnoho výrobců si vlastní konstrukci pečlivě střeží.

Minimální vzdálenost antén pro diverzní příjem s prostorovým výběrem byla určena jako  $0,3\lambda$  to je v našem případě asi 3,75cm. U diverzního příjmu můžeme v nejdělnější situaci dosáhnout zvýšení celkového zisku o 3dB.

Většina výrobců doporučuje minimální vzdálenost mezi anténami vzhledem k jejich vzájemnému ovlivňování alespoň  $0,5\lambda$ , bylo simulacemi ověřeno, že při této vzdálenosti už antény svoje směrové charakteristiky víceméně neovlivňují.

Změnou velikosti zemnicí plochy PIFA můžeme měnit šířku přenášeného pásma, její polohou na zemnicí desce potom měníme impedanční přizpůsobení, čipové antény má velikost zemnicí plochy největší vliv na druhý rezonanční kmitočet, tato skutečnost byla ověřena i při praktické realizaci antény, ze změřených směrových charakteristik můžeme vidět že velikost zemnicí plochy ovlivňuje směrové charakteristiky. Pro zajištění správné funkce obou typů antén je nutné dodržení minimálních rozměrů jejich zemnicích ploch.

Při praktické realizaci čipové antény se vyskytly komplikace a musela být použita čipová anténa [14]. V 6.2 byla dokázána důležitost dodržovat pokyny výrobců čipových antén při jejich osazování.

Při posuzování vzájemné polohy antén při umístování na DPS je zřejmé že nevhodnější je vzájemná poloha č.3, kdy se antény vzájemně výrazně neovlivňují, ani při jejich malé vzdálenosti.

# LITERATURA

- [1] Yi-Fang Lin; Chia-Ho Lin; Hua-Ming Chen; Jen-Yea Jan; Wen-Shan Chen, "Design of ceramic chip antenna for 2.4/5 GHz WLAN applications," Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, IEEE , vol., no., pp.985,988, 9-14 July.
- [2] Shin, Y.S.; Park, S.-O., "A novel PIFA for 2.4 and 5 GHz WLAN application," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2007 IEEE , vol., no., pp.645,648, 9-15 June 2007.
- [3] Chia-Lun Tang, "2.4/5.2 GHz dual-band chip antenna for WLAN application," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE , vol.1A, no., pp.454,457 Vol. 1A, 3-8 July 2005.
- [4] LUKEŠ, Zbyněk. *Moderní anténí systémy* [online prezentace]. Brno [cit. 1.12.2014]. Dostupné z: [http://www.radio.feec.vutbr.cz/kosy/soubory/update01/04/02\\_lukes\\_pwp.pdf](http://www.radio.feec.vutbr.cz/kosy/soubory/update01/04/02_lukes_pwp.pdf).
- [5] Planar antennas selection chart. In: [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: [http://www.qsl.net/va3iul/Antenna/Printed\\_and\\_Microstrip\\_Antennas/02\\_Planar\\_Antennas\\_Selection\\_Chart.gif](http://www.qsl.net/va3iul/Antenna/Printed_and_Microstrip_Antennas/02_Planar_Antennas_Selection_Chart.gif)
- [6] Ground plane effect on printed antennas. In: [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: [http://www.qsl.net/va3iul/Antenna/Printed\\_and\\_Microstrip\\_Antennas/01\\_Ground\\_Plane\\_Effect\\_on\\_Printed\\_Antennas.gif](http://www.qsl.net/va3iul/Antenna/Printed_and_Microstrip_Antennas/01_Ground_Plane_Effect_on_Printed_Antennas.gif)
- [7] Multipath and Diversity. In: [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/27147-multipath.html#fig4>
- [8] *Multimedialní učebnice Elektromagnetické vlny* [online]. Brno: FEEC VUT, 2010 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php>
- [9] JTI Chip Antenna Mounting and Tuning Techniques. [online]. [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: [www.johansontechnology.com/technical-notes/integrated-passives-rf-comp/jti-chip-antenna-mounting-and-tuning-techniques.html](http://www.johansontechnology.com/technical-notes/integrated-passives-rf-comp/jti-chip-antenna-mounting-and-tuning-techniques.html)
- [10] DOBEŠ, Josef a Václav ŽALUD. *Moderní radiotechnika*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 767 s. ISBN 80-730-0132-2.
- [11] MRÁZ, J. *Možnosti integrace anténního systému do přijímače digitální televize*. 1. vyd. 2012, 112 s.
- [12] *Application note AN-00502 LINX*. 2014. Dostupné z: <http://www.linxtechnologies.com/resources/documents/an-00502.pdf>
- [13] *How to do chip antenna layout*. RaiSun corporation. Dostupné z: [http://d1.amobbs.com/bbs\\_upload782111/files\\_51/ourdev\\_715237PZR2.pdf](http://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_51/ourdev_715237PZR2.pdf)
- [14] *Multilayer chip antenna datasheet* [online]. 2004, : 5 [cit. 2015-04-1]. Dostupné z: <http://katalog.we-online.de/pbs/datasheet/7488912455.pdf>
- [15] WADELL, Brian C. *Transmission line design handbook*. Boston: Artech House, 1991, xvi, 513 s. ISBN 08-900-6436-9.
- [16] *Coplanar Waveguide With Ground Characteristic Impedance Calculator* [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://chemandy.com/calculators/coplanar-waveguide-with-ground-calculator.htm>

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$f$	Kmitočet.
$f_r$	Rezonanční kmitočet.
$\epsilon_r$	Relativní permitivita.
$\lambda$	Vlnová délka.
$C_c$	Rychlost světla.
$G_{app}$	Diverzitní zisk.
$\rho$	Korelační koeficient.
$S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$	Činitelé přenosu.
DPS	Deska plošných spojů
PIFA	Planar inverted F antenna, planární invertované F anténa.
LTCC	Low temperature co-fired ceramic, nízkoteplotně vypalovaná keramika.
SMD	Surface mount device, součástka pro povrchovou montáž.
PDA	Personal digital assistant, kapesní počítač.
FF	Farfield, vzdálené pole
RX	Receiver, přijímač
EBG	Electromagnetic band gap, elektromagnetické zádržné pásy.