

Mjerenje koeficijenta refleksije planarnih dipol antena

Matok, Nikola

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:200:126494>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Stručni studij

MJERENJE KOEFICIJENATA REFLEKSIJE
PLANARNIH DIPOL ANTENA

Završni rad

Nikola Matok

Osijek, 2019.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. ANTENA.....	2
2.1 Dipol Antena.....	2
2.1.1. Poluvalna dipol antena	5
2.1.2. Punovalna dipol antena	6
2.1.3. Kratka dipol antena	6
2.1.4. Unipol antena	7
2.2. Mjerenja	7
2.3. Rezultati mjerenja	9
3. ANTENA TIP-1	10
4. ANTENA TIP-2	29
5. ANTENA TIP-3	48
6. ANTENA TIP-4	67
7. ANTENA TIP-5	86
8. ANTENA TIP-6	106
9. ZAKLJUČAK.....	119
LITERATURA	120
SAŽETAK.....	122
ŽIVOTOPIS.....	123

1. UVOD

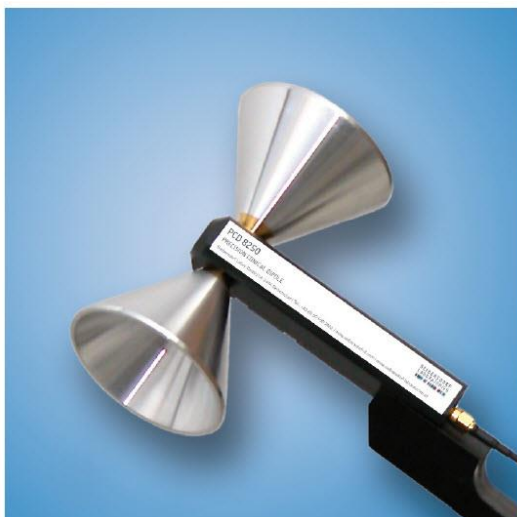
Ovaj završni rad bavi se mjerenjem koeficijenta refleksije 6 planarnih dipol antena za frekvencijsko područje od 90 Mhz do 6.5 Ghz. Pri tome je rađena modifikacija antena dodavanjem vodljive podloge na stražnjoj plohi antene zbog proširenja frekvencijskog opsega. Iako su takve modifikacije utjecale i na dijagrame zračenja ovih antena, dijagrami zračenja nisu bili predmetom ovih mjerenja. Za svaku antenu i za svaku njezinu modifikaciju mjeren je S11 parametar te Smithov dijagram. Nakon mjerenja napravljen je potreban izračun, grafički i tablično su prikazani rezultati te je svaki rezultat analiziran i prokomentiran. U zaključku je svaka antena analizirana u kojoj izvedbi pruža najbolje rezultate, i u kojoj ne zadovoljava. Na kraju je navedena korištena literatura, kratak sažetak s najbitnijim činjenicama ovog rada, te ključne riječi i životopis autora.

2. ANTENA

Antena je uređaj koji pretvara elektromagnetsku energiju u elektromagnetski val koji se širi u prostoru ili obrnuto. Predstavlja niz vodiča koji su spojeni na prijemnik ili odašiljač, a mogu biti aktivne ili pasivne. Mogu se dizajnirati za prijenos ili prijem radio valova u svim vodoravnim smjerovima. U principu, antena je sučelje između elektromagnetskih valova koji se šire kroz prostor i električnih struja koje se kreću u metalnim vodičima, a koriste se s odašiljačem ili prijemnikom. Dok se elektroni u električnoj energiji pomiču, stvaraju nevidljivo elektromagnetsko zračenje u obliku radiovalova. Valovi predstavljaju prijenos energije titranja. Ovi valovi putuju brzinom svjetlosti od odašiljača do prijemnika koji ih vraća u izvorni oblik (slika, zvuk, tekst...). Svaka antena ima svoje parametre koji je opisuju, neki od najvažnijih su: polarizacija, impedancija, usmjerenost, dijagram zračenja, koeficijent refleksije, dobitak i mnoge druge karakteristike. Antene su povezane s frekvencijom, što znači da sve antene rade u određenim frekvencijskim područjima. Stoga se dijele na dugovalne odašiljačke antene, kratkovalne antene, dipol antene, ultrakratkovalne, mikrovalne te mnoge druge. U ovom radu biti će govora o karakteristikama dipol antenama koje se najčešće koriste za frekvencijsko područje od 30 MHz do 5 GHz.

2.1 Dipol Antena

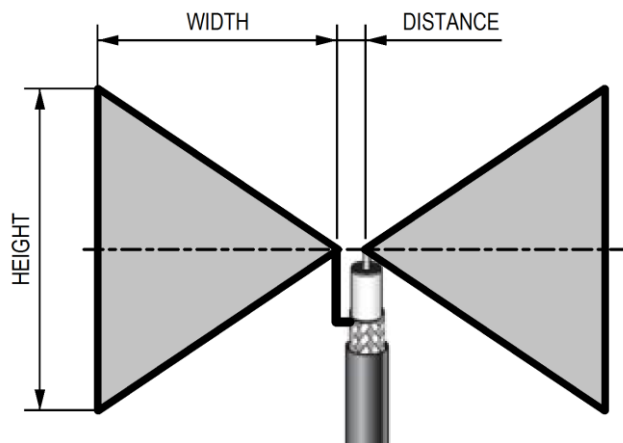
U radiju i telekomunikacijama dipolna antena je najjednostavnija i najčešće korištena vrsta antena. Dipol označava početak razvoja antena, a predstavlja svaku strukturu izvedenu sa dvije vodljive strukture postavljene po pravcu (npr: konusni dipol, bikonusna dipol antena, BOW-TIE antena, obična dipol antena...). Dipol antena se koristi za slanje i primanje signala. Najčešće se sastoji od dva vodiča ravnomjerno orijentiranih na duljini s linijom povezanom između njih. Dipol antena se često koristi kao rezonantna antena, ako je prijelazna točka takve antene kratko spojena, tada će moći rezonirati na određenoj frekvenciji.



Slika 2.1. Konusna dipol antena



Slika 2.2. Bikonusna (žičana) dipol antena



Slika 2.3. BOW-TIE antena



Slika 2.4. Dipol antena



Slika 2.5. Savijeni-dipol antena

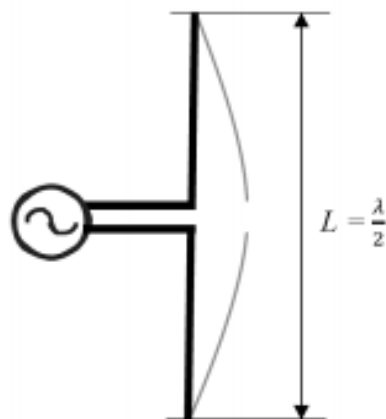
Koeficijent refleksije prikazuje koliko snage se reflektiralo na prilazu antene, mjeri se u dB i negativan je. Ako je vrijednost S11 parametara 0 dB, tada se cijela snaga reflektirala, a ništa nije antena apsorbirala. Kada je S11 manji od -10dB, tada se antena može koristiti, što je koeficijent refleksije manji, tada je refleksija niža a zračenje antene je veće te antena bolje radi.

Ulazna impedancija povezuje napon i struju na ulazu antene. Realni dio impedancije predstavlja energiju koja zrači ili se apsorbira unutar antene. Imaginarni dio impedancije predstavlja snagu koja je pohranjena u bliskom polju antene, to je snaga koja se ne zrači. Svaka dobro projektirana antena na određenoj frekvenciji ima samo realni dio impedancije, ali nema antene koja bi imala samo realni dio impedancije na svim frekvencijama. Zbog toga impedancija varira ovisno o frekvenciji.

2.1.1. Poluvalna dipol antena

Cijela duljina poluvalne dipol antene jednaka je polovici valne duljine. Sastoji se od dva jednaka vodljiva elementa, najčešće žica ili metalnih cijevi. Napaja se u sredini gdje je vrijednost impedancije najniža.

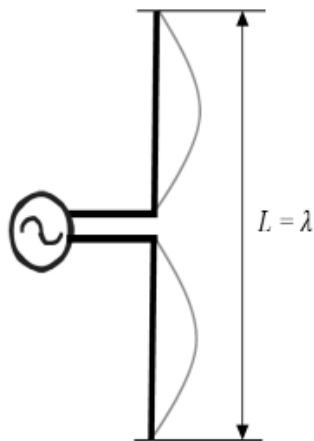
Usmjerenost poluvalne dipol antene iznosi 2,15 dB, a impedancija se sastoji od otpora zračenja (79Ω), te reaktancije ($42,5 \Omega$).



Slika 2.6 Poluvalna dipol antena

2.1.2. Punovalna dipol antena

Dipol antena je punovalna kada je njezina duljina jednaka valnoj duljini ($L = \lambda$). Otpor zračenja iznosi 199Ω . Dobitak i usmjerenost punovalnog dipola su otprilike jednaki, a iznose oko 3,82 dB.



Slika 2.7 Punovalna dipol antena

2.1.3. Kratka dipol antena

Kratka dipol antena je vrsta dipola koji je puno manji u odnosu na valnu duljinu. On ima veoma nizak otpor zračenja kao i visoku kapacitivnu reaktanciju zbog čega je neučinkovit. Mogu se jedino koristiti za dulje valne duljine. Otpor zračenja kratkog dipola se računa prema izrazu:

$$R_{EKD} = \frac{1}{4} R_{EED} \quad (2-1)$$

R_{EKD} = otpor zračenja kratkog dipola

R_{EED} = otpor zračenja električnog dipola

2.1.4. Unipol antena

Unipol antena je dobra za spajanje na nesimetričnu strukturu. Duljina antene se uzima kao visina antene pa se zbog toga označava s H. Kod unipola snaga zračenja je dvostruko manja jer se samo jedan krak napaja, zbog toga se otpor zračenja unipola računa prema izrazu:

$$R_{\text{UNIPOL}} = \frac{1}{2} * 20\pi^2 * \left(\frac{2H}{\lambda}\right)^2 \quad (2-2)$$

R_{UNIPOL} – otpor zračenja unipola

H – duljina antene

λ - valna duljina

2.2. Mjerenja

Za mjerenje S11 parametara i smithovog dijagrama dipol antena korišten je analizator spektra Keysight N9914A. Njegova maksimalna frekvencija iznosi 6,5 GHz. Standardni model uključuje analiziranje kabela i antena. Izvršava precizna mjerenja $\pm 0,5$ dB, a masa mu iznosi oko 3 kg. Također je korišten kabel KSR 195 te adapter SMA_m/N_f kako bi se antena mogla spojiti na Keysight analizator. Bakrene trake dimenzija 100 x 25 mm su lijepljene na stražnjoj plohi antene.



Slika 2.8. Analizator spektra Keysight N9914A



Slika 2.9. Adapter SMA_m/N_f



Slika 2.11. Kabel KSR-195



Slika 2.10. Bakrena traka

2.3. Rezultati mjerenja

Za svaku antenu, kao i svaku njezinu modifikaciju mjereni su S11 parametar te Smithov dijagram. Iz Smithova dijagrama saznata je ulazna impedancija, realni i imaginarni dio. Međutim, to su vrijednosti S11 parametara (Re i Im), stoga su korištene formule pretvorbe za dobitak točnih vrijednosti realnog i imaginarnog dijela ulazne impedancije.

$$Zul(real) = Z_0 * \frac{1-R^2-X^2}{(1-R)^2+X^2} \quad (2-3)$$

$$Zul(imag) = Z_0 * \frac{2X}{(1-R)^2+X^2} \quad (2-4)$$

Formula (2-3) korištena je za računanje realnog dijela ulazne impedancija, a formula (2-4) korištena je za računanje imaginarnog dijela ulazne impedancije.

Z_0 – ulazna impedancija kabela (50Ω)

R – realni dio S11

X – imaginarni dio S11

Nakon izračuna realnog i imaginarnog dijela, apsolutna vrijednost ulazne impedancije se računa prema izrazu (2-5), a fazni kut prema izrazu (2-6).

$$|Z| = \sqrt{(Zul(real))^2 + (Zul(imag))^2} \quad (2-5)$$

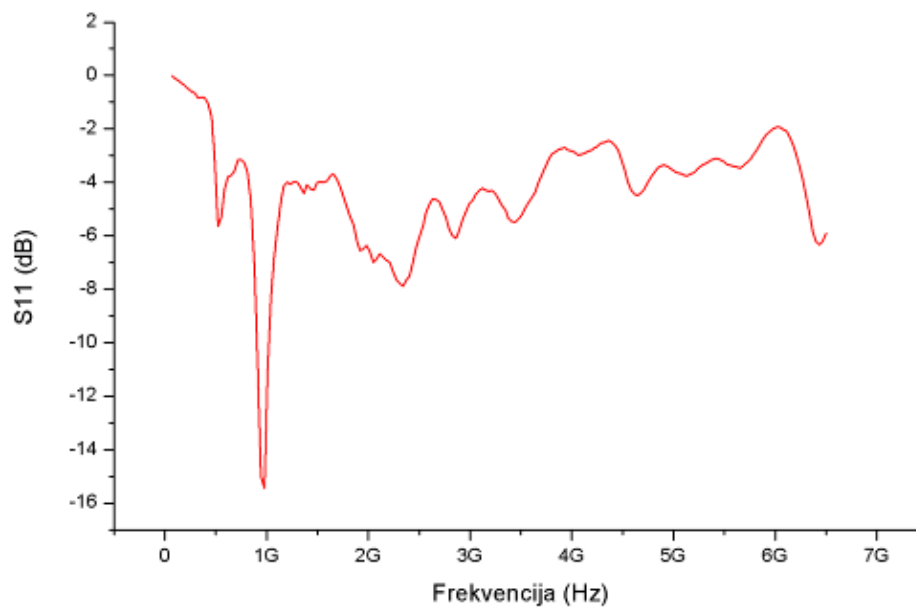
$$\Phi = \arctg \frac{Zul(imag)}{Zul(real)} \quad (2-6)$$

3. ANTENA TIP-1

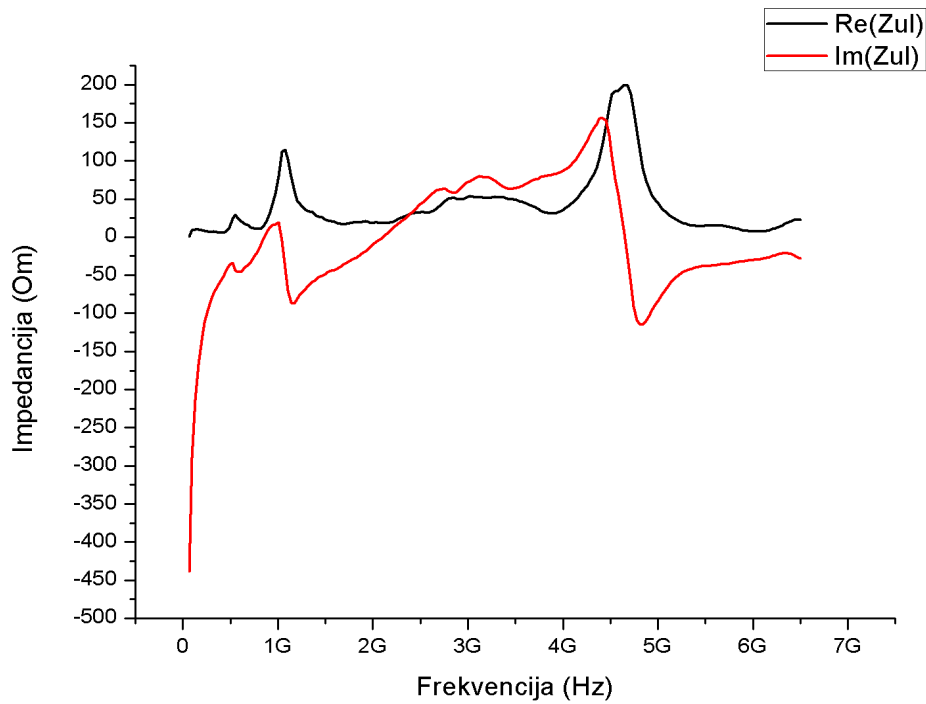
Ova antena je izvedena kao planarna dipolna struktura na tiskanoj pločici. Karakteristika izvedbe je Dog-Bone („pseća kost“) oblik sa tri različita krajnja završetka.



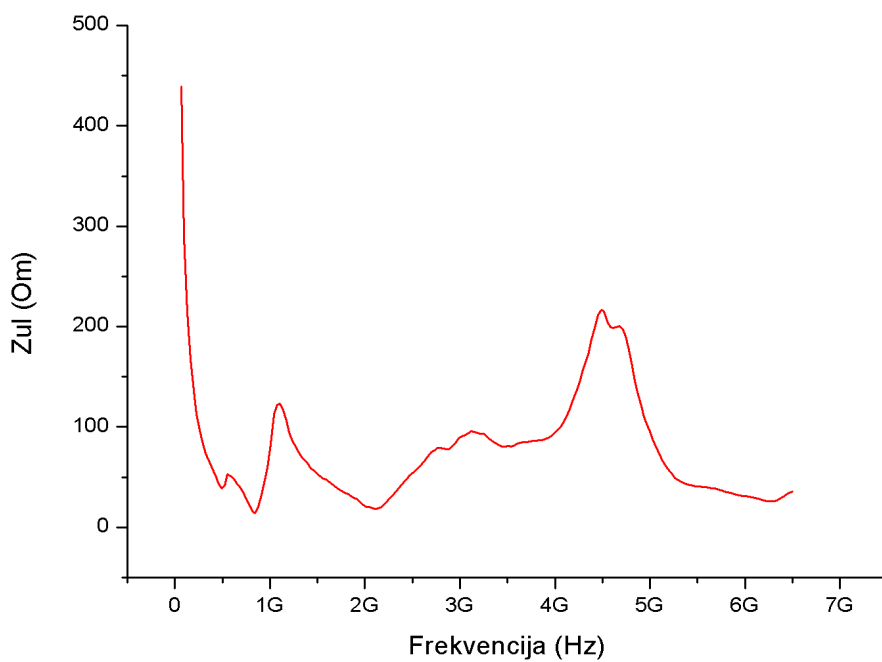
Slika 3.1. Originalna antena Tip 1



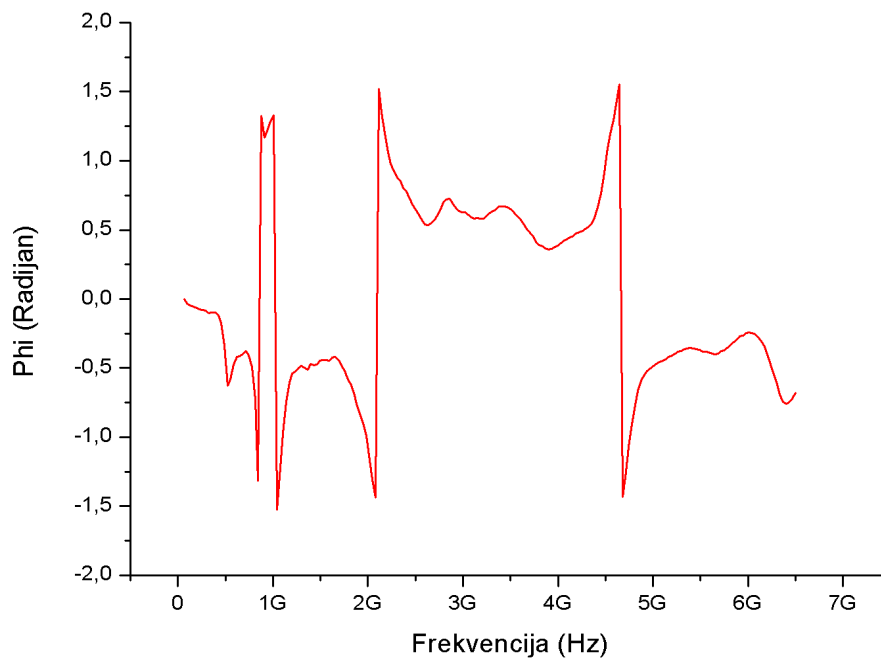
Slika 3.2. S11 Parametar



Slika 3.3. Realni i imaginarni dio impedancije



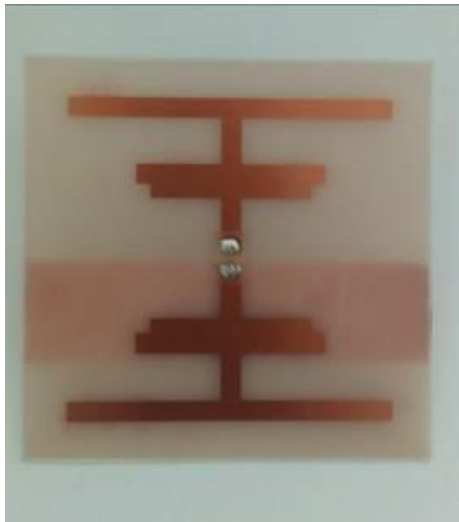
Slika 3.4 Ulazna impedancija



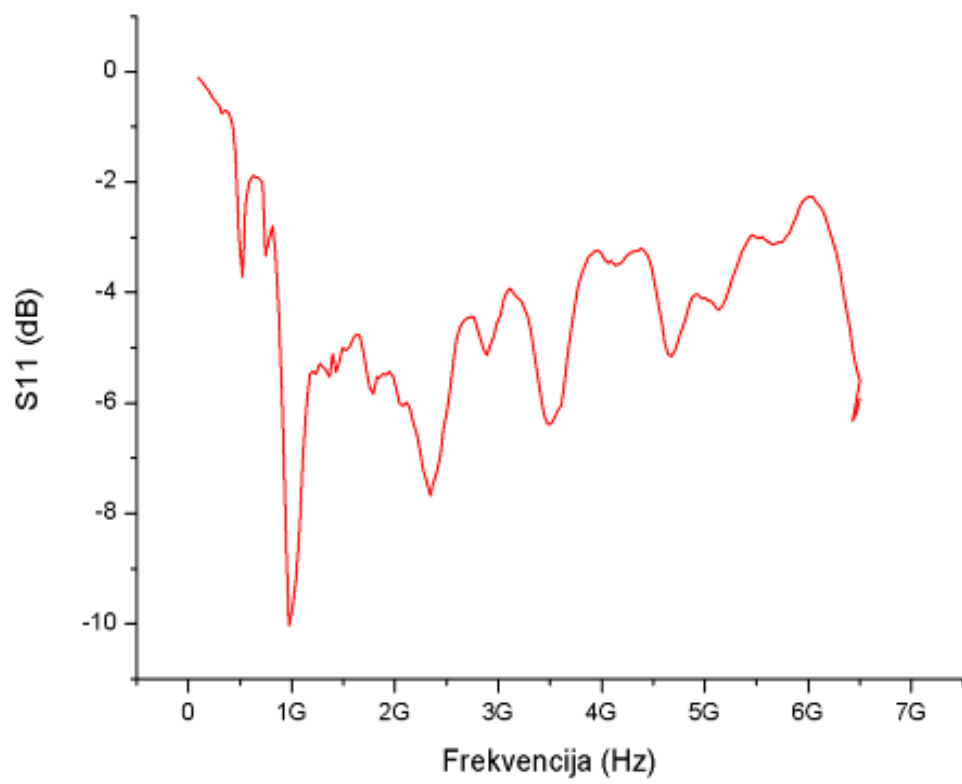
Slika 3.5. Fazni kut

Prema slici 3.2. vidi se za originalnu antenu tip 1 kako ima 1 frekvencijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Taj opseg je u rasponu frekvencija od 0,87 do 1,0 GHz.

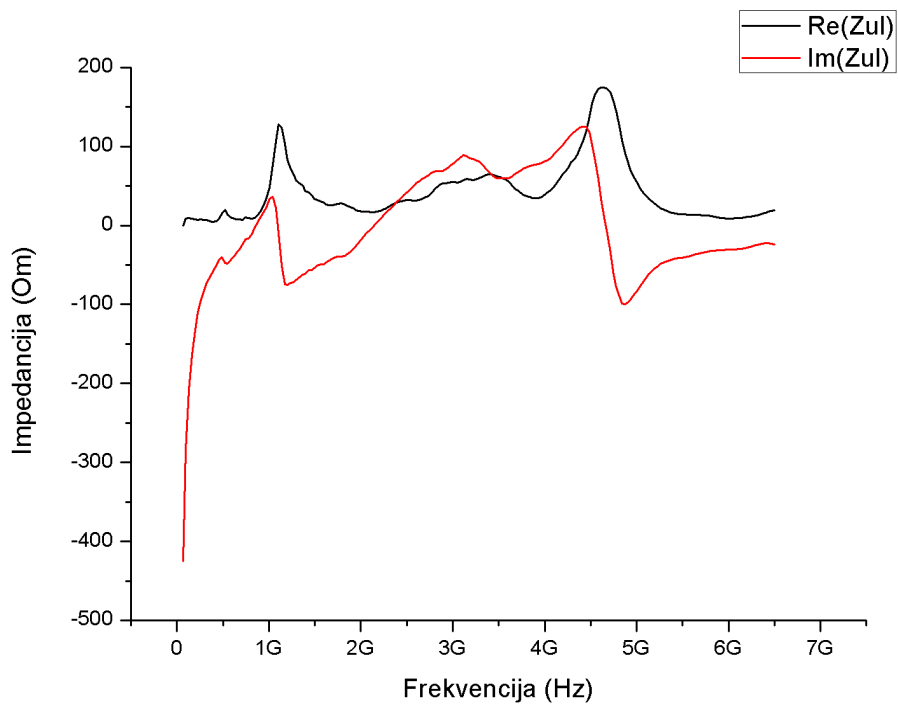
Na frekvenciji 0,97 Ghz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -15,5 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 44,12 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 8,65 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 44,9 ohm-a.



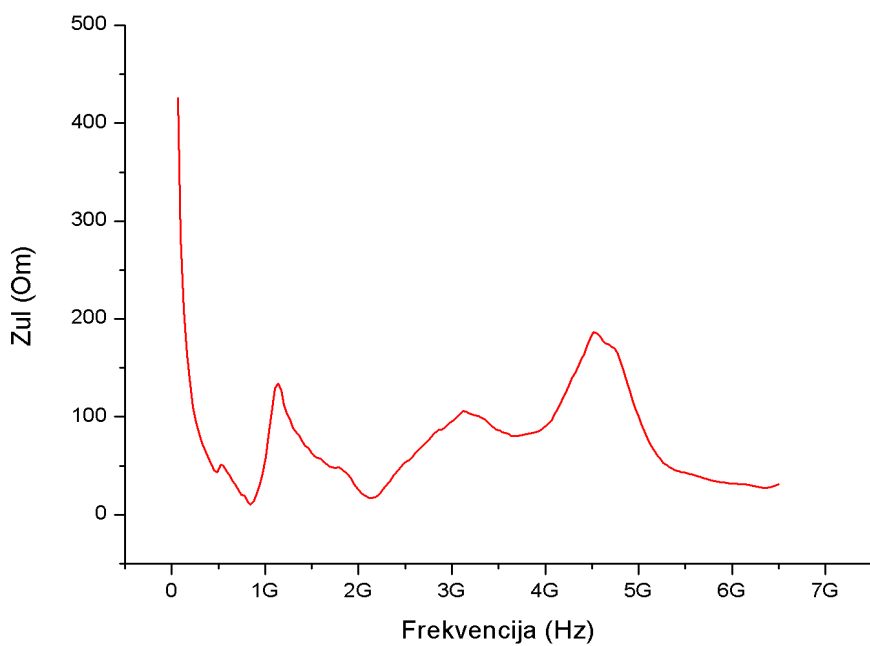
Slika 3.6. Tip-1 s jednom bakarnom trakom



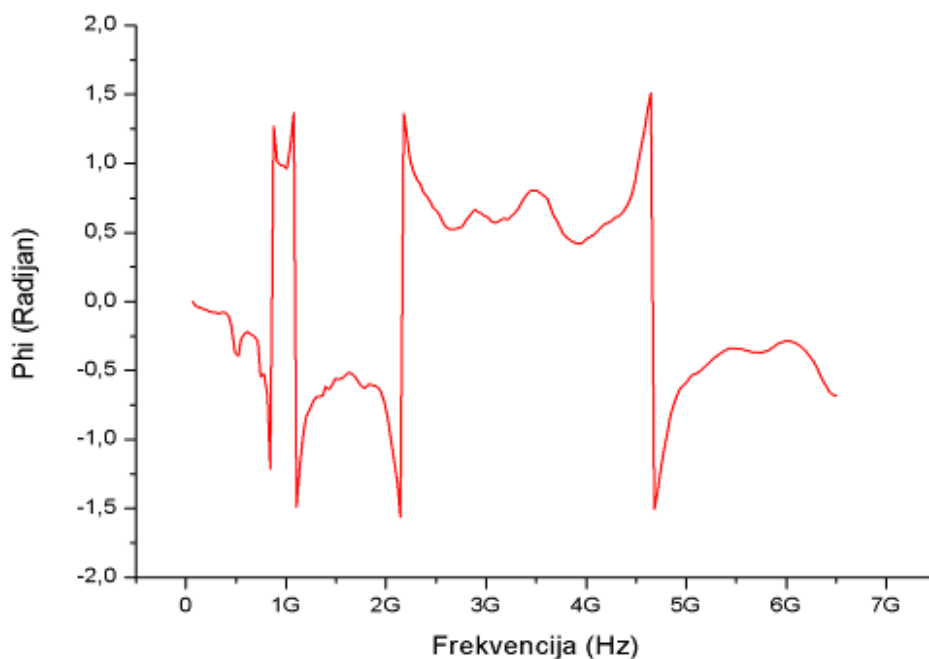
Slika 3.7. S11 Parametar



Slika 3.8. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 3.9. Ulazna impedancija



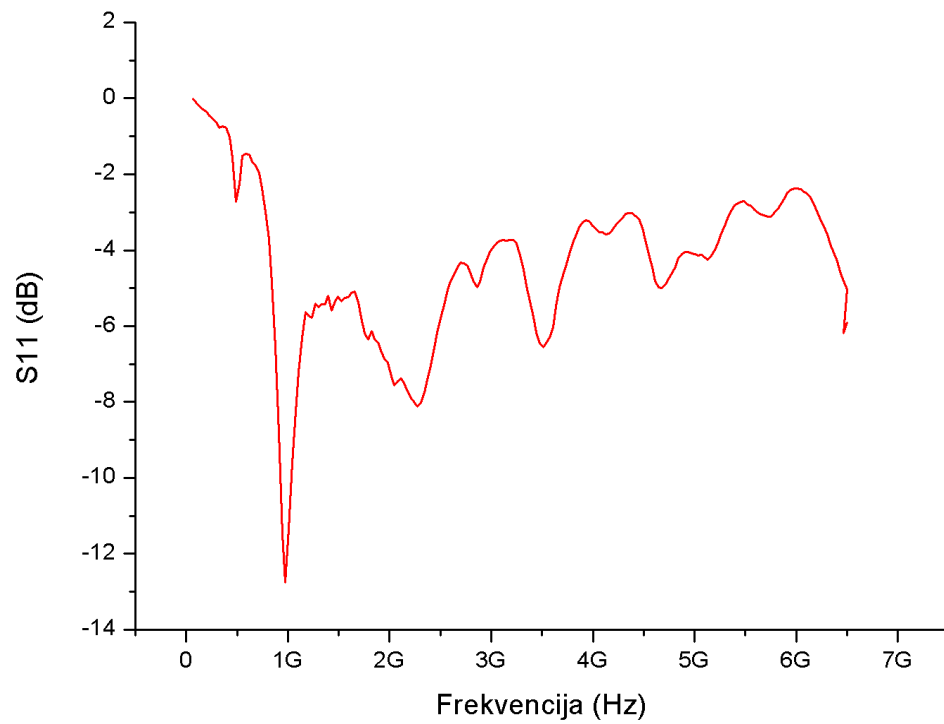
Slika 3.10. Fazni kut

Na slici 3.7. vidljivo je za antenu tip 1 s jednom bakarnom trakom kako ima 1 frekventijski opseg unutar kojeg je vrijednost S_{11} parametara ispod -10. Taj opseg je u rasponu frekvencija od 0,94 do 0,99 GHz.

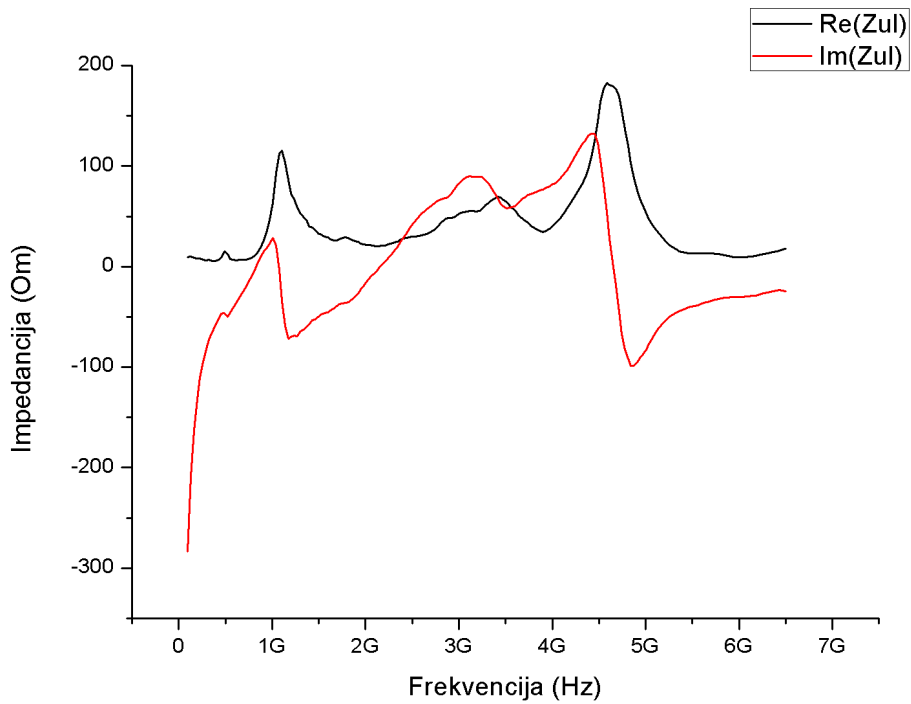
Na frekvenciji 0,97 GHz antena je najbolje prilagođena, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 40,8 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 32,2 ohm-a. Iako je to najbolje prilagođenje, jedva zadovoljava jer S_{11} parametar iznosi -10,59 dB. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 52 ohm-a.



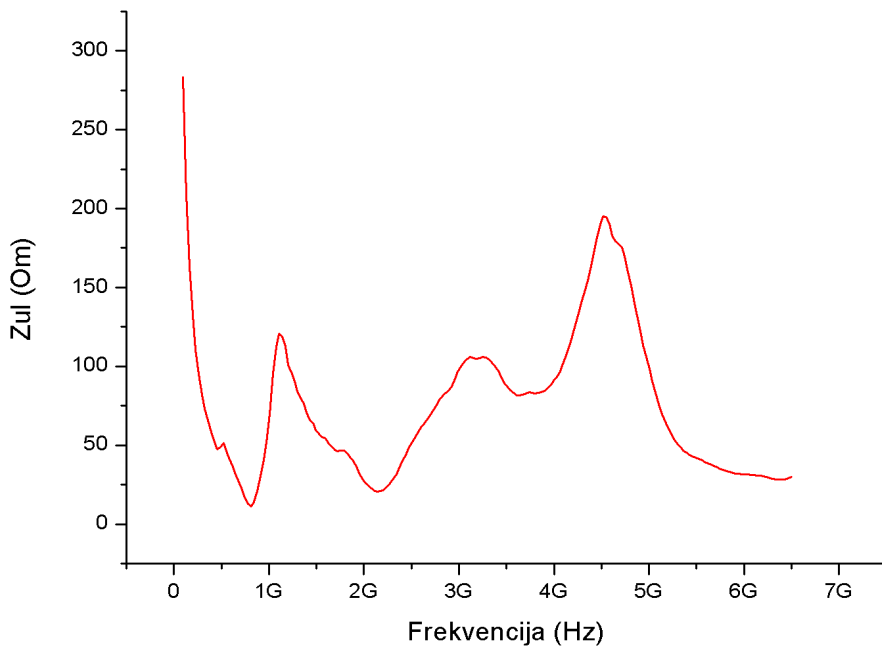
Slika 3.11. Tip-1 s dvije bakarne trake



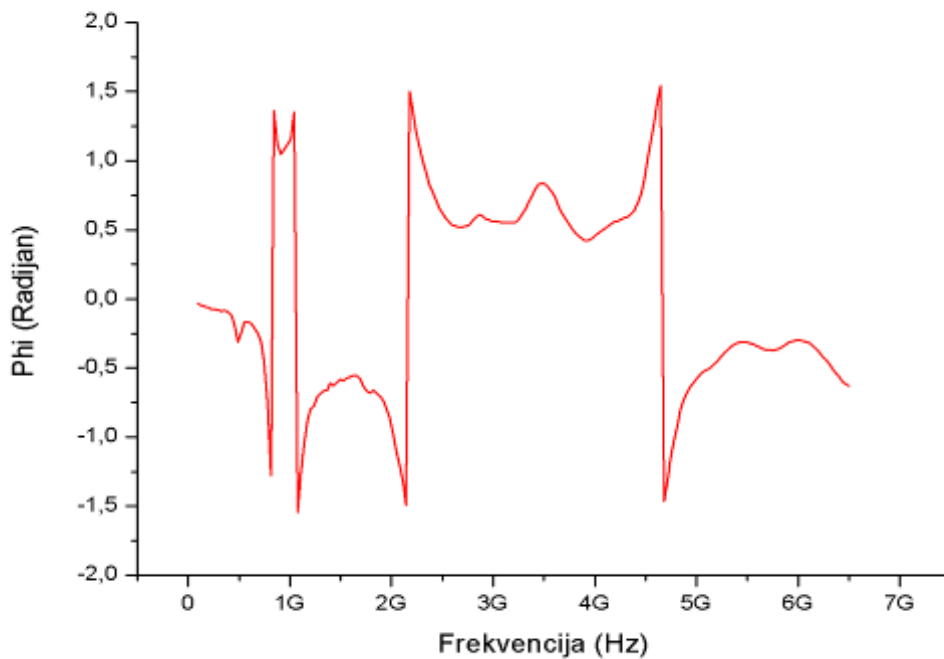
Slika 3.12. S11 Parametar



Slika 3.13. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 3.14. Ulazna impedancija



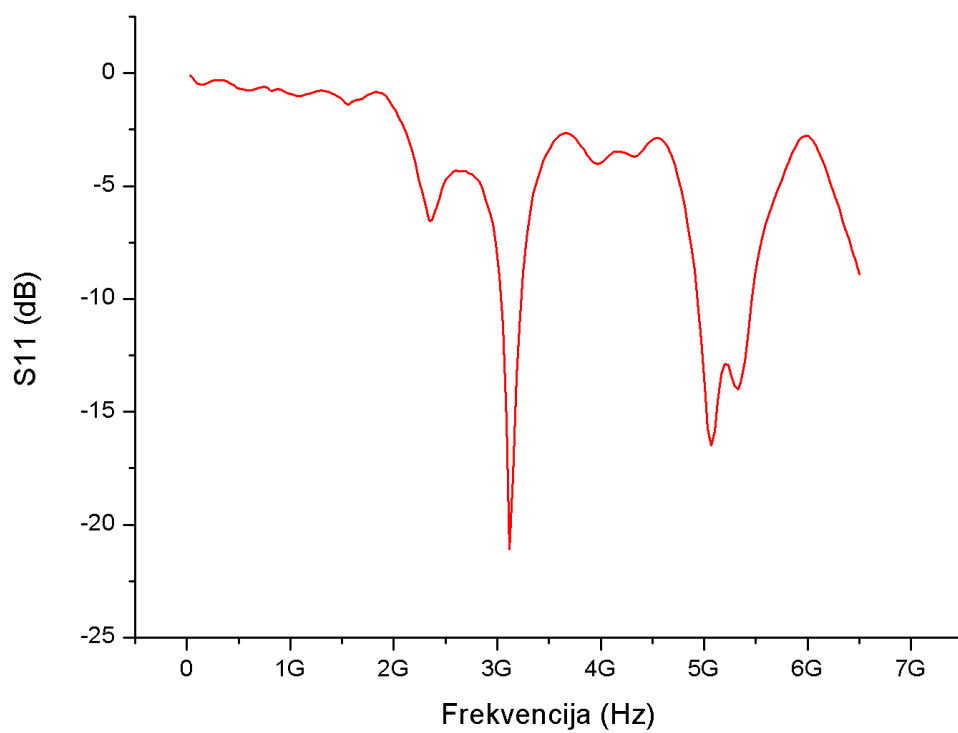
Slika 3.15. Fazni kut

Na slici 3.12. vidi se kako antena tip 1 s dvije bakarne trake ima 1 frekvencijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Taj opseg je u rasponu frekvencija od 0,92 do 1,03 GHz.

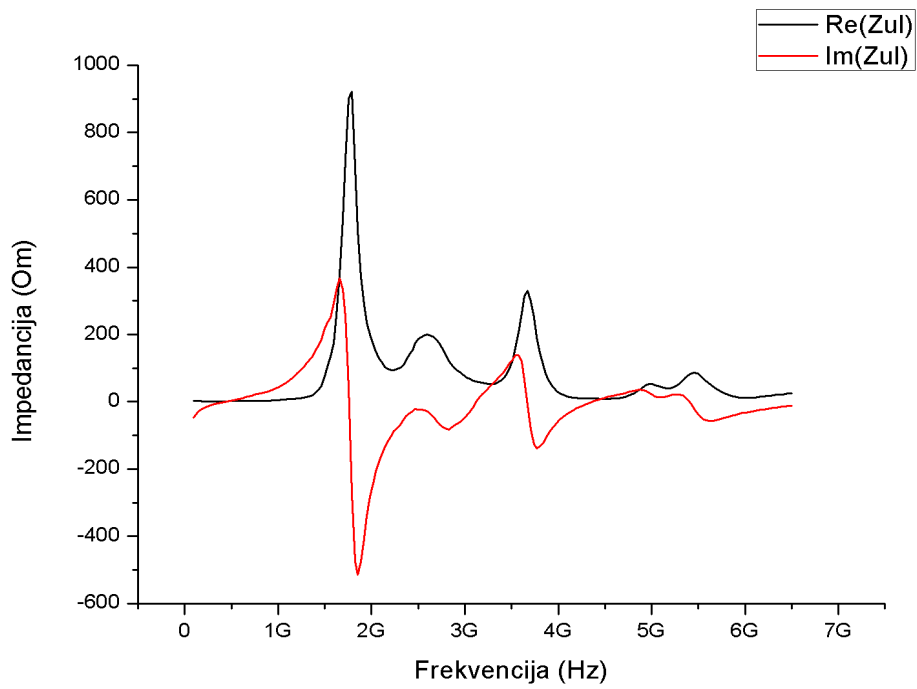
Na frekvenciji 0,98 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -12,75 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 41,8 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 16,9 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 45 ohm-a.



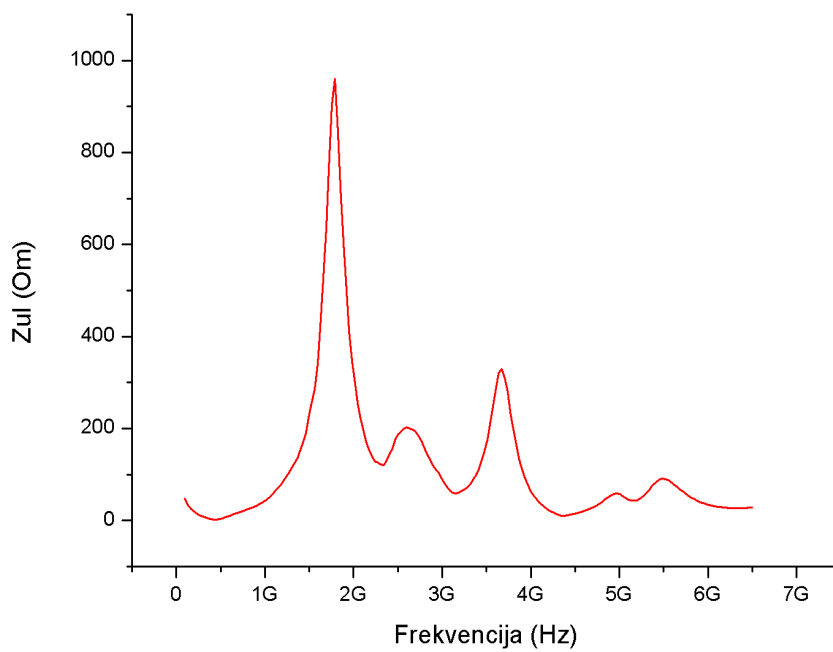
Slika 3.16. Tip-1 s tri bakarne trake



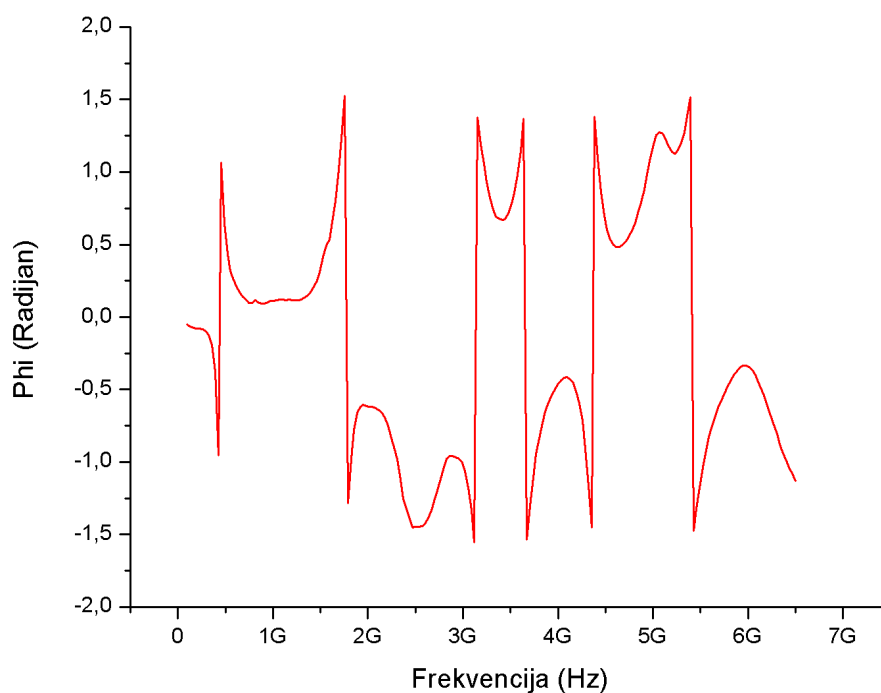
Slika 3.17. S11 Parametar



Slika 3.18. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 3.19. Ulazna impedancija



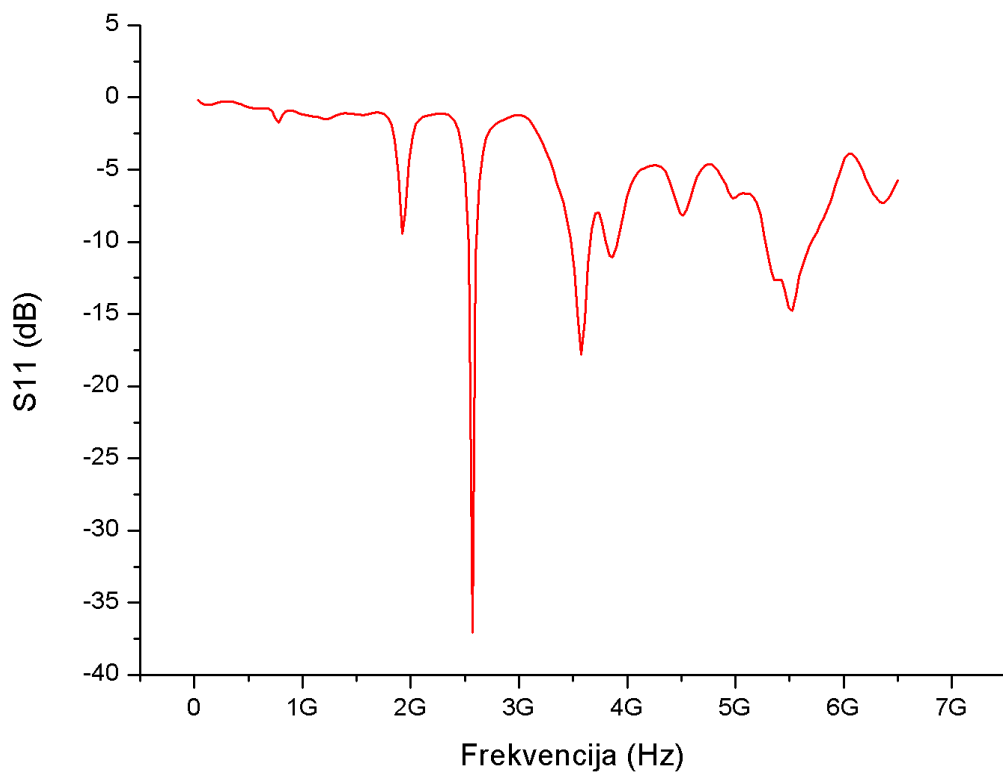
Slika 3.20. Fazni kut

Na slici 3.17. vidljivo je za antenu tip 1 s tri bakarne trake kako ima 2 frekventijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 3,04 do 3,22 GHz, a drugi u rasponu frekvencija od 4,91 do 5,46 GHz.

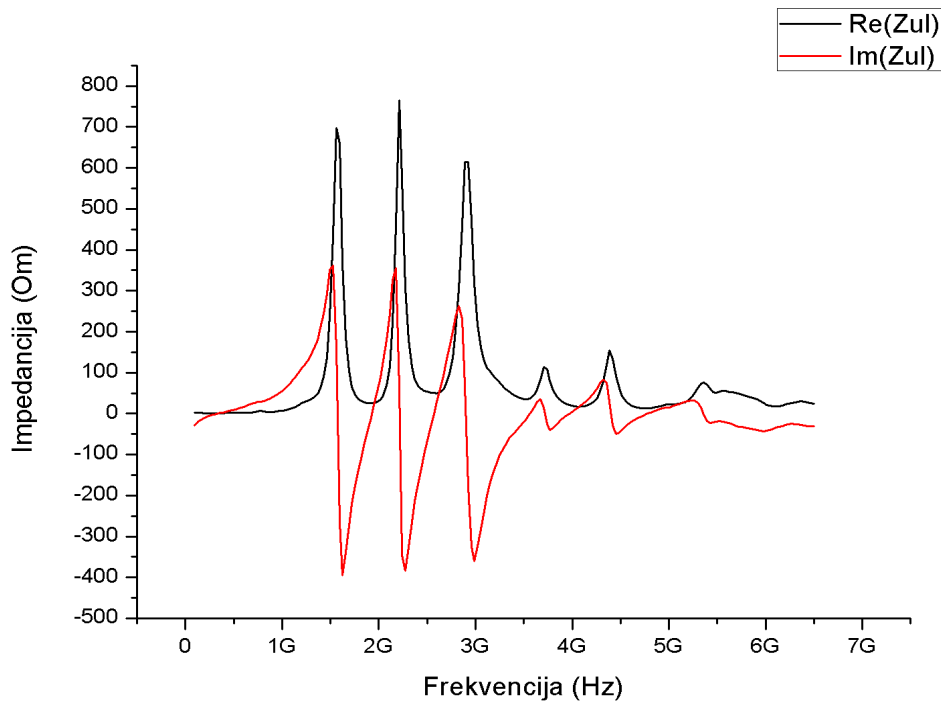
Na frekvenciji 3,11 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -21,19 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 30,6 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 1,6 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 30,64 ohm-a.



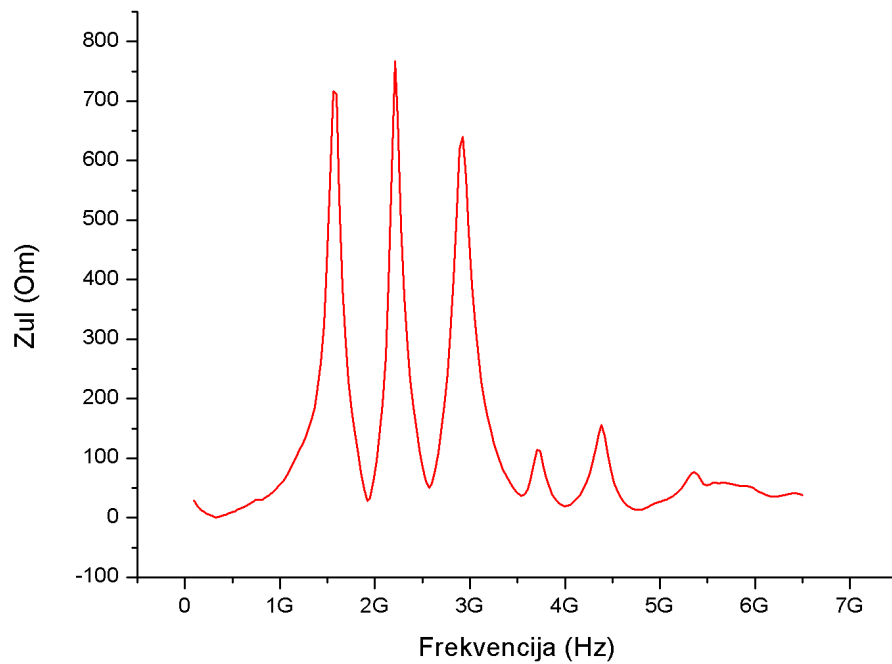
Slika 3.21. Tip-1 s četiri bakarne trake



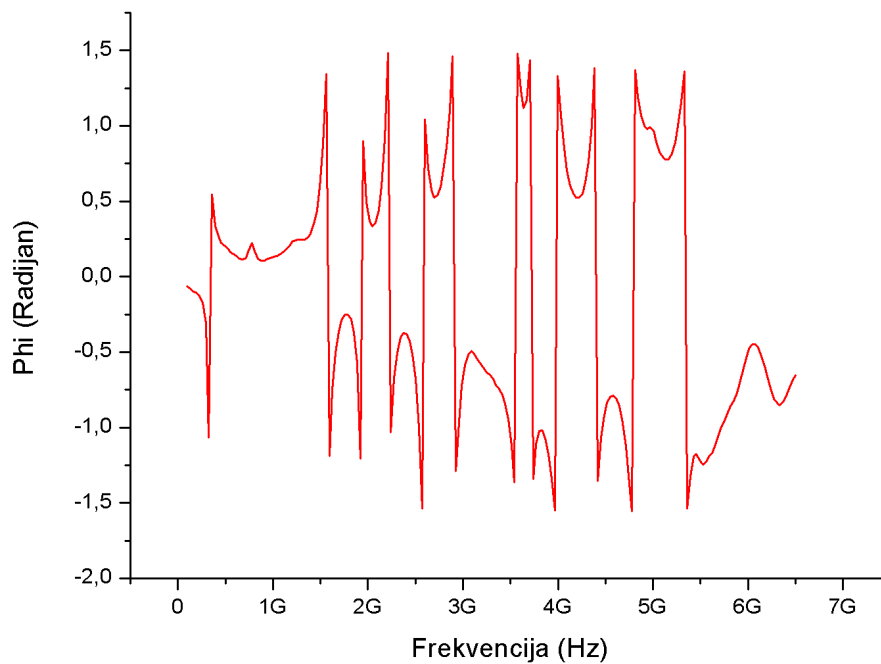
Slika 3.22. S11 Parametar



Slika 3.23. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 3.24. Ulazna impedancija



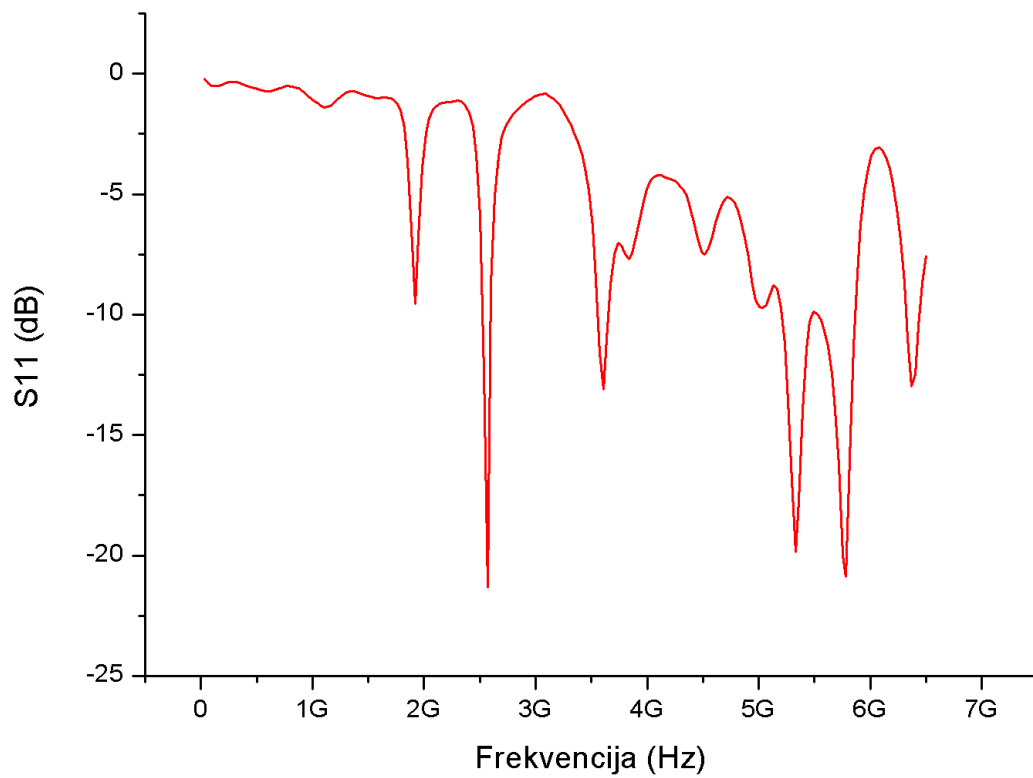
Slika 3.25. Fazni kut

Prema slici 3.22. vidi se za antenu tip 1 s četiri bakarne trake kako ima 4 frekventijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 2,52 do 2,61 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 3,46 do 3,66 GHz, treći u rasponu frekvencija od 3,79 do 3,9 GHz a četvrti u rasponu frekvencija od 5,27 do 5,7 GHz.

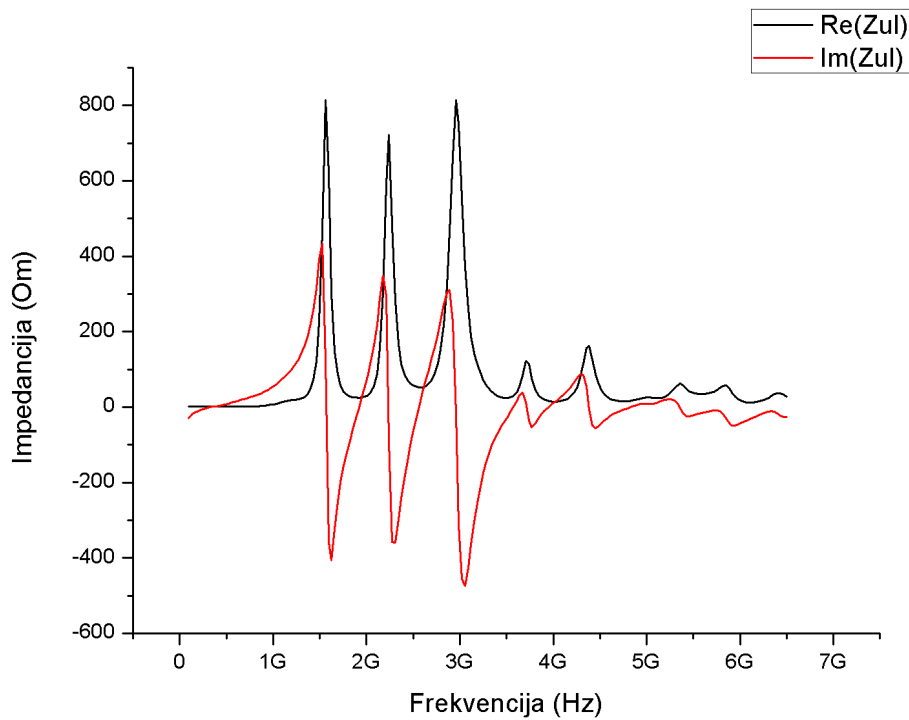
Na frekvenciji 2,56 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -37,05 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 49,2 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 0,8 ohm-a. Apsolutna Vrijednost ulazne impedancije iznosi 49,2 ohm.



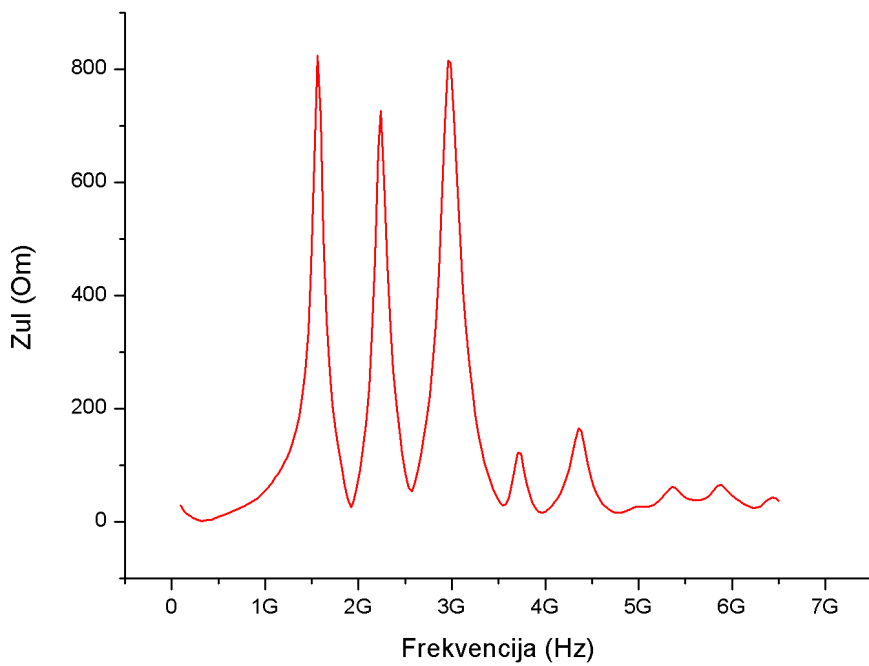
Slika 3.26. Tip-1 s pet bakarnih traka



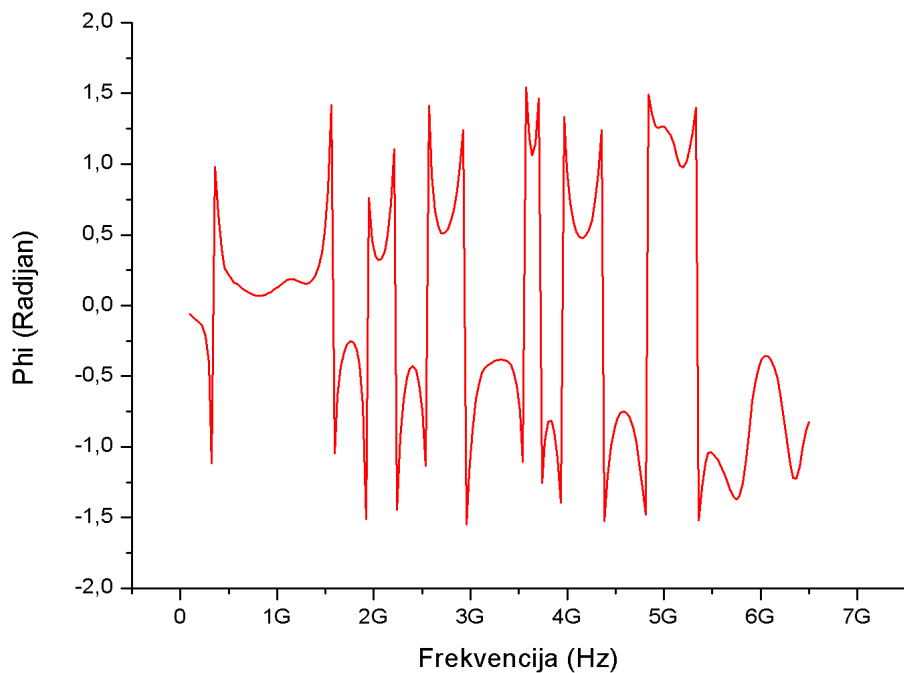
Slika 3.27. S11 Parametri



Slika 3.28. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 3.29. Ulazna impedancija



Slika 3.30. Fazni kut

Prema slici 3.27. vidljivo je za antenu tip 1 s pet bakarnih traka kako ima 5 frekvencijskih opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 2,52 do 2,58 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 3,54 do 3,65 GHz, treći u rasponu frekvencija od 5,19 do 5,49 GHz, četvrti u rasponu frekvencija od 5,52 do 5,86 GHz a peti u rasponu frekvencija od 6,32 do 6,45 GHz.

Na frekvenciji 2,57 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -21,24 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 56,2 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 27,1 ohm. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 62,3 ohm-a.

Tablica 3.1. Širine frekvencijskih pojaseva za antenu Tip-1.

Tip 1	BW1 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW2 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW3 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW4 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW5 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	Ukupan BW (GHz)
NO GND	1,006 - 0,879 0,97 -15,5	/	/	/	/	0,127
1T	0,992 - 0,949 0,971 -10,059	/	/	/	/	0,043
2T	1,036 - 0,927 0,983 -12,754	/	/	/	/	0,109
3T	3,221 - 3,047 3,114 -21,198	5,460 - 4,916 4,965 -16,832	/	/	/	0,718
4T	2,619 - 2,532 2,569 -37,053	3,663 - 3,467 3,577 -17,83	3,902 - 3,793 3,858 -10,893	5,706 - 5,271 5,532 -14,674	/	0,827
5T	2,586 - 2,521 2,576 -21,244	3,651 - 3,542 3,614 -12,799	5,498 - 5,194 5,331 -19,637	5,868 - 5,520 5,787 -20,734	6,455 - 6,324 6,389 -12,745	0,957

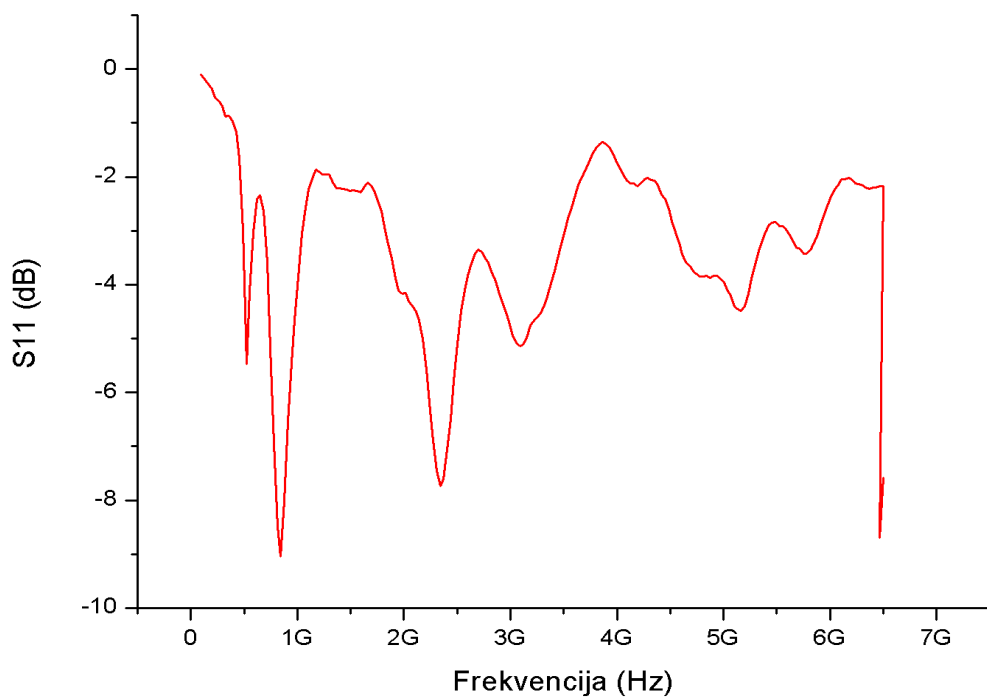
Prema podacima iz tablice 3.1 vidi se kako se za antenu Tip-1, frekvencijski pojas uglavnom povećava dodavanjem bakarnih traka. U originalnoj izvedbi iznosi 0,127 Ghz. S jednom trakom se smanjio na 0,043 Ghz. S drugom trakom iznosi 0,109 Ghz. Treća traka ga je povećala na 0,718 Ghz. S četvrtom trakom iznosi 0,827 Ghz, dok maksimalni frekvencijski pojas postiže u izvedbi s pet traka, tada je njegova vrijednost skoro 1 Ghz.

4. ANTENA TIP-2

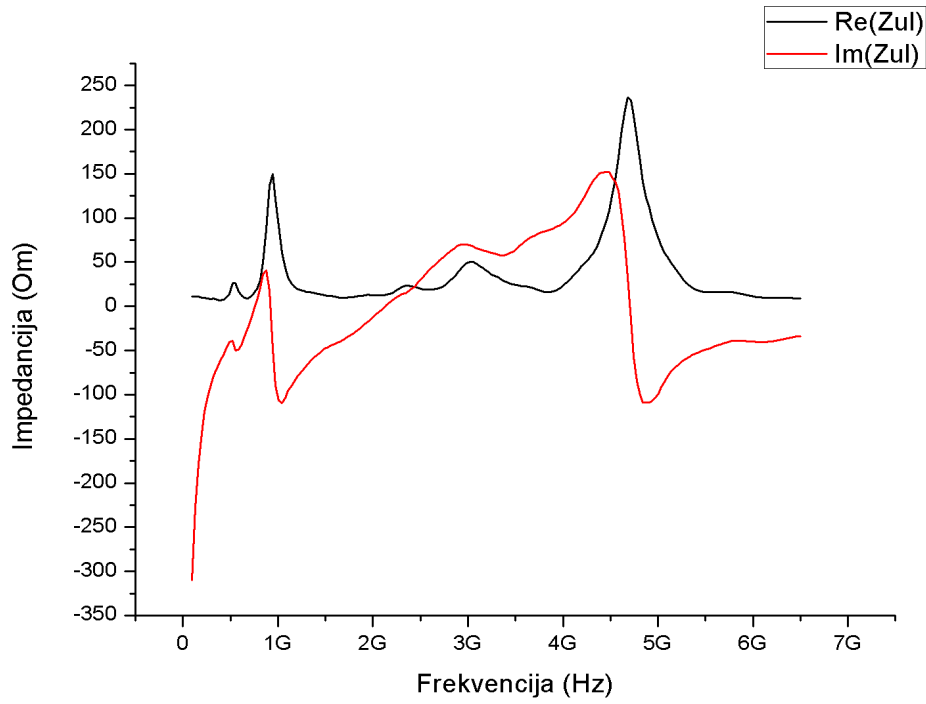
Ova antena je također izvedena kao planarna dipolna struktura na tiskanoj pločici. Karakteristika izvedbe je Bow-tie („mašna“) oblik konkavno zakrivljen.



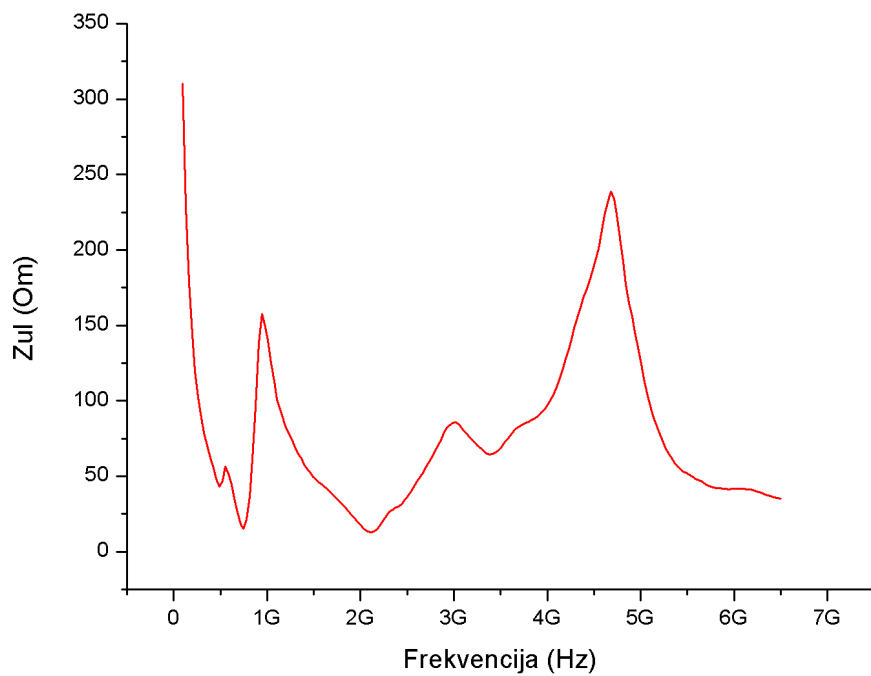
Slika 4.1. Originalna antena Tip-2



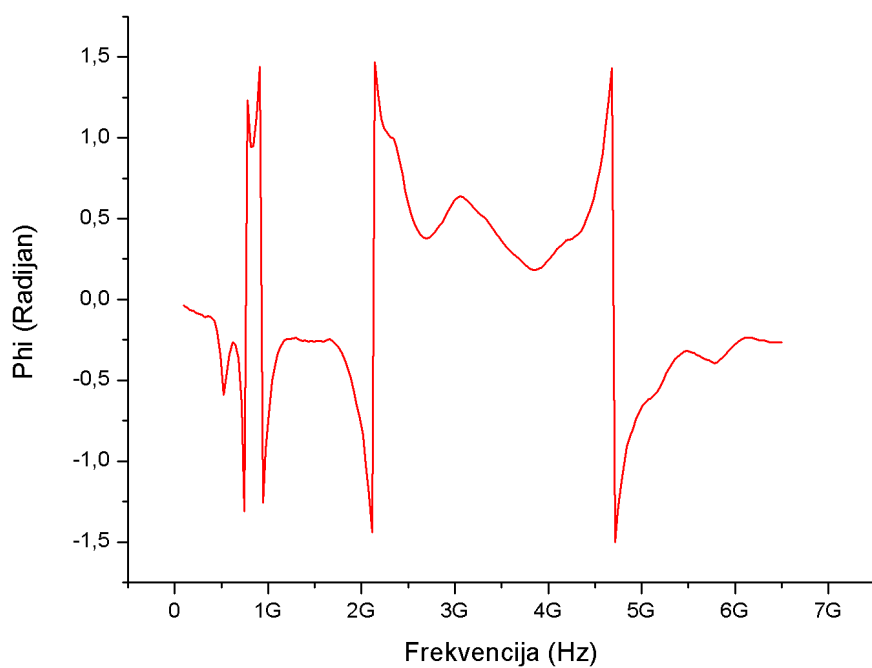
Slika 4.2. S11 Parametar



Slika 4.3. Realni i imaginarni dio impedancije

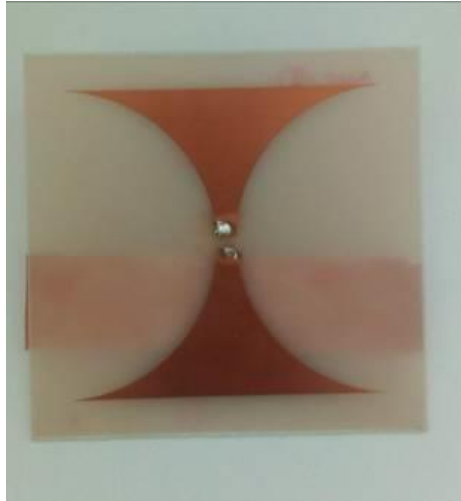


Slika 4.4. Ulazna impedancija

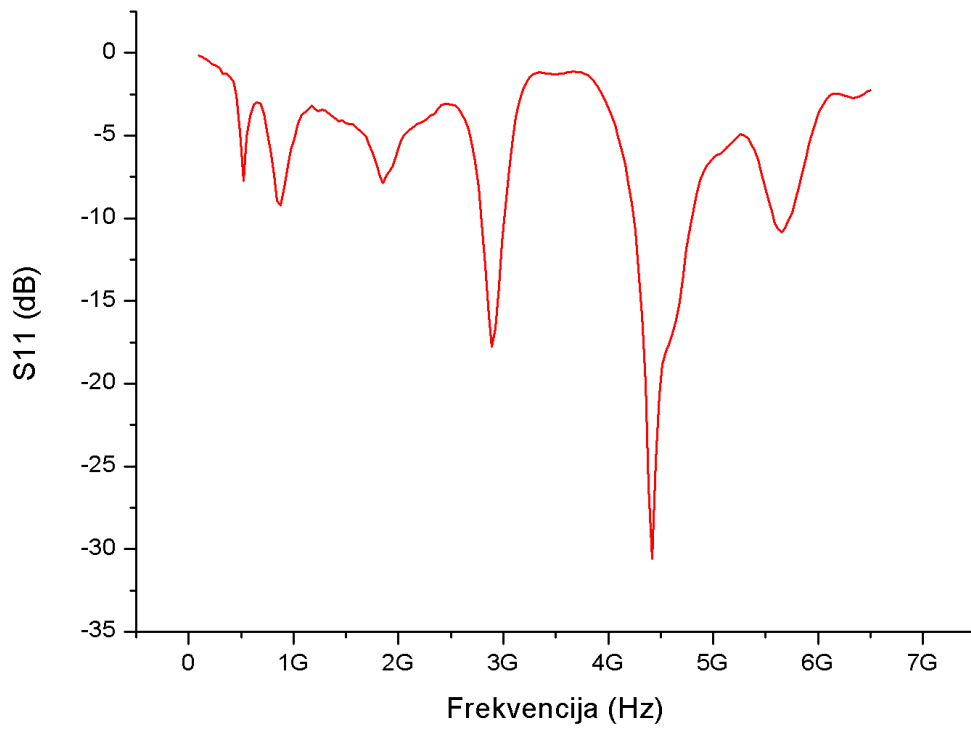


Slika 4.5. Fazni kut

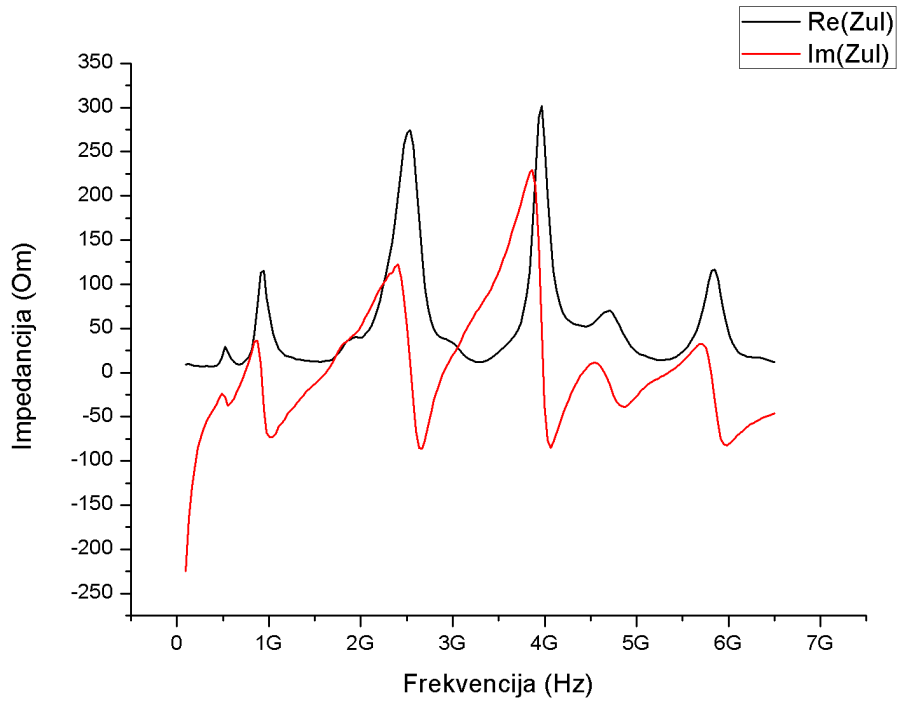
Prema slici 4.2. jasno se vidi kako originalna antena tip-2 nema nijedan frekvencijski pojas, odnosno vrijednost S_{11} parametara ne pada ispod -10 dB na nijednoj frekvenciji. Zbog toga je ova antena u originalnoj izvedbi neupotrebljiva.



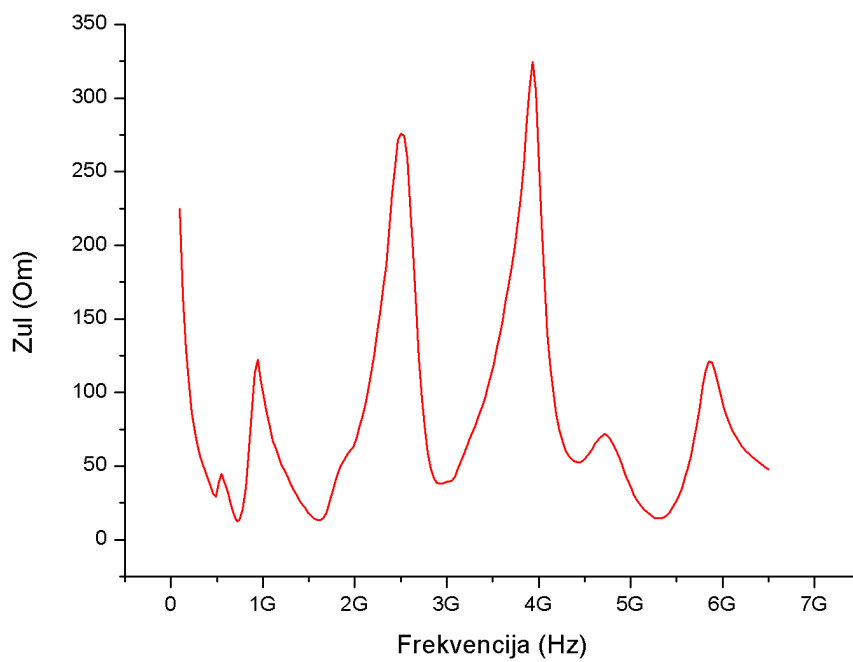
Slika 4.6. Tip-1 s jednom bakarnom trakom



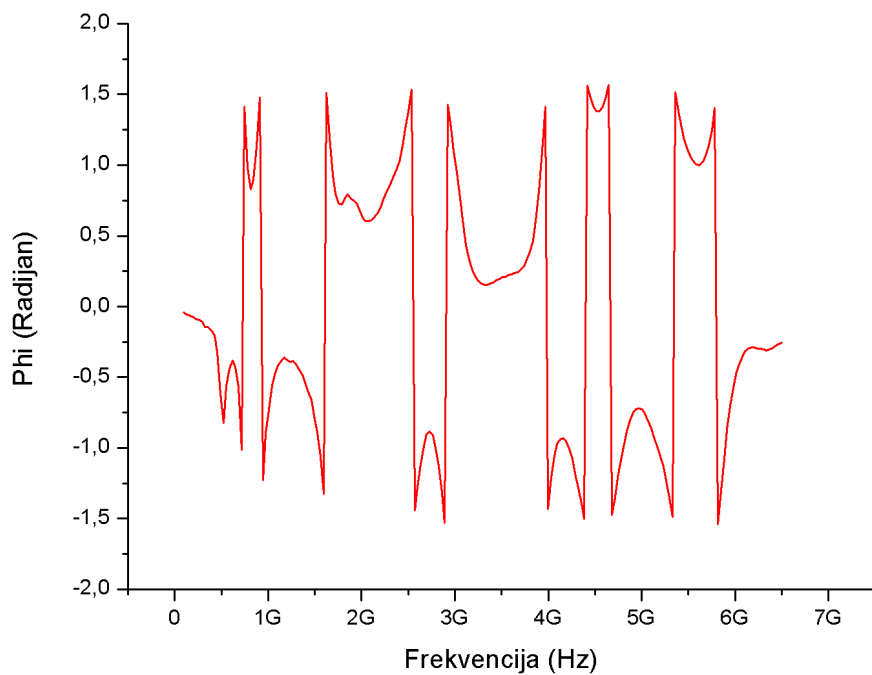
Slika 4.7. S11 Parametar



Slika 4.8. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 4.9. Ulazna impedancija



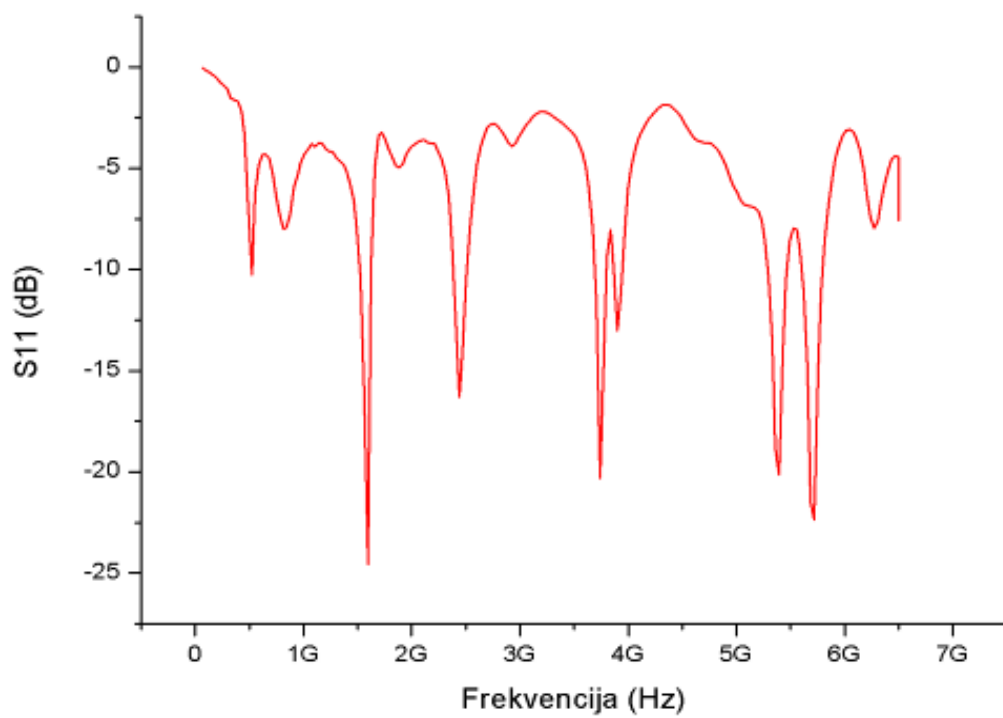
Slika 4.10. Fazni kut

Prema slici 4.7. primjećuje se za antenu Tip-2 s jednom bakarnom trakom kako ima 3 frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 2,79 do 3,0 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 4,22 do 4,79 GHz a treći u rasponu frekvencija od 5,55 do 5,72 GHz.

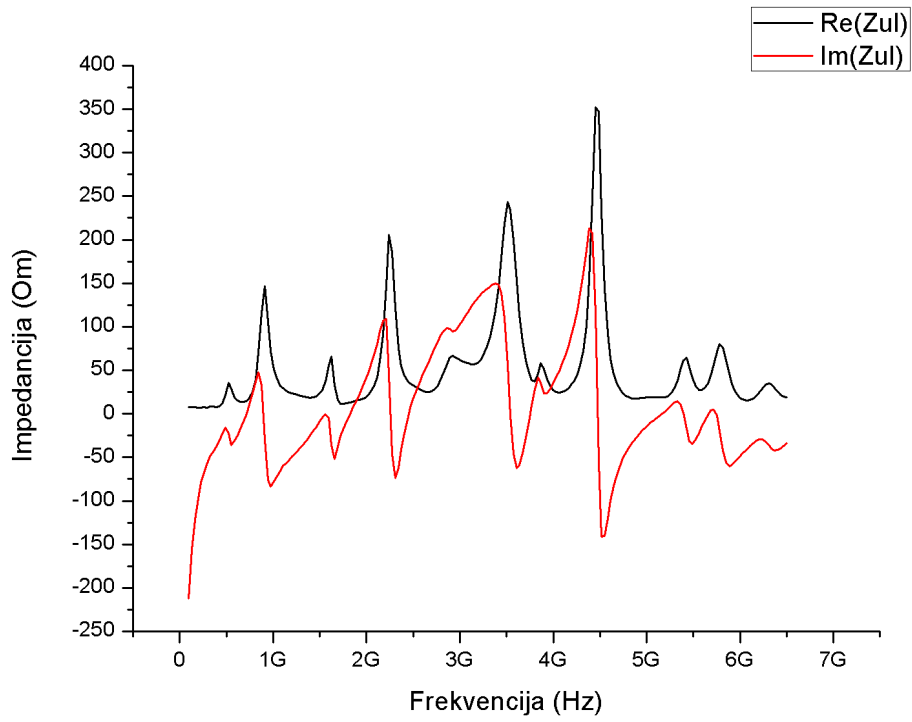
Na frekvenciji 4,41 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -30,67 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 52,8 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 3,1 ohm. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 52,8 ohm-a.



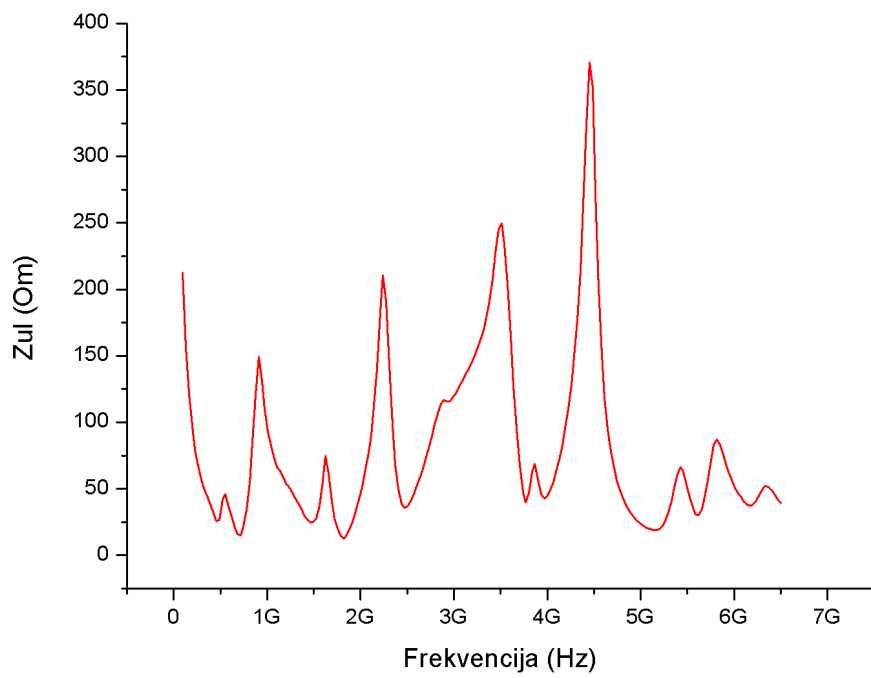
Slika 4.11. Tip-2 s dvije bakarne trakom



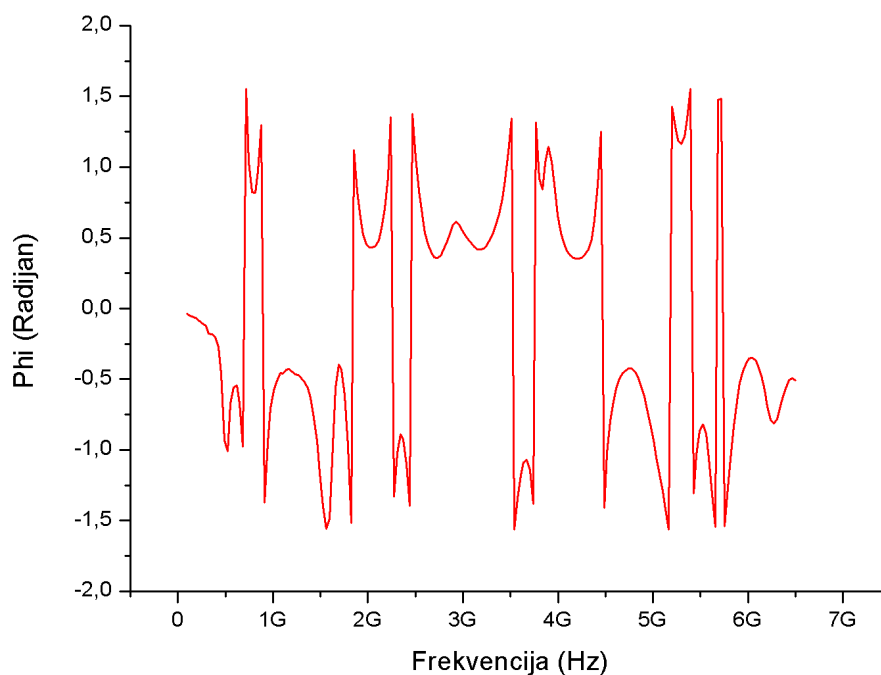
Slika 4.12 S11 Parametar



Slika 4.13. Realni i imaginarni dio impedancije



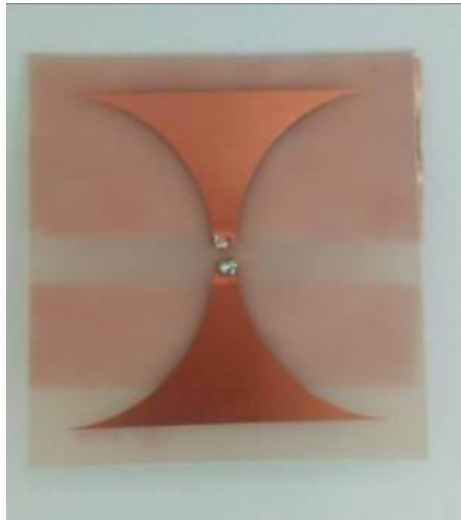
Slika 4.14. Ulazna impedancija



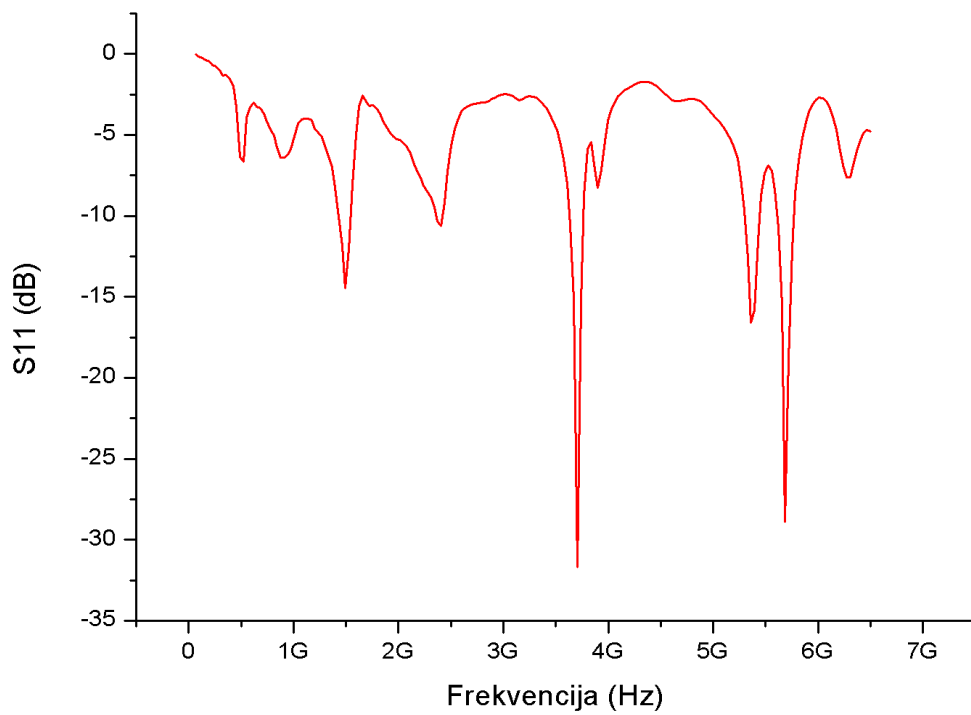
Slika 4.15. Fazni kut

Prema slici 4.12. vidi se za antenu Tip-2 s dvije bakarne trake kako ima 6 frekvencijskih opsega unutar kojih je vrijednost S_{11} parametara ispod -10 . Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 1,51 do 1,61 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 2,38 do 2,51 GHz, treći u rasponu frekvencija od 3,66 do 3,79 GHz, četvrti u rasponu frekvencija od 3,85 do 3,94 GHz, peti u rasponu frekvencija od 5,27 do 5,46 GHz a šesti u rasponu frekvencija od 5,59 do 5,81 GHz.

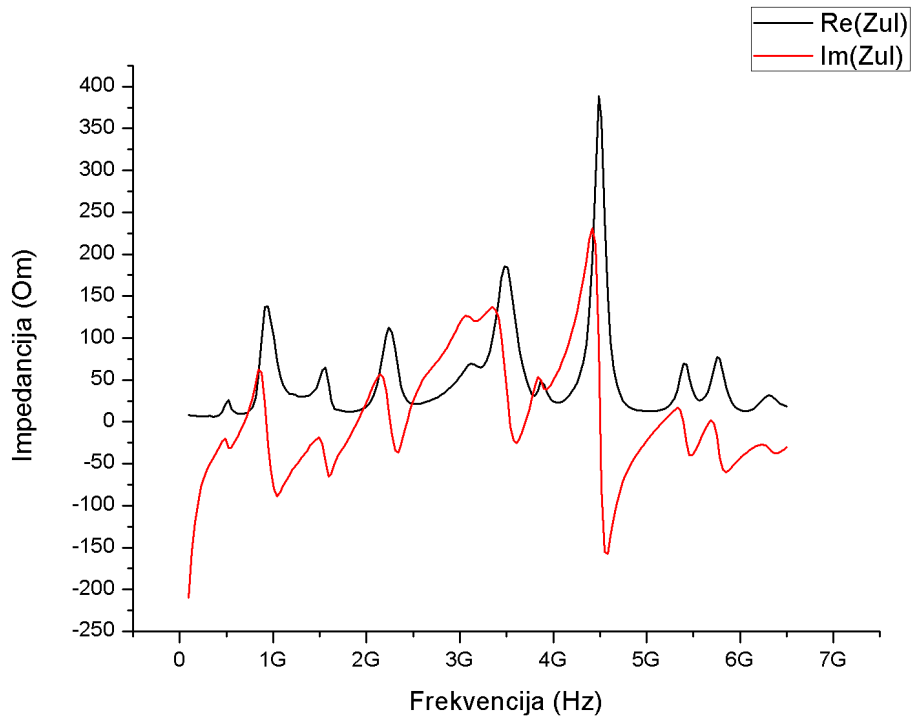
Na frekvenciji 1,6 GHz antena je najbolje prilagođena, S_{11} parametar iznosi $-24,33$ dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 42,1 ohm, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 0,8 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 42,1 ohm.



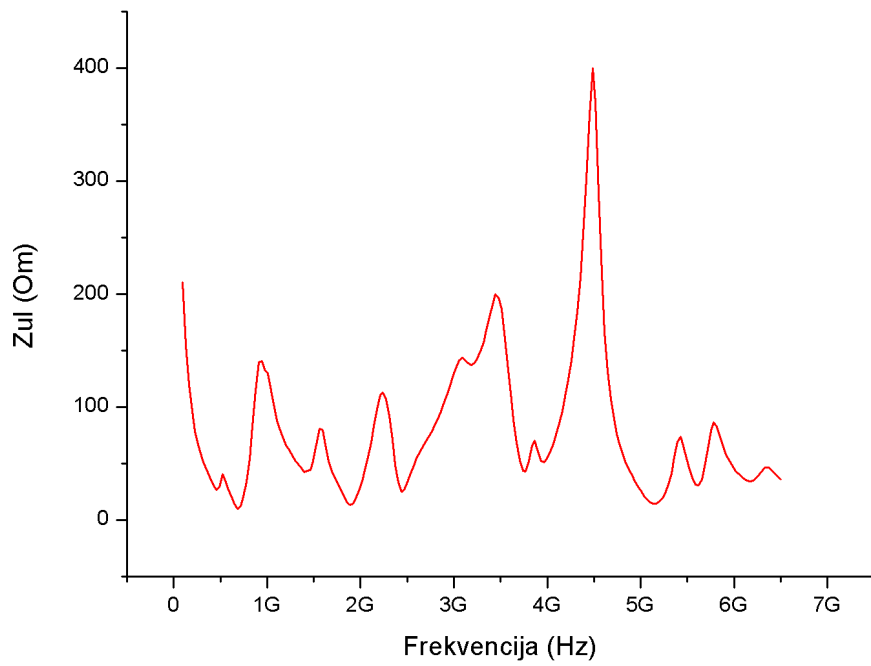
Slika 4.16. Tip-2 s tri bakarne trake



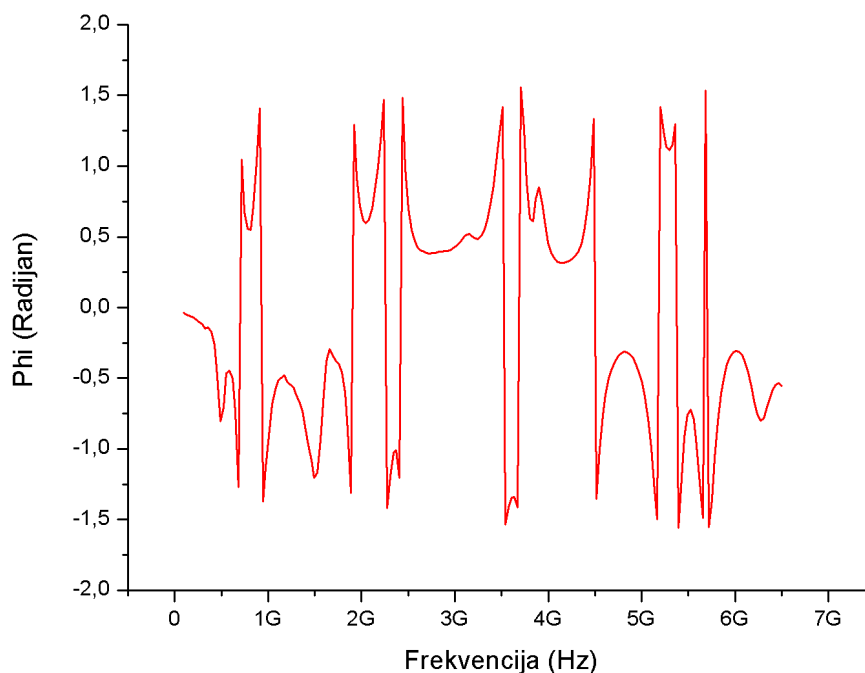
Slika 4.17. S11 Parametar



Slika 4.18. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 4.19. Ulazna impedancija



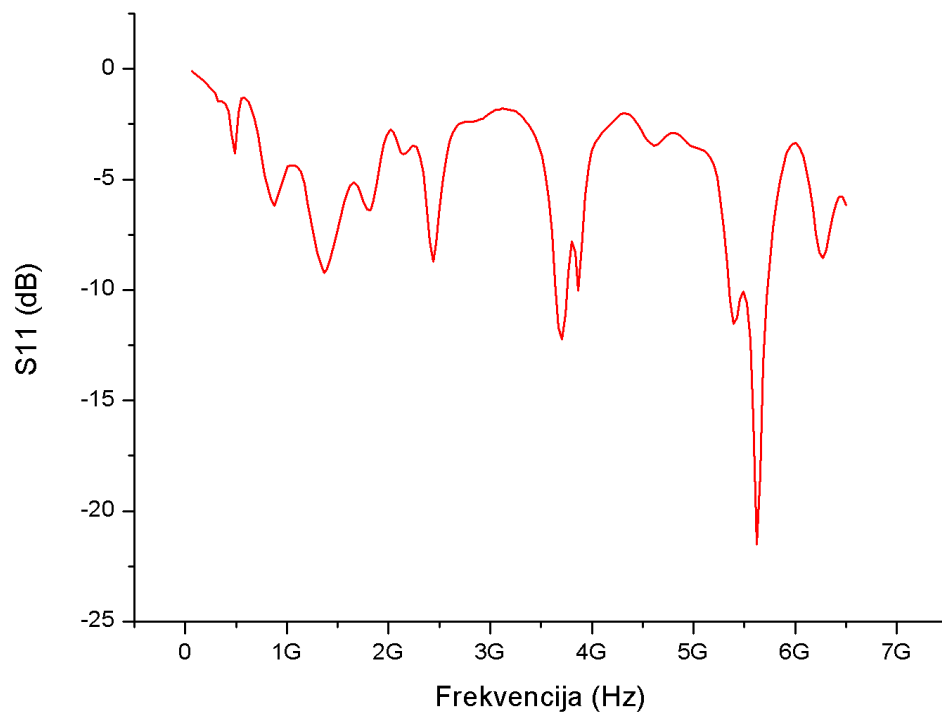
Slika 4.20. Fazni kut

Prema slici 4.17. vidljivo je za antenu Tip-2 s tri bakarne trake kako ima 5 frekvencijskih opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 1,43 do 1,54 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 2,36 do 2,43 GHz, treći u rasponu frekvencija od 3,62 do 3,75 GHz, četvrti u rasponu frekvencija od 5,3 do 5,45 GHz a peti u rasponu frekvencija od 5,6 do 5,77 GHz.

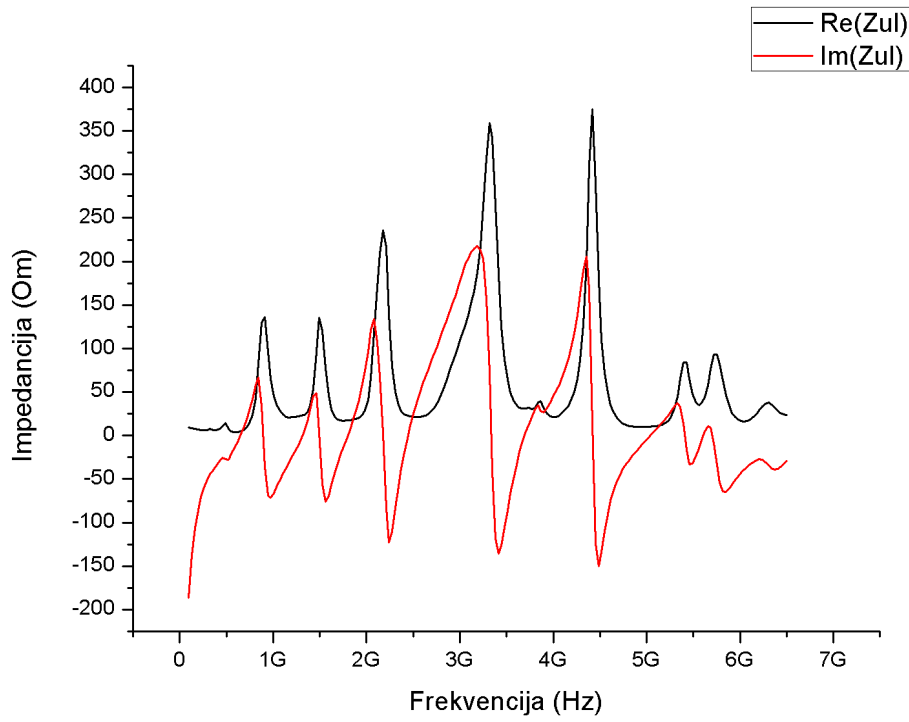
Na frekvenciji 3,7 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -31,59 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 51,6 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 7,9 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 52,2 ohm-a.



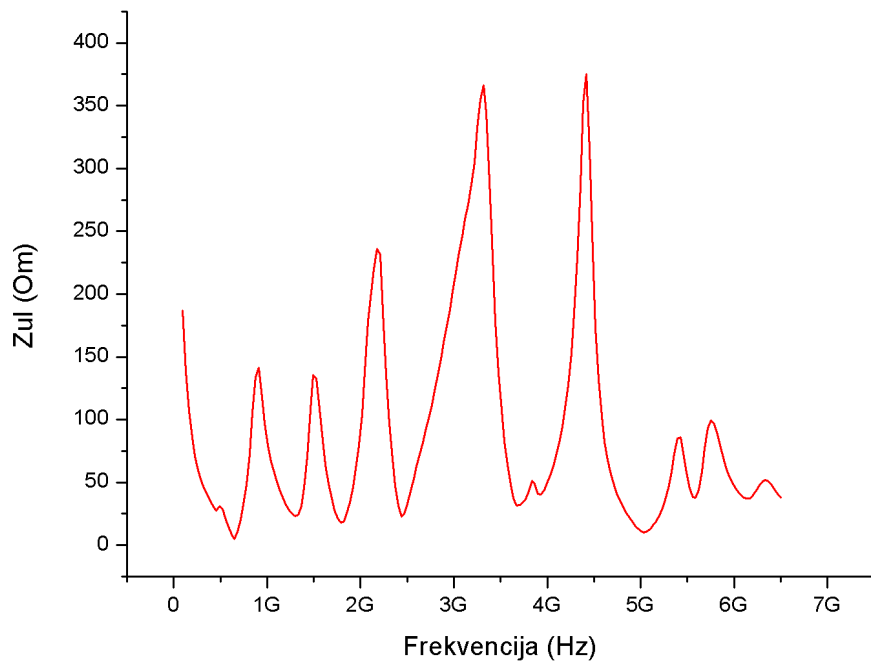
Slika 4.21. Tip-2 s četiri bakarne trake



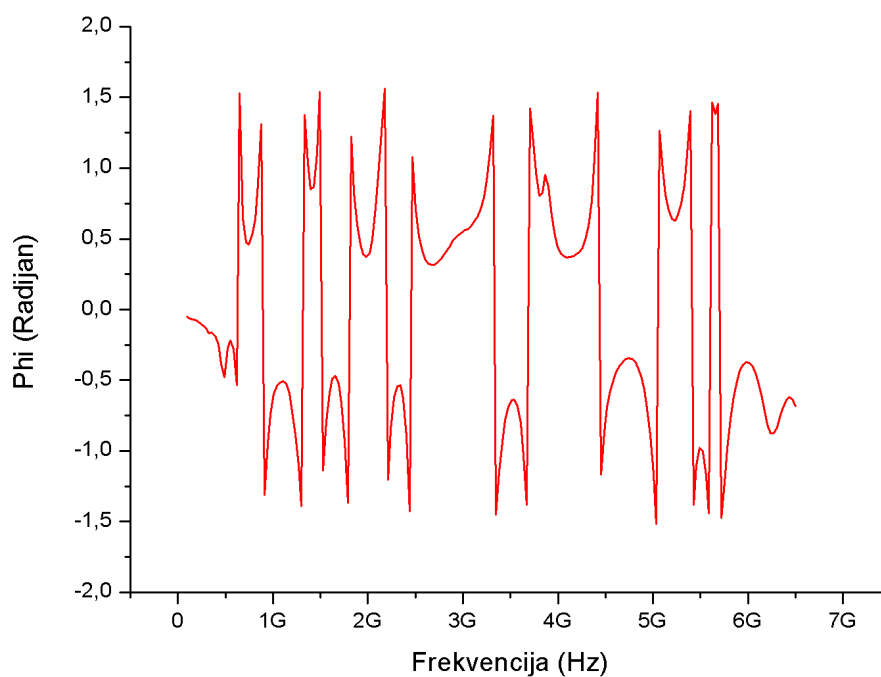
Slika 4.22. S11 Parametar



Slika 4.23. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 4.24. Ulazna impedancija



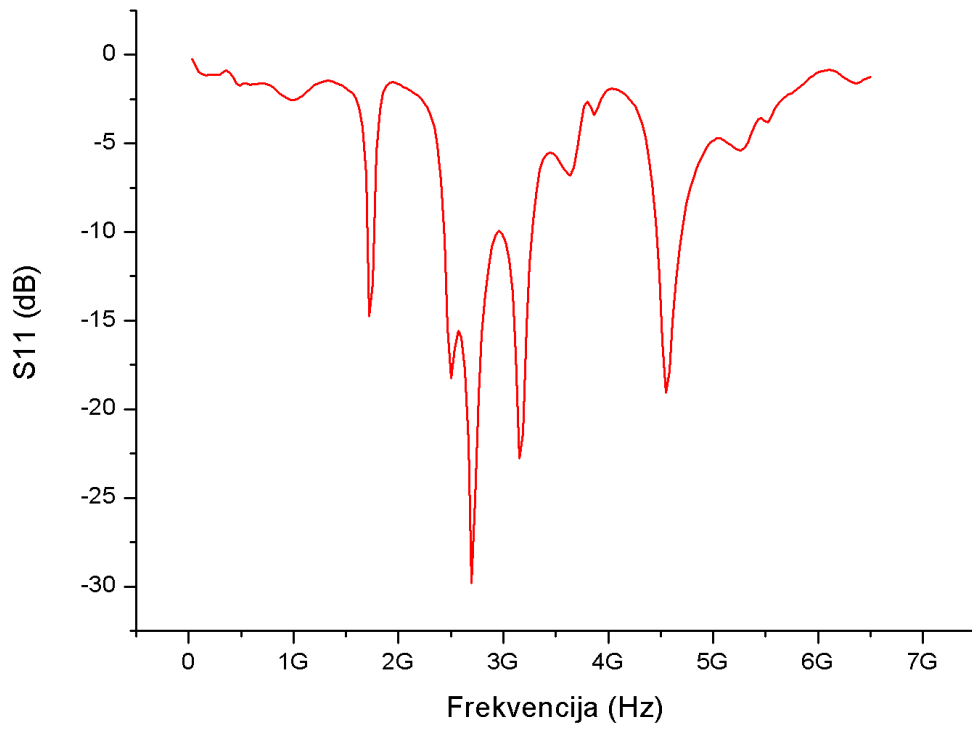
Slika 4.25. Fazni kut

Prema slici 4.22. uočljivo je kako antena Tip-2 s četiri bakarne trake ima 2 frekventijska opsega unutar kojih je vrijednost S_{11} parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 3,64 do 3,75 GHz a drugi u rasponu frekvencija od 5,34 do 5,71 GHz.

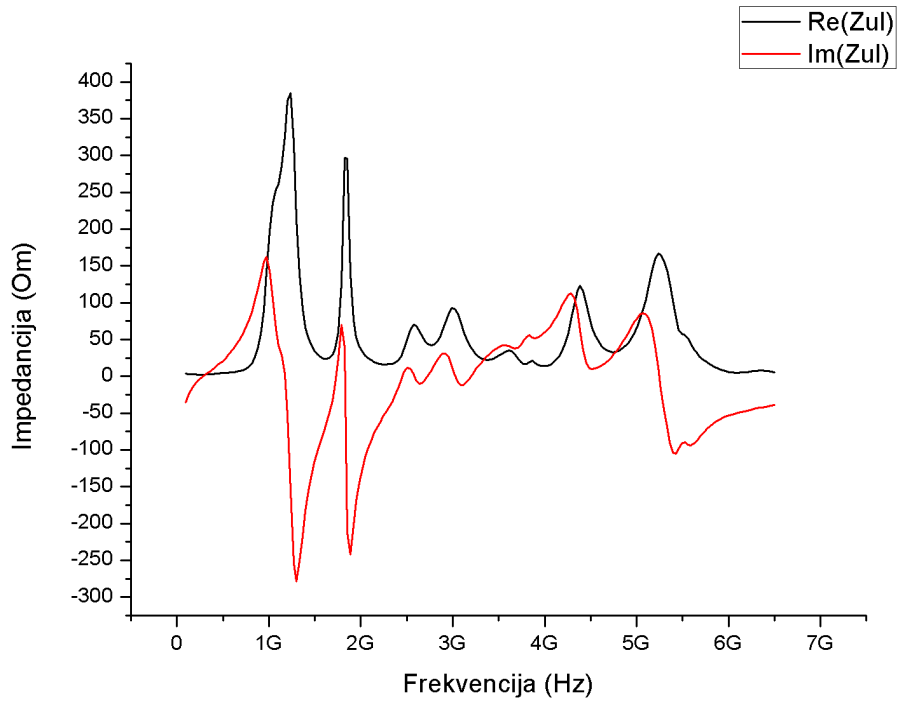
Na frekvenciji 5,62 GHz antena je najbolje prilagođena, S_{11} parametar iznosi -18,82 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 44,3 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 2,9 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 44,3 ohm-a.



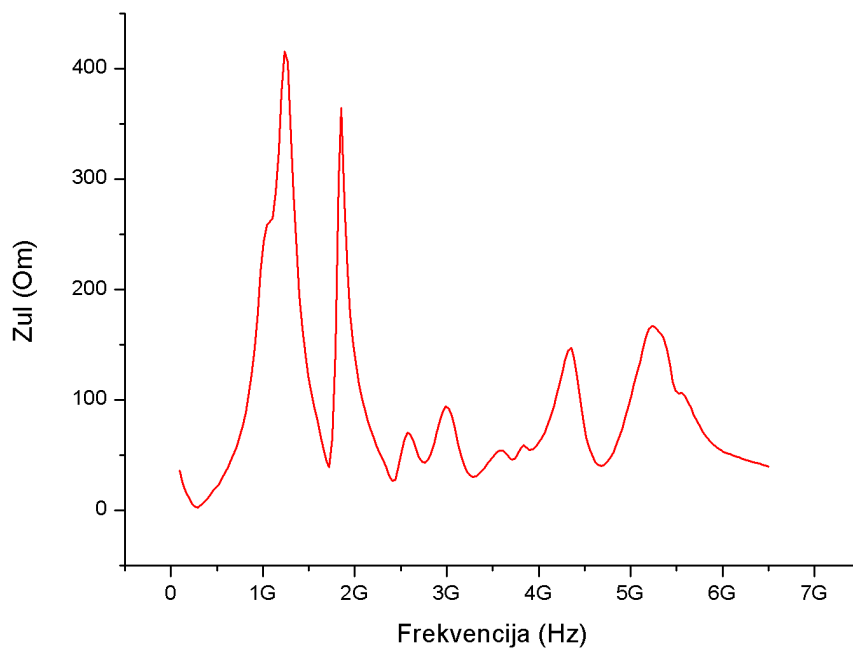
Slika 4.26- Tip-2 s pet bakarnih traka



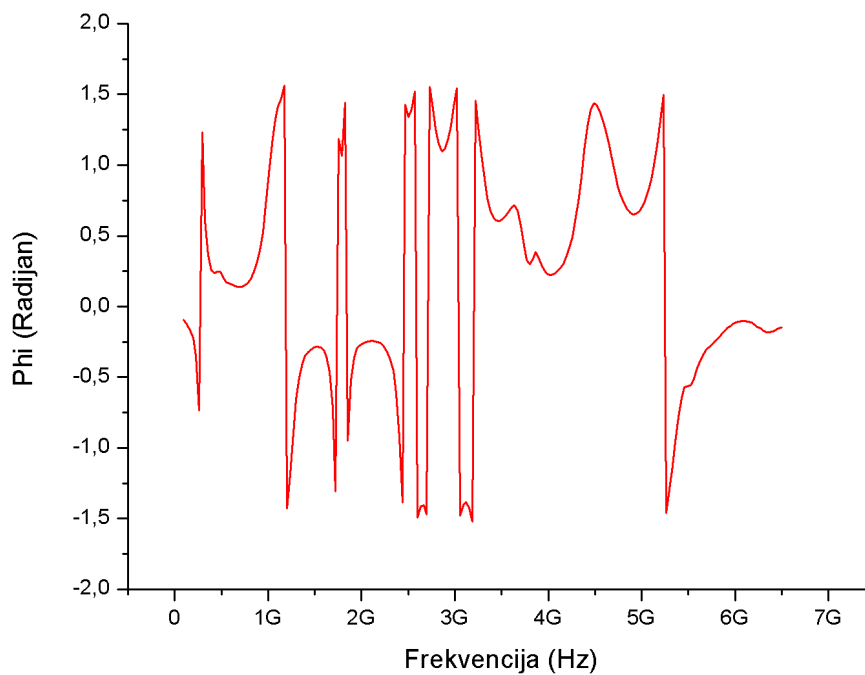
Slika 4.27. S11 Parametar



Slika 4.28. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 4.29. Ulazna impedancija



Slika 4.30. Fazni kut

Prema slici 4.27. vidi se kako antena Tip-2 s 5 bakarnih traka ima 4 frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 1,69 do 1,76 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 2,43 do 2,91 GHz, treći u rasponu frekvencija od 2,99 do 3,26 GHz a četvrti u rasponu frekvencija od 4,45 do 4,69 GHz.

Na frekvenciji 2,7 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -30,16 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 48 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi -3,7 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 47,1 ohm.

Tablica 4.1. Širine frekvencijskih pojaseva za antenu Tip-2.

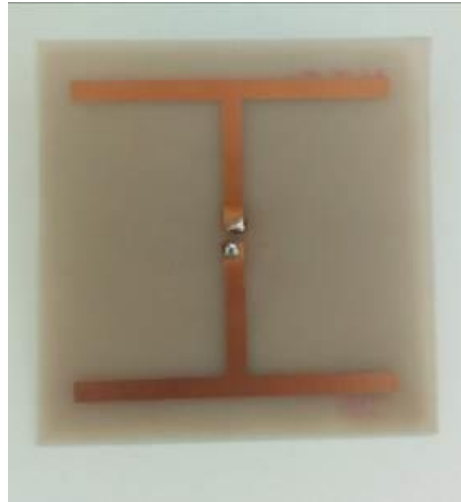
Tip 2	BW1 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW2 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW3 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW4 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW5 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	Ukupan BW (GHz)
NO GND	/	/	/	/	/	0
1T	3,012 - 2,795 2,897 -17,445	4,794 - 4,229 4,417 -30,679	5,729 - 5,555 5,664 -10,691	/	/	0,956
2T	1,619 - 1,511 1,604 -24,338	2,511 - 2,380 2,440 -16,145	3,793 - 3,663 3,744 -20,082	3,945 - 3,858 3,905 -12,816	5,466 - 5,271 5,405 -20,141	0,868
3T	1,541 - 1,432 1,494 -14,569	2,432 - 2,367 2,404 -10,723	3,758 - 3,627 3,704 -31,596	5,453 - 5,301 5,364 -16,434	5,779 - 5,605 5,679 -28,720	0,613
4T	3,754 - 3,646 3,704 -14,93	5,711 - 5,341 5,620 -18,82	/	/	/	0,478
5T	1,760 - 1,695 1,731 -14,936	2,912 - 2,434 2,7 -30,169	3,26 - 2,999 3,153 -22,665	4,694 - 4,455 4,542 -18,820	/	1,043

Napomena: antena Tip-2 u izvedbi s dvije trake ima i šesti frekvencijski pojas na frekvenciji: 5,814 – 5,597 Ghz. S11 parametar je najmanji na frekvenciji 5,706 Ghz te iznosi -22,417 dB. Ne nalazi se u tablici zbog toga što nema dovoljno mjesta za još jedan stupac, u protivnom tablica ulazi u područje margina.

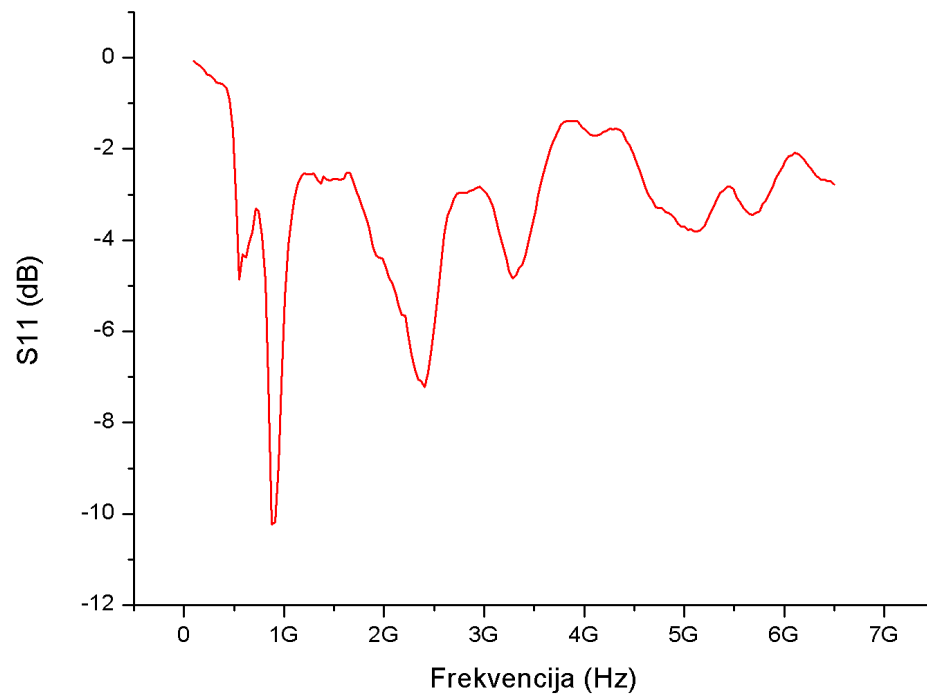
Prema podacima iz tablice 4.1. vidi se kako je antena Tip-2 neupotrebljiva u originalnoj izvedbi jer koeficijent refleksije ima preveliku vrijednost na svim frekvencijama. Frekvencijski pojas s jednom trakom iznosi 0,956 Ghz. U izvedbi s dvije trake se malo smanjio na 0,868 Ghz. S tri i četiri trake se također smanjio na 0,613 Ghz, odnosno 0,478 Ghz. U izvedbi s pet traka antena daje najbolje rezultate jer frekvencijski pojas iznosi 1,043 Ghz.

5. ANTENA TIP-3

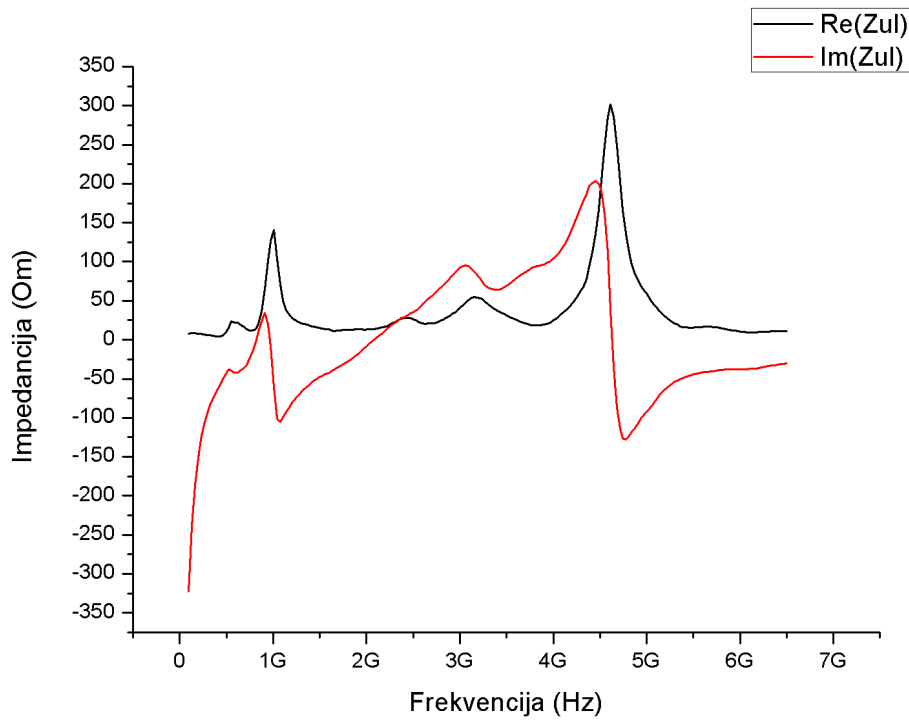
Ova antena je izvedena kao planarna dipolna struktura na tiskanoj pločici. Karakteristika izvedbe je klasičan Dog-Bone („pseća kost“) oblik.



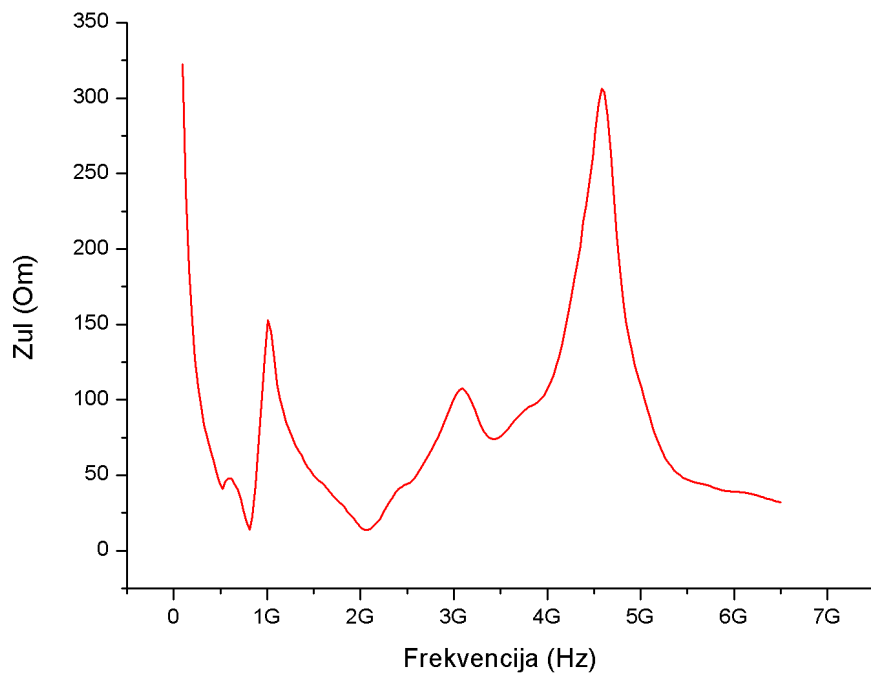
Slika 5.1. Originalna antena Tip-3



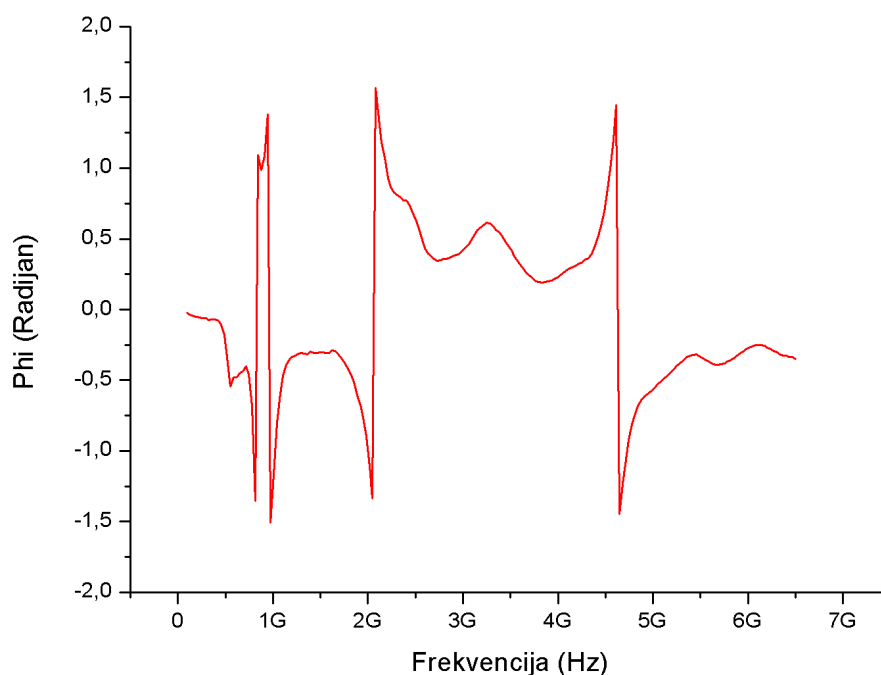
Slika 5.2. S11 Parametar



Slika 5.3. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 5.4. Ulazna impedancija



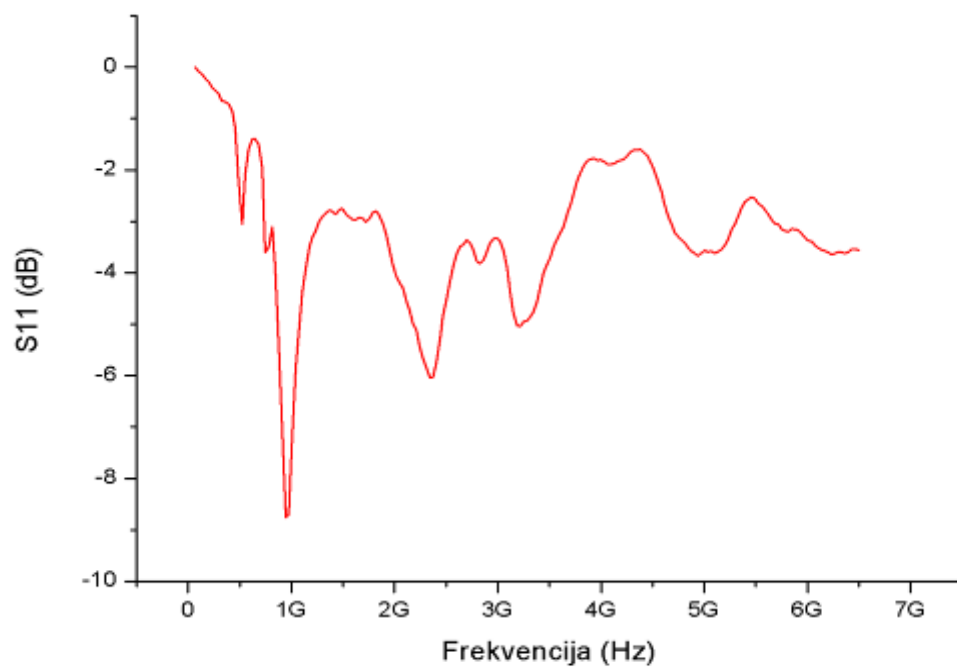
Slika 5.5. Fazni kut

Prema slici 5.2. vidljivo je za originalnu antenu Tip-3 kako ima 1 frekvencijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Taj opseg je u rasponu frekvencija od 0,85 do 0,91 GHz.

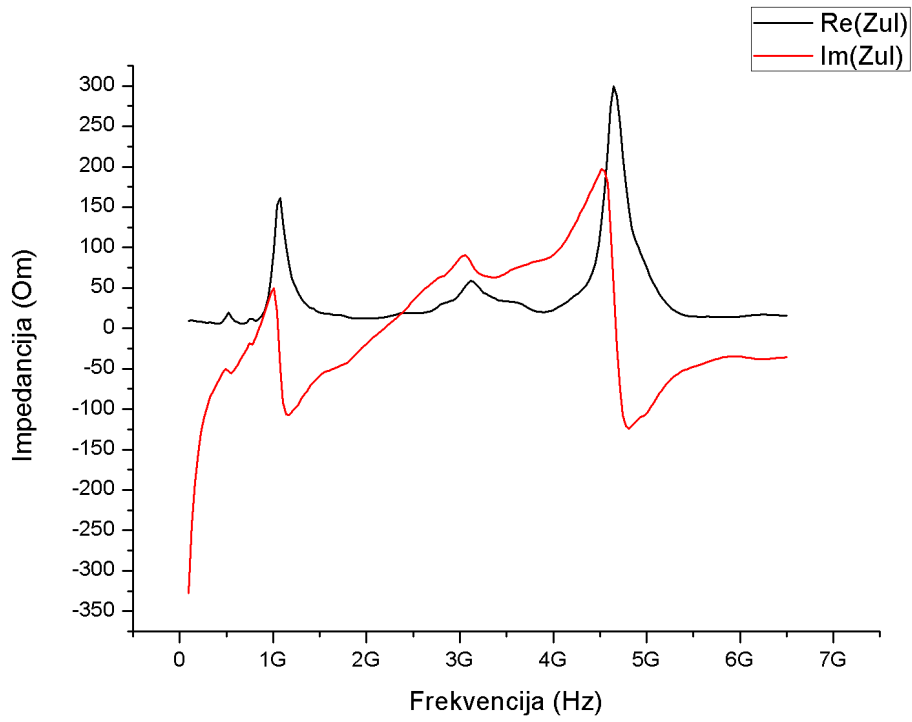
Na frekvenciji 0,89 GHz antena je najbolje prilagođena, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 41,7 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 31,6 ohm-a. Iako je to najbolje prilagođenje, jedva zadovoljava jer S11 parametar iznosi -10,19 dB. Apsolutna vrijednost impedancije iznosi 52,9 ohm-a.



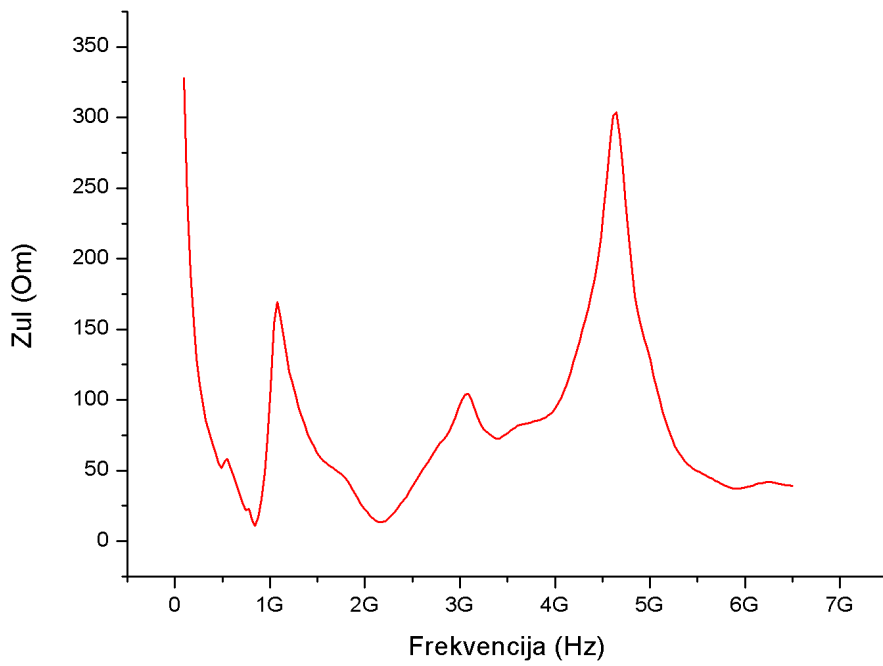
Slika 5.6. Tip-3 s jednom bakarnom trakom



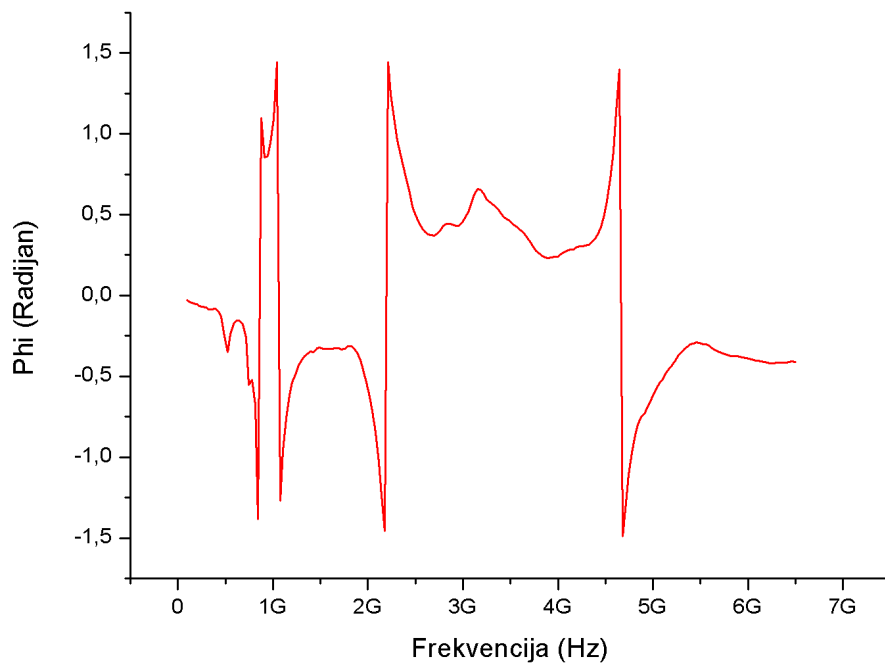
Slika 5.7. S11 Parametar



Slika 5.8. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 5.9. Ulazna impedancija

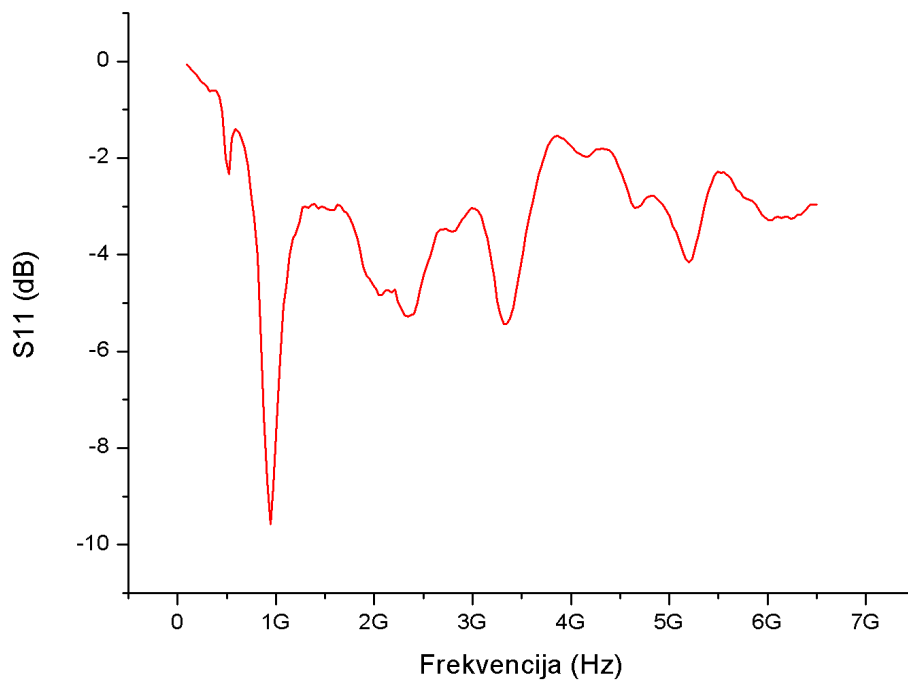


Slika 5.10. Fazni kut

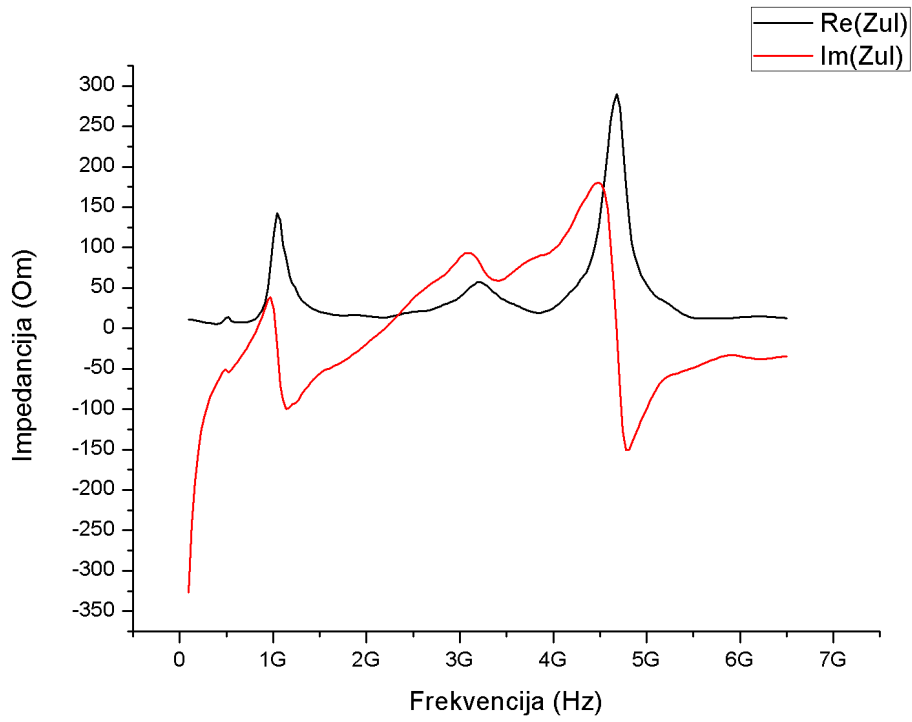
Prema slici 5.7. jasno se vidi kako antena tip-2 s jednom bakarnom trakom nema nijedan frekvencijski pojas, odnosno vrijednost S_{11} parametara ne pada ispod -10 dB na nijednoj frekvenciji. Zbog toga je ova antena s jednom trakom neupotrebljiva.



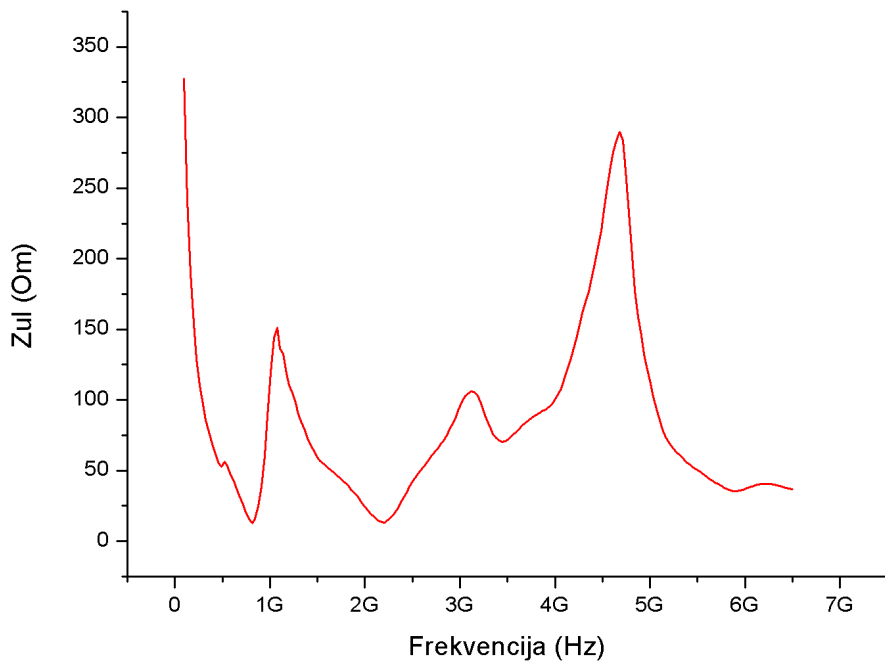
Slika 5.11. Tip-3 s dvije bakarne trake



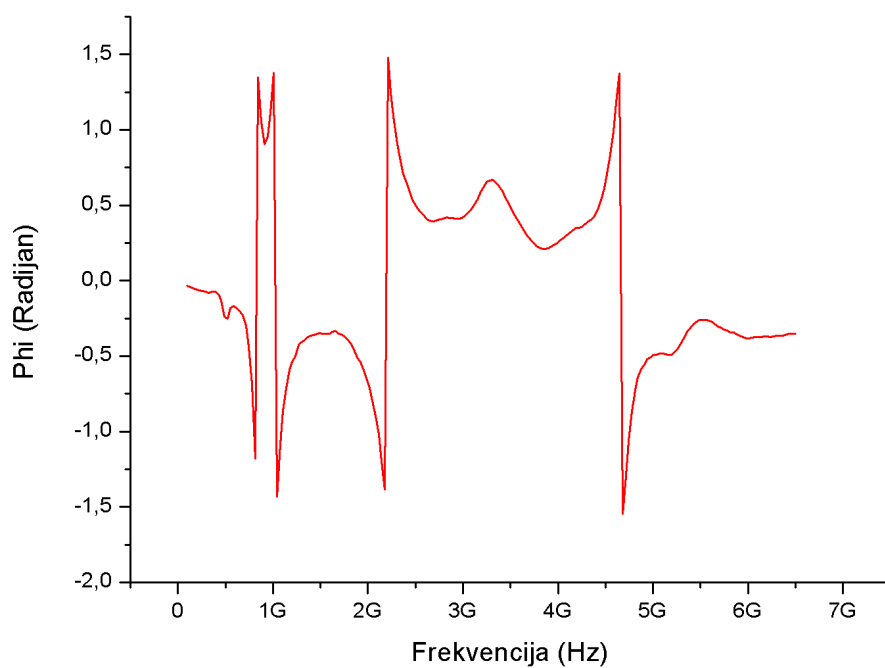
Slika 5.12. S11 Parametar



Slika 5.13. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 5.14. Ulazna impedancija

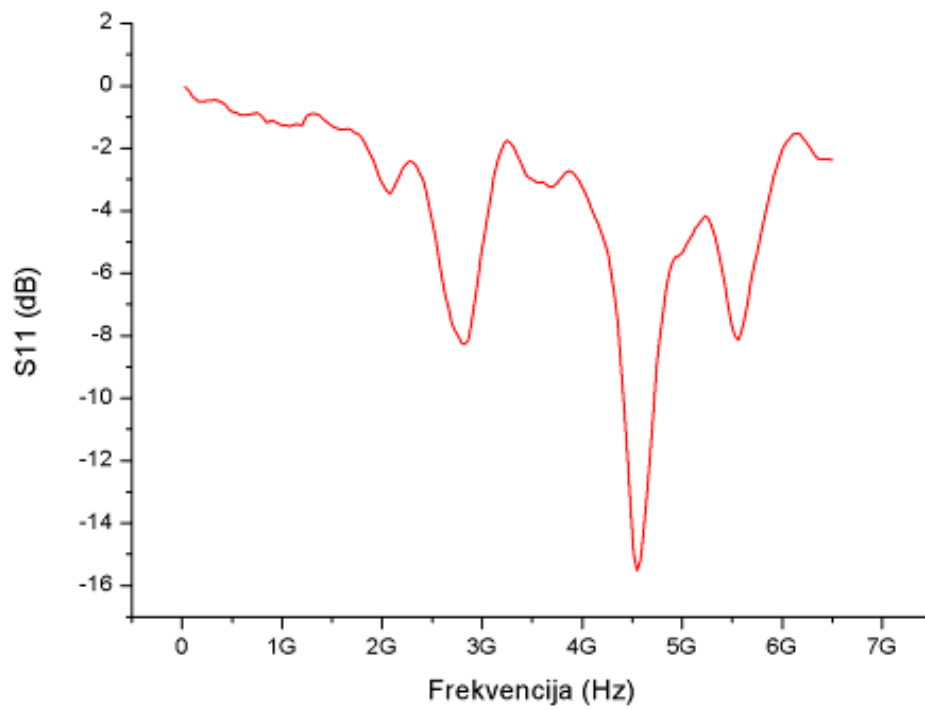


Slika 5.15. Fazni kut

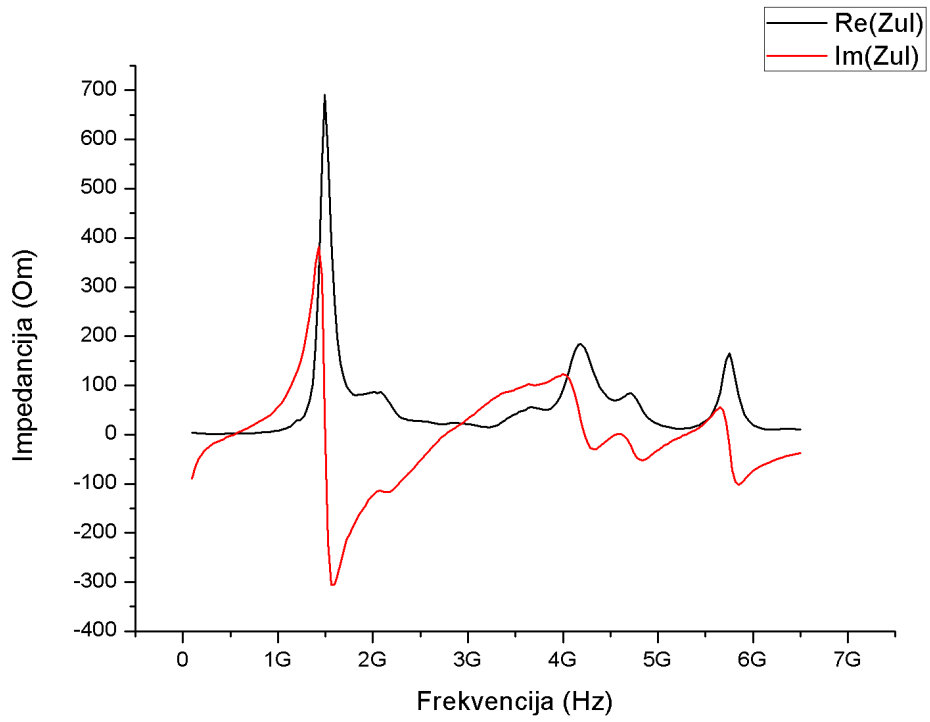
Prema slici 5.12. primjećuje se kako antena tip-2 s dvije bakarne trake nema nijedan frekvencijski pojas, odnosno vrijednost S11 parametara ne pada ispod -10 dB na nijednoj frekvenciji. Zbog toga je ova antena s dvije trake neupotreblijva.



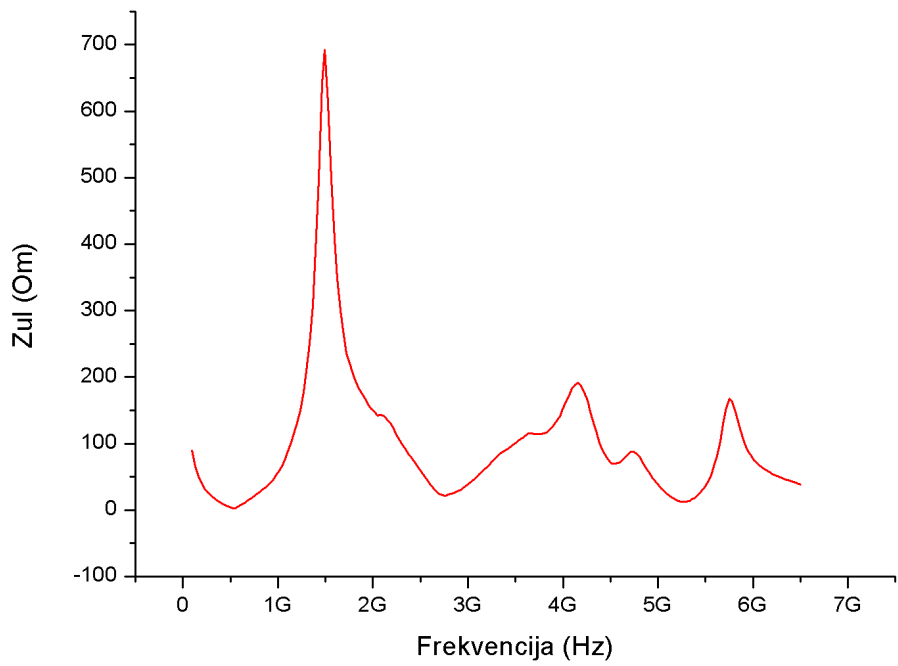
Slika 5.16. Tip-3 s tri bakarne trake



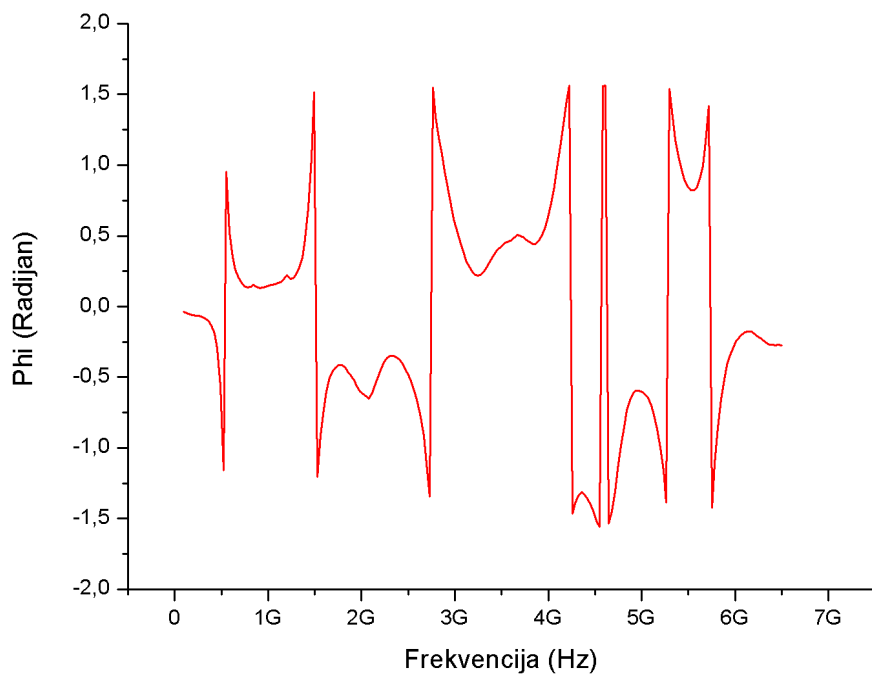
Slika 5.17. S11 Parametar



Slika 5.18. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 5.19. Ulazna impedancija



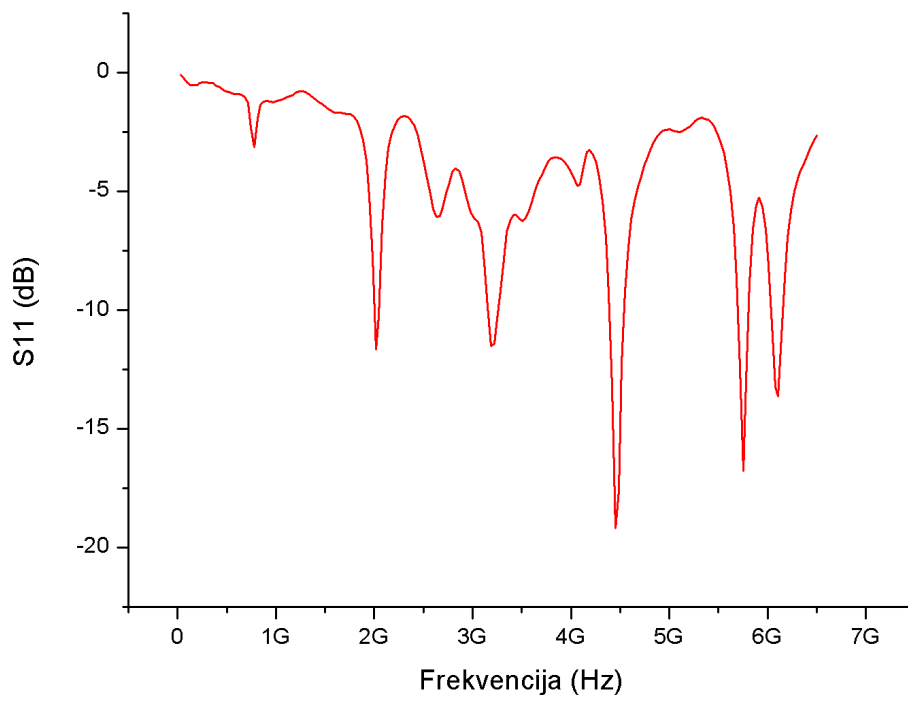
Slika 5.20. Fazni kut

Iz slike 5.17. vidi se kako antena Tip-3 s tri bakarne trake ima 1 frekventijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Nalazi se u rasponu frekvencija od 4,42 do 4,72 GHz.

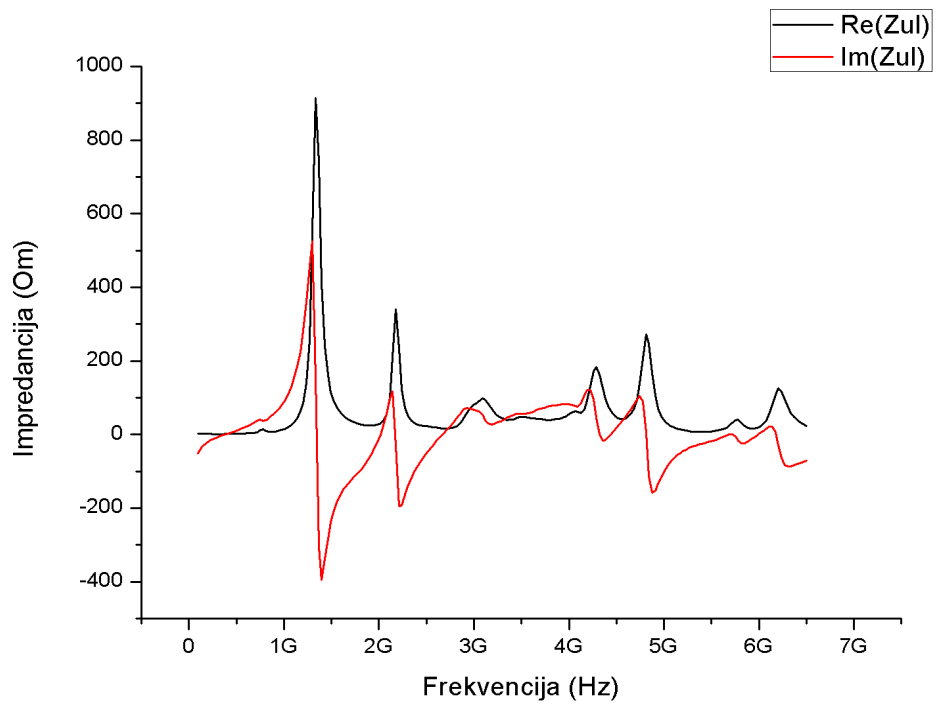
Na frekvenciji 4,56 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -15,57 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 71,3 ohm, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 1,9 ohm. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 71,3 ohm.



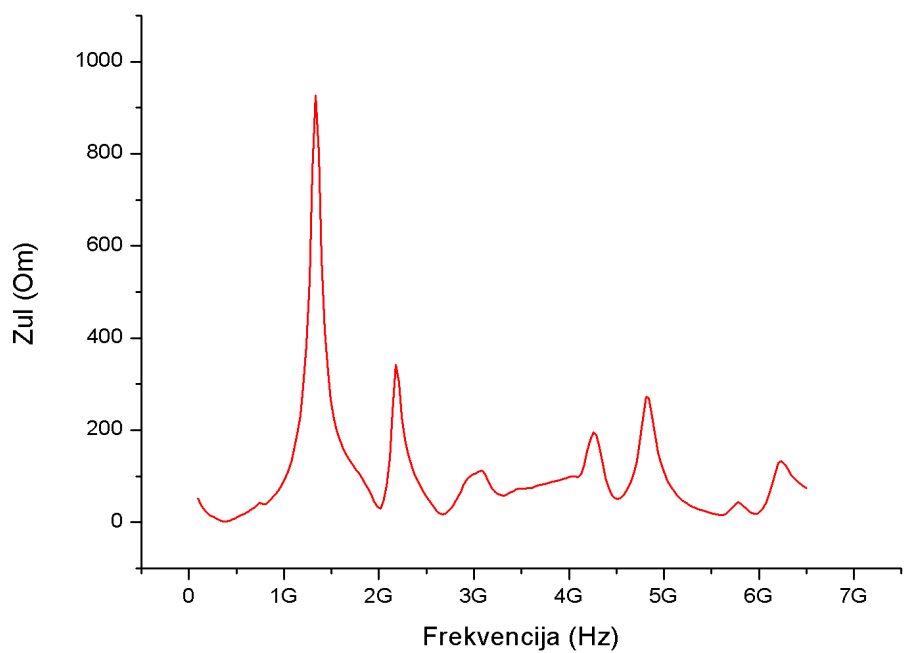
Slika 5.21. Tip-3 s tri bakarne trake



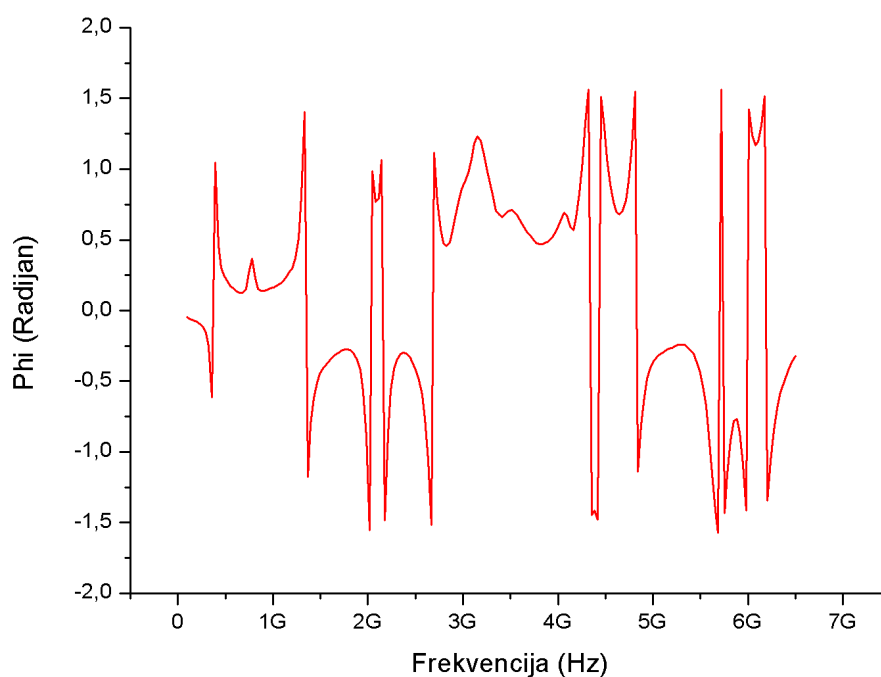
Slika 5.22. S11 Parametar



Slika 5.23. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 5.24. Ulazna impedancija



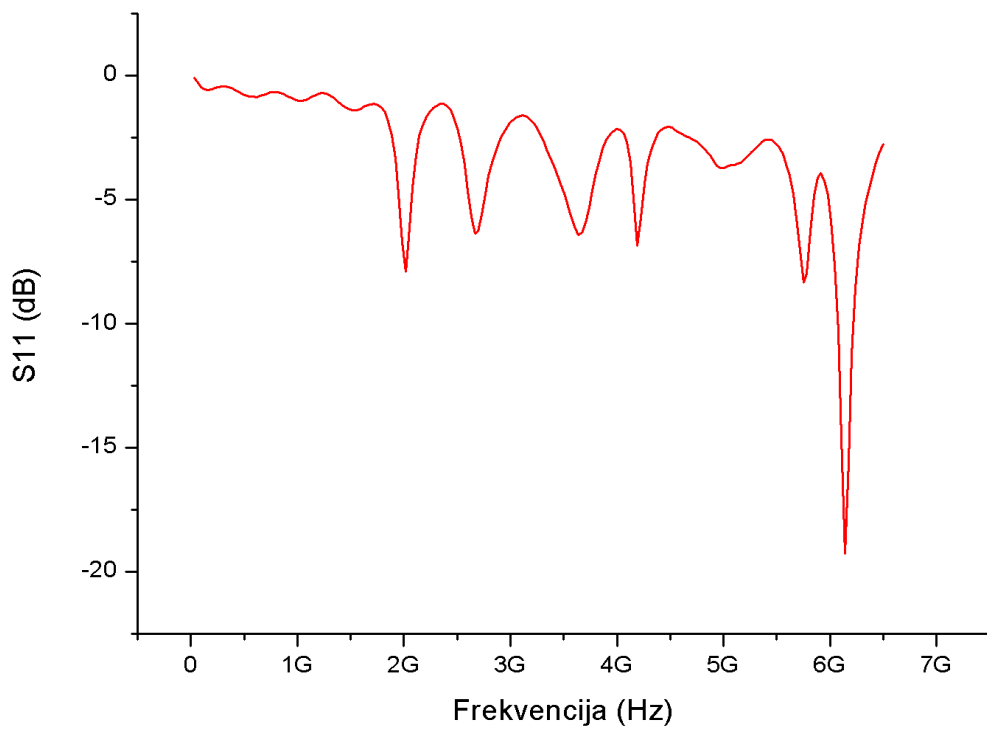
Slika 5.25. Fazni kut

Prema slici 5.22. vidljivo je za antenu Tip-3 s četiri bakarne trake kako ima 5 frekvencijskih opsega unutar kojih je vrijednost S_{11} parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 2,01 do 2,05 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 3,16 do 3,27 GHz, treći u rasponu frekvencija od 4,38 do 4,55 GHz, četvrti u rasponu frekvencija od 5,7 do 5,81 GHz a peti u rasponu frekvencija od 6,03 do 6,16 GHz.

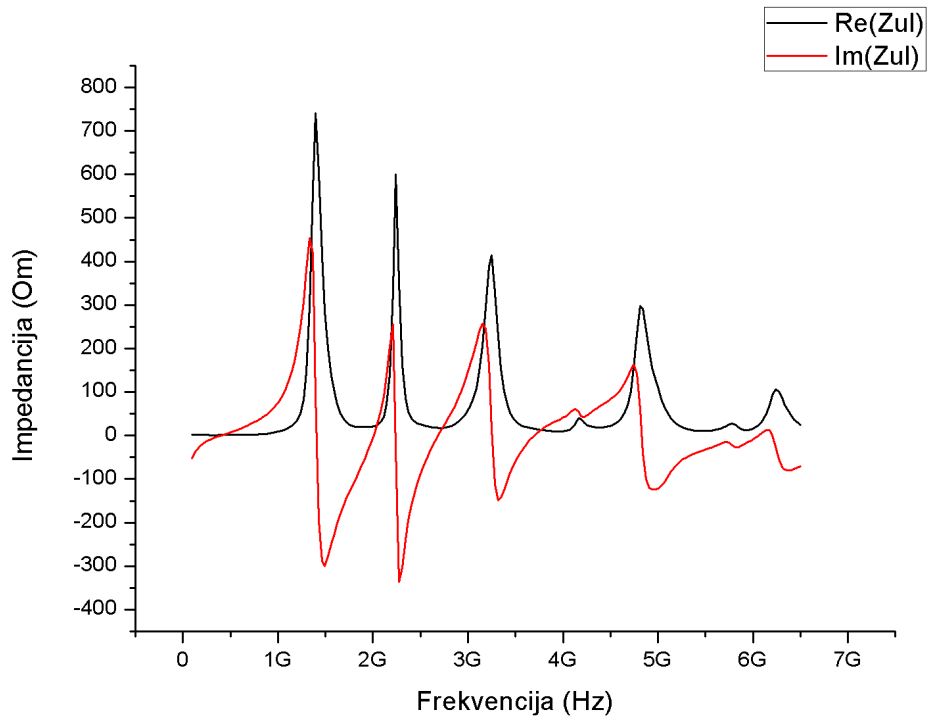
Na frekvenciji 4,45 GHz antena je najbolje prilagođena, S_{11} parametar iznosi -19,1 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 74,4 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 1 ohm. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 74,4 ohm-a.



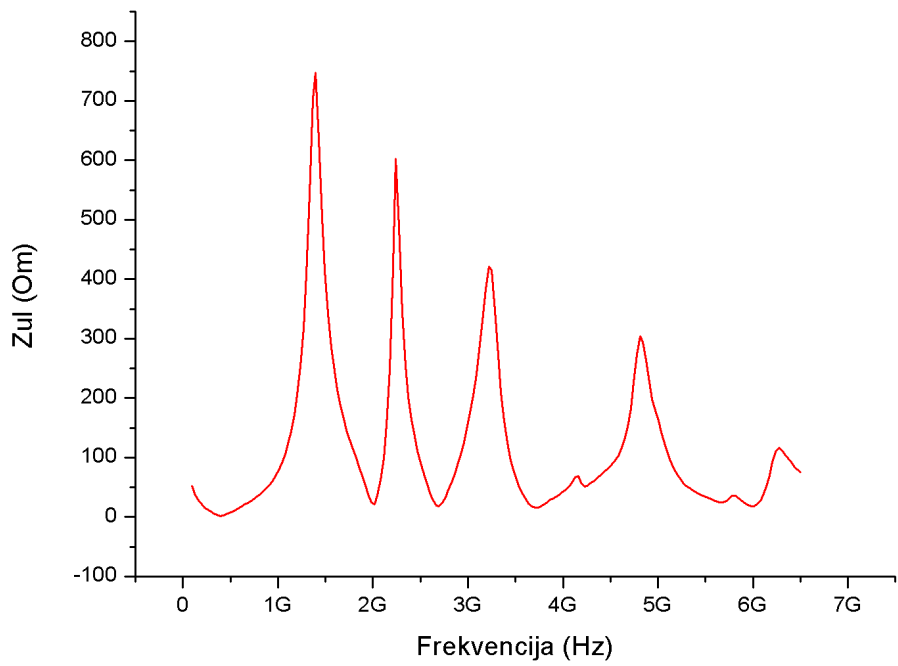
Slika 5.26. Tip-3 s pet bakarnih traka



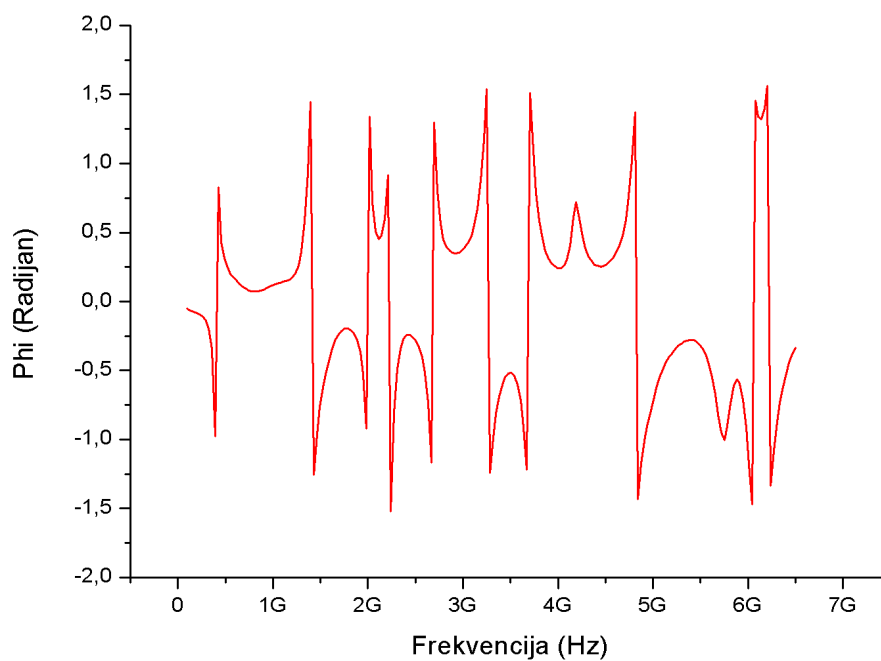
Slika 5.27. S11 Parametar



Slika 5.28. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 5.29. Ulazna impedancija



Slika 5.30. Fazni kut

Prema slici 5.27. vidi se kako antena Tip-3 s pet bakarnih traka ima 1 frekvencijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Nalazi na frekvenciji od 6,05 do 6,23 GHz.

Na frekvenciji 6,13 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -19,32 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 40,9 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 6,5 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 41,4 ohm-a.

Tablica 5.1. Širine frekvencijskih pojaseva za antenu Tip-3.

Tip 3	BW1 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW2 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW3 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW4 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW5 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	Ukupan BW (GHz)
NO GND	0,916 – 0,85 0,894 -10,19	/	/	/	/	0,06
1T	/	/	/	/	/	0
2T	/	/	/	/	/	0
3T	4,729 - 4,425 4,564 -15,569	/	/	/	/	0,304
4T	2,056 - 2,012 2,024 -11,682	3,273 - 3,164 3,198 -11,591	4,555 - 4,381 4,457 -19,1	5,816 - 5,707 5,752 -16,704	6,164 - 6,033 6,120 -13,621	0,567
5T	6,232 - 6,058 6,132 -19,324	/	/	/	/	0,174

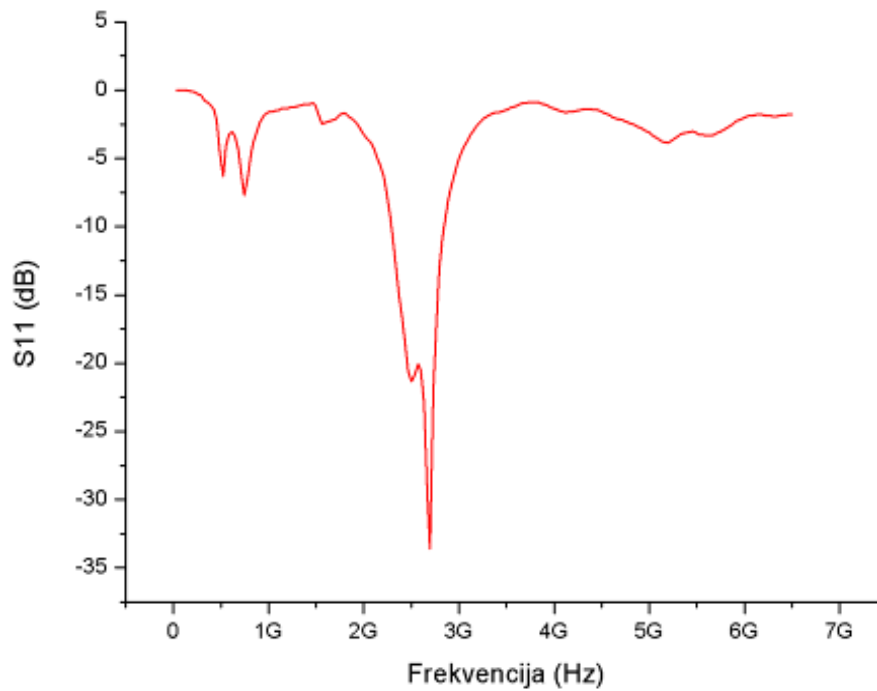
Prema podacima iz tablice 5.1 vidi se kako je antena Tip-3 u originalnoj izvedbi upotrebljiva na jako malom frekvencijskom opsegu, te S11 parametar jedva zadovoljava. S jednom i dvije bakarne trake antena je neupotrebljiva jer ni na jednoj frekvenciji vrijednost S11 parametra ne iznosi manje od -10 dB. S tri i pet traka antena je upotrebljiva na malom frekvencijskom opsegu, dok s 4 trake antena je najupotrebljivija jer ima ukupan frekvencijski opseg preko 0,5 Ghz.

6. ANTENA TIP-4

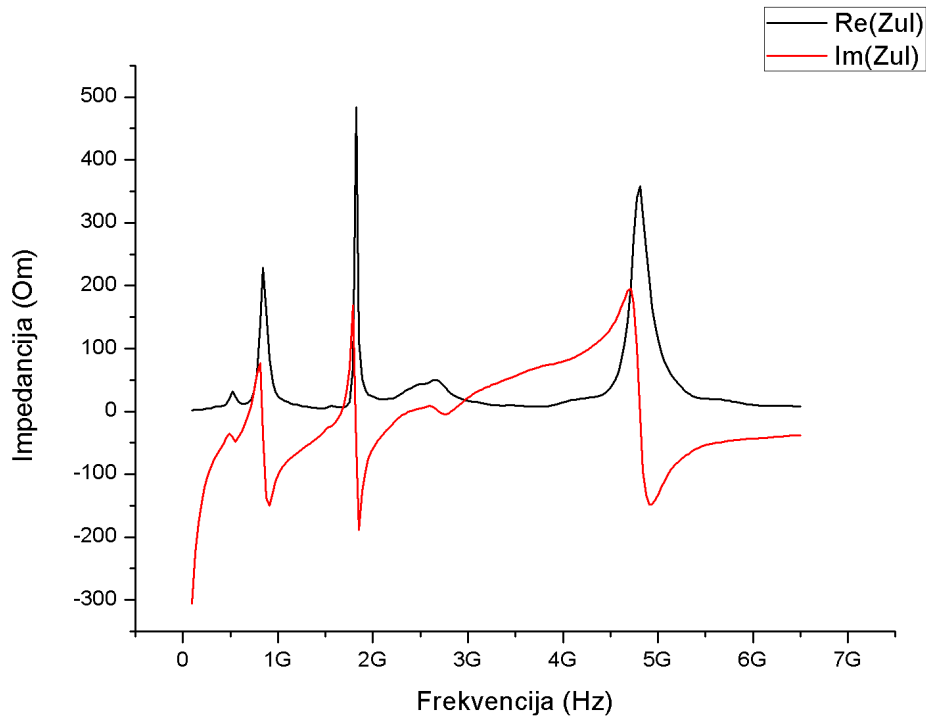
Ova antena je izvedena kao planarna dipolna struktura na tiskanoj pločici. Karakteristika izvedbe je Bow-tie („mašna“) oblik također konkavno zakrivljen kao Tip-2, ali u malo drugačijem obliku.



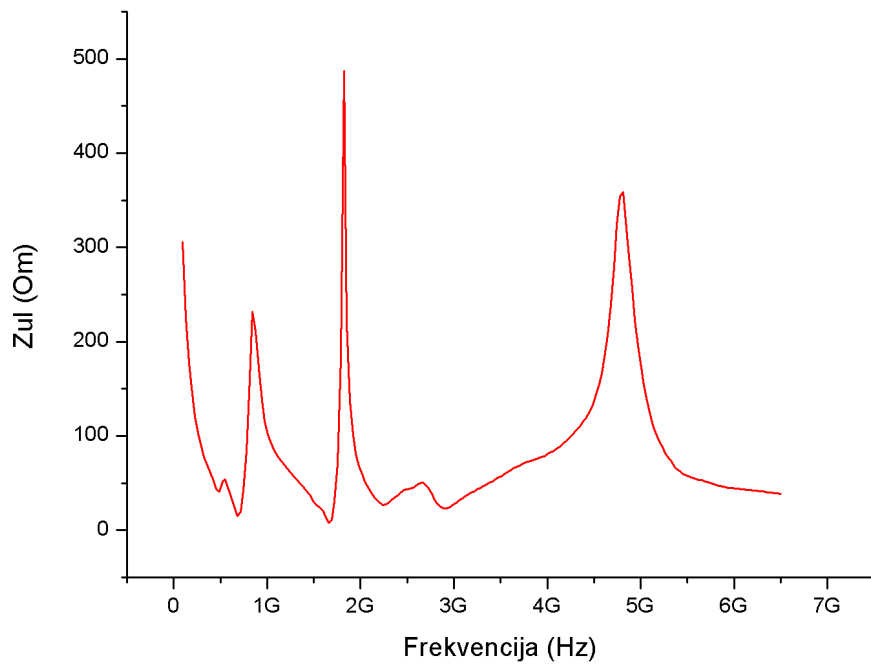
Slika 6.1. Originalna antena Tip-4



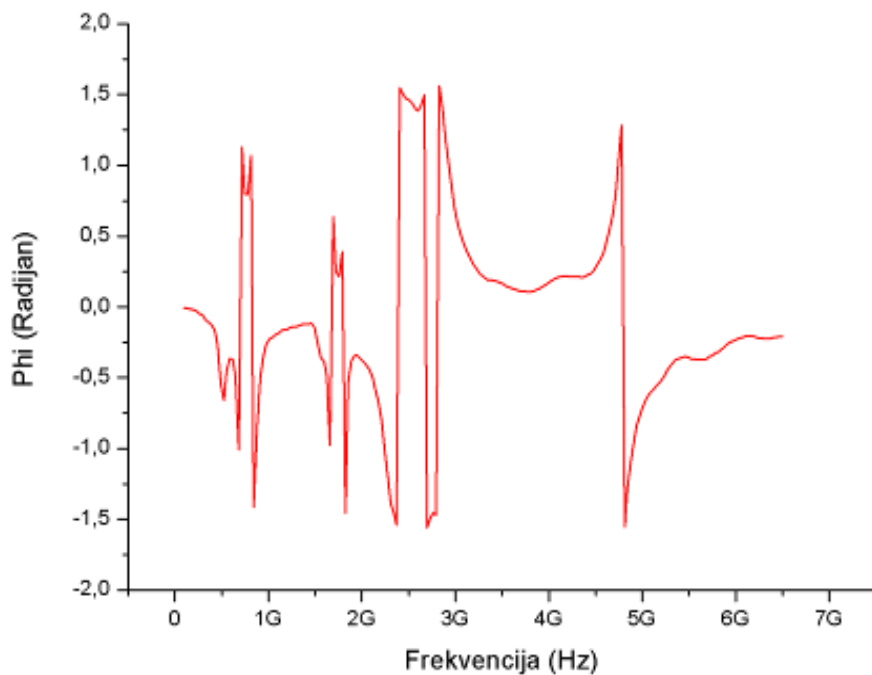
Slika 6.2. S11 Parametar



Slika 6.3. Realni i imaginarni dio impedancije



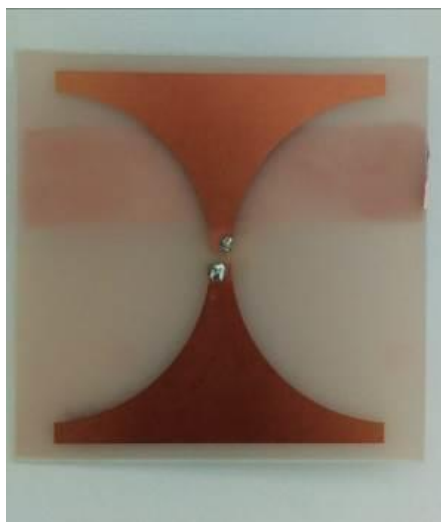
Slika 6.4. Ulazna impedancija



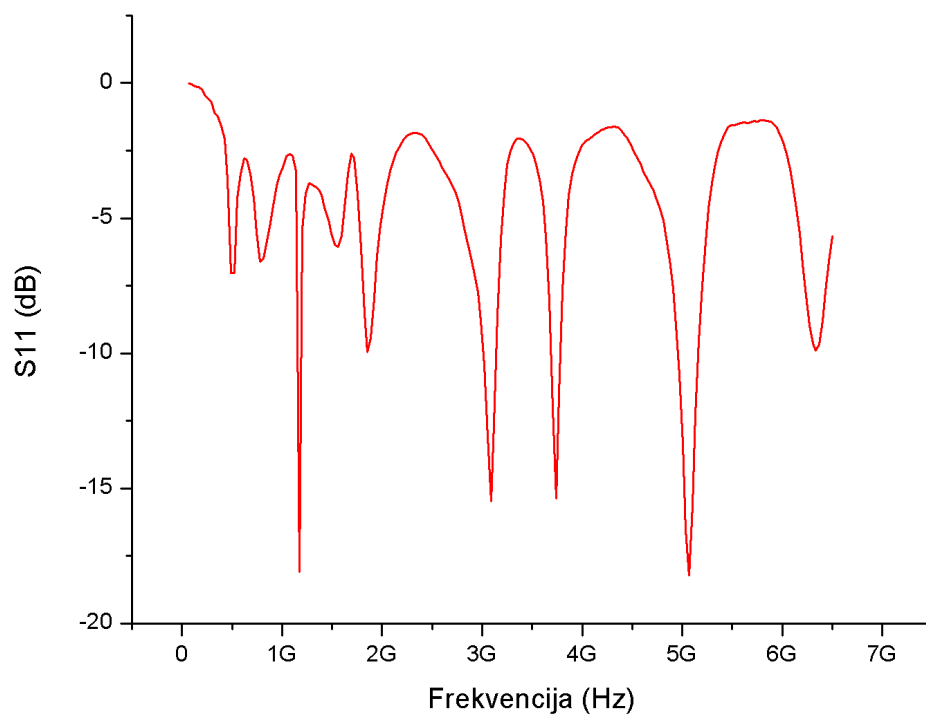
Slika 6.5. Fazni kut

Iz slike 6.2. vidi se za originalnu antenu Tip-4 kako ima 1 frekvencijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Nalazi se u rasponu frekvencija od 2,28 do 2,84 GHz.

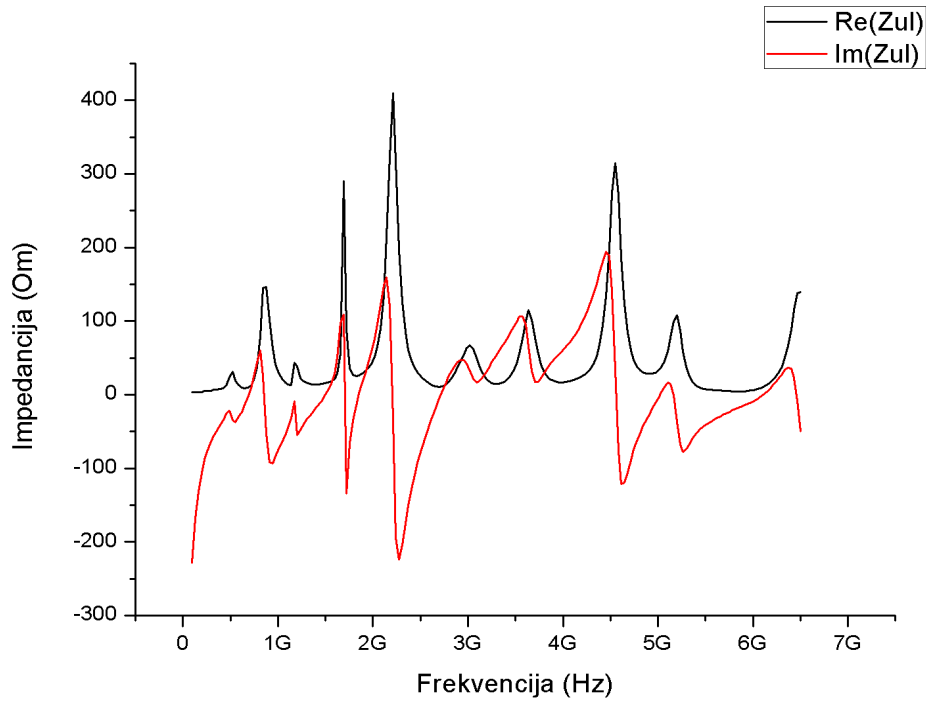
Na frekvenciji 2,69 Ghz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -33,69 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 48,5 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 4,4 ohma. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 48,6 ohm-a.



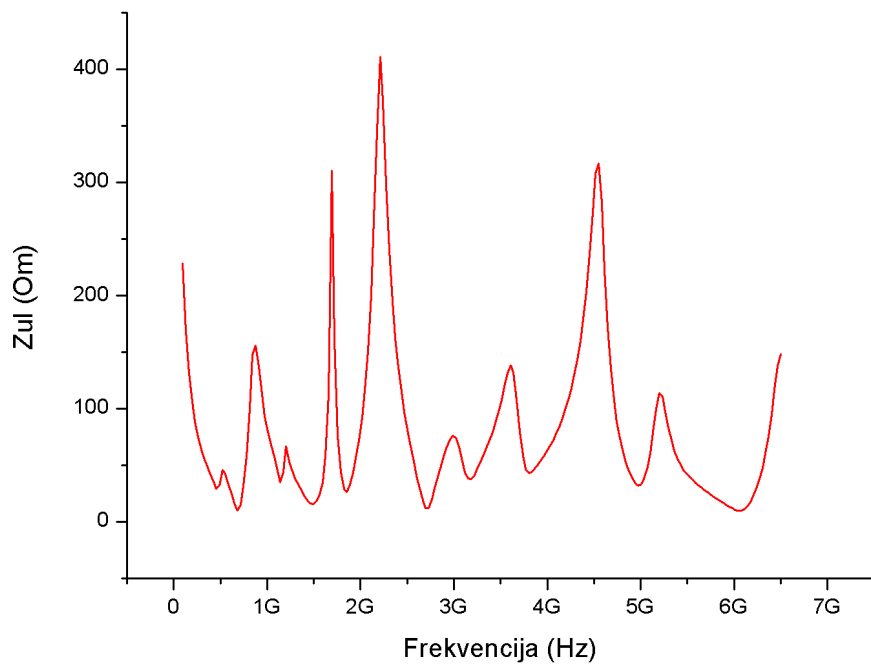
Slika 6.6. Tip-4 s jednom bakarnom trakom



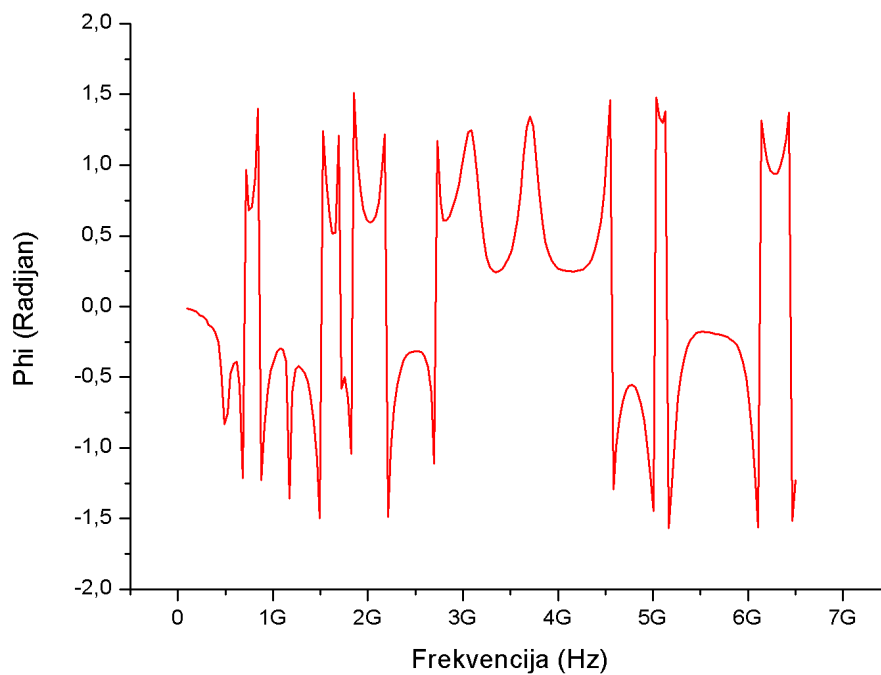
Slika 6.7. S11 Parametar



Slika 6.8. Realni i imaginarni dio impedancije



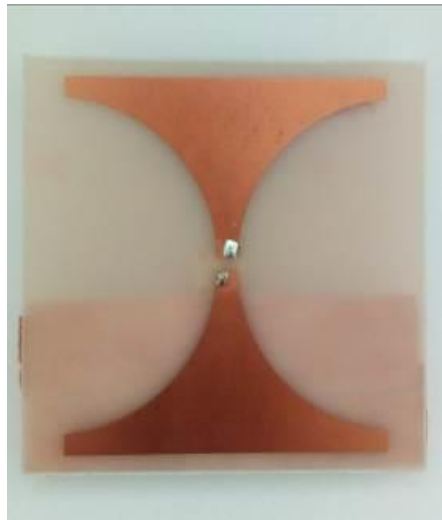
Slika 6.9. Ulazna impedancija



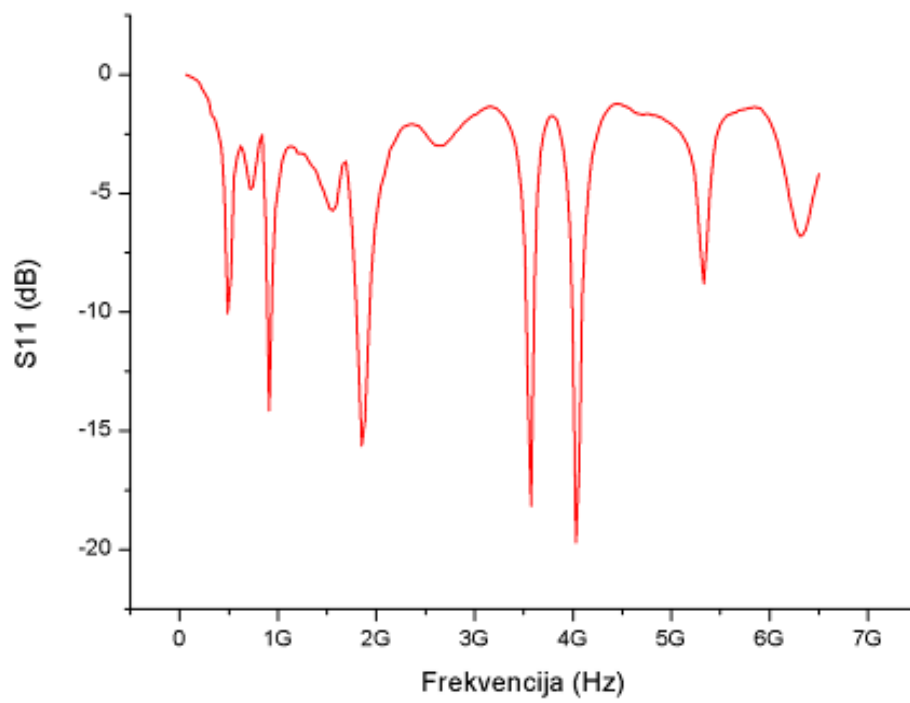
Slika 6.10. Fazni kut

Prema slici 6.7 vidi se kako antena Tip-4 s jednom bakarnom trakom ima 4 frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 1,15 do 1,18 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 3,01 do 3,13 GHz, treći u rasponu frekvencija od 3,69 do 3,78 GHz a četvrti u rasponu frekvencija od 4,95 do 5,17 GHz.

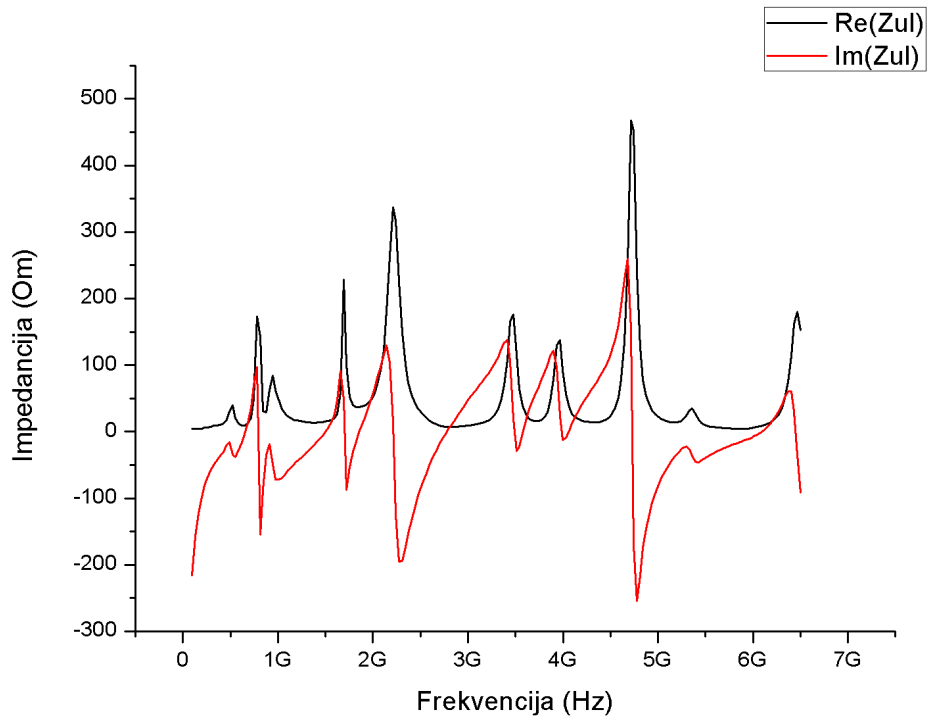
Na frekvenciji 5,07 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -18,19 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 42,1 ohm, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 8,5 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 42,9 ohm-a.



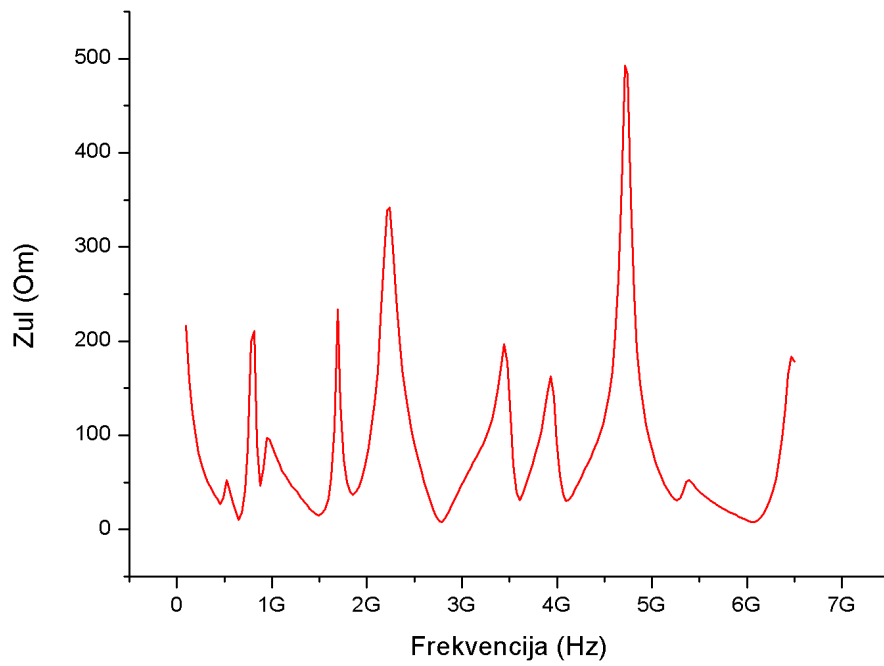
Slika 6.11. Tip-4 s dvije bakarne trake



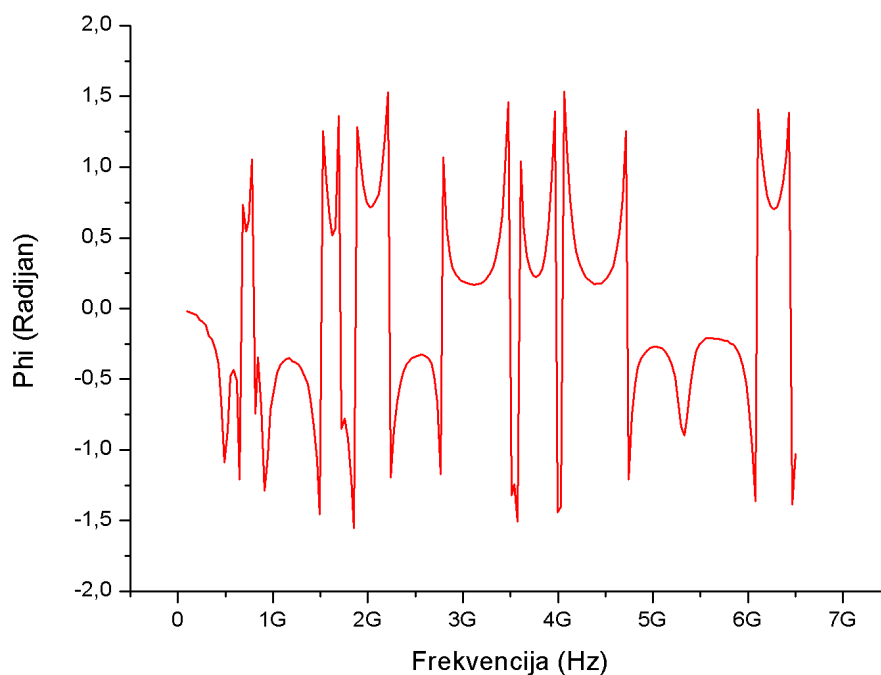
Slika 6.12 S11 Parametar



Slika 6.13. Realni i imaginarni dio impedancije



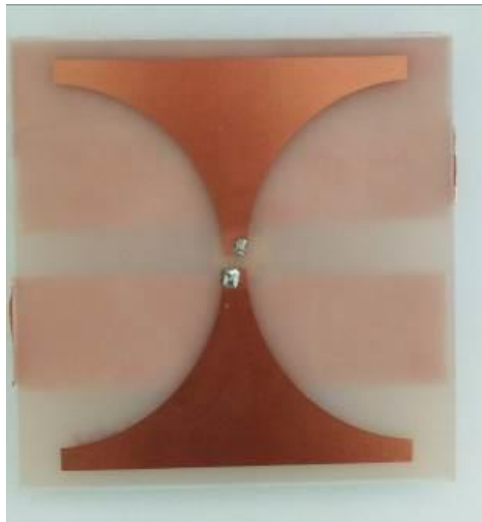
Slika 6.14. Ulazna impedancija



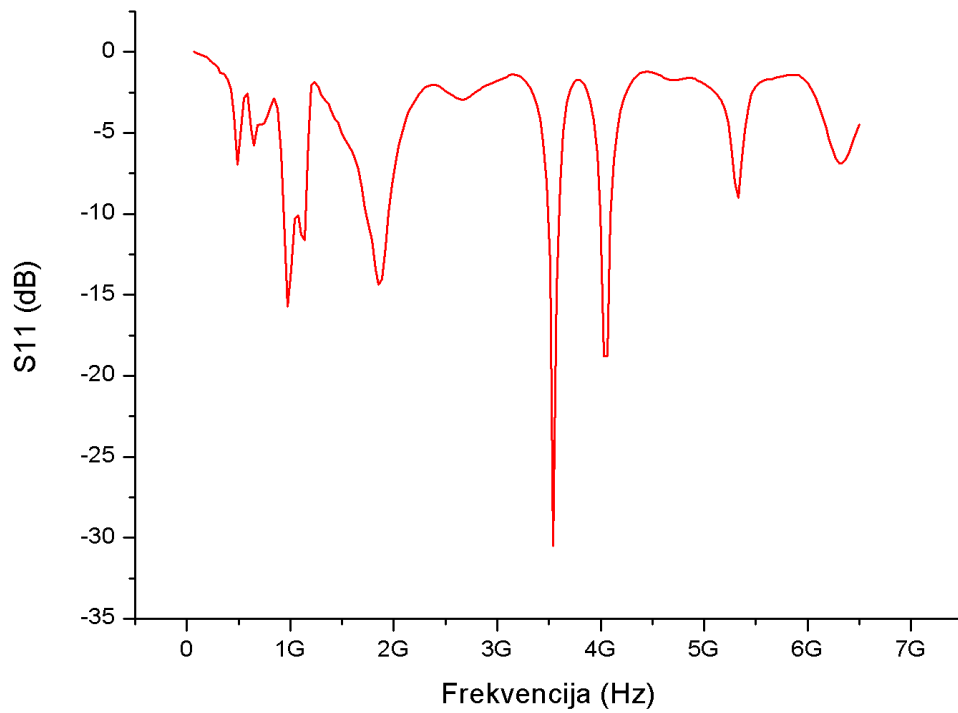
Slika 6.15. Fazni kut

Prema slici 6.12. vidi se za antenu Tip-4 s dvije bakarne trake kako ima 4 frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 0,89 do 0,93 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 1,71 do 1,93 GHz, treći u rasponu frekvencija od 3,52 do 3,6 GHz a četvrti u rasponu frekvencija od 3,99 do 4,08 GHz.

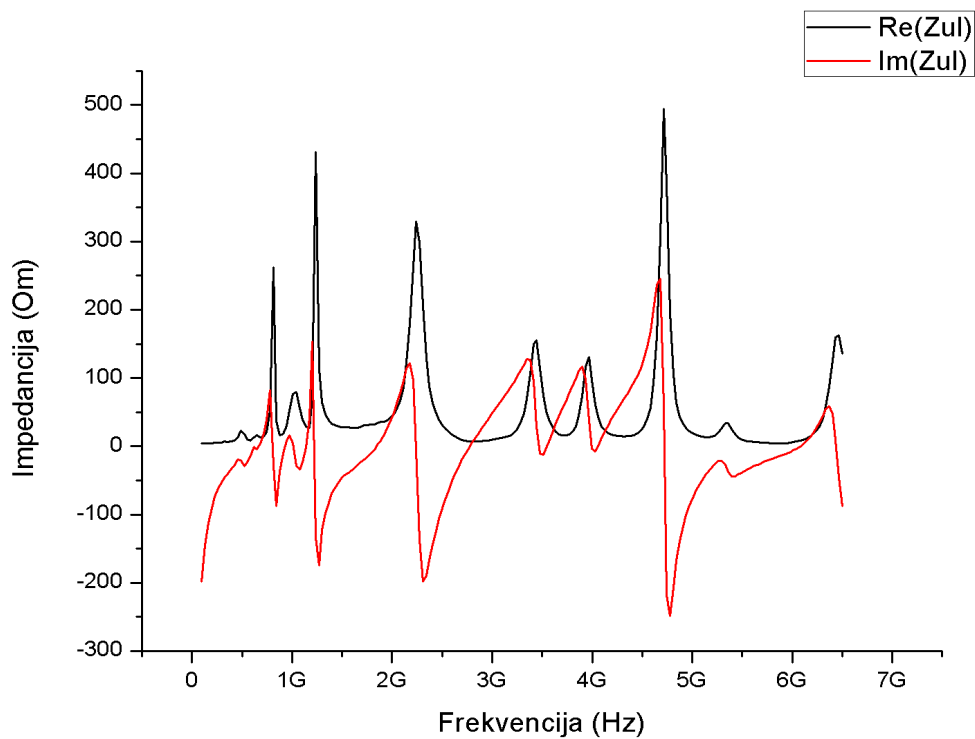
Na frekvenciji 4,03 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -19,94 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 62,6 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi -9 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 63,24 ohm-a.



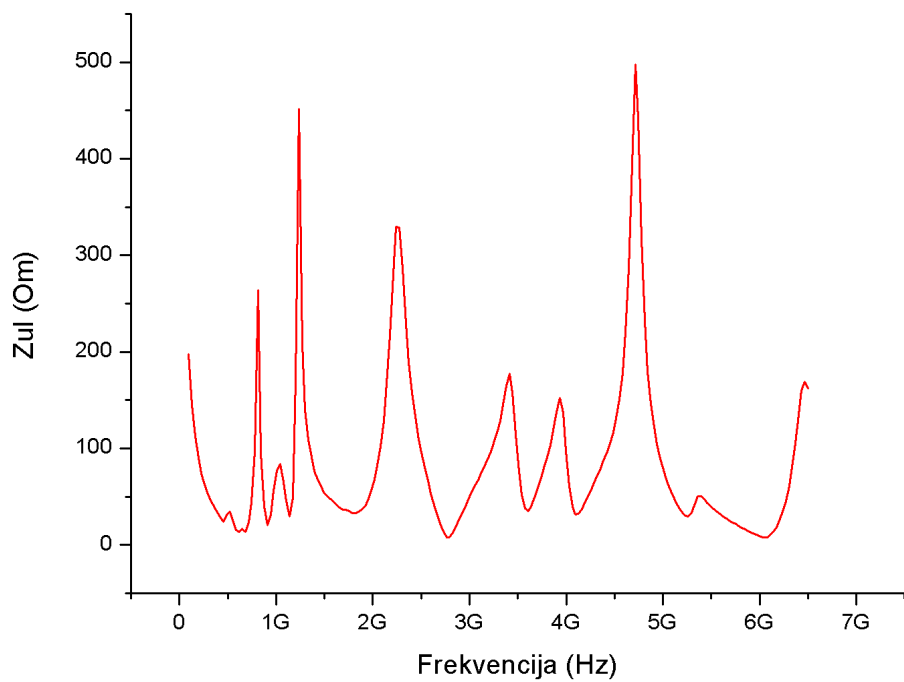
Slika 6.16. Tip-4 s tri bakarne trake



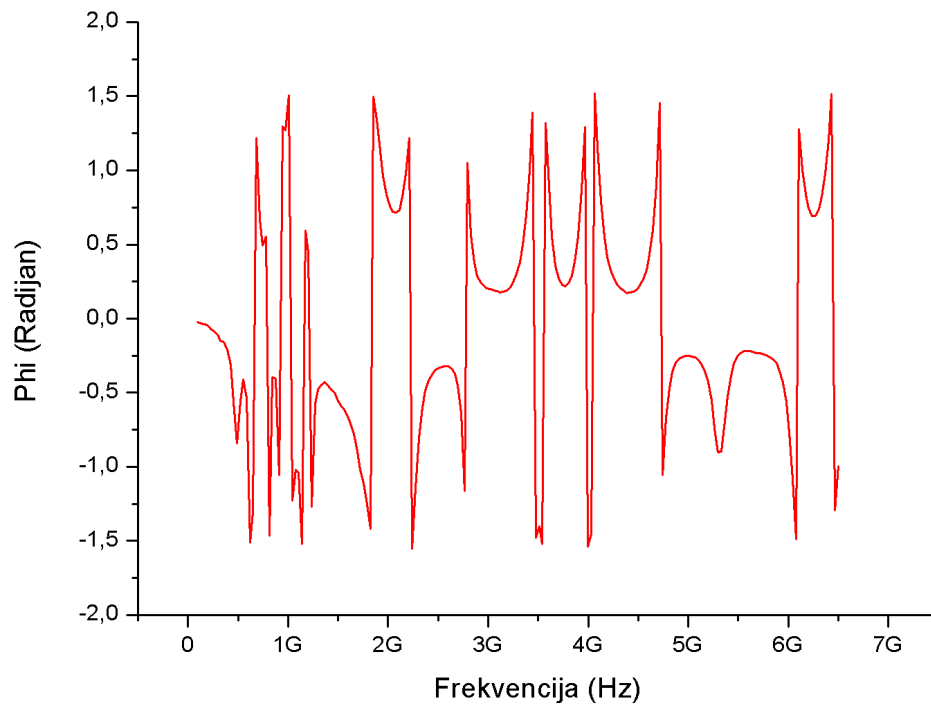
Slika 6.17. S11 Parametar



Slika 6.18. Realni i imaginarni dio impedancije



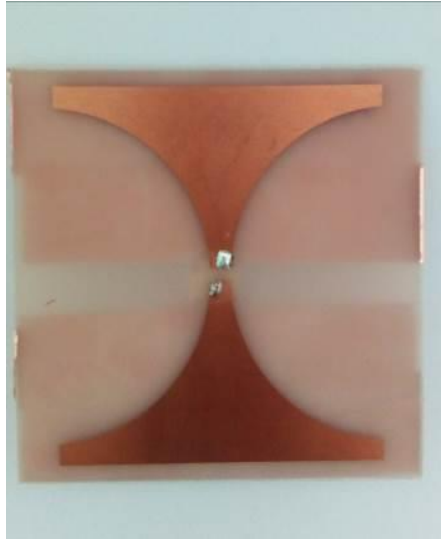
Slika 6.19. Ulazna impedancija



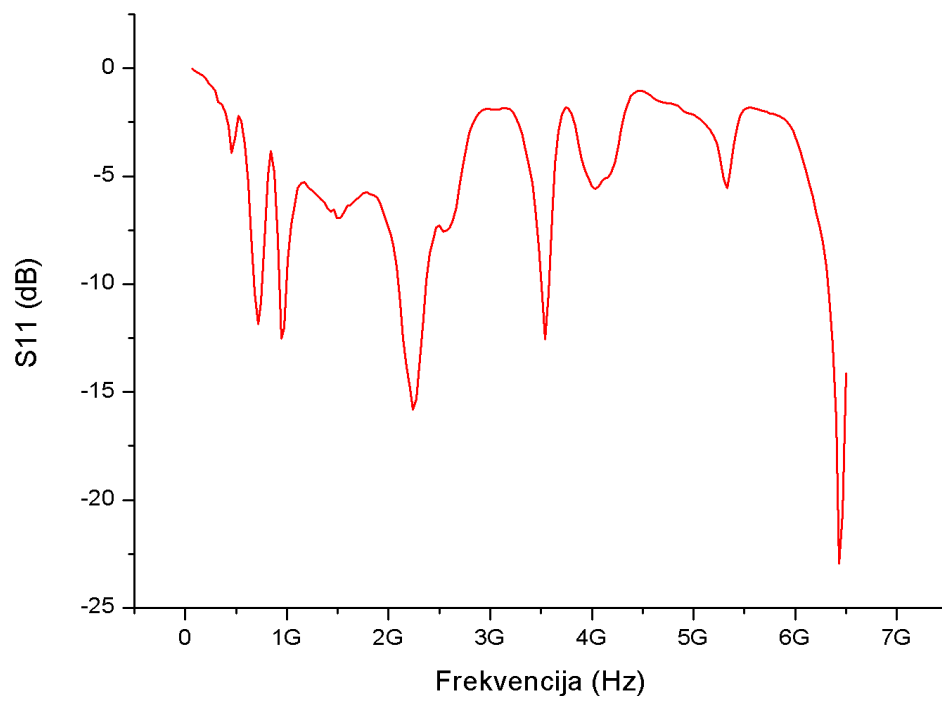
Slika 6.20. Fazni kut

Prema slici 6.17. primjećuje se za antenu Tip-4 s tri bakarne trake kako ima 4 frekventijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 0,92 do 1,14 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 1,73 do 1,94 GHz, treći u rasponu frekvencija od 3,49 do 3,6 GHz a četvrti u rasponu frekvencija od 3,99 do 4,1 GHz.

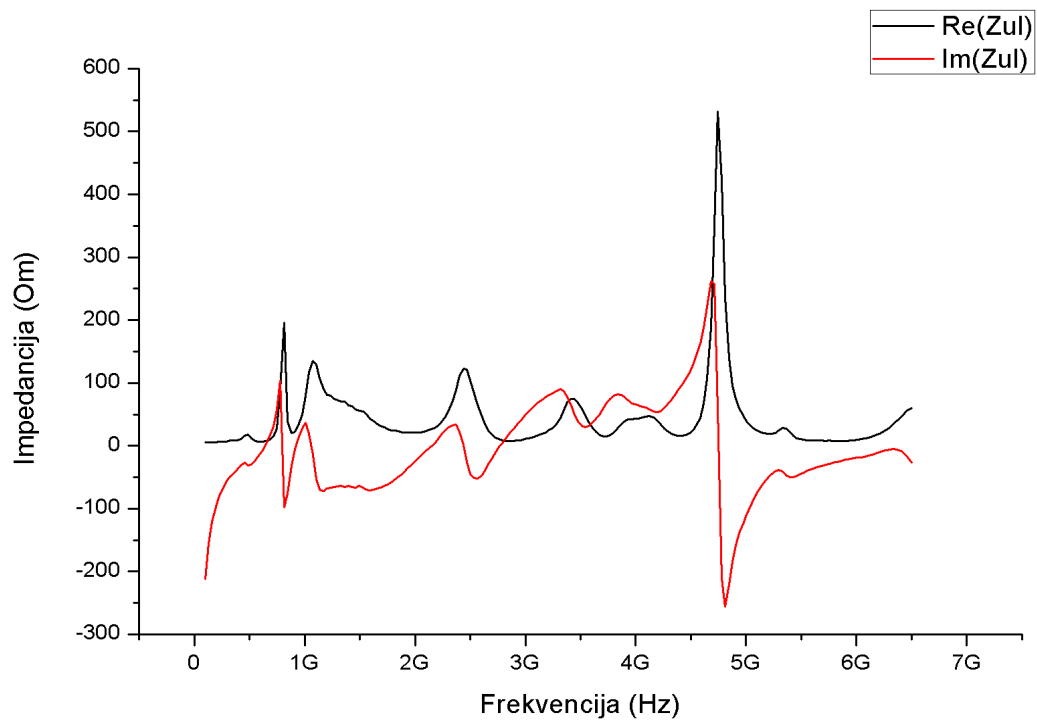
Na frekvenciji 3,54 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -30,44 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 64,7 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi -6,3 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 65 ohm-a.



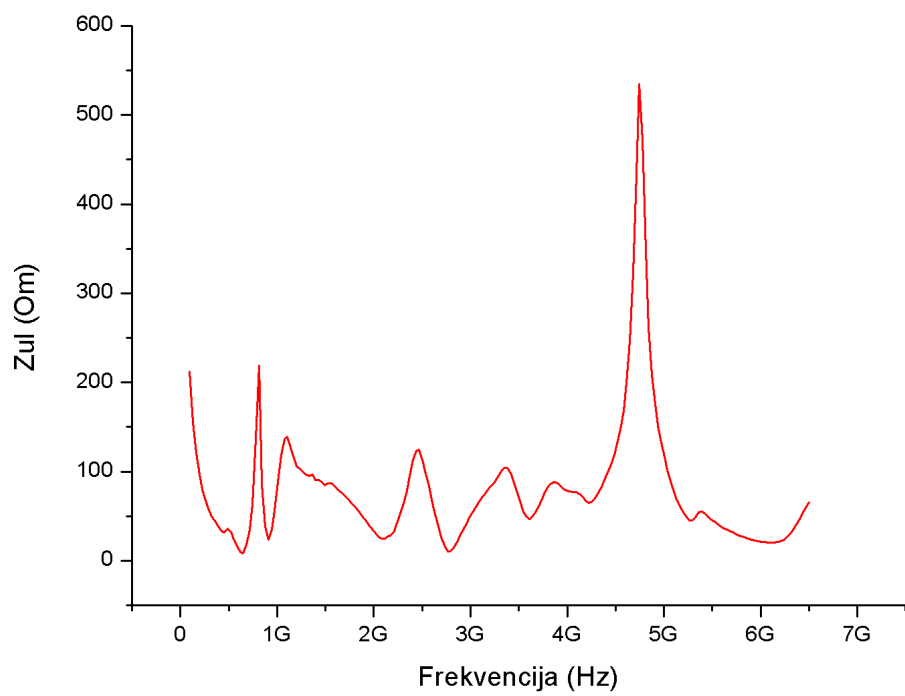
Slika 6.21. Tip-4 s četiri bakarne trake



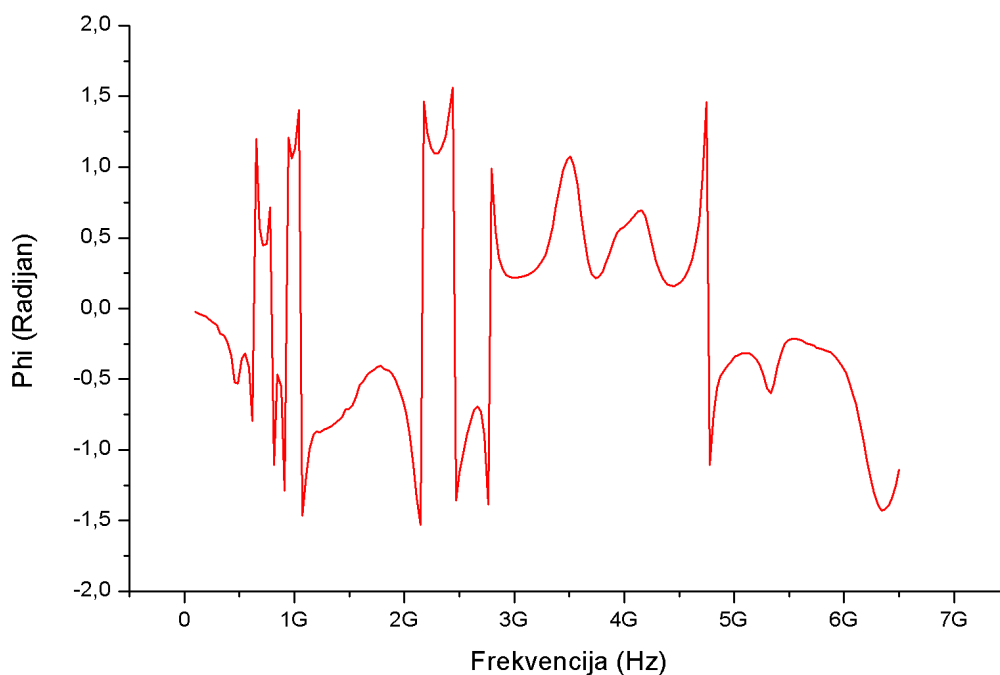
Slika 6.22. S11 Parametar



Slika 6.23 Realni i imaginarni dio impedancije



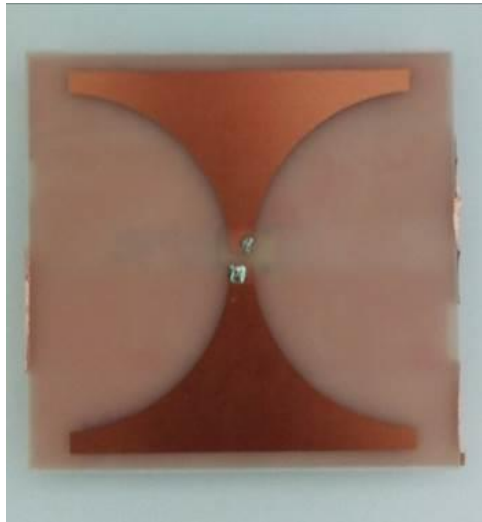
Slika 6.24 Ulazna impedancija



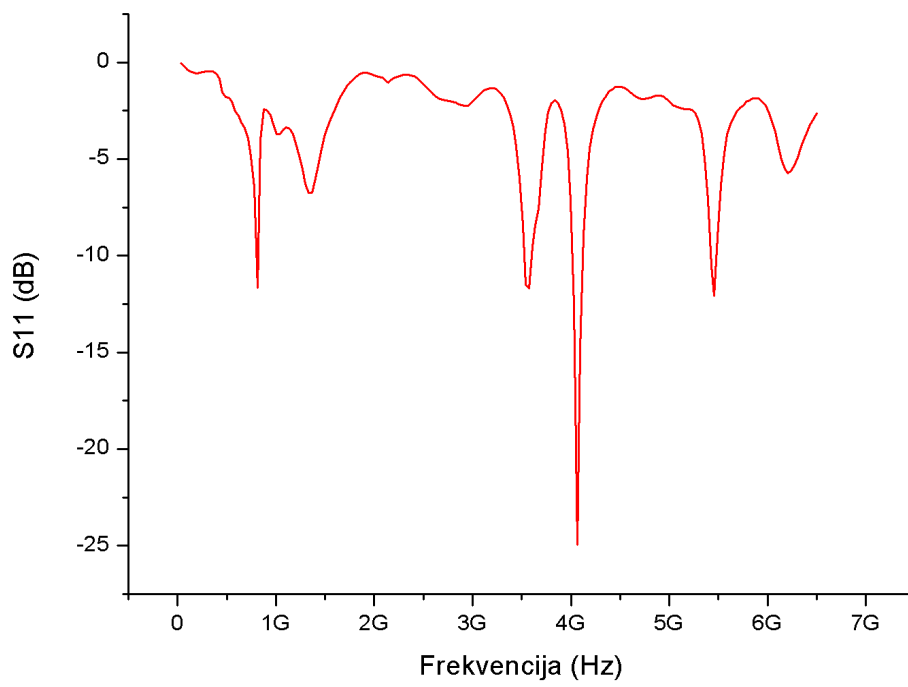
Slika 6.25. Fazni kut

Iz slike 6.22. uočljivo je kako antena Tip-4 s četiri bakarne trake ima 5 frekvencijskih opsega unutar kojih je vrijednost S_{11} parametara ispod -10 . Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 0,66 do 0,77 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 0,92 do 0,99 GHz, treći u rasponu frekvencija od 2,09 do 2,38 GHz, četvrti u rasponu frekvencija od 3,51 do 3,57 GHz a peti u rasponu frekvencija od 6,31 do 6,57 GHz.

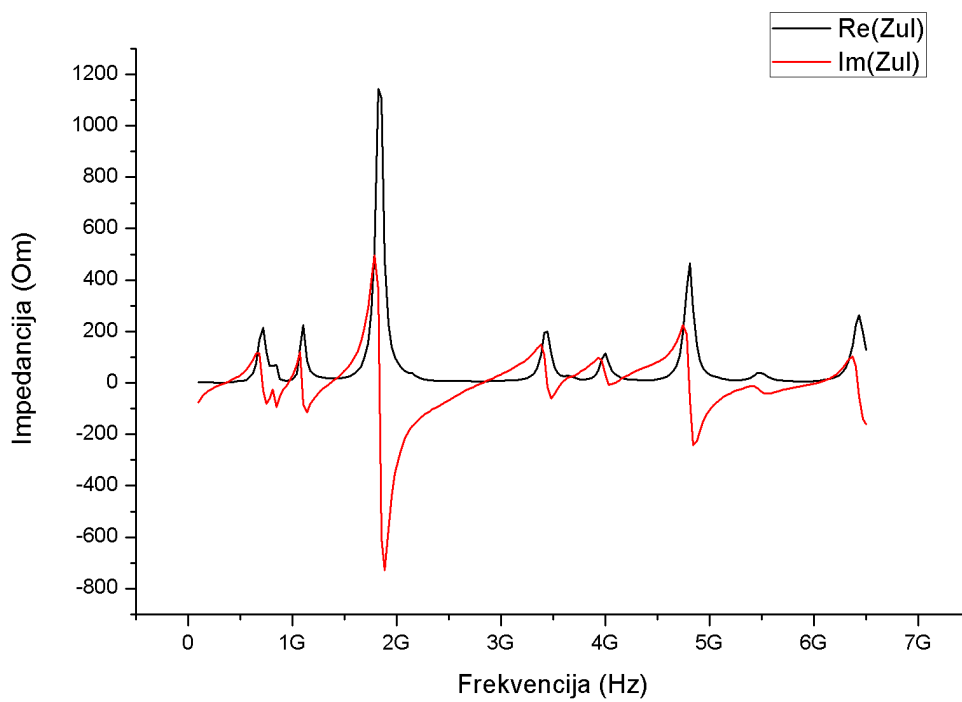
Na frekvenciji 6,45 GHz antena je najbolje prilagođena, S_{11} parametar iznosi $-22,96$ dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 59,8 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi $-21,1$ ohm. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 63,4 ohm-a.



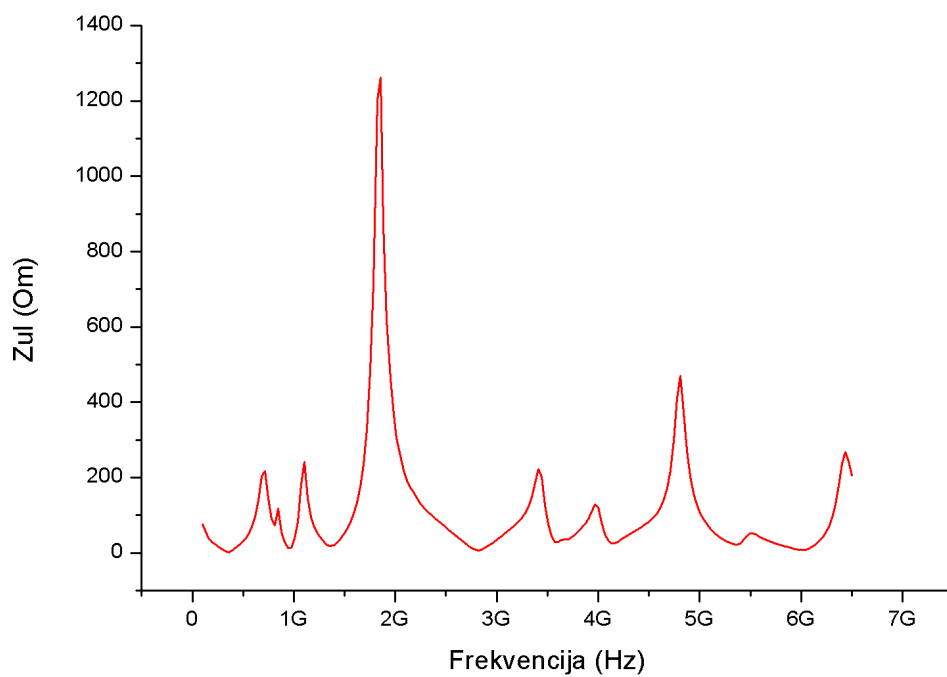
Slika 6.26. Tip-4 s pet bakarnih traka



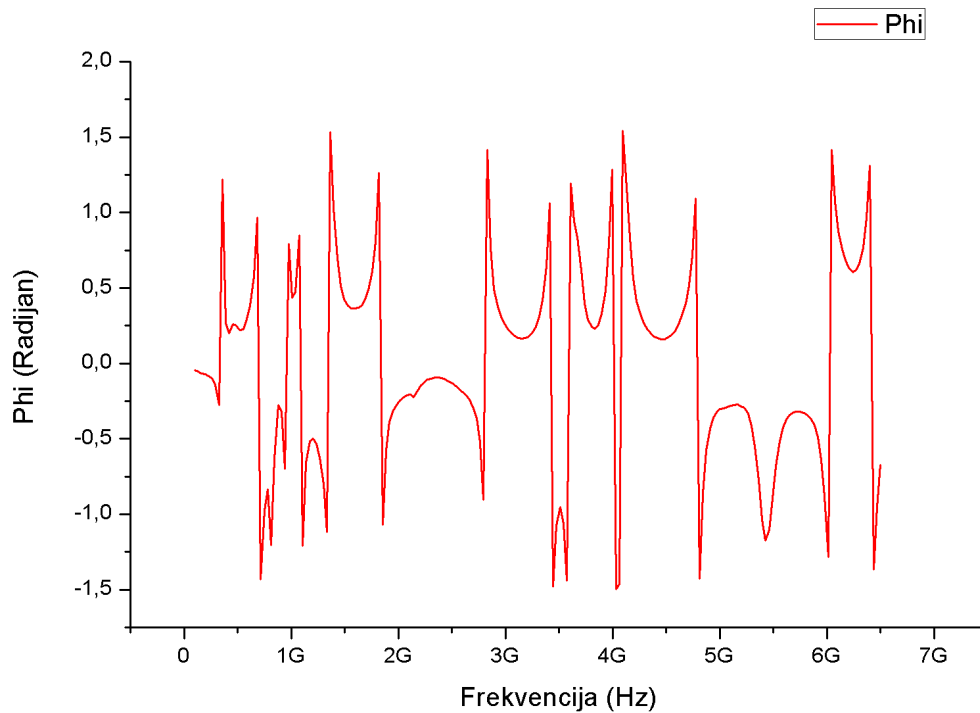
Slika 6.27. S11 Parametar



Slika 6.28. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 6.29. Ulazna impedancija



Slika 6.30. Fazni kut

Prema slici 6.27. vidljivo je kako antena Tip-4 s pet bakarnih traka ima 4 frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost S_{11} parametara ispod -10 . Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 0,78 do 0,82 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 3,52 do 3,6 GHz, treći u rasponu frekvencija od 4,02 do 4,13 GHz a četvrti u rasponu frekvencija od 5,41 do 5,48 GHz.

Na frekvenciji 4,07 GHz antena je najbolje prilagođena, S_{11} parametar iznosi $-24,9$ dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 39,3 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 1,2 ohm. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 39,3 ohm-a.

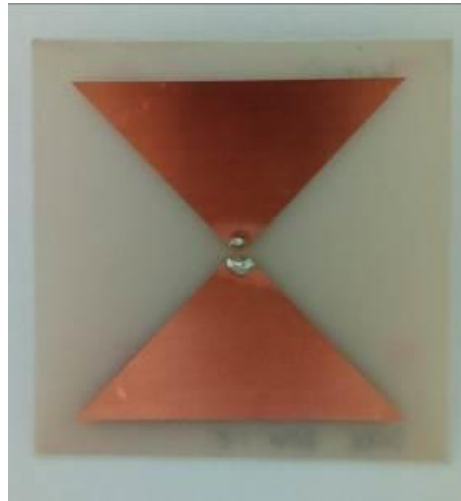
Tablica 6.1. Širine frekvencijskih pojaseva za antenu Tip-4.

Tip 4	BW1 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW2 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW3 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW4 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW5 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	Ukupan BW (GHz)
NO GND	2,845 - 2,280 2,693 -33,690	/	/	/	/	0,565
1T	1,185 - 1,150 1,170 -18,109	3,135 - 3,019 3,076 -15,568	3,78 - 3,693 3,076 -15,403	5,171 - 4,953 5,075 -18,198	/	0,671
2T	0,934 - 0,891 0,903 -14,281	1,932 - 1,782 1,854 -15,63	3,607 - 3,520 3,577 -18,257	4,085 - 3,99 4,034 -19,943	/	0,426
3T	1,145 - 0,927 0,982 -15,833	1,949 - 1,731 1,852 -14,453	3,601 - 3,492 3,545 -30,448	4,101 - 3,992 4,052 -18,984	/	0,648
4T	0,772 - 0,663 0,717 -11,879	0,993 - 0,924 0,956 -12,482	2,380 - 2,098 2,265 -15,789	3,576 - 3,510 3,535 -12,551	6,575 - 6,314 6,453 -22,967	0,787
5T	0,827 - 0,784 0,820 -11,635	3,609 - 3,522 3,574 -11,779	4,131 - 4,022 4,077 -24,903	5,487 - 5,413 5,456 -11,998	/	0,313

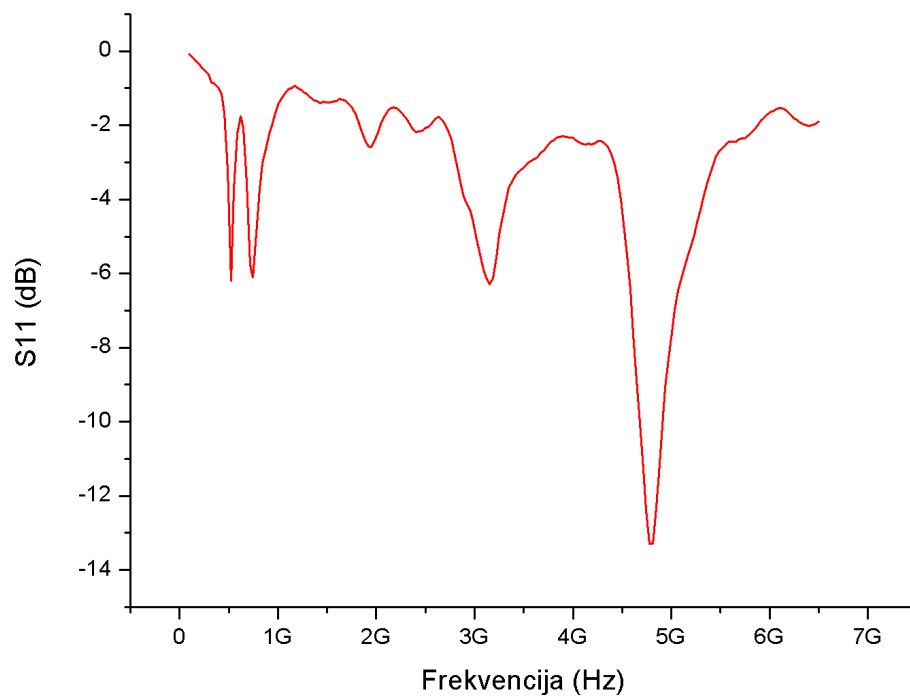
Prema tablici 6.1 vidi se kako za originalnu antenu Tip-4 ukupan frekvencijski opseg iznosi 0,565 Ghz. S jednom trakom povećao se na 0,671 Ghz. S dvije trake se smanjio na 0,426 Ghz. S 3 trake se opet povećao na 0,648 Ghz. Antena najbolje radi s 4 trake kada frekvencijski opseg iznosi 0,787 Ghz. S pet traka se frekvencijski opseg smanjio na 0,313 Ghz, što je najlošiji rezultat ove antene.

7. ANTENA TIP-5

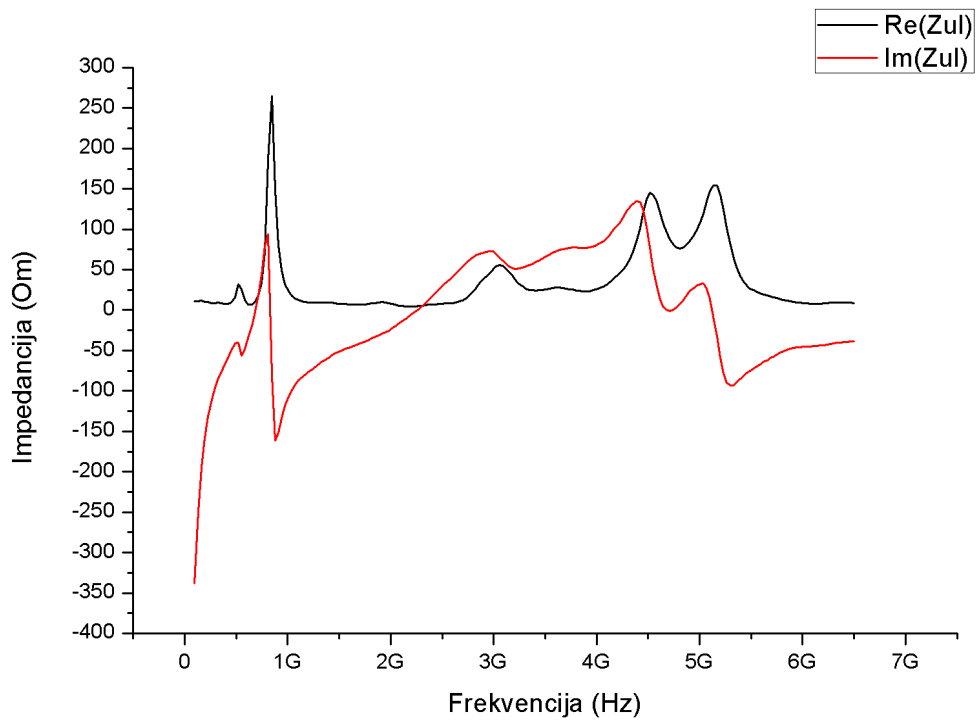
Ova antena je također izvedena kao planarna dipolna struktura na tiskanoj pločici. Karakteristika izvedbe je Bow-tie („mašna“) oblik u klasičnom izdanju.



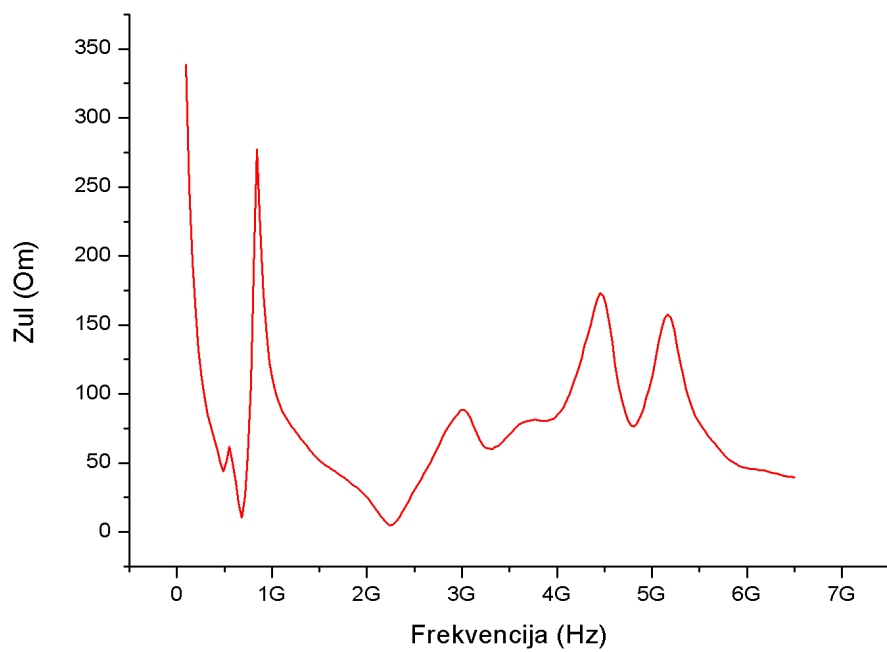
Slika 7.1. Originalna antena Tip-5



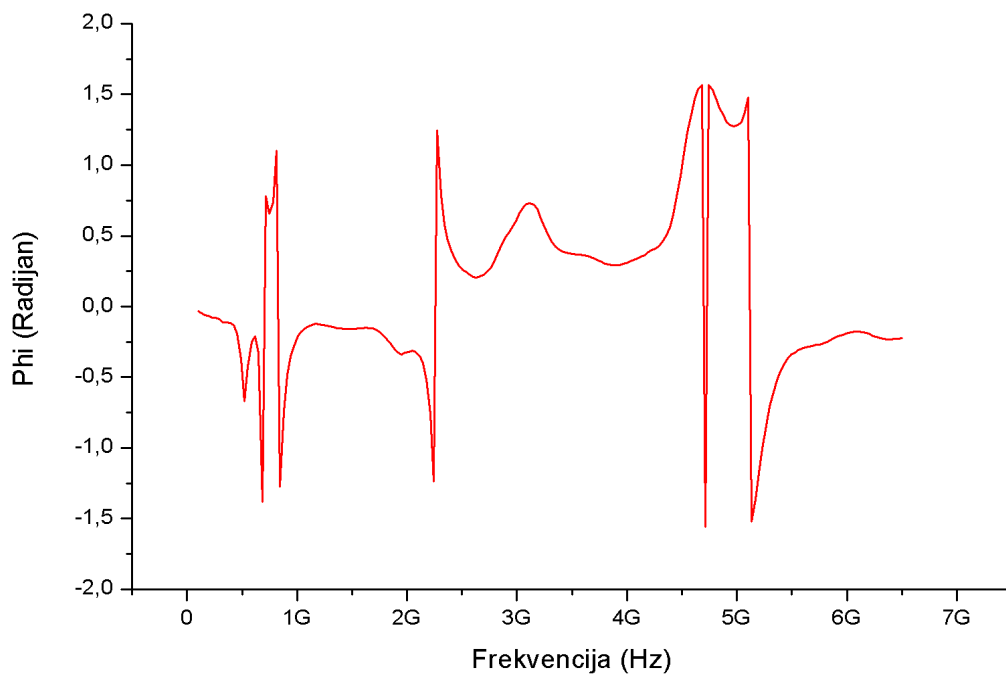
Slika 7.2. S11 Parametar



Slika 7.3. Realni i imaginarni dio impedancije



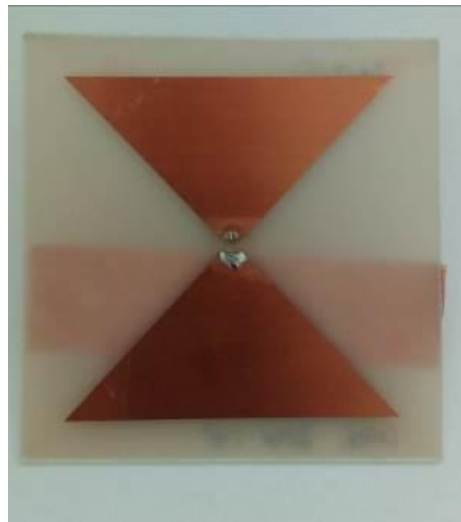
Slika 7.4. Ulazna impedancija



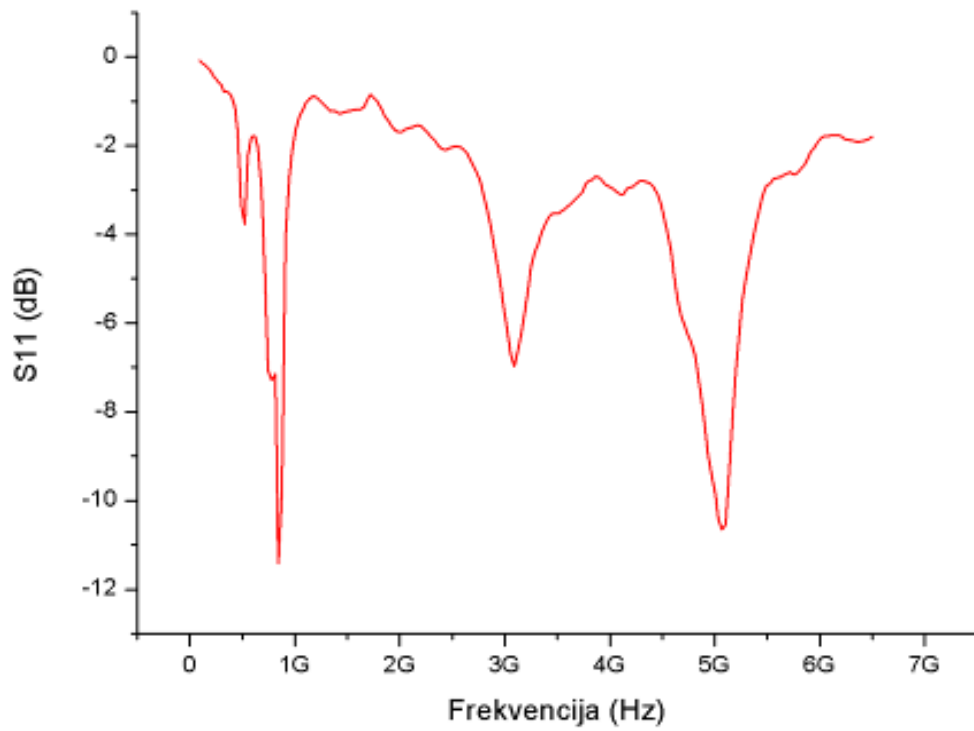
Slika 7.5. Fazni kut

Prema slici 7.2. vidi se za originalnu antenu Tip-5 kako ima 1 frekvenijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Nalazi u rasponu frekvencija od 4,67 do 4,91 GHz.

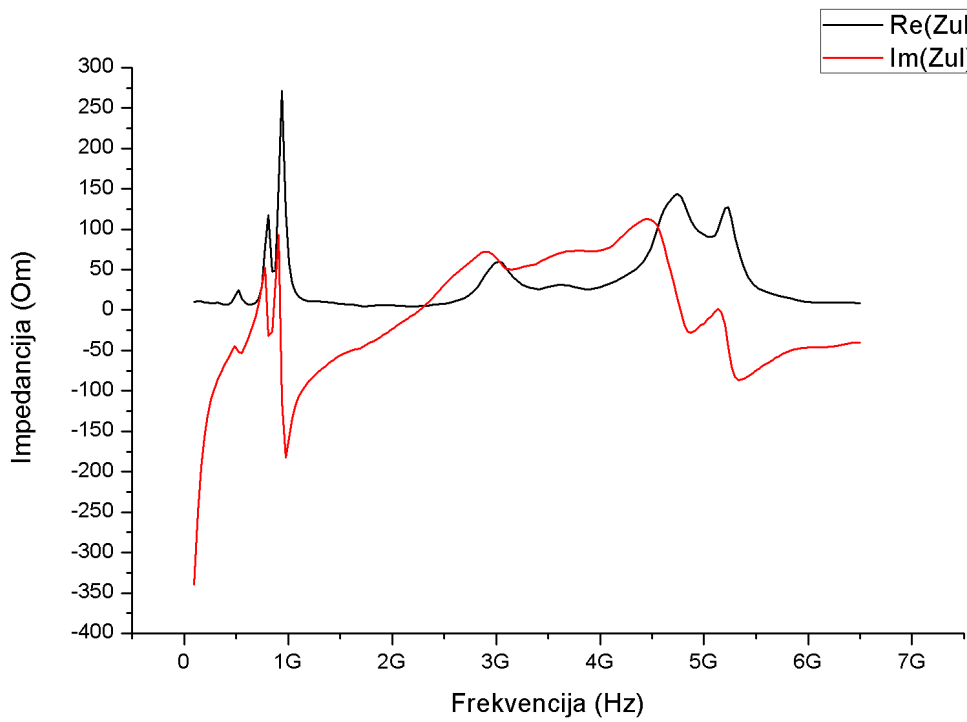
Na frekvenciji 4,81 Ghz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -13,3 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 79,3 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 8,9 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 79,7 ohm-a.



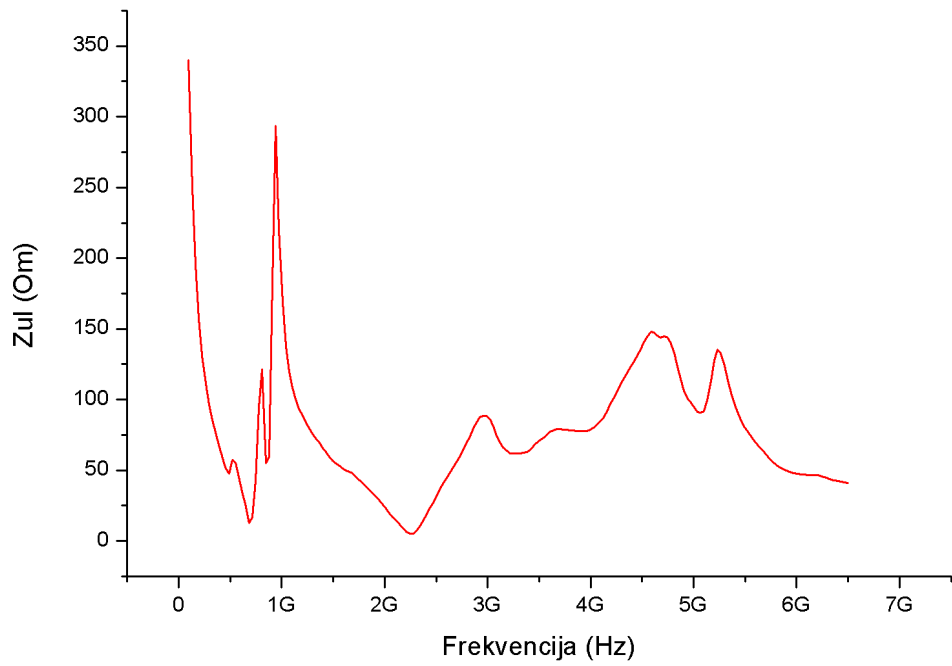
Slika 7.6. Tip-5 s jednom bakarnom trakom



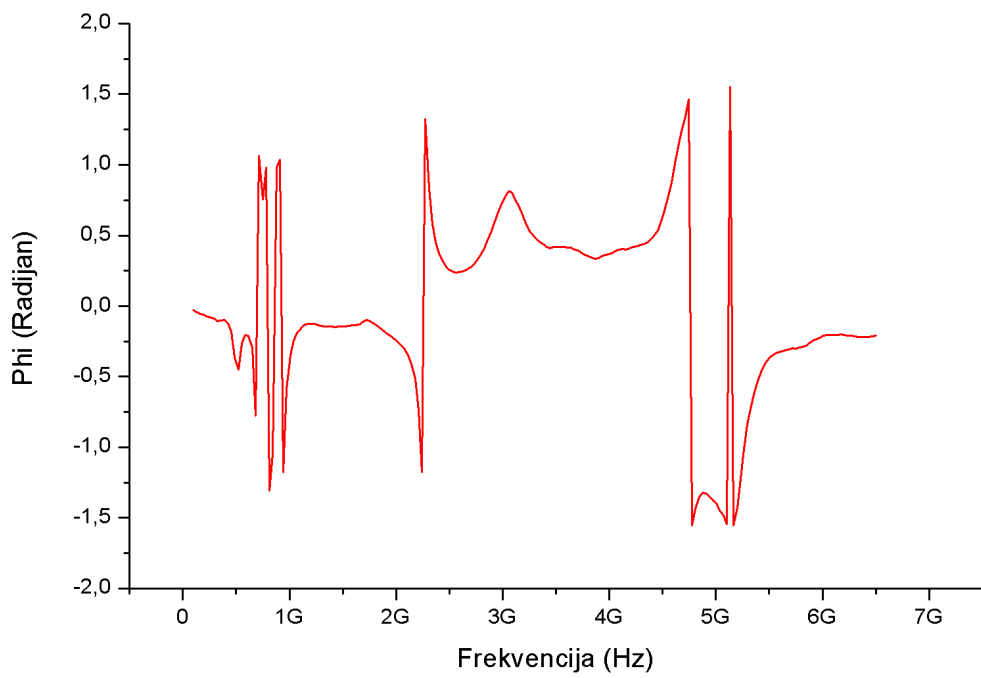
Slika 7.2. S11 Parametar



Slika 7.8. Realni i imaginarni dio impedancije



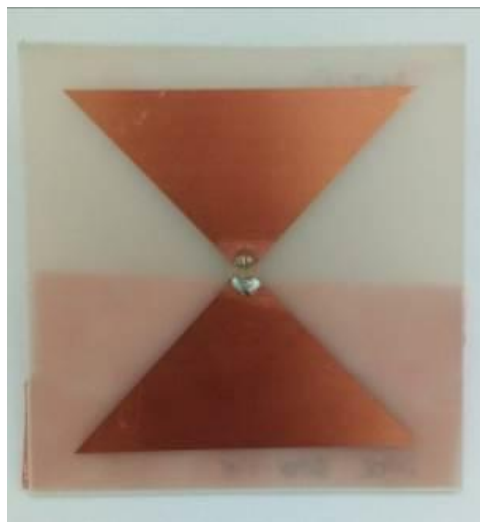
Slika 7.9. Ulazna impedancija



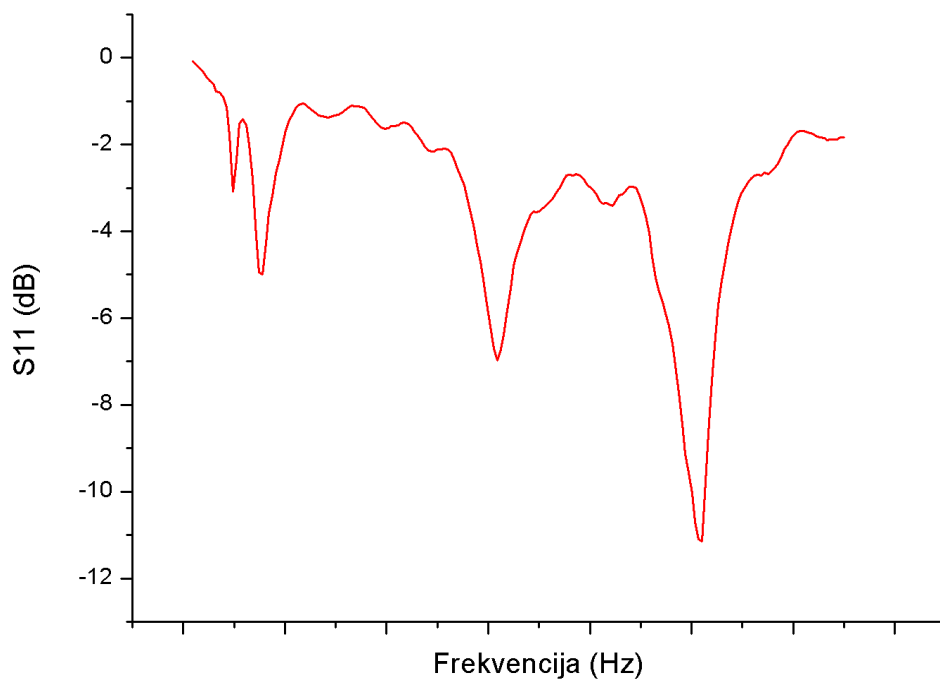
Slika 7.10. Fazni kut

Prema slici 7.7. uočljivo je za antenu Tip-5 s jednom bakarnom trakom kako ima 2 frekventijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 0,82 do 0,87 GHz a drugi u rasponu frekvencija od 5,0 do 5,13 GHz.

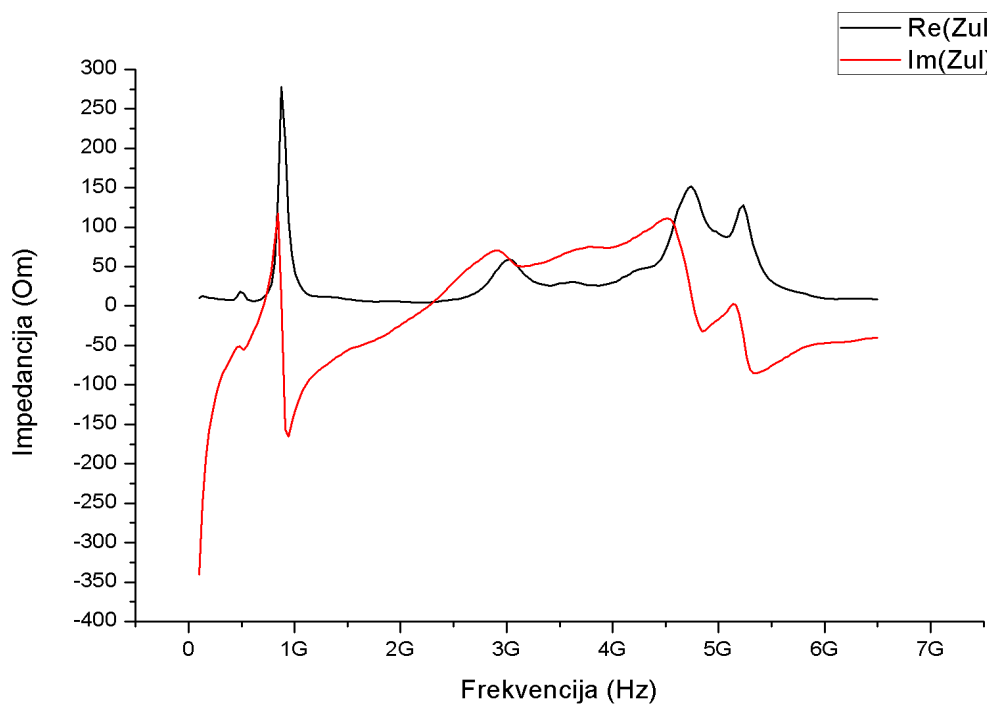
Na frekvenciji 0,84 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -11,36 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 73,8 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 26,9 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 78,5 ohm-a.



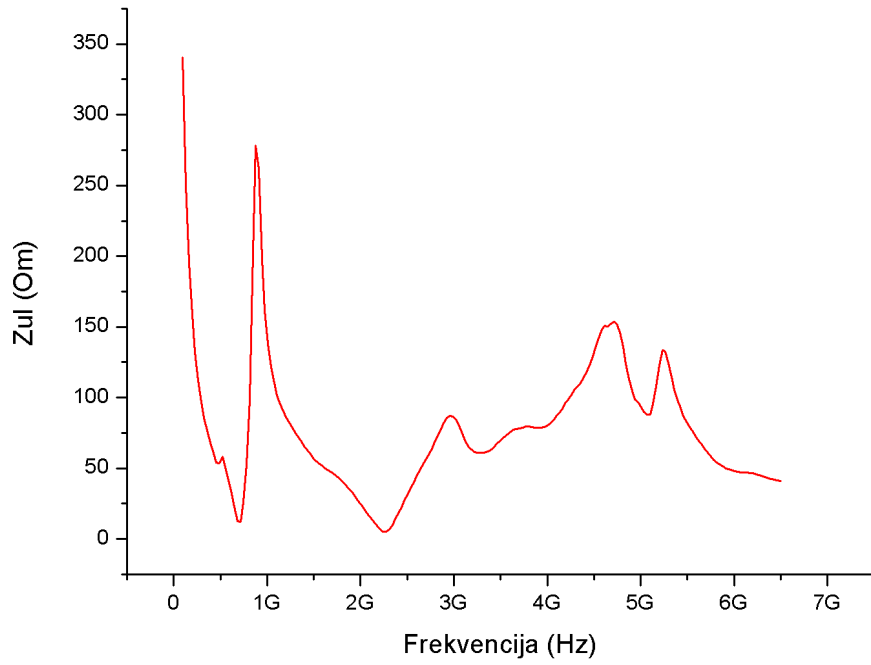
Slika 7.11. Tip-5 s dvije bakarne trake



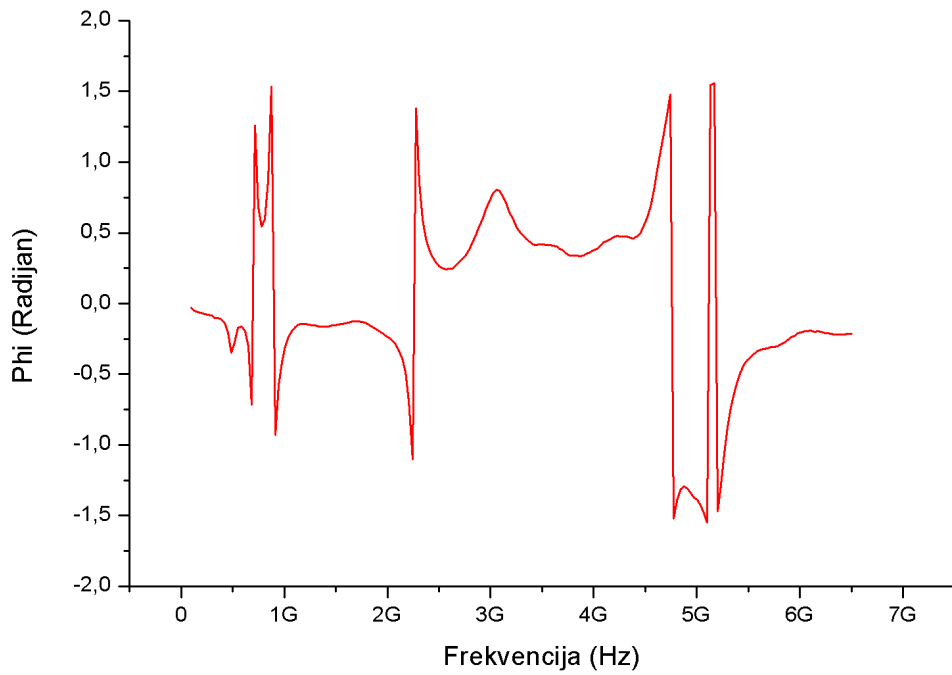
Slika 7.12. S11 Parametar



Slika 7.13. Realni i imaginarni dio impedancije



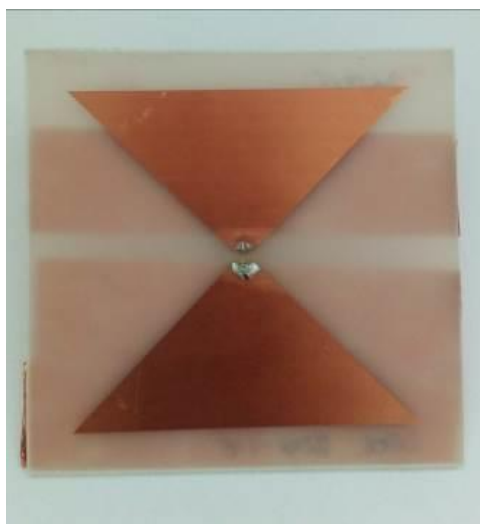
Slika 7.14. Ulazna impedancija



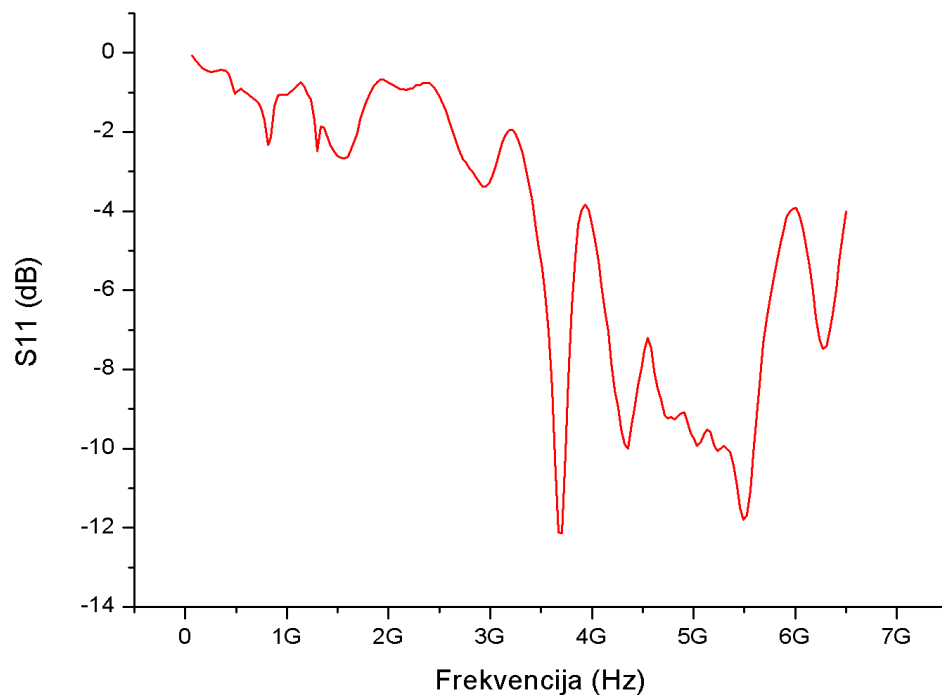
Slika 7.15. Fazni kut

Prema slici 7.12. primjećuje se kako antena Tip-5 s dvije bakarne trake ima 1 frekventijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10. Nalazi na frekvenciji od 4,98 do 5,13 GHz.

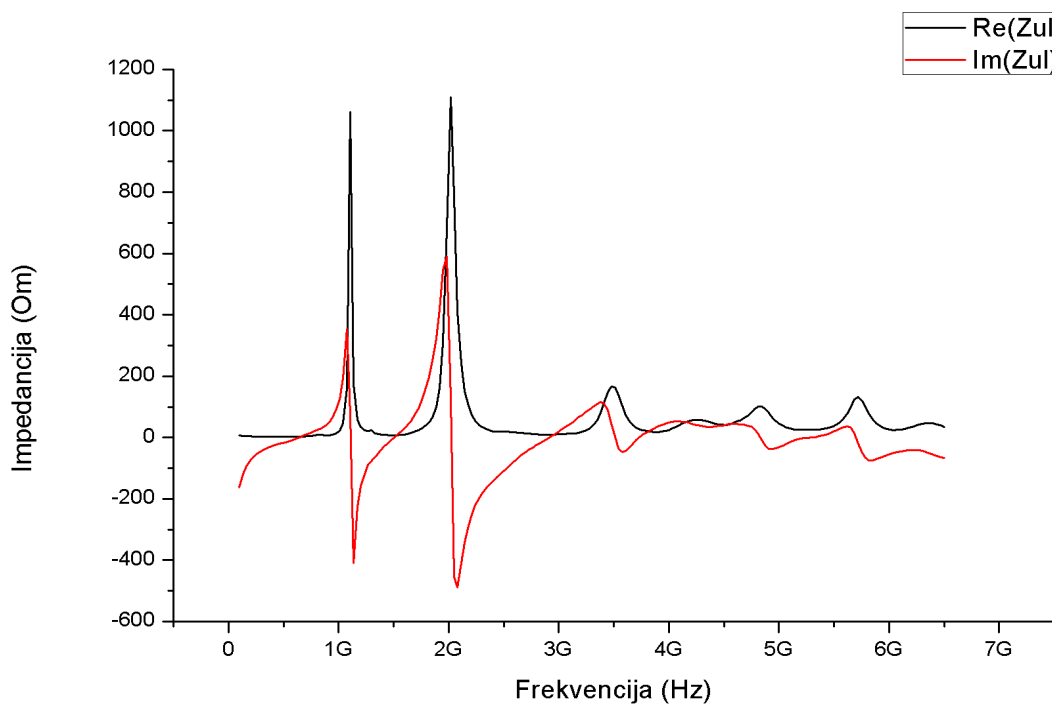
Na frekvenciji 5,09 Ghz antena je najbolje prilagođena, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 88 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi -9,3 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 88,4 ohm-a.



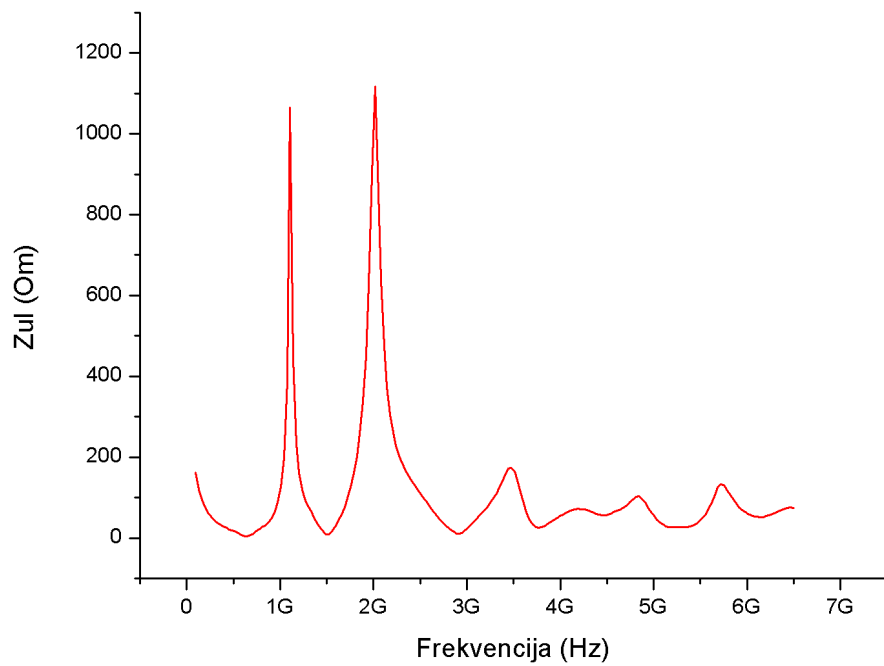
Slika 7.16. Tip-5 s tri bakarne trake



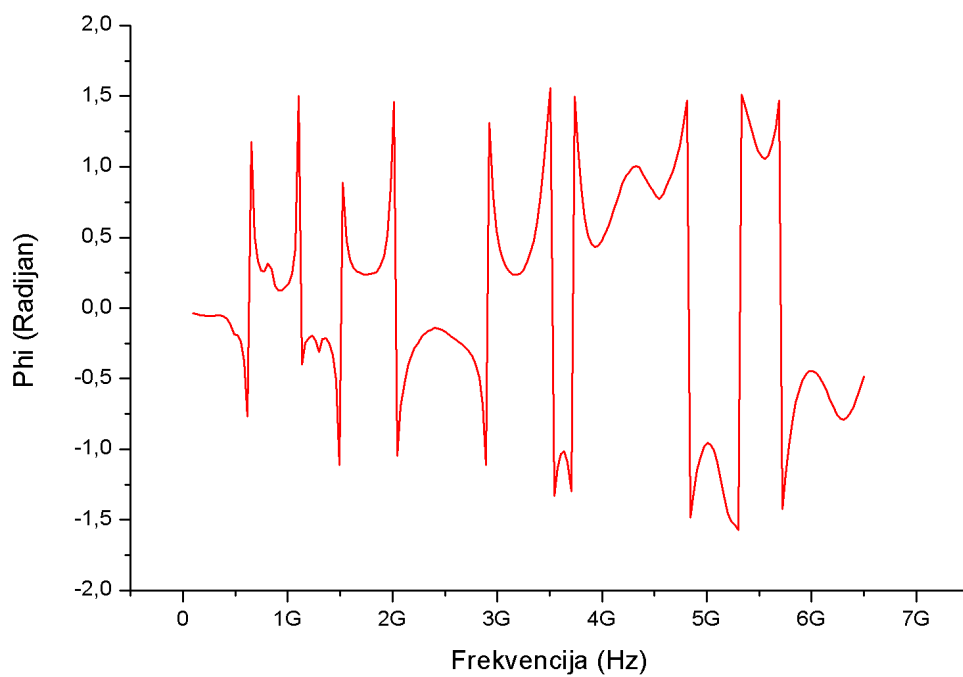
Slika 7.17. S11 Parametar



Slika 7.18. Realni i imaginarni dio impedancije



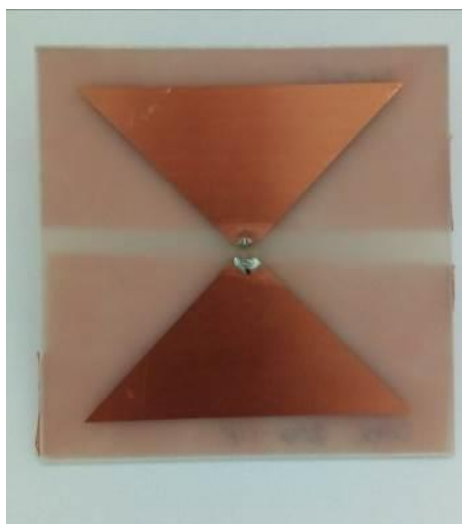
Slika 7.19. Ulazna impedancija



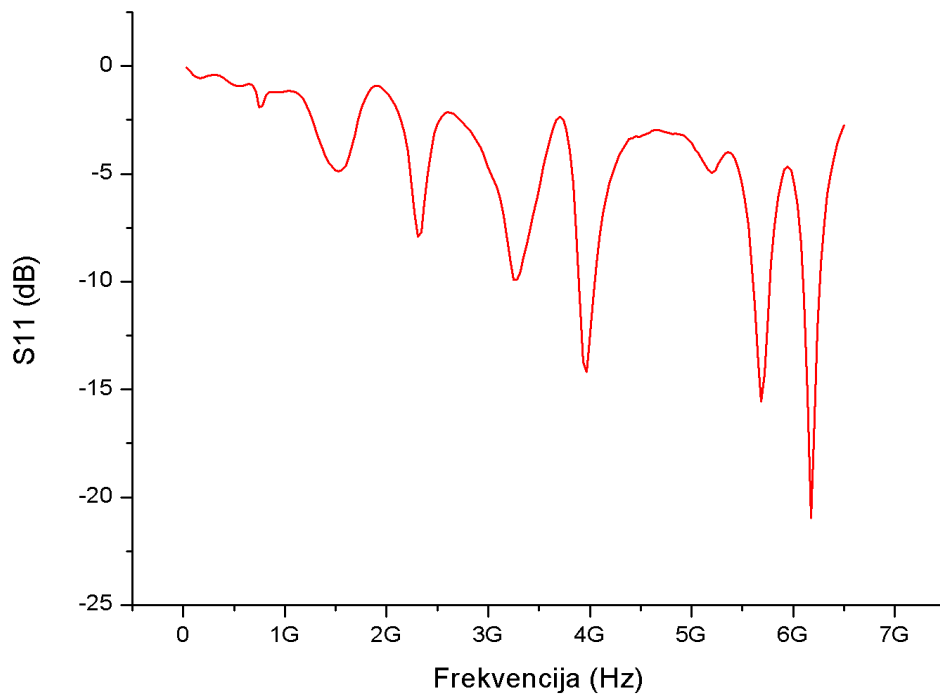
Slika 7.20. Fazni kut

Prema slici 7.18. vidi se kako antena Tip-5 s tri bakarne trake ima 2 frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 3,63 do 3,74 GHz a drugi u rasponu frekvencija od 5,33 do 5,59 GHz.

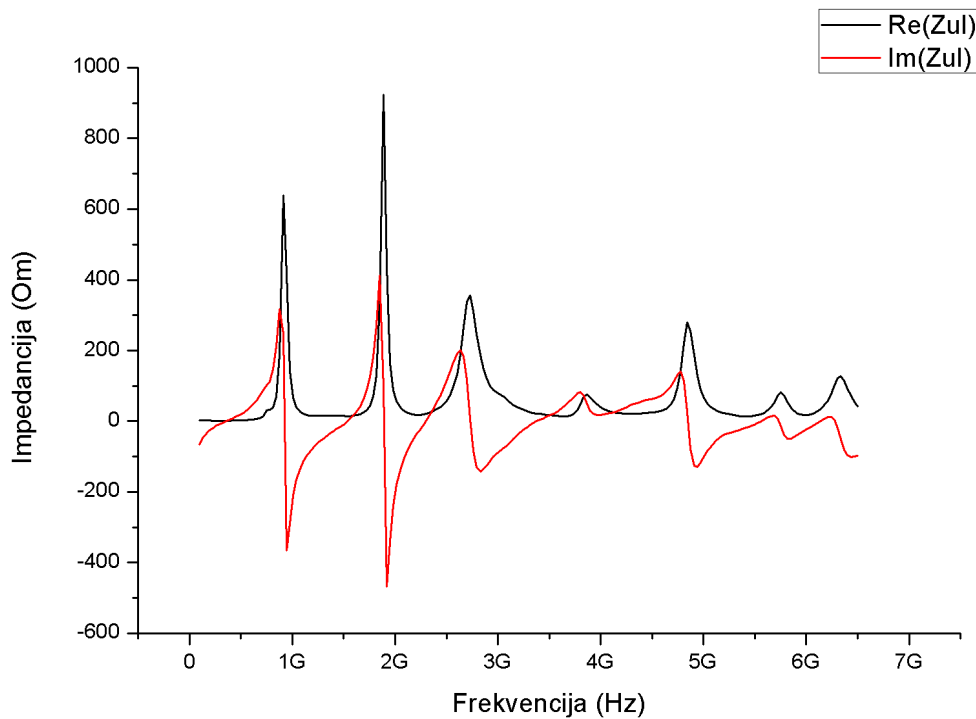
Na frekvenciji 3,7 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -12,15 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 49,3 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi -18,5 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 52,6 ohm-a.



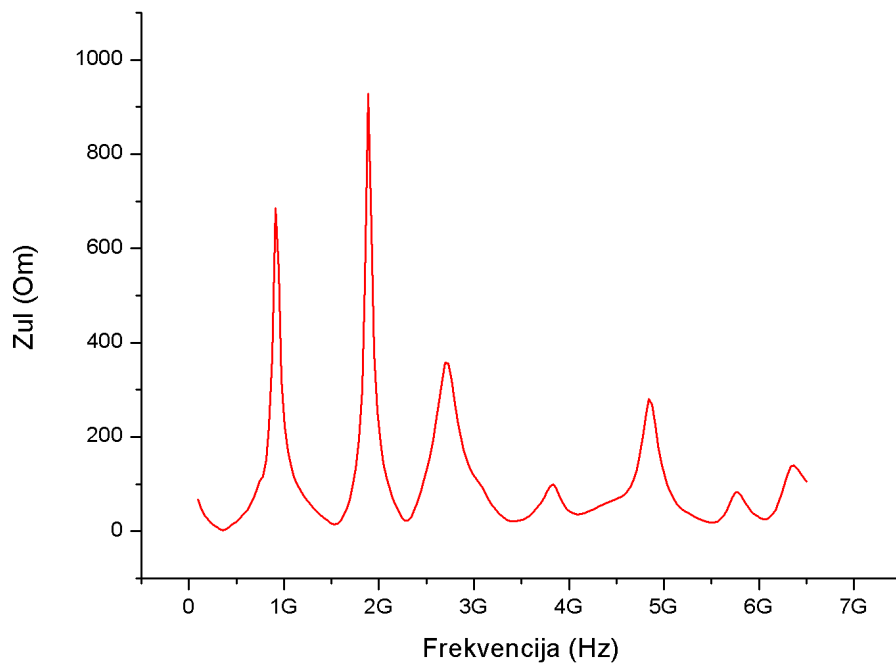
Slika 7.21. Tip-5 s četiri bakarne trake



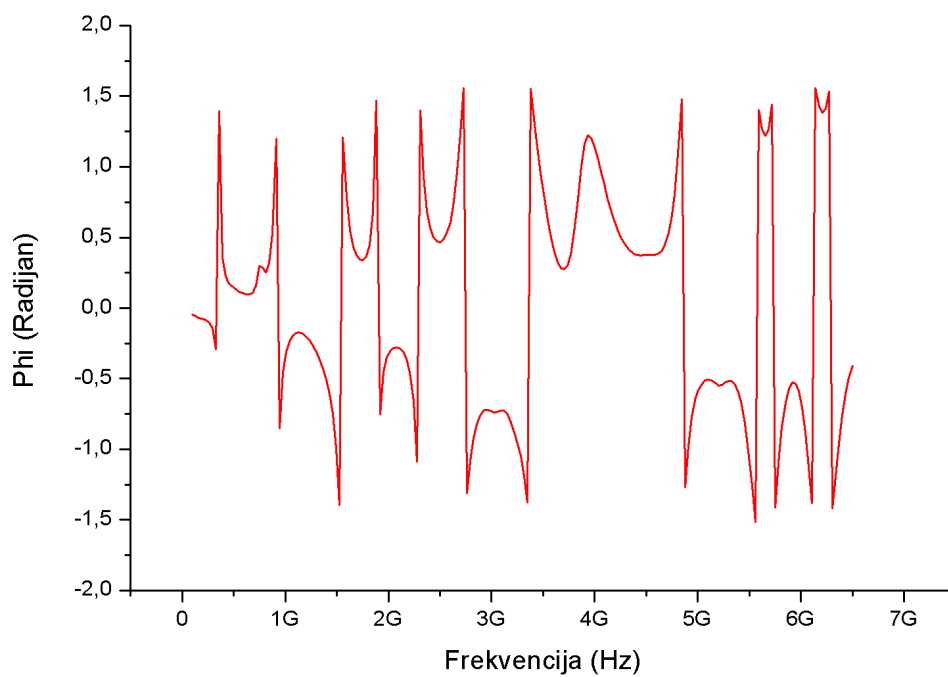
Slika 7.22. S11 Parametar



Slika 7.23. Realni i imaginarni dio impedancije



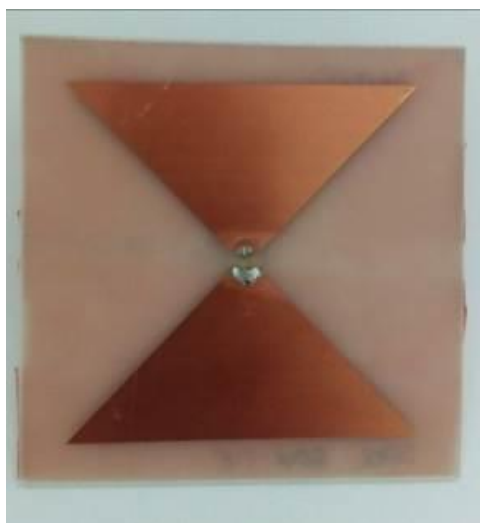
Slika 7.24. Ulazna impedancija



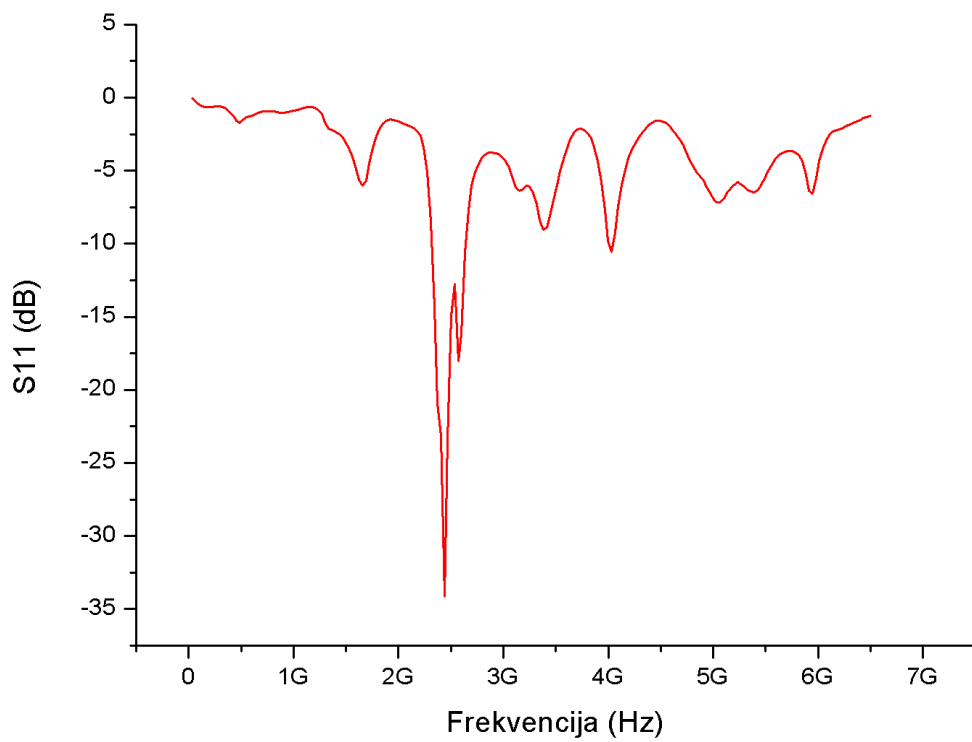
Slika 7.25. Fazni kut

Prema slici 7.22. jasno se vidi za antenu Tip-5 s četiri bakarne trake kako ima 3 frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 3,89 do 4,04 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 5,61 do 5,76 GHz a treći u rasponu frekvencija od 6,08 do 6,26 GHz.

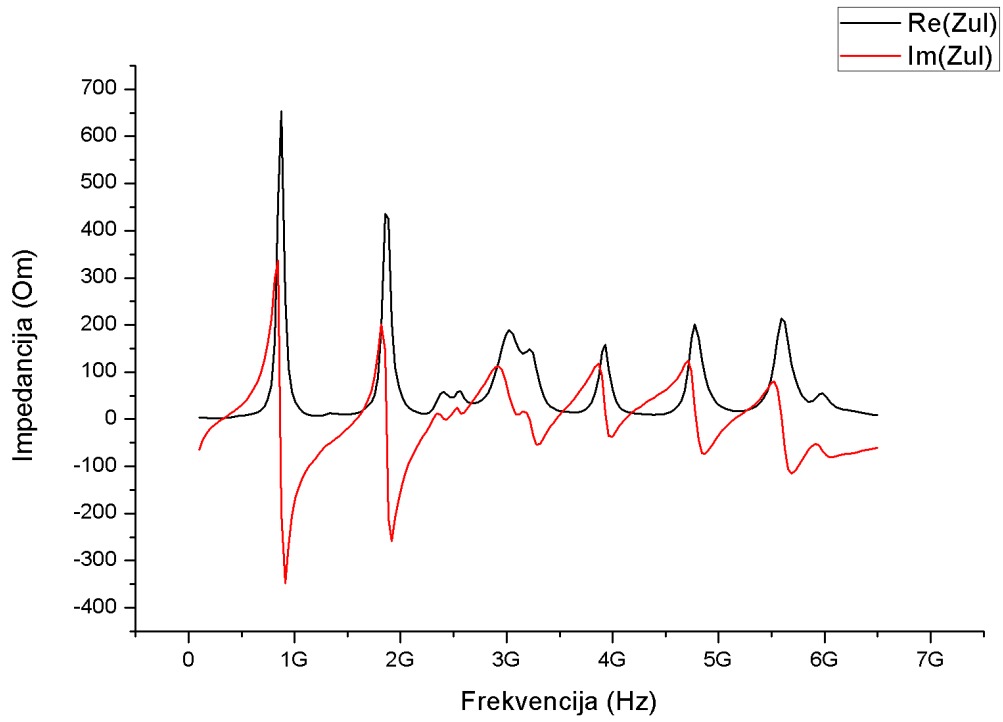
Na frekvenciji 6,18 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -21 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 46,8 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 5,4 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 47,1 ohm.



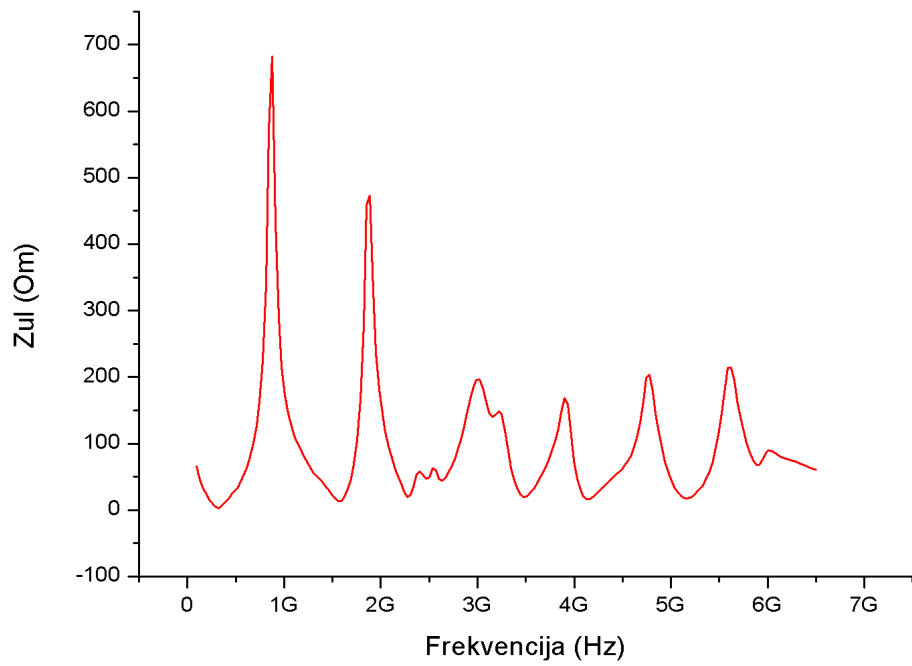
Slika 7.26. Tip-5 s pet bakarnih traka



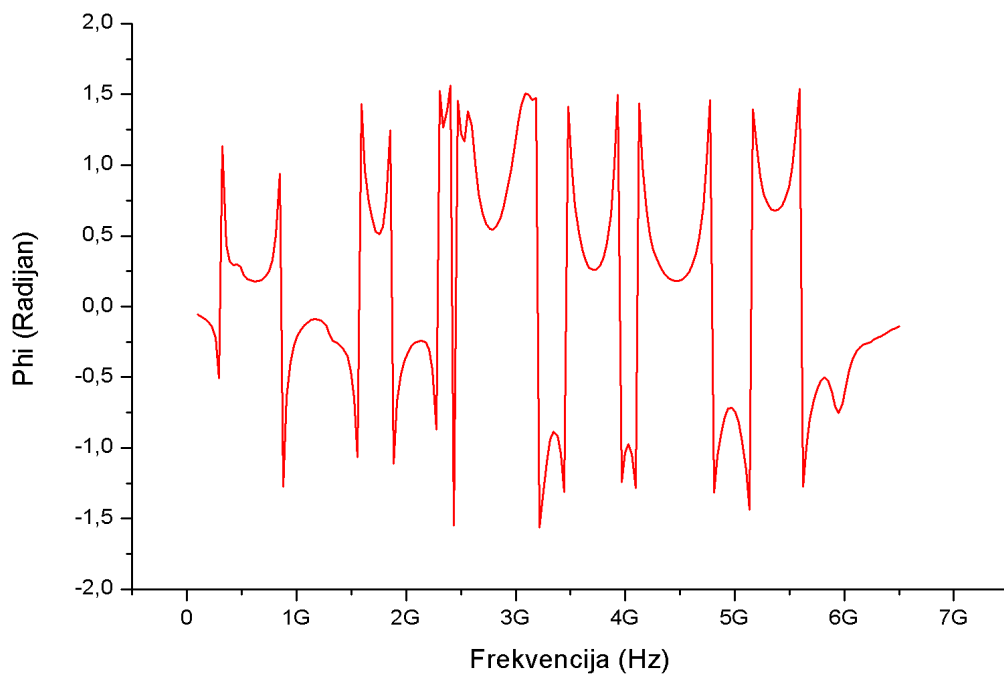
Slika 7.27. S11 Parametar



Slika 7.28. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 7.29. Ulazna impedancija



Slika 7.30. Fazni kut

Prema slici 7.27. vidi se za antenu Tip-5 s pet bakarnih traka kako ima 2 frekventijska opsega unutar kojih je vrijednost S_{11} parametara ispod -10 dB. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 2,32 do 2,65 GHz a drugi u rasponu frekvencija od 4,0 do 4,04 GHz.

Na frekvenciji 2,44 GHz antena je najbolje prilagođena, S_{11} parametar iznosi -33,953 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 57,2 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 7,3 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 57,6 ohm-a.

Tablica 7.1. Širine frekvencijskih pojaseva za antenu Tip-5.

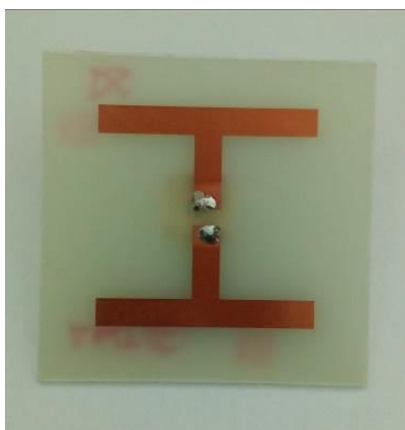
Tip 5	BW1 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW2 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW3 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW4 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW5 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	Ukupan BW (GHz)
NO GND	4,911 - 4,673 4,813 -13,305	/	/	/	/	0,238
1T	0,872 - 0,829 0,842 -11,367	5,135 - 5,005 5,102 -10,702	/	/	/	0,173
2T	5,135 - 4,983 5,092 -12,153	/	/	/	/	0,152
3T	3,746 - 3,637 3,701 -12,153	5,594 - 5,333 5,497 -11,812	/	/	/	0,37
4T	4,045 - 3,893 3,965 -14,275	5,762 - 5,610 5,697 -15,503	6,262 - 6,089 6,185 -21,090	/	/	0,477
5T	2,651 - 2,325 2,44 -33,953	4,045 - 4,002 4,024 -10,535	/	/	/	0,369

Prema podacima iz tablice 7.1 vidljivo je kako originalna antena Tip-5 ima frekvencijski opseg 0,238 Ghz. S prvom i drugom trakom se smanjio na 0,173 Ghz, odnosno 0,152 Ghz.

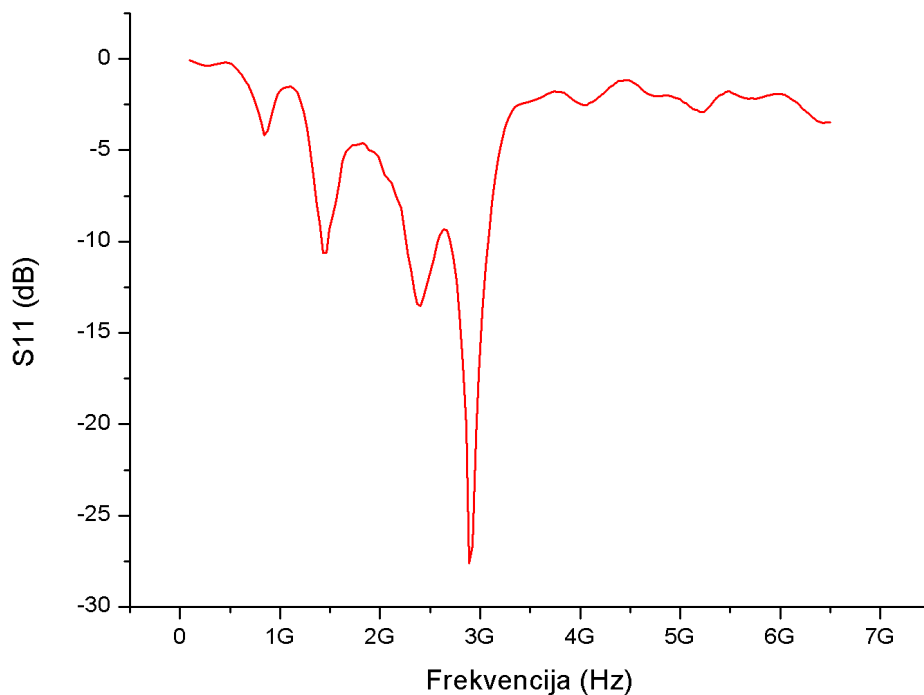
Frekvencijski opseg se opet povećao s 3 trake na 0,37 Ghz, a u izvedbi s 4 trake antena ima najveći frekvencijski opseg koji iznosi 0,477 Ghz. Dodavanjem pete trake frekvencijski opseg se smanjio na 0,369 Ghz.

8. ANTENA TIP-6

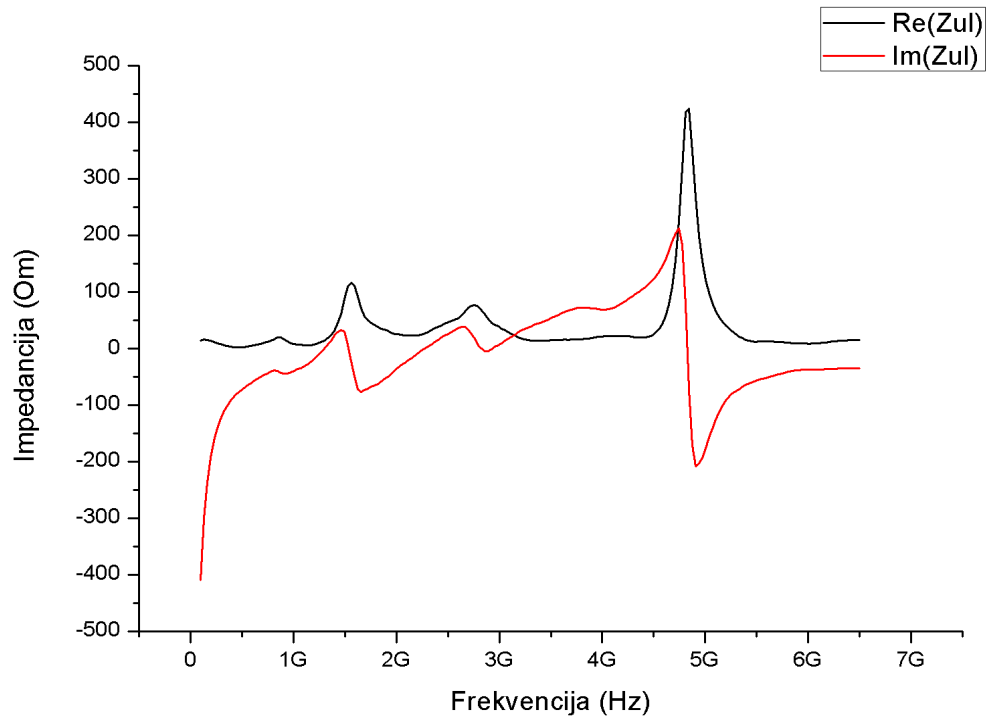
Ova antena je izvedena kao planarna dipolna struktura na štampanoj pločici. Karakteristika izvedbe je Dog-Bone („pseća kost“) oblik u klasičnom izdanju, isto kao i Tip-2 samo što je manjih dimanzija.



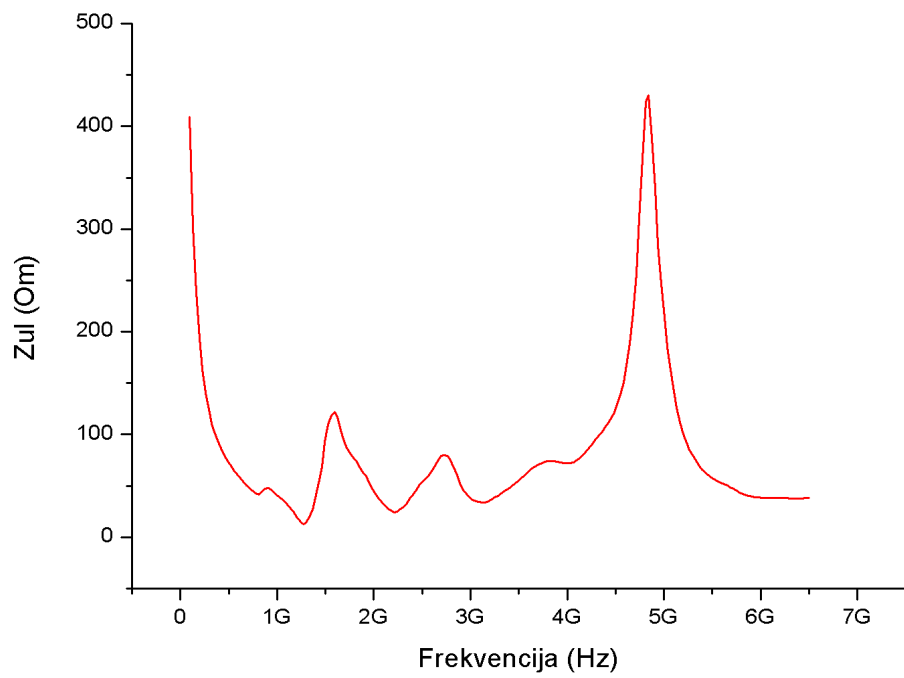
Slika 8.1. Originalna antena Tip-6



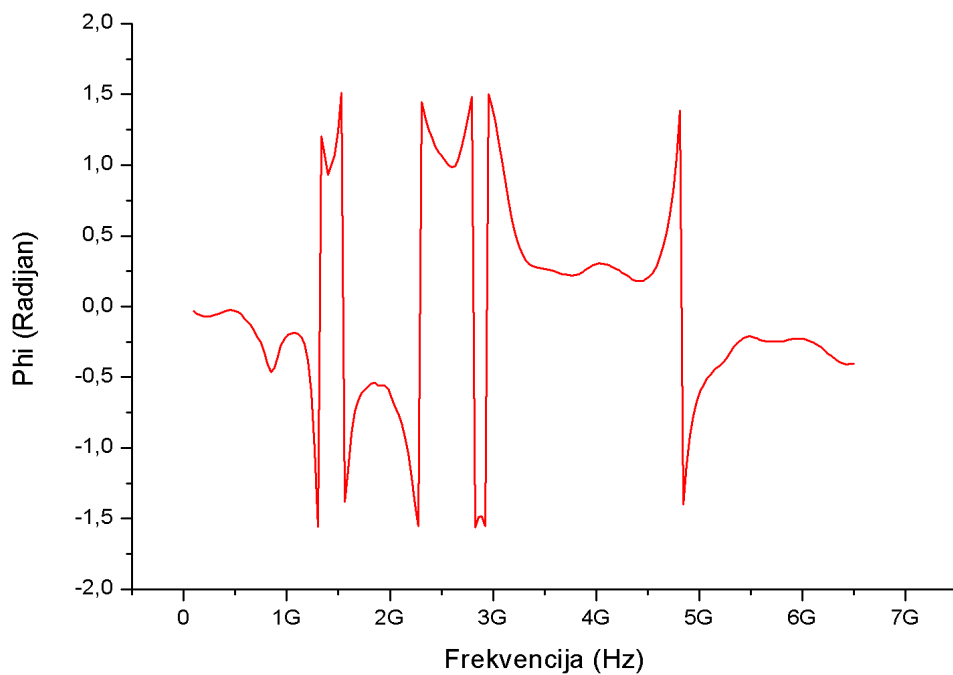
Slika 8.2. S11 Parametar



Slika 8.3. Realni i imaginarni dio impedancije



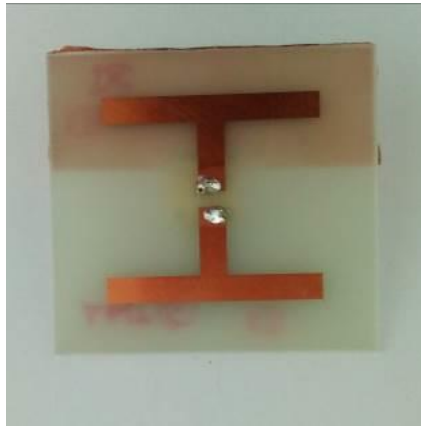
Slika 8.4. Ulazna impedancija



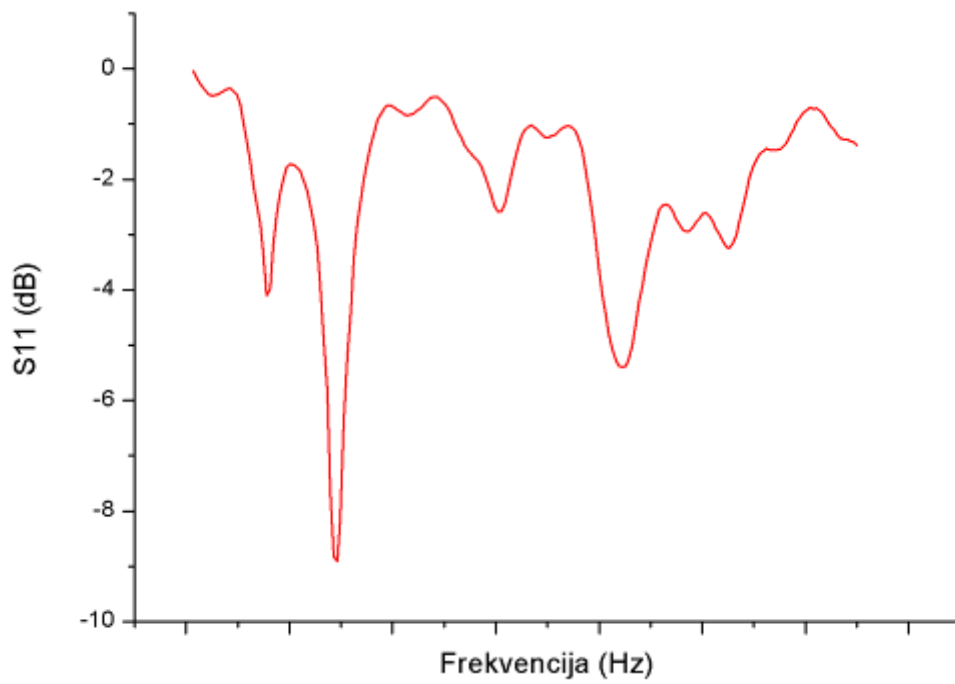
Slika 8.5. Fazni kut

Prema slici 8.2. vidljivo je kako originalna antena Tip-6 ima 3 frekventijska opsega unutar kojih je vrijednost S11 parametara ispod -10 dB. Prvi se nalazi u rasponu frekvencija od 1,4 do 1,48 GHz, drugi u rasponu frekvencija od 2,27 do 2,57 GHz, a treći u rasponu frekvencija od 2,7 do 3,08 GHz.

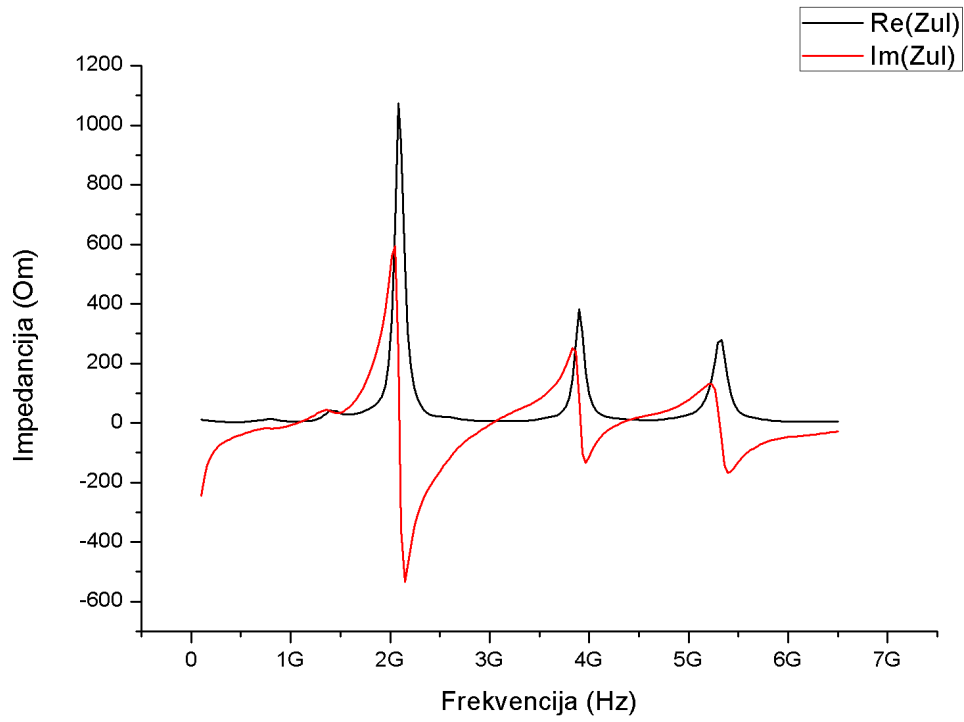
Na frekvenciji 2,89 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -27,51 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 48,2 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 1,5 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 48 ohm-a.



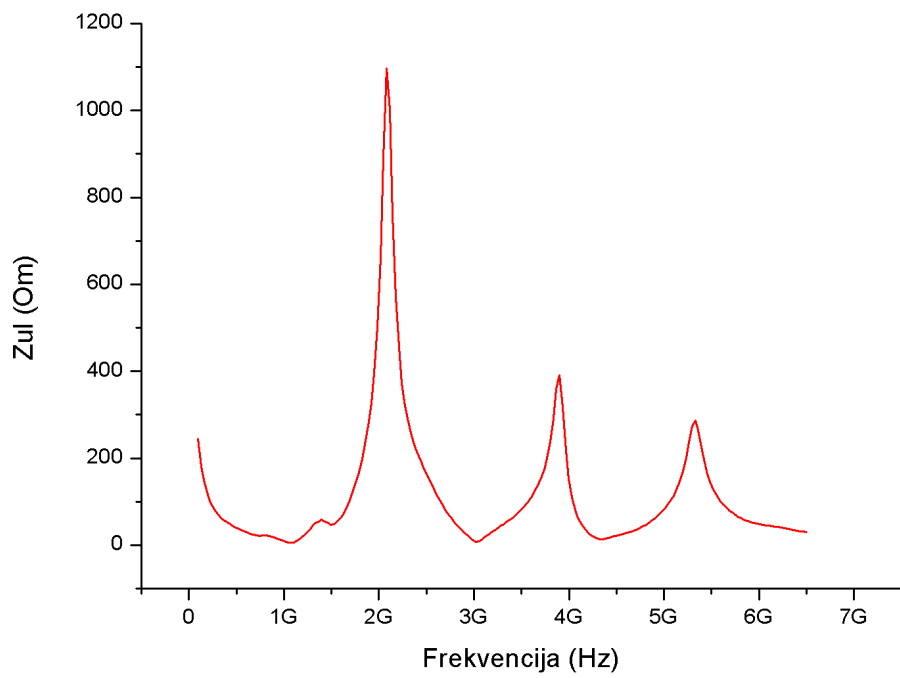
Slika 8.6 Tip-6 s jednom bakarnom trakom



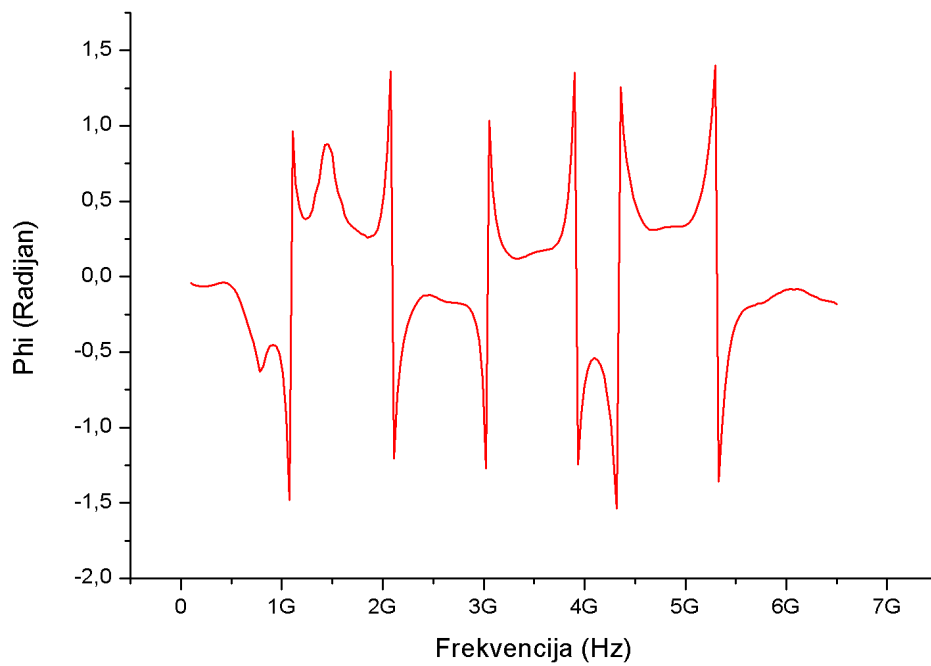
Slika 8.7. S11 Parametar



Slika 8.8. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 8.9. Ulazna impedancija

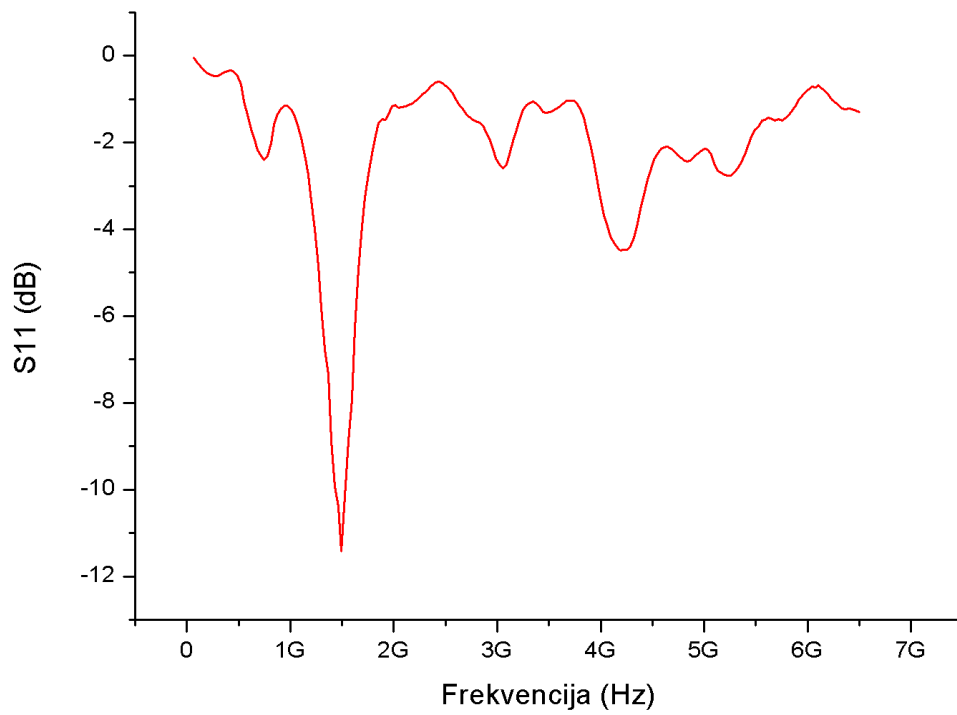


Slika 8.10. Fazni kut

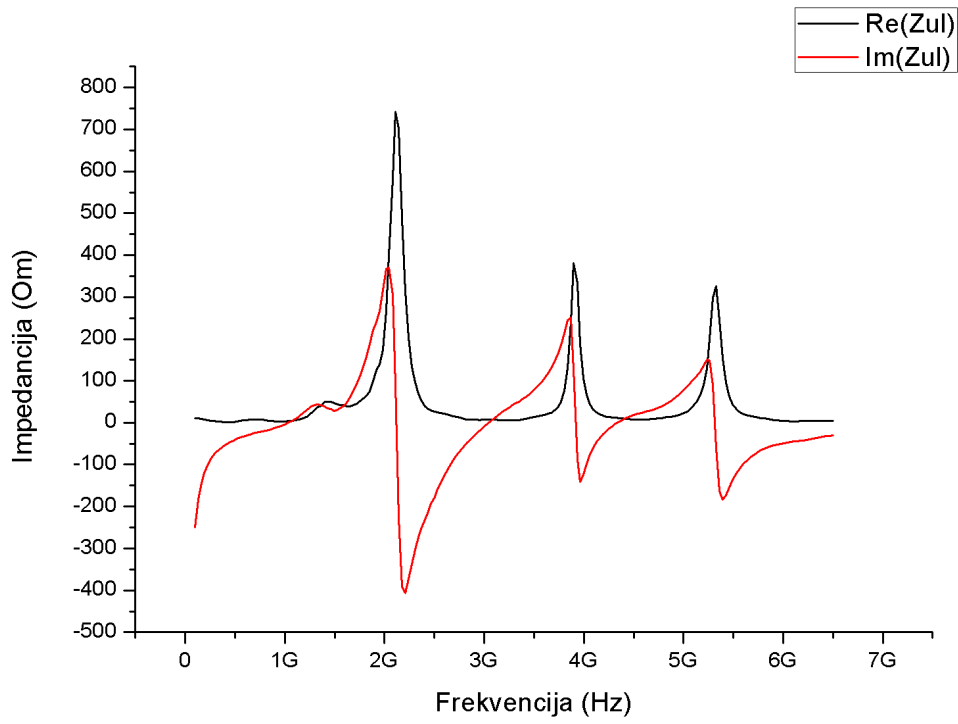
Prema slici 8.7. jasno se vidi za antenu Tip-6 s jednom bakarnom trakom kako nema nijedan frekvencijski opseg unutar kojeg je vrijednost S_{11} parametara ispod -10 dB. Antena u ovoj izvedbi nije upotrebljiva.



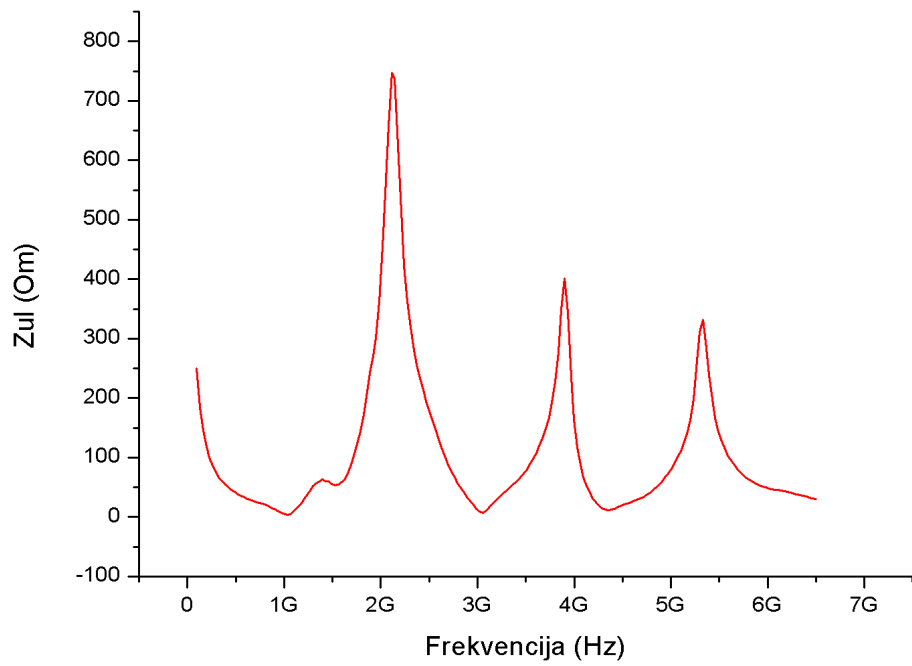
Slika 8.11. Tip-6 s dvije bakarne trake



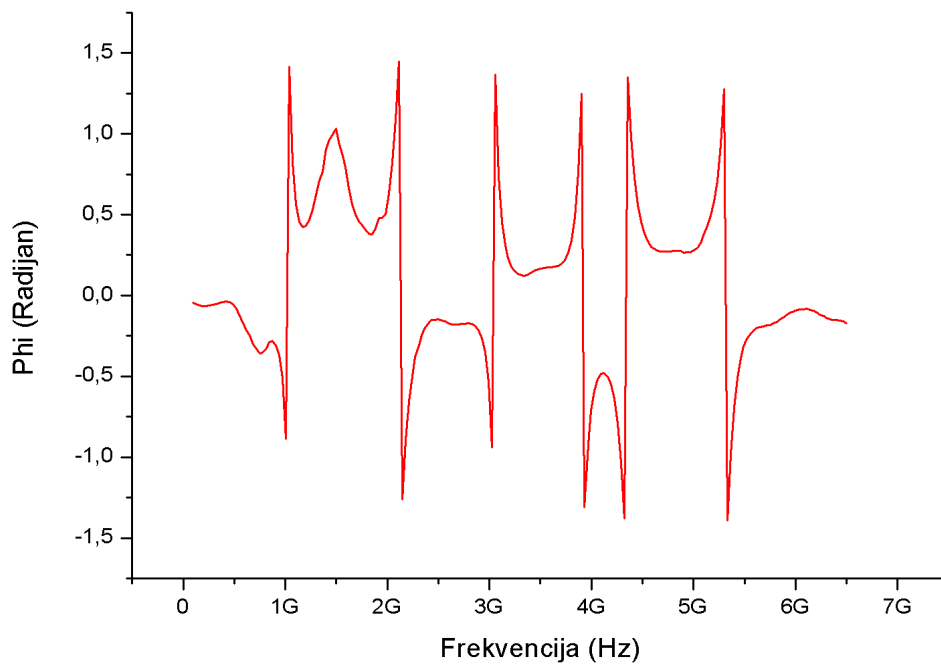
Slika 8.12. S11 Parametar



Slika 8.13. Realni i imaginarni dio impedancije



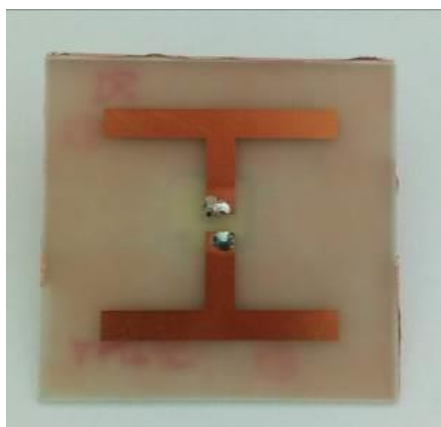
Slika 8.14. Ulazna impedancija



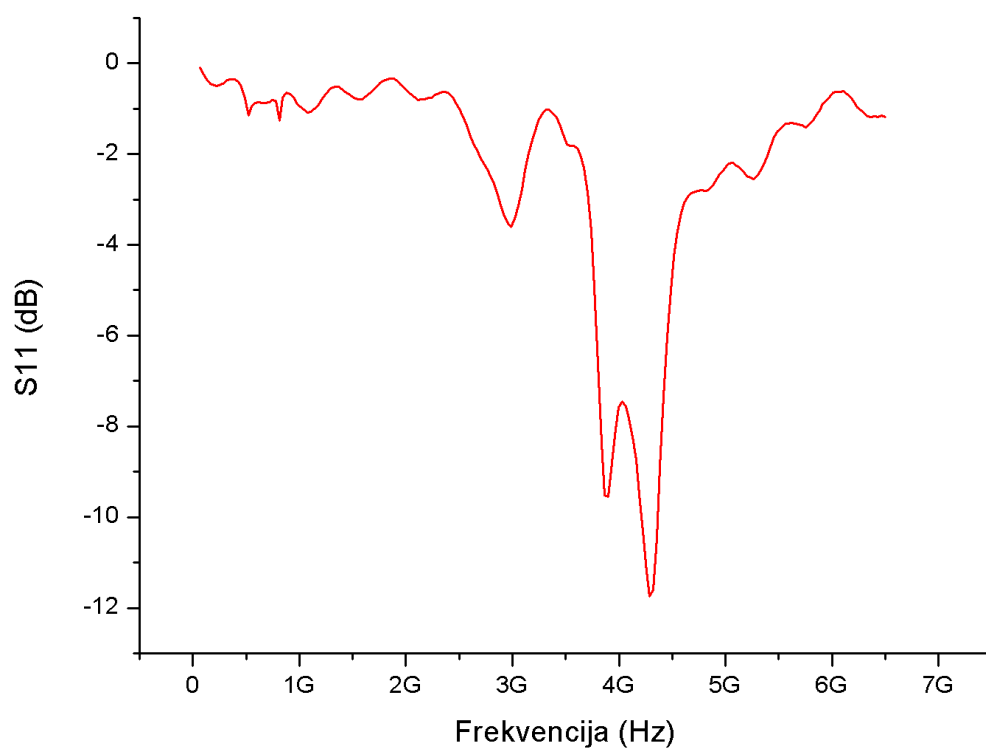
Slika 8.15. Fazni kut

Iz slike 8.12. vidi se kako antena Tip-6 s dvije bakarne trake ima samo 1 frekventijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10 dB. Nalazi se u rasponu frekvencija od 1,42 do 1,53 GHz.

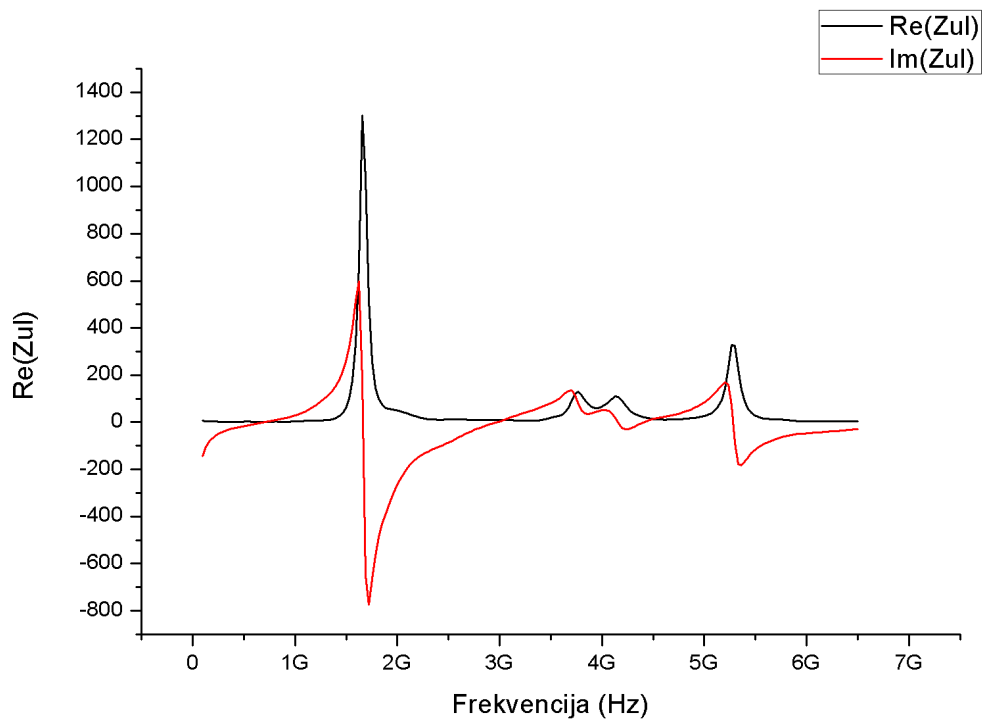
Na frekvenciji 1,49 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -11,48 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 52,4 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi 29,4 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 59,5 ohm-a.



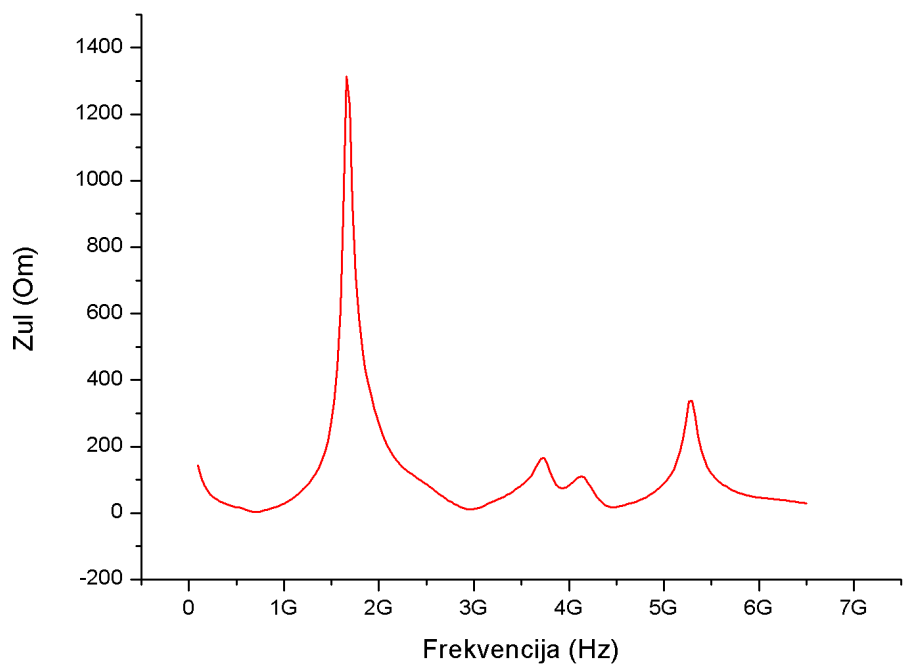
Slika 8.16. Tip-6 s tri bakarne trake



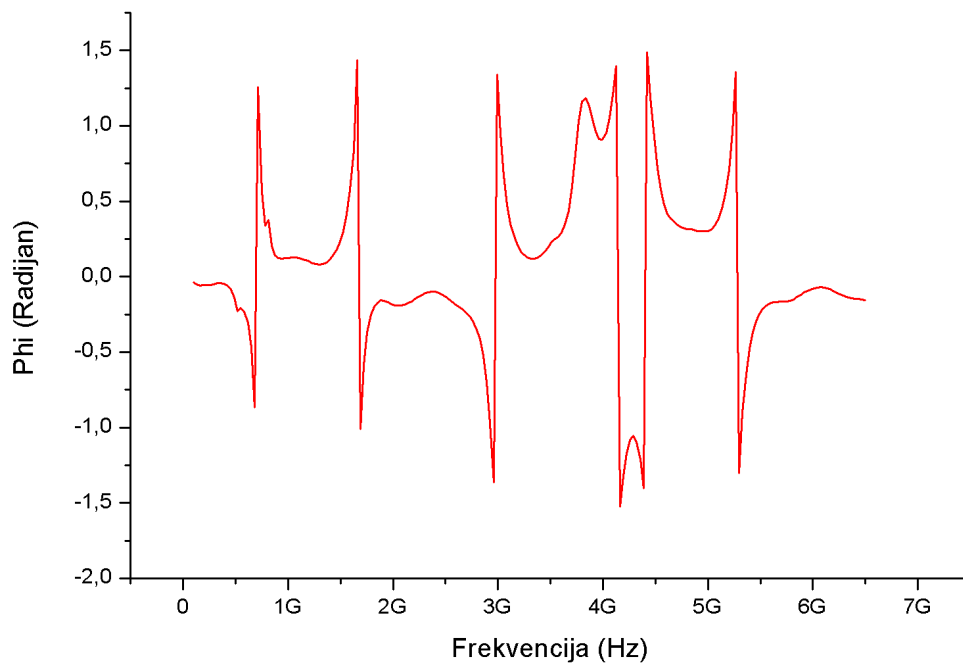
Slika 8.17. S11 Parametar



Slika 8.18. Realni i imaginarni dio impedancije



Slika 8.19. Ulazna impedancija



Slika 8.5. Fazni kut

Iz slike 8.17. vidi se kako antena Tip-6 s tri bakarne trake ima samo jedan frekvencijski opseg unutar kojeg je vrijednost S11 parametara ispod -10 dB. Nalazi se u rasponu frekvencija od 4,21 do 4,37 GHz.

Na frekvenciji 4,3 GHz antena je najbolje prilagođena, S11 parametar iznosi -11,68 dB, vrijednost realnog dijela ulazne impedancije iznosi 45,5 ohm-a, a vrijednost imaginarnog dijela iznosi -23,8 ohm-a. Apsolutna vrijednost ulazne impedancije iznosi 51,34 ohm-a.

Tablica 8.1. Širine frekvencijskih pojaseva za antenu Tip-6.

Tip 6	BW1 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW2 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW3 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW4 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	BW5 (GHz) fmax (GHz) S11max (dB)	Ukupan BW (GHz)
NO GND	1,487 - 1,400 1,456 -10,660	2,574 - 2,270 2,402 -13,535	3,081 - 2,705 2,892 -27,510	/	/	0,767
1T	/	/	/	/	/	0
2T	1,534 - 1,426 1,491 -11,485	/	/	/	/	0,108
3T	4,370 - 4,218 4,305 -11,682	/	/	/	/	0,152

Prema vrijednostima iz tablice 8.1 uočljivo je kako antena Tip-6 najbolje radi u originalnoj izvedbi jer ima frekvencijski opseg 0,767 Ghz, dok je s jednom trakom neupotrebljiva. Antena se može koristiti s dvije ili tri trake ali u jako malom frekvencijskom opsegu.

Na antenu Tip-6 lijepljene se samo tri trake jer je znatno manjih dimenzija od ostalih antena.

9. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu cilj je bio analizirati 6 planarnih dipol antena mjereći S11 parametar i Smithov dijagram, uz modifikaciju antena lijepljenjem bakarnih traka na njihovu stražnju plohu. Za svaku od prvih pet antena mjereni su parametri 6 puta. Jednom u originalnoj izvedbi a jednom za svaku dodanu bakarnu traku. Posljednja antena, Tip-6 mjerena je samo 4 puta zbog toga što je manjih dimenzija od ostalih antena. Mjerenjem S11 parametara, odnosno koeficijenta refleksije, mjeri se dio signala koji se reflektira od prilaza antene. Kada je taj signal manji od -10 dB antena se može koristiti u tom frekvencijskom opsegu. Što je manji S11 parametar, manja je refleksija, te tada ulazna impedancija teži realnoj vrijednosti prilagođenja (npr. 50 ohm-a). Širina frekvencijskog opsega se nije povećala dodavanjem traka za sve antene. Antena Tip-1 ima najveći frekvencijski opseg sa svih pet traka, koji iznosi 0,957 GHz. Tip-2 također ima najveći frekvencijski opseg u izvedbi s pet traka, te iznosi 1,04 GHz što je ujedno najveći frekvencijski opseg rada od svih antena. Antena Tip-3 nije uopće upotrebljiva s jednom i dvije trake jer ni na jednoj frekvenciji S11 parametar ne zadovoljava, a najbolje rezultate pruža u izvedbi s 4 trake, tada frekvencijski opseg iznosi 0,567 GHz. Tip-4 antena daje najbolje rezultate što se tiče frekvencijskog opsega svih 6 mjerenja. Za sve njezine izvedbe frekvencijski opseg se kreće između 0,313 Ghz do 0,787 Ghz. Tip-5 antena je slična kao Tip-4, samo s nešto lošijim rezultatima, njezin frekvencijski opseg se kreće između 0,152 Ghz do 0,477 Ghz. Najbolja u originalnoj izvedbi je antena Tip-6 s frekvencijskim opsegom 0,767 Ghz, međutim s modifikacijama daje jako loše rezultate.

Mjerenje koeficijenta refleksije i ulazne impedancije 2D dipol antena izvedenih na štampanim pločicama različitih oblika, izvedeno je u svrhu eksperimentalnog istraživanja parametara navedenih zračćih struktura. Svaka od izvedenih antena je dodatno modificirana dodavanjem vodljive Cu trake sa zadnje stranice štampane pločice te su mjereni svi navedeni parametri.

Modifikacije ovih dipol antena, dodavanjem vodljivih ravnina sa stražnje strane štampane pločice, značajno utječu na: koeficijent refleksije S11, rezonantnu frekvenciju (koja se mijenja u širokom opsegu vrijednosti), broj frekvencijskih opsega rada antene, širinu (širine) frekvencijskih opsega kao i na prilagođenje, odnosno ulaznu impedanciju. Ove antene, prema izmjerenim rezultatima, mogu raditi u opsegu od 0,663 do 6575 MHz uz zadovoljavajuće vrijednosti koeficijenta refleksije i ulazne impedancija (prilagođenja).

LITERATURA

[1] Antena

[https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio))

[2] Dipol antena

<http://www.antenna-theory.com/antennas/dipole.php>

[3] Dipol antena

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/dipole-antenna>

[4] Poluvalna dipol antena

<http://www.antenna-theory.com/antennas/halfwave.php>

[5] Kratka dipol antena

<http://www.antenna-theory.com/antennas/shortdipole.php>

[6] Analizator spektra Keysight

<https://www.keysight.com/en/pdx-x201924-pn-N9914A/fieldfox-handheld-rf-analyzer-65-ghz?cc=HR&lc=eng>

[7] Koeficijent refleksije

<http://www.antenna-theory.com/definitions/sparameters.php>

[8] Impedancija

<http://www.antenna-theory.com/basics/impedance.php>

[9] John D. Kraus Antennas for all applications, Tata Mcgraw-Hill edition, 1997.

[10] Konusna dipol antena

<https://www.reliantemc.com/Seibersdorf-Laboratories-Antennas-PCD-8250-Precision-Conical-Dipole-Antenna.html>

[11] Bikonusna (žičana) dipol antena

https://suppliers.jimtrade.com/165/164336/biconical_triblate_horn_antenna.htm

[12] BOW TIE antena

<https://www.changpuak.ch/electronics/Butterfly-Antenna-Designer.php>

[13] Dipol antena

<https://www.thunderpole.co.uk/pmr-base-station-antennas/thunderpole-pmr-uhf-dipole-antenna.html>

[14] Savijeni-dipol antena

http://www.progressive-concepts.com/transmission-equipment/-Alan-Dick-Jampro-JFWD-Broadband-Folded-Dipole-Antenna_PT1163.html

SAŽETAK

Najveća prednost antena je ta što se komunikacija ili prijenos podataka može odvijati na velikim udaljenostima bez ikakvih vodiča, valovi koje antena odašilje se gibaju u slobodnom prostoru bez upotrebe vođenih prijenosnih medija. Koriste se u komunikaciji satelitima, prekooceanskoj komunikaciji pa sve do odašiljanja wi-fi signala u kući, te mnoge druge primjene. U ovom radu korištene su dipol antene, te su modificirane dodavanjem vodljivih traka na stražnjoj podlozi antena. U radu su izvedena mjerenja S11 parametara i Smithovog dijagrama na frekvenciji od 30 khz do 6,5 Ghz. Mjerenja su izvršena na Keysight N9914A RF analizatoru. Iz S11 parametara saznat je koeficijent refleksije, a iz Smithovog dijagrama ulazna impedancija te fazni kut. Svi dobiveni podaci su analizirani i komentirani.

Ključne riječi

dipol, koeficijent refleksije, S11, Smithov dijagram, impedancija, antena

ABSTRACT

The biggest advantage of antennas is that communication or data transmission can take place over long distances without any conductors, waves that antenna emits move in free space without the usage of guided transmission media. They are used in satellite communications, overseas communications, even wi-fi signaling at home, and many other applications. In this paper dipole antennas were used and modified by measuring the S11 parameters and the Smith Diagram at a frequency of 30 kHz to 6.5 Ghz. The measurements were performed on the Keysight N9914A RF Analyzer. From S11 parameters we find the reflection coefficient, and from the Smith Diagram the input impedance and the phase angle. All the data obtained was analyzed and commented.

Keywords

Dipole, reflection coefficient, S11, Smith Diagram, impedance, antenna

ŽIVOTOPIS

Nikola Matok, rođen 14. listopada 1996. godine u Zaboku, Republici Hrvatskoj. Školovanje započeo 2003. godine u osnovnoj školi „Marija Bistrica“. Nakon završetka osnovnoškolskog obrazovanja, 2011. godine upisuje srednju školu, smjer Tehničar za električne strojeve s primjenom računalstva. Završava srednju školu 2015. godine, nakon položenih ispita državne mature upisuje preddiplomski stručni studij, smjer informatika na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, današnjem Fakultetu elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija.