

METAMATERIJALI U PODRUČJU MIKROVALNIH ANTENA

Romanić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:799448>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij računarstva

**METAMATERIJALI U PODRUČJU MIKROVALNIH
ANTENA**

Završni rad

Ivan Romanić

Osijek, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	Error! Bookmark not defined.
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. TEORIJA METAMATERIJALA	2
3. OPIS KORIŠTENOG ALATA	4
3.1. Ansys HFSS	4
4. MODELI U HFFSU I NJIHOVI PARAMETRI.....	4
4.1. Model meta materijalne antene	6
4.2. Mijenjanje parametara antene	11
4.2.1. Mijenjanje duljine razmaka između prstena	12
4.2.2. Mijenjanje širine proreza na prstenima.....	20
4.2.3. Mijenjanje položaja proreza na kojem je stavljena pobuda.....	31
5. ZAKLJUČAK	42
LITERATURA	43
SAŽETAK.....	45
ABSTRACT	45
ŽIVOTOPIS	46

1. UVOD

Metamaterijali su zbog svojih sposobnosti da na temelju oblika metamaterijalne strukture odrede svojstva te strukture neovisno o materijalu od kojeg je struktura napravljena aktivno područje istraživanja. Mijenjanjem te strukture se mogu promijeniti svojstva metamaterijalne strukture. Metamaterijalne antene u mikrovalnom području mogu poboljšati rad antene tako što smanje gubitke pri odbijanju energije od antene u odnosu na antene koje nisu metamaterijalne.

Korišten je program za simulaciju ANSYS HFSS u kojem je metamaterijalna antena simulirana.

Strukturu ovog rada čine uvod, teoretski dio gdje je ukratko objašnjeno kako se općenito ponašaju metamaterijali i kako su podijeljeni, opis programa za simulaciju ANSYS HFSS, model i odzivi metamaterijalne antene te analiza odziva antene s promijenjenim parametrima, zaključak, literatura, sažeci na hrvatskom i engleskom jeziku te životopis.

1.1. Zadatak završnog rada

Istraživački pristupiti izradi završnog rada, obraditi temu metamaterijala s naglaskom na primjeni u području mikrovalnih antena, te za jednu EM strukturu načiniti simulaciju u ANSYS HFSS programu.

2. TEORIJA METAMATERIJALA

Metamaterijal je materijal koji svoja svojstva dobiva na temelju svoje strukture umjesto od svojeg sastava. Struktura se odnosi na oblik antene, na kakav način je dizajniran oblik antene. Sastav se odnosi na materijal od kojeg je antena napravljena. Meta materijali su širi razred materijala koji omogućuju manipulaciju njihove permeabilnosti i permitivnosti radi optimizacije zračenja, primarno korišteno kod poboljšanja zračenja antene. Nedavno je nastao sve veći interes za teoretsko i eksperimentalno istraživanje meta materijala[1]. Postoji 4 tipa metamaterijala;

2.1. tablica podjele metamaterijala

permitivnost	permeabilnost	skraćena
>0	>0	DPS
<0	>0	ENG
>0	<0	MNG
<0	<0	DNG

DPS – „double positive material“, dvostruki pozitivni materijal

ENG – „electrically negative material“ električno negativni materijal

MNG – „magnetically negative material“ magnetno negativni materijal

DNG – „double negative material“ dvostruko negativni materijal

U tablici su navedene vrste metamaterijala. Jedna od najznačajnijih svojstva metamaterijala je dobivanje vrijednosti kakve se teško nalaze u prirodi iako se mogu metamaterijalima dobiti i svojstva koja su lagana za pronaći u prirodi. Samim oblikom se metamaterijalna struktura može ponašati kao da je napravljena od nekog određenog materijala iako materijal korišten u metamaterijalnoj strukturi ne mora biti materijal čije ponašanje struktura emulira. Na primjer metamaterijalna struktura se može ponašati kao metal iako je napravljena od plastike. Pomoću određenog dizajna oblika metamaterijalne strukture je moguće postići svojstva kao što su

negativna električna permitivnost i negativna magnetna permeabilnost. Na temelju tih svojstava se temelji podjela prikazana u tablici.

Dvostruki pozitivni materijal je materijal najbližiji materijalima koji se pronalaze u prirodi jer imaju svojstvo pozitivne relativne električne permitivnosti te pozitivne relativne magnetne permeabilnosti.

Električno negativni materijal ima svojstvo negativne relativne električne permitivnosti te pozitivne relativne magnetne permeabilnosti.

Magnetno negativni materijal ima svojstvo negativne relativne magnetne permeabilnosti te pozitivne relativne električne permitivnosti.

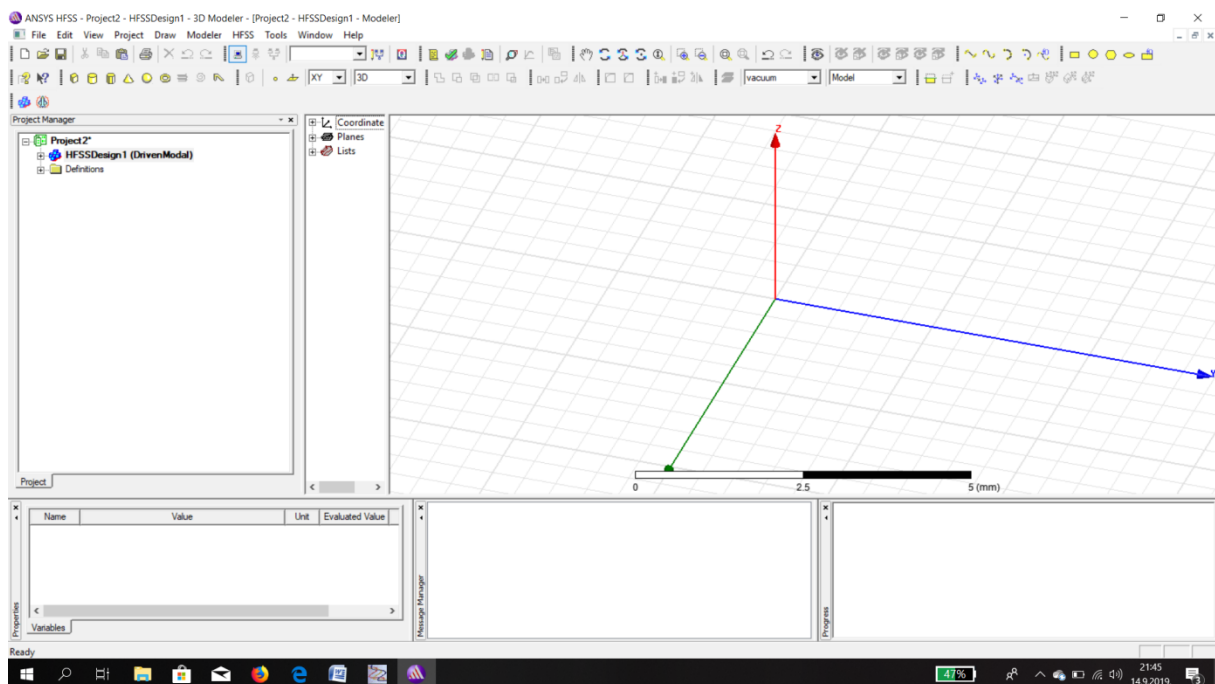
Dvostruko negativni materijal ima svojstvo negativne relativne magnetne permeabilnosti te negativne relativne električne permitivnosti te indeks loma manji od 1.

3. OPIS KORIŠTENOG ALATA

U ovom poglavlju se nalazi opis programskog alata u kojemu je dizajnirana antena, te su zabilježeni njezini parametri.

3.1. ANSYS HFSS

ANSYS HFSS je simulacijski program za dizajniranje i simuliranje visokofrekvencijskih elektroničkih proizvoda kao što su antene, polja antena, mikrovalne komponente, filtere, integrirane ploče i mnoge druge proizvode. Inženjeri u iz cijelog svijeta koriste ANSYS HFSS za dizajniranje visokofrekvencijskih komponenti kakve se pronalaze u komunikacijskim sustavima, radarskim sustavima, satelitima i digitalnim uređajima.[2]

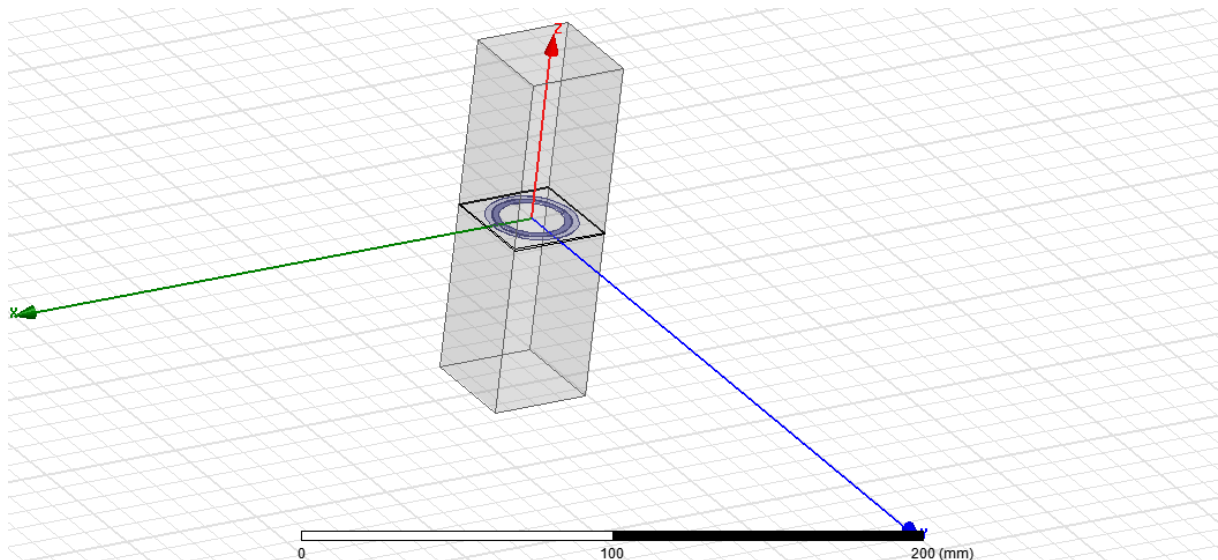


Slika 3.1.1. sučelje ANSYS HFSSa

HFSS daje veliku fleksibilnost oko oblikovanja modela. Početni položaj i dimenzije dvodimenzionalnih oblika kao što su krug i pravokutnik, te trodimenzionalnih oblika kao što su kutija i cilindar je moguće proizvoljno postaviti. Oblike je moguće spajati ili oduzimati oblik od oblika što je potrebno za dobivanje složenijih oblika. Što se tiče materijala za dielektrik, HFSS ima knjižnicu koja sadrži velik broj materijala.

4. MODELI U HFFSU I NJIHOVI PARAMETRI.

U ovom poglavlju je opisan proces modeliranja antena i dobivanje potrebnih odziva. Radit će se metamaterijalnom antenom iz literature[3] s poznatim parametrima u mikrovalnom području, koja će se mijenjati tako što će se mijenjati vrijednosti duljine razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena, širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu i pozicija proreza na kojem je stavljena pobuda.



Slika 4.1.slika modela metamaterijalne antene u ANSYS HFFSu

Ovo je model metamaterijalne antene s cjelokupnom zračnom kutijom. Sastoji se od dielektrika, dva koncentrična prstena s prorezima te zračne kutije. Taj dizajn antene je odabran zato što je metamaterijalan te stoga što su joj parametri na dane veličine poznati što omogućuje provjeru valjanosti metamaterijalne antene.

Osim spomenutih veličina koje će se mijenjati radi dobivanja drugačijih parametara metamaterijalne antene, ostale veličine kao što su dimenzije dielektrika, dimenzije zračne kutije, veličina pobude, vrsta dielektrika, pozicija proreza na kojima nije stavljena pobuda, širina

proreza na kojem je stavljena pobuda te vrsta materijala te širina prstena se neće mijenjati nego ostaju onakve kakve su opisane u sljedećem poglavlju.

4.1. Model metamaterijalne antene

Metamaterijalna antena dizajnirana u HFFSu ima sljedeće veličine. Sastoji se od dva koncentrična prstena koji imaju proreze na mjestu $\phi = 180^\circ$ (za vanjski prsten) i $\phi = 0^\circ$ (za unutarnji prsten), debljina dielektrika je 0.49 mm dok su duljina i širina 34.6 mm. Materijal korišten u simulaciji za dielektrik je Arlon CucClad 250 GT koji ima relativnu permitivnost 2.5, relativnu permeabilnost 1 i relativni tangencijalni gubitak 0.0018. Duljina i širina zračne kutije su 34.6 mm dok je visina 60 mm. Prsteni su od bakra, širine 2.2 mm, debljine 35 μm s međusobnim razmakom od 0.33 mm s time da je vanjski promjer vanjskog prstena 15.46 mm. Prorezi na vanjskom i unutarnjem prstenu su široki 1 mm. Na vanjskom prstenu na mjestu $\phi = -139^\circ$ se nalazi prorez širine 1 mm na kojem je stavljena pobuda. Radi se o lumped portu otpora 25Ω i reaktancije -190Ω .

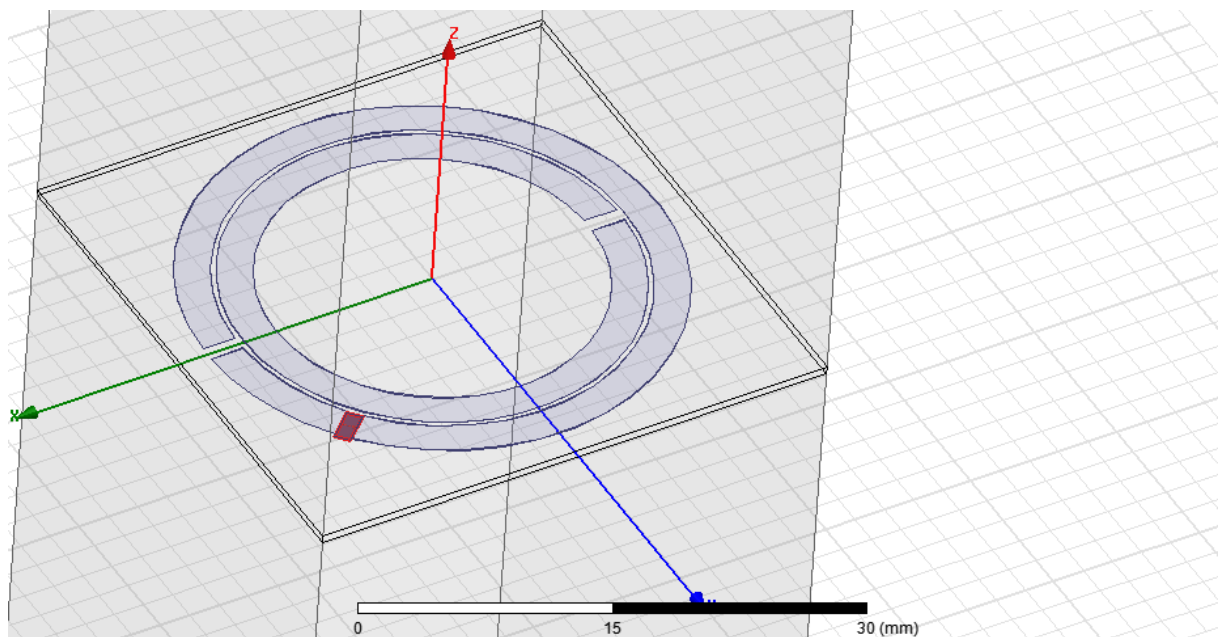
4.1.1. tablica vrijednosti metamaterijalne antene

Položaj proreza na unutarnjem prstenu($^\circ$)	Položaj proreza na vanjskom prstenu($^\circ$)	Položaj proreza na kojem je stavljena pobuda	Debljina Dielektrik (mm)	Duljina i širina dielektrika I zračne kutije (mm)	Visina zračne kutije (mm)	Debljina prestena (μm)	Vanjski promjer vanjskog prstena (mm)
0	180	-139	0.49	34.6	60	35	15.46

Duljina razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena (mm)	Širina svih proreza (mm)	Otpor na pobude (Ω)	Reaktancija pobude (Ω)	Relativna permitivnost dielektrika	Relativna permeabilnost dielektrika	Relativni tangencijalni gubitak dielektrika
0.33	1	25	-190	2.5	1	0.0018

sve veličine metamaterijalne antene su predstavljene u tablici.

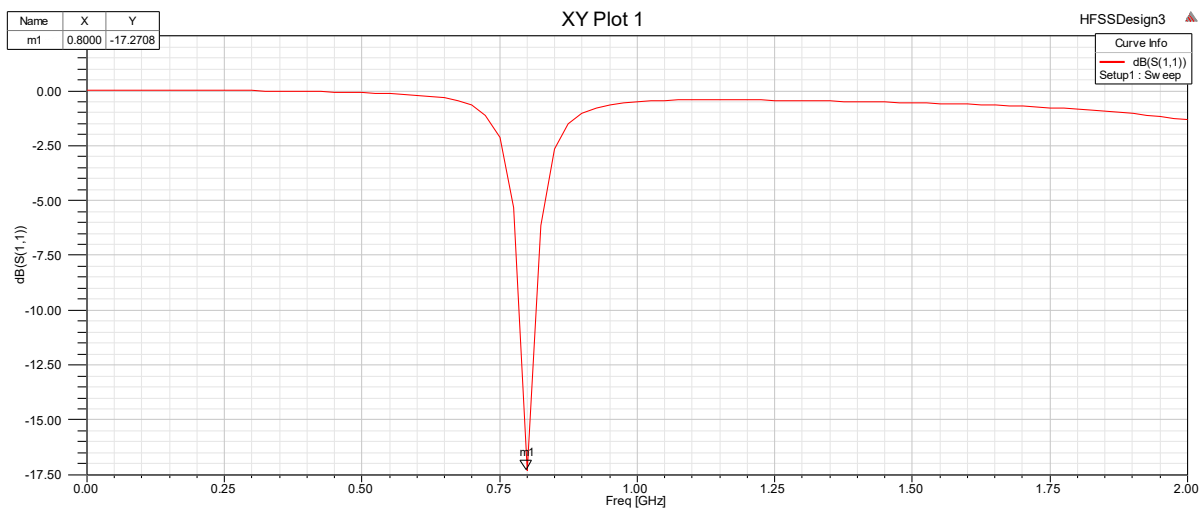
Za metamaterijalnu antenu, dizajniranu u HFFSu je odabran modalni tip rješenja. Sam model je dizajniran tako što su prvo dizajnirani dielektrik i zračna kutija s dimenzijama iz tablice. Na dielektriku se nalaze dva koncentrična prstena od kojih je svaki nastao dizajniranjem dva cilindra, različitih promjera koji dijele isto središte te oduzimanjem manjeg cilindra od većeg. Zračna kutija ima širinu i dužinu kao i dielektrik te je na njene rubove stavljena granica za radijaciju. Prorezi na prstenima tako što se napravila kutija s Y veličinom jednakom veličini proreza iz tablice koja se oduzela od prstena te tako formirala prorez. Na prorez na kojem treba biti pobuda je stavljen pravokutnik na kojem je stavljen *lumped port* s vrijednostima otpora i reaktancije iz tablice, te je tako ostvarena pobuda



4.1.1. slika modela metamaterijalne antene u ANSYS HFFSu, povećano na dielektrik i prstene

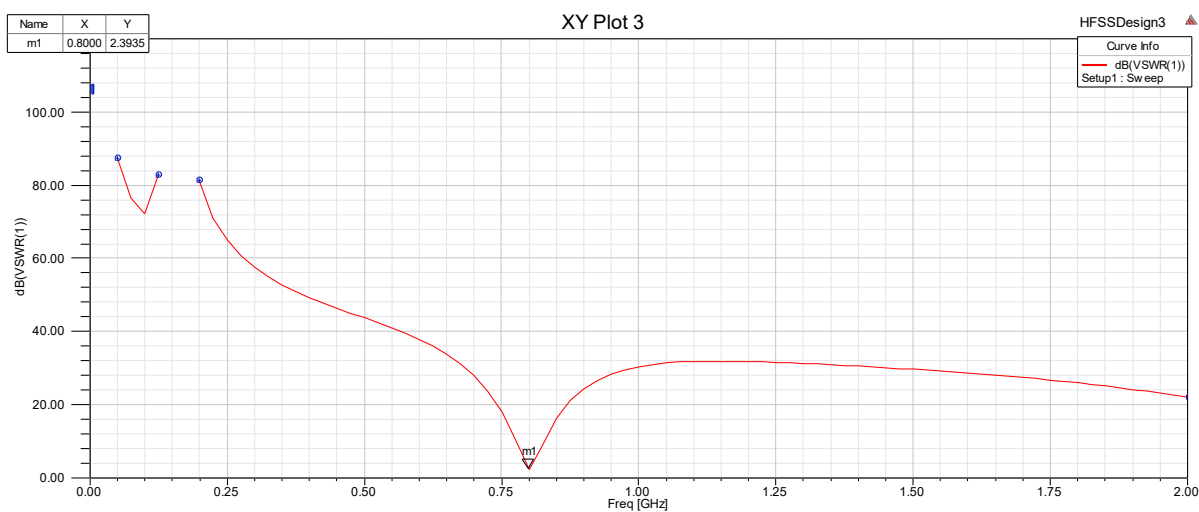
Na slici je prikazan dielektrik metamaterijalne antene s koncentričnim prstenima na njemu, te s označenom pobudom

Uzeti su parametri metamaterijalne antene na veličinama iz tablice: S_{11} , VSMR, smith dijagram, dijagram zračenja, ulaznu impedanciju, realni i imaginarni dio i 3d dijagram zračenja.



4.2.2. S_{11} parametar metamaterijalne antene

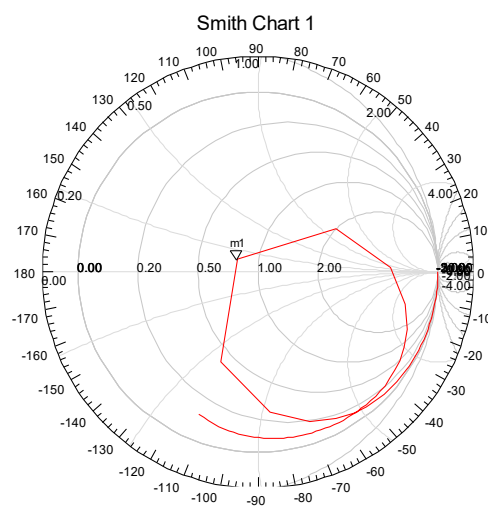
Parametar S_{11} je -17.2708 na području 800 MHz. To je veličina energije koju antena odbija.



4.2.3. VSWR parametar metamaterijalne antene

Parametar VSWR je 2.3935 na području 800 MHz. To je omjer napona i stojnog vala. Što je VSWR manji, antena je učinkovitija.

Name	Freq	Ang	Mag	RX
m1	0.8000	147.1623	0.1369	0.7857 + 0.1169i

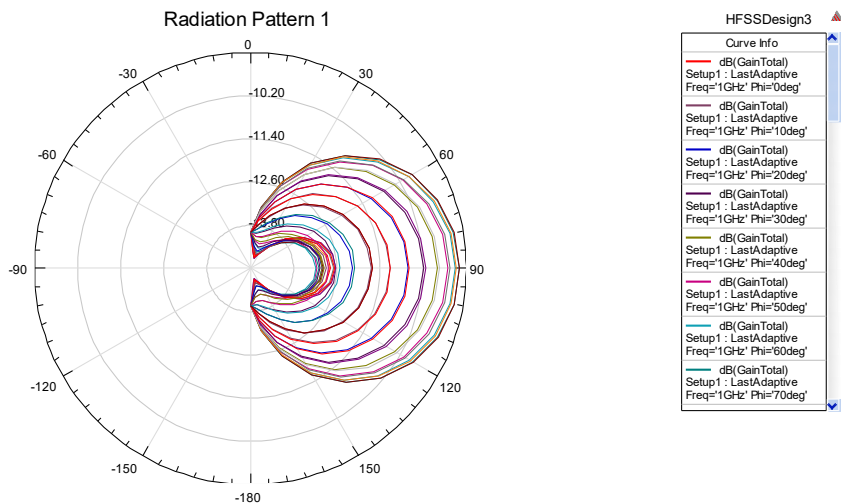


HFSSDesign3 ▲

Curve Info	
—	S(1,1)
—	Setup1 : Sweep

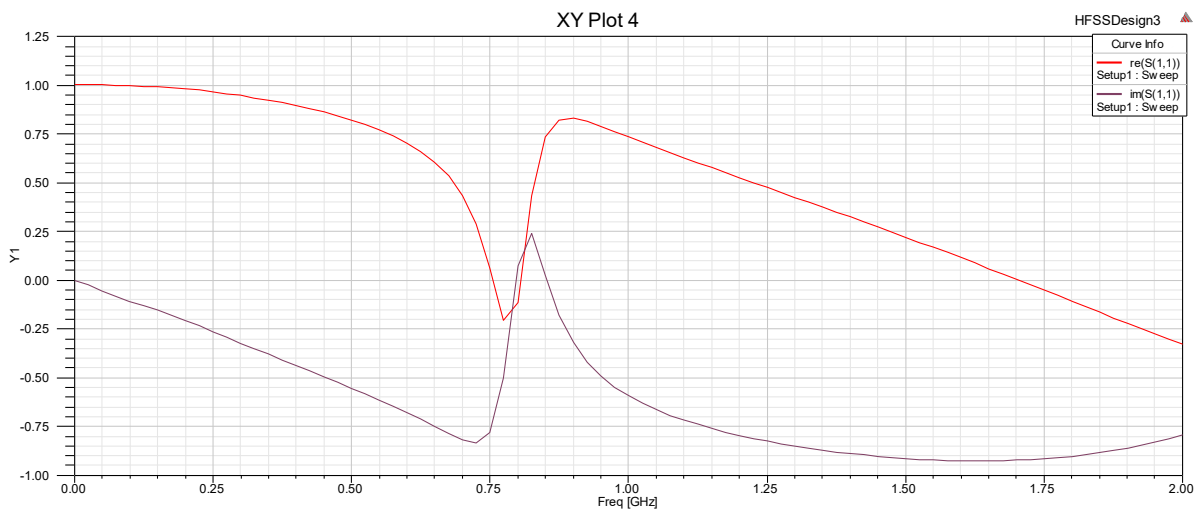
4.2.4. smith dijagram metamaterijalne antene

Ova slika predstavlja smith dijagram.



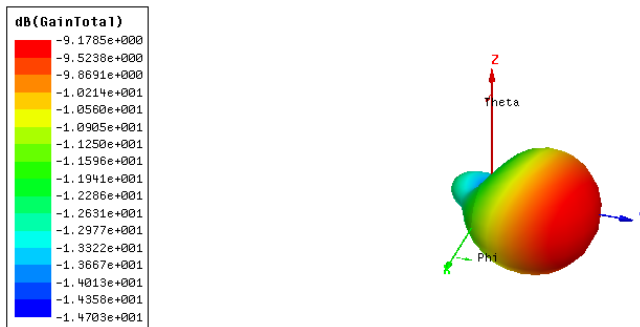
4.2.5. dijagram zračenja metamaterijalne antene

Ova slika predstavlja dijagram zračenja metamaterijalne antene.



4.2.6. ulazna impedancija metamaterijalne antene

Ova slika predstavlja ulaznu impedanciju, realni(crvena crta) i imaginarni(plava crta) dio metamaterijalne antene.



4.3.7. 3d dijagram zračenja metamaterijalne antene

Ova slika predstavlja 3d dijagram zračenja.

4.2. Mijenjanje parametara metamaterijalne antene

Metamaterijalna antena ima parametre S_{11} i VSWR za duljinu razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.33 mm, širinu proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu od 1mm te položaju proreza na kojem je stavljena pobuda od -139° zabilježene u 3. Poglavlju. U ovom poglavlju će se razmotriti kako će se parametri S_{11} i VSWR mijenjati ako se promijene duljina razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena, širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu te pozicija proreza na kojem je stavljena pobuda.

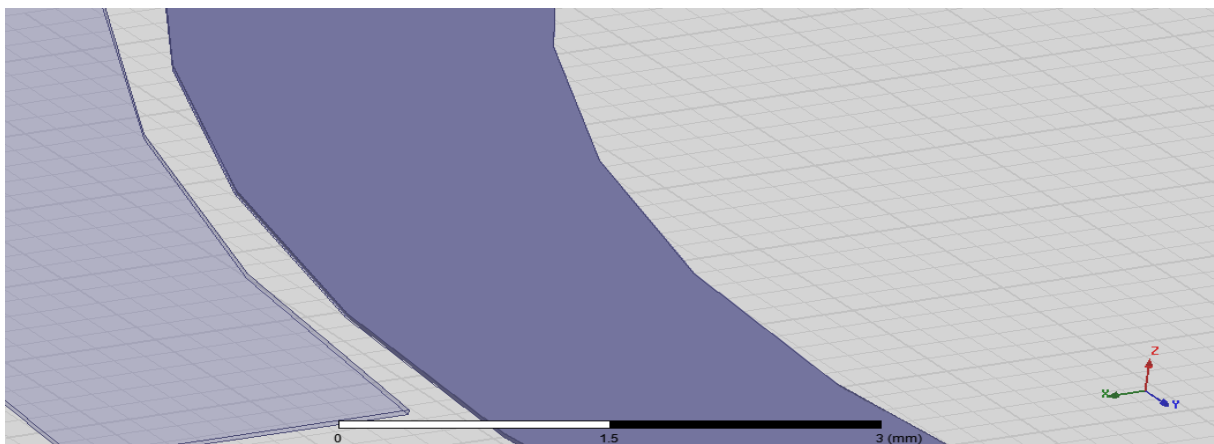
Tablica početnih vrijednosti metamaterijalne antene

Duljina razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena(mm)	Širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu(mm)	Položaj proreza na kojem je stavljena pobuda($^\circ$)
0.33	1	-139

Ovo je tablica početnih vrijednosti metamaterijalne antene koje će se mijenjati radi dobivanja drugačijih parametara.

4.2.1. Mijenjanje duljine razmaka između prstena

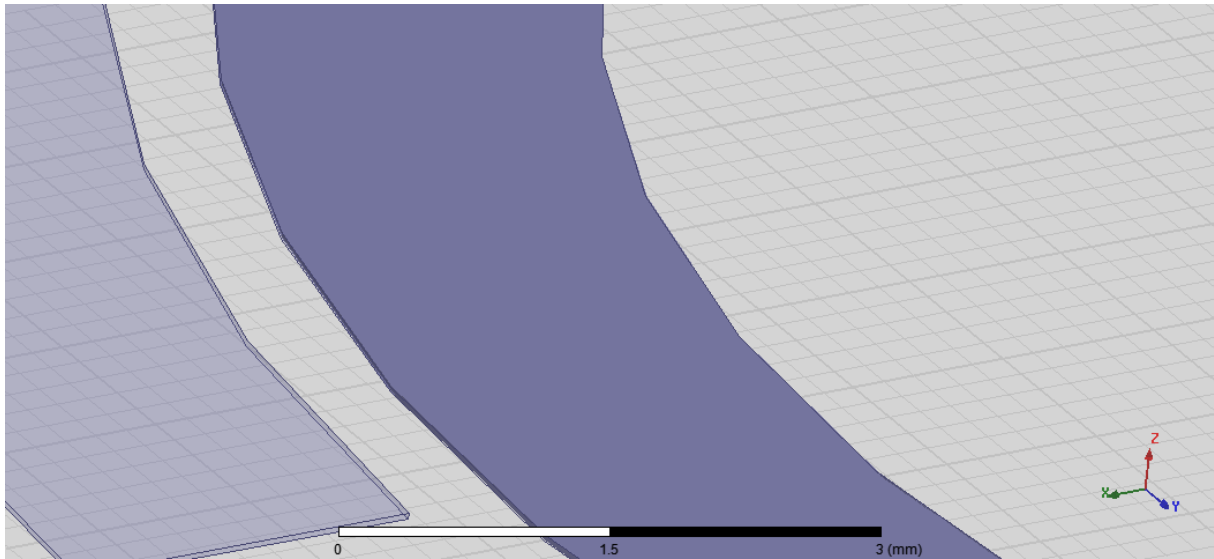
U ovom poglavlju je opisano ponašanje metamaterijalne antene s promijenjenom veličinom duljine razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena s početne veličine od 0.33 mm na više različitih veličina. Promijenjeni parametri S_{11} i VSWR su zabilježeni te su njihove promjene prikazane u tablici i grafu radi boljeg prikaza njihovog mijenjanja u ovisnosti o veličini duljine razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena. Duljina razmaka će se mijenjati tako što će se povećavati/smanjivati vanjski i unutarnji promjer unutarnjeg prstena metamaterijalne antene. Širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu te položaj proreza na kojem je stavljena pobuda ostaju na početnoj vrijednosti od 1 mm i -139° .



4.2.1.1. slika razmaka između prstena metamaterijalne antene

Duljina razmaka je 0.33 mm na slici, unutarnji promjer unutarnjeg prstena je 12.93 mm a

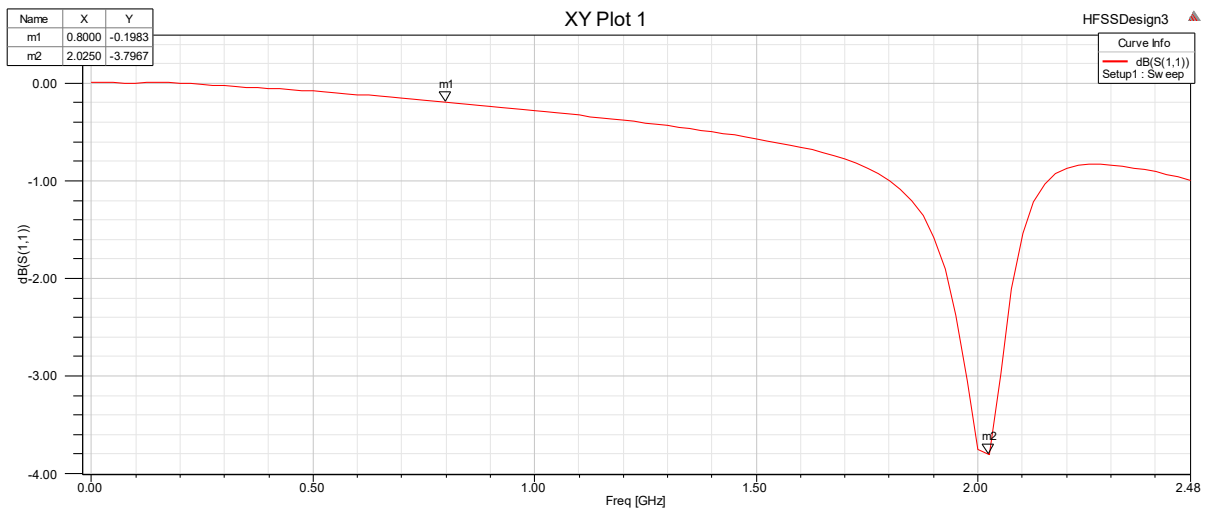
vanjski promjer unutarnjeg prstena je 10.73 mm



Duljina razmaka je 0.6 mm na slici, unut4.2.1.2. slika razmaka između prstena metamaterijalne antene

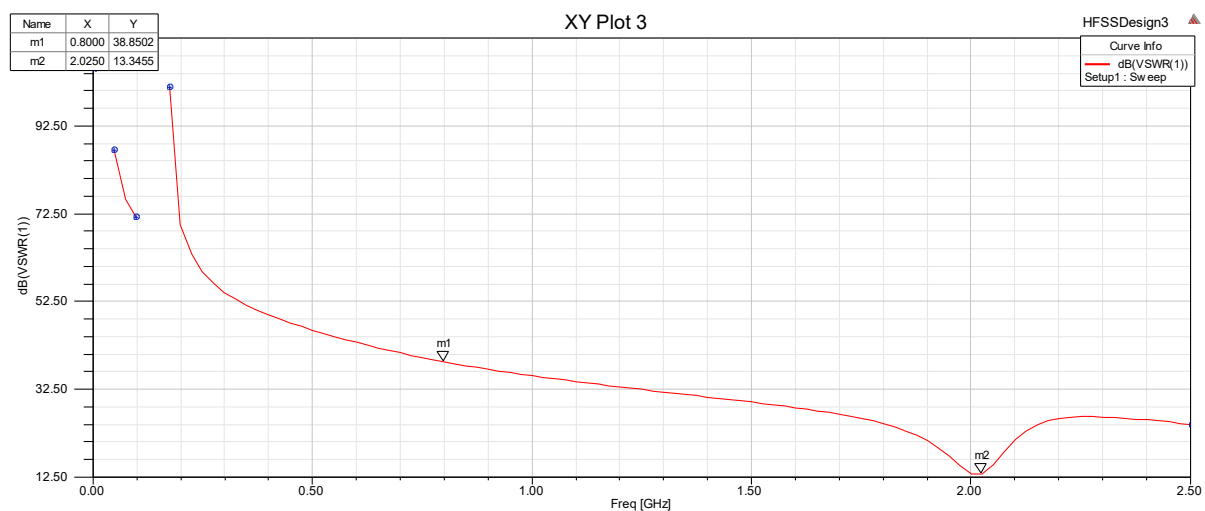
vanjski promjer unutarnjeg prstena je 12.66 mm a vanjski promjer unutarnjeg prstena je 10.46 mm, vidljive su razlike u odnosu na prvu sliku.

Prva promjena je mijenjanje veličine duljine razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena s 0.33 mm na 0.16 mm tako što je unutarnji promjer unutarnjeg prstena namješten 10.9 mm a vanjski promjer unutarnjeg prstena na 13.1 mm. Rezultati su sljedeći:



4.2.1.3. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

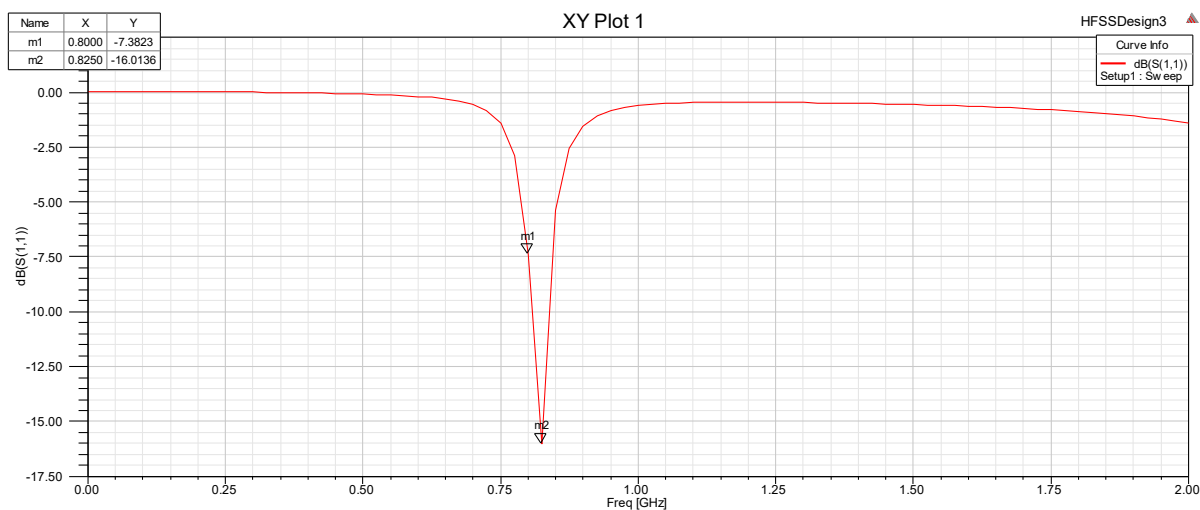
Parametar S_{11} je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.16mm jednak -0.1957 db. Na području od 2.0250 GHz je uočen veći pad od -3.7967 db.



4.2.1.4. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

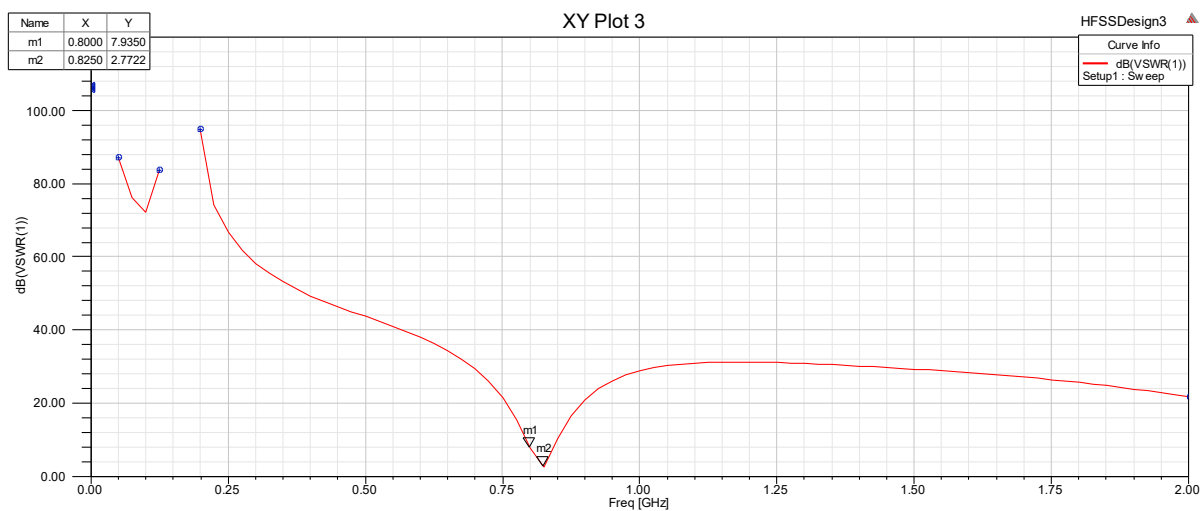
Parametar VSWR je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.16mm jednak 38.8847. Na području od 2.250 GHz je uočena na manja vrijednost VSWRa od 13.3455.

Sljedeća promjena je povećanje udaljenosti na veličinu od 0.4 mm tako što se unutarnji promjer unutarnjeg prstena namjesti na 10.66 mm a vanjski prsten unutarnjeg prstena na 12.86 mm. Rezultati su sljedeći:



4.2.1.4. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

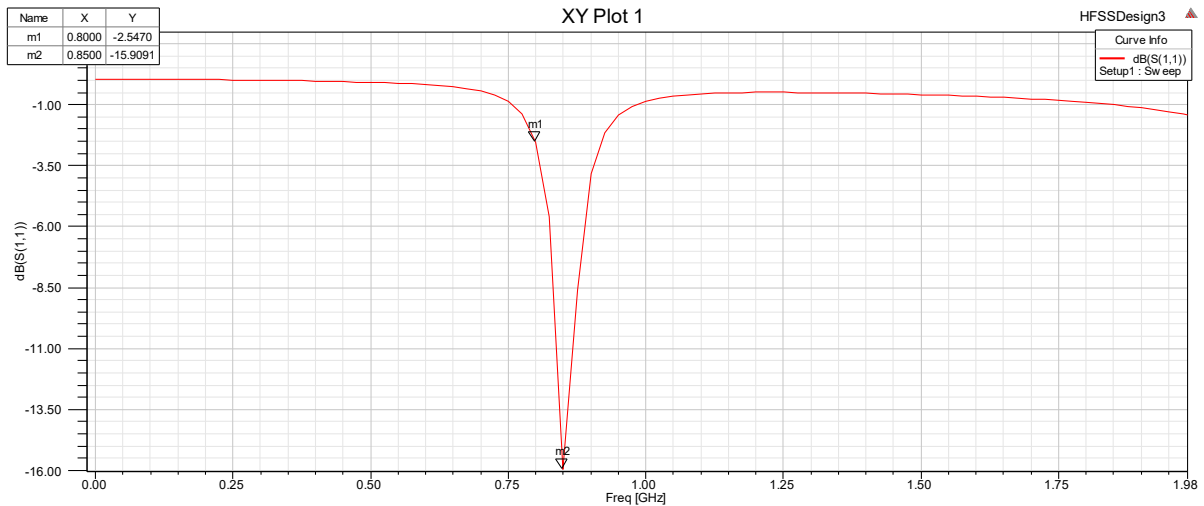
Parametar S_{11} je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.4mm jednak -7.3823 db. Na području od 825 MHz je uočen veći pad od -16.0136 db.



4.2.1.5. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

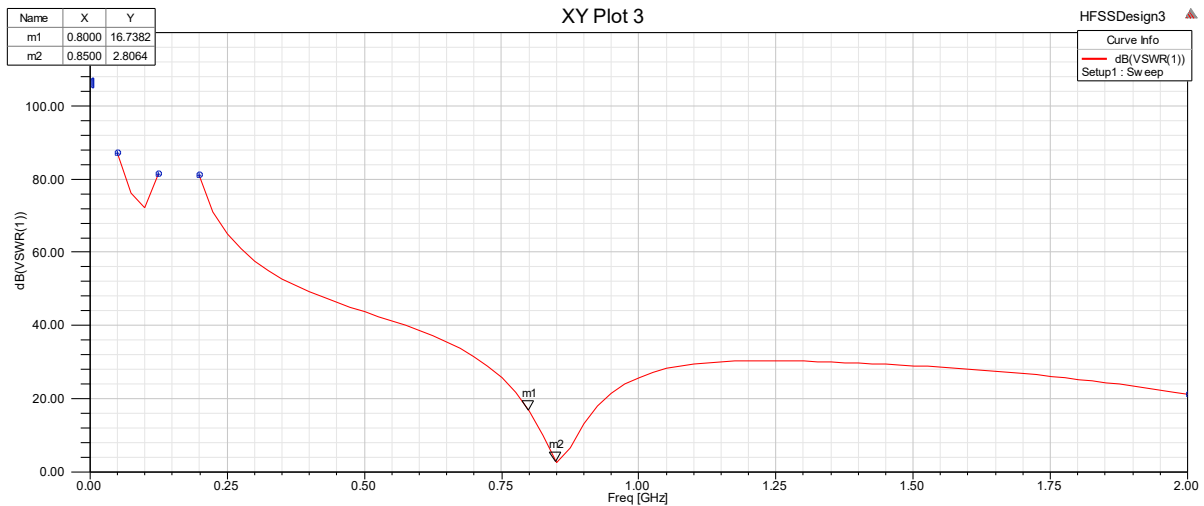
Parametar VSWR je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.4mm jednak 7.9350. na području od 825 MHz je uočena manja vrijednost VSWRa od 2.7722.

Sljedeća promjena je povećanje udaljenosti na veličinu od 0.5 mm tako što se unutarnji promjer unutarnjeg prstena namjesti na 10.56 mm a vanjski prsten unutarnjeg prstena na 12.76 mm. Rezultati su sljedeći:



4.2.1.6. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

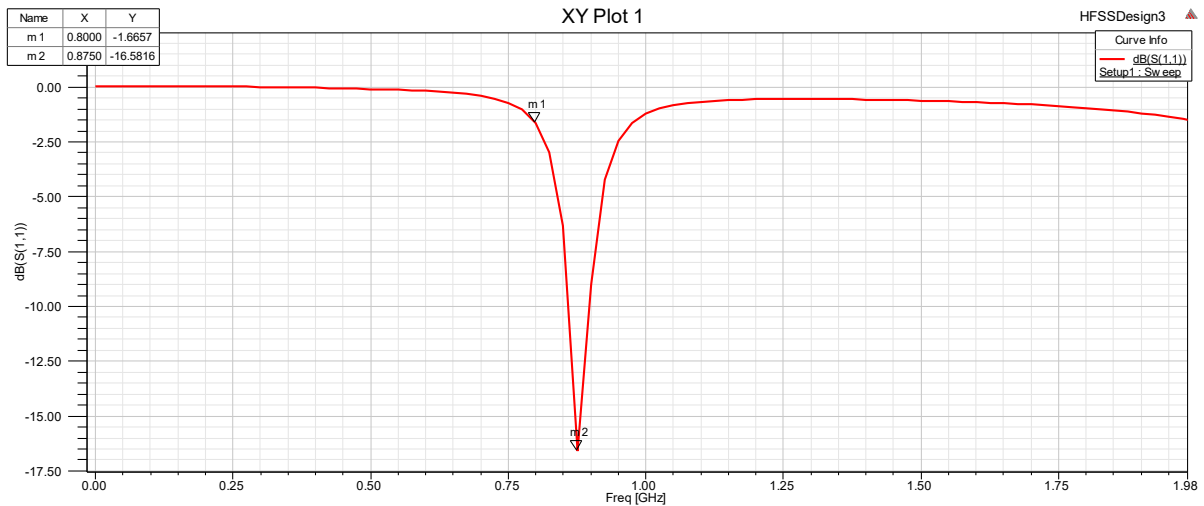
Parametar S_{11} je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.5mm jednak -2.5470 db. Na području od 850 MHz je uočen veći pad od -15.9091 db.



4.2.1.7. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

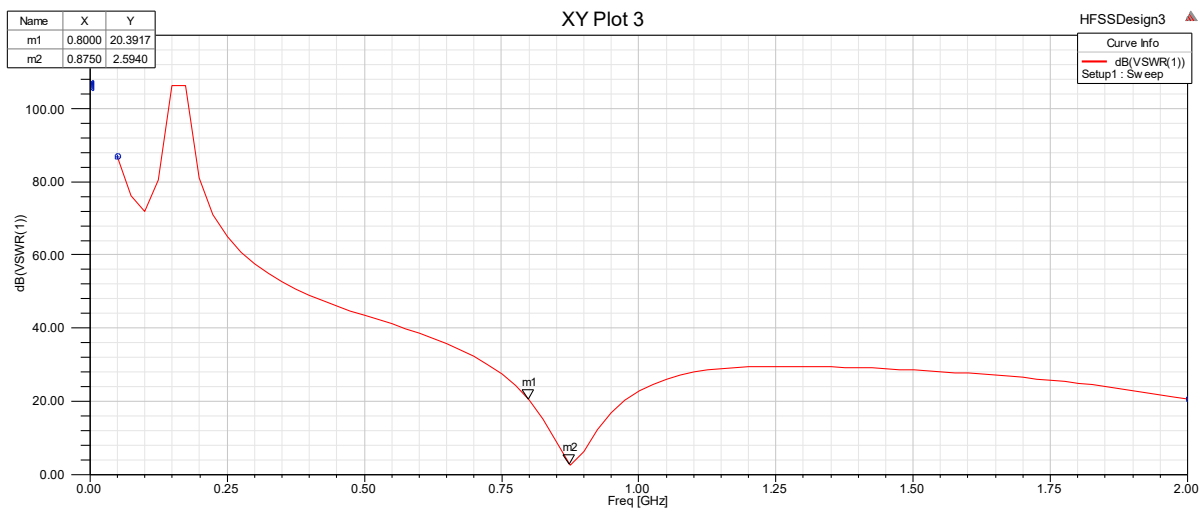
Parametar VSWR je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.5mm jednak 16.7382. Na području od 850 MHz je uočena manja vrijednost VSWRa od 2.8064.

S obzirom na količinu odstupa S_{11} i VSWR od početne vrijednosti napravljena je samo još jedna promjena duljine udaljenosti između unutarnjeg i vanjskog prstena na duljinu od 0.6 mm tako što su unutarnji promjer unutarnjeg prstena i vanjski promjer unutarnjeg prstena namješteni na vrijednosti 12.66 mm i 10.46 mm. Rezultati su sljedeći:



4.2.1.8. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

Parametar S_{11} je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.6mm jednak -1.6657 db. Na području od 875 MHz je uočen veći pad od -16.5816 db.



4.2.1.9. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

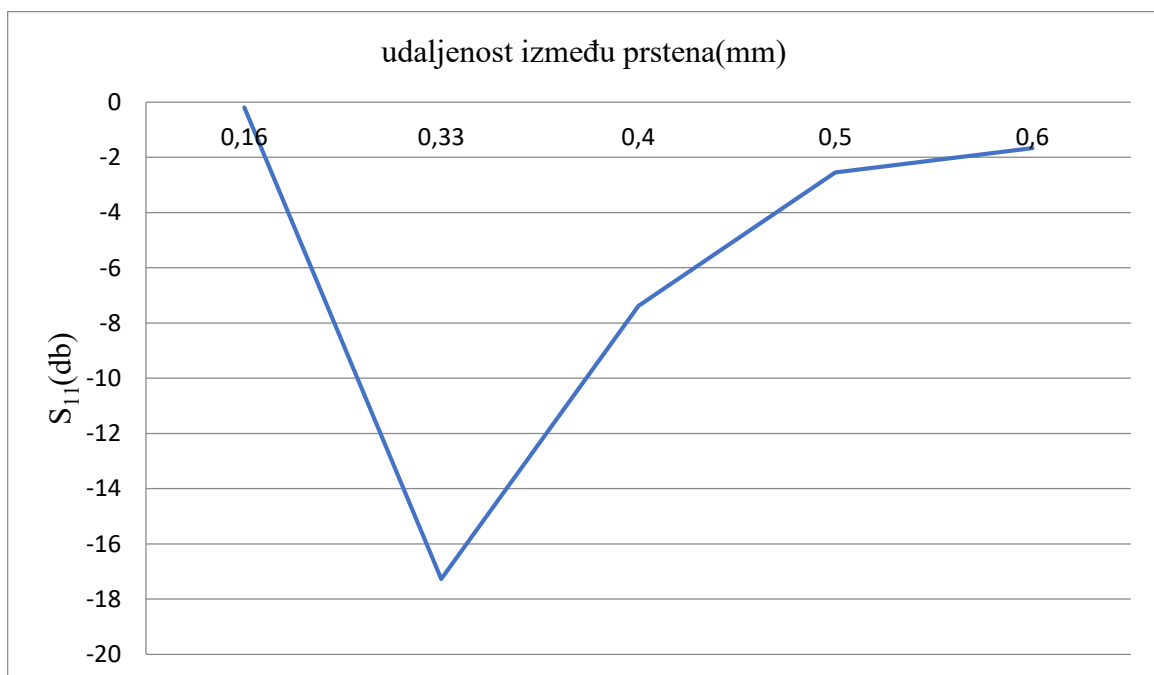
Parametar VSWR je na duljini razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena od 0.6mm jednak 20.3917. Na području od 875 MHz je uočena manja vrijednost VSWRa od 2.5940.

4.2.1.1. tablica ovisnosti parametara S_{11} i VSWR o duljini razmaka između prstena

Duljina razmaka (mm)	0.16	0.33	0.4	0.5	0.6
S_{11} (db)	-0.1957	-17.2708	-7.3823	-2.5470	-1.6657
VSWR	38.8847	2.3935	7.9350	16.7382	20.3917

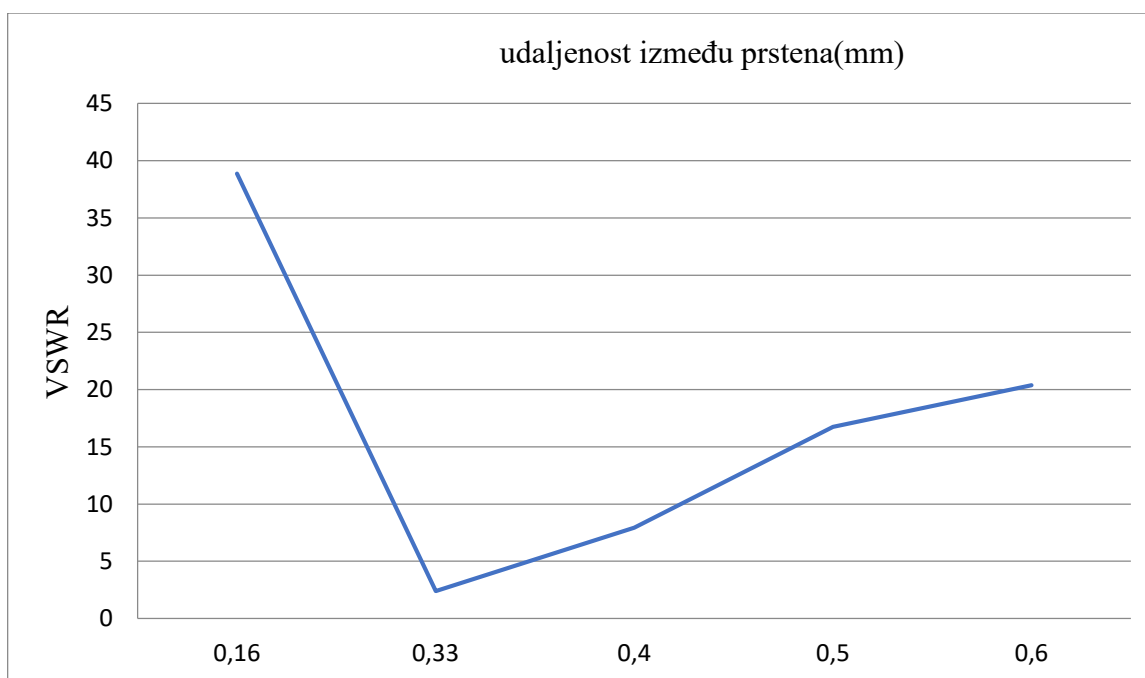
Ova tablica prikazuje ovisnost parametara S_{11} i VSWR o veličini duljine razmaka između vanjskog i unutarnjeg prstena metamaterijalne antene.

4.2.1.1. grafikon ovisnosti parametra S_{11} o duljini razmaka između prstena



Ovaj graf prikazuje ovisnost parametra S_{11} o veličini duljina razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena metamaterijalne antene.

4.2.1.2. grafikon ovisnosti parametra VSWR o duljini razmaka između prstena

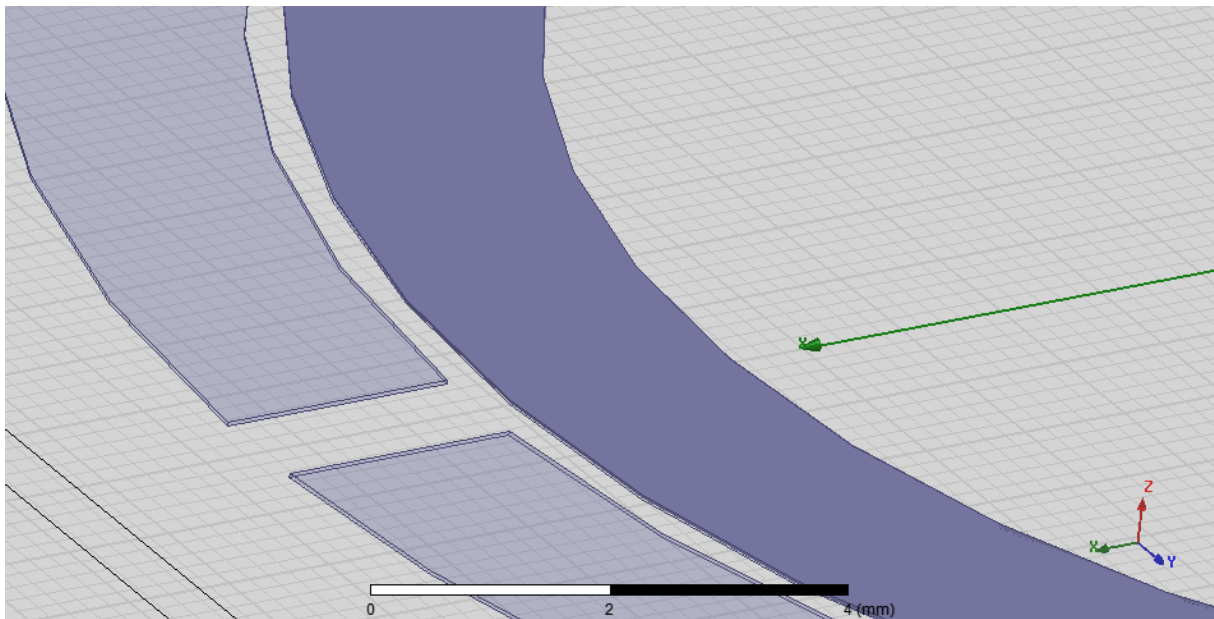


Ovaj graf prikazuje ovisnost parametra VSWR o veličini duljina razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena metamaterijalne antene.

Iz grafova i tablice su vidljive promjene parametara S_{11} i VSWR u odnosu na promijenjenu veličinu duljine razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena. S_{11} pokazuje najveći pad na početnoj vrijednosti od 0.33mm, dok raste na vrijednosti veće i manje od početne. VSWR pokazuje najnižu vrijednost na početnoj vrijednosti od 0.33 mm, dok raste na vrijednosti veće i manje od početne.

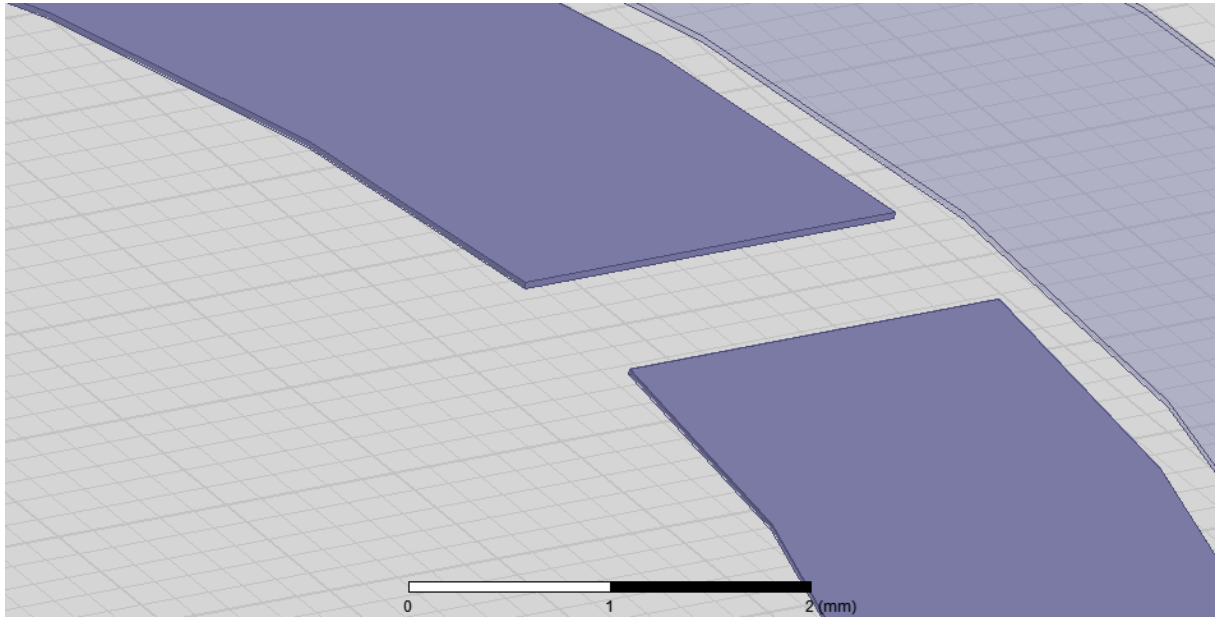
4.2.2. Mijenjanje širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu

U ovom poglavlju je opisano ponašanje metamaterijalne antene s promijenjenom veličinom širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu od početne veličine 1 mm na više različitih veličina. Promijenjeni parametri S_{11} i VSWR su zabilježeni te su njihove promjene prikazane u tablici i grafu radi boljeg prikaza njihovog mijenjanja u ovisnosti o veličini širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu. Širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu će se mijenjati tako što će se mijenjati Y veličina modela kutije koja je oduzeta od modela unutarnjeg i vanjskog prstena radi dobivanja proreza. Duljina razmaka između unutarnjeg u vanjskog prstena te položaj proreza na kojem je stavljena pobuda ostaju na početnoj vrijednosti od 0.33 mm i -139° .



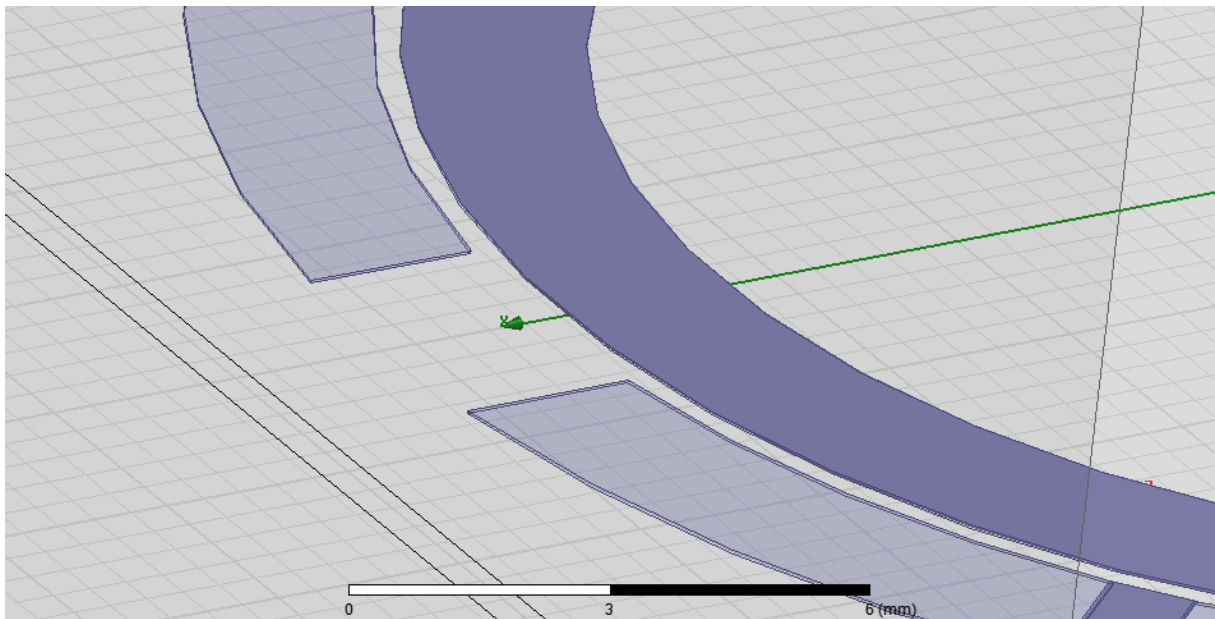
4.2.2.1. slika proreza na vanjskom prstenu

Na slici je prikazan prorez na vanjskom prstenu s širinom od 1 mm.



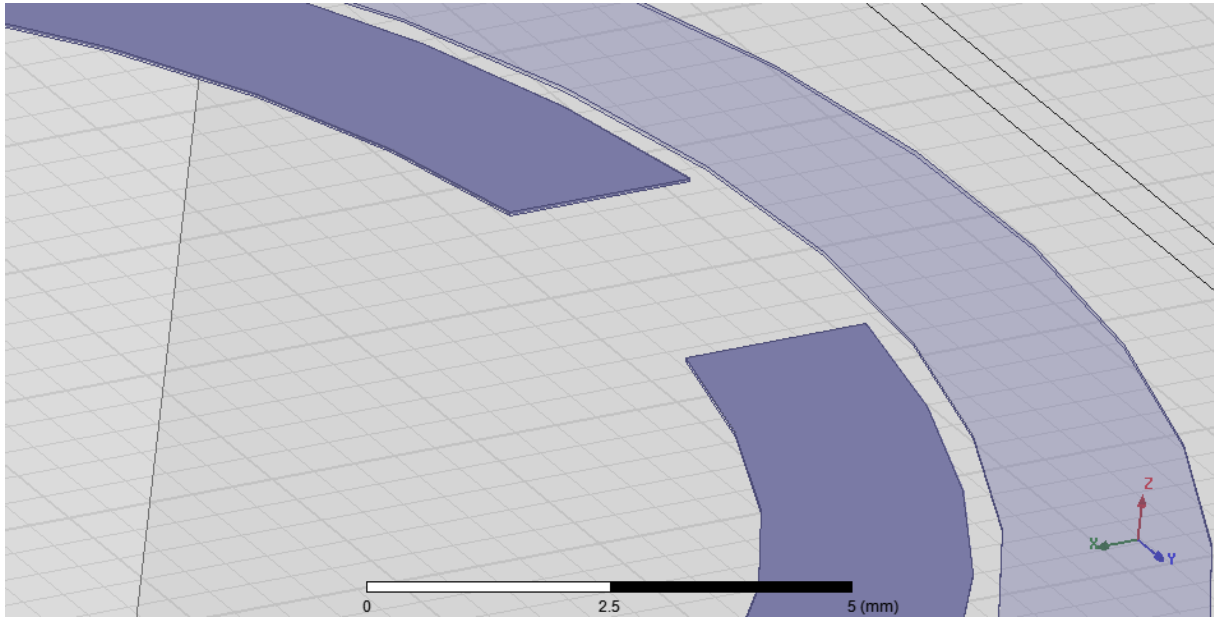
4.2.2.2. slika proreza na unutarnjem prstenu

Na slici je prikazan prorez na unutarnjem prstenu s širinom od 1 mm.



4.2.2.3. slika proreza na vanjskom prstenu

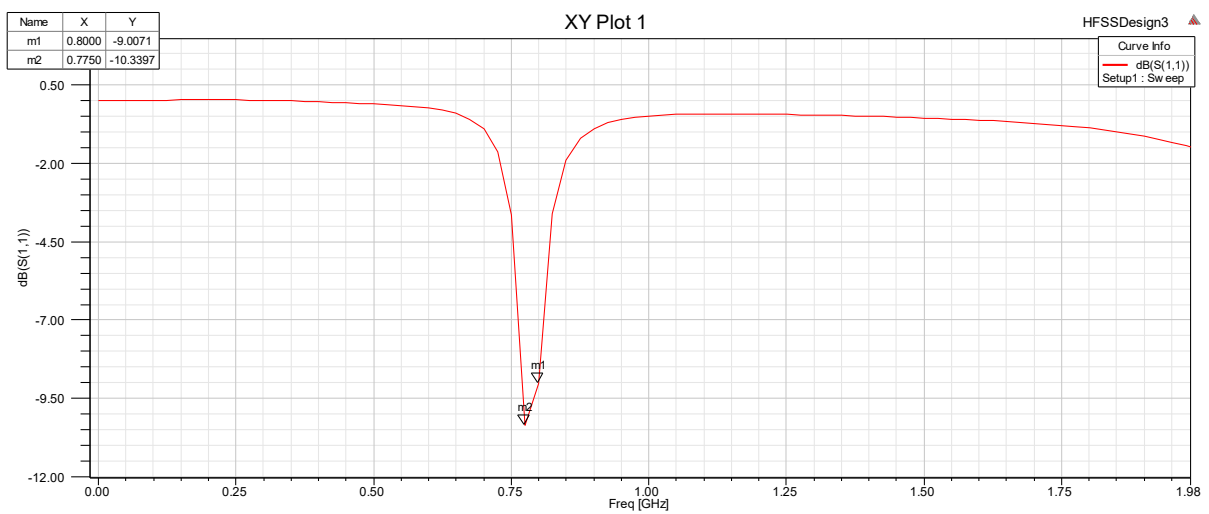
Na slici je prikazan prorez na vanjskom prstenu s širinom od 3.5 mm. Vidljiva je znatna razlika u odnosu na prorez vanjskog prstena kojemu je širina 1 mm.



4.2.2.4. slika proreza na unutarnjem prstenu

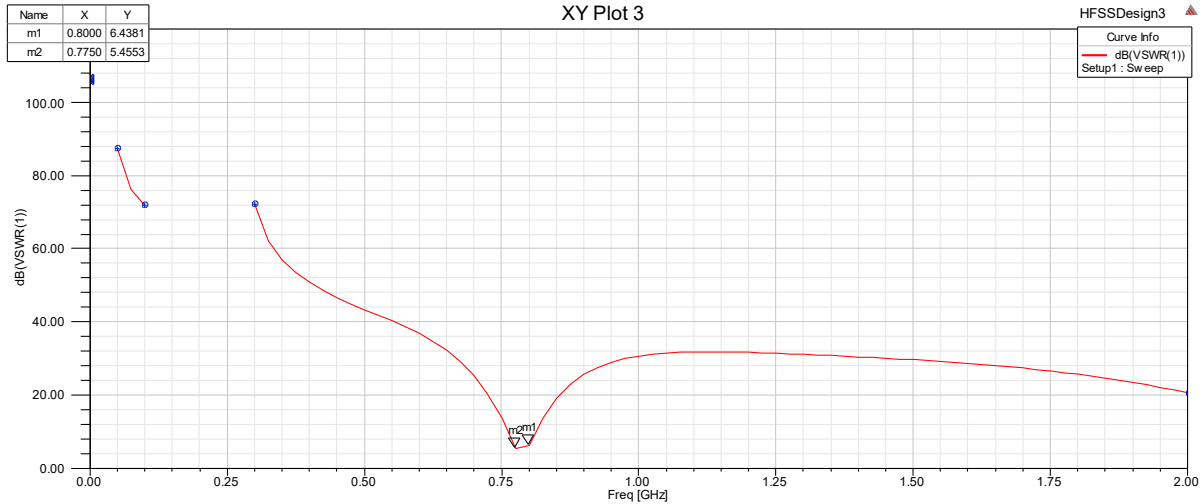
Na slici je prikazan prerez na unutarnjem prstenu s širinom od 3.5 mm. Vidljiva je znatna razlika u odnosu na prerez unutarnjeg prstena kojemu je širina 1 mm.

Prva promjena je mijenjanje veličine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu s širine od 1mm na širinu od 0.5 mm tako što se kutiji oduzetoj od oba prstena u HFFSu smanji Y veličina na 0.5 mm. Rezultati su sljedeći:



4.2.2.5. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

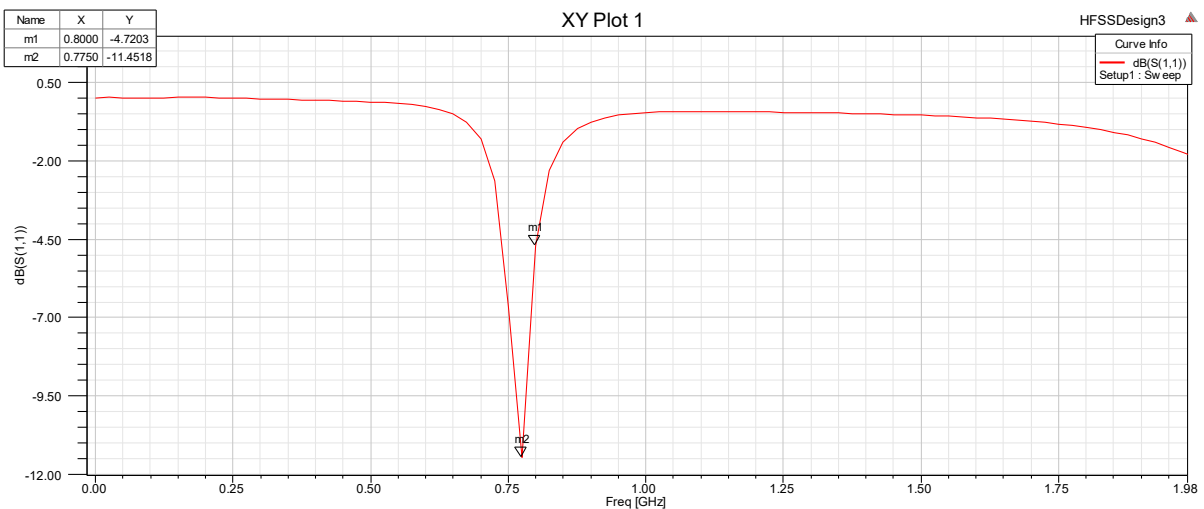
Parametar S_{11} na širini proreza od 0.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je -9.0071 db. Na području od 775 MHz je uočen veći pad od -103397 db.



4.2.2.6. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

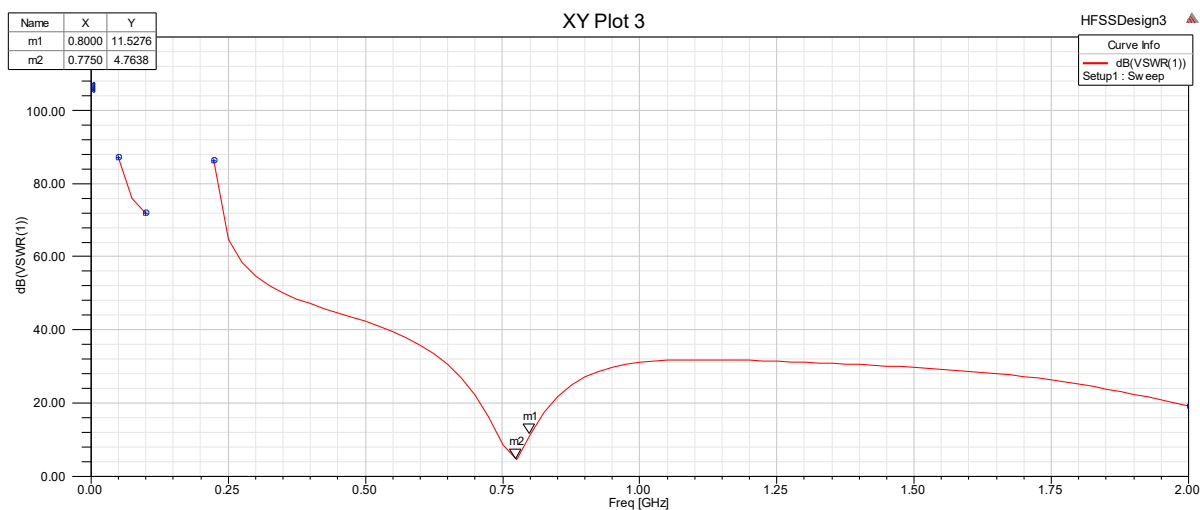
Parametar VSWR na širini proreza od 0.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je 6.4381. na području od 775 MHz je uočena manja vrijednost VSWRa od 5.4553.

Sljedeća promjena je daljnje smanjenje proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu na 0.25 mm smanjenjem Y veličine na kutiji koja je oduzeta od unutarnjeg i vanjskog prstena. Rezultati su sljedeći:



4.2.2.7. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

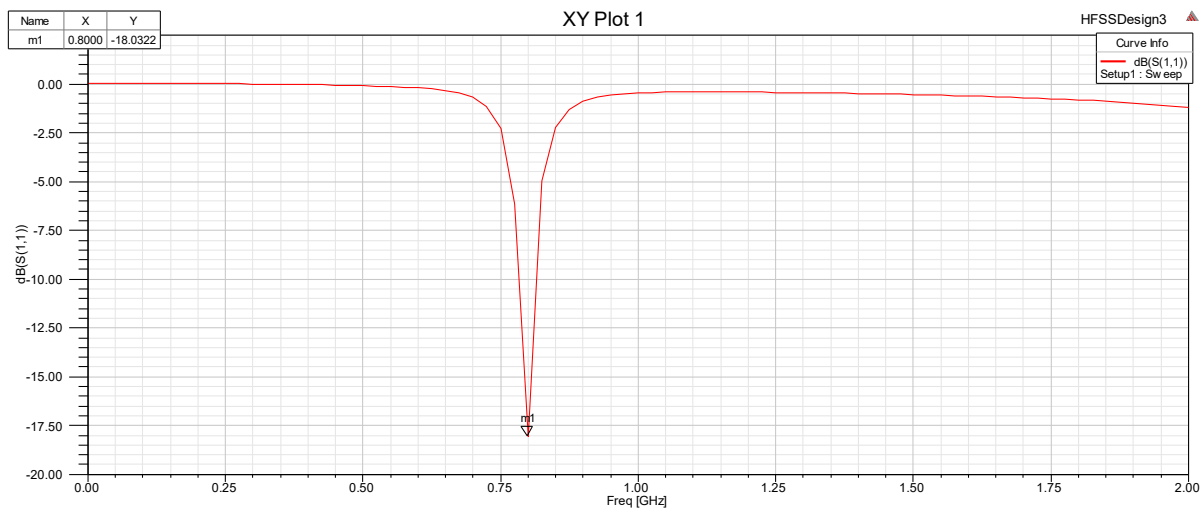
Parametar S_{11} na širini proreza od 0.25 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je -4.7203 db. Na području od 775 MHz je uočen veći pad od -11.4518 db.



4.2.2.8. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

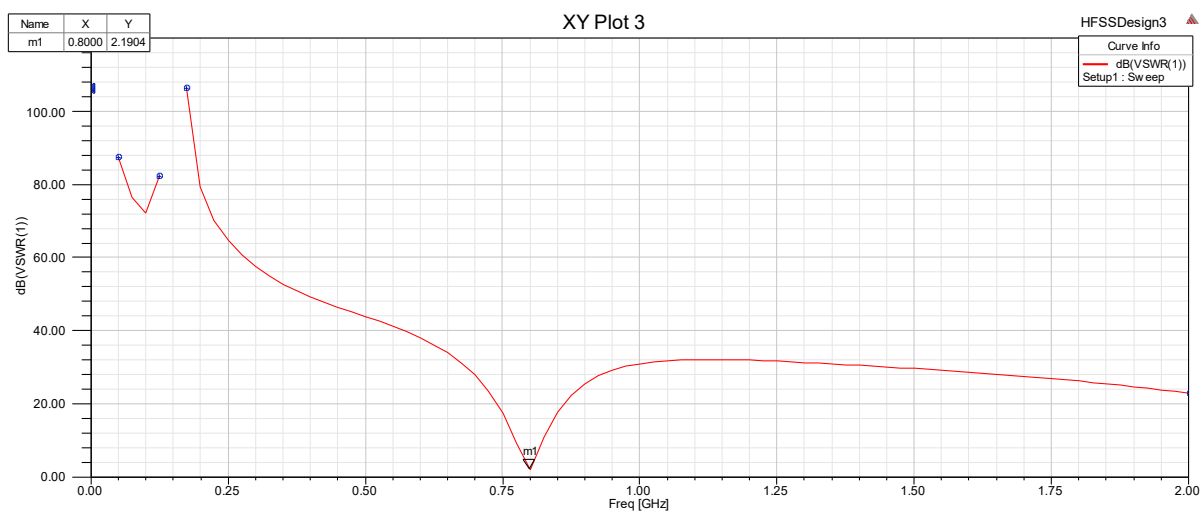
VSWR na širini proreza od 0.25 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je 11.5276. Na području od 775 MHz je uočena manja vrijednost VSWRa od 4.7638.

Sljedeća promjena je povećanje širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu na 1.5 mm tako što se Y veličina kutije koja je oduzeta od unutarnjeg i vanjskog prstena poveća na 1.5 mm. Rezultati su sljedeći:



4.2.2.9. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

Parametar S_{11} na širini proreza od 1.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je -18.0322 db.

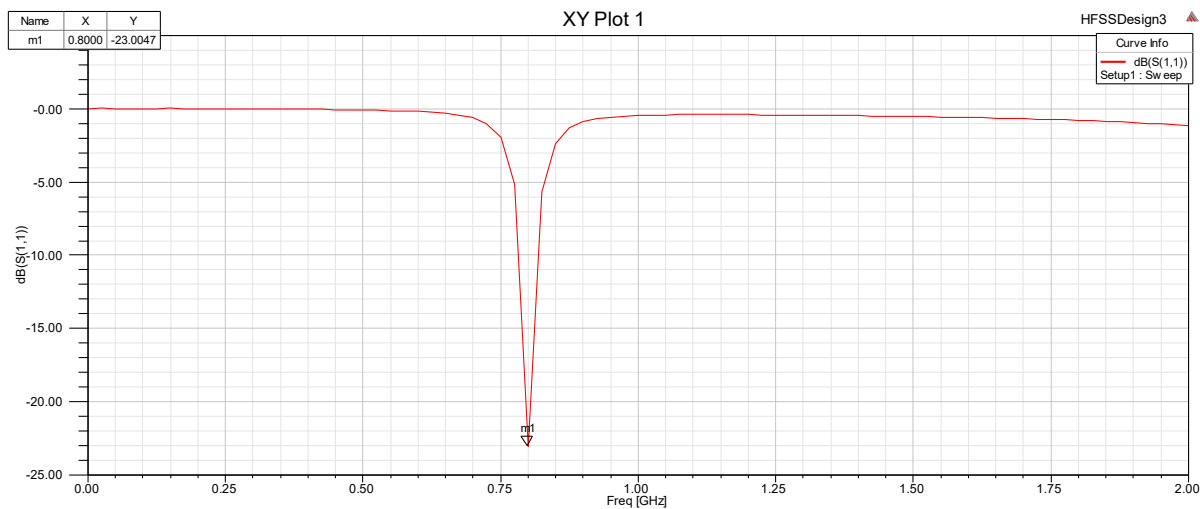


4.2.2.10. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

VSWR na širini proreza od 1.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je 2.1904.

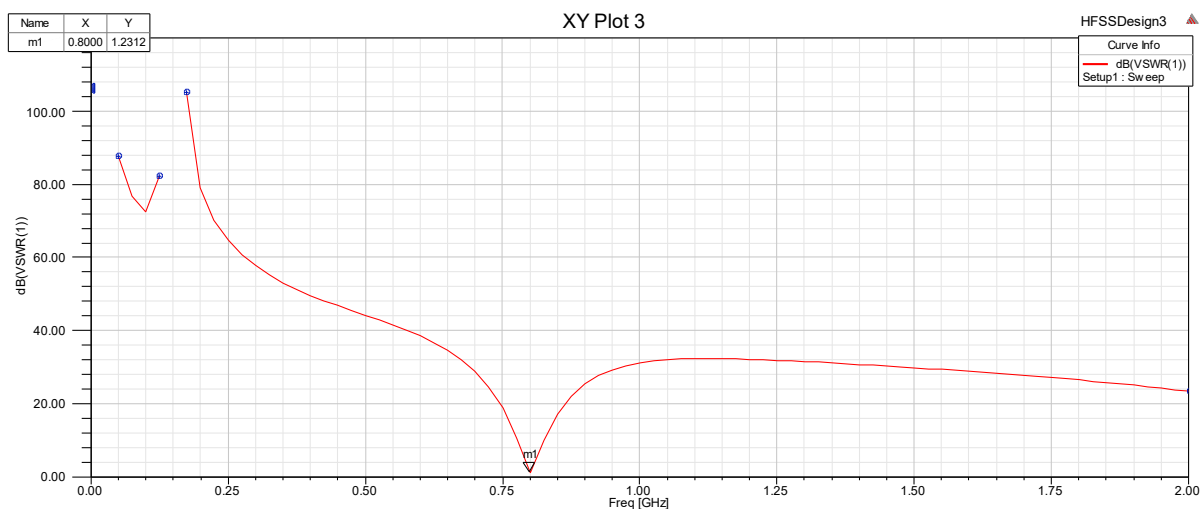
Nadalje će se širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu postaviti na 2 mm postavljanjem Y veličine kutije koja je oduzeta od unutarnjeg i vanjskog prstena na 2 mm.

Rezultati su sljedeći:



4.2.2.11. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

Parametar S_{11} na širini proreza od 2 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je -23.0047 db.

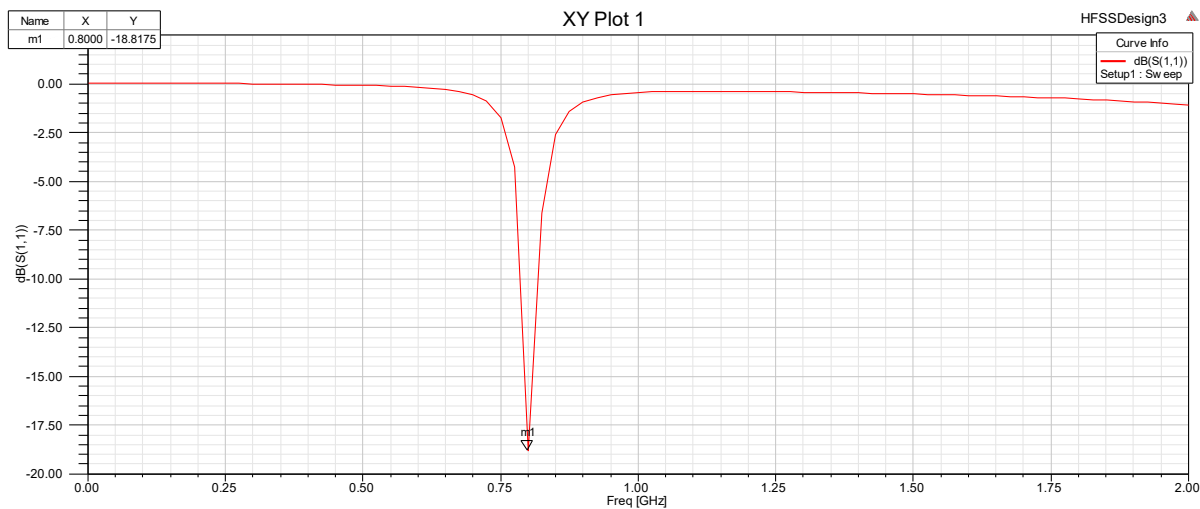


4.2.2.12. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

VSWR na širini proreza od 2 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je 1.2312.

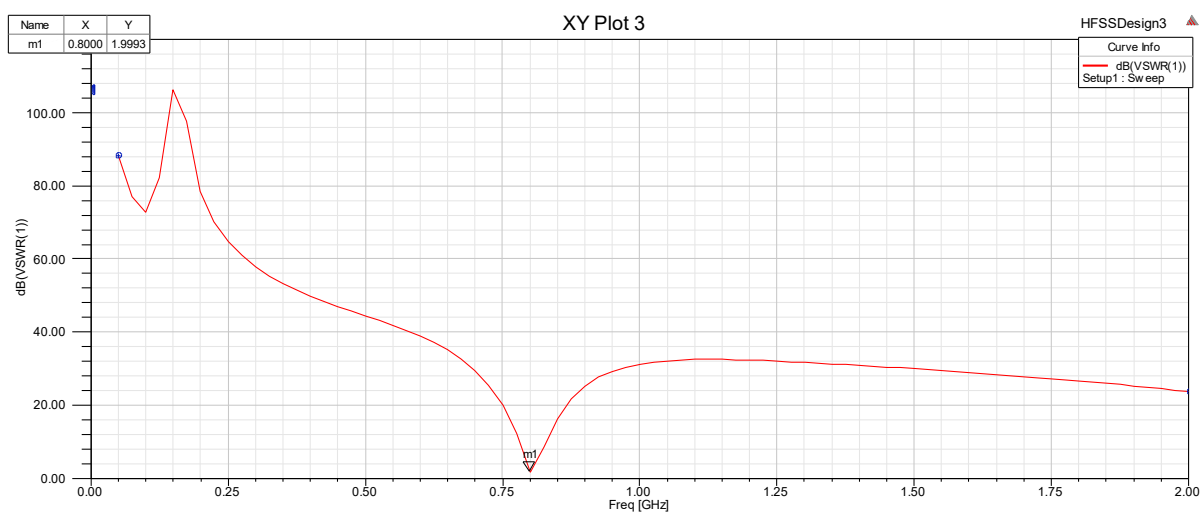
Nadalje će se širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu postaviti na 2.5 mm postavljanjem Y veličine kutije koja je oduzeta od unutarnjeg i vanjskog prstena na 2.5 mm.

Rezultati su sljedeći:



4.2.2.13. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

Parametar S_{11} na širini proreza od 2.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je -18.8175 db.

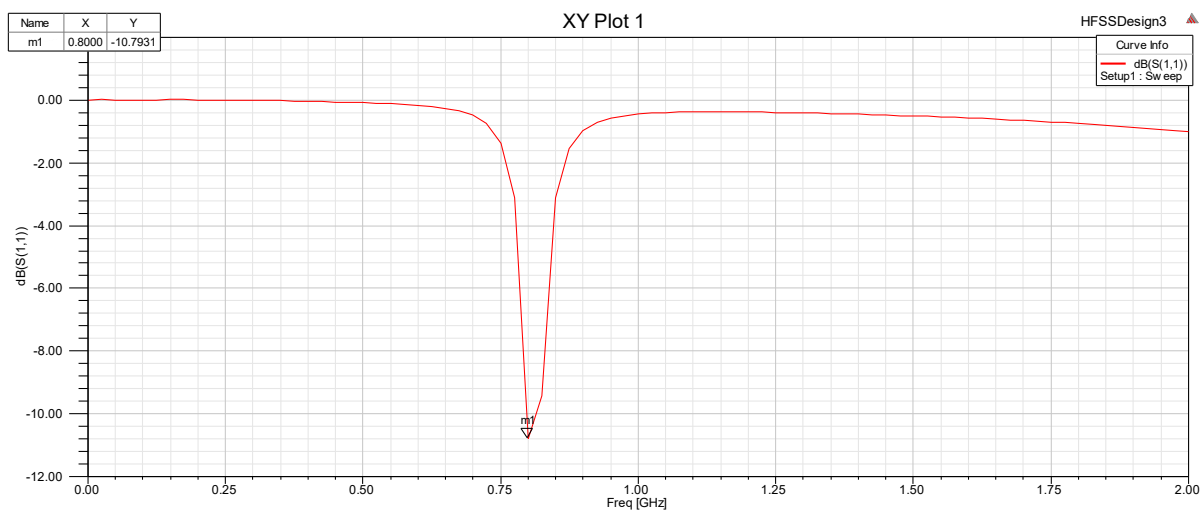


4.2.2.14. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

VSWR na širini proreza od 2.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je 1.9993.

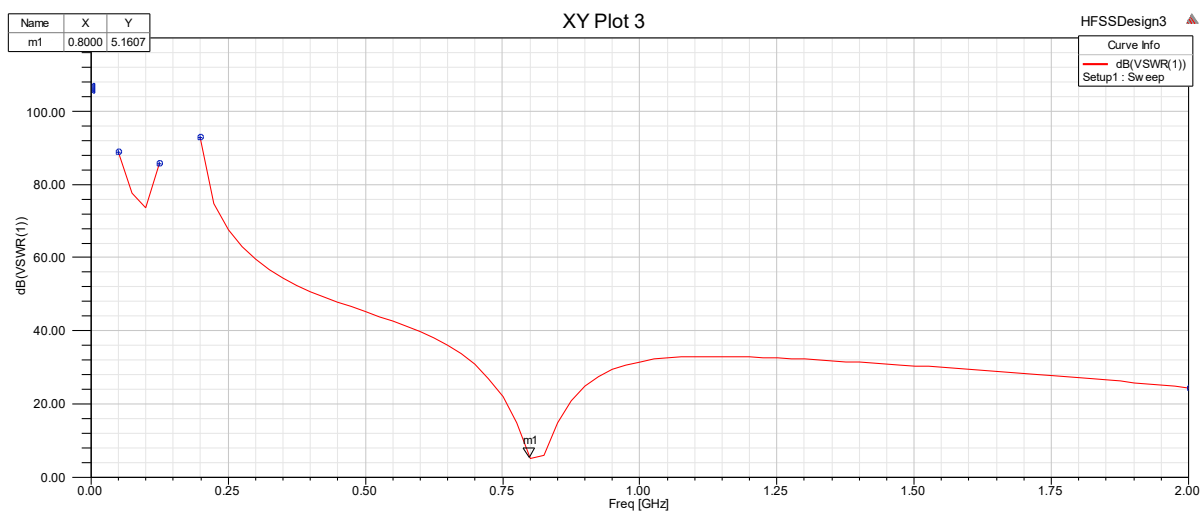
Nadalje će se širina proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu postaviti na 3.5 mm postavljanjem Y veličine kutije koja je oduzeta od unutarnjeg i vanjskog prstena na 3.5 mm.

Rezultati su sljedeći:



4.2.2.15. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

Parametar S_{11} na širini proreza od 3.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je -10.7931 db.



4.2.2.16. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

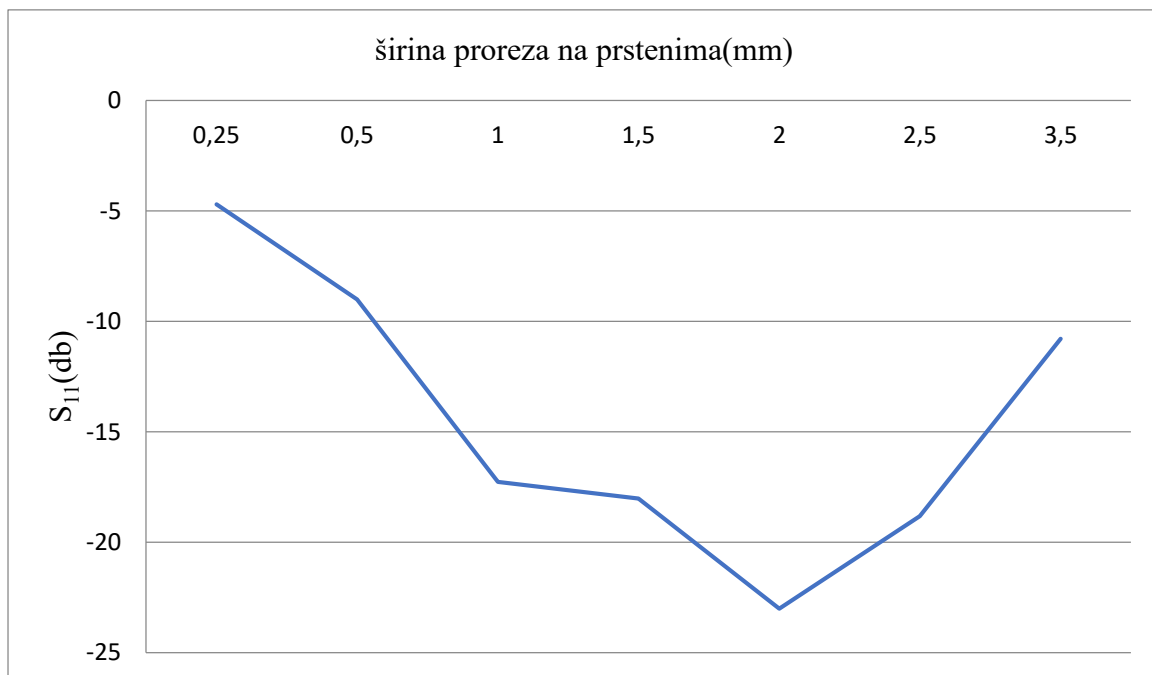
VSWR na širini proreza od 3.5 mm na unutarnjem i vanjskom proreza je 5.1607.

4.2.2.1. tablica ovisnosti parametara S_{11} i VSWR o širini proreza

Širina proreza(mm)	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3.5
S_{11} (db)	-4.702	-9.0071	-17.2708	-18.0322	-23.0047	-18.8175	-10.7931
VSWR	11.5276	6.4381	2.3935	2.1904	1.2312	1.9993	5.1607

Ova tablica prikazuje ovisnost parametara S_{11} i VSWR o veličini širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu metamaterijalne antene.

4.2.2.1. grafikon ovisnosti S_{11} o širini proreza



Ovaj graf prikazuje ovisnost parametra S_{11} od veličini širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu metamaterijalne antene.

4.2.2.2. grafikon ovisnosti VSWR o širini proreza

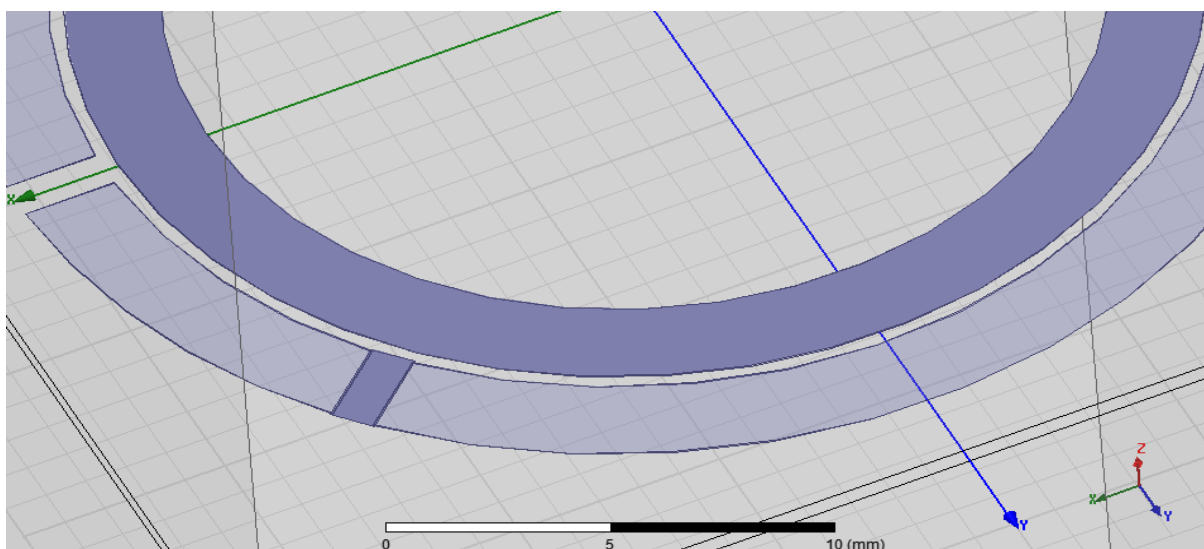


Ovaj graf prikazuje ovisnost parametra VSWR o veličini širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu metamaterijalne antene.

Iz grafova i tablice su vidljive promjene parametara S_{11} i VSWR u odnosu na promjenjene veličine širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu. S_{11} pokazuje veći pad na veličinama širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu od 1.5 mm, 2 mm, i 2.5 mm odnosu na početnu veličinu od 1 mm. VSWR pokazuje niže vrijednosti na veličinama širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu od 1.5 mm, 2mm i 2.5 mm u odnosu na početnu vrijednost od 1 mm.

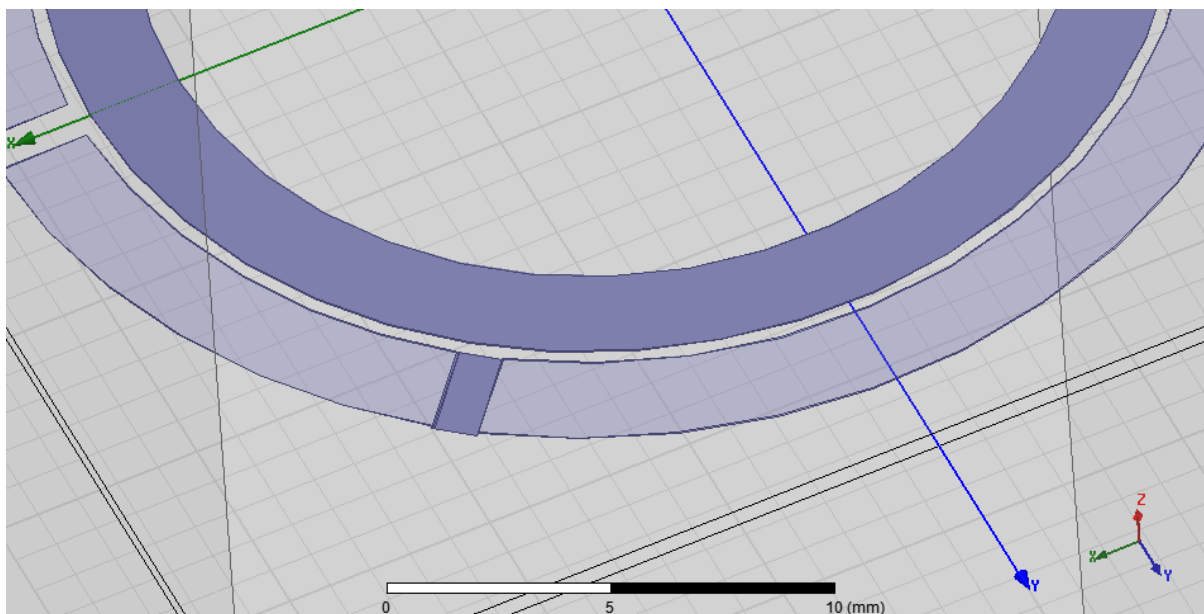
4.2.3. Mijenjanje položaja proreza na kojem je stavljena pobuda

U ovom poglavlju je opisano ponašanje metamaterijalne antene s promijenjenom veličinom položaja proreza na kojem je stavljena pobuda u odnosu na početni položaj. Promijenjeni parametri S_{11} i VSWR su zabilježeni te su njihove promjene prikazane u tablici i grafu radi boljeg prikaza njihovog mijenjanja u ovisnosti o veličini položaja proreza na kojem je stavljena pobuda. Položaj proreza na kojem je stavljena pobuda će se mijenjati tako što će se mijenjati položaj kutije koja je oduzeta od vanjskog prstena kako bi se napravio prorez. Mijenjat će se i položaj pravokutnika na kojem je stavljena kutija za jednaku veličinu kao i kutija. Veličine duljina udaljenosti između unutarnjeg i vanjskog prstena te širina proreza na vanjskom i unutarnjem prstenu ostaju na početnoj vrijednosti od 0.33 mm i 1 mm.



4.2.3.1. slika proreza na kojem je stavljena pobuda

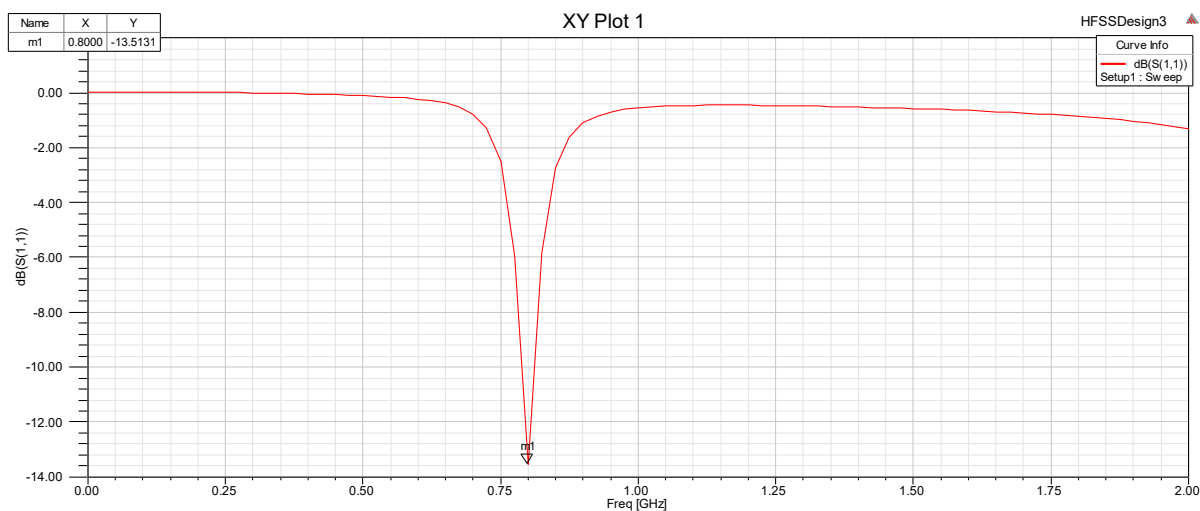
Na slici je prikazan prorez na kojem je stavljena pobuda na početnom položaju.



4.2.3.2. slika proreza na kojem je stavljena pobuda

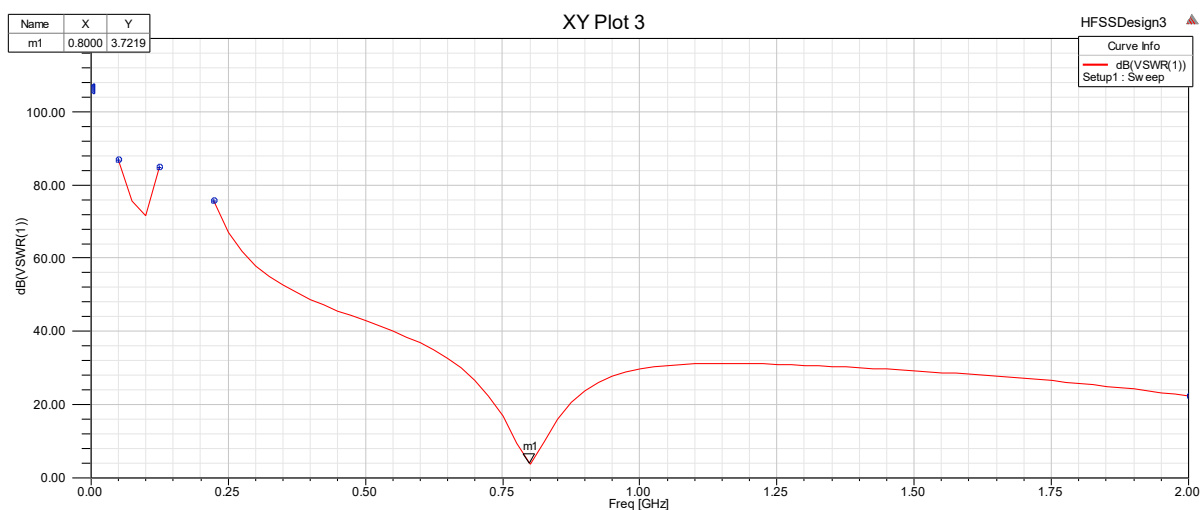
Na slici je prikazan prerez na kojem je stavljena pobuda na položaju pomaknutom 3 mm udesno u odnosu na početni položaj. Vidljive su razlike u odnosu na početni položaj.

Prva promjena je mijenjanje položaja proreza s pobudom 1 mm udesno u odnosu na središte proreza na prvotnom položaju. To je obavljeno micanjem kutije koja je oduzeta od vanjskog prstena da bi se napravio prorez za 1 mm udesno u odnosu na središte kutije na prvotnom položaju. Mora se pomaknuti i pravokutnik na prorezu na kojem je stavljena pobuda za istu veličinu u odnosu na središte pravokutnika na prvotnom položaju. Rezultati su sljedeći:



4.2.3.3. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

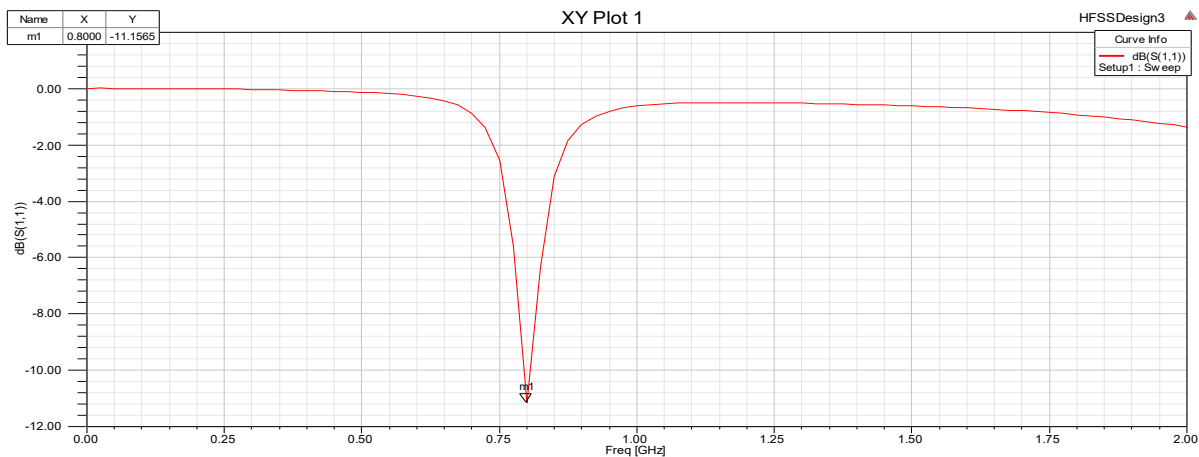
S_{11} parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 1 mm udesno u odnosu na sredinu prvotnog položaja je -13.5131 db.



4.2.3.4. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

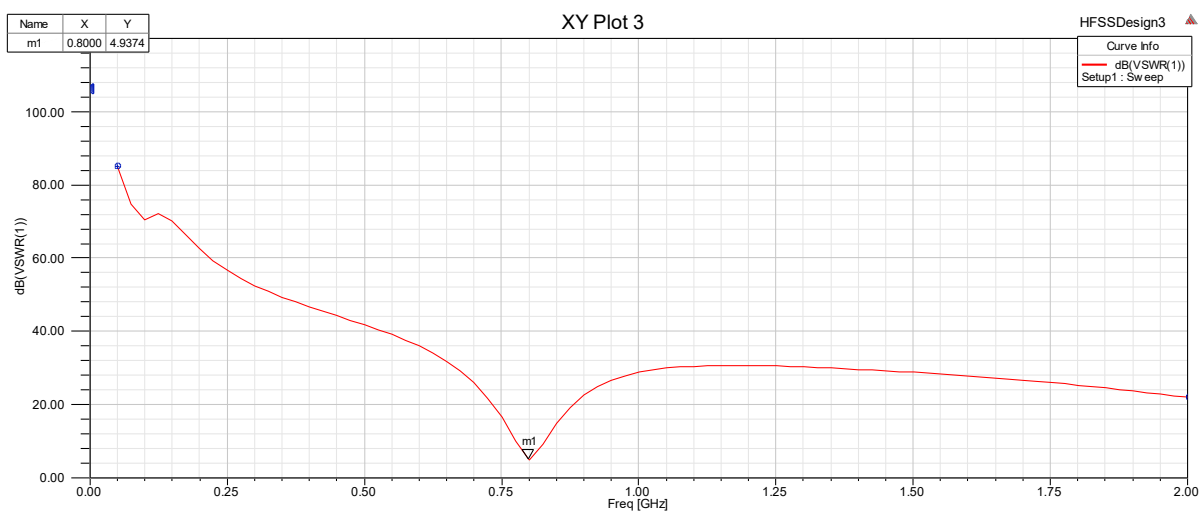
VSWR parametar parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 1 mm udesno u odnosu na sredinu prvotnog položaja je 3.7219.

sljedeća promjena je mijenjanje položaja proreza s pobudom 2 mm udesno u odnosu na središte proreza na prvotnom položaju. To je obavljeno micanjem kutije koja je oduzeta od vanjskog prstena da bi se napravio prorez za 2 mm udesno u odnosu na središte kutije na prvotnom položaju. Mora se pomaknuti i pravokutnik na prorezu na kojem je stavljena pobuda za istu veličinu u odnosu na središte pravokutnika na prvotnom položaju. Rezultati su sljedeći:



4.2.3.5. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

S_{11} parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 2 mm udesno u odnosu na sredinu prvotnog položaja je -11.1565 db.

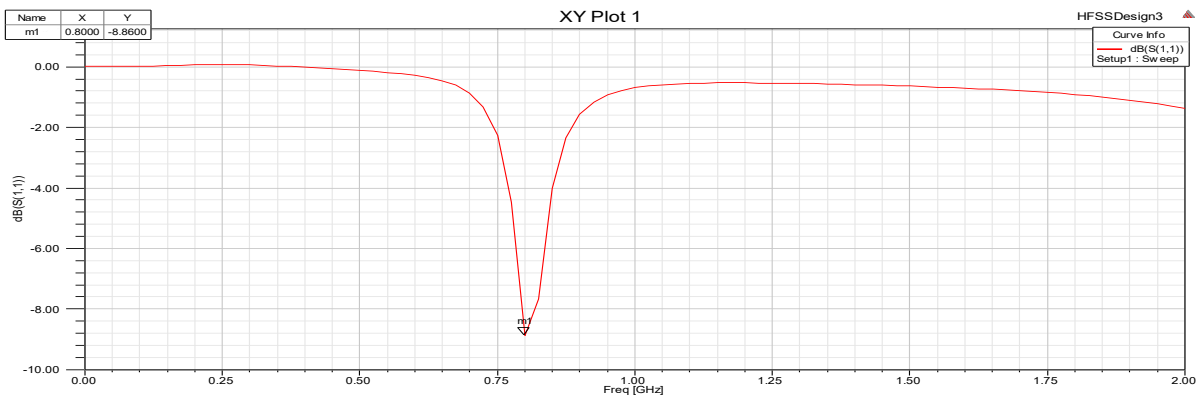


4.2.3.6. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

VSWR parametar parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 2 mm udesno u odnosu na sredinu prvotnog položaja je 4.9374.

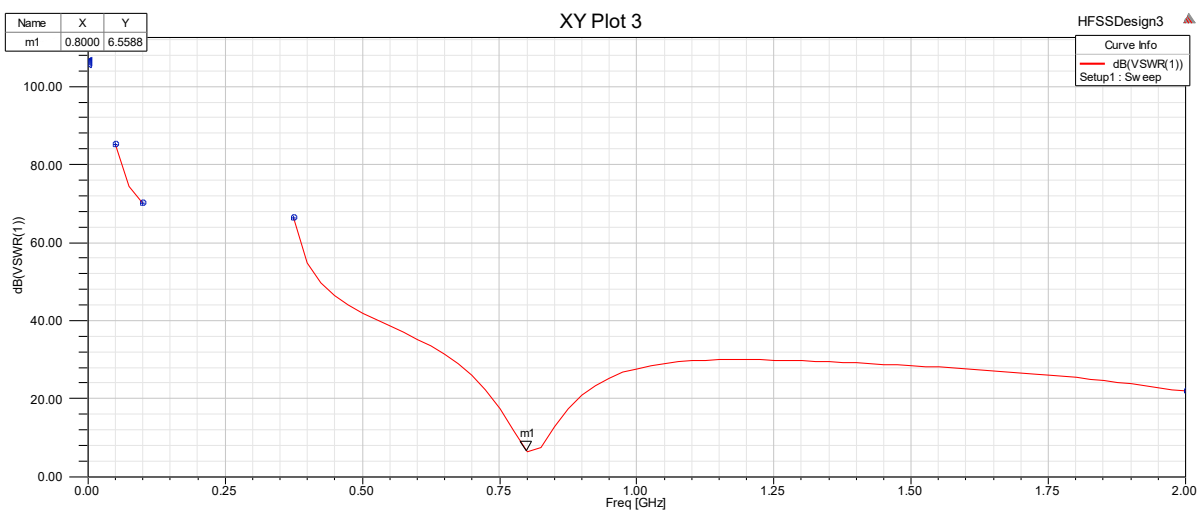
Treća promjena je mijenjanje položaja proreza s pobudom 3 mm udesno u odnosu na središte proreza na prvotnom položaju. To je obavljeno micanjem kutije koja je oduzeta od vanjskog prstena da bi se napravio prorez za 3 mm udesno u odnosu na središte kutije na prvotnom

položaju. Mora se pomaknuti i pravokutnik na prerezu na kojem je stavljena pobuda za istu veličinu u odnosu na središte pravokutnika na prvotnom položaju. Rezultati su sljedeći:



4.2.3.7. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

S_{11} parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 3 mm udesno u odnosu na sredinu prvotnog položaja je -8.86 db.

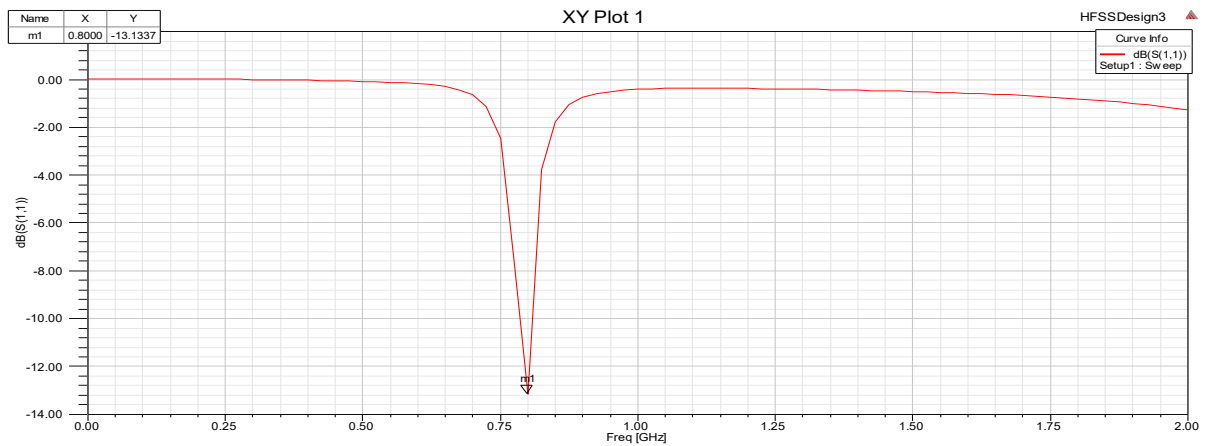


4.2.3.8. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

VSWR parametar parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 3 mm udesno u odnosu na sredinu prvotnog položaja je 6.5588.

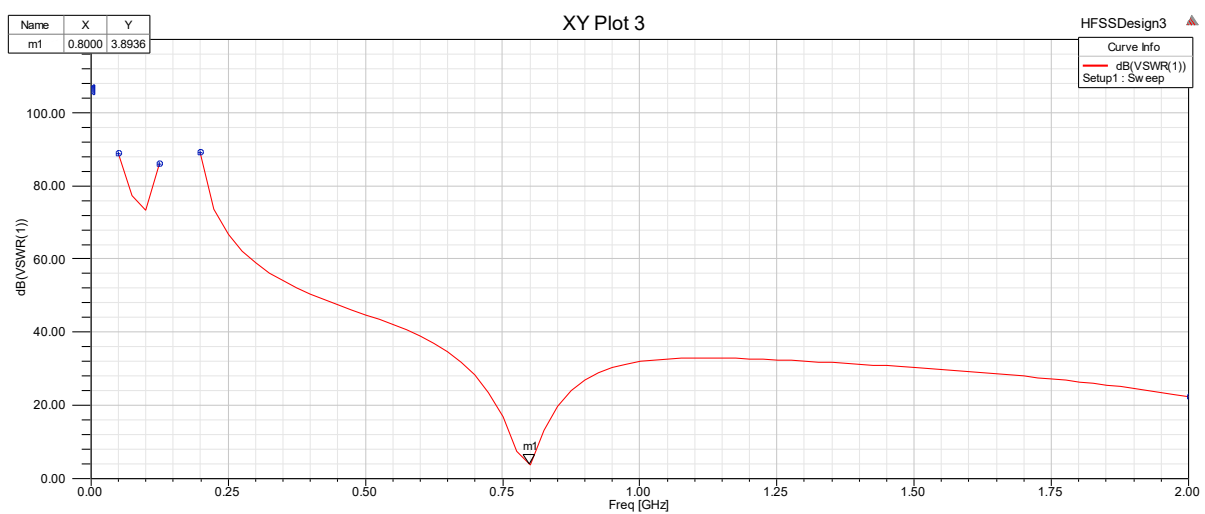
Nadalje će se položaj proreza s pobudom pomaknuti 1mm lijevo u odnosu na središte prvotnog položaja. To je obavljeno pomicanjem kutije koja je oduzeta od vanjskog prstena bi se na pravio prorez 1 mm lijevo u odnosu na središte kutije na prvotnom položaju. Mora se

pomaknuti i pravokutnik na kojem je stavljena pobuda istu veličinu u odnosu na središte pravokutnika na prvotnom položaju. Rezultati su sljedeći:



4.2.3.9. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

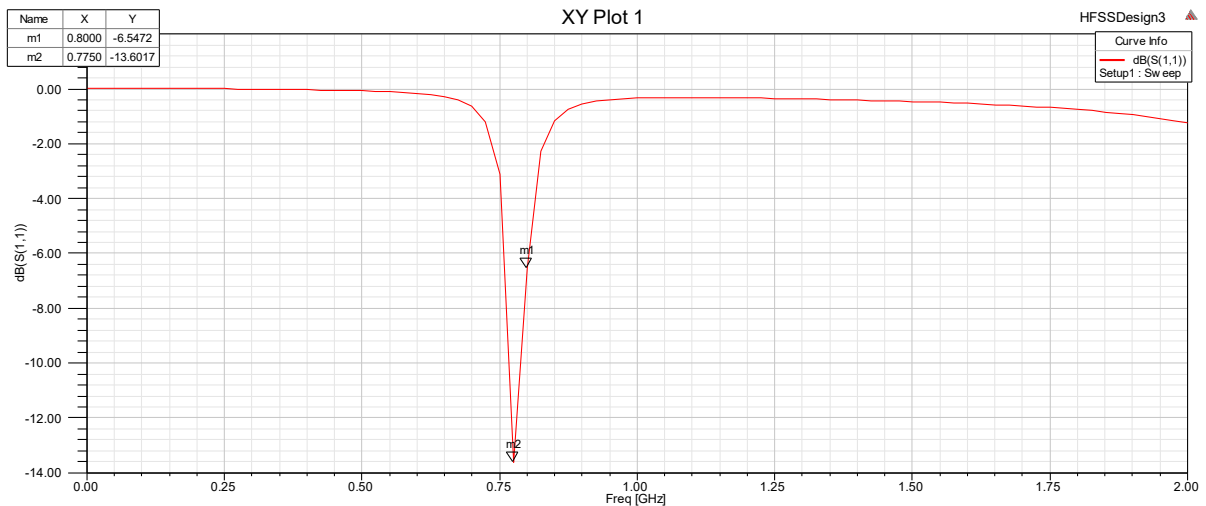
S_{11} parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 1 mm ulijevo u odnosu na sredinu prvotnog položaja je -13.1337 db.



4.2.3.10. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

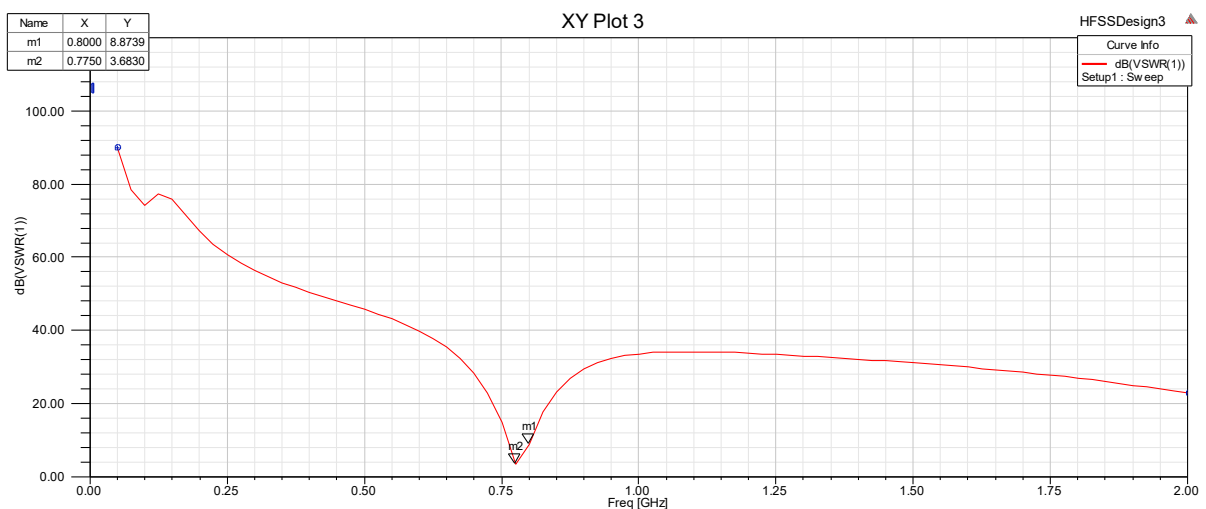
VSWR parametar parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 1 mm ulijevo u odnosu na sredinu prvotnog položaja je 3.8936.

Nadalje će se položaj proreza s pobudom pomaknuti 1 mm lijevo u odnosu na središte prvotnog položaja. To je obavljeno pomicanjem kutije koja je oduzeta od vanjskog prstena bi se na pravio prerez 2 mm lijevo u odnosu na središte kutije na prvotnom položaju. Mora se pomaknuti i pravokutnik na kojem je stavljena pobuda istu veličinu u odnosu na središte pravokutnika na prvotnom položaju. Rezultati su sljedeći:



4.2.3.11. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

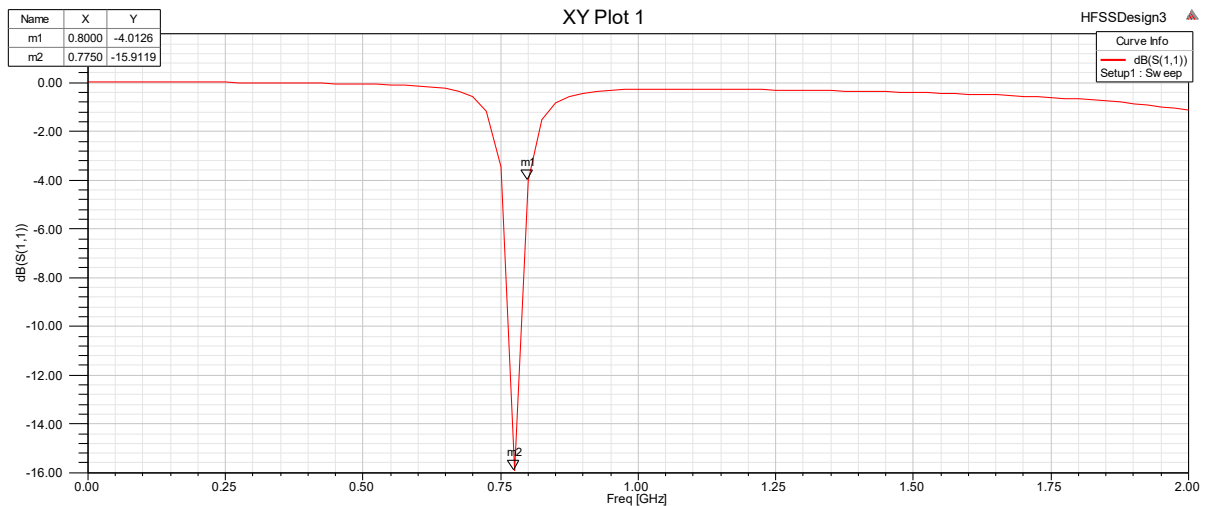
S_{11} parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 2 mm ulijevo u odnosu na sredinu prvotnog položaja je -6.5472 db. Na području od 775 MHz je uočen veći pad od -13.6017 db.



4.2.3.12. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

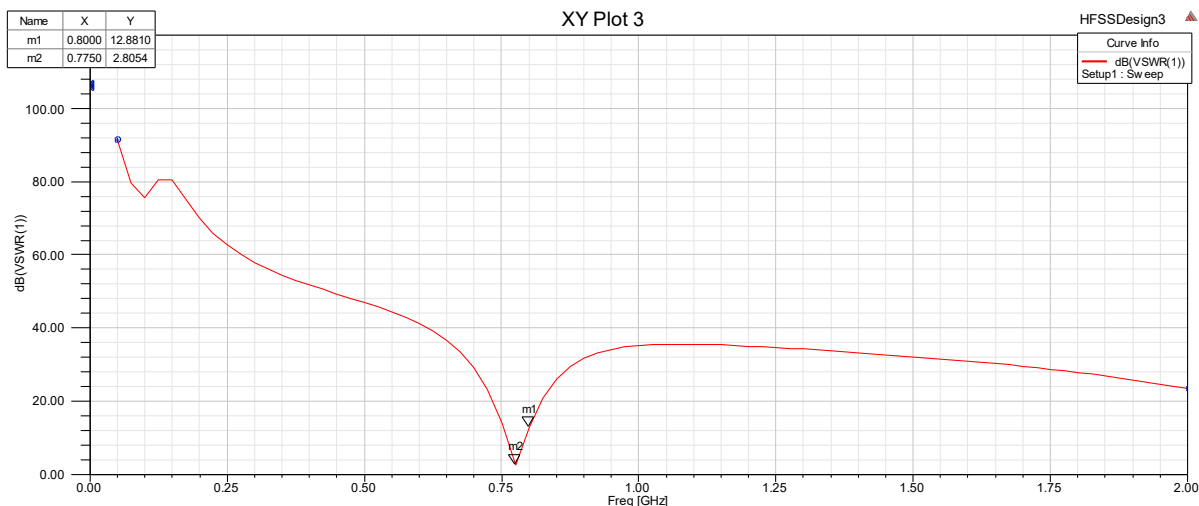
VSWR parametar parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 2 mm ulijevo u odnosu na sredinu prvotnog položaja je 8.8739. Na području od 775 MHz je uočena manja vrijednost VSWRa od 3.6830.

Nadalje će se položaj proreza s pobudom pomaknuti 1 mm lijevo u odnosu na središte prvotnog položaja. To je obavljeno pomicanjem kutije koja je oduzeta od vanjskog prstena bi se na pravio prorez 3 mm lijevo u odnosu na središte kutije na prvotnom položaju. Mora se pomaknuti i pravokutnik na kojem je stavljena pobuda istu veličinu u odnosu na središte pravokutnika na prvotnom položaju. Rezultati su sljedeći:



4.2.3.13. slika S_{11} parametra metamaterijalne antene

S_{11} parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 3 mm ulijevo u odnosu na sredinu prvotnog položaja je -4.0126 db. Na području od 775 MHz je uočen veći pad od -15.9119 db.



4.2.3.14. slika VSWR parametra metamaterijalne antene

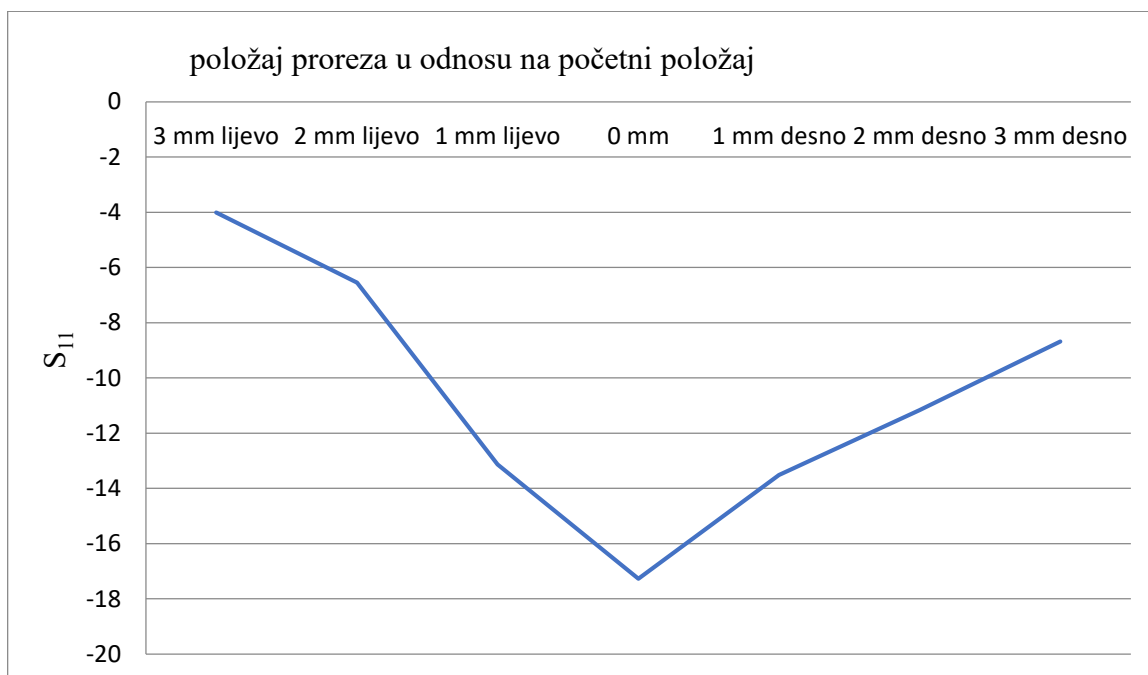
VSWR parametar parametar na položaju proreza s pobudom pomaknutim za 3 mm ulijevo u odnosu na sredinu prvotnog položaja je 12.881. Na području od 775 MHz je uočena manja vrijednost VSWRa od 2.8054.

4.2.3.1. tablica ovisnosti parametara S_{11} i VSWR o položaju proreza na kojem je stavljena pobuda

Položaj proreza (mm)	3 lijevo	2 lijevo	1 lijevo	0	1 desno	2 desno	3 desno
S_{11} (db)	-4.0126	-6.5472	-13.1337	-17.2708	-13.5131	-11.1565	-8.68
VSWR	12.881	8.8739	3.8936	2.3935	3.7219	4.9374	6.5588

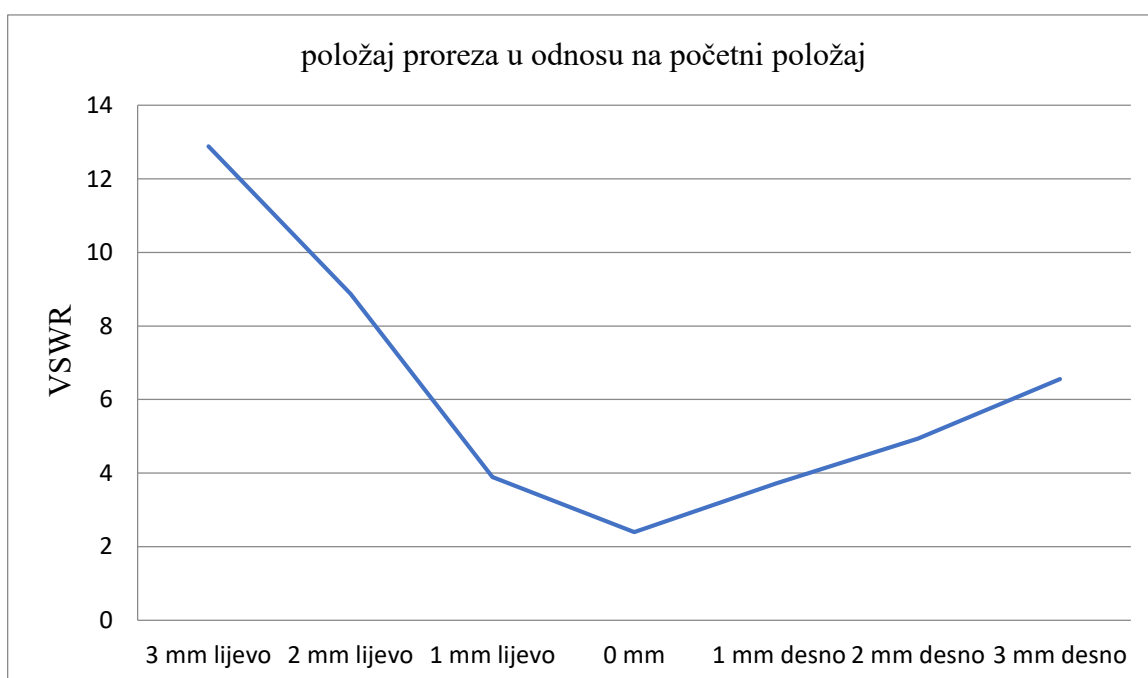
Ova tablica prikazuje ovisnost parametara S_{11} i VSWR o položaju proreza na kojem je stavljena pobuda.

4.2.3.1. grafikon ovisnosti parametra S_{11} o položaju proreza na kojem je stavljena pobuda



Ovaj graf prikazuje ovisnost parametra S_{11} o položaju proreza na kojem je stavljena pobuda.

4.2.3.2. grafikon ovisnosti parametra VSWR o položaju proreza na kojem je stavljena pobuda



Ovaj graf prikazuje ovisnost parametra VSWR o položaju proreza na kojem je stavljena pobud

Iz tablice i grafova je vidljivo kako se parametri S_{11} i VSWR mijenjaju s promjenom položaja proreza na kojem je stavljena pobuda. S_{11} pokazuje najveći pad na početnom položaju proreza na kojem je stavljena pobuda dok se povećava s mijenjanjem položaja ulijevo i udesno.

VSWR pokazuje najnižu vrijednost na početnom položaju dok se povećava s mijenjanjem položaja ulijevo i udesno.

5. ZAKLJUČAK

Uočene su razlike u parametrima metamaterijalne antene s promijenjenim vrijednostima duljine razmaka između unutarnjeg i vanjskog prstena, širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu te promijeni položaja proreza na kojem je stavljena pobuda. Kada se mijenjala vrijednost udaljenosti između prstena i položaja proreza na kojem je stavljena pobuda promjene nisu pokazale poboljšanje odbijanja zračenja metamaterijalne antene u odnosu na početne vrijednosti. Kada se mijenjala vrijednost širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu, uočeno je poboljšanje odbijanja zračenja metamaterijalne antene za vrijednosti od 1.5 mm, 2 mm i 2.5 mm u odnosu na početnu vrijednost od 1 mm. To ukazuje na mogućnost poboljšanja odbijanja zračenja metamaterijalnih antena promjenom određenih vrijednosti kao što je u ovom slučaju promjena širine proreza na unutarnjem i vanjskom prstenu. Dolje su prikazane tablice odnosa veličina duljine razmaka između prstena, širine proreza na prstenu te položaj proreza s pobudom.

5.1. tablica ovisnosti parametara S_{11} i VSWR o duljini razmaka između prstena

Duljina razmaka (mm)	0.16	0.33	0.4	0.5	0.6
$S_{11}(\text{db})$	-0.1957	-17.2708	-7.3823	-2.5470	-1.6657
VSWR	38.8847	2.3935	7.9350	16.7382	20.3917

Iz tablice je vidljivo da metamaterijalna antena najučinkovitije radi na duljini razmaka od 0.33 mm jer za tu veličinu ima najniži VSWR.

5.2. tablica ovisnosti parametara S_{11} i VSWR o širini razmaka na prstenima

Širina proreza (mm)	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3.5
S_{11}	-4.702	-9.0071	-17.2708	-18.0322	-23.0047	-18.8175	-10.7931
VSWR	11.5276	6.4381	2.3935	2.1904	1.2312	1.9993	5.1607

Iz tablice je vidljivo poboljšanje rada antene na duljinama od 1.5 mm, 2 mm i 2.5 mm u odnosu na početnu veličinu od 1 mm, jer VSWR je niži za te veličine nego za početnu veličinu.

5.3. tablica ovisnosti parametara S_{11} i VSWR o položaju proreza u odnosu na početni

Položaj proreza (mm)	3 lijevo	2 lijevo	1 lijevo	0	1 desno	2 desno	3 desno
S_{11} (db)	-4.0126	-6.5472	-13.1337	-17.2708	-13.5131	-11.1565	-8.68
VSWR	12.881	8.8739	3.8936	2.3935	3.7219	4.9374	6.5588

Iz tablice je vidljivo da metamaterijalna antena najučinkovitije radi na početnom položaju proreza s pobudom jer je VSWR najniži na tom položaju.

LITERATURA

- [1] S. Dwivedi, Metamaterial inspired microstrip patch antenna
- [2] HFSS, dostupno na <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>
- [3] S. Zuffanelli, Antenna design solutions for RFID tags based on metamaterial-inspired resonators and other structures

SAŽETAK

U ovom završnom radu su istražene mogućnosti metamaterijalnih antena u mikrovalnom području. Dizajnirana je metamaterijalna antena s parametrima u mikrovalnom području u programu ANSYS HFSS. Nakon modeliranja antene, postepeno su joj mijenjane vrijednosti uključujući duljina razmaka između prstena, širina razmaka na unutarnjem i vanjskom prstenu te pozicija razmaka na kojem je stavljena pobuda. Ustanovljeno je da promjene tih vrijednosti uzrokuju promjene u S_{11} i VSMR parametre u odnosu na početne parametre od kojih neke uzrokuju povoljnije odbijanje energije od antene u odnosu na početne vrijednosti.

Ključne riječi: metamaterijalna antena, ANSYS HFSS

ABSTRACT

Metamaterials in the microwave field

In this bachelor thesis, the possibilities of metamaterial antennae properties in the microwave field are explored. A metamaterial antenna with parameters in the microwave field was designed in the program ANSYS HFSS. After the modeling of the antenna its values were subtly changed including the distance between the rings, the width of the cut on the outer and inner ring and the position of the cut that contains the port. It is established that the change of the values causes change in the S_{11} and VSMR parameters in relation to starting parameters and some changes cause more favorable power reflection of the antenna than with the starting values.

Key words: metamaterial antenna, ANSYS HFSS

ŽIVOTOPIS

Ivan Romanić rođen je 2. kolovoza 1996. godine u Našicama. Pohađao je osnovnu školu Augusta Harambašića u Donjem Miholjcu. Nakon završenog osnovnoškolskog obrazovanja upisuje srednju školu Donji Miholjac, smjer opća gimnazija. 2015. godine upisuje Fakultet elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, preddiplomski sveučilišni studij, smjer računarstvo.

Ivan Romanić