

«6D071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D.) ғылыми дәрежесіне іздену
диссертациясының

АНДАТПАСЫ

КАРИБАЕВ БЕЙБИТ АБДИРБЕКОВИЧ

Анизотропты фракталдық антенналардың электродинамикалық сипаттамалары

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Диссертация анизотропты фрактал (З.Ж.Жанабаевтың фракталы, ары қарай – «ZhF») негізіндегі сымды диполь антеннаны эксперименталды және теориялық түрде зерттеуге, сонымен қатар осы антеннаның негізгі электродинамикалық және радиотехникалық сипаттамаларын изотроп, үшбұрыш құрылымды басқа да фракталдық антенналармен өзара салыстыруға арналған. Жүргізілген физикалық эксперименттер мен компьютерлік симуляциялардың нәтижелері теориялық модельмен сипатталады және түсіндіріледі. Резонансты жиіліктерді анықтаудың классикалық әдісі тек сызықты антенналар үшін ғана орындалатындықтан фрактал формалы антенналардың жұмыс істеу жиіліктерін анықтау принципиалды түрде маңызды болып саналады. Фракталдық диполь антенналардың резонанстық жиіліктерін скейлин көрсеткіштері γ арқылы анықтаудың жаңа әдісі ұсынылады. ZhF фракталының барлық буыны бірлік Хэвисайд функциясы арқылы сатылы түрде аналитикалық сипатталады. ZhF фракталының бірегей құрылымы осы фрактал негізіндегі антенналарды антенна-фидерлік құрылғылар облысындағы біршама қолданбалы мәселелерді шешуге тікелей мүмкіндік береді.

Тақырыптың өзектілігі

Кез-келген сымсыз қабылдап-таратушы құрылғының маңызды элементі антенна болып табылады. Олардың типі және конструкциясы ақпаратты таратудың және қабылдаудың сапасына едәуір әсер етеді. Қазіргі таңда сымсыз технологиялардың негізгі бөлігі жоғары жиілікті диапозондарда жұмыс жасайды. Өртүрлі сымсыз байланыс технологиясына арналған мобильді және басқа да қабылдап-таратқыштар сипаттары бойынша сәйкес келетін көпдиапозонды, кіші размерлі, кейде аса кең жолықты антенналарды талап етеді. Жиіліктің кең жолағын игеру сымсыз байланыстың дамуының ақпаратты беру жылдамдығы өсуінің, шуылтөзімділік және берілген ақпарат қауіпсіздігі деңгейі өсуінің заманауи тенденцияларына негізделген. Сонымен қатар, заманауи электронды және радиоқұрылғылар миниатюризация үрдісіне ие, ал бұл құбылыс өз кезегінде жүйені құрайтын барлық антеннаны да қамтиды. Бұған қоса кішігабаритті радиоқұрылғылардың өнімділігін арттыру да ескеріледі. Сымсыз байланыс жүйесіндегі көпдиапозонды антенналардың инновациялық конструкцияларын жасауға да айрықша

қызықушылық бар. Антенна материалы мен конструкциясының интеграциясы әлі де болса назарда, әсіресе олардың өлшемдерін кішірейту және сипаттамаларын арттыру мақсатындағы амалдары.

Соңғы кездері радиотехника және телекоммуникация саласынды фракталды антенналарға ерекше көңіл бөлінуде. Оған көптеген ғылыми мақалалар дәлел бола алады. Мәселен, «IEEE Transactions on antennas and propagation» және «IEEE Antennas and wireless propagation letters» секілді антенналық құрылғылар саласындағы беделді журналдарда жылына кемінде 8-10 мақала жарық көреді. Бұл осы тақырып бойынша басқа да ғылыми-техникалық журналдарда жарияланған мақалаларды есепке алынбағандағы көрсеткіш. Бұған бірден-бір себеп, геометриялық фрактал негізіндегі антенналардың Евклидті геометрия бейнесіндегі антенналармен салыстырғанда көп диапазондық қасиетке ие болуымен байланысты. Фракталдық құрылымның өзұқсастығы мұндай антенналардың бірнеше жиілік диапазонында жұмыс жанауына мүмкіндік береді, ал патч (жолақты) түрінде жасалғандар аса кең өткізу жолағына ие. Сондай-ақ антенды-фидерлі құрылғылар саласындағы зерттеуші мамандар фракталды геометрияны шағын көлемді сымсыз байланыс құрылғыларын құру кезінде миниатюралау мәселесінің техникалық шешімдерінің бірі ретінде қарастырады. Көптеген тәжірибелер мен модельдеулердің нәтижесінде фракталдық формалары бар антенналар салыстырмалы түрде өлшемдері әлдеқайда аз бола тұра дәстүрлі антенналардың электрлік және радиофизикалық сипаттамаларынан кем емес нәтижелерді алуға мүмкіндік беретіні анықталды. Антенна сипаттамаларын сақтай отырып оны кішіөлшемділікке жеткізу антенна құрылымының предфрактал деп аталмыш құраушыларға бөлінуі нәтижесінде жазықтықтың эффективті қалыптасуы арқылы қол жеткізіледі. Әр предфракталдан жаңа предфрактал пайда болып, бұл үдеріс жазықтық іспеттес құрылым қалыптасқанша жалғасады. Көптеген жұмыстардан антеннаны кішіөлшемділікке жеткізу эффективтілігі тек бастапқы бірнеше итерация нөміріне дейін ғана жүзеге асатындығы мәлім болған.

