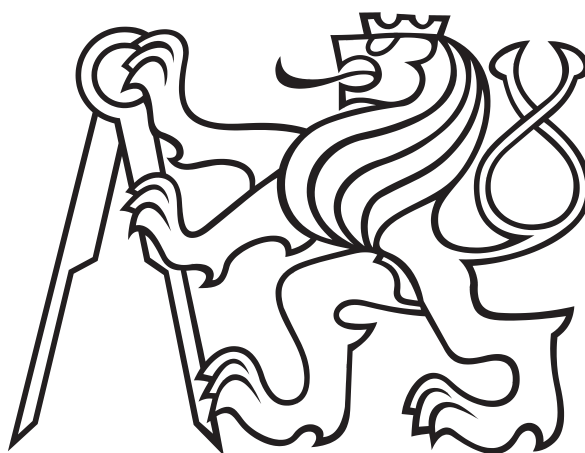


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Michal Průša

Česke vysoké učení technické v Praze

fakulta elektrotechnická

katedra elektromagnetického pole



Diplomová práce

Trychtýřová anténa s dielektrickou čočkou realizovaná
technologií 3D tisku

Autor: Michal Průša

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Kořínek PhD.

2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci „Trychtýřová anténa s dielektrickou čočkou realizovaná technologií 3D tisku“ zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 18.5.2017

Michal Průša

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Průša** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **406124**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Elektronika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Trychtýřová anténa s dielektrickou čočkou realizovaná technologií 3D tisku

Název diplomové práce anglicky:

3D Printed Horn Antenna with Dielectric Lens

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhnete a realizujete trychtýřovou anténu metodou 3D tisku.
2. Optimalizujete vyzářovací vlastnosti trychtýřové antény použitím dielektrické čočky.
3. Dielektrickou anténní čočku realizujete metodou 3D tisku.
4. Zvolte vhodný tiskový materiál na základě znalostí jeho elektrických parametrů.
5. Elektrické parametry realizovaného vzorku ověřte měřením.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Johnson, R., C., Antenna Engineering Handbook, Third Edition, McGraw-Hill, New York, 1992.
- [2] Volakis, J., L., Antenna Engineering Handbook, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, 2007.
- [3] Balanis, C., A., Antenna Theory: Analysis and Design, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, 1996.
- [4] Kraus, J. D., Antennas, McGraw-Hill, New York, 1988.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Tomáš Kořínek Ph.D., katedra elektromagnetického pole FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **10.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Mé poděkování patří panu Ing. Tomášovi Kořínkovi PhD. za cenné rady při konzultacích, za podporu, ochotu, vstřícnost a trpělivost při vedení celé této diplomové práce.

Dále mé poděkování patří firmě Prusa Research s.r.o. za poskytnutí tiskové laboratoře a finančních prostředků.

Anotace

Obsahem této diplomové práce je výhradně rozbor využití FDM/FFF technologie 3D tisku ve vysokofrekvenční technice, konkrétně možnosti realizace trychtýřové antény s dielektrickou čočkou pro optimalizaci vyzařovacích vlastností. V první části se práce zabývá trychtýřovými anténami a jejich návrhem, následně stejným postupem dielektrickými čočkami. Dále se práce zabývá materiály pro 3D tisk, jejich parametry, včetně extrakce a popisu metody. Závěrem práce je popis realizace navržené antény, předvedeny výsledky a porovnány se simulací. Postupy popsány v této práci se podařilo realizovat funkční trychtýřovou anténu s dielektrickou čočkou pomocí 3D tisku, bohužel s velmi nízkým ziskem, a extrahovat parametry běžných materiálů po průchodu procesem.

Klíčová slova

3D tisk, RepRap, Trychtýřová anténa, Anténní čočka, Dielektrická čočka, Extrakce parametrů

Abstract

Content of this masters thesis is specially a research of possible usage of FDM/FFF 3D printing technology in high frequency technology, specifically realization of horn antenna with dielectric lens for optimization of radiation properties. In the first part, the thesis is explaining horn antennas and it's design, then dielectric lenses in similar way. Then the materials for 3D printing is discussed, described properties and it's extraction, including description of the method. At the end, realization of designed antenna and lens is described, presented results and compared to simulation. With methods described in this thesis, we were able to realize working horn antenna with dielectric lens using 3D printing technology, unfortunately with very low gain, and extract parameters of common materials after printing process.

Key words

3D printer, RepRap, Horn antenna, Antenna lens, Dielectric lens, Parameter Extraction

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Motivace	1
1.2	Cíl	1
2	Teoretický rozbor	2
2.1	3D tisk a materiály	2
2.1.1	Princip technologie FDM	2
2.1.2	Vlastnosti technologie	3
2.1.3	Materiály využitelné pro vysokofrekvenční techniku	5
2.2	Trychtýřová anténa	6
2.2.1	Základní princip	6
2.2.2	Vlastnosti struktury	6
2.3	Anténní čočka	6
2.3.1	Základní princip	6
2.3.2	Vlastnosti struktury	6
2.4	Extrakce dielektrických parametrů	6
3	Návrh	7
3.1	Trychtýřová anténa	7
3.2	Anténní čočka	7
3.3	Extrakce dielektrických parametrů	7
4	Realizace	8
4.1	3D tisk	8
4.2	Pokovení	8

4.3	Měření parametrů	8
5	Závěr	9

Kapitola 1

Úvod

Téma anténních struktur osazených čočkami, zejména anténních čoček jako takových, bylo velmi aktuální a rozvíjené v počátcích vývoje antén pro mikrovlnnou techniku. Avšak s příchodem reflektorových antén se velká část pozornosti odklonila právě k nim zejména z důvodu jejich vyšší efektivity. Poslední dobou se stále se zvyšujícím kmitočtem, anténní struktury s čočkami začínají opět získávat svoji poroznost.[1 - Modern Lens Antennas for Communications Engineering.pdf]

1.1 Motivace

3D tisk je technologie zejména pro výrobu rychlých prototypů, takzvaný "rapid prototyping", používaná ve stále více oborech. S uvedením speciálních polymerních materiálů vykazujících vyšší elektrickou vodivost do prodeje má stále větší smysl využití právě této technologie pro urychlení vývoje a malosériovou výrobu antén (s výjimkou dielektrických rezonančních struktur).

1.2 Cíl

Primárním cílem této práce je výzkum využití 3D tiskové technologie FDM pro výrobu anténní struktury (trychtýřová anténa s dielektrickou čočkou) od návrhu optimalizovaného pro jednoduchou výrobu, přes extrakci dielektrických parametrů po průchodu technologickým procesem, po vlastní realizaci navržené struktury. Sekundárním cílem práce byl průzkum možností následného pokovení pro minimalizaci rozdílu mezi "vytisknutou" a profesionálně realizovanou strukturou.

Kapitola 2

Teoretický rozbor

Před vlastním návrhem a realizací je nezbytně nutné být seznámen alespoň se základní teorií použitých technologií a postupů. Bez této znalosti by se jednalo pouze o útržky textu a nebylo by možno zacházet do řešení komplexnější problematiky a kladení možných dalších témat pro následující výzkum a posun technologie.

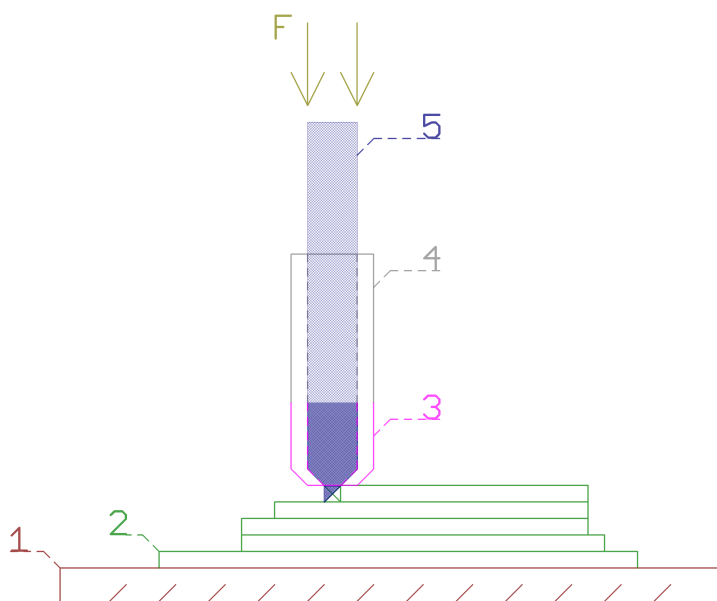
2.1 3D tisk a materiály

3D tisk je na rozdíl od jiných technologií aditivní proces. Jedná se tedy o postupné přidávání základního materiálu v diskretních krocích (vrstvách). Technologií existuje několik a s postupným rozšiřováním možností aplikace jich stále přibývá. Pro řešení této práce byla vybrána technologie FDM vzhledem k jejímu masovému rozšíření, dostupnosti a nízkých nákladů.

2.1.1 Princip technologie FDM

Fused deposition modeling, zkráceně FDM, případně FFF (Fused Filament Fabrication) je technologie 3D tisku využívající možnost opakovatelného přechodu mezi skupenstvími působením energie ve formě tepla termoplastických polymerních materiálů. Základní materiál ve formě filamentu (drátu) definovaného průměru, zpravidla 1.75 mm, nebo 2.85 mm, je vtlačován do přehřáté trysky silou F . Pokud teplota horké zóny trysky převyšuje teplotu skelného přechodu vtlačovaného materiálu dojde k dramatickému oslabení mezimolekulárních sil a vzniku viskózní kapaliny. Jelikož je průměr trysky velmi blízký průměru vtlačovaného filamentu, s výjimkou jejího hrdla které je násobně menší, zpravidla 0.4 mm,

jediná možnost jak uvolnit vnitřní tlak je vytlačení kapaliny hrdlem. Jakmile teplota vytlačené kapaliny klesne pod teplotu skelného přechodu dojde k obnovení mezimolekulárních sil a materiál je opět pevnou látkou. Tento jev je obecně znám pod názvem extruze, zařízení . Toto nám však nestačí pro vytvoření trojrozměrného objektu dle zadání. Je tedy třeba extrudér osadit na zařízení zajišťující pohyb v trojrozměrném prostoru. Proces tisku pak probíhá pohybem extrudéru po předem definovaných trasách, zpravidla vždy v jedné vrstvě, a vytlačováním materiálu dle potřeby. Celý proces se poté opakuje dokud není dokončen zadaný objekt.



Obrázek 2-1: Princip technologie FDM. 1 - Tisková podložka, 2 - Již hotové vrstvy výsledného objektu, 3 - Horká zóna trysky, 4 - Tryska, 5 - Filament, F - Vtlačovací síla

2.1.2 Vlastnosti technologie

3D tisk, podobně jako jiné technologie má specifické vlastnosti, které ovlivňují charakter výsledného produktu. Ovlivněných vlastností je velmi mnoho, pro naši aplikaci se zaměříme na dielektrické (chceme vědět jaké bude mít výsledný produkt dielektrické vlastnosti, abychom ho byly schopni popsat, navrhovat a simulovat) a mechanické (produkt musí být možno pevně a stabilně ukotvit na pozici, a musí do něj být možno navázat elektromagnetickou vlnu známým způsobem). Je však nutno brát v potaz, že má i celou řadu vlastností, kterých lze využít pro vytvoření složitých struktur, které by nebylo možné jinými tech-

nologiemi jednoduše realizovat, například vnitřní uzavřené struktury. Některé z nich jsou pro dostatečně přesné aproximace dosažitelné v reálném časovém horizontu zcela náhodně, některé přímo ovlivňují námi velmi žádané parametry a můžeme je takto řídit.

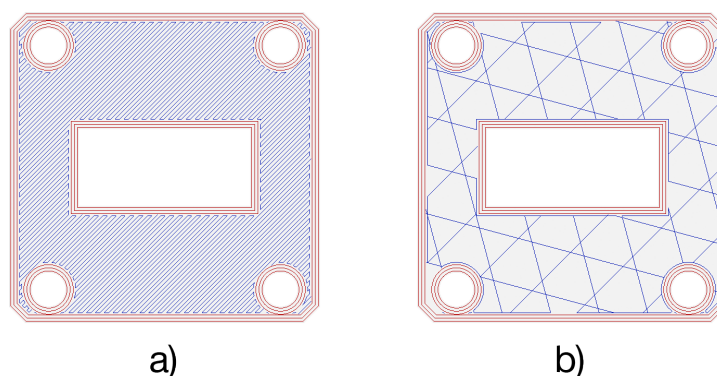
Vrstvy

Pokud budeme uvažovat ideální podmínky (absolutně čisté prostředí bez kontaminace nechtěnými látkami, ideální filament, rovnoměrnou kontrolovanou distribuci tepla, atd...) stále je objekt tvořen z vrstev. Jelikož vždy vrtva, na které se aktuálně nanáší, je dokonce pod teplotou skelného přechodu, pro odstranění deformace vlivem sil jako gravitace, či tepelné roztažnosti, nedojde k dokonalému spojení polymerních řetězců mezi vrtvami. Při laminaci vrstev může také dojít ke kontaminaci produktu, jako například prachovými částicemi či vzduchovými kapsami. Toto se však dá zanedbat jelikož lze snadno stabilizovat okolní prostředí a minimalizovat vliv. Hlavní ovlivněné vlastnosti, pro naši aplikaci podstatné, jsou mechanické. Vždy je v ose vrstev rozložení mezne plasticity neuniformní, dochází tedy k plastické deformaci významně v těchto oblastech, což někdy může být problém z důvodu nutnosti splnění možnosti upevnění a realizovatelnosti produktu. Z dielektrického hlediska tedy nebude ani relativní permitivita uniformně rozložená v jedné ose, vznikne tedy periodická struktura. Tento vliv by bylo možné omezit buďto zvýšením diskretizačního kroku, tedy omezením počtu rozhraní, což může v jistých případech ovlivňovat vlastnosti celé struktury vzhledem růstu kvantizačního šumu, nebo naopak snížením kroku kdy již bude úroveň šumu blízká nule, což se bohužel negativně projeví na době tisku, to však v některých případech není problém. Výzkum popisu tohoto chování je však předmětem dalším.

