ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Қуантай Ұлмекен Қалижанқызы

«Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна торларын талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

КОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ Кафедра меңгерушісі Е.Таштай atiles 2022 ж. «24» 0)

дипломдық жұмыс

Тақырыбы: «Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна торларын талдау»

5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

Пікір беруші КжПИ каф. меңгерушісі РhD докторы Тұран Университеті <u>_______</u> М. Жасандықызы «<u>24</u>» _____ 2022 ж.

Қ.Ұ.Қуантай

Ғылыми жетекші ЭТжҒТ каф. лекторы, т.ғ.м.,

Каз¥ТЗУ С.Марксұлы «24» 05 2022 ж.

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН Кафедра меңгерушісі <u>Ф. Е. Таштай</u> «<u>2/</u>» <u>X/</u>2021 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға ТАПСЫРМА

Білім алушы Қуантай Улмекен Қалижанқызы

Тақырыбы «Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна торларын талдау»

Университет ректорының «24» желтоқсан 2021 ж. №489-П бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Шағын габаритті антенналық торларға қойылатын талаптары 2) Сәулелендіргіштің электромагниттік толқынының ФАТ конструкциясының элементтерінен әсері; 3) ФАТ-тар бағытының сипаттамасы.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Ка диапазондарының қазіргі таңдағы қолданылуын талдау; б) ФАТтарды қолдана отырып бұрыштық координаттарды анықтаудың ықтимал дәлдігін анықтау; в) Әртүрлі жиіліктерде ФАТ сәулесін орнату дәлдігін MatLab бағдарламасымен талдау.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс): Ұсынылатын негізгі әдебиет 50 атау: 1) Initial Design of a High-Power Ka-Band Klystron, Mostafa Behtouei, Luigi Faillace, Massimo Ferrario, Bruno Spataro, Alessandro Variola 4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop (EAAC2019) Accelerato Physics (physics.acc-ph) https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.04873 2) Spectrum Sharing for 6G Integrated Satellite-Terrestrial Communication Networks Based on NOMA and Cognitive Radio, Li Wang Zhao, Li, Jun Lam, Feng Kwok-Yan Xin Liu, https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.11418 3) Deep Learning for Rain Fade Prediction David Whitefield Ferdowsi, Aidin Communications, in Satellite https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.00695

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

KECTECI

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі | Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі | Ескерту |
|---|--|--------------|
| Диплом жұмысының тақырыбын талдау | 04.01.2022 -01.02.2022 | opungargo |
| Теориялық ақпарат | 01.02.2022 - 01.03.2022 | polyough |
| Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу | 01.03.2022 - 30.05.2022 | opourgaregos |

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

| | - | |
|--------|------|----|
| колтан | бала | ры |

| Бөлімдер атауы | Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы |
|--------------------------------------|---|-------------------------|-------|
| Диплом жұмысының тақырыбын талдау | Марксұлы Сұңғат ЭТжҒТ каф.лекторы, т.ғ.м. | 10.03. 2022 | Aller |
| Теориялық ақпарат | Марксұлы Сұңғат ЭТжҒТ каф.лекторы, т.ғ.м. | 15.04.2022 | M |
| Норма бақылау | Смайлов Нужигит Куралбаевич, ЭТжҒТ каф. қауым.профессоры, PhD | 12.05.2022 | - Off |

Ғылыми жетекшісі

Марксұлы С. Куантай У. Қ.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

Күні «13» желтоқсан 2021 ж.

АҢДАТПА

«Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна торларын талдау» тақырыбында жазылған дипломдық жұмыс үш бөлімнен тұрады. Бірінші бөлімде спутниктік байланыс жолына әдеби шолу жасалынды. Яғни, Ка дипазонының қолданылуы және қазіргі таңдағы қолданылуын талданды. Екінші бөлімде фазалық антенналық торларға сипаттама жасалынды. Фазалық антенналық тордың жиілігі мен ұзындығын есептеп, бағыты сипатталынды. Үшінші бөлімде фазалық антенналық торларды қолданып, пеленгация дәлдігін есептелінді. Яғни, фазалық антенналық торларды қолдана отырып бұрыштық координаттарды анықтаудың ықтимал дәлдігі талданды. Әртүрлі жиіліктерде фазалық антенналық торлардың сәулесін орнату дәлдігі бойынша MatLab бағдарламасымен жобаланды.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа на тему «Анализ малогабаритных фазированных антенн Ка-диапазона» состоит из трех разделов. В первой части был проведен литературный обзор пути спутниковой связи. То есть проанализировано применение дипазона Ка и его современное применение. Во втором разделе составлена характеристика фазовых антенных решеток. Вычисляли частоту и длину фазовой антенной решетки и описывали направление. В третьей части с помощью фазовых антенных решеток рассчитывали точность пеленгации. То есть была проанализирована потенциальная точность определения угловых координат с помощью фазовых антенных решеток. По точности установки пучка фазовых антенных решеток на различных частотах проектировался программой MatLab.

ANNOTATION

The thesis on the topic "Analysis of small-sized phased Ka-band antennas" consists of three sections. In the first part, a literary review of the satellite communication path was conducted. That is, the application of the Ka range and its modern application have been analyzed. In the second section, the characteristics of the phase antenna arrays are compiled. The frequency and length of the phase antenna array were calculated and the direction was described. In the third part, the accuracy of direction finding was calculated using phase antenna arrays. That is, the potential accuracy of determining angular coordinates using phase antenna arrays was analyzed. According to the accuracy of the installation of the beam of phase antenna arrays at various frequencies, the MatLab program was designed.

МАЗМҰНЫ

| Kipic | епе | 9 |
|-------|--|----|
| 1 | Fарыштық спутниктер және қолданылатын диапазондарға шолу | 10 |
| 1.1 | Ка диапазоны. Қолданылу аясы және спутниктік байланыс | |
| | жолындағы қызметі | 10 |
| 1.2 | Ка диапазондарының қазіргі таңдағы қолданылуы | 15 |
| 2 | Фазалық антеналық торлар бағытының сипаттамасы | 21 |
| 2.1 | Фазалық антеналық торлар бойынша жиілік пен толқын | 21 |
| | ұзындықтарын есептеу | |
| 2.2 | Фазалық антеналық торлар бағытының сипаттамаларын модельдеу | 26 |
| | алгоритмі | |
| 3 | Фазалық антеналық торларды қолдану арқылы пеленгация дәлдігі | 28 |
| 3.1 | Фазалық антеналық торларды қолдана отырып бұрыштық | |
| | координаттарды анықтаудың ықтимал дәлдігі | 28 |
| 3.2 | Фазалық антеналық торларды қолдана отырып, пеленгацияның | 41 |
| | нақты дәлдігі | |
| 3.3 | Әртүрлі жиіліктерде фазалық антеналық торлар сәулесін орнату | |
| | дәлдігін MatLab бағдарламасымен талдау | 61 |
| Қорь | ІТЫНДЫ | 71 |
| Пайд | аланылған әдебиеттер тізімі | 72 |
| | | |

КІРІСПЕ

Соңғы уақытта мобильді, жедел өрістетілетін жерүсті қару - жарақ кешендеріне арналған сәулені электрлік сканерлеумен мм-диапазонды фараларды эзірлеу қажеттілігі пайда болды. Мұндай кешендердің құрамында мақсаттарды сүйемелдейтін радиолокациялық станциялар (РЛС) бар, олардың сипаттамалары көбінесе олардың антенна жүйесінің сипаттамасымен анықталады. Мұндай жүйелері (АЖ), кешендердің антенна әдетте, өлшемдері айтарлықтай ерекшеленетін екі антенна торын (АТ) қамтиды. РЛС - дан үлкен қашықтықта (1 км-ден астам) объектіні сүйемелдеу үшін бірнеше жүз толқын ұзындығының ашылу өлшемдері бар фаралар қолданылады, ал бірнеше ондаған толқын ұзындығынан аспайтын кенеп өлшемдері бар аз диафрагмалық фаралар РЛС-тен аз қашықтықта колданылады.

РЛС маңындағы объектіні пеленгациялау дәлдігі шағын көлемді ФАТ объектісін алып жүру дәлдігімен анықталады. Сонымен қатар, кішігірім ФАТ үшін бұрыштардың кең секторында сканерленген кезде сәулені орнатудың дәлдігінде айтарлықтай шектеулер анықталғаны анықталды. Сондықтан, мм диапазонының шағын фараларын қолдана отырып, пеленгтеудің дәлдігін арттыру және осы дәлдікке әсер ететін факторларды, сондай - ақ нақты қол жеткізуге болатын пеленгтеу шекараларын анықтау РЛС-тің қол жетімді (ықтимал) сипаттамаларын анықтайтын өте өзекті міндет болып табылады.

1 **ҒАРЫШТЫҚ СПУТНИКТЕР** ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ДИАПАЗОНДАРҒА ШОЛУ

1.1 Ка диапазоны. Қолданылу аясы және спутниктік байланыс жолындағы қызметі

Ка диапазон дегеніміз- спутниктік радио байланыстары мен радиолокация үшін қолданылатын сантиметрлік және миллиметрлік толқын ұзындығының жиілік диапазоны болып табылады.Сонымен қатар IEEE анықтамасына сәйкес бұл диапазон электромагниттік спектрдің 26,5 – тен 40 ГГц - ке дейін созылады және толқын ұзындығы 1,13 – тен 0,75 см – ге дейін жетеді екен(1).

Ка және К диапазондары қазіргі уақытта негізінен спутниктік байланыстарда көптеп қолданылады. Сонымен қатар спутниктік байланыста бұл диапазон Ка деп аталады – 20/30 ГГц жиіліктерде жұмысын жалғастырады.Ал жер серіктері үшін 18,3 – 18,8 және 19,7 – 20,2 ГГц,27,5 – 31 ГГц осы жиілік жолақтары сақталады(2)(3)(4).

Қазіргі таңда 20/30 ГГц диапазонын қолданатын жүйелер арасында канадалық Anik F2 айтсақ болады, ол 45 белсенді Ка транспондерлері бар және Солтүстік Америкада мультимедиалық және кең жолақты интернет қызметерін ұсынып отыр(5).Еуропа елдерінде кең жолақты Интернетке қол жетімділік осы Ка диапазондарын тиімді пайдалануынан болып отыр(6)(7). Бүгінгі күні біздің мемлекетте іске қосу үшін салынып жатқан және жоспарланған көптеген байланыс жерсеріктерінде Ка-диапазонының болуы көзделуде.

Сондай-ақ Ка диапазондары алғаш рет 4400 SpaceX Starlink спутниктерінде және Британдық Inmarsat I-5, Iridium Next спутниктерінде қолданылады(6).

Ка – диапазоны радиолокацияда қолданылады. Сонымен қатар бұл диапазонның ерекшеліктеріне байланысты (атмосфералық жұтылудың жоғары деңгейі және толқын ұзындығының аздығы) Ка диапазонының радарлары қысқа қашықтықта жұмыс істей алады және жоғары ажыратымдылықты өлшей алады.Бұл радарлар әдетте әуежай,әуе қозғалыстарын басқаруда пайдаланылып өте қысқа (бірнеше наносекундтық ұзақтығы) импультар тізбегі әуе кемесіне дейінгі қашықтықты анықтайды(6)(5). Ал оларға DPS радарларын қарастырсақ болады.

DPS радарлары.Қазіргі полицияның жол радарлары Ка - және Кдиапазондарында жұмыс істейді. Полиция радарларының ең жаңасы болып табылатын Ка диапазонында тасымалдаушы жиілік 34700 МГц және өткізу қабілеті 1300 МГц құрайды(7)(8). Толқын ұзындығының аздығы және энергияның жоғары потенциалы (бірдей мөлшердегі антенналардың пайда болуы тасымалдаушы жиілікке тура пропорционал) Ка диапазонында жұмыс істейтін құрылғыларға кішкентай өлшемдер мен бір жарым шақырымға дейін, барлық қолданылатын диапазондардың ішіндегі ең үлкені мүмкіндік береді.

1.1 Кесте - Келесі кестеде әр түрлі жүйелерге байланысты IEEE классификациясына сәйкес ауқымдар берілген.

| Жиілік диапазондары | | | | | |
|---------------------|--|--------------------------|--|--|--|
| Түрлері | Жиілік диа | Жиілік диапазоны, ГГц | | | |
| Диапазон | Радиолокациялық жиілік диапазоны Спутниктік жиілік | | | | |
| түрлері | | Диапазоны | | | |
| L | 1,0 - | -2,0 | | | |
| S | 2,0-4,0 | | | | |
| С | 4,0-8,0 | 3,4-8,0 | | | |
| Х | 8,0-12,0 | 7,0-10,7 | | | |
| Ku | 12,0-18,0 | 10,7 - 18,0 | | | |
| K | 18,0 - 26,5 | 18,3 - 20,2 ;27,5 - 31,5 | | | |
| Ka | 26,5-40,0 | | | | |

Біз білетіндей каншама ғарыштық спутниктер бар.Сонымен қатар олоардың әрқайсысының мүмкіншілігі әртүрлі болып келеді ол әрине орналасқан орнына және диапазонына байланысты болып келеді.Себебі мұндағы әрбір ғарыштық спутник жеке – жеке орбиталарда орналасқан(5).Мысалы:

Ресейлік «Гонец» спутниктік жүйесі жылжымалы және стационарлы абоненттер арасында кең ауқымды деректерді беру пакетінің дербес жүйесін қаматамасыз етуге арналған. Бұл жүйеде 1400 км (5 9 спутник бойынша 5 жазықтық) биіктікте орбитаны айналып жүретін 45 спутник-ретарнслятор пайдаланылады.Бұл жүйе аз габаритті, тасымалдаушы және жылжымалы аса күрделі қызыметтерді талап етпейді мұнда барлығы автоматты түрде орындалады.Сонымен қатар бұл жүйеде арналарды жиіліктік уақытқа бөліп қарастыруға болады(8)(6)(9)(10).

Станциялардың тағы бір түрі аймақтық станция (AC) – 64 кбит/с жылдамдықта сандық байланыс және басқару жүйесін орындайды. AC 300/400 МГц және 1.5/1.6 ГГц аумағын қамтитын антаналар мен диапазондарды пайдаланады ал салмағы не бәрі 50 кг - ны құрайды. Яғни қамту аймағымен жылдамдығына мән беретін болсақ біздің бұл спутник L диапазонында жұмыс жасайды(8)(10).

Жалпы Ка диапазонының қолданылу аясы өте кең және мүмкіншілігі өте жоғары диапазон болып табылады.Ка диапазоны әлемдегі ең ірі спутниктік жүйелерде пайдаланылуда.Жоғарыда айтылғандай Ка диапазоны Британдық Inmarsat I-5, Iridium Next спутниктерінде қолданылады(12).

Америкалық байланыс жүйесі «Iridium Next» (АҚШ) «әрқайсысы әрқайсысымен» принципі бойынша глобальды дербес байланысты қамтамасыз

етеді. Бұл жүйе келесі байланыс түрлерін ұсынады: дуплексті телефон байланысы, мәліметтерді беру, факс.негізгі қызмет көрсету түрі: өзара немесе дербес терминалмен жабдықталған немесе телефон байланысының ұлттық желісіндегі немесе керісінше абоненттер арасында байланыс; абоненттің мекен-жайын анықтау. Пайдаланушыларға өзімен алып жүретін, жылжымалы (кеңселерге), мобильді (тасымалдау көліктері үшін); әуе және теңіз, пейджер сияқты терминалдарды ұсынады(8)(13).

Гарыштық орналасуы квазиполярлы шеңберде орбита бойымен алты жазықтықта таралған 66 спутниктан тұрады және әрбірінде қосалқы спутник орналасады.Ондағы орбитаның биіктігі 780 км,ал периоды – 100 мин 28 с,спутник салмағы 700 кг-ды құрайды(9)(10). Радиолинияларында 1626,5 МГц диапазонда «спутник-абонент» және «абонент-спутник», 19,4...19,6 ГГц диапазонда «шлюздік станция-спутник»; 23,18...23,38 ГГц диапазонда «спутник-спутник»; командалық және телеметрикалық: 29,1...29,3 ГГц диапазонда «спутник-жер», 19,6 ГГц диапазонда «спутник-жер» жиіліктерінде жүзеге асырылады(12). Орбитальды топтарда әрбір спутник алты антенналы фазаланған 48 сәулелі торларды қалыптастырады. Бұл сәулелердің әрқайсысы Жерде бетінде шамамен 640 км диаметрді жарықтандырады. Нәтижесінде барлық 48 сәуле жер бетінде 4500 км радио көріну аймағын береді. Барлық орбиталы спутниктік топтар жер бетінің барлығын қамтиды(9)(10)(11)(13).

Iridium Next жүйесінде қызмет көрсету аймағының ұялы құрылымы мен көп сәулелі антенналарды пайдаланудың нәтижесінде жұмыс жиілігін көп рет қамтамасыз етуге мүмкіндік береді(3). Осылайша орбитальды топтарда құрылған эрбір 8-ші ұялы құрылым әртүрлі жиілікті пайдаланады. Жиіліктер нәтижесінде 1616...1625,5 МГц жұмыс диапазонындағы жиілік жүйеде 150 реттен көп пайдаланылады. «абонент - спутник» радио желісінің жиіліктік диапазоны 160 кГц тарататын 64 арна мен әрқайсысы 126 кГц жиілік жолағын қамтиды, 64-тен 9 арна бөлінеді(12)(11). «Спутник-абонент» радио желісінің жиіліктік басқаруға диапазоны 350 кГц таратушы 29 арнадан және әрбір арналар жиілік жолағы 280 кГц болады, 64-тен 9 арна басқаруға бөлінеді. Бұл радио желілерде арналарды уақытша бөлуге мүмкіндік бар. 1616...1626,5 МГц жолақта өткізгіштік қабілеті 3835 дуплексті телефонды байланыс арналарын қамтамасыз етеді. Әрбір спутник екі шлюзді станциялар жабдықталған.

Globalstar жүйесі мен басқа да танымал телекоммуникациялық жабдықтар индустриясы өкілдерін Qualcomm мен Loral корпорациялары жасаған(7)(12).

Globalstar жүйесі абоненттерге келесі қызмет түрлерін ұсынады. Сөйлемді беру үшін 1,2-ден 9,6 кбит/с-қа дейін жылдамдықпен берілетін айнымалы немесе сызықты болжам жасайтын вокодер қолданылады. Мәліметтер 2,4-тен 9,6кбит/с жылдамдықпен беріледі. «Глобалстар» кеңейтілген (рұқсат беру қабілеті жоғары және қателерді түзететін), дербес шақыру мен тұрған жерін анықтайтын мүмкіндіктері бар факсимильді хабарламаларды беруге мүмкіндік жасайды(15)(11). "Глобалстар" жүйесі құрылымы жағынан: ғарыштық, жер мен пайдаланушыға арналған үш негізгі сегментке бөлінген. Ғарыштық сегмент 48 негізгі және 8 қосалқы спутниктерден тұрады. Орбитаның биіктігі 1414 км. Әрқайсысында 6 КАдан 8 орбитальды жазықтықтардаорналасқан спутниктер экваторға 520 көлбеулікпен шеңберлі орбитаға шығарылады. Айналу периоды 114 минутқа тең. Көршілес орбитальды жазықтықтардағы спутниктер арасындағы ығысу фазасы 7.50 -ты құрайды(8)(13)(11)(7).

1.2 Кесте - Иридиум және Глобалстар жүйелерінде пайдаланушы терминалдарының салыстырмалы сипаттамалары.

| | | Iridium Nex | xt | Globalstar | | |
|--|------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Көрсеткіш | Кеңселік бі режимді | Екі режимд портативті | Бір режимді портативті | Екі режимді Globalst ar/GSM | Yш режимд Globalst ar/AMPS/ CDMA | Екі режимді Globalst ar/GSM |
| Өндіруші компания | Motorola (CIIIA) | Motorola (CIIIA) | Kyocera (Япония) | Ericsson (Швения) | Qualcomm (CIIIA) | Telital (Италия) |
| Өлшемі, мм | 240x200x64 | 260x260x57 | 570x146x480 | 160x160x37 | 178x57x44 | 220x65x45 |
| Салмағы, г | 1500 | 454 | 380 | 350 | 357 | 350 |
| Максималды сәулелену қуаты, мВт | 500 | 570 | 640 | 400 | 400 | 400 |
| Күту режиміндегі үзіліссіз уақыт, сағ. | 80 | 16 | 24 | 5 (Globalst ar),36 (GSM | 5 (Globalstar) 7 (AMPS), 2 (CDMA) | 36 (Globalst ar),36 (GSM) |
| Сөйлесу режимінде үзіліссіз уақыт, сағ. | 8 | 2 | 1,67 | 1 (Globalst ar),2 (GSM) | 1 (Globalstar) 1 (AMPS), 3 (CDMA) | 1 (Globalstar),2 (GSM) |
| Жиілік диапазоны, МГц | 1616-1626,5 | 1616-1625,6 | 1616-1625,6 | 1 248 | 610-1625,6 (б 33,5-2500 (қаб | еру) ылдау) |
| Қоректендіру кернеуі, В | Желілік адаптер | 15 | 10-32 | 7,5 | 7,5 | 7,5 |

Ретранслятордың бір спутникке жалпы өткізу қабілеті – 2400 эквивалентті телефон арналарына тең. Әрбір спутниктің салмағы – 450 кг, күн батареясының максималды қуаты – 1100 Вт. Белсенді қызмет атқарудың жоспарланған мерзімі – 7,5 жыл. Жерде басқару желісінің құрамына жердегі желіні басқару орталығы (ЖЖБО) мен орбитальды топтарды бақылау және басқару орталығы (ОТББО)

кірелі(8)(11). Екі қосалқы жүйе де жердегі түйіндесу станциялары қосылған, олар өзара "Globalstar Data Network" желісінің көмегімен байланысқан. ОТББ орталығы командалы-телеметрикалық станциялармен бірігіп орбиталрды басқарады, телеметрикалық ақпараттарды өңдейді және командалар жасайды. ОТББО-ның міндетіне графиканы жоспарлау, желілік ресурстарды бөлу мен бекіту, жүйенің жұмыс істеуін қадағалау кіреді. ОТББО-ға параметрлерді бақылау мен бөлінген спутниктік ресурстарда түйіндесу станцияларына қолдау көрсету жүктелген. Түйіндесу станциялары арқылы абоненттермен байланыс жүзеге асырлады. Жер бетінің негізгі аймағын жабу үшін 150-210 станция, оның 9-ын Ресейде салу керек(б).

Диаметрі 5,5 м кернеу станциясының параболалық антеннасының күшейту коэффициенті 42,4дБ-ге тең. Станцияның номинальды эквивалентті изотроптысәуле таратушы қуатын есептеуде бір арна 40,3 дБВт құрайды. Қабылдау құрылғысының шулы температурасы 190 К-ден аспайды(5). Пайдаланушы сегменті терминалдың негізгі үш түрін: портативті, мобильді және стацинарлы қамтиды. Стационарлы терминалдар тек "Глобалстар" жүйесімен ғана жұмыс жасауға арналған. Портативті және мобильді түрлері GSM, CDMA, AMPS және PCS стандарттардың бірінде ұялы байланыс жасай алады байланыс сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді(6). Осылайша мұндағы спутниктік жүйелер құрылымдық жағынан және атқаратын қызыметі жағынанда салыстырмалы түрде қарауға мүмкінді береді.

Осылай салыстырмалы түрде қарастырсақ артық болмас.Себебі әрбір спутник өзіндік аймақты қамтиды және әртүрлі жылдамдықта хабар таратады.Ка диапазонының мүмкіншіліктері күн өткен сайын қарқынды түрде дамуда.Соңғы. жылдары КА диапазоны Ресейлік Глонасс спутниктарында да қолданылуда(8)(9)(10)(11).

1.2 Ка диапазондарының қазіргі таңдағы қолданылуы

Ка-диапазондағы линеаризаторының криогендік құрылымы ондағы радиожиілікті азайту үшін, сынуды жеңілдету үшін қазіргі уақытта көптеп қолданылуда,әсіресе х-диапазонды және S-диапазонды құрылғыларды сынауда.Осы тәжірибелерге сәйкес радиожиіліктің масштабын анық тексеруге және теориямен аномальды скин-әсерді (ASE) (9),500 мВ/м-ден астам жер үсті өрістеріне қол жеткізуге мүмкіндік берді(10).Шашырау әсерлерінің артықшылығы жоғары жиілікте біршама төмендейді, бірақ әлі де қалады Ка диапазонына дейін, жұмыс жиілігі жоғары градиенті бар ықшам сызғыш үшін ұсынылады. Бұл компонент Мари сияқты қосымшалар үшін өте маңызды XFEL (38), CompactLight FEL, ультра ықшам XFEL Калифорния университетінде, Лос-Анджелесте (9). CompactLight демеушілігімен 36 ГГц ықшам жиілікте 15 МВт клистрон клистронын дамыту бастамасы осы жиілік диапазонындағы жоғары градиентті криогендік сызғыш қазір бұл қол жетімді болып көрінеді (39).

Ка-диапазонды радиожиілікті қоректендіру көзі он жылдан астам уақыт бұрын 35 ГГц инновациялық радиожиілік қуат көзі болып көрсетіліп келеді.[5] ол 17 МВт радиожиіліктің ең жоғары шығысын қамтамасыз еттіп импульс ұзақтығын 1,5 с-қа дейін және қайталану жиілігі 5 Гц-ке дейін болған кезде 47 дБ күшейту коэффициентін көрсетеді.

Жалпы Ка диапазоны бойынша көптеген зерттеу жұмыстары жасалынған, сонымен қатар диапазон құрамында ескі магниконды қайта жобалау бойынша оның шығу қуаты мен қайталану жиілігін жақсарту үшін, кем дегенде, 100 Гц дейін қамтылуы қажет екендігін ескере кетсек болады(9)(11).Ка диапазоны салыстырмалы түрде төмен радиожиілік қуатымен жұмыс істеуге мүмкіндік береді 5 МВт, 2-кестеде көрсетілгендей, біз негізгі элементтерді тізімдейміз өнеркәсіптік және медициналық қолдану үшін 35 ГГц linac параметрлері қолданылады.

| Негізгі радиожиілік параметрлері | Мәні |
|----------------------------------|---------------|
| Жиілігі | 35,982 |
| Жеделдету градиенті | 80 MB/M |
| Линак ұзындығы | 12,5 см |
| Ең жоғары радиожиілік қуаты | 5 MBt |
| Импульстің ұзақтығы | 1,5 с дейін |
| Қайталау жиілігі | 100 Гц дейін |
| Жұмыс циклі | 1,5*10-4 |
| Шығу энергиясы | 10 МэВ дейін |
| Сәуленің шығу орташа тогы | 10-ға дейін А |

| 1 0 10 | T • | T7 | • • | • |
|--|------------|---|-----|-----------------|
| | 11000 | | | * * * * * * * * |
| Γ Λ K P C^{+} P $=$ | 1 11121 | \mathbf{N} $\mathbf{A} = \mathbf{A} \mathbf{V} \mathbf{K}$ \mathbf{K} \mathbf{M} \mathbf{K} \mathbf{M} \mathbf{K} | | \mathbf{V} |
| | Linac | $\mathbf{I} \mathbf{X} \mathbf{u} \mathbf{u} \mathbf{v} \mathbf{N} \mathbf{D} \mathbf{W} \mathbf{D} \mathbf{U} \mathbf{U}$ | | v mmini. |
| | | | | |

Орташа радиожиіліктің кіріс ең жоғары қуатының болуы радиожиілік қуаты 5 МВт қайталану жиілігі 10-нан 100 Гц, теориялық тұрғыдан орташа сәуленің тогын алуға мүмкіндік береді. Айта кету керек, импульстардың ұзақтығы шамамен 1 с құрайды.Шынында да, мұндай импульстік ұзындықтар үдеткішпен үйлесімді градиент 80 МВ / М, өйткені бұзылу жылдамдығын бағалау (BDR), бұл сәтсіздіктің негізгі себебі болып табылады үдеткіш құрылым қауіпсіздік шегінен төмен болады(9)

Ка диапазондары бойынша ондағы спутниктік радио байланыстары мен радиолокация үшін қолданылатын сантиметрлік және миллиметрлік толқын ұзындықтарындағы қызыметіне тоқталсақ.Сонымен қатар радиолокациялық эсерлерін, математикалық модельдерін және схематехникалық моделдерін зерттеген авторларға шолу жасақ.

<u>V. Y. Lo</u> Ағылшын ғалымы (TDA Progress Report 42-124, February 15, 1996) 1996 жылы 15-ші ақпанда - Ка-диапазондағы моно-импульсті антенналарды талдау және модельдеу тақырыбында зерттеу қалдырған болатын. Сол зерттеулерге байланысты төмендегі мәліметтерді атап өтсек болады.Онда біз NASA терең ғарыштық желісіндегі Ка диапазондарының қызыметімен танысатын боламыз(14).

NASA терең ғарыш желісі (DSN) S-диапазонындағы (2,3 ГГц) және Хдиапазондағы ғарыш аппараттарымен байланыс үшін 70 метрлік және 34 метрлік шағылысатын Антенналарды пайдаланады.Телекоммуникация сапасын жақсарту және сәйкестендіру талаптарына сәйкес, JPL Ka (32 ГГц) диапазонында 34 метрлік толқындық антенналарды дамытуға болады. Қазіргі уақытта антеннаны бағыттау не жұмыс істейді яғни ол навигациялық болжамдарды пайдалана отырып, ашық контурдың режимінде немесе жабық контурдың режимінде конустық сканерлеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді(14).Бұл S және X диапазондарында қолайлы, бірақ Ка диапазонында жеткіліксіз. Ка диапазонындағы сәуленің тар еніне байланысты маңызды дәлдікті едәуір арттыруды қажет етеді. Моно импульсті антеннаны бақылау мақсатында Ка диапазонында схемалар қарастырылған.Моно импульсті бақылаудың басқа артықшылықтары төмен сезімталдықты қамтиды сонымен қатар сигнал амплитудасының ауытқуларына, сондай-ақ жинауға және өңдеуге арналған бір импульсті қадағалауға мұмкіндік береді(14).

КА диапазоны түрлендіруге мүмкіндік бере отырып, сигналды өңдеуді жүзеге асырады. Фазалық Автоматты жиіліктің тізбегі тасымалдаушы фазасын қалпына келтіреді. Ол қолданылады биіктік айырмашылығы мен азимуттардың арналарын когерентті демодуляциялау үшін фазалық байланыстыру ретінде. Жиынтық және негізгі өткізу жолағының айырмашылығы игналдары төменгі жиіліктер бойынша анықталады, содан кейін моно-импульсті сигналмен өңделеді, оның негізінде биіктік пен азимутты анықтау қателері бағаланады. Қате сигналдарды басқару үшін қолданылады,бағыттауды түзетуге арналған антеннаның серво-контроллері болып табылады(14).



1.1 Сурет - Азимуталь тұйық контуры бойынша бағыттау қатесінің стандартты ауытқуы

Бұл мақалада Моно импульсті антеннаны бағыттау жүйесінің моделін ұсыну барысында Ка диапазондарын пайдалана отырып бағыттау жүйелерін анықтауға мүмкіндік аламыз.SPW модельдеу жүйесінің осы моделі моно импульсті антенна блогы болып қолданылады.Модельдеу көмегімен шу болған кезде ашық және жабық тізбектегі реакциялар зерттеледі. Бағыттау өнімділігі бағаланады жел жүктемесіне байланысты өтпелі байланыс желісіндегі SNR (жүйенің жоғалуы) нашарлау тұрғысы анықталады.Бұл модельдеу нәтижелері DSN-ді жобалауға, енгізуге және бағалауға мүмкіндік береді.Ка-диапазондағы моно-импульсті бағыттау жүйесі көмегімен ондағы ауытқуларды және қателіктерді анықтауға болады.(14)

<u>B. Spataro, M. Behtouei, L. Faillace, A. Variola, V.A. Dolgashev, J. Rosenzweig</u>, <u>G. Torrisi, and M. Migliorati</u> - Лос-Анджелестегі Калифорния университетінің профессорлары (17 ақпан 2021 жыл). Еркін электрондардағы ультра ықшам рентген лазеріне арналған Ка диапазонды ультра ықшам сызғыш тақырыбында мақала жазып шықты.

Бұл зерттеуде криогендік температурада жұмыс істейтін күшейткіш құрылымның алғашқы қолданылуы зерттелді. Мұнда ультра жоғары жарықтылықтың криогендік радиожиілікті фотоинжекторының бастапқы мәнін әзірлеу орындалады. Жүйенің төмен шығындарының жоғары тиімділігі 60%-дан асатын RF сәулелену қуатын түрлендіруді іске асырды және бұл машина UC-Xfel, Лос-Анджелестегі Калифорния университетінде салынды.Ол өз кезегінде сәуленің энергиясын қамтамасыз етуге қабілетті.Сонымен қатар криогенді қысқа С-жолақты linac 300 МэВ сәулелену коэффициенті 0,2 мм-мрад болып табылды.

Лос-Анджелесте олар электрлік градиенті жоғары бөлшектердің күшейуіне жауап беретін радиожиілік құрылымдарын модельдеуге, дамытуға және сынауға

көмектесті.Металл құрылғы арқылы өрістерді азайтуды және қараңғы уақытта ток жүргізуге мүмкіндік берді.Атап айтқанда, жаңа өндіріс технологиялары зерттеулерден өтіп 100-ден асатын максималды тұрақты градиенттерді анықтау үшін қатты мыс конструкциялары MB / м және радиожиіліктің бұзылу ықтималдығын өте төмен болатыны анықталды(8).

Жоғары жиілікті күшейткіш құрылымдарды пайдалану артықшылықтары: кішірек өлшем, жоғары шунт кедергісі, жоғары сынудың шекті деңгейі және қысқа толтыру уақыты. Ка-диапазонының күшейткіш құрылымдарындағы технологиялар , жоғары қуат көздері мен модуляторлардан тұрады.Нәтижесінде Лос-Анджелестегі Калифорния университеті фазалық кеңістікті сызықтық ету үшін SW Ка диапазонының күшейткіш құрылымын ойлап тапты(15).

<u>Саtania, Italy V.A. Dolgashev B. Spataro, A. Variola</u> - (2019 жыл) Қазіргі уақытта сызықтық күшейткіштер(linacs) көптеген салаларда, көптеген қосымшалар үшін қолданылуда(1). Тікелей электронды сәулелер де, мақсатты түрлендіруден алынған рентген сәулелері де қолданылады. Өте жарқын және жоғары энергия алу үшін зерттеулерде (>ГэВ) сызықтық коллайдерлерге арналған электронды сәулелер, сондай-ақ Медициналық салада ФЕЛс, Комптон көздері және т. б. орташа энергия (4-25 МэВ) және төмен орташа ток (10 – 1 мкА) электрондар мен рентген сәулелері (1 м с кезінде 200-500 сГр/мин 107-8 Фотон/с/мм2 диапазонындағы ағынмен) қатерлі ісікті бейнелеу және емдеу үшін (сәулелік терапия), сондай-ақ радиоизотоптар алу үшін қолданылады (электрондардың энергиясы ондаған МэВ және орташа ток бірнеше мА дейін).

Негізінен S диапазонында (3 ГГц) немесе X диапазонында жұмыс істейді (9 ГГц). S-ауқымының құрылымын қолданатын күшейткіштің көпшілігі өте қиын болуы мүмкін және бұл жұмыс үлкен роботты жүйелерді қажет етеді.Ал маңызды проблема болып табылады.Мұндағы қысқа сызықты күшейткіш құрылымды ka диапазонында ұсынамыз (35 ГГц) ультра жоғары градиенттерге жетуге қабілетті күшейткіш градиенттер (150 мВ / м дейін), демек, ультра ықшам жағдайда жоғары сәуле энергиясын алуға мүмкіндік береді.

Басып шығару (мысалы, S-диапазон құрылғыларынан он есе аз және Xдиапазон құрылғыларынан үш есе қысқа). Ұсынылатын Ка диапазонының күшейткіші мыналарға байланысты жұмыс істей алады.

Нақты қолдану, не тұрақты толқын режимінде (SW), не толқын режимі (TW).Күшейткіш(linac) әдетте үдеу режимінде жұмыс істейді. Бастапқыда linac Ка диапазоны жоғары деп саналды электрондық сәулені сызуға арналған linac гармоникасы кейінірек талқыланған.

<u>Paul A. Hwang</u> - Жел толқындарының спектрі көптеген модельдерді желдің жылдамдығы және толқын ұзындықтарын анықтауға мүмкіндік береді.Сондықтан қысқа толқынды қашықтық - мұхитты ғарыштан зондтау(бақылау), мұхит бетінің кедір-бұдыры(толқындары) туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді. Спутниктік

платформалар ғаламдық өзгерістерді анықтауды қамтамасыз етеді, қоршаған орта жағдайларын кең ауқымды түрде зерттейді. Бұл мақалада RMS туралы мәліметтер келтірілген жұмыс істейтін ғарыштық микротолқынды алтиметрлер мен рефлектометрлер алған төменгі жиіліктердің қисаюы (LPMSS), L, Ku және Ka диапазондарында (шамамен 1,6, 14 және 36 ГГц) болғанда анықталады. LPMS деректері спектрлік мұхит бетінің жоғарғы толқындық ұзындықтары 11, 95 және 250 рад/м болатын толқындардан тұрады және желдің максималды жылдамдығы сәйкесінше 80, 29 және 25 м/с құрайды. Осы мақалада келтірілген талдау толқындық сандар ауқымының екі ретті екенін көрсетеді яғни (0,3-тен 30 рад/м-ге дейін), спектрлік компоненттер өлшемсіз байланыстыратын қуат функциясын орындайды, желдің үйкеліс жылдамдығы мен толқынның фазалық жылдамдығы арасындағы спектр және қатынасты анықтауға мүмкіндік туындатады. Қуат функциясының көрсеткіші 0,38-ге тең, бұл әлдеқайда аз тепе-теңдік спектр болып табылады.



1.2 Сурет– L (1,6 ГГц), C (6 ГГц), X (10 ГГц), Ku (14 ГГц) үшін lpmss жел жылдамдығына тәуелділігі

L-диапазоны үшін H18 спектріне негізделген және Ка (36 ГГц) диапазондары G18 нәтижесі де көрсетілген.

<u>Aidin Ferdowsi and David Whitefield</u> – Тікелей көрінудің спутниктік жүйелері, ұшқышсыз ұшу аппараттары, биік платформалар және жұмыс істейтін қысқа толқынды байланыс желілері Ка диапазоны немесе одан жоғары жиілік диапазонында өте жоғары жаңбырға сезімтал болып келеді. Осылайша, осы жүйелер үшін жаңбырдың түсуін болжау бұл өте маңызды, өйткені ол жүйеге жер үсті арасында белсенді ауысуға мүмкіндік береді оларды қамтамасыз ету үшін жаңбыр жауғанға дейін алдын ала есептеулер жүргізуді талап етеді.Бұл мақалада терең болашақты болжайтын оқыту негізіндегі сәулет (DL) ұсынылған сондай-ақ спутниктік және радиолокациялық суреттердің деректерін пайдалана отырып, жаңбырдың өшуі арна қуатын өлшей аламыз. Сонымен қатар, деректерді алдын-ала өңдеу және сәулет дизайны, және көптеген тәжірибелер жүргізуге болады. Тәжірибелер мынаны көрсетеді берілген DL архитектурасы қазіргі заманға сай жаңбырдың түсуін алдын ала болжауға және машиналық оқытуға негізделген алгоритмдер ең жақын және ұзақ мерзімді уақыттарды бақылайды.

Бұл мақалада біз DL негізіндегі архитектураны ұсындық ka диапазонында немесе одан жоғары жиіліктерде (Q-диапазоны және V-диапазоны) жұмыс істейтін әуе байланыс жүйелерінде жаңбырдың түсуін болжау, спутниктік жүйелер, ұшқышсыз ұшу аппараттары немесе HAPS қарастырылған.

<u>Nicolas Garcia, Jonathan Chisum</u> - Мұнда_миллиметрлік диапазондағы кең жолақты линза антенналарын жылдам іске асыру қарастырылған.Кең жолақты импедансты сәйкестендіру секциялары бар элементар ұяшықтар фазаның кідірістері және оның жинақталуы әр ұяшықтың кедергісін үйлестіру,құлау жиілігі мен бұрышы сипатталады.Осылайша Grin демонстрациялық линза антеннасы жобаланған ол алыс және жақын өрістердің параметрлерін анықтайды. Антенна 14тен 40 ГГц-ке дейінгі диапазонда мақсаты бойынша жұмыс істейді, Сондықтан барлығы 5G MMW диапазондары арқылы және Кu - және Ka-диапазондарындағы тіркелген жерсеріктік спутниктер үшін қолайлы жағдай қалыптастырады.Ал ішкі пайдалану үшін диафрагманың тиімділігін 31% - дан 72% - ға дейін арттырды өткізу қабілеті 2,9:1, бұл диафрагманың ең жоғары тиімділігі болып табылады.

Алайда бұл линзалардың істен шығуынан көптеген шығындар туындау мүмкін.

2 ФАЗАЛЫҚ АНТЕНАЛЫҚ ТОРЛАР БАҒЫТЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ

2.1 Фазалық антеналық торлар бойынша жиілік пен толқын ұзындықтарын есептеу

Фазаланған антенналық тор (ФАТ) - сәулелену бағытын және бағыттау диаграммасын электронды түрде басқаруға және сәулеленетін элементтердегі токтардың немесе қоздыру өрістерінің амплитудалық-фазалық таралуының өзгеруімен реттелетін антенналық тор[1].Сонымен қатар механикалық басқаруға қарағанда аз күтімді қажет етеді.

Бұл антеннаның жұмыс принципі кедергілерден туындайтын әсерлерге негізделген, яғни екі немесе бірнеше сәулелену көздерінің фазалық тәуелділігінің суперпозициясы болып табылады.



2.1 Сурет - Сол жақта фазамен қоректенетін екі антенна элементі, оң жақта фазадан тыс қоректенетін екі антенна элементі

Сонымен, егер екеуі бір фазалық ығысуда сигнал шығарса, суперпозицияға қол жеткізіледі – сигнал негізгі бағытта күшейтіліп, екінші бағытта әлсірейді.Мұнда екі радиатор да бірдей фазамен қоректеніп тұр.Сол себептен сигнал негізгі бағытта күшейтіледі.

Фазалық ауысулардың өзгеру әдісіне сәйкес фаралар ажыратылады:

- электромеханикалық сканерлеумен, қоздырғыш радиотолқынның геометриялық пішінін өзгерту көмегімен жүзеге асырылады;

- фазалық ығысулардың жиілікке тәуелділігін пайдалануға негізделген жиілікті сканерлеумен, фидердің ұзындығына немесе радио толқынындағы толқындардың дисперсиясына байланысты;

- фазалық өзгерулердің бірқалыпты (үздіксіз) немесе сатылы (дискретті) ауысуы бар электр сигналдарымен басқарылатын фазалық жылжитын тізбектердің немесе фазалық ауысқыштардың көмегімен жүзеге асатын электрлік сканерлеумен;

талшықты Брагг торын қолдану негізінде сканерлеу;

Сызықты антенна.



2.2Сурет - Сызықты антенна.25 изотропы 2,4 ГГц жиілікті

Бір-біріне бірдей қашықтықта оргаласқан бірдей бағытта орналасқан фазалық сызықты антена торларын осы формаламен есептайміз.

$$F(\theta) = F_1(\theta) \frac{\sin\left[\frac{nkd}{2}(\sin\theta - \sin\theta_M)\right]}{n\,\sin\left[\frac{kd}{2}(\sin\theta - \sin\theta_M)\right]}$$
(2.1)

мұндағы:

θ – бұрыштар диапазон(азимут) скенерлеуді орындайды

 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – толқын саны

 λ – толқын ұзындығы

- $d = \frac{\lambda}{2}$ антеналық тордың қадамы
- $F_1(\theta)$ антеналық тордың бағыттық диагарммасы
- θ_M максимум бағыт

Тік бұрышты антенна. Сәулелерді жұп өзара перпендикуляр жазықтықта орналастыру және оны басқаруды модельдеу үшін кеңістіктің белгілі бір секторында мына формуланы қолдануға болады.



2.3 Сурет - Тік бұрышты антенна 2,4 ГГц жиілікте

$$F(\theta_x, \theta_y) = F_1(\theta_x, \theta_y) \frac{\sin\left[\frac{n_x k d_x}{2} (\sin \theta_x - \sin \theta_{Mx})\right]}{n \sin\left[\frac{k d_x}{2} (\sin \theta_x - \sin \theta_{Mx})\right]} \frac{\sin\left[\frac{n_y k d_y}{2} (\sin \theta_y - \sin \theta_{My})\right]}{n \sin\left[\frac{k d_y}{2} (\sin \theta_y - \sin \theta_{My})\right]} \quad (2.2)$$

 θ_x және θ_y - бұрыштық диапазон (азимут және элевация) θ_{Mx} және θ_{My} – максимум бағыт (азимут және элевация)

Тік бұрышты антенна торында сигнал кезекпен беріледі.Осылайша фазаның қуатының бір бөлігін құрылымдық жағынан бірдей айналып өту арқылы N · 360°Ста айналып шығады.Алынған сәуле антеннаның жазықтығына перпендикуляр болады.Егер таратқыштың жиілігі бірнеше пайызға өсетін болса ондағы айналма жолдардың ұзындығында қателік пайда болады.

$$x = d * \sin \theta_s \tag{2.3}$$

d - сәуле шығаратын элементтер арасындығы қашықтық , θ_s - сәулені басқару бұрышы. $\Delta \varphi$ —фазалық ығысу

$$\frac{360^{\circ}}{\Delta\varphi} = \frac{\lambda}{x} \tag{2.4}$$

Осыларды біріктіру арқылы

$$\Delta \varphi = \frac{360^{\circ} * d * \sin \theta_s}{\lambda} \tag{2.5}$$

Берілгені: $\lambda = 15$ см, d = 10см, $\theta_s = 45^{\circ}, \varphi_8$

$$\Delta \varphi = \frac{360^{\circ} * 10 * \sin 45^{\circ}}{15} = 2,9$$

$$\varphi_8 = 7 * 2,96 = 20,72$$

Келесі

$$\varphi = \varphi_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta} \frac{\sin\left(\frac{N}{2}kd\sin\theta\right)}{\sin\left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right)}$$
(2.6)

N – дифракция,*d* – интервал

$$\varphi = \varphi_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta} \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\sin\theta + \phi\right)\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta + \frac{\phi}{2}\right)}$$
(2.7)

Шашырау әсерін табу формуласы

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\sin\theta + \phi\right)\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta + \frac{\phi}{2}\right)} \right)^2$$
(2.8)

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda}Nd\sin\theta + \frac{N}{2}\phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta + \frac{\phi}{2}\right)} \right)^2$$
(2.9)

Келесі формула қашықтықты есептеу үшін қолданылады.сол себептен оған $d = \frac{\lambda}{4}$ - толқын ұзындығының кез-келген скалярлық үлесін анықтауға мүмкіндік береді.



2.4 Сурет - Полярлық координатадағы фазаланған антенна торының бағыттық диаграммасы

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda}N\sin\theta + \frac{N}{2}\phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda}\sin\theta + \frac{\phi}{2}\right)} \right)^2$$
(2.10)

Максимум мәнін анықтау үшін $\frac{\pi}{2}$ пайдаланамыз.

$$\frac{\pi}{4}N\sin\theta + \frac{N}{2}\phi = \frac{\pi}{2}$$
(2.11)

$$\sin\theta = \left(\frac{\pi}{2} - \frac{N}{2}\phi\right)\frac{4}{N\pi} \tag{2.12}$$

$$\sin\theta = \frac{2}{N} - \frac{2\phi}{\pi} \tag{2.13}$$

Бұрыштың максималды энергиясын табу формуласы $\phi = -\frac{\pi}{2}$ пайдалану арқылы табамыз.

$$\theta = \sin^{-1}1 = \frac{\pi}{2} = 90^{\circ} \tag{2.13.2}$$

Осылайша егер біз максималды энергия шығындарының бұрышындағы қателіктерді түзету үшін тек антенналар арасындағы фазалық ығысуды реттеуіміз керек екенін көрдік. Яғни фазалық ығысудың максималды мәнін пайдаланамыз.

2.2 Фазалық антеналық торлар бағытының сипаттамаларын модельдеу алгоритмі

Біз схемасы 2.5, а - суретте көрсетілген өтпелі типтегі ФАТ-тардың бағдарлау сипаттамаларын модельдеу үшін негізгі қатынастарды аламыз.



2.5 Сурет - Зерттелетін АЖ геометриясы

Сәулелендіргіш ретінде $E_1^E E_2^E$, E_3^E , E_4^E электр өрісінің құрамдастары бар H_{10} толқындары және $E_1^H E_2^H$, E_3^H , E_4^H электр өрісінің құрамдастары бар H_{01} толқындары қозатын төрт ашық квадрат толқынжолдардың АТ пайдаланылады деп болжанады ,олардың бағыты сәулелендіргіштің ашылуында 2.5.б - суретте көрсетілген. Осы компоненттердің амплитудасы мен фазалары сәйкесінше a_{11} , a_{21} , a_{31} , a_{41} , a_{12} , a_{22} , a_{32} , a_{42} қозу коэффициенттеріне байланысты және эмитенттердің саңылауларында дөңгелек поляризацияны алу талабынан таңдалады.

Көптеген эмитенттерден тұратын сәулелендіргіштерді, мысалы, 12 элементті, осы жерде қарастырылған 4 элементке ұқсас талдауға болады.

Радиус сферасының бетіндегі төрт элементті сәулелендіргіштің өрісі r = h, мұндағы h-ФАТ-ардың фокустық ұзындығы, белгілі бір тұрақты C1 = 1 дәлдігімен келесідей жазылады:

$$\begin{split} \overline{E}_{0\delta\pi}(\theta-\varphi) &= c_1 \left\{ \left[a_{11}\sqrt{G_{11}f_{11}}(\theta_1,\varphi_1) + a_{12}\sqrt{G_{12}f_{12}}(\theta_1,\varphi_1) \right] e^{i\frac{2\pi}{\lambda}(d_{x1}cos\varphi+d_{y1}sin\varphi)sin\theta} + \left[a_{21}\sqrt{G_{21}f_{21}}(\theta_2,\varphi_2) + a_{22}\sqrt{G_{22}f_{22}}(\theta_2,\varphi_2) \right] e^{i\frac{2\pi}{\lambda}(d_{x2}cos\varphi+d_{y2}sin\varphi)sin\theta} + \left[a_{31}\sqrt{G_{31}f_{31}}(\theta_3,\varphi_3) + a_{32}\sqrt{G_{32}f_{32}}(\theta_3,\varphi_3) \right] e^{i\frac{2\pi}{\lambda}(d_{x3}cos\varphi+d_{y3}sin\varphi)sin\theta} + \left[a_{41}\sqrt{G_{41}f_{41}}(\theta_4,\varphi_{44}) + a_{42}\sqrt{G_{42}f_{42}}(\theta_4,\varphi_4) \right] e^{i\frac{2\pi}{\lambda}(d_{x4}cos\varphi+d_{y4}sin\varphi)sin\theta} \\ &= c_1 \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^2 a_{kl}\sqrt{G_{kl}f_{kl}}(\theta_k,\varphi_k) e^{i\frac{2\pi}{\lambda}(d_{xk}cos\varphi+d_{yk}sin\varphi)sin\theta} \end{split}$$

мұндағы a_{k1} - k-м толқын өткізгіштегі H_{10} типті толқынның қозу коэффициенті; a_{k2} - k-м толқын өткізгіштегі H_{01} типті толқынның қозу коэффициенті; $\overline{f_{k1}}(\theta_k, \varphi_k), \overline{f_{k2}}(\theta_k, \varphi_k)$ – k-ші толқын өткізгіштің нормаланған БД векторлық кешені, сәйкесінше H_{10} және H_{01} толқындарымен түзілген; (θ_k, φ_k) – k-ші толқын өткізгіштің фазалық центрінен өлшенетін ФАТ апертурасының ішкі бетіндегі ерікті нүктеге (x, y) бағыттағы бұрыштар; (θ, φ) - бірдей бұрыштар бастауға қатысты нүкте; G_{k1}, G_{k2} саңылаудан Γ_{k1} және Γ_{k2} шағылу коэффициенттерін ескере отырып анықталатын, сәйкесінше H_{10} және H_{01} типті толқынмен қоздырылған k-ші толқын өткізгіштің фазалық центрінің координаталары (фазалық орталық толқын өткізгіштің семетриялық центрінің координаталары (фазалық орталық толқын өткізгіштің геометриялық центрімен сәйкес келеді деп есептеледі).

3 ФАЗАЛЫҚ АНТЕНАЛЫҚ ТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ПЕЛЕНГАЦИЯ ДӘЛДІГІ

3.1 Фазалық антеналық торларды қолдана отырып бұрыштық координаттарды анықтаудың ықтимал дәлдігі

Бұл бөлімде сандық N-арналы ФАТ-тарды және бірдей конфигурациядағы төрт арналы ФАТ-тарды, моно-импульсті жиынтық-айырмашылық пеленгация әдісімен геометрия мен өлшемдерді қолдана отырып, ықтимал пеленгтеу дәлдігінің салыстырмалы нәтижелері, сондай-ақ бірқатар нақты ФАТ-тар үшін бұрыштық координаталарды анықтау дәлдігін есептеу нәтижелері келтірілген.

Сканерлеу ФАТ-тарындағы пеленгация дәлдігіне келесі факторлар әсер етуі мүмкін екендігі бұрын айтылған:

Әр N-ші ФАТ шығарғышының шығысындағы СШҚ;

– сәуле шығаратын (қабылданатын) өрістің қажетті амплитудалықфазалық таралуындағы ФАТ амплитудалық-фазалық қателіктердің сипаттамасы;

– поляризациялық БД мен жалпы ФАТ-тардың қабылданған өрістің поляризациясынан айырмашылығына байланысты поляризациялық қателер;

– сканерлеу секторында шамдарға аномалды КК ФАТ тәуелділікке әкелетін сәулелендіргіштерің ФАТ-тарындағы өзара әрекеттесуі;

– ФАТ-тардың фазалық таратқыштарын басқару жүйесі мен алгоритміндегі қателіктер туралы ақпарат;

– ФАТ-тардың сәулелендіргіштерін жақсы үйлестіру жеткіліксіз;

– жүйедегі және пеленгация алгоритміндегі қателіктер туралы түсінік;

– басқа қателер.

Пеленгтеу қателерінің пайда болуының келтірілген себептері негізінен Тәуелсіз болып табылады және ФАТ-тардың жекелеген элементтерін де, тұтас алғанда ФАТ-тарды жобалау мен жасау технологиясының қол жеткізілген деңгейімен анықталады. Сондықтан, пеленгацияның нақты дәлдігін жақсартудың табиғи талабы қателіктердің тиісті деңгейін анықтау болып табылады, онда қателіктердің әр түрінің ФАТ-тардың бағдарлау сипаттамаларының нашарлауына қосқан үлесі шамамен бірдей. Қателіктердің осы деңгейін анықтаудағы негізгі ақпарат көзі тек бөгеуіл мен шу сияқты сыртқы факторларға байланысты пеленгацияның өте қол жетімді дәлдігін талдау болып табылады.

Белгілі болғандай [18], еркін геометрияның N-элементарлық ФАТ-тарына түсетін $S(\theta_0, \varphi_0, t)$ бір сәулелі кездейсоқ сигналының бұрыштық координаттарының θ_0, φ_0 әрқайсысын анықтаудың ықтимал дәлдігі Крамер-Рао

теңсіздігіне сәйкес орын мен азимуттың бұрышын бағалаудың орташа квадраттық катесінің (ОКҚ) шамасымен сипатталады:

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{-\frac{2E_{c}^{Bbix}(\theta_{0},\varphi_{0})\partial^{2}}{N_{0}\partial\theta^{2}}\rho(\theta,\varphi,\theta_{0},\varphi_{0})}} \frac{180}{\pi} [\text{град}], \qquad (3.1a)$$

$$\sigma_{\varphi} = \frac{1}{\sqrt{-\frac{2E_{c}^{BbIX}(\theta_{0},\varphi_{0}) \ \partial^{2}}{N_{0} \ \partial\varphi^{2}}\rho(\theta,\varphi,\theta_{0},\varphi_{0})}} \frac{180}{\pi} [\text{град}], \qquad (3.16)$$

мұндағы $E_c^{Bbix}(\theta_0, \varphi_0)$ - уақыт аралығы $0 \le t < T$ үшін БД АТ максимумының бағытынан (θ_0, φ_0) қабылданатын АТ шығуындағы сигналдың энергиясы:

$$E_{c}^{\text{Bbix}}(\theta_{0},\varphi_{0}) = \int_{0}^{T} |u_{c}^{\text{Bbix}}(\theta_{0},\varphi_{0},t)|^{2} dt;$$

 $u_c^{\text{вых}}(\theta_0, \varphi_0, t)$ – АТ шығысындағы сигнал конвертінің мәні; $\rho(\theta, \varphi, \theta_0, \varphi_0)$ – АТ шығысындағы сигналдың (θ_0, φ_0) автокорреляциялық функциясына қатысты нормаланған; N₀ – АТ шығысындағы ақ шу мен шудың бір жақты спектрлік тығыздығы.

(3.1) қатынастар әрбір эмитенттің шығысында сыртқы қабылданатын шу мен кедергі және эмитент шығысына қайта есептелетін қабылдау арнасының ақ шуы және әрбір эмитент қабылдайтын сыртқы шу мен бөгеуіл болады деген болжамда жарамды фазалық массив айналадағы кеңістікте біркелкі таралады және жиынтықта ақ шуды да білдіреді. Сонымен қатар, сигналдың [0; 2π] интервалында біркелкі таралу тығыздығы және кездейсоқ амплитудасы бар кездейсоқ бастапқы фазасы бар деп болжанады.

АТ жалпы шығысында анықталған максималды БД бағытына (θ_0, φ_0) қатысты нормаланған $F_{\mu}(\theta, \varphi)$ арқылы белгілейік, және

$$u_c^{\scriptscriptstyle \mathrm{Bbix}}(heta, arphi, t) = c(t)F_H(heta, arphi)$$
 ,

мұндағы c(t)–AT шығысындағы сигналдың жалпы амплитудасы.

Содан кейін өрнектерді (3.1) түрінде ұсынуға болады

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\left| -\sigma^{\text{Bbix}\frac{NK}{2}} \frac{\Delta f}{\sigma^2} \frac{\partial^2}{E_{\text{F}}(\theta, \phi)} \right|} \frac{180}{\pi} [\text{град}], \qquad (3.2a)$$

$$\sigma_{\varphi} = \frac{1}{\sqrt{-q_1^{\text{Bbix}} \frac{NK}{p} \frac{\Delta f}{f} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} F_H(\theta, \varphi)}} \frac{180}{\pi} [\text{град}], \qquad (3.26)$$

мұндағы $-q_1^{\text{вых}} = q_n^{\text{вых}} = P_{cn}^{\text{вых}} / P_{\text{шn}}^{\text{вых}} - AT$ әрбір *n*-ші эмитентінің шығысындағы СШҚ ($q_n^{\text{вых}}$ эмитенттің *n* санына тәуелді емес деп есептеледі); *N* – массивтегі эмитенттердің саны; *f* – сигналдың тасымалдаушы жиілігі; Δf – сүзгі өткізу қабілеттілігі; *K* - интервалмен алынған *T* бақылау уақытындағы сигнал мен шудың уақыт үлгілерінің саны

$$\Delta T = \frac{1}{pf}; \tag{3.3}$$

р-Котельников теоремасына сәйкес *р*≥2 болуы керек сигнал жиілігінің бір кезеңіндегі үлгілер саны.

Боялған шудың спектрлік қасиеттерін жақындату үшін (әсіресе шектеулі қабылдау жолағында байқалатын кедергілер болған кезде, ақ шудың спектрлік қасиеттеріне Δf - қадам, бақылау уақыты (жеке іріктеу уақыты) теңсіздікті қанағаттандыруы тиіс

$$K \ge K_{\rm rp} = \frac{pf}{\Delta f},\tag{3.4}$$

мұндағы *K*_{гр} – берілген қабылдау өткізу жолағын Δ*f* үшін қажетті үлгілердің шекаралық саны.

Белгілеуді енгізе отырып

$$\alpha = \frac{K}{Krp},\tag{3.5}$$

қатынастар (3.2) түрінде ұсынылуы мүмкін

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{-q_{1}^{\text{BbIX}} N \alpha_{\partial \theta^{2}}^{2} F_{\text{H}}(\theta, \varphi)}} \frac{180}{\pi} [\text{град}], \qquad (3.6a)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{-q_{1}^{\text{Bbix}} N \alpha \frac{\partial^{2}}{\partial \varphi^{2}} F_{\text{H}}(\theta, \varphi)}} \frac{180}{\pi} [\text{град}].$$
(3.66)

Сонымен бірге [20]-да (3.6) қатынастардағы α коэффициентінің мәні әдетте 1-ге тең немесе одан үлкен таңдалатыны атап өтілді: α ≥ 1.

Қарастырылған фазалық массивтің ФАТ ОКҚ бағытын табуды анықтау үшін жоғарыдағы қатынастарды қолданайық. (θ_0, φ_0) бағытында идеалды фазалау жағдайында (3.6) қатынастар пішінге түрленеді.

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{-q^{\text{BMX}}\alpha_{\partial\theta^{2}}^{2}F_{\text{H}}(\theta,\varphi)}} \frac{180}{\pi} [\text{град}], \qquad (3.7a)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{-q^{\text{BMX}} \alpha \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} F_{\text{H}}(\theta, \varphi)} \Big|_{\theta = \theta_0, \varphi = \varphi_0}} \frac{180}{\pi} [\text{град}], \qquad (3.76)$$

мұндағы *q^{вых}* – ФАТ шығысындағы СШҚ, ретінде анықталған

$$q^{\scriptscriptstyle 6blx} = q_1^{\scriptscriptstyle 6blx} N \tag{3.8}$$

Алдымен ФАТ апертурасы бойынша фазалық және біркелкі амплитуданы бөлу жағдайын қарастырайық. Сонымен қатар, $d \leq \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\lambda}{1+sin\theta_{ck}}$ (λ - толқын ұзындығы; $2\theta_{ck}$ – ФАТ сканерлеу секторы) және сәулелендіргіштерді орналастырудың үшбұрышты торы, үздіксіз қозуы бар антеннаның БД аз ерекшеленеді және жазық фазалық апертураның БД ретінде ұсынылуы мүмкін. Сондықтан, дөңгелек апертура үшін бізде бар

$$F_{HKD}(\theta,\varphi) = F_1(\theta,\varphi) \wedge_1(ka\sin\theta), \qquad (3.9)$$

мұндағы $F_1(\theta, \varphi) - \Phi$ АТ-тардың жеке сәулелендіргішінің нормаланған БД; $\Lambda_1 - \lambda$ бірінші ретті функциялар; $k = 2\pi/\lambda$; a - дөңгелек апертураның радиусы Ескере отырып, $\theta \to 0 \ \Lambda_1(u) \approx 1 - u^2/8$, $F_1(\theta, \varphi) \approx 1$, БД максималды бағытында аламыз

$$F_{H \kappa p}(\theta, \varphi) \approx 1 - \frac{(ka \sin \theta)^2}{8}$$
(3.9a)

Тиісінше, $\theta \rightarrow 0$ сияқты

$$\frac{\partial^2 F_{\rm H \, \kappa p}(\theta, \varphi)}{\partial \theta^2} = -\frac{(ka)^2}{4}.$$
(3.10)

Сол сияқты амплитудасы біркелкі таралатын шаршы фазалық ашу үшін бізде xOz ($\phi = 0$) және yOz ($\phi = \pi/2$) жазықтықтарында болады.

$$F_{H \kappa \theta}(\theta, \varphi) \Big|_{\varphi=0, \varphi=\pi/2} = \frac{\sin(ka\sin\theta)}{ka\sin\theta},$$

$$\frac{\partial^2 F_{H \kappa \theta}(\theta, \varphi)}{\partial \theta^2} \Big|_{\substack{\theta=0, \\ \varphi=0, \varphi=\pi/2}} \approx -\frac{(ka)^2}{3} = 1,333 \frac{\partial^2 F_{H \kappa p}(\theta, \varphi)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta=0}$$
(3.10a)

(3.10) (3.7) ауыстыру арқылы біз дөңгелек ашу үшін аламыз

$$\sigma_{\theta \kappa p} \approx \frac{114.6}{ka\sqrt{q^{e_{blx}}\alpha}} [\Gamma pa \mathtt{A}]. \tag{3.11a}$$

 $2a \times 2a$ өлшемі бар төртбұрышты фазалық ашылым түріндегі антенна үшін біз

$$\sigma_{\theta_{K}} \approx \frac{99,3}{ka\sqrt{q^{6bl}\alpha}} [pad]. \tag{3.116}$$

Қатынастар (3.11) *N*-арналы ФАТ-тарда пеленгтеудің оңтайлы алгоритмін пайдаланған кезде, мысалы, спектрлік корреляциялық әдісті қолдана отырып, тек бір координатаның ОҚК мәнін анықтайтынын тағы бір рет атап өтеміз [20] және егер φ_0 екінші координатасы дәл белгілі болса. Жалпы жағдайда екі координатаның анықтамасы немесе көп сәулелі сигналдың оңтайлы пеленгациясы кезінде минималды пеленгтеу қателері Фишер ақпараттық матрицасының көмегімен табылады [83].

Нақты бағытты табу қатесінің мәні тек σ_{θ} мәніне ғана емес, сонымен қатар бағытты дұрыс табудың Р₀ ықтималдығына да байланысты. Атап айтқанда, қателердің Гаусс заңы үшін бұл қателер [$-\sigma_{\theta}$; σ_{θ}] интервалында жатады; Р₀=0,683

ықтималдығы бар нысанаға бағыттың шынайы мәніне қатысты және сәйкесінше $[-2\sigma_{\theta}; 2\sigma_{\theta}] P_0 = 0,955$ және $[-3\sigma_{\theta}; 3\sigma_{\theta}]$ аралықтарында; $P_0 = 0,997$ кезінде.

Мысал ретінде 3.1-суретте тұтас сызықтар ka = 30; 40; 450 мәндерінің $\alpha = 1$ қатары үшін дөңгелек синфазалық ашылулары бар ФАТ-тардың шығуындағы СШҚ-ға σ_{θ} тәуелділігін білдіреді.



3.1 Сурет - Дөңгелек апертураның әртүрлі өлшемдері бар ФАТ-тың шығысындағы θ бұрыштық координатының ОКҚ-нің СШҚ-на тәуелділік графиктері: 1 – ka = 30; 2 – ка = 40; 3 – ка = 450

Енді монопульсті ФАТ тізбегіндегі амплитудалық қосындылар айырымы әдісін қолданып бағытты анықтауда ОКҚ бағалауын қарастырайық.

[16]-да толық айырымдылық монопульстік жүйедегі $\tilde{\sigma}_{\theta}$ бағытты табудың ОКҚ үшін өрнек берілген, ол қабылданған белгілеуде келесідей болады.

$$\tilde{\sigma}_{\theta} = \frac{1}{\mu \sqrt{q^{s_{blx}}}},\tag{3.12}$$

мұндағы μ – амплитудалық жалпы айырмашылықты табу үшін бағытты табу сипаттамасының тіктігі, ол БД $F_{\Sigma}(\theta) = F_1(\theta) + F_2(\theta)$ және БД $F_{\Delta}(\theta) = F_1(\theta) - F_2(\theta)$ бағыттағы айырымы арқылы анықталады $\theta = 0^{\circ}F_1(\theta), F_2(\theta)$ сәйкесінше, 1 және 2 кірістерге қатысты төрт элементті сәулелендіргіштің эмитенттерінің БД-сы:

$$\mu = \frac{\frac{\partial F_{\Delta}(\theta)}{\partial \theta}\Big|_{\theta=0}}{F_{\Sigma}(0)} = \frac{F_{\Delta}(\theta_0)\frac{\partial F_{\Delta}^{\mathrm{H}}(\theta)}{\partial \theta}\Big|_{\theta=0}}{F\Sigma(0)},$$
(3.13)

мұндағы $F_{\Delta}^{\rm H}(\theta)$ – өзінің максимумына қатысты нормаланған айырмалық БД; θ_0 - айырмалық БД максимумының бағыты.

Екінші жағынан, [84] жұмысында КК шкаласы бойынша БД $G_{\Delta}(\theta)$ айырмасының туындысы ретінде $\tilde{\mu}$ айырмашылық сипаттамасының тіктігі ұғымы енгізілген:

$$\tilde{\mu} = \frac{\partial}{\partial \theta} \sqrt{G_{\Delta}(\theta)} \Big|_{\theta=0} = \frac{\partial F_{\Delta}^{\Pi}}{\partial \theta} \Big|_{\theta=0} \sqrt{G_{\Delta}(\theta_0)} .$$
(3.14)

(3.13) және (3.14) өрнектерін салыстыра отырып

$$\mu = \frac{F_{\Delta}(\theta_0)}{F_{\Sigma}(0)} \frac{\tilde{\mu}}{\sqrt{G_{\Delta}(\theta_0)}}.$$
(3.15)

[84, 85] айырмашылық сипаттамасының $\tilde{\mu}_{\text{макс}}$ максималды беріктігі *ka* электр радиусының дөңгелек ашылуы бар антеннаға максималды айырмашылық БД бағытта θ_0 болған жағдайда қол жеткізілетіні белгілі.

$$ka\sin\theta_0 = 2,568.$$
 (3.16)

Бұл ретте

$$\tilde{\mu}_{\scriptscriptstyle MAKC} = \frac{(ka)^2}{2},\tag{3.17}$$

ал КК айырмашылық БД максималды мәні келесідей

$$G_{\Delta Makc}(\theta_0) = 0,566(ka)^2. \tag{3.18}$$

Тиісінше, оңтайлы мән

$$\left(\frac{F_{\Delta}(\theta_0)}{F_{\Sigma}(0)}\right)_{onm} = 0,758.$$
(3.19)

Сондықтан, соңында (3.15) - (3.19) аламыз

$$\mu_{Makc} = \frac{(ka)^2}{2} \frac{1.0,758}{\sqrt{0,566}ka} = 0,504ka[1/pad].$$
(3.20)

(3.12) және (3.20) ескере отырып

$$\tilde{\sigma}_{\theta,\text{MUH}} = \frac{1,985}{ka} \frac{1}{\sqrt{q^{\text{ebl}x}}} \frac{180}{\pi} \approx \frac{113,7}{ka\sqrt{q^{\text{ebl}x}}} [\text{spad}].$$
(3.21)

(3.11а) және (3.21) өрнектерді салыстыру бір сәулелі сигнал үшін амплитудалық қосындылар айырымы бағытты анықтау жүйесін оңтайландыру кезінде бағытты табу дәлдігі цифрлық бағытты анықтаудың максималды мүмкін дәлдігімен іс жүзінде сәйкес келетінін көрсетеді.

Нақты жиынтық айырмашылық жүйесінің оңтайлы бағыттан мүмкін ауытқуларын ескере отырып, табу дәлдігі төмендейді. Сонымен, дөңгелек антеннаның нақты күшейтулері G_{Δ} айырмашылық сипаттамасының нақты тіктігі $\tilde{\mu}$ және $\frac{F_{\Delta}(\theta_0)}{F_{\Sigma}(0)}$ нақты қатынасы кезінде $\tilde{\mu}$ мәніндегі жоғалту қатынастан анықталады.

$$\frac{\mu}{\mu_{\scriptscriptstyle MAKC}} = \frac{\frac{F_{\Delta}(\theta_0)\partial F_{\Delta}^{\rm H}(\theta)}{F_{\Sigma}(0)}\Big|_{\theta=0}}{0.758} \frac{\sqrt{0.566(ka)^2}}{\frac{(ka)^2}{2}} = \frac{F_{\Delta}(\theta_2)}{F_{\Sigma}(0)} \frac{\partial F_{\Delta}^{\rm H}(\theta)}{\partial \theta}\Big|_{\theta=0} \frac{1.985}{ka}.$$
(3.22)

(3.22) қатынастың оң жағына енгізілген шамалар не модельдеу нәтижелерінен, не эксперименттік жолмен анықталады.

Енді ФАТ қабылдаған сигналдың *N*-арнасының оңтайлы өңделуімен бағытты табудың потенциалды дәлдігіне айналмалы ФАТ-тың саңылауы бойынша амплитудасының таралуының әсерін, сонымен қатар ФАТ сканерлеу секторындағы бағытты табу дәлдігінің тәуелділігін қарастырайық.

ФАТ саңылауындағы нақты осьтік симметриялы амплитуданың *E*(*ρ*, *a*) таралуын функция арқылы жуықтап алуға болады.

$$E(\rho, a) = (1 - \Delta) + \Delta \left[1 - \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 \right]^n, \qquad (3.23)$$

мұндағы параметрлер жылдам және n үлестірімнің ең жақсы жуықтау жағдайынан анықталады.

Бұл ретте $F_{\rm H}^{p}(\theta, \varphi)$ жиынтық арнасы бойынша нақты БД

$$F_{\scriptscriptstyle H}^{p}(\theta,\varphi) = F_{1}(\theta,\varphi) \frac{(1-\Delta)\wedge_{1}(ka\sin\theta) + \frac{\Delta}{n+1}\wedge_{n+1}(ka\sin\theta)}{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}}.$$
(3.24)

Жеке сәулелендіргіш БД $F_1(\theta, \varphi)$ әлсіз бағытталған деп есептесек, (3.24) түріндегі БД үшін екінші туынды келесідей анықталады:

$$\frac{\partial^2 F_{\mu}^{p}(\theta,\varphi)}{\partial \theta^2} = -\frac{(ka)^2}{4} \left[1 - \Delta \frac{(n+1)(n+2)-2}{(n+1)(n+2)} \right] / \left[(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1} \right].$$
(3.25)

Тиісінше, БАД антенна заңға сәйкес азаяды

$$D(\Delta, n) = D(0,0)\nu(\Delta, n), \qquad (3.26)$$

мұндағы $\nu(\Delta, n)$ – БПК ретінде анықталады

$$\nu(\Delta, n) = \frac{1}{S_{\rm kp}} \frac{\left| \int_{S_{\rm kp}}^{\sigma} EdS \right|^2}{\int_{S_{\rm kp}}^{\sigma} E^2 dS} = \frac{1}{\pi a^2} \frac{\left| \int_0^a \int_0^{2\pi} \left[(1-\Delta) + \Delta \left[1 - \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 \right]^n d\varphi \ \rho d \ \rho \right] \right|^2}{\int_0^a \int_0^{2\pi} \left| (1-\Delta) + \Delta \left[1 - \left(\frac{\rho}{a}\right)^2 \right]^n \right|^2 d\varphi \ \rho d \ \rho}.$$
(3.27)

ФАТ-тардың шығысындағы сигнал / шу қатынасы оның БАД - на байланысты. Атап айтқанда, қоршаған кеңістікте біркелкі бөлінген шу мен бөгеуілдер және қабылдағыш шуының шамалы деңгейі

$$q^{\scriptscriptstyle Bblx}(\Delta, n) = q^{\scriptscriptstyle Bblx}(0, 0)\nu(\Delta, n) \tag{3.28}$$

(3.25), (3.28) в (3.7 а) алмастыра отырып, біз дөңгелек диафрагмасы бар ОКҚ нақты ФАТ-тар үшін өрнек аламыз:

$$\sigma_{\theta}^{p} = \frac{2\sqrt{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}}}{\sqrt{q^{\textit{BblX}}(0,0)\alpha}\sqrt{\nu(\Delta,n)} \, ka \, \sqrt{1 - \Delta\frac{(n+1)(n+2)-2}{(n+1)(n+2)}}} = \sigma_{\theta} \, \frac{\sqrt{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}}}{\sqrt{\nu(\Delta,n)}\sqrt{1 - \Delta\frac{(n+1)(n+2)-2}{(n+1)(n+2)}}} \tag{3.29}$$

(3.29)-дан амплитуданың азаюы стандартты ауытқудың ұлғаюына әкелетіні шығады. Шеңбер саңылау өлшемі ka = 30 фазалық массивті пайдаланған кезде Δ және *n* мәндерінің бірқатары үшін $q^{вых}$ сәйкес σ_{θ}^{p} тәуелділіктері 3.2-суретте көрсетілген.


3.2 Сурет - Әр түрлі мәндердегі дөңгелек апертураның ka = 30 өлшемімен ФАТ-тардың шығуындағы СШҚ-нан бұрыштық координатаны бағалаудың ОКҚ тәуелділік графиктері Δ және *n*: 1- Δ , *n*=0; 2- Δ =1, *n*=1; 3- Δ =0,7, *n*=1; 4- Δ =1,*n*=2; 5- Δ =0,7, *n*=2

ФАТ-тар сәулесі қалыптыдан бұрышқа ауытқыған кезде апертуралық антеннаның БАД бірінші жуықтауда $\cos\theta_{c\kappa}, a \frac{\partial^2 F_{c\kappa}(\theta, \varphi)}{\partial \theta^2}\Big|_{\theta=\theta_{c\kappa}} cos^2 \theta_{c\kappa}$ мәніне пропорционал азаяды. Сондықтан

$$\sigma_{\theta}(\theta_{\rm CK}) = \frac{\sigma_{\theta}(\theta)}{(\cos\theta_{\rm CK})^{3/2}} \tag{3.30}$$

(3.30) арақатынасынан, атап айтқанда, ОКҚ $\theta_{c\kappa} = \pm 45^{\circ}$ - ке дейінгі сканерлеу секторының шекарасында пеленгтеу, бұл көрсеткіш ФАТ-тардың апертурасына нормаль бойынша сәуленің орналасуынан шамамен 1,7 есе артық.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, 3.3-суретте $2\sigma_{\theta}^{p}$ (P₀ = 0,955) және $3\sigma_{\theta}^{p}$ (P₀ = 0,997) әр түрлі ка мәндеріне, амплитудалық таралу параметрлеріне және күн сәулесінің ауытқу бұрыштарына (тұтас сызықтар $-\theta_{ck} = 0^{\circ}$, нүктелі сызықтар $-\theta_{ck} = 45^{\circ}$) тәуелділік берілген.







б)

38



3.3 Сурет - Дөңгелек апертураның әртүрлі өлшемдері бар ФАТ шығысындағы СШҚ-на бұрыштық координат θ анықтаудағы нақты қатенің жоғарғы шегінің тәуелділігінің графиктері (*l*-Δ=0, *n*=0; 2-Δ=0,7, *n*=1; 3-Δ=0,7, *n*=2): *a-ka*=30, *P*₀=0,955; *б-ka*=30, *P*₀=0,997; *в-ka*=450, *P*₀=0,955; *г-ka*=450, *P*₀=0,997

Осылайша, жоғарыда келтірілген қатынастар (3.11), (3.18), (3.25), (3.26) және суретте көрсетілген модельдеу нәтижелері. 3.1-3.3, оңтайлы сандық пеленгтеу дәлдігінің шекті шегін, яғни сандық антенна торында және пеленгтеу алгоритмінде

қателер болмаған кезде пеленгтеу дәлдігін анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, моно-импульсті пеленгтеу әдісін қолдана отырып, бір сәулелі сигналдың бұрыштық координаттарын анықтау дәлдігі (оңтайлы амплитудалық жиынтықайырмашылық пеленгтеу жүйесінде) *N*-арналы цифрлық АТ қолдана отырып, пеленгтеудің шекті дәлдігімен сәйкес келетіні анықталды.

3.2 Фазалық антеналық торларды қолдана отырып, пеленгацияның нақты дәлдігі

Алдыңғы бөлімде потенциалды талдау нәтижелері келтірілген ФАТ-тарды қолдана отырып, пеленгтеу мақсаттарының дәлдігі, сонымен қатар сканерлейтін ФАТ-тардағы пеленгтеудің нақты дәлдігіне әсер ететін негізгі факторлар келтірілген. Моно-импульсті әдіспен бұрыштық координаттарды анықтау дәлдігі талқыланады Бұл мәселелері кеңінен [16]. бөлімде сәулелендіргіште амплитудалық-фазалық таралуда және пеленгілеудің моноимпульсті әдісімен өтетін ФАТ-тардың нақты схемаларында антеннаны ашу бойынша қателерді пеленгілеу дәлдігіне әсері қарастырылады. Қарапайым болу үшін келесі қатынастар 4-рупорлы сәулелендіргішінің мысалында көрсетілген, бірақ бұл тәсіл кез-келген 4 - арналы сәулелендіргіштерге, мысалы, 12-рупорлығы қолданылады.

ФАТ-тардың конфигурациясы 3.4-суретте көрсетілген. ФАТ желілік поляризациясы бар 2×2 толқынды-рупорлы бір режимді сәулелендіргіштерден тұрады, олардың фазалық орталықтары координаталар жүйесінің басына қатысты $O \, xOz$ жазықтығында $y_{k_1}(k_1 = 1, 2)$ қашықтыққа және yOz жазықтығында $y_{k_2}(k_2 = 1, 2)$ қашықтыққа ығыстырылған. Өту ФАТ-тарының кенептері $m_1 = 1, 2, ..., M_1, m_2 = 1, 2, ..., M_2$ ФА ішінде орналасқан, жоғарғы және төменгі саңылауларды құрайтын трансивер сәулелендіргіштерінен тұрады.



3.4 Сурет -Зерттелетін АЖ геометриясы

Қабылдау режимінде сәулелендіру құралының сәулелендіргіштеріне түсетін сигналдар екі жиынтық шығысы бар ($\Sigma_{прд}$ қабылдап, $\Sigma_{прм}$ тарату үшін) және екі айырмашылық шығысы бар (zOx (Δ_1) және zOy (Δ_2) ортогональды жазықтықтарда қабылдау үшін) бірнеше көп полюсті $S_{обл}$ -ге өтеді.

Қабылдау режиміндегі ФАТ-тардың жұмысын қарастырыңыз. xOzжазықтығындағы ФАТ-тардың жоғарғы диафрагмасына ($\tilde{\theta}_x, \tilde{\varphi} = 0$) бағытынан бастап жазық толқын түседі деп болжанады және ФАТ-тар сәулелендіргіштерінің поляризациясымен келісілген поляризация. Содан кейін идеалды фазалау кезінде ФАТ-тардың төменгі бетінде өріс пайда болады, ол ФАТ-тардың төменгі бетімен *O* нүктесіне қайта шығарылатын өрісті фокустауды қамтамасыз етеді (3.5-сурет). Көпполюсниктің $\mathbf{S}_{oбn}$ жиынтық және айырмашылық қабылдауларында жиынтық $F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_x, 0)$ және айырмашылық $F_{\Delta_1}(\tilde{\theta}_x, 0)$ БД-на ұқсас қалыптасады, егер жазық толқын yOz жазықтығында ($\tilde{\theta}_y, \tilde{\varphi} = 90^\circ$) бағытынан түссе ,көпполюсниктің шығуларында БД $F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_y, 90^\circ)$ және $F_{\Delta_2}(\tilde{\theta}_y, 90^\circ)$ пайда болады.



3.5 Сурет - Жеңілдетілген фаралар схемасы

Еркін бағыттан $\tilde{\theta}', \tilde{\varphi}'$ түсетін жазық толқын xOz және yOz ортогональды жазықтықтарында ($\tilde{\theta}_x, 0$) және ($\tilde{\theta}_y, 90^\circ$) бағыттарынан түсетін екі жазық толқындардың жиынтығы ретінде ұсынылуы мүмкін (сурет. 3.6) және одан әрі тәуелсіз әрбір жағдай үшін жиынтық және айырмашылық БД қалыптастыру ерекшеліктерін қарастыру:

$$\bar{p}_{\Pi a d}(\tilde{\theta}', \tilde{\varphi}') = \alpha_1(\tilde{\theta}', \tilde{\varphi}') \bar{p}_{\Pi a d x}(\tilde{\theta}_x, 0) + \alpha_2(\tilde{\theta}', \tilde{\varphi}') \bar{p}_{\Pi a d y}(\tilde{\theta}_x, 90)$$
(3.31)

мұндағы $\alpha_1(\tilde{\theta}', \tilde{\varphi}'), \alpha_2(\tilde{\theta}', \tilde{\varphi}')$ - келесі формулалар бойынша есептелетін коэффициенттер:

$$\alpha_{1}\left(\tilde{\theta}',\tilde{\varphi}'\right) = \frac{\sqrt{\left(tg\tilde{\theta}',\cos\tilde{\varphi}'\right)^{2}+1}}{\sqrt{\left(tg\tilde{\theta}'\right)^{2}+1}}, \alpha_{2}\left(\tilde{\theta}',\tilde{\varphi}'\right) = \frac{\sqrt{\left(tg\tilde{\theta}',\sin\tilde{\varphi}'\right)^{2}+1}}{\sqrt{\left(tg\tilde{\theta}'\right)^{2}+1}}$$
(3.32)

 $\tilde{\theta}_x$, $\tilde{\theta}_y$ - ортогональды жазықтықтағы екі тәуелсіз толқынның түсу бағытын сипаттайтын бұрыштар:

$$tg ilde{ heta}_x = tg ilde{ heta}'cos\, ilde{arphi}'$$
 , $tg ilde{ heta}_y = tg ilde{ heta}'sin\, ilde{arphi}'$



3.6 Сурет - Жазық толқынның ортогональды жазықтықтағы екі жазық толқынның жиынтығы ретінде көрінісі

Сонымен, бағыт бойынша жазық толқын құлаған жағдайда тоқталайық ($\tilde{\theta}_{\chi}, 0$) сәулелендіргіш фазалық орталықтары Ох осі бойымен о координатасының шығу тегіне қатысты Δ_{κ} -ге ауысатын екі балама сәулелендіргіштен тұрады. Әрбір сәулелендіргіш түрде эквивалентті Oxосіне қатысты симметриялы тікбұрышты орналастырылған толқындардың ұштары түрінде ашық екі сәулелендіргіш арқылы түзіледі. $F_{\Sigma}(\theta)$ арқылы екі эквивалентті сәулелендіргіштен тұратын және О фокалды нүктесінде орналасқан сәулелендіргіштің өрісі бойынша нормаланған БД белгілейміз, тең сигналдық бағытта максимум болатын $\tilde{\theta}_0$, ал $F_{\Sigma_1}(\theta)$ және $F_{\Sigma_2}(\theta)$ арқылы – О нүктесіне қатысты $\Delta x_1 = -\Delta x_2$ ығысқан, 1 және 2 нуктелерде орналасқан эквивалентті эмитенттердің ұқсас БД. Эквивалентті сәулелендіргіштердің орын ауыстыруы БД $F_{\Sigma 1}(\theta)$ және $F_{\Sigma 2}(\theta)$ максимумдарының БД пішінінің елеулі өзгерісінсіз $\tilde{\theta}_0$ эквиваленттік бағытқа қатысты $\pm \theta_0$ бұрыштары бойынша ауытқуына әкеледі. Сонымен

$$F_{\Sigma 1}(\theta) = F_{\Sigma}(\theta - \theta_0), F_{\Sigma 2}(\theta) = F_{\Sigma}(\theta + \theta_0)$$
(3.32)

Бұл жағдайда $\Delta x \leq \lambda/2 \dots \lambda$ кезіндегі $\pm \theta_0$ орын ауыстыру бұрыштары қатынастан анықталады

$$\sin \theta_0 \approx \theta_0 = \frac{\pm \Delta x}{h},$$
 (3.33)

мұндағы h = OO' - фокустық арақашықтық (3.5-сурет)

БД эквивалентті сәулелендіргіштер мен бұрыштардың өзара орналасуы 3.7суретте көрсетілген.



3.7 Сурет - *хОz* жазықтығында орналасқан эквивалентті эмитенттердің өрісі бойынша күн

Салыстырмалы эквивалентті бағыттың идеалды фазалануында $\hat{\theta}_0$ коэффициенті және жазық толқын бағыттан құлаған кезде 1 және 2 эквивалентті сәулелендіргіштер қабылдаған өрістердің $\tilde{\theta}_0$ мәні тең болады. Толқынның түсу бағыты бұрышқа ығысқан кезде, 1 және 2 эквивалентті Эмитенттер қабылдаған сигналдар өрісінің тең сигналдық бағытына қатысты, тең емес, ал айырмашылық шығуында Δ_1 1 қате сигналы $E_{\Delta_1}(\theta)$ пайда болады , ол белгілі бір тұрақты *с*-ге дейінгі дәлдікпен анықталады.

$$E_{\Delta_1}(\theta) = c \left(A_1 F_{\Sigma 1}(\theta) - A_2 F_{\Sigma 2}(\theta) \right)$$
(3.34)

мұндағы A_1 , A_2 - сәулелендіру құралының матрицасының элементтеріне тәуелді күрделі коэффициенттер $S_{oбn}$, жеке сәулелендіргіштердің БД-сы, шеткі әсерлер, сәулелендіргіштердің өзара әрекеттесуі және басқа факторлар және айырмашылық арнасында сәулелендіру құралының өрістерін азайту мүмкін болатын қатені анықтау. Тамаша сәулелендіру құралы $A_1 = A_2$.

 $\theta = \tilde{\theta}_0 + \theta_0$ нүктесінің төңірегіндегі Тейлор қатарына $F_{\Sigma 1}(\theta)$ таратамыз. (3.32) ескере отырып, біз ыдыраудың алғашқы үш мүшесін аламыз:

$$F_{\Sigma 1}(\theta) = F_{\Sigma 1}(\tilde{\theta}_{0} + \theta_{0}) + \frac{\partial F_{\Sigma 1}(\theta)}{\partial \theta}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_{0} + \theta_{0}} \left(\theta - \tilde{\theta}_{0} - \theta_{0}\right) + \frac{1}{2} \frac{\partial^{2} F_{\Sigma 1}(\theta)}{\partial \theta^{2}}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_{0} + \theta_{0}} \left(\theta - \tilde{\theta}_{0} - \theta_{0}\right)^{2} = F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_{0}) + \frac{\partial F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_{0}} \left(\Delta \theta - \theta_{0}\right) + \frac{1}{2} \frac{\partial^{2} F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^{2}}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_{0}} \left(\Delta \theta - \theta_{0}\right)^{2}$$
(3.35)

мұндағы Δ*θ* - жазық толқынның келу бұрышының тең сигналдық бағыттан ауытқуы:

$$\Delta \theta = \theta - \tilde{\theta}_0 \tag{3.36}$$

 $\left. \frac{\partial F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta} \right|_{\theta = \tilde{\theta}_0} = 0$, ескере отырып:

$$F_{\Sigma 1}(\theta) = F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_0) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} (\Delta \theta - \theta_0)^2$$
(3.37)

Сол сияқты, $\Delta \theta = \theta - \tilde{\theta}_0$ нүктесінің маңында бізде

$$F_{\Sigma 2}(\theta) = F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_0) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} (\Delta \theta + \theta_0)^2$$
(3.38)

(3.37),(3.38) ді (3.34) ке қоя отырып

$$E_{\Delta_1}(\theta) = (A_1 - A_2)F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_0) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} \left[A_1 (\Delta \theta - \theta_0)^2 - A_2 (\Delta \theta + \theta_0)^2 \right] (3.39)$$

Бағытты табудың қосынды-айырма әдісімен сигналдың келу бағыты $\theta_{\text{мин}}$ бағытымен анықталады, бұл кезде $|E_{\Delta_1}(\theta)|$ функциясының минимумына жетеді. Атап айтқанда, $A_1 = A_2$ кезінде (3.36), (3.39) мәні $\Delta \theta = 0$, $\theta_{\text{мин}} = \tilde{\theta}_0$ және $E_{\Delta_1}(\theta_{\text{мин}}) = 0$.

Сол сияқты, A_1 , A_2 және $A_1 \neq A_2$ коэффициенттерінің нақты мәндерінде $E_{\Delta_1}(\theta_{\text{мин}}) = 0$ сигналының түсу бағытында болатындығын және сигналдың келу бағытын анықтауға арналған теңдеу келесі формада жазылғанын көрсетуге болады:

$$(A_1 - A_2) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} \left[A_1 (\Delta \theta - \theta_0)^2 - A_2 (\Delta \theta + \theta_0)^2 \right] = 0$$
(3.40)

 $\Delta \theta$ - ке қатысты (3.40) теңдеуінің шешімі мынандай түрге ие

$$\Delta \theta = \frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2} \theta_0 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(A_1 - A_2)^2}{(A_1 + A_2)^2} - \frac{2}{\frac{\partial^2 F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^2}} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0}} \frac{(A_1 - A_2)^2}{(A_1 + A_2)^2} \frac{1}{\theta_0^2} \right]$$
(3.41)

Атап айтқанда

$$\frac{(A_1 - A_2)^2}{(A_1 + A_2)^2} \ll 1 \tag{3.42}$$

(3.41) қатынасын келесідей түрлендіруге болады

$$\Delta \theta \approx \frac{1}{2} \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \theta_0 \left[1 + \frac{2}{\theta_0^2 \frac{\partial^2 |F_{\Sigma}(\theta)|^2}{\partial \theta^2}} \right]_{\theta = \tilde{\theta}_0} \right]$$
(3.43)

 $\theta_{0\,\kappa\rm B}$ квадраттық ашылуы бар ФАТ-тардың айырмашылық БД-ның ығысу бұрышы БД 2 $\theta_{0.7}$ еніне байланысты болады

$$\theta_{0 \text{ }_{\text{KB}}} = 0,715\theta_{0,7} = \frac{1}{ka\cos\tilde{\theta}_0} \tag{3.44}$$

және 2а × 2а саңылауы бар және амплитудасының апертура бойынша біркелкі таралуы бар шаршы ФАТ-тың жалпы БД үшін екенін ескере отырып

$$\frac{\partial^2 |F_{\Sigma_{\rm KB}}(\theta)|}{\partial \theta^2}\Big|_{\theta=\widetilde{\theta}_0} = -\frac{\left(ka\cos\widetilde{\theta}_0\right)^2}{3}\,,\tag{3.45}$$

(3.43) - (3.45) аламыз

$$\Delta\theta_{\rm KB} = \frac{1}{2} \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \frac{1}{ka \cos\tilde{\theta}_0} \left[1 + \frac{2}{\frac{1}{(ka\cos\tilde{\theta}_0)^2} \left(-\frac{1}{3} \right) (ka\cos\tilde{\theta}_0)^2} \right] = -\frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \frac{2,5}{ka\cos\tilde{\theta}_0} \left[\text{рад} \right]$$
(3.46)

немесе бұрыштық минуттар

$$\Delta \theta_{\rm KB} = -8595 \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \frac{1}{ka \cos \tilde{\theta}_0} [\text{бұр. мин}].$$
(3.47)

Тиісінше, біркелкі амплитудалық таралуы бар дөңгелек апертура үшін бізде

$$\frac{\left.\frac{\partial^2 \left|F_{\Sigma_{\rm KP}}(\theta)\right|}{\partial \theta^2}\right|_{\theta=\tilde{\theta}_0} = 0.75 \left.\frac{\partial^2 \left|F_{\Sigma_{\rm KB}}(\theta)\right|}{\partial \theta^2}\right|_{\theta=\tilde{\theta}_0} = -\frac{0.75}{3} \left(ka\cos\tilde{\theta}_0\right)^2,\tag{3.49}$$

$$\Delta\theta_{\rm Kp} = \frac{1}{2} \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1} ka \cos\tilde{\theta}_0} \left[1 + \frac{2}{\frac{1,175^2}{(ka\cos\tilde{\theta}_0)^2} \left(-\frac{0,75}{3} \right) (ka\cos\tilde{\theta}_0)^2} \right] = -\frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1} ka\cos\tilde{\theta}_0} \left[\text{pag} \right] \quad (3.50)$$

$$\Delta \theta_{\rm kp} = -9695 \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1} ka \cos \tilde{\theta}_0} [\text{бұр. мин}].$$
(3.51)

Түрдің ашылуы бойынша амплитудалық таралуы бар дөңгелек ФАТ-тар үшін

$$E_{S}(\rho, a) = (1 - \Delta) + \Delta \left[1 - \left(\frac{\rho}{a}\right)^{2} \right]^{n}, \qquad (3.52)$$

мұндағы, Δ , *n* - амплитудалық таралу параметрлері ($0 \le \Delta \le 1$; *n* – кейбір оң сан), бізде

$$\frac{\frac{\partial^{2} \left|F_{\Sigma \kappa p}(\theta, \Delta, n)\right|}{\partial \theta^{2}}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_{0}} = \left(-\frac{0.75}{3}\right) \left(ka \cos \tilde{\theta}_{0}\right)^{2} \frac{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1n+2}}{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}} = \frac{\frac{\partial^{2} \left|F_{\Sigma \kappa p}(\theta, 0, 0)\right|}{\partial \theta^{2}}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_{0}} \frac{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1n+2}}{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}}$$
(3.53)

Сонымен қатар, БД ені $2\theta_{0,7}(\Delta, n) \gamma(\Delta, n)$ есе артады, мұндағы $\gamma(\Delta, n) - БД$ сәулесінің кеңею коэффициенті. Δ және *n* параметрлерінің бірқатар мәндері үшін $\gamma(\Delta, n)$ мәндері [86]-да берілген. Сондықтан (3.43) сәйкес

$$\begin{split} \Delta\theta_{\rm Kp}(\Delta,n) &= \frac{1}{2} \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \frac{1,175}{ka\cos\theta_0} \gamma(\Delta,n) \times \left[1 + \frac{2\left[(1 - \Delta) + \frac{\Delta}{n+1}\right]}{1,175^2 \left(-\frac{0,75}{3}\right) \left[(1 - \Delta) + \frac{\Delta}{n+1+2}\right] \gamma^2(\Delta,n)} \right] = \\ \gamma(\Delta,n) \frac{0,59}{ka\cos\theta_0} \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \left[1 - \frac{5,8\left[(1 - \Delta) + \frac{\Delta}{n+1}\right]}{1,175^2 \left(-\frac{0,75}{3}\right) \left[(1 - \Delta) + \frac{\Delta}{n+1+2}\right] \gamma^2(\Delta,n)} \right] [\text{рад}] = \\ \gamma(\Delta,n) \frac{2020}{ka\cos\theta_0} \frac{1 - \frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \left[1 - \frac{5,8\left[(1 - \Delta) + \frac{\Delta}{n+1}\right]}{1,175^2 \left(-\frac{0,75}{3}\right) \left[(1 - \Delta) + \frac{\Delta}{n+1}\right]} \right] [\text{бұр. мин}] \end{split}$$
(3.54)

Амплитудасы біркелкі таралатын шаршы және дөңгелек саңылаулар үшін $\Delta \theta$ сәйкес A₂/A₁ тәуелділіктері әртүрлі өлшемді ФАТ-тар үшін 3.8-суретте көрсетілген: $a - ka = 30; \ 6 - ka = 40; \ e - ka = 450$

3.9-суретте амплитудалық үлестірудің әртүрлі нұсқалары бар *ka* = 30 өлшемді дөңгелек ашылатын ФАТ-тарға ұқсас тәуелділіктер көрсетілген.



a)



б)



в)

3.8 Сурет - А₂/А₁-ден $\Delta \theta$ ауытқу графиктері (тұтас сызықтар - $\tilde{\theta}_0 = 0^\circ$; нүктелі сызықтар - $\tilde{\theta}_0 = 45^\circ$): 1 - шаршы ашу, (3.47) бойынша есептеу; 2 - дөңгелек ашу, (3.51) бойынша есептеу; 3 - шаршы ашу, (3.71) бойынша есептеу



3.9 Сурет - Саңылау бойымен әртүрлі амплитудалық үлестірім үшін ka = 30өлшемді дөңгелек саңылауы бар фазалық массив үшін A₂/A₁-ден ауытқу $\Delta \theta$ графиктері: $1 - \Delta = 0, n = 0; 2 - \Delta = 1, n = 1; 3 - \Delta = 0,7, n = 1;$ $4 - \Delta = 1, n = 2; 5 - \Delta = 0,7, n = 2$

Енді сәулелендіргіш қосқыштағы фазалық қателердің әсерін қарастырайық. Қарапайымдылық үшін, солай делік

$$A_1 = e^{i\varphi_1}, A_2 = e^{-i\varphi_1}$$
(3.55)

Бұл жағдайда

$$\begin{split} |E_{\Delta}(\theta)| &= \left\{ \left(2 \frac{\partial^2 F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} \Delta \theta \theta_0 \cos \varphi_1 \right)^2 + \left(2 \sin \varphi_1 + \frac{\partial^2 F_{\Sigma}(\theta)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} \left(\Delta \theta^2 \sin \varphi_1 + \theta_0^2 \sin \varphi_1 \right)^2 \right) \right\}^{1/2}, \end{split}$$

Және $|E_{\Delta}(\theta)|$ минималды мәні теңдеуден алынады

$$\frac{\partial |E_{\Delta}(\theta)|}{\partial \Delta \theta} \tag{3.57}$$

(3.56)

(3.56), (3.57)-ден $|E_{\Delta}(\theta)|$ минимумы бағытта жататынын анықтауға болады.

$$\Delta \theta = 0 , \qquad (3.58)$$

Əpi

$$|E_{\Delta}(\theta_{\text{MHH}})| = 2sin\varphi_1 . \tag{3.59}$$

Яғни, сәулелендіру құралының арналарында фазалық қателіктердің болуы тең сигналдық бағыттың өзгеруіне әкелмейді. Алайда, тең сигналдық бағыттан алынған сигнал деңгейі нөлден ерекшеленеді және φ_1 заң бойынша (3.59) жоғарылаған сайын артады, бұл $|E_{\Delta}(\theta)| \theta_{\text{мин}}$ маңайындағы тәуелділігінің тегістелуіне әкеледі.

Енді 1 және 2 эквивалентті сәулелендіргіштердің тәуелсіз шығыстарына келетін P_1 және P_2 сигнал қуаттары салыстырылатын энергия бағытын анықтау әдісін қарастырайық (3.10-сурет). Бұл жағдайда 1 және 2 шығыстарындағы сигнал қуаттары, белгілі бір тұрақты P_0 шамасына дейін, O фокус нүктесінде орналасқан эквивалентті сәулелендіргіштің БД максимумы бағытынан келетін қабылданған сигналдың қуатына тең, ол келесі қатынастар арқылы анықталады

$$P_1(\theta) = P_0 |A_1|^2 |F_{\Sigma 1}(\theta)|^2, P_2(\theta) = P_0 |A_2|^2 |F_{\Sigma 2}(\theta)|^2$$
(3.60)

мұндағы $|A_1|^2$, $|A_2|^2 - 1$ және 2 сәулелендіргіштермен қабылданған сигнал сәулелендіргіштерінің шығыстарына жіберу коэффициенттерінің (қуат бойынша) ықтимал айырмашылығын ескеретін амплитудалық факторлар; θ – сигналдың келу бағыты; $|F_{\Sigma 1}(\theta)|^2$, $|F_{\Sigma 2}(\theta)|^2$ – БД 1 және 2 эквивалентті сәулелендіргіштердің қуаты бойынша.





Пеленгация қателерін талдауға ұқсас тәсіл [17] ұсынылған. Sобл көпполюсінің жоғары жиілікті шығуларына түсетін сигналдардың қуатын салыстыру кезінде автоматтандырылған пеленгтеу жүйесін іс жүзінде жүзеге асыру қиын және [17] атап өткендей, энергетикалық тәсілді антеннадағы қателіктерге байланысты бұрыштық координаталарды анықтау қатесінде шекараны белгілеуге мүмкіндік беретін бұрыштық координаталарды анықтаудың ашық жүйесі үшін кейбір градуирленген нәтижелерді алу әдісі ретінде ғана қарастыруға болады. Сондықтан энергия әдісін қолдана отырып және жоғарыда қарастырылған және 3.5, 3.7 суреттерде көрсетілген пеленгтеудің жалпы айырмашылық әдісін қолдана отырып бұрыштық координаталарды нәтижелерін алынған анықтау салыстыру практикалық қызығушылық тудырады.

 $|F_{\Sigma}(\theta)|^2$ арқылы *О* фокальды нүктесінде орналасқан эквивалентті радиатордың қуаты бойынша нормаланған БД белгілейміз. $P_1(\theta)$ мен $P_2(\theta)$ $\theta = \tilde{\theta}_0 + \theta_0$ және $\theta = \tilde{\theta}_0 - \theta_0$ тең, сәйкесінше (3.35) - (3.38) ұқсас нүктелердің маңайында Тейлор қатарына жатқызамыз.

$$P_{1}(\theta) = P_{0}|A_{1}|^{2}|F_{\Sigma}(\theta - \theta_{0})|^{2} = P_{0}|A_{1}|^{2}\left[\left|F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_{0})\right|^{2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^{2}|F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}{\partial\theta^{2}}\right|_{\theta = \tilde{\theta}_{0}}(\Delta\theta - \theta_{0})^{2}\right],$$

$$P_{2}(\theta) = P_{0}|A_{2}|^{2}|F_{\Sigma}(\theta + \theta_{0})|^{2} = P_{0}|A_{2}|^{2}\left[\left|F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_{0})\right|^{2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^{2}|F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}{\partial\theta^{2}}\right|_{\theta = \tilde{\theta}_{0}}(\Delta\theta + \theta_{0})^{2}\right],$$
(3.61)

Сондықтан біз (3.61)-ден

$$\frac{P_{1}(\tilde{\theta}_{0}+\Delta\theta)-P_{2}(\tilde{\theta}_{0}+\Delta\theta)}{P_{0}} = (|A_{1}|^{2}-|A_{2}|^{2})|F_{\Sigma}(\tilde{\theta}_{0})|^{2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^{2}|F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}{\partial\theta^{2}}\Big|_{\theta=\tilde{\theta}_{0}} [|A_{1}|^{2}(\Delta\theta-\theta_{0})^{2} - |A_{2}|^{2}(\Delta\theta+\theta_{0})^{2}] = (|A_{1}|^{2}-|A_{2}|^{2}) + \frac{1}{2}\frac{\partial^{2}|F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}{\partial\theta^{2}}\Big|_{\theta=\tilde{\theta}_{0}} [\Delta\theta^{2}(|A_{1}|^{2}-|A_{2}|^{2}) - 2\Delta\theta\theta_{0}(|A_{1}|^{2}+|A_{2}|^{2}) + \theta_{0}^{2}(|A_{1}|^{2}-|A_{2}|^{2})] = (|A_{1}|^{2}+|A_{2}|^{2})\left\{\frac{(|A_{1}|^{2}-|A_{2}|^{2})}{(|A_{1}|^{2}+|A_{2}|^{2})}\right\} + \frac{1}{2}\frac{\partial^{2}|F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}{\partial\theta^{2}}\Big|_{\theta=\tilde{\theta}_{0}} \times \left[\Delta\theta^{2}\frac{(|A_{1}|^{2}-|A_{2}|^{2})}{(|A_{1}|^{2}+|A_{2}|^{2})}\right] - 2\Delta\theta\theta_{0} + \theta_{0}^{2}\frac{(|A_{1}|^{2}-|A_{2}|^{2})}{(|A_{1}|^{2}+|A_{2}|^{2})}\right\}.$$

$$(3.62)$$

Белгілерді енгізейік

$$B = \frac{(|A_1|^2 - |A_2|^2)}{(|A_1|^2 + |A_2|^2)}, C = \frac{1}{\frac{1\partial^2 |F_{\Sigma}(\theta)|^2}{2\partial \theta^2}}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0}$$
(3.63)

және (3.62) түрінде қайта жазайық

$$\frac{P_1(\tilde{\theta}_0 + \Delta\theta) - P_2(\tilde{\theta}_0 + \Delta\theta)}{P_0} = (|A_1|^2 + |A_2|^2) \left[B + \frac{1}{c} (\Delta\theta^2 B - 2\Delta\theta\theta_0 + \theta_0^2 B) \right] (3.64)$$

Бұл жағдайда мақсатқа бағыттау $P_1(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta) = P_2(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)$ шартынан анықталады, бұл (3.64) сәйкес $\Delta \theta$ түрді пеленгтеу қатесіне қатысты теңдеуге әкеледі

$$\Delta\theta^2 B - 2\Delta\theta\theta_0 + \theta_0^2 B + BC = 0. \qquad (3.65)$$

Теңдеудің шешімі (3.65) $B \neq 0$ кезінде (B = 0 кезінде (3.65) $\Delta \theta = 0$) болады

$$\Delta \theta = \frac{\theta_0 - \theta_0 \sqrt{1 - \frac{B^2(\theta_0^2 + C)}{\theta_0^2}}}{B}.$$
 (3.66)

Берілген шарт бойынша

$$B^2 \ll 1 \tag{3.67}$$

шешімді (3.66) түрге түрлендіруге болады

$$\Delta \theta \approx \frac{1}{2} \theta_0 B \left(1 + \frac{C}{\theta_0^2} \right) = \frac{1}{2} \theta_0 \frac{1 - \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2}}{1 + \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2}} \left[1 + \frac{1}{\frac{1}{2} \theta_0^2 \frac{\partial^2 |F_{\Sigma}(\theta)|^2}{\partial \theta^2}} \right]_{\theta = \tilde{\theta}_0} \right].$$
(3.68)

(3.68) мәнін ауыстыру арқылы θ_0 квадраттық ашу үшін (3.44) және осыны ескере отырып

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2 |F_{\Sigma_{\text{KB}}}(\theta)|^2}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} = -\frac{2}{3} \left(ka \cos \tilde{\theta}_0 \right)^2, \qquad (3.69)$$

біз аламыз

$$\Delta \theta_{\rm KB} = \frac{1 - \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2}}{1 + \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2}} \frac{1}{ka \cos \tilde{\theta}_0} \, \text{[рад]} \,, \tag{3.70}$$

немесе бұрыштық минуттарда

$$\Delta\theta_{\rm KB} = -3438 \frac{1 - \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2}}{1 + \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2}} \frac{1}{ka \cos\tilde{\theta}_0} \left[\text{бұр. мин}\right]. \tag{3.71}$$

 $\Delta\theta_{\rm KB}$ - ның $|A_2/A_1|$ - ге тәуелділігі (3.71) квадраттық апертураның бірқатар өлшемдері үшін біркелкі амплитудалық үлестіріммен есептелген, 3.8, A-суретте көрсетілген. Осы тәуелділіктерді (3.47) формула бойынша есептеу нәтижелерімен салыстыру практикалық қызығушылық білдіретін $|A_2/A_1|$ өзгерістер шегінде екі әдіс бір-бірінен шамамен 20% шегінде ерекшеленетін нәтижелер беретінін көрсетеді.

Осылайша, екі әдісті де құрылымдағы әртүрлі қателіктердің әсерін бағалау және ФАТ-тарды қоздыру үшін пеленгация дәлдігіне қолдануға болады.

ФАТ-тар сәулелендіргішінің қоздыру арналарында жоғарыда қарастырылған қателер ($A_1 \neq A_2$) детерминирленген болуы тиіс (бұл болжам қаралып отырған фаралар схемасында шындыққа жақын, өйткені сәулелендіргіштің параметрлері ФАТ-тарды сканерлеу кезінде іс жүзінде өзгеріссіз қалады).

Енді $A_1 = A_2$, ал $P_1(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)$ және $P_2(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)$ қалыпты заң бойынша бөлінген кездейсоқ шамалар делік. Р1 және Р2 шамаларының кездейсоқтығы антенна қабылдау режимінде жұмыс істеген кезде ФАТ-тардың ашылуының төменгі жағындағы өрісте пайда болатын кездейсоқ амплитудалық және фазалық қателіктермен байланысты. Бұл қателіктер көбінесе фазалық ауысқыштардың кездейсоқ қателіктерінен болады. $A_1 = A_2$ кезінде (3.64) қатынасы

$$\frac{P_1(\tilde{\theta}_0 + \Delta\theta) - P_2(\tilde{\theta}_0 + \Delta\theta)}{P_0} = -\frac{2\partial^2 |F_{\Sigma_{\rm KB}}(\theta)|^2}{\partial\theta^2}\Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} \Delta\theta\theta_0 , \qquad (3.72)$$

Немесе

$$\Delta \theta = -\frac{P_1(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta) - P_2(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)}{2P_0 \frac{\partial^2 |F_{\Sigma \text{KB}}(\theta)|^2}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_0} \theta_0}.$$
(3.73)

Δθ, P₁ және P₂ қалыпты заң бойынша бөлінген кездейсоқ шамалар деп санай отырып, біз осы шамалардың дисперсиясын табамыз. Сол және оң бөліктерді (3.73) квадратқа тұрғызып, олардың орташа мәндерін алып, біз аламыз

$$\sigma_{\Delta\theta}^{2} = \left(\overline{\Delta\theta}\right)^{2} = \frac{\left|\overline{P_{1} - P_{2}}\right|^{2}}{4P_{0}^{2}} \frac{2}{\left(\frac{\overline{\partial^{2}|F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}}{\partial\theta^{2}}\Big|_{\theta = \widetilde{\theta}_{0}}\theta_{0}\right)^{2}}.$$
(3.74)

Соны болжасақ

$$\frac{\overline{\partial^2 |F_{\Sigma}(\theta)|^2}}{\partial \theta^2}\Big|_{\theta=\widetilde{\theta}_0} \theta_0 = \frac{\partial^2 |F_{\Sigma}(\theta)|^2}{\partial \theta^2}\Big|_{\theta=\widetilde{\theta}_0} \theta_0 e^{-\sigma_{\varphi}^2} .$$
(3.75)

Мұндағы σ_{φ}^2 - ФАТ ашылуындағы амплитудалық-фазалық қателіктердің дисперсиясы, (3.74)-тен біз

$$\sigma_{\Delta\theta}^{2} = \frac{\left|\overline{P_{1}-P_{2}}\right|^{2}}{4P_{0}^{2}} \frac{2}{\left[\frac{\overline{\partial^{2}|F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}}{\partial\theta^{2}}\right]_{\theta=\widetilde{\theta}_{0}}} \frac{2}{\theta_{0}^{2}e^{-2\sigma_{\varphi}^{2}}}.$$
(3.76)

Әрі қарай белгілерді енгізейік

$$P_1 = \overline{P}_1 + \Delta P_1 , P_2 = \overline{P}_2 + \Delta P_2 , \qquad (3.77)$$

мұндағы \overline{P}_1 , \overline{P}_2 - орташа мәндер, ал ΔP_1 , ΔP_2 - орташа мәндерден кездейсоқ ауытқулар және орташа квадраттық мәнді анықтаймыз $\left|\overline{P_1(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)} - P_2(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)\right|^2$. $P_1(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)$ және $P_2(\tilde{\theta}_0 + \Delta \theta)$ қалыпты заң бойынша таратылады, ал ФАТ апертурасы $2a \times 2a$ өлшемдері бар квадрат түрінде орындалады және және есептеу кезінде қателер болмаған кезде өріс саңылау бойынша біркелкі бөлінген жағдайда $\left|\overline{P_1 - P_2}\right|^2$ [17, (10.38) қатынасы] тармағында берілген қатынасты қолдануға болады:

$$\frac{\left|\overline{P_{1}-P_{2}}\right|^{2}}{P_{0}^{2}} = \frac{\sigma_{\varphi}^{2}}{2} \left(\frac{\sin\psi_{1}}{\psi_{1}}\right)^{2} \operatorname{Int}(\mathcal{C},\psi_{1}), \qquad (3.78)$$

мұндағы σ_{φ}^2 - фазалық құрылғылардың кездейсоқ қателерінен туындайтын ПАА төменгі апертурасындағы кездейсоқ фазалық (немесе амплитудалық-фазалық) қателердің дисперсиясы; C – фазалық (немесе амплитудалық-фазалық) қателердің нормаланған корреляция коэффициенті:

$$C = \frac{2\rho_{\varphi}}{2a} = \frac{\rho_{\varphi}}{a}; \qquad (3.79)$$

 ρ_{φ} – фазалық (немесе амплитудалық-фазалық) қателердің корреляциялық радиусы; ψ_1 – сәулелендіргіштің O фокусынан Δx_1 ығысуына тәуелді параметр (3.5-сурет) және оның максималды БД-ның θ_0 орнын анықтайтын:

$$\psi_1 = \frac{k2a\Delta\Delta x_1}{2h} = \frac{\pi 2a}{\lambda} \sin\theta_0 ; \qquad (3.80)$$

$$Int(C, \psi_1) = I(C, 0, 0)[I(C, \psi_1 \psi_1) - I(C, \psi_1 - \psi_1)]$$
(3.81)

мұндағы I(C, 0, 0), I(C, ψ_1 , ψ_1), I(C, ψ_1 , $-\psi_1$) [17] берілген кейбір анықталған интегралдар.

Немесе (3.78) қатынасын (3.76) орнына қойып, аламыз

$$\sigma_{\Delta\theta}^{2} = \frac{\sigma_{\varphi}^{2}}{4 \cdot 2} \left(\frac{\sin\psi_{1}}{\psi_{1}} \right)^{2} \frac{\text{Int}}{\left[\frac{\partial^{2} |F_{\Sigma}(\theta)|^{2}}{\partial \theta^{2}} \Big|_{\theta = \tilde{\theta}_{0}} \theta_{0} e^{-\sigma_{\varphi}^{2}} \right]^{2}}$$
(3.82)

Бұл жерден

$$\sigma_{\Delta\theta} = \frac{\sigma_{\varphi}}{2\sqrt{2}} \left| \frac{\sin\psi_1}{\psi_1} \right| \frac{\operatorname{Int}^{1/2}}{\left[\frac{\partial^2 |F_{\Sigma}(\theta)|^2}{\partial \theta^2} \right|_{\theta = \tilde{\theta}_0} \theta_0 e^{-\sigma_{\varphi}^2} \right]^2}$$
(3.83)

Сәйкес тәуелділіктер мәні Int(C, ψ_1) сәйкес есептелген (3.81) әр түрлі параметр мәндеріндегі квадраттық ашылым үшін ψ_1 , нормаланған корреляция коэффициентінен C 3.11-суретте көрсетілген. Берілген қисықтардан көрініп тұрғандай, Int-тің C-ға тәуелділігі 0-ден 0,2-ге дейінгі аралықта орналасқан, дерлік сызықты. Сәулелендіргіштерді орналастырудың үшбұрышты торында $d_{_{3КB}}$ - тің әр түрлі жазықтықтағы эквивалентті ашылымдағы қашықтығы d/2 -ден $\sqrt{3}/2d$ -ге дейін өзгереді, сондықтан эмитенттердің орналасуының үшбұрышты торымен ФАТ-тардағы пеленгтеудің дәлдігін сәулелендіргіштер арасындағы қашықтық ретінде бағалау үшін $d_{_{3KB}} = \sqrt{3}/2d$ ауыстырған жөн.



3.11 Сурет - Іпt шамасының C параметрінің әртүрлі мәндеріндегі нормаланған корреляция коэффициентіне тәуелділігінің графигі ψ_1 :

 $1 - \psi_1 = 0,5; 2 - \psi_1 = 1; 3 - \psi_1 = 2$

$$\sin\theta_0 \approx \theta_0 = \frac{\lambda\psi_1}{\pi 2a} = \frac{0.89\lambda}{2a} \frac{1}{0.89\pi} = \frac{2\theta_{0,7}}{2.795} = 0.715\theta_{0,7}$$
(3.84)

Мұндағы 2 $\theta_{0,7}$ - өріс бойынша БД ені тиісінше

$$sin\psi_1/\psi_1 = 0,841$$
.

Эдетте, ФАТ-тарда қатардың корреляция радиусы ρ көрші сәулелендіргіштер арасындағы d қашықтығына тең деп саналады . Сондықтан нормаланған корреляция коэффициентін келесідей анықтауға болады

$$C = \frac{2d}{2a} = 2\pi \frac{d}{\lambda} \frac{1}{ka}$$
(3.85)

Сонымен қатар амплитудасы біркелкі таралатын шаршы ФАТ үшін $\frac{\partial^2 |F_{\Sigma \kappa B}(\theta)|^2}{\partial \theta^2}$ тәуелділігі (3.69) қатынасымен анықталады.

(3.69), (3.84)-ті (3.83)-тің орнына қойып, квадрат саңылауы бар ФАТ-ты табамыз.

$$\sigma_{\Delta\theta_{\rm KB}} = \frac{\sigma_{\varphi}}{2\sqrt{2}} 0,841 \frac{\sqrt{\ln t}}{\frac{2}{3} (ka \cos\tilde{\theta}_0)^2 0,715\theta_{0,7} e^{-\sigma_{\varphi}^2}}$$
(3.86)

xOz жазықтығында біркелкі амплитудалық таралуы бар квадрат ашылудың БД ені радианмен көрсетілетінін ескере отырып, ол былай жазылады

$$2\theta_{0,7} = 51\frac{\lambda}{2a}\frac{\pi}{180}\frac{1}{\cos\tilde{\theta}_0} = \frac{51}{180}\frac{\pi^2}{ka}\frac{1}{\cos\tilde{\theta}_0} = 2,79\frac{1}{ka\cos\tilde{\theta}_0}$$
(3.87)

(3.86)-ден біз аламыз

$$\sigma_{\Delta\theta_{\mathrm{KB}}} = \frac{\sigma_{\varphi}}{2\sqrt{2}} 0.841 \frac{\sqrt{\mathrm{Int}}}{\frac{2}{3} \left(ka \cos\tilde{\theta}_{0}\right)^{2} 0.715 \frac{2.79}{2} \frac{1}{ka \cos\tilde{\theta}_{0}} e^{-\sigma_{\varphi}^{2}}}{= 0.447 \frac{\sigma_{\varphi}\sqrt{\mathrm{Int}}}{ka \cos\tilde{\theta}_{0} e^{-\sigma_{\varphi}^{2}}} [\mathrm{pag}] = 1537 \frac{\sigma_{\varphi}\sqrt{\mathrm{Int}}}{ka \cos\tilde{\theta}_{0} e^{-\sigma_{\varphi}^{2}}} [\mathrm{бyp. Muh}].$$
(3.88)

ФАТ үшін $\sigma_{\Delta\theta\kappa B}$ бағасын дөңгелек саңылау түрінде алайық. (3.52) түрінің амплитудалық таралуымен радианмен өрнектелген дөңгелек саңылаудың БД ені былай жазылатынын ескере отырып

$$2\theta_{0,7 \text{ kp}} = 60 \frac{\lambda}{2a} \frac{\pi}{180} \frac{\gamma(\Delta,n)}{\cos\tilde{\theta}_0} = \frac{1}{3} \pi^2 \frac{\gamma(\Delta,n)}{ka\cos\tilde{\theta}_0}, \qquad (3.89)$$

және (3.49) және (3.53) тармақтарына сәйкес $\frac{\partial^2 |F_{\Sigma \kappa p}(\theta)|^2}{\partial \theta^2}$ туындысы 0,75 $\frac{\partial^2 |F_{\Sigma \kappa B}(\theta)|^2}{\partial \theta^2} \frac{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1n+2}}{(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}}$, және диаметрі (өлшемі) бірдей $\sqrt{\text{Int}}$ мәні саңылау пішініне әлсіз тәуелді деп есептесек, мынаны аламыз:

$$\sigma_{\Delta\theta\kappap} = 1537 \frac{\sigma_{\varphi}[\text{pad}]\sqrt{\text{Int}}\left[(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}\right]}{ka\cos\tilde{\theta}_{0}e^{-\sigma_{\varphi}^{2}}0.75\frac{60}{51}\left[(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}\frac{2}{n+2}\right]\gamma(\Delta,n)} = 1742 \frac{\sigma_{\varphi}[\text{pad}]\sqrt{\text{Int}}\left[(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1}\right]}{ka\cos\tilde{\theta}_{0}\left[(1-\Delta) + \frac{\Delta}{n+1n+2}\right]\gamma(\Delta,n)e^{-\sigma_{\varphi}^{2}}}\left[\text{бұр. мин}\right]$$
(3.90)

ka = 30 бар дөңгелек және шаршы ФАТ-тардың ашылуының ерекше жағдайын қарастырайық. Кестеге сәйкес [17, 10.10-сурет] ka = 30, $d_{3\kappa B} = 0,6\lambda$ және C = 0,14 квадрат ашу үшін бізде

$$\sqrt{\text{Int}} = \frac{0.2}{0.6} = 0.33$$
.

Біркелкі амплитудалық үлестірімі бар квадраттық ашылым үшін шаманың $\sigma_{\Delta\theta\kappa B}$ тәуелділік графиктері және ka = 30 бар ФАТ-тар үшін фазаөткізгіштер қателіктерінің ОКҚ шамасынан әртүрлі амплитудалық үлестірімдері бар дөңгелек ашылым үшін $\sigma_{\Delta\theta\kappa p}$ шамалары 3.12-суретте көрсетілген.



3.12 Сурет - ka = 30 және әртүрлі амплитудалық таралу параметрлері бар ФАТ үшін σ_{ϕ} бастап $\psi_1 = 1$ кезінде $\sigma_{\Delta\theta\kappa_B}$ және $\sigma_{\Delta\theta\kappa_P}$ тәуелділік графиктері: 1 – квадраттық апертура; 2 – дөңгелек апертура; $\Delta = 0, n = 0; 3$ – дөңгелек апертура, $\Delta = 0, 7, n = 2$

 $\sqrt{\text{Int}}$ мәні негізінен C(a) нормаланған корреляция коэффициентіне байланысты, ол өз кезегінде антеннаның өлшеміне (диаметріне) байланысты. 3.11-суретте келтірілген деректерге сәйкес, квадрат және дөңгелек саңылаулар үшін С \leq 0,2...0,3 кезінде өрнек ақиқат болатынын анықтауға болады.

$$\operatorname{Int}^{1/2}(ka) = \operatorname{Int}^{1/2}(30)\frac{30}{ka}.$$
(3.91)

Сондықтан (3.91) еркін өлшемдегі шаршы және дөңгелек ФАТ үшін мынаны аламыз

$$\sigma_{\Delta\theta_{\rm KB}}(ka) = \sigma_{\Delta\theta_{\rm KB}}(30) \frac{1}{(ka/30)^2}, \qquad (3.92)$$

$$\sigma_{\Delta\theta\kappap}(ka) = \sigma_{\Delta\theta\kappap}(30) \frac{1}{(ka/30)^2}.$$
(3.93)

АТ ашылуындағы кездейсоқ қателер кездейсоқ амплитудалық-фазалық қателіктерден ғана емес, мысалы, σ_{φ} дисперсиясы бар фазалық таратқыштардың дискреттілігімен ғана емес, сонымен қатар σ_{μ} дисперсиясы бар және σ_{np} дисперсиясы бар басқа да себептерге байланысты жеке фазалық таратқыштардың трактаттарының тұрақсыздығы мен сызықты еместігінен туындайды. Бұл қателер іс жүзінде тәуелсіз болғандықтан , АТ ашылуындағы қателердің жалпы дисперсиясын келесідей анықтауға болады:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\varphi}^2 + \sigma_{\mu}^2 + \sigma_{\pi p}^2} \tag{3.94}$$

Сондықтан, $\sigma_{\Delta\theta}$ - ны анықтағанда, 3.12-суреттегі графиктер бойынша σ_{ϕ} орнына σ_{Σ} пайдалану керек. Бұл жағдайда қателердің шамасы σ_{np} Факторлардың бірінші және екінші топтарымен байланысты қателерді барынша азайтуға болады. Сондықтан олардың мәні (3.94) тармағында көрсетілген басқа екі компоненттен аз.

Осылайша, осы бөлімде алынған нәтижелер (3.54) қатынасынан беріліс матрицасындағы өрістерді қосудың дұрыс еместігіне байланысты максималды рұқсат етілген детерминирленген бағытты табу қатесін анықтауға мүмкіндік береді, ал (3.90) қатынасы белгілі антенна өлшемдері үшін берілген бағытты табу қатесін қамтамасыз ететін рұқсат етілген кездейсоқ фазалық қателерге қойылатын талаптарды қалыптастыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

3.3 Әртүрлі жиіліктерде фазалық антеналық торлар сәулесін орнату дәлдігін MatLab бағдарламасымен талдау

FMCW антенна торы. Бұл мысалда жиілік модуляцияланған үздіксіз толқын (FMCW) қосымшалары үшін 77 ГГц 2 Х 4 антенна торын модельдеу сипатталған. Көлік құралдарының ішінде және айналасында антенналар мен антенна торларының болуы сымсыз соқтығысуды анықтау, соқтығысуды болдырмау және жолақтан шығу туралы ескерту жүйелерін енгізумен жиі кездеседі. Мұндай жүйелер үшін қарастырылған екі жиілік диапазоны сәйкесінше 24 ГГц және 77 ГГц аймағында шоғырланған. Бұл мысалда біз микро-полюсті патч антеннасын фазалық антенна торы бар эмиттер ретінде зерттейміз. Диэлектрлік субстрат-бұл ауа. Бұл мысал үшін келесі өнім қажет.

Фазаланған антенналық торы бар жүйелерге арналған құралдар жиынтығы^{тм} Дизайн параметрлері Орталық жиілік пен жиілік диапазонын реттеңіз. Жарық жылдамдығы вакуум жылдамдығына тең деп болжанады.

fc = 77e9; fmin = 73e9; fmax = 80e9; vp = physconst('lightspeed'); lambda = vp/fc;

2 X 4 массивін жасаңыз гипотетикалық элемент үлгісі FMCW антенна торы соқтығысуды іздеуге және алдын алуға арналған алдыңғы радар жүйесіне арналған. Сондықтан гипотетикалық антенна элементінен бастаңыз, ол бір жарты шарда бағдар диаграммасын айтарлықтай қамтиды. Косинус антеннасының элементі қолайлы таңдау болар еді.

cosineElement = phased.CosineAntennaElement; cosineElement.FrequencyRange = [fmin fmax]; cosinePattern = figure; pattern(cosineElement,fc)



3.13 Сурет – Косинусты анттеннаның бағыты

Массив үлгісі. Массивтің өзі алдыңғы бамперге немесе оның айналасына орнатылуы керек. Біз зерттейтін массивтің конфигурациясы, яғни 2 Х 4 өлшемді тікбұрышты массивке ұқсас.

```
Nrow = 2;
Ncol = 4;
fmcwCosineArray = phased.URA;
fmcwCosineArray.Element = cosineElement;
fmcwCosineArray.Size = [Nrow Ncol];
fmcwCosineArray.ElementSpacing = [0.5*lambda 0.5*lambda];
cosineArrayPattern = figure;
pattern(fmcwCosineArray,fc);
```



3.14 Сурет– Патч анттеннасының диззайн

Шынайы патч антеннасының дизайны Antenna Toolbox^{тм} жарты шармен қамтамасыз ете алатын бірнеше антенна элементтеріне ие. Патч антеннасының элементін таңдап, оны қызығушылық жиілігінде жобалаймыз. Патчтың ұзындығы 77 ГГц толқын ұзындығының жартысына жуығын құрайды, ал өткізу қабілетін жақсарту үшін ені 1,5 есе көп.

patchElement = design(patchMicrostrip, fc);

Antenna TOOLBOX кітапханасындағы әдепкі патч антеннасының геометриясы Зенитке бағытталған максималды радиацияға ие болғандықтан, патч антеннасын у осінің айналасында 90 градусқа бұраамыз, осылайша максимум х осіне түседі.

```
patchElement.Tilt = 90;
patchElement.TiltAxis = [0 1 0];
figure
show(patchElement)
axis tight
view(140,20)
```



3.15 Сурет– Патч анттеннасының геометриясы

3D үлгісі мен резонансы бар оқшауланған патч антеннасы 3D бағыт диаграммасы 77 ГГц жиіліктегі патч антеннасының бағдарлау диаграммасын жасаймыз. Патч-бұл шамамен 6-9 дБи болатын шыңы бар орташа кіріс антеннасы. үлгі (патч элементі, fc)



3.16 Сурет– резонансы бар оқшауланған патч антеннасы 3D бағыт диаграммасы

Резонанс азимут = биіктік = 0 градус кезінде максималды бағыттау диаграммасымен дұрыс режимде шығарылады. Бастапқы өлшемдер шамамен болғандықтан, кіріс кедергісінің әрекетін тексереміз.

Numfreqs = 21; freqsweep = unique([linspace(fmin,fmax,Numfreqs) fc]); impedance(patchElement,freqsweep);



3.17 Сурет–Кіріс кедергісін тексеру

Өткізу жолағын орнатыңыз жақсы импеданс сәйкестігін растау үшін графикке патчтың шағылысу коэффициентін жағыңыз. Әдетте бұл мән антеннаның өткізу қабілеттілігін анықтау үшін шекті мән ретінде қарастырылады.

s = sparameters(patchElement,freqsweep);
figure
rfplot(s,'m-.')
hold on
line(freqsweep/1e09,ones(1,numel(freqsweep))*-10,'LineWidth',1.5)
hold off



3.18 Сурет- Антеннаның өткізу қабілеттілігі

77 ГГц жиілігіндегі терең минимум 50-дің жақсы сәйкестігін көрсетеді. Антеннаның өткізу қабілеті 1 ГГц-ден сәл асады. Осылайша, жиілік диапазоны 76,5 ГГц - тен 77,5 ГГц-ке дейін. Үлгіні орталық және бұрыштық жиіліктерде растаймыз. Жолақтың бұрыштық жиіліктеріндегі құрылым бірдей болып қалатынына көз жеткізіңіз. 76,5 ГГц және 77,6 ГГц жиіліктеріндегі үлгі графиктері төменде көрсетілген.



3.19 Сурет– Әртүрлі жиіліктерде ФАТ сәулесін талдау

Бір тікбұрышты торды (URA) жасаймыз, бірақ бұл жолы оқшауланған патч антеннасын бөлек элемент ретінде қолданыңыз. Біз диапазонның жоғарғы жиілігінде аралықты таңдаймыз, яғни 77,6 ГГц.

fc2 = 77.6e9; lambda_fc2 = vp/77.6e9; fmcwPatchArray = phased.URA; fmcwPatchArray.Element = patchElement; fmcwPatchArray.Size = [Nrow Ncol]; fmcwPatchArray.ElementSpacing = [0.5*lambda_fc2 0.5*lambda_fc2];

Осылайша салынған патч-антенна торына схема жасаңыз. 3D моделін құру үшін азимут пен биіктікте 5 градус қашықтықты көрсетіміз.

az = -180:5:180; el = -90:5:90; patchArrayPattern = figure; pattern(fmcwPatchArray,fc,az,el);



3.20 Сурет - Патч-антенна торының сұлбасы

Екі ортогональды жазықтықта суретті өзгерту графигін құру. Патч-антенна торы мен косинус элементтерінің матрицасы үшін 2 ортогональды жазықтықтағы фокустық диаграмманың өзгеруін салыстырамыз. Екі массив өзара байланысты елемейді.

```
[Dcosine_az_zero,~,eln] = pattern(fmcwCosineArray,fc,0,el);
[Dcosine_el_zero,azn] = pattern(fmcwCosineArray,fc,az,0);
[Dpatch_az_zero,~,elp] = pattern(fmcwPatchArray,fc,0,el);
[Dpatch_el_zero,azp] = pattern(fmcwPatchArray,fc,az,0);
elPattern = figure;
plot(eln,Dcosine_az_zero,eln,Dpatch_az_zero,'LineWidth',1.5)
axis([min(eln) max(eln) -40 17])
grid on
xlabel('Elevation (deg.)')
ylabel('Directivity (dBi)')
title('Array Directivity Variation-Azimuth = 0 deg.')
legend('Cosine element','Patch Antenna','Location','best')
```



3.21 Сурет - Екі ортогональды жазықтықта суретті өзгерту графигі

azPattern = figure; plot(azn,Dcosine_el_zero,azn,Dpatch_el_zero,'LineWidth',1.5) axis([min(azn) max(azn) -40 17])
grid on
xlabel('Azimuth (deg.)')
ylabel('Directivity (dBi)')
title('Array Directivity Variation-Elevation = 0 deg.')
legend('Cosine element','Patch Antenna','Location','best')



3.22 Сурет - Екі ортогональды жазықтықта суреттің өзгертілген графигі

Косинус матрицасы және оқшауланған патч антенналарынан жасалған матрица, екеуі де өзара байланыссыз, биіктік жазықтығындағы негізгі сәуленің айналасындағы бағыттылық диаграммасына ұқсас (азимут = 0 градус). Патч элементтерінің массиві косинус элементтерінің массивімен салыстырғанда едәуір артқы жапырақшаға ие. Оқшауланған патч элементін пайдалану шынайы антенна элементінің антенна торының құрылымына әсерін түсінудегі пайдалы алғашқы қадам болып табылады. Алайда, массивті нақты талдау кезінде өзара байланысты ескеру қажет. Бұл кішкентай массив болғандықтан (2 Х 4 конфигурациясындағы 8 элемент), массив ортасындағы жеке элементтердің үлгілері айтарлықтай бұрмалануы мүмкін. Нәтижесінде оқшауланған элемент үлгісін кірістірілген элемент үлгісімен ауыстыру мүмкін емес. Өзара байланыстың массивтің жалпы жұмысына әсерін түсіну үшін толық толқындық талдау қажет.

қорытынды

Қорытынлай келе Ка диапазоның қазіргі таңдағы қолданылуы оның алатын орны туралы білдім.Заманауи құрылғыларда,медициналық апараттарда,спутниктік кемелерде қанадай жиілік ауқымдарында жұмыс жасайтынымен таныстым.Ка диапазонының ФАТ – ға әсерімен таныстым.Фазалық антена торларының жиілігімен ұзындығына байланысты есептеулер жүргіздік.Фазалық антена торларының құрамдас бөліктерін қолдану арқылы жиіліктеріне байланысты түрлі есептеулер жүргізілді.Сонымен қатар паленгация әсерін пайдаланып есептеулер жүргізу арқылы түрлі сұлбаларға қол жеткіздім және бұл паленгация әсері сканерлеу арқылы орындалды.

Сканерлеу ФАТ-тарындағы пеленгация дәлдігін төмендегі факторлар көмегімен іске асты.

- Әр N-ші ФАТ шығарғышының шығысындағы СШҚ;

– сәуле шығаратын (қабылданатын) өрістің қажетті амплитудалықфазалық таралуындағы ФАТ амплитудалық-фазалық қателіктердің сипаттамасы;

– поляризациялық БД мен жалпы ФАТ-тардың қабылданған өрістің поляризациясынан айырмашылығына байланысты поляризациялық қателер;

– сканерлеу секторында шамдарға аномалды КК ФАТ тәуелділікке әкелетін сәулелендіргіштерің ФАТ-тарындағы өзара әрекеттесуі;

– ФАТ-тардың фазалық таратқыштарын басқару жүйесі мен алгоритміндегі қателіктер туралы ақпарат;

ФАТ-тардың сәулелендіргіштерін жақсы үйлестіру жеткіліксіз;

– жүйедегі және пеленгация алгоритміндегі қателіктер туралы түсінік;

басқа қателер

Пеленгтеу қателері осы себептер салдарынан пайда болады және бұл себептер өз алдына тәуелсіз болып табылады және ФАТ-тардың жекелеген элементтерін тұтас алғанда ФАТ-тарды жобалау мен жасау технологиясына қол жеткізуге мүмкіндік берді.Сондықтан, пеленгацияның нақты дәлдігін жақсартудың табиғи талабы қателіктердің тиісті деңгейін анықтау болып табылды. Қателіктердің осы деңгейін анықтаудағы негізгі ақпарат көзі тек бөгеуіл мен шу сияқты сыртқы факторларға байланысты пеленгацияның өте қол жетімді дәлдігін талдау болып табылатыны ескеріліп, паленгация дәлдігін пайдаланып кателіктер деңгейі анықталды.Сонымен қатар фазалық антена торлары оның ішінде патч антеналарды толығымен МАТЛАБ бағдарламасын пайдаланып есептеулер жүргізілді. Есептеу барысында оның өзгерісі және тиімді типтері қарастырылды.Патч антеналарына жүргізілген есептеулер бойынша тиімді мәндер алынды.Нәтижесінде оның 3D модельдері салынды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Электромагнитный и цветовой спектр света (nscee.edu) (16 ақпан 2012 жыл)

2. Ки- или Ка- band: что лучше для спутниковых решений? | ГК AltegroSky | Яндекс Дзен (yandex.ru)(21 қаңтар 2020 жыл)

3. 3976 (cept.org)(2021 жылғы қазанда бекітілген, 2022 жылғы 7 сәуірдегі редакциялық жаңарту)

4. U.S. Frequency Allocation Chart (doc.gov) (2008 жылғы 9 наурыз.)

5. Page not found – Telesat (9 наурыз 2008 жыл)

6. Орбита захоронения: хроника приключений спутников KazSat | informburo.kz (31 наурыз 2017 жыл)

7. Что такое радар-детектор и зачем он водителю - AvtoDron.ru (9 қараша 2020 жыл)

8. Status of the CompactLight Design Study (cern.ch) (2019 жыл)

9. The theory of the anomalous skin effect in metals (royalsocietypublishing.org) (24 наурыз 1948 жыл)

10. CompactLight Design Study (cern.ch) (2018 жыл)

11. Compact Ultra High-Gradient Ka-Band Accelerating Structure for Research, Medical and Industrial Applications (inspirehep.net) (2019 жыл)

- 12. Dolgashev_MaterialsTechnological_2020.pdf (uniroma1.it) (2020 жыл)
- 13. Wiley-VCH Линейные ускорители ВЧ (2008 жыл)
- 14. 124F.pdf (nasa.gov)(15 ақпан 1996 жыл)
- 15. The Development of Phased-Array Radar Technology (mit.edu) (2000 жыл)
- 16. Compressive holography. | Semantic Scholar (2009 жыл)

17. Фазовая визуализация с помощью сжимающего чувствительного | Семантический ученый (semanticscholar.org) (2013 жыл)

18. [PDF] Digital holography for quantitative phase-contrast imaging. | Semantic Scholar (1999 жыл)

19. Развитие радиолокационной технологии с фазированной решеткой | Алан Фенн, Дональд Х. Темм, Уильям. Делани и Уильям Э. Кортни | загружать (11ib.education) (2001 жыл)

20. Радар с синтезированной апертурой с динамическими метаповерхностными антеннами: концептуальное развитие. | Семантический ученый (semanticscholar.org) (2017 жыл)

21. Waveguide-fed parallel plate slot array antenna | Semantic Scholar (1992 жыл)

22. Phased Array Antenna - Radartutorial
23. Патент на полезную модель № 184784. Устройство переизлучения сигналов/ А.В. Хомяков, В.П. Клапов, Г.В. Панченко, Е.В. Манаенков, А.С. Курбатский. Опубл. 08.11.2018. Бюл. № 31.

24. Патент на полезную модель № 188185. Модуль фазированной антенной ре-шетки / А.В. Хомяков, С.А. Курбатский, В.П. Клапов, Е.В. Манаенков, А.В. Новиков, А.В. Иванов, А.В. Болебонов. Опубл. 02.04.2019. Бюл. № 10.

25. Инденбом М.В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, рас-чет, конструкции. М.: Радиотехника. 2015.

26. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехни- ка. 2016.

27. Парнес М.Д. Отражательная антенная решетка с электронным сканированием// СВЧ-электроника. 2019. № 2. С. 24–31.

28. Фирсенков А.И., Гуськов А.Б., Комиссарова Е.В., Крехтунов В.М., Смирнов А.С. Обобщение результатов разработки интегрированных элементов фазиро- ванных антенных решеток с ферритовыми фазовращателями КВЧ диапазона // Сб. трудов Всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». 2019. Т. 1. № 1. С. 4–9. [Электронный ресурс] URL: http://mwelectronics.ru/2019/Papers/004-009.pdf.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ және ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ Қ.И. СӘТБАЕВ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Куантай Ұлмекен Қалижанқызы

5В071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна торларын талдау

Дипломдық жұмыста шағын габаритті фазаланған Ка – диапазон антенна тоорларына талдау жасалынды.Ка – диапазондардың қолданылу аясы,өзектілігі сонымен қатар мүмкіншіліктері қарастылды.Фазалық антенна торларында,оның құрамындағы патч антеналарда және радарларда қандай жиілік ауқымдарында жұмыс жүргізілетіндігі талқыланды.Фазалық антенна торларының паленгация әсерлері зерттеліп әртүрлі пішіндегі графиктер алынды.Соның нәтижесінде түрлі мәліметтерге сүйене отырып FMCW антенна торлары қарастырылды.

Дипломдық жұмысты жасау барысында студент, FMCW антенна торының ең тиімді есептелу типтерін қарастырды.

Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Дипломант Қуантай Ұлмекен алдына қойған техникалық тапсырмаларды инженерлік есептерді шеше алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатынын көрсетті. Диплом алдындағы қорғауға жіберілді. Жалпы дипломдық жобаны «95 А өте жақсы», деп бағалап, ал студент Қуантай Ұлмекен 5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне алдын-ала қорғауға ұсынылады.

Ғылыми жетекші т.ғ.м., ЭТжҒТ каф. лекторы

С.Марксұлы (қолы) «20» мамыр 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ және ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ Қ.И. СӘТБАЕВ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ

Дипломдық жұмыс

СЫН - ПІКІР

Куантай Ұлмекен Қалижанқызы

5В071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар Тақырыбы: Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна

торларын талдау

а) графикалық бөлім 23 парақ;

б) түсініктеме жазбасы бет. 71

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Дипломдық жобада Қуантай Ұлмекен Шағын габаритті фазаланған Кадиапазонды антенна торларына зерттеу жүргізген.Сонымен қатар Кадипазонды антена торларын зерттеп оның құрамындағы фазаланған антенна торларының паленгация әсеріне байланысты дәлдігін қарастырған.FMCW антенна торының ең тиімді есептеу техникасын зерттеген.Соның нәтижесінде Ка – диапазон антенна торларының шағын ауылды аймақтарғада берілген ақпаратты тез әрі сапалы жеткізетіндігін анықтаған және ең жоғары жиіліктерін пайдаланып есептеулер жасаған.

Жоғарыда айтқандай ең жоғары жиіліктерді пайдаланып есептеулер жүргізген.Есептеулер нәтижесі бойынша түрлі графиктер алынып тиіпді есептеу техкасы анықталған.

Әрбір қарастырылған есептеулерді қандайда бір дәлдікті анықтау үшін жолдары маңыздылын үшін пайдаланған.Олардың ұялы байланыс қарастырған.

Барлық есептеулер нәтижелерінде қазіргі таңдағы ең тиімді қолданылу желілердің ictey тораптарына қарастырған.Барлық жұмыс типтерін токталған.

Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер ақпаратты өңдеп тарату технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жобаға «85 В+ жақсы» деген бағаға, ал студент электроника және 5В071900-Радиотехника Ұлмекен Куантай телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензия беруші Тұран университеті, PhD доктор. h. m Жасандықызы « 24 » M

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Куантай Ұлмекен Қалижанқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна торларын талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 1.6

Коэффициент Подобия 2: 0.3

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 28

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:

2022-05-19

Дата

Заведующий кафедрой

Mappicyes & CH

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Қуантай Ұлмекен Қалижанқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Шағын габаритті фазаланған КА-диапазонды антенна торларын талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 1.6

Коэффициент Подобия 2: 0.3

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 28

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:

2022-05-19

Дата

A

Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт