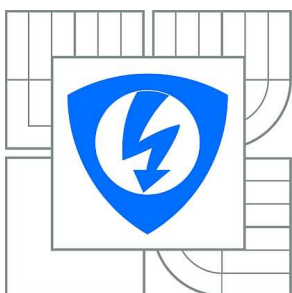


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SPECIÁLNÍ REFLEKTORY PRO ŠIROKOPÁSMOVÉ DIPÓLOVÉ ANTÉNY

SPECIAL REFLECTORS FOR WIDEBAND DIPOLE ANTENNAS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

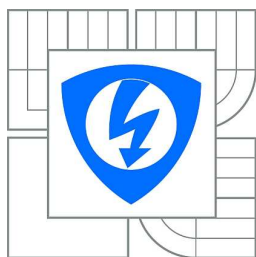
Bc. PAVEL VELIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. ZBYNĚK RAIDA

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Pavel Velička

ID: 98614

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Speciální reflektory pro širokopásmové dipólové antény

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem fungování vlnitých reflektorů (Corrugated Reflector, CR). V programu CST Microwave Studio vytvořte model motýlkového dipólu a umístěte ho nad CR reflektory, které byly publikovány v literatuře.

Numerické modely antén s různými reflektory optimalizujte pro práci v UWB pásmu "Bandgroup 6". Anténu s reflektorem optimalizujte z hlediska impedančního přizpůsobení. Zaměřte se rovněž na tvar směrové charakteristiky a na symetrizaci.

Optimalizované dipóly s CR reflektorem vyrobte a experimentálně ověřte jejich vlastnosti. Změřené výsledky porovnejte se simulací i vzájemně mezi sebou.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WU, Q., JIN, R., GENG, J., SU, D. On the performance of printed dipole antenna With novel composite corrugated-reflectors for low-profile ultrawideband applications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010, vol. 58, no. 12, p. 3839-3846.

[2] KOVÁCS, P. Návrh a optimalizace struktur s lektromagnetickým zádržným pásmem. Disertační práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Práce pojednává o speciálních vlnitých reflektorech pro širokopásmové antény. Vlnité reflektory jsou rozděleny na typ H a typ E. Z těchto typů je následně vytvořena jejich kombinace. Všechny tři typy reflektorů byly simulovány a následně analyzovány. Dále se práce zabývá různými druhy širokopásmových dipólů, které jsou postupně umísťovány nad zkoumané reflektory. Takto vytvořené reflektorové antény jsou pak porovnávány. U antén s nejlepšími parametry pak simulujeme přenos mezi dvěma anténami. Všechny simulace byly provedeny v programu CST Microwave Studio. Vybrané antény byly realizovány a změřeny. Následnými simulacemi jsme zjišťovali příčiny rozdílů mezi simulovanými a měřenými výsledky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Širokopásmová anténa, vlnitý reflektor, směrové antény, dipól.

ABSTRACT

The thesis is focused on special corrugated reflectors for ultra-wideband antennas. Corrugated reflectors are divided into a type H and a type E. Both these types are mutually combined. All those reflectors are simulated and subsequently analyzed. The thesis also deals with different types of broadband dipoles, which are completed by investigated types of reflectors. Created reflector antennas are then compared. For antennas exhibiting the best parameters, we performed simulations of the transmission between two antennas. For the simulations, we used CST Microwave Studio. Selected antennas were manufactured and measured. Consequent simulations were aimed to detect differences between the simulated and measured results.

KEYWORDS

Ultra-wideband (UWB) antennas, corrugated-reflectors, uni-directional antennas, dipol.

VELIČKA, P. *Speciální reflektory pro širokopásmové dipólové antény*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 61s., 5s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Speciální reflektory pro širokopásmové dipólové antény jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních anebo 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 vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Zbyňku Raidovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Výzkum realizovaný v rámci této diplomové práce byl finančně podpořen projektem
CZ.1.07/2.3.00/20.0007 **Wireless Communication Teams**
operačního programu **Vzdělávání pro konkurenceschopnost**.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Finanční podpora byla poskytnuta Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.

OBSAH

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	xi
Úvod	1
1 Ukázka problematiky vlnitých reflektorů	2
1.1 Anténa	2
1.2 Reflektory	3
1.2.1 Vlnitý reflektor typu H	3
1.2.2 Vlnitý reflektor typu E	5
1.2.3 Složený vlnitý reflektor	6
1.2.4 Srovnání reflektorů	9
1.3 Shrnutí kapitoly.....	11
2 Výběr dipólu	12
2.1 Simulace vybraných dipólů	12
2.1.1 Simulace čtvercového dipólu.....	13
2.1.2 Simulace kosočtvercového dipólu	14
2.1.3 Simulace kruhového dipólu	15
2.1.4 Simulace mnohoúhelníkového dipólu	16
2.1.5 Simulace obdélníkového dipólu.....	17
2.1.6 Simulace půlkruhového dipólu	18
2.1.7 Simulace trojúhelníkového dipólu	19
2.2 Shrnutí kapitoly.....	20
3 Reflektory s vybranými anténami	21
3.1 Antény s rovinným reflektorem	21
3.2 Antény s vlnitým reflektorem typu H	23
3.3 Antény s vlnitým reflektorem typu E	25
3.4 Antény se složeným reflektorem	27
3.5 Shrnutí kapitoly.....	30
4 Simulace přenosu mezi dvěma anténami	31
4.1 Simulace antén bez reflektoru.....	31

4.2	Simulace antén s rovinným reflektorem	33
4.3	Simulace antén s reflektorem typu H.....	36
4.4	Simulace antén s reflektorem typu E	38
4.5	Simulace antén se složeným reflektorem.....	40
4.6	Shrnutí kapitoly.....	41
5	Realizace	42
5.1	Návrh symetrizace a impedančního přizpůsobení	42
5.2	Simulace symetrizace a impedančního přizpůsobení	43
5.3	Experimentální měření.....	45
5.4	Simulace antény s konektorem	47
5.4.1	Modelování konektoru.....	47
5.4.2	Simulace antén s konektorem	48
5.5	Měření směrových charakteristik.....	52
5.6	Simulace konstrukčních vlivů antény.	55
5.6.1	Vliv správného sesouhlasení motivů na horní a spodní vrstvě antény	55
5.6.2	Vliv umístění antény nad reflektorem	56
5.6.3	Vliv natočení reflektoru vůči anténě.....	56
5.6.4	Vliv změny vzdálenosti antény od reflektoru	57
5.7	Shrnutí kapitoly.....	57
6	Závěr	58
7	Literatura	60
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	61
	Seznam příloh	62

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1:	Návrh motýlkové dipólové antény, [1].	2
Obr. 1-2:	PSV motýlkového dipólu.	3
Obr. 1-3:	Ukázka dipólu s vlnitým reflektorem typu H.	4
Obr. 1-4:	Struktura vlnitého reflektoru typu H.	4
Obr. 1-5:	Průběh vstupního činitele odrazu S_{11} měnícího se při změně parametrů H_2 a g u reflektoru typu H.	4
Obr. 1-6:	Ukázka dipólu s reflektorem typu E	5
Obr. 1-7:	Struktura vlnitého reflektoru typu E.	5
Obr. 1-8:	Ukázka reflektoru pro dva různé parametry <i>poklesu</i> .	6
Obr. 1-9:	Průběh vstupního činitele odrazu S_{11} měnícího se při změně parametru <i>pokles</i> u reflektoru typu E.	6
Obr. 1-10:	Ukázka dipólu se složeným reflektorem.	7
Obr. 1-11:	Struktura složeného vlnitého reflektoru, [1].	7
Obr. 1-12:	Závislost zisku složeného vlnitého reflektoru pro různé vzdálenosti H .	8
Obr. 1-13:	Závislost vstupního činitele odrazu složeného vlnitého reflektoru pro různé vzdálenosti H .	8
Obr. 1-14:	Zobrazení PSV pro různé druhy reflektorů.	9
Obr. 1-15:	Zobrazení zisku antény pro různé druhy reflektorů	9
Obr. 1-16:	Srovnání vyzařovacích charakteristik motýlkového dipólu s různými reflektory na frekvenci 5GHz.	10
Obr. 2-1:	Základní typy UWB dipólů.	12
Obr. 2-2:	Ukázka simulovaného čtvercového dipólů	13
Obr. 2-3:	Graf činitele odrazu S_{11} na čtvercové dipólové anténě.	13
Obr. 2-4:	Směrové charakteristiky čtvercové dipólové antény.	14
Obr. 2-5:	Ukázka simulovaného kosočtverečného dipólů	14
Obr. 2-6:	Graf činitele odrazu S_{11} na kosočtverečné dipólové anténě.	14
Obr. 2-7:	Směrové charakteristiky kosočtverečné dipólové antény.	15
Obr. 2-8:	Ukázka simulovaného kruhového dipólů	15
Obr. 2-9:	Graf činitele odrazu S_{11} na kruhové dipólové anténě.	16
Obr. 2-10:	Směrové charakteristiky kruhové dipólové antény.	16
Obr. 2-11:	Ukázka simulovaného mnohoúhelníkového dipólů	16

Obr. 2-12: Graf činitele odrazu S_{11} na mnohoúhelníkové dipólové anténě.	17
Obr. 2-13: Směrové charakteristiky mnohoúhelníkové dipólové antény.	17
Obr. 2-14: Ukázka simulovaného obdélníkového dipólů	17
Obr. 2-15: Graf činitele odrazu S_{11} na obdélníkové dipólové anténě.....	18
Obr. 2-16: Směrové charakteristiky obdélníkové dipólové antény.	18
Obr. 2-17: Ukázka simulovaného půlkruhového dipólů.....	18
Obr. 2-18: Graf činitele odrazu S_{11} na půlkruhové dipólové anténě.	19
Obr. 2-19: Směrové charakteristiky půlkruhové dipólové antény.	19
Obr. 2-20: Ukázka simulovaného trojúhelníkového dipólů.....	19
Obr. 2-21: Graf činitele odrazu S_{11} na trojúhelníkové dipólové anténě.	20
Obr. 2-22: Směrové charakteristiky trojúhelníkové dipólové antény.....	20
Obr. 3-1: Graf činitelů odrazu S_{11} simulovaných antén s rovinným reflektorem.	21
Obr. 3-2: Směrové charakteristiky dipólů s rovinným reflektorem.	22
Obr. 3-3: Ukázka simulovaného reflektoru typu H.	23
Obr. 3-4: Popis rozměrů reflektoru. [1]	23
Obr. 3-5: Graf činitelů odrazu S_{11} simulovaných antén s reflektorem typu H.	23
Obr. 3-6: Směrové charakteristiky dipólů s reflektorem typu H.	24
Obr. 3-7: Směrové charakteristiky obdélníkového dipólu s reflektorem typu H.....	25
Obr. 3-8: Ukázka simulovaného reflektoru typu E.....	25
Obr. 3-9: Popis rozměrů reflektoru. [1]	25
Obr. 3-10: Graf činitelů odrazu S_{11} simulovaných antén s reflektorem typu E.	26
Obr. 3-11: Směrové charakteristiky dipólů s reflektorem typu E.	26
Obr. 3-12: Směrové charakteristiky dipólů s reflektorem typu E.	27
Obr. 3-13: Ukázka simulovaného složeného reflektoru.	27
Obr. 3-14: : Graf činitelů odrazu S_{11} simulovaných antén se složeným reflektorem....	28
Obr. 3-15: Směrové charakteristiky čtvercového dipólu se složeným reflektorem.....	28
Obr. 3-16: Směrové charakteristiky dipólů se složeným reflektorem.	29
Obr. 4-1: Ukázka simulace dvou antén.....	31
Obr. 4-2: Přenos S_{12} u antén bez reflektoru.....	31
Obr. 4-3: Argument přenosu S_{21} u antén bez reflektoru.....	32
Obr. 4-4: Graf skupinového zpoždění u antén bez reflektoru.....	32
Obr. 4-5: Obrázek vyslaného (vlevo) a přijatého (vpravo) impulsu.	33
Obr. 4-6: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.	33
Obr. 4-7: Přenos mezi anténami s rovinným reflektorem.....	34

Obr. 4-8: Argument přenosu S_{12} u antén s rovinným reflektorem.	34
Obr. 4-9: Graf skupinového zpoždění u antén s rovinným reflektorem.	35
Obr. 4-10: Obrázek vyslaného (vlevo) a přijatého (vpravo) impulsu.	35
Obr. 4-11: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.	35
Obr. 4-12: Přenos mezi anténami s reflektorem typu H.	36
Obr. 4-13: Argument přenosu S_{12} u antén s reflektorem typu H.	36
Obr. 4-14: Graf skupinového zpoždění u antén s reflektorem typu H.	37
Obr. 4-15: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.	37
Obr. 4-16: Přenos S_{12} mezi dvěma anténami s reflektorem typu E.	38
Obr. 4-17: Argument přenosu S_{12} u antén s reflektorem typu E.	38
Obr. 4-18: Graf skupinového zpoždění u antén s reflektorem typu E.	39
Obr. 4-19: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.	39
Obr. 4-20: Přenos S_{12} mezi dvěma anténami se složeným reflektorem.	40
Obr. 4-21: Argument přenosu S_{12} u antén se složeným reflektorem.	40
Obr. 4-22: Graf skupinového zpoždění u antén se složeným reflektorem.	41
Obr. 4-23: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.	41
Obr. 5-1: Ukázka napájení kruhového dipólu.	42
Obr. 5-2: Ukázka simulovaných antén s impedančním přizpůsobením (vlevo) a bez impedančního přizpůsobení (vpravo).	43
Obr. 5-3: Průběh činitele odrazu S_{11}	43
Obr. 5-4: Průběh reálné části impedance Z_{11}	44
Obr. 5-5: Průběh imaginární části impedance Z_{11}	44
Obr. 5-6: Naměřený průběh činitel odrazu antén.	45
Obr. 5-7: Naměřená reálná složka impedance antén Z_{11}	46
Obr. 5-8: Naměřená imaginární složka impedance antén.	46
Obr. 5-9: Ukázka simulace testování konektoru.	47
Obr. 5-10: Průběh činitele odrazu S_{11} a přenosu S_{22} při testu konektorů.	48
Obr. 5-11: Ukázka modelu antény s konektorem s přizpůsobením (vlevo) a bez přizpůsobení (vpravo).	48
Obr. 5-12: Srovnání činitele odrazu simulované antény s konektorem a měření u antény s přizpůsobením.	49
Obr. 5-13: Srovnání činitele odrazu simulované antény s konektorem a měření u antény bez přizpůsobení.	49
Obr. 5-14: Reálná složka impedance antény s přizpůsobením.	50
Obr. 5-15: Imaginární složka impedance antény s přizpůsobením.	50

Obr. 5-16: Reálná složka impedance antény bez přizpůsobení.	51
Obr. 5-17: Imaginární složka impedance antény bez přizpůsobení.....	51
Obr. 5-18: Průběh zisku simulovaných antén.	52
Obr. 5-19: Směrové charakteristiky antény bez přizpůsobení.....	53
Obr. 5-20: Směrové charakteristiky antény s přizpůsobením.....	54
Obr. 5-21: Ukázka antény s pomocným souřadnicovým systémem.....	55
Obr. 5-22: Činitel odrazu S_{11} při posunutí motivu antény.....	55
Obr. 5-23: Průběh činitele odrazu S_{11} při posunu antény ve směru osy u	56
Obr. 5-24: Průběh činitele odrazu S_{11} při posunu antény ve směru osy v	56
Obr. 5-25: Vlivy natočení antény vzhledem k reflektoru	57
Obr. 5-26: Průběh činitele odrazu při změně vzdálenosti od reflektoru.	57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1: Parametry dipólové antény.	2
Tab. 1-2: Neměnné parametry reflektoru typu E.....	5
Tab. 1-3: Parametry složeného vlnitého reflektoru.	7

ÚVOD

V dnešní době se stále více využívají bezdrátové širokopásmové komunikační systémy. Jedním z prvků těchto bezdrátových komunikačních systémů jsou širokopásmové antény.

Tato práce zkoumá speciální reflektory právě pro širokopásmové antény. Nejdříve zabývám ověřením vlastností vlnitých reflektorů uvedených v literatuře [1]. Následně vytvářím modely širokopásmových dipólů, u kterých širokopásmovými reflektory upravuji směrovost antény a zvětšuji její zisk.

Pomocí vlnitých reflektorů se snažím vytvořit nízko-profilové antény. U klasické dipólové antény s rovinným reflektorem je zapotřebí, aby byl dipól umístěn ve vzdálenosti $\lambda/4$. Využitím vlnitých reflektorů se pokusím tuto vzdálenost zmenšit. U antén, u kterých bude dosaženo nejlepších výsledků, pak budou provedeny simulace, pomocí kterých budeme moci zhodnotit kvalitu antény.

Vybrané antény budou následně vyrobeny a experimentálně ověříme jejich vlastnosti. Po srovnání měřených a simulovaných výsledků budeme věnovat parametrické analýze, která se pokusí odhalit vliv výrobních tolerancí na finální parametry antény.

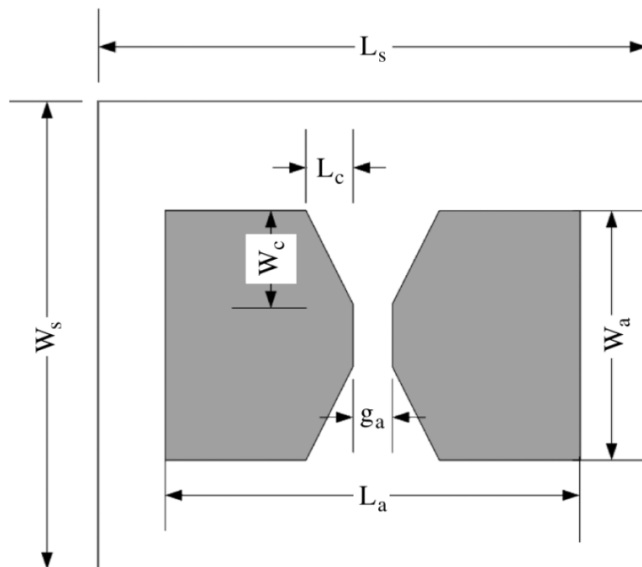
1 UKÁZKA PROBLEMATIKY VLNITÝCH REFLEKTORŮ

V této kapitole bude proveden rozbor antény s vlnitým reflektorem uvedené v literatuře [1]. To nám pomůže pochopit princip a vlastnosti vlnitých reflektorů. Anténa bude tvořena motýlkovým dipólem s reflektorem. Pro simulaci bude využit program CST MicroWave Studio.

Při simulaci je potřebné vhodně zvolit velikost diskretizace simulované antény, aby bylo dosaženo výsledků s patričnou přesností. Při malé diskretizaci bude výpočet při simulaci proveden rychle, ale výsledky tohoto výpočtu se mohou značně lišit od skutečnosti.

1.1 Anténa

Dipól je simulován na teflonovém substrátu o tloušťce 0,8 mm s relativní permitivitou $\epsilon_r = 2,65$. Anténa je napájena portem s impedancí 80 Ω . Anténu simulujeme v rozsahu kmitočtů od 2,25 GHz do 8,5 GHz. Parametry simulovaného dipólu (obr. 1-1) jsou uvedeny v tab. 1-1.

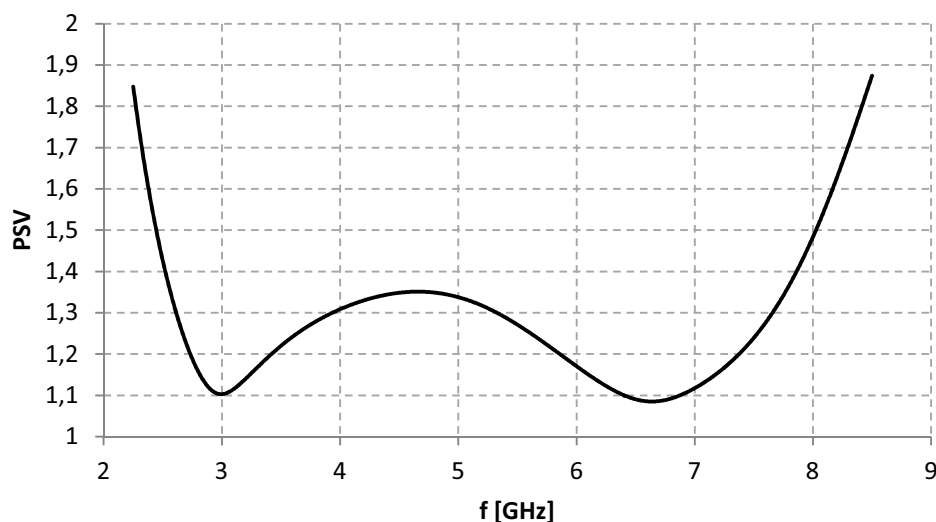


Obr. 1-1: Návrh motýlkové dipólové antény, [1].

Tab. 1-1: Parametry dipólové antény.

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
W_s	60,0 mm	W_a	32,0 mm
L_s	70,0 mm	L_a	48,8 mm
W_c	12,5 mm	g_a	0,8 mm
L_c	5,5 mm	ϵ_r	2,65

Navržený motýlkový dipól je opravdu širokopásmový, což je vidět na obr. 1-2. Poměr stojatých vln (PSV) je menší než 2 v celém simulovaném rozsahu kmitočtů. Taková anténa může být použita jako vysílací a při mírném zúžení šířky pásma, aby bylo $PSV < 1,6$, by se takový dipól mohl použít i jako přijímací anténa. Takto širokopásmové antény mají bohužel příliš malý zisk, a tím by se jejich použití značně omezilo. Proto se u nich používají reflektory, které upraví směrovost antény, a tím zvýší zisk antény v požadovaném směru vyzařování.



Obr. 1-2: PSV motýlkového dipólu.

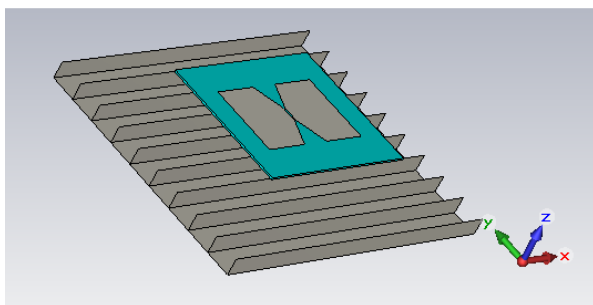
1.2 Reflektory

Dipólové antény s vlnitými reflektory mohou být rozděleny na dva typy - na reflektor typu H a reflektor typu E. Toto rozdělení záleží na směru proudů na povrchu dipólu, který je rovnoběžný nebo kolmý na drážky reflektoru.

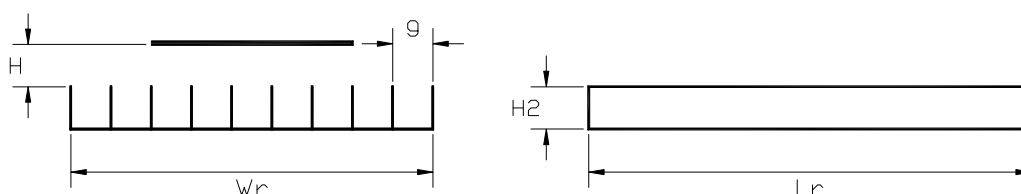
1.2.1 Vlnitý reflektor typu H

Reflektor typu H je zobrazen na obrázku obr. 1-3. Jeho princip spočívá v tom, že odráží příčně elektrické (TE) vlny vyzářené anténou zpět. Tím se zvyšuje zisk antény a upravuje směr vyzařování antény.

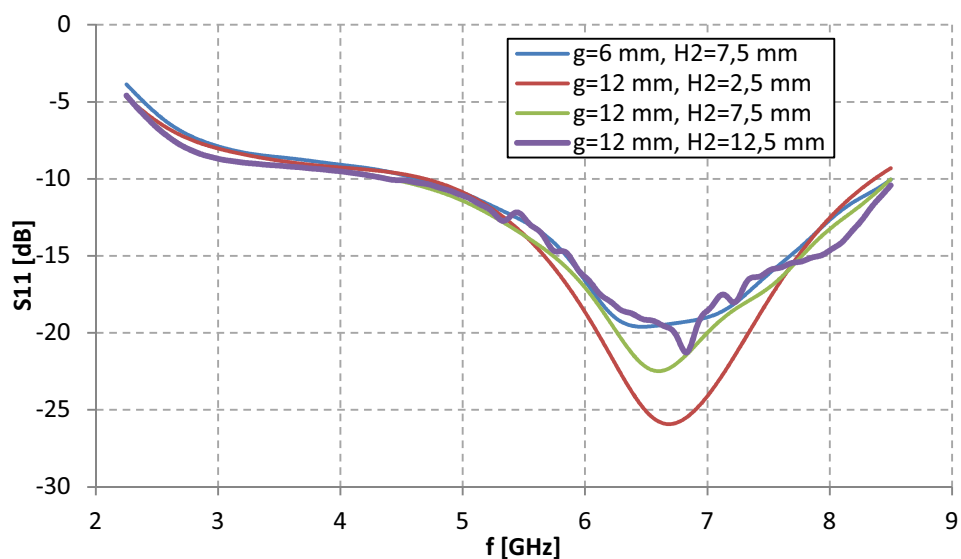
Struktura vlnitého reflektoru se všemi důležitými parametry je zobrazena na obrázku 1-4. Plošné rozměry reflektoru určují parametry L_r a W_r . Parametr L_r definuje délku reflektoru, která je 132 mm. W_r je šířka reflektoru, ta je rovna 108 mm. Parametr H označuje vzdálenost mezi dipólem a horní hranou reflektoru a je roven 12,5 mm. Parametry $H2$ a g jsou parametry, které byly v průběhu simulací měněny. Parametr $H2$ označuje výšku reflektoru a g vzdálenost mezi jednotlivými žebry reflektoru.



Obr. 1-3: Ukázka dipólu s vlnitým reflektorem typu H.



Obr. 1-4: Struktura vlnitého reflektoru typu H.

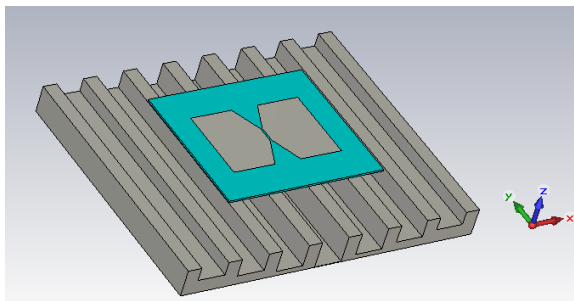


Obr. 1-5: Průběh vstupního činitele odrazu S_{11} měnícího se při změně parametrů H_2 a g u reflektoru typu H.

Na obr. 1-5 je vidět, jak se mění vstupní činitel odrazu S_{11} v závislosti na frekvenci při změně parametrů H_2 a g u reflektoru typu H. Z uvedeného průběhu je vidět, že změny parametrů g a H_2 mají sice vliv na vstupní činitel odrazu S_{11} , ale nikoli natolik velký, aby to ovlivnilo použitelnost antény. Změny parametru jako například PSV nebo zisk antény jsou natolik malé, že je můžeme zanedbat, pokud anténa nebude použita pro nějakou velmi přesnou aplikaci.

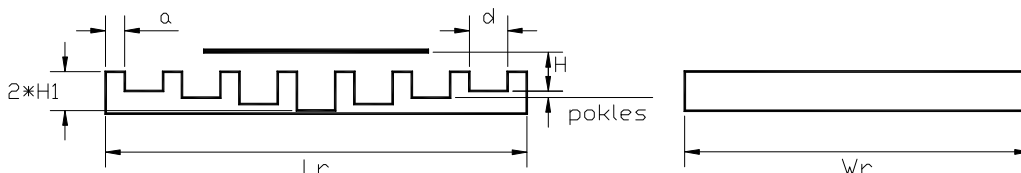
1.2.2 Vlnitý reflektor typu E

Na obr. 1-6 je zobrazen dipól s vlnitým reflektorem typu E. Tento reflektor je principiálně stejný jako reflektor typu H, jen s tím rozdílem, že místo vlny TE je konstruován pro odrazení vln příčně magnetických (TM).



Obr. 1-6: Ukázka dipólu s reflektorem typu E

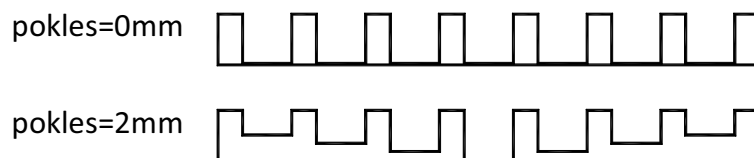
Parametry vlnitého reflektoru typu E jsou zobrazeny na obr. 1-7. Parametry L_r a W_r udávají, stejně jako u předešlého typu reflektoru, jeho délku a šířku. Dalším stejným parametrem je parametr H . Tento parametr se od toho předešlého liší tím, že neuvádí přímo vzdálenost mezi dipólem a reflektorem, ale uvádí vzdálenost mezi dipólem a středem výšky reflektoru, viz obr. 1-7. Novými parametry u toho reflektoru jsou parametry a a d , které uvádějí rozměry drážek a mezer na reflektoru jak je uvedeno na obr. 1-7. Dalším parametrem je $H1$. Tento parametr uvádí hloubku prostřední drážky reflektoru. Posledním parametrem je *pokles*, ten uvádí změnu hloubky drážky, která se odvíjí od nejhlubší (prostřední) drážky, definované parametrem $H1$.



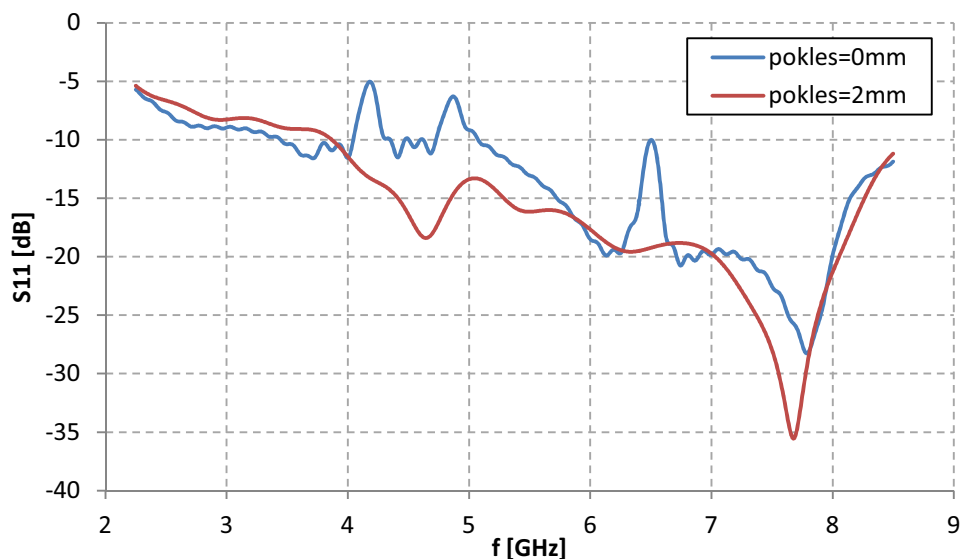
Obr. 1-7: Struktura vlnitého reflektoru typu E.

Tab. 1-2: Neměnné parametry reflektoru typu E.

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
L_r	132 mm	a	6 mm
W_r	108 mm	d	12 mm
H	12,5 mm	$H1$	6 mm



Obr. 1-8: Ukázka reflektoru pro dva různé parametry *poklesu*.

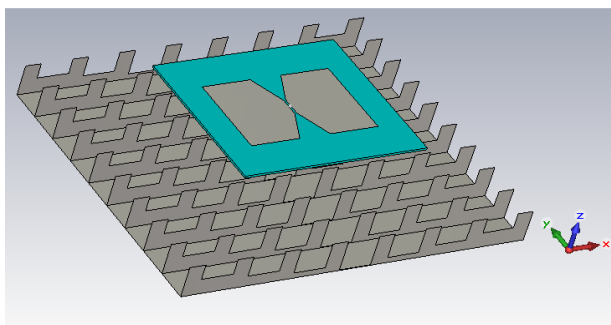


Obr. 1-9: Průběh vstupního činitele odrazu S_{11} měnícího se při změně parametru *pokles* u reflektoru typu E.

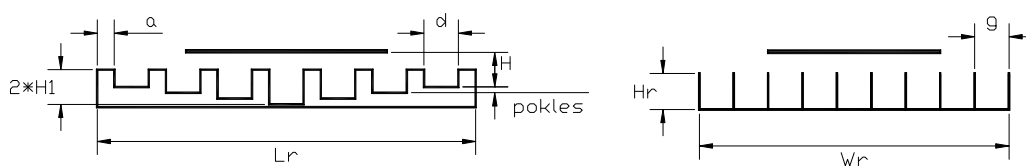
Simulace reflektoru byly provedeny pro dva různé parametry *poklesu*. Parametr *pokles* = 0mm znamená, že všechny drážky reflektoru jsou stejně hluboké. Z výsledků simulace uvedených na obr. 1-9, je zřejmé, že vhodnějším reflektorem je reflektor s měnící se hloubkou drážek, tedy s parametrem *pokles* = 2mm. Reflektor s parametrem *pokles* = 2mm má lepší průběh vstupního činitele odrazu S_{11} a tedy i lepší PSV. Tím je dáno, že je tento reflektor použitelný pro větší šířku pásma. Stejně jako S_{11} či PSV je ovlivněn výsledný zisk celé antény.

1.2.3 Složený vlnitý reflektor

Složený vlnitý reflektor vznikne složením reflektoru typu H a typu E. Tím dojde také ke zkombinování jejich vlastností. Ukázka reflektoru je na obr. 1-10. Na obr. 1-11. jsou zobrazeny všechny parametry potřebné k sestavení tohoto reflektoru a jejich hodnoty jsou uvedeny v tab. 1-4. Význam všech parametru je stejný jako u předchozích reflektorů.



Obr. 1-10: Ukázka dipólu se složeným reflektorem.



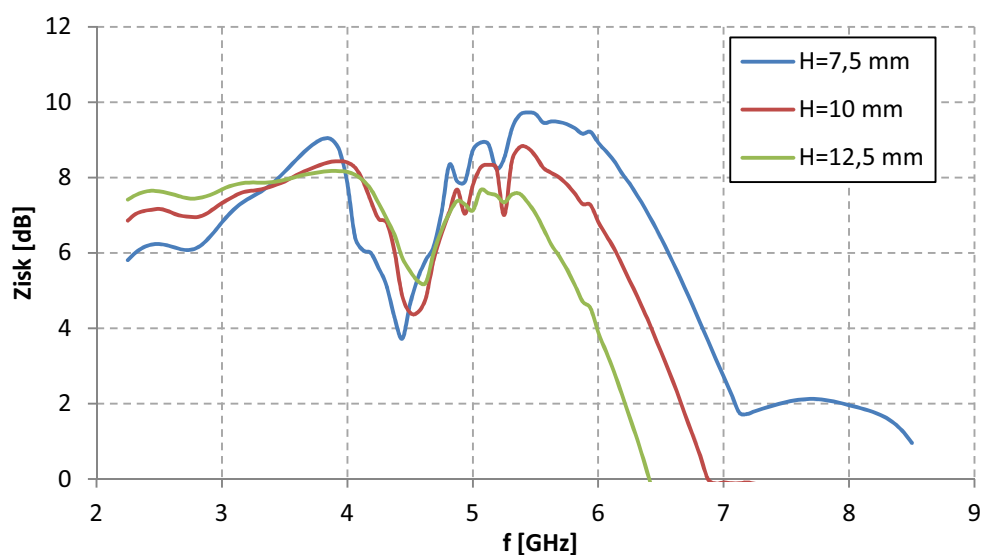
Obr. 1-11: Struktura složeného vlnitého reflektoru, [1].

Jediným parametrem, který není uveden v tab. 1-4, je parametr H . Ten byl při simulacích tohoto typu reflektoru měněn. Parametr H nabýval hodnot 7,5 mm, 10 mm a 12,5 mm což odpovídá vzdálenostem horní hrany reflektoru od dipólu 1,5 mm, 4 mm a 6,5 mm.

Tab. 1-3: Parametry složeného vlnitého reflektoru.

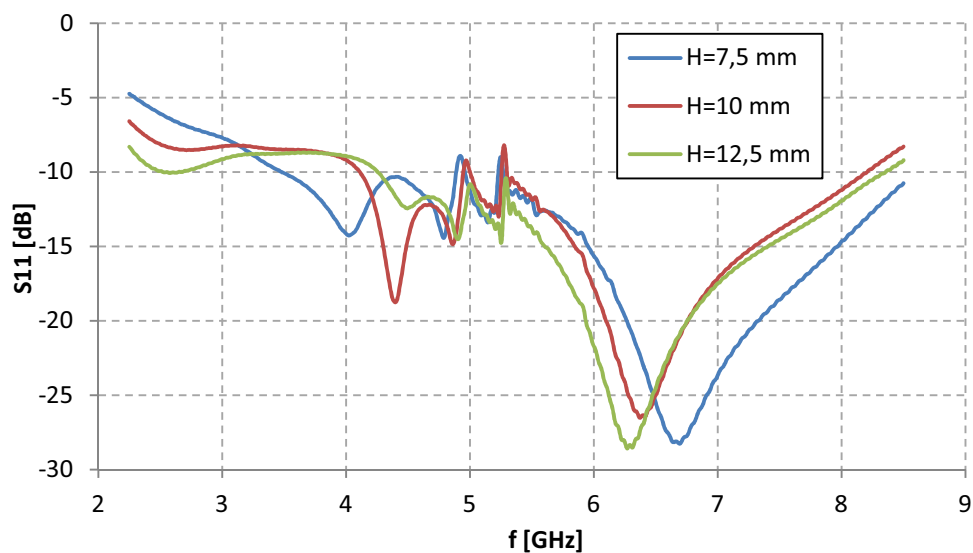
Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
L_r	132,0 mm	W_r	108,0 mm
$H1$	6,0 mm	a	6,0 mm
d	12,0 mm	$pokles$	2,0 mm
g	12,5 mm	H_r	12,5 mm

Na obr. 1-12 jsou uvedeny výsledky simulace složeného vlnitého reflektoru pro tři různé vzdálenosti reflektoru od dipólové antény. Z grafu je vidět závislost zisku na vzdálenosti reflektoru od antény. Při vzdálenosti $H = 12,5$ mm je zisk na nižších kmitočtech větší než při $H = 7,5$ mm. Naopak na vyšších kmitočtech se zisk zvyšuje při zmenšování vzdálenosti H .



Obr. 1-12: Závislost zisku složeného vlnitého reflektoru pro různé vzdálenosti H .

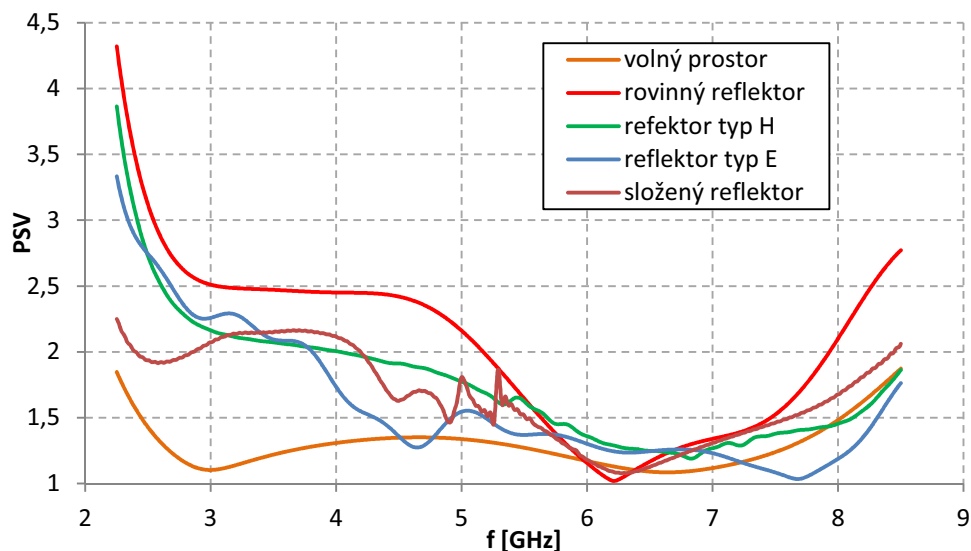
Na obr. 1-13 je zobrazen graf zachycující závislost vstupního činitele odrazu na vzdálenosti reflektoru od antény. Z průběhu na obr. 1-13 je vidět, že pro získání antény s co neširší šířkou pásma, tzn. aby S_{11} bylo menší než -10 dB, je zapotřebí, aby vzdálenost reflektoru od antény byla alespoň 12,5 mm. Při této vzdálenosti H je šířka pásma přibližně 4,05 GHz (4,2 GHz až 8,25 GHz). Pro menší vzdálenost H je šířka pásma pouze 3,1 GHz (5,1 GHz až 8,2 GHz).



Obr. 1-13: Závislost vstupního činitele odrazu složeného vlnitého reflektoru pro různé vzdálenosti H .

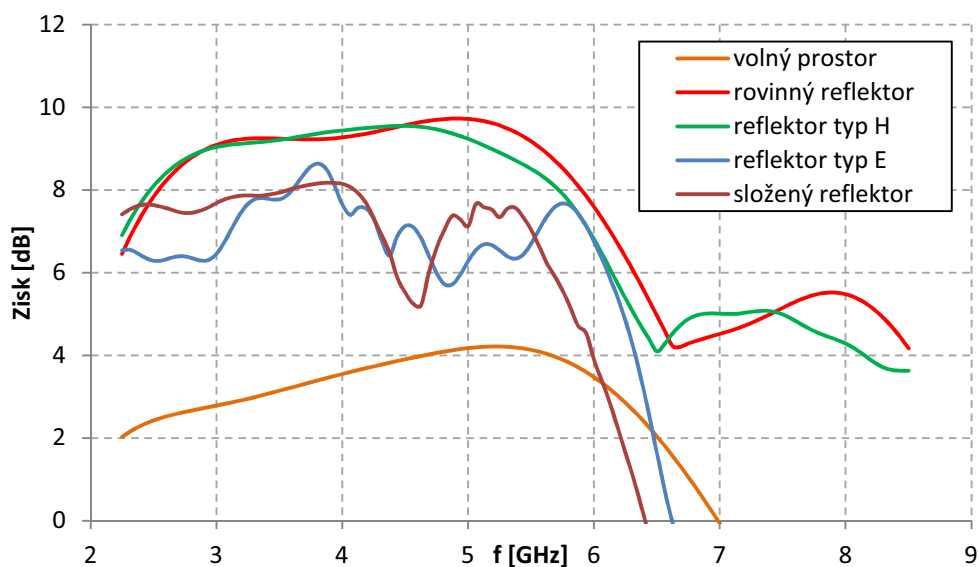
1.2.4 Srovnání reflektorů

Pro srovnání vlastností dipólové antény s různými reflektory byly zvoleny dva parametry a to PSV a zisk. Poměr stojatých vlna je uveden na obr. 1-14. Z tohoto obrázku je vidět, že nejlepšího PSV dosahuje anténa bez reflektoru. Naopak nejhorší PSV má anténa s rovinným reflektorem.



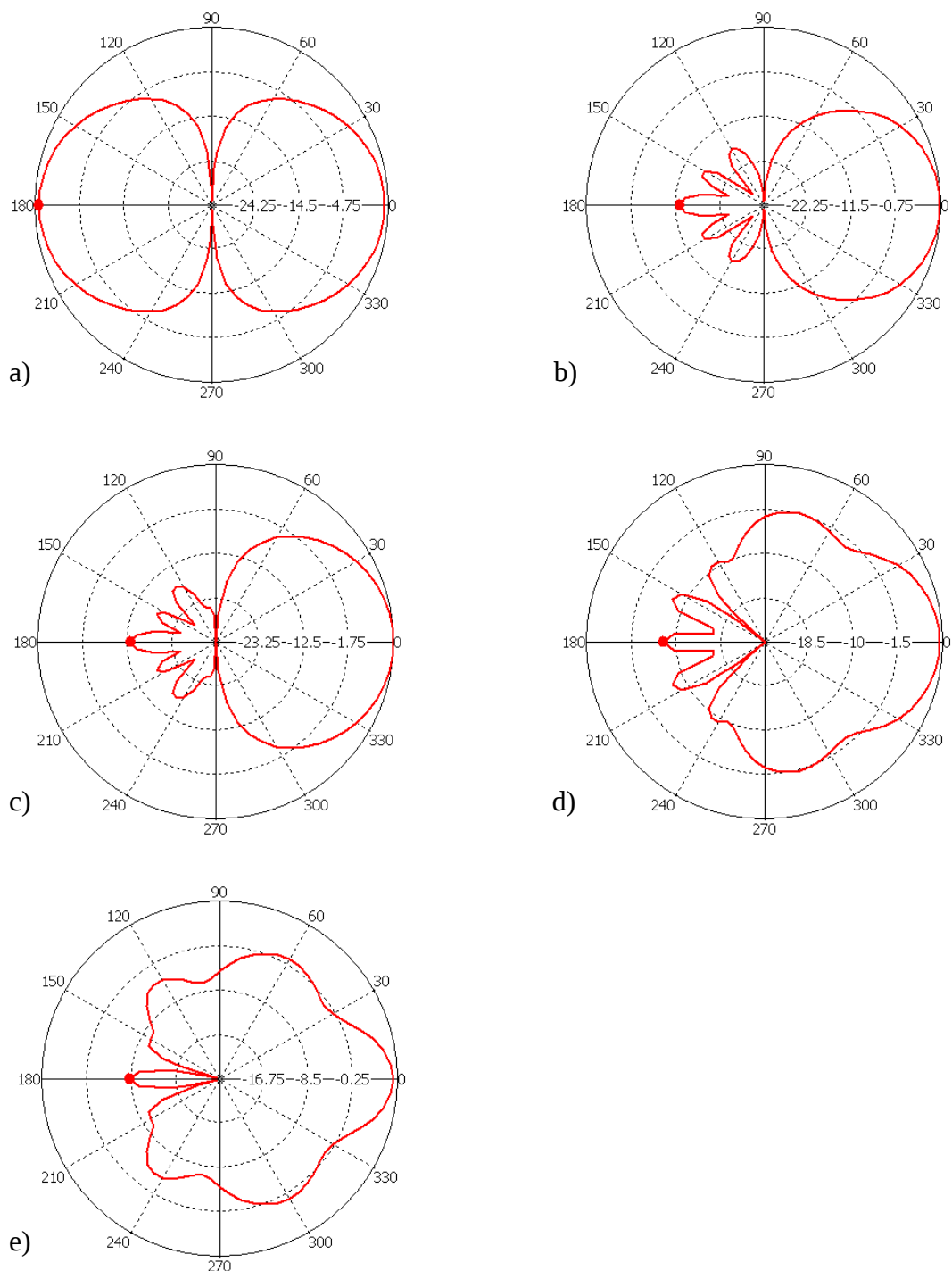
Obr. 1-14: Zobrazení PSV pro různé druhy reflektorů

Při porovnání zisků antény s různými reflektory je tomu přesně naopak než u PSV. Anténa bez reflektoru má nejmenší zisk, zatímco s rovinným reflektorem je dosaženo zisku největšího. Ostatní reflektory jsou kompromisem mezi anténou s rovinným reflektorem a anténou bez reflektoru. Z obr. 1-15 je vidět, jak moc se zvýší zisk antény při použití reflektorů.



Obr. 1-15: Zobrazení zisku antény pro různé druhy reflektorů

Na obr. 1-16 je vidět vliv jednotlivých druhů reflektorů na směrovost motýlkové dipólové antény.



Obr. 1-16: Srovnání vyzářovacích charakteristik motýlkového dipólu s různými reflektory na frekvenci 5GHz: **a)** volný prostor, **b)** rovinný reflektor, **c)** reflektor typ H, **d)** reflektor typ E, **e)** složený reflektor.

1.3 Shrnutí kapitoly

Ze simulací vyplývá vliv reflektoru na motýlkový dipól. Simulovaný dipól bez reflektoru má sice velmi široké pásmo použitelnosti, ale za to má velmi malý zisk. Právě z tohoto důvodu se používají reflektory. Použitím reflektoru se zisk zvýší, na některých kmitočtech téměř dvakrát, což je maximální možná hodnota, o kterou se může zisk zvýšit. Použitím reflektoru však dojde i ke změně směrové charakteristiky modelovaného dipólu. Dipól bez reflektoru je vše směrový. Po použití reflektoru už dipól září pouze do jednoho poloprostoru.

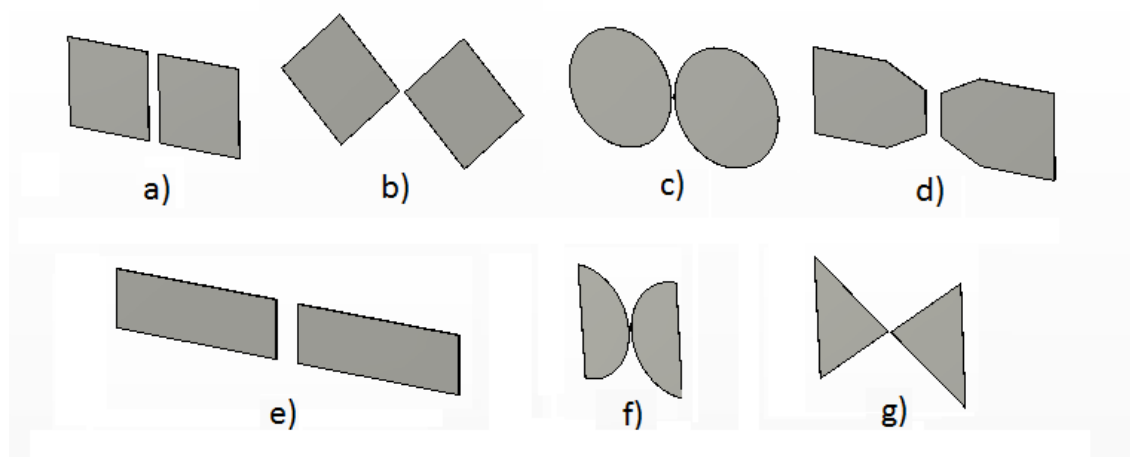
Při srovnávání různých druhů reflektorů byl kromě vlnitých reflektorů použit také reflektor rovinný. Z výsledků tohoto porovnání vyplývá, že rovinný reflektor má ve všech porovnávaných reflektoru největší zisk, to je ale vykoupeno značným zmenšením šířky pásma. U rovinného reflektoru je zisk sice téměř dvakrát větší než u samotného dipólu ale jeho šířka pásma je pouze 2,6 GHz, což je ve srovnání se samotným dipólem, který má šířku pásma větší než 6,25 GHz velmi málo.

Simulované vlnité reflektory se svými vlastnostmi, ať už ziskem nebo šířkou pásma, pohybovaly mezi vlastnostmi dipólu ve volném prostoru a dipólu s rovinným reflektorem. Šířka pásma simulovaného složeného vlnitého reflektoru se v závislosti na vzdálenosti reflektoru od antény pohybovala v rozmezí 3 GHz až 4 GHz. To je sice více než u rovinného reflektoru, ale u těchto reflektorů bylo zase dosaženo menšího zisku.

Vlnité reflektory by se daly považovat za kompromis mezi dipólem ve volném prostoru a dipólem s rovinným reflektorem. Volba vhodného reflektoru při použití motýlkového dipólu v reálných aplikacích záleží na požadavcích, které anténa musí splňovat.

2 VÝBĚR DIPÓLU

Pro kmitočtové pásmo 7,3 GHz až 8,6 GHz bylo zapotřebí vybrat a navrhnout několik dipólových antén. Pro tuto práci byly vybrány nejběžněji používané tvary dipólů, vycházejí z jednoduchých geometrických tvarů [2].



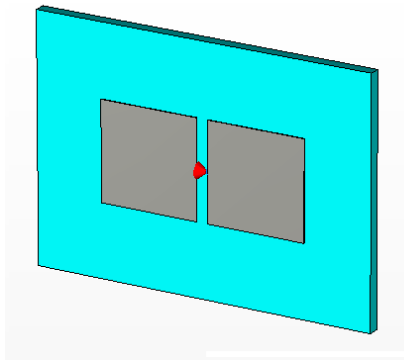
Obr. 2-1: Základní typy UWB dipólů: a) čtvercový, b) kosočtverečný, c) kruhový, d) mnohoúhelníkový, e) obdélníkový, f) půlkruhový, g) trojúhelníkový.

Při simulacích byly všechny dipóly laděny na rezonanční kmitočet 7,95 GHz, což je střed výše uvedeného pásma. U všech antén byly zvoleny rozměry podle zadaného kmitočtového rozsahu a materiálu, na kterém byly dipóly simulovány.

2.1 Simulace vybraných dipólů

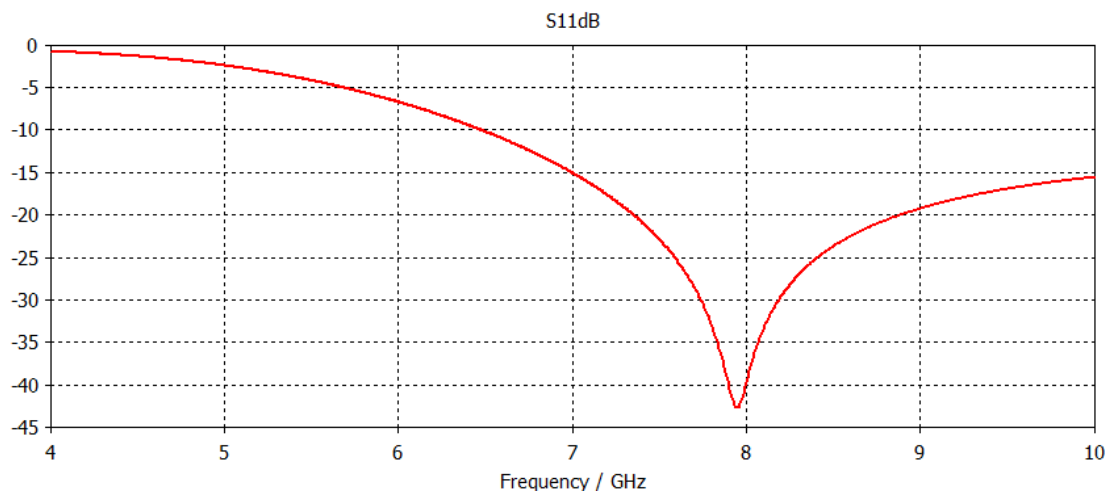
Při simulacích byl kladen důraz na to, aby šířka pásma antény pokryla celé zadané pásmo, tj. 7,3 GHz až 8,6 GHz. Dále bylo snahou navrhnout takovou anténu, aby byla její směrová charakteristika kmitočtově nezávislá, tj. aby se její směrová charakteristika výrazněji neměnila v zadaném kmitočtovém rozsahu. Substrát zvolený pro dipóly je Arlon 25N. Jeho permitivita je 3,38 a činitel útlumu je 0,0025 při 10 GHz. Pro simulace byl zvolen substrát s výškou 0,79mm (viz datasheet [3]). Všechny dipóly byly navrhovány s co nejmenšími možnými rozměry.

2.1.1 Simulace čtvercového dipólu



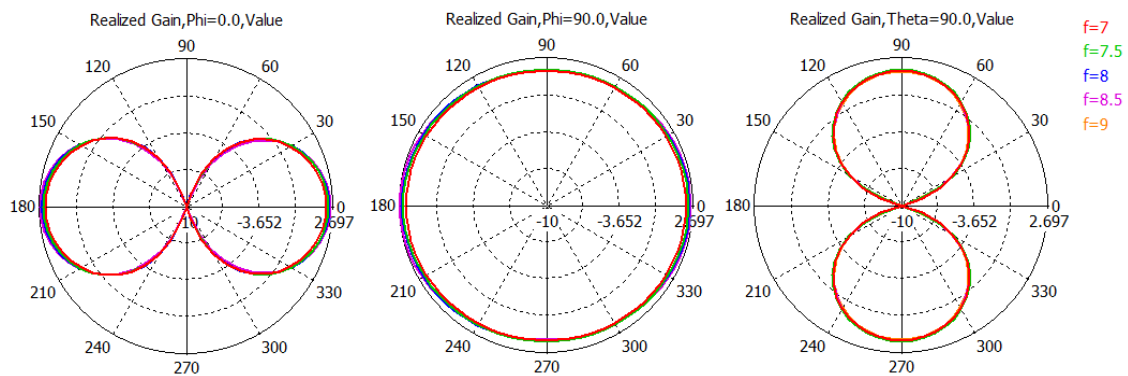
Obr. 2-2: Ukázka simulovaného čtvercového dipólu

Rozměr jednoho ramene dipólu je 6,75 x 6,75 mm, vzdálenost mezi rameny je 0,8 mm a rozměr substrátu je 16,75 x 23,5 mm.



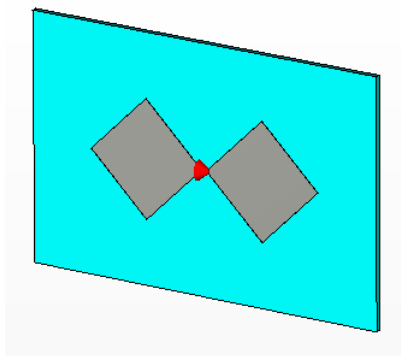
Obr. 2-3: Graf činitele odrazu S11 na čtvercové dipólové anténě.

Z obrázku 2-3 je vidět, že šířka pásma takto navržené antény je větší, než požadované pásmo 7,3 GHz až 8,6 GHz. Tudiž hlavní podmínku použitelnosti v zadaném pásmu dipól splnil. Na dalším obrázku jsou zobrazeny směrové charakteristiky pro kmitočty z pásma 7 GHz až 9 GHz. Z těchto charakteristik je vidět, že anténa má směrovou charakteristiku kmitočtově nezávislou v celém požadovaném kmitočtovém rozsahu.



Obr. 2-4: Směrové charakteristiky čtvercové dipólové antény.

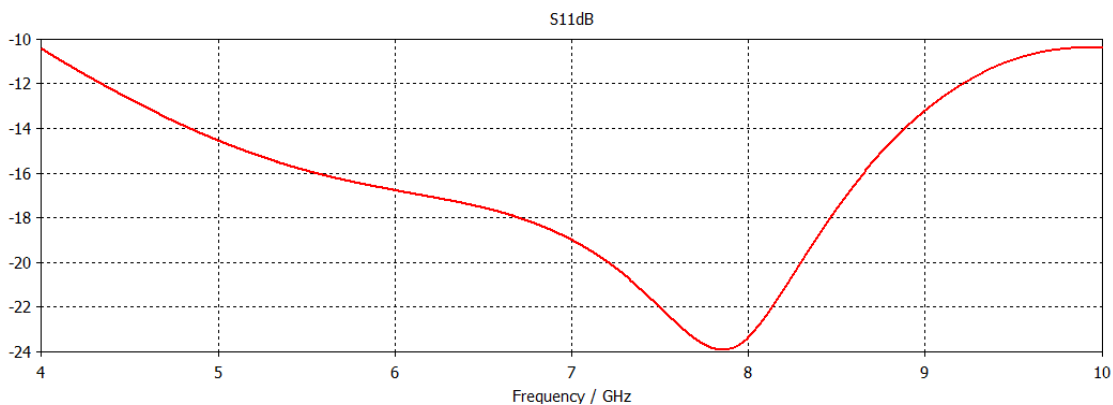
2.1.2 Simulace kosočtvercového dipólu



Obr. 2-5: Ukázka simulovaného kosočtverečného dipólů

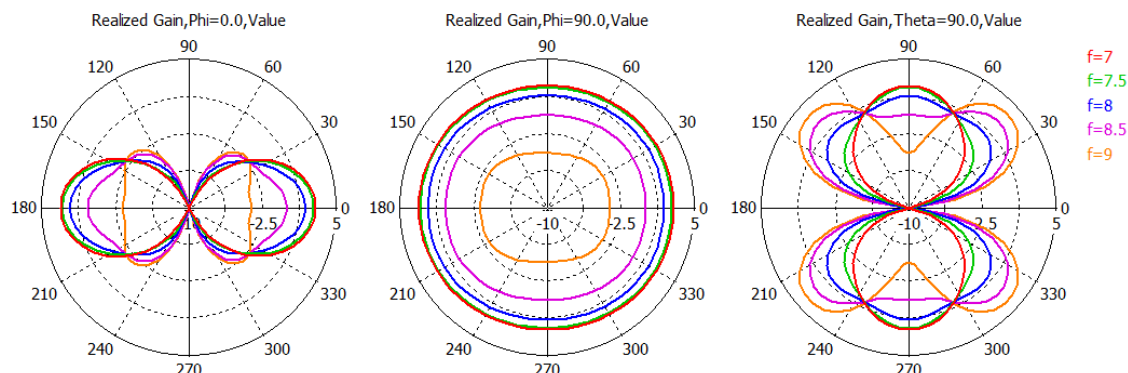
Jedno rameno dipólu má rozměry 12,94 x 12,94 mm, vzdálenost mezi rameny dipólu je opět 0,8 mm. Dipól je umístěn na substrátu o rozměrech 56,6 x 38,3 mm.

Vlastnosti takto navržené antény jsou uvedeny na následujících obrázcích. Na obrázku 2-6 je zobrazen činitel odrazu S11, ze kterého je vidět, že šířka pásma dipólu je mnohem větší než požadovaná.



Obr. 2-6: Graf činitele odrazu S11 na kosočtverečné dipólové anténě.

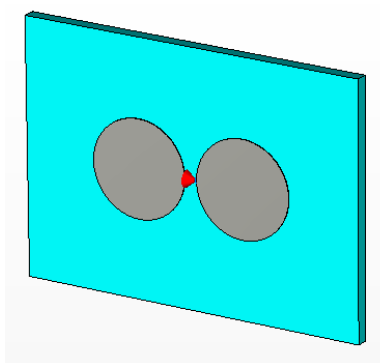
Na dalším obrázku jsou opět zobrazeny směrové charakteristiky pro různé kmitočty ze zvoleného pásma kmitočtů.



Obr. 2-7: Směrové charakteristiky kosočtverečné dipólové antény.

Ze směrových charakteristik uvedených na obrázku 2-7 je zřejmé, že anténa nebude vhodná pro aplikace, kde je zapotřebí, aby směrová charakteristika byla neměnná pro určený kmitočtový rozsah.

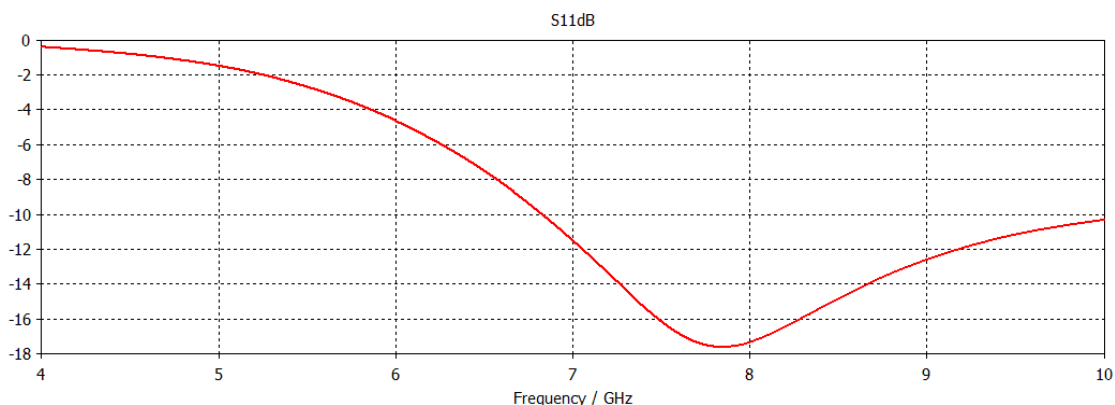
2.1.3 Simulace kruhového dipólu



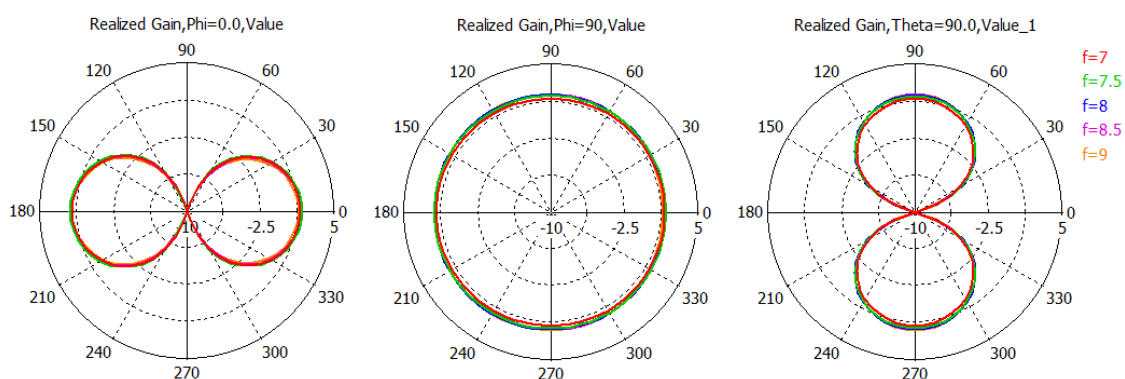
Obr. 2-8: Ukázka simulovaného kruhového dipólu

Jedno rameno dipólu má průměr 6,2 mm, vzdálenost mezi rameny je 0,8 mm a substrát má rozměr 32,4 x 26,2 mm.

Z činitele odrazu S_{11} uvedeného na obrázku 2-9 je zřejmé, že šířka pásma kruhového dipólu je větší, než je zadané kmitočtové pásmo. Směrové charakteristiky uvedené na obrázku 2-10 jsou pro různé kmitočty vybrané ze zadaného kmitočtového pásma téměř shodné. Z uvedených obrázků je tedy zřejmé, že anténa splňuje požadavky kladené pro výběr antén.

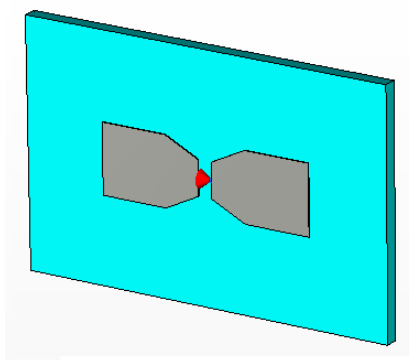


Obr. 2-9: Graf činitele odrazu S11 na kruhové dipólové anténě.



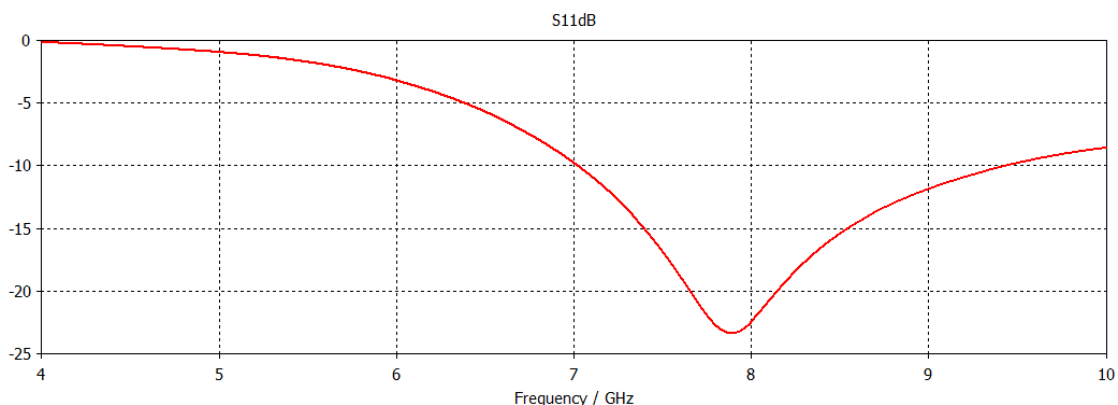
Obr. 2-10: Směrové charakteristiky kruhové dipólové antény.

2.1.4 Simulace mnohoúhelníkového dipólu

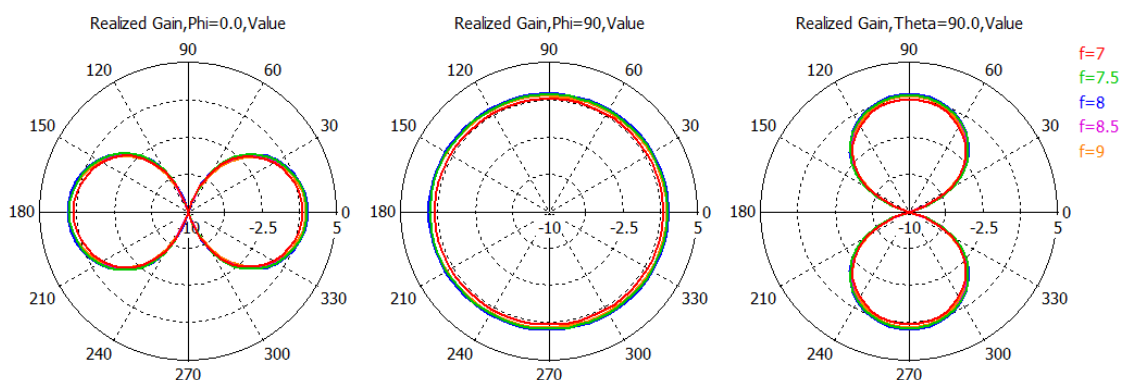


Obr. 2-11: Ukázka simulovaného mnohoúhelníkového dipólu

Délka ramene dipólu je 5,8 mm, šířka ramene je 2 mm, šířka ramene v místě napájení je 1 mm a zkosení ramene je 3,8 mm od konce ramene. Rozměr substrátu je 21,6 x 12,5 mm. Z obrázku 2-12 je vidět, že šířka pásma uvedené antény je 7 GHz až 9,4 GHz, tudíž pokrývá celé zadané pásmo. Směrové charakteristika antény jsou v pásmu 7 GHz až 9 GHz neměnná, což dokazují charakteristiky na obrázku 2-13.

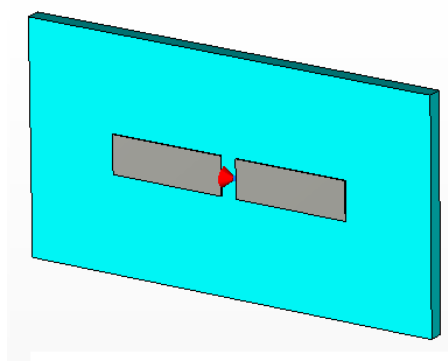


Obr. 2-12: Graf činitele odrazu S11 na mnohoúhelníkové dipólové anténě.



Obr. 2-13: Směrové charakteristiky mnohoúhelníkové dipólové antény.

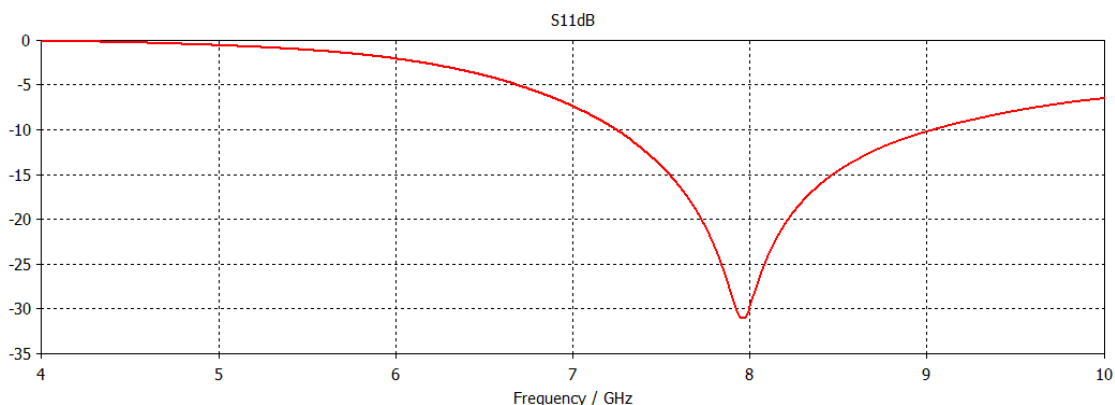
2.1.5 Simulace obdélníkového dipólu



Obr. 2-14: Ukázka simulovaného obdélníkového dipólu

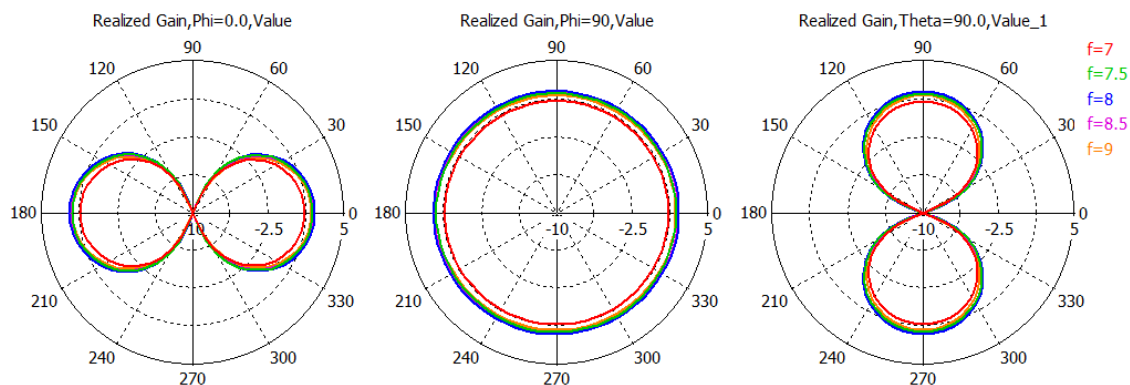
Délka ramene dipólu je 5,95 mm a jeho šířka je 2 mm. Anténa byla simulována na substrátu o rozměrech 21,9 x 15,95 mm. Vlastnosti tohoto dipólu jsou vyjádřeny charakteristikami na obrázku 2-15 a obrázku 2-16. Šířka pásma vyplývající z grafu na

obrázku 2-15, kde je zobrazen činitel útlumu S_{11} , je od 7,2 GHz do 9 GHz.



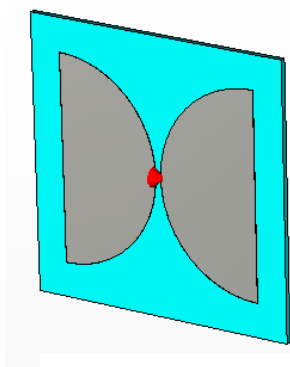
Obr. 2-15: Graf činitele odrazu S_{11} na obdélníkové dipólové anténě.

Směrové charakteristiky se u této antény opět nijak výrazně nemění, což dokládá obrázek 2-16.



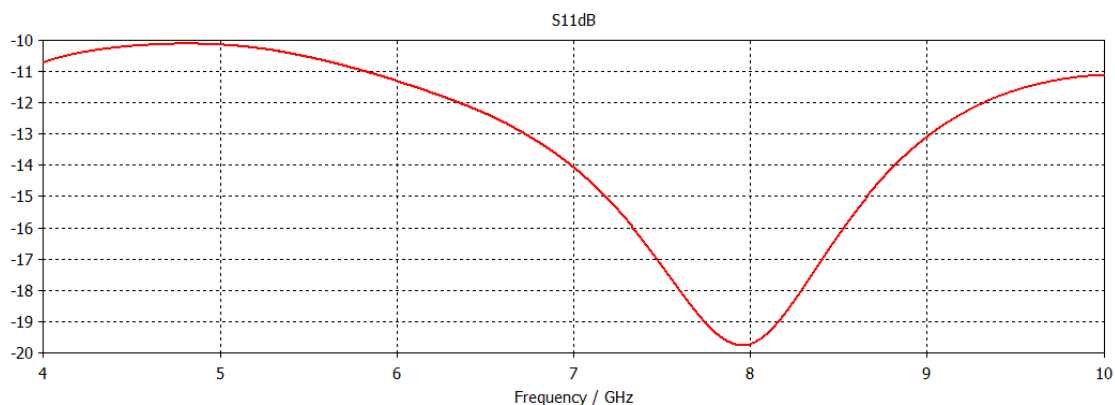
Obr. 2-16: Směrové charakteristiky obdélníkové dipólové antény.

2.1.6 Simulace půlkruhového dipólu



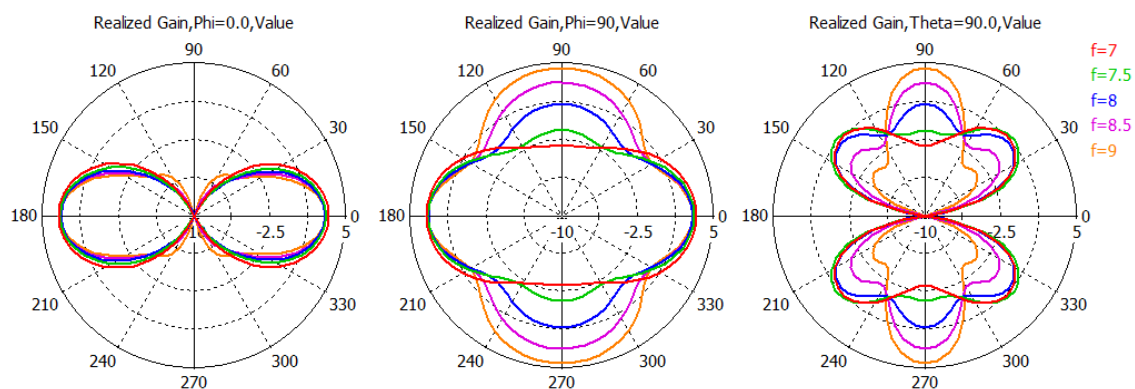
Obr. 2-17: Ukázka simulovaného půlkruhového dipólu

Rozměry: poloměr ramene je 7,6 mm, mezi rameny je vzdálenost 0,8 mm a celkový rozměr substrátu je 25,2 x 25,2 mm.



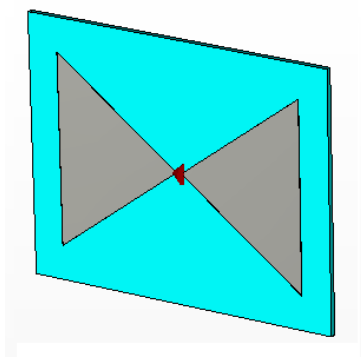
Obr. 2-18: Graf činitele odrazu S11 na půlkruhové dipólové anténě.

Šířka pásma takto navrženého dipólu značně velká. Z obrázku 2-18 vyplývá, že šířka pásma je přibližně od 5 GHz až do maxima, na kterém byla simulace prováděna, tudíž do 10 GHz. Bohužel tato výhoda velké šířky pásma se odráží na směrové charakteristice, která se značně mění s kmitočtem, viz obr. 2-19.



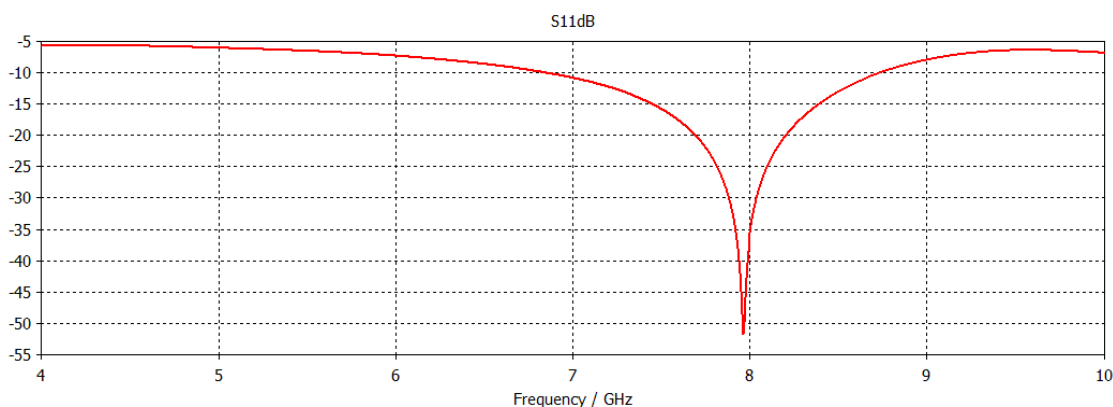
Obr. 2-19: Směrové charakteristiky půlkruhové dipólové antény.

2.1.7 Simulace trojúhelníkového dipólu



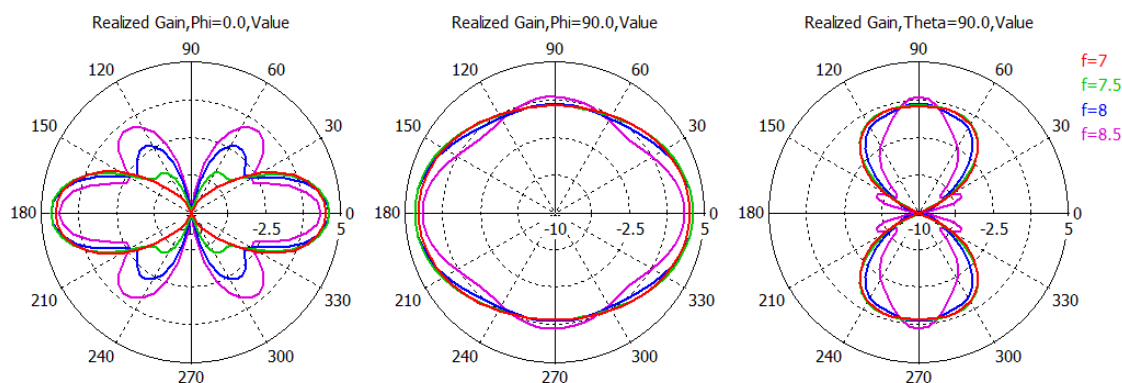
Obr. 2-20: Ukázka simulovaného trojúhelníkového dipólů

Délka hrany dipólu od místa napájení je 23,6 mm, šířka dipólu v nejširším místě je 28 mm. Dipól je simulován na substrátu o rozměrech 48 x 38 mm. Mezi rameny dipólu je vzdálenost 0,8 mm.



Obr. 2-21: Graf činitele odrazu S11 na trojúhelníkové dipólové anténě.

Šířka pásma této antény je výrazně menší než u předchozího modelu. Šířka pásma je tedy "pouze" 7 GHz až 8,7 GHz. Přesto, že má tato anténa značně odlišnou šířku pásma, tak její směrová charakteristika se také v požadovaném kmitočtovém pásmu mění, což je znázorněno na obrázku 2-22.



Obr. 2-22: Směrové charakteristiky trojúhelníkové dipólové antény.

2.2 Shrnutí kapitoly

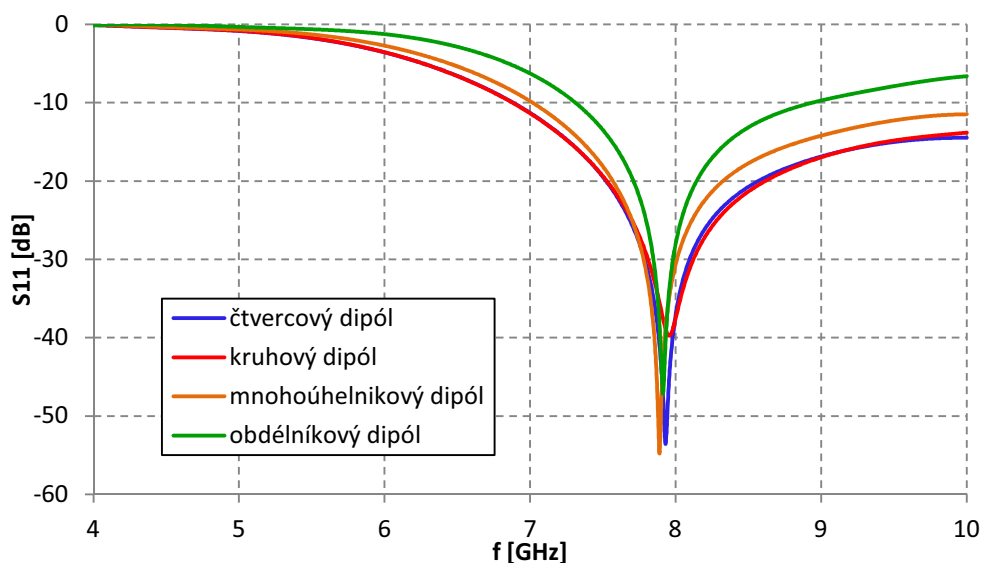
Všechny simulované antény byly navrženy tak, aby splňovaly požadavek širokopásmovosti a aby pokryly zvolené kmitočtové pásmo 7,3 GHz až 8,6 GHz. Toho bylo také u všech antén, s větší menší rezervou, dosaženo. Dalším kritériem bylo, aby směrová charakteristika v celém zadaném kmitočtovém rozsahu byla stálá. Toto kritérium už však nebylo možné u všech antén splnit. Při srovnání rozměru antén je zřejmé, že u antén s většími rozměry jsou vyzařovací charakteristiky více závislé na kmitočtu. Proto pro další simulace budou využity pouze ty antény, které splnily oba požadavky, tj. dále se bude simulovat již jen čtvercový, kruhový, mnohoúhelníkový a obdélníkový dipól.

3 REFLEKTORY S VYBRANÝMI ANTÉNAMI

V této kapitole budou simulovány vlastnosti různých typů reflektorů s dipólovými anténami. Z předchozí kapitoly byly vybrány pouze čtyři dipólové antény, které splnily kladené požadavky. Jedná se o čtvercový dipól, kruhový dipól, obdélníkový dipól, a mnohoúhelníkový dipól. Při simulacích antén s reflektory bylo provedeno několik simulací s různými parametry, a následně byly vybrány pouze ty simulace, při kterých bylo dosaženo nejlepších výsledků.

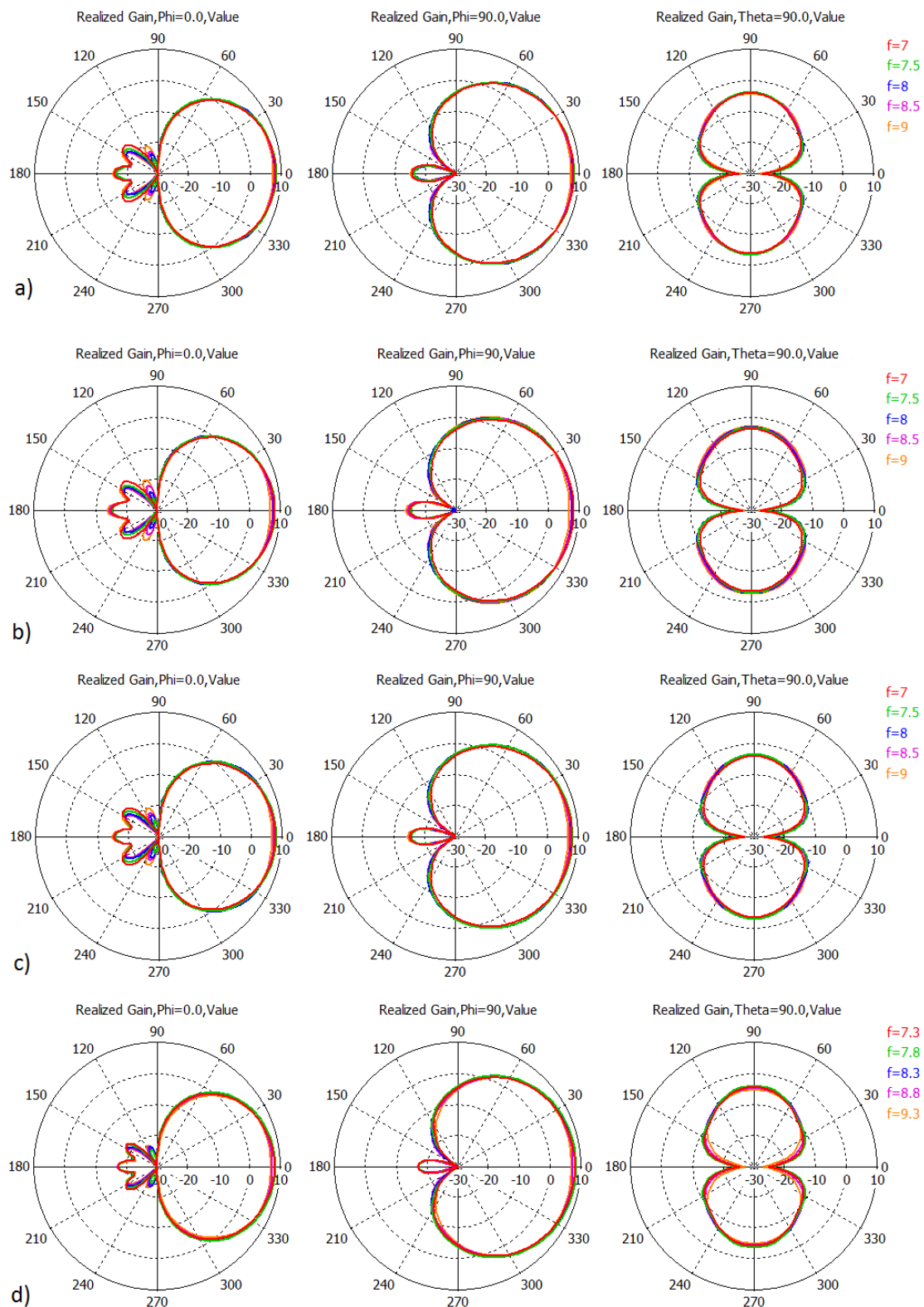
3.1 Antény s rovinným reflektorem

Všechny výše vybrané antény byly umístěny nad rovinný reflektor do vzdálenosti 9 mm, při které bylo dosaženo nejlepšího činitele odrazu. Reflektor měl rozměry 66 x 54 mm. Proto, aby bylo možné dosáhnout výsledků zobrazených na obrázku 3-1 musely být mírně optimalizovány rozměry antén. Rozměry antén byly mírně zmenšeny, aby byl udržen rezonanční kmitočet přibližně na hodnotě 7,95 GHz.



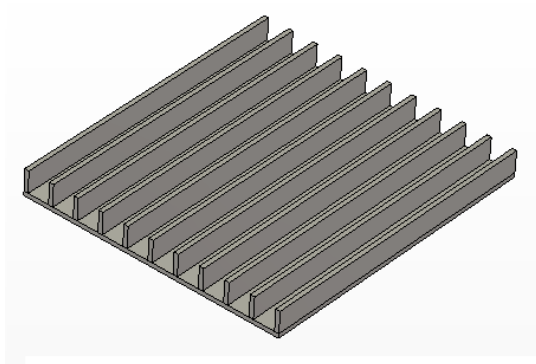
Obr. 3-1: Graf činitelů odrazu S11 simulovaných antén s rovinným reflektorem.

Z obrázku 3-1 je vidět, že nejmenší šířku pásma má obdélníkový dipól, který jen s velmi malou rezervou pokrývá pásmo 7,3 GHz až 8,6 GHz. Ostatní antény s přehledem pokrývají pásmo 7 GHz až 9 GHz. Na obrázku 3-2 jsou uvedeny směrové charakteristiky všech dipólů s rovinným reflektorem. Z obrázku je vidět, že rovinný reflektor nemá vliv na frekvenční závislost směrových charakteristik. Jediným vlivem rovinného reflektoru je, že usměrní vyzařování antény do jednoho poloprostoru a tím zvýší zisk antény. Charakteristiky všech antén jsou si tvarem velmi podobné, drobné rozdíly jsou pouze v ziscích antén.



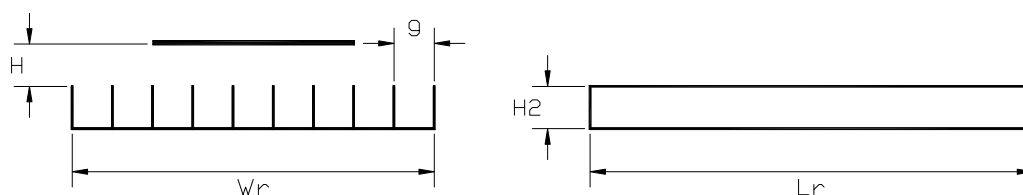
Obr. 3-2: Směrové charakteristiky dipólů s rovinným reflektorem: a) čtvercového dipólu, b) kruhového dipólu, c) mnohoúhelníkového dipólu, d) obdélníkového dipólu.

3.2 Antény s vlnitým reflektorem typu H

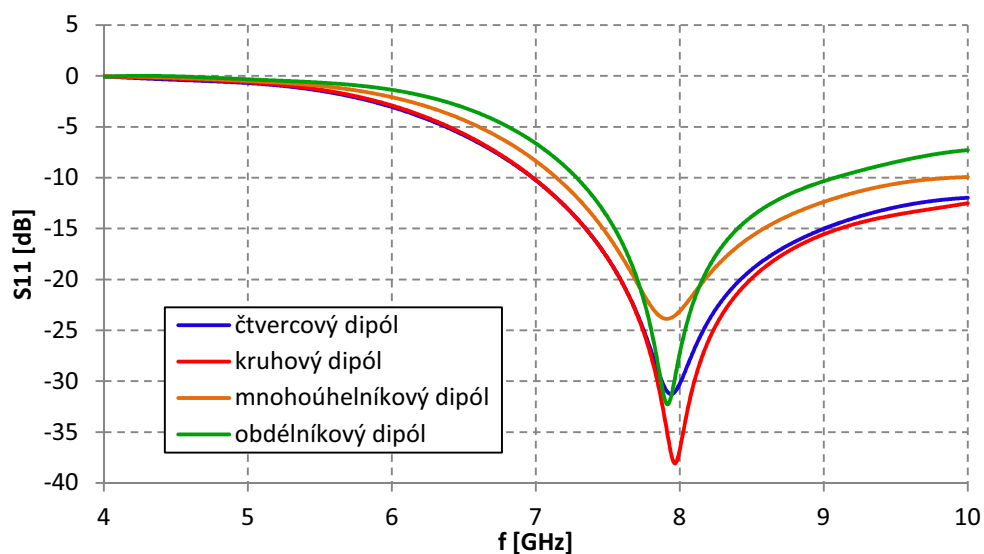


Obr. 3-3: Ukázka simulovaného reflektoru typu H.

Ze všech provedených simulací byl vybrán reflektor s parametry: $W_r = 54$ mm, $L_r = 66$ mm, $H_2 = 6$ mm, $H = 8$ mm. Parametr g je zde přepočítán z celkové šířky reflektoru podle počtu žebër na reflektoru. Zvolený počet žebër je 10 a z toho vyplývá, že parametr g má hodnotu 5,4 mm.

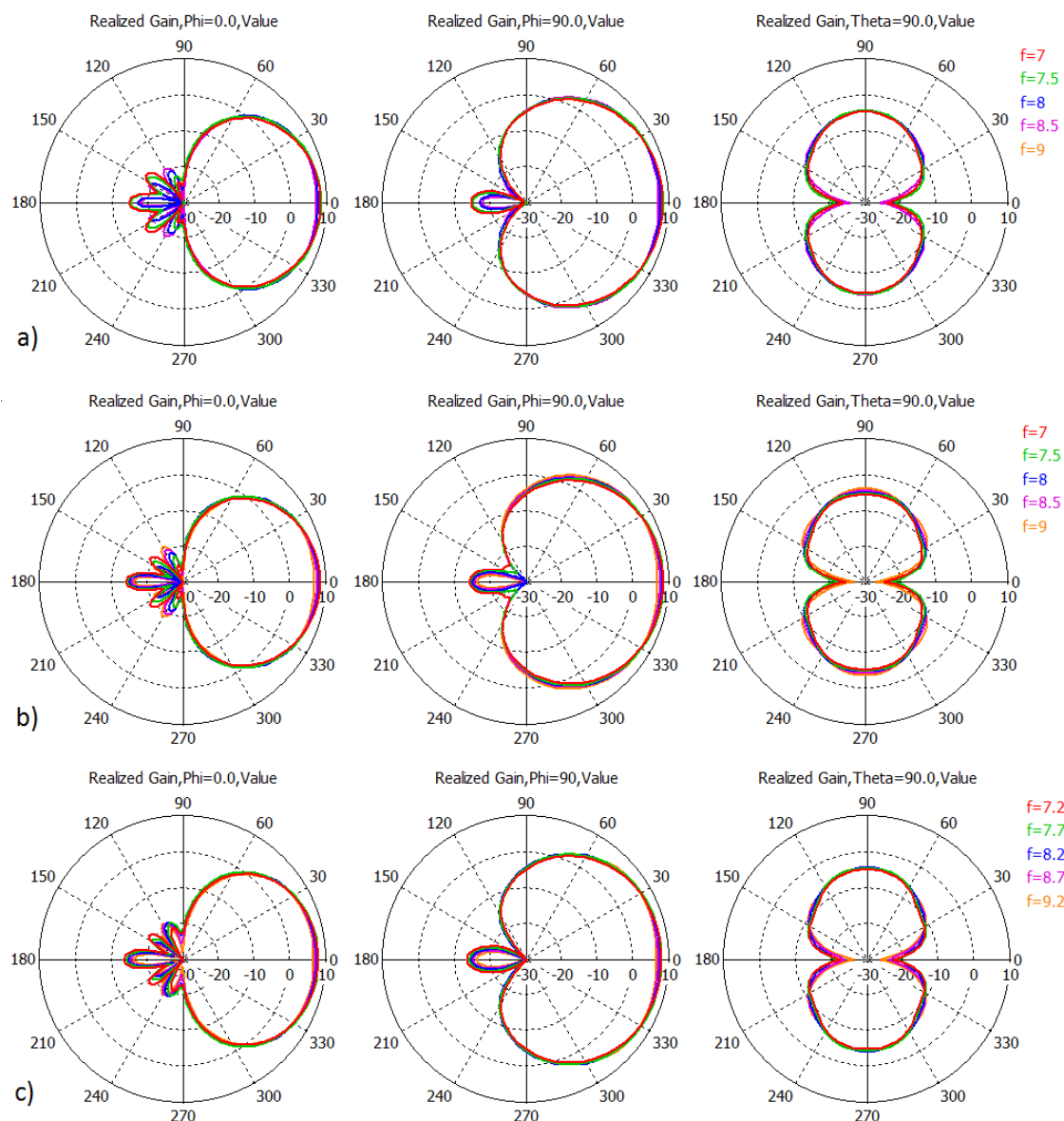


Obr. 3-4: Popis rozměrů reflektoru.



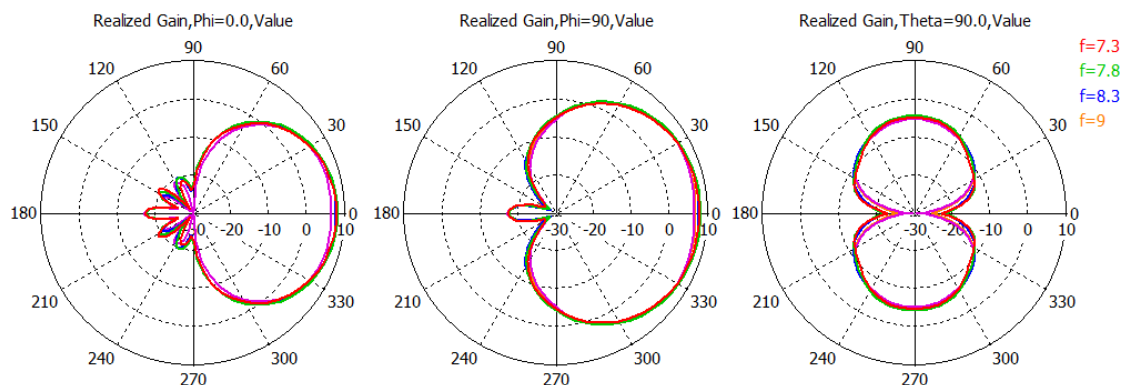
Obr. 3-5: Graf činitelů odrazu S_{11} simulovaných antén s reflektorem typu H.

Z grafu na obr. 3-5 jsou vidět rozdíly v průbězích činitelů odrazu jednotlivých dipólů umístěných nad vlnitý reflektor typu H. U tohoto typu reflektoru bylo dosaženo největší šířky pásma s kruhovým dipólem. Šířka pásma kruhového dipólu je 7 GHz až maximální simulovaný rozsah. Z toho vyplývá, že šířka pásma je o něco větší než 7 GHz až 10 GHz. Nejhůře je na tom s šířkou pásma opět obdélníkový dipól. Ten opět jen těsně pokrývá kmitočtové pásmo 7,3 GHz až 8,6 GHz.



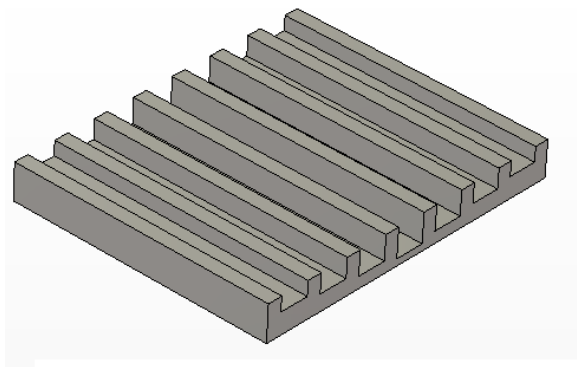
Obr. 3-6: Směrové charakteristiky dipólů s reflektorem typu H: a) čtvercového dipólu, b) kruhového dipólu, c) mnohoúhelníkového dipólu.

Na obrázcích 3-6 a 3-7 jsou zobrazeny směrové charakteristiky všech čtyř dipólů. Přestože dipóly mají různé tvary a rozměry, jsou vyzářovací charakteristiky všech dipólů tvarově shodné. Při srovnání vyzářovacích charakteristik nad rovinným reflektorem a nad reflektorem typu H nejsou znát žádné tvarové rozdíly hlavního laloku.



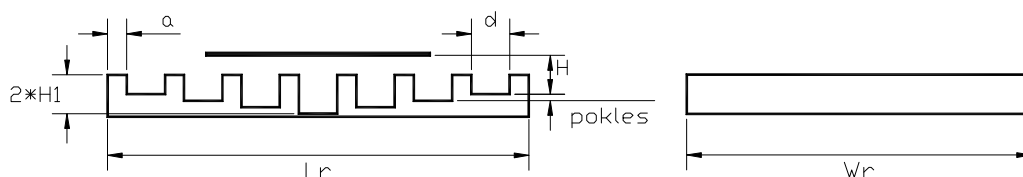
Obr. 3-7: Směrové charakteristiky obdélníkového dipólu s reflektorem typu H.

3.3 Antény s vlnitým reflektorem typu E



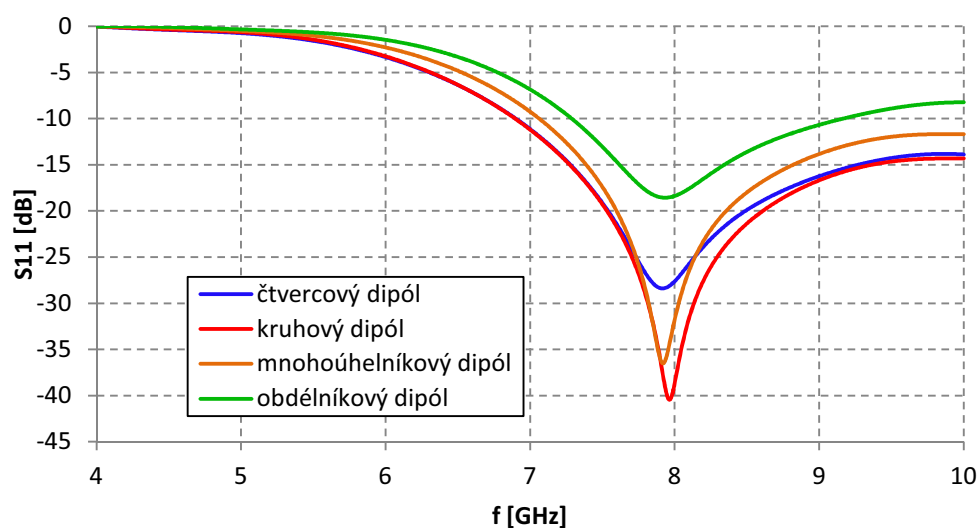
Obr. 3-8: Ukázka simulovaného reflektoru typu E.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo s reflektorem s parametry $L_r = 46,2$ mm, $W_r = 38$ mm, $a = 2,1$ mm, $d = 4,2$ mm, $H_1 = 2,1$ mm, $H = 6$ mm, $pokles = 0,7$ mm.

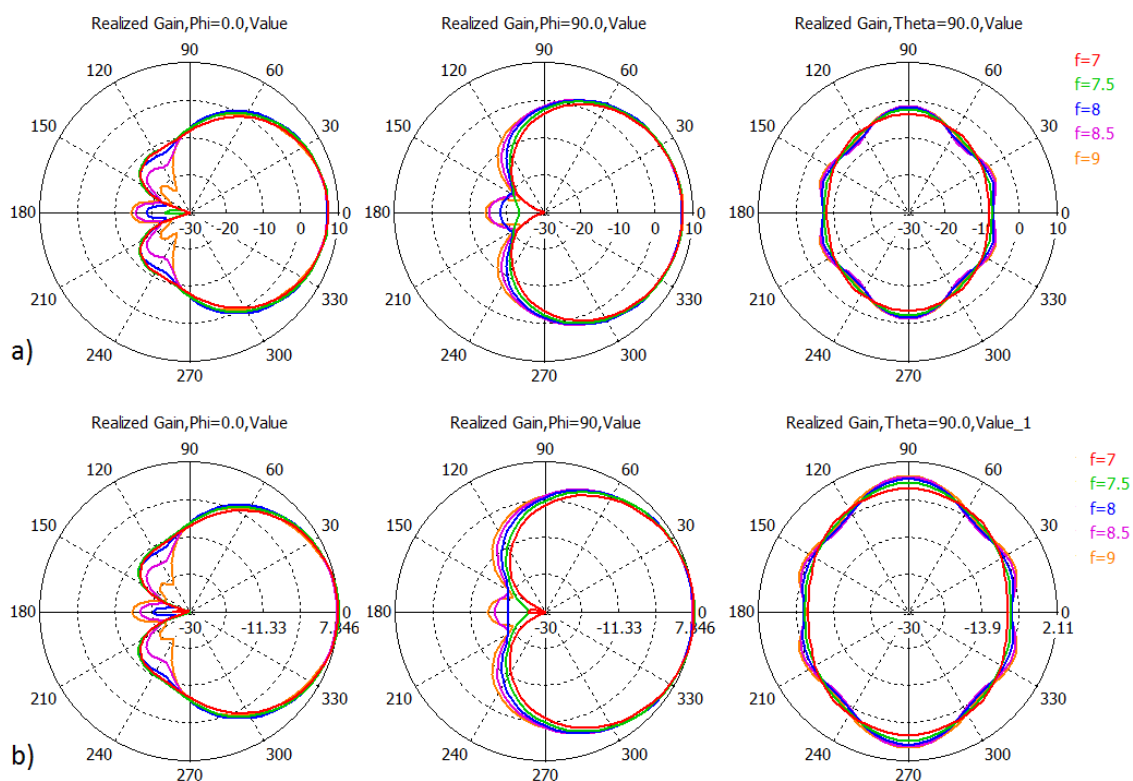


Obr. 3-9: Popis rozměrů reflektoru.

Vlastnosti dipólu umístěné nad reflektorem tohoto typu popisuje obrázek 3-10. Na tomto obrázku je zobrazen činitel odrazu S_{11} všech čtyř dipólů. Při srovnání průběhu S_{11} jednotlivých dipólů je vidět, že nejlépe dopadl opět kruhový dipól a nejhůře je na tom stejně jako v předchozích případech dipól obdélníkový. Šířky pásem jednotlivých antén jsou stejné jako v předchozí kapitole.

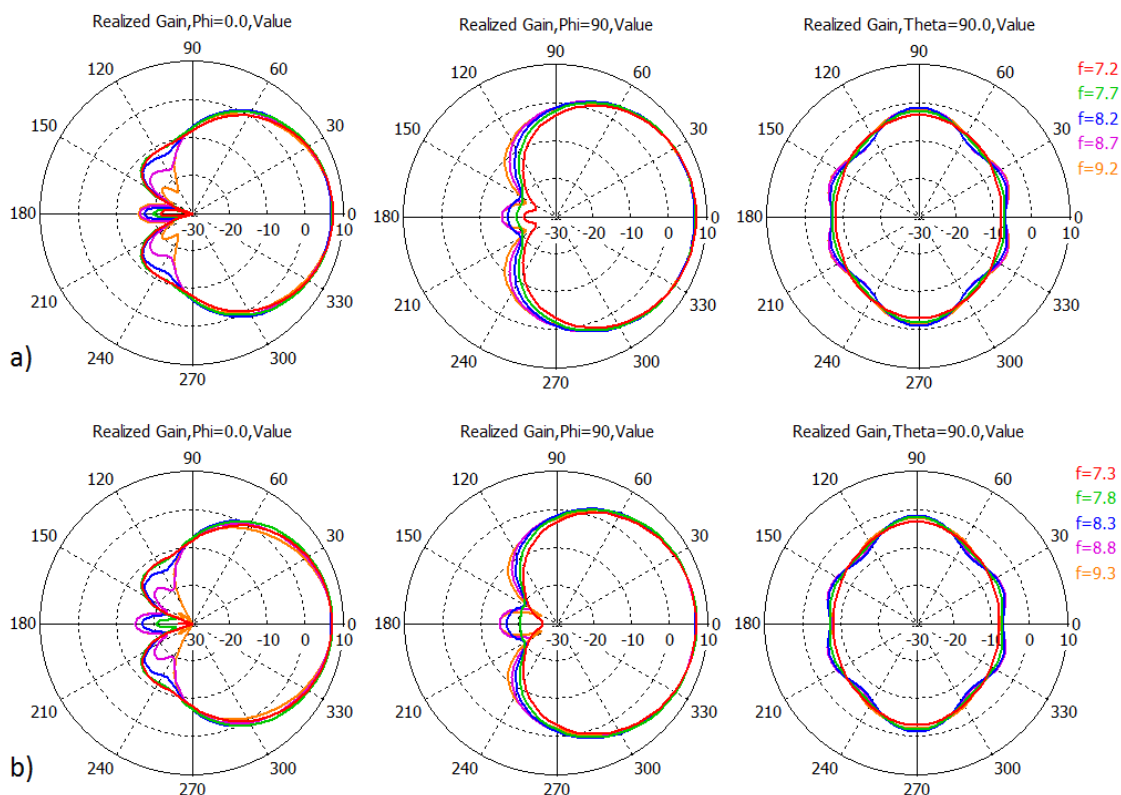


Obr. 3-10: Graf činitelů odrazu S_{11} simulovaných antén s reflektorem typu E.



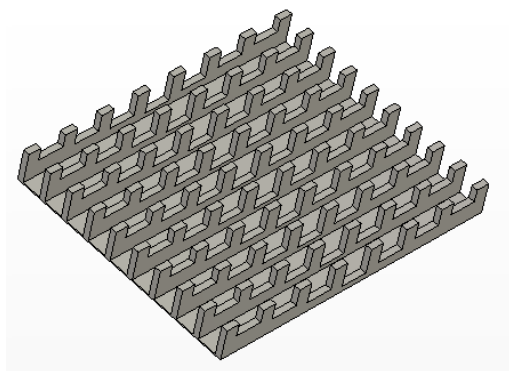
Obr. 3-11: Směrové charakteristiky dipólů s reflektorem typu E: a) čtvercového dipólu, b) kruhového dipólu.

Na obrázcích 3-11 a 3-12 jsou zobrazeny směrové charakteristiky všech čtyř dipólů umístěných nad vlnitým reflektorem typu E. Při použití tohoto reflektoru, se u všech dipólů projevuje menší závislost vyzařovacích charakteristik na kmitočtu. Tato závislost se naštěstí neprojevuje v hlavním vyzařovacím laloku, a tudíž funkci antény nijak výrazně neovlivňuje.



Obr. 3-12: Směrové charakteristiky dipólů s reflektorem typu E: a) mnohoúhelníkového dipólu, b) obdélníkového dipólu.

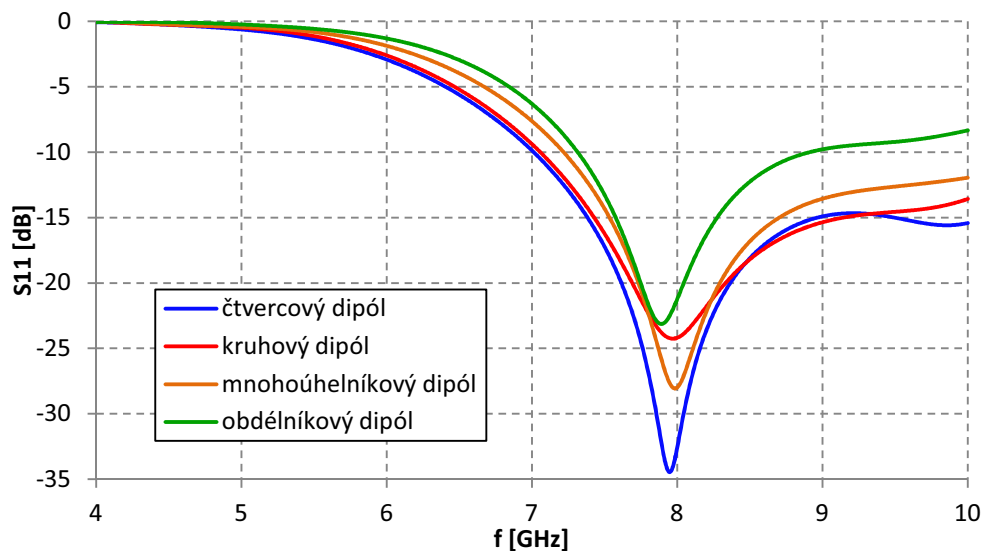
3.4 Antény se složeným reflektorem



Obr. 3-13: Ukázka simulovaného složeného reflektoru.

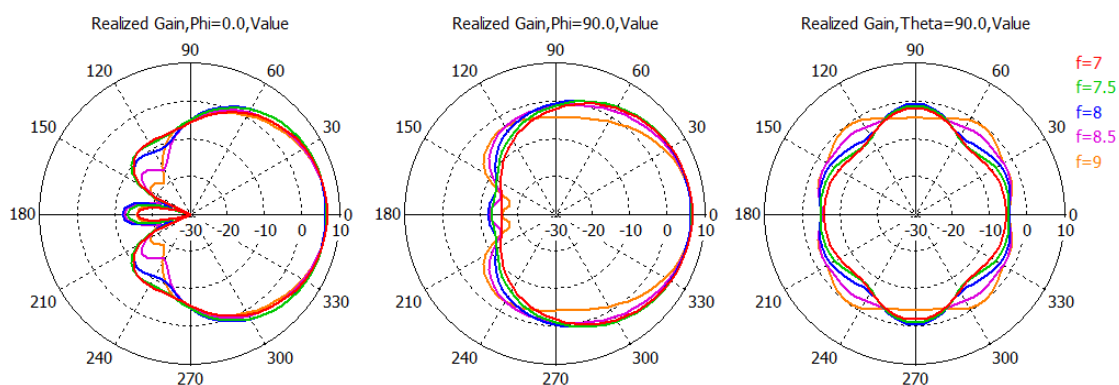
Tento reflektor je kombinací dvou předchozích typů. Proto i jeho rozměry jsou stejné jako u přecházejících typů. Jen plošné rozměry reflektoru typu H jsme museli přizpůsobit druhému reflektoru a museli jsme je zmenšit. Také vzdálenost, ve které byl dipól umístěn od reflektoru, se zmenšila. U tohoto typu reflektoru byl nejlépe vyhovující parametr $H = 6 \text{ mm}$. Jako první byla u tohoto reflektoru provedena simulace pro

ověření šířky pásma všech čtyř dipólů. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 3-14. Nejlepší průběh S_{11} měl v tomto případě čtvercový dipól. Nejhůře a tedy s nejmenší šířkou pásma na tom byl opět obdélníkový dipól.

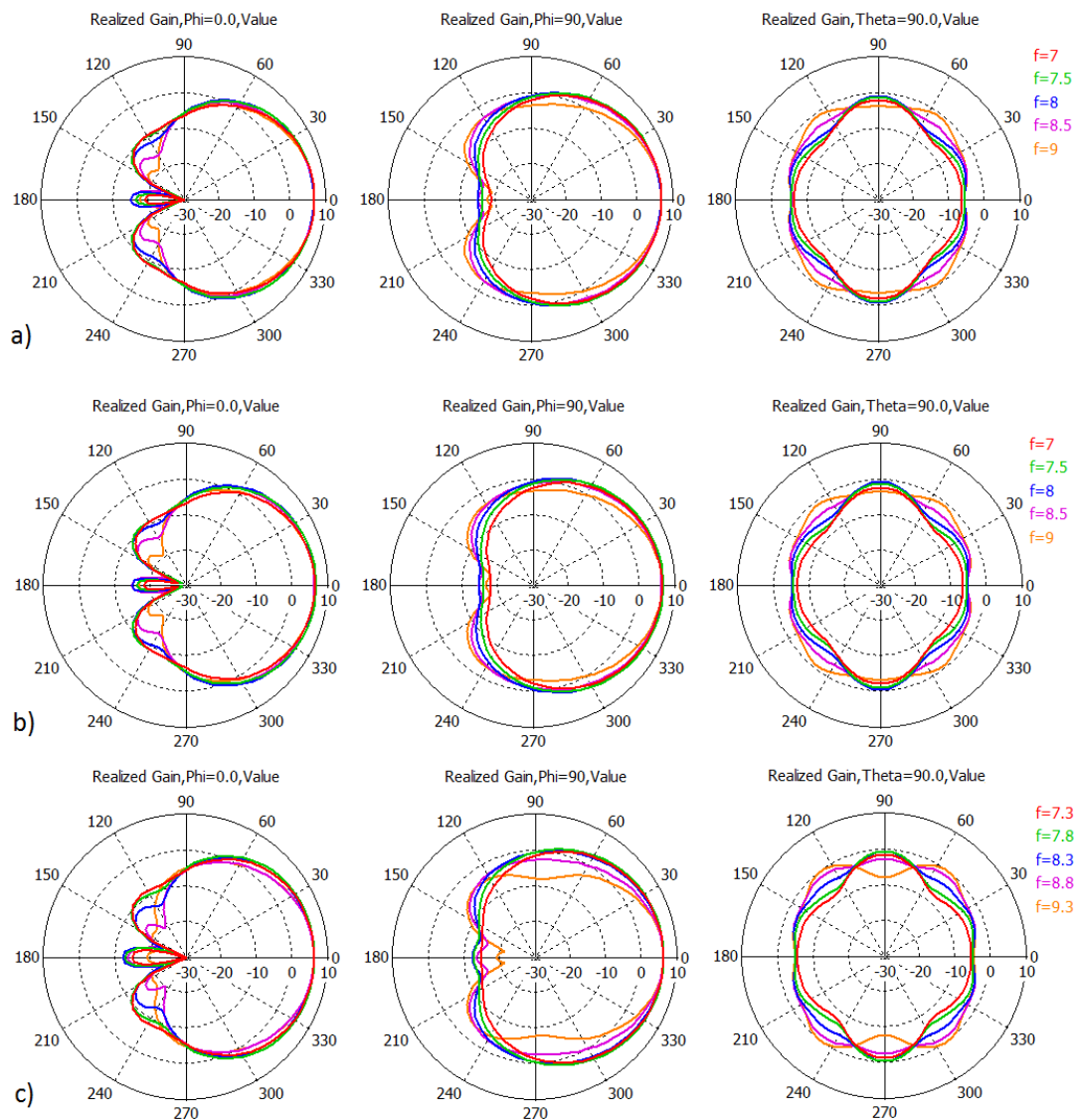


Obr. 3-14: : Graf činitelů odrazu S_{11} simulovaných antén se složeným reflektorem.

Ze směrových charakteristik dipólů umístěných nad složeným reflektorem je zřejmá kmitočtová závislost těchto charakteristik. Největší změny charakteristik s měnícím se kmitočtem se projevují mimo hlavní vyzařovací lalok, což nám neovlivňuje nijak výrazně vlastnosti antén. Při vyšších kmitočtech se však začnou projevovat změny i v hlavním laloku, a to jeho zúžením.



Obr. 3-15: Směrové charakteristiky čtvercového dipólu se složeným reflektorem.



Obr. 3-16: Směrové charakteristiky dipólů se složeným reflektorem: a) kruhovým dipólem, b) mnohoúhelníkového dipólu, c) obdélníkového dipólu.

Z obrázku 3-15 a 3-16 je vidět výše popsána kmitočtová závislost směrových charakteristik. Nejvíce se kmitočtová závislost projevila u obdélníkového dipólu, což může být způsobeno tím, že simulace pro směrové charakteristiky byly prováděny na kmitočtech o něco větších než ostatní simulace. To bylo provedeno proto, že šířka pásma obdélníkového dipólu nám nedovolila provést simulace na stejných kmitočtech jako ostatní antény.

3.5 Shrnutí kapitoly

V této kapitole byl prozkoumán vliv reflektorů na parametry dipólové antény. Pro simulace byly využity antény navržené v předchozí kapitole, které splnily zadané požadavky.

Ze simulací je zřejmé, že použitím reflektoru se dosáhne u antény většího zisku. Dále bylo použitím různých druhů reflektoru dosaženo zmenšení rozměrů antén. Při použití rovinného reflektoru musí být reflektor umístěn do vzdálenosti přibližně $\lambda/4$ pro dosažení nejlepších výsledků. Při použití vlnitých reflektoru se tato vzdálenost zmenšila. V našem případě pro kmitočet 7,95 GHz je $\lambda/4$ rovna 9,43 mm. U rovinného reflektoru bylo dosaženo nejlepších výsledků ve vzdálenosti o něco menší a to ve vzdálenosti 9 mm. U vlnitého reflektoru typu H byla vzdálenost 8 mm, u reflektoru typu E se tato vzdálenost zmenšila až na 6 mm. Podle průběhů činitele odrazu S11 všech simulací dopadly vždy nejlépe čtvercový a kruhový dipól. U těchto dvou antén bylo dosaženo největší šířky pásma, která je stanovená pro pokles velikosti činitele odrazu pod hodnotu -10 dB.

Simulace závislosti směrových charakteristik na kmitočtu dopadly u všech antén téměř shodně.

Proto bude pro další simulace vybrán vždy buď čtvercový, nebo kruhový dipól.

4 SIMULACE PŘENOSU MEZI DVĚMA ANTÉNAMI

V této kapitole budou provedeny simulace, které nám umožní posoudit kvalitu antény co do zkreslení signálů a kvality přenosu mezi anténami.

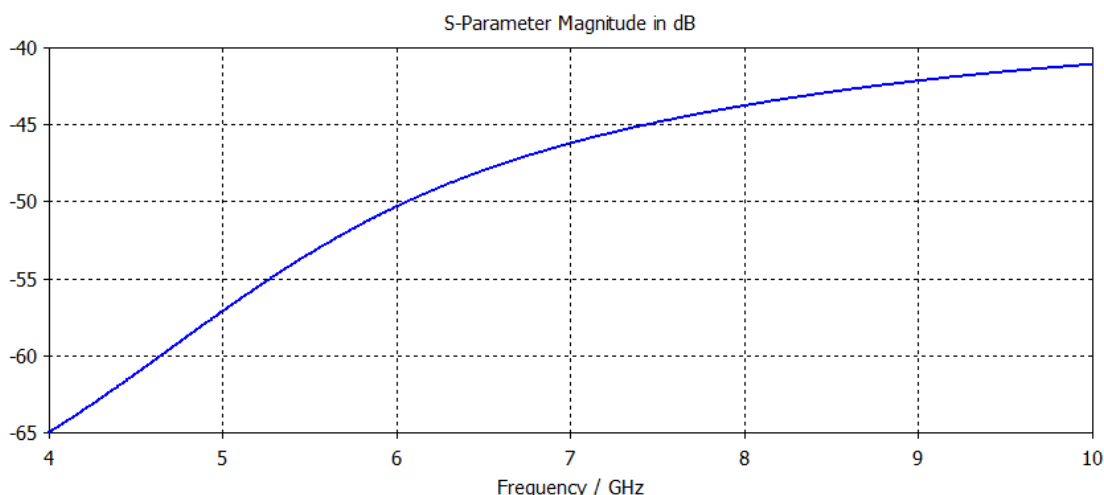


Obr. 4-1: Ukázka simulace dvou antén.

Antény byly při simulaci umístěny do vzájemné vzdálenosti 500 mm a byly z důvodu směrovosti při použití reflektorů natočeny proti sobě. Všechny ostatní parametry antén zůstaly stejné jako v předchozích simulacích. Pro posouzení kvality antény nám poslouží grafy uvedené v následujících kapitolách.

4.1 Simulace antén bez reflektoru

Pro tuto simulaci byla vybrána anténa tvořena čtvercovým dipólem.

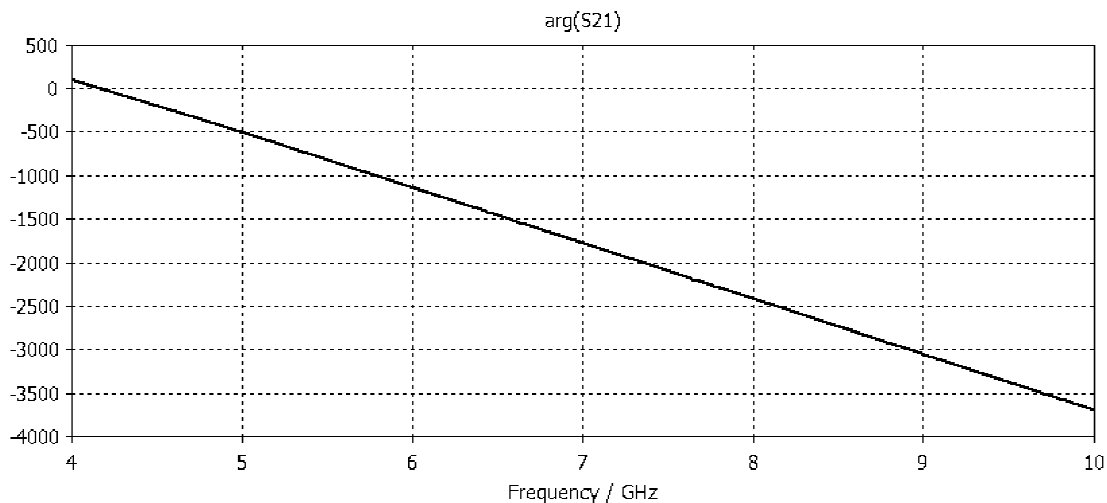


Obr. 4-2: Přenos S12 u antén bez reflektoru.

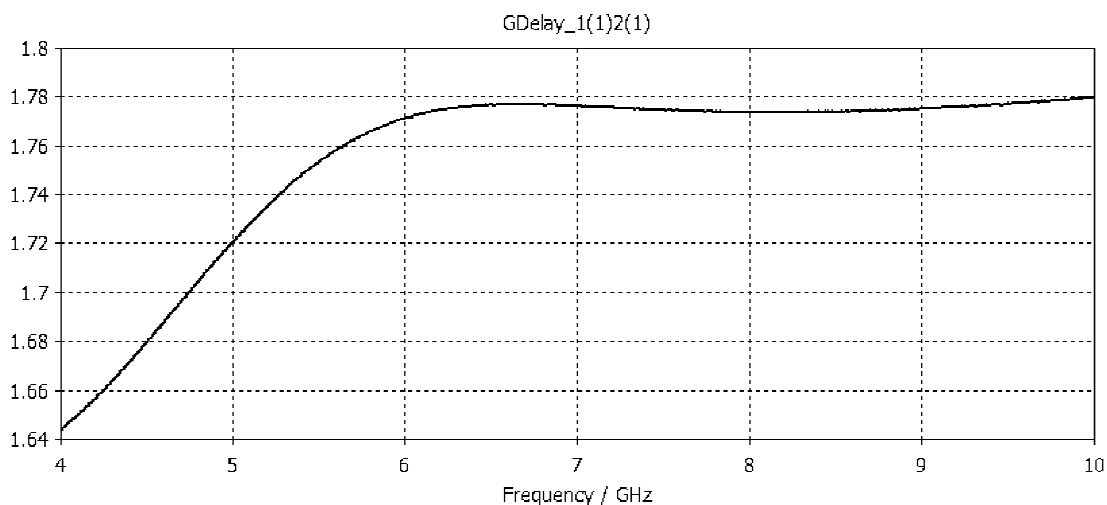
U ideální antény by měl být parametr S12 tvořen vodorovnou křivkou. V našem případě se mění v požadovaném kmitočtovém pásmu 7 až 9 GHz z hodnoty -46 dB na

hodnotu -42 dB. Taková změna je ještě přípustná.

Dalším parametrem, který nám může pomoci určit kvalitu antény je argument parametru S21. Průběh tohoto grafu by měl být co nejlineárnější. Jak je vidět z obrázku 4-3 to simulované antény splňují.



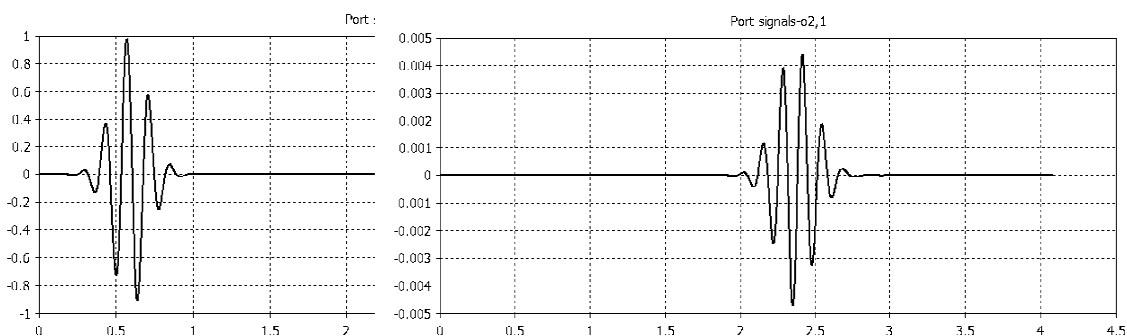
Obr. 4-3: Argument přenosu S21 u antén bez reflektoru.



Obr. 4-4: Graf skupinového zpoždění u antén bez reflektoru.

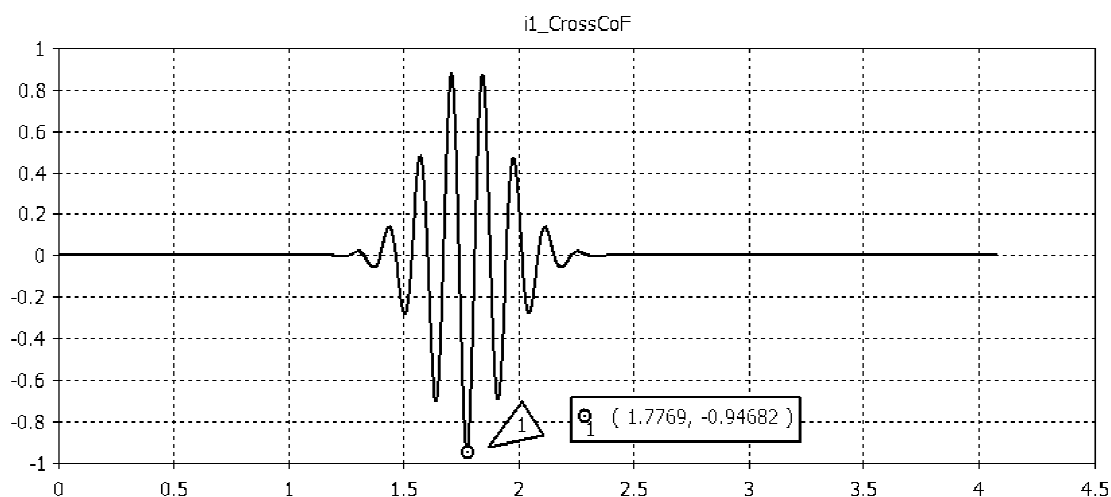
Na obrázku 4-4 je zobrazeno skupinové zpoždění; to nám určuje zpoždění, během kterého dorazí signál od jedné antény ke druhé. V zadaném kmitočtovém rozsahu je skupinové zpoždění téměř stálé, což je vhodné.

Nejdůležitějším parametrem pro posouzení kvality antény je zkreslení signálů. K tomu nám poslouží korelace vyslaného a přijatého signálu.



Obr. 4-5: Obrázek vyslaného (vlevo) a přijatého (vpravo) impulsu.

Výsledkem korelace těchto dvou signálů získáme graf, pomocí kterého můžeme určit podobnost těchto pulsů. Korelace pulsů z obrázku 4-5 je zobrazena na obrázku 4-6.



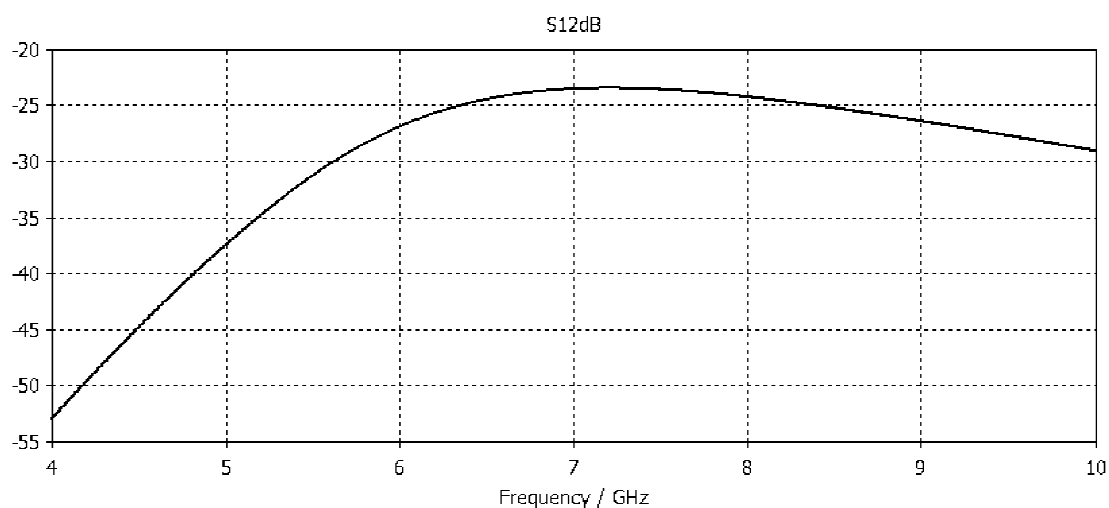
Obr. 4-6: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.

Z grafu na obrázku 4-6 můžeme číselně určit podobnost obou pulsů. V tomto případě je podobnost 0,94. Podobnost se určuje podle maximální hodnoty korelace.

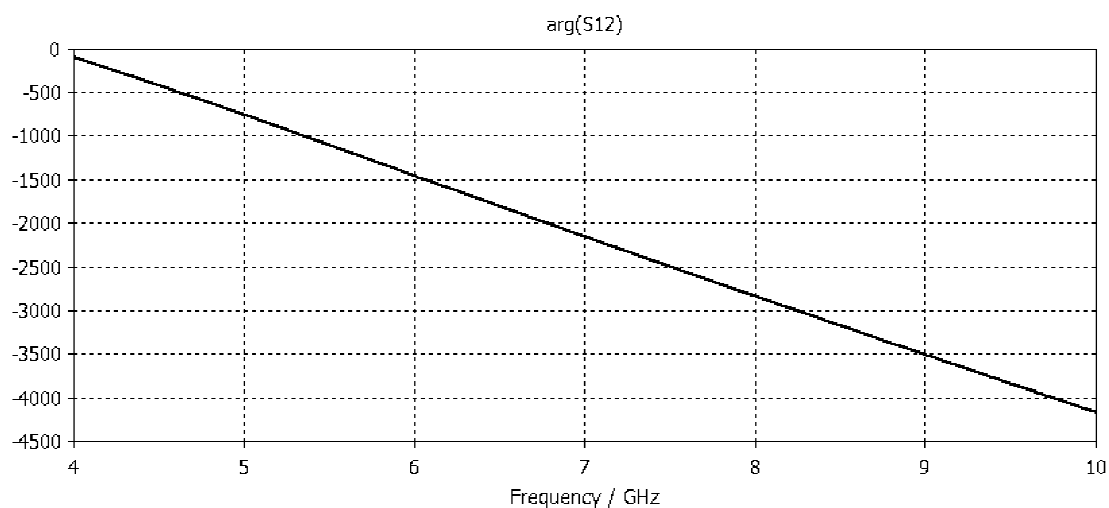
4.2 Simulace antén s rovinným reflektorem

Při těchto simulacích bylo opět dosaženo nejlepších výsledků s anténou tvořenou čtvercovým dipólem.

Na obrázku 4-7 je zobrazen přenos S12 mezi anténami. Pro posouzení kvality přenosu mezi dvěma anténami platí pořád stejná kritéria jako v minulé kapitole, tj. změna přenosu S12 by neměla překročit 5 dB. Při této simulaci se přenos změnil z -23 dB na -26 dB.

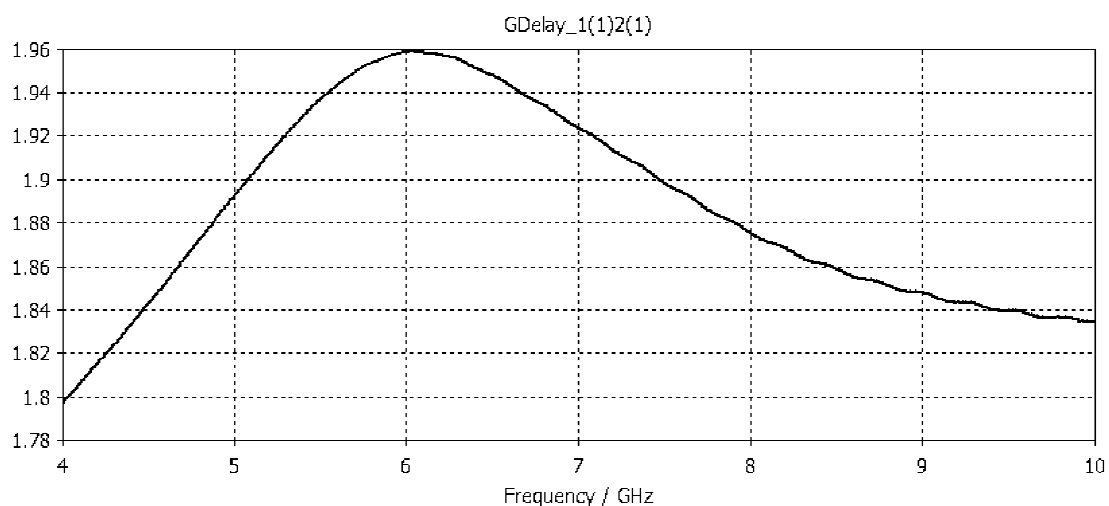


Obr. 4-7: Přenos mezi anténami s rovinným reflektorem.

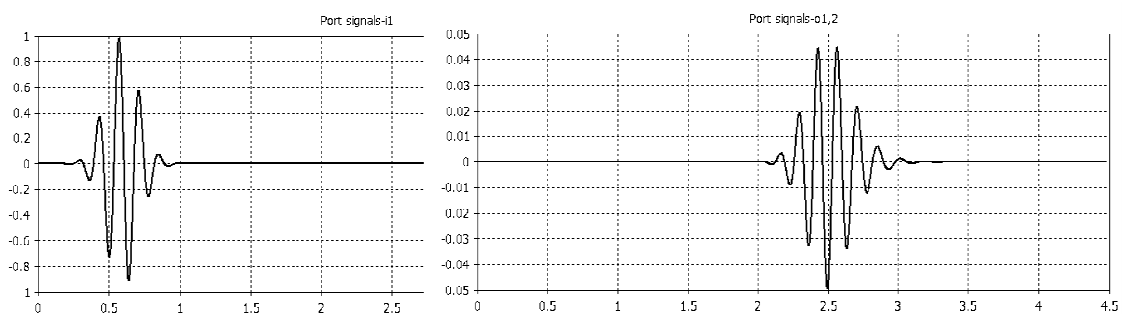


Obr. 4-8: Argument přenosu S12 u antén s rovinným reflektorem.

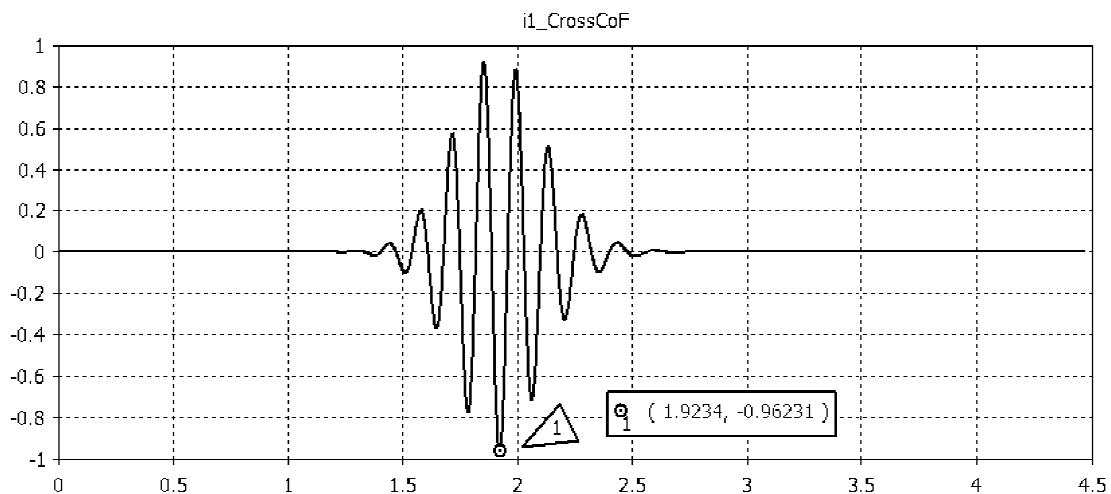
Argument přenosu S12 splňuje podmínku linearity. Vzhledem k značně hrubému měřítku na ose y je vhodné hodnotit anténu také podle skupinového zpoždění. U čtvercového dipólu s rovinným reflektorem je skupinové zpoždění na zadaném kmitočtovém rozsahu 1,93 ns až 1,85 ns. Při srovnání s anténami bez reflektoru, kde bylo skupinové zpoždění téměř konstantní, je tady zpoždění větší a mírně se mění s kmitočtem.



Obr. 4-9: Graf skupinového zpoždění u antén s rovinným reflektorem.



Obr. 4-10: Obrázek vyslaného (vlevo) a přijatého (vpravo) impulsu.

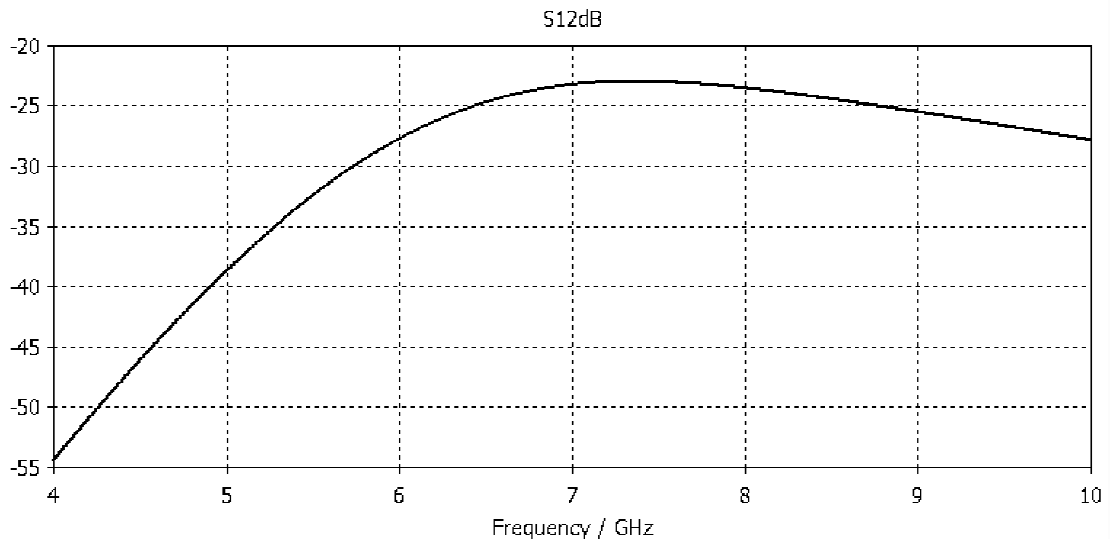


Obr. 4-11: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.

Po provedení korelace je zřejmé, že podobnost vyslaného a přijatého impulsu je 96,2 %. Tímto výsledkem se anténa řadí již mezi kvalitní antény.

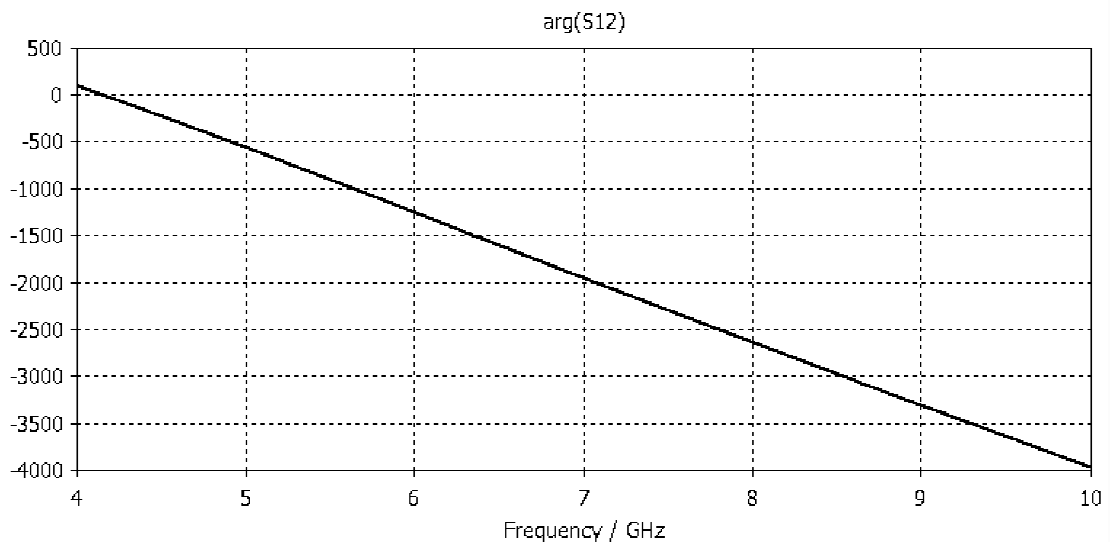
4.3 Simulace antén s reflektorem typu H

Při těchto simulacích bylo dosaženo nejlepších výsledků se čtvercovým dipólem umístěným nad reflektorem typu H.



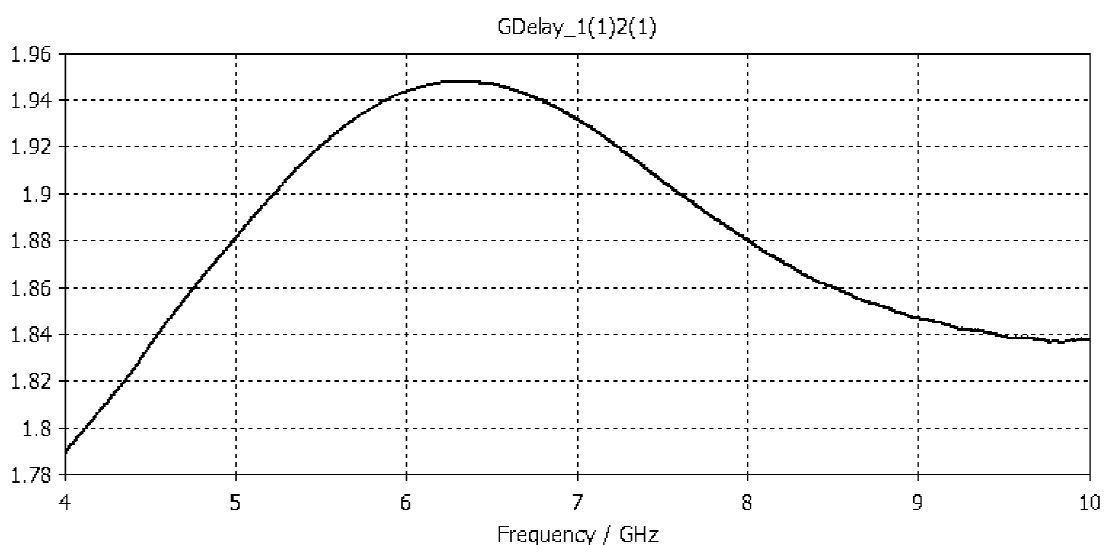
Obr. 4-12: Přenos mezi anténami s reflektorem typu H.

Přenos zobrazený na obrázku 4-12 splňuje podmínku nepřesáhnutí rozdílu 5 dB na zadaném kmitočtové rozsahu. Přičemž hodnota přenosu se pohybuje na zadaném kmitočtovém rozsahu od -23 dB do -25,5 dB. Argument přenosu S_{12} je opět lineární.



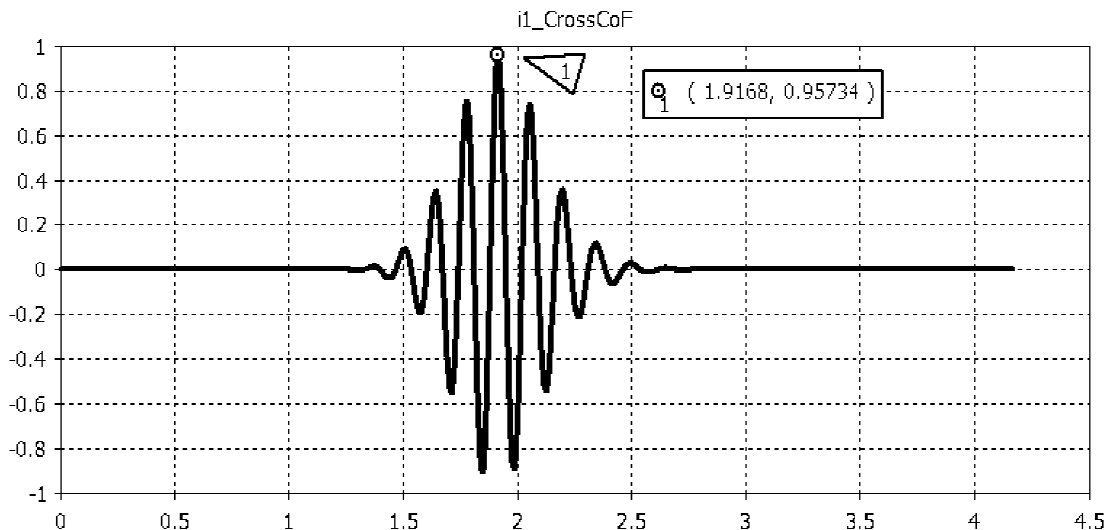
Obr. 4-13: Argument přenosu S_{12} u antén s reflektorem typu H.

Skupinové zpoždění od vyslání impulsu do jeho přijetí se na zadaném kmitočtovém rozsahu mění v rozsahu 1,93 ns až 1,85 ns. Celý simulovaný průběh skupinového zpoždění je zobrazen na obrázku 4-14.



Obr. 4-14: Graf skupinového zpoždění u antén s reflektorem typu H.

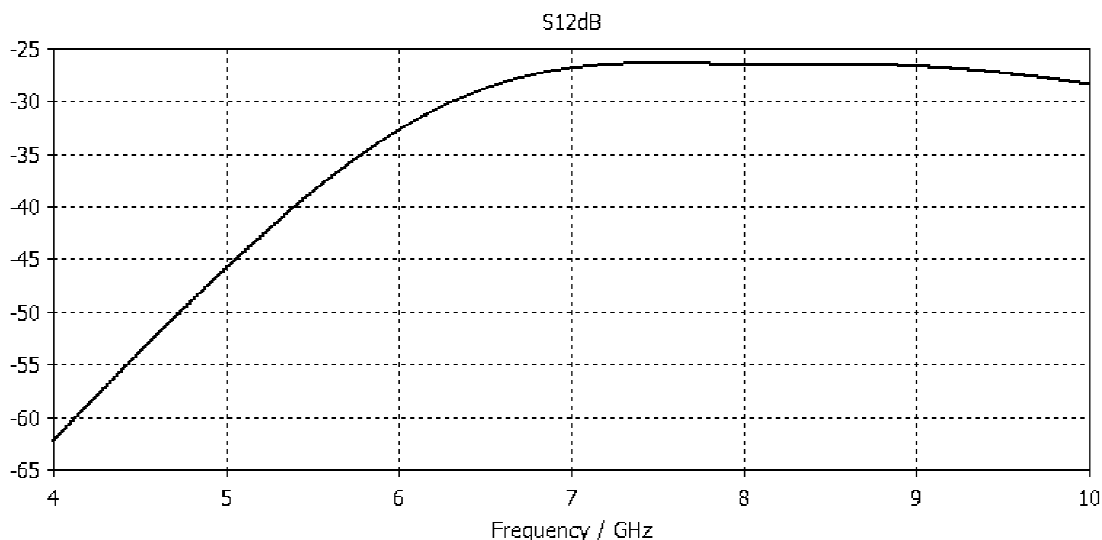
Po korelaci vyslaného a přijatého signálu získáme impuls podobnosti obou signálů. Na obrázku 4-15 je tento korelační signál zobrazen a můžeme z něj odečíst číselný údaj o podobnosti obou impulsů. U této simulace bylo dosaženo podobnosti 95,7 %. Na základě uvedených průběhů můžeme konstatovat, že se jedná o poměrně kvalitní anténu.



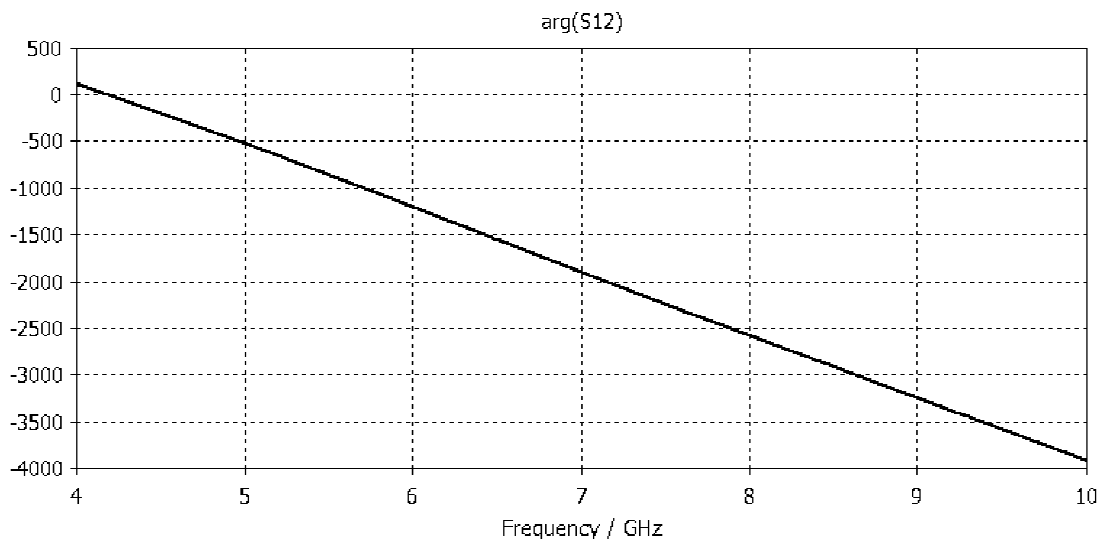
Obr. 4-15: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.

4.4 Simulace antén s reflektorem typu E

Při simulacích přenosu mezi dvěma anténami umístěnými nad reflektorem typu E bylo dosaženo nejlepších výsledků s kruhovým dipólem. Přenos S_{12} je u této antény podobný jako u předcházejících antén. Jen s tím rozdílem, že na zadaném kmitočtovém rozsahu 7,3 GHz až 8,6 GHz je téměř konstantní. Odchylka hodnoty přenosu je v zadaném kmitočtovém pásmu jen pár desetin decibelů.

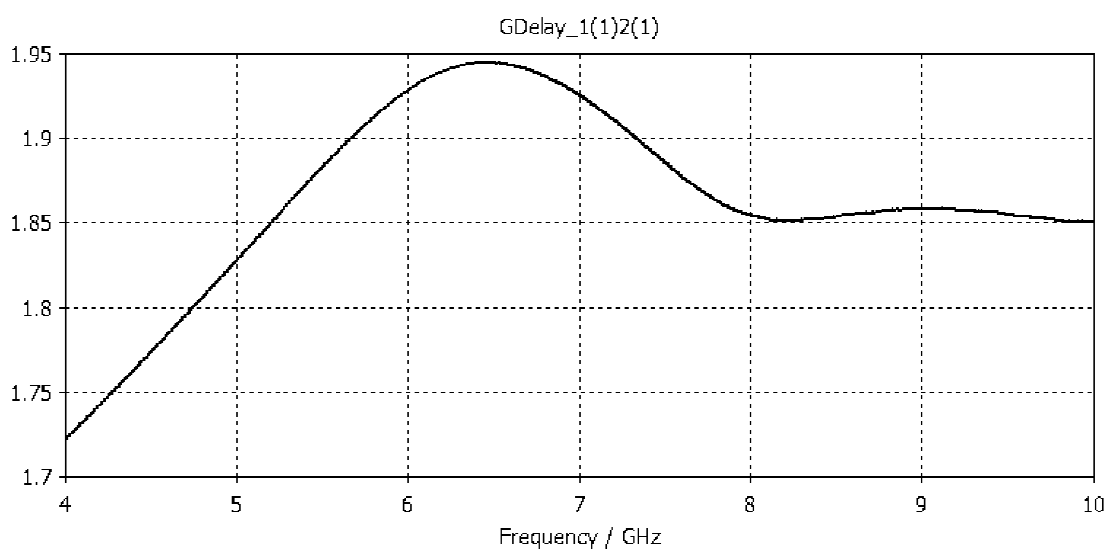


Obr. 4-16: Přenos S_{12} mezi dvěma anténami s reflektorem typu E.



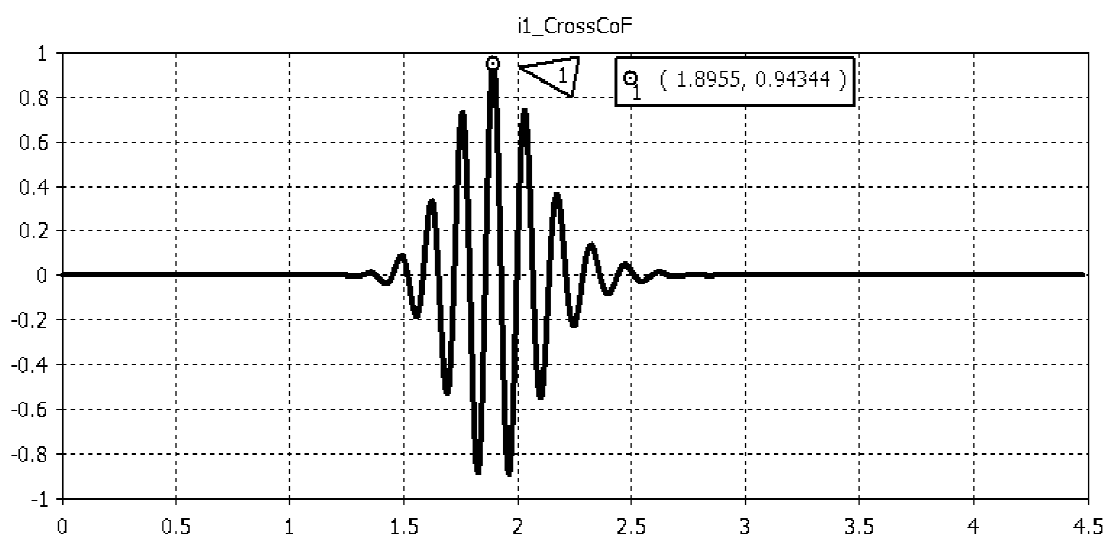
Obr. 4-17: Argument přenosu S_{12} u antén s reflektorem typu E.

Podmínka linearity argumentu přenosu S_{12} je splněna, což je zřejmé z obrázku 4-17. Na obrázku 4-18 je zobrazeno skupinové časové zpoždění, které téměř konstantní od 8 GHz výše. Od 7 GHz do 8 GHz dochází ke změně z 1,945 ns na 1,85 ns.



Obr. 4-18: Graf skupinového zpoždění u antén s reflektorem typu E.

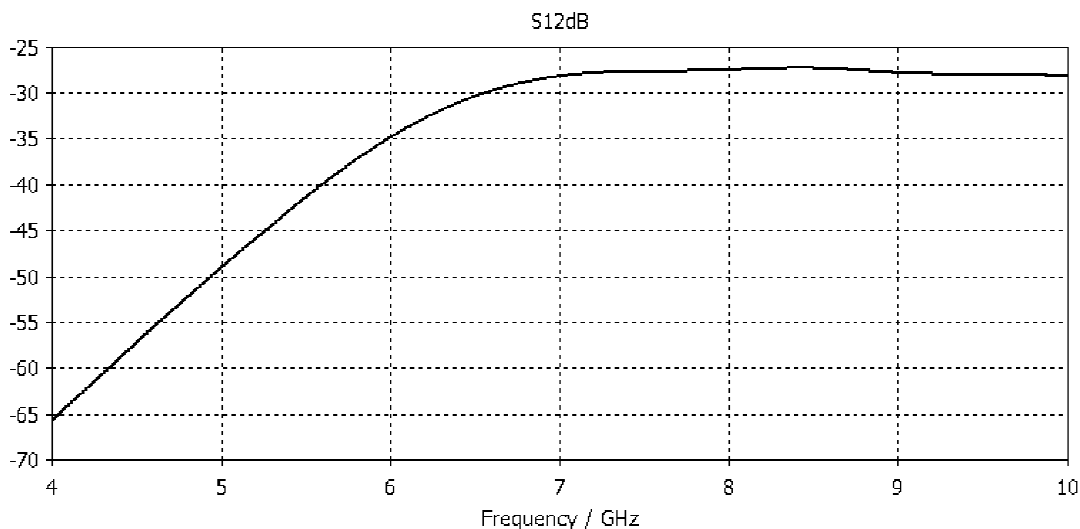
Z provedené korelace vyslaného a přijatého impulsu, uvedené na obrázku 4-19, je vidět, že podobnost obou impulsu je 0,94.



Obr. 4-19: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.

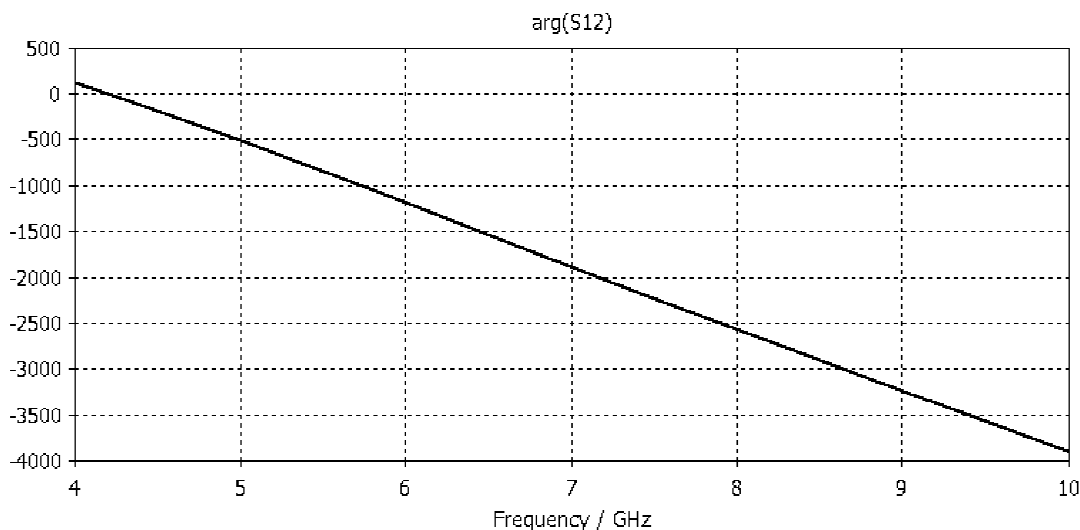
4.5 Simulace antén se složeným reflektorem

Stejně jako u reflektoru typu E bylo i u složeného reflektoru dosaženo nejlepšího výsledku s kruhovým dipólem.



Obr. 4-20: Přenos S_{12} mezi dvěma anténami se složeným reflektorem.

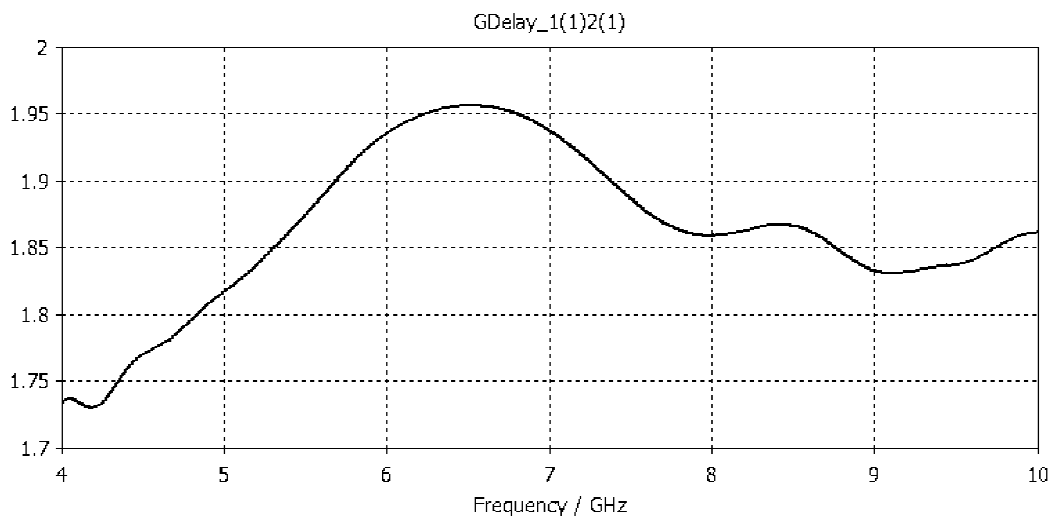
Z grafu přenosu S_{12} uvedeného na obrázku 7-20 je vidět, že přenos je konstantní od kmitočtu 7 GHz výše, což je velmi vhodné. Na zadaném kmitočtovém rozsahu je zvlnění přenosové charakteristiky jen několik desetin dB. Argument uvedeného přenosu je lineární, čímž anténa splňuje několik podmínek hodnocení kvality.



Obr. 4-21: Argument přenosu S_{12} u antén se složeným reflektorem.

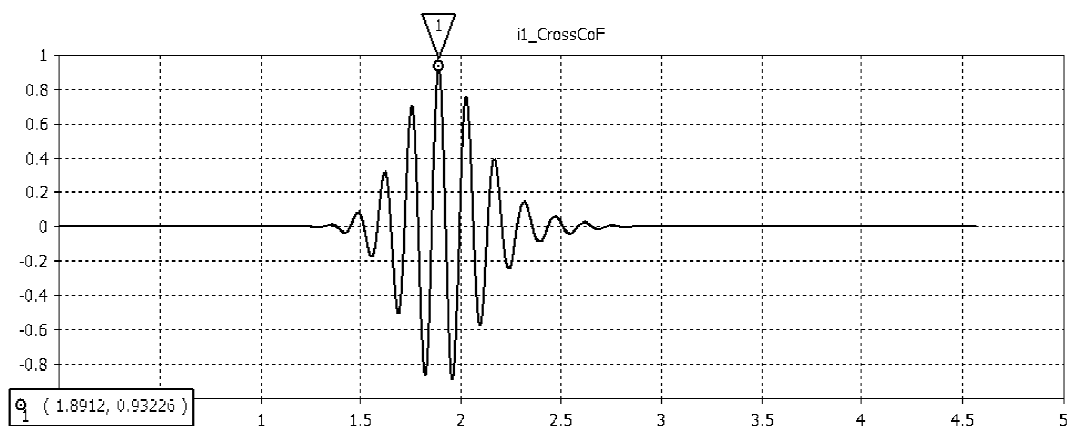
Skupinové zpoždění, které nám udává zpoždění mezi vyslaným a přijatým signálem je zobrazeno na obrázku 4-22. Hodnota skupinového zpoždění u této antény značně kolísá. Nicméně na celém kmitočtovém rozsahu 7 GHz až 9 GHz změna

skupinového zpoždění nepřesáhne 0,1 ns.



Obr. 4-22: Graf skupinového zpoždění u antén se složeným reflektorem.

Po provedené korelace vyslaného a přijatého impulsu, zobrazené na obrázku 4-23, je zjevné, že při použití této antény dojde při přenosu signálu k největšímu z kreslení ze všech antén, které zde byly simulovány. Přesto je podobnost signálu 0,93 a stále se jedná o poměrně kvalitní anténu.



Obr. 4-23: Korelace vyslaného a přijatého pulsu.

4.6 Shrnutí kapitoly

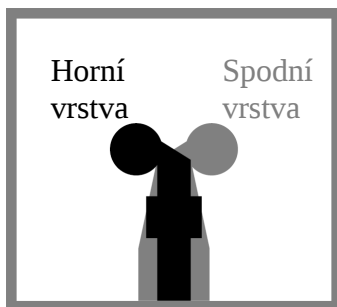
Při porovnání všech simulací uvedených v kapitole, můžeme konstatovat, že všechny antény jsou poměrně kvalitní. U všech antén bylo dosaženo podobnosti impulsu přes 90 % a změna přenosu v závislosti na kmitočtu nikde nepřesáhla 4 dB. Jediný rozdíl je ve skupinovém časovém zpoždění; to se u antén s různými reflektory liší, vždy však jen nepatrně. Na základě výsledků simulací provedených v této části práce, byl pro další postup vybrán kruhový dipól.

5 REALIZACE

Před samotnou realizací antény je potřeba ještě provést návrh symetrizačního členu a impedančního přizpůsobení. Existuje celá řada možností jak lze širokopásmovou dipólovou anténu napájet a impedančně přizpůsobit. Pro kruhový dipól vybraný v předchozí kapitole bude použit následující způsob napájení. Z hlediska mechanické pevnosti antény byl pro realizaci antény použit substrát ARLON 25N o tloušťce 1.52 mm namísto původně uvažovaných 0.79mm. Změna výšky substrátu se na parametrech antény nijak neprojevila. Tloušťka substrátu má zásadní vliv až na impedanční přizpůsobení antény, které bude řešeno v následující kapitole.

5.1 Návrh symetrizace a impedančního přizpůsobení

Na rozdíl od předchozích simulací, kde byly obě ramena dipólu na jedné straně substrátu, je zde nutné umístit každé rameno dipólu na jednu stranu substrátu. Pro napájení vybrané antény byl zvolen způsob uvedený na obrázku 5-1.



Obr. 5-1: Ukázka napájení kruhového dipólu.

Šířka napájecího mikropásku byla určena podle vzorce 5.1 pro charakteristickou impedanci [4]

$$Z_c = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \cdot \left(\frac{5,98 \cdot h}{0,8 \cdot w + t_p} \right) \quad (5.1)$$

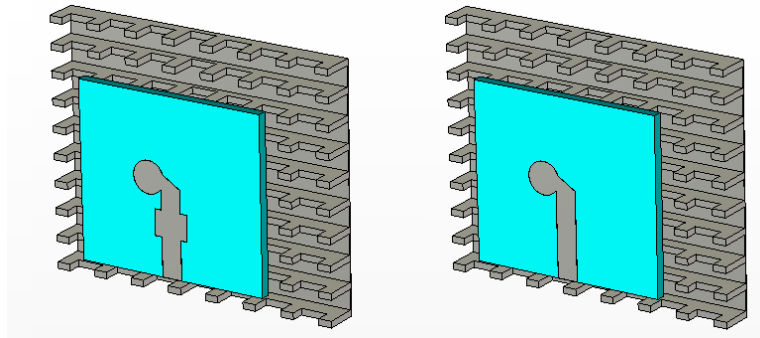
kde ϵ_r je relativní permitivita, h je tloušťka substrátu, w je šířka mikropásku, t_p je tloušťka pokovení substrátu a Z_c je charakteristická impedance.

Impedance, které chceme dosáhnout, je 50Ω , a parametry použitého substrátu ARLON 25N jsou: $\epsilon_r = 3,38$, $h = 1,52$ mm a $t_p = 0,035$ mm. Po dosazení těchto konstant do rovnice 5.1 získáme šířku mikropásku v horní vrstvě 3,186mm. Rozšířená část mikropásku tvoří impedanční transformátor. Jeho šířka se určí stejně jako v předchozím případě, jen místo 50Ω je dosazena impedance dipólové antény, kterou získáme ze simulací. Šířka napájecího mikropásku ve spodní vrstvě byla určena podle šířky SMA konektoru tak, aby se dal snadno a dobře připájet, a jeho šířka je 6,8mm. Dále dochází k zúžení pásku až na hodnotu 3,186mm, což opět odpovídá charakteristické impedanci 50Ω . Pro realizaci antén jsou potřeba ještě další rozměry, viz příloha A.

5.2 Simulace symetrizace a impedančního přizpůsobení

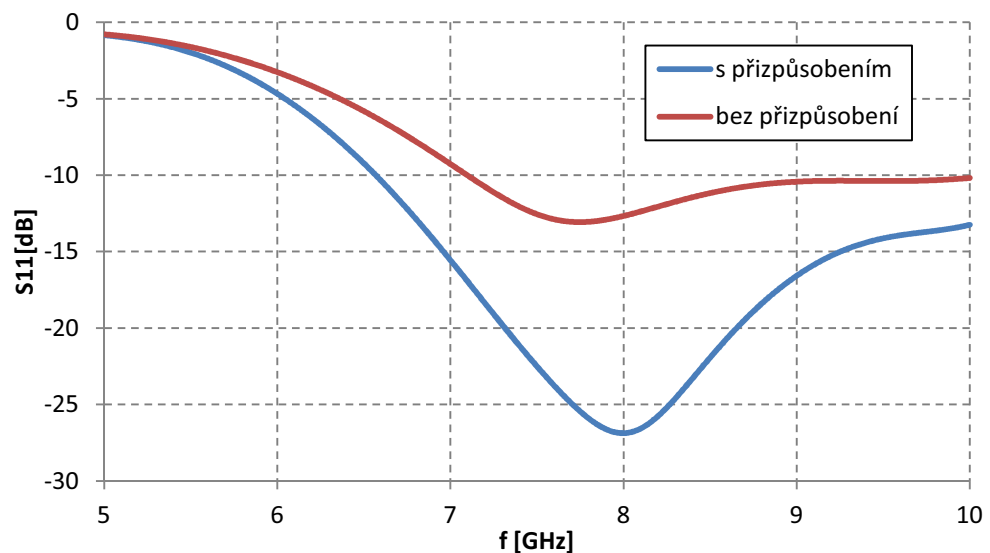
V této podkapitole bude provedena simulace antény s navrženým impedančním přizpůsobením. Aby bylo zřejmé, že přizpůsobení funguje, budou provedeny i simulace antény bez impedančního přizpůsobení. Stejně se bude postupovat i při experimentálním ověřování vyrobené antény.

Simulované antény jsou zobrazeny na obrázku 5-2. U těchto antén byly provedeny simulace, jejichž výsledky jsou zobrazeny na následujících obrázcích.



Obr. 5-2: Ukázka simulovaných antén s impedančním přizpůsobením (vlevo) a bez impedančního přizpůsobení (vpravo).

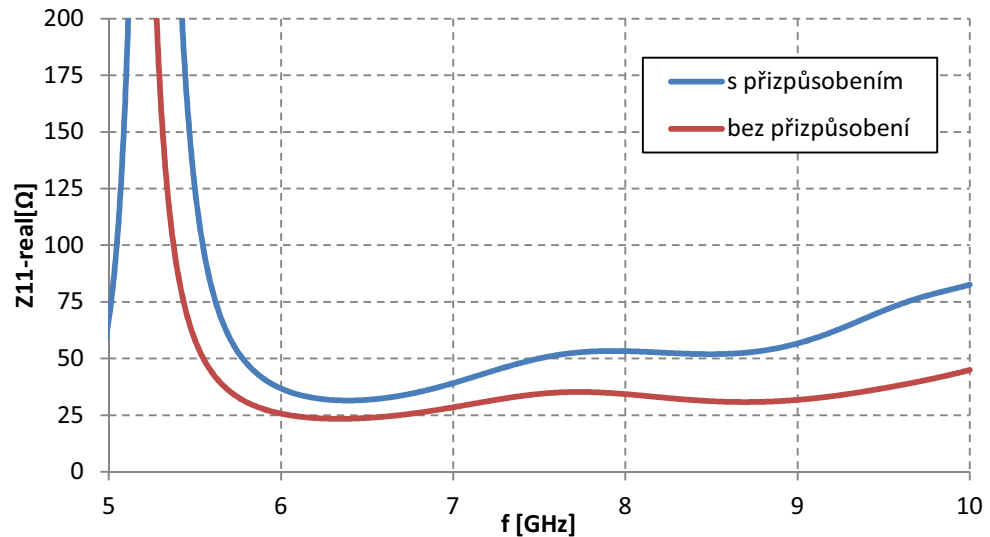
Z činitele odrazu S_{11} obou antén uvedených na obrázku 5-3 je vidět, že přizpůsobení bylo u antény dosaženo dvakrát většího poklesu než u antény bez impedančního přizpůsobení.



Obr. 5-3: Průběh činitele odrazu S_{11} .

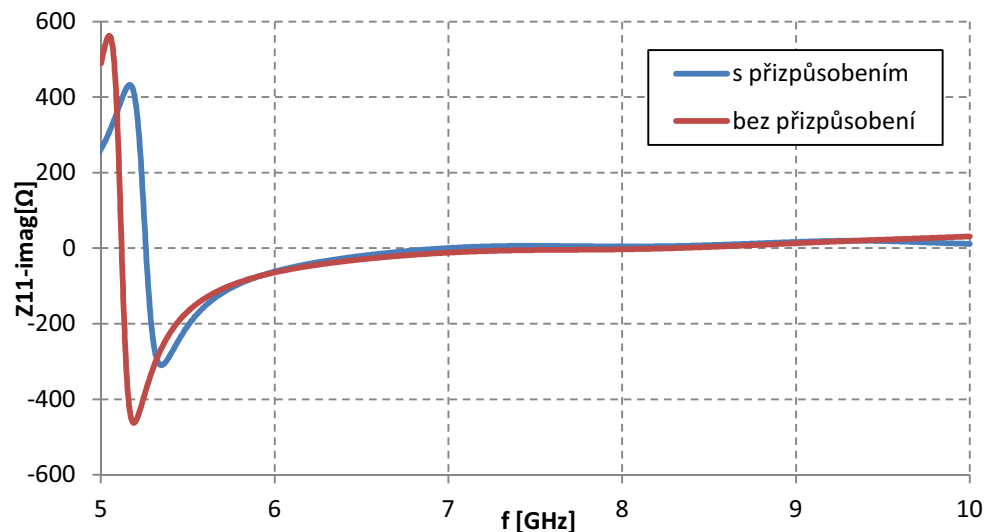
Stejné srovnání průběhů obou antény bylo provedeno pro reálnou a imaginární složku impedance antény Z_{11} . Výsledky těchto srovnání jsou uvedeny na obrázcích 5-4 a 5-5. Na obrázku 5-4 je zřetelně vidět nejdůležitější rozdíl mezi přizpůsobenou a

nepřizpůsobenou anténou. V ideálním případě by impedance antény měla být $50\ \Omega$. U přizpůsobené antény jsme se s impedancí pohybovali pro zadanou šířku pásma v rozmezí $47\ \Omega$ až $53\ \Omega$. U nepřizpůsobené antény je impedance hluboko pod $50\ \Omega$.



Obr. 5-4: Průběh reálné části impedance Z_{11} .

Správnost přizpůsobení lze vidět i na grafu imaginární složky impedance. V ideálním případě by v rezonanci měla být imaginární složka nulová. Z obrázku 5-5, na kterém je imaginární složka zobrazena je vidět, že pro obě antény je tato složka téměř nulová pro celou šířku zadaného kmitočtového pásma.



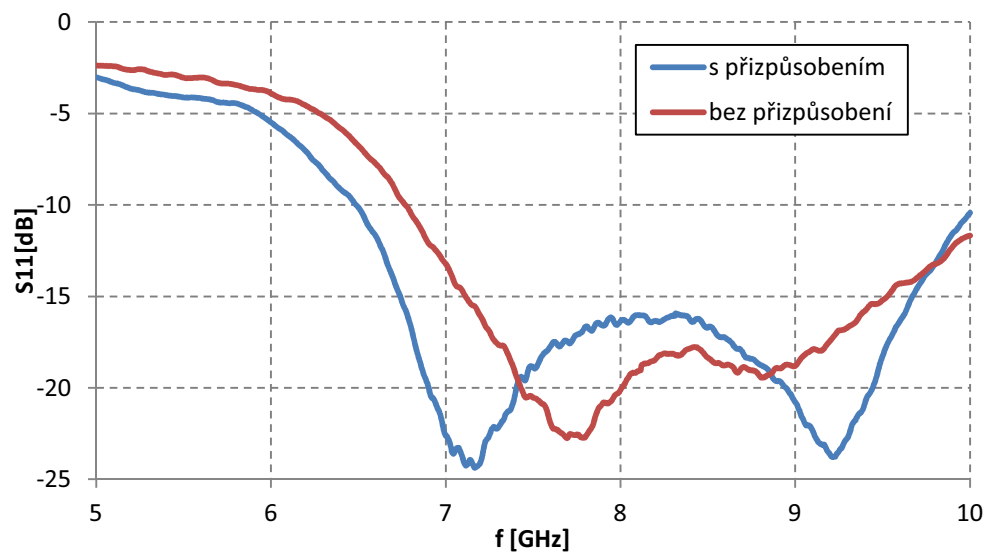
Obr. 5-5: Průběh imaginární části impedance Z_{11} .

Na základě těchto výsledků byly antény vyrobeny.

5.3 Experimentální měření

Experimentální ověření vlastnosti antény bylo provedeno na vektorovém analyzátoru R&S®ZVA 67. Výsledky měření byly poté zpracovány a byly z nich vytvořeny následující grafy.

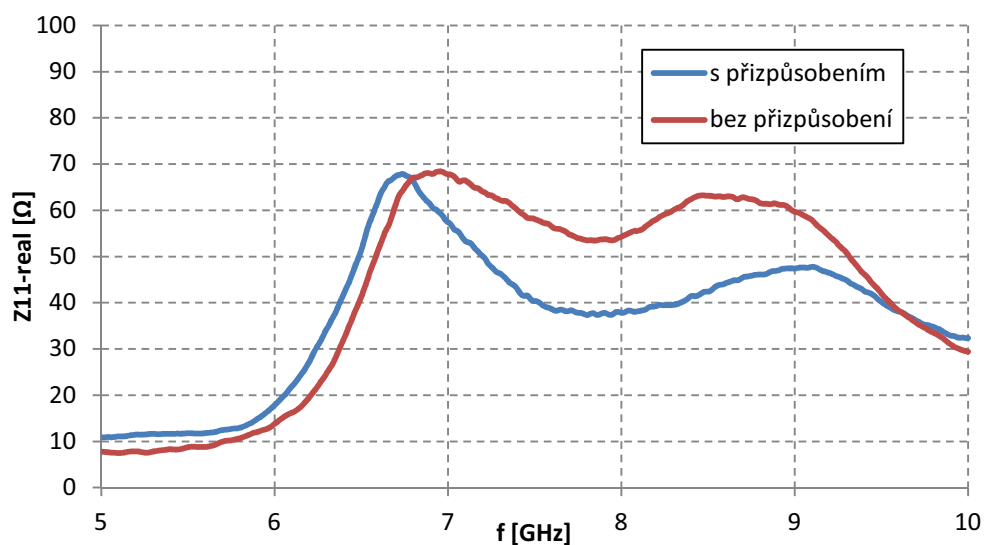
Na obrázku 5-6 je zobrazen činitel průběhu S_{11} pro anténu s impedančním přizpůsobením i bez něj. Už při prvním pohledu na graf jsou zřejmé velké odlišnosti proti simulovaným výsledkům. I přesto však obě antény splňují zadanou šířku pásma s dostatečnou rezervou.



Obr. 5-6: Naměřený průběh činitele odrazu antén.

U antény s přizpůsobením bylo dosaženo šířky pásma 6,7 GHz až 9,6 GHz, tj. 2,9 GHz pro S_{11} -15 dB. Pro S_{11} -10 dB je šířka pásma dokonce 3,5 GHz. U antény bez přizpůsobení je šířka pásma pro S_{11} -15 dB 7,1 GHz až 9,5 GHz, tj. 2,4 GHz. Pro S_{11} -10 dB je to šířka pásma přibližně 3,2 GHz.

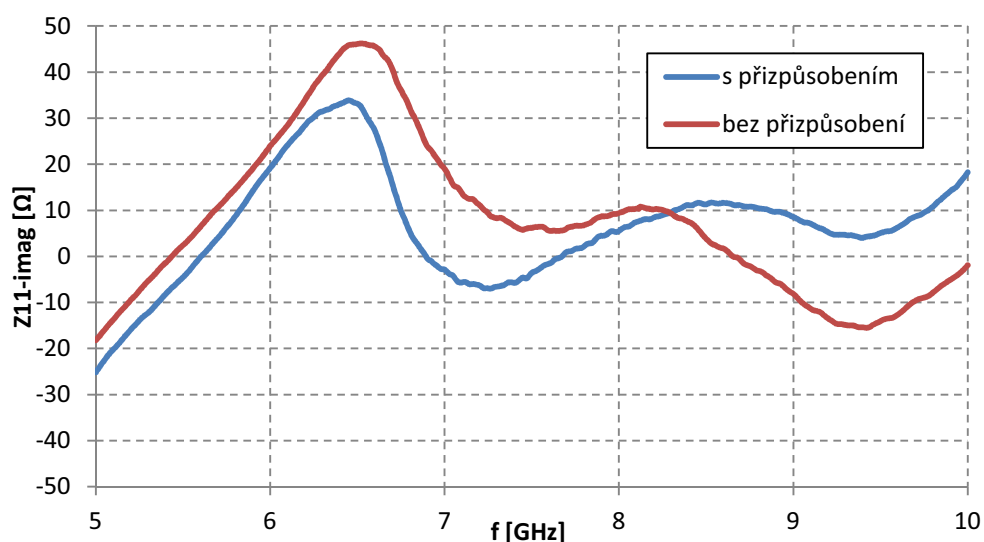
Mezi oběma anténami jsou ve výsledcích patrné značné rozdíly. Hlavním parametrem, který nás ale zajímá je impedance antény. Ta je uvedena na obrázku 5-7.



Obr. 5-7: Naměřená reálná složka impedance antén Z_{11} .

Z obrázku 5-7 je zřejmé, že ani jedna anténa není ideálně přizpůsobena. Nejlépe je na tom však anténa, u které nebylo provedeno impedanční přizpůsobení. Anténa s impedančním přizpůsobením má reálnou složku impedance příliš nízkou. Anténa bez přizpůsobení by se musela mírně upravit, aby se její impedance snížila. Snížení by se provedlo buď mírným rozšířením celého napájecího pásku, nebo jen jeho části stejně jako u antény s přizpůsobením a tím by se vytvořil impedanční transformátor.

Na obrázku 5-8 je zobrazena imaginární složka impedance. U antény bez přizpůsobení se imaginární složka impedance blíží nulové hodnotě. Zlepšením přizpůsobení této antény by se imaginární složka nulové hodnotě ještě více přiblížila.



Obr. 5-8: Naměřená imaginární složka impedance antén.

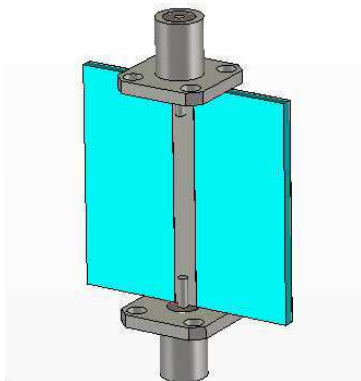
Vzhledem k odlišnostem reálných a simulovaných výsledků se provedou další simulace, které nám pomohou odhalit příčiny vedoucí k těmto rozdílům.

5.4 Simulace antény s konektorem

Jelikož při experimentálním ověření vlastností vyrobených antén došlo k velkým odlišnostem v porovnání se simulacemi, byly provedeny další simulace navržených antén s konektorem. Aby se předešlo chybám v simulaci, byly provedeny simulace namodelovaného konektoru, které určí správnost jeho správnost.

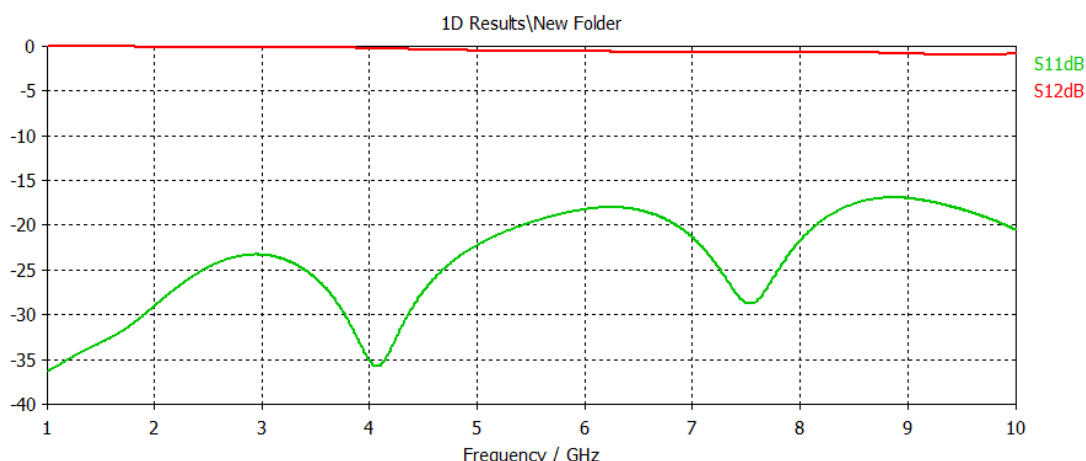
5.4.1 Modelování konektoru

Pro posouzení zda byl konektor správně namodelován a zda v simulacích nezpůsobuje nějaké nepříznivé vlivy, byla provedena simulace. Tato simulace se skládá ze dvou namodelovaných konektorů a krátkého úseku mikropáskového vedení s impedancí $50\ \Omega$. Ukázka složení testovacího obvodu pro simulaci je na obrázku 5-9.



Obr. 5-9: Ukázka simulace testování konektoru.

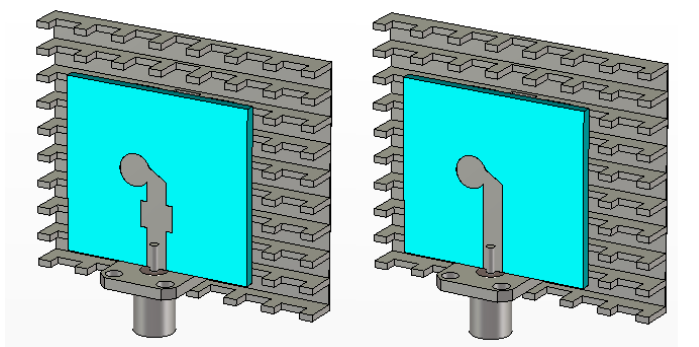
U obvodu z obrázku 5-9, byla provedena simulace na určení činitele odrazu konektoru a vzájemného přenosu mezi konektory. V ideálním případě by měl být přenos mezi konektory roven 1, tedy 0 dB. V našem případě je přenos pro simulovaný kmitočet 1 GHz až 10 GHz v rozmezí od 1 do 0,91. Koeficientu 1 je přenos roven na nižších kmitočtech. S rostoucí frekvencí přenos mírně klesá až na hodnotu 0,91 na kmitočtu 10 GHz. Tento pokles způsobují ztráty zahrnuté v simulaci. Výsledky simulace jsou na obrázku 5-10. Výsledky jsou zde zobrazeny v decibelové míře. Ze simulací je zřejmé, že je konektor namodelován správně a případný vliv, který na simulovanou anténu bude mít, bude v souladu s reálnými konektory.



Obr. 5-10: Průběh činitele odrazu S11 a přenosu S22 při testu konektorů.

5.4.2 Simulace antén s konektorem

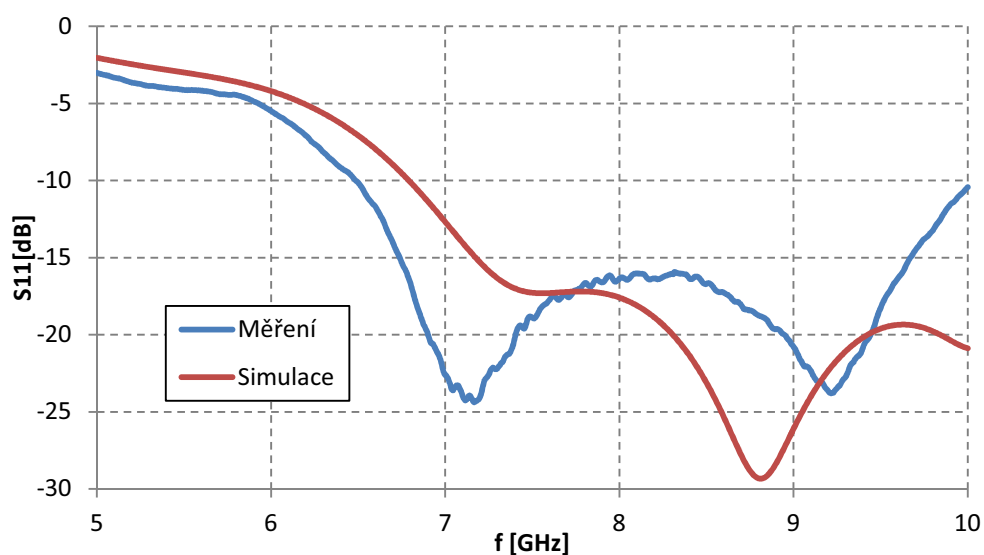
Při simulacích byly použity antény se stejnými parametry jako v kapitole 5.2. K modelu antén byl pouze přidán model konektoru z předcházející kapitoly. Ukázka celého modelu antény i s konektorem je na obrázku 5-11. Výsledky těchto simulací i se srovnáním s reálnými výsledky jsou zobrazeny na následujících obrázcích.



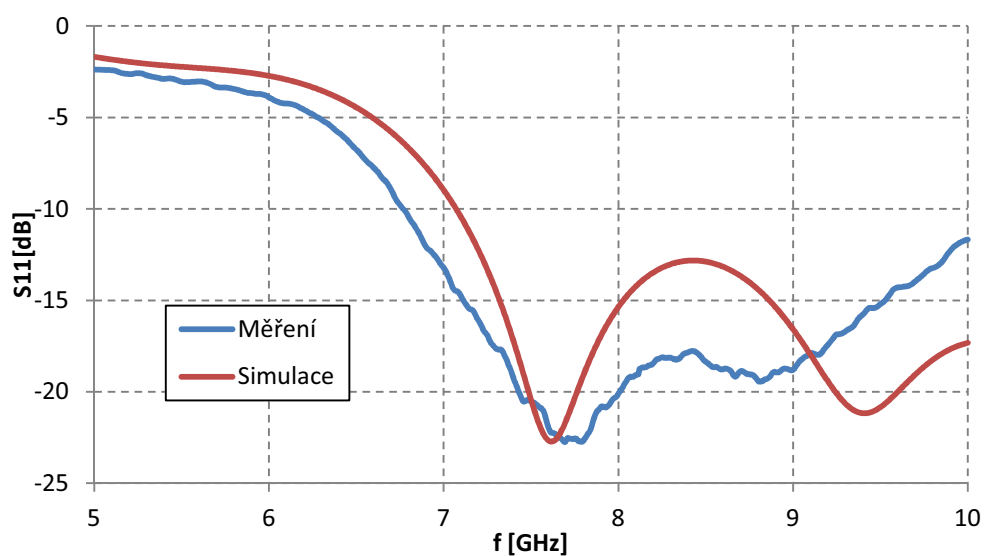
Obr. 5-11: Ukázka modelu antény s konektorem s přizpůsobením (vlevo) a bez přizpůsobení (vpravo).

Srovnání výsledku měřeného a simulovaného činitele jakosti je na obrázku 5-12 pro anténu s impedančním přizpůsobením a na obrázku 5-13 pro anténu bez impedančního přizpůsobení.

U původně vhodnější antény s přizpůsobením je i nyní v činiteli odrazu vidět značný rozdíl simulovaného a měřeného průběhu. U antény bez impedančního přizpůsobení je nyní naměřený průběh činitele odrazu shodný se simulacemi přibližně do 8,7 GHz. Od toho kmitočtu výše se u antény projevují parazitní vlivy.

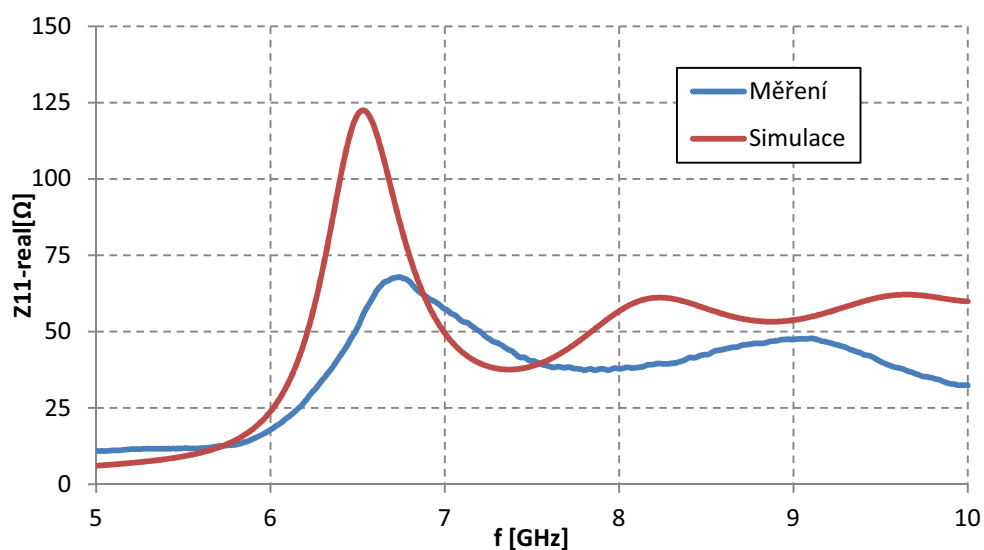


Obr. 5-12: Srovnání činitele odrazu simulované antény s konektorem a měření u antény s přizpůsobením.

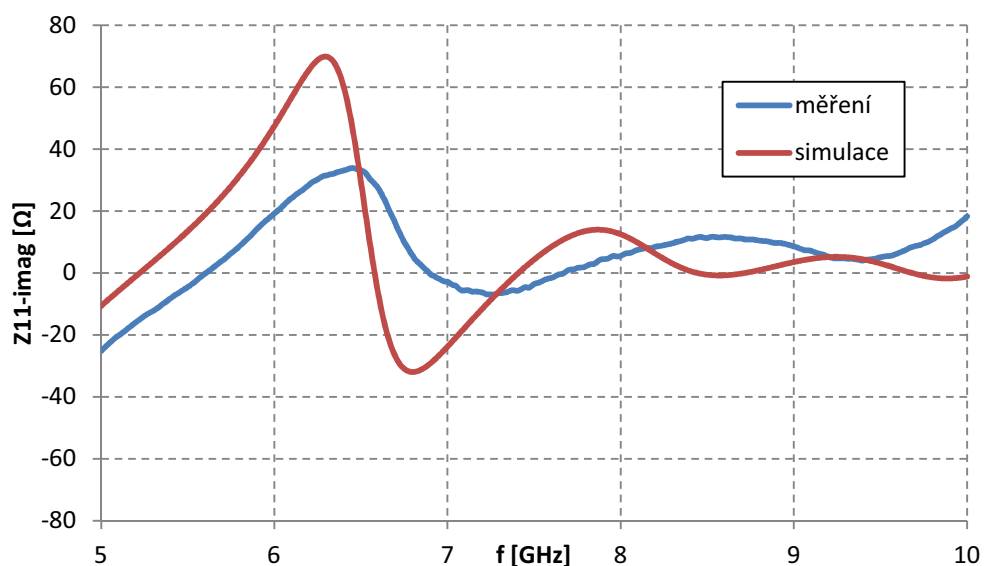


Obr. 5-13: Srovnání činitele odrazu simulované antény s konektorem a měření u antény bez přizpůsobení.

Na dalších obrázcích je provedeno srovnání reálných a imaginárních složek. Konkrétně na obrázku 5-14 je reálná složka a na obrázku 5-15 imaginární složka impedance antény s přizpůsobením. Na obrázku 5-16 a 5-17 je zobrazena reálná a imaginární složka impedance antény bez přizpůsobení. U obou antén jsou mezi naměřenými a simulovanými výsledky značné rozdíly. To může být způsobeno reálnými vlivy působícími na antény při měření.

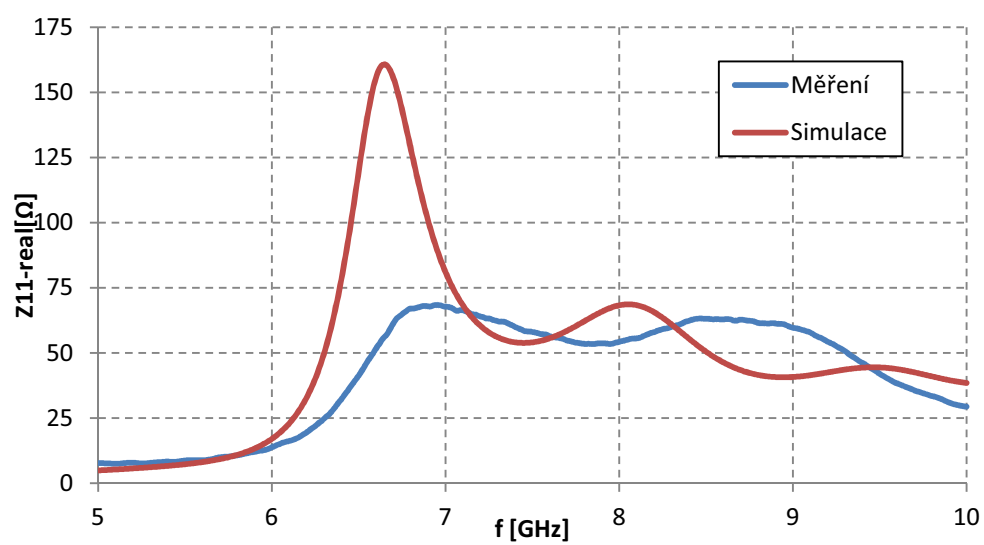


Obr. 5-14: Reálná složka impedance antény s přizpůsobením.

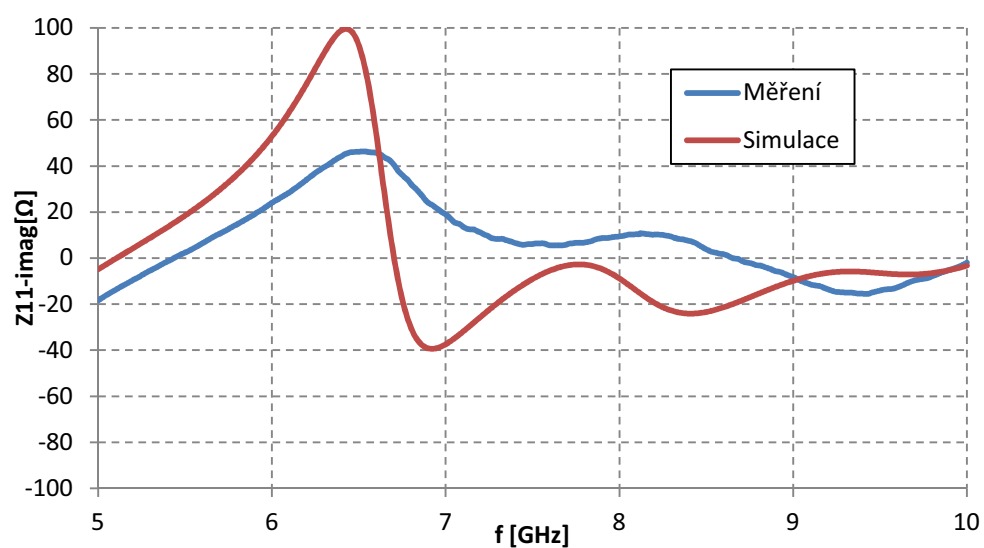


Obr. 5-15: Imaginární složka impedance antény s přizpůsobením.

Při srovnání naměřených reálných složek impedancí obou antén je vidět velká podobnost obou průběhů. To dokazuje, že impedanční přizpůsobení, které je provedeno na jedné z antén, ovlivňuje pouze velikost této složky, nikoli její průběh. U imaginárních složek impedance jsou už znatelné menší odlišnosti. Tyto odlišnosti mohou být způsobeny konstrukcí antény (umístění ve správné vzdálenosti od reflektoru, apod.), viz následující kapitoly.



Obr. 5-16: Reálná složka impedance antény bez přizpůsobení.



Obr. 5-17: Imaginární složka impedance antény bez přizpůsobení.

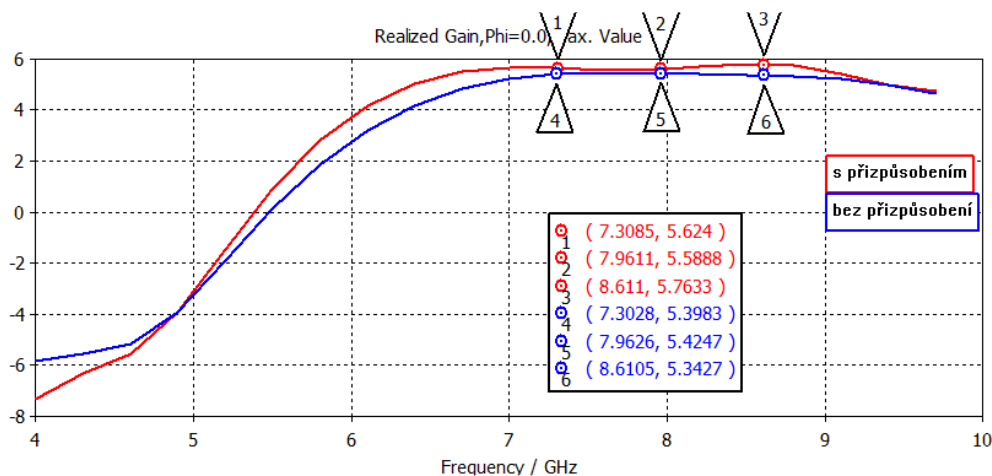
5.5 Měření směrových charakteristik

Směrové charakteristiky byly měřeny opět pomocí vektorového analyzátoru R&S® ZVA 67. Při tomto měření byly využity dva porty přístroje. Jeden jako výstupní a druhý jako vstupní. K výstupnímu portu byl připojen kónický monopól, který sloužil jako vysílací anténa a měřená anténa byla připojena na port druhý. Mezi těmito dvěma porty byl následně měřen přenos během rotace měřené antény. Pro získání směrových charakteristik byly naměřené hodnoty přenosu normovány. Měření směrových charakteristik bylo provedeno pro oba krajní kmitočty (7,3 GHz a 8,6 GHz) a střední kmitočet (7,95 GHz) zadaného kmitočtového pásma. Naměřené kmitočtové charakteristiky i s porovnáním se simulacemi jsou uvedeny na následujících obrázcích.

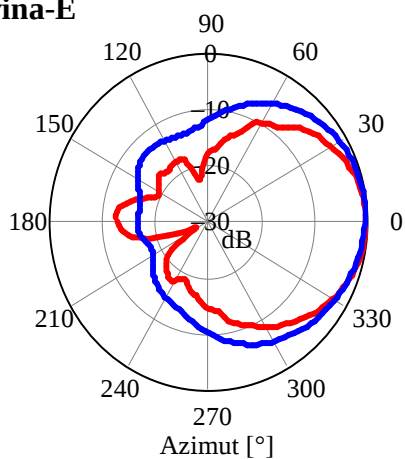
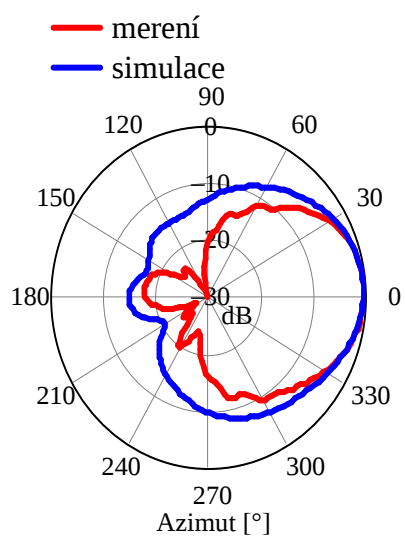
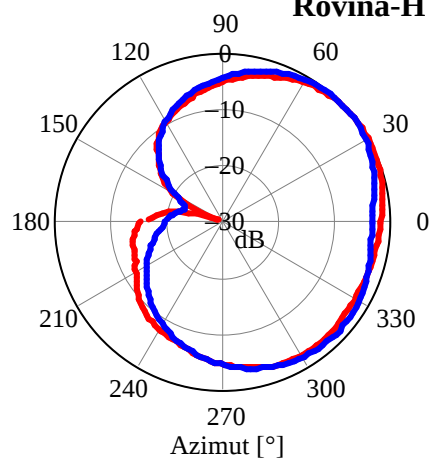
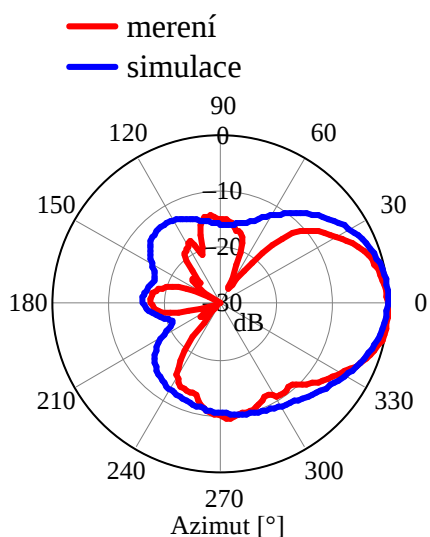
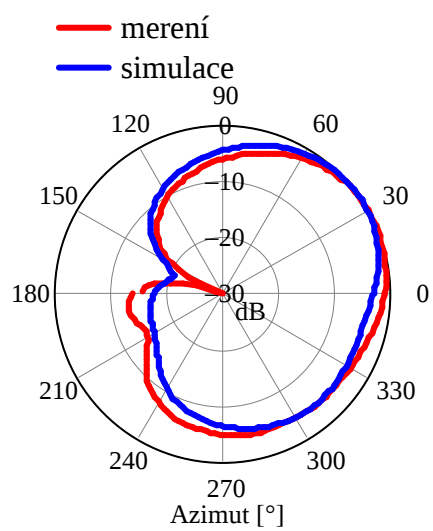
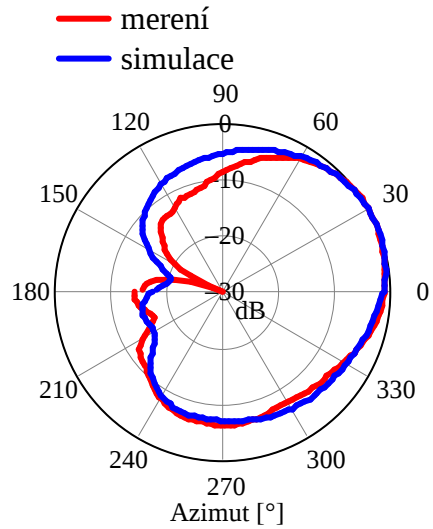
Při srovnání jednotlivých směrových charakteristik je na první pohled vidět, že jsou si naměřené a simulované výsledky podobné. Jediný rozdíl mezi měřenými a simulovanými směrovými charakteristikami je ten, že u měřených klesá průběh více k nižším hodnotám než u simulovaných. To je způsobeno tím, že při simulacích je pro reflektor použit materiál PEC (perfektně elektricky vodivý materiál), který nemá žádné ztráty a dopadající vlna se odráží od reflektoru bez útlumu. U měření kde, je použit reálný materiál tomu tak není.

Při srovnání charakteristik mezi jednotlivými anténami je také vidět, že jsou průběhy směrových charakteristik téměř shodné. Na směrových charakteristikách v rovině H můžeme pozorovat menší odchýlení hlavního laloku od hlavní osy vyzařování. U obou antén se jedná o odchýlení přibližně o 30°. To je způsobeno napájením antény, kde nám charakteristiku ovlivňuje napájecí kabel antény.

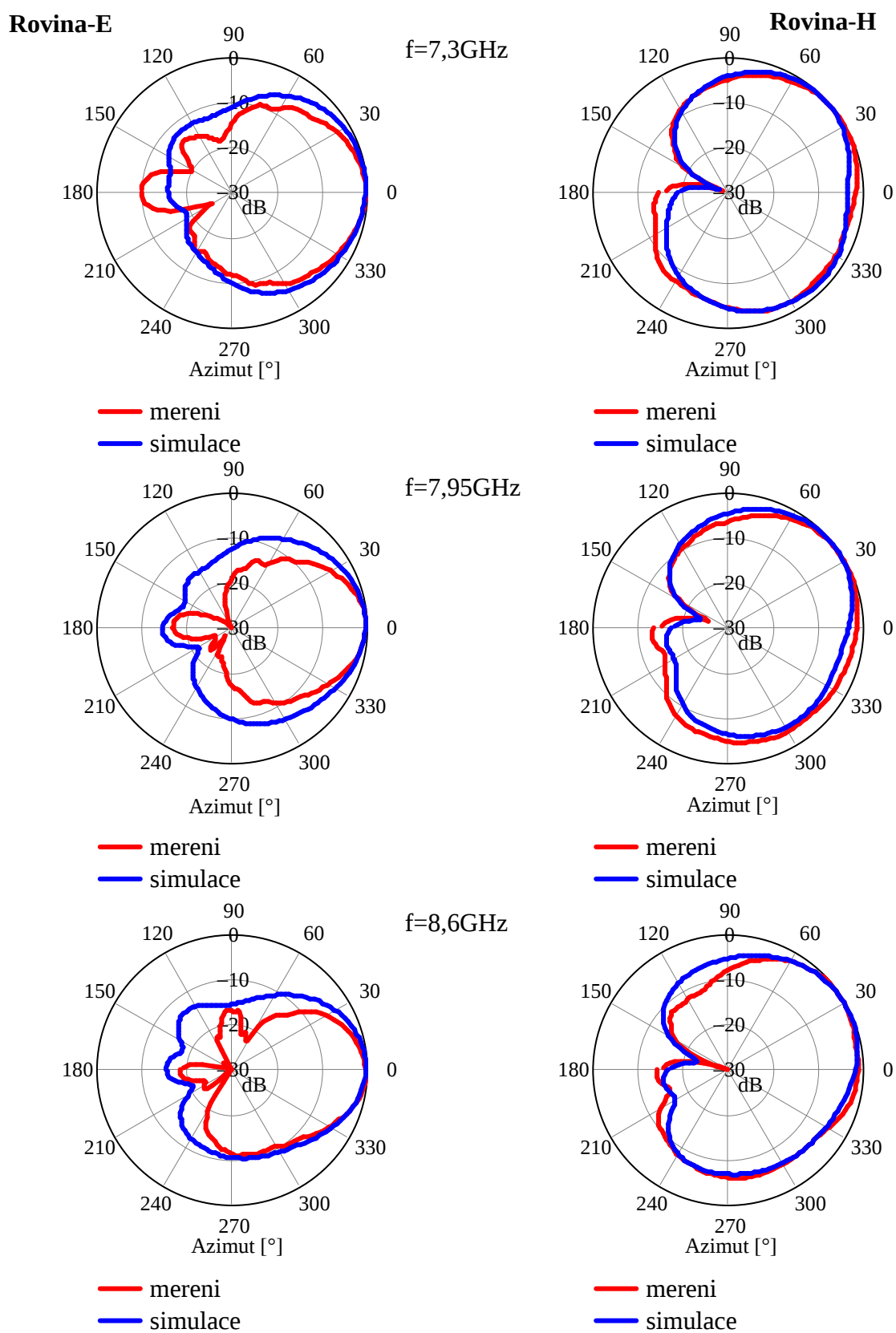
Zisk antén při tomto měření nebylo možné určit přímo z měření. Odhad zisku lze provést pouze na základě pomocného měření kónického monopólu, ze kterého byla vytvořena korekční křivka, pomocí které se odhad zisku provádí. Pro anténu bez přizpůsobení byly z měření odhadnuty zisky 4,6 dB, 4,9 dB a 5,1 dB pro kmitočty 7,3 GHz, 7,95 GHz, a 8,6 GHz. Hodnoty zisku ze simulací pro stejné kmitočty jsou 5,62 dB, 5,58 dB a 5,76 dB. U antény s přizpůsobením byl zisk odhadnutý z měření obdobný a to 4,7 dB, 4,9 dB a 5,2 dB opět na kmitočtech 7,7 GHz, 7,95 GHz a 8,6 GHz. Při srovnání se simulacemi je odhadnutý zisk antény stejně jako v předchozím případě o něco menší. Hodnoty zisku ze simulace jsou 5,39 dB, 5,42 dB a 5,34 dB.



Obr. 5-18: Průběh zisku simulovaných antén.

Rovina-E $f=7,3\text{GHz}$ **Rovina-H** $f=7,95\text{GHz}$  $f=8,6\text{GHz}$ 

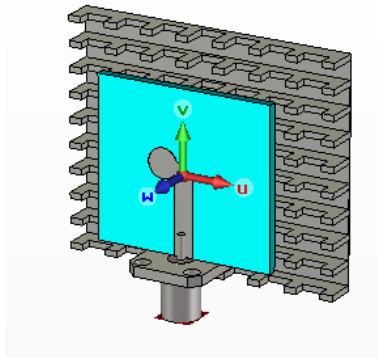
Obr. 5-19: Směrové charakteristiky antény bez přizpůsobení.



Obr. 5-20: Směrové charakteristiky antény s přizpůsobením.

5.6 Simulace konstrukčních vlivů antény.

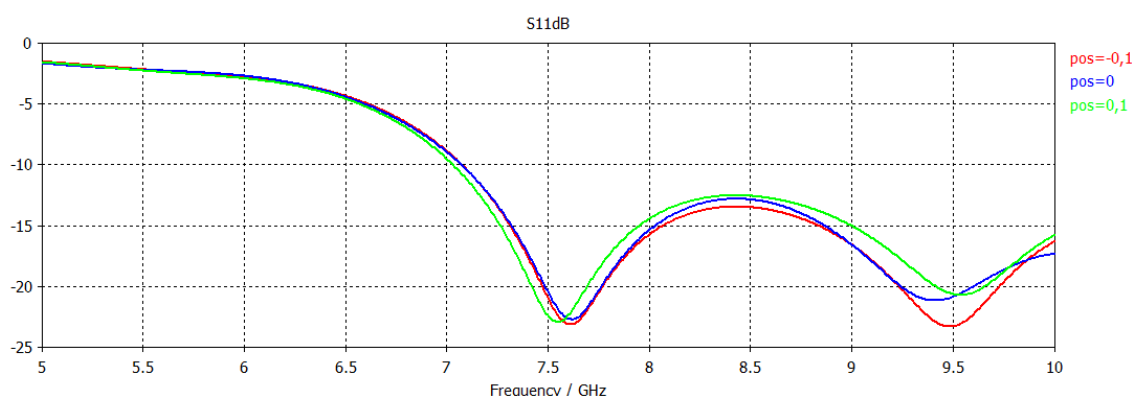
Simulace znázorňují další možné příčiny odlišnosti reálných a simulovaných výsledků. Vzhledem k výpočetní a časové náročnosti těchto simulací nebylo možné simulace kombinovat a zkoumat tak jejich výsledný společný vliv. Všechny simulace byly z časových důvodů prováděny pouze u antény bez přizpůsobení. Pro lepší přehled popisování změn u antény byl vložen pomocný souřadnicový systém, jehož střed označuje souřadnice $[0,0,0]$. Pomocný souřadnicový systém $[u, v, w]$ odpovídá základnímu souřadnicovému systému $[x, y, z]$.



Obr. 5-21: Ukázka antény s pomocným souřadnicovým systémem.

5.6.1 Vliv správného sesouhlasení motivů na horní a spodní vrstvě antény

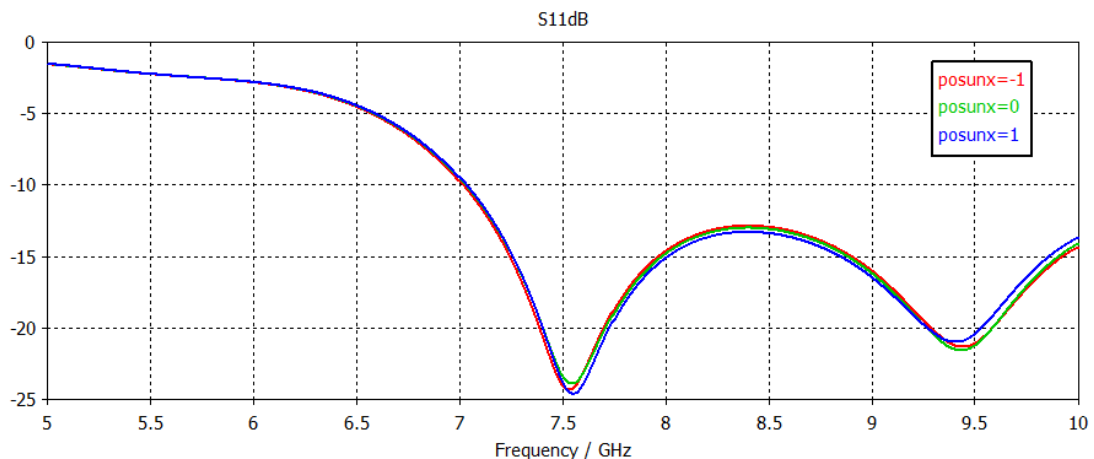
Při této simulaci byl motiv antény na spodní straně antény posouván o $\pm 0,1$ mm ve směru osy u . Vliv posunutí motivu na průběh činitele jakosti je zobrazen na obrázku 5-22. Na průběh impedance měl posun motivu minimální vliv.



Obr. 5-22: Činitel odrazu S_{11} při posunutí motivu antény.

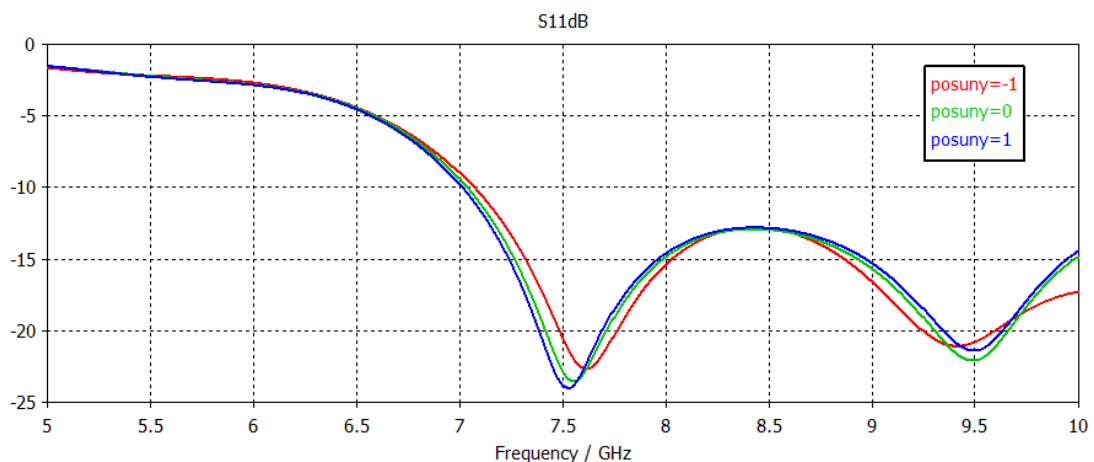
5.6.2 Vliv umístění antény nad reflektorem

Při této simulaci byl ověřován vliv umístění antény nad střed reflektoru. Podle obrázku 5-21 uvedeného výše byl substrát s motivem antény posouván ve směru os u a v v rozezí $\pm 1\text{mm}$. Výsledky jsou uvedeny na obrázcích 5-23 a 5-24.



Obr. 5-23: Průběh činitele odrazu S11 při posunu antény ve směru osy u .

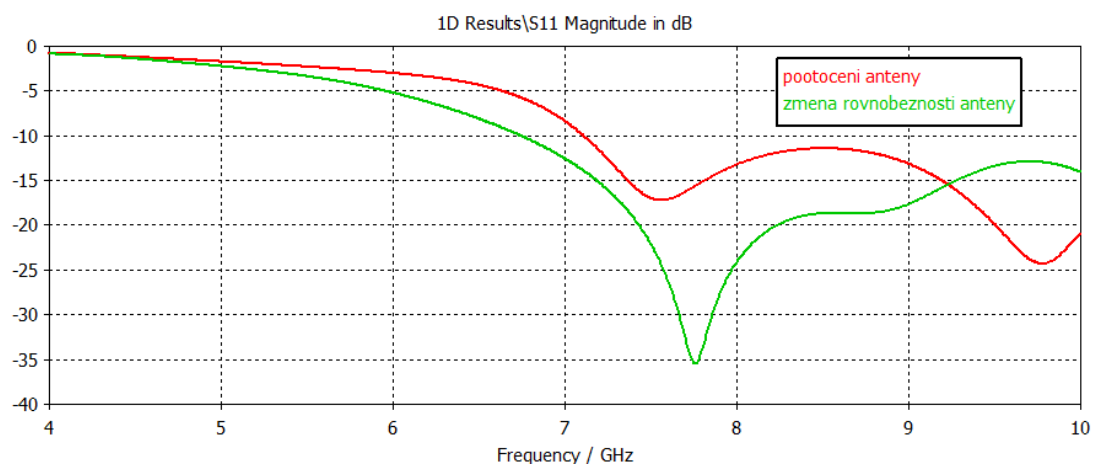
Posun v ose u , respektive x zobrazený na obrázku 5-23 se projevil jen minimálně. Při posunu v druhé ose, tedy v ose v , respektive y už je vliv na průběh činitele odrazu větší.



Obr. 5-24: Průběh činitele odrazu S11 při posunu antény ve směru osy v .

5.6.3 Vliv natočení reflektoru vůči anténě

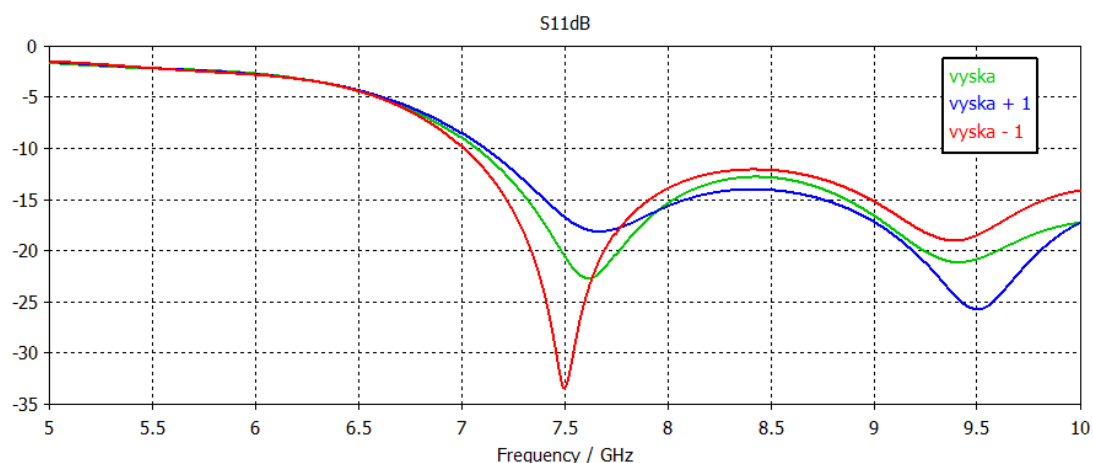
Další simulací bylo ověření vlivu natočení antény kolem osy w . Anténa byla vzhledem k reflektoru pootočena o 1° . Výsledek simulace je na obrázku 5-23 znázorněn červeně. Dalším zkoumaným vlivem byla rovnoběžnost antény s reflektorem. Anténa byla natočena kolem os u a v o 2° a výsledkem je zelená křivka na obrázku 5-23. Toto nastavení antény vzhledem k reflektoru má už značný vliv na simulované průběhy antény. Z toho lze předpokládat, že to bude hlavní příčinou rozdílných průběhů mezi měřenými a simulovanými průběhy. Průběhy impedance se opět změnily jen nepatrně.



Obr. 5-25: Vlivy natočení antény vzhledem k reflektoru

5.6.4 Vliv změny vzdálenosti antény od reflektoru

Při této simulaci se měnila vzdálenost antény od reflektoru ± 1 mm. Vzdálenost antény od reflektoru výrazně ovlivňuje impedanci antény. Vliv na průběh činitele odrazu je na obrázku 5-26.



Obr. 5-26: Průběh činitele odrazu při změně vzdálenosti od reflektoru.

5.7 Shrnutí kapitoly

Na začátku kapitoly byl probrán způsob impedančního přizpůsobení antény. Pro ověření správnosti návrhu přizpůsobení byly provedeny simulace. Poté byly antény vyrobeny a jejich vlastnosti byly experimentálně ověřeny. Přiměření vyrobených antén byly zjištěny rozdíly mezi simulovanými a měřenými průběhy. Proto byly provedeny další simulace pro zjištění těchto rozdílů. Byly provedeny simulace antény s konektory a simulace konstrukčních vlivů na anténu. Po provedení některých simulací bylo dosaženo větší podobnosti měřených a simulovaných průběhů.

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámení se s principem fungování vlnitých reflektorů u dipólové motýlkové antény. Po ověření vlastností těchto vlnitých reflektorů bylo snahou vytvořit nízko profilovou anténu, u které by vzdálenost mezi dipólem a reflektorem byla menší než vzdálenost u klasických vlnitých reflektorů. Pak se ještě ověřovali vlastnosti těchto antén při přenosu.

V první kapitole jsou provedeny simulace různých druhů vlnitých reflektorů. Konkrétně se jedná o vlnité reflektory typu H, typu E a složený vlnitý reflektor. Simulace byly provedeny v programu CST Microwave studio. Při simulacích se vycházelo z literatury [1]. Byly ověřeny vlastnosti vlnitých reflektorů uvedených literatuře. Při simulacích bylo nutné zvolit dostatečnou diskretizaci modelované antény s reflektorem, aby bylo dosaženo podobných výsledků, jako je uvedeno v literatuře. U některých simulací se grafy s výsledky uvedenými v literatuře podobají jen přibližným tvarem křivky, nikoliv dosaženými hodnotami. Odlišnosti výsledků získaných simulacemi a výsledků uvedených v literatuře jsou z velké části způsobeny právě volbou diskretizace a také možná volbou simulačního programu. Výsledky uvedené v literatuře byly získány z programu Ansoft HFSS. Při zvyšování požadavků na diskretizaci se značně zvyšovala výpočetní doba simulace. Proto byla diskretizace volena jako kompromis mezi časovou náročností a přesností výpočtu.

Ve druhé kapitole je proveden návrh a simulace sedmi různých širokopásmových dipólů. U těchto dipólů byla zaměřena pozornost na pokrytí pásma kmitočtů 7,3 GHz až 8,6 GHz a na to, aby jejich vyzařovací charakteristiky byly kmitočtově neměnné. To bylo dosaženo pouze u čtyř dipólů. Ze simulací je zřejmé, kmitočtová stálost směrových charakteristik nezávisí ani tak na tvaru dipólu, jako spíše na jeho velikosti. Při srovnání rozměru navržených dipólů lze vidět, že čím menší rozměry dipól měl, tím menší byla jeho kmitočtová závislost směrové charakteristiky.

Dalším krokem při práci bylo simulování dipólů nad reflektory různých druhů. Při těchto simulacích byly mírně optimalizovány rozměry antén, aby bylo dodrženo zadané kmitočtové pásmo. Opět byly ověřeny stejné vlastnosti jako u dipólů bez reflektoru. Z těchto simulací vyplývá, že nejlepší šířku pásma měl dipól čtvercový a kruhový. Směrové charakteristiky byly u všech antén značně podobné. Proto byly pro další simulace vybrány právě čtvercový a kruhový dipól.

U vybraných dipólových antén pak byly provedeny simulace pro ověření jejich kvality. V poslední kapitole byly simulace zaměřeny na kvalitu přenosu mezi dvěma anténami. Prováděny byly simulace jak čtvercového dipólu, tak dipólu kruhového. Podle výsledku pak byla vybrána anténa s lepšími parametry a její výsledky jsou uvedeny v kapitole 4.

Konkrétní výsledky a zhodnocení jednotlivých simulací lze nalézt vždy na konci kapitoly v podkapitole s názvem Shrnutí kapitoly.

Poslední kapitolou této práce je kapitola obsahující realizaci antény. Nejdříve byl proveden návrh impedančního přizpůsobení antény a poté byl tento návrh ověřen simulacemi. Dalším krokem byla samotná výroba antény. U vyrobených antén bylo provedeno experimentální měření jejich vlastností. Přesto, že vyrobené antény splňovaly požadavky na zadané kmitočtové pásmo, byl proveden rozbor možnosti, které

mohli způsobovat odlišnosti měřených a simulovaných výsledků. Jako první byly provedeny simulace antén s konektorem, a pro ověření správného namodelování konektorů byla provedena simulace přenosu mezi konektory. Po těchto simulacích se již výsledky měření a simulací mnohem více shodovaly. Ale i přesto bylo provedeno několik dalších simulací, které měli zjistit konstrukční vlivy na výsledky antén. Z těchto simulací je zřejmé, že největší vliv na anténu má správně umístění antény nad reflektorem. Nejvíce výsledky ovlivnila změna vzdálenosti antény nad reflektorem a nedodržení rovnoběžnosti antény s reflektorem. Jelikož právě tyto technické parametry mohli být nejvíce ovlivněny ruční výrobou antény, tak se dá předpokládat, že se při experimentálním měření do značné míry projeví a způsobily rozdíly patrné v kapitole realizace.

Z měření je vidět, že navržená anténa pokryje celé zadané kmitočtové pásmo i v případě, že by se za šířku pásma považoval pokles činitele odrazu o hodnotě -15 dB. Z výsledků měření je taky patrné, že impedanční přizpůsobení, které bylo provedeno na základě simulací bez konektoru, je pro navrženou anténu zbytečné. Pro reálné použití by byla vhodnější druhá varianta antény. Anténa bez přizpůsobení se více blíží 50 Ω . Pro použití v praxi by bylo vhodné napájení této antény mírně upravit na základě naměřených hodnot a napájecí mikropáskové vedení mírně rozšířit.

Po změření a srovnání směrových charakteristik je vidět značná podobnost se simulacemi. Jelikož jsou charakteristiky normovány a poskytují nám pouze informaci o tvaru charakteristiky, tak se nám tady konstrukční vlivy příliš neprojevují, a právě proto jsou simulované a měřené výsledky téměř shodné.

Při měření směrových charakteristik v rovině H bylo zjištěno vychýlení hlavního laloku o 30°. To způsobuje napájení antény. Přívodní kabel antény při měření v této rovině ovlivňuje získané výsledky.

Zisk měřených antén je odhadnut na základě měření přenosu a korekce získané z pomocného měření. Odhadnutý zisk je o něco menší než zisk získaný ze simulací. To může být způsobeno nepřesným odhadem reálného zisku a také konstrukčními vlivy, kdy při vychýlení reflektoru dochází odrazení vlny trochu jiným směrem než je hlavní lalok vyzařování antény a tím dojde ke snížení zisku v hlavním vyzařovacím směru antény. Přesto je z odhadu zisku vidět, že se v měřeném kmitočtovém pásmu mění pouze o několik desetin dB a tudíž stejně jako v simulacích ho můžeme považovat za konstantní v celém zadaném kmitočtovém rozsahu 7,3 GHz až 8,6 GHz. To platí pro obě realizované antény.

Vyrobené antény splňují požadavek na pokrytí kmitočtového pásma. Bylo u nich dosaženo téměř konstantního zisku v celém kmitočtovém pásmu. Původní záměr vytvořit nízkoprofilovou anténu je zdánlivý. Anténa je sice umístěna ve vzdálenosti 6 mm od osy reflektoru, respektive 3,5 mm nad reflektorem, ale celková výška antény je 11 mm. V tomto rozměru je zahrnuta výška reflektoru 6 mm, vzdálenost antény od reflektoru 3,5 mm a tloušťka substrátu přibližně 1,5 mm. Čistá vzdálenost antény od nejhlubšího místa reflektoru je 8,5 mm. Původní vzdálenost reflektoru, která má být $\lambda/4$, tedy přibližně 9,4 mm, se použitím vlnitých reflektoru zkrátila pouze 0,9 mm.

7 LITERATURA

- [1] WU, Q., JIN, R., GENG, J., SU, D. On the performance of printed dipole antenna with novel composite corrugated-reflectors for low-profile ultrawideband applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2010, vol. 58, no. 12, p. 3839-3846.
- [2] CERNY, P. Optimization of UWB Dipole Feeding Circuits, [online]. Dostupné na WWW: < www.ieee.org >
- [3] Arlon 25N. Datasheet, Arlon, [online]. Dostupné na WWW: < www.arlon-med.com >
- [4] ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z., *Antény a šíření rádiových vln*. Skripta FEKT VUT, Brno 2003, ISBN 80-86056-47-3
- [5] PÍTRA, K., RAIDA, Z. Planar millimeter-wave antennas: A comparative study. *Radioengineering*, vol.20, no.1, April 2011
- [6] SOROKOSZ, L., ZIENIUTYCZ, W., PERGOL, M. Compact planar balun for the UWB dipole feeding network, [online]. Dostupné na WWW: < www.ieee.org >
- [7] PROCHÁZKA, M., *Antény encyklopedická příručka*, 3. rozšířené vydání, BEN Praha 2005. ISBN 80-7300-166-7.
- [8] KRAUS, J. D., MARHFKA, R.J., *Antennas for applications*, 3rd Edition. New York: McGraw - Hill, 2002.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

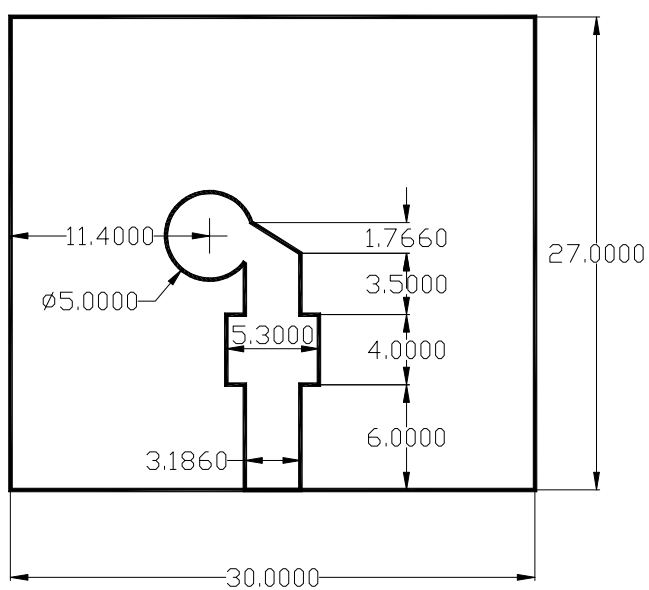
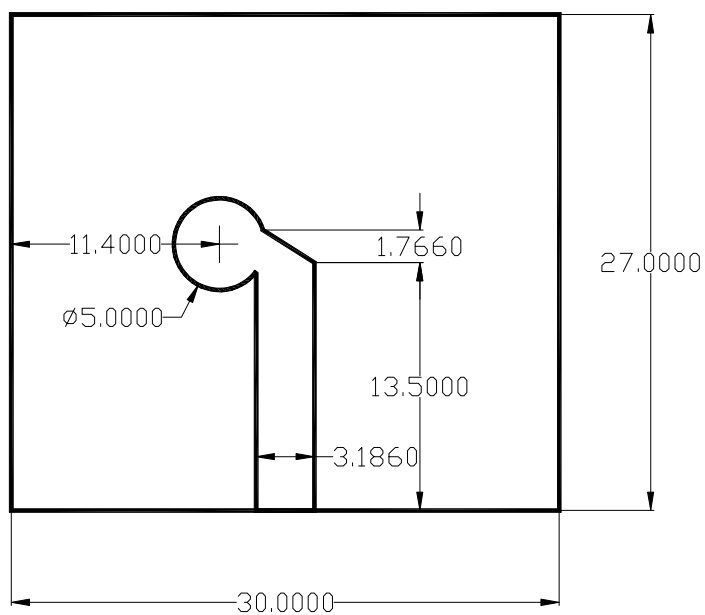
a	rozměr reflektoru
d	rozměr reflektoru
dB	decibel
f	frekvence
g	rozměr reflektoru
g_a	rozměr antény
H	rozměr reflektoru
L_a	rozměr antény
L_r	rozměr reflektoru
L_s	rozměr antény
PEC	perfektně elektricky vodivý materiál
$pokles$	rozměr reflektoru
PSV	poměr stojatých vln
S11	vstupní činitel odrazu
S12	přenos
TE	příčně elektrická vlna
TM	příčně magnetická vlna
u	osa pomocného souřadnicového systému ve směru x
UWB	(ultra-wideband) velmi široké pásmo
v	osa pomocného souřadnicového systému ve směru y
w	osa pomocného souřadnicového systému ve směru z
W_a	rozměr antény
W_c	rozměr antény
W_r	rozměr reflektoru
W_s	rozměr antény
x	osa souřadnicového systému ve směru x
y	osa souřadnicového systému ve směru y
z	osa souřadnicového systému ve směru z
Z11	vstupní impedance antény
ε_r	relativní permitivita

SEZNAM PŘÍLOH

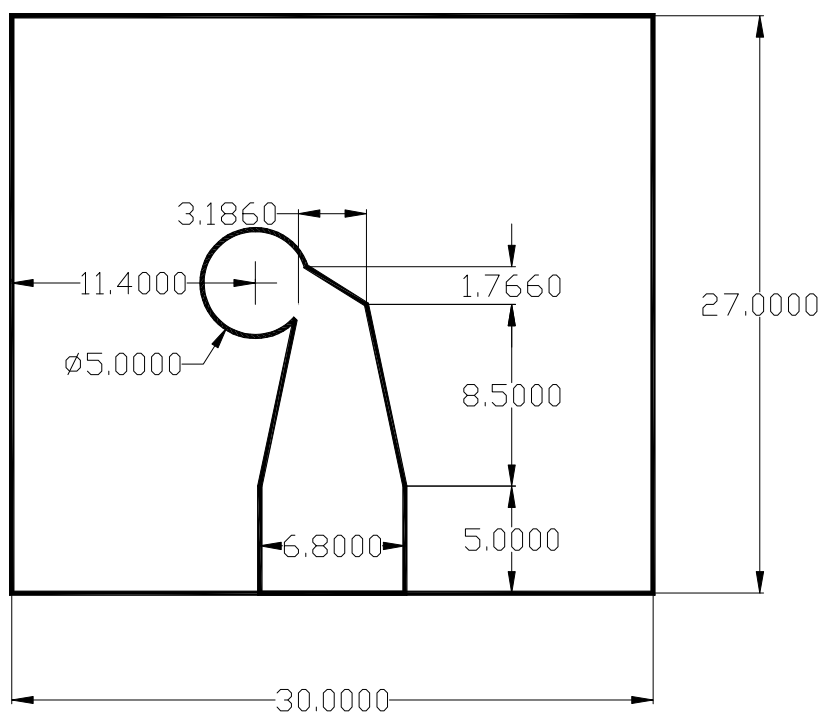
A	Výkresy antén.	63
A.1	Výkres horní vrstvy antény.....	63
A.2	Výkres spodní vrstvy antény.....	64
B	Výkres reflektoru	65
C	Fotky vyrobených antén	66

A VÝKRESY ANTÉN.

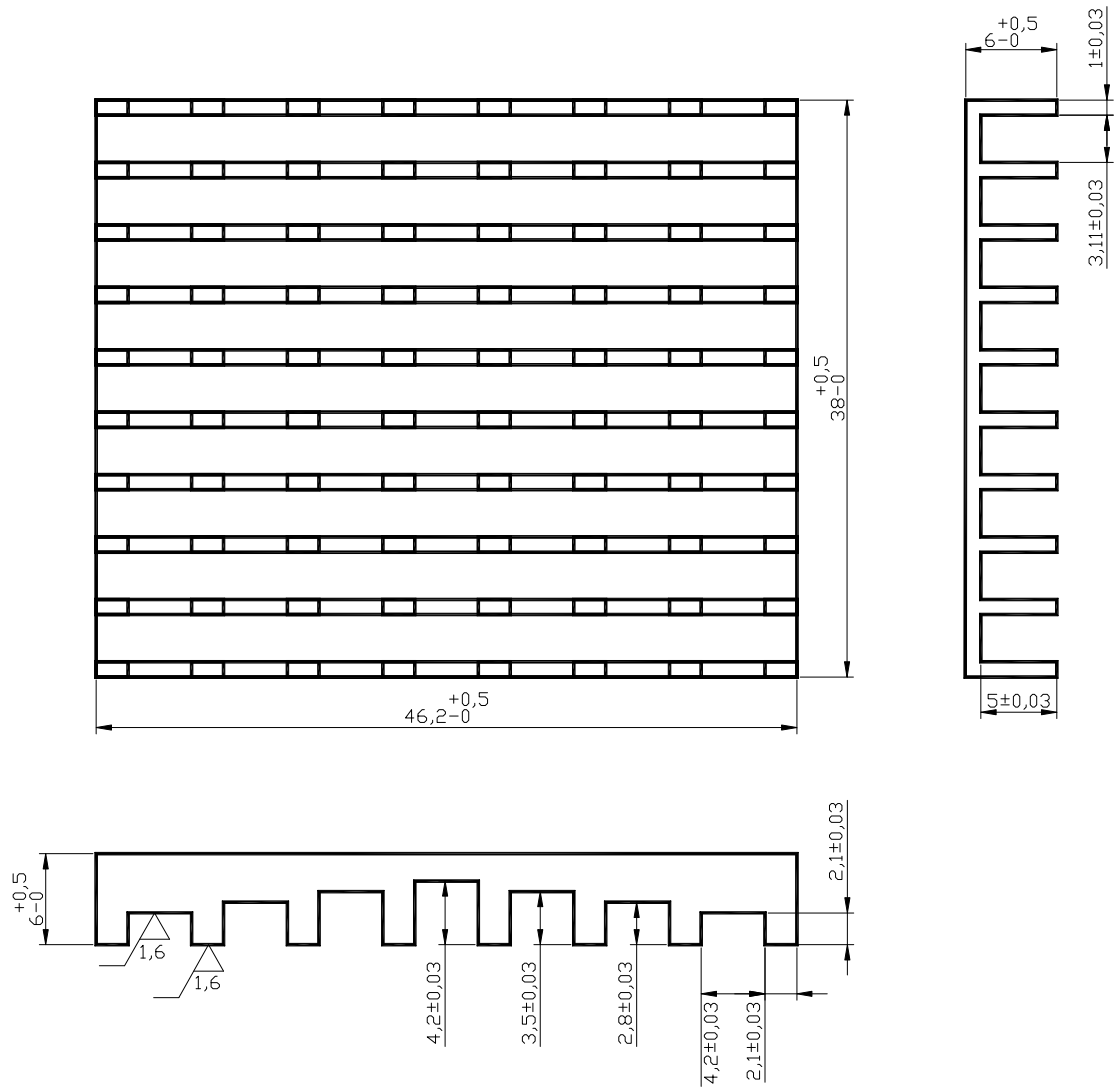
A.1 Výkres horní vrstvy antény



A.2 Výkres spodní vrstvy antény



B VÝKRES REFLEKTORU



C FOTKY VYROBENÝCH ANTÉN

