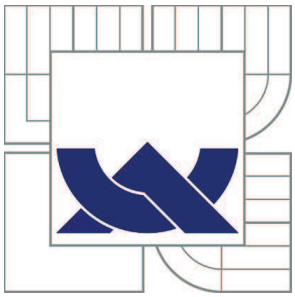
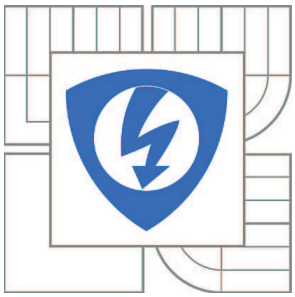


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MĚŘICÍ ANTÉNY PRO PÁSMA GSM A WI-FI

MEASURE ANTENNAS FOR GSM AND WI-FI BANDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

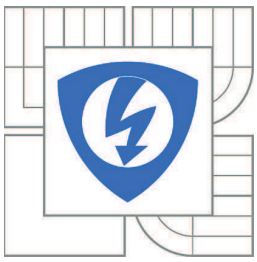
AUTOR PRÁCE — MARTIN HURT

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. TOMÁŠ MIKULÁŠEK

SUPERVISOR

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student:	Martin Hurt	***ID:***	125227
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Měřicí antény pro pásma GSM a Wi-Fi

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte princip činnosti, vlastnosti a postup návrhu antén pro pásma GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz a Wi-Fi 2400 MHz. Navrhněte, modelujte a optimalizujte měřicí antény pro zadaná pásma.

Výsledné struktury z předchozího kroku řešení realizujte a proměřte. Porovnejte a diskutujte výsledky měření s hodnotami získanými modelováním antén na počítači.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BALANIS, C. A. Antenna Theory : Analysis and Design. 2/E. New York : John Wiley & Sons, 1996. ISBN 0-471-59268-4.

[2] MATUSZCZYK, J. Antény prakticky. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-178-0.

Termín zadání:	6.2.2012	***Termín odevzdání:***	25.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mikulášek
Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
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

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem měřicích antén pro pásma GSM900, GSM1800 a Wi-Fi. V prvním kroku řešení jsou navrženy dvě antény pro pásma GSM900/GSM1800 a pro pásmo Wi-Fi pomocí programu CST Microwave Studio. Ve druhém kroku jsou obě antény zkonstruovány a porovnány s výsledky simulovaných antén. Změřené výsledky zrealizovaných antén jsou ovlivněny asymetrickými proudy. Možnosti odstranění těchto proudů jsou v práci detailně popsány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Anténa, GSM900, GSM1800, Wi-Fi, CST Microwave Studio.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design of the measure antennas for GSM900, GSM1800 and Wi-Fi bands. In the first step, the work is focused on the design of two antennas for GSM900/GSM1800 bands and for Wi-Fi band in the CST Microwave Studio. In the second step, both antennas are fabricated and validated by the measurements. The measured results of the realized antennas are affected by asymmetric currents. In the work, the possibilities of the eliminating of the currents are discussed in detail.

KEYWORDS

Antenna, GSM900, GSM1800, Wi-Fi, CST Microwave Studio.

Bibliografická citace

HURT, M. *Měřicí antény pro pásma GSM a Wi-Fi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 31 s., 4s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mikulášek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měřicí antény pro pásma GSM a Wi-Fi 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 vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Mikuláškovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne ....

(podpis autora)

OBSAH

OBSAH ..... **VI**

SEZNAM OBRÁZKŮ ..... **VIII**

SEZNAM TABULEK ..... **IX**

ÚVOD **1**

1 MIKROPÁSKOVÁ ANTÉNA **2**

1.1 Princip mikropáskové antény **2**

1.2 Tvary flíčků **3**

1.3 Napájení **4**

1.4 Základní parametry **5**
1.4.1 Rezonanční kmitočet a šířka pásma antény 5
1.4.2 Zisk 5
1.4.3 Vyzařovací charakteristika 6
1.4.4 Impedanční přizpůsobení 6

1.5 Některé další typy mikropáskových antén **6**
1.5.1 Mikropáskový dipól 6
1.5.2 Tištěné štěrbinové antény 6
1.5.3 PIFA anténa 6

2 NÁVRH MĚŘICÍ ANTÉNY **7**

2.1 Zdroj návrhu **7**

2.2 Výsledky simulace 3-pásmové antény **8**

2.3 Anténa pro pásma GSM **9**
2.3.1 Struktura antény 9
2.3.2 Výsledky simulací 11
2.3.3 Možné situace při nepřesné výrobě 13

2.4 Anténa pro pásmo Wi-Fi **14**
2.4.1 Struktura antény 14
2.4.2 Výsledky simulací 15
2.4.3 Možné situace při nepřesné výrobě 17

3 REALIZACE **19**

3.1 Výsledky navržených antén **19**

3.2 Asymetrické proudy **20**

4 ÚPRAVA ANTÉN 21

4.1 Použití feritu 21

4.2 Použití kotoučku (umělá zem) 21
4.2.1 Anténa pro pásma GSM 21
4.2.2 Výsledky měření antény pro pásma GSM 23
4.2.3 Anténa pro pásmo Wi-Fi 25
4.2.4 Výsledky měření antény pro pásmo Wi-Fi 26

5 ZÁVĚR 28

LITERATURA 29

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK 30

SEZNAM PŘÍLOH 31

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Popis flíčkové antény. 2
Obr. 1.2 Rozložení elektromagnetických sil na mikropáskové anténě. 2
Obr. 1.3 Tvary flíčků. 3
Obr. 1.4 Napájení mikropáskovým vedením. 4
Obr. 1.5 Napájení koaxiálním vedením. 4
Obr. 1.6 Napájení koaxiálním vedením (řez). 4
Obr. 1.7 Rezonanční charakteristika antény. 5
Obr. 2.1 Mikropásková anténa z databáze IEEE. 7
Obr. 2.2 Model antény z databáze IEEE v programu CST Microwave Studio. 8
Obr. 2.3 Charakteristika činitele odrazu v závislosti na frekvenci. 8
Obr. 2.4 Vyzařovací charakteristiky antény z databáze IEEE pro a) 0,9GHz, b) 1,8GHz a c) 2,4GHz. 9
Obr. 2.5 Rozložení proudu na anténě z databáze IEEE pro a)0,9GHz, b)1,8GHz a c)2,4GHz. 9
Obr. 2.6 Rozměry antény pro pásma GSM. 10
Obr. 2.7 Charakteristika činitele odrazu v závislosti na frekvenci pro GSM. 11
Obr. 2.8 Rozložení proudu na anténě a) GSM900 a b) GSM1800. 12
Obr. 2.9 3D vyzařovací charakteristiky pro anténu GSM: a) 0,9GHz a b) 1,8GHz. 12
Obr. 2.10 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H: a) GSM900 , b) GSM1800. 13
Obr. 2.11 Parametr s11 při změně šířky substrátu. 14
Obr. 2.12 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi. 15
Obr. 2.13 Charakteristika činitele odrazu v závislosti na frekvenci pro Wi-Fi. 16
Obr. 2.14 Rozložení proudu na anténě pro pásmo Wi-Fi. 16
Obr. 2.15 3D vyzařovací charakteristika na frekvenci 2,4GHz. 17
Obr. 2.16 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H pro frekvenci 2,4GHz. 17
Obr. 2.17 Parametr s11 při změně šířky substrátu. 18
Obr. 3.1 Parametr s11 pro pásma GSM. 19
Obr. 3.2 Parametr s11 pro pásmo Wi-Fi. 20
Obr. 4.1 Model antény pro pásma GSM v programu CST Microwave Studio. 22
Obr. 4.2 Rozměry antény pro pásma GSM. 22
Obr. 4.3 Rozměry kotoučku. 23
Obr. 4.4 Parametr s11 pro pásma GSM. 23
Obr. 4.5 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H: a) GSM900 , b) GSM1800. 24
Obr. 4.6 Model antény pro pásmo Wi-Fi v programu CST Microwave Studio. 25
Obr. 4.7 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi. 25
Obr. 4.8 Parametr s11 pro pásmo Wi-Fi. 26
Obr. 4.9 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H pro frekvenci 2,4GHz. 27
Obr. 1 Původní anténa pro pásma GSM. 34
Obr. 2 Původní anténa pro pásmo Wi-Fi. 34
Obr. 3 Optimalizovaná anténa pro pásma GSM. 34
Obr. 4 Optimalizovaná anténa pro pásmo Wi-Fi. 35
Obr. 5 Feritové kroužky. 35

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozměry antény z databáze IEEE. 7
Tabulka 2 Rozměry antény pro pásma GSM. 10
Tabulka 3 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi. 14
Tabulka 4 Rozměry antény pro pásma GSM. 22
Tabulka 5 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi. 25

ÚVOD

Pásma GSM900 a GSM1800 se používají pro mobilní služby a pásmo pro Wi-Fi se používá k internetovému přenosu dat. Tato pásma jsou dnes frekventovaně používaná, proto se pro ně vyrábějí nejrůznější druhy antén. Jsou to například antény typu Yagi, parabolické antény, mikropáskové, stacionární a další. Každá z těchto antén má jiné vlastnosti, ať už jde o jejich zisk, polarizaci nebo směr vyzařování. Byly nám kladeny požadavky na to, aby anténa pokryla všechna tři pásma, tzn. aby byla vícepásmová a všesměrová. Proto byla zvolena mikropásková anténa. Tato anténa také není příliš nákladná na výrobu a využívá se v mnoha odvětvích techniky. To jsou další důvody, proč byl zvolen právě tento typ antény.

Mikropásková anténa je dnes už téměř nepostradatelná, hlavně proto, že se vyskytuje v každém mobilním telefonu. Tyto antény vznikly z mikropáskových vedení a hlavní rozdíl mezi nimi je v tom, že u mikropáskového vedení jde o energii přenesenou po mikropásku a u antény nás zajímá především vyzářený výkon. Kvůli tomu se pro antény používají jiné substráty s co možná nejmenší permitivitou, u mikropáskových vedení se upřednostňuje vyšší hodnota permitivity. Vznik mikropáskových antén sahá do 50. let minulého století. Od té doby prošly řadou zlepšení. Hlavní požadavek byl kladen na malé rozměry a velký výkon, právě pro použití v mobilní technice. Avšak tyto antény se používají i jinde, například mají dobré využití v dopravní technice, u navigace. Díky jejich tvaru a pružnosti se připevňují na křídla letadel a vesmírných raket. Mohou být také součástí sortimentu vojenské techniky.

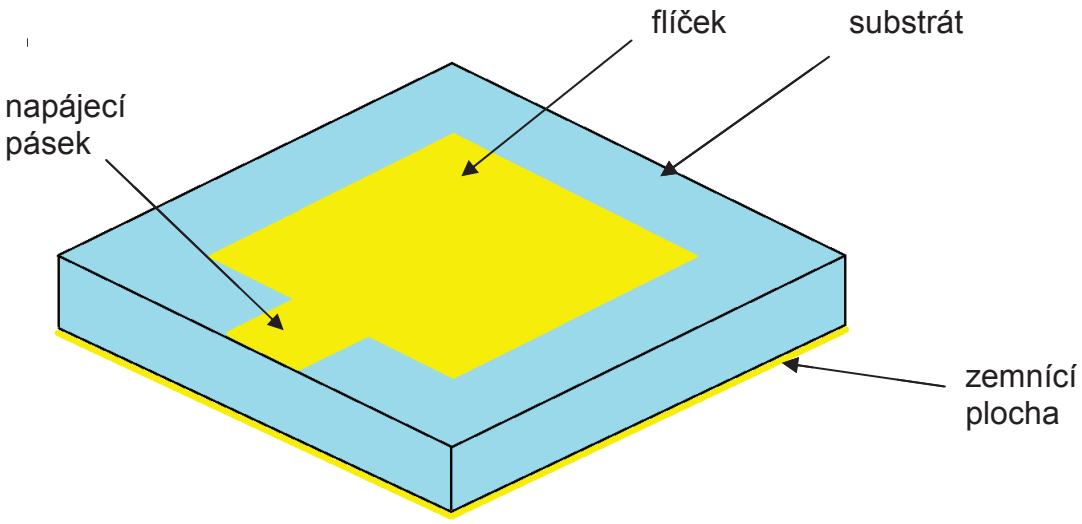
Cílem této práce je navrhnout mikropáskovou všesměrovou anténu pro pásma GSM900 (890-960 MHz), GSM1800 (1710-1880 MHz) a Wi-Fi (2412-2484 MHz). Všechna tato pásma se dnes běžně používají v mobilní technice.

1 MIKROPÁSKOVÁ ANTÉNA

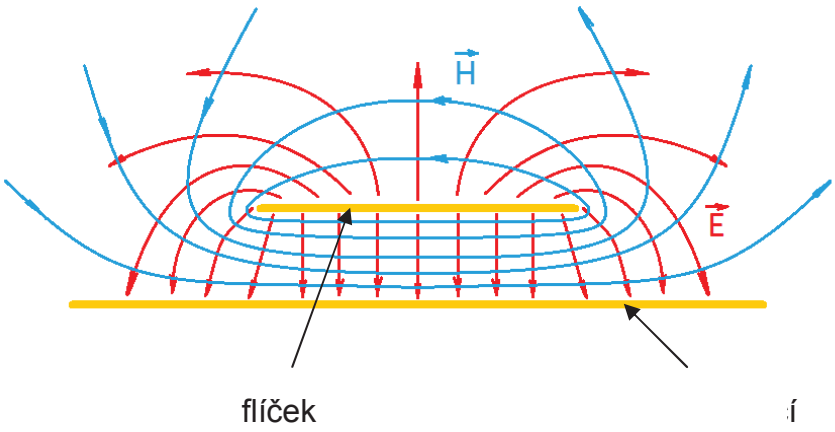
Mikropásková anténa, jak už bylo zmíněno v úvodu, je dnes žádána především díky svým rozměrům. Anténa se vyrábí z jednoho kusu materiálu a ten obsahuje substrát (u něj nás nejvíce zajímá hodnota permitivity ε_r a jeho tloušťka h), dále ze zemnící plochy (eng. "ground plane"), z flíčku (eng. "patch") a z napájení (to může být provedeno dvěma typy, s nimiž se seznámíme později). Nejznámější mikropáskovou anténou je flíčková anténa. Pro tento typ jsou ilustrovány všechny obrázky v první kapitole.

1.1 Princip mikropáskové antény

Na obr.1.1 vidíme flíčkovou anténu se čtvercovým motivem. Na jedné straně substrátu je motiv (flíček) a na druhé straně zemnící plocha.Ta by v ideálním případě měla mít nekonečně velké rozměry, ale při překročení určité velikosti je vliv na flíček minimální. Rozložení elektromagnetických sil můžeme vidět na obr.1.2.



Obr. 1.1 Popis flíčkové antény.

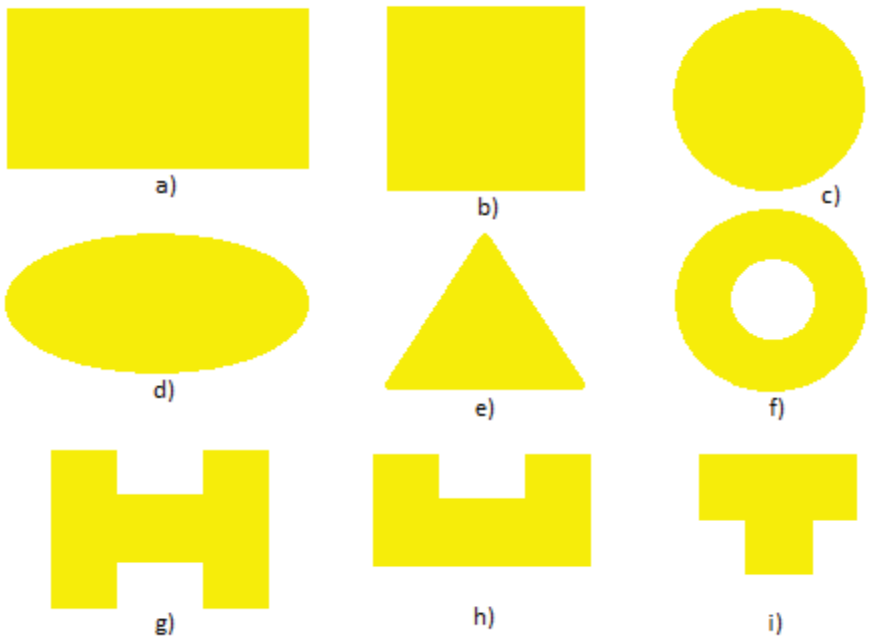


Obr. 1.2 Rozložení elektromagnetických sil na mikropáskové anténě.

Funkce antény je založena na hranách flíčku. Pokud vlna, která se šíří podél mikropáskového vedení, na takovou hranu narazí, dojde k vyzáření její energie do okolí této hrany. Tady můžeme vidět hlavní rozdíl mezi mikropáskovým vedením a anténou. Jestliže se šíří vlna v mikropáskovém vedení, žádná energie není vyzářena, protože v cestě mikropásku nenarazí na žádné hrany. Poté co je energie vyzářena do prostoru, vlna pokračuje k druhé hraně. Zde se energie také vyzáří a vlna putuje zpět k první hraně. Jestli je vzdálenost první a druhé hrany přibližně $\lambda_g/2$, anténa je v rezonanci. Anténa vyzařuje směrem od flíčku (kolmo).

1.2 Tvary flíčků

Tvarů může být mnoho. Nejznámější z nich můžeme pozorovat na obr.1.3.



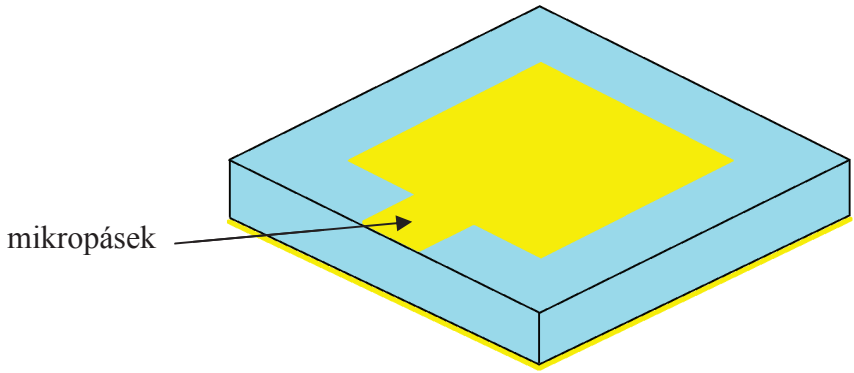
Obr. 1.3 Tvary flíčků.

Nejznámější z těchto motivů jsou první dva tvary (obr. 1.3a a obr. 1.3b). Obdélníkový flíček má délku l (tzv. rezonanční délka) a šířku w. Aby anténa rezonovala na požadovaném kmitočtu, musí být délka l rovna přibližně půlce vlnové délky tohoto kmitočtu. Šířkou w se ovlivňuje šířka pásma a impedanční přizpůsobení (viz. podkapitola 1.4.4).

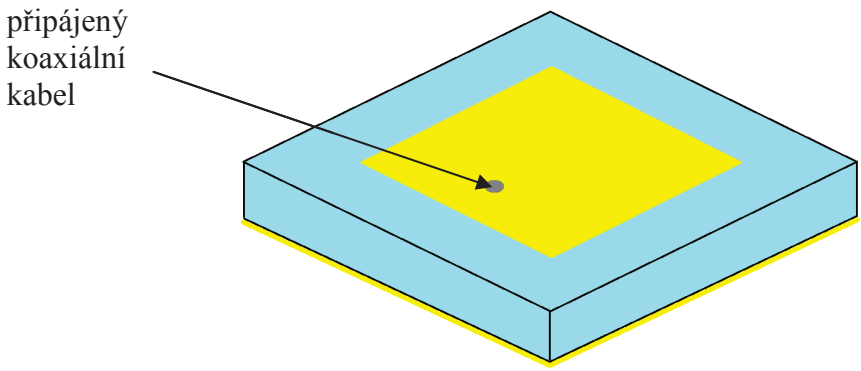
Dalšími tvary jsou kruhový a eliptický flíček (obr. 1.3c a obr. 1.3d). U kruhového flíčku může být změněn pouze jeden rozměr, tedy změnou jeho průměru se mění i rezonanční kmitočet. Trojúhelníkový flíček, který je na obr. 1.3e, se používá pro generování přesné kruhové polarizace. Jeho nevýhodou je, že je velice úzkopásmový. Zbylé motivy jsou méně časté.

1.3 Napájení

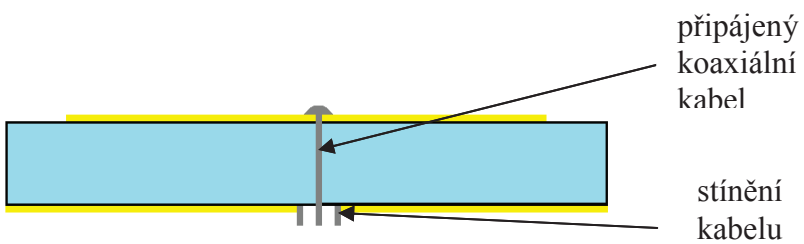
U napájení tohoto typu antén se většinou volí jeden ze dvou nejznámějších typů. Buďto použijeme mikropásku (obr.1.4) a nebo můžeme použít koaxiální kabel (obr.1.5 a obr.1.6). Mikropáskové napájení je lehčí na výrobu, leptá se na substrát spolu s motivem. U koaxiálního napájení se musí provrtat ve flíčku otvor, kam se připájí signálový kabel (na straně motivu) a stínění kabelu se připájí z druhé strany na zem antény. Umístění koaxiálního kabelu na anténu se musí spočítat, jelikož ovlivňuje její vlastnosti. Výhodou tohoto napájení je, že výrazně potlačuje parazitní vyzařování napájecího vedení. Ale jeho nevýhodou oproti mikropásku je, že antény, které jsou napájeny mikropáskem, se dají lehce integrovat do anténních soustav.



Obr. 1.4 Napájení mikropáskovým vedením.



Obr. 1.5 Napájení koaxiálním vedením.



Obr. 1.6 Napájení koaxiálním vedením (řez).

1.4 Základní parametry

U antén nás zajímá několik základních parametrů, a to:

1.4.1 Rezonanční kmitočet a šířka pásma antény

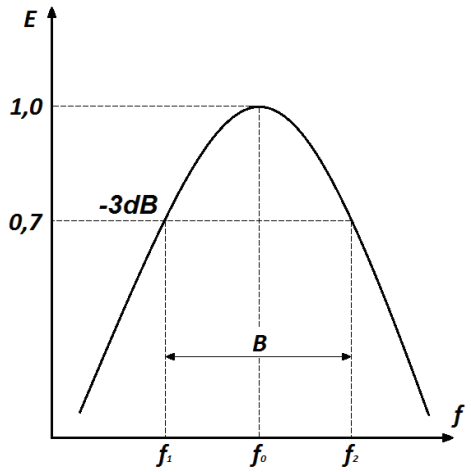
Anténa je otevřený rezonanční obvod, jehož indukčnost a kapacita jsou realizovány vodičem o délce L a průměru d ($L>>d$). Je-li anténa v rezonanci, musí být délka vodiče celistvým násobkem poloviny vlnové délky, neboli ekvivalentem obvodu RLC v rezonanci [1]. Vzájemnou závislost mezi kapacitou, indukčností a kmitočtem v rezonančním obvodu vyjadřuje rovnice (1) [2]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \tag{1}$$

Rezonanční kmitočet souvisí s šířkou přenášeného pásma. Toto pásmo je ohraničeno kmitočty f_1, f_2 a označuje se B. Pro šířku pásma platí vztah (2) [3]

$$B = f_2 - f_1. \tag{2}$$

Šířka pásma se z grafu odečítá pro pokles o 3dB proti maximální hodnotě. Na obr.1.7 je znázorněna tato vlastnost pro intenzitu E [1].



Obr. 1.7 Rezonanční charakteristika antény.

1.4.2 Zisk

Technicky řečeno se jedná o poměr mezi intenzitou vyzařování v daném směru k intenzitě vyzařování, kterou bychom obdrželi, kdyby energie přijatá anténou byla vyzářena rovnoměrně do všech směrů, tzv. izotropní anténou. Tu někdy v této definici také nahrazuje anténa dipólová [4]. Zisk se udává v decibelech a je dán logaritmem poměru napětí (E_1/E_0) nebo výkonu (P_1/P_0) na zátěži (přijímači), připojené jednak k měřené anténě a poté k anténě referenční, umístěné v tomtéž místě. Zisk se spočítá jako (3) [1].

$$G[dB] = 20log\frac{E_1}{E_0} = 10log\frac{P_1}{P_0}. \tag{3}$$

1.4.3 Vyzařovací charakteristika

U antén nás zajímají vyzařovací charakteristiky v horizontální a vertikální rovině. Jsou to úhly mezi dvěma hodnotami hlavního laloku, které odpovídají hodnotě 0,71 maximálního napětí, nebo -3dB vyzářeného maximálního výkonu.

1.4.4 Impedanční přizpůsobení

Impedanční přizpůsobení je jeden z nejdůležitějších parametrů antén. Znamená to, že např. mikropásek (mikropáskové napájení) musí být naladěn impedančně na stejnou hodnotu jako napájecí kabel. Nejznámější napájecí kabel je koaxiální kabel, který má impedanční hodnotu 50Ω. Kdyby tato podmínka nebyla splněna, ovlivnilo by to směrovou charakteristiku.

1.5 Některé další typy mikropáskových antén

Mikropáskových antén je několik druhů a dalších stále přibývá s rozvojem techniky. Flíčková anténa už byla zmíněna, teď si přiblížíme některé další typy:

1.5.1 Mikropáskový dipól

Od pravoúhlých flíčkových antén se odlišuje tím, že má jiný poměr délky k výšce. Šířka dipólu je obvykle menší než 0,05 λ_0 (délka vlny ve volném prostoru) [5]. Při shodném podélném rozložení proudu má vyzařovací charakteristiku stejnou jako flíček, avšak liší se v úrovni křížové polarizace, v šířce pásma a ve vyzařovacím odporu.Tento druh antény se používá pro vyšší frekvence. Další vlastností těchto antén je schopnost pokrývat velkou šířku pásma.

1.5.2 Tištěné štěrbinové antény

Tyto antény se skládají ze štěrbiny v podkladové desce substrátu, který je uzemněn. Jsou to všesměrové antény. Pokud bychom z nich chtěli udělat anténu vyzařující pouze do jednoho směru, použijeme odraznou desku na jedné straně štěrbiny. Pro nás už známé tvary (obr.1.3), které se vyrábějí pro flíčkovou anténu, mohou být realizovány formou tištěné štěrbiny (prakticky jakéhokoliv průřezu). V praxi se ale používají jen základní tvary, jsou to: obdélníková a kruhová štěrbina, obdélníkový prstenec a zužující se štěrbina. Napájení je buď řešeno mikropáskem nebo koplanárním vlnovodným vedením.

1.5.3 PIFA anténa

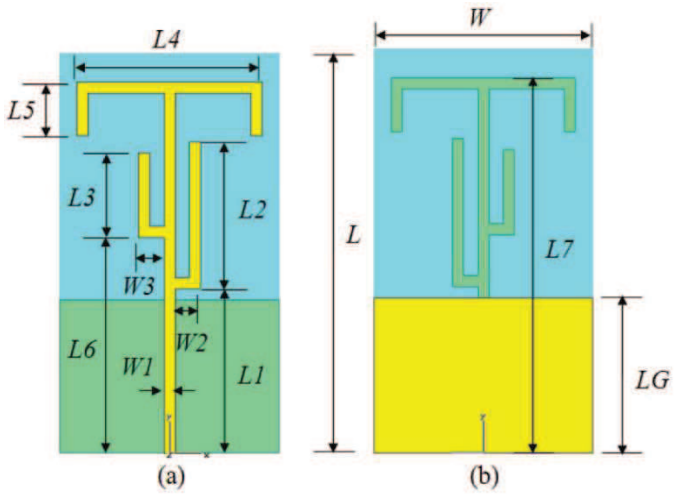
Dalším dnes velice používaným typem antén jsou antény typu PIFA (Planar Inverted-F Antenna) [6], která je montována do různých druhů komunikačních zařízení (asi nejčastější u mobilních telefonů, nemusí být vždy mikropásková). Tato anténa je vícepásmová, většinou se konstruuje pro tři a více pásem, ale čím víc pásem, tím je její návrh výrazně složitější. Její složení je stejné jako u ostatních mikropáskových antén - zem, substrát a motiv, ale u této antény je substrátem jak materiál, tak vzduch, který má permitivitu 1. Dobrého přizpůsobení na požadovaný kmitočet se dosahuje pomocí zkratů nebo výřezy do motivu.

2 NÁVRH MĚŘICÍ ANTÉNY

Za úkol bylo navrhnout a odsimulovat antény pro pásma GSM a Wi-Fi. Antény byly simulovány v programu CST Microwave Studio. Postup řešení odhalují následující odstavce.

2.1 Zdroj návrhu

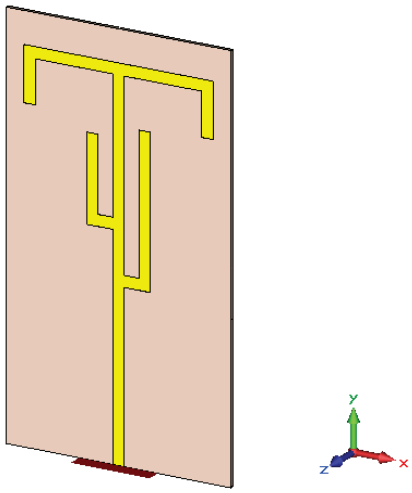
V databázi IEEE byla vyhledána 3-pásmová všesměrová anténa [5], která pokrývala všechna tři požadovaná pásma (obr.2.1 a obr.2.2). Rozměry antény jsou v tabulce 1. Jelikož tato anténa byla navržena na substrát RT Duroid 5880 (ε_r = 2,2, h = 0,787mm a $tg\delta$ = 0,0009), musela být upravena, jelikož výsledná anténa bude vyrobena ze substrátu Arlon 25N (ε_r = 3,38, h = 1,524 mm).



Obr. 2.1 Mikropásková anténa z databáze IEEE.

Tabulka 1 Rozměry antény z databáze IEEE.

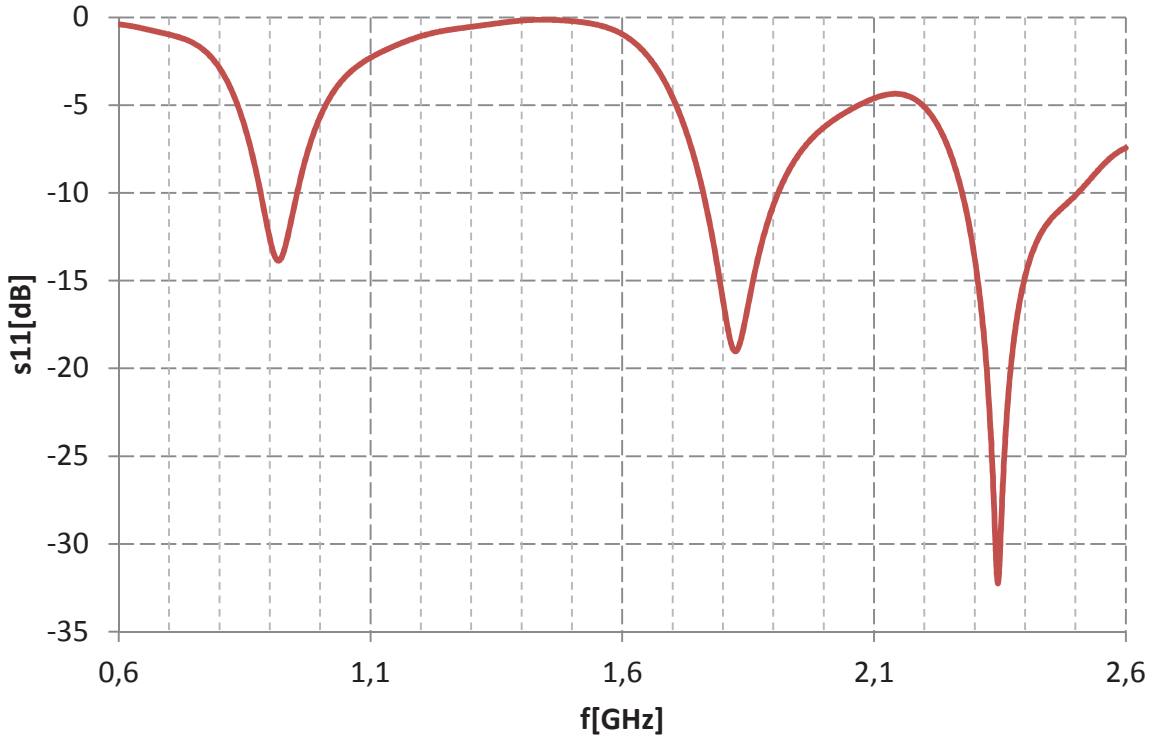
Parametr	L	W	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	W1	W2	W3	LG
Velikost [mm]	90	50	37	33	19	42	12	48,5	84	2,5	5,75	5,75	34,5



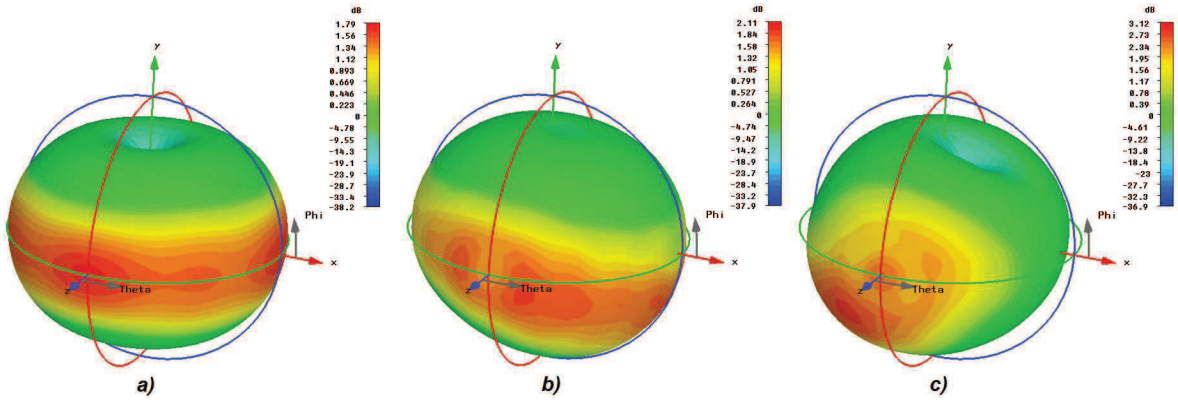
Obr. 2.2 Model antény z databáze IEEE v programu CST Microwave Studio.

2.2 Výsledky simulace 3-pásmové antény

Anténa z databáze IEEE byla odsimulována v programu CST Microwave Studio (při simulaci byl použit původní substrát RT Duroid 5880). Charakteristika s11 (obr. 2.3) přibližně splňuje naše požadavky (rezonanční kmitočty a šířky pásem, které byly odečteny na hodnotě -10dB). Ale vyzařovací charakteristiky, konkrétně pro rezonanční kmitočty 1,8 a 2,4GHz, nesplňují podmínku všesměrovosti pro horizontální rovinu (rovina ZX). Tento problém je ilustrován na obr.2.4.

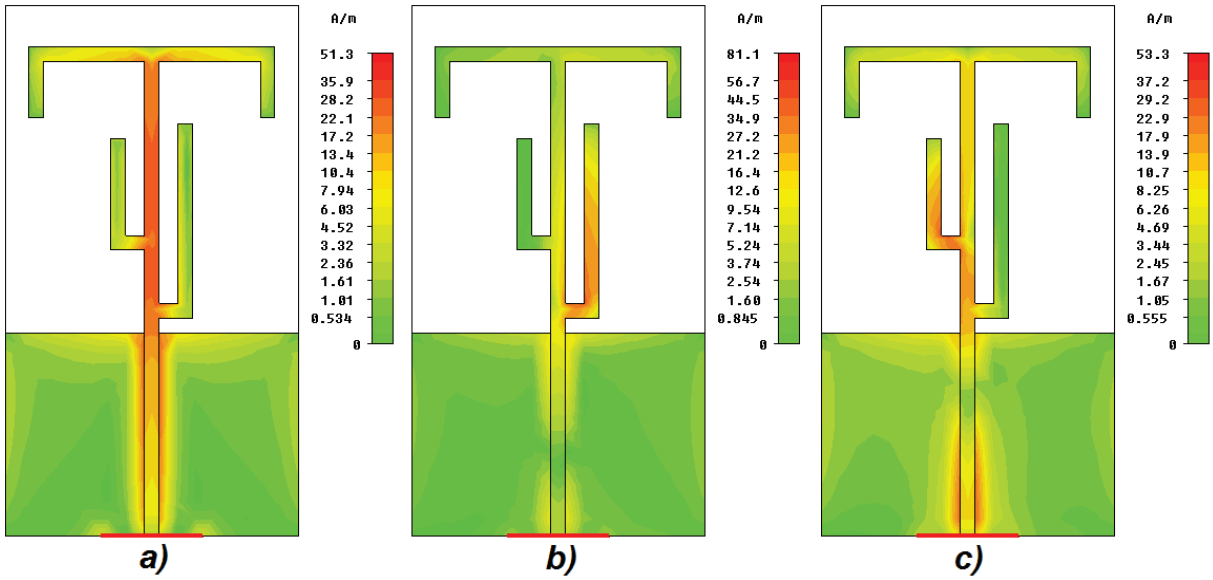


Obr. 2.3 Charakteristika činitele odrazu v závislosti na frekvenci.



Obr. 2.4 Vyzařovací charakteristiky antény z databáze IEEE pro a) 0,9GHz, b) 1,8GHz a c) 2,4GHz.

Na obr. 2.5 jsou znázorněny proudy na této anténě pro představu, ve kterých místech jaký rezonanční kmitočet vyzařuje. Na rezonančním kmitočtu 0,9GHz anténa rezonuje na hlavním mikropásku o délce 49,5mm (*L7-LG*), který je zakončen kapacitní vazbou (*L4*). Další rezonanční kmitočet 1,8GHz rezonuje v oblasti pravého "pahýlku" (o délce *L2*). Poslední rezonanční kmitočet 2,4GHz rezonuje v oblasti "levého" pahýlku (o délce *L3*). Aby bylo dosaženo všesměrovosti v horizontální rovině, musí být anténa osově souměrná podle hlavního mikropásku (viz. následující podkapitola).



Obr. 2.5 Rozložení proudu na anténě z databáze IEEE pro a)0,9GHz, b)1,8GHz a c)2,4GHz.

2.3 Anténa pro pásma GSM

2.3.1 Struktura antény

Oproti původní anténě (z databáze IEEE), je tato anténa osově souměrná, tím bylo dosaženo požadované všesměrovosti v horizontální rovině. Chybí zde "pahýlky" o délce *L5* z původní antény (obr. 2.1), jelikož anténu nijak neovlivňují. A "pahýlek" kde anténa rezonovala na kmitočtu 2,4GHz, byl nahrazen osově souměrným "pahýlkem" pro 1,8GHz aby bylo dosaženo všesměrovosti v horizontální rovině.

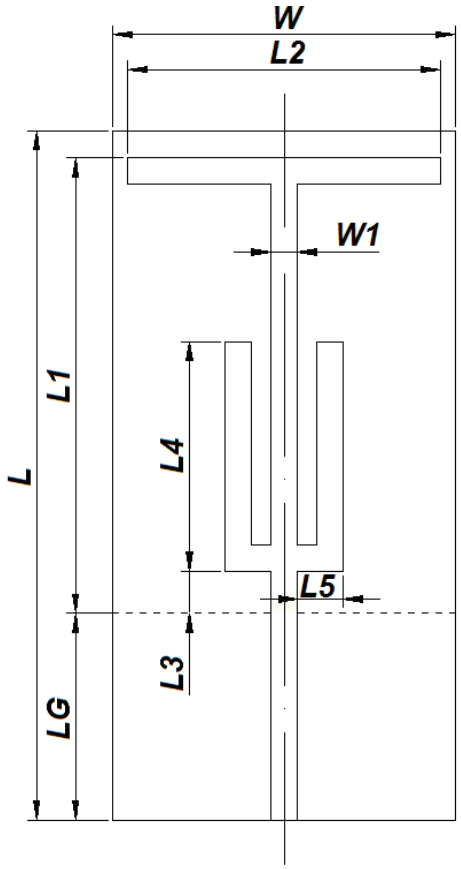
Pro anténu z databáze IEEE byl v programu CST Microwave Studio změněn substrát z původního (RT Duroid 5880) na požadovaný (Arnol 25N). Parametry antény se samozřejmě změnily z důvodu různé permitivity obou substrátů. Ze vzorové antény víme, že na délce *L7-LG* bude anténa rezonovat na kmitočtu 900MHz (zde bude délka hlavního mikropásku označována jako *L1*). Ze vzorce (4) [7]

$$L1 = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4*f*\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{3*10^8}{4*9*10^8*\sqrt{3,38}} = 0,045m \tag{4}$$

byla vypočítána výchozí délka *L1*. Ostatní rozměry byly zjištěny postupnými změnami hodnot parametrů a simulacemi. Tímto způsobem byla anténa vyladěna na oba dané kmitočty, při tom musela být zajištěna šířka pásma, aby pokryla celý svůj rozsah, a tvar vyzařovací charakteristiky. Rozměry první antény jsou zapsány v tabulce 2 (*h* - tloušťka substrátu, *hg* - tloušťka pokovení) a anténa je na obr. 2.6.

Tabulka 2 Rozměry antény pro pásma GSM.

Parametr	L	W	L1	L2	L3	L4	L5	W1	LG	h	hg
Velikost [mm]	90	45	51	41	5,5	33,5	5	3,5	27	1,524	0,06



Obr. 2.6 Rozměry antény pro pásma GSM.

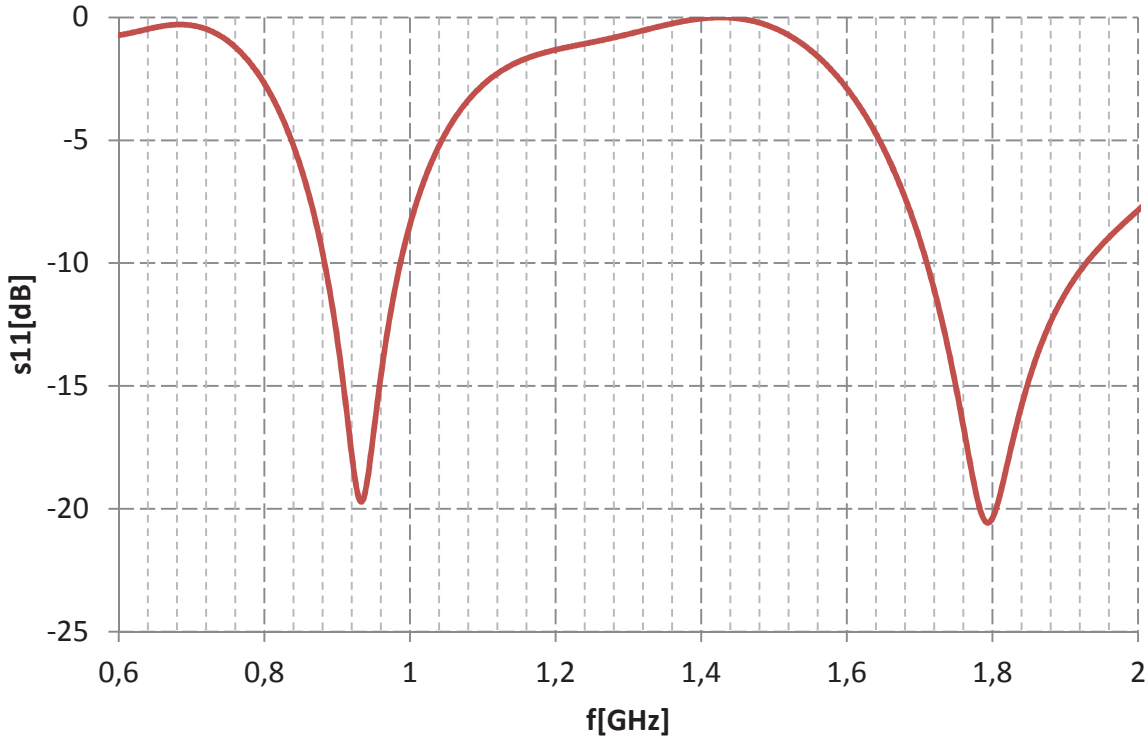
2.3.2 Výsledky simulací

Všechny simulace probíhaly už i se zakresleným konektorem typu SMA Female. Na obr. 2.7 je znázorněna charakteristika činitele odrazu σ v *dB* (dále už jen s11) v závislosti na frekvenci *f*. Z této charakteristiky může být odečtena rezonanční frekvence a šířka pásma. První rezonance se objevuje na frekvenci 0,92GHz s činitelem odrazu -17,56dB. Šířka pásma byla odečítána na -10dB. První pásmo je vypočteno z frekvencí f_1=0,89GHz a f_2=0,98GHz, z těchto údajů může být spočítána šířka pásma (5).

$$B = f_2 - f_1 = 0{,}98 * 10^9 - 0{,}89 * 10^9 = 90MHz \tag{5}$$

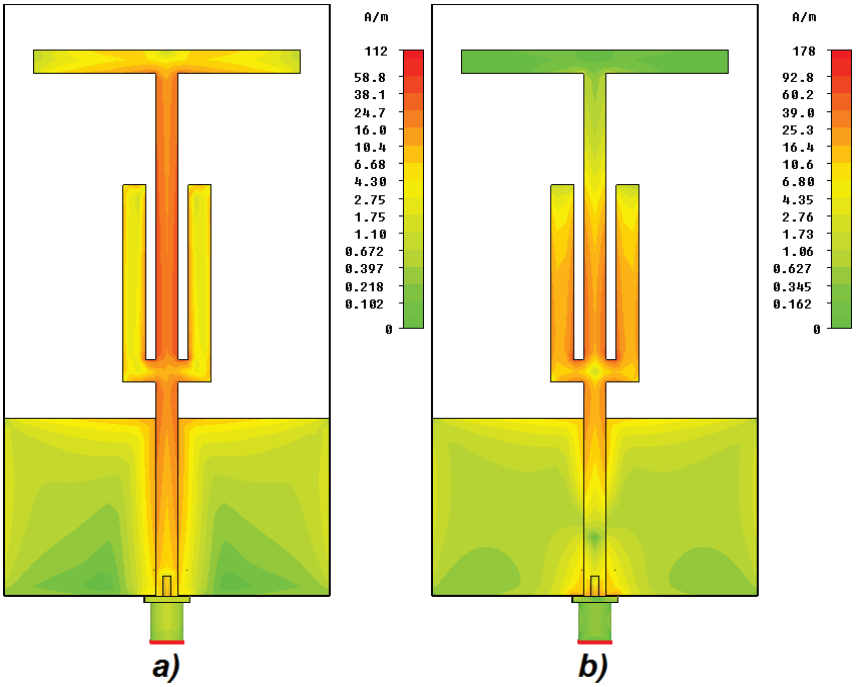
Druhý rezonanční kmitočet se objevuje na frekvenci 1,8GHz s činitelem odrazu -18,98dB. Šířka pásma je vypočtena z frekvencí f_1=1,72GHz a f_2=1,93GHz (6).

$$B = f_2 - f_1 = 1{,}93 * 10^9 - 1{,}72 * 10^9 = 210MHz\,. \tag{6}$$



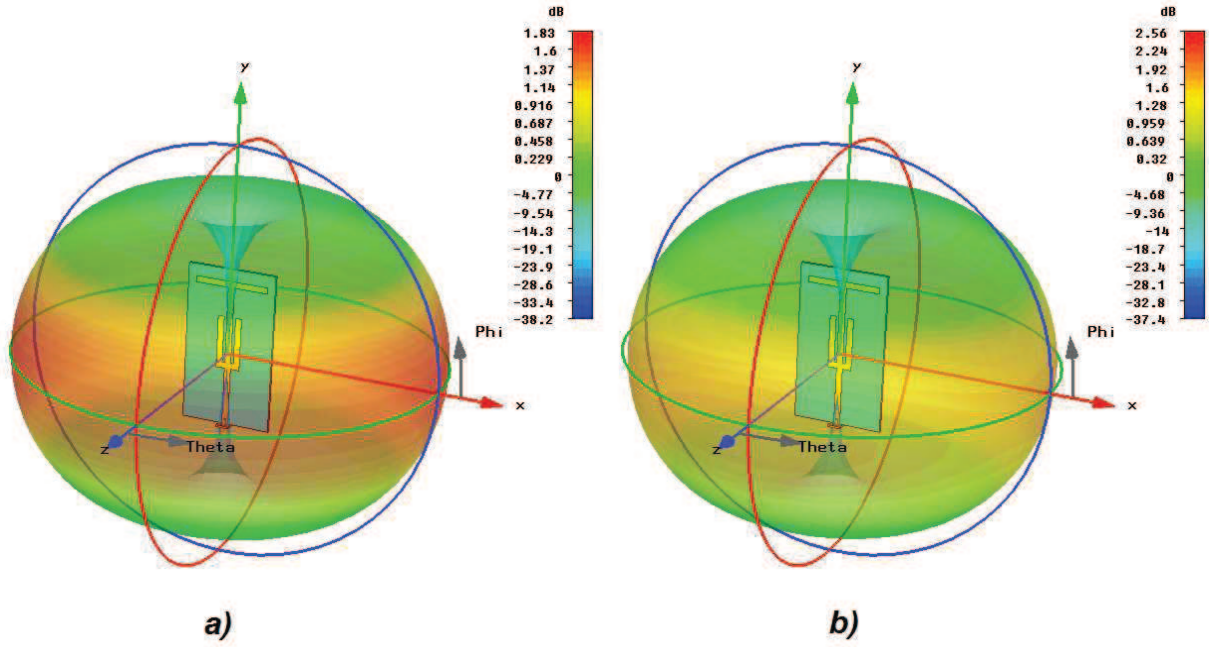
Obr. 2.7 Charakteristika činitele odrazu v závislosti na frekvenci pro GSM.

Na obrázku (obr. 2.8) lze vidět rozložení proudů při rezonanci. Na prvním z nich (obr. 2.8a) je znázorněno rozložení proudu na frekvenci 0,9GHz. Při této frekvenci anténa rezonuje podél hlavního mikropásku. Na obr. 2.8b je zobrazeno rozložení proudu na anténě při frekvenci 1,8GHz. Při této frekvenci anténa rezonuje mezi "pahýlky" a hlavním mikropáskem.

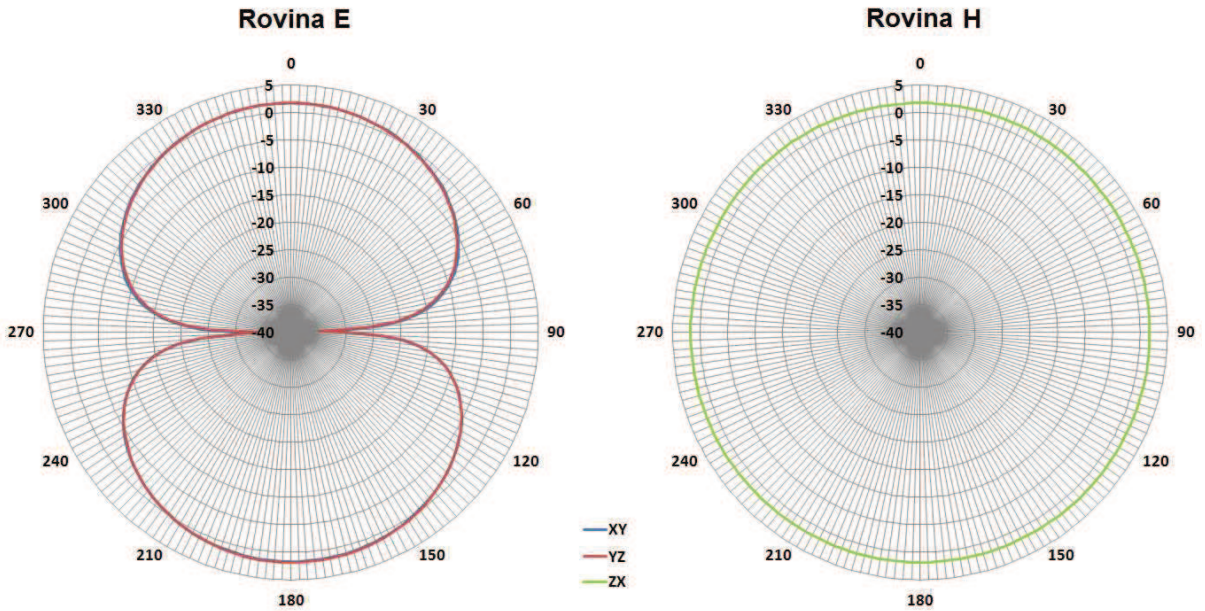


Obr. 2.8 Rozložení proudu na anténě a) GSM900 a b) GSM1800.

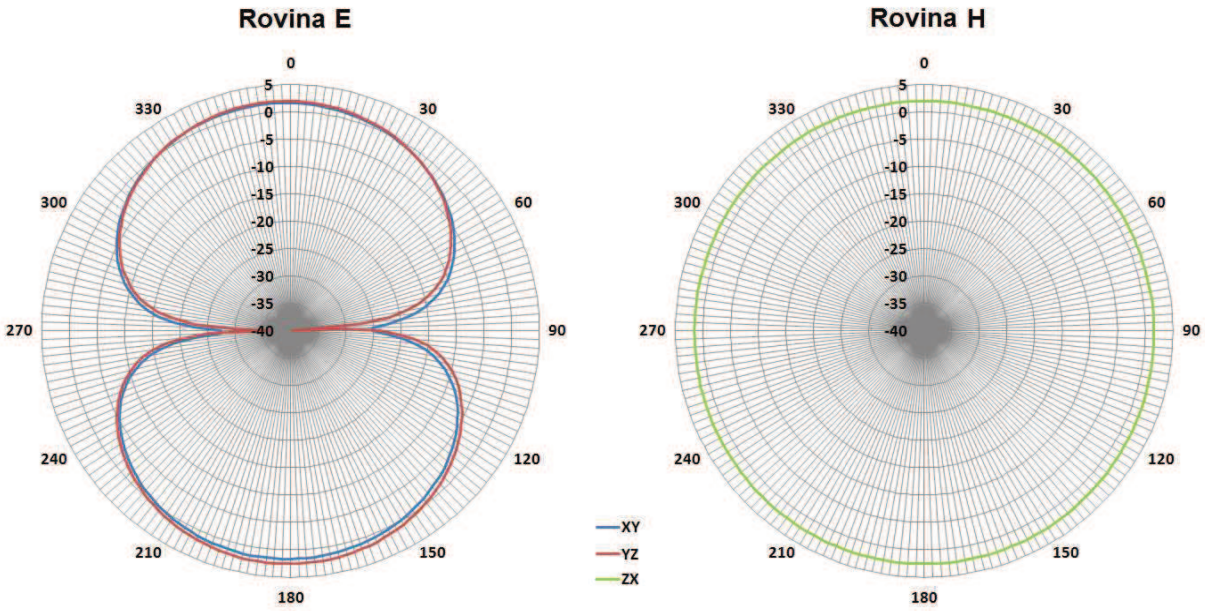
Dalším důležitým výsledkem jsou vyzařovací charakteristiky antény. Na obr. 2.9 jsou zobrazeny 3D vyzařovací charakteristiky, na nichž může být nejlépe prezentováno, jak anténa vyzařuje. Anténa pro frekvenci 0,9GHz má maximální zisk 1,83dBi, a to po celém obvodu ve směru théta. Pro frekvenci 1,9GHz je maximální zisk antény 2,56dBi. Pro tuto frekvenci není všesměrovost v horizontální rovině tak dobrá jako pro předchozí. Anténa nejlépe září ve směru osy z, v ostatních směrech je hodnota zisku menší. Tento pokles je lépe vidět na vyzařovací charakteristice v rovině ZX (obr. 2.10).



Obr. 2.9 3D vyzařovací charakteristiky pro anténu GSM: a) 0,9GHz a b) 1,8GHz.



a)

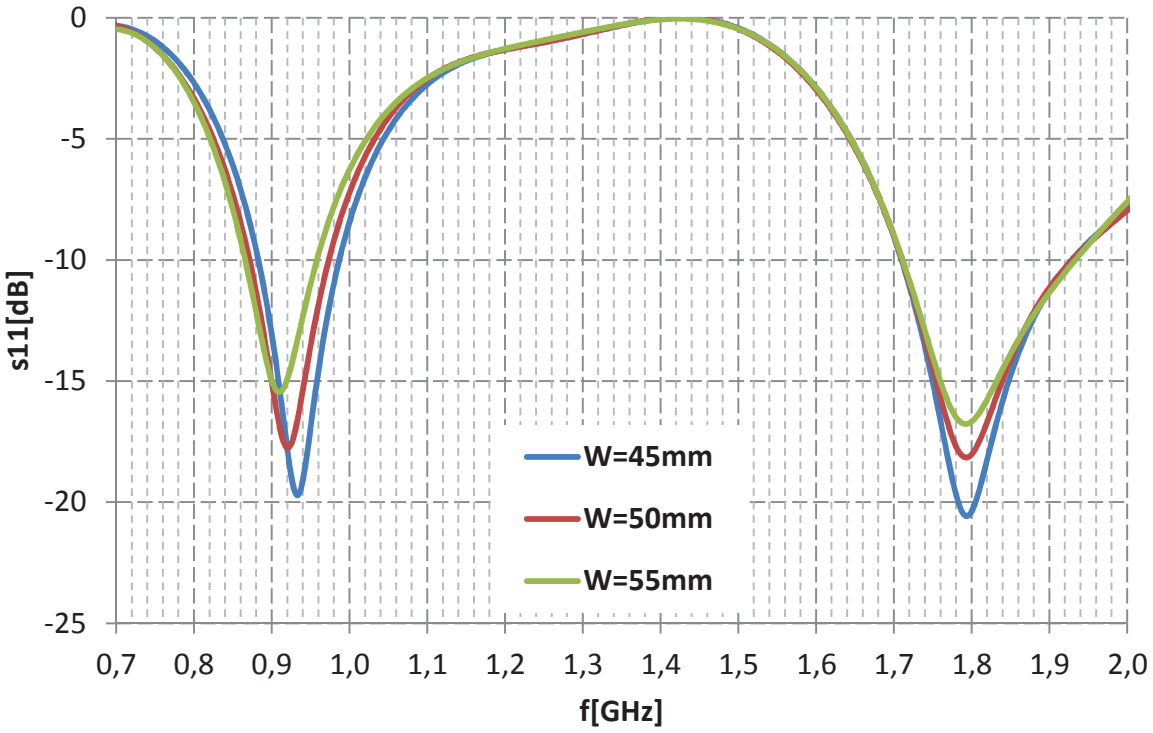


b)

Obr. 2.10 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H: a) GSM900 , b) GSM1800.

2.3.3 Možné situace při nepřesné výrobě

Možné změny charakteristiky činitele odrazu při nepřesné výrobě antény ilustruje obr. 2.11. Vyšetřovaným parametrem je šířka substrátu (parametr *W*). Při výrobě může dojít k nepřesnému opracování hran substrátu a to může změnit vlastnosti antény. Z vyšetřované charakteristiky je zřejmé, že změny nejsou nijak výrazné.



Obr. 2.11 Parametr s11 při změně šířky substrátu.

2.4 Anténa pro pásmo Wi-Fi

2.4.1 Struktura antény

Pro toto pásmo bylo zvažováno i jiného typu antény než mikropáskové, ale kvůli snadné výrobě a zachování myšlenky této práce, byla zvolena anténa stejného typu.

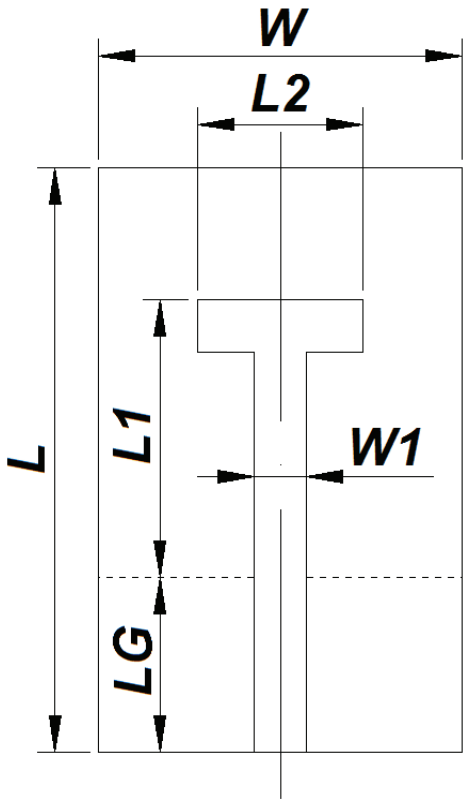
V prvním kroku byla spočítána délka hlavního mikropásku $L1$ (7)

$$L1 = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4*f*\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{3*10^8}{4*2{,}4*10^9*\sqrt{3{,}38}} = 0{,}017m. \quad (7)$$

Z této hodnoty se znovu vycházelo. Výsledné rozměry druhé antény jsou uvedeny v tabulce 3 a anténa je na obr. 2.12.

Tabulka 3 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi.

Parametr	L	W	L1	L2	W1	LG	h	hg
Velikost [mm]	40	25	22,85	11,4	3,6	12	1,524	0,06

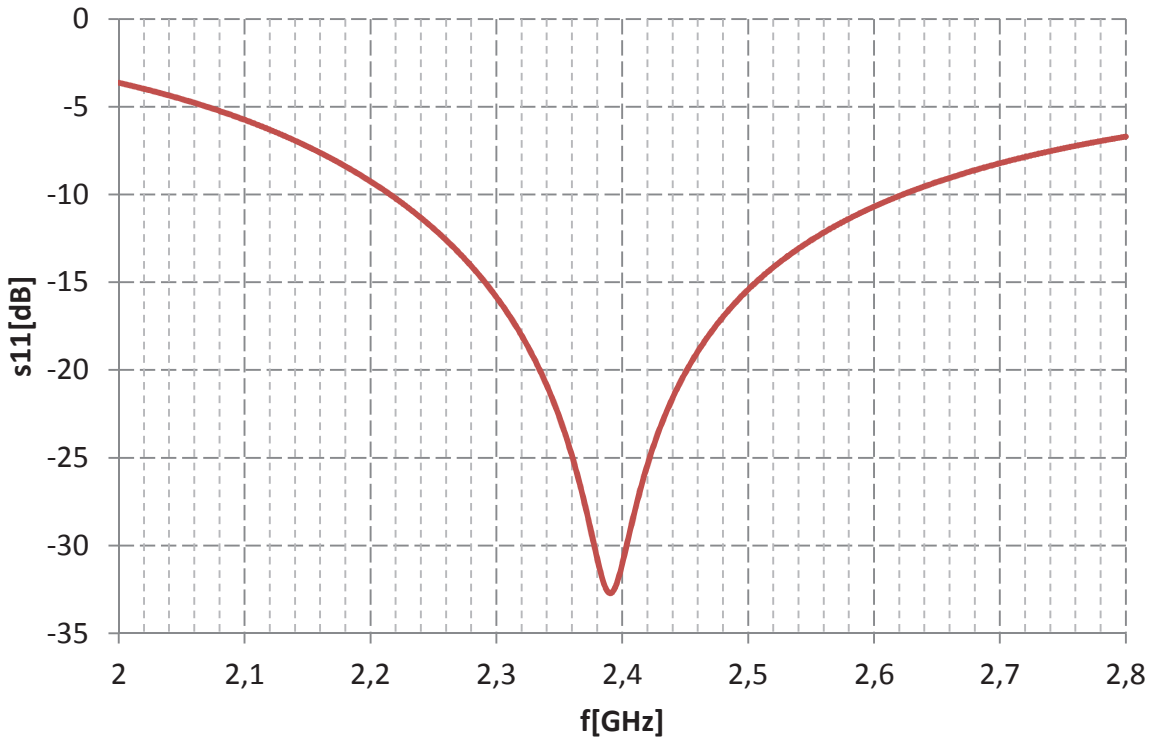


Obr. 2.12 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi.

2.4.2 Výsledky simulací

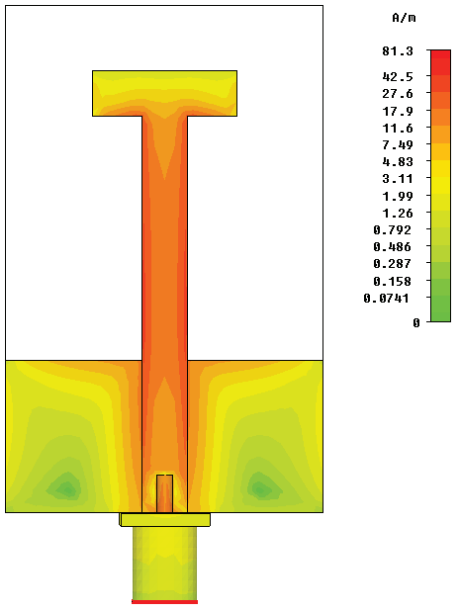
Anténa pro pásmo Wi-Fi byla vyladěna na kmitočet 2,39GHz, a to při činiteli odrazu -33,2dB (obr. 2.13). Z frekvencí f_1=2,25GHz a f_2=2,66 (frekvence na hodnotě s11= -10dB, stejně jako u antény pro GSM pásma) byla spočítána šířka pásma (8)

$$B = f_2 - f_1 = 2{,}66 * 10^9 - 2{,}25 * 10^9 = 410MHz. \quad (8)$$



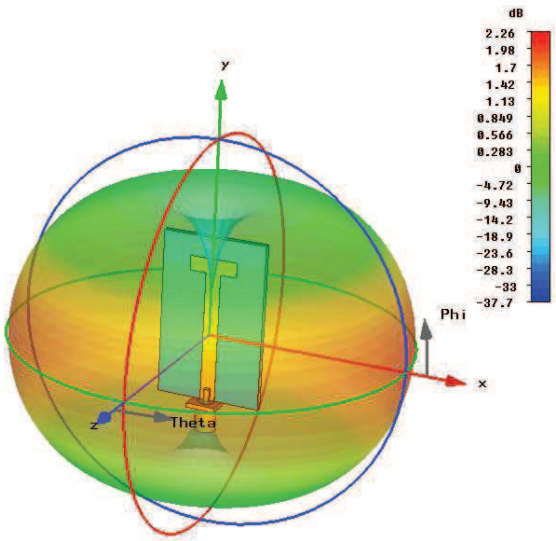
Obr. 2.13 Charakteristika činitele odrazu v závislosti na frekvenci pro Wi-Fi.

Rozložení proudu na této anténě je obdobné jako u antény pro GSM pásma (přesněji pro rezonanční kmitočet 0,9GHz). To je zřejmé z obr. 2.14.

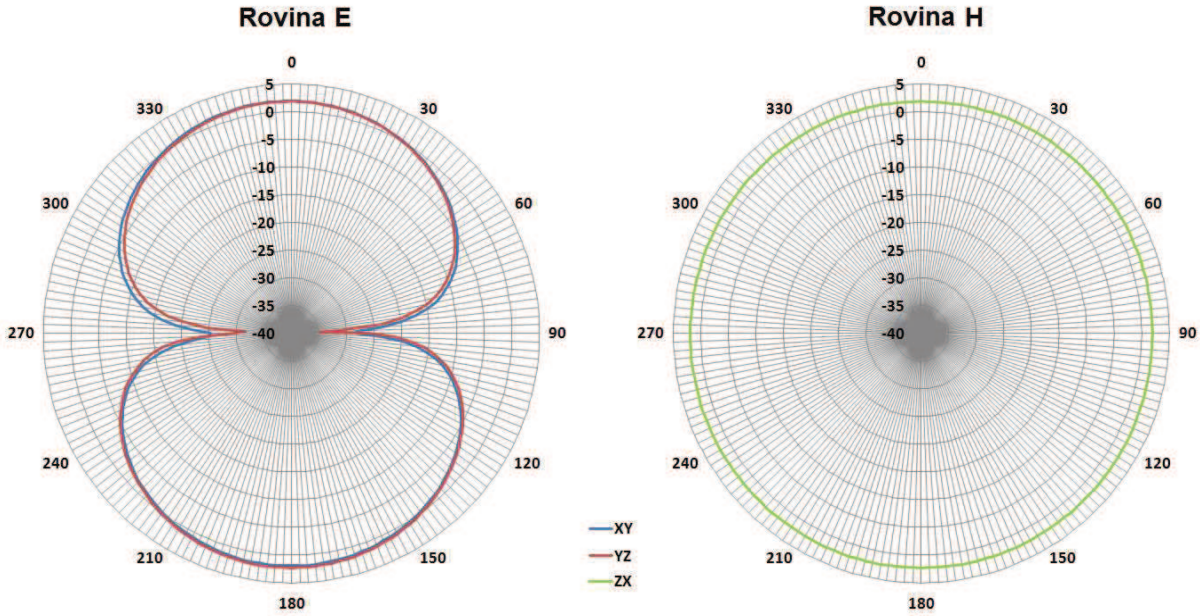


Obr. 2.14 Rozložení proudu na anténě pro pásmo Wi-Fi.

Vyzařovací charakteristika je v horizontální rovině ideálně všesměrová (obr. 2.15). Maximální zisk dosahuje hodnoty 2,26dBi a nejnižší zisk v rovině ZX je 1,8dBi (obr. 2.16). Anténa září nejsilněji ve směru osy *z*.



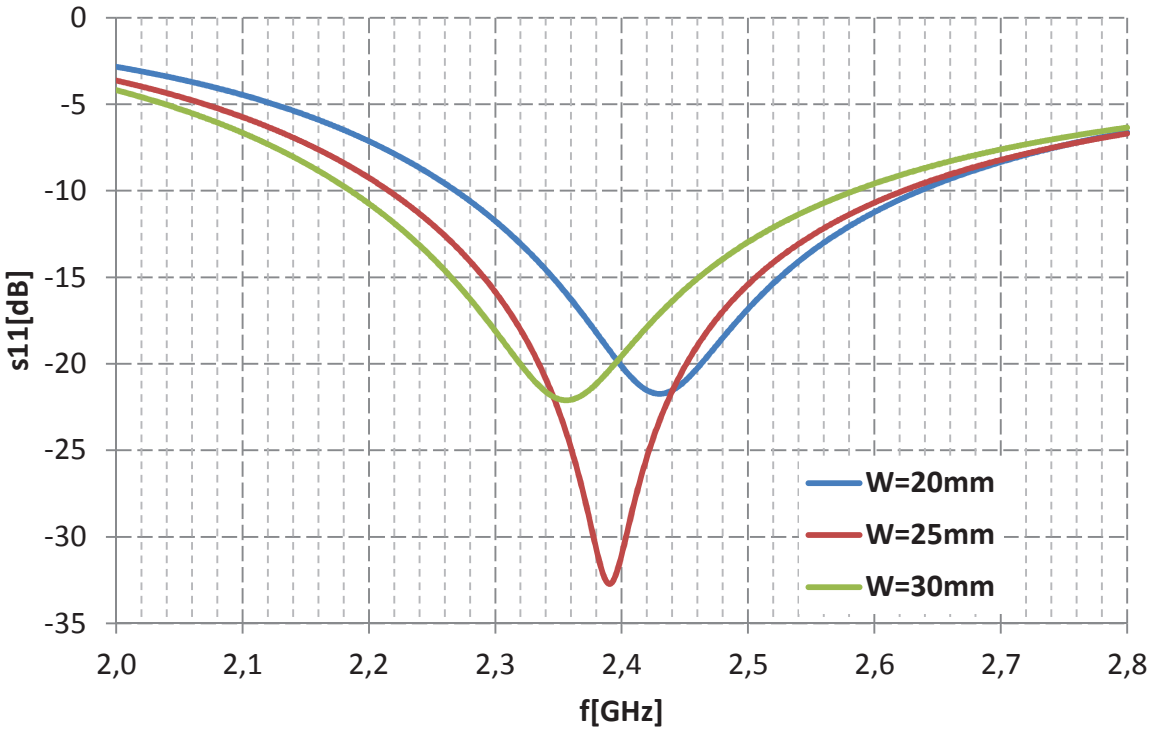
Obr. 2.15 3D vyzařovací charakteristika na frekvenci 2,4GHz.



Obr. 2.16 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H pro frekvenci 2,4GHz.

2.4.3 Možné situace při nepřesné výrobě

U této antény byl také vyšetřován vliv změny šířky substrátu na charakteristiku s11. Původní šířka substrátu (W=25mm) byla zvětšena a po té zmenšena o 5mm. Vliv této změny na charakteristiku s11 zobrazen na obr. 2.17. Ani u této antény nemá změna šířky substrátu velký vliv na její vlastnosti.



Obr. 2.17 Parametr s11 při změně šířky substrátu.

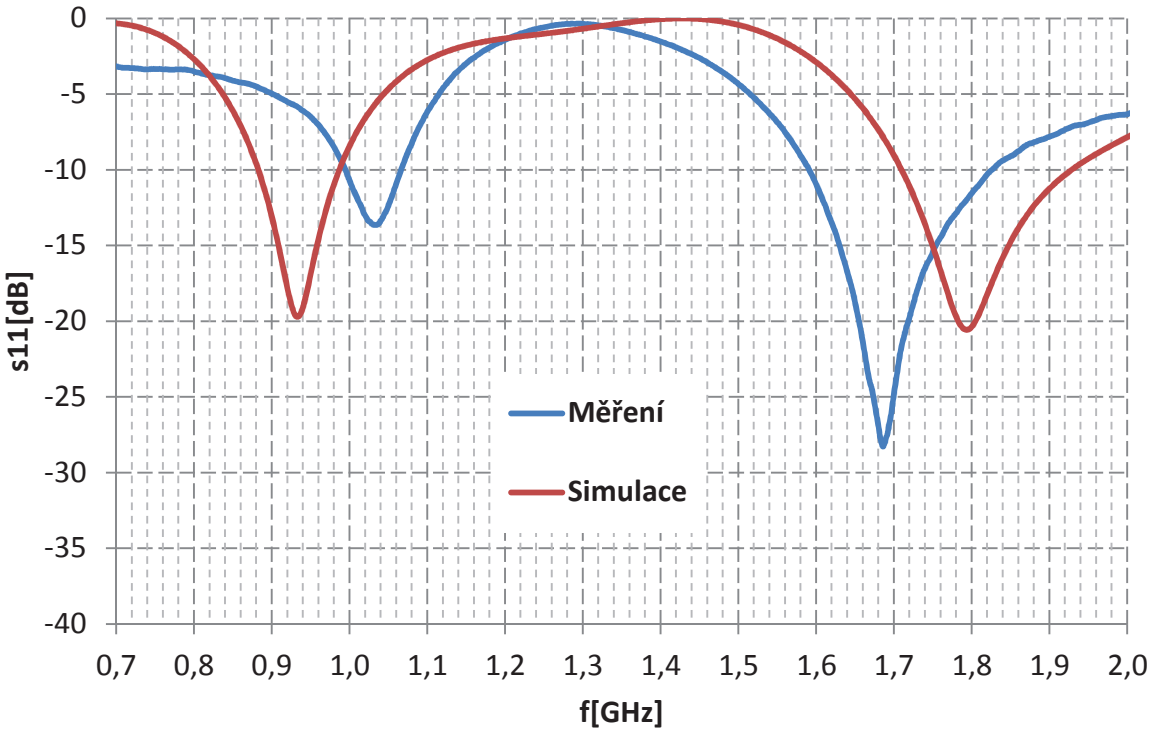
3 REALIZACE

Antény byly nakresleny v programu Eagle 5.11.0 a následně vyleptány na substrát Arlon 25N. Následně k nim byl připájen konektor SMA.

3.1 Výsledky navržených antén

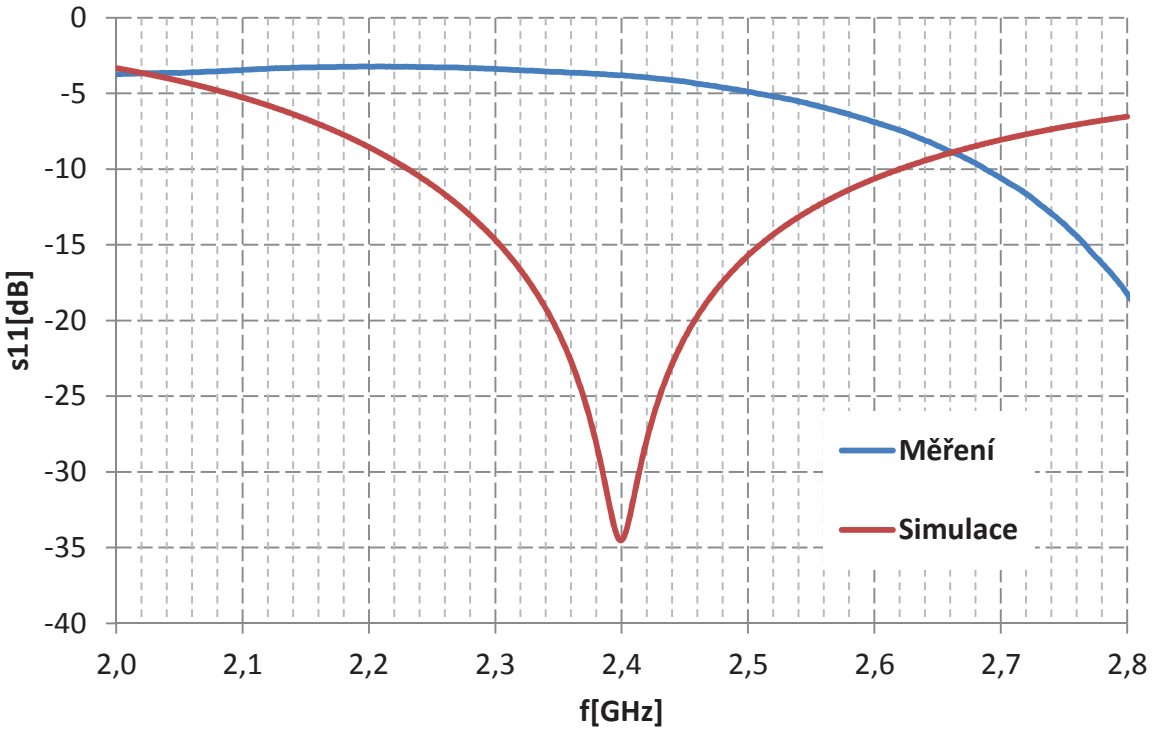
V prvním měření byly naměřeny hodnoty parametru s11 pro anténu pro pásma GSM (obr. 3.1). Z charakteristiky je vidět, že výsledky simulace a výsledky změřené antény si neodpovídají. Rezonanční kmitočty obou charakteristik se liší.

Po připojení antény k napájecímu kabelu nebyly rezonanční kmitočty ustálené a měnil se i parametr s11. Tento problém mohl nastat z několika důvodů. Charakteristika se mohla měnit kvůli manipulaci s anténou, při které se vybudily asymetrické proudy, které vznikají v místě, kde se anténa napájí (v místě konektoru). Další vliv na posunutí rezonančních kmitočtů může mít konstrukční provedení antény (viz. kapitola 2.3.3).



Obr. 3.1 Parametr s11 pro pásma GSM.

U antény pro pásmo Wi-Fi (obr. 3.2) nastává stejný problém. Rezonanční kmitočet u změřené antény je přibližně 3GHz. O asymetrických proudech a jejich potlačení dále v kapitole 3.2.



Obr. 3.2 Parametr s11 pro pásmo Wi-Fi.

3.2 Asymetrické proudy

Asymetrické proudy vnikají při přechodu vlny z asymetrického napáječe na nesymetrickou anténu, dále tyto proudy tečou po asymetrickém napáječi (pletení koaxiálního kabelu), který pak parazitně vyzařuje [6].

Pro potlačení asymetrických proudů se používají symetrizační obvody. Tyto obvody se dělí na [7]:

- obvody, zabraňující vzniku asymetrických proudů (symetrizace ve skládaném dipólu)
- obvody, omezující velikost asymetrického proudu (symetrizace čtvrtvlnným vedením, symetrizace rukávem)
- obvody, kompenzující asymetrický proud (symetrizace pahýlem, symetrizace štěrbinou)
- fázové invertory (půlvlnná smyčka)

4 ÚPRAVA ANTÉN

Pro potlačení asymetrických proudů byly zvoleny dvě metody. V první metodě byly použity feritové kroužky (viz. kapitola 4.1). V druhé metodě bylo využito umělé země ve formě kotoučků (viz. kapitola 4.2). Obě tyto metody navazují na původní typ antén.

4.1 Použití feritu

Pro tyto účely se ferity nejčastěji používají ve formě feritových kroužků. Nejznámější využití feritových kroužků na potlačení asymetrických proudů je u napájecích adaptérů pro notebooky, monitory, atd. Pro vyšší frekvence se vlastnosti feritů mění, zejména záleží na jejich permitivitě (nejčastěji ε_r=10÷20). Ferity jsou vhodné pro širokopásmové aplikace [8].

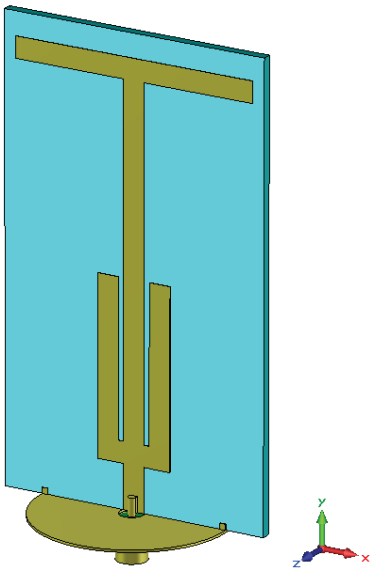
Právě vlastnost širokopásmovosti feritů byla experimentálně využita na potlačení asymetrických proudů. Feritové kroužky byly získány z napájecího zdroje pro stolní počítač. Tyto kroužky byly nasazeny na napájecí kabel a byla změřena charakteristika s11 pro první anténu (anténa pro pásma GSM). Feritové kroužky neměly na asymetrické proudy žádný vliv, proto bylo přistoupeno k další možnosti potlačení asymetrických proudů.

4.2 Použití kotoučku (umělá zem)

Dalším možným řešením bylo použití tzv. umělé země ve formě kruhového plíšku (kvůli zachování všesměrovosti antény musí být kruhový), který se připevní k anténě v místě napájení a je spojen se stíněním konektoru (koaxiálního kabelu). Při tomto řešení musí být odstraněna napájecí část původní antény (délka *LG*) a místo této části se kolmo na anténu připevní kotouček pomocí konektoru SMA. Mezi substrátem a kotoučkem nesmí vzniknout vzduchová mezera, ta by mohla představovat kapacitní vazbu a narušovat parametry antény.

4.2.1 Anténa pro pásma GSM

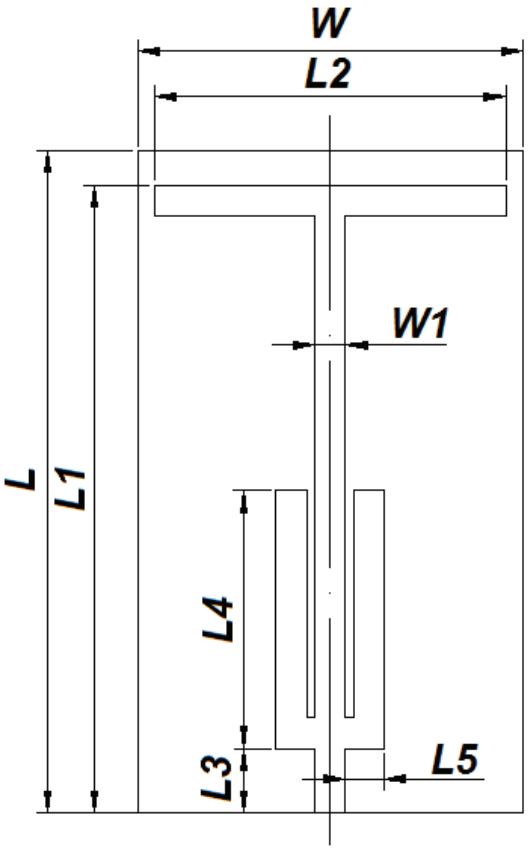
Návrh antény s kotoučkem je na obr. 4.1 Rozměry antény musely být pozměněny, protože po odstranění zemnící části a připevnění kotoučku se anténa rozladila. Nové rozměry antény jsou zaznamenány v tabulce 4 a dále na obr. 4.2 a obr. 4.3.



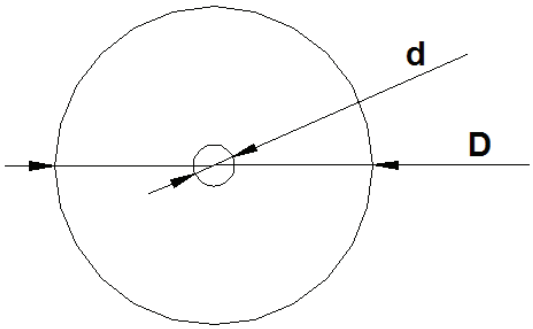
Obr. 4.1 Model antény pro pásma GSM v programu CST Microwave Studio.

Tabulka 4 Rozměry antény pro pásma GSM.

Parametr	L	W	L1	L2	L3	L4	L5	W1	h	hg	D	d
Velikost [mm]	77	45	73	41	7,5	30	4,5	3,6	1,524	0,06	36	4,13



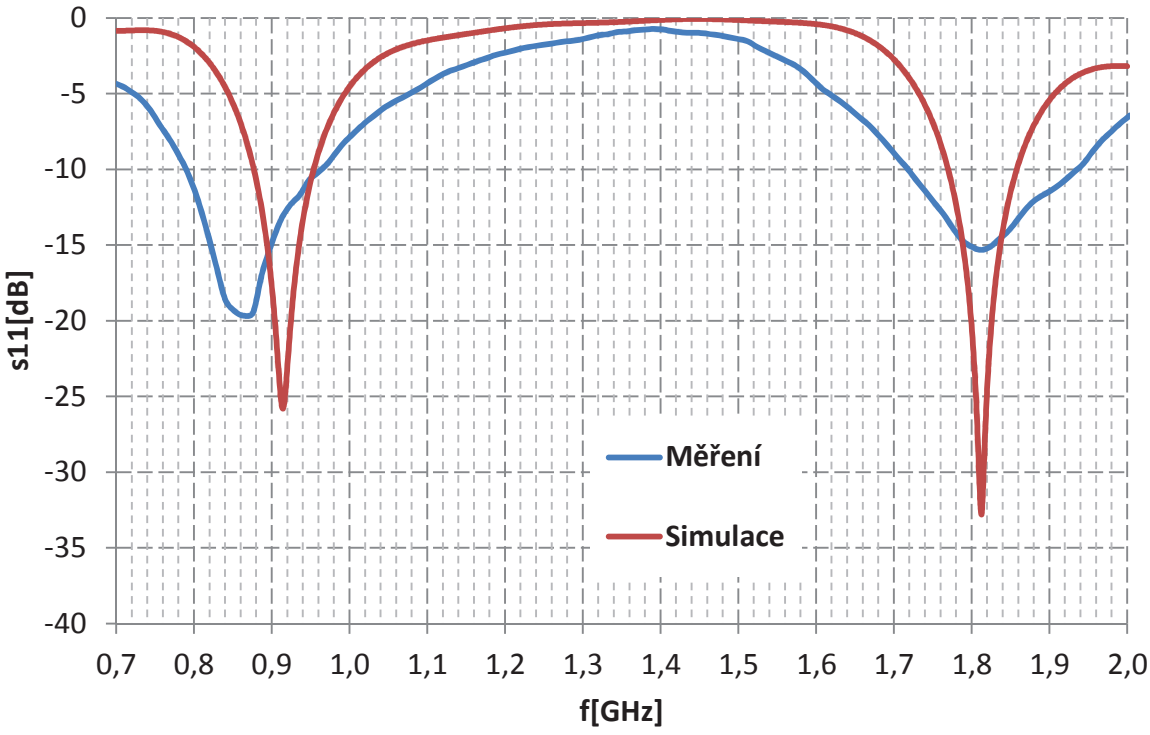
Obr. 4.2 Rozměry antény pro pásma GSM.



Obr. 4.3 Rozměry kotoučku.

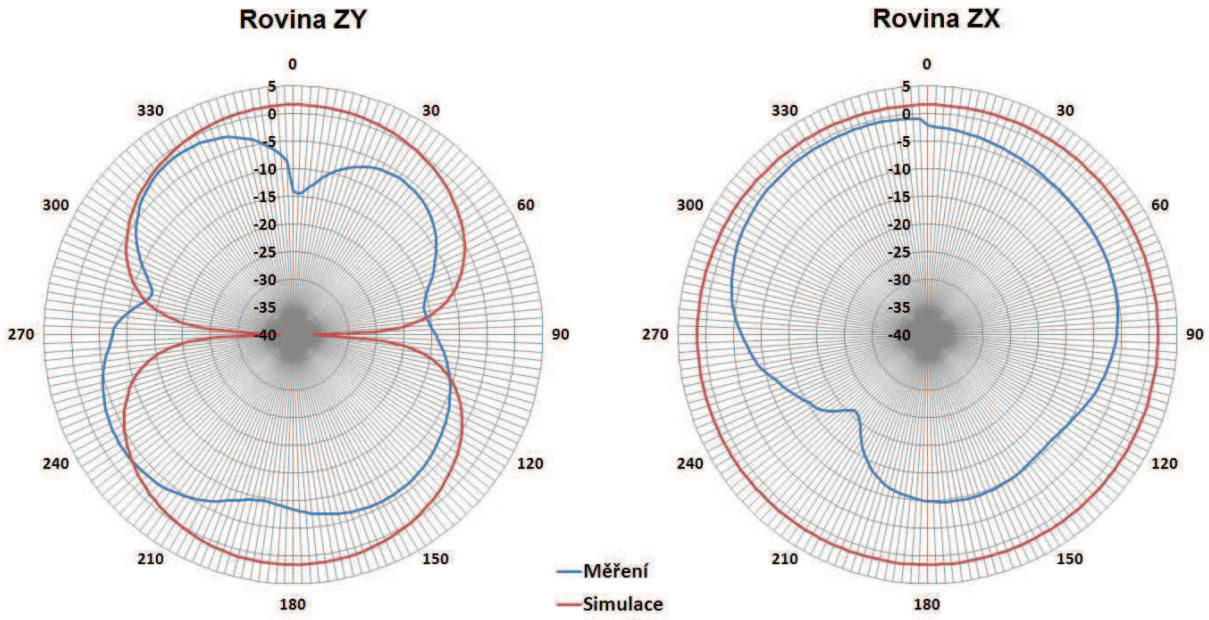
4.2.2 Výsledky měření antény pro pásma GSM

Na obr. 4.4 je znázorněna závislost činitele odrazu na frekvenci. První rezonanční kmitočet měřené antény se liší o 50MHz, ale šířka pásma, která byla odečítána na hodnotě -10dB, je přibližně dvojnásobná než u simulované antény. Druhý rezonanční kmitočet měřené antény se shoduje s kmitočtem simulované antény. Šířka pásma je zde také větší než-li u simulované antény. Při manipulaci s anténou se stále rezonanční kmitočty měnily, ale proti předchozímu návrhu jejich změna nebyla tak výrazná. Neúplné potlačení asymetrických proudů může být pozorováno i z vyzařovacích charakteristik na obr. 4.5.

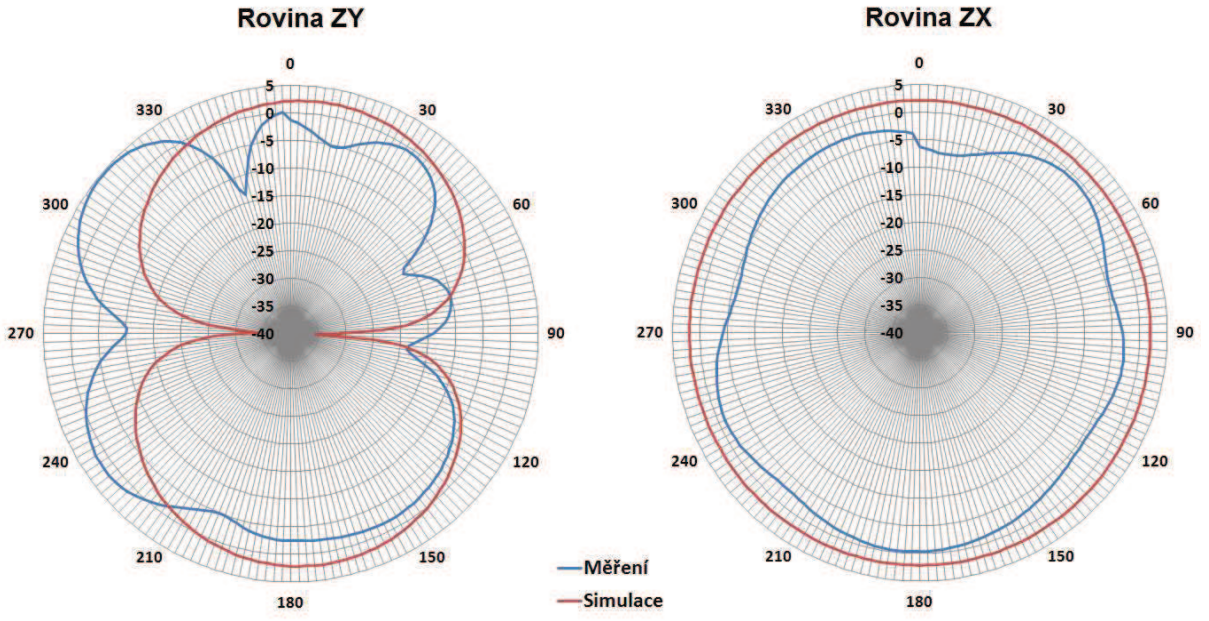


Obr. 4.4 Parametr s11 pro pásma GSM.

U vyzařovací charakteristiky pro pásmo GSM1800 ve vertikální rovině (rovina ZY) je minimální hodnota zisku až -17dBi (při úhlu vyzařování 63°). Simulovaná anténa má v tomto bodě zisk -4,7dBi. Na této odchylce nemusí mít vliv pouze asymetrické proudy. Tato nepřesnost mohla vzniknout i případnými parazitními odrazy při měření vyzařovacích charakteristik



a)

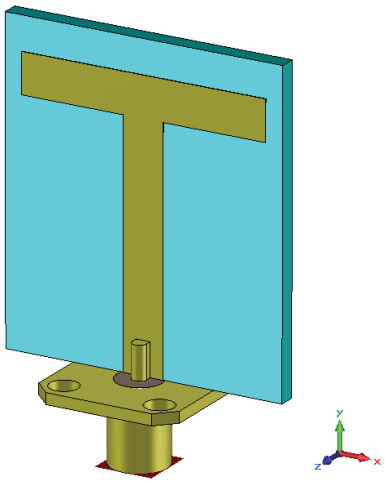


b)

Obr. 4.5 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H: a) GSM900 , b) GSM1800.

4.2.3 Anténa pro pásmo Wi-Fi

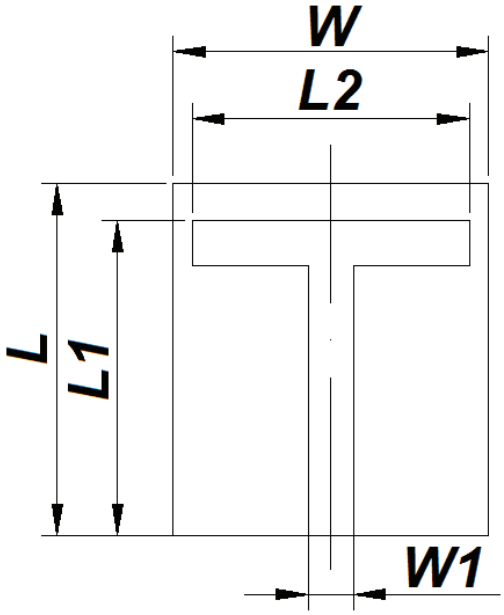
Anténa pro pásmo Wi-Fi (obr. 4.6) byla původně simulována také s kotoučkem, ale jelikož rozměry kotoučku téměř korespondovaly s rozměry konektoru, byl kotouček vynechán a jako umělá zem byl využit samotný konektor. U této antény musí být, stejně jako u předchozí, substrát připevněn ke konektoru bez vzduchové mezery. Nové rozměry antény jsou zaznamenány v tabulce 5 a na obr. 4.7.



Obr. 4.6 Model antény pro pásmo Wi-Fi v programu CST Microwave Studio.

Tabulka 5 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi.

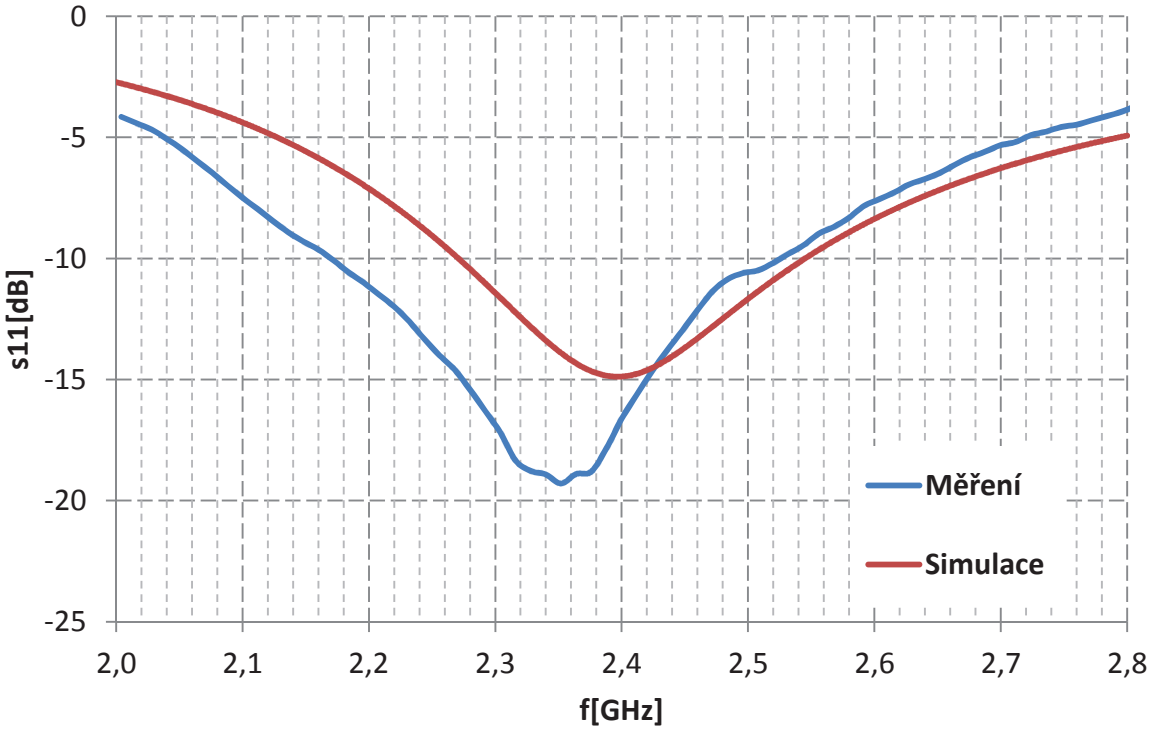
Parametr	L	W	L1	L2	W1	h	hg
Velikost [mm]	28	25	25	22	3,6	1,524	0,06



Obr. 4.7 Rozměry antény pro pásmo Wi-Fi.

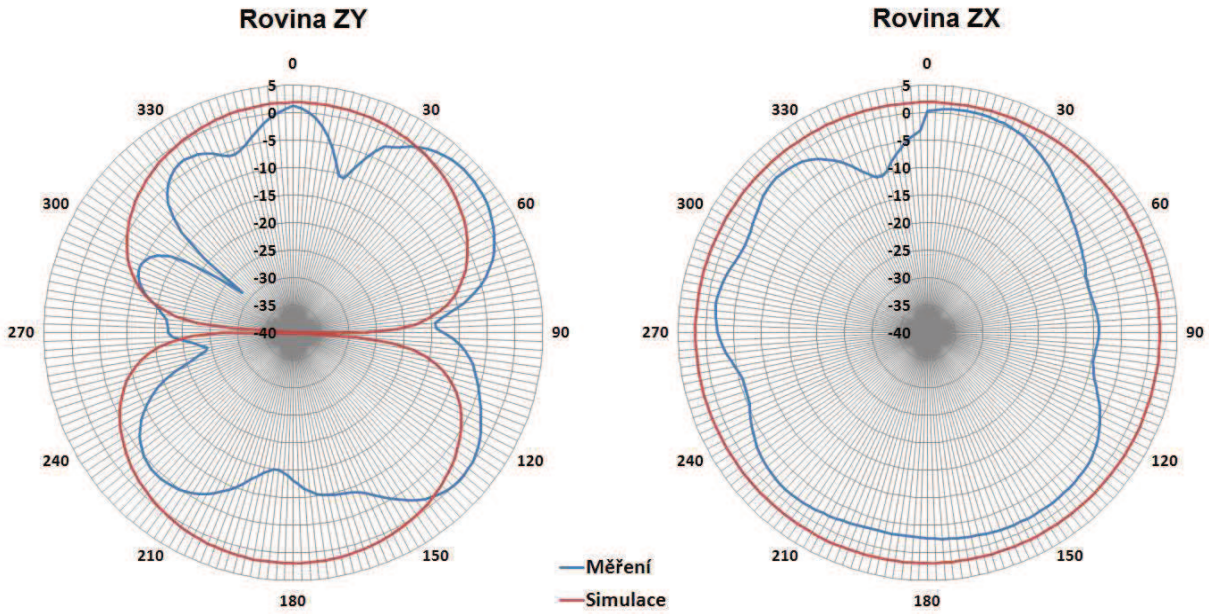
4.2.4 Výsledky měření antény pro pásmo Wi-Fi

Při prvním měření tohoto typu antény byl rezonanční kmitočet přibližně 2GHz. Anténa se proto musela dolaďovat. Postupným zmenšováním parametru *L2* bylo dosaženo požadovaného rezonančního kmitočtu (obr. 4.8). U této antény se také nepodařilo zcela odstranit asymetrické proudy. Vyzařovací charakteristiky na obr. 4.9 jsou také poměrně zdeformovány.



Obr. 4.8 Parametr s11 pro pásmo Wi-Fi.

U antény pro pásmo Wi-Fi nastává stejný případ. Vyzařovací charakteristika v rovině ZY dosahuje minimální hodnoty zisku až -28,2dBi (při 311°). Na tomto úhlu dosahuje anténa ze simulace hodnoty zisku -3,7dBi. Tato nepřesnost mohla být způsobena, jako u předešlé antény, parazitními odrazy při měření (na zdeformování vyzařovacích charakteristik nemusí mít vliv pouze asymetrické proudy).



Obr. 4.9 Vyzařovací charakteristiky v rovinách E a H pro frekvenci 2,4GHz.

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout a zrealizovat antény pro pásma GSM900, GSM1800 a Wi-Fi. Výsledkem jsou dvě všesměrové mikropáskové antény, jedna pro pásma GSM a druhá pro pásmo Wi-Fi. U prvního typu antén vznikl problém s asymetrickými proudy. Pro odstranění těchto nežádoucích proudů byly použity dvě metody. První metoda s použitím feritových kroužků neměla na potlačení asymetrických proudů žádný vliv. Druhá metoda s použitím umělé země asymetrické proudy potlačila jen částečně.

Dalším možným řešením, které by mohlo potlačit asymetrické proudy, by mohlo být například využití tzv. rukávu. Kovová trubička se navlíkne na napájecí kabel a z jedné strany se připojí na stínění napájecího kabelu (ze strany dál od antény). Délka rukávu musí korespondovat s délkou $\lambda/4$ pro daný rezonanční kmitočet. Toto řešení by mohlo být využito pouze u antény pro pásmo Wi-Fi.

U první antény (pro pásma GSM) bylo dosaženo šířky pásma 180MHz při činiteli odrazu -10dB (pro pásmo GSM900). Druhé pásmo dosahuje šířky pásma 220MHz při činiteli odrazu -10dB (pro pásmo GSM1800). Anténa zcela pokryla požadovaná pásma. U druhé antény pro pásmo Wi-Fi dosahuje anténa šířky pásma až 360MHz při činiteli odrazu -10dB. Tato anténa také zcela pokryla požadované pásmo.

LITERATURA

[1] MATUSZCZYK, J. *Antény prakticky*. 3. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 240s. ISBN 80-7300-178-0.

[2] TEPLÝ, T. *Širokopásmová obdélníková flíčková anténa antény*. Brno, 2010. 35s. Bakalářská práce na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Láčík, Ph.D.

[3] RAIDA, Z. *Multimediální učebnice* [databáze online]. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010 Dostupné z URL <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php>.

[4] POKORNÝ, M. *Výcepásmové planární antény*. Brno, 2007. 69s. Diplomová práce na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Horák

[5] HARAZ, O. M.; SEBAK, A. R. Quadband Planar PCB Antenna for WLAN and Mobile WiMAX Applications. In *Antennas and Propagation (APSURSI)*, Montreal, Kanada 3. - 8 července 2011. IEEE International Symposium on. 2011, s. 416–418. ISBN 978-1-4244-9562-7.

[6] ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z. *Antény a šíření radiových vln*. Skripta FEKT VUT, Brno 2003, ISBN 80-86056-47-3.

[7] MILLIGAN, T., A., *Modern Antenna Design*. 2. vyd. New Jersey: John Willey & Sons, 2005. 633 p. ISBN 10 0-471-45776-0.

[8] ICHELN, C.; KROGERUS, J.; VAINIKAINEN, P. Use of Balun Choke in Small-Antenna. In *Instrumentation and Measurement*, Helsinky, Finland duben 2004. IEEE Transactions on, s. 489-506. ISSN 0018-9456.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

GSM - Global System for Mobile Communications (globální systém pro mobilní komunikaci)

Wi-Fi - Wireless Fidelity (bezdrátová věrnost)

PIFA - Planar Inverted-F Antenna (planární anténa obrácené F)

f - Frekvence

f_0 - Rezonanční frekvence

$f_{1,2}$ - Frekvence ohraničující frekvenční pásmo

B - Šířka pásma

λ - Vlnová délka

ε - Permitivita

σ - Činitel odrazu

π - Ludolfovo číslo

Z_0 - Impedance, která má pouze reálnou složku

G - Zisk

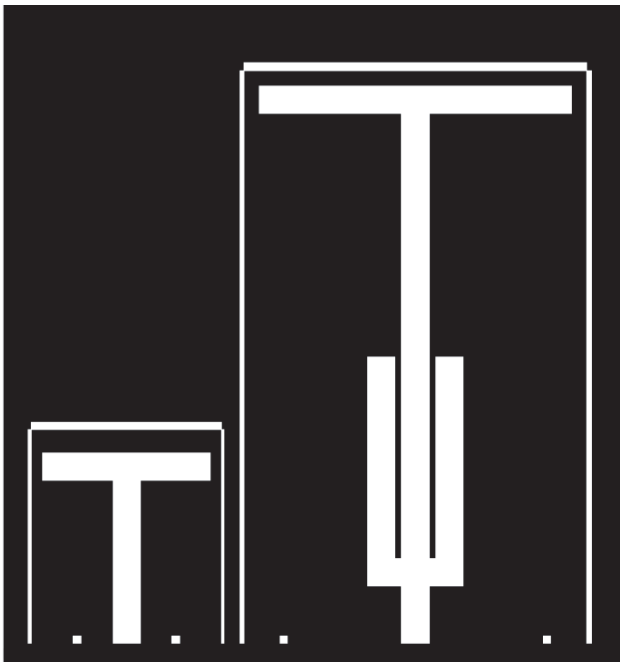
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Výkresy desek plošných spojů
Příloha B: Fotografie všech antén a feritových kroužků

Příloha A: Výkresy desek plošných spojů

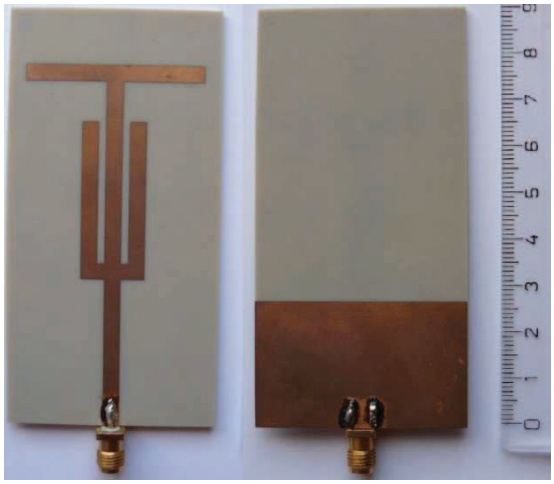
Původní anténa vrstva TOP v měřítku 1:1.

Původní anténa vrstva BOTTOM v měřítku 1:1.

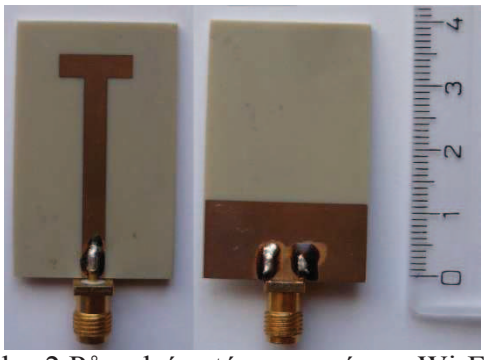


Upravená anténa v měřítku 1:1.

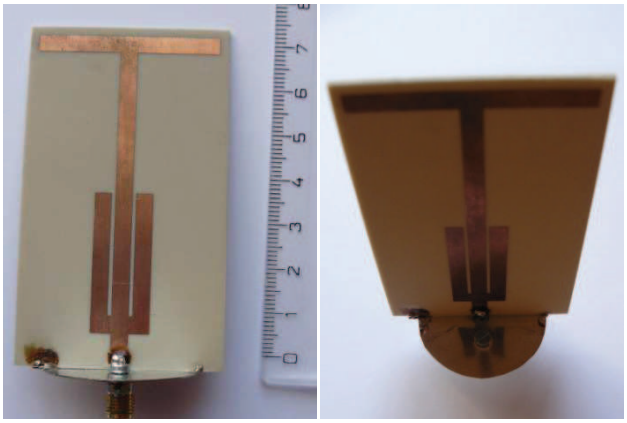
Příloha B: Fotografie všech antén a feritových kroužků



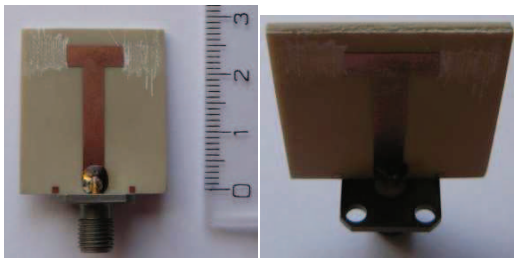
Obr. 1 Původní anténa pro pásma GSM.



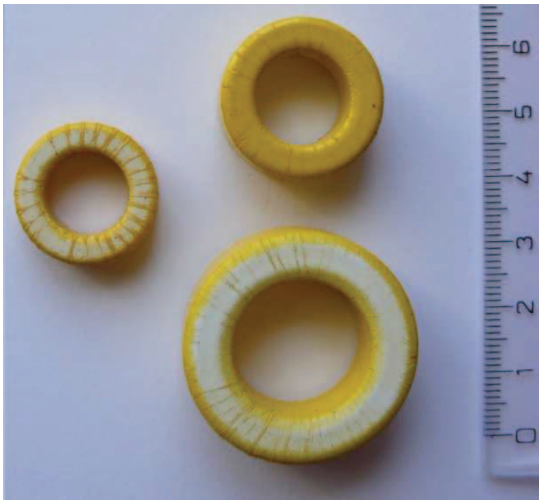
Obr. 2 Původní anténa pro pásmo Wi-Fi.



Obr. 3 Optimalizovaná anténa pro pásma GSM.



Obr. 4 Optimalizovaná anténa pro pásmo Wi-Fi.



Obr. 5 Feritové kroužky.