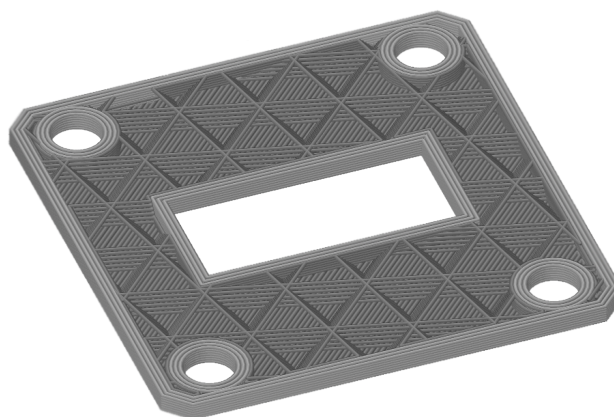
Vnitřní struktury

Vlivem principu vrstvení je možno vytvářet vnitřní struktury definovaných tvarů, dokonce i selektivně, a takto velmi silně ovlivňovat pro nás důležité parametry. Mechanické vlastnosti tímto lze selektivně měnit, například zpevněním montážních ovorů v technologickém okolí, což v našem případě není první v pořadí. Dielektrické vlastnosti jsou tímto však velmi ovlivněny. Technologií je totiž možno vytvářet prakticky jakékoliv struktury uvnitř produktu ve zvolených místech, tedy například vytisknout Luneburgovu či Maxwell fish-eye čočku. Je však ale nutno provést výzkum na toto téma dostatečné podrobný výzkum, jedná se totiž o skokové změny vlastností. Tyto změny poté vytváří rozhraní, kde dochází odrazům, které

zatím modelovat a popsat je velmi komplexní úlohou.



Obrázek 2-2: Porovnání různého motivu vrstvy, a) 100 % vyplň typem rectilinear, b) 20 % vyplň typem cubic



Obrázek 2-3: Náhled vrstev 1-6 struktury s kombinovanou výplní typu rectilinear (první dvě vrstvy) a cubic o rozdílné procentuální výplni

2.1.3 Materiály využitelné pro vysokofrekvenční techniku

Termopolymerních materiálů které by se daly využít je celá řada, teoreticky je možné uplatnit velké množství, prakticky však ale vyplývá otázka bezpečnosti, jelikož průchod některých polymerů procesem může uvolňovat nebezpečné látky, či v případě směsí její části. Mezi nejrozšířenější patří PLA, ABS a PET, tyto materiály však lze uplatnit zejména v čočkách, či dielektrických rezonátorech, jelikož vykazují velmi malou vodivost. Objevují se ale stále nové směsy materiálů jako například PLA s výraznou příměsí grafénových šupin,

či měděného prachu které v ideálním případě disponují velmi vysokou vodivostí.

"Vodivé" materiály

2.2 Trychtýřová anténa

Trychtýřová anténa patří mezi základní anténní struktury využívané jak samostatně, tak ve formě ozařovačů reflektorových antén, či v kombinaci s anténní čočkou. Těchto struktur existuje několik druhů, v našem případě se ale zaměříme na pyramidální trychtýřovou anténu. Tento typ antény byl zvolen zejména kvůli své jednoduchosti a požadavkům na technologii výroby.

2.2.1 Základní princip

2.2.2 Vlastnosti struktury

2.3 Anténní čočka

2.3.1 Základní princip

2.3.2 Vlastnosti struktury

2.4 Extrakce dielektrických parametrů

Kapitola 3

Návrh

3.1 Trychtýřová antnéna

3.2 Anténní čočka

3.3 Extrakce dielektrických parametrů

Kapitola 4

Realizace

4.1 3D tisk

4.2 Pokovení

4.3 Měření parametrů

Kapitola 5

Závěr

