

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы

«Жазық антенналарды зерттеу»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Жазық антенналарды зерттеу»

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Орындаған:

Рецензент:

Ғ.Дәукеев ат. АЭЖБУ доценті,  
техн.ғыл.канд.

 М.М.Ермекбаев

«27» 05 2024 ж.



Е.Б.Жұмагелді

Ғылыми жетекші  
Техн.ғыл.магистры,  
аға оқытушы

 С.Е.Ибекеев

«27» 05 2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы



**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы

Тақырыбы: «Жазық антенналарды зерттеу».

Университет ректорының «24» желтоқсан 2023ж. №548 П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» мамыр 2024 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

- а) Жазық антенналар түрлері, бұрышы, габариттік өлшемі;
- б) Сәуле шығаратын қуат  $P$  – электромагниттік толқындар қуаты, 5 Вт, қабылдау трактындағы сапасы;
- в) Антеннаға қойылатын талаптар: қабылдаудағы  $K_u=10$  дБ, және таратудағы күшейту коэффициенті  $K_u=13$  дБ.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

1. Антенна басқару блогын сызу;
2. Антенна фидерін таңдау;
- 3) Жазық антенналарды модельдеу және талдау.

Сызба материалдары \_\_\_\_ слайдта көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет 6 атау

1 Борисов А.М., Лях Н.Е. Автоматизация технологических процессов (технические средства, проектирование, лабораторный практикум): Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. – Ч1.1. – 404 с.

2 СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. / Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова.– Челябинск: Издво ЮУрГУ, 2018. – 56 с.

3 Тимофеев Б.П., Сачков М.Ю., Передаточные механизмы приводов. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 103 с.




4 Каталог продукции фирмы Овен – <http://www.owen.ru/catalog> (актуально на 29.05.2018).

Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ


Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Теориялық бөлім	07.02.2024 ж. – 23.03.2024 ж.	Орындалды
Негізгі өлшемдер жүргізіп, параметрлерін есептеу;	24.03.2024 ж. – 20.04.2024 ж.	Орындалды
Тиімді сызба әзірлеу	20.04.2024 ж.- 30.04.2023 ж.	орындалды

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының  
аяқталған жұмысқа қойған

Қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Теориялық бөлім	Техн.ғыл.магистры, аға оқытушы Ибекеев С.Е.	27.05.2024 ж.	
Негізгі өлшемдер жүргізіп, параметрлерін есептеу	Техн.ғыл.магистры, аға оқытушы Ибекеев С.Е.	27.05.2024 ж.	
Норма бақылау	Техн.ғыл.магистры, ассистент Ақылжан П.	27.05.2024 ж.	

Ғылыми жетекшісі  С.Е.Ибекеев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Е.Б.Жұмагелді

Күні « 27 » 05 2024 ж.

## **АНДАТПА**

Бұл дипломдық жұмыста антенна түрлері, жазық антенналар, радиотехникалық жүйелердегі антенналар мен антенналық құрылғылар, сәулелері, теориялық негіздері келтірілген.

Антеннаны жобалау принциптері мен параметрлері, Активті антенна теориясы және компоненттері, активті антеннаны жобалау және модельдеу, Антеннаның дизайнын қарастыру және техникалық сипаттамалар, H-секторлы SIW активті антенна жасалған.

## **АННОТАЦИЯ**

В данной дипломной работе представлены типы антенн, плоские антенны, антенны и антенные устройства в радиотехнических системах, лучи, теоретические основы.

Принципы и параметры проектирования антенны, теория и компоненты активной антенны, проектирование и моделирование активной антенны, рассмотрение и технические характеристики конструкции антенны, H-секторная активная антенна SIW.

## **ANNOTATION**

This thesis presents the types of antennas, flat antennas, antennas and antenna devices in radio engineering systems, beams, theoretical foundations.

Antenna design principles and parameters, active antenna theory and components, active antenna design and modeling, antenna design considerations and specifications, H-sector SIW active antenna developed.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	3
1 Антенналар түрлері	4
1.1 Жазық антенналар	4
1.2 Радиотехникалық жүйелердегі антенналар мен антенна құрылғылары	6
1.3 Антенна сәулелері	8
2 Активті антенналардың теориялық негіздері	12
2.1 Электромагниттік теория және толқындардың таралуы	12
2.2 Антеннаны жобалау принциптері мен параметрлері	15
2.3 Активті антенна теориясы және компоненттері	16
3 Активті антеннаны жобалау және модельдеу	20
3.1 Антеннаның дизайнын қарастыру және техникалық сипаттамалар	20
3.2 Негізгі параметрлерді есептеу мәселесін қою	21
3.3 H-секторлы SIW активті антенна	25
3.4 БТӨ H-секторлы кең жолақты антенна	28
Қорытынды	34
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	35

## КІРІСПЕ

«Төңкерілген» латын әрпі F (PIFA-antennas) типті жалпақ антенналар қазіргі уақытта мобильді байланыс жүйелерін қабылдау құрылғыларында өте кең қолданылады [1]. Мұндай антенналардың артықшылықтарына дизайнның қарапайымдылығы, төмен профиль ,нысаам өлшемдер, жаппай өндіріс жағдайында баспа технологиясын қолданудың қарапайымдылығы, төмен құны, бұрыштардың кең секторында сәулеленуді қабылдау мүмкіндігі жатады.

Бір кездері отандық әдебиетте аралас антенна деп аталатын тұжырымдама сипатталған [2, 3], ал шетелдік антеннада – аралас антенна (С. А. Grimes, D. M. Grimes) [4]. Антенналардың әр түрлі атауларына қарамастан, физикалық тұрғыдан алғанда, бірінші және екінші жағдайда антенналардың схемалық шешімінде электрлік және магниттік типтегі эмитенттерді дұрыс біріктіру ұсынылды. Бұл эмитенттердің тән белгілері жақын аймақта электр типті эмитенттердің электр энергиясының қоры басым болатындығына, ал магниттік типтегі эмитенттердің магниттік энергия қоры басым болатындығына байланысты.

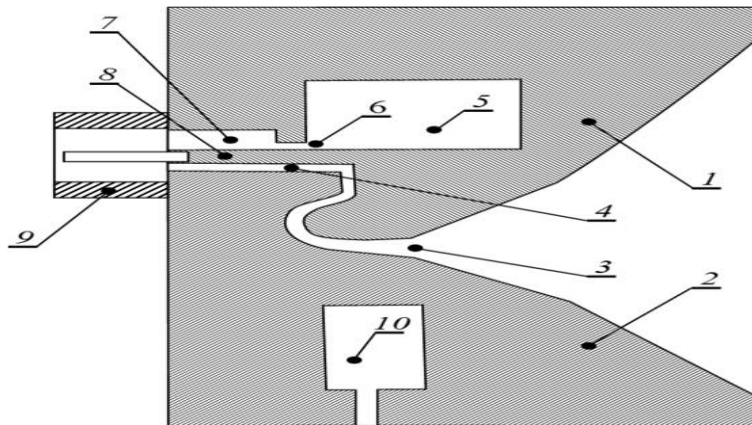
Аталған тұжырымдамалардың негізгі идеясы энергия қорларын теңестіру кезінде антеннаның жақын аймағында жинақталған реактивті энергияның азаюы орын алады, бұл антеннаның жұмыс жиілігі диапазонының кеңеюіне әкеледі.



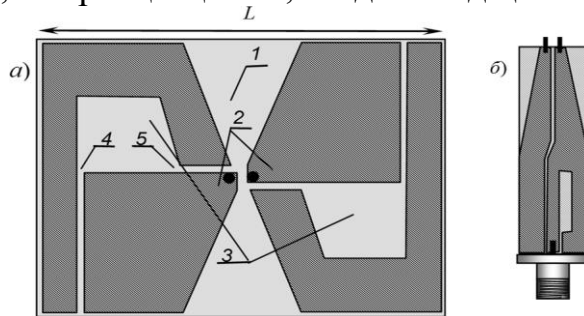
# 1 Антенналар түрлері

## 1.1 Жазық антенналар

Біріктірілген антенна тұжырымдамасының дұрыстығы қуатты ультра кең жолақты электромагниттік сәулеленудің тоғы көлемді таратушы антенналар мен антенна торларының бірқатар отандық әзірлемелерін іске асыру процесінде расталды [5]. Сонымен қатар, [6-8] бірнеше сәтті нұсқалар (симметриялы емес және симметриялы) басып шығарылған ультра кең жолақты антенналар жасалды (сурет. 1 және 2).

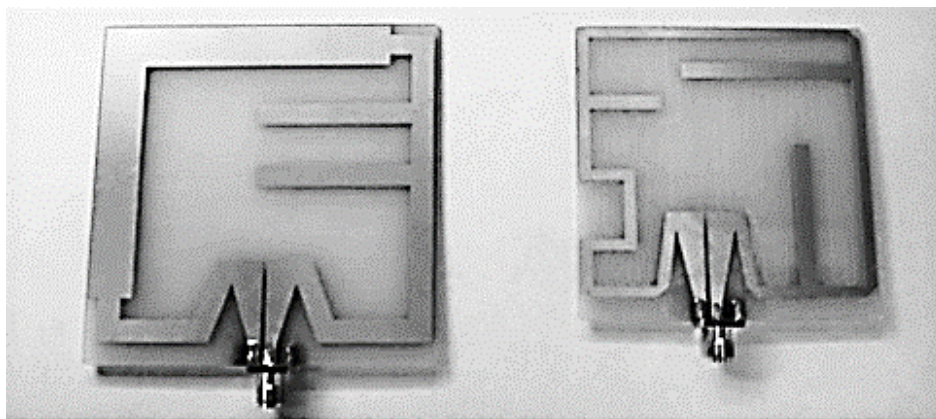


1.1 - сурет – Жазық асимметриялық баспа аралас ssp антеннасының негізгі геометриясы. 1-дипольдің жоғарғы қолы; 2-дипольдің төменгі қолы; 3-Электр эмитентінің кірісі; 4-айнымалы қиманың Саңылау сызығы; 5-магниттік Эмитент; 6-магниттік Эмитенттің кірісі; 7-Саңылау сызығы; 8-асимметриялық копланарлық сызық; 9-кіріс қосқышы; 10-дипольдің төменгі қолындағы тесік



1.2 - сурет – Жазық симметриялы аралас антенна (а) топологиясы және ультра кең жолақты симметриялы трансформатор (б):  
1 – фольга диэлектрикінің пластинасы; 2-Электрлік типтегі жалпақ Эмитенттің иықтары (диполь); 3-магниттік типтегі екі Эмитент (жақтау); 4, 5-рамалардың дипольдің иықтарымен сыйымдылықты байланысын қамтамасыз ететін саңылаулар; майлы нүктелер-ультра кең жолақты симметриялы трансформатордың қосылу орындары

Алайда, 2010 жылдан бастап DockOn стартапының сәтті қызметі туралы ақпарат пайда бола бастады. Атап айтқанда, пресс-релиздердің бірінде жоғары тиімділікті қамтамасыз ету мақсатында электрлік және магниттік элементтері бар жаңа антенналар желісінің тұжырымдамасын әзірлеудің теориялық негізін құрайтын D. M. Grimes және C. A. Grimes жұмыстарына тікелей сілтемелер берілді. Мұндай антенналар әртүрлі сымсыз байланыс жүйелерінде қолдануға бағытталғандығы атап өтілді және 2,4 ГГц және 850 МГц жиіліктерінде жұмыс істейтін ұялы және Wi-Fi желілері үшін бөлек модификациялар дайындалғаны хабарланды. Сонымен қатар, олар 97 және 92% деңгейінде тиімділікті көрсетті, ал стандартты аналогтарда ол 40% - дан аспайды. Доконның ең маңызды ниеттерін оның белсенді жүргізіп жатқан патенттеу саясаты да дәлелдеді [9-13]. Сурет. 3 DockOn антенналарының бірқатар тұжырымдамалық ерекшеліктерін көрнекі түрде көрсетеді: антенна геометриясындағы жақтау мен сызықтық элементтердің тіркесімі; жұмыс жиілігі диапазонының төменгі жиілік аймағына ауысуын қамтамасыз ету үшін жақтаудың жеке қолдарын немесе олардың конфигурацияларын кеңейту; антеннаның қуат жинағының конструктивті дизайнында монотонды өзгертін көлденең өлшемі (tapered line) бар кең жолақты қасиеттерімен танымал гетерогенді сызықты пайдалану.



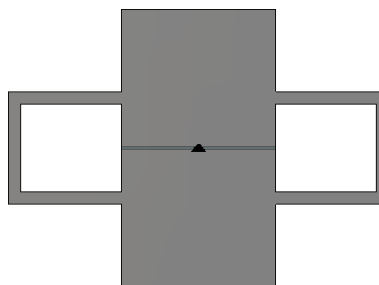
1.3 - сурет – DockOn фирмасының жалпақ құрама антенналары (compound field antenna)

Жұмыстың мақсаты дизайнның сипаттамалық режимдерінің теориясын қолдана отырып оңтайландыруға және жұмыс жиіліктерінің кеңейтілген диапазоны бар арнайы геометрия антеннасын құру бойынша ұсыныстар жасауға бағытталған теориялық зерттеу болды.

Айта кету керек, [14, 15] басылған жақтау антеннасы ұсынылды, оның геометриясы DockOn антенналарына ұқсастық белгілері бар және сонымен бірге ультра кең жолақты байланыс жүйелерін (3,1...5,1 ГГц) басқаруға бөлінген диапазонның барлық төмен жиілікті бөлігін пайдалануға арналған. Біздің жағдайда антеннада төменгі жиіліктерге айтарлықтаймещысқан жеткілікті кең өткізу қабілеттілігі (шамамен 1,5 ГГц) болуы керек еді.

Оның бастапқы нұсқасында ерекше, жеткілікті кең жолақты түзу сызықты өткізгіш және екі қисық жолақты өткізгіш болды, олар түзу сызықпен байланысқан, осылайша антеннаның конфигурациясы орыс алфавитінің Ф әрпіне ұқсайды. Бұл жағдайда қуат оның ортасында жолақты өткізгіштің үзілуіне әкеледі (сурет 1.4).

Сандық оңтайландыру арқылы кең жиілік диапазонында қолайлы параметр әрекетін қамтамасыз етудің алғашқы әрекеттері әдетте қанағаттанарлықсыз болды (суретті қараңыз. 5). Алайда, жиілікке тәуелділікте жақсы анықталған және екі әлсіз анықталған резонанстың болуы мәселенің ықтимал шешімін ұсынды: 4,25 ГГц жиіліктегі резонанстың төменгі жиіліктерге қарай жылжуын қамтамасыз ету.



1.4 - сурет – Сызбалық шешім. Жазық F антеннасының бастапқы нұсқасы

## **1.2 Радиотехникалық жүйелердегі антенналар мен антенна құрылғылары**

Радиотехникалық жүйелерде антенналар мен антенна құрылғылары маңызды функционалды байланыстар болып табылады, олардың сипаттамалары көбінесе жүйенің басқа функционалды блоктарының сипаттамаларын анықтайды. Сондықтан жаңа Антенналарды, олардың негізінде антенна құрылғыларын жасау және олардың сипаттамаларын зерттеу бұл маңызды және өзекті болып көрінеді. Осындай зерттеулердің қажеттілігін ескере отырып, математикалық киімдерді дамытудың маңыздылығын атап өткен жөн.

Мұндай антенналардың электродинамикалық сипаттамаларын алдын-ала есептеуге және болжауға мүмкіндік беретін эксперименттік зерттеулердің нәтижелерімен келісілген жобаланған антенналар үшін. Бұл жұмыста осьтік сәулеленудің жалпақ антенналары эксперименталды түрде зерттелді

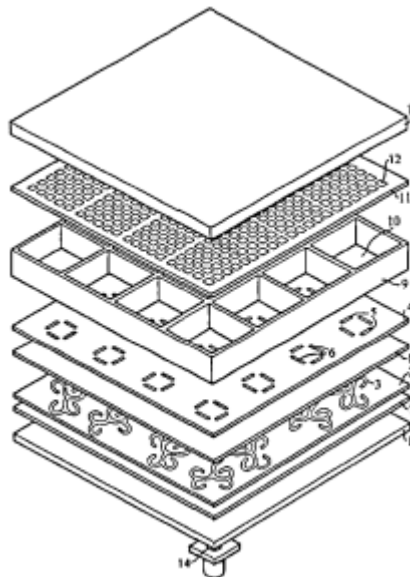
Сызықтық кеңеюі бар симметриялы Саңылау сызықтары түрінде (сурет. 1), диэлектрлік субстратсыз қалыңдығы  $\sim 0.3$  мм болатын дискілі металл пластиналарға (мыс, алюминий) кесілген. Бұл антенналар дискілі антенналардың бөлігі ретінде сәулелену элементтері ретінде пайдалануға арналған. Дөңгелек (немесе секторлық) шолу торлары. Барлық сәулеленетін антенналардың қуаты коаксиалды қосқыш, микрожолақты тарату желісі және симметриялы [1].

Сызықтық кеңеюі бар микротолқынды диапазондағы антенналардың электродинамикалық сипаттамаларын модельдеу. Зерттелгендерге ұқсас

антенналардың қатаң электродинамикалық модельдерін құру (тұрақты емес сызықтарда) қиын. Алайда, егер сіз бастапқыда бағыттаушы құрылымда деп айтсаңыз толқынның тек бір түрі (Е немесе Н) таралады және ол саңылаудың көлденең қимасының өзгеруіне байланысты өзгермейді, содан кейін кеңейетін саңылаулары бар антенналардың сәулеленуін талдау үшін оларды реттеуге болады (сурет. 1). Бұл ретте әрбір тұрақты учаске үшін тұрақты Саңылау ені бар симметриялы Саңылау сызығының параметрлерін есептеу нәтижелерін [2-4] пайдалануға болады, бұл тұрақты учаскелердің ақырлы саны үшін олардың жиынтық үлесі бойынша бүкіл антеннаның бағыттылық диаграммасын (ДН) есептеуге мүмкіндік береді. Тұрақты емес құрылымға ұқсас жуықтау үшін саңылаудың увеличения ұлғайту қадамы толқын ұзындығының төрттен бірінен аз болуы керек деп болжанады [2]

$$w_n - w_{n-1} = w_{n+1} - w_n = 1w \ll 0\lambda/4, \quad (1.1)$$

мұндағы  $w$ -n-ші тұрақты учаскенің саңылауының ені  
 $n$  - антеннаның бағыттаушы құрылымы,  $\lambda$ -толқын ұзындығы  
 $0$  - антеннаның кірісіндегі электромагниттік тербелістер.



1.5 - сурет – Жазық антенна эскизі

Микро жолақты антенна торлары электр өткізгіш материал пластинасы, қуат жүйесі бар қабат және осы қабаттар арасындағы диэлектрлік тығыздағыш түріндегі экрандау қабатынан құрылымдық түрде жасалған. Микрожолақты сызықтың бөлігі болып табылатын баспа эмитенті, еркін формадағы баспа эмитенті, бірақ, әдетте, шеңбер (шаршы) түрінде немесе астында орналасқан және диэлектрлік субстраты бар квадрат түрінде, экрандау қабатындағы ауа саңылауы электрмен жабдықтау жүйесінің жолақтарымен гальваникалық байланысқа ие. Саңылау немесе тесік түріндегі Эмитент, қаптамасы бар немесе

жолақты дипольі бар саңылау ретінде, қорғаныс қабатында орналасқан және электромагниттік түрде қуат желісіне қосылған. Екінші дифракциялық максимумдарды болдырмау мақсатында сәулелендіргіштер бір-бірінен 0.7-ге тең қашықтықта орналасқан . 0.9 толқын ұзындығы. Алайда, мұндай антенна торлары үлкен шығындарға ие:

1) қоректендіру жүйесінің өткізгіштерін тікелей сәулелендіру (алдыңғы немесе артқы бағытта);

2) толқындардың Т-тәрізді тармақталуындағы, толық кедергі трансформаторларындағы және микрожолақты сызықтың иілуіндегі дифракциясы салдарынан сәулеленумен;

3) диэлектрлік субстрат - ауа шекарасы бойымен, қабаттың гетерогенділігінде және антеннаның шеттерінде таралатын беттік толқынның шашырауы;

4) жылу шығыны;

5) жолақтар мен экрандағы жылу шығыны.

Тәжірибе көрсеткендей, қуат жүйесіндегі шығындарға байланысты тордағы элементтер санын 400-ден артық көбейту мүмкін емес.

### 1.3 Антенна сәулелері

Айналмалы поляризацияланған антенналарда сәулелену аяндарын екі нүктеде қоректендіру жүйесінің өткізгіштері мен баспа эмитенттерінің тікелей жанасуымен байланысты проблемалар туындады:

1) Өндірістің күрделілігі;

2) эллиптиканың үлкен коэффициенті;

3) радиаторлардың тар жолағы.

Аталған проблемаларды жою мақсатында микрожолақты қоректендіру желісімен сыйымдылықпен байланысқан микрожолақты аяндар негізінде дөңгелек тесік немесе дөңгелек платформа түрінде эмитенттері бар (кесілген немесе кесілген тікбұрышты сегменттері бар) антенналар жасалды [4, 7].

Жұмыста [6] авторлар 5,8 ГГц жиілік диапазонына арналған панельдік антеннаның дизайнын ұсынды. Е векторының жазықтығында жарты қуат деңгейі бойынша бағыт диаграммасының негізгі жапырақшасының ені 15 градус, Н - 60° Вектор жазықтығында. Тар ДН алу үшін авторлар жолақты Эмитенттер қатарының санын көбейтіп, сәулелену коэффициентіне 24 дБ дейін қол жеткізді.

Алайда, микро жолақты антенналарда қажетті сапаға қол жеткізу шешілмеген мәселе болып қала берді.

Қоректендіруші өткізгіштер жүйесіндегі шығындар радиалды толқын өткізгішпен қозғалған крест тәрізді Саңылау [10] немесе екі перпендикуляр Саңылау жұбы [7, 8, 9] түріндегі эмитенттері бар толқындық-саңылаулы антенналарда жойылады. Эмитенттердің өлшемдері әртүрлі және Дискінің ортасынан айналатын спираль түрінде орналасқан. Әрбір Эмитенттің бекітілген

радиусқа қатысты өз бұрышы болады. Мұндай антенналарда пайдалы әсер (тиімділік) 76% жетеді.

Радиалды толқын өткізгішпен қоздырылған антенналар сияқты ұзын [5, 4] немесе крест тәрізді [10] жарықтар түріндегі эмитенттері бар тікбұрышты толқын өткізгіштерге (ағып жатқан толқын антенналары) негізделген қуат желісі бар толқындық саңылаулы антенна торлары микрожолақты антенналарға қарағанда айтарлықтай төмен шығындарға ие.

Бұл нәтижелер жалпақ антенналық тордың қоректену сызығындағы шығындар негізгі рөл атқаратынын көрсетеді. Алайда, толқынды-саңылаулы Антенналарды жаппай өндіру өте проблемалы. Басып шығару технологиясы өндірістің қарапайымдылығына артықшылық беретіндіктен, сондықтан бағаның төмендеуіне әкелетіндіктен, антенна торының элементтерін және микро жолақты антенналарға қарағанда төмен шығынға ұшырайтын қуат жүйесін табу қажет болды.

Кейбір шығындарды азайтуға көбік диэлектрикінде немесе ілулі жолақ сызығында орналасқан жолақтарды қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

Жолақ сызығына негізделген жалпақ антенна торлары құрылымдық жағынан электр өткізгіш пластиналар түрінде екі экранның арасында орналасқан электр өткізгіш материал жолақтарынан түзілген қуат жүйесінен тұрады. Эмитенттер тікбұрышты Саңылау [5], тікбұрышты сегменттері кесілген дөңгелек (шаршы) тесік [7], алтыбұрышты платформасы бар тікбұрышты тесік [8,9], дөңгелек (шаршы) платформасы бар дөңгелек (шаршы) тесік [4, 5, 6, 7] немесе симметриялы цикл вибраторы [8] экрандардың бірінде орналасқан және электромагниттік түрде қуат желісіне қосылған. Эмитенттері бар Экран және қуат жүйесі, қуат жүйесі және басқа экран тығыздағыштармен бөлінген. Көрсетілген антенналардағы тығыздағыштар диэлектрлік материалдан немесе металдан, синтетикалық шайырдан, ағаштан жасалған жақтау түрінде жасалған. [1] жұмысында түйреуіш зонд қоздыратын тікбұрышты сәулеленетін саңылауы бар симметриялы жолақ сызығының негізінде салынған шағын антенна ұсынылған. Мұндай антеннаның басты артықшылығы-шағын өлшемдер. Ол сондай-ақ тікбұрышты жолақты эмитентпен салыстырғанда жұмыс жиіліктерінің кең диапазонына ие. Алыс аймақтағы электромагниттік өріс экран жазықтығындағы саңылау арқылы қалыптасады, сондықтан оның DN экрандағы саңылауға тең.

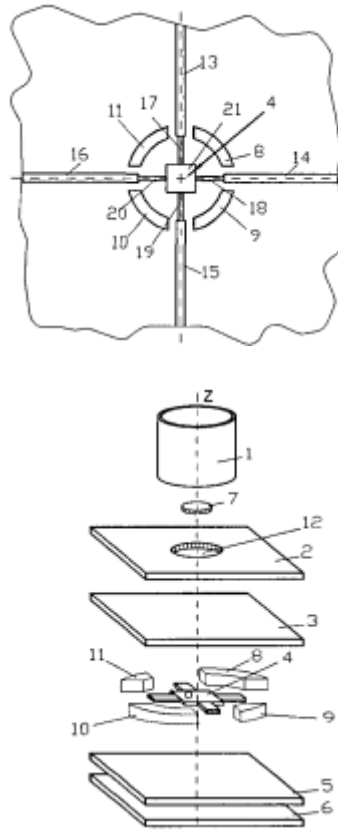
Дөңгелек поляризацияны жүзеге асыру үшін радиаторлары бар антенна торлары төртбұрышты тесік [8] немесе төртбұрышты платформасы бар шаршы тесік [9, 1, 2] байланыс саңылаулары бар қабатпен бөлінген екі жолақты желі түріндегі қуат жүйесімен жасалды.

Аспалы жолақ сызықтарына негізделген жалпақ антенналарда антеннаның фидерлік желісі бар қабат электр өткізгіш материал жолақтарынан түзіліп, диэлектрлік субстратқа орналастырылған. Екі қабат екі металл пластинаның арасында орналасқан, оларда ауа саңылаулары және конустық мүйіз [9], дөңгелек [9] немесе төртбұрышты түйреуішпен қозғалатын толқын өткізгіш немесе дөңгелек платформамен қозғалатын дөңгелек Саңылау [9] түріндегі

сәулелену элементтері бар. Түйреуіш немесе толқын өткізгішке енгізілген жолақ бөлігі.

Антенналардағы жолақты тарату желілерінің дизайн ерекшеліктеріне байланысты, Т-тәрізді тармақтардағы толқындардың дифракциясы, толық кедергі трансформаторлары және қуат жолағының иілуінен болатын сәулелену арқылы қоректендіру жүйесінің өткізгіштерінің тікелей сәулеленуіне байланысты шығындар алынып тасталады, диэлектриктегі шығындар азаяды. Алайда, жолақ желісі түріндегі фидер жүйесі бар антенналар, сондай-ақ микрожолақты желімен қоректенетін антенналар, жолақтардың үлкен ұзындығына, екілік қуат бөлгіштердің көп санына, толық қарсылық трансформаторларына, сызықтың иілуіне байланысты орталық өткізгіште және сызық экрандарында үлкен жылу шығынына ие.

Соңғы жылдары жолақты және микротолқынды электр беру желілерінің техникасын қолданатын антенналар мен микротолқынды құрылғылар кеңінен қолданылды. Көптеген практикалық қосымшалар толқын өткізгіштермен салынған құрылғыларды және жолақ техникасына негізделген құрылғыларды бір уақытта пайдалануды талап етеді. Мысалы, спутниктік теледидарды тікелей қабылдауға арналған жалпақ антенналар белгілі, онда қуат бөлгіш жолақты немесе микрожолақты тарату желілері негізінде салынған. Жалпақ антеннаға бекітілген Конвертер. Бұл ретте фидердің антеннамен келісілуін қамтамасыз ету мақсатында антенна конструкциясына Конвертер толқын өткізгіштің диаметрімен бірдей диаметрлі толқын өткізгіштің сегменті және толқын ұзындығының төрттен бір бөлігі қосылады. Түрлендіргішті антеннаға қосқанда, антеннаға енгізілген толқын өткізгіш сегменті түрлендіргіштің толқын өткізгішінің жалғасы болып табылады. Жолақ сызығы толқын өткізгішке Конвертердің толқын өткізгіші мен антеннаға салынған толқын өткізгіштің ширек толқын ұзындығының түйіскен жеріндегі оның бүйір қабырғасындағы тесік арқылы енгізіледі. Жолақ сызығы толқын өткізгішке толқын өткізгіштің осіне перпендикуляр енгізіледі. Антеннаға толқын өткізгіштің ширек толқындық сегментін енгізу антеннаның дизайнын қиындатады, антеннаның бетін пайдалану тиімділігін төмендетеді және нәтижесінде антеннаның пайда болуын азайтады. Антеннада радиациялық өрістің дөңгелек поляризациясы болуы керек болған кезде шұлық сызығын толқын өткізгішке қосу мәселесі күрделене түседі. Бұл жағдайда толқын өткізгіш дөңгелек болуы керек және оған екі немесе төрт жолақ енгізілуі керек.



1.6 - сурет – Үш өлшемді жазық толқынды турникеттік қосылыс: Доңгелек волновод; бірінші экран; алғашқы диэлектрлік пластина; орталық өткізгіш; 2-ші пластина қуаты; 2-ші экран; метал пластина; 8-11 сегменттер



## **2 Активті антенналардың теориялық негіздері**

Активті антеннасы - шығарылған сигналды күшейту және қалыптастыру үшін электронды күшейткіштерді немесе басқа белсенді құрылғыларды пайдаланатын антеннаның бір түрі. Ол, белсенді элементтерден, басқару және қуат құрылғыларынан тұратын кешенді жүйе болып табылады және оны радиобайланыс, радиолокация, радионавигация, радиоастрономия және т.б. сияқты әртүрлі қолданбаларда қолдануға болады.

### **2.1 Электромагниттік теория және толқындардың таралуы**

Электромагниттік теория антенналар мен олардың мінез-құлқын зерттеудің негізі ретінде қызмет етеді. Максвелл теңдеулері, соның ішінде Гаусс заңы, Ампер заңы, Фарадей заңы және үздіксіздік теңдеуі электромагниттік өрістер мен олардың өзара әрекеттесуін талдаудың математикалық негізін береді. Бұл теңдеулер электромагниттік құбылыстарды зерттеуге мүмкіндік беретін электр және магнит өрістері мен олардың көздері арасындағы байланыстарды сипаттайды.

Толқындардың таралуы – антеннаны талдауда шешуші рөл атқаратын негізгі ұғым. Электромагниттік толқындар кеңістікте көлденең толқындар ретінде таралады, бір-біріне перпендикуляр тербелмелі электр және магнит өрісі құраушыларымен және таралу бағытымен сипатталады. Толқындардың ұзындығы, жиілігі, фазасы және поляризациясы антеннаның жұмысына айтарлықтай әсер етеді.

Баланистің (2016) зерттеулері антенна дизайнындағы электромагниттік теория мен толқынның таралуын түсінудің маңыздылығын көрсетеді. Электромагниттік теорияға негізделген теориялық модельдер мен модельдеу антенна сипаттамалары туралы құнды түсініктер береді және инженерлерге олардың жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Қала аумағындағы электромагниттік сәулелену (ЭМС) көздерінің бірі олар үшін арнайы бөлінген аймақтарда орналасқан және үлкен аумақтарды (1000 гектарға дейін) алып жатқан таратушы радио орталықтар (ТРО) болып табылады. Оларда радио таратқыштар орналасқан бір немесе бірнеше техникалық ғимараттар, сондай-ақ ондаған антенна-фидер жүйелері орнатылған антенна өрістері бар.

PRC жасаған ықтимал қолайсыз ЭМС аймағы шартты түрде екі бөлікке бөлінеді :

- радио таратқыштар мен антенна-фидерлік жүйелердің жұмысын қамтамасыз ететін қызметтер орналасқан таратушы радиоорталықтардың аумағы;

- аймақтың осы бөлігінде орналасқан халықтың сәулелену қаупі бар, яғни ол халық үшін ЭМС рұқсат етілген шекті деңгейлерін (РЕШД) гигиеналық нормалау тұрғысынан қызығушылық тудырады.

Қуаты 500 кВт төмен жиілікті радиостанциялар (30-300 кГц) таратқыш антенналардан 30 м қашықтықта 630 в/м электр өрістерін және 1,2 А/м магнит өрістерін жасайды;

Қуаты 50 кВт орташа жиілікті (300 кГц - 3МГц) радиостанциялар 30 м қашықтықта 275 В/м электр өрісін 0,5 а/м магнит өрістерін жасайды; қуаты 100 кВт жоғары жиілікті (3-30 МГц) радиостанциялар 100 м қашықтықта 44 В/м электр өрісін және 0,12 а/м магнит өрісін жасайды;

Қуаты 1 МВт теле таратқыш 1 км қашықтықта 15 В/м электр өрісін жасайды.

Алайда, тарату станцияларының қауіптілігі қуатқа емес, сәулелену объектісіне қатысты таратқыш антенналардың орналасуына байланысты.

Ұялы радиобайланыс жүйелері ұялы радиотелефондармен (ҰРТ) радио байланысын қолдайтын базалық станциялардан (БС) тұрады.

Абоненттер санының өсуі жыл сайын БС санының өсуін және соның салдарынан қалалық аумақта ЭМС бөлу сипаттамаларының өзгеруін білдіреді.

Қазіргі уақытта ұялы радиобайланыста бірқатар әртүрлі стандарттар қолданылады. Ұялы байланыс жүйесі стандарттарының кейбір техникалық сипаттамалары 2.1 кестеде келтірілген.

Кесте 2.1 - Ұялы радиобайланыс жүйесі стандарттарының қысқаша техникалық сипаттамалары

Стандарттың атауы	БС жұмыс жиілігінің диапазоны, МГц	ҰРТ жұмыс жиілігінің диапазоны, МГц	Максималды сәулелену БС қуаты, Вт	Максималды шығарылатын ҰРТ қуаты, Вт	Толқындардың таралу радиусы, км
NMT-450 аналогтық	463-467.5	453-457,5	100	1	1-40
AMPS аналогтық	869-894	824-849	100	0,6	2-20
D-AMPS сандық	869-894	824-849	50	0,2	0,5-20
CDMA сандық	869-894	824-849	100	0,6	2-40
GSM-900 сандық	925-965	890-915	40	0,25	0,5-35
GSM-1800 сандық	1805-1880	1710-1785	20	0,125	0,5-35

Кестеде 2.1 алты стандарт келтірілген, олардың екеуі аналогтық болып табылады және жаңа цифрлық байланыс стандарттарына көшуге байланысты бүгінгі күнге дейін сұранысқа ие емес. Жоғары жиілік диапазондары бар заманауи стандарттарда сәулелену қуаты алдыңғыларға қарағанда бірнеше есе

аз. Бұл қазіргі заманғы коммуникациялық технологияларды қолданумен байланысты.

Базалық станциялар (БС) олардың әрекет ету аймағындағы мобильді радиотелефондармен байланыста болады және Стандартқа байланысты сигналды қабылдау және беру режимінде жұмыс істейді.

БС антенналары (қайталағыштары) жерден 15-тен 100 метрге дейінгі биіктікте ғимараттарда және арнайы дінгектерде орналасады. Бір жерде таратушы да, қабылдағыш та БС антенналары орнатылуы мүмкін, олар ЭМС көзі болып табылмайды.

БС сәулелену қуаты тәулігіне 24 сағат тұрақты емес. Жүктеу белгілі бір базалық станцияның қызмет көрсету аймағында ұялы телефон абоненттерінің болуымен және олардың сөйлесу үшін телефонды пайдаланғысы келетіндігімен анықталады, бұл өз кезегінде тәулік уақытына, БС орналасқан жеріне, аптаның күніне және т.б. түнгі уақытта БС жүктеу іс жүзінде нөлге тең, яғни. станциялар негізінен "үнсіз".

Тұрғын үй құрылысы аумағында, тұрғын, қоғамдық және өндірістік үй-жайлардың ішінде БС антенналары құратын электромагниттік өрістердің деңгейлері мынадай рұқсат етілген шекті мәндерден аспауға тиіс:

- жиілік диапазонында (27-30) МГц - 10 В/м;
- жиілік диапазонында (30-300) МГц - 3 В / м;
- жиілік диапазонында (300-2400) МГц -10 мкВт/см<sup>2</sup>.

Қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізгі қағидаты санитарлық нормалар мен ережелерде белгіленген электромагниттік өрістің рұқсат етілген шекті деңгейлерін сақтау болып табылады.

Спутниктік байланыс жүйелері жердегі трансивер станциясынан және орбитадағы спутниктен тұрады. Спутниктік байланыс станцияларының антеннасының (түбінің) бағыты диаграммасында айқын тар бағытталған негізгі сәуле – негізгі жапырақша бар. Бағыт диаграммасының негізгі жапырақшасындағы энергия ағынының тығыздығы (ЭАТ) антеннаның жанында бірнеше жүз Вт/м<sup>2</sup>-ге жетуі мүмкін, сонымен қатар үлкен қашықтықта айтарлықтай өріс деңгейлерін жасайды. Мысалы, 2,38 ГГц жиілікте жұмыс істейтін 225 кВт станция 100 км қашықтықта 2,8 Вт/м<sup>2</sup> тең ЭАТ жасайды.

Алайда, негізгі сәуледен энергияның шашырауы өте аз және антеннаның орналасу аймағында көп кездеседі. Жер бетінде энергия ағындары айтарлықтай аз.

Радиолокациялық станциялар, әдетте, айна типті антенналармен жабдықталған және оптикалық ось бойымен бағытталған сәуле түрінде тар бағытталған сәулелену диаграммасына ие. Радиолокациялық жүйелер 500 МГц-тен 15 ГГц-ке дейінгі жиіліктерде жұмыс істейді, алайда жеке жүйелер 100 ГГц-ке дейінгі жиіліктерде жұмыс істей алады. Әуежайлардың радиолокациялық станциялары 60 м қашықтықта 0,5 Вт/м<sup>2</sup> ЭАТ құрады.

Әр түрлі мақсаттағы радиолокаторлардың қуаттылығының артуы және жоғары бағытталған айналмалы Антенналарды қолдану микротолқынды диапазондағы электромагниттік сәулелену (ЭМС) қарқындылығының едәуір

артуына әкеледі және жер бетінде энергия ағынының тығыздығы жоғары аймақтарды жасайды. Ең қолайсыз жағдайлар әуежайлар орналасқан қалалардың тұрғын аудандарында байқалады.

Радиожиилік диапазонындағы электромагниттік өрістердің (ЭМС) негізгі көздері байланыс, радио-телехабар тарату және радионавигацияның радиотехникалық объектілері болып табылады. Тасымалдаушы байланыс объектілерінің саны тез өсуде, бұл бірінші кезекте таратқыштар (ұялы байланыстың базалық станциялары - БС) санын ұлғайтуды, сондай-ақ үшінші (3G) және төртінші (4G) ұрпақтардың коммуникация жүйелерін енгізу мақсатында қолда бар объектілерді қайта жаңартуды қамтитын мобильді байланыс жүйелерінің дамуына байланысты.

Соңғы жылдары күнделікті өмірде, өнеркәсіпте және коммерциялық мақсаттарда қолданылатын ЭМС-тің әртүрлі көздері санының бұрын-сонды болмаған өсуі байқалды. Мұндай көздерге Теледидарлар, радиоқабылдағыштар, компьютерлер, ұялы телефонның мобильді құрылғылары, микротолқынды пештер, радарлар, өнеркәсіптік, Медициналық және сауда жабдықтары жатады.

Бір жағынан, бұл технологиялар біздің өмірімізді бай және жайлы етеді. Қазіргі қоғамды компьютерлерсіз, теледидарсыз және радиосыз елестету мүмкін емес. Ұялы телефондар жеке адамдар арасындағы байланыс мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті және қалалық жерлерде де, ауылдық жерлерде де әртүрлі қызметтердің жұмысын жеңілдетті. Радарларды пайдалану әуе ұшуларының қауіпсіздігін арттырды.

Бұл технологияларды қолдану адам денсаулығына қауіп төндіруі мүмкін. Мұндай алаңдаушылық жол қозғалысын бақылау қызметтері пайдаланатын ұялы телефондардың, электр желілерінің және "радиолокациялық тапаншалардың" қауіпсіздігіне қатысты болды.

Аталған жағдайлардың әрқайсысында электромагниттік өріс деңгейін өлшеу және бағалау міндеті туындайды, мұндай тапсырмаларды орындаудың ажырамас бөлігі өлшеу антеннасы болып табылады.

## **2.2 Антеннаны жобалау принциптері мен параметрлері**

### **2.2.1 Антеннаның түрлері мен конфигурациялары**

Антенналары қажетті радиациялық сипаттарды көрсетеді және олардың геометриясына қарай әртүрлі түрлерге жіктелуі мүмкін. Оларға пирамидалық, секторлық, конустық және экспоненциалды жатады. Әрбір түр белгілі бір артықшылықтар мен шектеулерді ұсынады, бұл оларды әртүрлі қолданбаларға қолайлы етеді.

Мысалы, пирамидалық кең сәулелену үлгісіне байланысты кең бұрышты сканерлеу қолданбаларында әдетте пайдаланылады, ал экспоненциалды рупорлар төменгі бүйірлік лоб деңгейлері мен жоғары бағыттылығы үшін қолайлы. Түрін таңдау антенна жүйесінің нақты талаптарына байланысты.

## 2.2.2 Антеннаның параметрлері

Антеннаның өнімділігін бірнеше параметрлер анықтайды.

Диафрагма өлшемі: Апертураның физикалық өлшемі күшейту, бағыттау және сәуленің ені сияқты негізгі антенна сипаттамаларына тікелей әсер етеді. Үлкен саңылаулар антеннаның сезімталдығының жоғарылауына және сәулеленудің фокусталуына әкелетін жоғары күшейтуге және тар сәуле еніне әкеледі.

Жалын бұрышы: Жалын бұрышы сәулелену үлгісінің пішіні мен кеңеюін анықтайды. Ол антеннаның бағыты мен бүйірлік деңгейлеріне әсер етеді. Оңтайлы алау бұрышын таңдау қажетті радиациялық сипаттамаларға қол жеткізу үшін маңызды.

Өлшемі: жұлдыру өлшемі кедергінің сәйкестігіне және радиациялық сипаттамаларға айтарлықтай әсер етеді. Ол қуатты тиімді тасымалдауға және шағылысуларды азайтуға қол жеткізуде шешуші рөл атқарады. Оңтайлы өнімділікті қамтамасыз ету үшін жұлдыру өлшемі мұқият жобалануы керек.

Ұзындығы: ұзындығы жұмыс жиілігі диапазонына және кедергінің сәйкестігіне әсер етеді. Қажетті жиілікте резонансқа қол жеткізу және сигналдың тиімді берілуін жеңілдету үшін ұзындығы дұрыс таңдалуы керек.

Материалдық қасиеттері: материалының диэлектрлік қасиеттері әртүрлі антенна параметрлеріне әсер етеді, соның ішінде кедергі, сәулелену тиімділігі және өткізу қабілеттілігі. Материалды таңдау жалпы өнімділікке әсер етеді және белгілі бір жиілік диапазондары мен қоршаған орта жағдайларына бейімделуі мүмкін.

Liang және т.б. жүргізген зерттеулер. (2018) қажетті радиациялық сипаттамаларға қол жеткізуде антенна параметрлерінің маңыздылығын көрсетеді. Авторлар антеннаның дизайнында параметрді мұқият таңдаудың маңыздылығына баса назар аударып отырып, жарқырау бұрышы мен апертура өлшемінің антенналардың күшеюі мен бағытына әсерін зерттейді.

## 2.3 Активті антенна теориясы және компоненттері

Активті антенналар күшейткіштер сияқты белсенді компоненттерді антенна құрылымына біріктіреді. Бұл біріктіру сигналды күшейтуге, шу өнімділігін жақсартуға және динамикалық байланыс сценарийлеріне бейімделуге мүмкіндік береді.

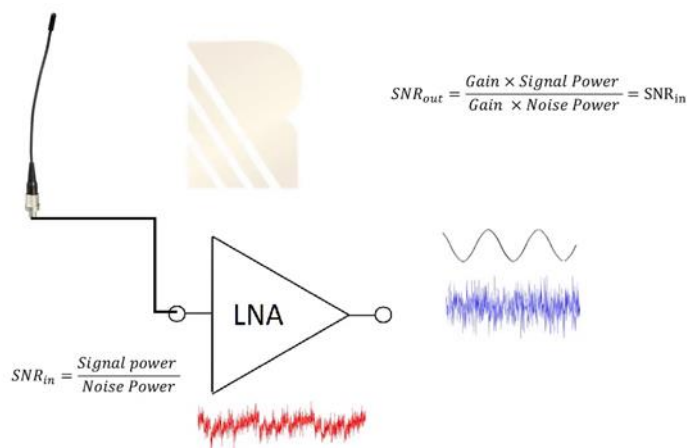
### 2.3.1 Күшейткіштер

Күшейткіштер сигналды күшейту және жүйенің жалпы өнімділігін жақсарту арқылы белсенді антенналарда шешуші рөл атқарады. Арнайы талаптарға байланысты күшейткіштердің әртүрлі түрлері қолданылады:

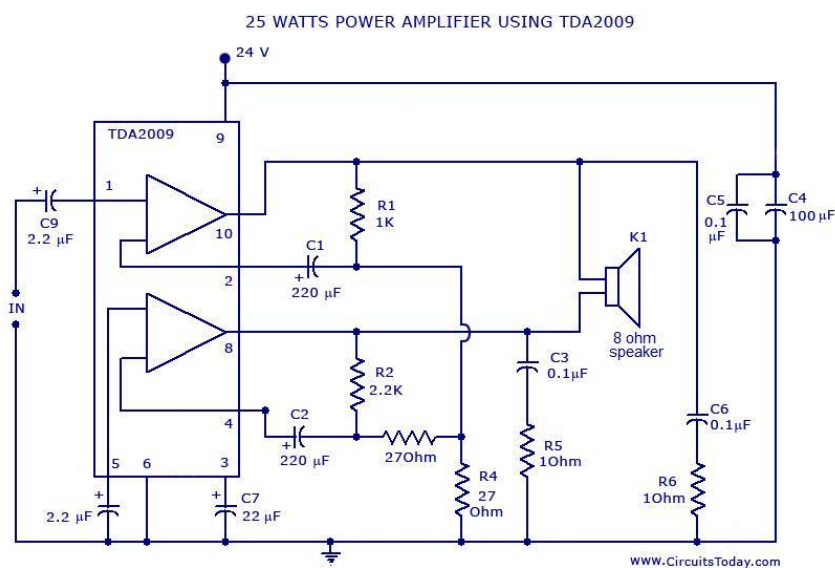
- Төмен шулы күшейткіштер (LNA): LNA-лар (2.2-сурет) ең аз қосымша шуды енгізу кезінде әлсіз сигналдарды күшейту үшін әдетте активті антенналарда қолданылады. Бұл күшейткіштер сигналдың оңтайлы қабылдануын қамтамасыз ете отырып, жоғары күшейту және төмен шу көрсеткішін қамтамасыз етуге арналған.

- Қуат күшейткіштері (ҚК): ҚК (2.3-сурет) активті антенналардағы сигнал қуатын күшейту үшін пайдаланылады, бұл ұзақ қашықтыққа тиімді таратуға немесе тарату жолындағы жоғалтуларды жеңуге мүмкіндік береді. Қуат күшейткіштері жақсы сызықтылығы бар жоғары шығыс қуатын қамтамасыз етуге арналған.

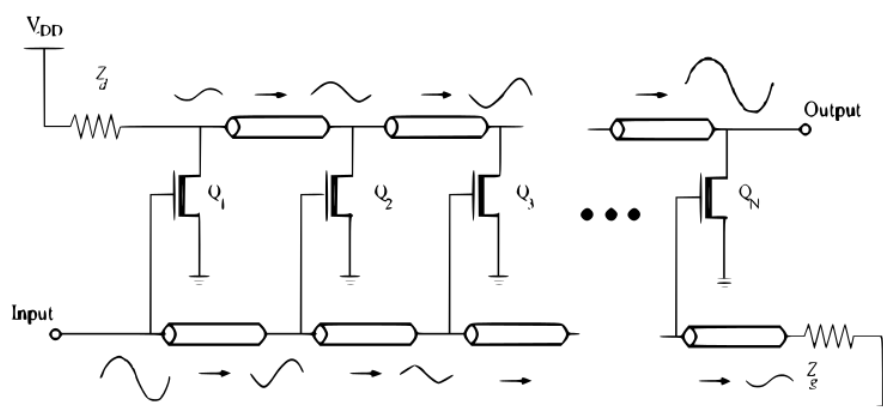
- Таралатын күшейткіштер: Таратылған күшейткіштер (2.4-сурет) кең жолақты жұмысқа қол жеткізу үшін активті антенналарда қолданылады. Олар кең жиілік диапазонында сигналды тиімді күшейтуге мүмкіндік беретін тарату желісі бойынша бөлінген бірнеше күшейту сатыларынан тұрады.



2.2 - сурет – Төмен шулы күшейткіштердің (LNA) негізгі ұғымы



2.3 - сурет – 25 Вт-IC TDA2009 үшін қуат күшейткішінің схемасы



2.4 - сурет – N-сатылы таралатын толқынды күшейткіш

Күшейткіштерді дұрыс таңдау активті антенна жүйесінің арнайы талаптарын, соның ішінде жиілік диапазонын, шу көрсеткішін, қуатты өңдеу мүмкіндігін және сызықтылықты қанағаттандыру үшін өте маңызды. Күшейткіштерді таңдау активті антеннаның жалпы өнімділігі мен сенімділігіне тікелей әсер етеді.

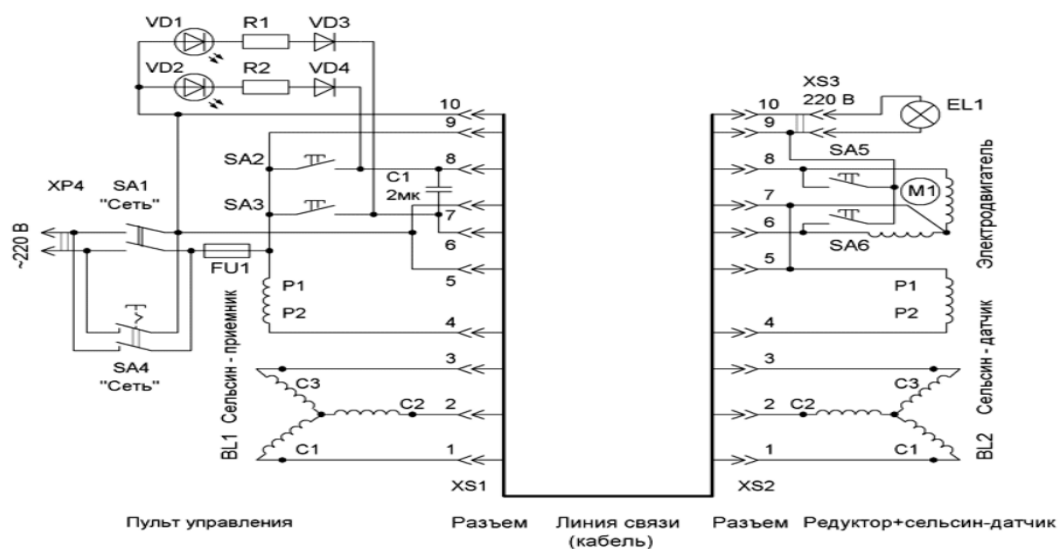
### 2.3.2 Бағалау желілері

Белсенді құрамдастарға қажетті ығысу кернеулері мен токтарын қамтамасыз ету үшін активті антенналарда ығысу желілері маңызды. Бұл желілер күшейткіштердің және антенна жүйесіндегі басқа белсенді элементтердің тұрақты және оңтайлы жұмысын қамтамасыз етеді.

Бағалау желілері дұрыс тыныш жұмыс нүктелерін қамтамасыз етеді және бұрмалану немесе тұрақсыздық мәселелерін болдырмайды. Олар күшейткіштердің сызықтық диапазонында жұмыс істеуін және дәйекті өнімділікті қамтамасыз ету үшін ығысу тогы және кернеу деңгейлері сияқты қажетті ауытқу жағдайларын сақтауға көмектеседі.

### 2.3.3 Басқару схемалары

Басқару тізбектері антенна жүйесінің жұмысын бақылау және реттеу үшін активті антенналарда қолданылады. Бұл схемалар (2.5-сурет) күшейтуді басқару, кедергілерді сәйкестендіру, сәулені басқару және өзгертін қоршаған орта жағдайларына бейімделу сияқты функцияларды ұсынады.



2.5 - сурет – Басқару схемасы

Күшейтуді басқару сигнал күшін оңтайландыру үшін белсенді антенна жүйесінің күшейту деңгейін реттеуге мүмкіндік береді. Кедергілерді сәйкестендіру схемалары жүйенің әртүрлі бөліктерінің кедергілерін сәйкестендіру арқылы компоненттер арасындағы қуатты тиімді тасымалдауды қамтамасыз етеді. Арқалық басқару механизмдері байланыс өнімділігін арттыру үшін антеннаға сәулелену үлгісінің бағытын динамикалық түрде реттеуге мүмкіндік береді.

Басқару тізбектерін активті антенналарға қосу икемділікті, бейімделуді және жақсартылған өнімділікті қамтамасыз етеді. Бұл схемалар нақты операциялық талаптар негізінде антенна жүйесін нақты уақыт режимінде оңтайландыруға және теңшеуге мүмкіндік береді.



### **3 Активті антеннаны жобалау және модельдеу**

#### **3.1 Антеннаның дизайнын қарастыру және техникалық сипаттамалар**

Бұл бөлімде активті антеннаның дизайны мен модельдеу процесі берілген. Ол жұмыс барысында қол жеткізілген маңызды қадамдарға, әдістерге және негізгі нәтижелерге назар аударады. Дизайн және имитациялау фазасы белсенді ронай антеннасының жұмысын оңтайландыруда, сигналдарды тиімді жіберу мен қабылдауды қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады.

Антенна геометриясы және параметрлері:

Жобалау процесінің бірінші қадамы антеннаның геометриясын және параметрлерін анықтау болып табылады. Бұл қажетті жұмыс жиілігі мен өнімділік мақсаттарына негізделген сәйкес пішінін, жарқырау бұрышын, саңылау өлшемін, тамақ өлшемін және беру техникасын таңдауды қамтиды. Дизайн спецификациялары жүйе талаптары мен қолданбалы сценарийлерден алынған. Мысалы, 5,8 ГГц жиілік диапазоны үшін 20 градус жалын бұрышы, 10 см апертура өлшемі және 2 см кеңірдекке арналған активті антеннаны жобалауды қарастырайық. Антенна жоғары күшейту және төменгі бүйірлік деңгейлерге арналған.

Электромагниттік модельдеу:

Антеннаның геометриясы мен параметрлері анықталғаннан кейін антеннаның жұмысын талдау және оңтайландыру үшін электромагниттік модельдеу бағдарламалық құралы пайдаланылады. Осы мақсат үшін әдетте CST Studio Suite немесе HFSS сияқты электромагниттік модельдеу құралдары қолданылады.

Модельдеу процесі активті антеннасының 3D үлгісін жасауды және тиісті шекаралық шарттарды қолдануды қамтиды. Бағдарламалық жасақтамада Максвелл теңдеулерін шешу және антеннаның әрекетін болжау үшін Ақырлы элементтер әдісі немесе Момент әдісі сияқты сандық әдістер қолданылады.

Модельдеу нәтижелері және талдау:

Модельдеу нәтижелері антеннаның өнімділік сипаттамалары туралы құнды түсініктер береді. Негізгі параметрлер, соның ішінде сәулелену үлгісі, күшейту, бағыттау және кедергі сәйкестігі талданады және қажетті спецификацияларды қанағаттандыру үшін оңтайландырылған.

Активті р антеннаның дизайны үшін модельдеу нәтижелері бүйір лоб деңгейлері төмен жоғары сәулелену үлгісін көрсетеді. Сигналдың тиімді қабылдануын және берілуін қамтамасыз ететін күшейту 20 дБи құрайды. Сәулелену үлгісі жоспарланған қолдану үшін қолайлы сәуленің қажетті енін және бағытын көрсетеді.

Кедергінің сәйкестігі және S-параметрін талдау:

Белсенді құрамдас бөліктер мен антенна құрылымы арасындағы максималды қуат беруді қамтамасыз ету үшін кедергілерді сәйкестендіру маңызды. Модельдеу нәтижелері антеннаның кедергі сипаттамаларын талдау және сәйкес желі дизайнын оңтайландыру үшін пайдаланылады.

S-параметрлік талдау активті антеннасының шашырау параметрлерін бағалау үшін орындалады. Бұл талдау шағылысу коэффициенті, кіріс кедергісі және беру қасиеттері бойынша антеннаның өнімділігін бағалауға көмектеседі.

Тексеру және оңтайландыру:

Дизайн және модельдеу процесі антеннаның жұмысын жақсарту үшін қайталанатын оңтайландырудан өтеді. Модельдеу нәтижелері мен қалаған мақсаттар негізінде геометрияға, параметрлерге немесе қоректендіру құрылымына өзгертулер енгізіледі.

Жобаның валидациясы модельдеу нәтижелерін тәжірибелік өлшемдермен салыстыру арқылы жүзеге асырылады. Бұл симуляцияланған антенна әрекетінің нақты әлемдегі өнімділікке сәйкес келуін қамтамасыз етеді. Кез келген сәйкессіздіктер зерттеледі және сәйкесінше түзетулер енгізіледі.

Активті антеннаны жобалау және модельдеу кезеңі антеннаның өнімділік сипаттамалары туралы құнды түсініктер береді. Геометрияны мұқият таңдау, параметрлерді оңтайландыру және модельдеу нәтижелерін талдау арқылы антеннаның өнімділігін қажетті сипаттамаларға сәйкес келтіруге болады.

Бұл жұмыста активті антенна 5,8 ГГц жиілік диапазоны үшін жобаланған және имитацияланған, бұл төмен бүйірлік деңгейлері бар жоғары сәулелену үлгісіне қол жеткізу. Кедергілерді сәйкестендіру және S-параметрін талдау қуатты тиімді тасымалдауды және оңтайландырылған беру қасиеттерін қамтамасыз етті. Дизайн тәжірибелік өлшемдермен салыстыру арқылы расталды.

Жобалау және модельдеу процесі антеннаның өнімділігін нақты сценарийлерде бағалауға болатын кейінгі жасау және сынақ кезеңдерінің негізін қалайды.

### **3.2 Негізгі параметрлерді есептеу мәселесін қою**

Есептеуге арналған бастапқы деректер:

- толқын диапазоны (148,5-285 кГц (ДВ));
- нақты сезімталдық 0,5 мВ / м-ден кем емес;
- максималды өріс кернеулігі 3В/м;
- нақты сезімталдыққа тең өріс кернеулігі кезіндегі шығыс кернеуі, 100 мкВ.

Есептеу нәтижесінде келесілерді анықтау қажет:

- күшейту элементінің түрі және оның сипаттамалары  $T_{III}$ ,  $R_{gopt}$ ;
- пассивті МА параметрлері:  $l_c$ ,  $d_c$ ,  $\mu_A$ ,  $L_A$ ,  $n$ ,  $n_A$ ,  $h_d$
- $R_{OK}$  ҚОҚ тізбегінің параметрлері;
- $C_1$ ,  $C_2$  келісу тізбегінің параметрлері;
- АМА  $h_d$  АМА параметрлері;  $E_{PII}$ .

Күшейткіш элемент түрін таңдау.

Ғимаратта көрсетілген нақты өріс сезімталдығын екі өріс Транзисторы диапазонында пайдаланған кезде алуға болады. Біз КР303В типті транзисторды таңдаймыз.

Магниттік антеннаның феррит өзегін таңдау.

1.2-бөлімде жасалған ұсыныстарды ескере отырып, антеннаның қолданыстағы биіктігін арттыру үшін біз 2000NN маркалы ДВ феррит өзегін таңдаймыз. Геометриялық өлшемдері:  $d_c = 10$  мм,  $l_c = 200$  мм.

Сәйкестендіру опциясын таңдау.

АМА сезімталдығының ең жоғары шындығына қол жеткізу үшін біз дәйекті резонансы бар нұсқаны таңдаймыз.

Магниттік антеннаның тиімді магниттік өткізгіштігін анықтау.  $\mu_{Amax} = 177.6$   
Жиілік диапазонының қабаттасу коэффициенті:

$$K_g = \omega_b / \omega_H = 285 / 148.5 = 1.92 \quad (3.1)$$

$$K_g = 285 / 148.5 = 1.92$$

a параметрі:

$$a = - (1 + K_g^2) / K_g^2 \quad (3.2)$$

$$a = - (1 + 1.92^2) / 1.92^2 = - 1.27$$

d параметрі:

$d(K_g)$  функциясының графигін талдай отырып,  $K_g = 1.92$  кезінде  $d = 0.888$  табамыз.

b параметрі:

$$b = \frac{d^2}{\sqrt{2d^2 + a}} \quad (3.3)$$

$$b = \frac{0,888^2}{\sqrt{2 \cdot 0,888^2 - 1,27}} = 1,41$$

Нормаланған параметр D:

$$D_3 = d \sqrt{\frac{\sqrt{2d^2 + a}}{d^4 + a + 1}} \quad (3.4)$$

$$D_3 = 0,888 \sqrt{\frac{\sqrt{2 \cdot 0,888^2 - 1,27}}{0,888^4 - 1,27 + 1}} = 1,115$$

Сериялық резонанс жиілігі:

$$f_l = f_H / d \quad (3.5)$$

$$f_1 = 148.5 / 0.888 = 166.85 \text{ Гц}$$

Шуды сәйкестендіру жиілігі:

$$f_c = f_H / b \quad (3.6)$$

$$f_c = 148.5 / 1.41 = 105.32$$

Индуктивтілік МА:

$$L_a = R_r * b / 2\pi f \quad (3.7)$$

$$L_a = 12700 * 1.41 / 2 * 3.14 * 148.5 * 10^{-3} = 19200 \text{ мкГн}$$

МА биіктігін есептеу.

Есептеу  $dc=dk$  санау арқылы  $f_H$  диапазонының төменгі жиілігі үшін жүзеге асырылады:

$$h_d = h_{dmax} \varphi(X, Y), \quad (3.8)$$

$l_c=l_k$ ,  $hd=h_{max}$  санау арқылы феррит өзегінің бүкіл ұзындығы бойынша катушканың бұрылыстарын біркелкі бөлу қайдан келеді

Түзету конденсаторларының сыйымдылығын есептеу.

Таңдалған сәйкестендіру нұсқасында  $C_2=0$ , ал біз  $C_1=47$  пФ қабылдаймыз.

Беру коэффициенті  $T(0)$  шуды сәйкестендіру жиілігінде.

Транзистордың коэффициенті КП303В  $R_{opt} = 12700$  Ом, мәні 10 кГц-ке тең, содан кейін

$$\bar{T}_0 = \frac{u}{30\sqrt{4kT_{R\Delta f}}} \quad (3.9)$$

$$\bar{T}_0 = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{30\sqrt{41^2 \cdot 38^{-23} \cdot 7.5 \cdot 12700 \cdot 10 \cdot 10^3}} = 14.54$$

Трансформация коэффициенті.

$$n = 20 \frac{T}{T_0^T} \quad (3.10)$$

$$n = 20 \frac{T}{T_0^T} = 20 \frac{293}{7.5 * 14.54} = 53.74$$

Кері байланыс резисторы.

Мұны ескере отырып  $T(0) = ROC(0) / R_{opt}$ , және  $ROC = ROC(0) / n$ ,

$$R_0 c = 20 \frac{T_0 R}{n} \quad (3.11)$$

$$R_0 c = 20 \frac{14.54 \cdot 12700}{54} = 3420 \text{ Ом}$$

Диапазонның төменгі жиілігінде ТН беру коэффициенті. Өйткені  $T_N = T(n)/n$ , содан кейін

$$T_H = \frac{R_0 c}{z_n} = \frac{Rc}{z} n = \quad (3.12)$$

$$T_H = \frac{3500}{2 \cdot 3.14 \cdot 148.5 \cdot 103 \cdot 19200 \cdot 10} \cdot 54 = 10.56$$

Магниттік антеннаның бұрылыстарының саны. q параметрін [9] бойынша есептейміз:

$$s_p = \pi d_k^2 / 4 \quad (3.13)$$

$$n_A = q \sqrt{L_A} \quad (3.14)$$

$$s_p = \pi d_k^2 / 4 = 3.14 (10 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 78.5 \cdot 10^{-6}$$

$$n_A = q \sqrt{L_A} = 1.928 \sqrt{19200} = 269$$

АМА-ның нақты сезімталдығы.

$$A = 10^3 \cdot 1.938 \cdot 78.5 \cdot 10^{-6} \cdot 177.6 \cdot (3 \cdot 10^8) = 0.9 \cdot 10^{-7} \quad (3.15)$$

$$E = \frac{30 \sqrt{4kT\Delta f}}{A \sqrt{\omega}} \frac{D_1}{D_3} = 0.445 \text{ мВ/м} \quad (3.16)$$

АМА белсенді биіктігі:

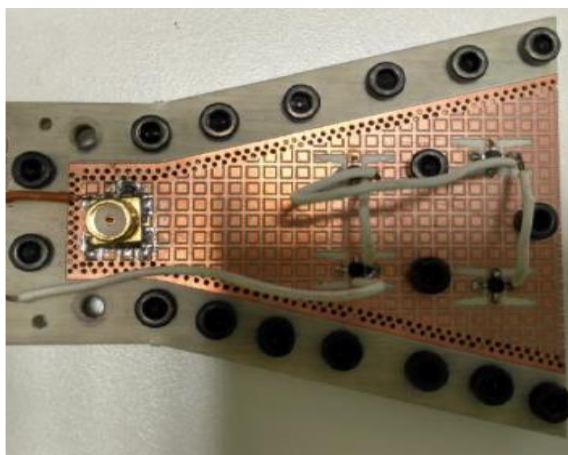
$$h_{\text{дАМА}} = \frac{u_{\text{вых}}}{E_{\text{рп}}} \quad (3.17)$$

$$h_{\text{дАМА}} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{0.445 \cdot 10^{-3}} = 0.247 \text{ м}$$

### 3.3 H-секторлы SIW активті антенна

2000 жылдардың басында ұсынылған субстраттың біріктірілген толқын өткізгіш (БТӨ) технологиясы жоғары дамуда. Бұл қызығушылық сүзгілер, қосқыштар, антенналар және т.б. сияқты пассивті элементтерді төмендетілген өлшеммен және бағамен енгізу кезінде осы технологияның жоғары әмбебаптығы мен өнімділігі фактісіне негізделген. Осы уақытқа дейін жобалау жұмыстарының басым бөлігі пассивті элементтерге және жоғары тығыздықтағы интеграцияның көпөлшемді әдістерін жүзеге асыруға бағытталған. Дегенмен, БТӨ толқын өткізгіштерінде күшейткіштерді біріктіру үшін бірнеше эксперименттер жасалды. Бұл тәжірибелерде күшейткіш БТӨ ішінде толық біріктірілмеген немесе оларда әртүрлі БТӨ топологиялары қолданылады. Белсенді элементтерді БТӨ патч антенналарымен біріктіру үшін де кейбір әрекеттер жасалды. Дегенмен, біздің білуімізше, активті БТӨ ұсынылмаған.

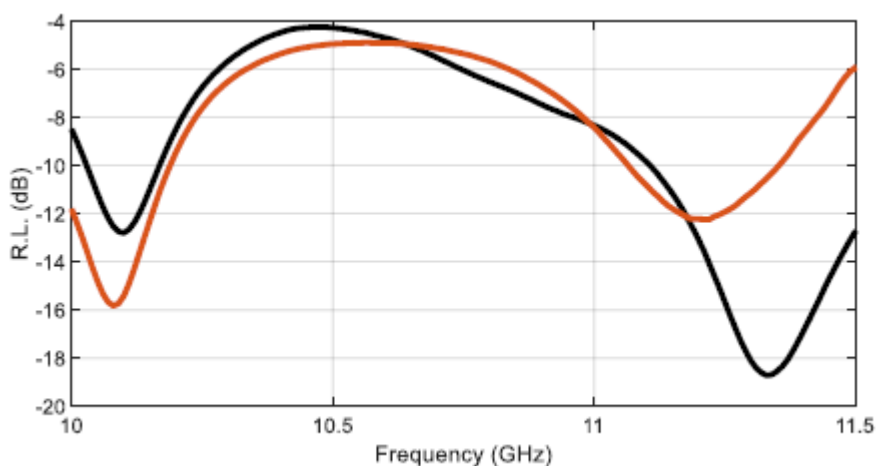
Антенна X-диапазонды 3-қабатты H-секторлы БТӨ активті ретінде жасалған. Әрбір қабат қалыңдығы 1,524 мм RO4003C субстратында жасалған. Қабаттың иілуін азайту үшін антеннасына бірнеше бұрандалар қосылады. Бұрандаларды кірістіру ережелерін сақтай отырып, қосымша фазалық түзетуді алу үшін де қолданылады. Антеннаның металл үстіңгі жағы FSS тоқтату жолағымен ауыстырылады. Егер FSS дұрыс жобаланған болса, ол сәулеленбейді және [6]-да көрсетілгендей мінсіз өткізгіш пластина ретінде әрекет етеді, тұрақты токты оқшаулауға мүмкіндік береді және осылайша бұл бетті күшейткіштерді біріктірумен үйлесімді етеді.



3.1 - сурет – Активті антенна

Күшейткішке түсетін максималды энергияны алу үшін конустық іске қосылады. Осылайша, құрылым конустық орналасқан жердің айналасында ағып жатқан энергияны шоғырландырады, осылайша күшейткіш оны қабылдай алады. Конус арқылы конденсацияланатын энергия мөлшері оның орналасуына және БТӨ-дегі таралу режиміне байланысты болады. Мысалы, конустар антеннаның симметрия осіне жақын орналасса және басым  $TE_{10}$  режимі таралса, конустық

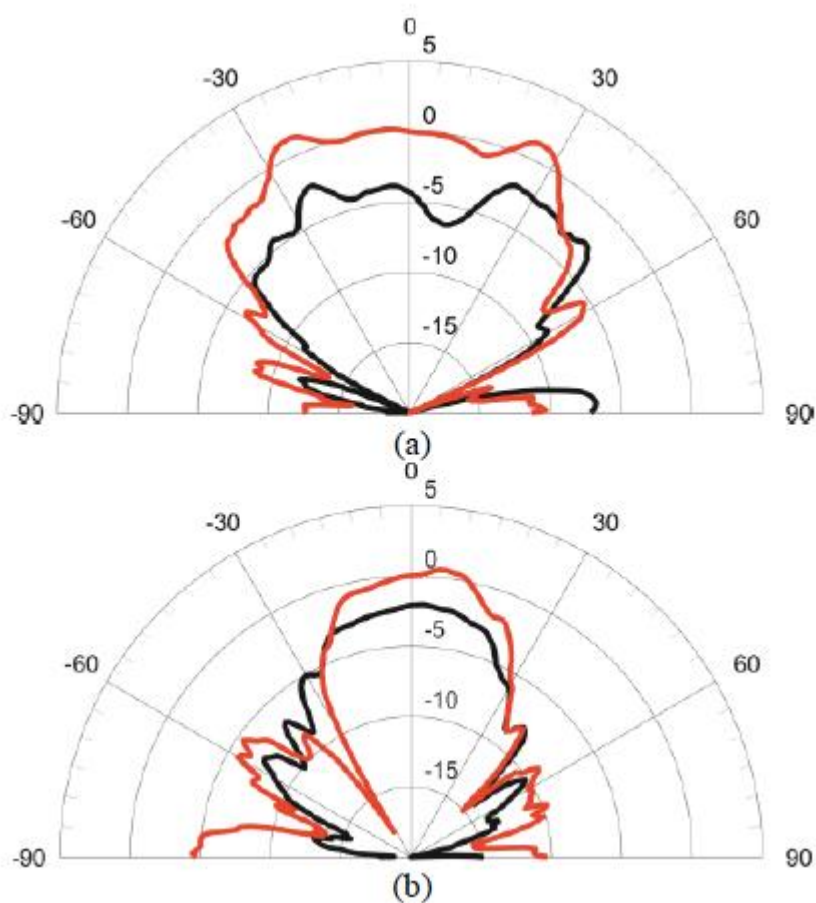
конустар БТӨ қабырғаларына жақын орналасқан жағдайда қарағанда көбірек энергия алады. Осы себепті антеннаның күшейту күшейткіші конустық позицияның нәтижесінде күшейткіштің максималды күшейтуінен өзгеше болуы мүмкін. Дегенмен, антеннаның кейбір аймақтарында күшейткіштерді енгізу жергілікті өрісті күшейту және фазалық өзгерістер салдары ретінде антеннаның сәулелену үлгісін өзгерту үшін пайдаланылуы мүмкін. Бірнеше күшейткіштер параллель қосылған кез келген топологиядағы сияқты, қажет болса, симметриялы әрекетті қамтамасыз ету үшін олардың барлығы бірдей өнімділікті көрсетуі керек. 3.2-суретте көрсетілген ұсынылған құрылым екі деңгейге бөлінген төрт күшейткіш құрылымы болып табылады және оның негізгі мақсаты Н-секторлы БТӨ активті антенналардың болуын көрсету болып табылады. Күшейткіштер максималды қуат аймағына орналастырылмаған, сондықтан күтілетін күшейту күшейткіштердің максималды қолжетімді күшейтуінен аз болады.



3.2 - сурет – Белсенді антеннаның қайтару шығындары. Қара сызық: бейтарап антенна. Redline: қиғаш антенна

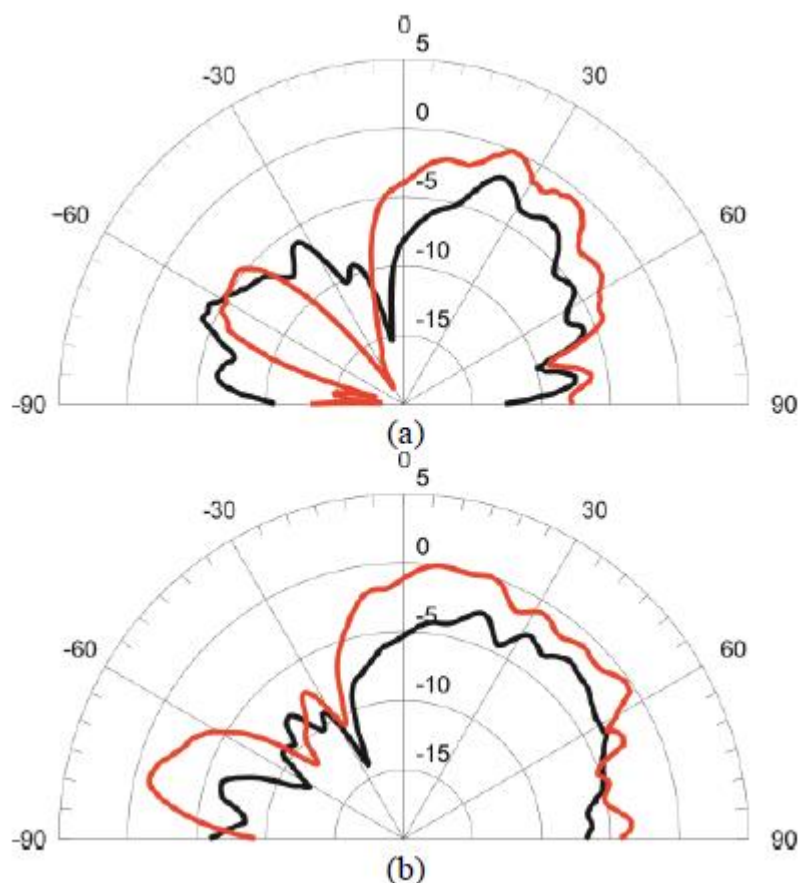
Толық белсенді антеннаның қайтару шығындары 3.3-суретте көрсетілген. Олар сәулелену үлгілері өлшенетін диапазон ішінде сызылған. Қайтару шығындары күшейткіштері жоқ БТӨ антеннасынан айтарлықтай ерекшеленбейді. Жақсырақ қайтарымды жоғалтулар қажет болса, [7]-де ұсынылған әдістерді қолдануға болады. Күшейткіштердің антеннаның сәулелену үлгісіне қалай әсер ететінін көрсету үшін Н-жазық және Е-секторлы сәулелену үлгілері жақсы қайтару шығындарына қол жеткізілетін екі түрлі жиілікте және екі түрлі ауытқу жағдайында өлшенеді. Бірінші шара күшейткіштердің бейтарап болуына мүмкіндік береді және ол бірдей өлшем қондырғысымен салыстырылады, бірақ күшейткіштердің ығысуына мүмкіндік береді. Бұл өлшемдер күріште көрсетілген. Сәулелену үлгілері Н-жазықтығы үшін кең бағыттағы икемді күшейткіштері бар антеннаның максималды мәніне және Е-жазықтығы үшін ығыстырғыш күшейткіштермен максималды мәнге

нормаланады. Көріп отырғанымыздай, сәулелену үлгісінің пішіні БТӨ алуға болатын типтік емес. Бұл үш негізгі факторға байланысты. Біріншісі - фазаны түзететін бұрандаларды пайдалану. Екіншісі - қабаттар арасындағы сәйкессіздік. Үшіншісі - ішіндегі өрісті өзгертетін күшейткіштерді қолдану. Қарастырылған жиілікке байланысты күшейткіштер ығысқан кезде күшейтудің 3-тен 5 дБ-ге дейін жақсаруы байқалады. II бөлімде түсіндірілгендей, күшейткіштер максималды қуат аймағына орналастырылмаған, сондықтан олар антенна арқылы өтетін энергияның шектеулі пайызын ғана алады, бұл қол жеткізуге болатын жалпы күшейтудің төмендеуіне әкеледі. Бұл нақты жағдайда максималды қолжетімді күшейту 8 дБ дейін болуы мүмкін. Дегенмен, нәтижелер БТӨ активті антенналарын қалай жасауға болатынын және жалпы күшейту күшейткіштердің позицияларына қалай байланысты болатынын көрсетеді.



3.3 - сурет - N-секторлы антеннаның сәулелену үлгісі. Қызыл сызық: қиғаш күшейткіштер. Қара сызық: бейтарап күшейткіштер. (a) 10,25 ГГц. (b) 11,5 ГГц





3.4 - сурет – Электрондық ұшақ антеннасының сәулелену үлгісі. Қызыл сызық: қиғаш күшейткіштер. Қара сызық: бейтарап күшейткіштер. (a) 10,25 ГГц (b) 11,5 ГГц

Көп қабатты БТӨ белсенді антеннасы ұсынылған. Антеннаның үстіңгі жағына күшейткіштерді қосу үшін мұндай жағы тұрақты токтың оқшаулануына және қиғаштық үйлесімділігіне мүмкіндік беретін тоқтау жолағында жұмыс істейтін FSS-мен ауыстырылады. Нәтижелер құрылымға күшейткіштерді қосу өзінің аналогы пассивті БТӨ антеннасымен салыстырғанда қайтару шығындарын дерлік әсер етпейтінін көрсетеді. Сонымен қатар, ұсынылған конфигурация антеннаның жалпы күшейтуін арттырады. Табысты жақсарту күшейткіштер санына және оның БТӨ антеннасындағы орнына байланысты болады. Нәтижелер Н-ұшағы БТӨ активті антеннасының қолжетімділігін көрсетеді.

### 3.4 БТӨ Н-секторлы кең жолақты антенна

Біріктірілген толқын өткізгіш (БТӨ) - бұл төмен шығындар, төмен профиль, жазықтық тізбектерімен оңай жасау және интеграциялау және т.б. сияқты артықшылықтарды қамтамасыз ететін жазықтық беру желісінің түрі.

Жақында БТӨ технологиясына негізделген антенналары жобаланған және жасалған.

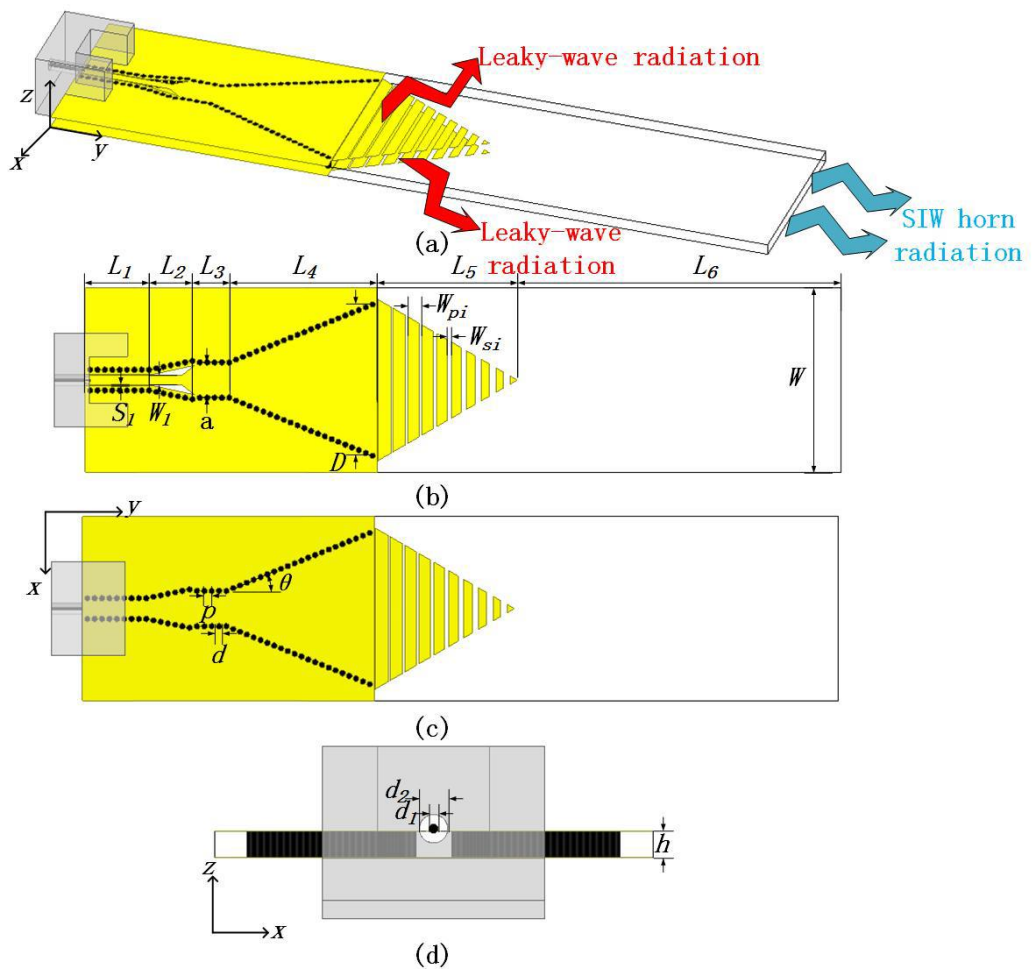
БТӨ Н-тәрізді [4] жұмысында енгізілді, онда кедергінің тар өткізу қабілеттілігінде төмен пайда алынды. саңылауы мен бос орын арасындағы сәйкессіздік антеннаның нашар жұмысына әкеледі. Бұл мәселені шешу үшін БТӨ Н-секторлықтағы антенналарының күшейту коэффициенті мен кедергі өткізу қабілеттілігін жақсартуға әр түрлі күш жұмсалды.

Диэлектрлік жүктелген БТӨ Н-секторлы антенна пайданы арттыру үшін енгізілді. Екі тікбұрышты және эллипстік диэлектрлік жүктелген БТӨ антенналары үшін сәйкесінше 9,7 дБ және 9,3 дБ өлшенген күшейту туралы хабарланды. Дегенмен, ұсынылған антеннаның бүйірлік лоб деңгейі (БЛД) салыстырмалы түрде жоғары болды.

Жіңішке субстратты БТӨ антенналары мен ауа арасындағы сәйкестікті жақсарту үшін басып шығарылған ауысулар ұсынылды. Өлшенген нәтижелер субстраттың қалыңдығы  $\lambda_0/10$  төмен болған кезде кедергі өткізу қабілеттілігінің тиімді түрде 16% дерлік жақсарғанын көрсетті. Сонымен қатар, БТӨ апертурасында саңырауқұлақ типті мета-материалды жүктеу арқылы қалыңдығы  $0,05\lambda_0$  қалың субстратта шамамен 10,6% кедергі өткізу қабілеті алынды [9].

Кеңейтілген субстратта әртүрлі диаметрі бар әуе жолдарын бұрғылау арқылы саңылаудан ауаға тегіс өту [10] ұсынылған және кедергінің өткізу қабілетін 40% дейін кеңейтуге болады. Көпқабатты субстраттың ішінде жанып тұрған бүйір қабырғасында бұрғыланған тереңдігі әр түрлі жолдардан тұратын конустық жотасы бар БТӨ [11] енгізілген. Бұл БТӨ рупорының VSWR 18–40 ГГц-тен 2,5 төмен болды. Сонымен қатар, параболалық шағылыстырғыш пен жүктелген параллель пластиналы металл блоктардың комбинациясы арқылы БТӨ антенна зерттелді және 31,5 ГГц жұмыс жиілігінде 15 дБ күшейтуді қамтамасыз етті. Дегенмен, бұл антеннаның көлемі айтарлықтай өсті.

Белгілі болғандай, жұқа субстраттарға басып шығарылған кәдімгі Н-секторлы БТӨ нашар кедергі сәйкестігі мен радиациялық өнімділікті сипаттайды. Бұл мәселені шешу үшін басып шығарылған конустық периодты ағып кететін толқынды жолақтар (ПАКТЖ) БТӨ саңылауының алдына орналастырылады, ол [13-14]-те жүзеге асырылған тәсілдерден шабыттандырады. TPLS жүктелген SIW кедергі өткізу қабілеті мен күшейтуі әдеттегіден әлдеқайда көп. Содан кейін антеннаның күшеюін одан әрі жақсарту және алдыңғы-артқы ара қатынасын (ААҚ) азайту үшін ПАКТЖ алдына диэлектрлік плита қойылады. ПАКТЖ және диэлектрлік плиталармен жүктелген ұсынылған антенна кедергі өткізу жолағын 60,8%-ға (20,6 ГГц-тен 38,6 ГГц-ке дейін) арттырады және іске асырылған күшейтуді 19,1 дБ-ге дейін жақсартады.



3.5 - сурет – Ұсынылған антеннаның геометриялық конфигурациясы. (a) 3D көрінісі, (b) үстіңгі көрініс, (c) төменгі көрініс, (d) бүйірлік көрініс

3.5-суретте көрсетілгендей, ұсынылған ПАКТЖ және диэлектрлік плита жүктелген Н-секторлы БТӨ антеннасы өлшеу мақсатында оңтүстік-батыс қосқышқа қосылған GSPW арқылы қоректенеді. БТӨ

қоздыру үшін GSPW және БТӨ ауысуы пайдаланылады. ПАКТЖ субстраттың екі жағында да басып шығарылады.

ПАКТЖ алдында антеннамен бірдей субстратты ортақ пайдаланатын ұзартылған диэлектрлік плита орналастырылған. Астардың биіктігі 1,524 мм, ал диэлектрлік өтімділігі 3,55. Саңылаудың ені ( $D$ ) 20,5 мм, жалындау ұзындығы ( $L_5$ ) 20,1 мм. БТӨ (a) ені 4,8 мм, нәтижесінде  $TE_{10}$  кесу жиілігі 19,3 ГГц болады.

[7] - де антеннаның сәйкестігін жақсарту үшін басып шығарылған жолақтарды БТӨ апертурасының алдына қоюға болатынын көрсетеді. Дегенмен, үш біркелкі слот-жолақ жұптарының сәйкестігі екі жұпқа қарағанда нашар. Бұл мәселемен күресу үшін бұл қағазда 3.5-суретте көрсетілгендей ұялар ені мен ұзындығы бойынша тарылтады.

Ұсынылған ПАКТЖ құрылымы оттың соңғы бағыты бойынша сәулеленуін күшейту үшін электромагниттік (ЭМ) толқындарды бағыттайды және ағызады. [13] және [14] ішіндегі антеннадан айырмашылығы, ЭМ толқындары диэлектрлік

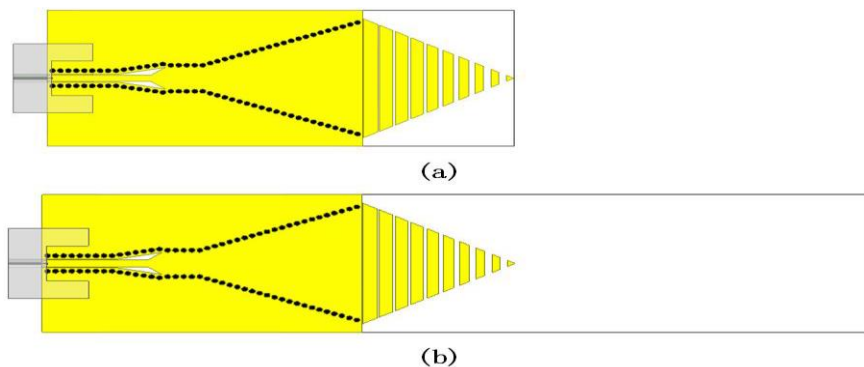
плитаға түсетін қуаттың бөліктерін қалдырып, ішінара ағып кету үшін басқарылады. 3.5(a)-суретте көрсетілгендей, ұсынылған мүйіз антенна сәулеленудің екі түрін біріктіреді: БТӨ сәуле (көк көрсеткілер) және ағып тұрған толқын (қызыл көрсеткілер). Сонымен, ұсынылған Н-секторлы БТӨ антеннасы БТӨ рупорларына да, соңғы оттың ағып кететін толқынды диэлектрлік толқын өткізгіштерінің де радиациялық сипаттамаларына ие.

ПАКТЖ-ны жүктеу арқылы күшейтілген сәйкестікті және алуды жүзеге асыру үшін сәйкестікті және сәулеленуді басқарудың негізгі параметрлері, яғни ұялардың ені  $W_{si}$ , ұяшық-жолақ жұптарының периоды  $W_{pi}$  және  $L_5$  жолақ-ұя жұптарының жалпы ұзындығы қажет.

$W_{pi} = \lambda_g/4$  ( $\lambda_g$  – толқын өткізгіштегі толқын ұзындығы) және жолақтардың саны жұп болған кезде мүйіз саңылауының алдындағы жолақтармен шағылған толқын дерлік жойылатынын көрсетеді. Жақсырақ сәйкестік және радиациялық өнімділік үшін  $W_{pi}$  1,9 мм-ге бекітіледі және ұялардың ені біртіндеп ұлғаяды. Слоттар енінің мәндері арқылы есептеледі

$$\begin{cases} W_{pi} = 1.0 & i=1,2,\dots,10 \\ W_{si} = 0.1 + 0.1(i - 1) \end{cases} \quad (3.18)$$

3.6-суретте ПАКТЖ жүктелген Н-секторлы БТӨ антеннасының және ПАКТЖ және диэлектрлік плитамен жүктелген мүйіздің геометриясы көрсетілген. [5] - де ұзартылған диэлектрлік тақтаны антеннаның күшеюін жақсарту үшін БТӨ саңылауының алдына қоюға болатынын көрсетеді. ПАКТЖ алдындағы жүктелген диэлектрлік плитаны ПАКТЖ-бен қоздыратын диэлектрлік бағыттаушы құрылым ретінде қарастыруға болады, бұл Н-секторлығында сәулеленің тар еніне әкеледі. Максималды кірісі бар үшін Н-секторлығында апертура фазасының таралуы біркелкі дерлік. Квадрат фазасының қателігі жалынның үлкен бұрышы мен мүйіздің ұзындығының қысқаруымен артады. Бұл жағдайда диэлектрлік жүктеме фазалық түзетуші және кедергі трансформаторы ретінде қызмет етуі мүмкін.



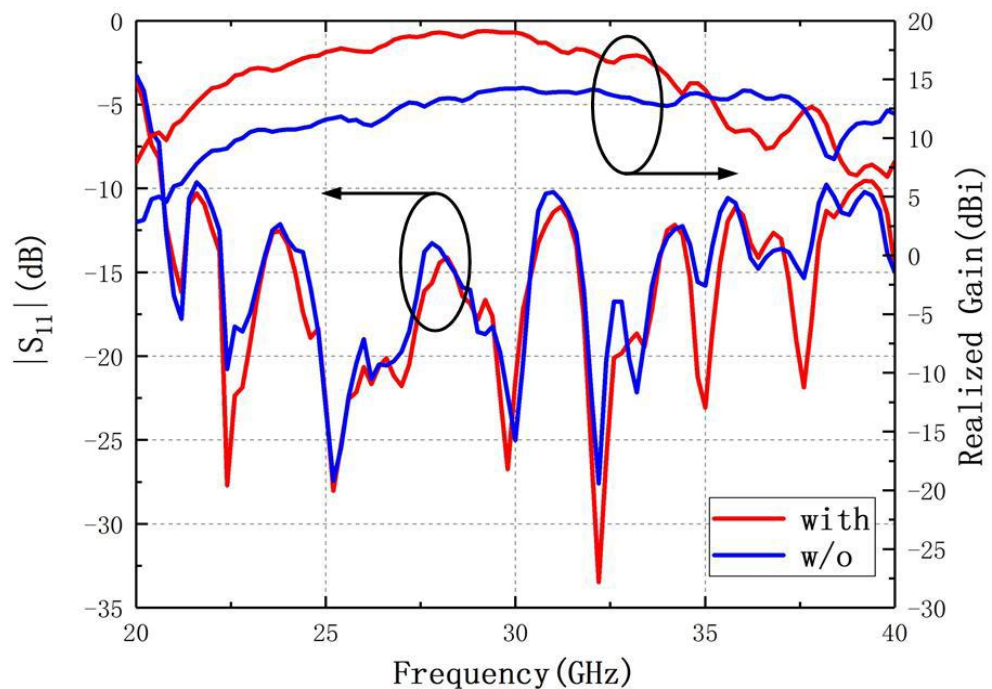
3.6 - сурет – (a) ПАКТЖ жүктелген БТӨ антеннасының және (b) субстрат тақтасымен жүктелген антеннаның геометриясы

Диэлектрлік плитаның ұзындығын дұрыс таңдау арқылы Н-секторлығындағы да, Е-секторлығында да сәулелердің енін қысқартуға болады, демек, пайда жақсарады. Оңтайлы кіріс өнімділігі үшін плитаның ұзындығы 44 мм етіп таңдалады. Ұсынылған антеннаның геометриялық параметрлері 2 кестеде келтірілген.

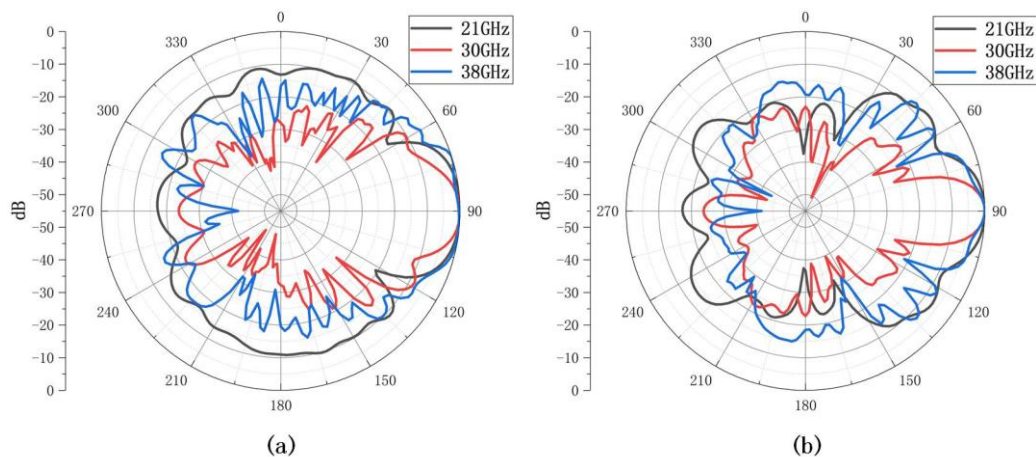
Кесте 3.1 - Ұсынылған Н-жазқтық антеннасының параметрлері (дәрежедегі  $\theta$ -тен басқа барлық өлшемдер мм)

$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$L_6$
8.65	5.88	5	20.1	19	44
$S_1$	$W_1$	$D$	$W$	$a$	$\theta$
0.15	1.2	20.5	25	4.8	22
$p$	$d$	$d_1$	$d_2$	$h$	
1	0.8	0.508	1.63	1.524	

Кеңейтілген диэлектрлік плитаның функционалдығын көрсету үшін ұзартылған диэлектрлік плитасы бар және онсыз ПАКТЖ жүктелген Н-секторлы антеннасы 3.6-суретте көрсетілгендей жобаланған. Осы екі мүйізді антеннаның шағылысу коэффициенттері мен іске асырылған күшейтулері көрсетілген. 3.7-суретте көрсетілгендей, 10 слот-жолақ жұптары мен диэлектрлік платамен жүктелген ұсынылған Н-секторлы антеннасы 20,6 ГГц-тен 38,6 ГГц-ке дейінгі 60%-дан астам кедергі өткізу қабілеттілігіне ие.



3.7 - сурет – S-параметрлері және ПАКТЖ жүктелген БТӨ антеннасының субстрат тақтасы бар және онсыз жүктелген күшейту



3.8 - сурет – Ұсынылған антеннаның үш түрлі жиіліктегі алыс далалық сәулелену үлгілері (a) E-жазықтығы, (b) H-жазықтығы

3.7-сурет сондай-ақ БТӨ антеннасы жүктелген диэлектрлік плитаның іске асырылған күшейтуінің 20 ГГц-тен 35 ГГц-ке дейінгі жүктемелі тақтасыз мүйізге қарағанда әлдеқайда жоғары екенін көрсетеді. Үш репрезентативті жиіліктегі имитациялық алыс өрістің сәулелену үлгілері 3.8-суретте көрсетілген. Тұрақты өрт соңындағы сәулелену үлгілерін бүкіл операциялық өткізу жолағында байқауға болады.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста активті антеннаны талдау және әзірлеу жүргізілді. Зерттеу жан-жақты әдебиеттерді шолуды, дизайнды және антеннаны модельдеуді қамтыды. Мақсаты әртүрлі қолданбаларда сигналды тиімді жіберу және қабылдау үшін антеннаның өнімділігін оңтайландыру болды.

Жұмыстың негізгі нәтижелері активті антеннаның сәтті дизайны мен имитациясын көрсетті. Антенна сигналды тиімді қабылдауды және беруді қамтамасыз ете отырып, төменгі бүйірлік деңгейлері бар жоғары радиациялық үлгілерге қол жеткізді. Кедергілерді сәйкестендіру және S-параметрлерін талдау оңтайландырылған қуат беру және беру қасиеттерін растады. Дизайн эксперименттік өлшемдер арқылы расталды, модельдеу нәтижелерін растады.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Антипин В.В., Зиновьев Н.В. Влияние нелинейности передатчика на сигналы с OFDM // Научно-практические исследования. - 2019. - №8-2 (23). - С.31-34.
- 2 Регламент радиосвязи. Международный союз электросвязи. — Женева, 2008, 428с.
- 3 URL: [https://ftp.utcluj.ro/pub/users/cemil/dDWDM/dDWDM\\_Intro/16\\_5311757.pdf](https://ftp.utcluj.ro/pub/users/cemil/dDWDM/dDWDM_Intro/16_5311757.pdf) (дата обращения 19.05.2020).
- 4 URL:<https://www.globalspec.com/reference/21551/160210/chapter-4-2-dDWDM-network-topologies-review>(дата обращения 05.04.2020)
- 5 URL: <https://www.fiberlabs.com/glossary/about-DWDM/>(дата обращения 01.05.2020)
- 6 Y. Cai, Y. S. Zhang, L. Yang, Y. F. Cao, and Z. P. Qian, “Design of low-profile metamaterials-loaded substrate integrated waveguide horn antenna and its array applications,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol.65, no. 7, July. 2017.
- 7 E. Rahimi and M. H. Neshati, "Development of low profile substrate integrated waveguide horn antenna with improved gain," AIJ – Electrical & Electronics Engineering, vol. 48, no. 2, pp. 63-70, 2016.
- 8 Lei Wang, Maria Garcia-Vigueras, Marcos Alvarez-Folgueiras, Juan R. Mosig, “Wideband H-plane dielectric horn antenna,” IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 11, no. 12, pp. 1695-1701 , 2017.
- 9 N. Esparza et al., “Substrate Integrated Waveguides structures using frequency selective surfaces operating in stop-band (SBFSS-SIW)” IEEE microwave an wireless components letters, vol. 26, no.2, 2016.
- 10 Ali Doghri et al., “Multi-dimensional substrate integrated waveguide for high density integration”, 2015 Global Symposium on Millimeter waves (GSMM), May 2015.
- 11 Курочкин А.Е. Теоретические основы активных магнитных антенн. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Радиоприемные устройства». Часть 1. ШУМОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ С МАГНИТНОЙ АНТЕННОЙ. Минск, 2003. Стр. 25-35.



## ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Жазық антенналарды зерттеу»

Бұл дипломдық жұмыста антенналарды талдау, пайдаланудың негізгі талаптары, және антенналардың негізгі сипаттамасы және болашақ ықтимал болатын түрлері келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Жазық антенналарды зерттеу» тақырыбы қарастырылды. Салыстырмалы талдау жүргізілді, сонымен қатар көптеген технологиялардың сипаттамалары ұсынылды. Сондай-ақ, жұмыс істеу қабілетін едәуір арттыруға болатын нұсқалар ұсынылды.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Жаңа технологияны қолдану нұсқалары, антенналар, фидерлер, компоненттері, заманауи аспаптарды көрсету өте орынды.

Жалпы, дипломдық жұмысқа «жақсы» (80 %) деген баға қойылып, ал студент Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering оқу бағдарламасы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

### Ғылыми жетекші

ЭТ және ҒТ каф.

аға оқытушысы,

техника ғылымдарының магистры

 Ибекеев С.Е.

(қолы)

«25» мамыр 2024 ж.

РЕЦЕНЗИЯ  
Дипломдық жұмыс

Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Тақырыбына: «Жазық антенналарды зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 50 парақ;  
б) түсініктеме 10 бет.

**ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ**

Берілген бітіру жұмысында жазық антенналарды қолдана отырып, жобалау туралы ақпарат жиналған. Негізгі өлшемдер жүргізіп, параметрлері есептелген. Жазық антенналарды қолдана отырып, радиоқабылдағыш, радиотаратқыш антенналарын пайдалану шарттары есептелген. Жоба сұлба бойынша құрастырылған.

Антенналарды қолдануды жақсарту мәселелері қарастырылады. Жұмыста жалпы антенналар жайында мағлұматтар қарастырылған және олардан пайдаланудың бірнеше әдісі айтылған.

Жазық антенналарына талдау жасалып, осы өлшемдерде олардың тиімділігі мен дәлдігін анықталды. Сонымен қатар оларды одан әрі пайдалану және жетілдіру бойынша практикалық ұсыныстар беру. Дипломдық жұмыста жарық диодтары есептеулерін, құрылымы сызбасында студент өз тарапынан қандай жақсартулар енгізуі мүмкіндігін көрсете алмаған. Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – антенналарды талдаудағы ғылыми бағытқа жауап береді.

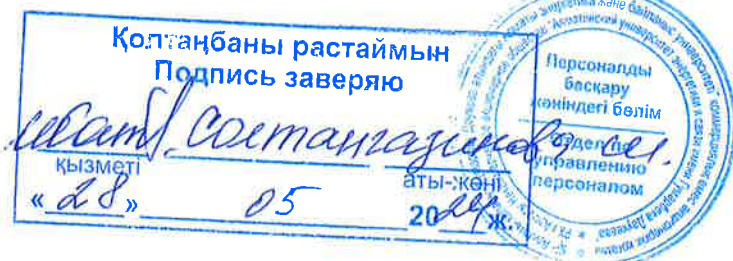
**ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ**

Жалпы, дипломдық жобаға "жақсы" (85%) деген баға, ал студент Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering білім беру бағдарламасының «техника және технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

**Рецензент:**

Ғ.Дәукеев ат. АЭЖБУ доценті,  
PhD докторы

М.М.Ермекбаев  
«27» 05 2024 ж.



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы**

**Тақырыбы: Жазық антенналарды зерттеу**

**Жетекшісі: Серикбек Ибекеев**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.6**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.2**

**Дәйексөз (35): 0.5**

**Әріптерді ауыстыру: 0**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 5**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

2024-05-28

Күні

Кафедра меңгерушісі



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Жазық антенналарды зерттеу

**Научный руководитель:** Серикбек Ибекеев

**Коэффициент Подобия 1:** 2.6

**Коэффициент Подобия 2:** 2.2

**Микропробелы:** 5

**Знаки из других алфавитов:** 0

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-28

*Дата*

*Заведующий кафедрой*



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жұмагелді Ерасыл Барлықұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жазық антенналарды зерттеу

Научный руководитель: Серикбек Ибекеев

Коэффициент Подобия 1: 2.6

Коэффициент Подобия 2: 2.2

Микропробелы: 5

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-28

Дата

27.05.24

Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт