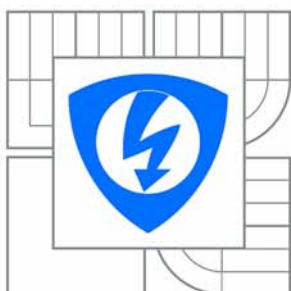




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

NÍZKOPROFILOVÁ INTEGROVANÁ ANTÉNA PRO GPS A DRSC

LOW PROFILE INTEGRATED ANTENNA FOR GPS AND DRSC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ KOLB

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. ZBYNĚK RAIDA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Lukáš Kolb
Ročník: 3

ID: 72968
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Nízkoprofilová integrovaná anténa pro GPS a DRSC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se základními typy planárních integrovaných antén pro příjem družicových signálů GPS a DRSC. Vybrané antény modelujte v programu ANSOFT Designer a vzájemně porovnejte parametry modelů (impedanční přizpůsobení, směrové vlastnosti, polarizace, atd.). Na základě dosažených výsledků vyberte anténu, kterou považujete za nejvhodnější k realizaci.

Vybranou anténu optimalizujte s ohledem na impedanční, směrové a polarizační vlastnosti. Anténu vyrobte, proměřte její vlastnosti a výsledky porovnejte s výsledky numerických simulací.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BHARTIA, P., BAHL, I., GARG, R., ITTIPIBOON, A. Microstrip Antenna Design Handbook. Norwood: Artech House, 2001.

[2] RAFI, G. Z. et al. Low-profile integrated microstrip antenna for GPS-DSRC application. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009, vol. 8, p. 44-48.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

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.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Lukáš Kolb
Bytem: Gudrichova 238, Raduň, 74761
Narozen/a (datum a místo): 2. února 1987 v Opavě

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Nízkoprofilová integrovaná anténa pro GPS a DSRC

Vedoucí/ školitel VŠKP: prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2
Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Projekt se zabývá základními typy planárních antén pro příjem satelitních signálů GPS a DSRC. Anténa byla navržena na substrátech ARLON, CuClad 217 LX a modelována v programu ANSOFT Designer. Důraz je kladen na impedanční přizpůsobení, směrové vlastnosti a polarizaci. Výsledky návrhu byly experimentálně ověřeny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Planární anténa, aktivní integrovaná anténa, ANSOFT Designer.

ABSTRACT

In the project, planar antennas for receiving satellite GPS signals and DSRC ones were investigated and mutually combined. The combined antenna was designed for the substrate ARLON, CuClad 217 LX, was modeled and optimized in the program ANSOFT Designer. Attention was turned to the proper impedance matching, directivity properties and polarization properties. The designed antenna was built and their properties were experimentally verified.

KEYWORDS

Planar antenna, active integrated antenna, ANSOFT Designer.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLB, L. *Nízkoprofilová integrovaná anténa pro GPS a DSRC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektroniky a komunikačních technologií, 2010. 35 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Nízkoprofilová integrovaná anténa pro GPS a DSRC 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 28. května 2010

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Dr. Ing. Zbyňku Raidovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....
(podpis autora)

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| Seznam obrázků..... | ix |
| 1 Úvod..... | 12 |
| 2 Teoretický návrh flíčkové antény | 13 |
| 3 Modelování planárních antén | 15 |
| 3.1 Modelování antén v programu Ansoft Designer..... | 15 |
| 4 Výsledky analýzy v programu Ansoft Desinger | 19 |
| 4.1 Výsledky analýzy GPS antény..... | 19 |
| 4.2 Optimalizace GPS antény | 21 |
| 4.3 Výsledky analýzy DSRC antény..... | 25 |
| 4.4 Optimalizace DSRC antény | 27 |
| 4.5 Přepočítání antén na výrobní substrát..... | 30 |
| 4.5.1 Anténa GPS..... | 30 |
| 4.5.2 Anténa DSRC | 33 |
| 5 realizace antény | 36 |
| 5.1 Výstupní soubor pro realizaci antény | 36 |
| 5.2 Zhotovená anténa..... | 37 |
| 6 porovnání výsledků simulace a naměřených hodnot | 38 |
| 6.1 činitel odrazu na vstupu | 38 |
| 6.2 směrové charakteristiky | 39 |
| 7 Závěr..... | 42 |
| Literatura | 43 |
| Seznam Symbolů, veličin a zkratk..... | 44 |
| Seznam Příloh | 45 |
| Příloha 1..... | 46 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|-----------|--|----|
| Obr. 2.1 | Fličková anténa napájena koaxiální sondou. Převzato z [2]. | 13 |
| Obr. 3.1 | Dialog pro výběr substrátu. | 15 |
| Obr. 3.2 | Záložka Stack Up pro úpravu parametrů substrátu. | 16 |
| Obr. 3.3 | Základní tvar antény. | 17 |
| Obr. 3.4 | Trojrozměrné zobrazení antény. | 17 |
| Obr. 3.5 | Nastavení parametrů analýzy. | 17 |
| Obr. 3.6 | Menu pro sestavení grafu. | 18 |
| Obr. 4.1 | Motiv spodního GPS flíčku. Rozměry převzaty z [1]. | 19 |
| Obr. 4.2 | Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} na vstupu GPS antény. | 20 |
| Obr. 4.3 | Kmitočtový průběh poměru stojatých vln na vstupu GPS antény. | 20 |
| Obr. 4.4 | Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) GPS antény. | 21 |
| Obr. 4.5 | Upravený flíček pro GPS. | 21 |
| Obr. 4.6 | Kmitočtový průběh poměru stojatých vln na vstupu optimalizované GPS antény. | 22 |
| Obr. 4.7 | Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} na vstupu optimalizované GPS antény. | 22 |
| Obr. 4.8 | Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} publikované GPS antény. Převzato z [1]. | 23 |
| Obr. 4.9 | Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) optimalizované GPS antény. | 23 |
| Obr. 4.10 | Závislost zisku a osového poměru optimalizované GPS antény na úhlu od kolmice k substrátu. | 24 |
| Obr. 4.11 | Závislost zisku a osového poměru publikované GPS antény na úhlu od kolmice k substrátu. Převzato z [1]. | 24 |
| Obr. 4.12 | Trojrozměrná vyzařovací charakteristika optimalizované GPS antény na pracovním kmitočtu $f = 1,575$ GHz. | 25 |
| Obr. 4.13 | Motiv horního DSRC flíčku. Rozměry převzaty z [1]. | 25 |
| Obr. 4.14 | Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{11} na vstupu DSRC antény. | 26 |
| Obr. 4.15 | Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) DSRC antény. | 26 |
| Obr. 4.16 | Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{11} na vstupu optimalizované DSRC antény. | 27 |

| | |
|---|----|
| Obr. 4.17 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{11} na vstupu publikované DSRC antény. Převzato z [1]. | 28 |
| Obr. 4.18 Závislost zisku optimalizované DSRC antény na úhlu od kolmice k substrátu | 28 |
| Obr. 4.19 Závislost zisku publikované DSRC antény na úhlu od kolmice k substrátu. Převzato z [1]. | 28 |
| Obr. 4.20 Kmitočtový průběh vstupního odporu (modrá) a vstupní reaktance (červená) optimalizované DSRC antény na kmitočtu 5,859GHz. | 29 |
| Obr. 4.21 Trojrozměrná vyzařovací charakteristika optimalizované DSRC antény na pracovním kmitočtu $f = 5,859$ GHz. | 29 |
| Obr. 4.22 Změněné rozměry navržené antény na substrátu CuClad 217LX. | 30 |
| Obr. 4.23 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} na vstupu optimalizované GPS antény. | 31 |
| Obr. 4.24 Kmitočtový průběh poměru stojatých vln na vstupu optimalizované GPS antény. | 31 |
| Obr. 4.25 Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) optimalizované GPS antény. | 32 |
| Obr. 4.26 Závislost zisku optimalizované GPS antény na úhlu od kolmice k substrátu. | 32 |
| Obr. 4.27 Trojrozměrná vyzařovací charakteristika optimalizované GPS antény na pracovním kmitočtu $f = 1,575$ GHz. | 33 |
| Obr. 4.28 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{11} na vstupu optimalizované DSRC antény. | 33 |
| Obr. 4.29 Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) optimalizované DSRC antény na kmitočtu 5,9GHz. | 34 |
| Obr. 4.30 Závislost zisku optimalizované DSRC antény na úhlu od kolmice k substrátu. | 34 |
| Obr. 4.31 Trojrozměrná vyzařovací charakteristika optimalizované DSRC antény na pracovním kmitočtu $f = 5,9$ GHz. | 35 |
| Obr. 5.1. Dialogové okno pro export souboru. | 36 |
| Obr. 5.2. Sestavení nízkoprofilové GPS-DSRC antény. Převzato z [1]. | 37 |
| Obr. 5.3. Fotografie kompletního optimalizovaného modelu a) přední strana b) zadní strana. | 37 |
| Obr. 6.1 Činitel odrazu na vstupu GPS antény, porovnání naměřených hodnot: simulace (červená), změřená (modrá) | 38 |
| Obr. 6.2 Činitel odrazu na vstupu DSRC antény, porovnání naměřených hodnot: simulace (červená), změřená (modrá). | 39 |
| Obr. 6.3 Trojrozměrná vyzařovací charakteristika optimalizované GPS antény na pracovním kmitočtu $f = 1,575$ GHz. | 40 |
| Obr. 6.4 Směrová charakteristika GPS antény při 1,56 GHz rovina H (červená) rovina E | |

| | |
|---|----|
| (modrá) měřené GPS antény..... | 40 |
| Obr. 6.5 Trojrozměrná vyzářovací charakteristika optimalizované DSRC antény na pracovním kmitočtu $f=5,9$ GHz. | 41 |
| Obr. 6.6 Směrová charakteristika DSRC antény při 6,22 GHz, polarizace antény je vertikální. | 41 |
| Obr. 7.1 Předloha pro výrobu GPS antény metodou plošných spojů M 1:1..... | 46 |
| Obr. 7.2 Předloha pro výrobu DSRC antény metodou plošných spojů M 1:1 | 46 |

1 ÚVOD

V dnešní době máme tři globální družicové navigační systémy (GNSS), které jsou buď dostupné, nebo ještě ve vývoji. Jedná se o GPS, Glonass a Galileo. Americký družicový navigační systém GPS byl realizován na začátku roku 1980 jako prostředek k určování pozice vojenské techniky a osob. V roce 1983 prezident Ronald Reagan vydal příkaz ke zpřístupnění systému pro civilní využití. GPS je dnes nejpopulárnější v civilních aplikacích a pravděpodobně jediný plně funkční GNSS. Za zmínění ještě stojí evropský Galileo, který byl vypuštěný v roce 2002 Evropskou vesmírnou agenturou (ESA). Galileo je velký satelitní systém, který bude slučitelný s GPS. Systém je ve vývoji a očekává se, že bude v provozu od roku 2012 či 2013 [3].

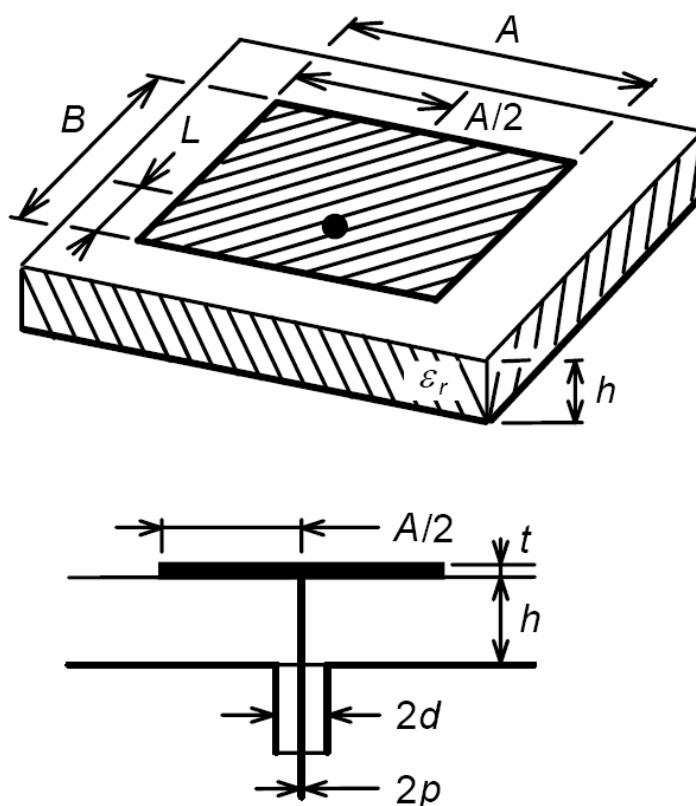
DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) je standard pro komunikaci na vzdálenosti menší než 1 km. Nejvíce se objevuje v inteligentních dopravních systémech (ITS) a v telekomunikačních infrastrukturách. Pracuje v rozsahu od 5,850 GHz do 5,925 GHz. DSRC umožňuje vysokorychlostní komunikaci mezi samostatnými vozidly, nebo mezi vozidlem a okrajem silnice (využíváno především u mýtných bran) [4].

S vývojem nových technologií, které sebou přinášejí miniaturizaci součástek a zvyšování pracovního kmitočtu, narůstají požadavky na minimalizaci rozměrů antén. Planární antény a jejich varianty jsou v současnosti velmi populární rovněž v oblasti mobilních komunikací. Planární antény mají nízký profil, jsou lehké, snadno se vyrábějí a lze je umístit např. do krytu mobilních telefonů a na karoserie aut [2].

Cílem předkládané práce je rozbor základních typů planárních antén pro příjem družicových signálů GPS a DSRC a jejich modelování v programu ANSOFT Designer. Postup návrhu a modelování je demonstrován na flíčkové anténě, napájené dvěma koaxiálními sondami.

2 TEORETICKÝ NÁVRH FLÍČKOVÉ ANTÉNY

V dnešní době jsou flíčkové antény velice rozšířeným typem antén. Flíčkové antény se používají na frekvencích od 100 MHz výše. Výhodou těchto antény je výroba, která je podobná výrobě desek plošných spojů. Antény lze levně vyrábět, lze je snadno umísťovat do automobilů, mobilních telefonů, trupu letadel. Nevýhodou flíčkových antén je malá účinnost a malý zisk [2].



Obr. 2.1 Flíčková anténa napájena koaxiální sondou. Převzato z [2].

Flíčkové antény většinou napájíme koaxiální sondou. U flíčkové antény toto napájení nezpůsobuje vyzařování parazitních vln, a tudíž nedochází k deformaci směrové charakteristiky. Na druhou stranu je výroba tohoto druhu napájení relativně náročná (je třeba vrtat díry do substrátu) a hůře se realizuje spojování anténních prvků do soustav [2].

Při návrhu flíčkové antény je zapotřebí pro daný mikrovlnný substrát o relativní permitivitě ϵ_r a výšce h vypočítat délku flíčku B a jeho šířku A . Důležitější je přitom délka flíčku – anténa totiž pracuje v půlvlnné rezonanci. Samotný návrh se přitom skládá z následujících kroků [2]:

1. Vypočteme šířku flíčku [2]:

$$A = \sqrt{h\lambda_d} [\ln(\lambda_d / h) - 1], \quad (2.1)$$

kde h je výška substrátu a λ_d je vlnová délka v substrátu, kterou určíme podle vztahu [2]:

$$\lambda_d = \frac{c}{f_r \sqrt{\varepsilon_r}}, \quad (2.2)$$

kde symbol c značí rychlost světla ve vakuu, f_r je pracovní kmitočet a ε_r označuje relativní permitivitu substrátu [2].

2. Vypočteme délku flíčku [2]:

$$B = \frac{c}{2f_r \sqrt{\varepsilon_{ef}}}, \quad (2.3)$$

kde symbol c značí rychlost světla ve vakuu, f_r je pracovní kmitočet a ε_{ef} označuje efektivní permitivitu substrátu [2]

$$\varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{A}}} \text{ pro } \frac{A}{h} \geq 1. \quad (2.4)$$

Symbol A značí šířku flíčku vypočtenou podle vztahu (2.1).

Tyto teoretické kroky pro návrh antény dále v práci nejsou používány, protože rozměry a pracovní frekvenci nám udává [1].

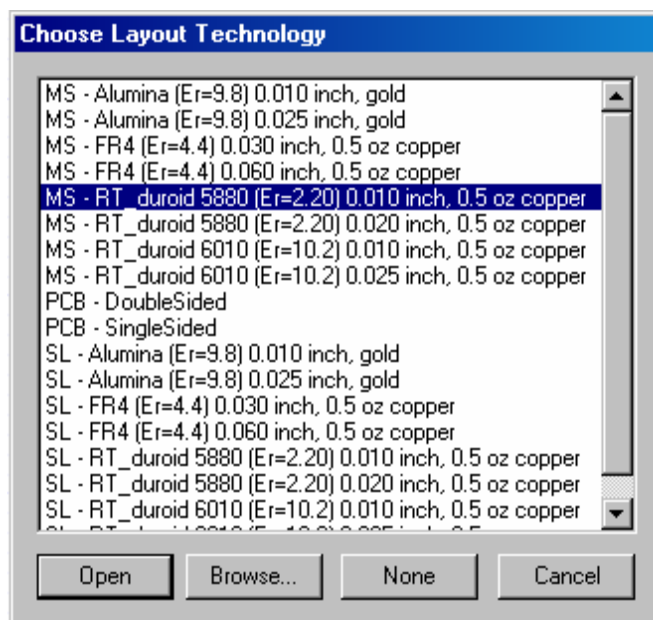
3 MODELOVÁNÍ PLANÁRNÍCH ANTÉN

K modelování fličkových antén byl použit program ANSOFT Designer [6]. Tento program má široké využití. Má v sobě zabudovány moduly pro simulaci vysokofrekvenčních obvodů, modul pro systémovou analýzu, modul pro numerickou analýzu planárních struktur momentovou metodou a další. V programu lze vytvořit modely jednotlivých komponentů komunikačního řetězce, komponenty lze následně sloučit a ověřit činnost celého zařízení.

V rámci předloženého projektu využíváme pouze modul pro numerickou analýzu planárních struktur. Nejprve se zaměříme na modelování antény pro GPS, potom se budeme věnovat anténě pro DSRC. Antény budeme optimalizovat pro zadané pracovní kmitočty [1].

3.1 Modelování antén v programu Ansoft Designer

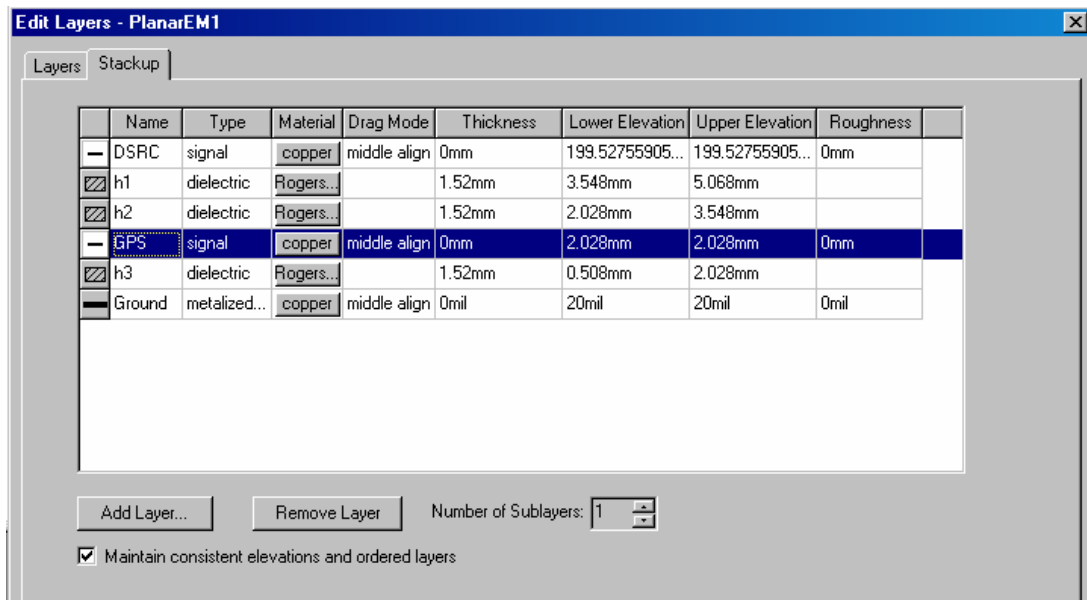
Po spuštění programu Ansoft Designer nejdříve vytvoříme nový projekt. Zvolíme položku menu *File* → *New* a následně si vybereme dielektrický substrát, na kterém budeme danou anténu vytvářet. Zvolíme *Projekt* → *Insert Planar EM Design*. Tím na obrazovce otevřeme dialog s nabídkou substrátů pro návrh naší planární antény. Substráty MS jsou na mikropásková vedení, SL jsou na stíněná pásková vedení a PCB jsou substráty pro vícevrstvé plošné spoje. Na návrh zvolené antény vybereme substrát *MS – RT_duroid 5880* (viz obr. 3.1).



Obr. 3.1 Dialog pro výběr substrátu.

Parametry substrátu lze měnit i později pomocí *Layout* → *Layers* → *Stack up*. Zde lze změnit výšku substrátu (thickness), parametry dolní a horní plochy substrátu nebo

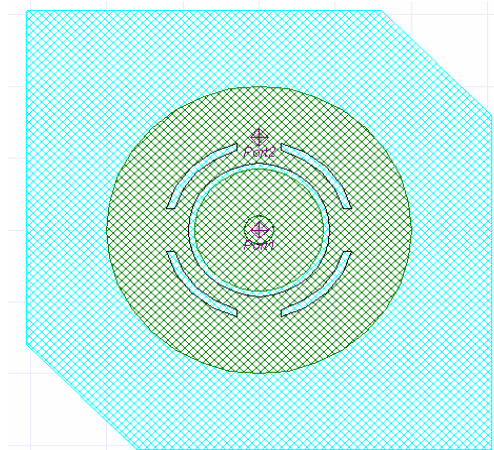
elektromagnetické parametry substrátu. Pro naši anténu, aby to odpovídalo zadání, musíme přidat další vrstvy. V menu *Stack up* zvolíme *Add Layer...* Jméno první přidané vrstvy bude h1 (typ *dielectric*), jméno druhé přidané vrstvy h2 a původní vrstvu (typ *dielectric*) přepíšeme na h3 (model antény viz [1]). Následně přidáme vrstvu DSRC (typ *signal*) a původní vrstvu (typ *signal*) přejmenujeme na GPS. V posledním kroku změňme tloušťku všech dielektrických vrstev na 1,52 mm (viz obr. 3.2).



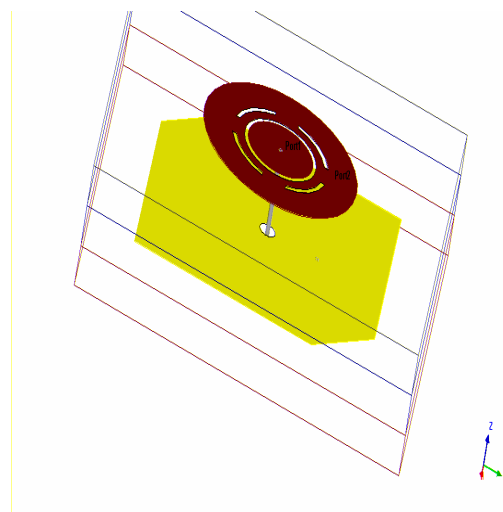
Obr. 3.2 Záložka Stack Up pro úpravu parametrů substrátu.

Když máme zadán substrát, můžeme v grafickém editoru vykreslit tvar anténního prvku na zvolené vrstvě kovu. Pro spodní anténu zvolíme vrstvu GPS, pro horní DSRC. Tvar vykreslíme pomocí *Draw* → *Primitive* → *Rectangle*. Buď můžeme myší určit pozici pravého horního a levého dolního rohu obdélníkového anténního prvku nebo zadáme souřadnice (položky X, Y a rozměry Delta X, Delta Y v dolní liště). Stejný postup jako pro nakreslení GPS anténního prvku použijeme i pro vykreslení DSRC anténního prvku. (viz obr. 3.3, obr 3.4)

Nyní je potřeba do nakreslených flíčků umístit budící koaxiální sondy. V levém dialogovém okně zvolíme *Model*, klikneme pravým tlačítkem myši na *Vias* a vybereme *add via*. První sondu umístíme do středu a druhou 2,5 cm od středu směrem k hornímu okraji (viz obr. 3.3). Budící sondy musíme ještě nastavit. Rozbalíme položku *Vias* → *LayoutVia1*. V properties menu na záložce *Upper Layer* nastavíme DSRC, *Excitation* dáme na *no load* a na záložce *Lower Layer* nastavíme *Ground*, *Excitation* dáme na *coaxial excitation*. To samé nastavení uděláme pro *LayoutVia2* s tím, že *Upper Layer* nastavíme na GPS.

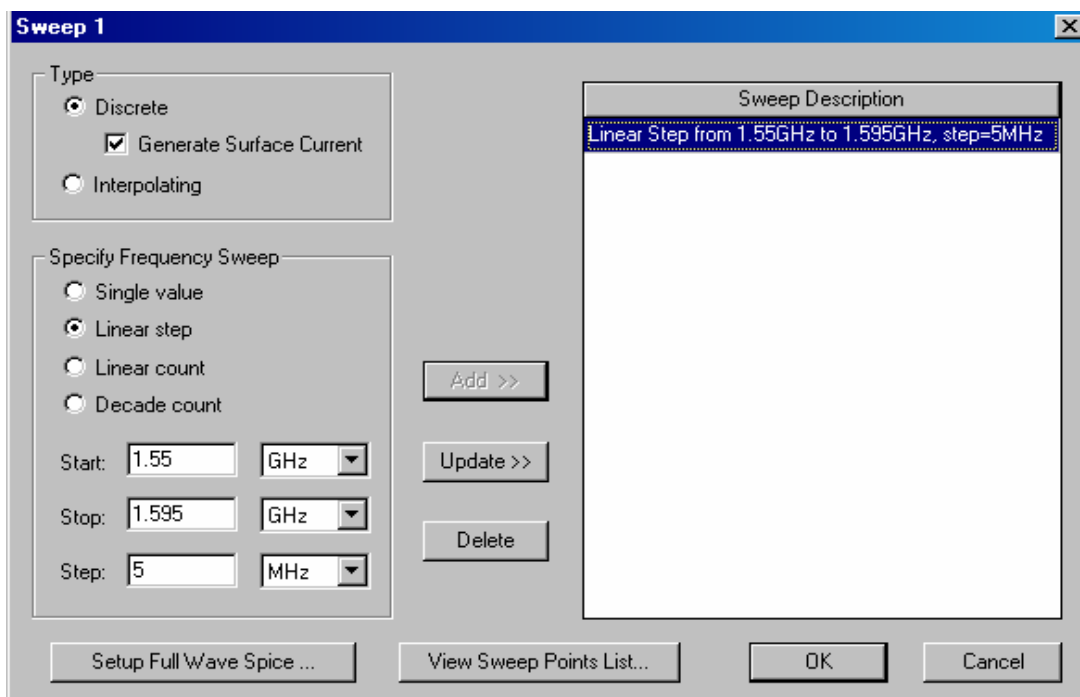


Obr. 3.3 Základní tvar antény.



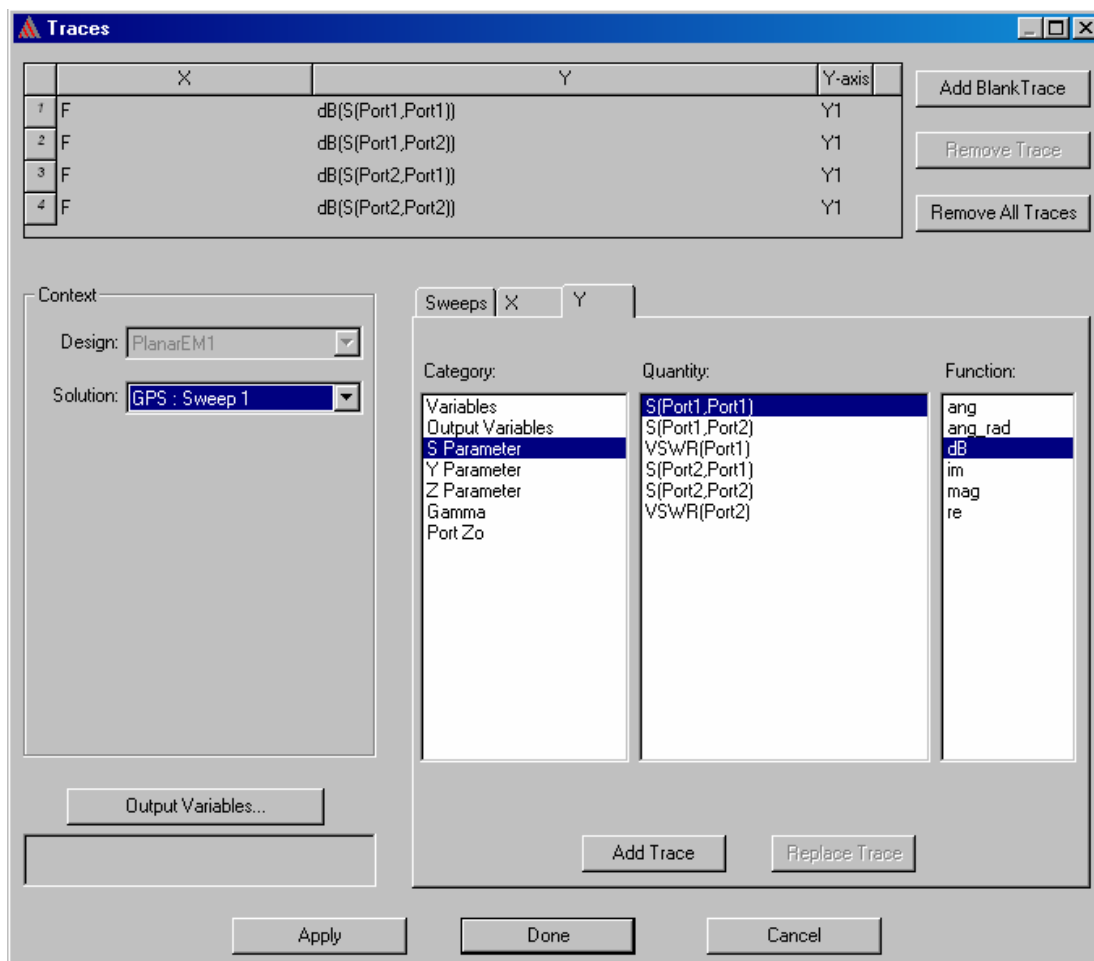
Obr. 3.4 Trojrozměrné zobrazení antény.

Nyní můžeme přistoupit k analýze antény. V levé části okna programu klikneme pravým tlačítkem na položku *Analysis* a vybereme *Add Solution Setup*, následně zvolíme pracovní kmitočet antény (v našem případě pro GPS 1.575 GHz, pro DSRC 5.88 GHz). Tímto krokem se pod položkou *Analysis* objeví položka *Setup 1*. Dále klikneme pravým tlačítkem na položku *Setup1* a nastavíme kmitočtový rozsah analýzy, horní a dolní kmitočet a krok (viz obr. 3.5). Posléze v menu *Planar EM* vybereme položku *Validation Check*, abychom zkontrolovali správné nastavení analýz. Posledním krokem je spuštění analýzy kliknutím na *Analyze*.



Obr. 3.5 Nastavení parametrů analýzy.

Výsledky analýz je možné zobrazit vybráním položky *Planar EM* → *Results* → *Create Report*. V dialogovém okně si můžeme vybrat, jak zobrazíme výsledek (polární graf, kartézský graf, Smithův diagram). Následně se otevře nový dialog, v kterém vybíráme veličinu a jednotky, v nichž má být veličina vynesena (obr 3.6).

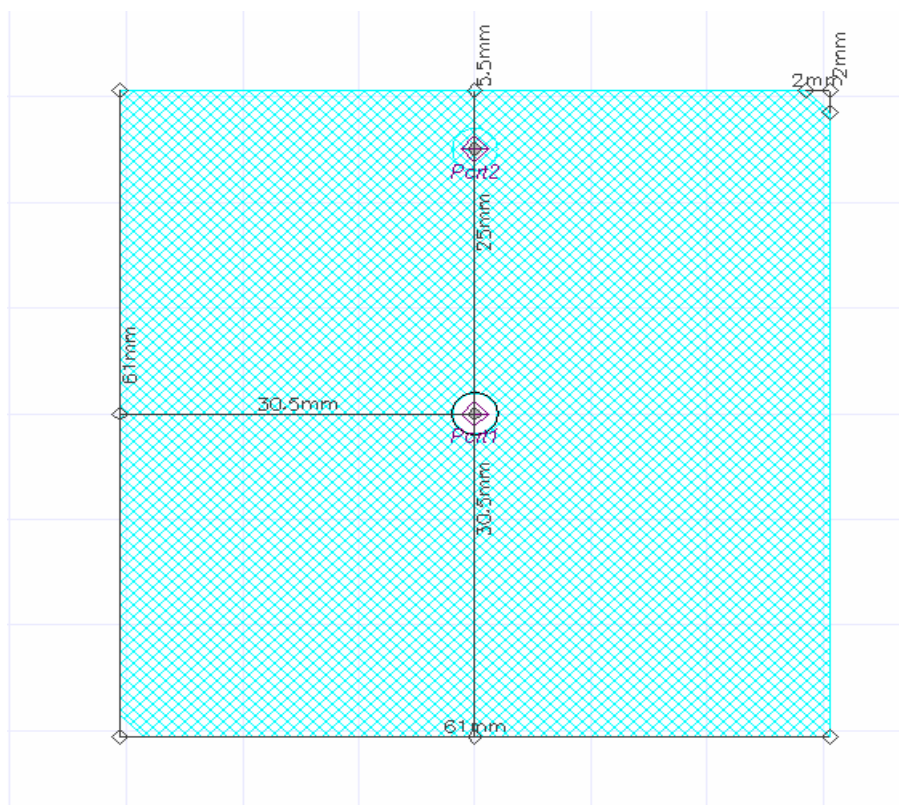


Obr. 3.6 Menu pro sestavení grafu.

4 VÝSLEDKY ANALÝZY V PROGRAMU ANSOFT DESIGNER

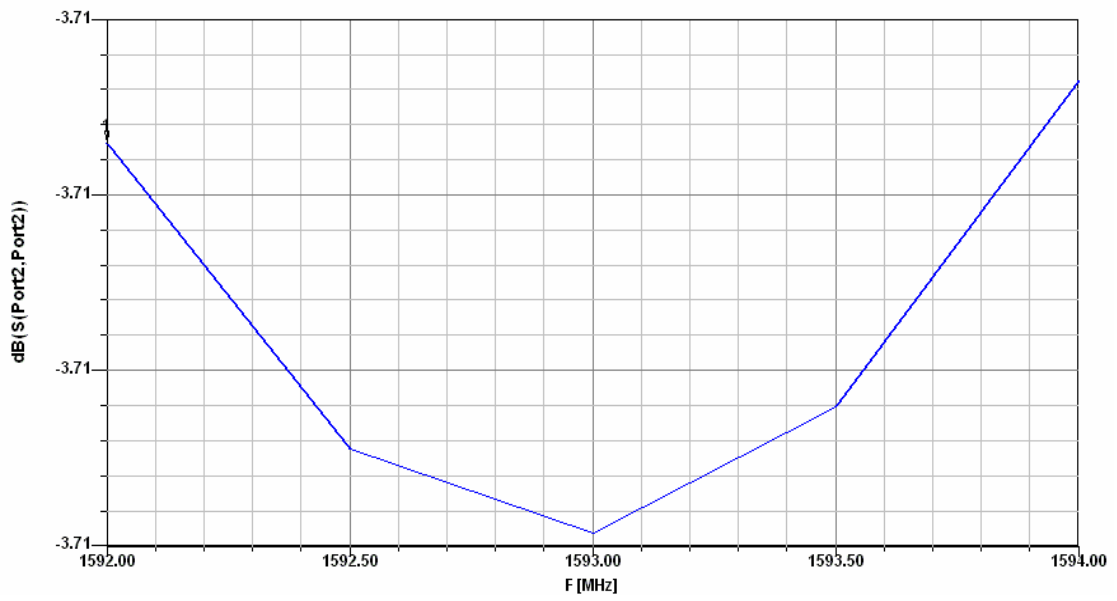
4.1 Výsledky analýzy GPS antény

Spodní flíček antény byl navržen podle [1]. Spodní flíček má tvar čtverce, který je na dvou protějších rozích zkosený. Anténa je napájena koaxiální sondou s charakteristickou impedancí 50Ω .

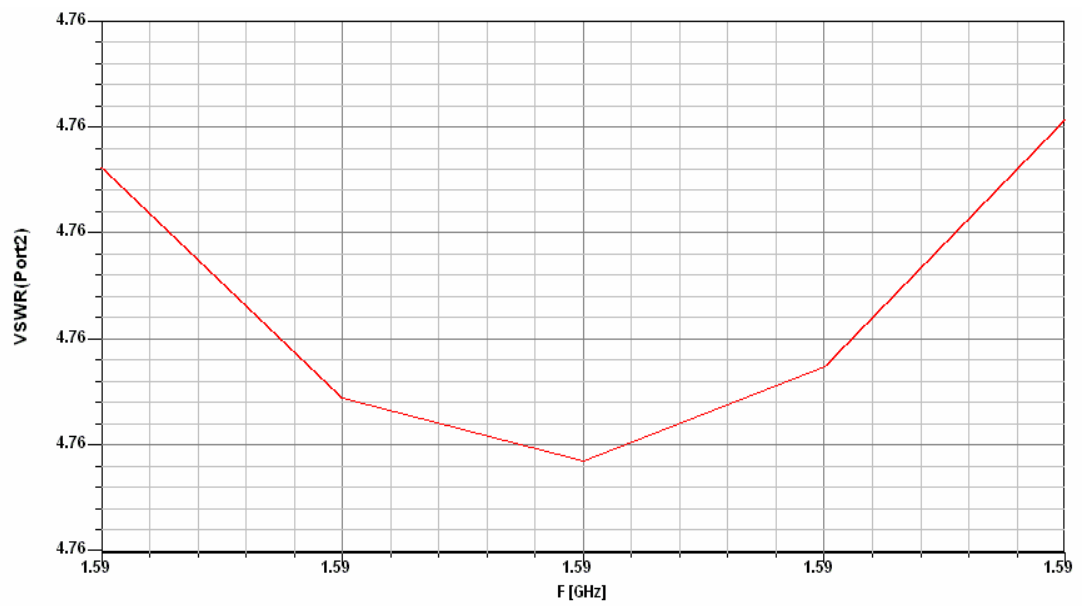


Obr. 4.1 Motiv spodního GPS flíčku. Rozměry převzaty z [1].

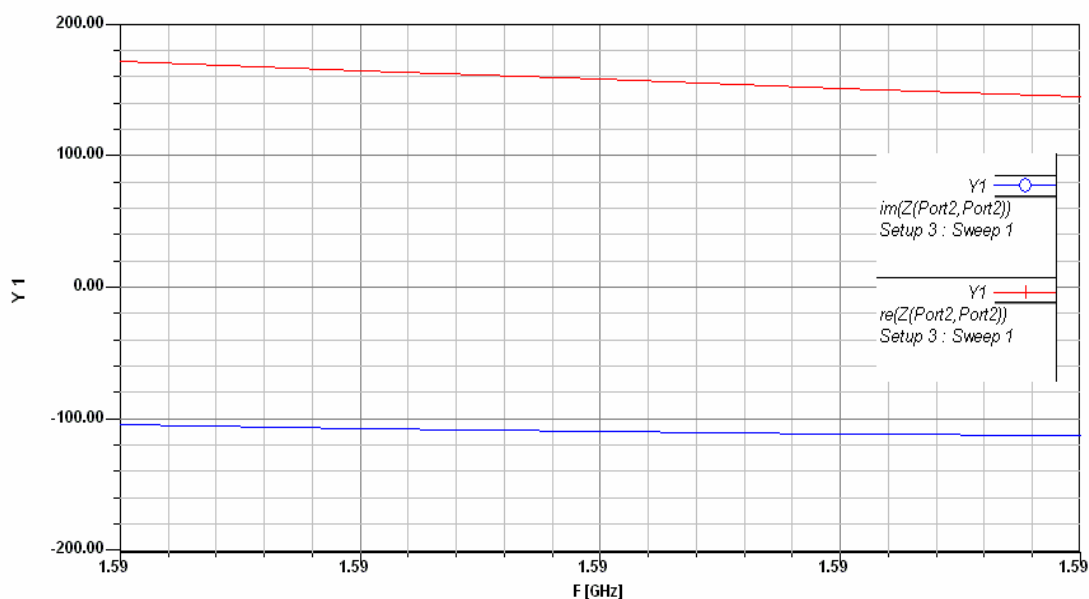
Vykreslení základního tvaru flíčku (obr. 4.1) do programu Ansoft Designer a jeho následné simulace se na požadované frekvenci $f = 1,575 \text{ GHz}$ se nezdařily. Jak je vidět z (obr. 4.2) flíček rezonuje na $f = 1,593 \text{ GHz}$ a impedanční přizpůsobení je velmi špatné.



Obr. 4.2 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} na vstupu GPS antény.



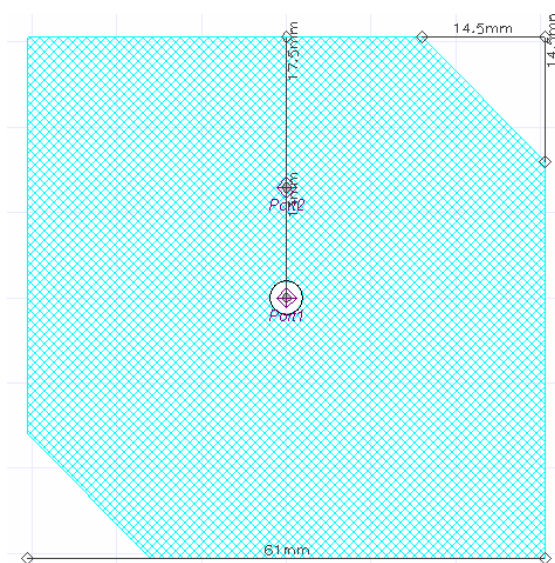
Obr. 4.3 Kmitočtový průběh poměru stojatých vln na vstupu GPS antény.



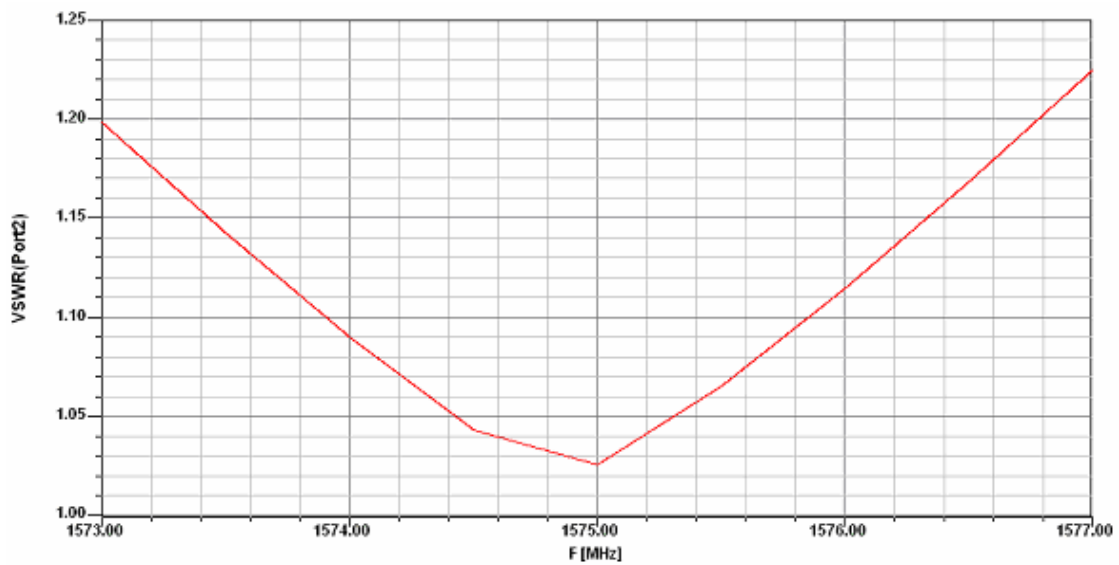
Obr. 4.4 Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) GPS antény.

4.2 Optimalizace GPS antény

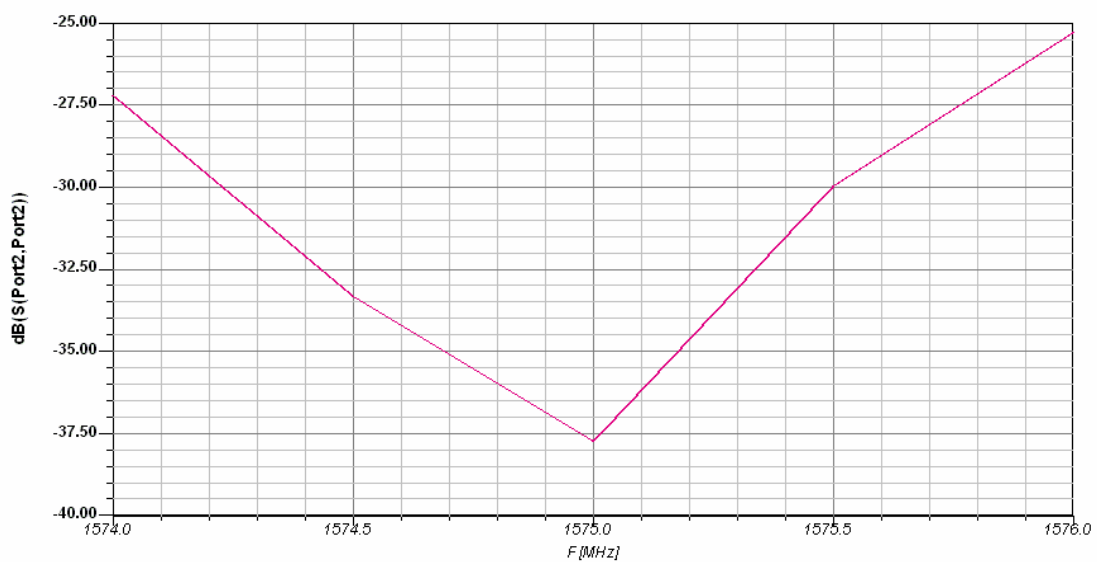
Abychom dosáhli požadovaných vlastností antény, musíme převzatý návrh upravit. Tvar flíčku byl změněn větším zkosením hran a napájecí sonda byla posunuta více k středu flíčku (obr. 4.5). Napájecí koaxiální sonda s charakteristickou impedancí 50Ω zůstala nezměněna. Modifikovaná anténa rezonovala na frekvenci $f = 1,575 \text{ GHz}$, poměr stojatých vln na tomto kmitočtu byl 1,3 dB a velikost činitele odrazu klesla na $S_{22} = -37,5 \text{ dB}$. Nakonec jsme si všechno ověřili z vstupního odporu a vstupní reaktance antény (viz obr. 4.9).



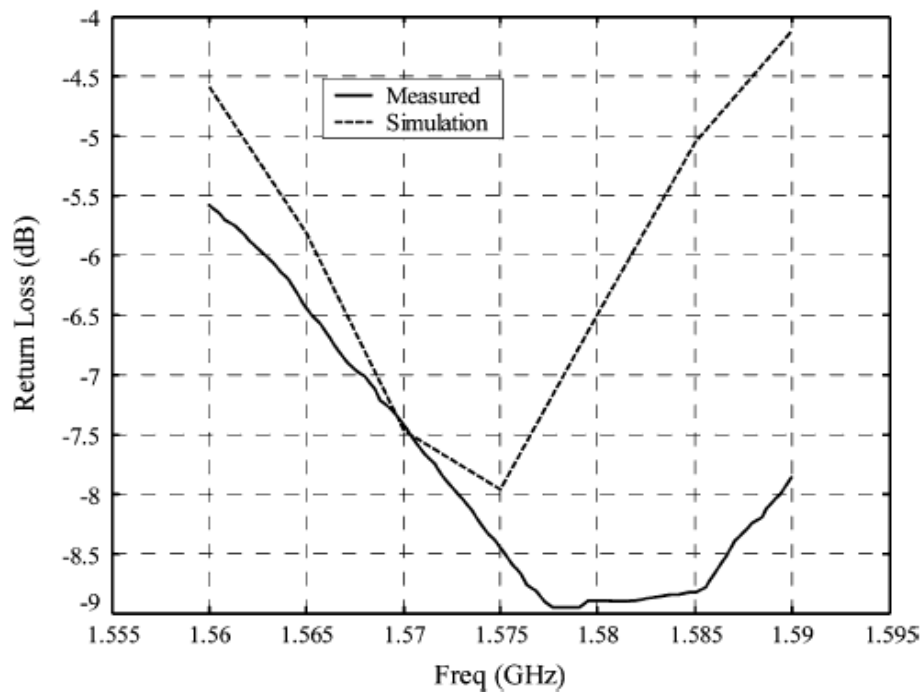
Obr. 4.5 Upravený flíček pro GPS.



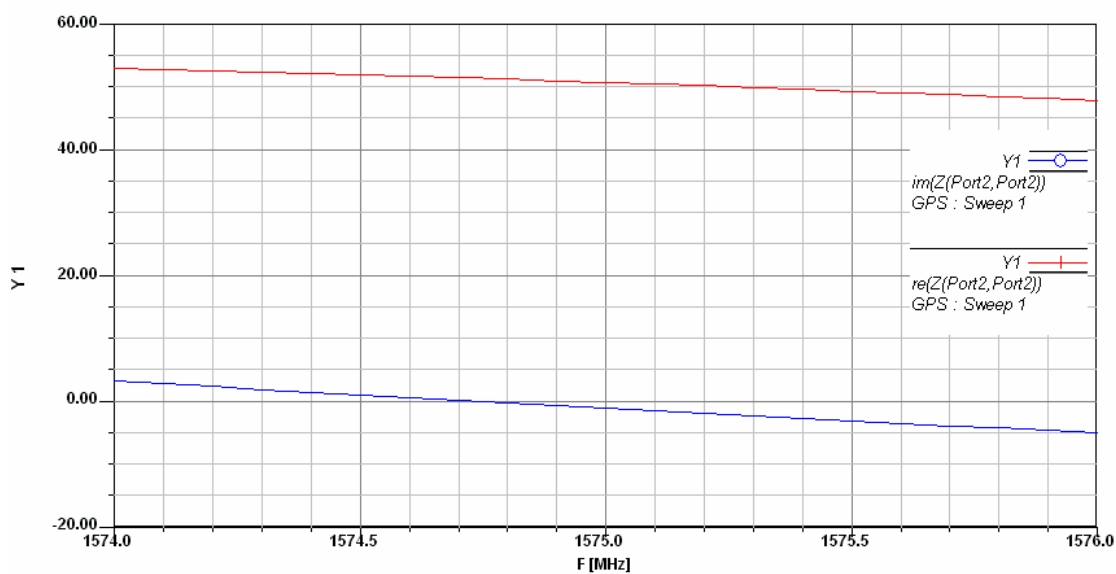
Obr. 4.6 Kmitočtový průběh poměru stojatých vln na vstupu optimalizované GPS antény.



Obr. 4.7 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} na vstupu optimalizované GPS antény.

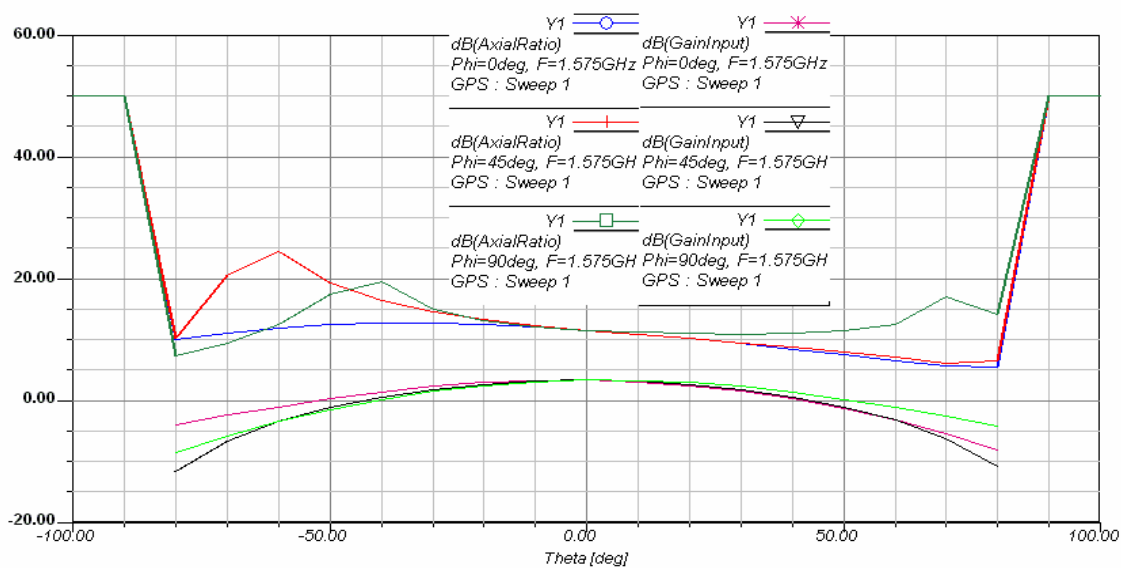


Obr. 4.8 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} publikované GPS antény. Převzato z [1].

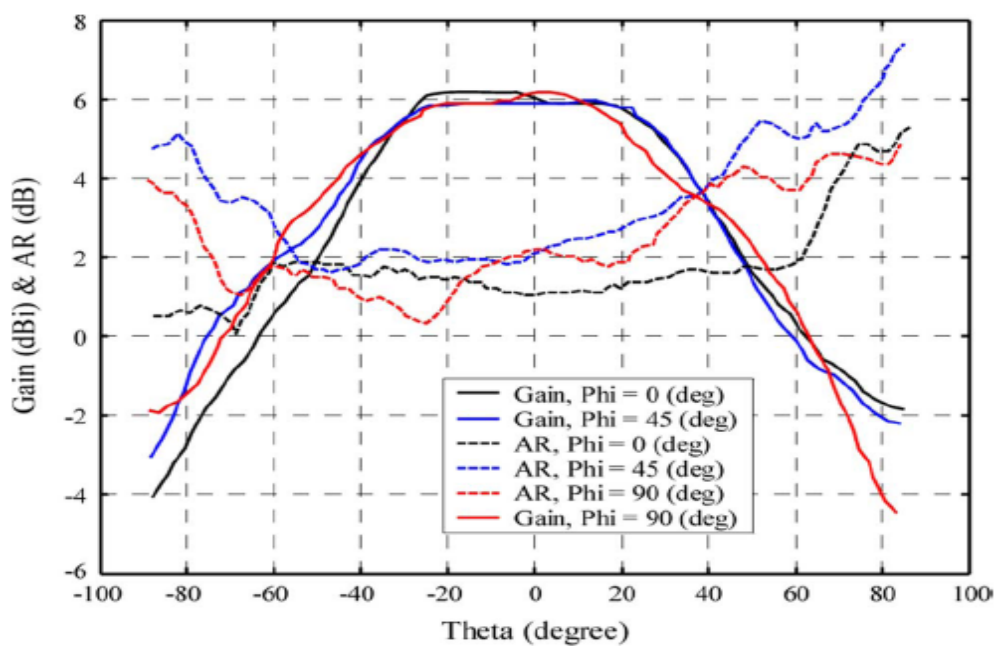


Obr. 4.9 Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) optimalizované GPS antény

Jak je vidět z obr. 4.9, optimalizovaná GPS anténa má reálnou složku impedance přibližně 50Ω a imaginární složka se blíží k nule. Z toho vyplývá, že anténa je optimalizovaná pro zadaný kmitočet $f = 1,575 \text{ GHz}$.

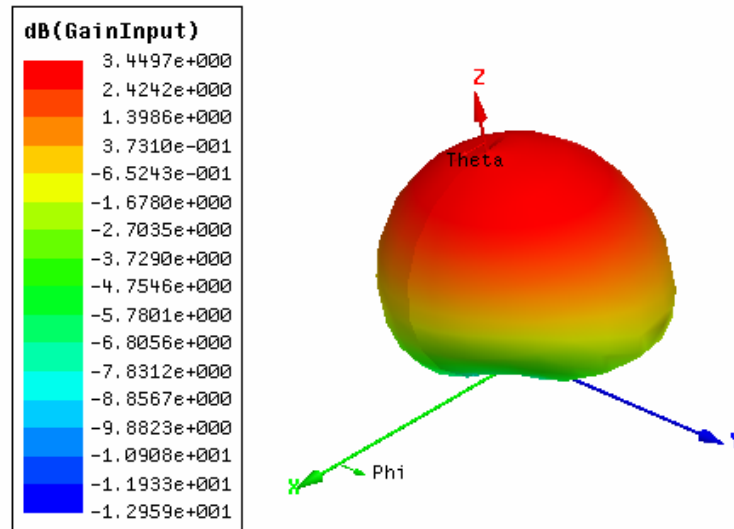


Obr. 4.10 Závislost zisku a osového poměru optimalizované GPS antény na úhlu od kolmice k substrátu.



Obr. 4.11 Závislost zisku a osového poměru publikované GPS antény na úhlu od kolmice k substrátu. Převzato z [1].

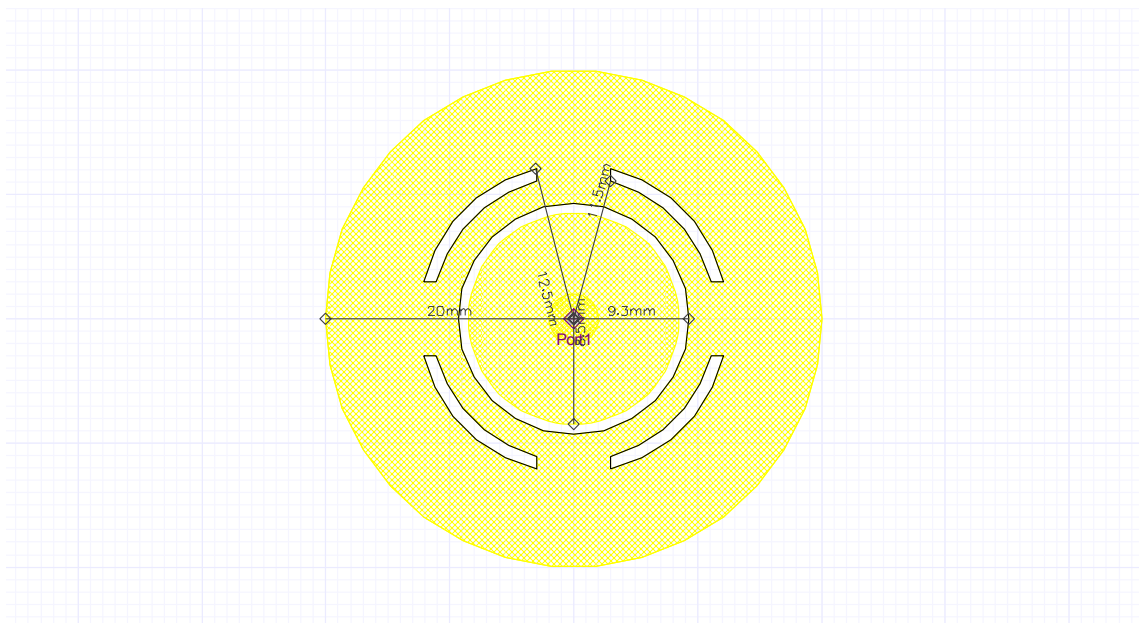
Jak se píše v [1], GPS anténa pracuje s pravotočivou polarizací (RHCP), která vyšla v Ansoft Desingeru poněkud odlišně, než bylo uvedeno v [1]. Srovnání je zobrazeno na obr 4.10 a obr 4.11.



Obr. 4.12 Trojrozměrná vyzářovací charakteristika optimalizované GPS antény na pracovním kmitočtu $f = 1,575$ GHz.

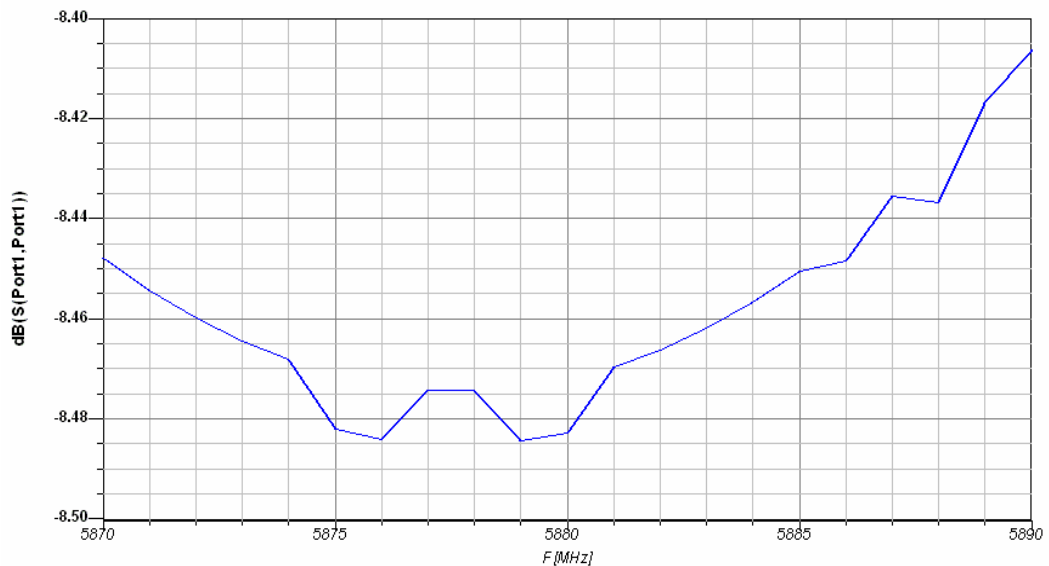
4.3 Výsledky analýzy DSRC antény

DSRC anténa byla navržena podle [1]. DSRC anténa má tvar kruhu se čtyřmi obloukovitými výřezy a jedním kruhovým výřezem. DSRC anténa je napájena koaxiální sondou s charakteristickou impedancí 50Ω .

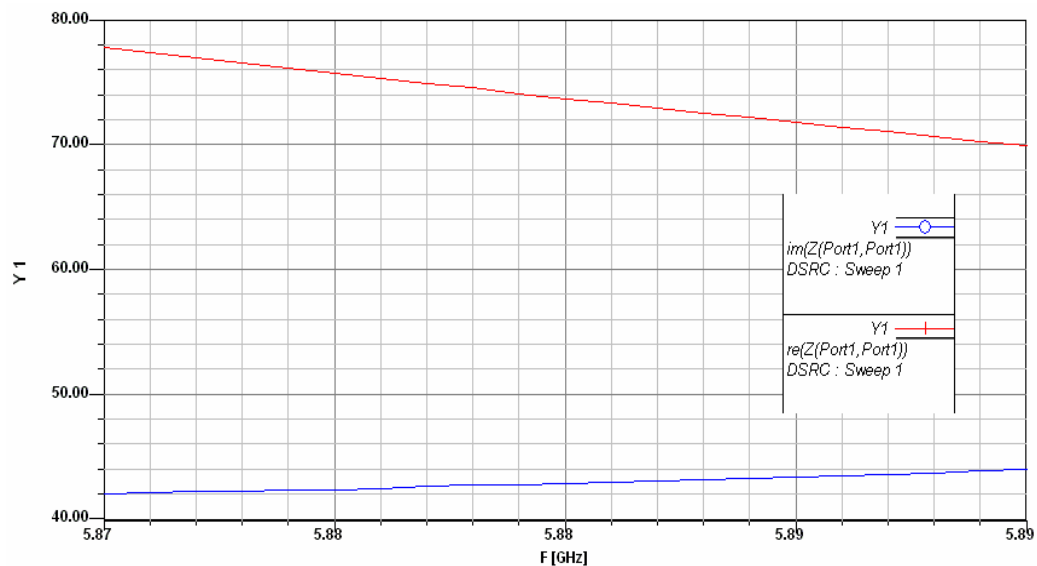


Obr. 4.13 Motiv horního DSRC flíčku. Rozměry převzaty z [1].

DSRC anténa může nabývat různých rozměrů podle požadavků na její pracovní frekvenci (viz tabulka v [1]). Námí zvolený rozměr je patrný z obr. 4.13. Simulace antény na požadovaném kmitočtovém intervalu 5,850 GHz až 5,925 GHz poskytly neuspokojivé výsledky: činitel odrazu antény S_{11} nedosahuje požadovaných -10 dB, ale pohybuje se kolem hodnoty $-8,4$ dB. Proto musíme anténu optimalizovat.



Obr. 4.14 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{11} na vstupu DSRC antény.

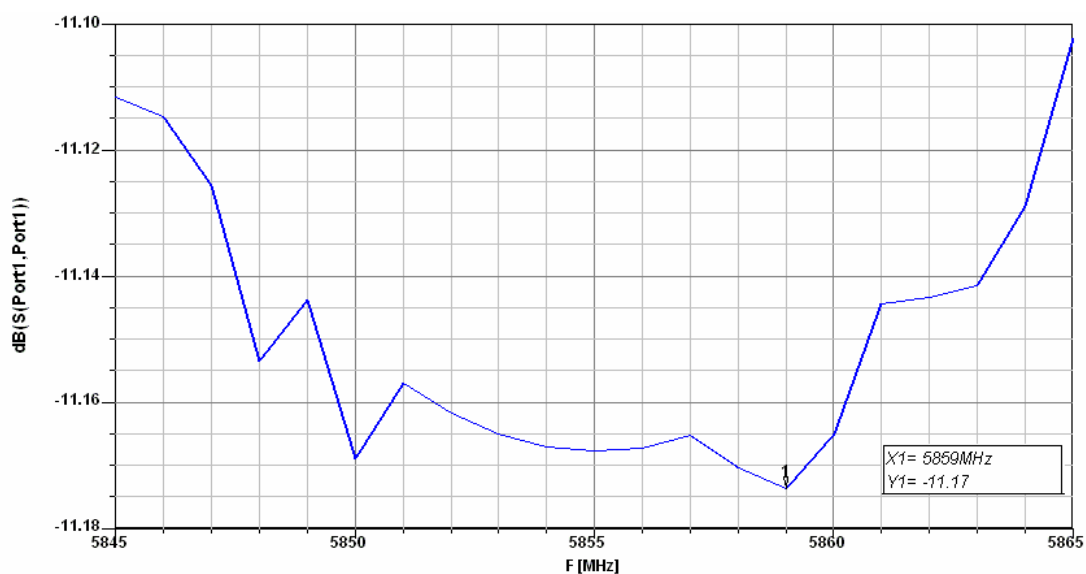


Obr. 4.15 Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) DSRC antény.

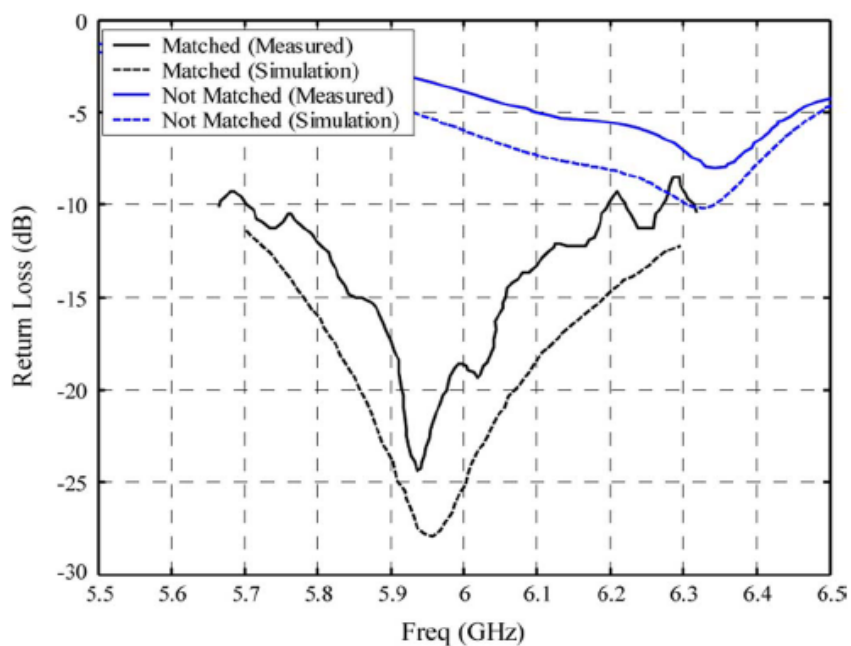
Jak je vidět z obr. 4.15, DSRC anténa má vstupní odpor přibližně 75Ω a vstupní reaktance se blíží hodnotě 42Ω .

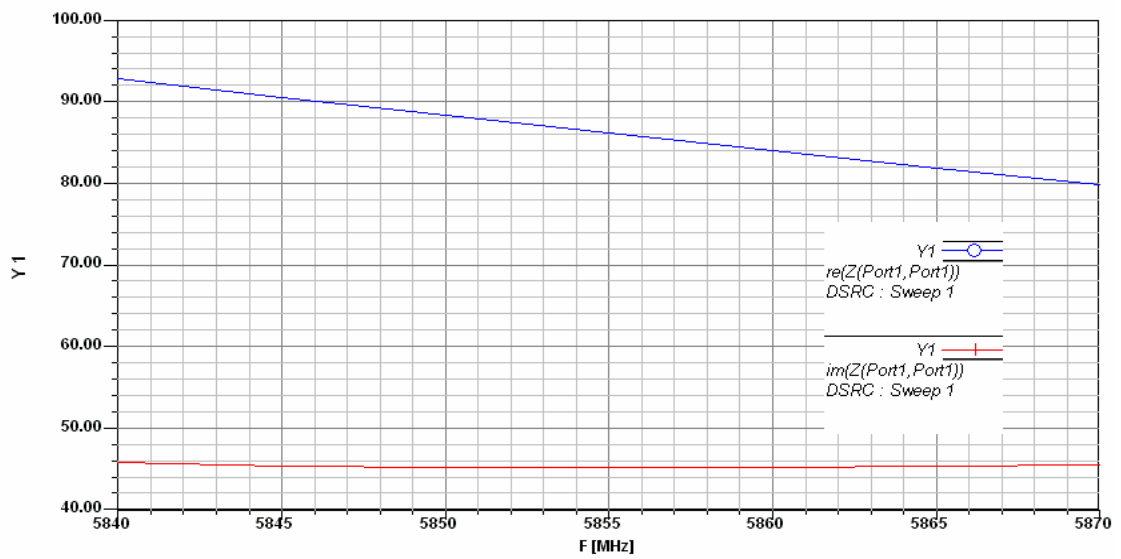
4.4 Optimalizace DSRC antény

Abychom dosáhli požadovaných parametrů DSRC antény, musíme anténu optimalizovat. Tvar flíčku jsme neměnili. Anténu nebylo možno impedančně přizpůsobit změnou pozice koaxiální sondy, poněvadž byl dán požadavek na umístění sondy do středu flíčku. Charakteristickou impedanci napájecí koaxiální sondy jsem změnil z hodnoty 50Ω na 75Ω podle výsledků z obr. 4.15. Činitel odrazu S_{11} modifikované antény klesl pod -11 dB.

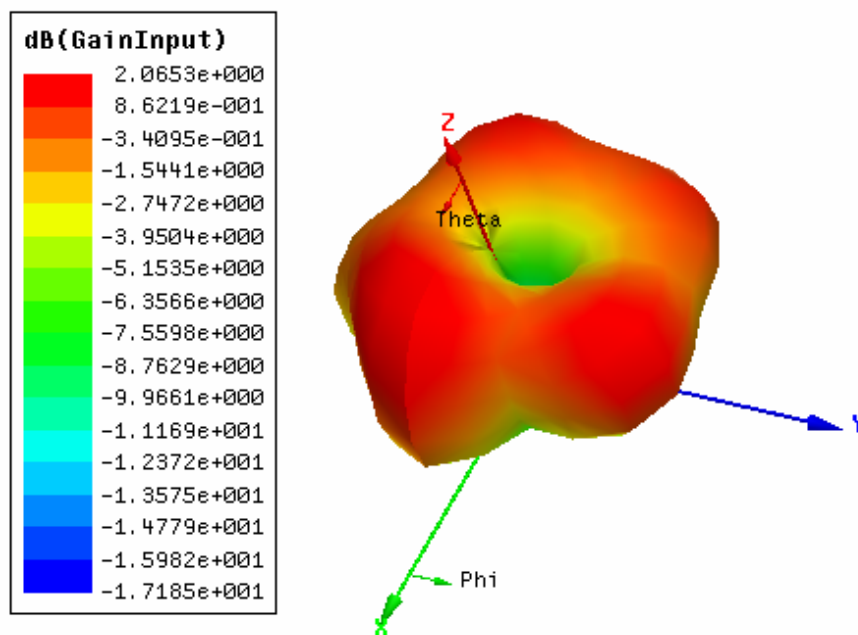


Obr. 4.16 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{11} na vstupu optimalizované DSRC antény.





Obr. 4.20 Kmitočtový průběh vstupního odporu (modrá) a vstupní reaktance (červená) optimalizované DSRC antény na kmitočtu 5,859GHz.

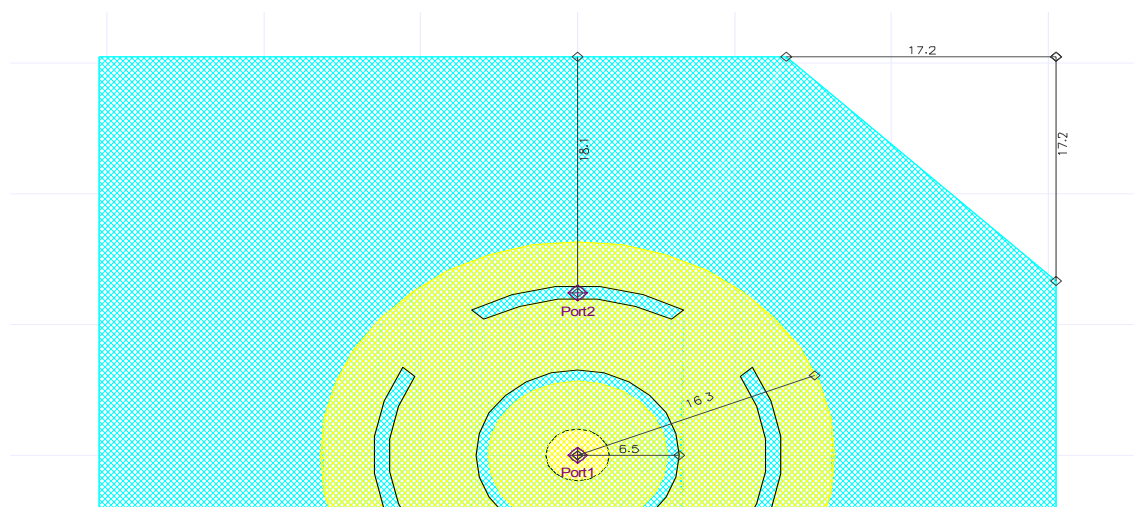


Obr. 4.21 Trojrozměrná vyzářovací charakteristika optimalizované DSRC antény na pracovním kmitočtu $f = 5,859$ GHz.

4.5 Přepočítání antén na výrobní substrát

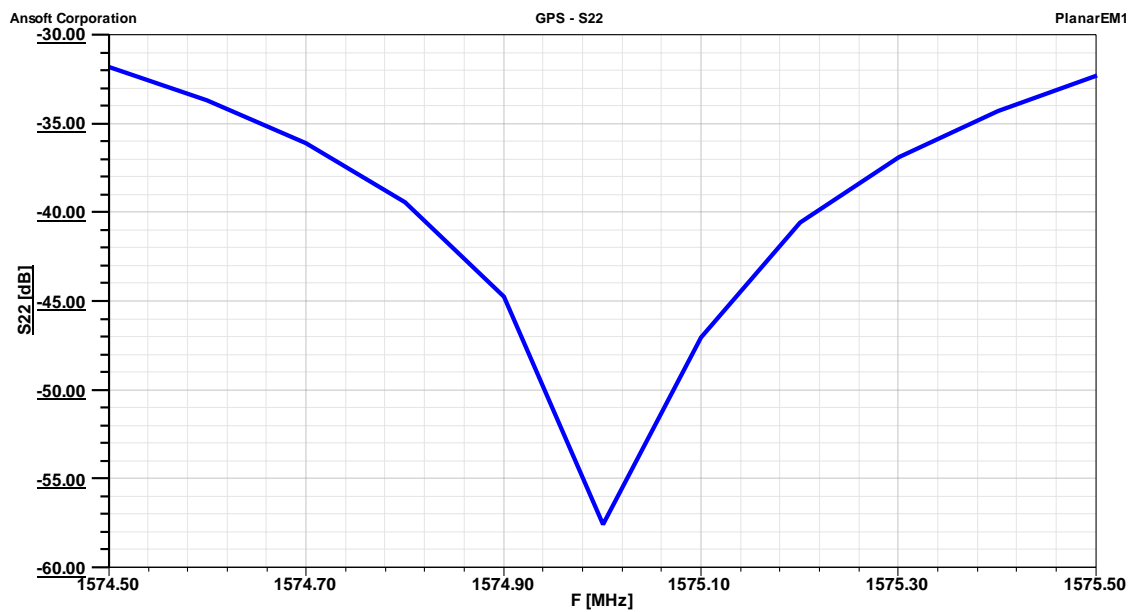
4.5.1 Anténa GPS

Původní anténa byla navržena na substrátu Roger výšky $h = 1,52$ mm s relativní permitivitou $\varepsilon_r = 2,2$. Poněvadž tento substrát nebyl na výrobu antény dostupný, museli jsme anténu přepočítat na substrát CuClad výšky $h = 1,54$ mm s relativní permitivitou $\varepsilon_r = 2,17$. Po přepočítání na výrobní substrát se rozměry antén zmenšily viz. Obr. 4.22.

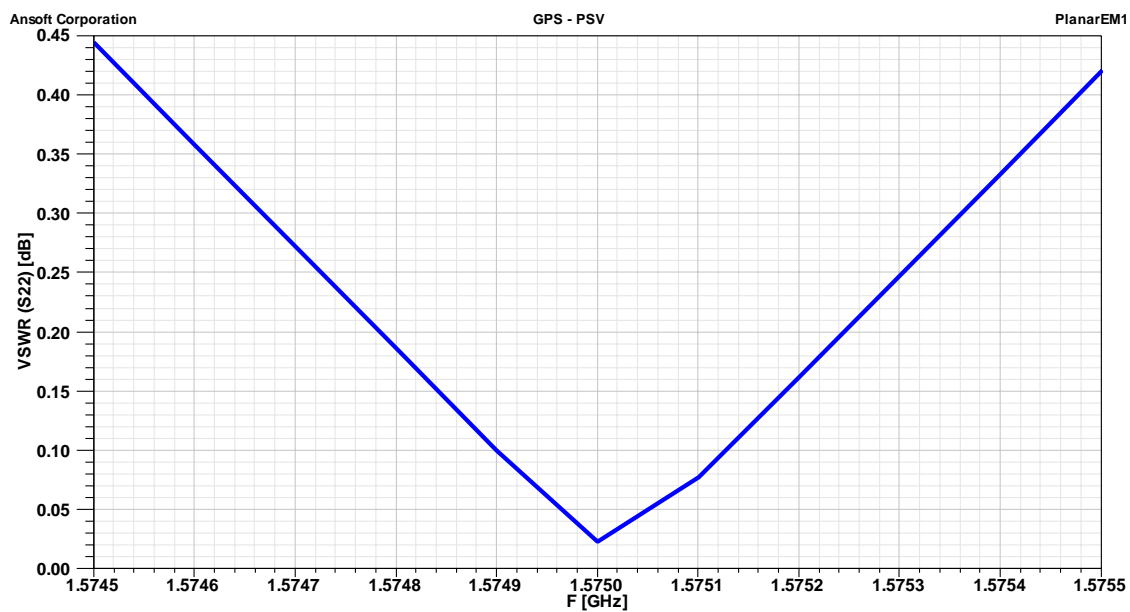


Obr. 4.22 Změněné rozměry navržené antény na substrátu CuClad 217LX.

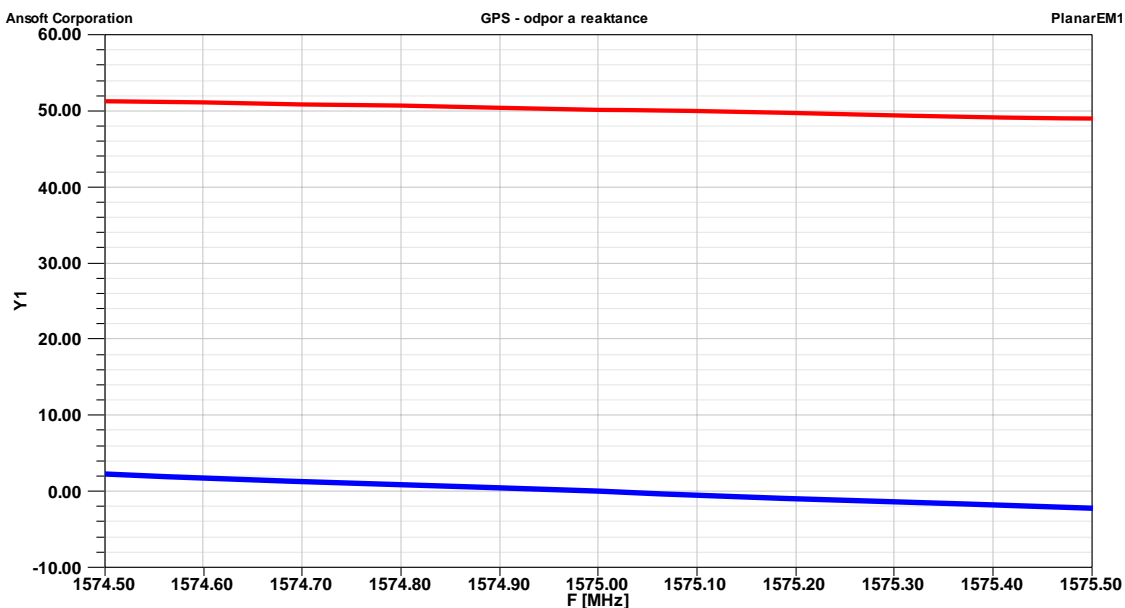
Tvar GPS flíčku jsme změнили větším zkosením protilehlých hran na 17,2 mm, koaxiální sonda je vzdálená 18,1 mm od okraje antény. Charakteristická impedance napájecí koaxiální sondy zůstala na hodnotě 50Ω . Modifikovaná GPS anténa rezonovala na frekvenci $f = 1,575$ GHz, činitel odrazu na vstupu antény S_{22} klesl pod hodnotu -55 dB (viz. Obr. 4.23). Nakonec jsme si všechno ověřili z vstupního odporu a vstupní reaktance antény (viz obr.4.25).



Obr. 4.23 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{22} na vstupu optimalizované GPS antény.

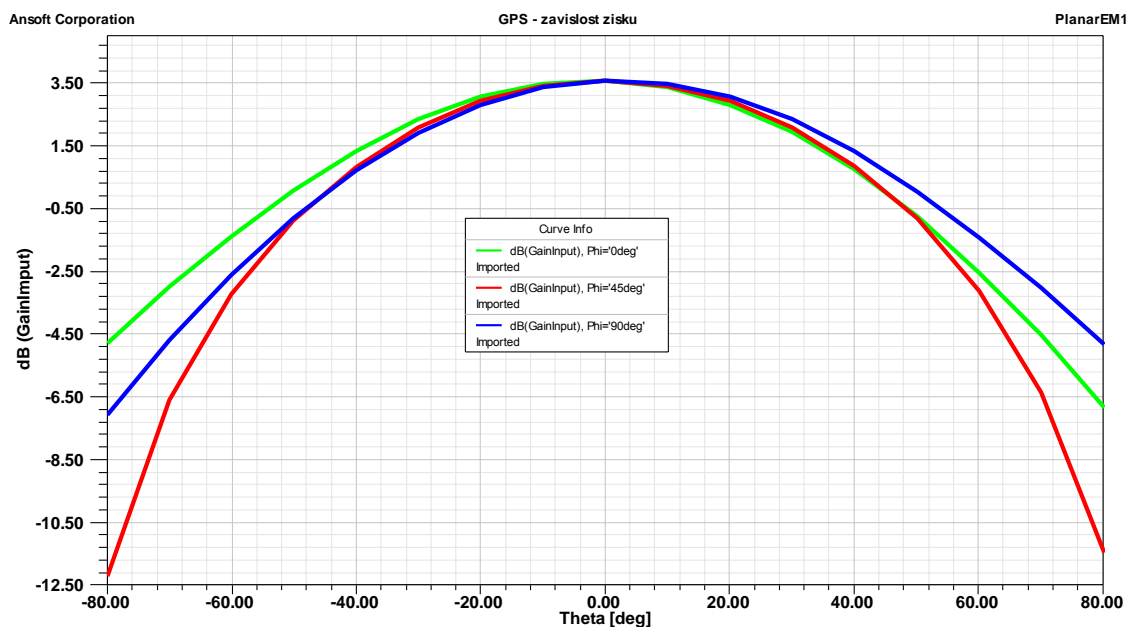


Obr. 4.24 Kmitočtový průběh poměru stojatých vln na vstupu optimalizované GPS antény.

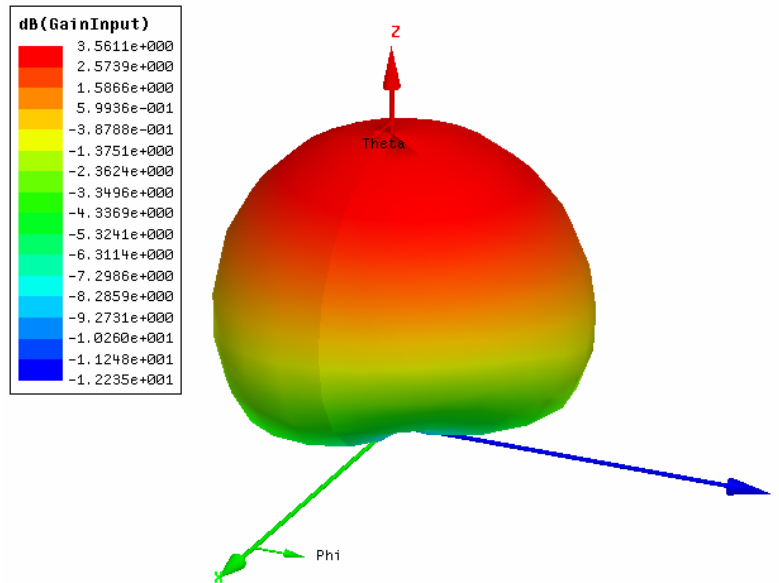


Obr. 4.25 Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) optimalizované GPS antény.

Jak je vidět z obr. 4.25, optimalizovaná GPS anténa má reálnou složku impedance přibližně 50Ω a imaginární složka se blíží k nule. Z toho vyplývá, že anténa je optimalizovaná pro zadaný kmitočet $f = 1,575$ GHz.



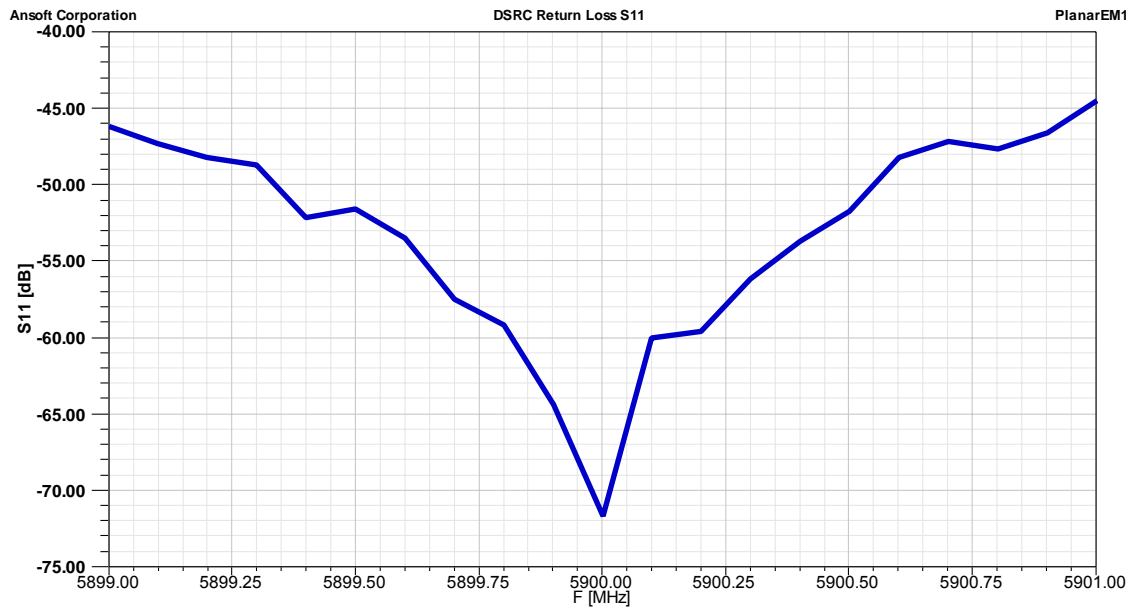
Obr. 4.26 Závislost zisku optimalizované GPS antény na úhlu od kolmice k substrátu.



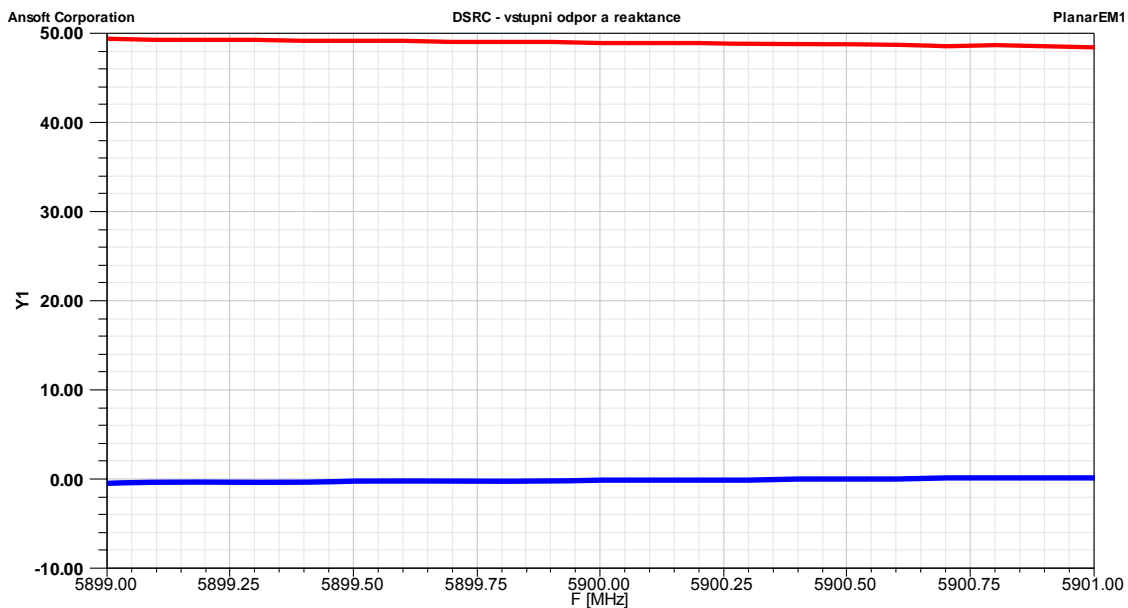
Obr. 4.27 Trojrozměrná vyzářovací charakteristika optimalizované GPS antény na pracovním kmitočtu $f = 1,575$ GHz.

4.5.2 Anténa DSRC

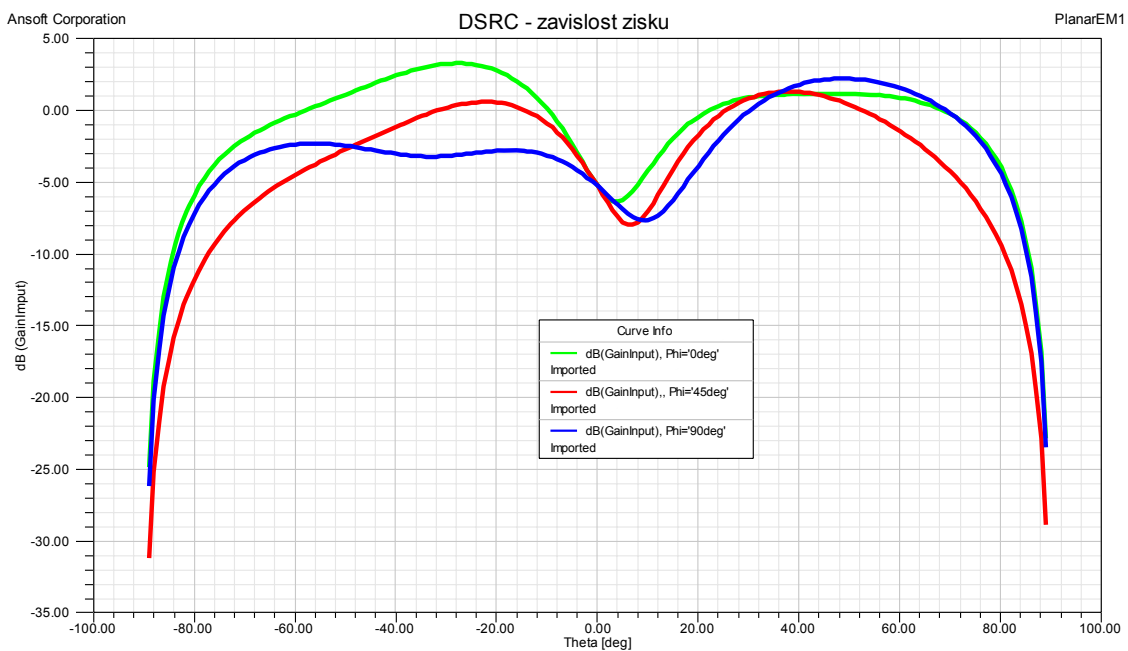
Tvar DSRC flíčku jsme změнили tak, že vnitřní poloměr má hodnotu 6,5 mm a vnější poloměr má hodnotu 16,3 mm, jak je vidět na obr. 4.22. Charakteristická impedance napájecí koaxiální sondy zůstala na hodnotě 50 Ω . Činitel odrazu S_{11} na vstupu modifikované antény klesl pod hodnotu -70 dB.



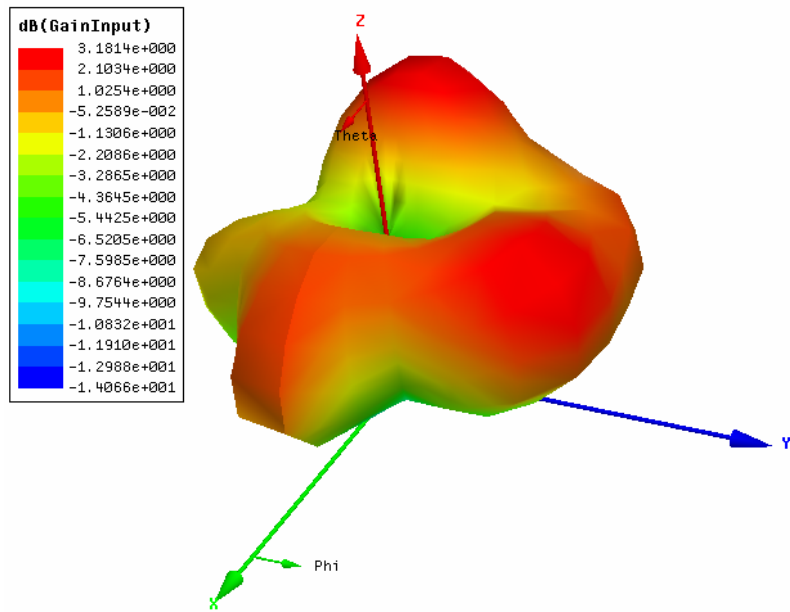
Obr. 4.28 Kmitočtový průběh činitele odrazu S_{11} na vstupu optimalizované DSRC antény.



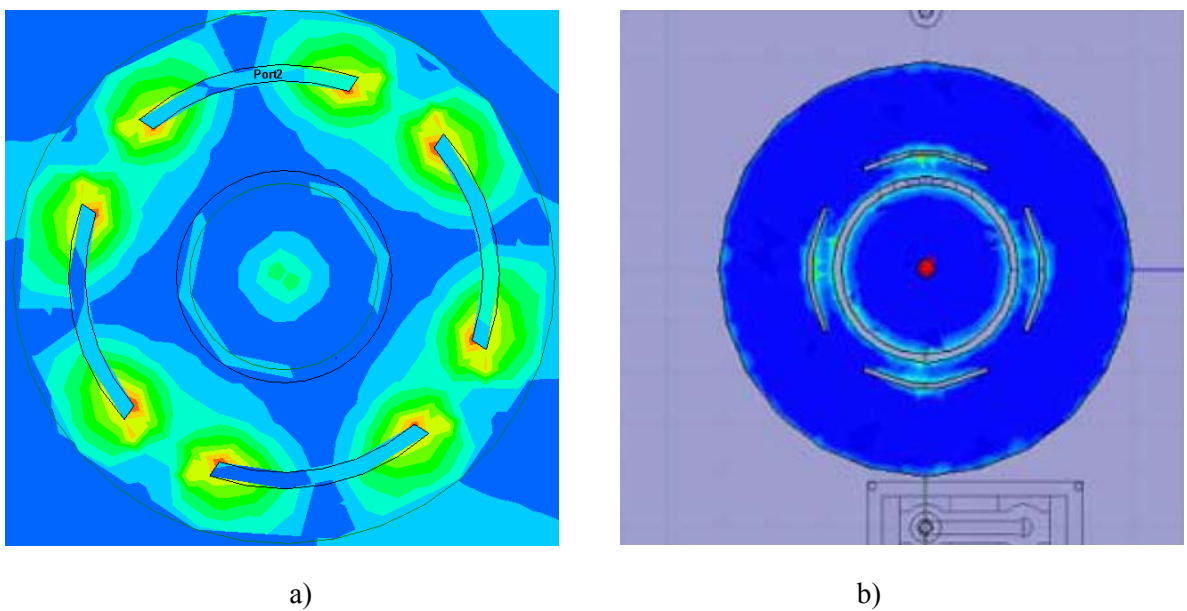
Obr. 4.29 Kmitočtový průběh vstupního odporu (červená) a vstupní reaktance (modrá) optimalizované DSRC antény na kmitočtu 5,9GHz.



Obr. 4.30 Závislost zisku optimalizované DSRC antény na úhlu od kolmice k substrátu.



Obr. 4.31 Trojrozměrná vyzářovací charakteristika optimalizované DSRC antény na pracovním kmitočtu $f = 5,9$ GHz.

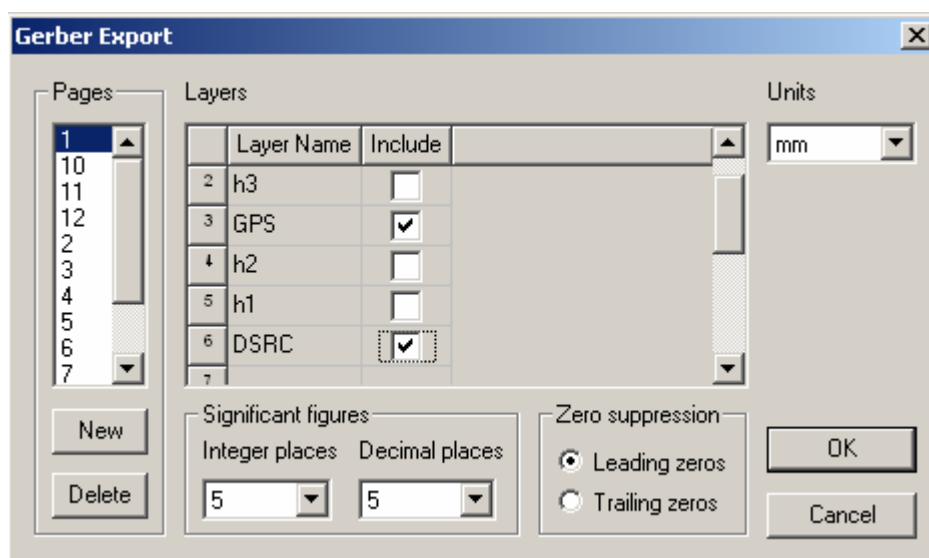


Obr. 4.32. Porovnání rozložení proudu na DSRC anténě na kmitočtu 5,9 GHz
a) optimalizovaného modelu b) Převzato z [1].

5 REALIZACE ANTÉNY

5.1 Výstupní soubor pro realizaci antény

Anténa byla navržena pro substrátu CuClad 217LX ($h = 1,54$ mm, $\epsilon_r = 10,2$). Pro vytvoření předlohy je nutno vytvořit výstupní soubor ve formátu GERBER_RS274. V Ansoft Designer lze exportu souborů dosáhnout pomocí položky *Layout* → *Export File* → *.ger. (viz. Obr. 5.1). V dialogovém okně Gerber Export nastavíme jednotku na milimetry a zatrhneme hladiny, které se mají exportovat.

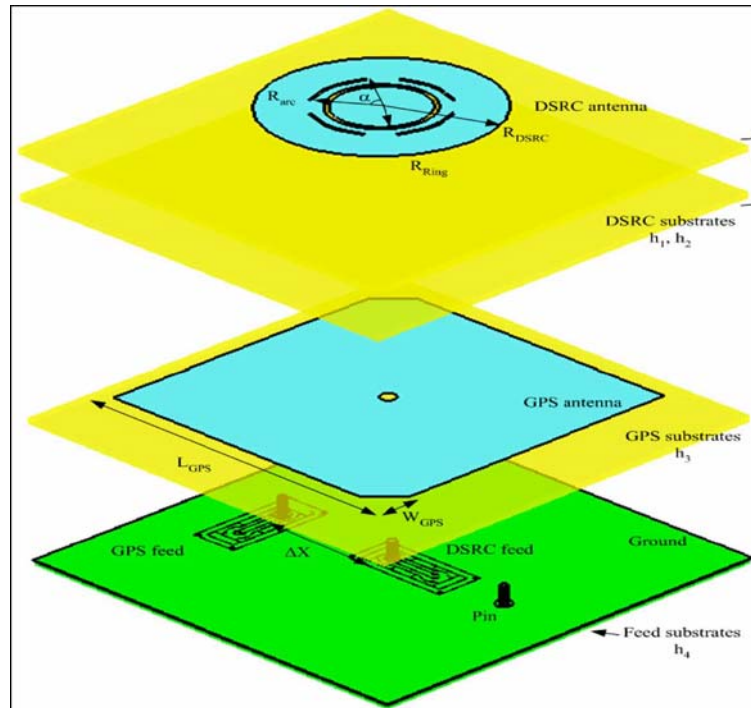


Obr. 5.1. Dialogové okno pro export souboru.

Tento výstupní formát *.ger. lze pak otevřít v programu Gerber Magic (<http://www.bronzware.com/GerbMagic>), kde jej můžeme převést do formátu Gerber RS274 - *.gbr nebo případně do *.pdf. Motiv pro výrobu antény metodou tištěných spojů jsou zobrazeny v příloze 1. Na obrázku 7.1 a 7.2 jsou zobrazeny předlohy pro výrobu horní DSRC antény a spodní GPS antény.

5.2 Zhotovená anténa

Oba modely antény byly vyrobeny ve školní laboratoři UREL metodou plošných spojů. Získání anténního substrátu s požadovanou tloušťkou bylo zvládnuto lepením dvou dielektrických desek pomocí obyčejného sekundového lepidla.



Obr. 5.2. Sestavení nízkoprofilové GPS-DSRC antény. Převzato z [1].



a)

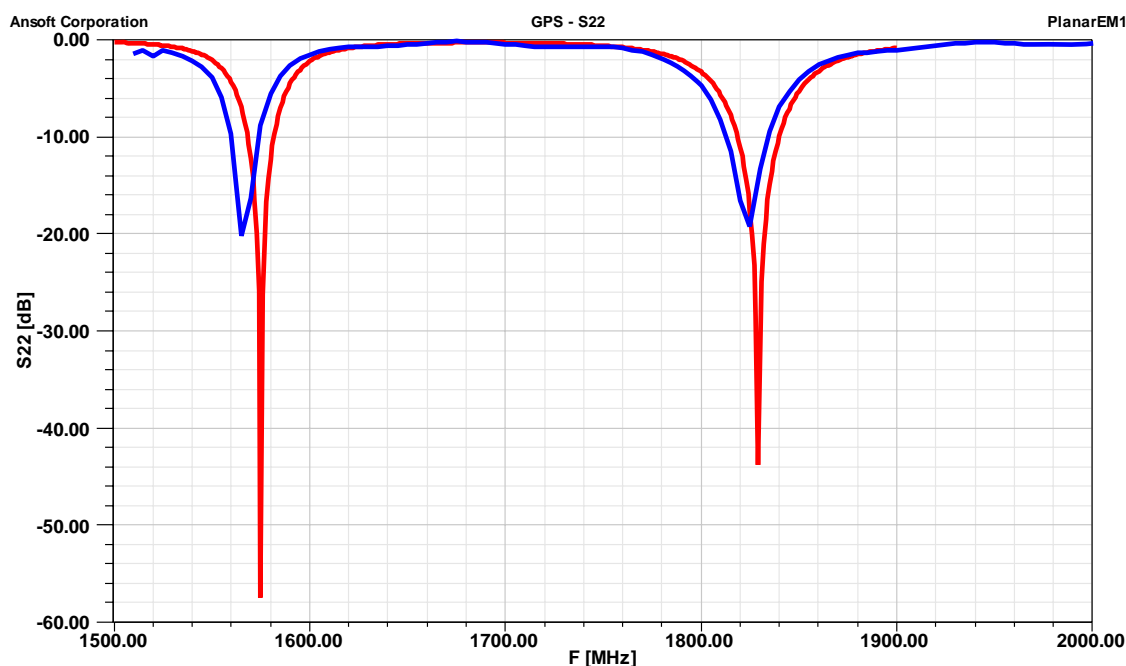
b)

Obr. 5.3. Fotografie kompletního optimalizovaného modelu a) přední strana b) zadní strana.

6 POROVNÁNÍ VYSLEDKŮ SIMULACE A NAMĚŘENÝCH HODNOT

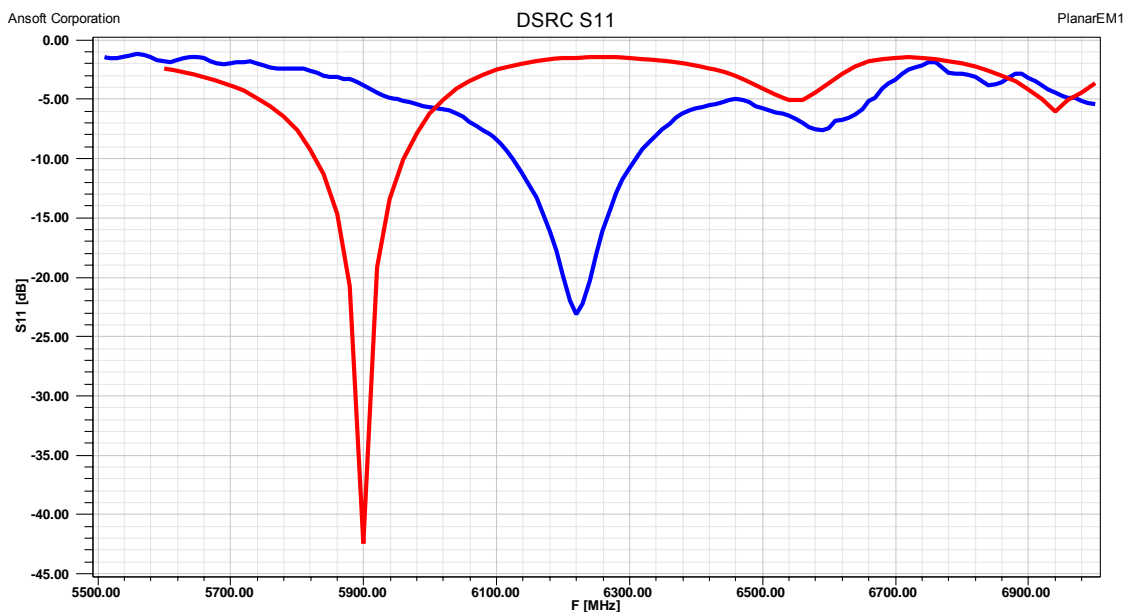
6.1 činitel odrazu na vstupu

Měření modulu činitele odrazu bylo provedeno na VUT v laboratoři PA č. 818 pomocí vektorového analyzátoru s seriovým číslem MY43040445. Měření provedli Ing. Vlastimil Koudelka, Lukáš Kolb. Analyzátor má USB výstup a umožňuje export dat do textového souboru, který lze převést do MS Excel. Frekvenční rozsah pro měření GPS antény byl nastaven od 1GHz do 2GHz s krokem 5 MHz. Graf změřené frekvenční závislosti činitele odrazu S_{22} je zobrazen na obr. 6.1, parazitní rezonance se vyskytly na frekvenci $f = 1,81$ GHz. Frekvenční rozsah pro měření DSRC antény byl nastaven od 5GHz do 7 GHz s krokem 10 MHz. Graf změřené frekvenční závislosti činitele odrazu S_{11} je zobrazen na obr. 6.2 .



Obr. 6.1 Činitel odrazu na vstupu GPS antény, porovnání naměřených hodnot: simulace (červená), změřená (modrá)

Hodnoty činitele odrazu na vstupu realizované a modelované GPS antény se od sebe nepatrně liší. U realizované antény došlo k posunu rezonanční frekvence z hodnoty 1,575 GHz na 1,56 GHz a snížení hodnoty činitele odrazu na vstupu $S_{11} = 20$ dB. Posunutí mohlo nastat z důvodů nepřesné výroby v školní laboratoři. Modelovaná anténa byla navržena v ANSOFT Designeru s přesností setin milimetrů, což při výrobě antény metodou plošných spojů nebylo zřejmě přesně dodrženo.



