

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

Ғанибек Әділжан Ғанибекұлы

«Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық
торлардың дамуын талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

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

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

 Е.Таштай

« 24 » 05 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық торлардың дамуын талдау»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

Ғ. Ә. Ғанибекұлы

Пікір беруші

КжПИИ каф. меңгерушісі

PhD докторы

Тұран Университеті



М. Жасандықызы

« 24 » 05 2022 ж.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. лекторы,

техн. ғыл. Магистры

ҚазҰТЗУ



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

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

 Е. Таштай

« 21 » Ху 2021 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Ганибек Әділжан Ганибекұлы*

Тақырыбы *«Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық торлардың дамуын талдау»*

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

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі *«30» сәуір 2022 ж.*

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- 1) Антенналардың құрылымының сұлбасы;
- 2) Төрт режимдегі антеннаның бағыттық диаграммасы;
- 3) ФАТ-тар бағытының сипаттамасы;
- 4) Антеннадағы фазалы кешіктірулер арқылы сәуленің белгілі бір бағыты.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Жазық ультра диапазондағы антенна торын зерттеу;
- б) Цилиндрлік ультра диапазондағы антенна торын зерттеу;
- в) Биконусты цилиндрлік торлардың көрінісін бағдарлама көмегімен анықтау;
- г) Е және Н жазықтықтағы сканерлейтін тордың бағыттық диаграммаларын бағдарлама көмегімен анықтап есептеу.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиет 50 атау: 1) «Real-time Millimeter Wave Omnidirectional Channel Sounder Using Phased Array Antennas» <https://arxiv.org/abs/2009.11093v1>, 23 Sep 2020 2) «Nonreciprocal Phased-Array Antennas» <https://arxiv.org/abs/1911.02059v1>, 5 Nov 2019 3) «Joint Beam and Channel Tracking for Two-Dimensional Phased Antenna Arrays» <https://arxiv.org/abs/1804.06258v4>, 4) «28 GHz mmWave Channel Measurements: A Comparison of Horn and Phased Array Antennas and Coverage Enhancement Using Passive and Active Repeaters» <https://arxiv.org/abs/2002.00121v1>, 1 Feb 2020

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2022 -01.02.2022	<i>Орындалады</i>
Теориялық ақпарат	01.02.2022 - 01.03.2022	<i>Орындалады</i>
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2022 - 30.05.2022	<i>Орындалады.</i>

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

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	<i>[Signature]</i>
Теориялық ақпарат	Марксұлы Сұңғат ЭТЖҒТ каф.лекторы, т.ғ.м.	15.04.2022	<i>[Signature]</i>
Норма бақылау	Смайлов Н.К. ЭТЖҒТ каф. қауым. профессоры	12.05.2022	<i>[Signature]</i>

Ғылыми жетекшісі

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

[Signature]
[Signature]

Марксұлы С.

Ғанибек Ә. Ғ.

Күні «13» желтоқсан 2021 ж.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста жалпы фазалы антенналық торлары талданады. Жазық және цилиндрлік фазалы антенналық торлардың бағыттық диаграммасы есептеліп, MatLab бағдарламасы көмегімен салынды.

Ғылыми мақалалар бөлімінде фазалы антенналық торлардың қолдану аясы көрсетілді, қай жерлерде, кімдер, қай мақсатпен қолданды. Фазалы антенналық торларды жетілдіруге арналған алгоритмдер, жаңа антенна түрі туралы тұжырымдамалар мен қателіктерді өлшеу алгоритмдері, антеннаны тиімді пайдалануға арналған тұжырымдамалар және т.б. қарастырылған.

Келесі, екінші бөлімде, мақала авторларының өздері жасаған фазалы антенналық торлары туралы айтылады. Yagi элементінен жасалған жазық фазалы антенналық торлар, оптикалы жазық антенналық торлар, иерархиялы фазалы антенналық торлар, екі қабатты торлар және т.б.

Соңында фазалы антенналық торлардың MatLab-та моделін құрадық, бағыттық диаграммасын есептеп, бағдарлама көмегімен модельден алынған нәтижелердің графигін сыздық. Жазық ультра диапазонды, биконусты ультра диапазонды антенналар қарастырылды, бағыттық диаграммаларының үш өлшемді графигі сызылды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе анализируются фазовые антенные решетки. Вычисляются, с помощью программы MatLab, маршрутная диаграмма плоских и цилиндрических фазовых антенных решеток.

В разделе научных статей была представлена область применения фазовых антенных решеток, где, кто и с какой целью оно применялось. Рассмотрены алгоритмы совершенствования фазовых антенных решеток, концепции нового типа антенн и алгоритмы устранения ошибок, концепции эффективного использования антенн и др.

Во второй части речь пойдет о фазовых антенных решетках, созданных самими авторами статей. Плоские фазовые антенные решетки из элемента Yagi, оптические плоские антенные решетки, иерархические фазные антенные решетки, двухслойные решетки и т.д.

Наконец, в завершение мы построили модель фазовых антенных решеток в MatLab, рассчитали маршрутную диаграмму и с помощью программы нарисовали графики результатов, полученных от модели. Рассматривались плоские ультрадиапазонные, биконические ультрадиапазонные антенны и рисовался трехмерный график маршрутных диаграмм.

ANNOTATION

In this graduate work, we analyzed a phased antenna array. The route diagram of flat and cylindrical phased antenna arrays was calculated using the MatLab program.

In the section of scientific articles, the scope of application of phased antenna arrays was shown, where, by whom, and for what purpose they were used. Algorithms for improving phased antenna array, concepts of a new type of antenna and algorithms for measuring errors, concepts for efficient use of the antenna, etc. are considered.

The following, in the second part, will tell you about the phased antenna arrays created by the authors of the article themselves. Flat phased antenna arrays made of Yagi element, optical flat antenna arrays, hierarchical phased antenna arrays, double layer arrays, etc.

Finally, we built a model of phased antenna arrays in MatLab, calculated the direction diagram, and drew a graph of the results obtained from the model using the program. Flat ultra-band, biconvex ultra-band antennas were considered, and a three-dimensional graph of directional diagrams were drawn.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Фазалы антенналық торларға шолу	10
1.1 Фазалы антенналық торлар	10
1.2 Фазалы антенналық торлардың қолданылу аясы	11
1.3 Фазалы антенналық торларды жетілдіру технологиясы	17
2 Фазалы антенналық торлардың түрлері	30
2.1 Жазық фазалы антенналық торлар	30
2.2 Цилиндрлік фазалы антенналық торлар	41
3 Ультра диапазонды фазалы антенналардың моделі	50
3.1 Жазық ультра диапазондағы фазалы антенналық торын зерттеу	50
3.2 Цилиндрлік ультра диапазондағы фазалы антенналық торын зерттеу	51
3.3 Биконусты фазалы антенналық торлардың көрінісін бағдарлама көмегімен анықтау	54
3.4 Е және Н жазықтықта сканерлейтін тордың бағыттық диаграммаларын анықтап, есептеу	57
Қорытынды	63
Қолданылған әдебиеттер	64

КІРІСПЕ

Антенна сәулесін электронды басқару мүмкіндігі антенна технологиясының дамуының алғашқы кезеңінде, өткен ғасырдың 30-шы жылдарынан бері, белгілі болды, ал алғашқы антенналардың бірі 1937 жылы құрылған. Бастапқы кезеңде фазалы антенна торлары тек әскери мақсаттарда ғана қолданылды. Радарларда жылдам ұшатын ұшақтарды бақылауға және бір уақытта бірнеше объектілерді көру үшін, ал байланыс жүйелерінде сәуленің бағытын спутникте ұстап тұру үшін фазалы антенна қолданды.

Фазалық антенналар үлкен аумақтарды бақылауға арналған радиотехникалық жүйелерінде немесе өртте құтқару кезінде жақында қолданыла бастады. Радарлы сенсор жаңа және қарқынды дамып келе жатқан сала. Ол кеңістікті сканерлеуді, автомобильдердің соқтығысуын болдырмайтын жүйелерді қамтиды және мұндай салада сәулені басқару тізбектерінде аз қуат тұтынатын арзан миллиметрлік фазалы антенналарды қажет етеді. Егер 60-шы жылдардың ортасына қарай электронды басқарылатын фазалы антенналарды құру мен оңтайландырудың барлық негізгі принциптері тұжырымдалған және жеткілікті дамыған болса, онда басқару құрылғыларының техникасын дамыту бүгінгі күнге дейін әлі аяқталған жоқ.

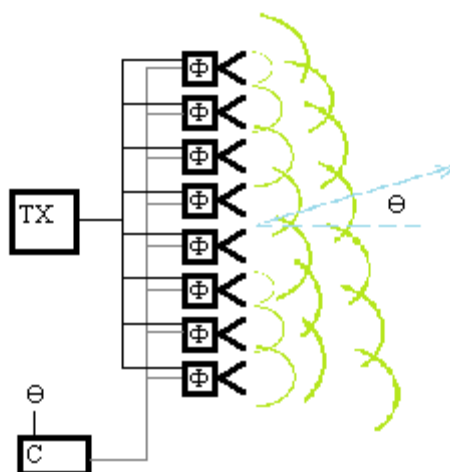
Қазіргі кезде фазалы антенналық торлар икемділігі мен бағытты өзгерту оңтайлығынан радиолокацияда, радиобайланыста, радионавигацияда, радиоастрономияда және т.б. салаларда кеңінен таралған антенналардың бірі болды. Жүздеген элементтерден құралған фазалы антенналық торлар қазіргі заманғы көптеген жер үсті станцияларда, авиациалы, ғарыштық радиотехникалық жүйелерінде қолданылады. Әр жыл сайын фазалы антенналық торлардың технологиясы мен теориясын жетілдіруі және қолданыс аясын кеңейтуі жайлы жаңа жүздеген мақалалары шығады.

1 ФАЗАЛЫ АНТЕННАЛЫҚ ТОРЛАРҒА ШОЛУ

1.1 Фазалы антенналық торлар

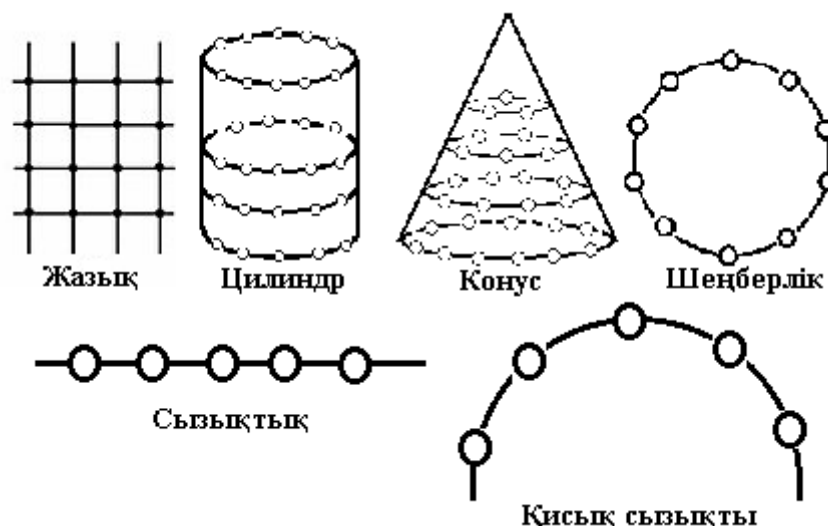
Фазалы антенналық торлар дегеніміз - тордың элементтеріне берілетін, электронды түрде өзгертіле алатын, сигнал арқылы сәуленің бағыттық диаграммасын құрайтын, құрал. Бағыттық диаграмманың бағыты мен пішімін тордың элементтеріне берілетін сигналдардың амплитудасы мен фазасы арқылы электронды түрде өзгертуге болады. [2]

Фазалы антенналық торларының басқа антенналық торлардан басты айырмашылығы - электрлік сканерлеу үшін фазалық немесе амплитудалы-фазалық таратуды басқаратын фазалық ауыстырғыштар жүйелері мен коммутаторлардың антеннаға қосылуы. Фазалық ауыстырғыштар жүйесі мен коммутаторлар антенна-фидер құрылғысының модульдерін басқаруға және фазалық тордағы элементтің орналасуына байланысты фазалық ығысуын орнатуға арналған. Фазалық ығысулар арнайы есептеуіш ұяшығында элементтің фазалық торда орналасқан координаттарына байланысты есептеледі. [27]



1.1 Сурет - Фазалы антенналық тордың жалпы құрылымы

Фазалы антенналық торлардың түрлері антенналық торлардың формаларының түрлерімен байланысты. Антенналық торлар элементтердің орналасуына, олардың арақашықтығына, қозу немесе сканерлеу әдісіне және қолданылатын элементтің түріне қарай бөлінеді. ГОСТ бойынша антенналық торлардың формасы сызықтық, қисық сызықты, жазық, конустық, цилиндрлік, сфералық болып бөлінеді. Егер де антенна элементтері кеңістікте белгілі бір геометриялық форманы алмаса, онда оны конформды деп атайды. Оған автокөліктің, ұшақтың немесе басқа заттардың бетін жатқызады. [27]



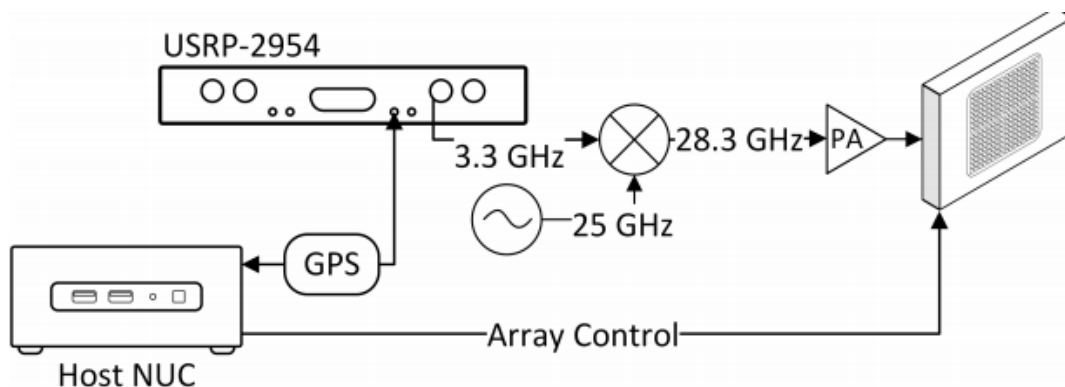
1.2 Сурет - Фазалы антенналық торлардың түрлері

Жазық фазалы антенналық торларда электрлік сканерлеу шектеулі болып келеді (шамамен 40° - 50° -қа дейін) және олар көбіне қысқа диапазонды болады. Кең диапазонды және сканерлеу бұрышы үлкен параметрлерге жету үшін жазық фазалы антенналық торлардың орнына цилиндрлік немесе басқа да дөңес формалы торларды қолданады, бірақ оған қарамастан жазық және сызықтық фазалы антенналық торлар кең таралған. Цилиндрлік торлардың артықшылығына: азимуталды жазықтықта 360° -та сканерлей алуы, ол басқа жазықтықта шамамен 50° -та сканерлей де алады; цилиндр бойындағы элементтер арасындағы әлсіз байланыс, элементтер бір-бірінен ось бойынша бұрышпен орналасқандықтан пайда болады; орналастыру оңтайлығы (ұшақ корпусында немесе қаптауында). Олардың кемшілігіне: элементтерді қоздырудың қиындауын; элементтердің санының артуын; бір бағытты немесе қысқа диапазонды сигнал жібергенде элементтердің тек бір бөлігі жұмыс істейді және оларды басқалардан бөлек реттеу керектігін жатқызуға болады. [27]

1.2 Фазалы антенналық торлардың қолданылу аясы

2020 жылы желтоқсан айында болған GLOBECOM 2020-2020 глобальді коммуникациялық конференциясында жанжақты бағытталған миллиметрлі диапазонды эхолот дизайны мен архитектурасы көрсетілген. Эхолот тоқтаусыз қозғалыстағы көліктерге үзіліссіз байланыс көзін сақтауға арналған технология. ROACH эхолоты миллиметрлі диапазонда жұмыс істейді, оған өшуліктерден сақ болу үшін жоғары дәлдікті тарату мен қабылдауды ұйымдастыру қажет. Эхолот жұмысына үзіліссіз қозғалыстағы көліктер мен оларға дейінгі әр түрлі биіктік және сәуле жолы бойындағы әр түрлі кедергілер әсер етеді. Ол кедергілерден өту үшін авторлар статьяда келтірген еңбектерді қарастырды,

оларда көбіне пассивті бағытталған антенналар қолданылды. Зерттеушілер келтірілген еңбектердегі эхолоттардың кемшіліктерін айта кете өзінің моделін ұсынды. ROACH эхолотының таратушысында сигнал Zadoff-Chu реттілігі арқылы корреляциядан өтіп қуат күшейткішіне түседі. Күшейтілген сигнал Anokiwave AWA-0134 Active Antenna Inovator's Kit фазалы антенналық торға түседі. Таратқыштың блок-схемасы 1.1-ші суретте көрсетілген. [1]



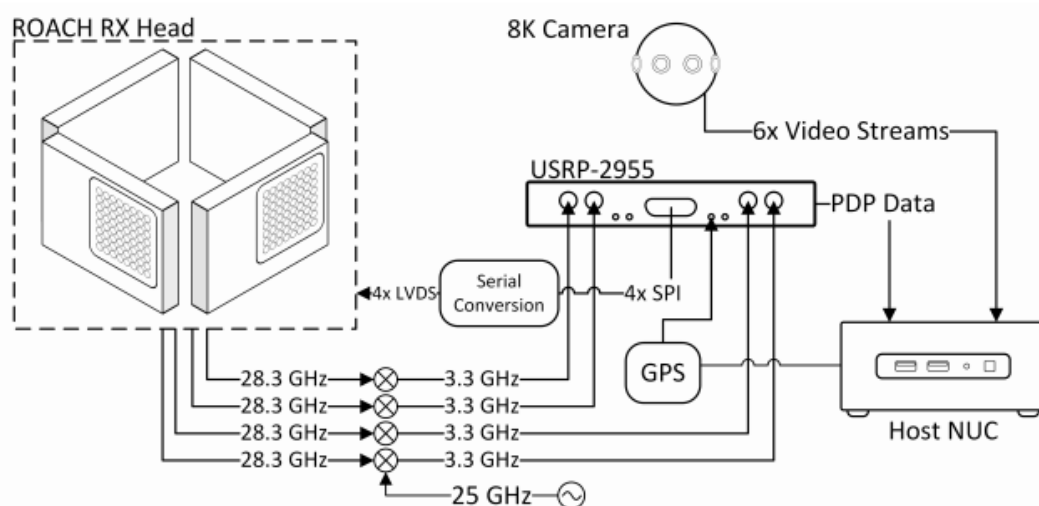
1.3 Сурет - Каналды зондтауға арналған таратқыштың блок-схемасы

AWA-0134 256 элементтен тұратын, жұмыс істеу жиілігінің диапазоны 27,5 ГГц - 30 ГГц болатын фазалы антенналық тор. Сәленің бағыты мен кеңдігін ROACH таратушысындағы компьютермен Ethernet желісі арқылы басқаруға болады. Таңдауға болатын сәуле кеңдігі мен оның күшейту коэффициентін келесі кестеден көруге болады. [1]

1.1-Кесте. Таңдауға болатын сәуле кеңдігі мен күшейту коэффициенті

Сәуле түрі	Сәуле кеңдігі, 3дб	Күшейту коэффициенті (дб)
1	7,0	59,1
2	25,0	41,3
3	54,1	36,8
4	80,0	33,4

Таратқыштан өткен соң сигнал қабылдағышқа түседі. Қабылдағыш ретінде эхолотта Anokiwave AWMF-0129 Active Antenna Inovator's Kit қолданылды. AWMF-0129 64 элементті жазық фазалы антенналық тор, оның жұмыс істеу жиілік диапазоны 27,5 ГГц - 30 ГГц. Қабылдағыш сәуле азимут бойымен $\pm 60^0$ және $\pm 45^0$ орындық бұрышы бойымен қозғала алады. Азимут бойымен жан жақты қабылдау үшін AWMF-0129 фазалы антеннаның 4-еуін квадрат тәрізді орналастырған. Ол мына 1.4-ші суретте көрсетілген. [1]



1.4 Сурет - Каналды зондтауға арналған қабылдағыштың блок-схемасы

Антенналардың квадрат тәрізді орналасуы көмегімен әрбір антенна азимуталды жазықтықтың 25% секторын алып отырады. [1]

