

SUNIY YO‘LDOSH TEXNOLOGIYALARI UCHUN KO‘P SATHLI, KO‘P
DIAPAZONLI ANTENNANI ISHLAB CHIQUISH VA TADQIQ ETISH

Aripova Umida - dotsent

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Toshkent, O‘zbekiston

umidaaripova257@gmail.com

Abdullaev Asadbek - magistrant

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Toshkent, O‘zbekiston

asadbek020207@gmail.com

Abstrakt: Sun’iy yo‘ldosh texnologiyasi tajriba bosqichidan qisqa vaqt ichida murakkab va kuchli tizim darajasiga yetdi. Yer yuzidagi turli nuqtalar o‘rtasida ulanishni ta’minlash uchun sun’iy yo‘ldoshlardan foydalanish yo‘ldosh ilovalari deb ataladi. Yo‘ldosh ilovalarining sifatini oshirish maqsadida ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan. Yuqori sifatli yo‘ldosh ilovasiga erishishning asosiy maqsadlaridan biri — juda yuqori kuchaytirishga erishishdir. Bitta diapazonli antennalarning yuqori kuchaytirish xususiyati yaxshi ma’lum. Ammo bitta diapazonli antenna bir vaqtning o‘zida faqat bitta chastota diapazonidan foydalana oladi. Bunga qarama-qarshi ravishda, ko‘p diapazonli antenna bir nechta diapazonlarda ishlash imkonini beradi va bitta diapazonli antenaning afzalliklarini bir nechta chastota diapazonlarida qo‘llash imkoniyatini yaratadi, biroq ular har doim ham bitta diapazonli antenaning kuchaytirish darajasini bera olmaydi. Shu sababli, ushbu loyiha yo‘ldosh ilovalari sifatini oshirishga qaratilgan ko‘p diapazonli antenna dizaynini ishlab chiqishga yo‘naltirilgan.

Mazkur maqolada yo‘ldosh ilovalarida ishlashi uchun 9 GHz va 12 GHz chastotalarda rezonanslanadigan ko‘p diapazonli mikrostrip patch antenna loyihalandi, modellashtirildi, ishlab chiqarildi va sinovdan o‘tkazildi. Simulyatsiya va ishlab chiqarilgan antenna ishlashi antenaning asosiy xarakteristikalarini bo‘yicha baholandi. Tahlil va tajriba natijalariga ko‘ra, taklif etilgan antenna 9 GHz da $-35,366$ dB va 12 GHz da $-32,269$ dB **S11** qiymatini ko‘rsatdi. Shuningdek, u 9 GHz da 8,0855 dBi va 12 GHz da 7,4503 dBi yo‘nalganlik (directivity) qiymati bilan yaxshi yo‘nalish xususiyatlariga ega. Kuchaytirish qiymati ham qoniqarli bo‘lib, 9 GHz da 7,356 dB va 12 GHz da 6,1065 dB ni tashkil etdi. O‘lchangan natijalarga ko‘ra, ishlab chiqarilgan ko‘p diapazonli mikrostrip antenna 9 GHz da $-22,13$ dB va 12 GHz da $-21,043$ dB **S11** qiymatini ko‘rsatdi

Kalit soʻzlar: koʻp diapazonli mikrostrip patch antenna, sunʻiy yoʻldosh ilovalari, X-diapazon (9 GHz), Ku-diapazon (12 GHz), aks ettirish koeffitsienti (S11), kuchaytirish (gain), yoʻnalganlik (directivity), VSWR, slot konfiguratsiyasi, antenna optimallashtirish, CST Microwave Studio, Rogers RT/duroid 5880, qaytish yoʻqotishi (return loss), antenna dizayni va ishlab chiqarish, simulyatsiya va amaliy oʻlchov natijalari taqqoslanishi.

Hozirgi kunda sunʻiy yoʻldoshlar turli maqsadlarda qoʻllaniladi, ulardan eng koʻp uchraydigani — aloqa va masofadan zondlash (sensing) tizimlaridir. Ushbu ilovalar antennalar ishlaydigan kanallar yoki chastota diapazonlariga boʻlinadi. Shu nuqtai nazardan, koʻp diapazonli antennalar yoʻldosh ilovalariga katta yordam berib, butun yoʻldosh tizimi sifatini oshiradi.

Koʻp diapazonli antenna maxsus ravishda bir nechta chastota diapazonlarida ishlashi uchun ishlab chiqiladi. Uning konstruksiyasida turli chastota diapazonlarida ishlaydigan faol elementlar yoki boʻlimlar mavjud. Bir vaqtning oʻzida bir nechta chastota diapazonida ishlash imkoniyati koʻp diapazonli antennalarni koʻplab sohalarda qoʻllashning asosiy sababidir. Bundan tashqari, bunday antennalar bitta diapazonli antennalarga qaraganda arzonroq va oʻrnatish uchun qulayroq hisoblanadi.

Soʻnggi yillarda tadqiqotchilar yoʻldosh tizimlarini rivojlantirish uchun mos antenna yaratish boʻyicha koʻplab tadqiqotlar oʻtkazishgan. Shu bois, mikrostrip patch antennalar oʻzining noyob xususiyatlari tufayli simsiz aloqa tizimlari uchun eng yaxshi tanlov sifatida eʼtirof etiladi [1]. Bu xususiyatlarga past narx, yengil konstruksiya, ishlab chiqarishning soddaligi va mustahkamlik kiradi. Bu esa ularni qurilmaning har qanday qattiq yuzasiga oson oʻrnatish imkonini beradi.

Ankita va Verma [2] koaksial oziqlantirishga ega mikrostrip patch antenna boʻyicha tadqiqot taqdim etgan. Mazkur antenna bir nechta chastotalarda, xususan X- va Ku-diopazonlarda ishlash qobiliyatini koʻrsatadi. Biroq uning oʻtkazish qobiliyati (bandwidth) juda tor. Chakma va hamkorlari [3] esa K-diapazonida ishlaydigan mikrostrip patch antennani taqdim etgan. Bu antenna bitta chastota diapazonida ishlashga moʻljallangan boʻlib, past qaytish yoʻqotishiga (return loss) ega. Ammo mualliflar ishda ishlab chiqarilgan (fabrikatsiya qilingan) natijalar bilan solishtirishni keltirmagan.

Xuddi shunday, Al-Janabi va boshqalar [4] tomonidan taqdim etilgan dizayn ham past qaytish yoʻqotishini koʻrsatadi — Ku-diapazon uchun $-32,98$ dB va Ka-diapazon uchun $-55,029$ dB. Biroq, oldingi tadqiqot kabi, bu ishda ham ishlab chiqarilgan natijalar bilan taqqoslash keltirilmagan. Bundan tashqari, Sharma va hamkorlari [5] yuqori kuchaytirishga ega mikrostrip patch antennani taqdim etgan, ammo ular antennaning samaradorligini baholash uchun muhim parametr hisoblangan qaytish yoʻqotishi (return loss) qiymatini keltirmagan.

Umuman olganda, mikrostrip patch antennalar oʻzining noyob xususiyatlari

tufayli simsiz aloqa tizimlari uchun eng yaxshi tanlov hisoblanadi [6]. Bunday antenna turli xil qurilmalarga — sun'iy yo'ldoshlar, mobil telefonlar va hatto samolyotlarga — oson integratsiya qilinishi mumkin [7].

Ushbu maqolada ko'p diapazonli mikrostrip patch antenna taqdim etiladi. Antenna 9 GHz va 12 GHz chastotalarda rezonanslanib, bir nechta chastota diapazonlarida ishlash imkonini beradi. Dizaynning o'ziga xosligi shundaki, u ko'p diapazonli chastotalarni ta'minlash bilan birga yaxshi yo'nalganlik (directivity) xususiyatini ham saqlab qoladi. Bundan tashqari, antenaning samaradorligini baholash uchun simulyatsiya natijalari amaliy o'lchov natijalari bilan solishtiriladi.

Taklif etilgan dizaynning yuqorida tilga olingan o'ziga xosligi yo'ldosh tizimi sifatini oshirish salohiyatiga ega ekanini ko'rsatadi. Ushbu maqolada, kerakli natijaga erishish uchun antenaning o'lchamini loyihalash va moslashtirish jarayonlari batafsil yoritiladi. Keyingi "Natijalar" bo'limida CST-MWS dasturiy ta'minoti yordamida olingan simulyatsiya natijalari va ishlab chiqarilgan antenaning amaliy o'lchov natijalari taqdim etiladi. Oxirgi "Xulosa" bo'limida esa ko'p diapazonli mikrostrip patch antenaning ishlash ko'rsatkichlari umumlashtirilib, yakuniy izohlar beriladi.

I. Metodologiya

1.1. Bitta diapazonli mikrostrip patch antenaning dizayni

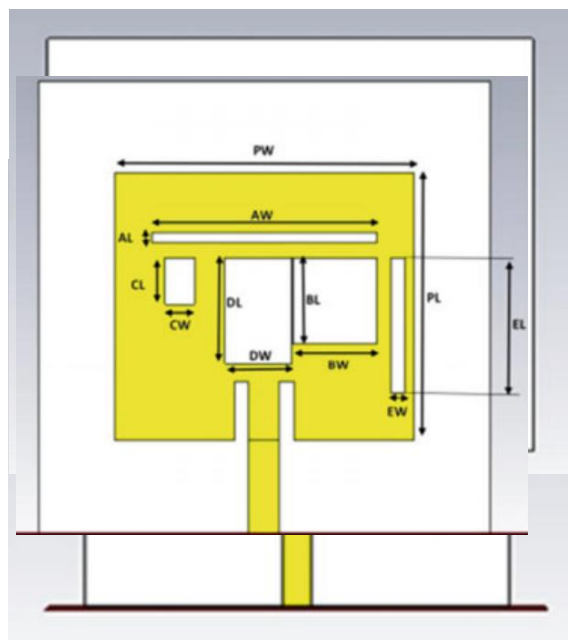
Mikrostrip patch antenna dastlab mikroto'lqinli tizimlarga mo'ljallangan *Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio* dasturi yordamida loyihalashtirildi va modellashtirildi. 1.1-rasmda taklif etilgan mikrostrip patch antenaning dastlabki dizayni ko'rsatilgan. Antenna dizayni asos sifatida tanlangan ilmiy maqola (benchmark paper) asosida ishlab chiqildi.

Substrat materiali sifatida *Rogers RT/duroid 5880* tanlandi. Uning dielektrik doimiysi $\epsilon_r=2.2$, yo'qotish tangensi $\delta=0.0009$ va qalinligi $t=1.6mm$ ni tashkil qiladi. Bundan tashqari, mikrostrip patch antennaga slot konfiguratsiyasi qo'shib, uning aks ettirish koeffitsienti (reflection coefficient) va rezonans chastotasini yaxshilashga qaratilgan modifikatsiya va optimallashtirish ishlari amalga oshirildi (1.2-rasm).

Mikrostrip patch antenaning dizayn parametrlari 1.1-jadvalda keltirilgan. Slotli modifikatsiya parametrlarga tahlil (parameter analysis) o'tkazish orqali amalga oshirildi, bu esa antenaning ishlash samaradorligini nozik sozlash va optimallashtirish imkonini berdi. 1.1-jadvalda optimallashtirishdan oldingi va keyingi mikrostrip antenaning dastlabki parametrlari taqqoslangan. 1.3-rasmda optimallashtirish jarayonidan so'ng antenaning old tomondan ko'rinishi berilgan. Ushbu optimallashtirilgan dizayn antenaning ishlash ko'rsatkichlarini yaxshilashga qaratilgan. Shuningdek, 1.2-jadvalda optimallashtirilgan mikrostrip patch antennaga oid barcha o'lchamlar umumlashtirilgan. Jadval dizayn jarayonida o'zgartirilgan va

optimallashtirilgan aniq o'lchamlarni to'liq ko'rinishda taqdim etadi.

1.1-rasm. Optimallashtirish kiritilmagan mikrostrip patch antenna



1.2-rasm. Slot konfiguratsiyasi qo'shilgan va optimallashtirilgan mikrostrip patch antenna

1.1-jadval. Taklif etilgan antenning parametrlari

Parametr	Optimallashtirilmagan mikrostrip patch antenna	Optimallashtirilgan mikrostrip patch antenna
Rezonans chastotasi	9 GHz	9 va 12 GHz
Patch kengligi	21.96 mm	19.9 mm
Patch uzunligi	17.79 mm	17.79 mm
Dielektrik materiali	RT/duroid 5880	RT/duroid 5880
Dielektrik doimiysi	2.2	2.2
Dielektrik qalinligi	1.60 mm	1.60 mm
Dielektrik uzunligi	30 mm	30 mm
Dielektrik kengligi	30 mm	30 mm
Yer (ground) uzunligi	30 mm	30 mm
Yer (ground) kengligi	30 mm	30 mm
Oziqlantirish liniyasi kengligi	2 mm	2 mm
Oziqlantirish liniyasi uzunligi	6.105 mm	6.105 mm

1.3-rasm. Dizayndagi antenning belgilangan parametrlari

1.2-jadval. Optimallashtirilgan mikrostrip patch antenaning parametr o'lchamlari

Parametr	O'lcham (mm)	Parametr	O'lcham (mm)
PW	19.90	BL	5.70
PL	17.79	CW	2.00
AW	15.00	CL	3.10
AL	0.655	DW	4.47
BW	11.10	DL	7.00
EW	1.00	EL	9.00

II. Natijalar va tahlil

Ushbu bo'limda antenaning ishlash ko'rsatkichlari bo'yicha natijalar va tahlil taqdim etiladi. Baholash quyidagi parametrlar asosida amalga oshiriladi: aks ettirish koeffitsienti, kuchaytirish (gain), nurlanish diagrammasi (radiation pattern), yo'nalganlik (directivity) va VSWR.

Shuningdek, turli substrat materiallari aks ettirish koeffitsienti bo'yicha tahlil qilinadi. Bundan tashqari, simulyatsiya natijalari amaliy o'lchov natijalari bilan taqqoslanib, modellashtirish modelining aniqligi va ishonchliligi baholanadi.

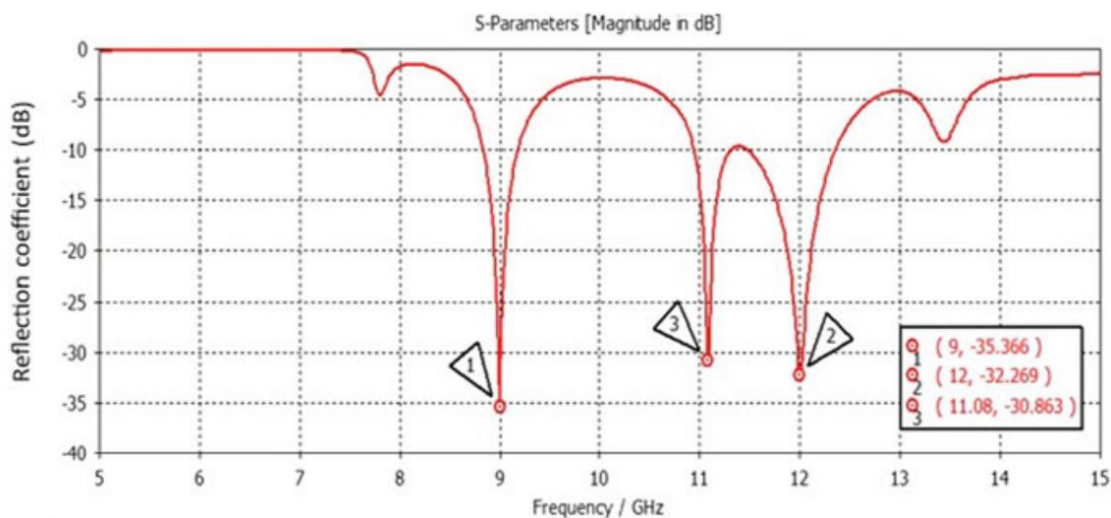
2.1. Taklif etilgan mikrostrip patch antenaning

2.2. aks ettirish koeffitsienti tahlili

Ushbu bo'limda **CST Microwave Studio** dasturi yordamida olingan mikrostrip patch antenaning simulyatsiya natijalari taqdim etiladi. 2.1-rasmda aynan ko'p diapazonli mikrostrip antenaning simulyatsiya qilingan qaytish yo'qotishi (return loss) grafigi tasvirlangan bo'lib, dizaynning kerakli chastota xususiyatlariga erishishdagi samaradorligini ko'rsatadi.

2.3. Kuchaytirish (Gain), yo'nalganlik (Directivity) va VSWR tahlili

Antenaning ishlash samaradorligini baholash uchun uning kuchaytirish (gain), yo'nalganlik (directivity) va VSWR parametrlariga tahlil o'tkazildi. 2.2(a)-rasmda taklif etilgan mikrostrip patch antenaning kuchaytirish tahlili natijalari keltirilgan. Antenna 9 GHz chastotada 7,356 dB kuchaytirish, 12 GHz chastotada esa 6,1065 dB kuchaytirish qiymatini ko'rsatdi. Bu qiymatlar antenaning mos chastotalarda signalni kuchaytirish qobiliyatini ifodalaydi. 2.2(b)-rasmda antenaning ma'lum yo'nalishda nurlanish yo'nalganligi (directivity) ko'rsatilgan. 9 GHz chastotada mikrostrip antenna asosiy lob yo'nalganligini 8,0855 dBi qiymat bilan namoyon qilgan, 12 GHz chastotada esa bu qiymat 7,4503 dBi ni tashkil etgan. Antenaning umumiy ishlash natijalari 2.1-jadvalda keltirilgan.



2.1-rasm. Optimallashtirilgan taklif etilgan mikrostrip patch antenning aks ettirish koeffitsienti

2.4. Antenning o‘lchovlari

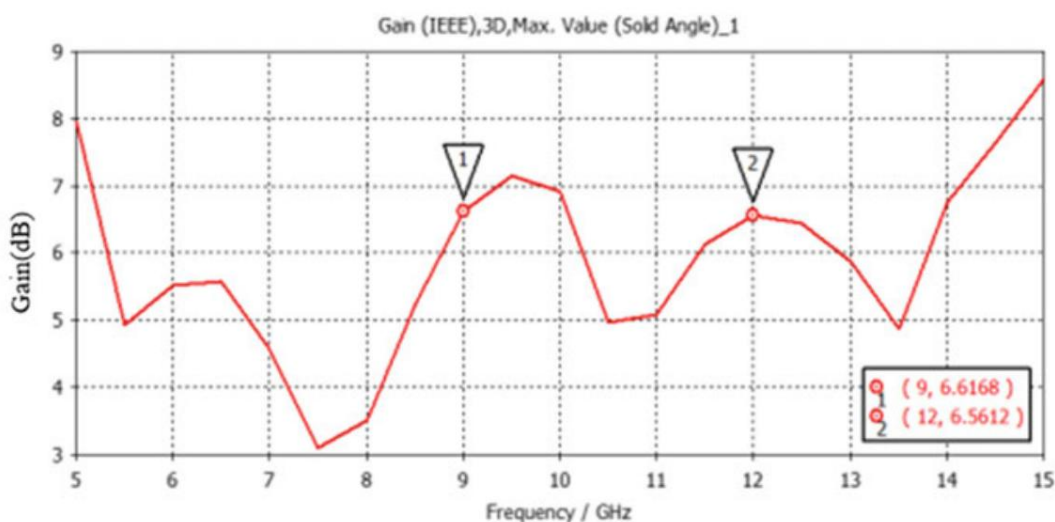
Antenning real sharoitlarda ishlash samaradorligini baholash uchun taklif etilgan dizayn ishlab chiqarildi va Programmable Vector Analyzer (PNA) yordamida sinovdan o‘tkazildi. Ushbu sinovning maqsadi, ayniqsa qaytish yo‘qotishi (return loss) bo‘yicha, simulyatsiya natijalarini tasdiqlashdan iborat edi.

2.3-rasmda ko‘rsatilganidek, ishlab chiqarilgan antenning qaytish yo‘qotishi 9,077 GHz chastotada **-22,13 dB**, 12,043 GHz chastotada esa **-21,70 dB** ni tashkil etdi. Bu natijalar simulyatsiya ko‘rsatkichlari bilan solishtirilganda (9,077 GHz uchun -35,366 dB va 12,043 GHz uchun -32,269 dB), ishlab chiqarilgan antenning ishlashi simulyatsiya natijalariga juda yaqin ekanini ko‘rsatadi.

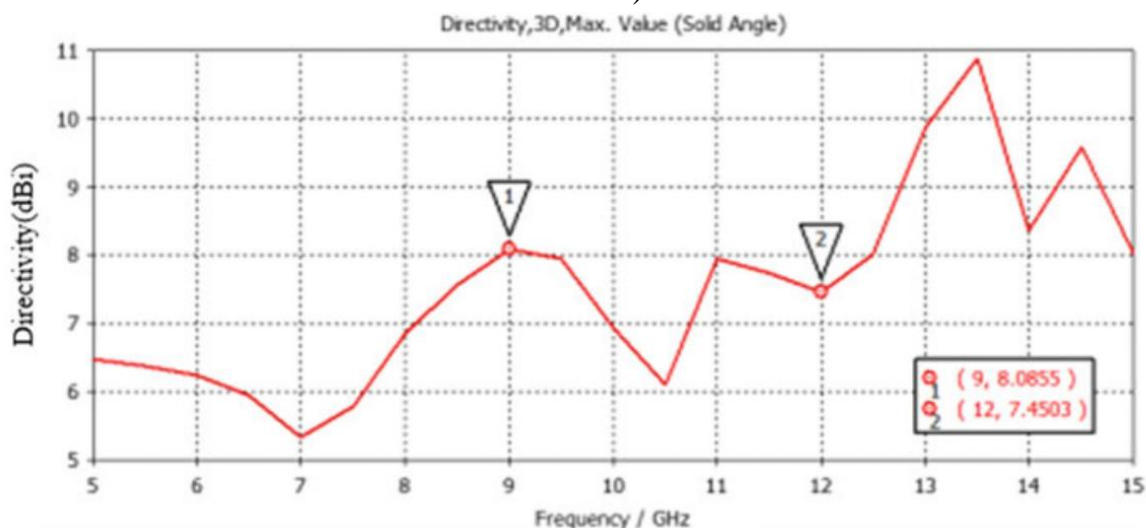
Shunday qilib, dizaynning aniqligi va ishonchliligi tasdiqlandi. O‘lchov natijalari va simulyatsiya natijalari o‘rtasidagi farqlar esa ishlab chiqarish jarayonida yuzaga kelgan xatoliklar va o‘lchash muhiti sharoitlariga bog‘liq bo‘lib, bunday tafovutlar tabiiy hisoblanadi.

2.2-jadval mikrostrip patch antenalar sohasidagi muqobil dizayn usullari bo‘yicha so‘nggi ishlanmalar umumlashtirilgan ko‘rinishda keltirilgan. Jadvalni tahlil qilganda, taklif etilgan dizaynning past qaytish yo‘qotishi (return loss) va yuqori kuchaytirish-yo‘nalganlik (gain directivity) ko‘rsatkichlari bilan boshqa yondashuvlardan ustunligi yaqqol ko‘rinadi.

Bundan tashqari, taklif etilgan dizaynning real sharoitlarda samaradorligini baholash uchun simulyatsiya va amaliy o‘lchov natijalari o‘rtasida taqqoslash o‘tkazilgan. Ushbu tahlil, dizaynning amaliy ishlash qobiliyati va qo‘llash imkoniyatlarini aniqlashga yordam beradi.



a)

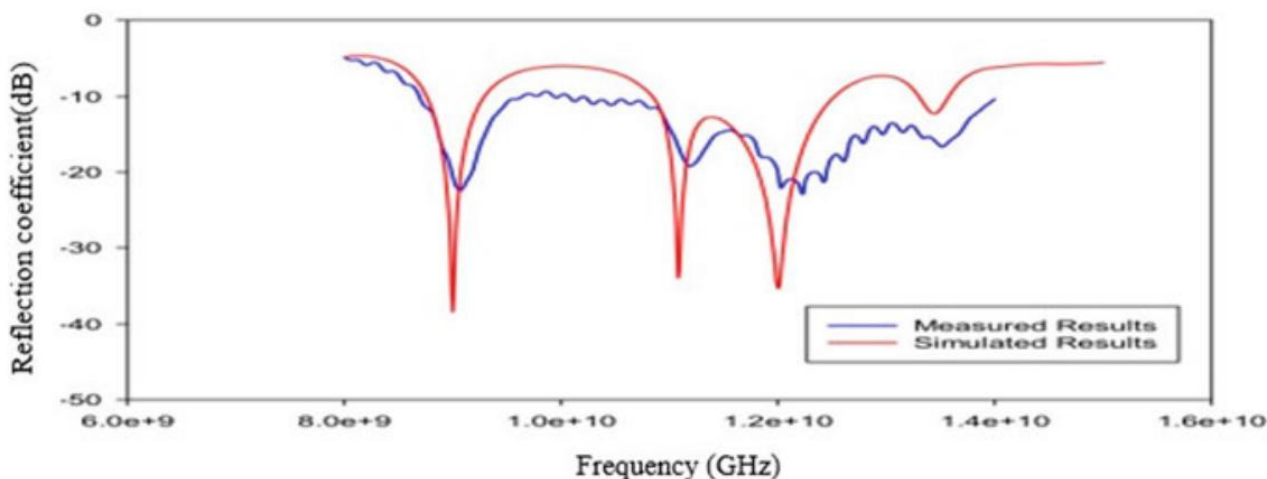


b)

2.2-rasm. a) Kuchaytirish (Gain) tahlili, b) Yo‘nalganlik (Directivity) tahlili

2.1-jadval. Slot konfiguratsiyasiga ega mikrostrip patch antenaning simulyatsiya natijalari (kuchaytirish (dB), yo‘nalganlik (dBi) va VSWR bo‘yicha)

Parametr	9 GHz	12 GHz
Gain (dB)	7.356	6.1065
Directivity (dBi)	8.0855	7.4503
VSWR	1.0347	1.0499



2.3-rasm. Simulyatsiya va amaliy o‘lchov natijalari bo‘yicha aks ettirish koeffitsienti taqqoslanishi

2.2-jadval. Sun‘iy yo‘ldosh ilovalari uchun mikrostrip patch antenaning turli dizaynlarini taqqoslovchi tahlil

Manba	Rezonans diapazoni	Afzalliklari	Kamchiliklari
Ankita va Verma [2]	X va Ku-diapazon	Kengroq o‘tkazish qobiliyati (bandwidth) va yaxshilangan impedans moslashuvi	Antenna o‘tkazish qobiliyati juda tor
Chakma va boshq. [3]	K-diapazon	Past qaytish yo‘qotishi (-41.013 va -37.408 dB)	Ishlab chiqarish (fabrikatsiya) natijalari yo‘q
Al-Janabi va boshq. [4]	Ku va Ka-diapazon	Past qaytish yo‘qotishi (-32.99 va -55.029 dB)	Ishlab chiqarish (fabrikatsiya) natijalari yo‘q
Sharma va boshq. [5]	C-diapazon	Yuqori kuchaytirish (5, 7.6, 7 dB)	Qaytish yo‘qotishi aniq ko‘rsatilmagan
Taklif etilgan (Proposed)	X-diapazon	• Past qaytish yo‘qotishi (-35.37 va -32.27 dB) va yuqori kuchaytirish-yo‘nalganlik	

Xulosa qilib aytganda, 9 GHz va 12 GHz chastotalarda ishlaydigan sun‘iy yo‘ldosh ilovalari uchun ko‘p diapazonli mikrostrip patch antenna ishlab chiqildi. Antennaning ishlash ko‘rsatkichlari — aks ettirish koeffitsienti, kuchaytirish (gain), yo‘nalganlik (directivity), nurlanish diagrammasi (radiation pattern) va VSWR — batafsil o‘rganildi va muhokama qilindi. Dastlab antenaning dizayni ishlab chiqildi va uning kerakli chastotada ishlamasligi aniqlandi. Shundan so‘ng, kerakli rezonans chastotada ishlash sifatini oshirish uchun antenaning parametrlarini optimallashtirish

va slot konfiguratsiyasini qo‘shish orqali modifikatsiya qilindi.

Bundan tashqari, tayyorlangan antenna sinovdan o‘tkazilib, uning funktsionalligi tasdiqlandi. Tahlil qilingan natijalar asosida aytish mumkinki, taklif etilgan ko‘p diapazonli mikrostrip patch antenna sun‘iy yo‘ldosh ilovalari uchun muqobil yechim bo‘lishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. M.T. Islam, N.U. Anika, M.S. Mahmud, M.H. Islam, M.R.H. Abir, M.H. Chy. C-diapazon va X-diapazon ilovalari uchun mikrostrip patch antenna dizayni. 2-chi Xalqaro ilg‘or axborot va aloqa texnologiyalari konferensiyasi (ICAICT), 7–10-betlar (2020).
2. A. Sood, P. Verma. Sun‘iy yo‘ldosh aloqasi va radar ilovalari uchun ikki diapazonli mikrostrip patch antenna dizayni (2016).
3. N. Chakma, M.M. Farhad, A.J. Islam, S. Chakraborty, M.S. Bin Nesar, M.A. Muktaadir. K-diapazonida sun‘iy yo‘ldosh aloqasi uchun mikrostrip patch antenaning ishlash samaradorligini tahlil qilish. 2018-yil 21-Xalqaro kompyuter va axborot texnologiyalari konferensiyasi (ICCIT), 1–4-betlar (2018).
4. F. Al-Janabi, M.J. Singh, A.P.S. Pharwaha. Ku/Ka-diapazonida sun‘iy yo‘ldosh ilovasi uchun mikrostrip antenaning ishlab chiqilishi. *J. Commun.*, 118–125-betlar (2021).
5. S.B. Sharma, A. Ugle, K. Parikh. Ko‘p diapazonli GNSS ilovalari uchun yangi U-slotli aperture coupled annular-ring mikrostrip patch antenna. 14-chi Yevropa Antennalar va tarqalish konferensiyasi (EuCAP), 1–3-betlar (2020).
6. P.L. Vijayvergiya, R.K. Panigrahi. Sun‘iy yo‘ldosh ilovalari uchun bir qatlamli, bitta patchli ikki diapazonli antenna. *IET Microwaves, Antennas Propag.* 11(5), 664–669. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2016.0393> (2017).
7. R. Zhi, M. Han, J. Bai, W. Wu, G. Liu. WLAN va X-diapazonli sun‘iy yo‘ldosh aloqasi ilovalari uchun ixcham ko‘p diapazonli antenna. *Prog. Electromagnet. Res. Lett.* 75, 13–18. <https://doi.org/10.2528/pierl18021805> (2018).