

VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

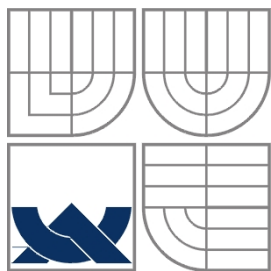
ANTÉNA PRO PŘÍJEM TELEVIZNÍHO SIGNÁLU DVB-T

BAKALÁRSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

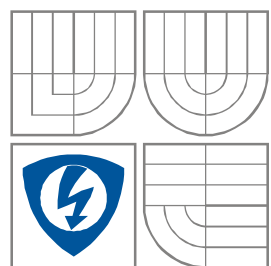
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK ŠMARDÁ

BRNO 2011



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

ANTÉNA PRO PŘÍJEM TELEVIZNÍHO SIGNÁLU DVB – T

ANTENNA FOR RECEIVING OF DVB – T SIGNAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

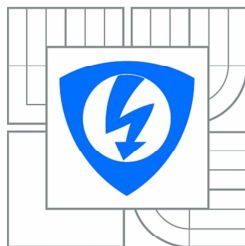
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK ŠMARDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL POKORNÝ

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Marek Šmarda

ID: 115132

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Anténa pro příjem televizního signálu DVB-T

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte různé varianty vhodných anténních systémů určené pro příjem standardu DVB-T. Ve vhodném simulátoru elektromagnetického pole ověřte vlastnosti vybraných řešení.

Navrhněte anténní systém pro příjem kanálů 21 až 69 s vertikální polarizací a výkonovým ziskem na středu pásma alespoň 10 dB. Poměr stojatých vln v celém pracovním pásmu by měl být menší než 1,4. Anténu následně realizujte a experimentálně ověřte její vlastnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] BALANIS, A. C. Antenna Theory: Analysis and Design, 2/E. New York: J. Wiley & Sons, 1996.
- [2] NOVÁČEK, Z. Elektromagnetické vlny, antény a vedení. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2006.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Michal Pokorný

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

Obsahem této práce je prostudovat vybrané anténní systémy vhodné pro příjem standardu DVB-T. V programu na simulaci elektromagnetického pole (např. CST studio) budou simulovány jednotlivé anténní systémy a výsledky simulací (např. grafy a diagramy záření) jednotlivých anténních systémů budou slovně okomentovány. Vybraný anténní systém bude vyroben a experimentálně změřen.

KLÍČOVÁ SLOVA

Anténa Yagi-Uda, logaritmicko-periodická anténa, buzená patrová soustava, anténa BackFire, celovlnný dipól s úhlovým reflektorem, zisk antény, poměr stojatých vln, vyzařovací diagram.

ABSTRACT

The content of this work is to study selected antenna systems suitable for receiving of DVB – T. The various antenna systems will be simulated in the program for the simulation of electromagnetic field (e.g. CST Studio) and the simulation results will be commented (e.g. graphs and diagrams of radiation). Selected antenna system will be made and experimentally measured.

KEYWORDS

Yagi-Uda antenna, logarithmically-periodic antenna, excitation stacked system, Backfire antenna, full-wave dipole with angular reflector, antenna gain , voltage standing wave ratio, radiation pattern.

ŠMARDA, M. *Anténa pro příjem televizního signálu DVB-T*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 50 s., 5 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Michal Pokorný

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Anténa pro příjem televizního signálu DVB-T jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 27.května 2011

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Michalu Pokornému, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne 27. května 2011

.....

podpis autora

OBSAH

OBSAH	1
SEZNAM OBRÁZKŮ	3
SEZNAM TABULEK	5
ÚVOD	6
1. ZÁKLADNÍ PARAMETRY ANTÉN	7
1.1 Vstupní impedance a vyzařovací odpor	7
1.2 Činitel odrazu	7
1.3 Poměr stojatých vln	7
1.4 Účinnost antény	8
1.5 Rezonanční kmitočet a šířka pásma	8
1.6 Zisk	9
1.7 Polarizace antény	10
1.8 Vyzařovací diagram antény	10
1.9 Předozadní poměr	11
2. ANTÉNNÍ SYSTÉMY PRO PŘÍJEM DVB-T	12
2. 1 Yagi-Uda	12
2. 1. 1 Yagi-Uda s dvojitým reflektorem	13
2. 1. 2 Yagi-Uda s trojitým reflektorem	13
2. 1. 3. Yagi-Uda s reflektorovou stěnou	14
2. 1. 4. Yagi-Uda s úhlovým reflektorem	14
2. 2. Logaritmicko – periodická anténa	15
2. 3. Buzená patrová soustava	15
2.4. BackFire	16
2. 4. 1. Short BackFire s vlnovodnou řadou	17
2. 4. 2. Short BackFire	17
2.5. Celovlnný dipól z úhlovým reflektorem	18
3. SIMULACE ANTÉNNÍCH SYSTÉMŮ PRO PŘÍJEM DVB-T	19
3.1 Sedmiprvková Yagi-Uda anténa	19
3.2 Devatenácti prvková logaritmicko-periodická anténa	23
3.3 Buzená čtyřpatrová soustava	26
3.4 BackFire (BF)	29
3.5 Short BackFire (sBF)	32
3.6 Celovlnný dipól s úhlovým reflektorem	34
4. OPTIMALIZACE VYBRANÉ ANTÉNNÍ STRUKTURY	38
4.1 Optimalizace programem CST microwave studio	38
4.2 Uchycení antény	39
4.3 Srovnání výsledků před a po optimalizaci	40

5. SESTAVENÍ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ ANTÉNNÍ STRUKTURY	42
5.1 Měření přizpůsobení antény	42
5.2 Měření směrových charakteristik	43
6. ZÁVĚR	47
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	49
PŘÍLOHY	51
Skript pro tvorbu grafů z kapitoly 4.3	51
Skript pro tvorbu grafu z kapitoly 5.1	53
Skript pro tvorbu grafů z kapitoly 5.2	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Náhradní schéma obvodu antény pro vstupní impedanci [1].....	7
Obr. 2 Závislost PSV na odraženém výkonu udávaný v procentech [4].....	8
Obr. 3 Závislost intenzity elektrického pole E na kmitočtu f	9
Obr. 4 Polarizace elektromagnetických vln (vlna se blíží k pozorovateli) [2]: a) lineární polarizace, b) eliptická polarizace, c) kruhová polarizace	10
Obr. 5 Vyzařovací digram antény	11
Obr. 6 Složení antény Yagi-Uda s jedním reflektorem	12
Obr. 7 Skládání dipól	13
Obr. 8 Složení antény Yagi-Uda s dvojitým reflektorem	13
Obr. 9 Složení antény Yagi-Uda s trojitým reflektorem.....	13
Obr. 10 Složení antény Yagi-Uda s reflektorovou stěnou	14
Obr. 11 Složení antény Yagi-Uda s úhlovým reflektorem.....	14
Obr. 12 Boční pohled antény Yagi-Uda s úhlovým reflektorem.....	14
Obr. 13 Princip logaritmicko-periodické antény (LPA) [3].....	15
Obr. 14 Dvě varianty profilů celovlněných dipólů	15
Obr. 15 Buzená patrová soustava: a) přední pohled [3], b) boční pohled	16
Obr. 16 Anténa BackFire	17
Obr. 17 Anténa typu short-BackFire s vlnovodnou řadou [3]	17
Obr. 18 Anténa typu Short BackFire: a)pohled ze předu [3] b)pohled z boku [2]	18
Obr. 19 Plošný celovlnný dipól [3]	18
Obr. 20 Celovlněný dipól s úhlovým reflektorem [3]: a) pohled z boku, b) pohled ze předu.....	18
Obr. 21 Struktura sedmiprvkové Yagi-Uda antény v programu CST	20
Obr. 22 Odezva místa napájení sedmiprvkové Yagi-Uda.....	20
Obr. 23 Vyzařovací diagram 3D sedmiprvkové antény Yagi-Uda	21
Obr. 24 Horizontální diagram záření sedmiprvkové antény Yagi-Uda v polárních souřadnicích	21
Obr. 25 Vertikální diagram záření sedmiprvkové antény Yagi-Uda v polárních souřadnicích	22
Obr. 26 Činitel odrazu sedmiprvkové antény Yagi-Uda v lineárním měřítku	22
Obr. 27 PSV sedmiprvkové antény Yagi-Uda.....	23
Obr. 28 Struktura devatenácti prvkové LPA antény v programu CST	24
Obr. 29 Vyzařovací diagram 3D devatenácti prvkové antény LPA.....	24
Obr. 30 Vertikální diagram záření devatenácti prvkové antény LPA v polárních souřadnicích	25
Obr. 31 Horizontální diagram záření devatenácti prvkové antény LPA v pravoúhlých souřadnicích	25
Obr. 32 PSV devatenácti prvkové antény LPA.....	26
Obr. 33 Struktura čtyřpatrové buzené soustavy v programu CST	27
Obr. 34 Struktura čtyřpatrové buzené soustavy v programu CST	27
Obr. 35 Vyzařovací diagram 3D čtyřpatrové buzené soustavy.....	27
Obr. 36 Vertikální diagram záření čtyřpatrové buzené soustavy v polárních souřadnicích	28
Obr. 37 Horizontální diagram záření čtyřpatrové buzené soustavy v pravoúhlých souřadnicích	28

Obr. 38 PSV čtyřpatrové buzené soustavy.....	29
Obr. 39 Struktura BackFire v programu CST	30
Obr. 40 Vyzařovací diagram 3D antény BackFire	30
Obr. 41 Vertikální diagram záření antény BackFire v polárních souřadnicích	30
Obr. 42 Horizontální diagram záření antény BackFire v pravoúhlých souřadnicích..	31
Obr. 43 PSV antény BackFire	31
Obr. 44 Struktura Short BackFire v CST studiu.....	32
Obr. 45 Vyzařovací diagram 3D antény Short BackFire.....	33
Obr. 46 Vertikální diagram záření antény Short BackFire v polárních souřadnicích	33
Obr. 47 Horizontální diagram záření Short BackFire v pravoúhlých souřadnicích..	33
Obr. 48 PSV antény Short BackFire	34
Obr. 49 Struktura celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem v CST studiu	35
Obr. 50 Vyzařovací diagram 3D antény celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem	35
Obr. 51 Vertikální diagram záření antény celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem v polárních souřadnicích.....	36
Obr. 52 Horizontální diagram záření celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem v pravoúhlých souřadnicích	36
Obr. 53 PSV antény celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem.....	36
Obr. 54 PSV po optimalizaci LPA.....	39
Obr. 55 Směrový diagram pro vertikální rovinu po optimalizaci LPA (666MHz).....	39
Obr. 56 Detail prizmatického úchyty antény (pohled z boku).....	40
Obr. 57 Pohled na celou anténu.....	40
Obr. 58 Srovnání PSV před a po optimalizaci	41
Obr. 59 Směrové charakteristiky před a po optimalizaci ve vertikální rovině	41
Obr. 60 Fotografie sestrojené antény	42
Obr. 61 Zapojení pracoviště pro měření impedančního přizpůsobení antény.....	42
Obr. 62 Srovnání PSV pro simulovanou a skutečnou anténu	43
Obr. 63 Zapojení pracoviště pro měření směrových charakteristik antény.....	44
Obr. 64 Změřené směrové charakteristiky pro vertikální a horizontální polarizaci...	44
Obr. 65 Srovnání normovaných směrových charakteristik změřené a simulované antény pro kmitočet 510MHz	45
Obr. 66 Srovnání normovaných směrových charakteristik změřené a simulované antény pro kmitočet 662MHz	45
Obr. 67 Srovnání normovaných směrových charakteristik změřené a simulované antény pro kmitočet 810MHz	46

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Seznam DVB-T kanálu s příslušnými kmitočty	19
Tab. 2 Rozměry sedmiprvkové antény Yagi-Uda	20
Tab. 3 Rozměry devatenácti prvkové LPA antény.....	23
Tab. 4 Rozměry čtyřpatrové buzené soustavy	26
Tab. 5 Rozměry antény BackFire	29
Tab. 6 Rozměry antény Short BackFire (sBF).....	32
Tab. 7 Rozměry antény s celovlnným dipólem s úhlovým reflektorem	34

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá anténami pro příjem standardu DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*). Proto úvod bude věnován parametrům a vlastnostem standardu DVB-T vysílaném v české republice, a však nebude popsán dopodrobna ale jen okrajově, není to součástí zadání bakalářské práce. V české republice je DVB-T vysíláno v nehierarchické (jedna modulace nosních, jeden transportní tok) modulaci 64-QAM s kódovým poměrem 2/3 a ochranným interval 1/4. Pro přenos se používá ortogonálně děleného frekvenčního multiplexu OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) v režimu 8k s 6817 nosných v jednom televizním kanále širokém 8MHz. Do jednoho televizního kanálu se může umístit 5 programů v SD (*Standard Definition*) kvalitě, 4 programy v SD kvalitě společně s radiovými stanicemi anebo jen 2 programy v HD (*High Definition*) kvalitě, atd. Je možné různě kombinovat programy v SD, HD i s rádiovými stanice do různých programových skladeb.

Televizní vysílače DVB-T jsou charakterizovány velkým vysílacím výkonem. Příklad je televizní vysílač kojál, který má efektivní vyzářený výkon ERP=100kW. Na jižní Moravě jsou vysílače většinou polarizovány horizontálně. Za velkou výhodu DVB-T se považuje tzv. jednofrekvenční síť SNF (*Single Frequency Network*). Jednofrekvenční síť je do značné míry necitlivá proti vícecestnému šíření, které mělo za následek u analogového příjmu tzv. duchy v obraze.

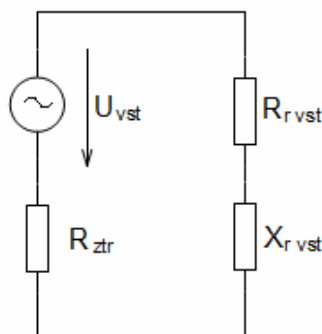
V dalších částech práce budou popsány parametry antén, vybrané anténní systémy používané pro příjem DVB-T i s principem jejich funkce. Dále v práci budou tyto vybrané anténní systémy simulované v programu na simulaci elektromagnetického pole CST studiu v2010. Anténní systém s nejlepšími parametry bude optimalizován. V poslední části bakalářské práce bude tento anténní systém sestaven a experimentálně ověřeny jeho vlastnosti.

1. ZÁKLADNÍ PARAMETRY ANTÉN

V této kapitole jsou popsány nejdůležitější elektrické parametry charakterizující antény. Jejich znalost je důležitá pro navrhování měření a simulaci antén. Mezi nejdůležitější parametry antény patří vstupní impedance a vyzařovací odpor, činitel odrazu, poměr stojatých vln, účinnost antény, rezonanční kmitočet a šířka pásma, zisk, polarizace antény, vyzařovací diagram antény, předozadní poměr.

1.1 Vstupní impedance a vyzařovací odpor

Obecně impedance je poměr napětí a proudu nebo poměr elektrické a magnetické složky elektromagnetického pole v daném místě antény. Vstupní impedance antény Z_{vst} je v místě připojení na napáječ a má komplexní charakter, tedy obsahuje vstupní odpor (reálná část) a vstupní reaktanci (imaginární část). Navíc má anténa ještě ztrátový odpor R_{ztr} , který mění vysokofrekvenční energii na teplo. Náhradní obvod pro vstupní impedance je zobrazen na obr.1.



Obr. 1 Náhradní schéma obvodu antény pro vstupní impedanci [1]

Kde R_{rvst} je odpor záření a R_{ztr} je ztrátový odpor. Reaktance záření X_{rvst} má buď induktivní nebo kapacitní charakter a při rezonančním kmitočtu antény je tato hodnota nulová. Výsledná vstupní impedance antény Z_{vst} je definován vztahem [1]:

$$Z_{vst} = R_{ztr} + R_{rvst} + jX_{rvst} \quad [\Omega] \quad (1.1)$$

1.2 Činitel odrazu

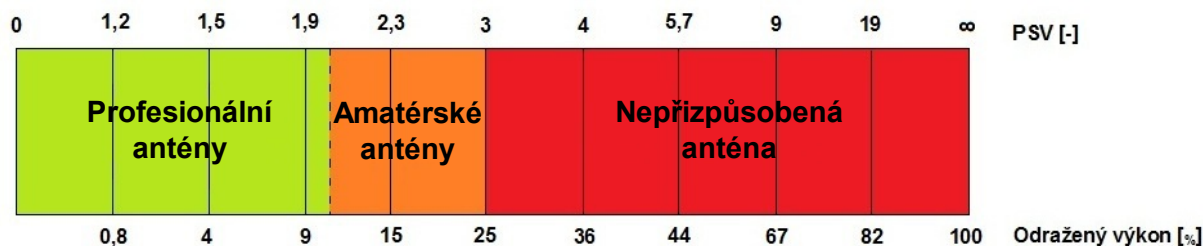
V některých literaturách je označován jako ρ (viz. [1]) nebo jako parametr s_{11} (CST studio). Jedná se o kmitočtově závislou veličinu, která se v anténní praxi vyjadřuje graficky. Nejčastěji se vyjadřuje v decibelech (dB). Nemá-li činitel odrazu v dB je jeho hodnota nezáporná a menší jak jedna. Je-li vyjádřen v decibelové míře je vždy menší jak nula a čím je jeho hodnota zápornější, tím je přizpůsobení antény lepší.

1.3 Poměr stojatých vln

Poměr stojatých vln se označuje PSV, ale v některých publikacích se označuje ČSV

(Činitel Stojatých Vln viz. [2]). V anglické literatuře je značen jako VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*). PSV udává míru impedančního přizpůsobení antény k napájecí a vysílači. Nabývá hodnot v rozsahu 1 až ∞ . Je-li PSV=1 dochází k maximálnímu přenosu energie. Pokud je PSV>1 dochází k odrazům a na vedení vzniká stojaté vlnění a tím pádem dochází ke ztrátě přenášené energie (obr.2).

Pro profesionálně vyráběné antény se uvádí PSV≤2. U amatérských antén je PSV≤3. Antény s PSV>3 jsou prakticky nepoužitelné, protože se víc jak 25% výkonu odrazí. Rozsahy PSV profesionálních, amatérských a nepřizpůsobených antén jsou graficky zobrazeny na obr.2.



Obr. 2 Závislost PSV na odraženém výkonu udávaný v procentech [4]

1.4 Účinnost antény

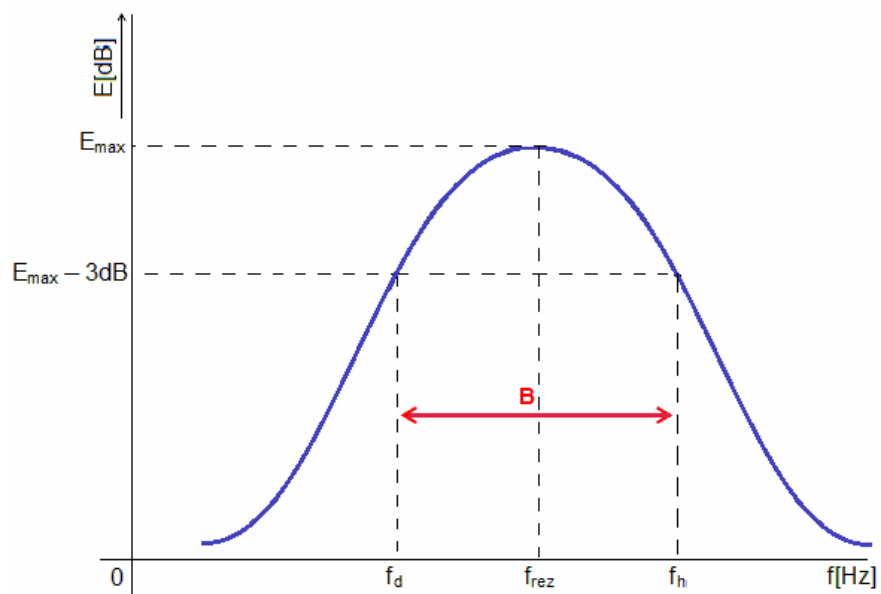
Obecně je účinnost dána jako poměr užitečného výkonu ku příkonu. Převedeme-li tohle do teorie antén, je to poměr mezi vyzářeným výkonem P_r a vstupním příkonem P_{vst} [1]:

$$\eta = \frac{P_r}{P_{vst}} = \frac{P_r}{P_{ztr} + P_r} = \frac{R_r}{R_{ztr} + R_r} \quad [-] \quad (1.2)$$

Ze zlomku je patrné, že anténa má dobrou účinnost pokud má malý ztrátový odpor (blíží se nule) a velký odpor záření. Kdyby byl ztrátový odpor nulový (hypoteticky) byla by účinnost $\eta=1$, resp. 100%.

1.5 Rezonanční kmitočet a šířka pásma

Anténa je z hlediska obvodové teorie otevřený rezonanční obvod, který má induktivní nebo kapacitní charakter podle kmitočtu. Je-li anténa na rezonančním kmitočtu, je reaktance záření nulová. Tento kmitočet, lze např. odečíst z grafu závislosti elektromagnetické intenzity E na kmitočtu (viz. obr.3). Šířka pásma udává rozmezí pracovních kmitočtů, kde určitý parametr antény nepřekročí danou referenční úroveň. Jako parametr se uvádí činitel odrazu (parametr s_{11}), zisk, vstupní impedance, intenzita elektrického pole E , atd. Na příkladu si ukážeme jak se určí šířka pásma z grafu závislosti intenzity elektrického pole E na kmitočtu (obr.3). Na rezonančním kmitočtu určíme maximální intenzitu elektrického pole E_{max} [dB]. Od této hodnoty odečteme 3dB a určíme dolní kmitočet f_d a horní kmitočet f_h . Šířka pásma je dána rozdílem f_d od f_h a označuje se B .



Obr. 3 Závislost intenzity elektrického pole E na kmitočtu f

Šířka pásma u antény je dána především fyzickými rozměry aktivních prvků (hlavně délka a průměr). Šířka pásma je nepřímo úměrná délce a přímo úměrná průměru prvků. U antény Yagi-Uda je to tak, že zvětšujeme-li počet prvků, snižuje se nám šířka pásma. Tu můžeme zvýšit zvětšením průměru reflektoru, dipólu a direktoru.

1.6 Zisk

Je to jeden z hlavních parametrů při výběru antén pro předem dané účely. Zisk antény se rovná čtverci zisku v intenzitě elektrického pole. K vyjádření vztahu potřebujeme znát maximální elektrickou intenzitu pole E_{max} měřené antény a maximální elektrickou intenzitu pole E_{ref} referenční antény. Intenzity elektrického pole jsou měřeny v Fraunhoferově oblasti, neboli oblast záření antény. Potom vztah pro zisk G bude [2]:

$$G = \left(\frac{E_{max}}{E_{ref}} \right)^2 \quad [-] \quad (1.3)$$

Zisk antény se však neuvádí jako bezrozměrná veličina, ale ve všech katalogových listech je uveden v decibelech (dB). K vyjádření decibelu použijeme logaritmus, podle následujícího vztahu [2]:

$$G_{dB} = 20 \cdot \log G = 20 \cdot \log \left(\frac{E_{max}}{E_{ref}} \right)^2 \quad [dB] \quad (1.4)$$

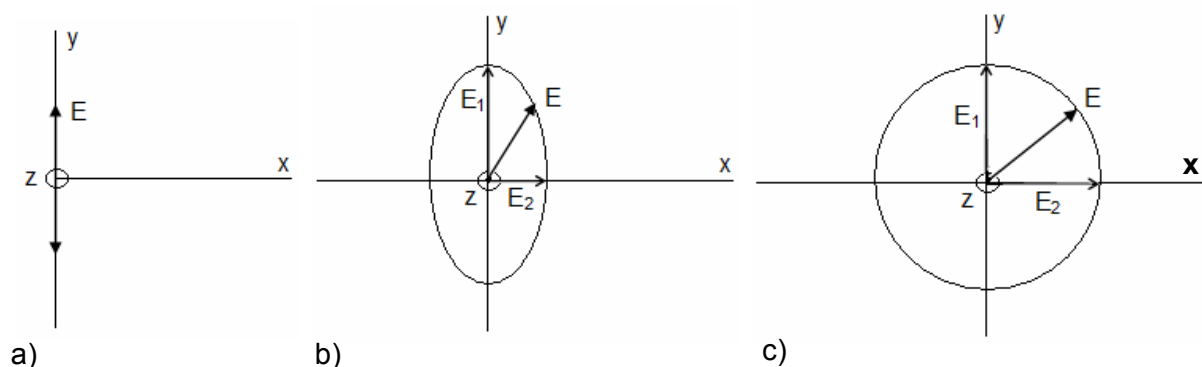
Jako první referenční anténa se uvažuje tzv. izotropická anténa, u které bývá decibel označen jako dB_i . Tato anténa je však jen hypotetická se ziskem $G=0dB_i$ a vyzařující vysokofrekvenční energii rovnoměrně (bez ztrát) do všech směrů. Druhá referenční anténa je půlvlnný dipól, u kterého bývá decibel označen jako dB_d . Zisk

této antény je $G=0\text{dB}_d$ nebo chceme-li to vyjádřit oproti izotropické anténě $G=2,14\text{dB}_i$. Tedy rozdíl mezi první a druhou referenční anténou je $2,14\text{dB}$. Toto číslo je důležité při převodu mezi měřítky dB_i a dB_d .

1.7 Polarizace antény

Anténa vyzařuje elektromagnetické vlny, které mají složky elektrické a magnetické navzájem kolmé. Budeme-li posuzovat elektrickou složku elektromagnetického vlnění vůči zemskému povrchu, potom máme dvě základní polarizace. První z nich je polarizace vertikální, kde elektrická složka je kolmá k zemskému povrchu. Druhá z nich je polarizace horizontální, u které je elektrická složka naopak rovnoběžná se zemským povrchem.

Nemění-li elektrická složka elektromagnetického vlnění svoji orientaci v prostoru jedná se o lineární polarizaci (obr.4, a). Může nastat situace součtu dvou elektromagnetických vln stejného kmitočtu šířících se stejným směrem, které mají různou amplitudovou fázi elektrických složek a jsou navzájem kolmé. Tímto součtem vznikne eliptická polarizace (obr.4, b). Existují-li dvě elektromagnetické vlny stejně velkých elektrických složek (zároveň stejný kmitočet), ale fázově posunuté o 90° , jejich součtem vznikne kruhově polarizovaná vlna (obr.4, c). Tato polarizace má však ještě dva speciální případy a to levotočivou a pravotočivou kruhovou polarizaci.



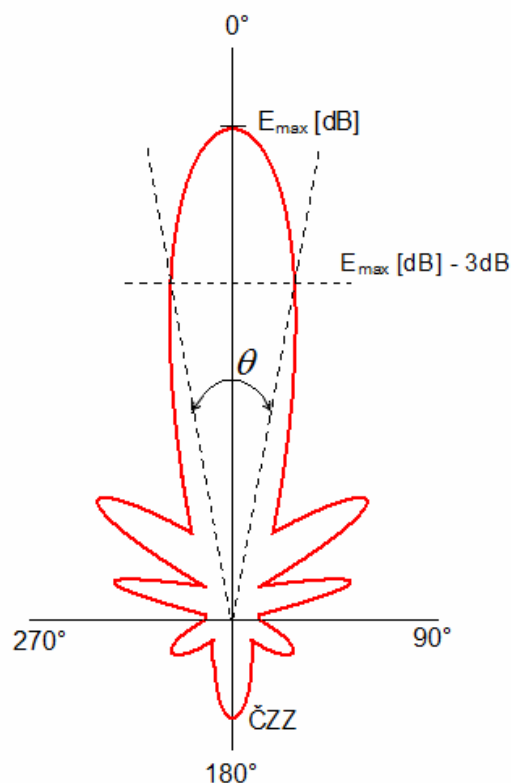
Obr. 4 Polarizace elektromagnetických vln (vlna se blíží k pozorovateli) [2]: a) lineární polarizace, b) eliptická polarizace, c) kruhová polarizace

Přijímáme-li lineárně polarizované vlny anténou s kruhovou polarizací, nezávisí na polarizaci přijímané vlny. Ale pokud přijímáme kruhově polarizovanou vlnu lineárně polarizovanou anténou, intenzita se teoreticky zmenší o 3dB než při příjmu lineární vlny anténou s lineární polarizací. Je-li vysílána vlna s levotočivou kruhovou polarizací a příjem je s anténou, která má polarizaci pravotočivou kruhovou, je přijímána intenzita teoreticky nulová.

1.8 Vyzařovací diagram antény

Tento diagram znázorňuje, jak daná anténa vyzařuje v prostorových souřadnicích, resp. udává směrové vlastnosti antény. Vyzařovací diagram je trojrozměrný, ale v technické praxi se většinou znázorňuje jako jednorozměrný. Je to řez prostorovým

vyzařovacím diagramem v určité rovině. Nejčastěji se používá řez ve vertikální a horizontální rovině. Obvykle vyzařovací diagram zobrazuje relativní intenzitu elektrického pole (nebo výkonovou hustotu) v závislosti na úhlu buď v polárních, nebo pravoúhlých souřadnicích. Diagram záření je rozdělen na několik laloků – hlavní lalok, boční a zadní lalok. Z diagramu záření se určuje důležitý parametr úhel záření antény θ (v některých literaturách označen γ_{3dB}). Je to úhel mezi dvěma hodnotami v hlavním laloku, které odpovídají poklesu o 3dB (obr.5).



Obr. 5 Vyzařovací digram antény

1.9 Předozadní poměr

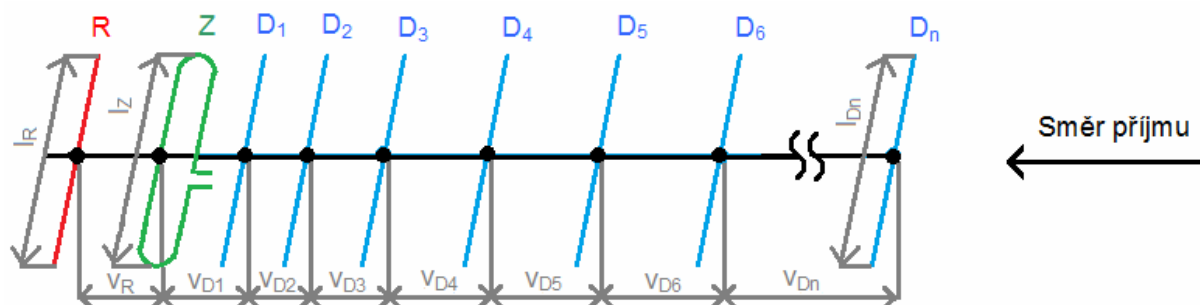
Předozadní poměr se též označuje ČZZ (Činitel Zpětného Záření) nebo ČZP (Činitel Zpětného Příjmu) a v anglické literatuře FBR (Front to Back Ratio). Je to poměr mezi maximální intenzitou ve směru záření a maximální intenzita v opačném (nežádoucím) směru (obr.5). Předozadní poměr se udává stejně jako zisk v dB.

2. ANTÉNNÍ SYSTÉMY PRO PŘÍJEM DVB-T

Pro příjem standardu DVB-T se používají stejné anténní systémy, které dříve sloužili k příjmu analogového televizního vysílání. Ale u příjmu digitální televize musí být ke koncovému zařízení připojený STB nebo mít koncové zařízení přímo s integrovaným STB. Budou popsány nejčastěji používané anténní soustavy v ČR, jako je Yagi-Uda, logaritmicko-periodická a buzená patrová anténa. A také principy zajímavých anténních systémů používaných spíše v zahraničí.

2. 1 Yagi-Uda

Jedná se o směrovou anténu, kterou vynalezl Dr. Hidesugu Yagi ve třicátých letech minulého století společně s jeho pomocníkem Dr. Shintaro Uda. V dnešní době se ujal zkrácený název „Yagi“. Její složení je na obr.6.

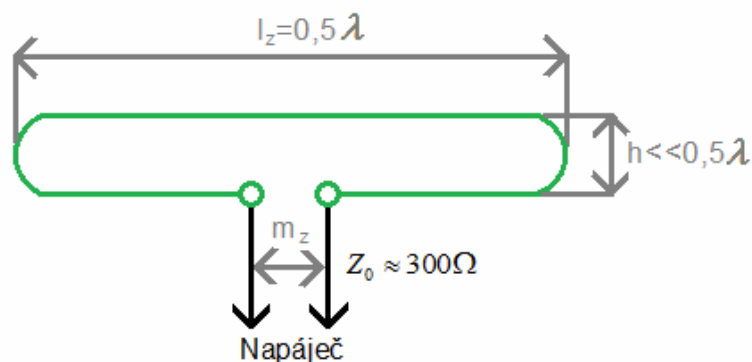


Obr. 6 Složení antény Yagi-Uda s jedním reflektorem

Jako první ve směru příjmu jsou prvky D_n až D_1 (vyznačený modrou barvou), který nazýváme direktory. Tyto prvky jsou umístěny ve velmi přesných vzdálenostech v_{Dn} až v_{D1} a jejich délka (l_{Dn}) je kratší než zářič Z (dipól). Délka jednotlivých direktorů není vždy stejná a směrem od zářiče ke směru příjmu jsou zpravidla kratší. Rozteč, délka, tloušťka soustavy direktorů ovlivňují fázovou rychlost elektromagnetické povrchové vlny šířící se podél této soustavy, tedy směrové vlastnosti antény. Čím bude fázová rychlost větší, tím větší bude směrovost a menší vyzařovací úhel.

Prvek R se nazývá reflektor a je posledním prvkem ve směru příjmu. Direktory společně s reflektorem patří do skupiny „pasivních“ prvků. Tedy prvkům, ke kterým není připojen napáječ. Vzdálenost mezi reflektorem a zářičem se volí v rozmezí $0,15\lambda$ až $0,25\lambda$. Délka reflektoru l_R je větší než délka zářiče $l_R \geq 0,5\lambda$. Zvolená délka reflektoru ovlivňuje vlnovou impedanci zářiče nebo i předozadní poměr.

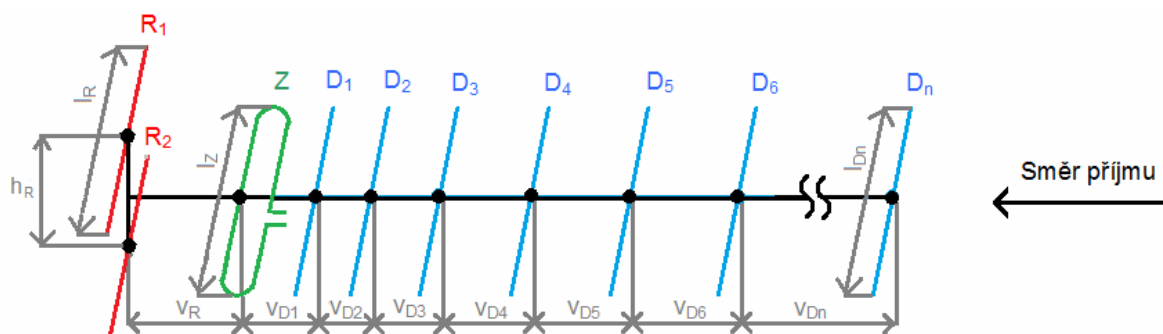
Poslední prvkem, který bude popsán je zářič Z. Direktory a reflektor jsou zařazeny do skupiny „pasivních“ prvků, tak zářič se řadí do skupiny „aktivních“ prvků. Jako k jedinému prvku anténní soustavy je připojen napáječ. U antény Yagi–Uda bývá nejčastěji zářič půlvlnný dipól nebo skládaný dipól. Skládaný dipól vznikne spojením dvou paralelních půlvlnných dipólů na konci k sobě, kde jeden z nich je ve středu spojen na krátko. Druhý je ve svém středu rozpojen, to je místo pro připojení napáječe (obr.7).



Obr. 7 Skládaný dipól

2. 1. 1 Yagi-Uda s dvojitým reflektorem

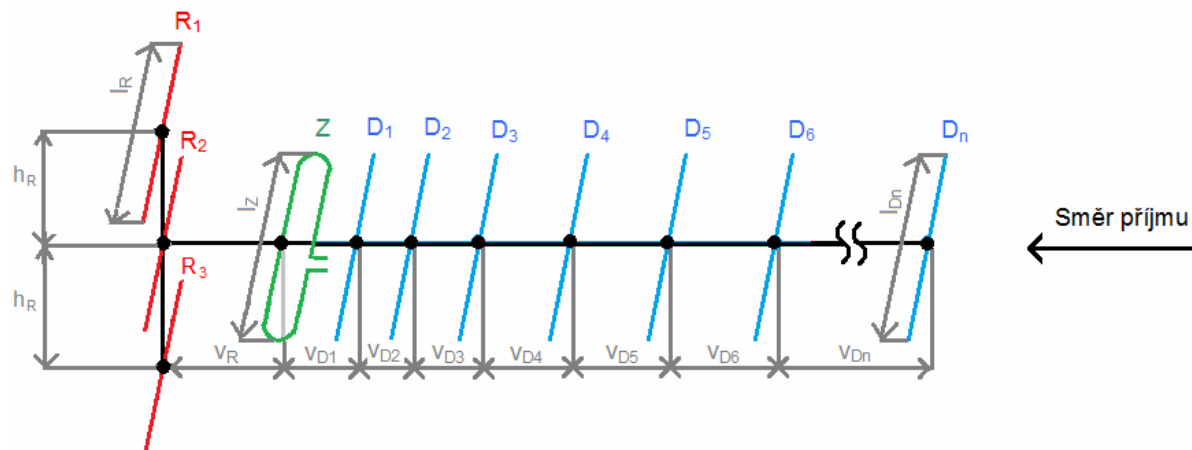
Tento anténní systém se od systému na obr.6 liší jen v reflektoru. Zde je umístěn reflektor nad nosnou konstrukcí a symetricky k nosné konstrukci je druhý reflektor, přesně jak je to na obr.8. Tato modifikace má něco lepší předozadní poměr. Principiální rozložení jednotlivých prvků je na obr.8 .



Obr. 8 Složení antény Yagi-Uda s dvojitým reflektorem

2. 1. 2 Yagi-Uda s trojitým reflektorem

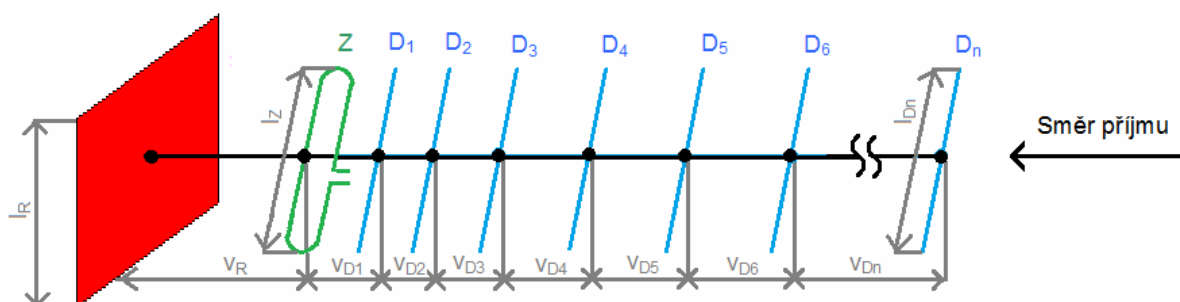
Tímto seskupením anténního systému o něco málo zlepší předozadní poměr oproti předchozí modifikaci. Jednoduše řečeno je to spojení reflektorů antény Yagi-Uda s jedním a s dvojitým reflektorem do jednoho (viz. obr.9).



Obr. 9 Složení antény Yagi-Uda s trojitým reflektorem

2. 1. 3. Yagi-Uda s reflektorovou stěnou

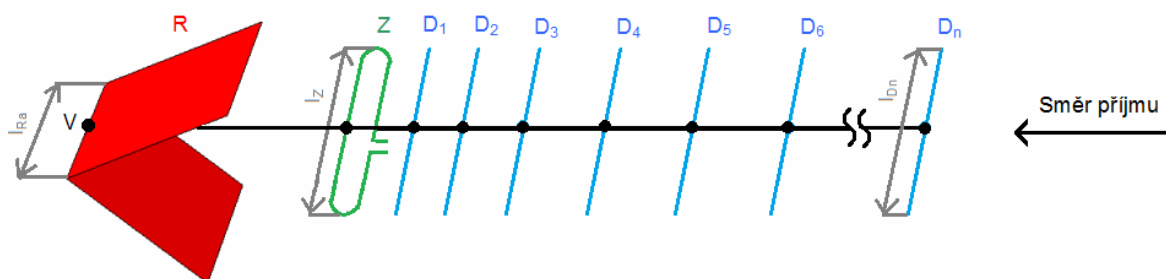
Drátové reflektory jsou nahrazeny reflektorovou stěnou. Touto modifikací výrazněji zlepší předozadní poměr a nepatrně zisk. Reflektorové stěny jsou většinou zhotoveny z kovových plechů. Pro snížení odporu vzduchu se používají kovová síťová pletiva nebo stěna z vertikálních tyčí rovnoběžně s dipólem. Konstrukce s reflektorovou stěnou je na obr.10.



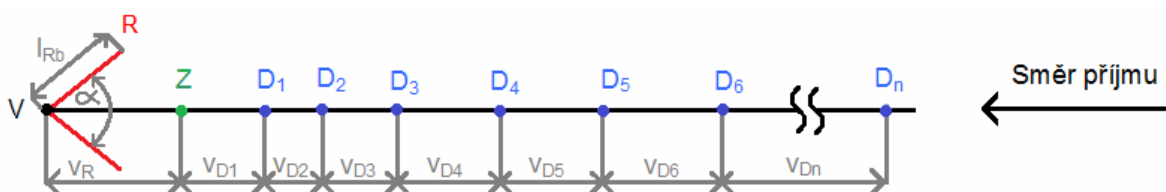
Obr. 10 Složení antény Yagi-Uda s reflektorovou stěnou

2. 1. 4. Yagi-Uda s úhlovým reflektorem

Je nejčastěji využívána modifikace Yagi-Uda z výše uvedených antén. Znovu je změna provedena jen v reflektorové části resp. v reflektorové stěně. Ta je rozpůlena na rozdíl od Yagi-Uda s reflektorovou stěnou a tyto dvě nově vzniklé stěny mezi sebou svírají úhel α . Takto seskupená reflektorová stěna se nazývá úhlový reflektor. Úhel α a vzdálenost vrcholu V a dipólu (obr.12) ovlivňují zisk a vyřazovací diagram anténního systému. Místo reflektorové stěny se spíše používá struktura vytvořená z řady vertikálních tyčí souosé s osou dipólu. Náčrt struktury antény řady Yagi-Uda s úhlovým reflektorem je na obr.11 a obr.12:



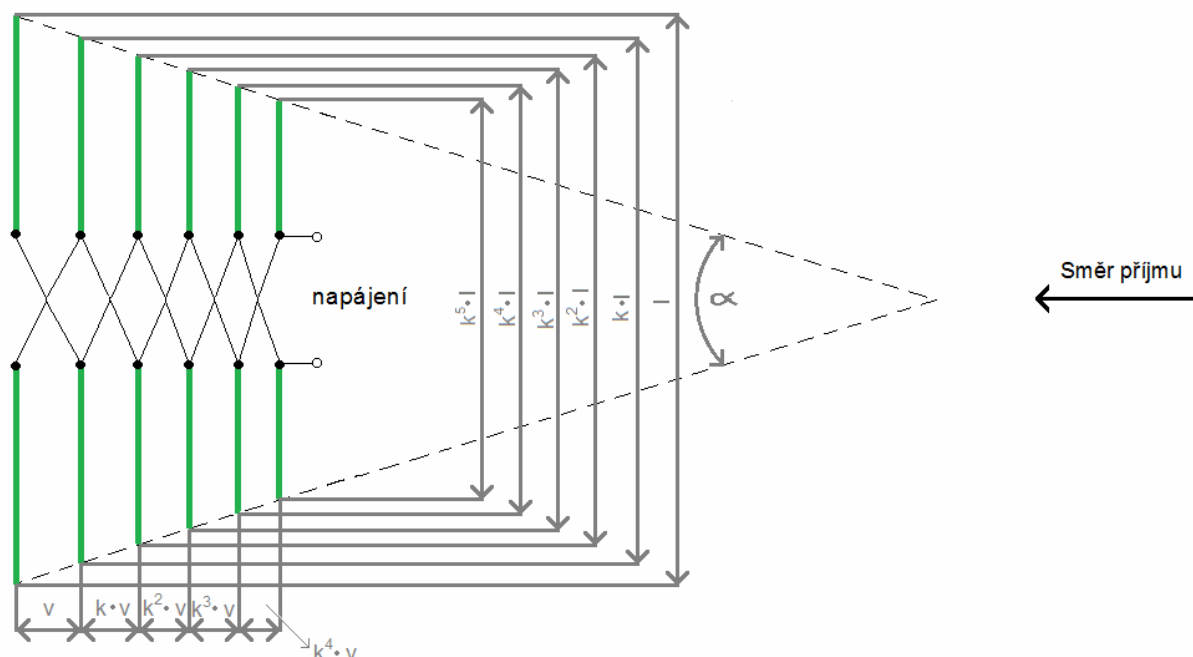
Obr. 11 Složení antény Yagi-Uda s úhlovým reflektorem



Obr. 12 Boční pohled antény Yagi-Uda s úhlovým reflektorem

2. 2. Logaritmicko – periodická anténa

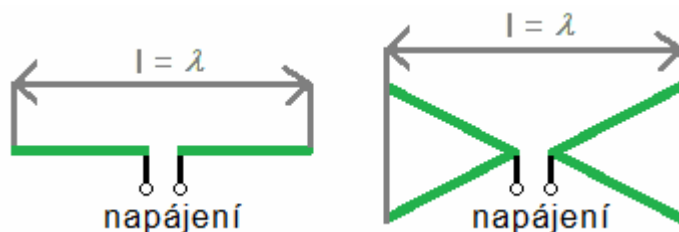
Anténní systém logaritmicko-periodické antény (LPA) není složen z direktorů a reflektorů, ale jen z dipólů. LPA má nižší směrovost, tedy i zisk oproti Yagi-Uda. Velkou výhodou je značná širokopásmovost, protože dipóly nerezonují náraz, ale každý v určitém kmitočtovém pásmu. Při konstrukci se postupuje tak, aby dipóly rezonovali postupně a v rezonanci se částečně překrývali. Napáječ je připojen k nejkratšímu dipólu (obr.13) Tento dipól je první ve směru příjmu a je naladěn na nejvyšší požadovaný kmitočet. Další prvky jsou postupně delší a vzdalují se od sebe. Poslední dipól je nejdelší a je naladěn na nejnižší požadovaný kmitočet. Na obr.13 je konstanta k menší než 1.



Obr. 13 Princip logaritmicko-periodické antény (LPA) [3]

2. 3. Buzená patrová soustava

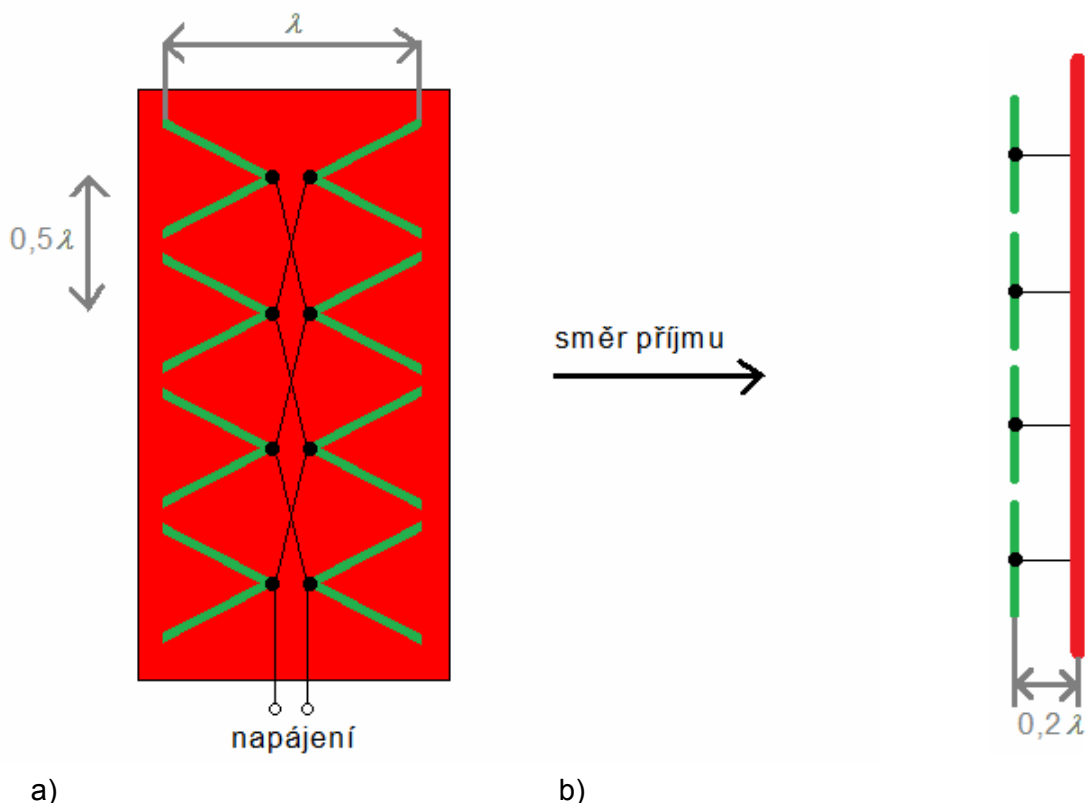
Na rozdíl od antény Yagi-Uda, kde se převážně používá půlvlnný dipól, je u buzené patrové soustavy použit celovlnný dipól (obr.14).



Obr. 14 Dvě varianty profilů celovlnných dipólů

Jednotlivé celovlnné dipóly jsou buzeny ve fázi, tedy jsou propojeny tak, aby se jednotlivé přijaté energie sčítaly. Většinou se používají čtyři patra dipólů (obr. 15),

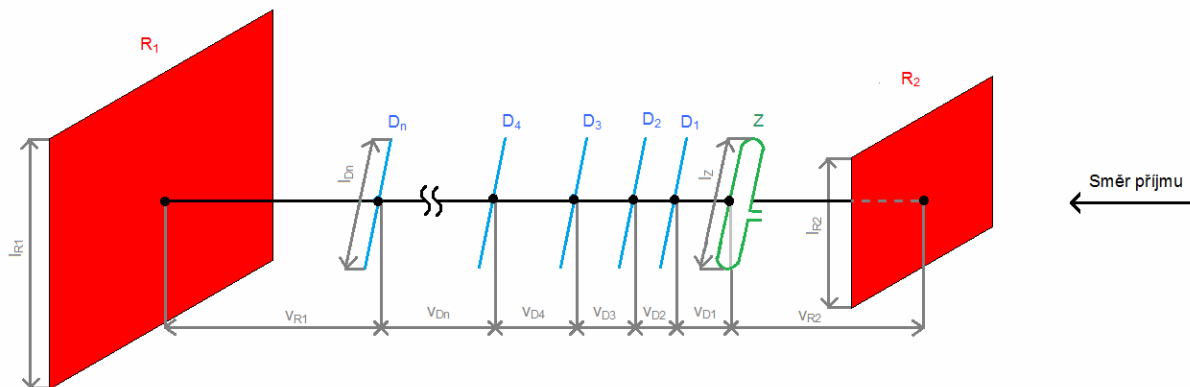
které jsou mezi sebou vzdáleny $0,5\lambda$. Jako reflektorový prvek se používá reflektorová stěna vzdálena od dipólu asi $0,2\lambda$.



Obr. 15 Buzená patrová soustava: a) přední pohled [3], b) boční pohled

2.4. BackFire

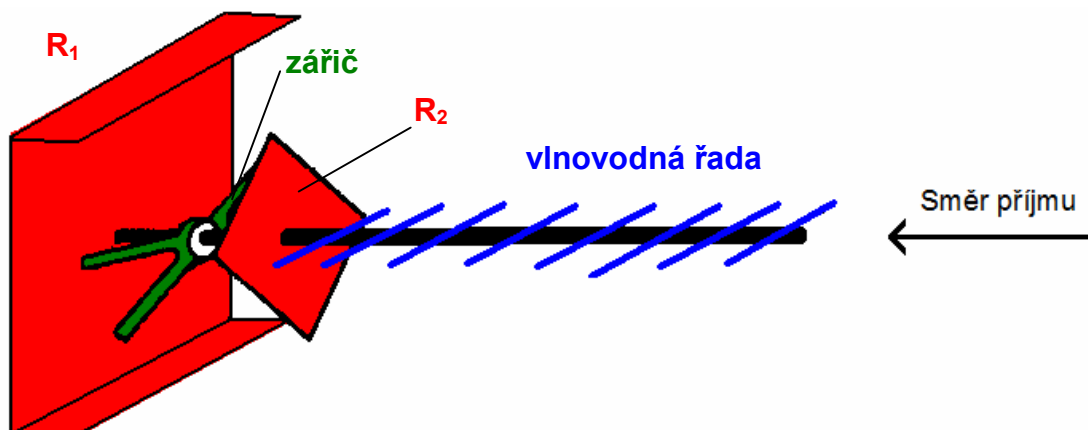
Použití antény se zpětným zářením (BackFire BF) se v České republice vůbec neujalo. Můžou za to mnohem větší náklady na výrobu než u klasických anténních systémů jako je např. Yagi-Uda, LPA, atd. Ale z hlediska teoreticky o 3dB většímu zisku oproti anténě Yagi.Uda, je anténa Backfire zajímavá. Anténa se skládá z hlavní reflektorové stěny, vedlejší reflektorové stěny, řady direktorů a zářiče (obr.16). Elektromagnetická vlna postupuje přes řadu direktorů na hlavní reflektorovou stěnu. Vlna se odrazí a postupuje zpět přes řadu direktorů. Od tohoto bodu už je to stejné jakou Yagi-Uda.



Obr. 16 Anténa BackFire

2. 4. 1. Short BackFire s vlnovodnou řadou

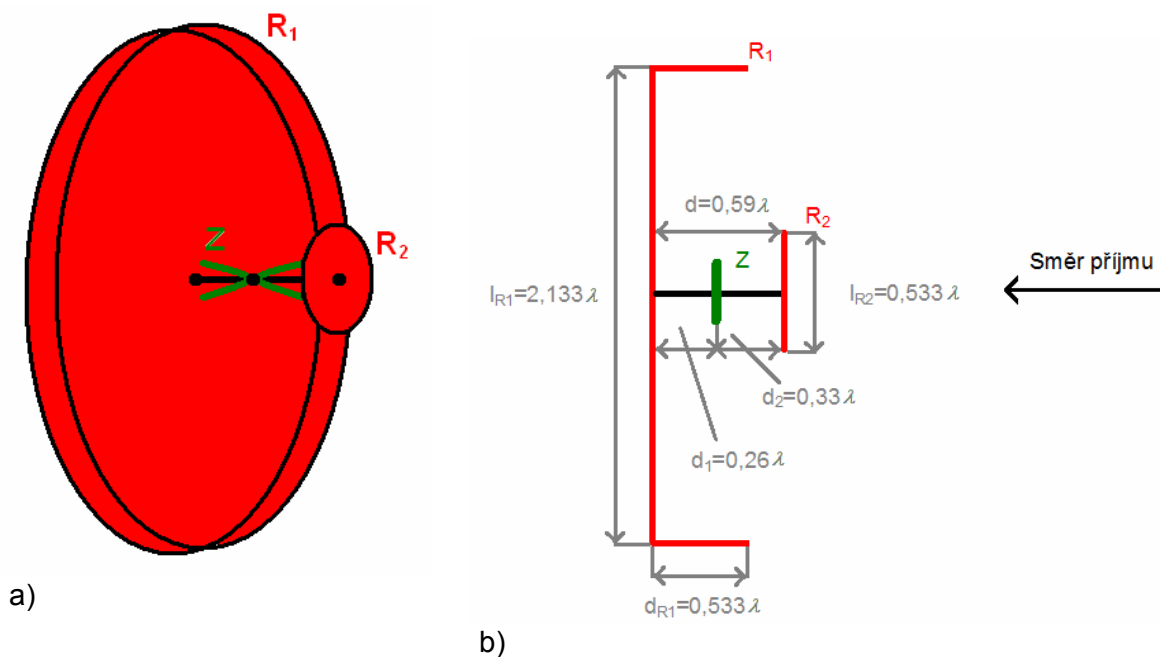
Krátká anténa se zpětným zářením s vlnovodnou řadou je jednou z modifikací anténní řady BackFire. Jako zářič je použit celovlnný dipól. Hlavní reflektor R_1 je umístěn až za zářičem (z pohledu příjmu) a reflektor R_2 je mezi zářičem a vlnovodnou řadou (obr.17). Mezi reflektorem R_1 a R_2 je zhuštěné elektromagnetické pole, jehož charakter odpovídá dutinovému rezonátoru.



Obr. 17 Anténa typu short-BackFire s vlnovodnou řadou [3]

2. 4. 2. Short BackFire

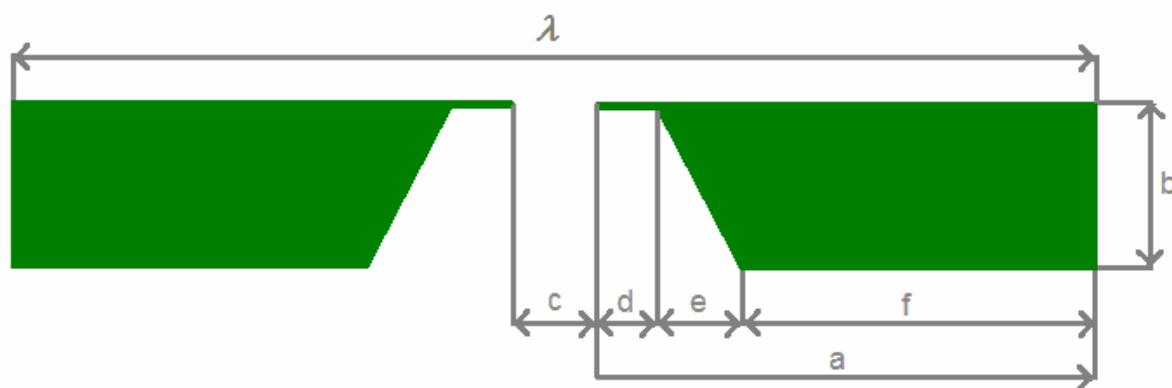
Jedná se o druhou modifikaci anténní řady BackFire. Hlavní reflektor R_1 je kruh prstencového typu a vedlejší reflektor R_2 je kruhový s menším průměrem (obr.18). Zářič je umístěn mezi reflektor R_1 a R_2 . Vlnovodná část se u této antény nepoužívá. Mezi R_1 a R_2 dochází k mnohonásobným obrazům, zářič Z je tedy umístěn ve zhuštěném elektromagnetickém poli, který má charakter dutinového rezonátoru.



Obr. 18 Anténa typu Short BackFire: a)pohled ze předu [3] b)pohled z boku [2]

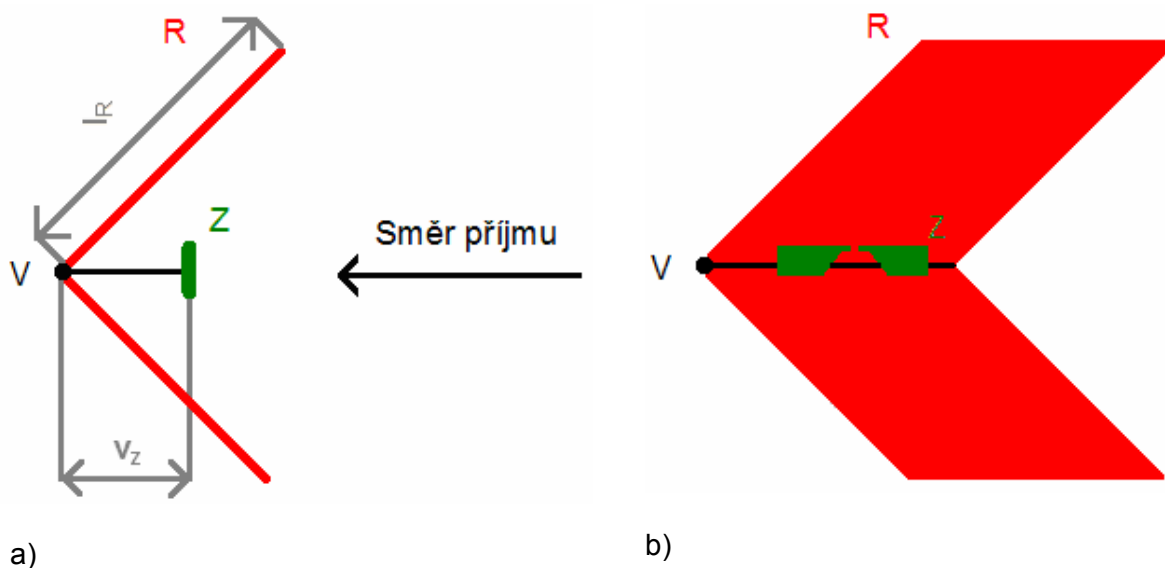
2.5. Celovlnný dipól z úhlovým reflektorem

Jak už napovídá název, jako zářič Z se používá celovlnný dipól, který není tyčový, ale má větší plochu povrchu (obr.19).



Obr. 19 Plošný celovlnný dipól [3]

Dvě rovinné plochy svírají mezi sebou úhel α , jako celek se nazývá úhlový reflektor R. Vzdálenost mezi vrcholem úhlového reflektoru V a zářičem Z (v_z) se pohybuje okolo 0,25 (obr.20). Zisk a diagram záření lze ovlivnit úhlem α a vzdáleností mezi vrcholem V a zářičem Z.



Obr. 20 Celovlnný dipól s úhlovým reflektorem [3]: a) pohled z boku, b) pohled ze předu

3. SIMULACE ANTÉNNÍCH SYSTÉMŮ PRO PŘÍJEM DVB-T

Vysílání standardu DVB-T se pohybuje v kmitočtovém pásmu od 474MHz do 858MHz, resp. v pásmu kanálu od C21 do C69 (Tab.1). Návrh širokopásmových antén pro standard DVB-T se většinou provádí na střed kmitočtového pásma, tedy na kmitočet 666MHz (C45). Kde má anténa např. nejvyšší výkonový zisk, který je pak udáván v katalogových listech výrobce, ale na krajích kmitočtového pásma DVB-T je tento zisk o něco menší.

Tab. 1 Seznam DVB-T kanálu s příslušnými kmitočty

Kanál	Frekvence [MHz]	Kanál	Frekvence [MHz]
C21	474	C46	674
C22	482	C47	682
C23	490	C48	690
C24	498	C49	698
C25	506	C50	706
C26	514	C51	714
C27	522	C52	722
C28	530	C53	730
C29	538	C54	738
C30	546	C55	746
C31	554	C56	754
C32	562	C57	762
C33	570	C58	770
C34	578	C59	778
C35	586	C60	786
C36	594	C61	794
C37	602	C62	802
C38	610	C63	810
C39	618	C64	818
C40	626	C65	826
C41	634	C66	834
C42	642	C67	842
C43	650	C68	850
C44	658	C69	858
C45	666		

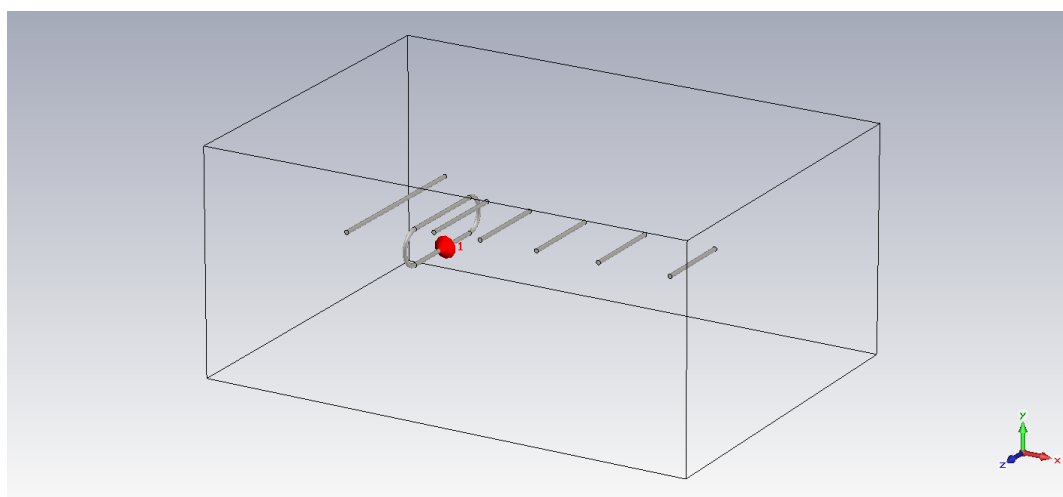
3.1 Sedmiprvková Yagi-Uda anténa

Nejprve do listu parametrů v programu CST studiu byli napsány rozměry a vzdálenosti jednotlivých prvků antény (Tab.2). Označení rozměrů a vzdálenosti je stejné jako na obr.6. Anténní systém obsahuje pět direktorů (D_1 až D_5), jeden reflektor (R) a jeden zářič v podobě skládaného dipólu (obr. 21). Rozměry a vzdálenosti prvků jsou převzaty z [3].

Tab. 2 Rozměry sedmiprvkové antény Yagi-Uda

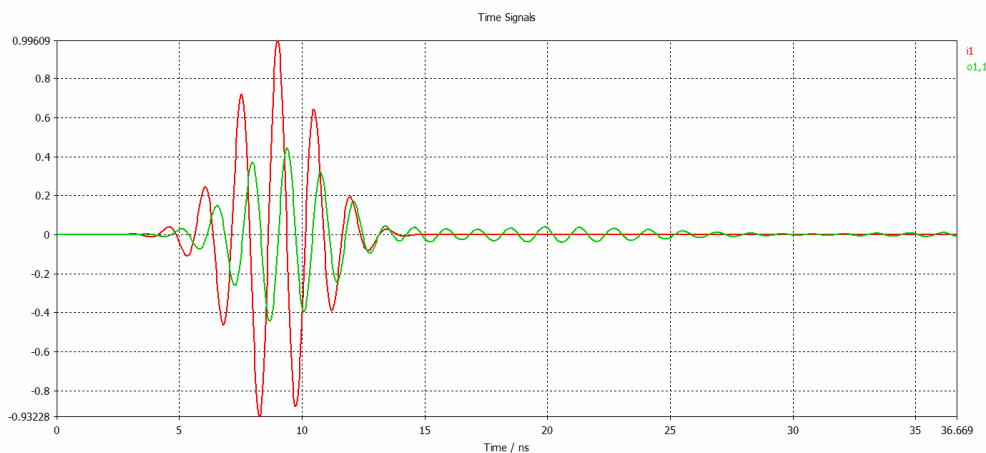
Parametr	Hodnota	Poznámka
lr	0,33m	délka reflektoru
vr	0,092m	vzdálenost reflektoru od zářiče
lz	0,25m	délka zářiče
ld1	0,18m	délka direktoru 1
vd1	0,037m	vzdálenost prvního direktoru od zářiče
ld2	0,168m	délka direktoru 2
vd2	0,088m	vzdálenost druhého direktoru od prvního
ld3	0,165	délka direktoru 3
vd3	0,11m	vzdálenost třetího direktoru od druhého
ld4	0,16m	délka direktoru 4
vd4	0,12m	vzdálenost čtvrtého direktoru od třetího
ld5	0,156m	délka direktoru 5
vd5	0,138m	vzdálenost pátého direktoru od čtvrtého

Struktura byla sestavena podle parametrů (viz. tab.2) a je zobrazena na obr.21. Jednotlivé prvky jsou zakresleny v rovině zx, tudíž je anténa polarizována vertikálně.



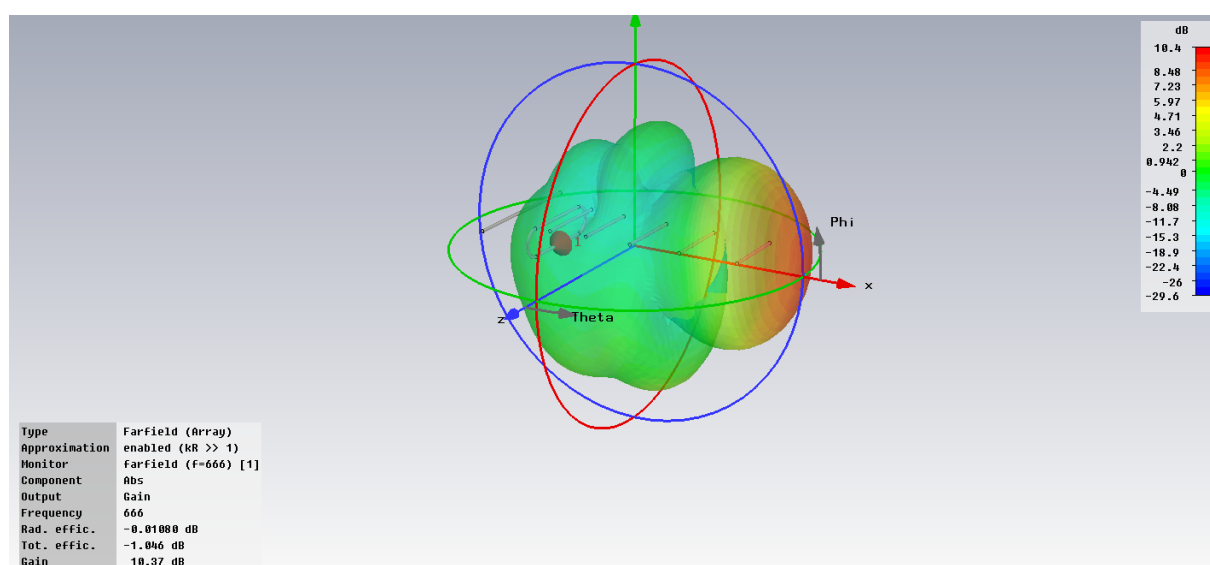
Obr. 21 Struktura sedmiprvkové Yagi-Uda antény v programu CST

Jako první graf je zobrazena odezva napájecího portu (obr.22). Kde červeně je vyznačen signál vstupující do antény (i_1). Zeleně je zobrazen signál, vystupující z antény ($o_1,1$):



Obr. 22 Odezva místa napájení sedmiprvkové Yagi-Uda

Tento simulační program umožňuje zobrazení 3D diagramu záření (obr. 23).



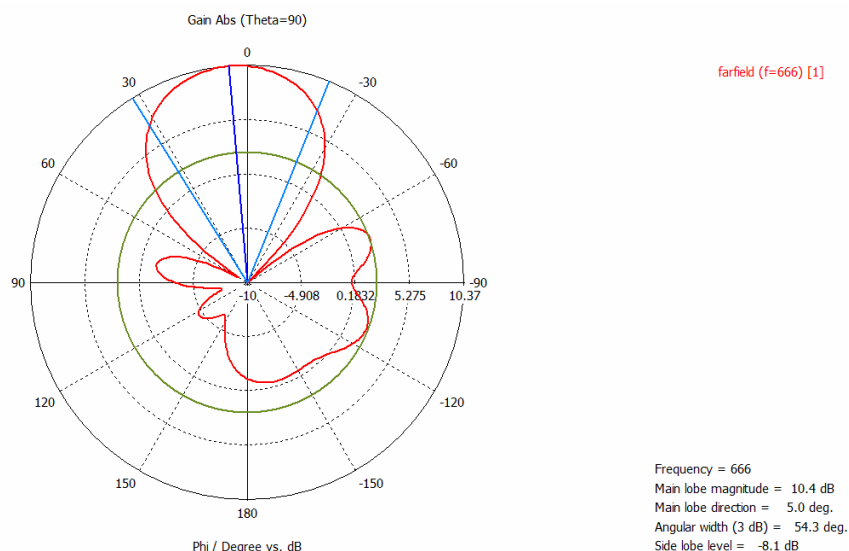
Obr. 23 Vyzařovací diagram 3D sedmiprvkové antény Yagi-Uda

Vyzařovací diagramy se v katalogových listech nebo u protokolů k anténám neuvádí v 3D zobrazení, ale většinou v polárních souřadnicích pro vertikální (obr.24) a horizontální (obr.25) polarizaci. Kde tmavě modrou je vyjádřen střed hlavního laloku a světle modrou je znázorněn úhel záření antény pro pokles -3dB. Zelený kruh znázorňuje největší velikost postranního laloku (bočních nebo zadního laloku).



Obr. 24 Horizontální diagram záření sedmiprvkové antény Yagi-Uda v polárních souřadnicích

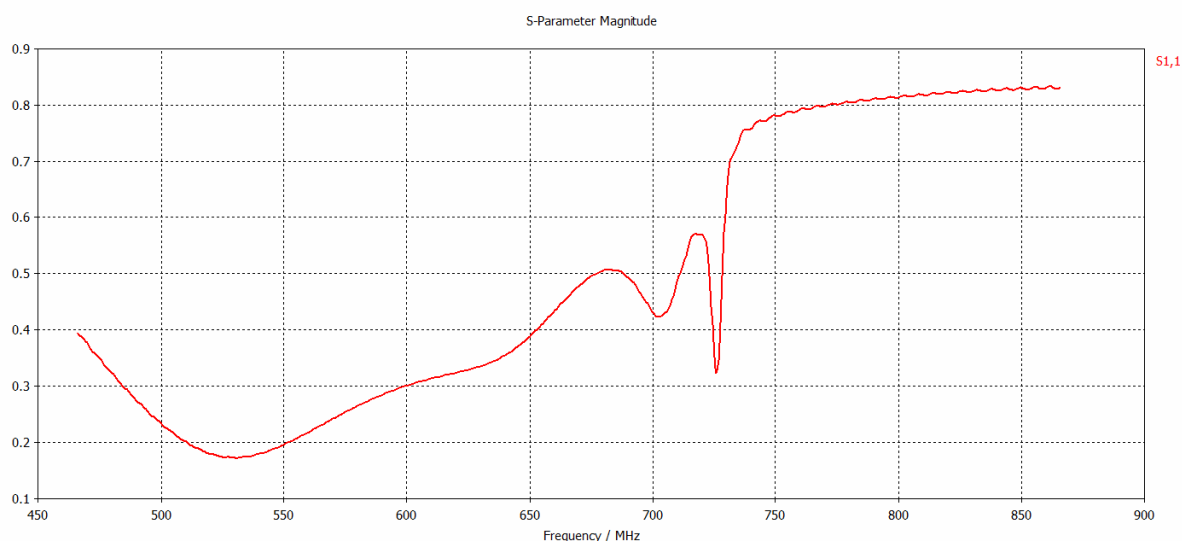
Hlavní lalok má velikost zisku -0,2dB a vedlejší lalok má velikost -3dB. Vyzařovací úhel je 92,2°. Z těchto parametrů je patrné, že anténa není polarizovaná horizontálně, ale bude polarizována vertikálně.



Obr. 25 Vertikální diagram záření sedmiprvkové antény Yagi-Uda v polárních souřadnicích

Hlavní lalok má velikost zisku 10,4dB, vzhledem k tomu, že je to hlavní vyzařovací rovina, je to celkový zisk celého anténního systému. Průběh postranních laloků je od teoretických předpokladů mírně odlišný. Vyzařovací úhel je 54,3°. Hlavní lalok je odkloněn od nulové osy o 5°.

Jedním z důležitým parametrem pro posouzení přizpůsobení anténního systému je činitel odrazu. Graf činitele odrazu je v lineárním měřítku (obr.26).

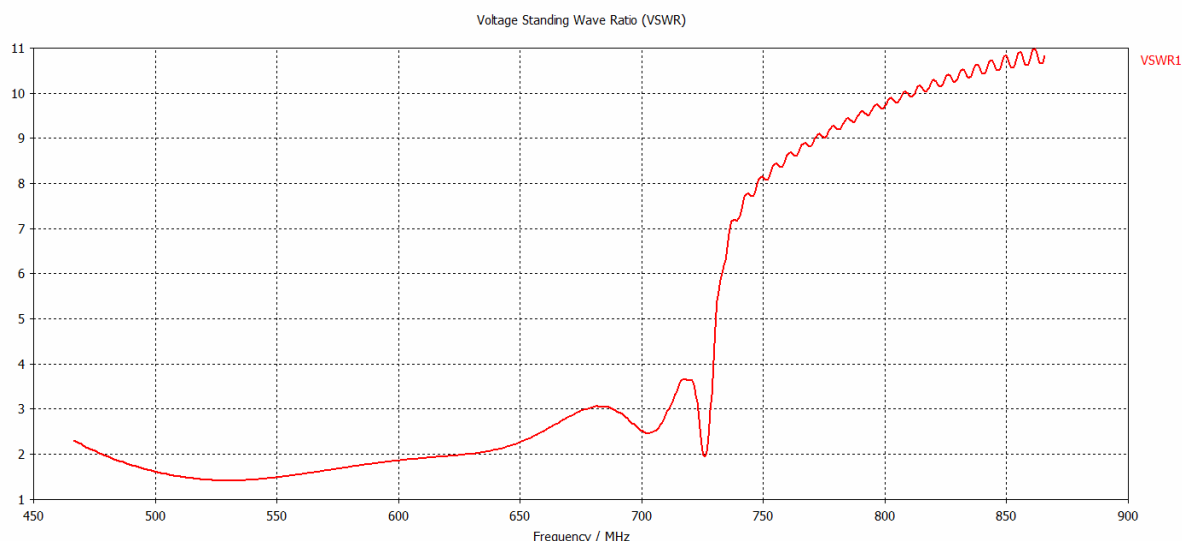


Obr. 26 Činitel odrazu sedmiprvkové antény Yagi-Uda v lineárním měřítku

Známe-li graf činitel odrazu (obr.26), lze přepočítat z něj graf poměru stojatých vln (obr.27). Poměr stojatých vln (PSV) je druhým důležitým parametrem pro určení přizpůsobení anténního systému na daných kmitočtech. A tento parametr je uváděn, např. v katalogových listech více než činitel odrazu. Pro stanovení úrovně přizpůsobení (resp. nepřizpůsobení) se použije obr. 27.

Z profesionálního hlediska je anténa přizpůsobena od nejnižšího kmitočtu 474MHz (C21) až do kmitočtu 626MHz (C40). Z amatérského hlediska je anténa

přizpůsobena od nejnižšího kmitočtu 473MHz (C21) až do kmitočtu 706MHz (C50). Je použita impedance diskretního portu (napájení) 300Ω.



Obr. 27 PSV sedmiprvkové antény Yagi-Uda

3.2 Devatenácti prvková logaritmicko-periodická anténa

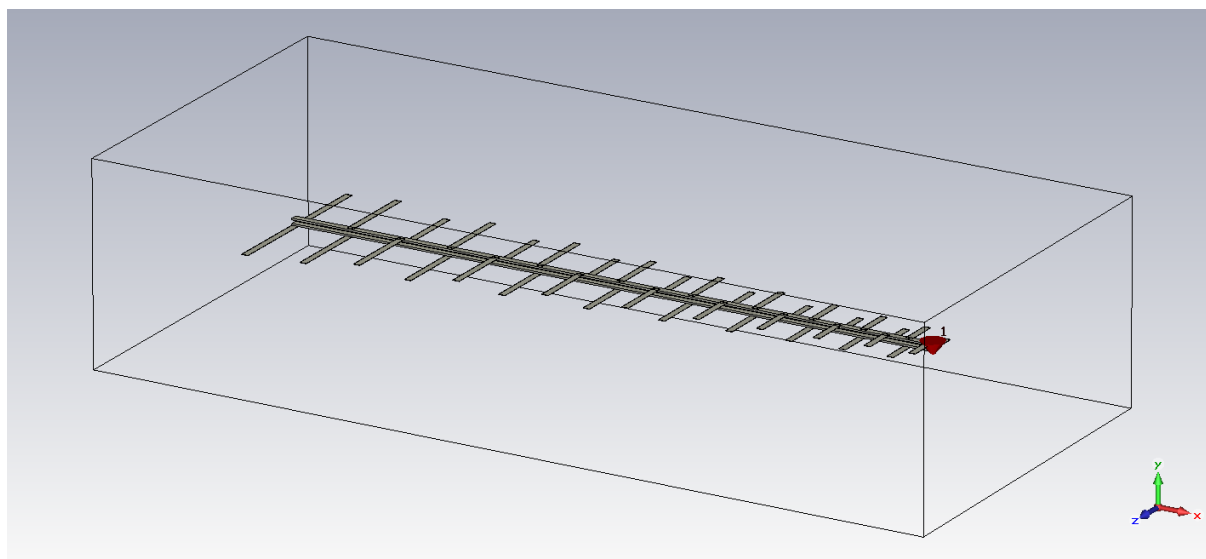
Anténa je složena z jednoho reflektoru R, 18 dipólů a dvou nosných ramen, tzv. sběračů (obr.31). Reflektor R je jako poslední ve směru příjmu a je připojen na spodní sběrač. Jednotlivé prvky nejsou zhotoveny z kulatiny, ale z pásků. K hornímu sběrači se připojuje středový vodič souosého kabelu. Opletení se připojuje na spodní sběrač. Středový vodič a opletení se připojuje k nejkratšímu dipólu (obr.28). Rozměry a vzdálenosti jsou shrnuty v tab.3 a jsou přejaty z [3].

Tab. 3 Rozměry devatenácti prvkové LPA antény

Parametr	Hodnota	Poznámka
lr	0,328m	délka reflektoru
lz1	0,3m	délka zářiče 1
lz2	0,285m	délka zářiče 2
lz3	0,27m	délka zářiče 3
lz4	0,255m	délka zářiče 4
lz5	0,24m	délka zářiče 5
lz6	0,228m	délka zářiče 6
lz7	0,214m	délka zářiče 7
lz8	0,202m	délka zářiče 8
lz9	0,19m	délka zářiče 9
lz10	0,18m	délka zářiče 10
lz11	0,17m	délka zářiče 11
lz12	0,16m	délka zářiče 12
lz13	0,152m	délka zářiče 13
lz14	0,143m	délka zářiče 14
lz15	0,135m	délka zářiče 15
lz16	0,127m	délka zářiče 16
lz17	0,12m	délka zářiče 17
lz18	0,114m	délka zářiče 18
vr	0,1m	rozteč mezi R, Z1
vz1	0,095m	rozteč mezi Z1, Z2

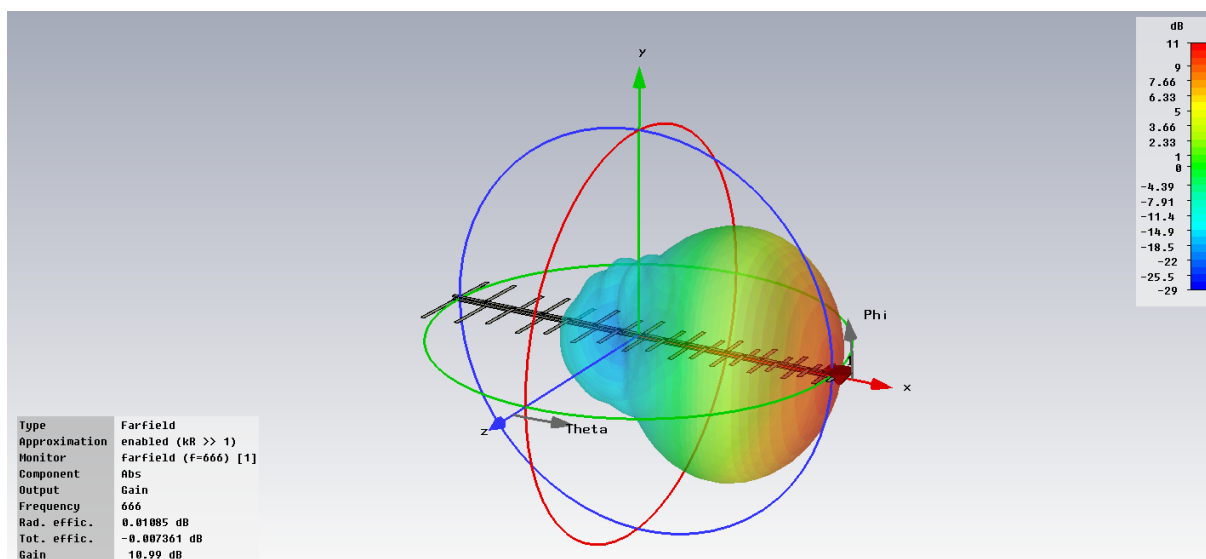
Parametr	Hodnota	Poznámka
vz2	0,09m	rozteč mezi Z2, Z3
vz3	0,085m	rozteč mezi Z3, Z4
vz4	0,08m	rozteč mezi Z4, Z5
vz5	0,076m	rozteč mezi Z5, Z6
vz6	0,072m	rozteč mezi Z6, Z7
vz7	0,0675m	rozteč mezi Z7, Z8
vz8	0,064m	rozteč mezi Z8, Z9
vz9	0,06m	rozteč mezi Z9, Z10
vz10	0,057m	rozteč mezi Z10, Z11
vz11	0,0535m	rozteč mezi Z11, Z12
vz12	0,0505m	rozteč mezi Z12, Z13
vz13	0,0475m	rozteč mezi Z13, Z14
vz14	0,045m	rozteč mezi Z14, Z15
vz15	0,043m	rozteč mezi Z15, Z16
vz16	0,04m	rozteč mezi Z16, Z17
vz17	0,038m	rozteč mezi Z17, Z18
vn	0,006m	rozteč mezi sběrači
t	0,012m	šířka prvků
tn	0,03	šířka sběračů
r	0,0005m	výška prvků
rn	0,003	výška sběračů

Struktura jednotlivých prvků je vytvořena v rovině xz (obr.28), tedy anténí systém bude polarizován vertikálně.



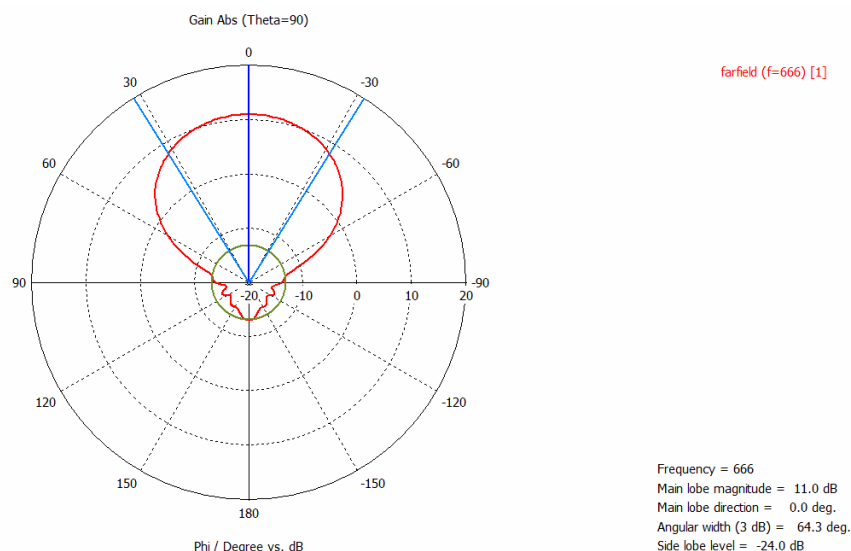
Obr. 28 Struktura devatenácti prvkové LPA antény v programu CST

Prostorový diagram záření (obr.29) se zobrazí na středu kmitočtového pásma, tedy na kmitočtu 666MHz (C45). Dále se zobrazí jednorozměrné diagramy záření (obr.30, obr.31)

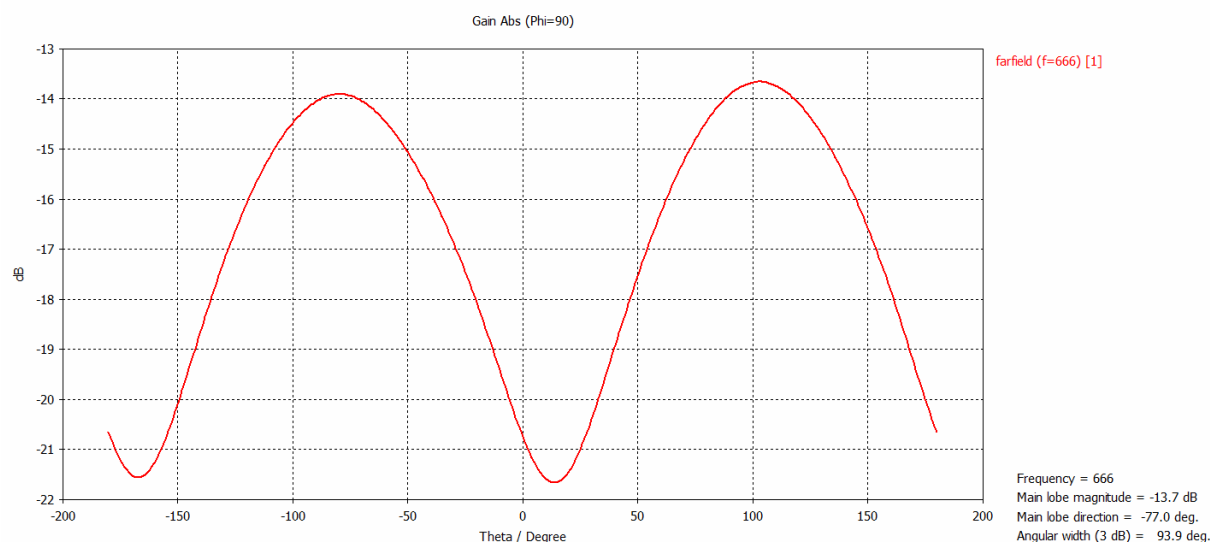


Obr. 29 Vyzařovací diagram 3D devatenácti prvkové antény LPA

Hlavní lalok má velikost 11dB, což je celkový zisk anténního systému. Vedlejší lalok má velikost -13dB. Předozadní poměr je tedy 24dB. Vyzařovací úhel antény je $64,3^\circ$. Tyto parametry jsou zobrazeny na obr.30.



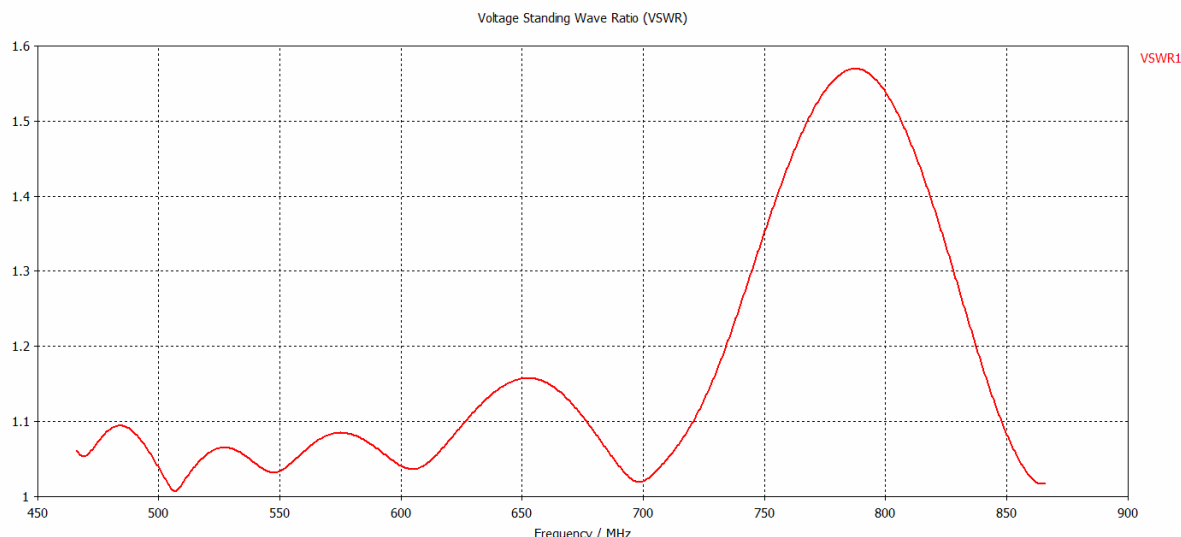
Obr. 30 Vertikální diagram záření devatenácti prvkové antény LPA v polárních souřadnicích



Obr. 31 Horizontální diagram záření devatenácti prvkové antény LPA v pravoúhlých souřadnicích

Na obr.31 je vidět, že laloky mají zisk jen -13,7dB, protože to není hlavní rovina záření (resp. hlavní polarizační rovina), proto to nevadí.

Podle grafu poměru stojatých vln (obr. 32), se určí přizpůsobení antény na daném kmitočtovém pásmu. Anténa je z amatérského i profesionálního hlediska přizpůsobena v celé šířce kmitočtového pásma. V celém pásmu nepřesáhne PSV hodnotu 1,6, což lze považovat za výborné přizpůsobení. Impedance diskrétního portu je 75Ω .



Obr. 32 PSV devatenácti prvkové antény LPA

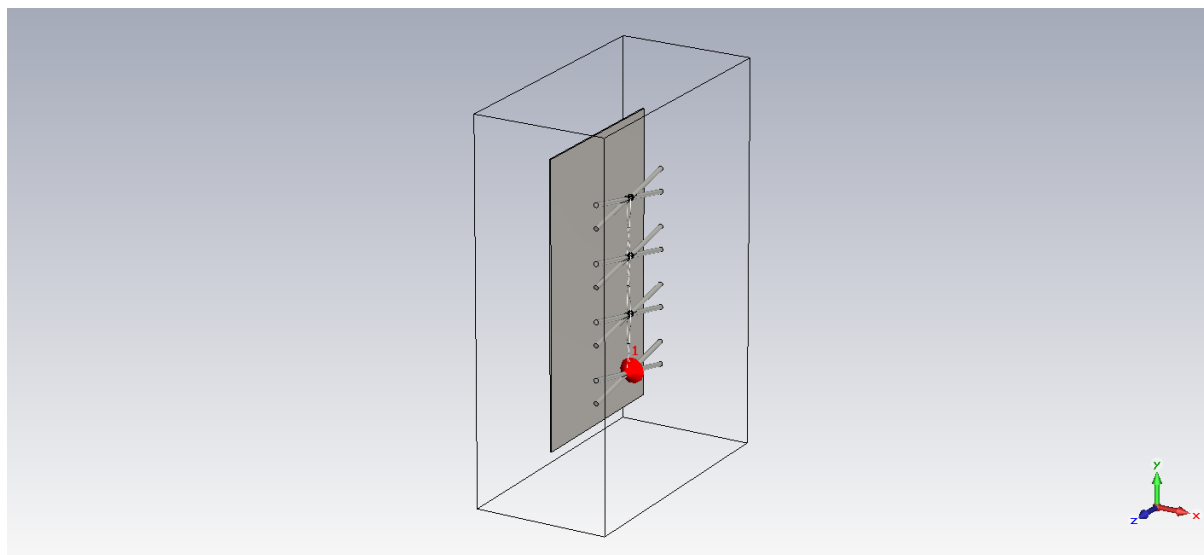
3.3 Buzená čtyřpatrová soustava

Anténní systém je složen ze čtyř celovlnných dipólů umístěných nad sebou (obr.33). Za nimi ve směru příjmu je umístěna reflektorová stěna (obr.34). Jednotlivé „patra“ soustavy jsou propojeny vodičem, napájení je připojeno k nejspodnějšímu dipólu. Rozměry a vzdálenosti jsou shrnuty v tab.4 a jsou přejaty z [3], kromě poloměru drátu, ze kterého jsou dipóly zhotoveny. Ten se musel zvýšit z původních 0,0025m na 0,008m, aby byla anténa přizpůsobena ve větší kmitočtovém pásmu.

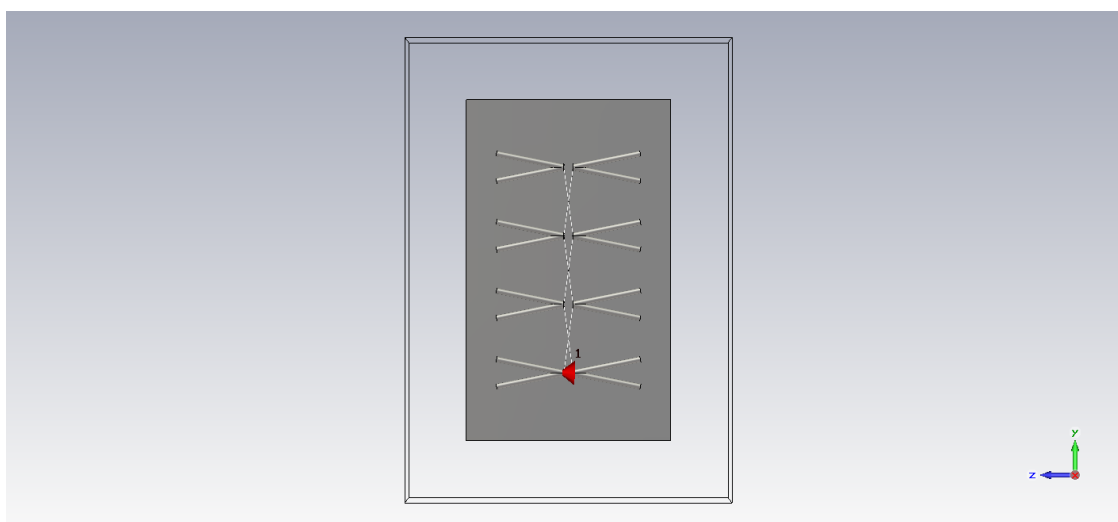
Tab. 4 Rozměry čtyřpatrové buzené soustavy

Parametr	Hodnota	Poznámka
lr1	0,6m	délka kratší strany reflektoru
lr2	1m	délka delší strany reflektoru
lz	0,42m	délka zářiče
r	0,008m	poloměr drátu zářiče
rv	0,0013m	poloměr drátů propojující zářiče
t	0,005m	tloušťka reflektorové stěny
vr	0,088m	vzdálenost reflektorové stěny od zářiče
vz	0,165	Vzdálenost zářičů od sebe

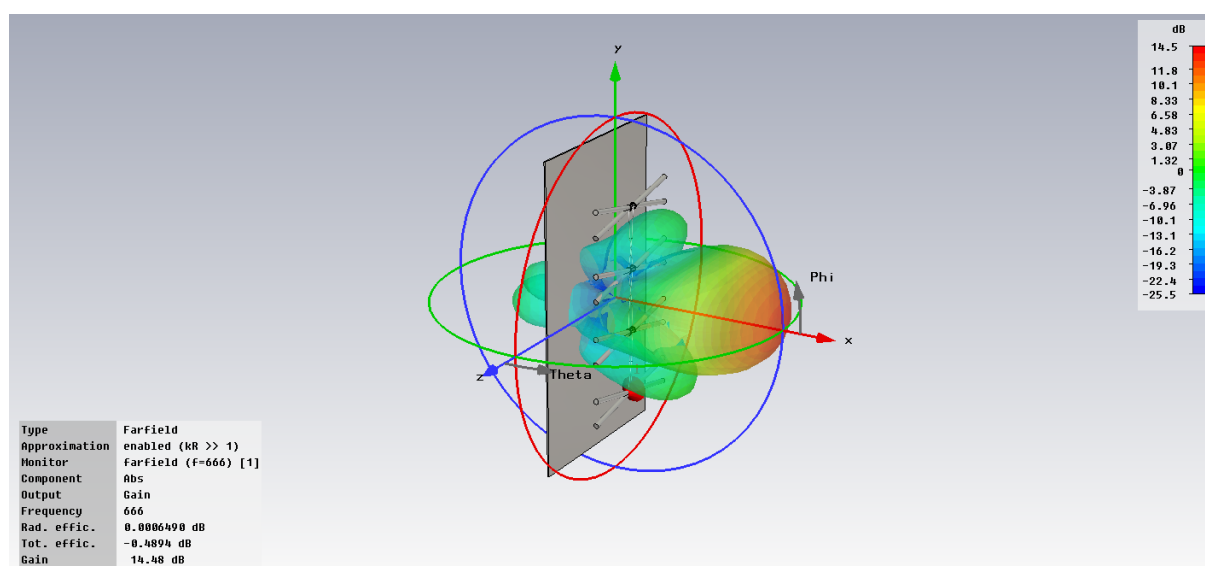
Struktura jednotlivých prvků je vytvořena v rovině zx (obr.33), tedy anténní systém bude polarizován vertikálně.



Obr. 33 Struktura čtyřpatrové buzené soustavy v programu CST

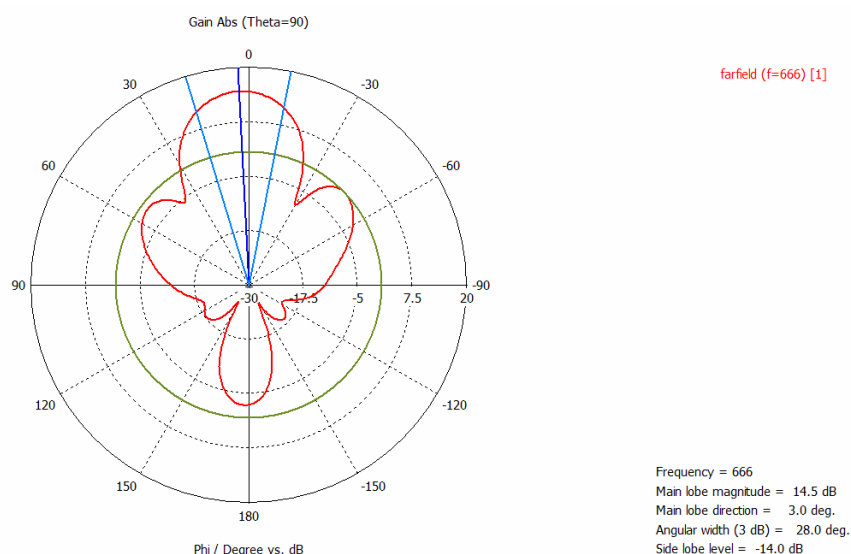


Obr. 34 Struktura čtyřpatrové buzené soustavy v programu CST



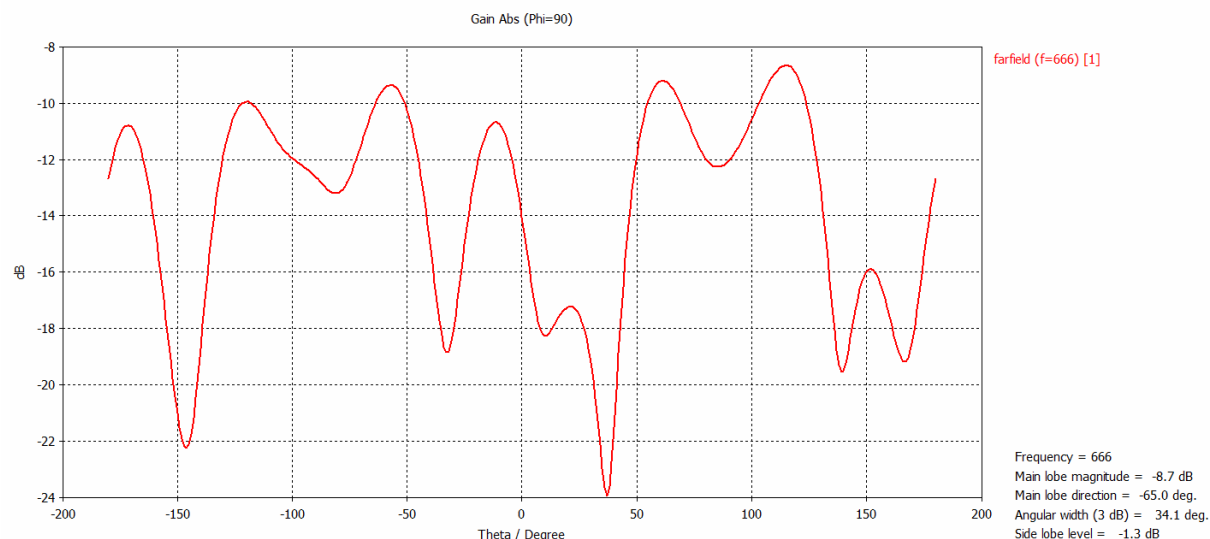
Obr. 35 Vyzařovací diagram 3D čtyřpatrové buzené soustavy

Prostorový diagram záření (obr.35) se zobrazí na středu kmitočtového pásma, tedy na kmitočtu 666MHz (C45). Dále se zobrazí oba jednorozměrné diagramy záření polarizačních rovin (obr.36, obr.37).



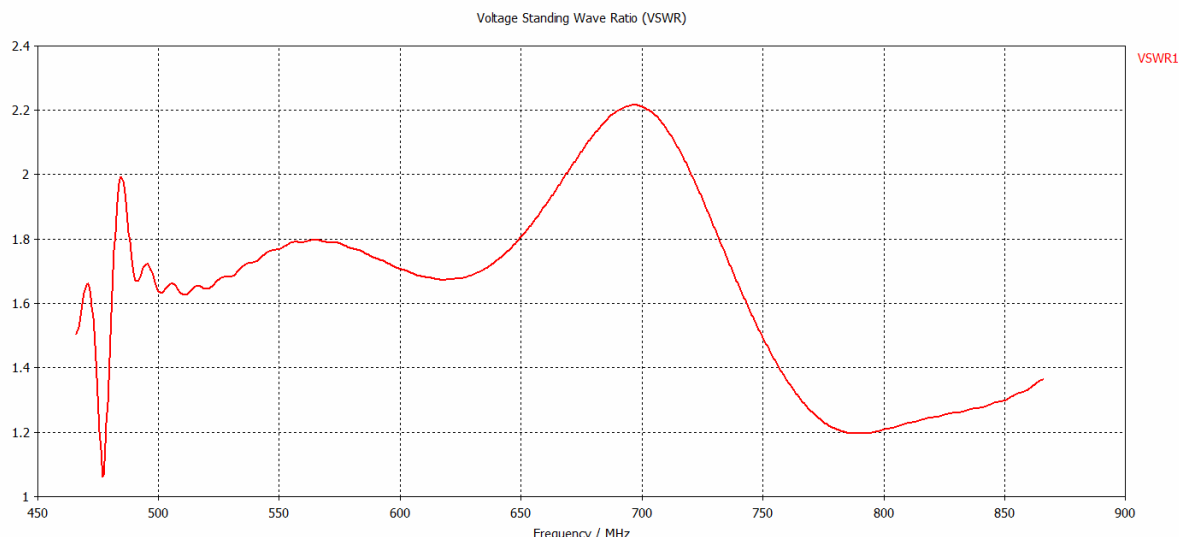
Obr. 36 Vertikální diagram záření čtyřpatrové buzené soustavy v polárních souřadnicích

Zisk celé čtyřpatrové buzené soustavy je 14,5dB. Z obr.36 je patrné, že hlavní lalok je odchýlený od nulové osy o 3°. Vyzařovací úhel antény je 28°. Zadní lalok má -2,75dB, předozadní poměr je 17,25dB.



Obr. 37 Horizontální diagram záření čtyřpatrové buzené soustavy v pravoúhlých souřadnicích

Na obr.37 je vidět, že laloky jsou značně nepravidelné. Není to hlavní rovina záření (resp. hlavní polarizační rovina), proto to nevadí. Navíc hlavní lalok má zisk jen -8,7dB.



Obr. 38 PSV čtyřpatrové buzené soustavy

Z obr.38 je anténní systém přizpůsoben z amatérského hlediska v celém pásmu DVB-T. Z profesionálního hlediska není anténa přizpůsobena od 670MHz do 720MHz, protože je PSV větší než 2. Použitý diskretní port měl impedanci 172Ω .

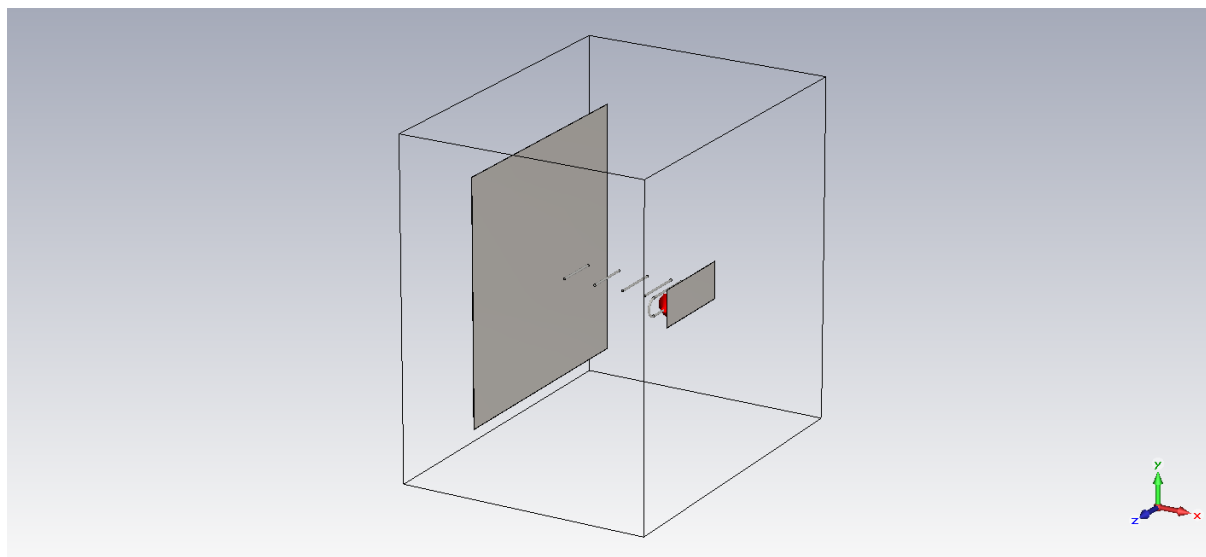
3.4 BackFire (BF)

Vznikla modifikací antény z kapitoly 3.1, kde místo tyčového reflektoru je menší reflektorová stěna (tzv. vedlejší reflektor), pátý direktor je nahrazen větší reflektorovou stěnou (tzv. hlavní reflektor). Výsledná struktura je zobrazena na obr.39. Rozměry a vzdálenosti jsou shrnuty v tab.5.

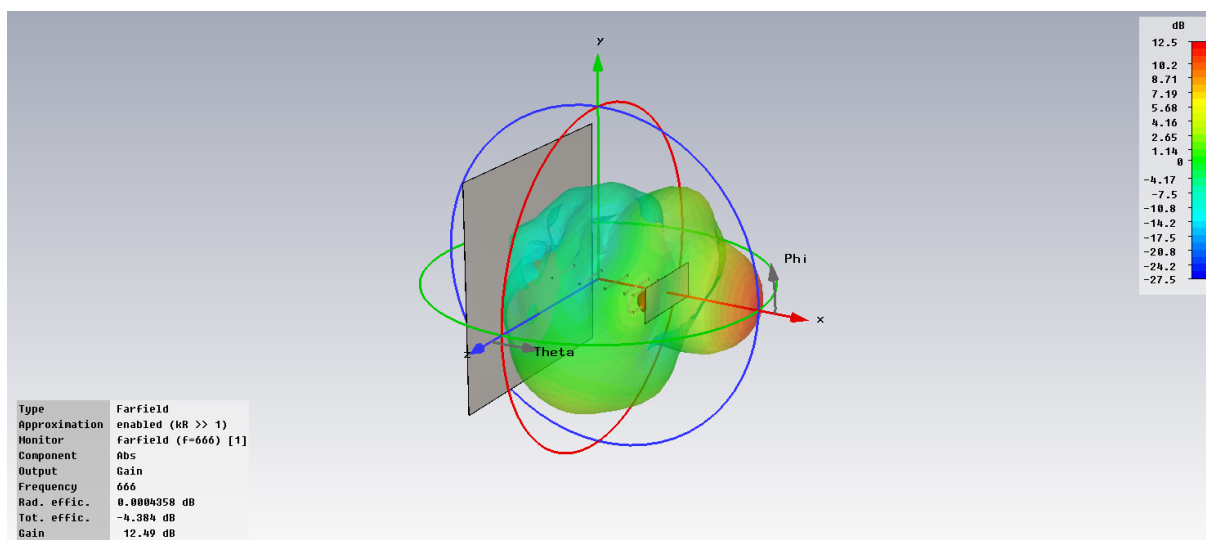
Tab. 5 Rozměry antény BackFire

Parametr	Hodnota	Poznámka
lrv1	0,33m	delší strana vedlejšího reflektoru
lrv2	0,27m	kratší strana vedlejšího reflektoru
lrh	1,8m	Strana hlavního reflektoru
vr	0,092m	vzdálenost vedlejšího reflektoru od zářiče
lz	0,25m	délka zářiče
ld1	0,18m	délka direktoru 1
vd1	0,037m	vzdálenost prvního direktoru od zářiče
ld2	0,168m	délka direktoru 2
vd2	0,088m	vzdálenost druhého direktoru od prvního
ld3	0,165	délka direktoru 3
vd3	0,11m	vzdálenost třetího direktoru od druhého
ld4	0,16m	délka direktoru 4
vd4	0,12m	vzdálenost čtvrtého direktoru od třetího
vd5	0,138m	vzdálenost hlavního reflektoru od čtvrtého direktoru

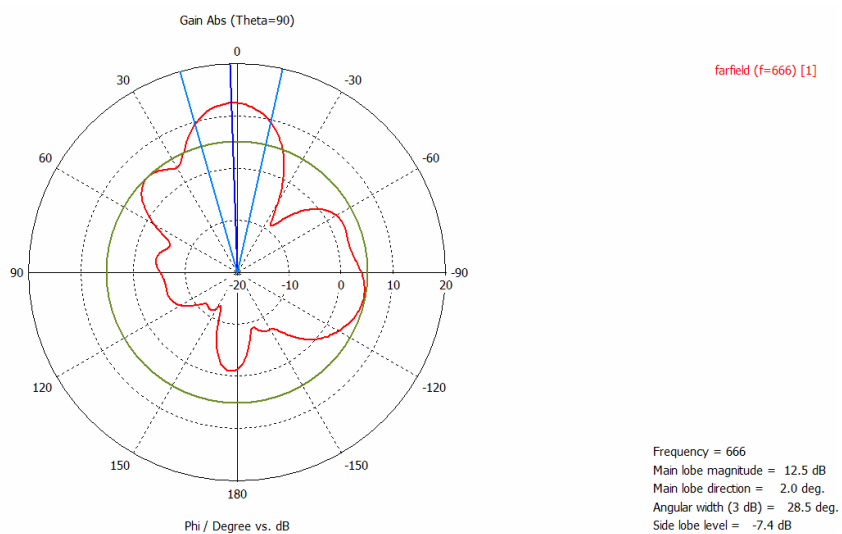
Struktura jednotlivých prvků je vytvořena v rovině zx (obr.39), tedy anténní systém bude polarizován vertikálně.



Obr. 39 Struktura BackFire v programu CST



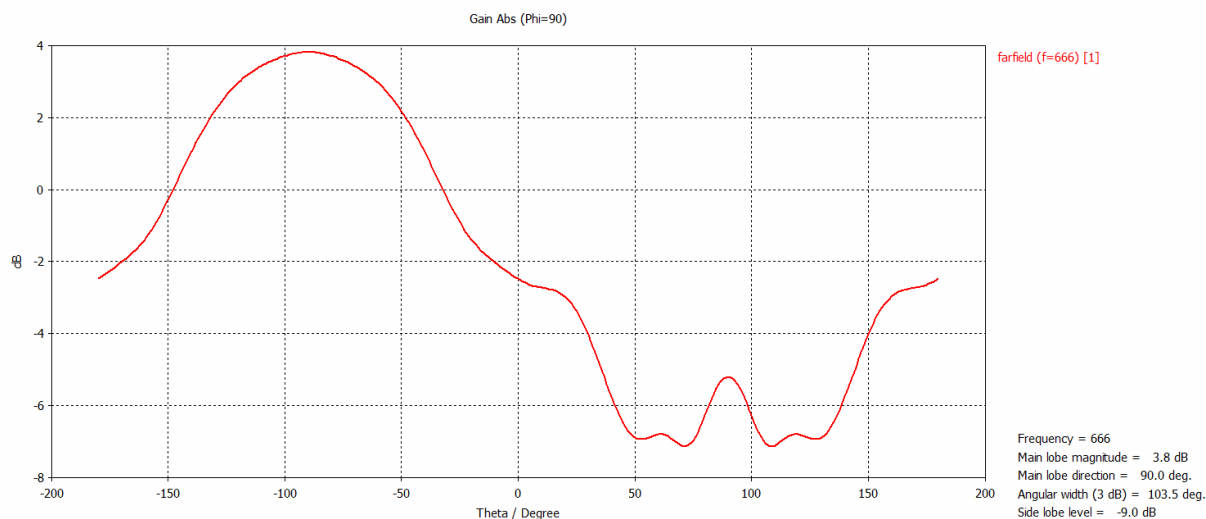
Obr. 40 Vyzařovací diagram 3D antény BackFire



Obr. 41 Vertikální diagram záření antény BackFire v polárních souřadnicích

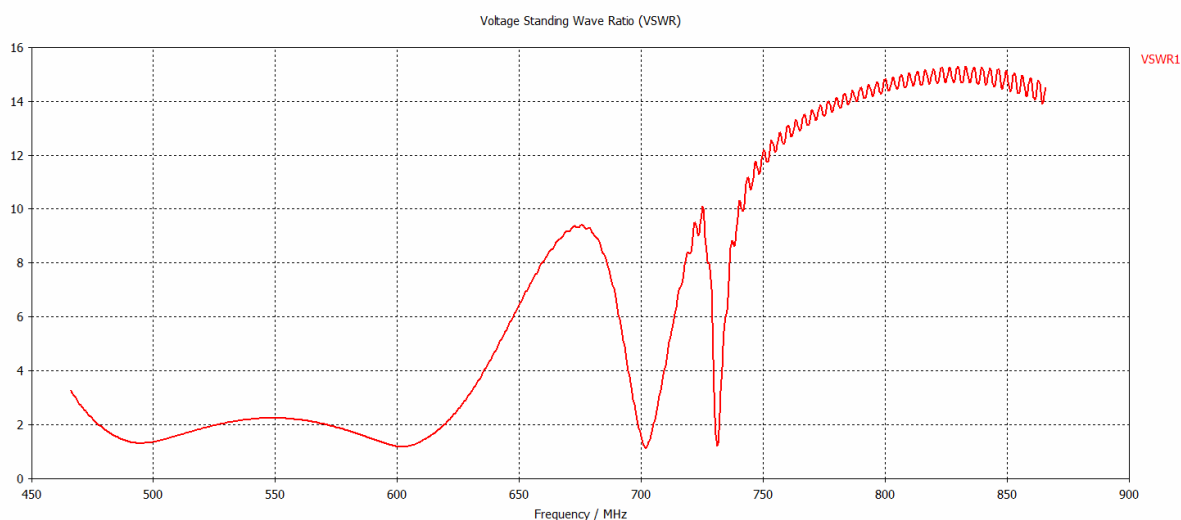
Prostorový diagram záření (obr.39) se zobrazí na středu kmitočtového pásma, tedy na kmitočtu 666MHz (C45). Dále se zobrazí oba jednorozměrné diagramy záření polarizačních rovin (obr.41, obr.42).

Z obr.41 je zisk antény BackFire, která vznikla modifikací antény z kapitoly 3.1 12,5dB. Tedy zisk se zvýšil o 2,1dB. Snížil se vyzařovací úhel z 54,3° na 28,5°. Předozadní poměr se zvýšil na 12,5dB, protože lalok ve směru 180° má velikost 0dB. Ale přidáním reflektorů se vyzařovací diagram více změnil (nepravidelný tvar), čemuž odpovídají i rozdílné parametry.



Obr. 42 Horizontální diagram záření antény BackFire v pravoúhlých souřadnicích

Na obr.42 je vidět, že hlavní lalok horizontální roviny má zisk 3,8dB. Není to hlavní rovina záření (resp. hlavní polarizační rovina), proto zisk 3,8dB je docela vysoká hodnota (oproti ostatním simulovaným anténám), zvedla se oproti původnímu sestavení o 4dB.



Obr. 43 PSV antény BackFire

Touto modifikací jsme přidáním reflektorů ovlivnili impedanci antény, tím pádem se ovlivnilo přizpůsobení antény k horšímu. Anténa je mnohem více nepřizpůsobená než před modifikací (viz obr. 43). Diskrétní port má impedanci 300Ω .

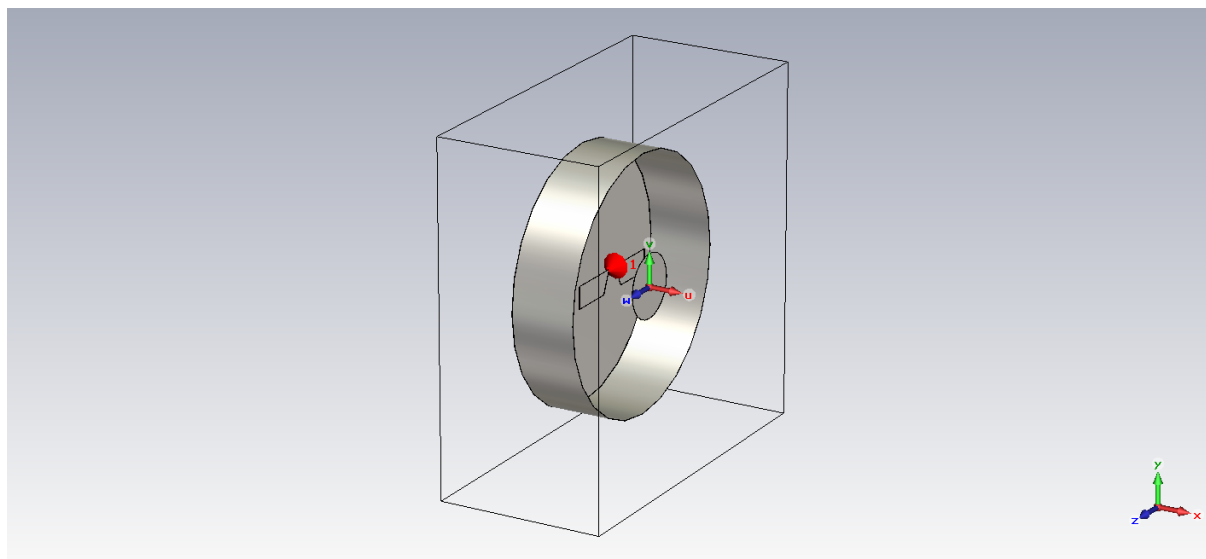
3.5 Short BackFire (sBF)

Je použit plošný celovlnný dipól, který je zobrazen na obr.19. Vedlejší reflektor je před zářičem a je menší. Hlavní reflektor je větší, přibližně 4x než vedlejší reflektor a je umístěn za zářičem (obr. 44). Navíc má okolo sebe prstenec. Rozměry jednotlivých prvků jsou shrnuty v tab.6 a jsou převzaty z [3].

Tab. 6 Rozměry antény Short BackFire (sBF)

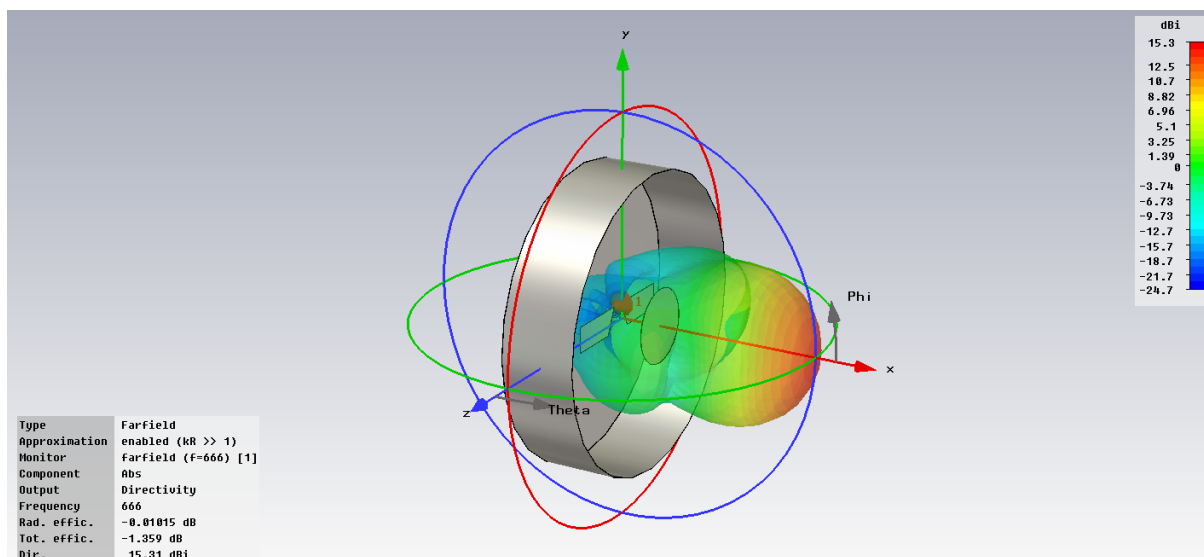
Parametr	Hodnota	Poznámka
b	0,08m	rozměr dipólu
c	0,023m	rozměr dipólu
d	0,01m	rozměr dipólu
e	0,035m	rozměr dipólu
f	0,16m	rozměr dipólu
d1	0,113m	vzdálenost mezi hlavním reflektorem a zářičem
d2	0,143m	vzdálenost mezi vedlejším reflektorem a zářičem
dr1	0,231m	velikost prstence hlavního reflektoru
lr1	0,924m	průměr hlavního reflektoru
lr2	0,231m	průměr vedlejšího reflektoru
lz	0,433m	délka zářiče
t	0,01m	tlošťka reflektorů a zářiče

Struktura jednotlivých prvků je vytvořena v rovině zx (obr.44), tedy anténní systém bude polarizován vertikálně.

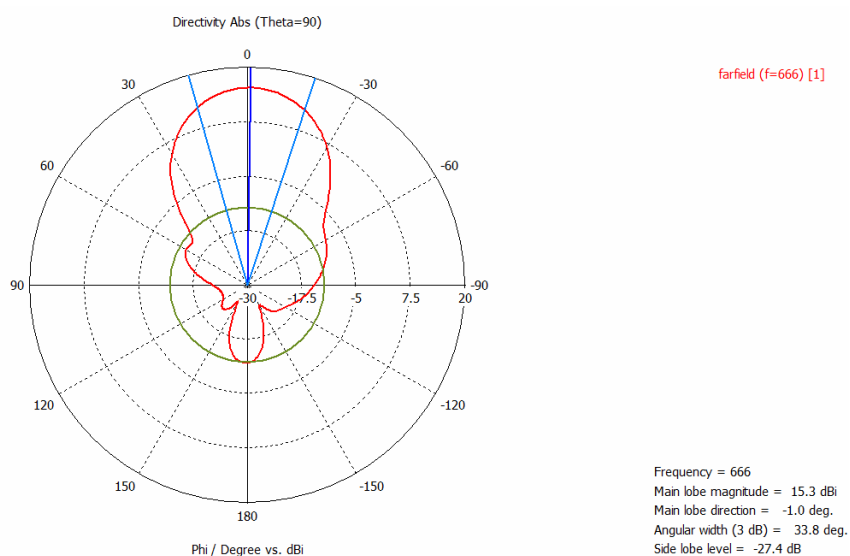


Obr. 44 Struktura Short BackFire v CST studiu

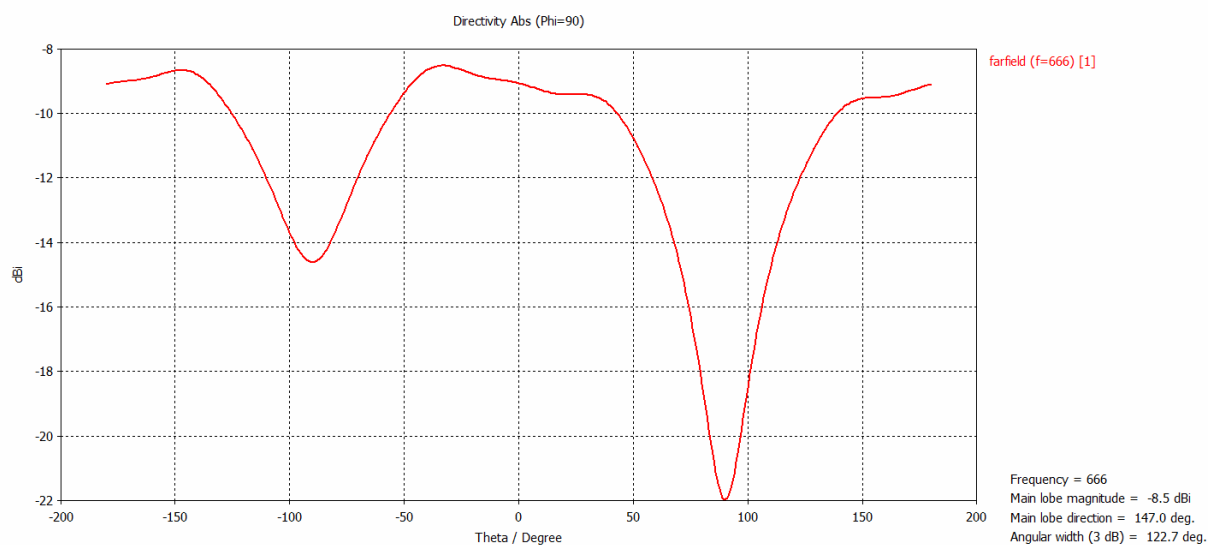
Prostorový diagram záření (obr.45) se zobrazí na středu kmitočtového pásma, tedy na kmitočtu 666MHz (C45). Dále se zobrazí oba jednorozměrné diagramy záření polarizačních rovin (obr.46, obr.47).



Obr. 45 Vyzařovací diagram 3D antény Short BackFire



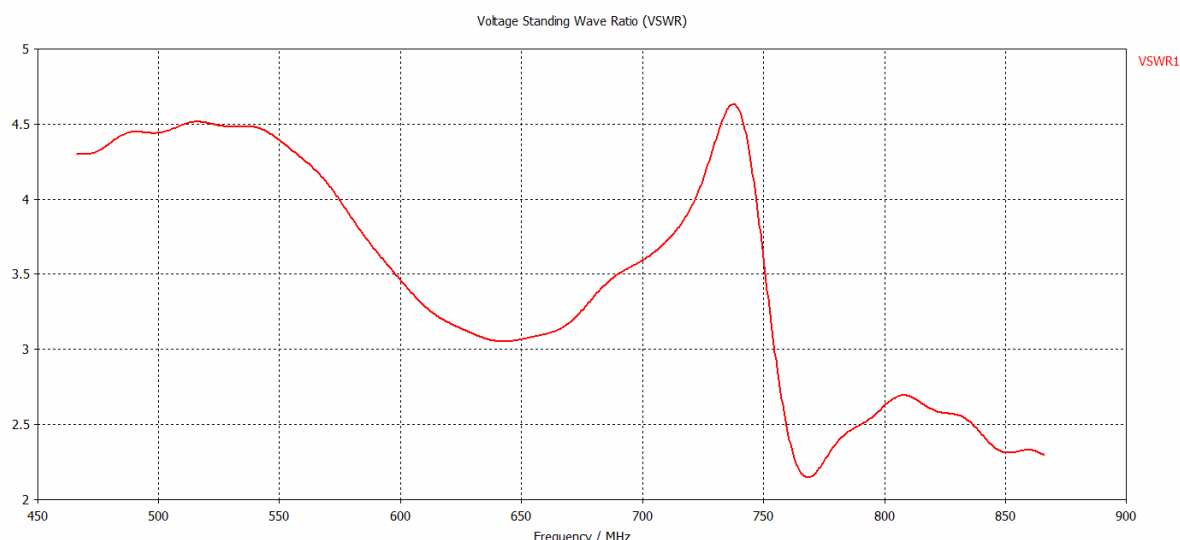
Obr. 46 Vertikální diagram záření antény Short BackFire v polárních souřadnicích



Obr. 47 Horizontální diagram záření Short BackFire v pravoúhlých souřadnicích

Z obr.46 je zisk antény Short BackFire 15,3dB, což ve srovnání s rozměry antény je docela vysoký zisk. Hlavní lalok je odchýlen od nulového úhlu o -1° , což je zanedbatelné. Vyzařovací úhel je $33,8^\circ$. Předozadní poměr je 27,4dB.

Diagram z obr.47 je posunutý od 90° (-90°), zisk hlavního laloku je -8,5dB. Není to hlavní rovina záření (resp. hlavní polarizační rovina), proto to nevádí.



Obr. 48 PSV antény Short BackFire

Anténa má sice výborný zisk, ale při pohledu na graf poměru stojatých vln (obr.48) je anténa úzkopásmová, tzn. anténa je přizpůsobena jen v úzkém pásmu rozsahu DVB-T kmitočtů. Z amatérského hlediska je anténa přizpůsobena od kmitočtu 760MHz do 858MHz. Bude-li se pohlížet na anténu z profesionálního hlediska, tak není přizpůsobena vůbec. Impedance použitého diskretního portu je 300Ω .

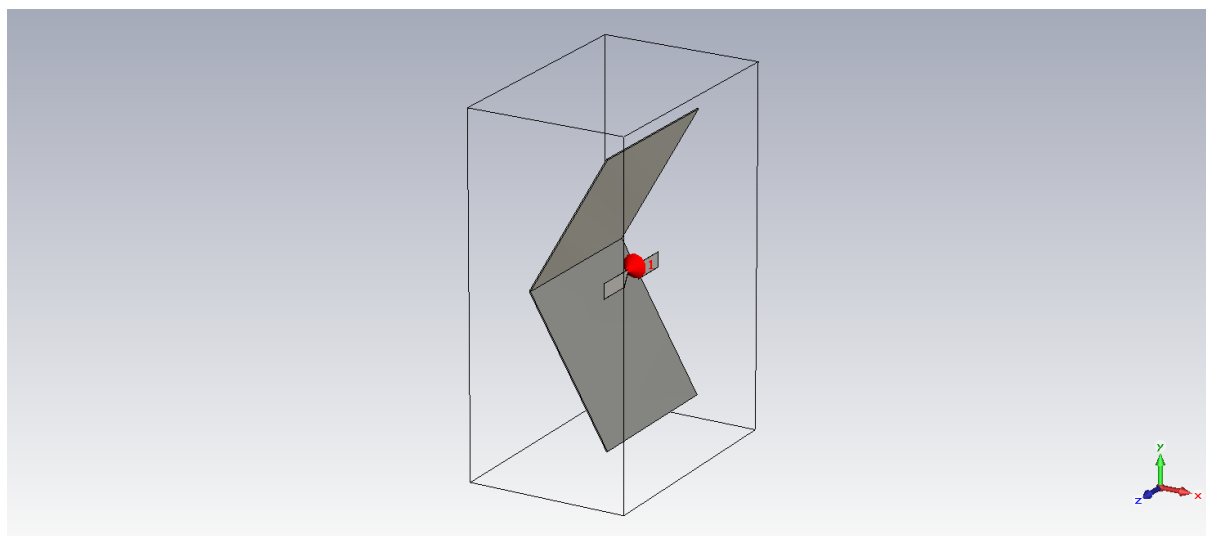
3.6 Celovlnný dipól s úhlovým reflektorem

V následujícím anténním systému je použit stejný dipól jako v kapitole 3.5. Za dipólem je umístěn úhlový reflektor, který mezi svými plochami svírá úhel $\alpha=120^\circ$ (obr.49). Rozměry jednotlivých prvků jsou shrnuty v tab.7 a jsou převzaty z [3].

Tab. 7 Rozměry antény s celovlnným dipólem s úhlovým reflektorem

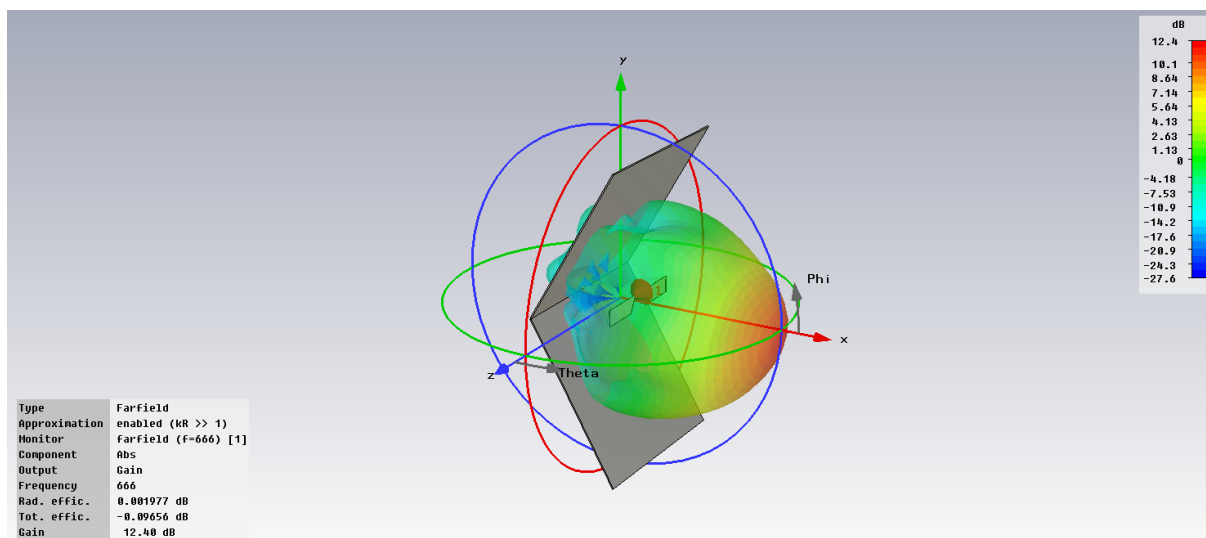
Parametr	Hodnota	Poznámka
b	0,065m	rozměr dipólu
c	0,023m	rozměr dipólu
d	0,01m	rozměr dipólu
e	0,035m	rozměr dipólu
f	0,16m	rozměr dipólu
lr1	0,7m	délka jedné strany reflektoru
lr2	0,72m	délka druhé strany reflektoru
lz	0,433m	délka zářiče
tr	0,005m	tloušťka reflektoru
tz	0,001m	tloušťka zářiče
uhel	120°	úhel mezi plochami reflektoru
vz	0.25m	vzdálenost vrcholu reflektoru od zářiče

Struktura jednotlivých prvků je vytvořena v rovině zx (obr.49), tedy anténní systém bude polarizován vertikálně.



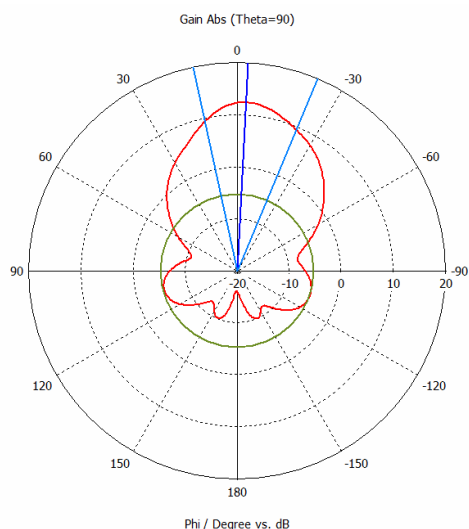
Obr. 49 Struktura celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem v CST studiu

Prostorový diagram záření (obr.50) se zobrazí na středu kmitočtového pásma, tedy na kmitočtu 666MHz (C45). Dále se zobrazí oba jednorozměrné diagramy záření polarizačních rovin (obr.51, obr.52).

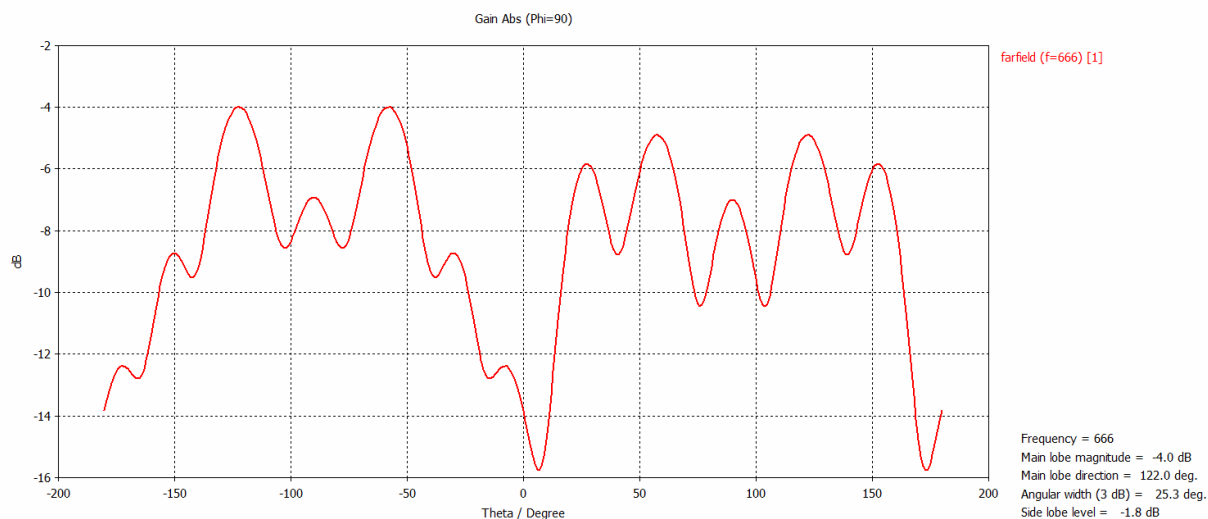


Obr. 50 Vyzařovací diagram 3D antény celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem

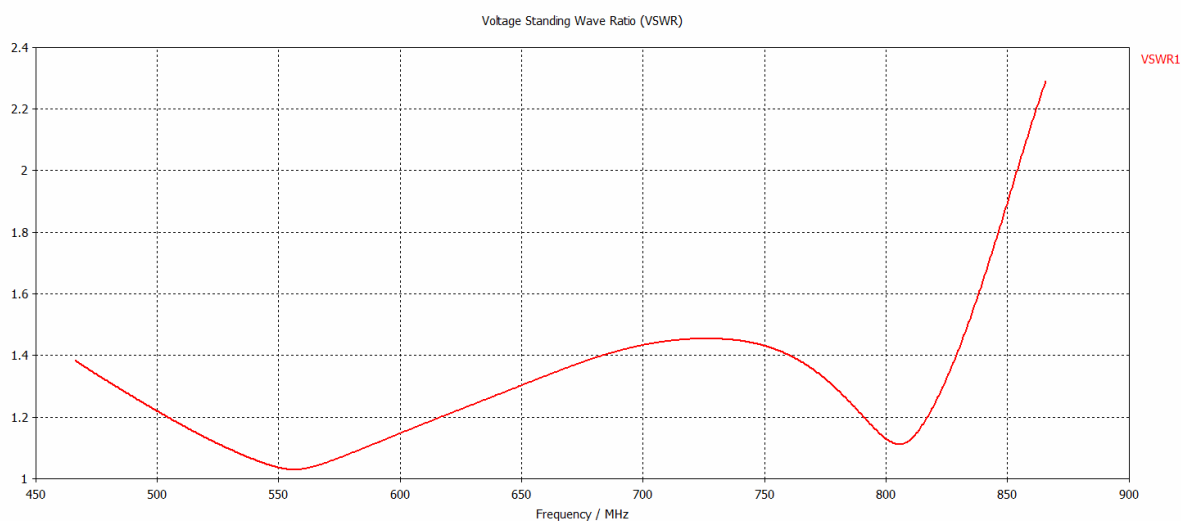
Celkový zisk je 12,4dB (viz. obr.51). Hlavní lalok je vychýlen od nulového úhlu o -3° . Vyzařovací úhel je $34,8^\circ$. Zisk antény v opačném (nežádoucím) směru je -16dB, proto je předozadní poměr přibližně 28,4dB (za předpokladu, že postranní laloky se neuvažují).



Obr. 51 Vertikální diagram záření antény celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem v polárních souřadnicích



Obr. 52 Horizontální diagram záření celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem v pravoúhlých souřadnicích



Obr. 53 PSV antény celovlnného dipólu s úhlovým reflektorem

Horizontální diagram na obr.52 je dosti „roztřepen“ tzn. má několik laloků stejné velikosti do různých úhlů. Maximální zisk je -4dB. Není to hlavní rovina záření (resp. hlavní polarizační rovina), proto to nevadí.

Průběh PSV (obr.53) ukazuje jak je anténa přizpůsobena na konkrétních kmitočtech. Anténa je dobře přizpůsobena v celém kmitočtovém pásmu DVB-T jak v amatérské míře, tak i v profesionální míře. Impedance použitého diskrétního portu je 300Ω .

4. OPTIMALIZACE VYBRANNÉ ANTENNÍ STRUKTURY

Vhodnou anténní strukturu z předchozí kapitoly budeme vybírat pomocí dvou parametrů. První a důležitým parametrem bude impedanční přizpůsobení v celém kmitočtovém pásmu DVB-T (viz. tab.1). Nemá smysl optimalizovat anténu, které je nepřizpůsobená, je lepší optimalizovat anténu, která se nějakým způsobem blíží požadované hodnotě. Požaduje se, aby bylo PSV menší než 1,4 v celém kmitočtovém pásmu. Druhým parametrem je zisk alespoň 10dB na středu kmitočtového pásma (666MHz).

Nejlépe přizpůsobená anténní struktura v celém kmitočtovém pásmu (PSV pod 1,6) je devatenácti prvková logaritmicko-periodická anténa. Její zisk je 11dB, tím pádem splňujeme i druhé kritérium.

4.1 Optimalizace programem CST microwave studio

U devatenácti prvkové logaritmicko-periodické antény (dále v textu označeno jen jako LPA) není potřeba optimalizovat zisk, takže se zaměříme hlavně na impedanční přizpůsobení, tzn. snížení PSV pod hodnotu 1,4 pro celé kmitočtové DVB-T pásmo.

Optimalizaci provedeme programem CST microwave studio za pomoci optimizéru. Optimizer je optimalizační program integrovaný přímo do programu CST. Optimalizovat nebudeme délku dipólů ani vzdálenost mezi jednotlivými prvky, protože by to mohlo ovlivnit směrovost, kterou není potřeba měnit. Parametrem optimalizace bude tloušťka jednotlivých prvků, které nám změní impedanční přizpůsobení. V optimizéru nejde nastavit přímo PSV, ale jen napěťový činitel odrazu s_{11} . Podle následující vzorce, lze PSV přepočítat na parametr s_{11} .

$$s_{11} = \frac{PSV - 1}{PSV + 1} [-] \quad (1.5)$$

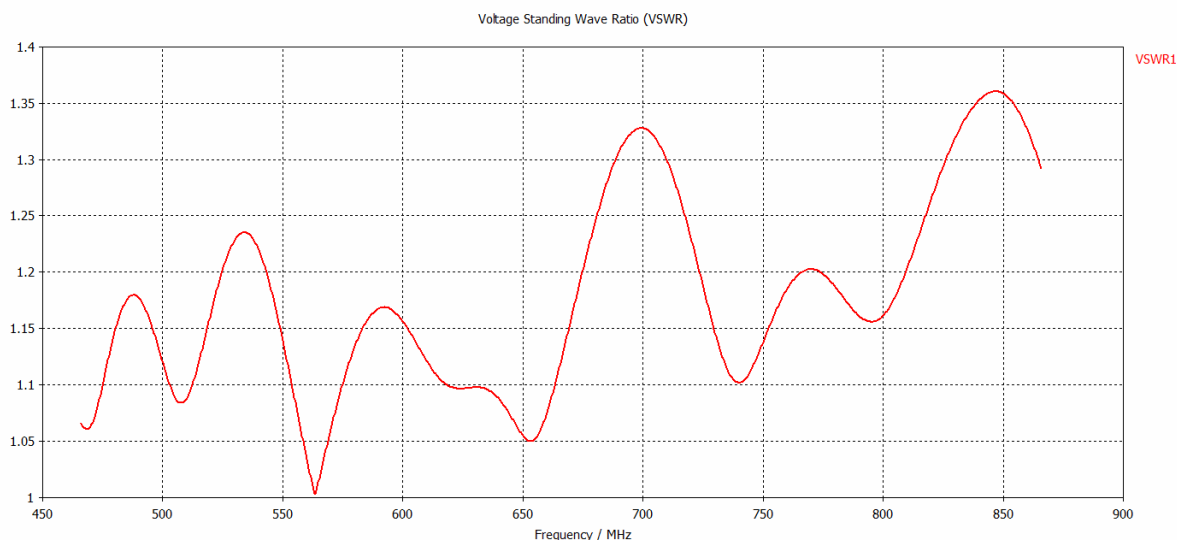
Zvolíme si, aby PSV bylo maximálně rovno hodnotě 1,36. Musíme přepočítat PSV na napěťový činitel odrazu s_{11} podle (1.5).

$$s_{11} = \frac{PSV - 1}{PSV + 1} = \frac{1,36 - 1}{1,36 + 1} \doteq 0,1525$$

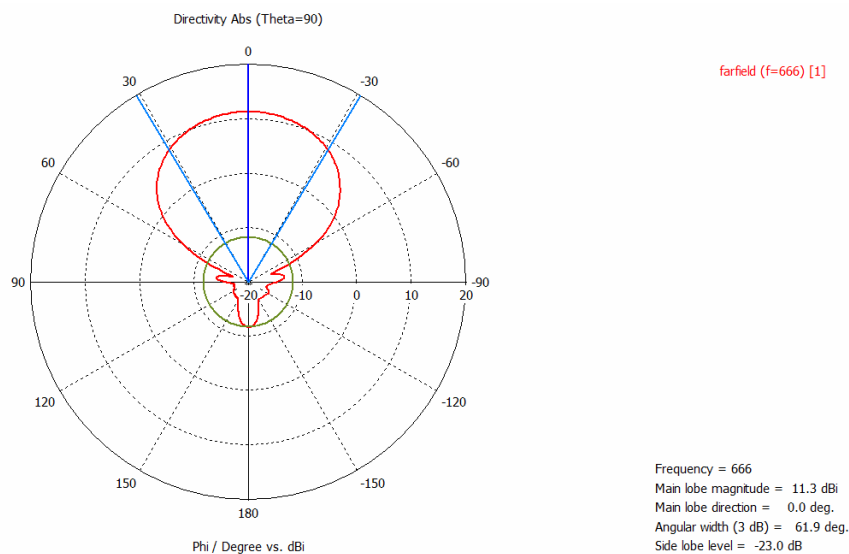
Jako cíl bude nastaven $|s_{11}| < 0,1525$ v lineárním měřítku a frekvenční rozsahu od 466,2MHz do 865,8MHz. Parametrem bude šířka všech 18 dipólů a také šířka reflektoru. Tloušťky všech dipólů i reflektorů ponecháme 1mm, kvůli snadnější konstrukci.

Optimalizačním algoritmem byla zvolena interpolace kvazi Newtonovou metodou. Kvazi Newtonova metoda je založena na základní Newtonově metodě hledání stacionárního bodu funkce, kde gradient je 0. Podle vývojářů je tato metoda nejrychlejší, ale může být méně přesnější, než ostatní. Z hlediska poměru času a přesnosti je tato metoda nejvýhodnější.

Výsledný průběh PSV je na obr. 54 a směrový diagram pro vertikální rovinu je na obr. 55.



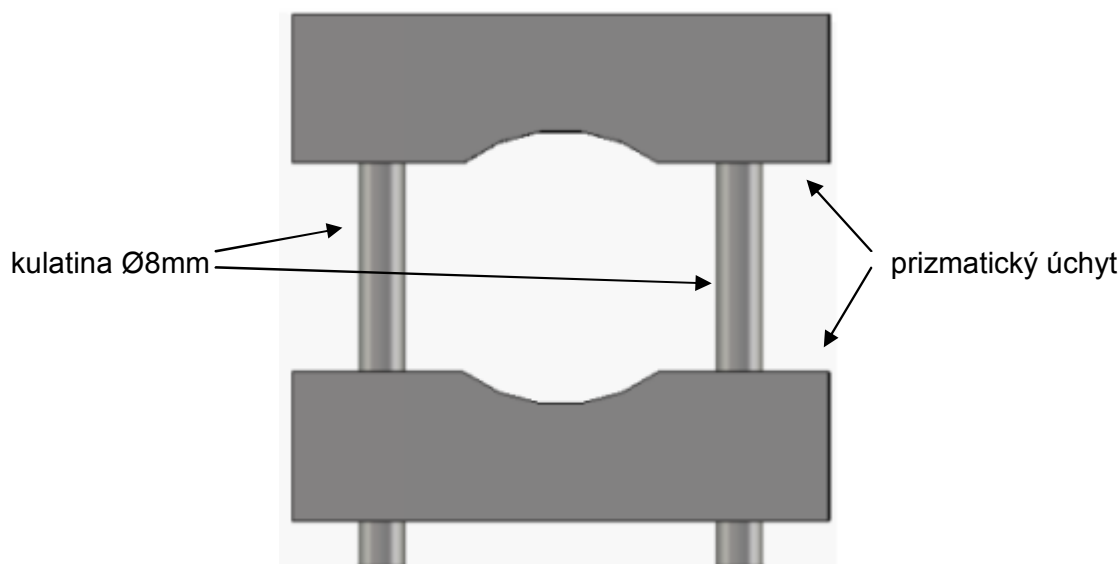
Obr. 54 PSV po optimalizaci LPA



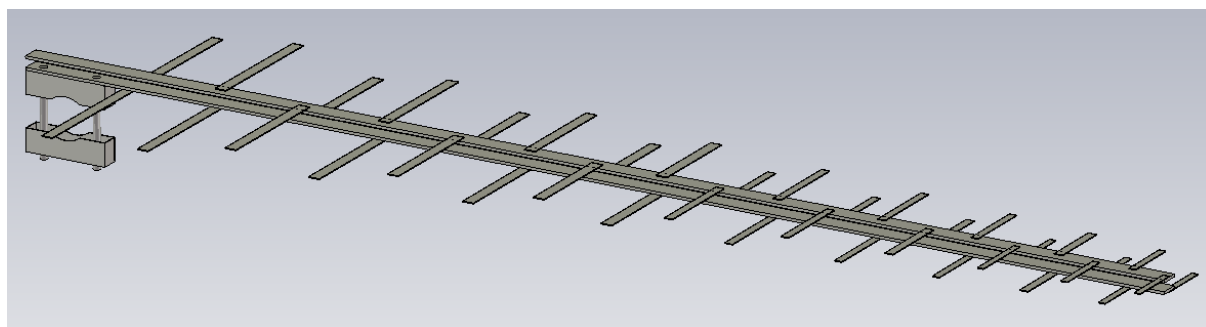
Obr. 55 Směrový diagram pro vertikální rovinu po optimalizaci LPA (666MHz)

4.2 Uchycení antény

V této podkapitole vyšetříme jestli uchycení antény bude mít vliv na parametry antény. V programu CST byl vytvořen model prizmatického úchyty, detail viz. obr.56. Pohled na celou anténu i s prizmatickým úchytem je na obr.57.



Obr. 56 Detail prizmatického úchytu antény (pohled z boku)



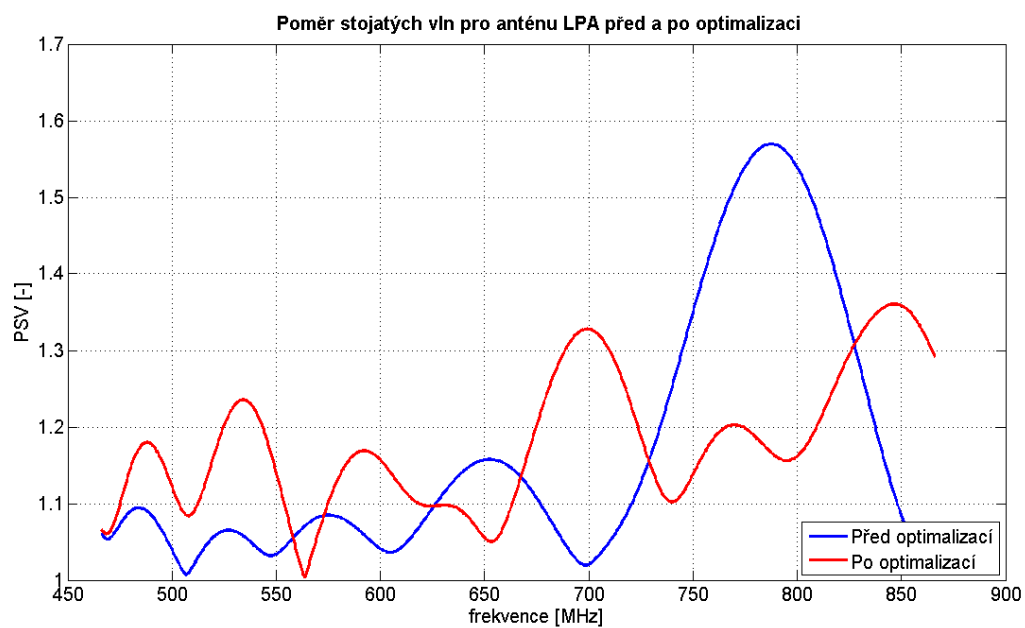
Obr. 57 Pohled na celou anténu

Prodloužila se nosná konstrukce o 11mm (horní i dolní sběrač). Kde 2mm je mezera mezi prizmatickým úchytem a reflektorem a 9mm má samotný prizmatický úchyt. Toto sestavení nezměnilo parametry anténního systému, jsou totožné s kapitolou 4.1.

4.3 Srovnání výsledků před a po optimalizaci

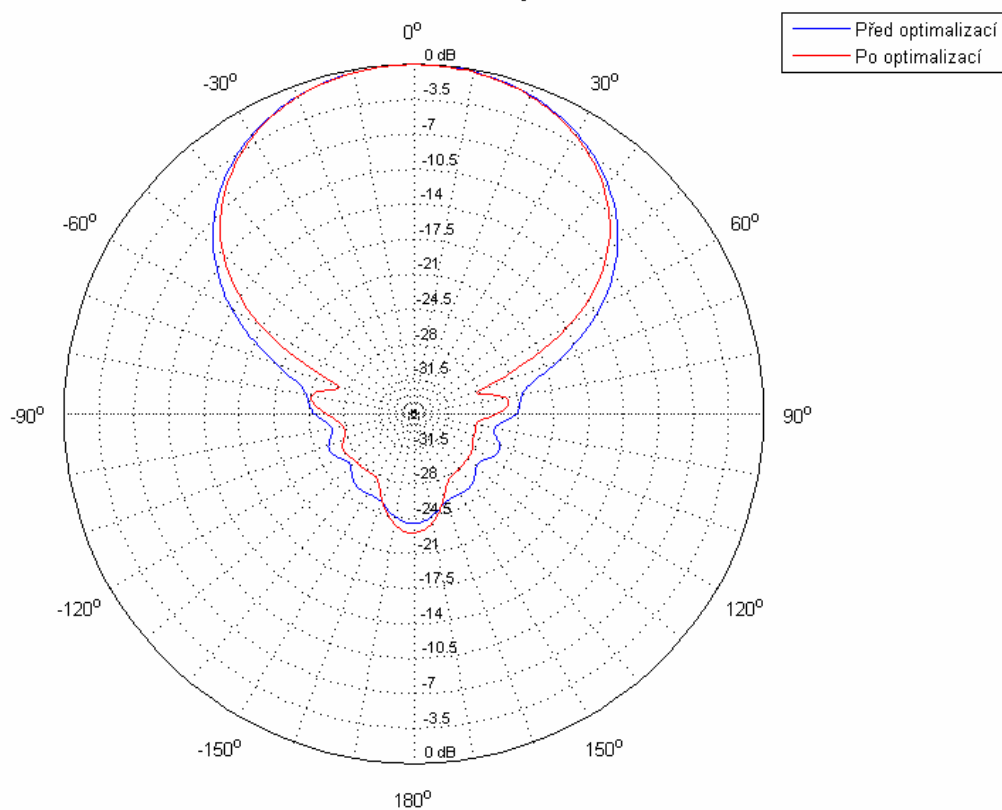
Na obr. 58 je srovnání průběhu PSV před a po optimalizaci. Modrou barvou je zobrazen průběh před optimalizací, červenou barvou je zobrazen průběh po optimalizaci. Před optimalizací jsou dobře vidět jednotlivé rezonance anténní struktury. Po optimalizaci se tyto rezonance posunuly do jiných poloh. Toto posunutí nám nevadí, při optimalizaci byl cíl PSV pod 1,4, což je splněno.

Na obr. 59 je srovnání směrových charakteristik před a po optimalizaci. Modrou barvou je zobrazen průběh před optimalizací, červenou barvou je zobrazen průběh po optimalizaci. Tvar směrové charakteristiky se skoro nezměnil, vyzařovací úhel antény se vůbec nezměnil. Po optimalizaci se nepatrně snížil předozadní poměr.



Obr. 58 Srovnání PSV před a po optimalizaci

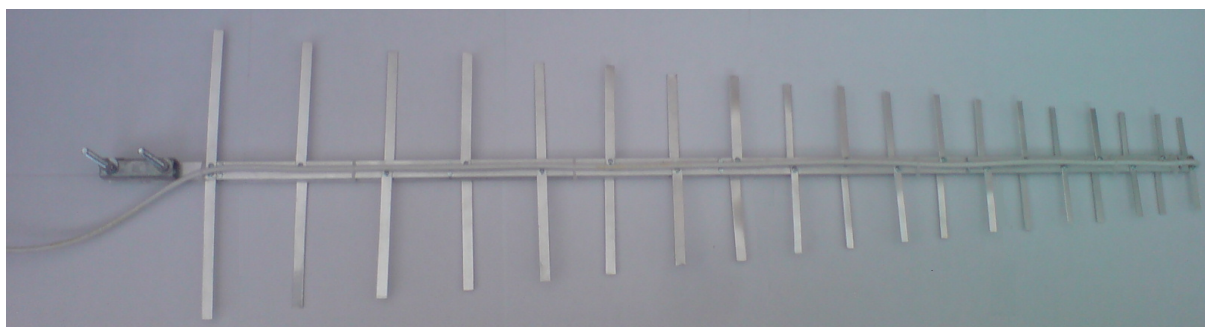
Normovaná směrová charakteristika v polárních souřadnicích



Obr. 59 Směrové charakteristiky před a po optimalizaci ve vertikální rovině

5. SESTAVENÍ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ ANTÉNNÍ STRUKTURY

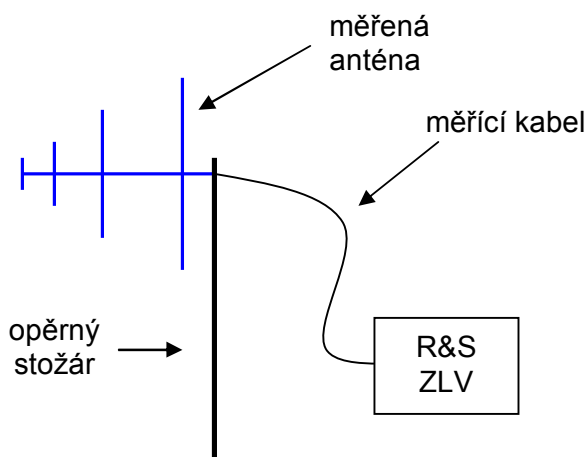
Pro sestavení antény byl zvolen materiál hliník. Nosná konstrukce (resp. sběrače) byla z hliníkového pásku tloušťky 3mm, šířky 20mm a délky 1280,9mm. Jednotlivé prvky byly také z hliníkového pásku s tloušťkou 1mm. Prvky se lišili nejen rozdílnou délkou, ale i šířkou. Při výrobě jednotlivých prvků byla dodržena šířka na desetiny milimetru za použití strojových elektronických nůžek. Vzdálenost mezi nosnými konstrukcemi udržují plastové distanční sloupky. Fotografie sestrojené antény je na obr. 60.



Obr. 60 Fotografie sestrojené antény

5.1 Měření přizpůsobení antény

Měření impedančního přizpůsobení antény bylo provedeno v laboratoři pro elektromagnetické vlny, vedení a antény. Na obr.61 je naznačeno zapojení pro měření impedančního přizpůsobení. Jako měřicí přístroj byl použit vektorový obvodový analyzátor R&S ZLV (9kHz až 6GHz) s kalibrační sadou. Měřená anténa (vyznačena modře) je připojena přes 50 Ω kabel k měřicímu přístroji. Anténa je připevněna na opěrný stožár.

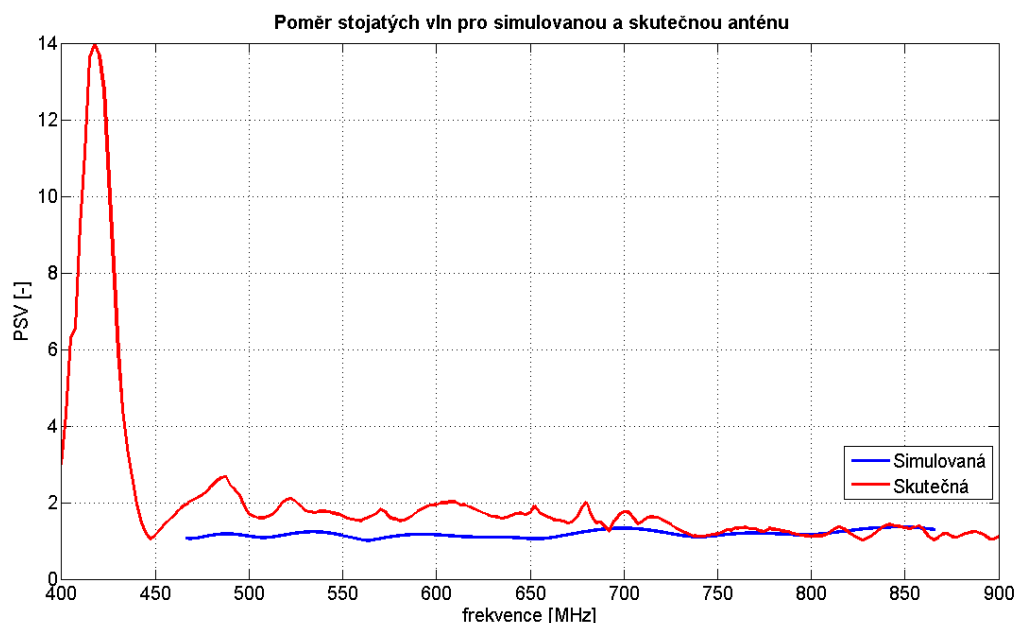


Obr. 61 Zapojení pracoviště pro měření impedančního přizpůsobení antény

Anténa byla ponavržena na impedanci 75 Ω , ale měření probíhalo na impedanci

50Ω. Ze změřených dat, je tedy nutný přepočít z 50Ω na 75Ω. Pro načtení změřených dat a přepočít impedančního přizpůsobení byl použit matlab s pomocí skriptu, který je uveden v příloze.

Na obr. 62 je PSV pro simulovanou anténu v programu CST a sestrojenou anténu. Modře je zobrazen průběh simulované antény a červeně je zobrazen průběh změřené antény. Sestrojená anténa není přizpůsobená na kmitočtech do 442MHz. Toto špatné impedanční přizpůsobení nám nevadí, protože DVB-T pásmo je až od 474MHz.

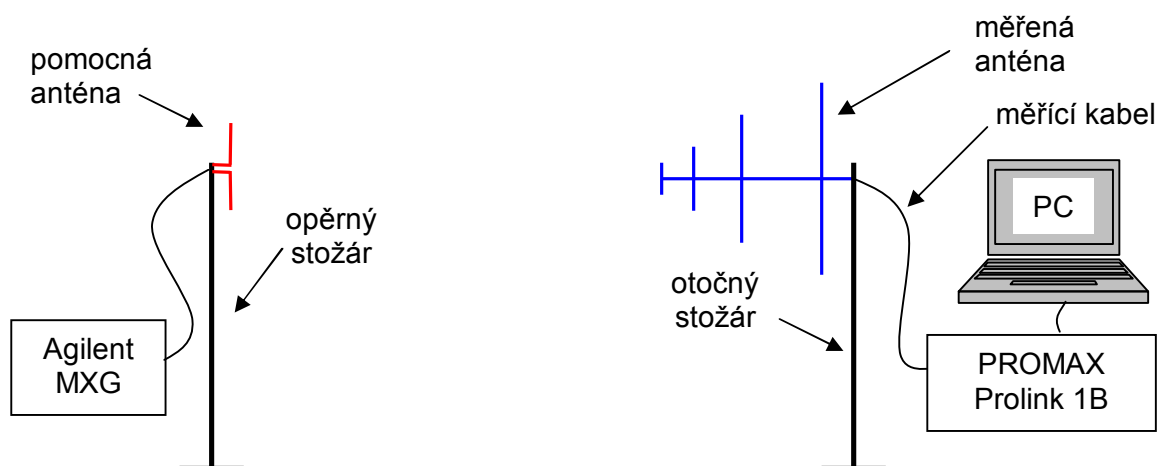


Obr. 62 Srovnání PSV pro simulovanou a skutečnou anténu

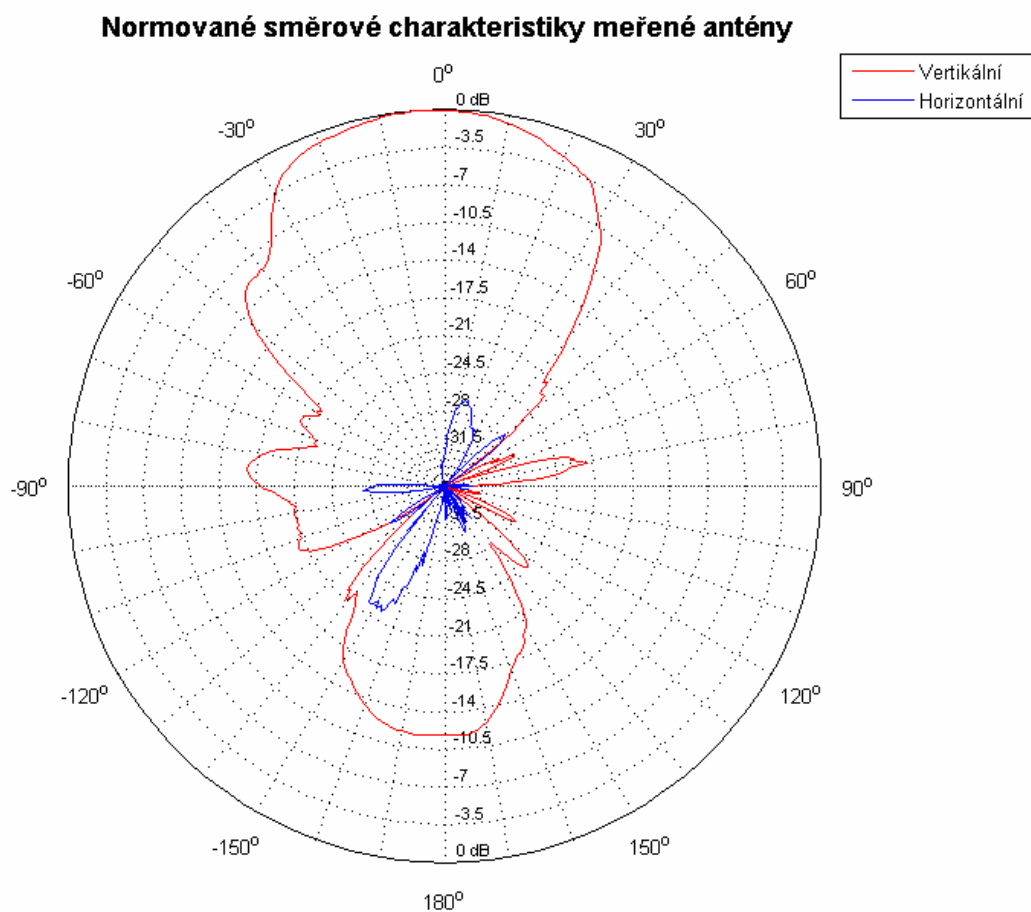
5.2 Měření směrových charakteristik

Měření směrových charakteristik nebylo možné uskutečnit v bezodrazové místnosti v laboratoři, protože anténa je příliš velká (1,28m). Pracoviště se muselo přesunout do volného prostranství. Jako vhodné místo byla zvolena střecha Ústavu radioelektroniky. Zapojení pracoviště je na obr. 63. Agilent MXG je generátor signálu, za kterým je zapojena pomocná anténa (vyznačena červenou barvou). Pomocná anténa je upevněna na opěrném stožáru, který se neotáčí. Měřená anténa (vyznačena modrou barvou) je připojena na měřič úrovně PROMAX Prolink 1B, ten je spojen s počítačem. Počítač nejen že načítá změřená data, ale zároveň otáčí otočný stojan. Tyto úkony řídí program AMAP na PC.

Měření bylo provedeno na třech kmitočtech. První z kmitočtů 510MHz byl na dolním kraji kmitočtového pásma. Druhý kmitočet 662MHz byl na středu kmitočtového pásma. Poslední kmitočet 810MHz je na vrchním okraji kmitočtového pásma DVB-T. Pro uvedené tři kmitočty jsem změřili vertikální i horizontální polarizaci. Uveden bude jen diagram záření pro vertikální a horizontální polarizaci pro kmitočet u středu pásma (662MHz) viz. obr.64. Červeně je vyznačena vertikální rovina a modrou barvou je vyznačena horizontální rovina.



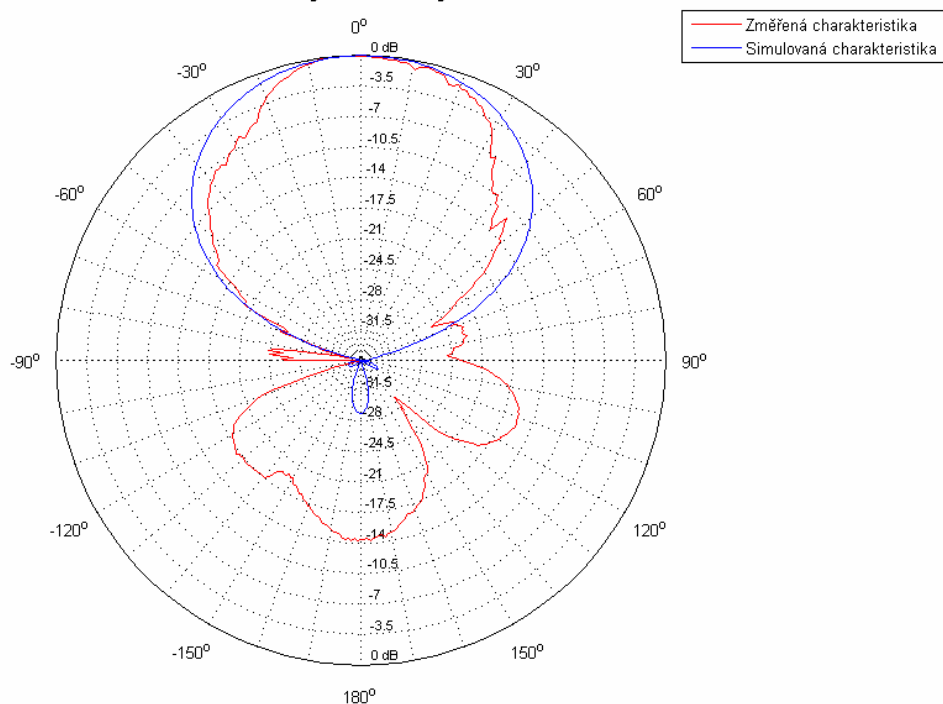
Obr. 63 Zapojení pracoviště pro měření směrových charakteristik antény



Obr. 64 Změřené směrové charakteristiky pro vertikální a horizontální polarizaci

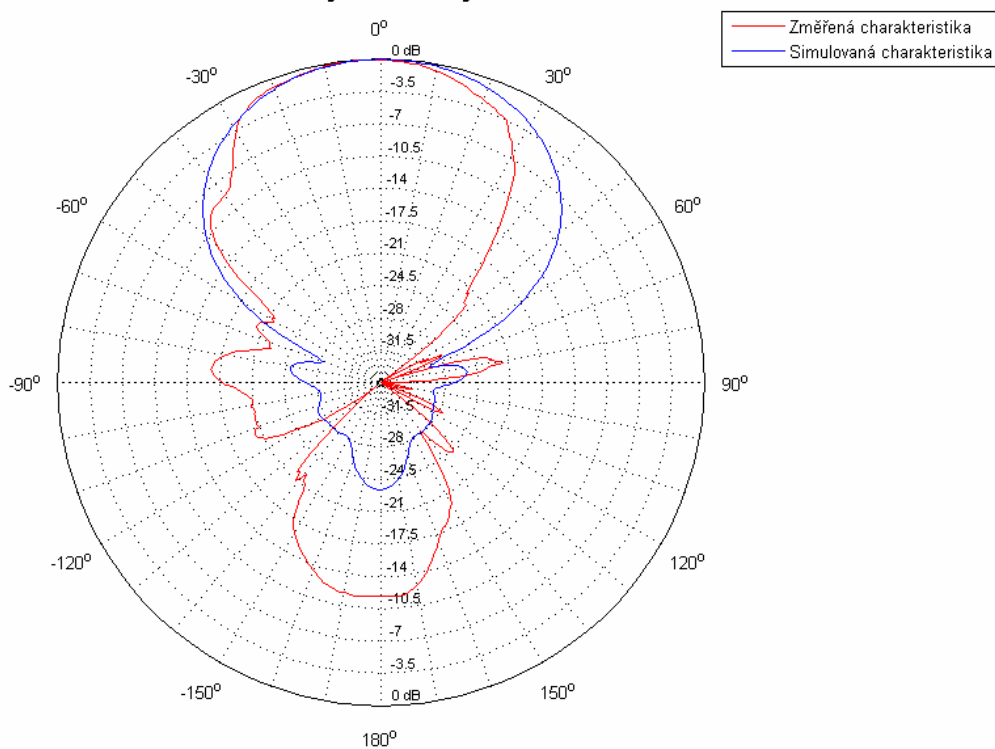
Pro všechny tři měřené kmitočty jsme zobrazily i srovnání se simulovanou anténou na daném kmitočtu, viz. obr. 68, 69, 70.

Srovnání normovaných směrových charakteristik

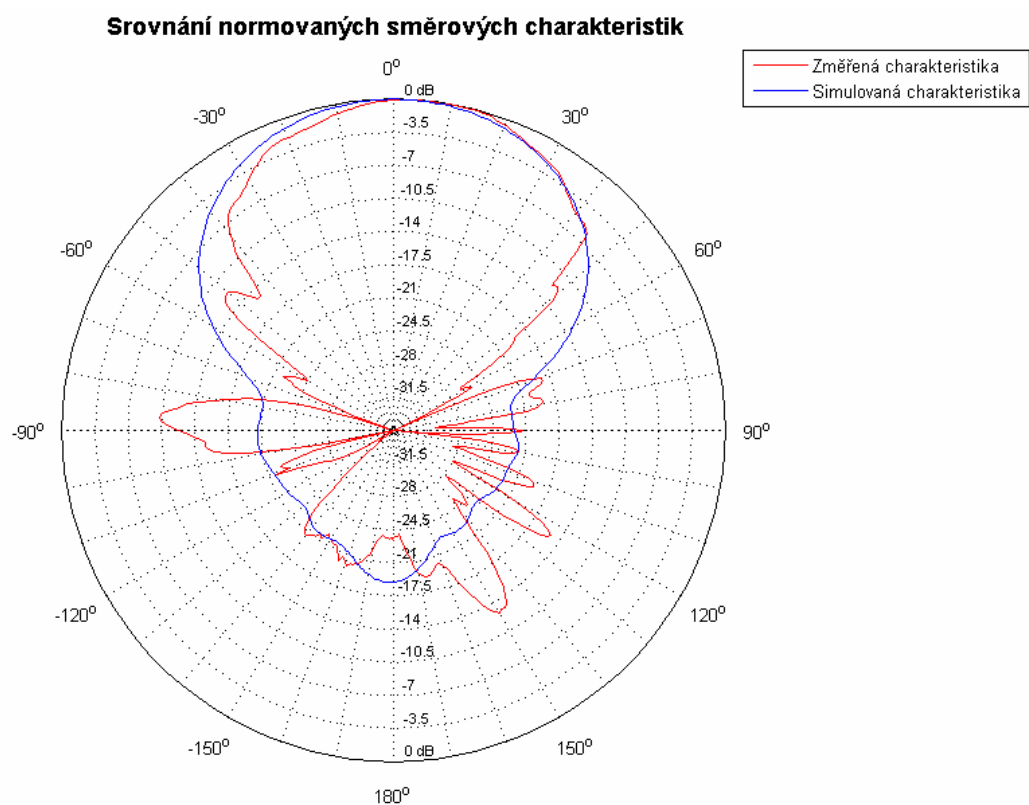


Obr. 65 Srovnání normovaných směrových charakteristik změřené a simulované antény pro kmitočet 510MHz

Srovnání normovaných směrových charakteristik



Obr. 66 Srovnání normovaných směrových charakteristik změřené a simulované antény pro kmitočet 662MHz



Obr. 67 Srovnání normovaných směrových charakteristik změřené a simulované antény pro kmitočet 810MHz

6. ZÁVĚR

V bakalářské práci jsou nejprve popsány základní parametry antén, které pomohou při posuzování výsledků simulovaných (změřených) antén. Dále jsou jednotlivé anténní systémy popsány s rozmístěním prvků (elementů) a se základními vlastnostmi.

U simulace sedmiprvkové antény Yagi-Uda byl zjištěn zisk 10,4dB, od kmitočtu 706MHz (C50) je anténní systém značně nepřizpůsoben, resp. nepoužitelný. Devatenácti prvková logaritmicko-periodická anténa, která je složená s pásků oceli, má zisk na středu kmitočtového pásma 11dB a je perfektně přizpůsobena v celém kmitočtovém pásmu. Před simulací buzené čtyřpatrové soustavy byla nejprve změněna tloušťka jednotlivých celovlnných dipólů, kvůli větší šířce pásma. Zisk byl 14,5dB a přizpůsobení je v celém kmitočtovém pásmu (z amatérského hlediska). Anténa BackFire vznikla modifikací sedmiprvkové Yagi-Uda, kterou se podařilo zvýšit zisk o 2,1dB, tedy na 12,5dB a snížit vyzařovací úhel. Na druhou stranu byla ovlivněna impedance celého anténního systému, resp. zhoršilo se přizpůsobení antény při zachování stejného napájecího systému. Anténa Short BackFire je velice zajímavý anténní systém, který při poměrně přijatelných rozměrech má velice vysoký zisk 15,3dB. Hlavní nevýhodou byl velice velký výpočetní čas simulačního programu a nepřizpůsobení anténního systému. Celovlnný dipól s uhlovým reflektorem měl zisk 12,4dB a hlavní lalok vychýlen od nulového úhlu o -3° . Přizpůsobení bylo v celém kmitočtovém pásmu přijatelné, ale na horním konci kmitočtového pásma se přizpůsobení zhoršilo.

Jako vhodná anténní struktura byla vybrána LPA. Anténa má PSV v celém kmitočtovém pásmu pod hodnotu 1,6. Z tohoto důvodu byla anténa podrobena optimalizaci. Optimalizace byla úspěšná, anténa má v celém kmitočtovém pásmu DVB-T hodnotu PSV pod 1,4 (požadavek zadání). Směrové charakteristiky se prakticky nezměnili.

V poslední části bakalářské práce se experimentálně ověřili vlastnosti sestavené antény. Změřené PSV bylo horší než u simulované antény, jeho hodnota se pohybovala okolo hodnoty 2 a to až do kmitočtu 725MHz. Za tímto kmitočtem je PSV srovnatelné se simulovanou anténou. Při simulování byl použit jako materiál perfektní elektrický vodič a jako napájecí port byl použit diskretní port, který je ideální. Toto jsou hlavní důvody proč jsou PSV skutečné a simulované antény rozdílné. Směrové charakteristiky simulované a sestrojené antény jsou také rozdílné, hlavně se liší v bočních a zadních lalocích. Směrové charakteristiky mohly být ovlivněny odrazy. Střecha není ideální prostředí bez odrazů jako prostředí v programu CST. Zisk sestrojené antény nebylo možné z dostupnými měřicími pomůckami změřit.

LITERATURA

- [1] NOVÁČEK, Z. *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*. Přednášky. Skriptum FEKT VUT v Brně, 2006; ISBN 80-214-3301-9
- [2] PROCHÁZKA, M. *Antény : Encyklopedická příručka*. 3. aktualizované vydání. Praha : BEN, 2005.; ISBN 80-7300-166-7
- [3] ČESKÝ, M. *Antény pro příjem rozhlasu a televize*. SNTL Praha. 1978; ISBN 04-515-78
- [4] MATUSZCZYK, J. *Anténa Prakticky*. 3. české vydání Praha: BEN. 2005 ISBN 80-7300-178-0
- [5] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/1251-dirplot>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<i>64-QAM</i>	quadrature amplitude modulation = kvadrurní amplitudová modulace se 64 stavy
<i>ČSV</i>	činitel stojatých vln (=PSV)
<i>ČZP</i>	činitel zpětného příjmu
<i>ČZZ</i>	činitel zpětného záření
<i>dB</i>	decibel
<i>dB_d</i>	označení decibelu ve srovnání s půlvlnným dipólem
<i>dB_i</i>	označení decibelu ve srovnání s izotropickou anténou
<i>DVB-T</i>	digital video broadcasting - terrestrial = digitální pozemní vysílání televizního signálu
<i>E</i>	intenzita elektrického pole
<i>E_{max}</i>	maximální hodnota elektrického pole
<i>E_{ref}</i>	maximální hodnota elektrického pole referenční antény
<i>FBR</i>	front to back ratio = předozadní poměr
<i>f_d</i>	dolní kmitočet pásma
<i>f_h</i>	horní kmitočet pásma
<i>G</i>	zisk antény
<i>η</i>	účinnost antény
<i>HD</i>	high definition = vysoké rozlišení televizního obrazu
<i>OFDM</i>	orthogonal frequency division multiplexing = ortogonální dělený frekvenční multiplex
<i>P_r</i>	vyzářený výkon
<i>PSV</i>	poměr stojatých vln

P_{vst}	vstupní příkon
R_{rvst}	Odpor záření
R_{ztr}	ztrátový odpor
s_{11}	činitel odrazu označovaný v CST studiu
SD	standard definition = standardní rozlišení televizního obrazu
SNF	single frequency network = jednofrekvenční síť
X_{rvst}	Reaktance záření
Z_{vst}	vstupní impedance antény
γ_{3dB}	úhel záření antény
θ	úhel záření antény
ρ	činitel odrazu
λ	vlnová délka

PŘÍLOHY

Skript pro tvorbu grafů z kapitoly 4.3

Byla použita funkce dirplot, přejatá z [5]

```
% Skript pro vytvoření grafů parametru s11 a PSV antény LPA před a po
% optimalizaci

% Inicializace
clc
clear all
close all
%*****

% Načtení dat
A = dlmread(['pred_optimalizaci_PSV.txt'],'',4,0); % Načtení dat před
optimalizaci
Freq1=A(:,1); % První sloupec frekvence
s11_pred=A(:,2); % Druhý sloupec parametr s11

B = dlmread(['po_optimalizaci_PSV.txt'],'',4,0); % Načtení dat po
optimalizaci
Freq2=B(:,1); % První sloupec frekvence
s11_po=B(:,2); % Druhý sloupec parametr s11

C = dlmread(['pred_optimalizaci_polar.txt'],'',2,0); % Načtení dat před
optimalizaci
phi1=C(:,2); % Druhý sloupec úhle
gaindB1=C(:,3); % Třetí sloupec zisk

D = dlmread(['po_optimalizaci_polar.txt'],'',2,0); % Načtení dat po
optimalizaci
phi2=D(:,2); % Druhý sloupec úhle
gaindB2=D(:,3); % Třetí sloupec zisk

E = dlmread(['pred_optimalizaci_kartez.txt'],'',2,0); % Načtení dat před
optimalizaci
phi3=E(:,2); % Druhý sloupec úhle
gaindB3=E(:,3); % Třetí sloupec zisk

F = dlmread(['po_optimalizaci_kartez.txt'],'',2,0); % Načtení dat po
optimalizaci
phi4=F(:,2); % Druhý sloupec úhle
gaindB4=F(:,3); % Třetí sloupec zisk
%*****

% Zobrazení parametru s11
figure(1)
set(gca,'FontSize',15) % Velikost písma figure (1) je nastaven na 15
plot(Freq1,s11_pred,'b','LineWidth',2.3); % Zobrazeno modrou barvou
tloušťky 2,3
hold on;
plot(Freq2,s11_po,'r','LineWidth',2.3); % Zobrazeno červenou barvou
tloušťky 2,3

xlabel('frekvence [MHz]');
ylabel('|S_{11}| [\Omega]');
title('\bf Parametr s11 pro anténu LPA před a po
optimalizaci','FontSize',15);
```

```

legend('Před optimalizací','Po optimalizací','Location','SouthEast');
grid on; % Zapne zobrazení mřížky
%*****

% Zobrazení PSV
figure(2)
set(gca,'FontSize',15)% Velikost písma figure (2) je nastaven na 15
%      1+s11
%PSV = -----
%      1-s11
PSV1=(1+s11_pred)./(1-s11_pred);
plot(Freq1,PSV1,'b','LineWidth',2.3); % Zobrazeno modrou barvou tloušťky
2,3
hold on;
PSV2=(1+s11_po)./(1-s11_po);
plot(Freq2,PSV2,'r','LineWidth',2.3); % Zobrazeno červenou barvou tloušťky
2,3

xlabel('frekvence [MHz]');
ylabel('PSV [-]');
title('\bf Poměr stojatých vln pro anténu LPA před a po
optimalizací','FontSize',15);
legend('Před optimalizací','Po optimalizací','Location','SouthEast');
grid on; % Zapne zobrazení mřížky
%*****

% Zobrazení směrových charakteristik v polárních souřadnicích
figure(3)
% Nastavení zobrazení
D=-35; %minimální zisk v dB
G=0; %maximální zisk v dB
S=10; %počet bodu stupnice (od středu na okraj)
shift1=-180; %natočení grafu

% Normování hodnot
ref1=max(gaindB1); % Nalezení maximální hodnoty
gaindB1=gaindB1-ref1; % Normování vertikální roviny
gaindB1(gaindB1<D)=D; % Omezení na minimální hodnotu
ref2=max(gaindB2); % Nalezení maximální hodnoty
gaindB2=gaindB2-ref2; % Normování vertikální roviny
gaindB2(gaindB2<D)=D; % Omezení na minimální hodnotu

angle=linspace(-180, 180, length(gaindB1)); % Přiřazení úhlů
dirplot(angle,'circshift(gaindB1,shift1)','b',[G D S]); % Zobrazení
hold on
angle=linspace(-180, 180, length(gaindB2)); % Přiřazení úhlů
dirplot(angle,'circshift(gaindB2,shift1)','r',[G D S]); % Zobrazení

title('\bf Normovaná směrová charakteristika v polárních
souřadnicích','FontSize',15);
legend('Před optimalizací','Po
optimalizací','Location','NorthEastOutside');
%*****

% Zobrazení směrových charakteristik v pravouhlých souřadnicích
figure(4)
set(gca,'FontSize',15) % Velikost písma figure (5) je nastaven na 15
plot(phi3,gaindB3,'b','LineWidth',2.3); % Zobrazeno modrou barvou tloušťky
2,3
hold on;
plot(phi4,gaindB4,'r','LineWidth',2.3); % Zobrazeno červenou barvou
tloušťky 2,3

```

```

xlabel('úhel [°]');
ylabel('Gain [dB]');
title('\bf Směrová charakteristika v kartézských
souřadnicích','FontSize',15);
legend('Před optimalizací','Po optimalizací','Location','SouthEast');
grid on; % Zapne zobrazení mřížky

```

Skript pro tvorbu grafu z kapitoly 5.1

```

%***** Měření přizpůsobení antény*****

% Inicializace
clc
clear all
close all
%*****

% Načtení dat
Z = dlmread(['s11_50.csv'],'',3,0); % Načtení dat ze souboru s11_50.dat
Freq1=Z(:,1); % První sloupec frekvence
Real=Z(:,2); % Druhý sloupec reálná část s11 50 ohmu
Imag=Z(:,3); % Třetí sloupec imaginární část s11 50 ohmu

X = dlmread(['simulace.txt'],'',2,0); % Načtení dat ze souboru s11_50.dat
Freq2=X(:,1); % První sloupec frekvence
s11_sim=X(:,2); % Druhý sloupec s11 75Ohmu simulované
%*****

figure(1)
%      real+i*imag-Z0
%S11 =  -----
%      real+i*imag+Z0

%      Real^2-Z0^2+Imag^2
%S11R=  -----
%      (Real+Z0)^2+Imag^2

%      i2XZ0
%S11I -----
%      (Real+Z0)^2+Imag^2

%S11A= sqrt(S11(real)^2 + S11(imag)^2)

set(gca,'FontSize',15) % Velikost písma figure (1) je nastaven na 15
plot(Freq2,s11_sim,'b','LineWidth',2.3);
hold on;

Z0=75; % 75 Ohm
S11R=(Real.^2-Z0^2+Imag.^2)./( (Real+Z0).^2+Imag.^2);
S11I=(2*Imag.*Z0)./( (Real+Z0).^2+Imag.^2);
S11A=sqrt(S11R.^2 + S11I.^2);
plot(Freq1/1e6,S11A,'r','LineWidth',2.3);

xlabel('frekvence [MHz]');
ylabel('|S_{11}| [\Omega]');
title('\bf Parametr s11 pro simulovanou a skutečnou anténu','FontSize',15);
legend('Simulovaná','Skutečná','Location','SouthEast');

grid on;
%*****

```

```

figure(2)
%      1+s11
%PSV =  -----
%      1-s11

set(gca,'FontSize',15) % Velikost písma figure (2) je nastaven na 15
PSV2=(1+s11_sim)./(1-s11_sim);
plot(Freq2,PSV2,'b','LineWidth',2.3);
hold on;

Z0=75; %Ohm
S11R=(Real.^2-Z0^2+Imag.^2)./((Real+Z0).^2+Imag.^2);
S11I=(2*Imag.*Z0)./((Real+Z0).^2+Imag.^2);
S11A=sqrt(S11R.^2 + S11I.^2);
PSV=(1+S11A)./(1-S11A);
plot(Freq1/1e6,PSV,'r','LineWidth',2.3);

xlabel('frekvence [MHz]');
ylabel('PSV [-]');
title('\bf Poměr stojatých vln pro simulovanou a skutečnou anténu','FontSize',15);
legend('Simulovaná','Skutečná','Location','SouthEast');
grid on;

```

Skript pro tvorbu grafů z kapitoly 5.2

Byla použita funkce dirplot, přejatá z [5]. Níže bude ukázán jen skript pro tvorbu grafů na jednom kmitočtu.

```

% *****Skript pro vytvoření směrových charakteristik*****

% Inicializace
clc
clear all
close all
%*****

% Nastavení zobrazení
D=-35; %minimální zisk v dB
G=0; %maximální zisk v dB
S=10; %počet bodu stupnice (od středu na okraj)
shift1=-83; %natočení grafu V-Polarizace
shift2=-83; %natočení grafu H-Polarizace
shift3=-180; %natočení grafu simulované V-Polarizace
%*****

%Načtení dat
V = dlmread('662MHz_Copolar.txt'); % Vertikální rovina
H = dlmread('662MHz_CrossPolar.txt'); % Horizontální rovina
A = dlmread(['simulovane_662MHz_Copolar.txt'],'',2,0); % Načtení dat sim.
VV = A(:,3); % Vertikální rovina simulované antény (směrovost)
%*****

% Normování hodnot
ref1=max(V); % Nalezení maximální hodnoty
V=V-ref1; % Normování vertikální roviny
V(V<D)=D; % Omezení na minimální hodnotu
H=H-ref1; % Normování horizontální polarizace
H(H<D)=D; % Omezení na minimální hodnotu
ref2=max(VV); % Nalezení maximální hodnoty
VV=VV-ref2; % Normování vertikální roviny

```

```

VV(VV<D)=D; % Omezení na minimální hodnotu
%*****

% Zobrazení směrových charakteristik měřené antény
figure(1)
%dirplot(uhel,uroven,barva,[G D S]);
angle=linspace(-180, 180, length(V)); % Přiřazení úhlů
dirplot(angle',circshift(V,shift1),'r',[G D S]); % Zobrazení
hold on
angle=linspace(-180, 180, length(H)); % Přiřazení úhlů
dirplot(angle',circshift(H,shift2),'b',[G D S]); % Zobrazení

title('\bf Normované směrové charakteristiky měřené antény','FontSize',14);
legend('Vertikální','Horizontální','Location','NorthEastOutside')
% *****

% Srovnání simulované a změřené směrové charakteristiky
figure (2)
%dirplot(uhel,uroven,barva,[G D S]);
angle=linspace(-180, 180, length(V)); % Přiřazení úhlů
dirplot(angle',circshift(V,shift1),'r',[G D S]); % Zobrazení
hold on
angle=linspace(-180, 180, length(VV)); % Přiřazení úhlů
dirplot(angle',circshift(VV,shift3),'b',[G D S]); % Zobrazení

title('\bf Srovnání normovaných směrových charakteristik','FontSize',14);
legend('Změřená charakteristika','Simulovaná
charakteristika','Location','NorthEastOutside')
% *****

```