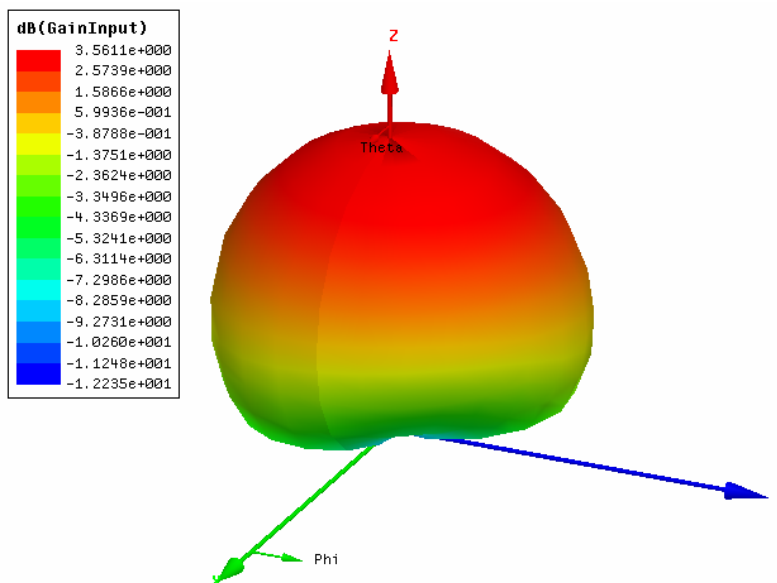
Obr. 6.2 Činitel odrazu na vstupu DSRC antény, porovnání naměřených hodnot: simulace (červená), změřená (modrá).

Hodnoty činitele odrazu na vstupu realizované a modelované DSRC antény se od sebe liší o 320 MHz. Jeden z důvodů posunutí byl už popsán výše, ale u DSRC antény zřejmě za posunutí rezonančního kmitočtu může požadavek na tloušťku anténního substrátu. Požadované tloušťky jsme dosáhli slepením dvou dielektrických desek pomocí obyčejného sekundového lepidla. Lepidlo bylo nanášeno v několika bodech, aby nevznikla nehomogenita, tím však vznikla malá vzduchová mezera, která způsobila posunutí rezonanční frekvence a zhoršení činitele odrazu na vstupu DSRC antény.

6.2 směrové charakteristiky

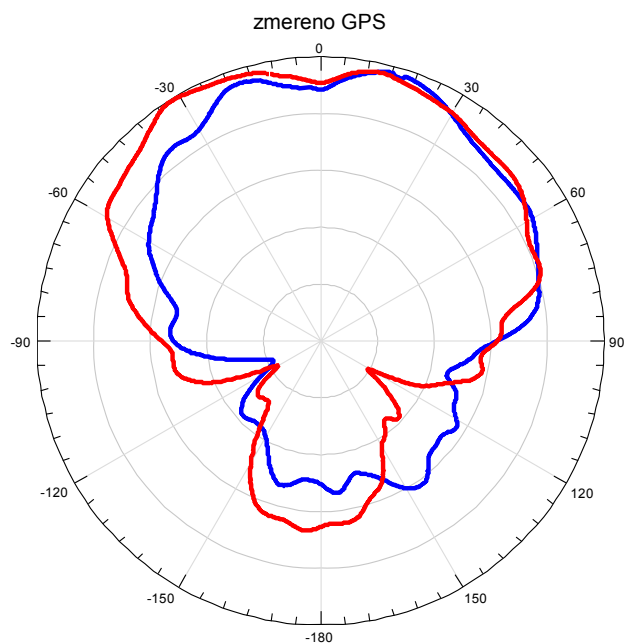
Měření směrových charakteristik proběhlo v bezodrazové komoře na Univerzitě obrany ČR a bylo provedeno Ing. Vlastimilem Koudelkou. Měření antény bylo provedeno na frekvencích zjištěných pomocí vektorového analyzátoru $f_{GPS} = 1,56$ GHz a $f_{DSRC} = 6,22$ GHz. Hodnoty jsou jak pro horizontální, tak i pro vertikální polarizaci. Výsledky jsou porovnány s 3D směrovými charakteristikami z ANSOFT Designeru.

Změřené směrové charakteristiky pro GPS anténu jsou vykresleny v rovině H a v rovině E. Z obrázku č.6.3 a č.6.4 je vidět, že anténa má jeden hlavní lalok a že vyzařuje příčnou složku skoro stejně účinně jako podélnou. U DSRC antény je vidět z obrázku č.6.5 a č.6.6, že anténa vyzařuje díky dvěma bočním lalokům. Naměřené hodnoty jsou si celkem podobné s simulovanými. Spodní vrstvu obou antén tvoří zemnicí deska, proto by antény měly vyzařovat pouze do poloprostoru nad touto zemnicí deskou. Pohledem na směrové charakteristiky se tento směr vyzařování opravdu potvrdil.



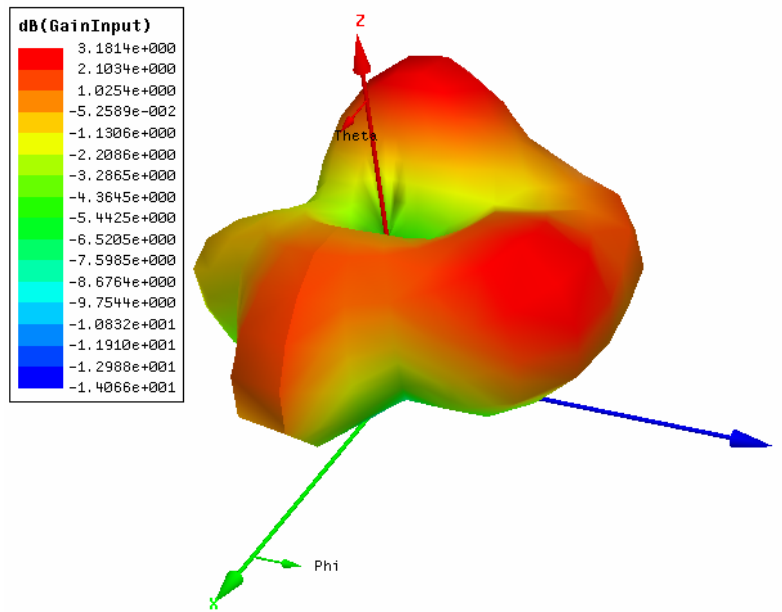
Obr. 6.3 Trojrozměrná vyzářovací charakteristika optimalizované GPS antény na pracovním kmitočtu $f = 1,575$ GHz.

Ansoft Corporation



PlanarEM1

Obr. 6.4 Směrová charakteristika GPS antény při 1,56 GHz rovina H (červená) rovina E (modrá) měřené GPS antény.

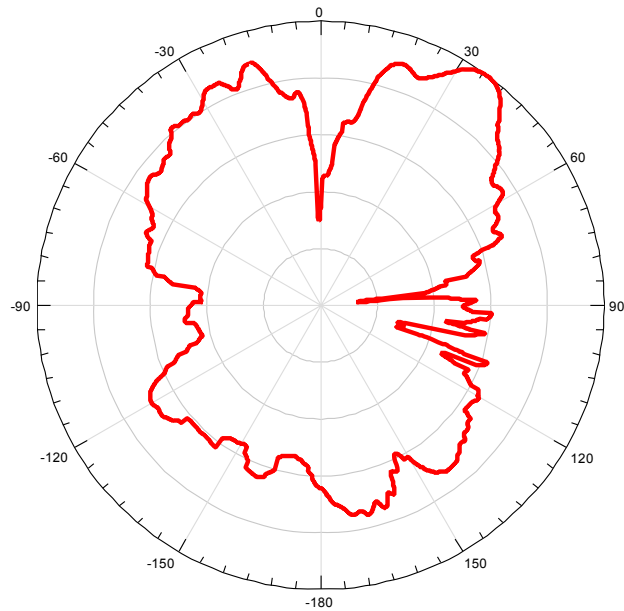


Obr. 6.5 Trojrozměrná vyzářovací charakteristika optimalizované DSRC antény na pracovním kmitočtu $f = 5,9$ GHz.

Ansoft Corporation

zmereno DSRC

PlanarEM1



Obr. 6.6 Směrová charakteristika DSRC antény při 6,22 GHz, polarizace antény je vertikální.

7 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá flíčkovými anténami. Seznámil jsem se s základními typy planárních antén pro pásmo GPS a DSRC, s metodikou jejich návrhu a jejich modelováním v programu ANSOFT Designer. Důraz jsem kladl především na dodržení rezonanční frekvence antén, pro pásmo GPS 1,575 GHz, pro pásmo DSRC 5,725 GHz až 5,95 GHz.

V první části práce se zaměřuji na anténa pro GPS, rezonovala při požadované frekvenci 1,575 GHz a bylo dosaženo velmi dobré hodnoty impedančního přizpůsobení $S_{22} = -37,5$ dB. Anténa byla modifikována pomocí zkosení na rozích. Zkosení bylo větší o 12 mm oproti tomu, co uvádí [1], a napájecí sonda byla přiblížena více ke středu antény. U modifikace antény na zadaném substrátu Roger pro pásmo DSRC bylo dosaženo hodnoty impedančního přizpůsobení $S_{11} = -11,17$ dB U antény byla změněna hodnota napájecí sondy z 50Ω na 75Ω . Rozměry antény se nijak nezměnily.

V následující části práce byla anténa přepočítána na výrobní substrát CuClad 217XL, opět byla provedla optimalizace tak, aby anténa rezonovala na požadované frekvencích 1,575 GHz a 5,9GHz. Po optimalizaci byla anténa vyrobena v školní laboratoři. Na substrátu Cuclad 217XL bylo dosaženo velmi dobrých výsledků simulacích. Impedančního přizpůsobení u GPS dosahovaly hodnot $S_{22} = -57,5$ dB a u DSRC $S_{11} = -70$ dB. Anténa pro DSRC pracuje opět s hodnotou napájecí sondy 50Ω , ale rozměry antény byly změněny vzhledem k požadované rezonanční frekvenci.

Hodnoty činitele odrazu na vstupu realizované a modelované antény se od sebe trochu liší. Při realizaci došlo k posunutí obou rezonačních kmitočtů. U DSRC antény došlo k posunu směrem nahoru a k zmenšení velikosti činitele odrazu na vstupu. U GPS antény došlo k posunu směrem dolů a k zmenšení velikosti činitele odrazu na vstupu. Vyrobená GPS anténa pracuje na 1,56 GHz a má hodnotu parametru $S_{22} = -20$ dB. Vyrobená DSRC pracuje na 6,22 GHz a má hodnotu parametru $S_{11} = -23$ dB. Jako jeden z hlavních důvodů posunutí kmitočtů je, že Ansoft Designer provádí simulace na nekonečně velké zemnicí ploše. Další z hlavních důvodů posunutí je optimalizace a realizace antén. Antény byly navrhovány s přesností na setiny milimetrů, ale výroba v školní laboratoři není tak přesná. Další důvod u DSRC antény je lepením dvou dielektrických desek pomocí obyčejného lepidla, kde při lepení vznikla vzduchová mezera, která se podílí na posuvu kmitočtů směrem nahoru. Další důvod posuvu frekvencí může být to, že se v simulacích počítá s napájením obou koaxiálních sond zároveň, ale při měření na analyzátoru nebo v bezodrazové komoře se napájela každá sonda zvlášť.

LITERATURA

- [1] RAFI, G. Z. et al. *Low-profile integrated microstrip antenna for GPS-DSRC application*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009, vol. 8, p. 44–48
- [2] RAIDA, Z. *Počítačové řešení komunikačních systémů*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2006.
- [3] <http://www.tripon.ch>
- [4] <http://www.learmstrong.com/DSRC/DSRCHomeset.htm>
- [5] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Antena>
- [6] ANSOFT *Designer User's Guide, version 4.0*. Pittsburg: Ansoft Ltd. Dostupné na <http://www.ansoft.com>
- [7] RAIDA, Z. a kol. *Analýza mikrovlnných struktur v časové oblasti*. Brno: VUTIUM, 2004.
- [8] ČERNOHORSKÝ, D., RAIDA, Z., ŠKVOR, Z., NOVÁČEK, Z. *Analýza a optimalizace mikrovlnných struktur*. Brno: VUTIUM, 1999
- [9] Program GerbMagic, Dostupný na: <http://www.bronzware.com/>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

| | |
|--------------------|---|
| GPS | Global Position systém, globální poziční systém |
| DSRC | Dedicated Short Range Communication |
| GNSS | Global navigation satellite systém, globální navigační systém |
| A | Délka flíčku |
| B | Šířka flíčku |
| ε_{ef} | Relativní permitivita substrátu |
| h | Tloušťka substrátu |
| c | Rychlost světla |
| λ_d | délka vlny v substrátu |
| RHCP | Right Hand Circular Polarization, pravotočivá polarizace |
| VSWR | Voltage Standing Wave Ratio, poměr stojatých vln |
| DPS | Desky Plošných Spojů |

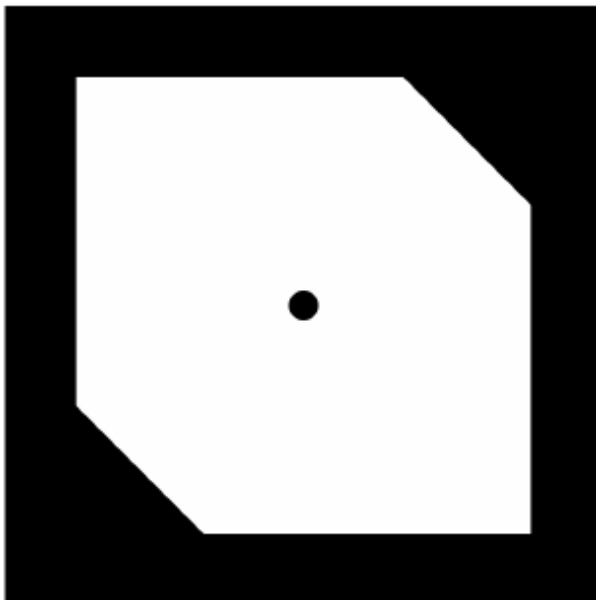
SEZNAM PŘÍLOH

Součástí bakalářské práce je CD ROM obsahující kompletní dokumentaci bakalářské práce

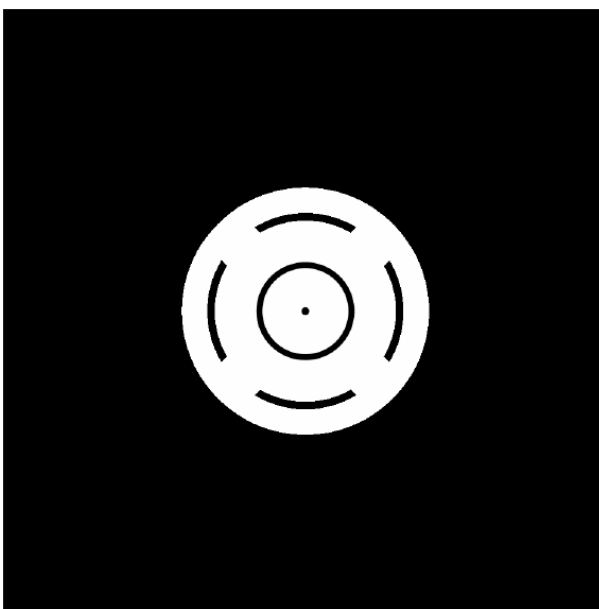
- Úvodní stránky **.doc* a **.pdf* :
 - desky,
 - zadání,
 - poděkování a prohlášení o původnosti,
 - licenční smlouva,
 - prohlášení a shodě tištěné a elektronické verze,
 - abstrakt, anotace a bibliografická citace
- Bakalářská práce **.doc* a **.pdf* – kompletní text bakalářské práce
- Výsledky měření laboratoř Č. 818
- Výsledky měření na katedře radiolokace Univerzity obrany ČR
- Zdrojové soubory antén v programu Ansoft Designer
- Předlohy pro výrobu ve formátu **.pdf* a **.ger*

Příloha 1, Předloha pro výrobu antény metodou DPS

PŘÍLOHA 1



Obr. 7.1 Předloha pro výrobu GPS antény metodou plošných spojů M 1:1



Obr. 7.2 Předloha pro výrobu DSRC antény metodou plošných spojů M 1:1