Жаңа бағыттың пайда болуы және қарқынды дамуы (90-жылдар) фракталды электродинамика облысын қалыптастырды (терминді D.L.Jaggard енгізді). Телекоммуникация және радиолокациядағы бірқатар тапсырмаларды шешуде ғылыми қызығушылықтардан басқа тәжірбиелік қолданбалардың да орны бар. Олардың бірі “Fractal Antenna systems” компаниясы – радиожиілікті және электромагниттік инновация облысындағы әлемдік көшбасшы [www.fractenna.com].

Жүргізілген көптеген зерттеу жұмыстары мен мақалаларға қарамастан, фракталдың қандай топологиясы (нақты қандай түрі) электродинамикалық, радиофизикалық сипаттамалардың эффективтілігін қамтамасыз ете алады? – деген сұрақ туындайды. Изотропты (Минковский типі), үшбұрышты (Кох типі) және басқа да аралық (таза изотропты және анизотропты арасында) фракталдар негізіндегі антеннаның зерттеулері кеңінен белгілі. З.Ж. Жанабаевтың жұмысында [Жанабаев З.Ж., 1988], жаңа “анизотропты фрактал” деп аталатын геометриялық фрактал ұсынылды. Бұл фрактал

түрінде элементтер деформациясы (фракталдануы) бір бағытта жүргізіледі. Айта кетуге тиісті тағы бір жәйт, [Li J., Ostoja-Starzewski M., 2009] жұмыста “анизотропты фрактал” терминін де әртүрлі бағытта фракталды өлшемділігі бар кеуекті орта үшін қарастырылады. Бұл жұмыста тек бір бағытта нақты өлшемі бар тұтас ортаның фракталдануы қарастырылады. Айрықшалық көзқарас тұрғысында бұл фрактал топологиясы негізіндегі антеннаның радиотолқын тарату бағытының ең үздік сипаттамаларын, антеннаны құрастырып-шешу автоматизациясының қарапайым технологиясын жүзеге асыру байқалады.

Әдебиет көздерін талдау жаңа антенна түрлерін жасап шығару және кіріктіру өзекті екенін, ал аталған мәселені шешу үшін фракталды геометрияны пайдалану перспективті болып келе жатқанын көрсетті, сонымен қатар аталған бағыттағы зерттеулердің тек шетелдік авторлар тарапынан жүзеге асырылып жатқанын атап айту керек.

Аталған жұмыс шеңберінде жасалған зерттеулер антеннаның жаңа буындары және сипаттамаларды бағалаудың жаңа тәсілдері қолданылатын заманауи радиотехника мен телекоммуникацияның перспективті бағыттарымен байланысты.

Жұмыстың мақсаты фракталдардың негізгі заңдылықтарын ескере отырып фракталды антеннаның теориялық моделін жасау және ZhF фракталының негізіндегі диполь антеннаның электродинамикалық, радиотехникалық сипаттамаларын тәжірибелік зерттеу, сондай-ақ оның басқа да фракталды антенналармен салыстыру болып табылады.

Зерттеудің міндеттері:

1. ZhF фракталдық құрылымын математикалық түрде сипаттау.
2. Фракталды құрылымдардың өлшемділігін есепке ала отырып, сымды фракталды диполь антеннаның электродинамикалық параметрлерін және бағытталу қасиеттерін сипаттайтын теорияның модельді құрастыру.
3. Әртүрлі фракталды пішінге ие сымды антенналардың электродинамикалық және радиотехникалық сипаттамаларын тәжірибелік түрде зерттеу, өлшеу және сәйкестендіру.
4. Бірдей параметрлер мен шарттарда фракталды антенналардан қабылданған орташа қуат мәнін және сигналдардағы сигнал/шу қатынасын тәжірибелік түрде анықтау.

Зерттеу нысандары: З.Ж. Жанабаевтің анизотропты фракталы (ZhF), Минковскийдің изотропты фракталы (MF) және Кохтың үшбұрышты фракталы (KF) секілді үшінші предфрактал сонына дейінгі фракталды қисықтар негізіндегі сымды диполь антенналар.

Зерттеу пәні: фракталды геометрия заңдарымен сипатталатын 0,1 - 3,0 ГГц диапазонындағы фракталды антенналардың электродинамикалық, электрлік, бағытталған және жиіліктік қасиеттері; бағытталу диаграммасының негізгі жапырақшасының бағыты мен формаларының ерекшеліктері және олардың теориялық түсініктемелері.

Зерттеу әдістері

1 сымды фракталды антенналардың бағытталуы мен жиіліктік қасиеттерін сипаттайтын теориялық және сандық моделдерін зерттеу;

2 HFSS Ansoft (High Frequency Structural Simulator) программалық пакеті ортасында фракталды антенналардың электрлік және бағытталу қасиеттерін соңғы элемент әдісі арқылы 3D компьютерлік модельдеу;

3 жоғары жиілікті өлшеу аспаптары мен құрылғылардың (спектр анализаторы, АЖЖ генератор, тізбектің векторлық анализаторы және АЖЖ рупор антенна) бағдарлама-аппараттық кешені көмегімен антенналардың негізгі сипаттамаларын эксперименталды түрде анықтау және зерттеу;

4 жоғарыда саналған әдістерден алынған бастапқы мәліметтерді өңдеу, талдау және өзара салыстыру.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер

1 Локальді фракталдық өлшемділігі бар анизотропты ZhF геометриялық фракталы сатылы Хэвисайд функциясы арқылы аналитикалық сипатталады;

2 $n+1$ және n нөмірлі предфракталдары бар сымды антенналардың (ZhF, MF, KF) теориялық және эксперименталдық резонанстық жиіліктері сәйкестігінің ауытқуы 3-5 %-тен аспайды;

3 Сымды фракталдық антенналар енді бағытталу диаграммасы бар тар жолақты болып табылады. ZhF антеннасының бағытталу диаграммасыдағы негізгі жапырақшасының ені MF және KF антенналарына қарағанда 1,5 есе артық

4 Бірдей регулярлы ұзындықтарда, таратушыға дейінгі қашықтықта сигнал қабылдаудың перпендикуляр және параллель орналасу жағдайларындағы ZhF антенна резонансты жиіліктерінде қабылдаған радиотолқын қуаттының орташа мәні MF және KF антенналарымен салыстырғанда 10-15 %-ға артық.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы – алғаш рет

1 антенна құрастыру үшін фракталдың жаңа түрі ZhF ұсынылды және оның барлық предфрактал деңгейін сипаттайтын аналитикалық формуласы қорытылып алынды.

2 сымды фракталдық диполь антенналардың фракталды құрылымының бөлшек өлшемділігінен тәуелді екендігі экспериментті және теориялық түрде көрсетілді.

3 алғашқы екі резонанстық жиілікте сымды фракталады антенналардың бағытталу диаграммаларының көлденең және өстік сәулелену режимдері анықталды.

4 предфрактал нөмірі өсуімен сымды фракталды антенналардың төменгі жиіліктегі ауданға ығысуы, сондай-ақ ығысу барысында қосымша жоғары жиілікті резонанстардың пайда болуы анықталды.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы

Предфрактал элементтері орналасуының жоғары тығыздығына және олардың кіші өлшемдеріне байланысты, сонымен қатар көпдиапазондық, кең жолақтық қасиеттерінен фракталды қисық базасындағы антенналарды

сымсыз байланыс, оның ішінде радиолокация, радионавигация және де кіші, орта өлшемді жерсеріктерге қолдану перспективті. Тікбұрышты элементтері бар фракталдар негізіндегі сымды антенналардың көлденең және өстік радиотолқын шығару режимдері алғаш көрсетіліп, түсіндірілді. Бұл құбылыс бір поляризациялы, бірақ осындай бірнеше антенналары бар қабылдап-таратқыш құрылғылар үшін жаңа бір шешім болуы мүмкін.

Сондай-ақ жұмыстың практикалық маңыздылығы жергілікті фракталдық өлшемділігі (локальная фрактальная размерность) бар ZhF фракталы негізінде ұсынылған жаңа фракталдық антеннаның негізделген тиімділігі мен ықтимал әмбебап қолданылуы болып табылады. Хаусдорф өлшемділігі қалған геометриялық фракталдардың үшін тұрақты екеінін де айта кету керек. Бұл ерекшелік антеннада сәулелендіргіштің әр түрлі ұзындығын ұстауға мүмкіндік береді және автоматты ашу және жинау тұрғысынан дайындаудың технологиялық артықшылықтарын береді.

Сымды фракталды антенналардың құрылған теориялық моделінің нәтижелері одан әрі терең зерттеу үшін қызмет ете алады, өйткені фракталды антенналардың жалпы теориясы қазіргі уақытта әлемде іс жүзінде дамымаған. Бұл модельдің ерекшелігі, мұнда классикалық үлгі, электрмагниттік өрісті және оның электр зарядымен, вакуумдағы токтармен және тұтас орталармен байланысын сипаттайтын Максвелл теңдеулерінің жүйесі есепке алынбайды және қарастырылмайды. Бұл жүйені фракталды құрылымы бар сәуле шығарушыларға қолдануға болмайды, өйткені оларда туынды және интеграл болмайды. Ұсынылған модель фракталды геометрияның негізгі заңдылықтарын ескеруге мүмкіндік береді. Осылайша, осы жұмыста белгіленген теориялық және эксперименттік заңдылықтар антенналық техниканы жетілдіру үшін қолданбалы мәнге ие.

Зерттеу материалдары, сондай-ақ жұмыс барысында қарастырылатын антенналардың сәуле шығару қасиеттерін алу үшін пайдаланылған және жасалған бағдарламалық-аппараттық кешендер, бағдарламалық пакеттер ортасында 3D үлгілеудің негізгі сәттері және алынған нәтижелер одан әрі антенна-фидерлік құрылғылар саласында, мамандар даярлау кезіндегі оқу процестерінде және одан әрі ғылыми зерттеулерде қолданылуы мүмкін.

Зерттеу көздері фракталды геометрия, антенна фидерлік құрылғылар, электр және магнит өрісінің негізгі теориялық ережелері, сондай-ақ пайдаланылған әдебиеттер тізімінде көрсетілген түпнұсқалық ғылыми жұмыстардың нәтижелері болып табылады.

Автордың жеке үлесі-физикалық эксперименттің, сандық талдаудың және компьютерлік есептеулердің, модельдеудің негізгі нәтижелерін ізденушінің өзі алған. Міндеттерді қою және нәтижелерді талқылау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

Нәтижелердің сенімділігі

Жұмыстың ғылыми қорытындыларының шынайылығы эксперименталды нәтижелердің жаңғыртылуымен, компьютерлік үлгілеу деректерінің сәйкестігімен, алынған нәтижелердің мазмұны жағынан жақын жұмыстардан басқа авторлар алған теориялық алғышарттары мен

қорытындыларымен келісуімен, сандық талдаудың сыналған әдістемелерін пайдаланумен расталады.

Жұмыстың апробациясы

Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 15 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде 7 – ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, 1 – рецензияланатын журналда (Journal of engineering sciences and technology (JESTEC)), 5-халықаралық конференцияларда баяндама тезистерінің жинақтарында, оның ішінде 1 шетелдік (6th International Conference on Telecommunications and Remote Sensing. Халықаралық конференция жинағында 1 баяндама (The IEEE 12th International Conference "Application of Information and Communication Technologies".- Алматы, Қазақстан).

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыс ҚР БҒМ ҒК "ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру" іргелі ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес "№3837/ГФ4 аса кең жолақты сымсыз жүйелер үшін көпдиапазонды фракталды антеннаны әзірлеу" тақырыбында, "Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар» басымдығы бойынша жүзеге асырылды, мұнда ізденуші негізгі орындаушы болып табылады.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және үш қосымшадан тұрады. Жұмыс 109 басылымдық тексттен, 97 суретпен безендірілген, 57 формулалар, 8 кестелер келтірілген, 142 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады.