

UO‘K 65.011.56

## ANTENNA QURILMALARINI QURISHDA ISHLATILADIGAN MATERIALLARNING QIYOSIY TAHLILI

<sup>+</sup> *Mirzoqulov H.B.<sup>1</sup>, Bolbekov M.A.<sup>1</sup>, Baxtiyorov S.I.<sup>1</sup>, Bozorov Z.Z.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti  
Samarqand filiali, Samarqand, O‘zbekiston

<sup>+</sup> liverpool\_2592@mail.ru

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada antenna qurilmalarini yasashda qo‘llaniladigan turli materiallarning qiyosiy tahlili amalga oshirilgan. Tahlil davomida an’anaviy, kompozit va meta materiallarning xususiyatlari o‘rganilgan va ularning antenna qurilmalarida qo‘llanilish masalalari ko‘rib chiqilgan. Mis, alyuminiy, oltin kabi materiallar o‘zlarining yuqori elektr va issiqlik o‘tkazuvchanligi bilan ajralib turadi ammo narxi va bardoshlilik borasida ayrim cheklolarga ega. Kompozit materiallar esa nisbatan yengil bo‘lib antenna qurilmalaridan tashqari aviatsiya va avtomobil sanoatida ham keng qo‘llaniladi. Metamateriallar o‘ziga xos xususiyatlarga ega bo‘lib, signal uzatish va elektromagnit boshqaruv sohalarida ancha foydali hisoblanadi. Metamateriallarni patch antenasida qo‘llash bo‘yicha imitatsion model yaratilgan va simulyatsion natijalari olingan.

**Kalit so‘zlar:** materiallar, antenna, metamaterial, patch antenna, imitatsion model.

### 1 KIRISH

Bugungi kunda dunyoda axborot-kommunikatsiya texnologiyalariga, xususan telekommunikatsiya sohasiga katta e’tibor qaratilmoqda. Ushbu sohada kundun-kunga yangidan yangi ijobiy o‘zgarishlar va tashabbusli loyihalar yaratilmoqda. Ushbu sohani rivojlantirish maqsadida mutaxassislar tomonidan olib borilayotgan ishlar ayni kunlarda yurtimizda ham jadallik bilan davom etmoqda. Shu bilan birga katta ma’lumotlar oqimi bilan ishlaydigan, sifatli va tezkor aloqa xizmatlarini talab qilayotgan turli kompaniyalarning ham soni ortib bormoqda. Shu sababli, iste’molchilarga sifatli va tezkor aloqa xizmatlarini yetkazib berish bugungi kunning eng dolzarb muammolaridan biri bo‘lib qolmoqda. Shubhasiz, sizimiz aloqa tizimlari bugungi kunda telekommunikatsiya sohasida jadallik bilan rivojlanib borayotgan yo‘nalishdir va ushbu sohani rivojlantirish maqsadida olimlar tomonidan maxsus laboratoriyalarda turli tajribalar olib borilmoqda [1-6].

Antenna qurilmalari uchun yaratilayotgan maxsus elementlar bilan hozirga qadar foydalanilib kelinayotgan an’anaviy materiallar ustida turli tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu maqolada ham yuqorida aytilgan materiallarning qiyosiy tahlilini o‘rganishga va metamateriallarni antenna qurilmalarida qo‘llashga qaratilgan tadqiqot ishlari natijalari taqdim etilgan.

### 2 ASOSIY QISM

Turli xil xususiyatlarga asoslangan an’anaviy materiallar, kompozit materiallar va metamateriallarni solishtirganda, har birining o‘ziga xos afzalliklari va cheklolari borligini ko‘rishimiz mumkin. Har bir material mexanik, elektr, issiqlik qarshiligi, narxi va qo‘llanilish sohalari bo‘yicha o‘ziga xos xususiyatlarga ega. Mis, aluminiy yoki plastmassa kabi an’anaviy materiallar yaxshi mexanik xususiyatlarga va elektr o‘tkazuvchanligiga ega keng tarqalgan materiallardir. Bu materiallar nisbatan arzon va oddiy ishlab chiqarish jarayoniga ega bo‘lib, qurilish, transport va elektronika kabi ko‘plab sohalarda qo‘llaniladi. Biroq, ular ba’zan yuqori haroratlarda yoki ba’zi muhitlarda ishlashga cheklolarga duch kelishlari mumkin [1-3].

Kompozit materiallarga keladigan bo‘lsak, ular ikki yoki undan ortiq materiallarning aralashmasidan iborat bo‘lib yuqori mexanik xususiyatlar va issiqlikka bardoshlilik bilan an’anaviy materiallardan farq qiladi. Ulardan hozirgi kunda avtomobilsozlik sohalarda va sport jihozlari yasashda foydalanilib kelinmoqda. Chunki ular og‘ir yuklarni ko‘tarishda va yuqori haroratlarda samarali hisoblanadi. Shu bilan birga, kompozit materiallarni ishlab chiqarish ancha murakkab va qimmatroq bo‘lib, ba’zi hollarda ular uzoq muddatli jarayonlarda ba’zi jismoniy xususiyatlarini yo‘qotishi mumkin. Mana shu kamchiliklarni kamaytirish maqsadida olimlar tomonidan maxsus laboratoriyalarda metamateriallar ishlab chiqilmoqda.

Ular tabiiy materiallarga nisbatan o'ziga xos tuzilishga va xususiyatlarga ega. Ular elektromagnit to'lqinlarni manipulyatsiya qilish yoki boshqa innovatsion texnologiyalarga asoslangan qobiliyatlarni yaratish uchun ishlatiladi. Metamateriallar holi keng tarqalmagan, chunki ularni ishlab chiqarish jarayoni murakkab va qimmat, ammo ilmiy-texnikaviy salohiyati juda katta hisoblanadi. Ular asosan ilmiy tadqiqotlar, optika va elektromagnit to'lqinlar bilan bog'liq jarayonlarda qo'llanilib kelinmoqda [4-7]. Taqqoslash uchun, an'anaviy materiallar arzon va keng qo'llaniladigan bo'lsa-da, kompozit materiallar yuqori ish faoliyatini ta'minlaydi, ammo ular qimmat va murakkab ishlab chiqarishni talab qiladi. Boshqa tomondan, metamateriallar innovatsion xususiyatlarga ega, ammo ular hozirda keng qo'llanilmaydi va ishlab chiqarish texnologiyalari boshqalariga nisbatan ancha qimmat. Har bir turdagi material uning xususiyatlari va qo'llanilishiga qarab tanlanadi va tanlash materialning narxini, uning xizmat qilish muddatini, samaradorligini va foydalanish sohasini hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Ushbu xususiyatlarni quyidagi jadvalda ko'rishingiz mumkin (1-jadval).

**1-jadval.** Turli materiallarning xususiyatlari va qo'llanilishi

Material	O'tkazuvchanlik	Mustahkamlik	Chidamlilik	Narx	Qo'llanilishi
Mis	a'lo	o'rtacha	yuqori	yuqori	yuqori samaradorlikka ega antennalar, radioaloqa
Alyuminiy	yaxshi	o'rtacha	yuqori (agar anodlangan bo'lsa)	o'rtacha	strukturaviy komponentlar, yengil antennalar
Oltin	a'lo	past	a'lo	juda yuqori	nozik komponentlar, yuqori chastotali texnika
Plastmassalar/ polimerlar	super o'tkazuvchi emas	O'rtacha	o'rtacha	past	super o'tkazuvchilar bo'lmagan qismlar, izolyatorlar

1-jadvalda bir nechta an'anaviy materiallar o'tkazuvchanlik, mustahkamlik, narx va qo'llaniladigan sohalari bo'yicha o'zaro taqqoslangan. Elektr o'tkazuvchanlik bo'yicha eng yaxshi materiallar mis, oltin va alyuminiy hisoblanadi, plastmassalar esa supero'tkazuvchi bo'lmagan materiallar sifatida berilgan. Mustahkamlik bo'yicha mis va alyuminiy o'rtacha, oltin esa past mustahkamlikka ega. Chidamlilik jihatidan oltin eng bardoshli materiallar bo'lib, mis va alyuminiy ham yuqori chidamlilikka ega. Narx bo'yicha oltin va mis eng qimmat, alyuminiy o'rtacha, plastmassalar esa eng arzon materiallar hisoblanadi.

Metamateriallarning boshqa materiallar bilan qiyosiy tahlili 2-jadvalda keltirilgan. Ushbu ma'lumotlarga tayangan holda shuni aytish mumkin, mustahkamlik an'anaviy materiallarda 150-400 MPa (mis, alyuminiy, po'lat), kompozit materiallarda 1000-3000 MPa, metamateriallarda esa tuzilishiga qarab o'zgaradi. Elastiklik an'anaviy materiallarda 70-210 GPa, kompozitlarda 70-200 GPa, metamateriallarda esa 0,1-10 GPa oralig'ida bo'lib, muayyan talablar asosida moslashtiriladi [8-11].

**2-jadval.** Materiallarning mexanik, elektr va termal xususiyatlari bo'yicha qiyosiy tahlili

Xususiyatlar	An'anaviy materiallar	Kompozit materiallar	Metamateriallar
Mustahkamlik	150-400 MPa (masalan, mis, alyuminiy, po'lat)	1000-3000 MPa (masalan, uglerod tolasi, aramid tolasi)	Muhandislik xususiyatlari; dizaynga qarab farqlanadi
Elastiklik	70-210 GPa (masalan, alyuminiy, mis)	70-200 GPa (masalan, uglerod tolasi, keramika)	0,1-10 GPa (qattqlikni optimallashtirish uchun ishlab chiqilgan)
Bardoshlilik	O'rtacha qarshilik	Yuqori qarshilik (ayniqsa, tola bilan mustahkamlangan)	Yuqori salohiyat (hali tadqiqot ostida)
Elektr o'tkazuvchanlik	Yuqori (Mis: $58.5 \times 10^6$ S/m, Alyuminiy: $37.7 \times 10^6$ S/m)	O'rtacha (polimer asosidagi kompozitsiyalar uchun $10^{-5}$ dan $10^{-3}$ S/m gacha)	Maxsus ehtiyojlar uchun moslashtirilgan o'tkazuvchanlik
Dielektrik doimiy	5-12 (masalan, mis, alyuminiy)	4-5 (polimer va tolalar tarkibiga qarab o'zgaradi)	10-20 (muhandislik xususiyatlari)
Termal o'tkazuvchanlik	Yuqori (Mis: 380 W/m·K, Alyuminiy: 200 W/m·K)	Past (polimer kompozitlar uchun 0,1-0,5 W/m·K; uglerod tolasi uchun yuqorier)	Past yoki yuqori O'tkazuvchanlik uchun moslashtirilgan
Yutish koeffitsienti	Past (mis, alyuminiy kabi aks ettiruvchi materiallar)	O'rta (singdirish uchun mo'ljallangan bo'lishi mumkin)	Yuqori (ma'lum to'lqin uzunliklari uchun ishlab chiqilgan)
Xarajatlar va ishlab chiqarish	Past xarajat, ishlab chiqarish oson	O'rtacha xarajat, murakkab ishlab chiqarish	Yuqori xarajat, murakkab ishlab chiqarish (lekin vaqt o'tishi bilan kamayishi mumkin)

Bardoshlilik an'anaviy materiallarda o'rtacha, kompozitlarda yuqori, metamateriallarda esa hali to'liq o'rganib bo'linmagan. Elektr o'tkazuvchanlik an'anaviy materiallarda yuqori (masalan, mis –  $58,5 \times 10^6$  S/m), kompozit materiallarda o'rtacha, metamateriallarda esa maxsus ehtiyojlarga moslashtirildi. Dielektrik doimiy an'anaviy materiallarda 5-12, kompozitlarda 4-5, metamateriallarda esa 10-20 oralig'ida bo'lishi mumkin [12-15].

### 3 AMALIY QISM

Simsiz aloqa tarmoqlarining bugungi kundagi tarmoq va abonent qurilmalarida eng keng qo'llanilayotgan antennalaridan biri bu patch antennalardir. Metamateriallar patch antennalarga juda keng tadbiiq etib kelinmoqda.

Patch antenna bu mikroto'lqinli antennalarning bir turi bo'lib, yupqa metal qatlamdan iborat bo'ladi. U dielektrik substrakt ustida joylashadi. Ular eng ko'p kvadrat, to'rtburchak, doira yoki boshqa shakllarda bo'lishi mumkin.

Patch antennalar odatda yengil va ishlab chiqarish oson bo'lgani uchun mobil aloqa, GPS, Wi-Fi va boshqa simsiz aloqa tizimlarida ishlatiladi. Patch antenna yasash uning ma'lum chastota bo'yicha o'lchamlarini aniqlashdan boshlanadi. Patch antennaning uzunligi  $L$ , kengligi  $W$ , chastotasi va taglik (sublayer)ning dielektrik doimiysiga bog'liq.

Birinchi navbada, antennaning to'lqin uzunligini aniqlaymiz. Bundan maqsad patch antennaning o'lchamlarini aniq belgilashdir. Patch antennaning ishlash chastotasiga bog'liq holda uning uzunligi va kengligini hisoblash uchun to'lqin uzunligi juda muhim parametr hisoblanadi,

$$\lambda_0 = \frac{f}{c}, \quad (1)$$

bu yerda  $\lambda_0$  – erkin fazodagi to'lqin uzunligi (m),  $c$  – yorug'lik tezligi,  $f$  – ishchi chastotasi (Hz).

Antennaning keyingi muhim parametrlaridan biri effektiv dielektrik doimiyni aniqlaymiz. Taglikning effektiv dielektrik doimiysi  $\epsilon_r$  mavjudligi sababli elektromagnit to'lqin taglik va havo o'rtasida tarqaladi. Effektiv dielektrik doimiysi  $\epsilon_{reff}$  ni quyidagi formula orqali hisoblashimiz mumkin:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-1/2}, \quad (2)$$

bu yerda  $\epsilon_{reff}$  – substraktning dielektrik doimiysi,  $h$  – substrakt qalinligi (m),  $W$  – patchning kengligi (m).

Patch antennaning kengligi  $W$  yuqorida ishlatilgan parametrlardan foydalangan holda quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$h = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}. \quad (3)$$

Patch antennaning kengligi ( $W$ ) uning samaradorligiga sezilarli ta'sir qiladi. Kenglik nurlanish naqshi, yo'nalishlilik, kirish impedansi va yana bir qator omillar bilan bog'liq. Opimal kenglik moslashuvni yaxshilaydi, signal yo'qotishlarni kamayiradi va ishlash chastotasini barqaror qiladi.

Patch antenna uzunligi  $L$  ni aniqlash uchun avvalo elektrik qisqarish koeffitsientii ( $\Delta L$ ) hisoblaymiz:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)(W/h + 0.8)}. \quad (4)$$

(4) yordamida  $L$  patch antenna uzunligini aniqlaymiz:

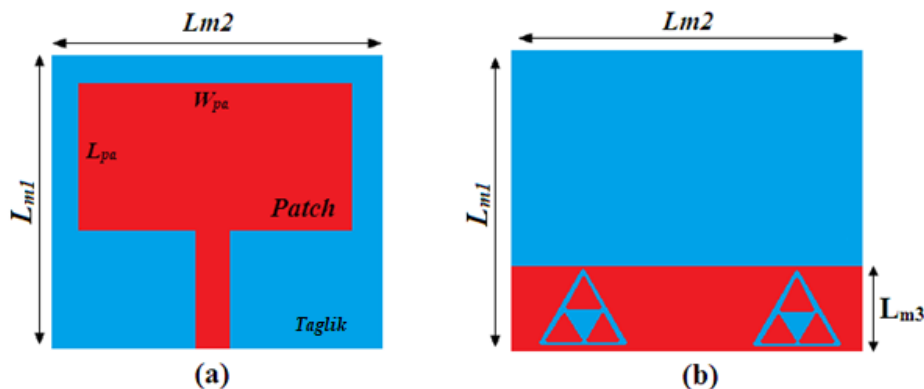
$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L. \quad (5)$$

Patch antennaning uzunligi uning samaradorligi va ishlash chastotasi uchun juda muhim. Uzunlik to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lib, rezonans chastotada optimal ishlashni ta'minlaydi. Agar noto'g'ri tanlansa, antennaning yaxshi nurlanishi va signal uzatish samaradorligi pasayadi. Patch antennaning uzunligi  $\lambda/2$  ga teng bo'lishi kerak, bu esa antennani kerakli chastotada ishlashini ta'minlaydi.

Patch antannaning qalinligini hisoblash uchun quyidagi formula ishlatiladi

$$h = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r \cdot 2 \cdot f}} \quad (6)$$

Patch antannaning qalinligi substraktning materialiga va uning dielektrik doimiysi er ga bog'liq. Patch antannalar uchun qalinlik ( $h$ ) substrat materialining optimizatsiya qilingan parametri hisoblanadi va u antannaning ishlashiga ta'sir qiladi. Kichik qalinlik yuqori chastotalarda yaxshi ishlashni ta'minlansa, katta qalinlik band kengligi va signal uzatish samaradorligini yaxshilashi mumkin, lekin nurlanish naqshi va yo'nalishlilikni kamaytiradi [4].



1-rasm. Tavsiya etilgan millimetr to'liqinli antenna (a) old, (b) orqa tomoni

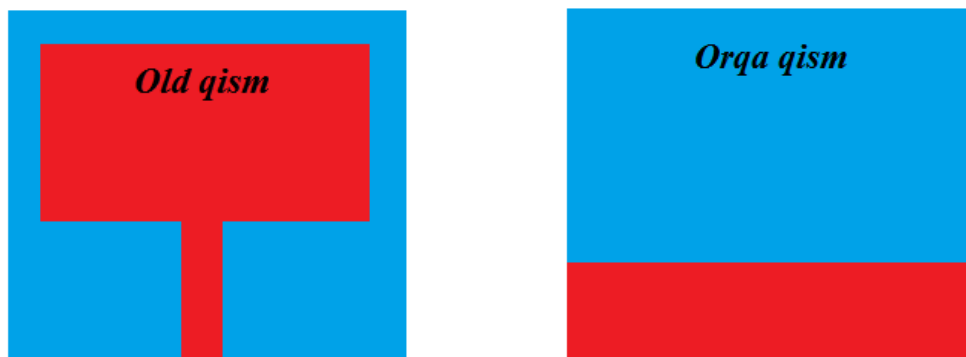
Taglikka ega millimetr to'liqinli antenna sxemasi 1(a) va 1(b) rasmlarda tasvirlangan. Ushbu antenna oddiy to'rtburchak shakldagi patch, 50-ohm lik oziqlantirish chizig'i va 1x2 tartibda joylashtirilgan ELC (elektrik intuitiv kapasitans) metatuzilmasi bilan modifikatsiya qilingan qisman yer tekisligidan iborat.

Barcha hisob kitoblar amalga oshirilgandan keyin simulyatsiya jarayoni amlaga oshirilgan. Millimeter to'liqinli diapazondagi patch antenna Rogers RT 5880 substraktida CST STUDIO dasturi yordamida yaratilgan (1-rasm).

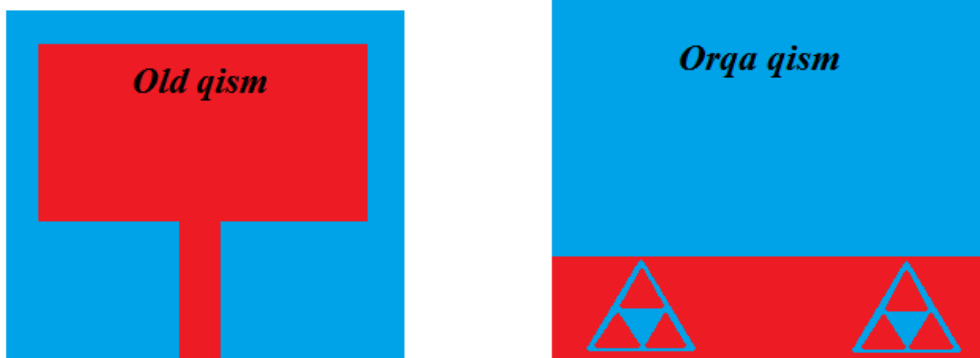
3-jadval. Metamaterial qo'shilgan patch antenna parametrlari

Parametrlar	Qiymatlar
Lm1	10.4
Lm2	13.8
Lm3	3
Hpa	0.35
Lpa	6.3
Wpa	8.1

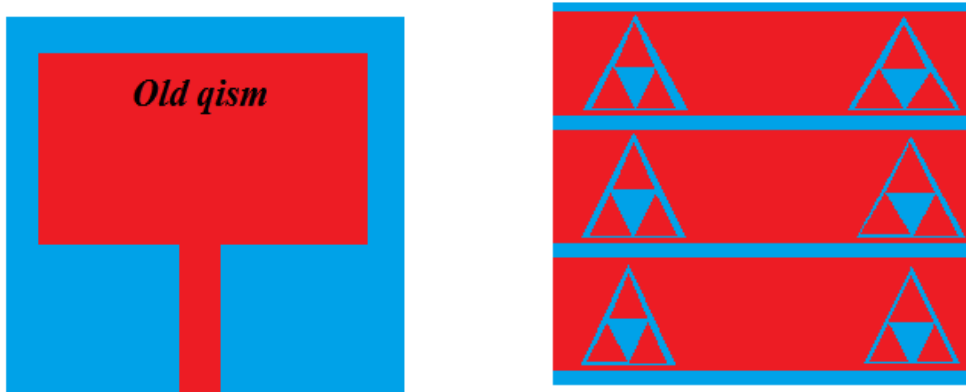
3-jadvalda antannaning o'lchamlariga doir parametrlari ko'rsatilgan. Antenna 10.4 mm × 13.8 mm × 0.8 mm hajmni egallaydi.



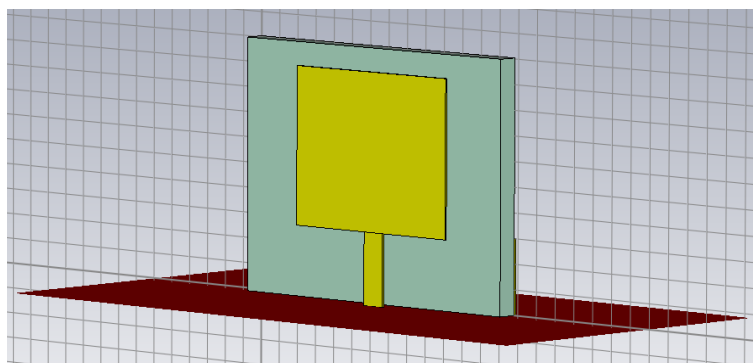
2-rasm. Metamaterialsiz antenna old va orqa qismining ko'rinishi (antenna 1)



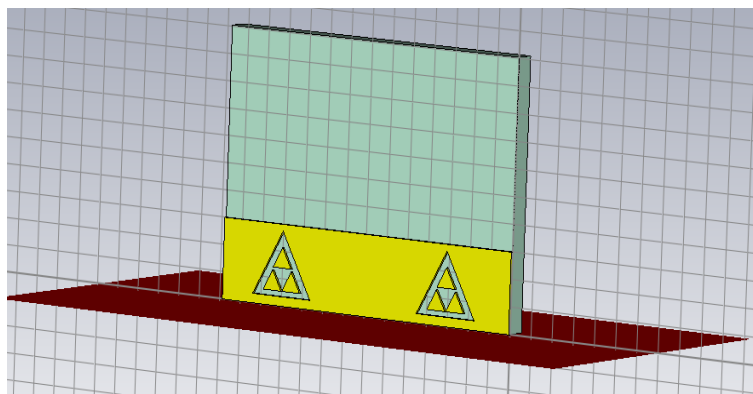
3-rasm. Ikkita metastrukturadan iborat bo'lgan antenaning old va orqa ko'rinishi (antenna 2)



4-rasm. Oltita metastrukturadan iborat bo'lgan antenaning old va orqa ko'rinishi (antenna 3)

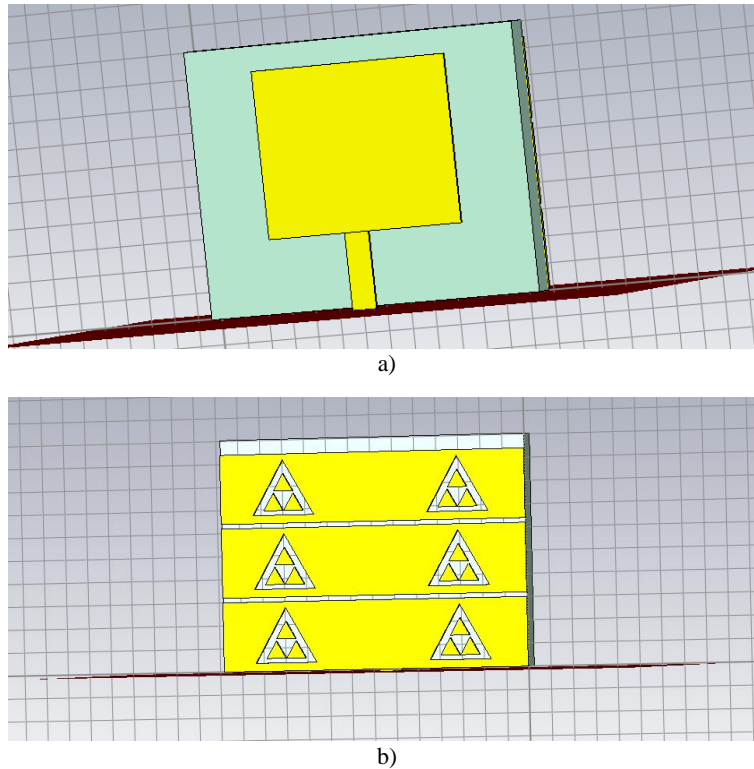


a)



b)

5-rasm. Ikkita metastrukturadan iborat bo'lgan antenna modelining a) old va b) orqa ko'rinishi



**6-rasm.** Oltita metastrukturadan iborat bo'lgan antenna modelining a) old va b) orqa ko'rinishi

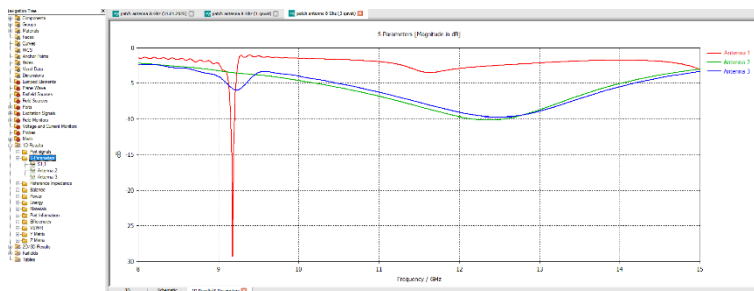
2-4 rasmlarda turli xil patch antennalarining old va orqa ko'rinishlari tasvirlangan. Antennalar metamaterial qo'shilishi yoki oddiy holatda bo'lishi bilan farqlanadi. Metamaterialsiz model oddiy tuzilishga ega bo'lsa, metastrukturalar qo'shilgan modellar elektromagnit xususiyatlarini yaxshilash uchun maxsus uchburchak shaklidagi elementlarga ega. Metastrukturalarining soni ortgani sari antenna dizayni murakkablashib, uning samaradorligi oshishi kutiladi. Ushbu modellar antennaning elektromagnit tarqalish xususiyatlarini yaxshilashga qaratilgan tadqiqotlarning bir qismi bo'lib xizmat qiladi.

5-6 rasmlarda antenna dizayni uch o'lchamli model sifatida aks etirilgan. Yuqoridagi tasvirda patch antennaning old ko'rinishi, pastki tasvirda esa uning orqa qismida joylashtirilgan metastrukturalar ko'rsatilgan. Ushbu model elektromagnit maydonni yaxshiroq boshqarish va signal yo'qotilishini kamaytirish uchun optimallashtirilgan.

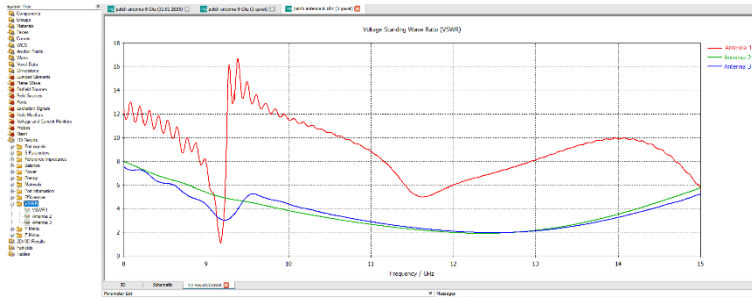
#### 4 NATIJALAR TAHLILI

S parametr bo'yicha olingan natijalar 7-rasmda keltirilgan. ko'rsatilgan bo'lib, antennalar 8 GHz chastotada ishlash minimal yo'qotishlar asosida signallarni uzatishga mo'ljallangan.  $S_{11}$  qanchalik past bo'lsa, antenna shunchalik samarali bo'ladi, ya'ni signalni kam aks ettirib, ko'proq uzatadi.

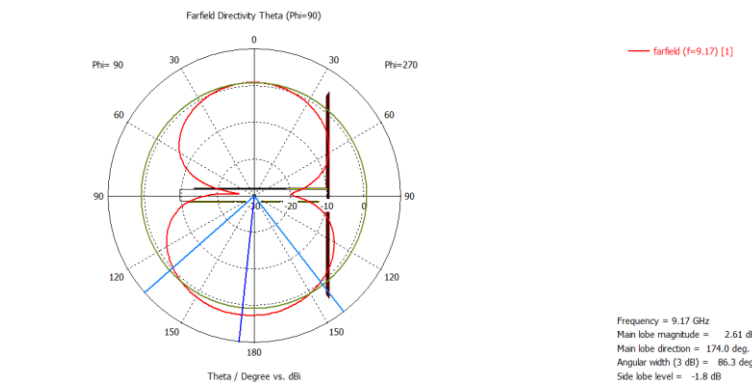
Grafikdan ko'rinib turibdiki, 1-antenna (qizil chiziq) taxminan -30 dB qiymatga ega bo'lib, juda yaxshi moslangan va signalning deyarli barchasini uzatadi. 2-antenna (yashil chiziq) taxminan -6dB, 3-antenna (ko'k chiziq) esa -8dB qaytarish yo'qotishiga ega, bu esa ularning signalning bir qismini aks ettirayotganini ko'rsatadi. Ideal holda, -10 dB yoki undan past qiymat yaxshi natija hisoblanadi. Shu sababli, 1-antenna eng samarali, 2-antenna va 3-antennalar esa optimallashtirishi kerak.



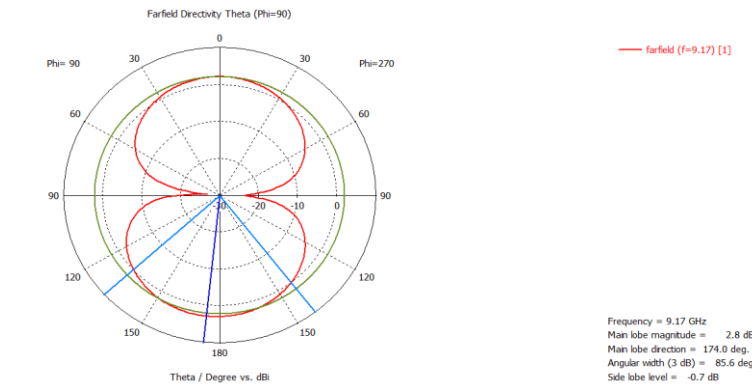
**7-rasm.** Antennalarning S parametr natijalari



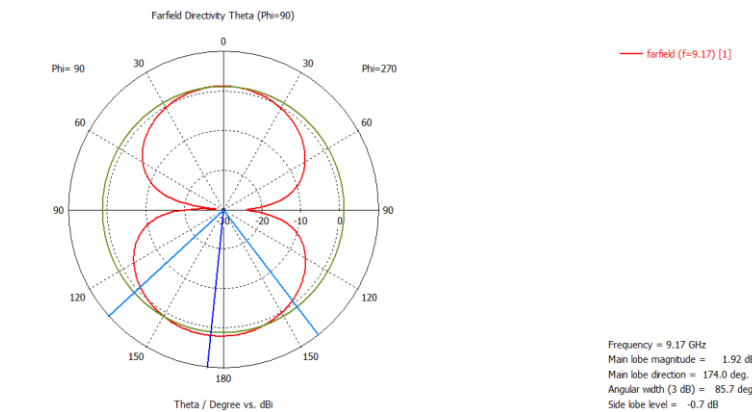
8-rasm. Antennalar uchun Voltage standing Wave Ratio (VSWR) natijalari



a)



b)



c)

9-rasm. Antennalarning 9.17GHz da yo‘nalish diagrammasi parametrlari

8-rasm VSWR grafigida 1-antenna 8 GHz chastotada juda yuqori VSWR qiymatiga ega (6 dan yuqori), bu esa signalning katta qismi qaytarilishini va moslanish yomonligini ko‘rsatadi. 2-antenna va 3-antenna

esa nisbatan yaxshi natija ko'rsatmoqda, ularning VSWR qiymati 2-3 orasida, bu esa qoniqarli darajada moslanganligini bildiradi.

Antennalarning 9.17GHz chastotada yo'nalish diagrammasi parametrlari 9-rasmda solishtirilgan. Har bir antenna asosiy yo'nalish kattaligi, asosiy yo'nalish yo'nalishi, 3 dB burchak kengligi va yon yo'nalish darajasi bo'yicha natijalar ko'rsatilgan.

Birinchi antenna 2.61 dBi asosiy yo'nalish kattaligiga ega bo'lib, 174.0° yo'nalishda joylashgan va 86.3° burchak kengligiga ega. Yon yo'nalish darajasi -1.8 dB bo'lib, bu boshqa variantlarga qaraganda yaxshi natija hisoblanadi. Ikkinchi antenna esa 2.8 dBi asosiy lob kattaligi bilan eng yuqori qiymatga ega, burchak kengligi esa 85.6°. Biroq, uning yo'nalish darajasi -0.7 dB bo'lib, bu birinchi antennaga qaraganda biroz yuqoriroq. Uchinchi antenna esa 1.92 dBi asosiy yo'nalish kattaligiga ega bo'lib, yon yo'nalish darajasi ikkinchi antennaga o'xshash (-0.7dB), lekin asosiy yo'nalish kattaligi bo'yicha eng past natijani ko'rsatdi.

## 5 XULOSA

Xulosa qilib aytganda barcha turdagi materiallar o'z afzallik va kamchiliklarga ega hisoblanadi. An'anaviy materiallarda asosiy kamchiliklar bardoshlilik bo'lsa, kompozit va metamateriallarda bu jihat yuqori ko'rsatkichlarni belgilab turadi. Ishlab chiqarish va narxiga keladigan bo'lsak an'anaviy materiallar kompozit va metamateriallarga qaraganda ancha arzon hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotda antenna qurilmalarida ishlatiladigan materiallarning qiyosiy tahlili olib borildi. Tadqiqot natijalari har bir materialning o'ziga xos afzallik va kamchiliklariga ega ekanligini ko'rsatdi. An'anaviy materiallar, jumladan mis, alyuminiy va oltin yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchanligi bilan ajralib turadi, biroq narxining qimmatligi va bardoshlilikining cheklanganligi ularning qo'llanilish imkoniyatlarini cheklaydi. Kompozit materiallar yengilligi va yuqori mustahkamligi bilan ajralib turib, yuqori haroratli muhitlarda samarali ishlaydi, ammo ularning ishlab chiqarish jarayoni murakkab va qimmat hisoblanadi. Metamateriallar esa elektromagnit boshqaruv va signal uzatishda innovatsion imkoniyatlarga ega bo'lib, yuqori ilmiy-texnik salohiyatga ega, lekin hozircha ularning ishlab chiqarish xarajatlari yuqori va ommaviy qo'llanilishi cheklangan.

Tadqiqot davomida patch antennalar va turli metamateriallar asosida ularning ishlash samaradorligi tahlil qilindi. Grafik natijalarga ko'ra, signal uzatish samaradorligi bo'yicha eng yaxshi natijalarni aniq moslangan antenna dizaynlari ko'rsatdi. Metamateriallardan foydalanish signal uzatish sifatini oshirishda istiqbolli yo'nalish hisoblanadi, ammo hozirgi kunda an'anaviy va kompozit materiallar ko'proq amaliy qo'llanilmoqda. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, antenna texnologiyalarining rivojlanishida metamateriallarni qo'llash ularning ishlash samaradorligini oshirish imkonini beradi.

## ADABIYOTLAR

- [1] *Auwalu Aminu Abubakar, Zainab Yunusa.* Comparative analysis of Microstrip Patch Antenna on different substrate material using slit technique for x-band application. Second International Symposium on Applied Sciences and Engineering (ISASE 2021), May 2021
- [2] *K.A. Ansal, Anju S. Kumar, Simy M. Baby,* Comparative analysis of CPW fed antenna with different substrate material with varying thickness, 2021, Pages 257-264.
- [3] *Yakub B. Olufadi, Ibrahim Maina, Olaoluwa Ayodeji Adegboye, Ayodeji Irete Fasiku.* Comparative Analysis of the Effect of Different Substrates Materials on Microstrip Patch Antenna. 2021 IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), 12-14 July 2021
- [4] *Waleed Sethi, Saad Hassan Kiani, Mehre Munir,* Pattern Diversity Based Four-Element Dual-band MIMO Patch Antenna for 5G mmWave Communication Networks. May 2024 Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 45(5-6):1-17 .
- [5] *Balanis, C.A.* Antenna Theory: Analysis and Design. – John Wiley and Sons, 2016
- [6] *Pozar, D.M.* Microwave Engineering – John Wiley and Sons, 2011.
- [7] *Rahmat-Samii, Y., Chen, W.* handbook of antenna technologies. 2021
- [8] *Garg, R. Bhartia, P. Bahl, I. Ittipiboon, A.* Microstrip Antenna Design handbook. – Artech house, 2001.
- [9] *Collin, R. E.* Foundations for Microwave Engineering. – McGraw-hill, 2001.
- [10] *Kumar, G., Ray, K. P* Broadband Microstrip Antennas. Artech house, 2003.
- [11] *Ramesh, M., Yip, J.S.* Design Formula for Microstrip patch Antennas.-IEEE Transactions on Antennas and propagation, 1996.
- [12] *Stutzman, W.L., G.A.* Antenna Theory and design. – John Wiley and Sons, 2012.
- [13] *Zhang, Y., Zhang J.* Metamaterial-based Antenna: Design and Applications. 2018.

[14] *Akyildiz, I.F., Jornet, J.M.* Terahertz band communication and Applications. 2016

[15] *Wu, T.K.* Artificially Engineered Materials for electromagnetic Wave Applications.

Поступила в редакцию 01.02.2025

**Citation:** *Mirzoqulov I.B., Bolbekov M.A., Baxtiyorov S.I., Bozorov Z.Z.* (2025). Antenna qurilmalarini qurishda ishlatiladigan materiallarning qiyosiy tahlili. Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. 8(1). – B. 129-137. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v8i1.241>.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MATERIALS USED IN THE CONSTRUCTION OF ANTENNA DEVICES

<sup>+</sup> *Mirzokulov H.B.<sup>1</sup>, Bolbekov M.A.<sup>1</sup>, Bakhtiyorov S.I.<sup>1</sup>, Bozorov Z.Z.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Samarkand branch of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-Khwarizmi, Samarkand, Uzbekistan

<sup>+</sup> liverpool\_2592@mail.ru

**Abstract.** In this article, a comparative analysis of various materials used in the manufacture of antenna devices is carried out. During the analysis, the properties of traditional, composite, and metamaterials were studied, and the issues of their application in antenna devices were considered. Materials such as copper, aluminum, and gold are distinguished by their high electrical and thermal conductivity, but they have some limitations in terms of price and durability. Composite materials are relatively lightweight and, in addition to antenna devices, are widely used in the aviation and automotive industries. Metamaterials have unique properties and are quite useful in the fields of signal transmission and electromagnetic control. An imitation model of the use of metamaterials in a patch antenna was created, and simulation results were obtained.

**Keywords:** materials, antenna, metamaterial, patch antenna, imitation model.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ КОНСТРУКЦИИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ

<sup>+</sup> *Мирзокулов Х.Б.<sup>1</sup>, Болбеков М.А.<sup>1</sup>, Бахтиёрров С.И.<sup>1</sup>, Бозоров З.З.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Самарканд, Узбекистан

<sup>+</sup> liverpool\_2592@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье проведен сравнительный анализ различных материалов, используемых при изготовлении антенных устройств. В ходе анализа были изучены свойства традиционных, композитных и мета-материалов и рассмотрены вопросы их применения в антенных устройствах. Такие материалы, как медь, алюминий и золото, отличаются высокой электро- и теплопроводностью, но имеют некоторые ограничения в цене и долговечности. Композитные материалы относительно легкие и широко используются не только в антенных устройствах, но и в авиационной и автомобильной промышленности. Мета-материалы обладают уникальными свойствами и считаются весьма полезными в области передачи сигналов и электромагнитного управления. Создана имитационная модель применения мета-материалов в патчевой антенне и получены результаты симуляции.

**Ключевые слова:** материалы, антенна, мета-материал, патч-антенна, имитационная модель.