1.2-Кесте. Таңдауға болатын сәуле кеңдігі мен күшейту коэффициенті

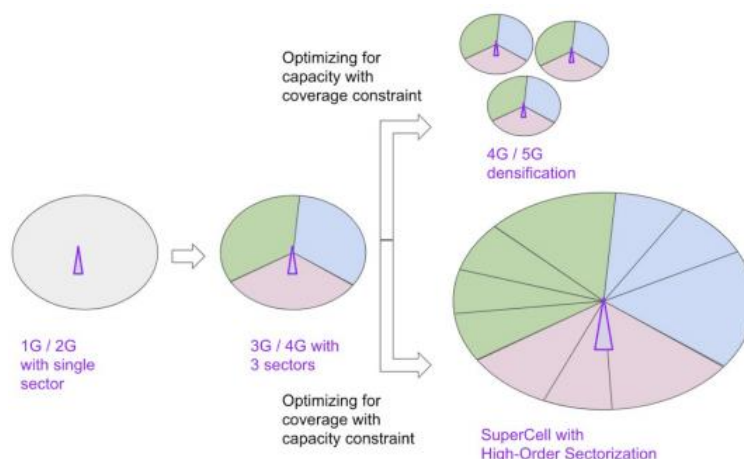
Сәуле түрі	Сәуле кеңдігі, 3дб	Күшейту коэффициенті (дб)
1	14,2	47
2	16,8	43,3
3	18,7	34,3
4	16,5	30,3

AWMF-0129 антеннасы жан жақты, 1024 сәулеге дейін жарықты қабылдай алады. Сонымен қатар, AWMF-0129 сәленің 4 типті кеңдігімен жұмыс жасай да алады. Ол 2-ші кестеде көрсетілген. [1]

Фазалы антенналық торларды қолданудың тағы да бір жолын Jacopo Pegoraro, Jesus Omar Lacruz, Enver Bashirov, Michele Rossi және Joerg Widmer өз ғылыми мақаласында ұсынды. Зерттеушілер бірлескен байланыс және радиолокацияның RAPID жүйесін көрсетті. RAPID жүйесі 60 ГГц диапазонында жұмыс жасайтын WI-FI желісінің жаңа поколениысы IEEE 802.11ay стандартына негізделген. IEEE 802.11ay стандарты адамдардың немесе заттардың бөлме ішінде қозғалысы не тыныштық сәтінде бақылап отыра алады. Бұл процесс іске асу үшін көбіне радиолокациялық құралдар қолданылады, олар адам қозғалысы әсерінен пайда болатын Доплер эффектісін қадағалап, шағын ауқымды анализдер жасайды. Осы функция арқылы адамдарды қозғалысы кезінде идентификациялауға арналған жоғары дәлдікті бағдарламалар жасауға мүмкіндігі ашады. Авторлар айтуы бойынша бұл процессті оңтайландыруға болады. Қосымша радиолокациялық құралдарды орналастырудың орнына авторлар IEEE 802.11ay стандартының сәулелік үйренуін қолдануды ұсынады. RAPID системасы бұл процессті орындай, артық

қосымшаларсыз, тез орындауға мүмкіндік береді. Бұл система IEEE 802.11aу стандарты жұмыс істей алатын толық дүплекті FPGA платформада жүзеге асырылады. FPGA платформасында фазалы антенналық торлар қолданылады, сол арқылы олар шағылған пакеттік сигналдың импульстік сипаттамаларын бағалайды. Авторлардың есептеулері бойынша RAPID системасының дәлдігі 90-93%-ға ие. [7]

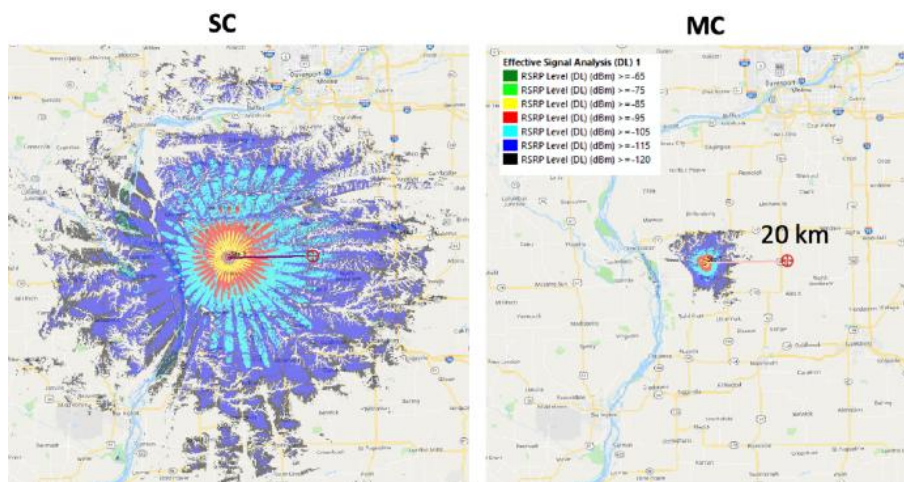
Pratheep Bondalapati, Abhishek Tiwari, Mustafa Emin Sahin, Qi Tang, Srishti Saraswat, Vishvas Suryakumar, Ali Yazdan, Julius Kusuma және Amit Dubey келтірген мақалаларында ауылдық жерлерді және қуат қажеттілігін қамту мәселесін шешудің жолын көрсетті. Авторлар 2020 жылы SuperCell технологиясын ұсынды. Бұл технологияда екі негізгі техникалық ерекшелігі бар: ол кең ауылдық жерлерді қамту үшін күшейту коэффициенті жоғары антенналары бар биік мұнараларды және осы антенналардың жоғары өткізу қабілетін қамтамасыз ету үшін тиімді секторизация түрін пайдаланады. SuperCell технологиясында антенналардың Люнеберг линзалары және фазалы антенналық торлар түрлері қолданыла алады, біз осы мақаладан фазалы антенналық торларды қолданғандағы нәтижелерді қарастырайық. [10]



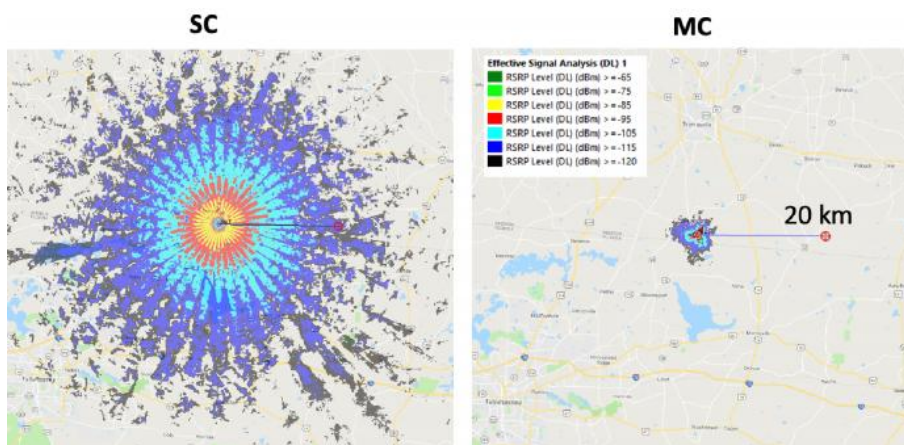
1.5 Сурет - SuperCell қамту аймағының 1G/2G және 3G/4G салыстырғандағы графигі

Люнеберг линзалары SuperCell технологиясында өзін жақсы көрсетті. Оның күшейтуінің жоғары коэффициенті, бағыттық диаграммадағы шеткі бұтақтарды басуы тартымды болып көрінеді, бірақ Люнеберг линзаларында фазалы антенналық торлардың басты ерекшелігі жоқ. Антенналық торлар әлемде өзінің икемділігімен танымал. SuperCell технологиясында 36 секторлар саны бар және олар біртекті емес, 1.5 суретте көрсетілген. Люнеберг линзалары арқылы біртекті емес секторларға бөлінуді қолдау өте қиын жұмыс. Авторлар антенналық торларды орналастырудың екі конфигурациясын ұсынды: горизанталды және вертикалды, олар мұнараны айналасы бойымен жабуы керек. Астыдағы суреттерде авторлар әр түрлі штаттарда жасаған нәтижелерді

көрсетті. SuperCell (SC) шығарған нәтижелер MacroCell (MC) нәтижелерімен салыстырыларды. [10]

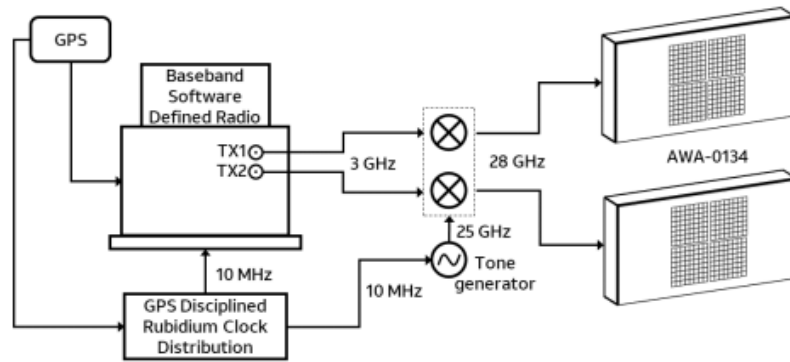


1.6 Сурет - Иллинойс штаты



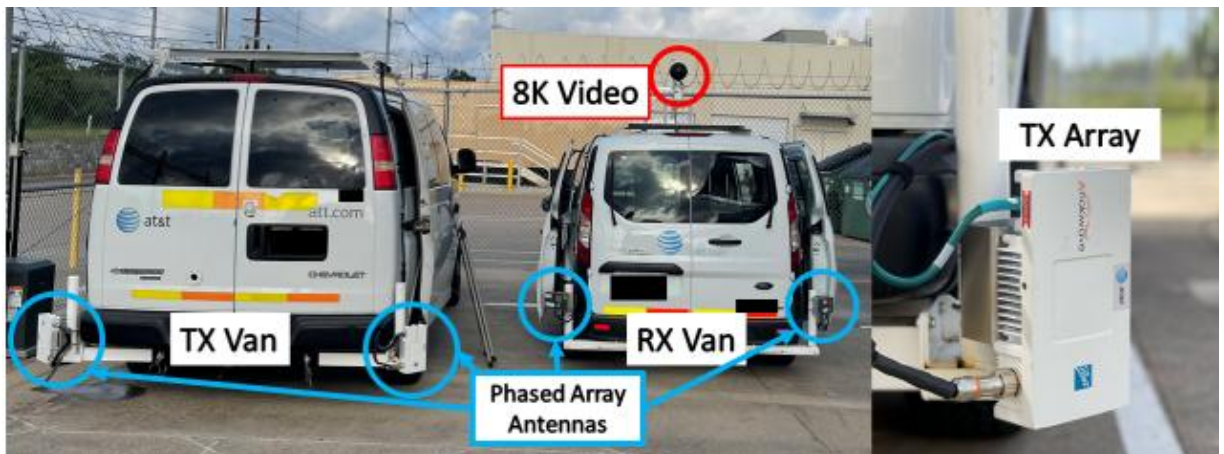
1.7 Сурет - Джорджио штаты

Aditya Chopra, Andrew Thornburg, Ojas Kanhere, Saeed S. Ghassemzadeh, Milap Majmundar және Theodore S. Rappaport көліктерге арналған жаңа көп антенналы платформаны ұсынады. Бұл платформада сигнал таратушы бөлігінде 256 элементтен тұратын 2 фазалы антенналық торлар және қабылдағыш бөлігінде 64 элементтен тұратын 4 антенналық торлар қолданылады. Қабылдағыш 1 миллисекунд ішінде 116 түрлі бағыттағы сигналдарды өңдей алады. Платформа жаңа ғасырға сай миллиметрлі диапазонда 28 ГГц жиілігінде жұмыс жасайды. Ол зондтауға және ені 1 ГГц бағытталған каналды өлшеу үшін арналған. Бұл жүйе сонымен қатар 360 градус аумақты қамтитын видео съемка жасайды және көлік орналасуын сантиметрлі деңгейге дейін көрсетіп бере алады. [12]



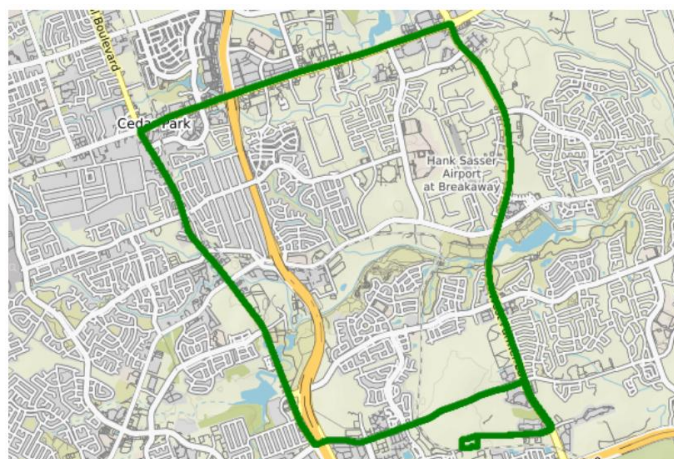
1.8 Сурет - Екі каналды таратқыштың схемасы

1.8 суретте автомобиль транспортына еңгізілетін екі каналды таратқыштың схемасы көрсетілген. Бұнда AWA-0134 таратқыштары фазалы антенналық торлар болып келеді. Олар транспортқа келесі түрде еңгізіледі. [12]



1.9 Сурет - Таратқыш фазалы антенналық торлардың транспорттың бамперінде, 15 дюйм биіктікте, ораналасуы

Авторлар бұл статьяның алдында тағы да бір статьяны жариялаған. Олар ROACH эхолотын [1] алып, соның фундаментінде жаңартылған эхолот түрін құрады. ROACH эхолоты бір таратқыш пен төрт қабылдағыш системасынан тұрды. Қабылдағыш системаларда AWA-0134 фазалы антенналық торлары қолданылды. Бөл эхолот 28 ГГц миллиметрлі диапазонында және 60 МГц өткізу жолағында жұмыс жасай алады. Бірақ, авторлар бұл зондты кең жолақты бағдарламалық қамтамасыз етумен анықталатын радиостанцияларды (SDR) және жоғары жылдамдықты ақпарат регистраторларын қолдану арқылы жетілдірді. [12]

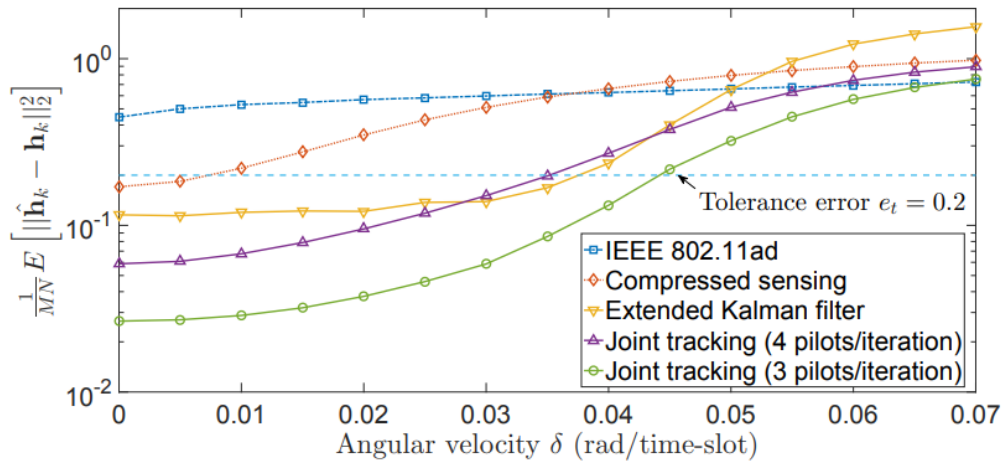


1.10 Сурет - Есептеулер жүргізілген 14,3 мильдік жол

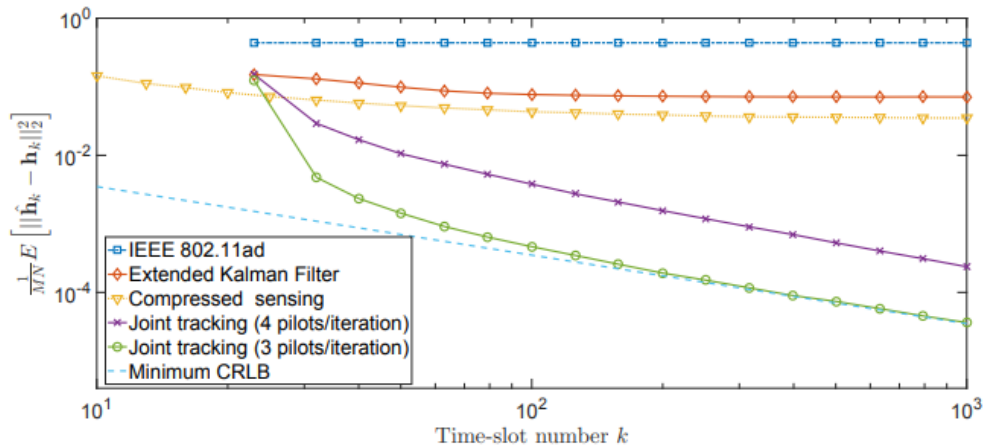
Зерттеушілер жоғарыда көрсетілген жолды 20 миль/сағ жылдамдығымен өте нәтижелерді жинады. Жиналған ақпараттардың жалпы жылдамдығы шамамен 1,5 Тбайт/сағ болды. [12]

1.3 Фазалы антенналық торларды жетілдіру технологиясы

J. W. Zang, A. Alvarez-Melcon, J. S. Gomez-Diaz келтірілген статьяда өзара байланысты емес фазалы антенналық торлар тұжырымдасын ұсынды. Біз білеміз, фазалы антенналық тордың әрбір элементтеріне келетін сигнал бір-бірінен сәл өзгеше болып келеді. Сигналдың өзгерісі тордың элементтері арасында керекті бағыттағы өзара интерференцияның пайда болуы үшін жасалады. Бұндай антенналар сигналды жақсырақ таратады, қабылдауда сезімталдығы артады және бағыттық диаграмманы оңай өзгертуге жол ашады, бірақ фазалы антенналық торларда бір кемшілігі бар. Уақыттық симметрия әсерінен антеннаның бағыттық диаграммасы қабылдауда және таратуда бірдей болады. Статьяда зерттеушілер өзара байланысты емес фазалы антенналық тор арқылы бір антеннада бір мезгілде қабылдау және тарату мүмкіндігін келтіріп отыр. Өзара байланысты емес антенна кедергі және шу сигналдарына төзімдірек болады, MIMO радиоканалдарында арналардың жұмысын жақсартады, динамикалық өнімдікті әр түрлі радарларда, датчиктерде және сымсыз желілерде арттырады. [2]



1.11 Сурет - Авторлар ұсынған алгоритмнің басқа алгоритмдермен белгілі бір уақыт интервалындағы жылдамдықтың динамикалық өзгерісінің салыстыру графигі



1.12 Сурет - Авторлар ұсынған алгоритмнің басқа алгоритмдермен белгілі бір уақыт интервалындағы жылдамдықтың статикалық өзгерісінің салыстыру графигі

Жоғарыда сигналды бақылаудың және зондтаудың 5 алгоритмдері көрсетілген: IEEE 802.11ad, қысылған зондау алгоритмі, кеңейтілген Калман фильтри және бірлескен бақылау алгритмінің 2 түрі. Әділдік үшін әрбір алгоритмге 3 пилот-сигналдан келіп отырады, бүрлескен бақылау алгоритмінің 4 пилот-сигналдық түрінде бір артық сигнал буферде сақталып, келесі кезектегі 4 пилот-сигналдарымен қосылады. [3]

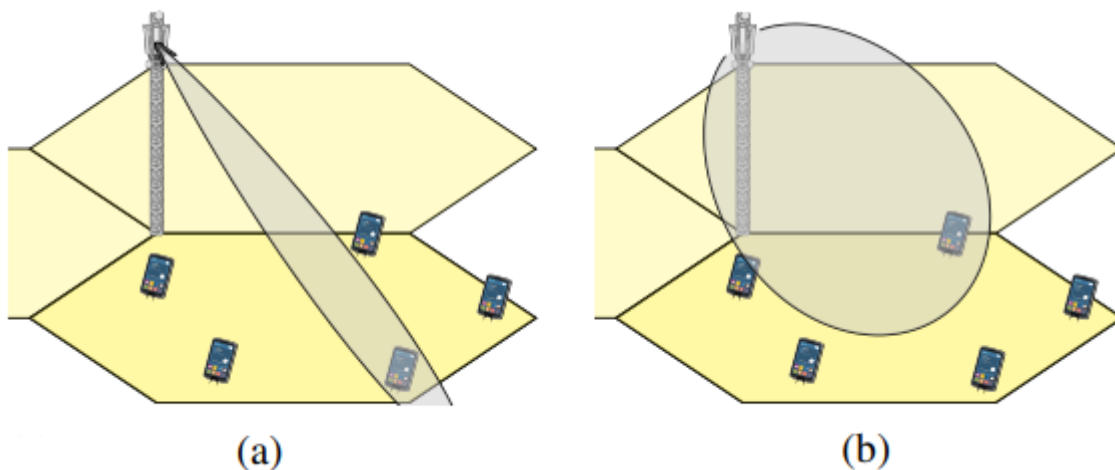
Жазық фазалы антенналық торды қолдана Yu Liu, Jiahui Li, Yin Sun және Shidong Zhou үш өлшемді кеңістікте жылдам қозғалатын қысқа толқынды жарықты бақылауға және зондтауға арналған бірлескен бақылау алгоритмін ойлап тапты. Зерттеушілер тапқан алгоритм ерекшеліктері. Өшуі бар каналдарды қолдай алуы: алгоритм бір сәтте өшуі бар каналда сәуленің екі өлшемді бағытын және каналдың коэффициентін бақылай алады. Зондтауға

кететін шығындардың азаюы: жарық пен каналды бір сәтте бақылау үшін керекті минималды зондтау талаптар орындалады. Жоғары бақылау жылдамдығы мен жоғары дәлдікті қамтамасыз ету: алгоритімнің минималды қателікті бақылау шекарасы Крамер-Рао шекарасына жақын. Статъяда келтірілген әдебиеттермен салыстырғанда авторлардың келтірген алгоритмі бақылау жылдамдықтан немесе дәлдігімен басқалардан асып түседі. [3]

Ozgun Ozdemir, Fatih Erden, Ismail Guvenc, Taha Yekan және Tom Zarian өз статъясында 28 ГГц диапазонындағы қысқа толқындардың каналын зерттеді. Диапазоны 6 ГГц және диапазоны 28 ГГц каналдар бір-бірінен өте көп айырмашылыққа ие болады. 6 ГГц каналдары 28 ГГц каналдарымен салыстырғанда тұрақтырақ және блоктарға төзімдірек болады, бірақ 28 ГГц каналдары 6 ГГц каналдарынан тиімдірек. Бағысы, пайдалы әсер коэффициенті және жылдамдығы жағынан. Статъяда авторлар миллиметрлі диапазондағы каналды толығырақ зерттеу үшін арналған 28 ГГц каналды эхолотты ұсынады. Эхолот рупорлы және фазалы антеннамен жұмыс жасай алады. Статъя нәтижесі бойынша екі антеннаның бағыттарының ауысу жылдамдығы, көп сәулелі компоненттен алынған күшейту коэффициенттерінің нәтижелері салыстырылады. Нәтижесінде авторлар бұрыштық профильді табу үшін екі антеннаны да қолдануға болатынын көрсетті. [4]

Сымсыз байланыстың келесі ұрпағының дамуы үшін келесі зерттеушілер: Masoud Arash, Ivan Stupia және Luc Vandendorpe антеннаны ресурстар кемшілігі кезіндегі максималды тиімді таңдауды қарастырды. Бұл жұмыста зерттеушілер жазық антеннаның Крамер-Рао (CRLB) төменгі шекарасын, минималды керекті антенналар санымен жұмысты жүргізуі сәтінде, шекараны минимизациялау мүмкіндігін қарастырды. Олар антеннаны оңтайлы таңдаудың стратегиясынұсынды және сол стратегияның негізінде, антенна таңдаудың екі қадамдық әдісі арқылы, лездік CRLB мәнін минимизациялады. Авторлар жасаған стратегиясының тиімділігін және дәлдігін атап, статистикасы мен нәтижелерін көрсете дәлелдеп, өтті. [5]

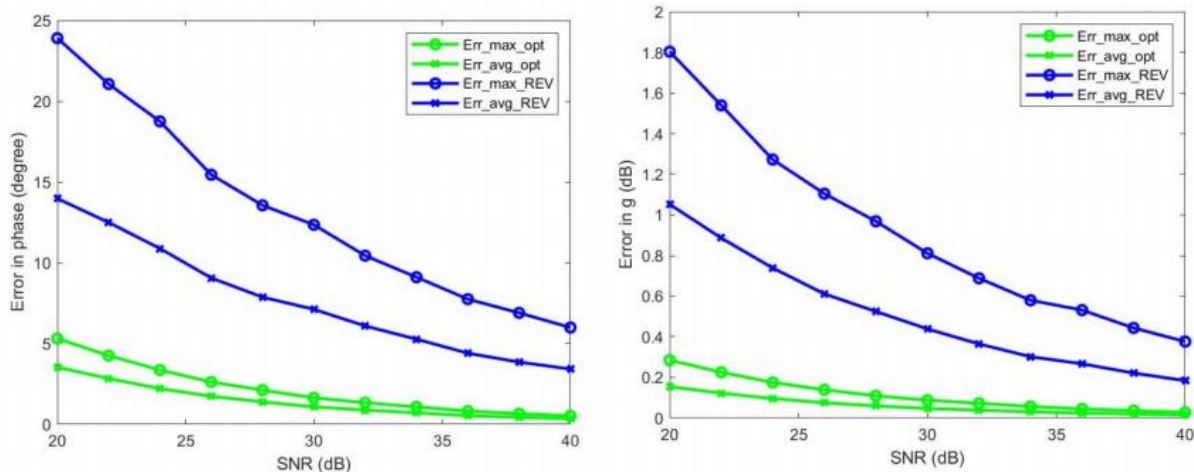
Антенналық торлар арқылы байланыс жүйесіндегі соталы бөлінген кеңістікті қамту үшін сәулені қалыптастырудың көптеген әдістері бар. 2021 жылы шыққан статъяда Maksym A. Girnyk және Sven O. Petersson өткен жылдардың ғалымдардың шығарған мақалаларын зерттеп, үлкен антенналық торлары бар соталы бөлінген кеңістікті қамтудың тиімді әдісін ойлап тапты. [6]



1.13 Сурет - Сәуле құрудың түрлері. Арнайы сәуле құрылу (a), клеткалы сәуле құрылу (b)

Әдіс құрылымы көп фазалы Голея тізбегі мен екі поляризациялы сәуле қалыптастыру әдісі арасындағы қатынасқа негізделген. Миллиметрлік диапазондағы толқындардың ерекшелігіне сай миллиметрлік толқындар өте үлкен жоғалтуларға бейім. Ол мәселені антенналық торлардың өлшемдері шешеді, бірақ оның әсерінен үлкен антенналық тор қымбаттайды және жнергиялық тиімділігі төмендейді. Қазіргі кезде антенналық торлардың гибриді архитектурасы, антенналық торлардың пішімдерінің өзгеруінен белгілі бір танымалдылыққа ие болды. Сигналдар енді тек аналогты не цифрлы емес, енді сигналдар бір сәтте екі жағдайда да таратыла бастады. Авторлар ұсынған сәуле қалыптастыру әдісі осы гибриді антенналық торлармен үйлесімділігі жоғары. Енді ақпарат екі жағдайда бір сәтте максималды тиімді таратылатын болды. [6]

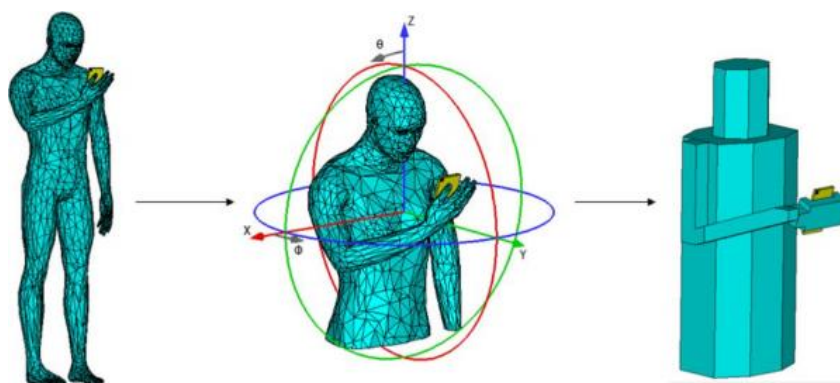
Фазалы антенналық торлар идеалды антенналар емес және идеалды бола алмайды, оларда көптеген қателіктер жұмыс кезінде пайда болады. Келесі мақаланың авторлары: Joyson Sebastian, Pranav Dayal, Walid AliAhmad және Kee-Bong Song фазалы антенналық торларда пайда болуы мүмкін қателіктерді өлшеуге арналған алгоритмді ұсынады. Олар фазалық антеннаның қателер моделі ретінде келесі қателіктерді алды: фазалық ақаулар мен күшейту қателігі. Алгоритм фазалы антенналық тордағы элементтерді таңдаулы, белгілі бір фазада қосып тарату қуатын есептеуге негізделген. Авторлар сандық нәтижелерді көрсете отыра басқа да қателіктерді есептеудің дәстүрлі түрімен (айналмалы электрлік вектор әдіспен) салыстырды. [8]



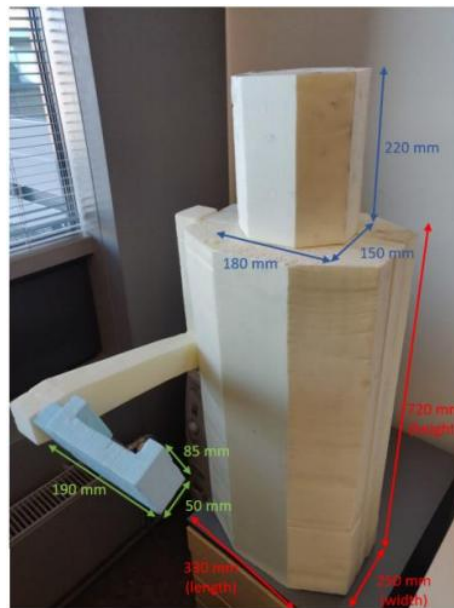
1.14 Сурет - Дәстүрлі әдіс пен авторлар әдісінің арасындағы фазалық калибровка қатесі мен пайыздық өсімді калибровка қатесін салыстыру

Келтірілген диаграммада 1000-нан астам итерациялардың орташа мәні көрсетілген. Err_max - итерациялардың ішіндегі максималды кеткен қателіктерді көрсетеді. Err_avg - бүкіл жасалған итерациялардың орташа мәндері. Жасыл түспен авторлардың жасаған алгоритмінің нәтижесі, ал көк түспен дәстүрлі әдіс нәтижесі көрсетілген. [8]

5G байланысымен жұмыс жасай алатын ұялы телефондарда жақсы радиобайланысты қамтамасыз ету үшін фазалы антенналық торларды жаңа телефондар шассиіне енгізу өте тартымды ой. Бірақ бұл ойды іске асыру үшін, ол бірінші тексерістерден өту керек. Шын адамдарда бұл тексерістерді өткізе алмағандықтан Lauri Vaha-Savo, Christian Cziezerski, Mikko Heino, Katsuyuki Haneda, Ali Nazmi және Ruiyuan Tian фазалы антенналық торларды тексеру үшін келесі әдісті ұсынды. Олар, фазалық антеннаның жұмысын шын адамдарда тексере алмағандықтан, адамның 3D моделін құрады. Фантомды модель қарапайым фигуралардан жасалды және осы модельде ұялы телефон шассиіне ораналастырылған фазалы антенналық тордың жұмысы тексерілді. [9]

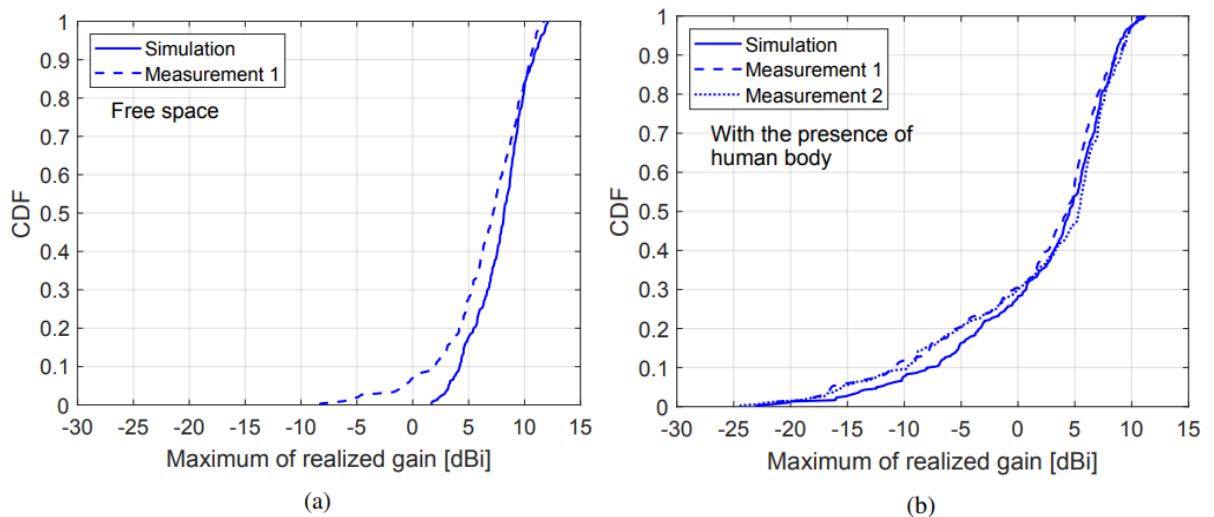


1.15 Сурет - Адамның модельденген денесі, осы жұмыста қолданылатын адамның оңтайландырылған алтыбұрышты дене фантомы



1.16 Сурет - Жоғарыда көрсетілген адам денесі фантомының өмірдегі түрі

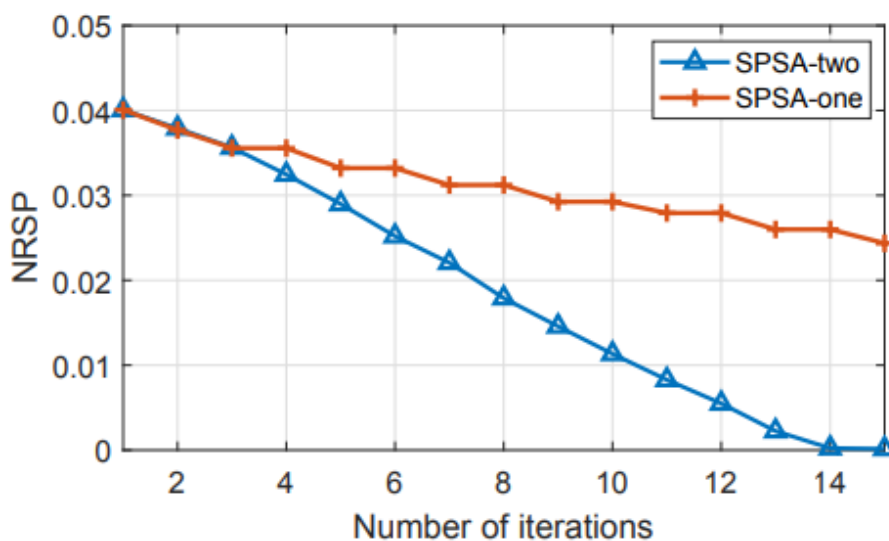
Фазалы антенналық тор ретінде қос поляризациялы патч антеннасы бар 4 элемент қолданылады, оны келесіде модуль деп атайды. Айтылған модульдің екі данасы телефонның корпусының екі шетінде орналасады. Эксперимент жүзінде алынған нәтижелер, теория жүзінде шын адаммен есептелген нәтижелермен ұқсас болып шықты. [9]



1.17 Сурет - Алтыбұрышты дене фантомының қатысуымен (а) және адамның толық сандық үлгісімен (б) алынған бос кеңістіктегі және фантом мен адам бары кезіндегі модельдеу нәтижелері

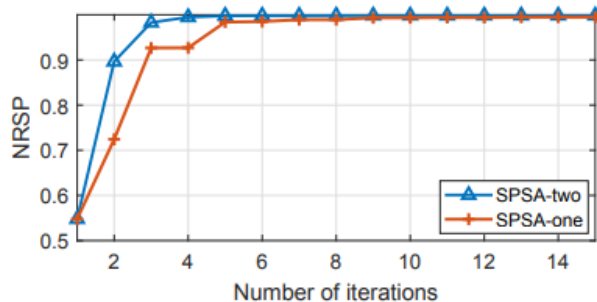
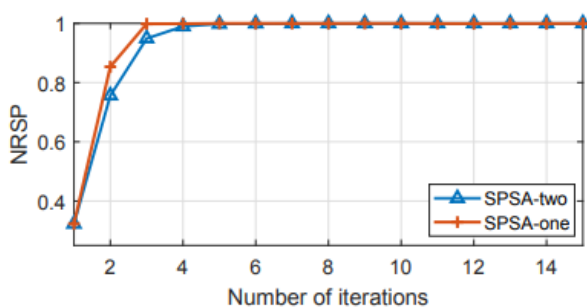
Авторлар жасаған қарапайым модель арқылы жасалған нәтижелер мен цифрлы адам денесімен жасалынған модель нәтижелері ұқсас болып келеді. Енді эксперименттерді авторлар айтуы бойынша қарапайым модель арқылы бірнеше рет шын өмірде жасай беруге болады. [9]

Zheng Chen және Nakan Johansson бағыттық диаграмманы құраудың қарапайым, тиімді әдісін ойлап тапты. SPSA (simultaneous perturbation stochastic approximation) бір уақыттағы толқуларды стохастикалық жуықтау әдісі тізбектей ішкі торды таңдау алгоритмі арқылы антеннаның оптималды салмағын табады, ол арқылы біртекті жазық торға (UPA) түсетін сигналдың максималды қуатын алуға болады. Бұл алгоритм спутникалық байланыс жүйелерінің фазалы антенналық торы бар мобильді қабылдағыштармен араласуды оңтайландырады және сенімді байланысты қамтамасыз етеді. Тізбектей таңдау алгоритмі болашақ 5G немесе одан жоғары ұрпақтағы икемді сымсыз байланысты қамтамасыз ету үшін маңызды рөл атқарады. Есептеулер MatLab приложениесінде жүргізілді. [11]



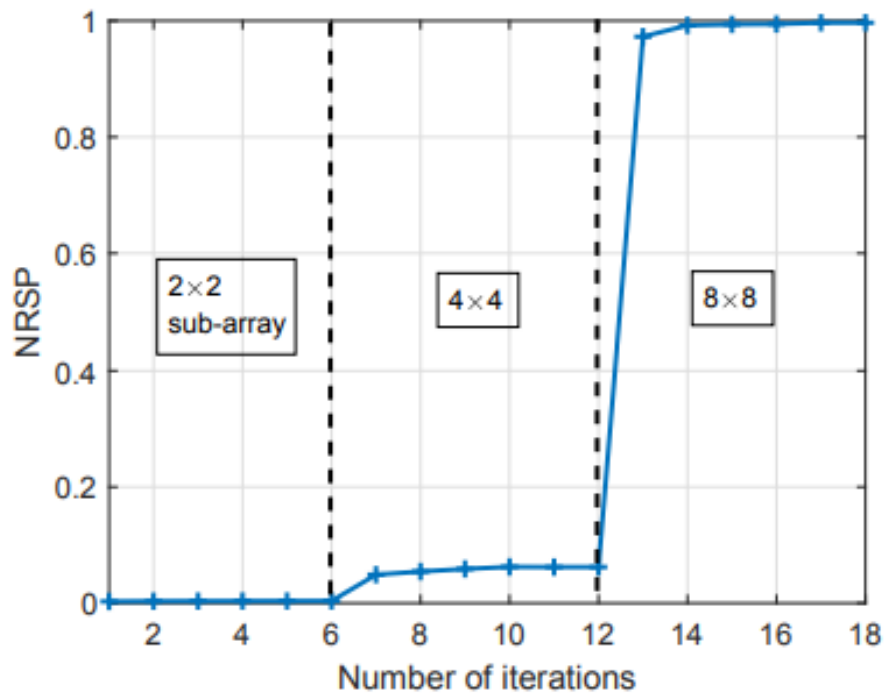
1.18 Сурет - SPSA методының тізбектей таңдаусыз екі және бір нүктелі алгоритмдерінің NRSP-сі. DOA бұрышы $a=20^0$ және $b=15^0$

SPSA-да қолданған алгоритмді тексеру үшін c (normalized received signal power) қолданды. NRSP қабылданған сигналдың орташа қуатын көрсетеді. Суретте көріп тұрғанымыздай әрбір жүргізілген итерация сайын қабылданған сигналдың қуаты төмендейтінін көре аламыз. SPSA методы DOA бұрышына өте тәуелді болып келеді және осы бұрыш үлкейген сайын сигналдың дәлдігі түсе бастайды. Бірақ, егер де DOA бұрышы аз болса, SPSA методы келесідей нәтижелерді бере алады. [11]



1.19 Сурет - SPSA методының тізбектей таңдаусыз екі және бір нүктелі алгоритмдерінің NRSP-сі. (а) DOA бұрышы $a=8^{\circ}$ және $b=6^{\circ}$. (б) DOA бұрышы $a=6^{\circ}$ және $b=8^{\circ}$

SPSA методының артықшылығы да кемшілігіде осы, DOA бұрышына тәуелділігі. Бірақ, Zheng Chen және Nakan Johansson ұсынған тізбектей ішкі торды таңдау алгоритмі бұл кемшілікті шеше алады. [11]



1.20 Сурет - SPSA методының тізбектей ішкі торды таңдауы бар бір нүктелі алгоритмінің NRSP-сі. DOA бұрышы $a=20^{\circ}$ және $b=15^{\circ}$

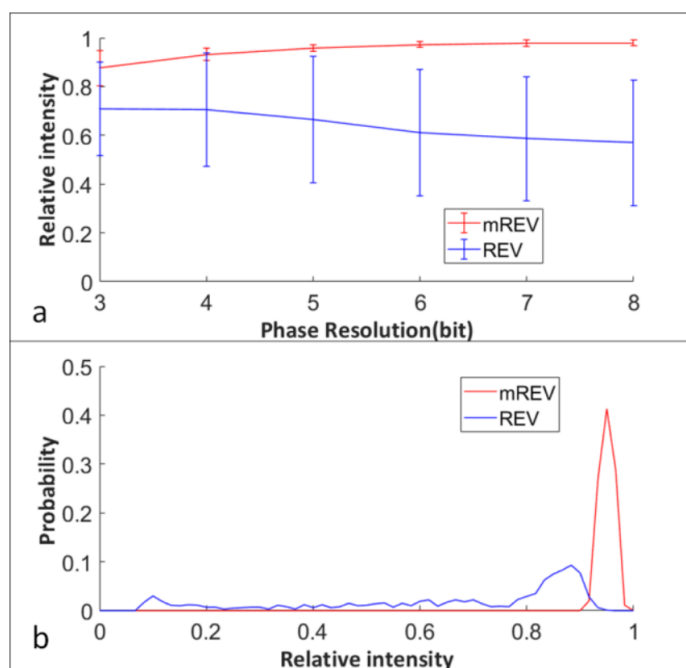
Ұсынылған тізбектей таңдау алгоритм тізбектей фазалы антеннаның массивін үлкейтіп отырады. Басында 2×2 массиві қосылып, сәл өзгертіліп, одан кейін 4×4 массиві қолданылып, антенна бетінің жұмыс жасау бөлігі арта береді. NRSP қабылданған сигналды жалпы жіберілген сигналға қатынасы. Сондықтан антенна толық қосылам дегенше (8×8 толық қосылуы) сигнал NRSP-сі өте төмен болады. Нәтижесінде, көрініп тұрғанындай, Zheng Chen және Nakan Johansson ұсынған алгоритмі сенімді және тиімді болып табылады. [11]

Andrei Ludvig-Osipov, Jari-Matti Hannula, Patricia Naccachian және V. L. G. Jonsson өз мақаласында фазалы антенналық торлардың физикалық шектеулерін зерттеді. Статьяда қысқа жолақты фазалық антенналардың Q-фактор шектеулігі, өткізу жолағына қарама қарсы шама, зерттелді. Фазалы антенналар бос кеңістікте және жердің үстінде зерттелді. Q-фактор фазалық торлардың импеданс диапазонының енін есептеуге арналған құрал. Антенналардың конструкциясындағы маңызды шамалардың бірі импеданс диапазоны болып

келеді. Тікелей импеданс диапазонын өзгерту қиын, өйткені ол антеннаның формасымен тығыз байланысты. Атап айтқанда, антеннаның физикалық шектеулеріне жеткенін тексеру қиындайды. [13]

Q-фактор, авторлар айтуы бойынша, импедансты дәл анықтауға көмектеседі. Зерттеулердің мақсаты шаманың минималды және максималды өзгеру шегі әрбір проэкт үшін қалай өзгередінін есептеу және импеданс өткізу жолғының өзгерістерін болжау болды. Q-фактор бір циклде жинақталатын және бөлінетін энергиялардың қатынасына пропорционалды шама ретінде анықталады. Соған байланысты оны электромагниттік өрістерде, тоқтың тығыздығы арқылы көрсетілуі мүмкін. [13]

QiHao Zhang, LingXuan Zhang, ZhongYu Li, Wei Wu, GuoXi Wang, XiaoChen Sun, Wei Zhao және WenFu Zhang өз статьяларында оптикалық фазалық торы бар антенна массивінің бастапқы күйін калибрлеуге арналған жетілдірілген айналмалы элементтің электр өрісінің векторы (модифицированный REV) әдісін ұсынды. Бұл әдіс статистика бойынша дәлірек және күтулі калибрлеу нәтижелерін беретінін көрсетеді. Авторлар мақалада модельдерді жасап, әдістің тиімділігін бұрынғы әдіспен салыстырмалы түрде тексеріп дәлелдеді. [19]



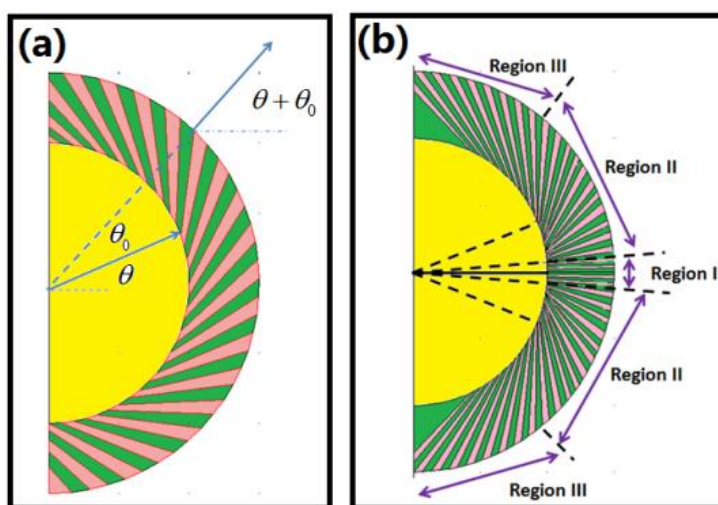
1.21 Сурет - Жетілдірілген және қарапайым REV әдістерінің салыстырмалы нәтижелері

1.21 суретте (a)-да фазалы разрешение артқандағы калибрленген интенсивностьтің өзгеруі көрсетілген. (b)-да калибрленген интенсивностьтің ықтималды таратылуы көрсетілген. Көрініп тұрғандай, қарапайым REV әдісі бірінші графикте өте үлкен мүмкін ауқымды алады, ал екінші графикте оның дәлдігі ойнап тұрады. [19]

Marouan Mizmizi, Reza Aghazadeh Ayoubi, Dario Tagliaferri, Kai Dong Gian Guido Gentili және Umberto Spagnolini өз статьяларында V2V байланысын авто транспорттарына қамтамасыз ету үшін конформды мета беттерді қолдануды ұсынады. Конформды мета беттер оның алдында құралған реконфигурациялы ақылды беттер (RIS) мен екілік ақылды беттердің (IRS) жетілдірілген түрі десе де болады. Мета бет автоның жазық емес конструкциясы әсерінен пайда болатын шашыраулардың алдын алу үшін жасанды түрде шағылысуларды жасайды, ол арқылы фазалы сурет шығады. Авто корпусын цилиндрлік антенналарға жақын, планарлы антеннаның өзгертілген түрі деп алады. Нәтижелер бойынша жетілдірілген C-RIS және C-IRS жақсы жұмыс жасайды. Конфигурациядан өткен C-IRS үшін сигналдың блокталу мүмкіндігі 20% - ға төмендеді, ал C-RIS үшін 70% - ға. Сигнал шум арақатынасы C-RIS үшін 30-40 Дб, ал C-IRS үшін 10-20 Дб өзгерді. [20]

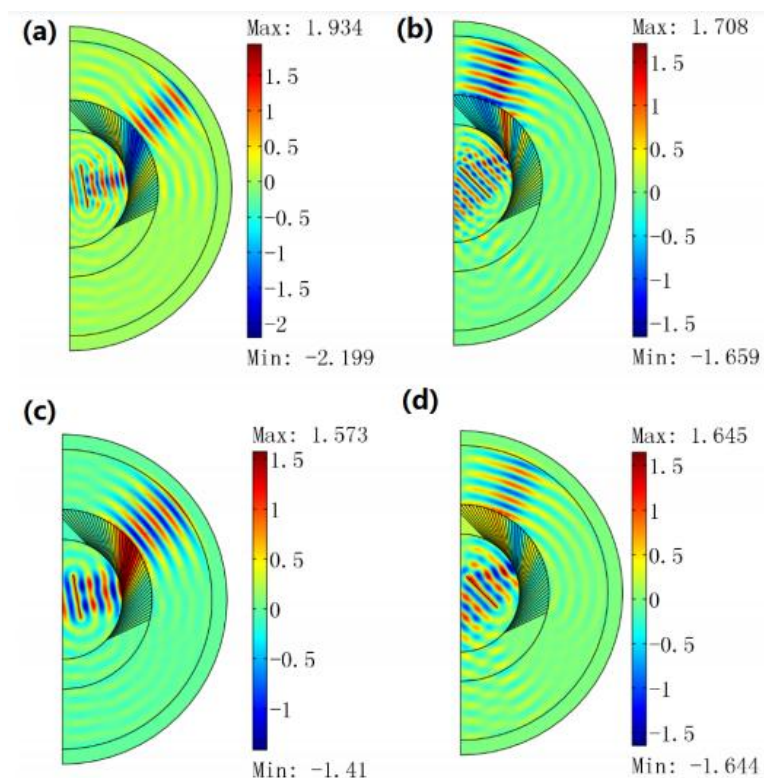
Rajendra Bhandari өз мақаласында геометриялық фазаның фазалық антенналық торларға әсерін зерттеді. Геометриялық фаза, оны кейде Берри фазасы деп атайды, ол сигнал жағдайы жиілігі мен амплитудасы бірге, аз жылдамдықпен, циклді түрде өзгеріп, бастапқы жағдайға келеді деп айтады және бастапқы жағдайға, оны бастапқы фаза деп атайық, келгенде ол бастапқы мәндерді емес, фазасы бойынша қарама-қарсы мәндерді алады деген ұғым. Оптикада фазалық өзгеру қасиеті кеңістіктік модулятор құрауда қолданылды, ал фазалы антенналық торларда бұл ұғым, автор айтуы бойынша, келесі құбылыстарға әкеледі. Антенналық тор екі түрлі бағытта екі түрлі жұмыс істеу жиілігінде қарайды дейді. [21]

F. Sun және S. He фазалы антенналық торлардың сканерлеу бұрышын үлкейтуге көмектесе алатын обтекательді ойлап тапты. Біраз тәжірибелерден кейін авторлар объектіні құрау үшін екі біртекті материал керегін тапты. Жасалған обтекательді зерттеушілер нөлдік кеңістіктік орта деп атады. Ол гиперлинзаларға және тағы да басқа құрылғылар үшін жасалған объект. [22]



1.22 Сурет - Обтекательдің базалы (a) және көпдеңгейлі (b) түрінің геометриялық схемасы

Айтылғандай, обтекатель екі біртекті материалдан жасалынады. Олар қызыл және жасыл сызықтар ретінде сызылған. Қызыл сызықтардың диэлектрлік өтімділігі өте төмен, ал жасыл сызықтардың диэлектрлік өтімділігі өте жоғары. [22]



1.23 Сурет - 2D TM толқыны FEM модельдеуінен алынған нәтижелер. (a) мен (c)-да сигнал түскен бұрыш 10° , ал (b) мен (d)-да 45° . (a) мен (b)-да біртекті материалдар, ал (c) мен (d)-да арасына ауа қолданды

2D TM толқыны FEM модельдеу нәтижелері бойынша нөлдік кеңістік фазалы антенналық тордың сканерлеу бұрышын шамамен 30° -қа лкейткенін көрсетті. [22]

Jiahui Li, Yin Sun, Limin Xiao, Shidong Zhou және C. Emre Koksal өз статьяларында миллиметрлік диапазондағы сәулеленудің бағытталу мәселесін шешу үшін минималды Крамер-Рао шегін (CRLB) алу жолын көрсетті және аналогті сигналдың құрылу векторын, бағытын оптимизировать ететін бақылаудың алгоритмін ойлап тапты. Теория жүзінде айтылған ақпараттарды есептеп, авторлар алгоритмнің тиімділігін айқындайды. [23]

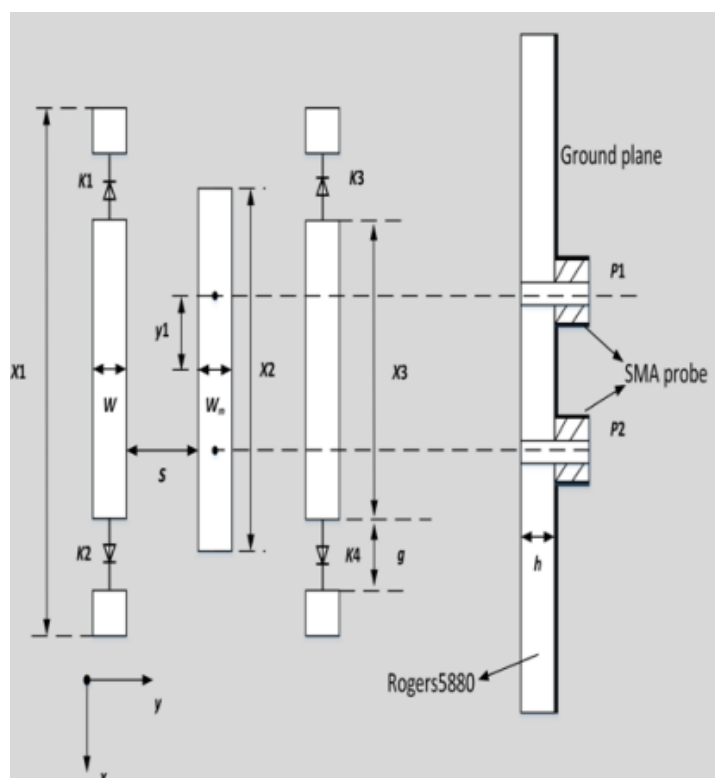
Lars Kuger, Aleksandar Ichkov, Petri Mähönen, Ljiljana Simić жасаған статьяларында миллиметрлі диапазондағы желілерді фазалы антенналық тор арқылы ашық ауданда зерттеді. 50 мыңнан аса есептеулерді жүргізіп зерттеушілер фазалы антенналық тор мен үлгілі рупорлы антеннаны салыстырды. Антенналардың желілік қосылулар санын, ақпараттың жетуі мүмкін максималды жылдамдықтарын және аз мобильділігі кезіндегі

сенімділігін салыстырды. Авторлар келтірген әдебиеттерінде ғалымдар көбіне миллиметрлі диапазондағы антенналарды ғимараттар ішінде тексерді, ал ашық ауданда тексергендер толық мәліметтерді келтірмеді. Осы статьяда авторлар атап кеткен зерттеулерді толықтыра миллиметрлі диапазондағы антенналардың жарық сәулесін басқару мүмкіндіктері мен сәуленің ауытқу эффектісін зерттеді. Есептеулер бойынша фазалы антенналық тор сәуленің аз ғана ауытқуының әсерінен таратылатын ақпарат жылдамдығы 70%-ға дейін жоғалтатынын көрсетті. Жоғалтулар фазалы антеннада сызықты емес, өте жылдам және біркелкі емес өзгеріп отырады. Рупорлы антенналарда жоғалтулар сәуленің ауытқуына байланысты сызықты өзгереді. Мақалада авторлар тағы бір қызықты байқау тапты. Фазалы антенналар халқы тығыз орналасқан мегаполистерде өзінің миллиметрлі диапазонындағы байлығын европалық қалалардағыдай жоғалтпайды. Тығыз орналасқан, үлкен мегаполисте ақпаратты бірнеше Гбит/с жылдамдығына дейін жеткізу тартымды мүмкіндік. Бірақ оған қарамастан зерттеушілер көптеген тосауылдарды тапты. Авторлар келтірген еңбектерде фазалы антеннаны теориялы түрде идеалды деп алды. Ол мақалаларда бағыттар диаграммасы идеалды деп алынған, бірақ практика жүзінде тексергенде идеалды емес диаграмма өте үлкен жоғалтуларға әкелді, 70%-ға дейін. Авторлар болашақта жасалатын эксперименттерде фазалы антеннаның идеалды еместігіне назарды аударуға шақырады. [25]

2 ФАЗАЛЫ АНТЕННАЛЫҚ ТОРЛАРДЫҢ ТҮРЛЕРІ

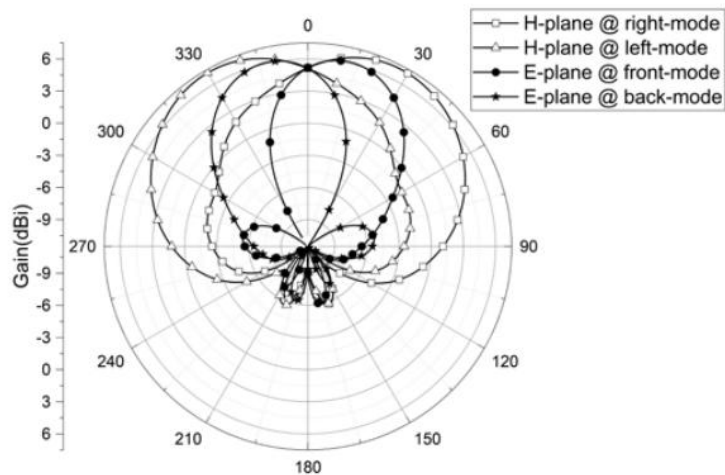
2.1 Жазық фазалы антенналық торлар

Ze Yan, Naibo Zhang, Guangsun Shan зерттеушілері өз статьяларында жазық, екі өлшемді сканерлеу фазалы антенналық торды төрт режимді бағыттау диаграммасы бар қайта конфигурациялау элементі орналасқан антеннадан құру мүмкіндігін ұсынды. Төрт режимді бағыттық диаграммасы бар қайта конфигурациялы антенна ретінде Yagi антеннасы алынған. Жаңа планарлы фазалы антенналық тор XOZ жақықтығында $-47,2^{\circ}$ -тан $+47,2^{\circ}$ -қа дейін, ал YOZ жазықтығында -60° -тан $+60^{\circ}$ -қа дейінгі сканерлеу диапазонын қамти алады. Күшейту құлдырауы 3 дБ-ден аспайды. Құралған фазалы антенналық тор спутниктік байланысқа да қолданыла алады, авторлар айтуы бойынша. [15]



2.1 Сурет - Қайта конфигурациялы бағыттық диаграммасы және екі фидерлі порттары бар антеннаның құрылымы

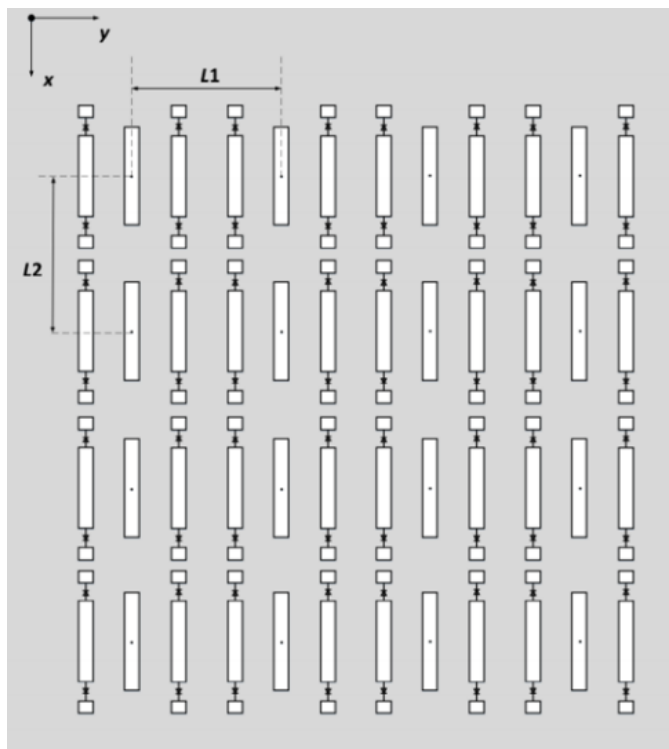
2.1 суретте жобаланған фазалы антеннаның геометриясы көрсетілген. Бұнда Yagi антеннасы аз өлшемді және оңай конструкциялы болғандықтан алынған. Оның жұмыс жасау жиілігі 28,5 ГГц. Антенна арасында K1-K4 pin-диодтары орналасқан, олардың күйлері қай жолақ сызығы рефлектор рөлін және қай жолақ сызығы директор ретінде жұмыс істейтінін анықтайды. SMA зонды симметриялы орналаспағаны кесірінен екі қуаттандыру блогы (P1 және P2) Rogers5880 подложкасында орналасқан. [15]



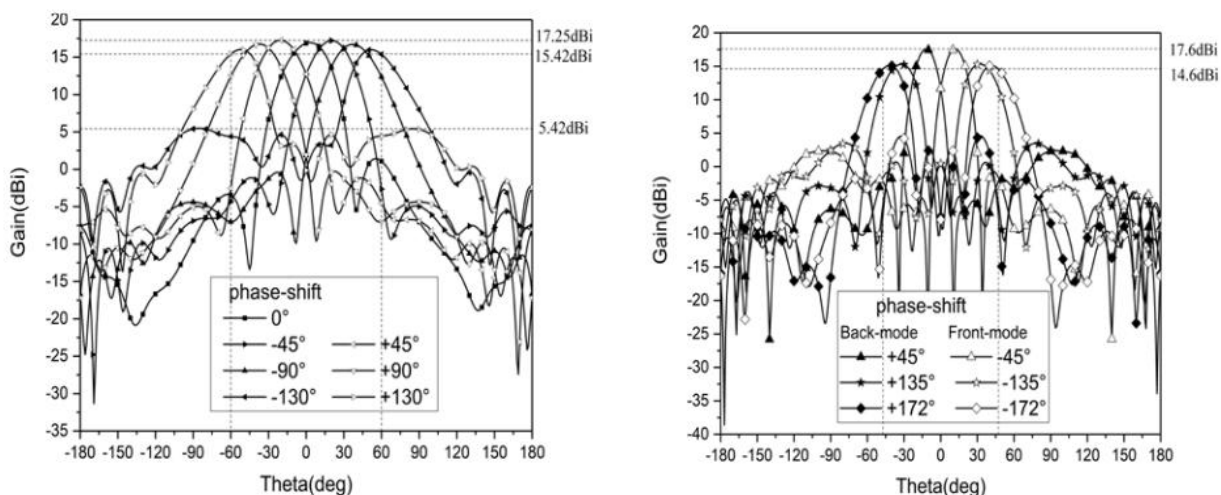
2.2 Сурет - Төрт режимдегі антеннаның бағыттық диаграммасы

2.2 суретте H-plane ретінде YOZ жазықтығы, ал E-plane ретінде XOZ жазықтығы алынған. [15]

Құралған фазалы антенналық тордың өткізу қабілеті 25,6%. Жұмыс жасау диапазоны Ка - 26,5ГГц-40 ГГц арасы. [15]



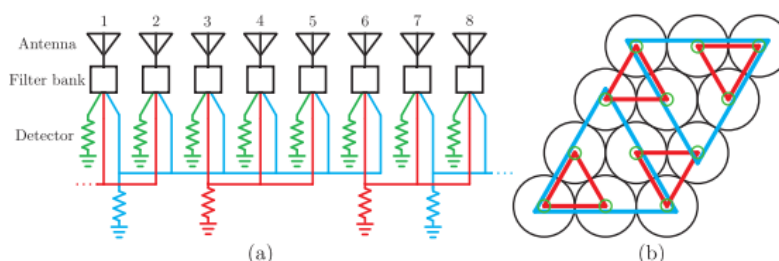
2.3 Сурет - 16 реконфигурациялау элементтерінен тұратын ұсынылған фазалы антенналық тордың құрылымы



2.4 Сурет - Ұсынылған антеннаның 28,5 ГГц жиілігіндегі өнімділігінің моделі. 1-шісінде Н-жазықтығы, ал 2-іншісінде Е-жазықтығы көрсетілген

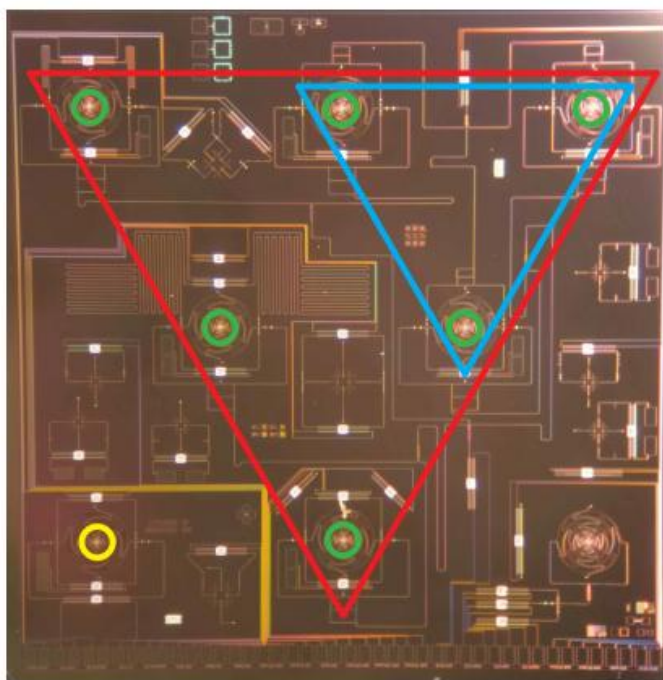
2.4 суретте фазалық өзгеріс кезіндегі сигналдың дБ бойынша өзгерісі көрсетіліп тұр. [15]

Ari Cukierman, Adrian T. Lee, Christopher Raum, Aritoki Suzuki және Benjamin Westbrook мақалаларында өздерінің жасаған синусоидалы антеннасы бар иерархиялы фазалы антенналық торды ұсынды. [16]

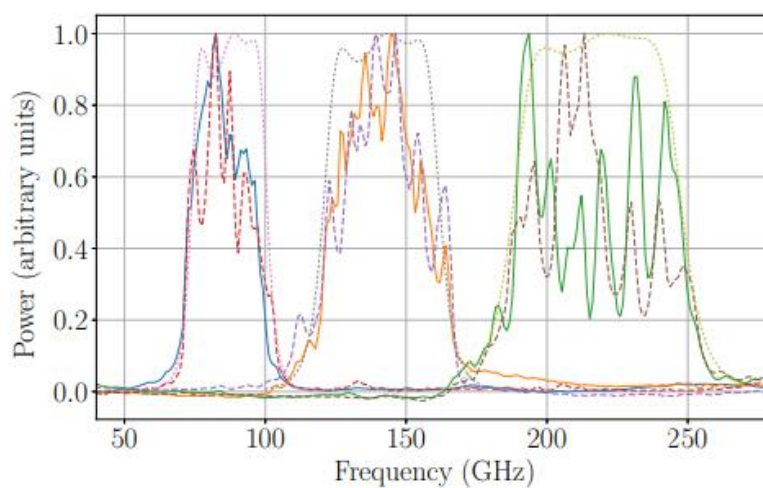


2.5 Сурет. Ұсынылған иерархиялы фазалы антенналық тордың 3 деңгейлі топологиясы (a). Үшбұрышты массивтерден жасалған 3 деңгейлі иерархияның эффективті пиксельдер (b)

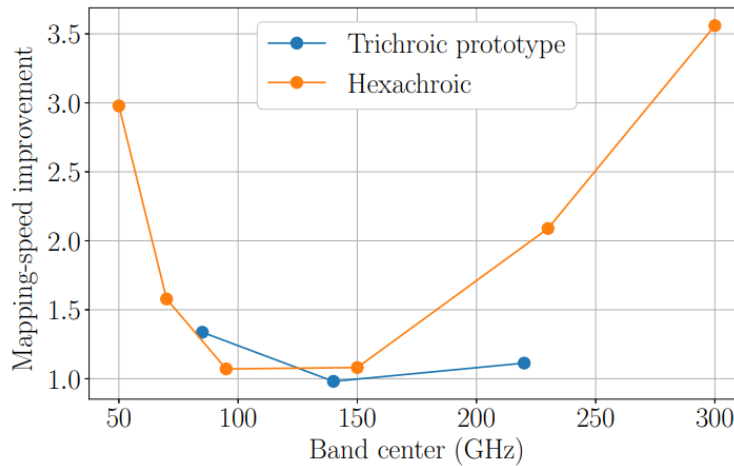
2.5 суреттің (a)-ында жасылмен белгіленген жоғары жиіліктер болومترде қуатты қарапайым әдіспен шашыратады. (b)-ында қара дөңгелектер ретінде бөлек антенналар белгіленеді. Жасыл дөңгелектер ретінде жоғары жиілікті эффективті пиксельдерді көрсетеді, қызыл үшбұрыштар орташа жиілікті көрсетеді, көк үшбұрыштар төмен жиілікті көрсетеді. Үшбұрышты иерархия структурасымен екіншілік ромбты иерархияны құрайды. Екіншілік ромбты иерархияны пластинаның мозаикалық жабыны ретінде қолдануға болады. [16]



2.6 Сурет - Ұсынылған иерархиялы фазалы антенналық тордың прототипі



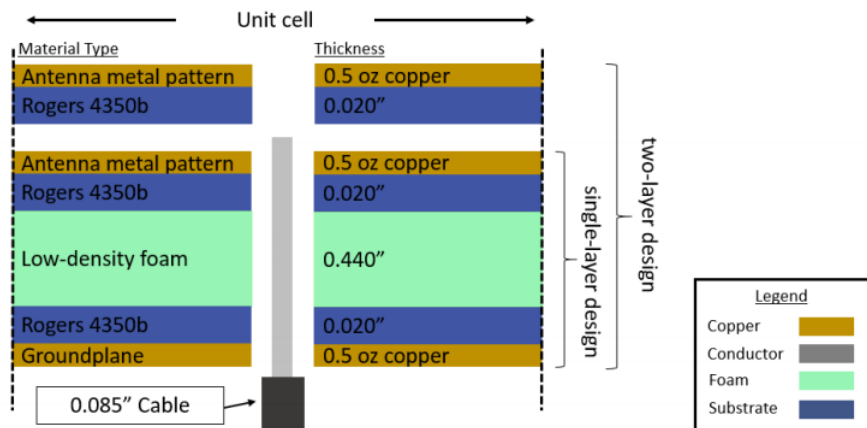
2.7 Сурет - 90, 150, 220 ГГц жиілігіндегі үштік пиксельдің (штрихті линия), иерархиялық массивтің (толық линия) және теориялы моделінің (пунктирлі линия) жиіліктік характеристикасы



2.8 Сурет - Иерархиялы фазалы антенналық торды қолданғандағы жылдамдық артуы графигі

2.8 суретте жоғарыда келтірілген характеристикалардың беретін нәтижесі көрстілген. Массивта эффективті 120 ГГц жиілігіндегі пиксель пішімі таңдалынды. Күшейтулер жалпы өткізу қабілеті артқан сайын жоғарылай береді. Прототип салыстырмалы түрде аз күшейтулер жүргізеді, 220 ГГц жиілігінде 10%, ал 90 ГГц жиілігінде 30%. [16]

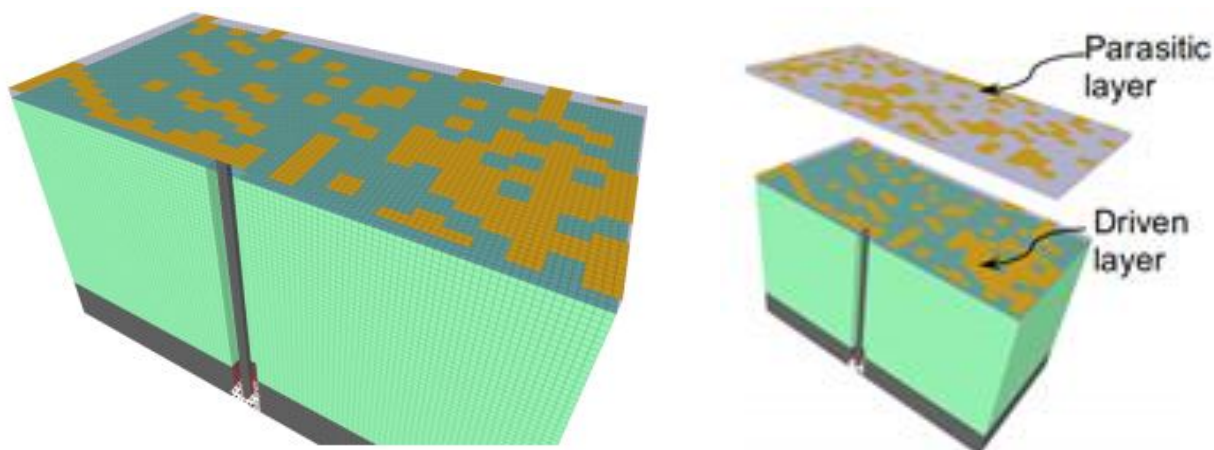
David W. Landgren, Daniel J. P. Dykes және Kenneth W. Allen зерттеушілері өз жұмысында өте кең жолақты (UWB) жазық, планарлы фазалы антенналық торды құрады. Антеннаның қамтитын жиілік диапазоны L, C және S. Құрылымы төмендегі суретте көрсетілген. [18]



2.9 Сурет - Антенна құрылымының сұлбасы

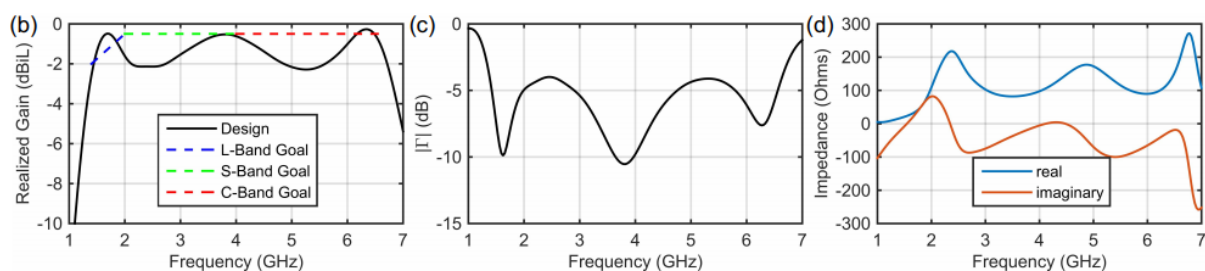
Антенна жалпы екі қабаттан тұрады. Бірінші қабаты жетектелген қабат (ведомый слой) деп аталады. Ол бірнеше диэлектриктік өткізуі төмен қабаттардан және 0,085 дюмдағы коаксиалды кабельге арналған тесіктен тұрады. Екінші қабат ретінде паразиттік слой жасалынды. Ол бірінші қабаттан

ауамен бөлінген және оның жұмысы бірінші қабаттын өндiрген сигналды күшейтуде болды. [18]



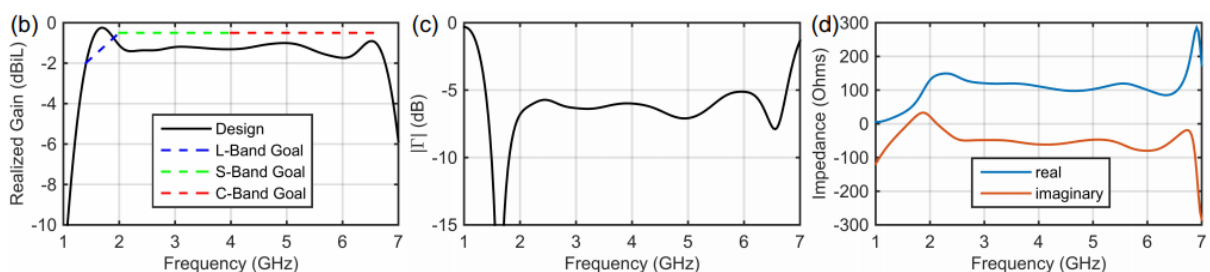
2.10 Сурет - Антеннаның бір және екі қабатты конструкциясы

Зерттеушілер антеннаның моделін бағдарламадан құрады және алынған нәтижелер төменде көрсетілді. [18]



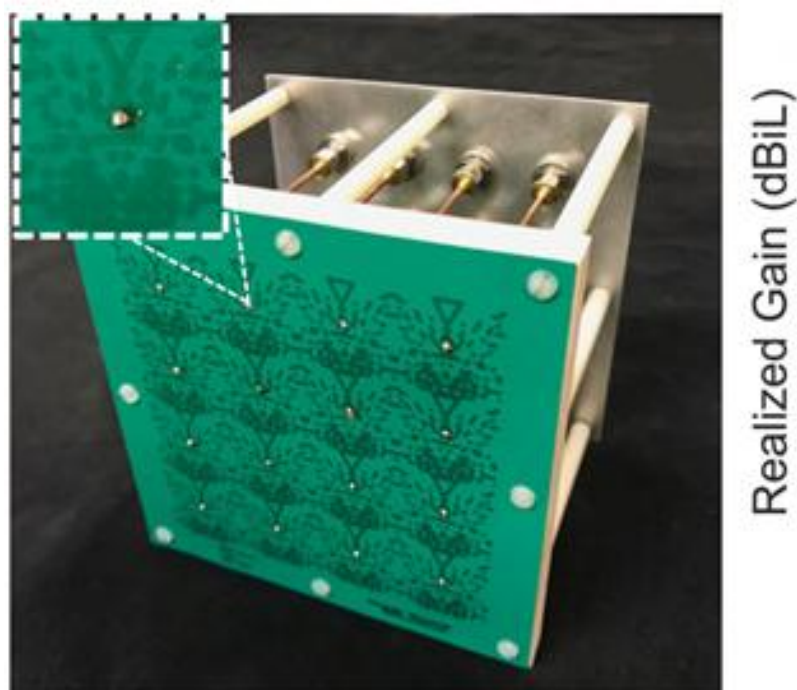
2.11 Сурет - Бір қабатты антеннаның параметрлері

2.11 суретті антеннада тек бірінші қабат болғандағы характеристикасы көрсетілген. Бұнда антеннаның күшейту коэффициенті, шағылу коэффициенті және комплексті кіріс импедансы көрсетілген. [18]



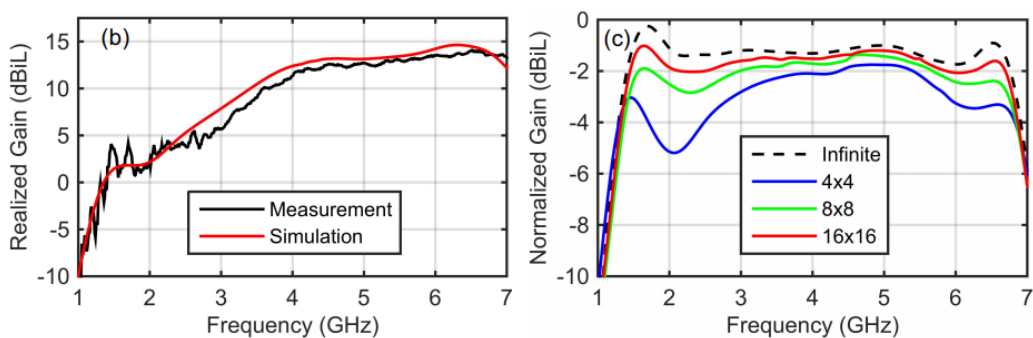
2.12 Сурет - Екі қабатты антеннаның параметрлері

2.12 суретте енді антеннада екінші, паразитті, қабат болғандағы характеристикалардың өзгерістері көрсетілген. [18]



2.13 Сурет - Антенна прототипі

Зерттеушілер кейін антеннаның прототипін жасап, оның нәтижелерін төменде көрсетті. Антеннада тек бірінші қабат, жетектелген қабат, орнатылған және оның массиві 4x4 өлшемді. Бүкіл қабаттар бір-бір кабельге тікелей жалғанған. Барлық 16 кабельді және конструкцияны ұстап тұру үшін арнайы пластикалы корпус жасалынды. [18]

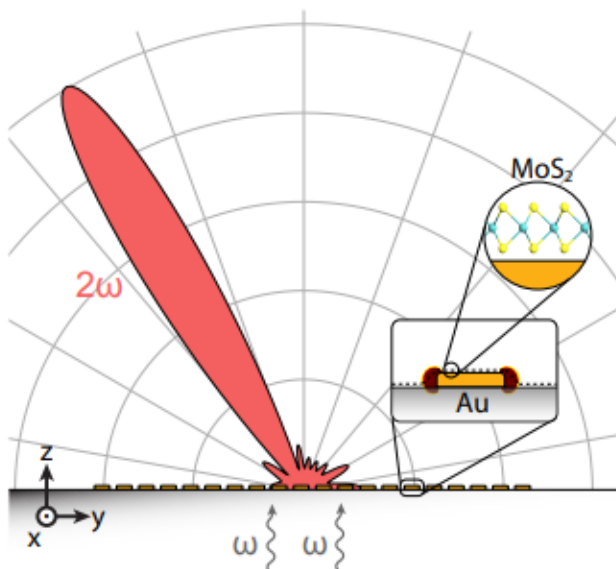


2.13 Сурет - Антенна прототипінің параметрлері

Антенна прототипі шығарған параметрлері модельде жасалынған нәтижелер сәйкес болып шықты. [18]

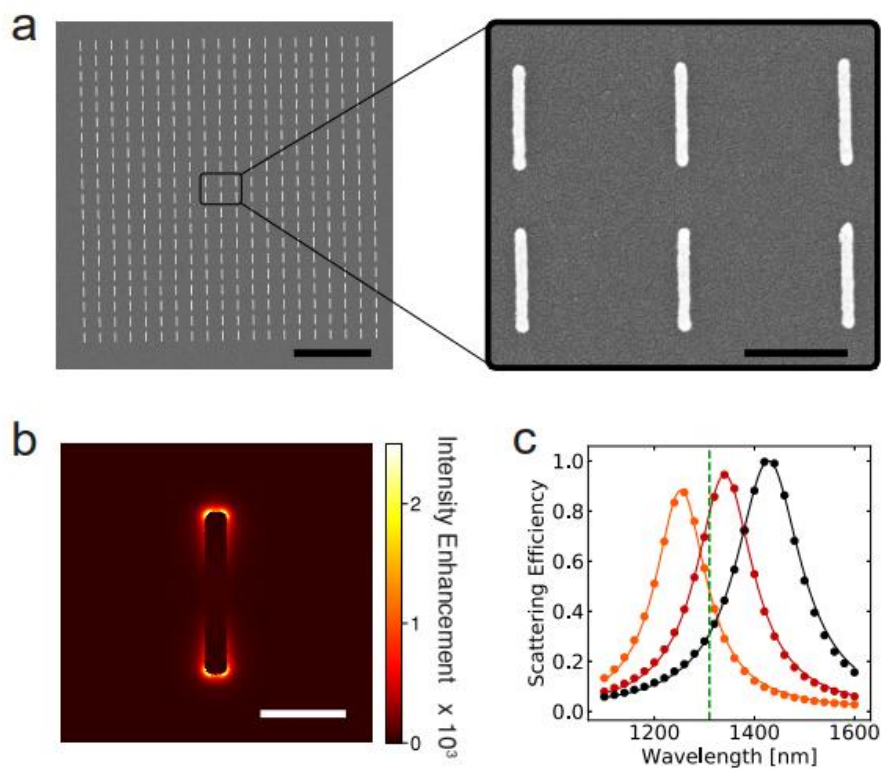
Sebastian Busschaert, Nikolaus Flory, Sotirios Papadopoulos, Markus Parzefall, Sebastian Heeg және Lukas Novotny өз мақалаларында сызықты емес оптикалық фазалы антенналық тор арқылы сәуленің басқару мүмкіндіктерін

қарастырды. Авторлар айтуы бойынша бұл фазалы антеннаны құру технологиясы интегралды фотоникаға үлкен үлес қосады, электрооптикалық модуляцияны, оптикалық мультиплекстеуді оңтайландырады және оптоэлектронды логикалық элементтерді құруға көмектеседі. [14]

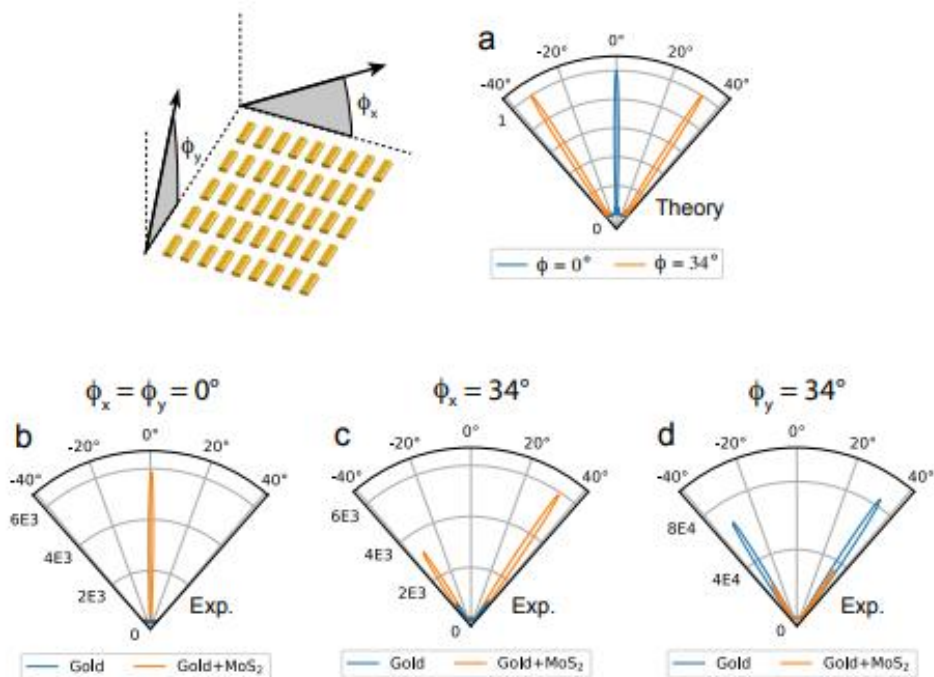


2.14 Сурет - MoS₂-алтынынан жасалған фазалы антенналық тордың иллюстрациясы

2.14 суретте MoS₂-алтынынан жасалған фазалы антенналық тордың иллюстрациясы көрсетілген. Антеннаның MoS₂-алтынынан жасалған қабаты SH сәулеленуін тудырады, ал фазалы антенналық тор сол сәулеленуді бағыттайды және басқарады. MoS₂ элементінен жасалған матрица құрағанда зерттеушілер сызықты емес қайтаруды максималды етуге тырысты. Олар алтын стерженьдері арасындағы электрлі резонанс құбылысын қолданды. Бұл подход сигналды күшейтуге үлкен үлес қосты. Матрица құрылымы келесідей шықты. [14]



2.15 Сурет - MoS₂ элементінен жасалған матрица құрылымы (a). Матрицаның бөлек алынған алтын стерженінің күшейту интенсивности (b). Стерженьнің толқын ұзындығына байланысты күшейтуінің өзгерісі (c)

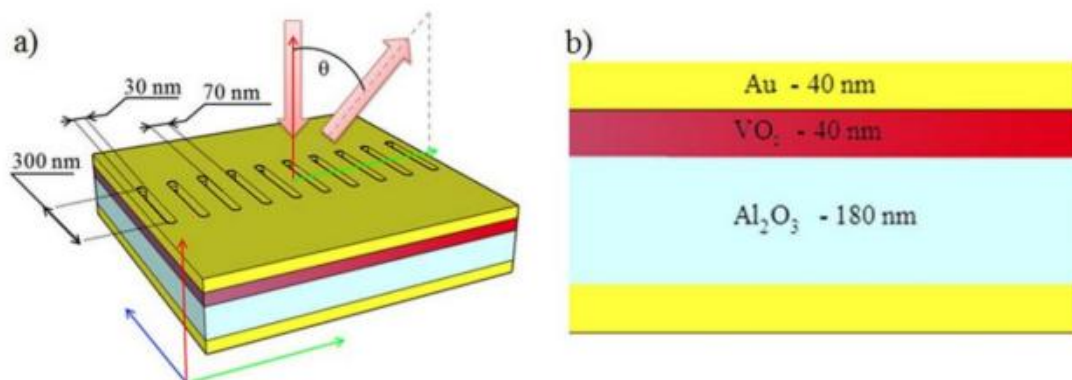


2.16 Сурет - Антеннадағы фазалы кешіктірулер арқылы сәуленің белгілі бір бағытын орнату мысалы

2.16 суретте теория жүзінде жасалған диаграмма (а), көкпен антеннаның фазасы 0-ге тең болғандағы теориялы көрсеткіштері, ал қызғылт сарымен антенна фазасы 34-ке тең болғандағы көрсеткіштері көрсетілген. X және Y фазалы кешігуі 0-ге тең болғандағы эксперимент жүзіндегі тексеріс (b), таза алтыннан және MoS₂ қосындылары бар алтыннан жасалған антенналардың салыстырмасы. X фазасы 34-ке тең болғандағы эксперименталды тексеріс (c). Y фазасы 34-ке тең болғандағы эксперименталды тексеріс (d). [14]

Суреттен көрініп тұрғандай таза алтын кейбір параметрлер бойынша MoS₂ қосындылары бар алтыннан қалып тұр. 2.16 суреттің (d) экспериментінде таза алтын MoS₂ қосындылары бар алтыннан озып тұр. Таза алтын SH сәулеленуін беруі өзінің кристалды структурасынан және содан пайда болатын деструктивті интерференция әсерінен қиын, бірақ белгілі бір ось бойымен фазалық кешігу әсерінен алтын структурасында деструктивті интерференциялар пайда бола алмайды, олар бірін бірі жояды, сондықтан алтын жақсырақ SH сәулеленуін бере алады. Авторлар тағы да эксперименттерді жүргізе алтынның характеристикалырын анық зерттеп, біріктірілген фазалы антенналық торды жасады. [14]

Gregory Kaplan, Koray Aydin және Jacob Scheuer зерттеушілері реттелетін фазалық торы бар оптикалық антеннаны құрады. Антенна IR диапазонында VO₂ элементінің қасиеттерін сәулені электронды бағдарлама арқылы басқаруға қолданады. [17]

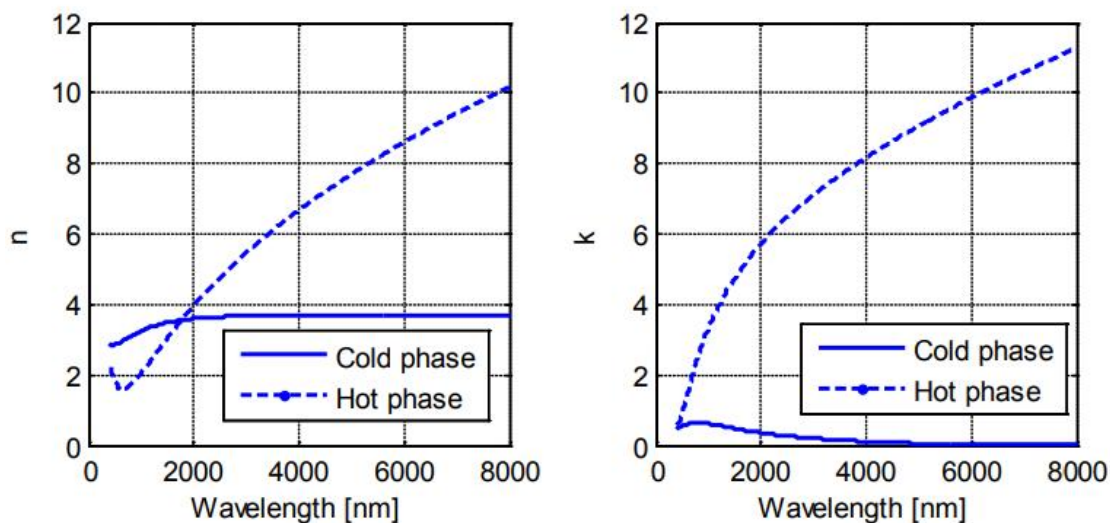


2.17 Сурет - Антенна схемасы (a), антенна слойлары (b)

Негізі микротолқынды диапазондағы фазалық торлар арқылы фазалы кешігу жасау танымал концепция. Ол тек антенналарда ғана емес, байланыс линияларында, радарларда және радиоастрономияда көп қолданылады. [17]

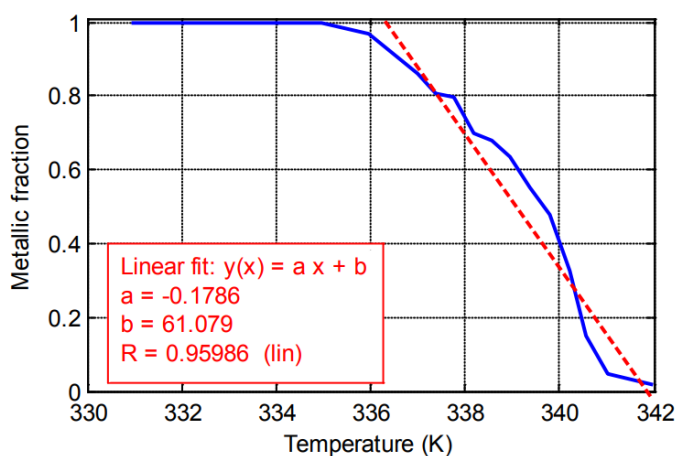
Енді VO₂ антеннасының оптикалық характеристикаларына келетін болсақ. Төмен температураларда VO₂ изолятор секілді болады, ол салыстырмалы түрде аз өшуліктерге әкеледі. Температураға байланысты VO₂ сыну көрсеткіштері өте қатты құбылады. Құбылыстар 2,5 нм мен 500 нм-ден 4 мкм мен 2 мкм арасында қатты болады. VO₂ қасиеттері “металл формасына”

өткенде тағы да қатты құбылады, ол форманы тағы “ыстық фаза” деп те атайды. Характеристикалары төменде көрсетілген. [17]

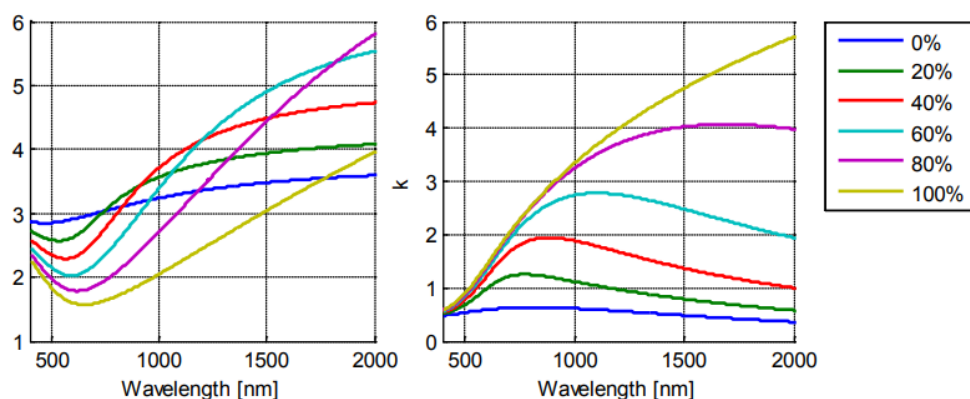


2.18 Сурет - VO₂ сыну көрсеткіштерінің құбылысының графигі

VO₂ элементінің диэлектрик түрінен металл формасына өтуі VO₂ структурасының өзгерістерімен түсіндіріледі. Ол моноклинды структурадан рутилдыға немесе тетрагональдыға ауысады. Екі фаза арасындағы переход төмендегі графикте көрсетілген. [17]



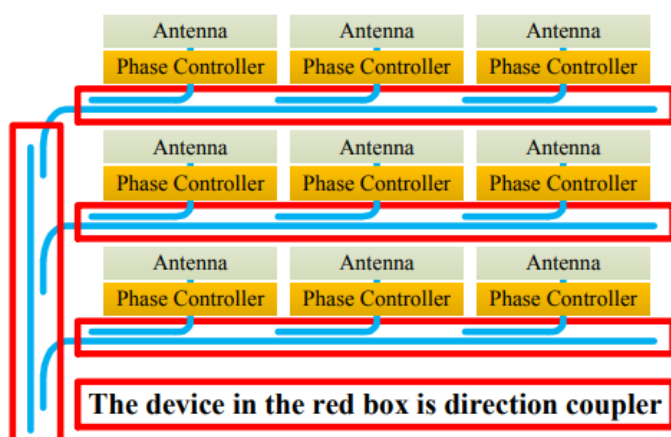
2.19 Сурет - Переход кезіндегі VO₂ элементінің характеристикасының өзгеруі



2.20 Сурет - Фазалық переходтан өткен VO2 элементінің көрсеткіштері

Графикте салынған ара қатынас стохастикалық характерге қарамастан қайталананды және тұрақты болады деп есептелінеді. [17]

Lingxuan Zhang, Xiaochen Sun, Wenfu Zhang, Guoxi Wang, Ningning Feng және Wei Zhao өз мақалаларында жаңа оптикалық фазалы антенналық тордың құрылымын ұсынды. [24]



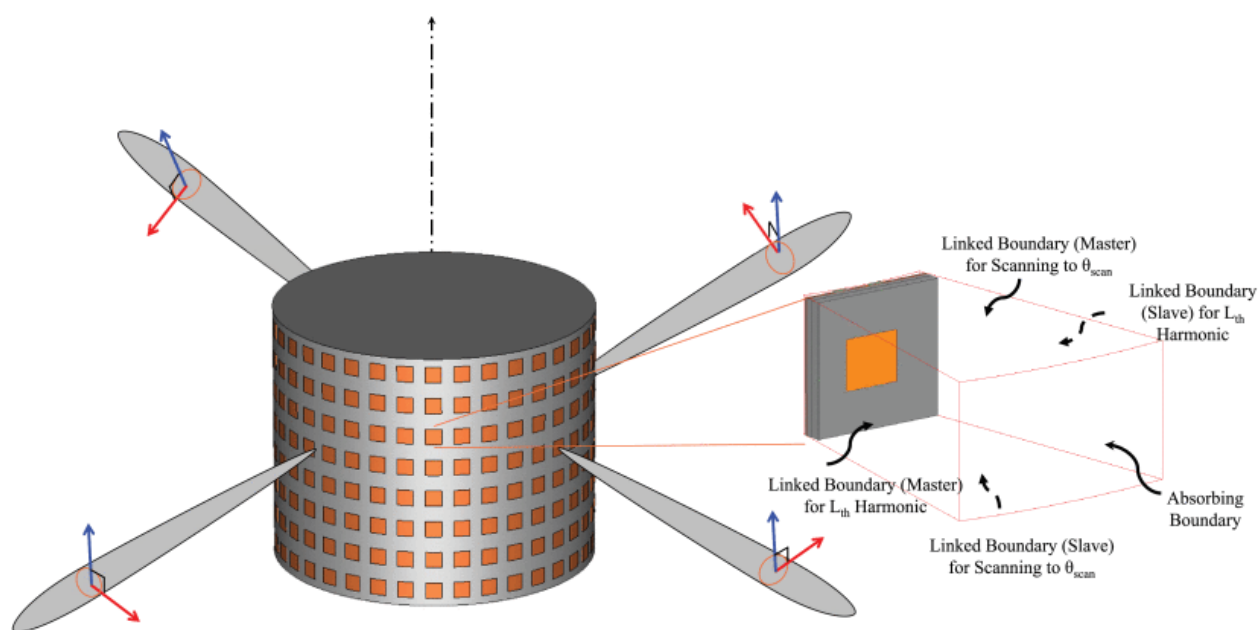
2.21 Сурет - Ұсынылған антеннаның схематикалық түрі

Авторлар айтуы бойынша, фазалы антеннаның пішімі азайды, бірақ оптикалық күші көбейді. [24]

2.2 Цилиндрлік фазалы антенналық торлар

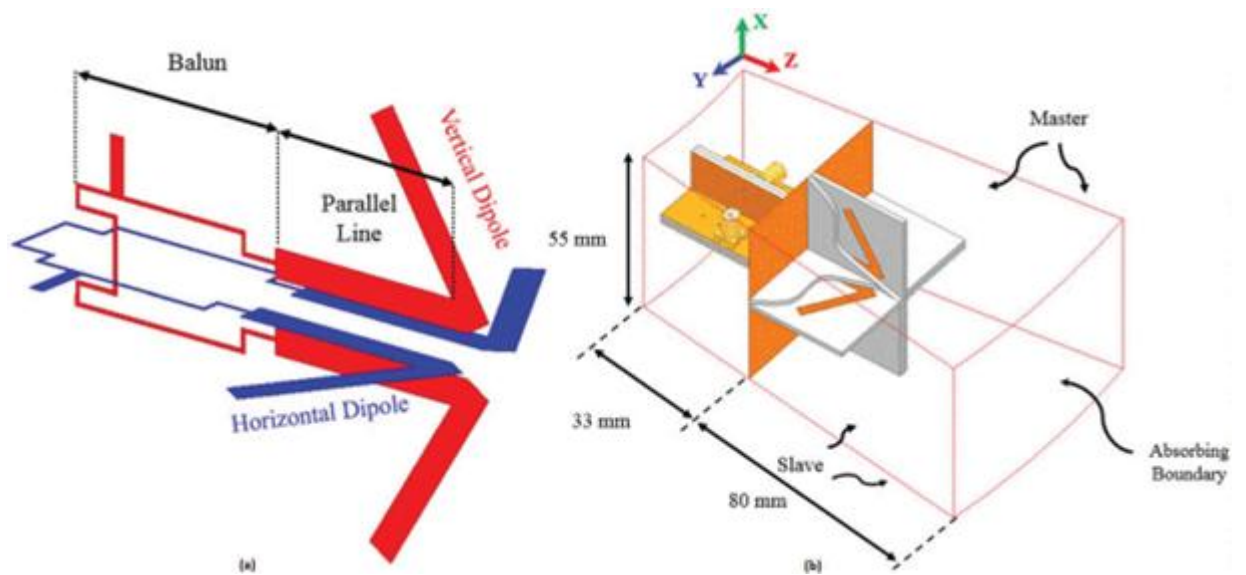
Golbon-Haghighi, M. Mirmozafari, H. Saeidi-Manesh және G. Zhang өз жұмыстарында қос поляризациясы бар цилиндрлік фазалы антенналық торды ұсынды. Бұл антенна ауа райын бақылау радарларына арналған. Ол жоғары оқшаулауды, сәйкес келетін қос сәулелерді, бағыттық диаграммада төменгі бүйірлік деңгейлерді және адаптивті нөлдік басқаруды қамтамасыз етеді.

Авторлар қазіргі уақытта қолданылатын цилиндрлік поляриметриялық фазалық антенналық тор радарындағы (CPPAR) патч антеннасын қиылысатын дипольді антенна элементімен ауыстырды. Нәтижесінде бағыттық диаграммада төменгі артқы, бүйір деңгейлеріне және, қазіргі уақытта қолданылатын көп қабатты патч антеннасымен салыстырғанда, қос полярлық CPPAR сәулелерінің арасындағы жоғары үйлесімділікке қол жеткізді. Модификацияланған бөлшектер тобын оңтайландыру арқылы бүйірлік бөліктерді одан әрі қысқарту және адаптивті нөлді басқаруға қол жеткізілді. Ұсынылған нөлдік бақылау цилиндрлік фазалық массив радарының төрт параллель сәулелері арасындағы кедергіні азайтады. [28]

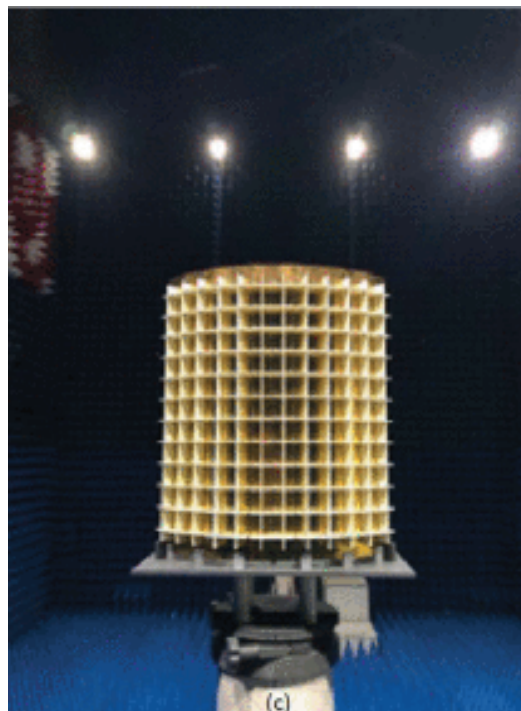


2.22 Сурет - CPPAR схемасы мен бірлік ұяшығының иллюстрациясы

CPPAR-дың бастапқы сызбасы 2.22 суретте көрсетілген. Төрт параллель сәулесі бар электронды көлемді сканерлеу әдеттегі механикалық сканерленген радарлармен салыстырғанда деректерді жылдам жаңартуды қамтамасыз етеді. CPPAR оның алдында қолданған жазық поляриметриялық фазалық антеннасының көптеген кемшіліктерін жояды. Тегіс апертурамен сканерлеудің орнына, CPPAR азимуттық бағытта коммутациялайды, азимуттық бағытта сканерлеуге инвариантты сәулелерді және жоғары поляризация тазалығын қамтамасыз етеді. Дегенмен, салыстырмалы жоғары бүйірлік және артқы бойлықтары бар төрт CPPAR сәулелері бір бірімен деструктивті интерференцияны тудыруы мүмкін. Бұл цилиндрдің диэлектриктерінде беттік толқындардың күшті қозуымен байланысты, нәтижесінде элементтер арасында айтарлықтай байланыс пайда болады. Сондықтан, авторлар келесі CPPAR-дың схемасын ұсынды. [28]

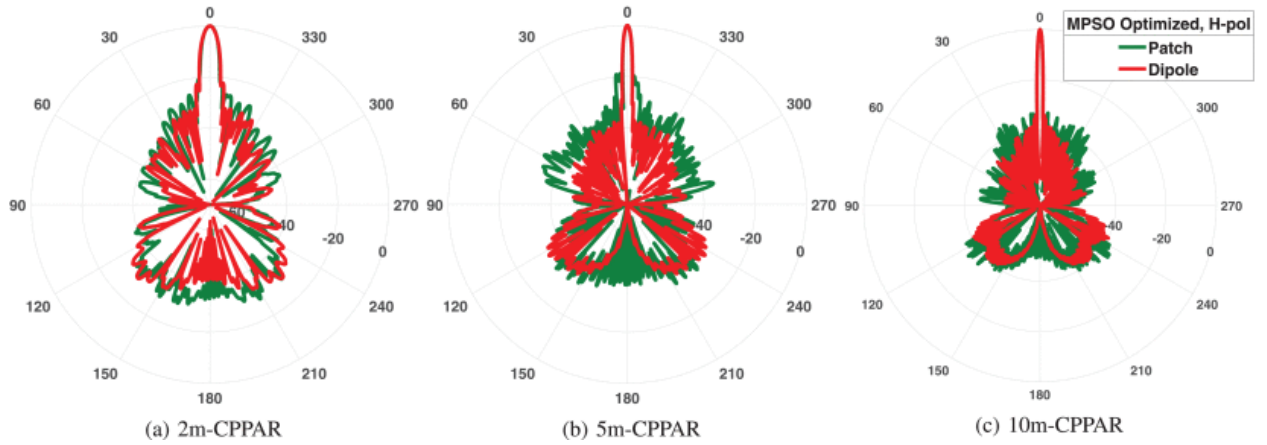


2.23 Сурет - Айқастырылған дипольдердің ұсынылатын құрылымы. (a) антеннаның концептуалды сызбасы, (b) физикалық іске асыру және сәйкес ұяшықтар бірлігінің суреті (арасындағы қисық дипольдерді көрсету үшін алынған астарлардың бөліктері)



2.24 Сурет - Айқастырылған дипольдердің ұсынылатын құрылымының прототипі

Нәтижесінде шыққан протиптің диаметрі 2, 5, 10 метр болғандағы горизонтальді бағыттық диаграммасы мен бастапқы CPPAR прототипінің бағыттық диаграммасымен салыстырмасы төменде көрсетілген. Жасылмен бастапқы CPPAR, ал қызылмен дипольді элементі бар CPPAR көрсетліген. [28]



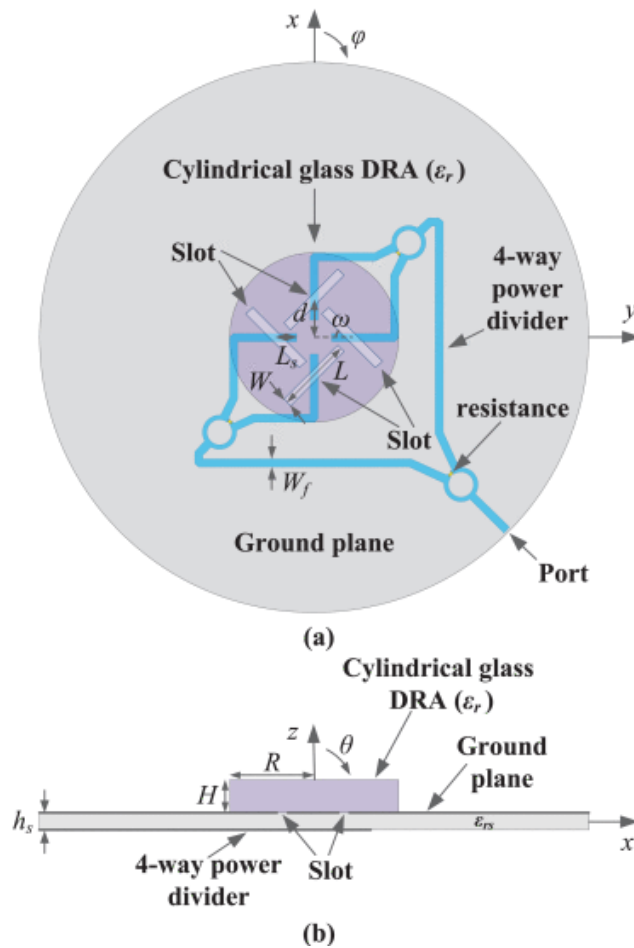
2.25 Сурет - Дипольдер мен патч элементтерін пайдалана отырып, горизонталь поляризацияға арналған бағыттық диаграммалар

Цилиндрлік фазалы антенналық тор үшін авторлар келесі формуланы қолданды:

$$\begin{aligned}
 E(\theta, \varphi) = & \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left\{ \omega(n, m) f_{n,m}(\theta, \varphi) \right. \\
 & \times \exp\{+jk((r \sin(\theta) \cos(\varphi - n\Delta\varphi) + z_m \cos(\theta)))\} \\
 & \left. \times \exp\{-jk((r \sin(\theta_0) \cos(\varphi_0 - n\Delta\varphi) + z_m \cos(\theta_0)))\} \right\}
 \end{aligned} \quad (2.1)$$

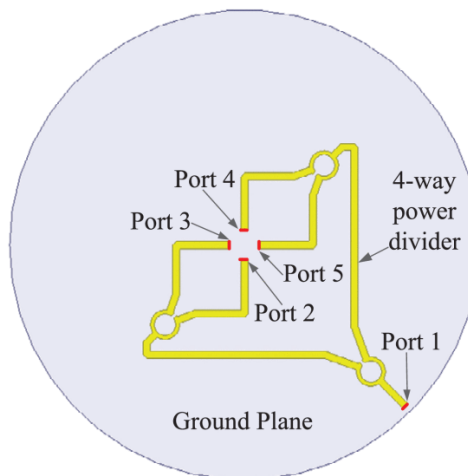
Бұнда, N - цилиндрдің горизонталь бойындағы элементтер саны, M - цилиндрдің вертикаль бойындағы элементтер саны, r - цилиндр радиусы, $\varphi_n = \Delta\varphi$ және z_m - цилиндр элементтерінің координатасы, $\omega(n, m)$ - сәуленің құрылуының комплексті массасы, $f_{n,m}(\theta, \varphi) = E_{AEP}(\theta, \varphi - n\Delta\varphi)$ - цилиндр шеңберіндегі элементтердің орналасуына қатысты айналмалы белсенді элемент үлгілері. [28]

Х. S. Fang, L. P. Weng және Y. X. Sun өз мақалаларында саңылаулы байланысы және айналмалы поляризациясы бар жан-жақты цилиндрлік диэлектрлік резонаторлық антенна (DRA) ұсынды. Дәстүрлі зондпен жұмыс істейтін әдіспен салыстырғанда, ұсынылған саңылаулы DRA құрылымы өте қарапайым, ешқандай ойықтар, қабаттар, дроссельдер немесе тұйықтау түйреуіштері еңгізілмегендіктен. Көп бағытты цилиндрлік шыны DRA CP 5,8 ГГц WLAN қолданбаларына арналған. Ұсынылған DRA 8% (5,62–6,09 ГГц) AR өткізу жолағын және $0,127\lambda_0$ биіктікте 5,6 дБ\с күшейтуді қамтамасыз ете алады. [29]

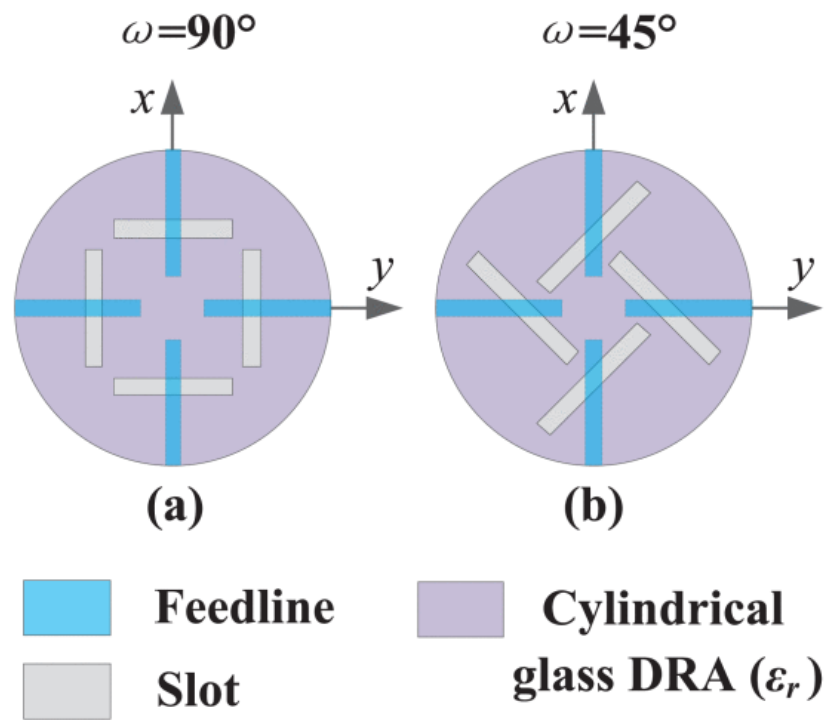


2.26 Сурет - Жан-жақты цилиндрлік диэлектрлік резонаторлық антеннаның жоғарыдан және бүйірінен қарағандағы сызбасы

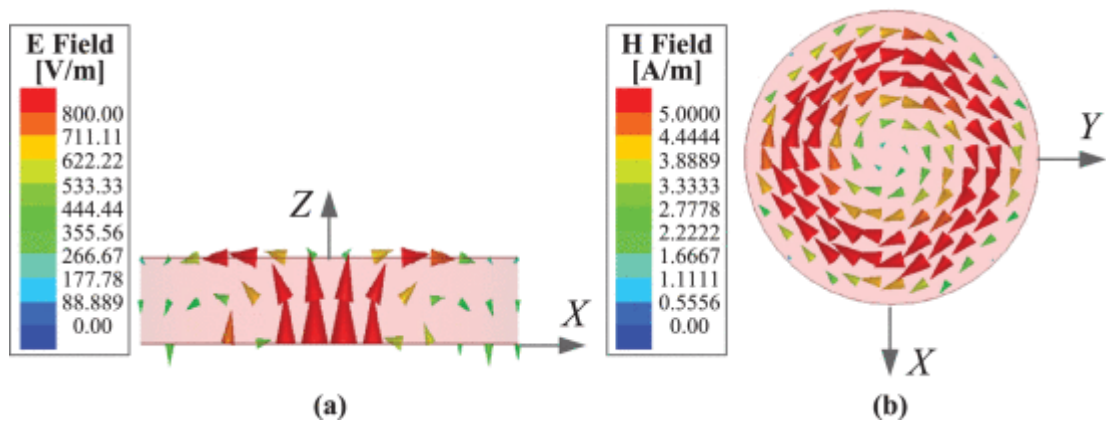
2.26 суреттегі мәндер: $\epsilon_p = 6.85$, $R = 20$ мм, $H = 6,5$ мм, $L = 19$ мм, $W = 2,2$ мм, $d = 9$ мм, $\epsilon_{p,c} = 2.94$, $h_s = 0,762$ мм, $W_f = 1,94$ мм және $L_s = 5$ мм. DRA K9 шынысынан жасалған. [29]



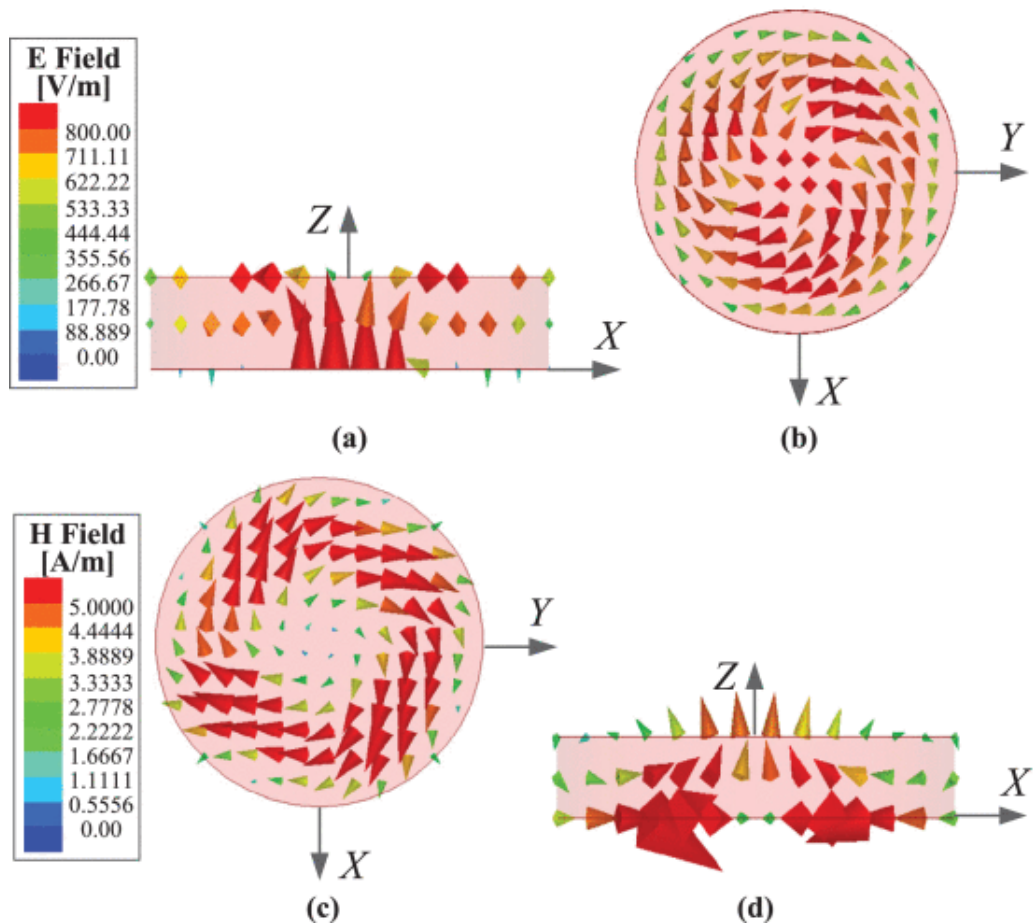
2.27 Сурет - Резисторы жоқ төрт жақты қуат бөлгішінің жоғарғы көрінісі



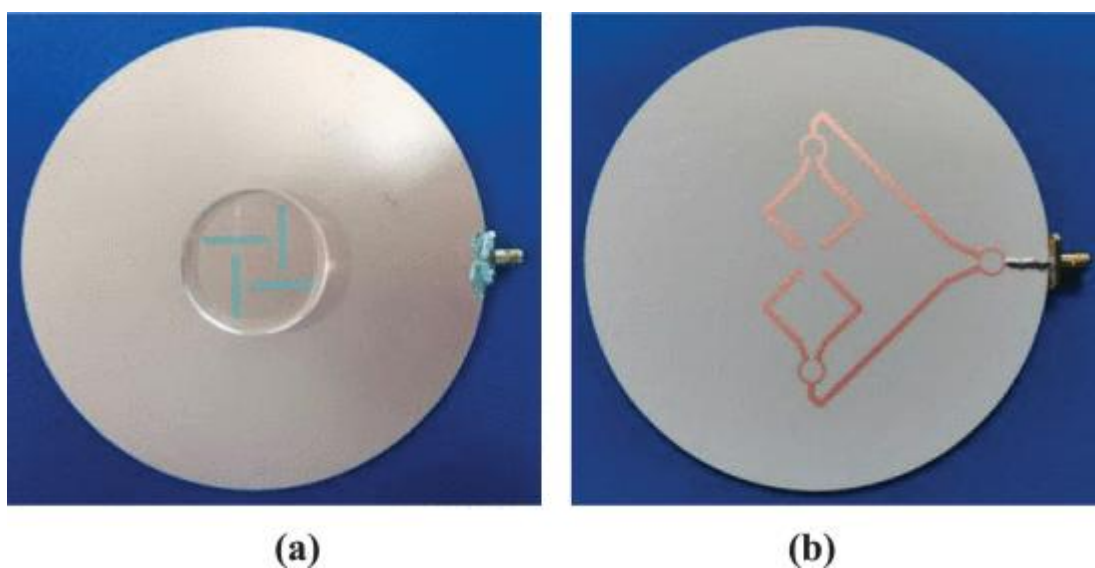
2.28 Сурет - Слоттармен біріктірілген цилиндрлік DRA-лардың оңайлатылған конфигурациясы. (a) $\omega = 90^\circ$, (b) $\omega = 45^\circ$



2.29 Сурет - $\omega = 90^\circ$ және 5,8 ГГц жиіліктегі цилиндрлік DRA ішіндегі симуляцияланған E және H-өрістері. (a) E өрісі (xz жазықтығы); (b) H өрісі (xy жазықтығы)



2.30 Сурет - $\omega = 45^\circ$ және 5,8 ГГц жиіліктегі цилиндрлік DRA ішіндегі симуляцияланған E және H-өрістері. (a) $t = 0$ кезінде E өрісі (xz жазықтығы); (b) $t = T/4$ уақытындағы E өрісі (xy жазықтығы); (c) $t = T/4$ кезіндегі H өрісі (xy жазықтығы); (d) H өрісі (xz жазықтығы) $t = T/2$ кезінде, мұнда T уақыт кезеңін білдіреді



2.31 Сурет - Шыны DRA прототипі. (a) алдыңғы жағы (b) төменгі жағы

Цилиндрлік DRA-ның $TM_{01\delta}$ - режимдік резонанстық жиілігін (f_1) келесі формула арқылы бағалауға болады:

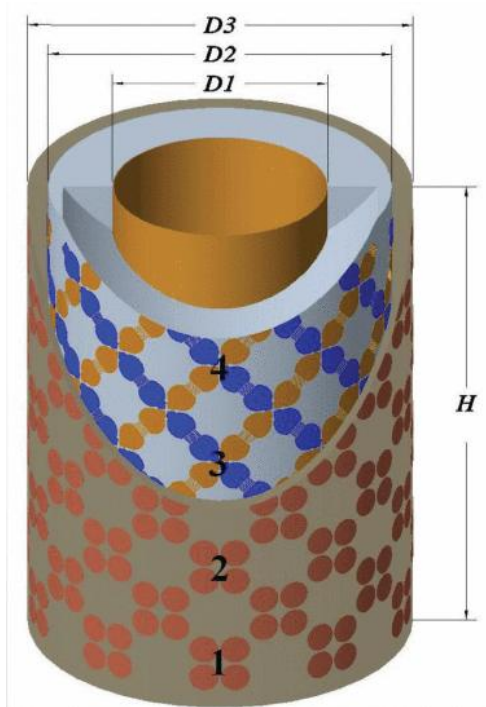
$$f_1 = \frac{c \sqrt{(3.83)^2 + (\frac{\pi R}{2H})^2}}{2\pi R \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Ал $TE_{011+\delta}$ режимінің резонанстық жиілігін (f_2) келесі формула арқылы бағалауға болады:

$$f_2 = \frac{2.208c}{2\pi R \sqrt{\epsilon_r + 1}} \left[1 + 0.7013 \left(\frac{R}{H} - 2.713 \times 10^{-3} \left(\frac{R}{H} \right)^2 \right) \right] \quad (2.3)$$

Бұнда R , H және ϵ_r сәйкесінше цилиндрлік DRA-ның радиусы, биіктігі және диэлектрлік өтімділігі, c - жарықтың вакуумдегі жылдамдығын білдіреді. [29]

Х. Lv, Y. Zhang, Q. Shi, M. Temiz және А. El-Makadema өз мақалаларында 45 градус қос поляризациясы бар төмен профильді ультра кең жолақты цилиндрлік антенна массивінің дизайнын ұсынды. [30]



2.32 Сурет - Ұсынылған антеннаның көрінісі

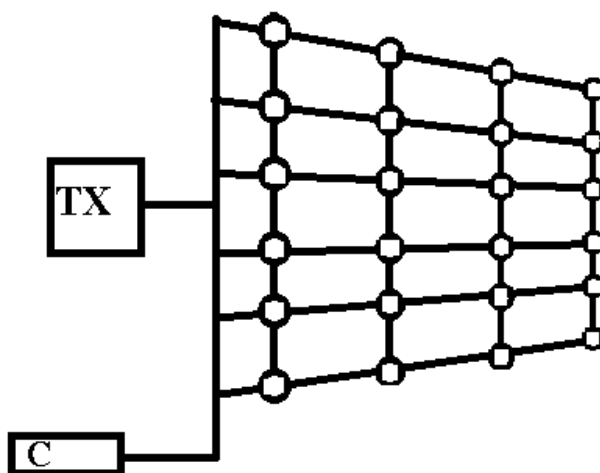
Цилиндрлік антенна диаметрі 131 мм және биіктігі 116 мм болатын 20×4 қос поляризацияланған элементтерден тұрады. Жиым элементтері қиғаш поляризациясы бар қатаң байланысқан кең жолақты дипольді антенналар болып табылады, соның арқасында екі ортогональды поляризация үшін көлденең

жазықтықтағы сәулелену үлгілерінің айналу симметриясына қол жеткізіледі. Ұсынылған тор 1,7 ГГц-тен 5,9 ГГц-ке дейінгі жиілік жолағында -10 дБ-ден аз шағылысу коэффициентін қамтамасыз етеді. Айқас поляризациялық дискриминация (XPD) азимут жазықтығындағы көздеу нүктесінде 15 дБ құрайды. Ұсынылған массив дизайны кең жолақты ММО жүйелерінде кездесетін көптеген мәселелерді 6 ГГц-ке дейінгі барлық диапазонды қамту арқылы жеңеді, сонымен бірге кең 360 градустық азимутты қамтуды қамтамасыз етеді, осылайша көп жолды бағдарламаларды қолдайды. [30]

3 УЛЬТРА ДИАПАЗОНДЫ ФАЗАЛЫ АНТЕННАЛАРДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

3.1 Жазық ультра диапазондағы фазалы антенналық торын зерттеу

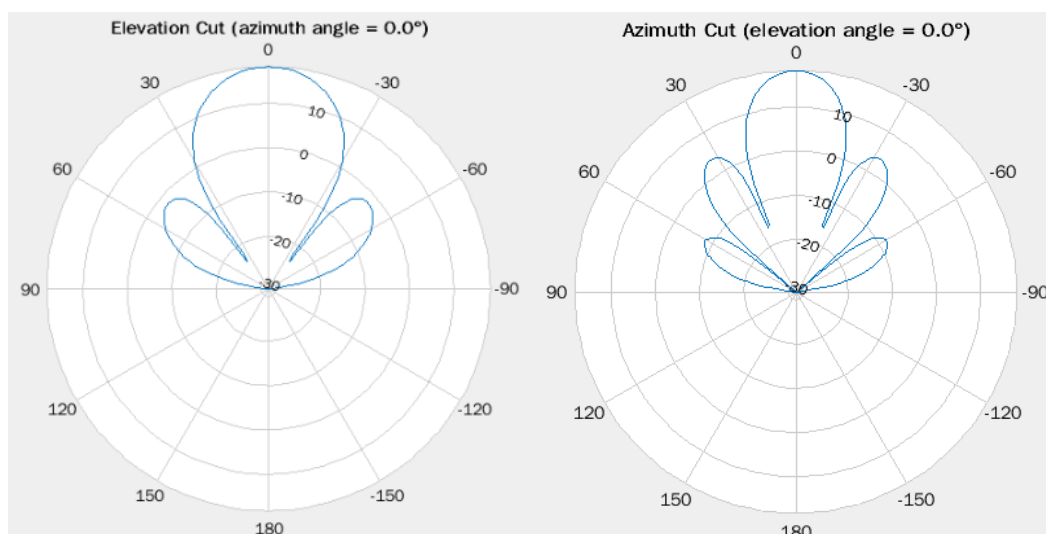
Осы дипломдық жұмыста біз жазық ультра диапазонда жұмыс істейтін бірнеше фазалы антенналық торларды қарастырдық. Оның ішінде біз АWA-0134 және АWMF-0129 ROACH эхолотында қолданылған антенналар [1], [12], MoS2 алтынынан жасалған оптикалық фазалы антенналық тор [14], микрополосковый Yagi антеннадан жасалған антенналық торлар [15], иерархиялы фазалы антенналық торлар [16] және т.б. туралы қысқаша айтып кеттік. Жалпы фазалы антенналық торлар дегеніміз - тордың элементтеріне берілетін, электронды түрде өзгертіле алатын, сигнал арқылы сәуленің бағыттық диаграммасын құрайтын, құрал. Бағыттық диаграмманың бағыты мен пішімін тордың элементтеріне берілетін сигналдардың амплитудасы мен фазасы арқылы электронды түрде өзгертуге болады [2]. Енді жазық ультра диапазондағы фазалы антенналық торлар дегеніміз – 30 МГц – 3000 ГГц жиілік диапазоны арасында жұмыс істей алатын, антенна элементтері жазықтық бетінде орналасқан фазалы антенналық тор. Олардың құрылымы ұқсас болып келеді.



3.1 Сурет - Жазық фазалы антенналық тордың құрылымы

Жазық фазалы антенналық торлар негізгі фазалық ауыстырғыштар мен коммутаторлардан тұрады. 3.1-ші суретте ТХ - каналды бөлгіш, ол келген сигналды бірнеше каналға бөледі, С – фазалық ауыстырғыштарды басқаратын блок, ол әрбір фазалы ауыстырғышқа керек фазаны орнатады, Ф – фазалы ауыстырғыш және А – антенналар. Фазалы антенналық торлар негізгі параметр болып бағыттық диаграммасы саналады. Бағыттық диаграмма деп – антеннаның немесе басқа да таратқыш құралдың тарататын бағыты мен

күшейту коэффициенті арасындағы арақатынастың графикалық түрі айтады. Оның түрі келесідей бола алады.



3.2 Сурет - Жазық антеннаның бағыттық диаграммасы

Бағыттық диаграмма жиілікке байланысты өзгере алады және оны есептеу үшін жазық фазалы антенналық торларда келесі формула қолданылады.

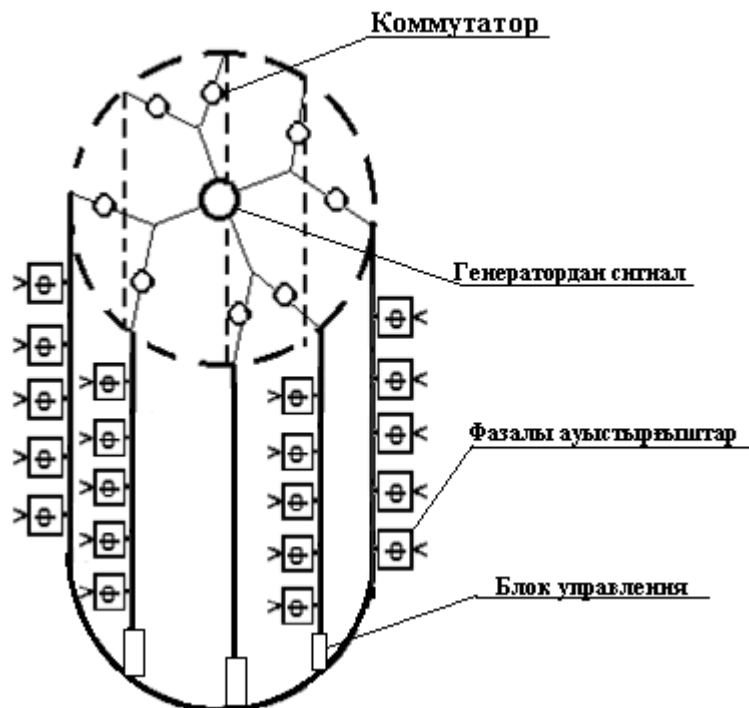
$$F(\theta_x, \theta_y) = F_1(\theta_x, \theta_y) \frac{\sin(\frac{n_x k d_x}{2}(\sin \theta_x - \sin \theta_{Mx}))}{n_x \sin(\frac{k d_x}{2}(\sin \theta_x - \sin \theta_{Mx}))} \frac{\sin(\frac{n_y k d_y}{2}(\sin \theta_y - \sin \theta_{My}))}{n_y \sin(\frac{k d_y}{2}(\sin \theta_y - \sin \theta_{My}))} \quad (3.1)$$

Бұнда θ_x және θ_y – фазалы антенналық тордың сканерлеуді жасай алатын азимут пен элевация бағыттарының бұрыштық диапазоны, θ_{Mx} және θ_{My} – азимут пен элевация бағыттарындағы максималды сканерлеу бұрышы, d_x және d_y – x және y осьтерінде орналасқан антенналардың арақашықтығы, ал n_x және n_y сәйкесінше - x және y осьтерінде орналасқан антенналардың саны, k – толқындық сан, оның формуласы $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ - толқын ұзындығы. Бағыттық диаграмма әр түрлі фазалы антенналық торлар үшін әртүрлі болады.

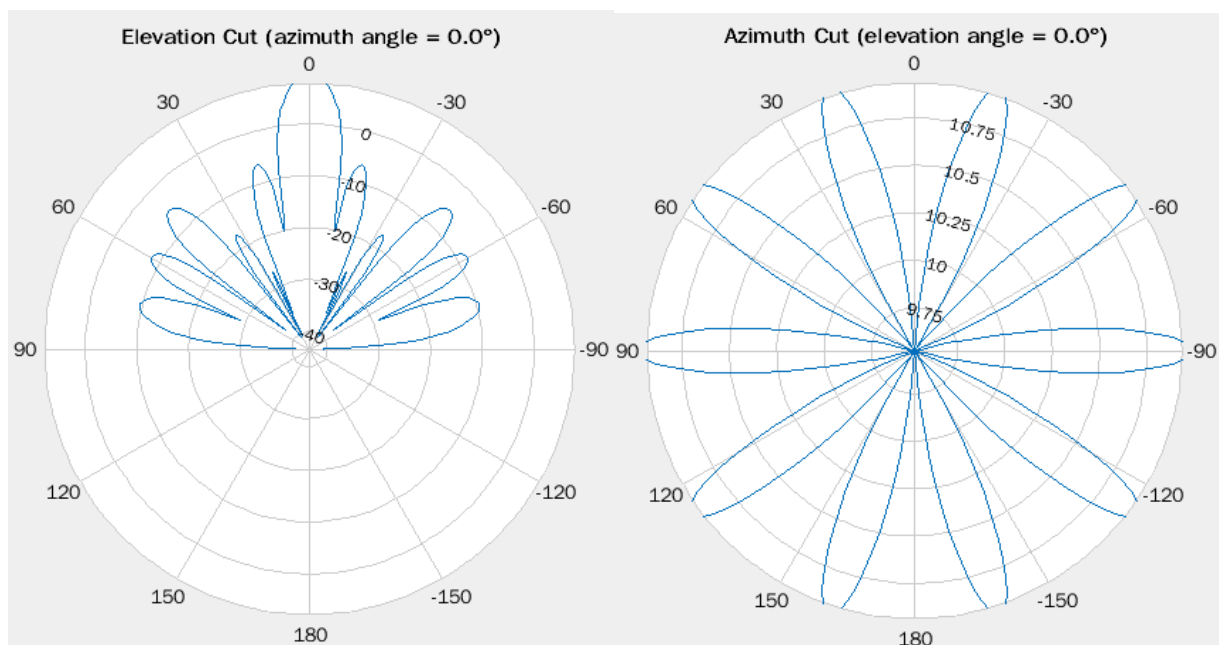
3.2 Цилиндрлік ультра диапазондағы фазалы антенналық торын зерттеу

Цилиндрлік фазалы антенналық торлардың ерекшелігі, олар сканерлеуді азимуталды жазықтықта 360° -та жүргізеді, соған байланысты олардың бағыттық диаграммасы тек бір бағытты емес барлық бағытты қамтиды, және цилиндрлік антенна элементтері, жазық антеннамен салыстырғанда, бір біріне азырақ тәуелді. Генератордан шыққан тоқ коммутаторларға барып, бірнешеге бөлінеді. Әрбір фазалы ауыстырғыштар коммутатор арқылы топпен бөлінеді.

Фазалы ауыстырғыштар басқаратын блоктан алған алгоритм бойынша өз фазалы кешігулерімен антенналарға сигнал жіберіледі.



3.3 Сурет - Цилиндрлік фазалы антенналық тордың құрылымы



3.4 Сурет - Цилиндрлік антеннаның бағыттық диаграммасы

Цилиндрлік антеннаның бағыттық диаграммасы негізі шеңберлі және сызықты антенналардың бағыттық диаграммаларына ұқсас келеді. Медианалық кескінде ол сызықты антеннаның диаграммасына, ал экваторлық кескінде

шеңберлі антеннаның диаграммасына ұқсас болып келеді. Сонда цилиндрлік антеннаның бағыттық диаграммасының формуласы:

$$F(\theta, \varphi) = F_1(\varphi)F_2(\theta) \quad (3.2)$$

Бұнда $F_1(\varphi)$ – экватордан кесілгендегі шеңберлі антеннаның бағыттық диаграммасы, ал $F_2(\theta)$ – медианалық кескіндегі сызықты антеннаның диаграммасы.

Енді экватордан кесілген шеңберлі антеннаның табайық. Шеңберлі антеннаның бағыттық диаграммасын табу үшін оның әрбір элементін шеңбер бойымен орналасқан синфазды сызықтық антенна деп аламыз. Синфазды сызықтық антеннаның бағыттық диаграммасы:

$$F(a_n, \varphi) = \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \sin \varphi)}{\cos \varphi} \quad (3.3)$$

Бұнда φ - 0° мен 180° арасында өзгеріп тұратын нақты бұрыштардың ауданы. Бұл бір синфазды антеннаның бағыттық диаграммасы. Шеңберлі антеннаның бағыттық диаграммасында бірнеше синфазды антенналар қолданылады, сондықтан синфазды антеннаның бағыттық диаграммасына көбейтетін көбейткішті есептейік. Көбейткіш синфазды антенналардың диаграммасын қосуға керек болады. Оның формуласы:

$$f_1(\varphi) = \sum_{n=1}^N e^{-iKR[\sin \varphi \cos((\langle -\frac{N+1}{2} \rangle + n) + a + \frac{\pi}{2})] + [(1 - \cos \varphi) \sin((\langle -\frac{N+1}{2} \rangle + n) + a + \frac{\pi}{2})] - \Delta \varphi_n} \quad (3.4)$$

мұнда k – толқындық сан, оның формуласы $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ - толқын ұзындығы, i – комплекстық сан, $i = \sqrt{-1}$, R – шеңбер радиус, $R = \frac{d}{\sqrt{2(1 - \cos \alpha)}}$, d – антенна элементтерінің арақашықтығы, α – антенна элементтері арасындағы бұрыш, формуласы $\alpha = \frac{360^\circ}{N}$, N – антенна элементтерінің саны, $\Delta \varphi_n$ – синфазды сызықтық антеннаның шеңберлі антеннадан фазалық айырмашылығы, формуласы $\Delta \varphi_n = ([R\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n}](1 - \cos \varphi))$.

Енді осы формуладан шеңберлі антеннаның бағыттық диаграммасы формуласын шығарсақ:

$$F_1(\varphi) = \sum_{n=1}^N F(a_n, \varphi) I(a_n) \times e^{-iKR[\sin \varphi \cos((\langle -\frac{N+1}{2} \rangle + n) + a + \frac{\pi}{2})] + [(1 - \cos \varphi) \sin((\langle -\frac{N+1}{2} \rangle + n) + a + \frac{\pi}{2})] - \Delta \varphi_n}$$

(3.5)

$I(a_n)$ – бүйірлік бұтақтарды азайтуға арналған шама, формуласы:

$$I(a_n) = \Delta + (1 - \Delta) \cos \left(\frac{\pi \sin(a_n)}{2 \sin \Delta \varphi} \right) \quad (3.6)$$

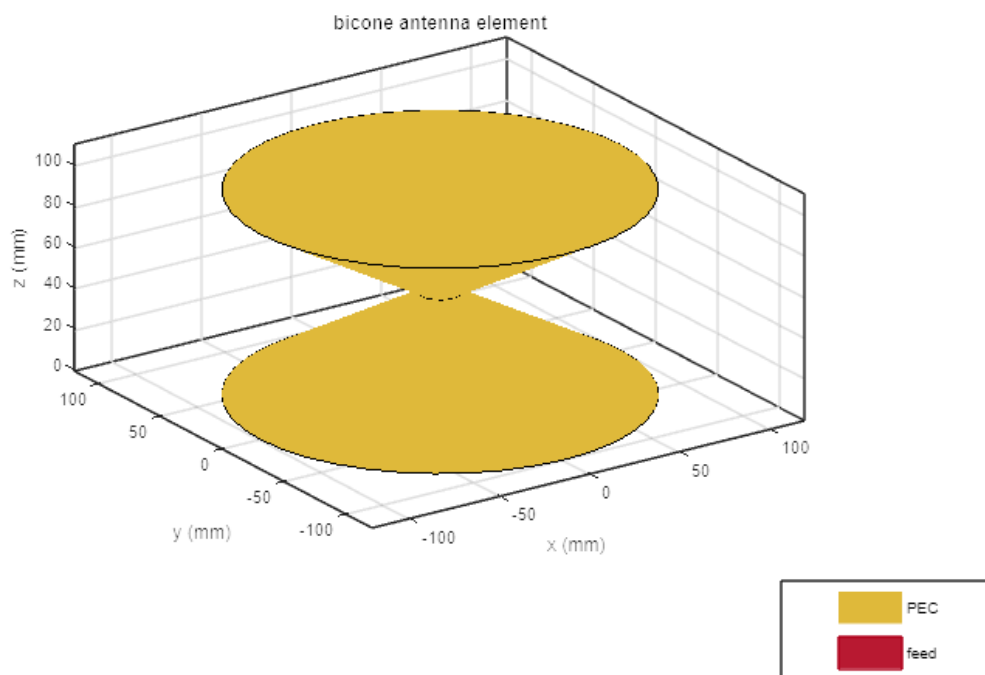
Енді медианалық кескіндегі сызықтық антеннаның бағыттық диаграммасын табайық. Сызықтық антеннаның бағыттық диаграммасы келесі формуламен табылады:

$$F^1(\theta) = \sum_{m=1}^L F(a_m, \theta) I(a_m) e^{-iKR \left[\sin \left(\left(-\frac{N+1}{2} \right) + n \right) a + \frac{\pi}{2} (1 - \cos \varphi) \right]} \quad (3.7)$$

Бұнда α – антенна элементтері арасындағы бұрыш, формуласы $\alpha = \frac{360^\circ}{N}$, k – толқындық сан, оның формуласы $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ – толқын ұзындығы, i – комплексстық сан, $i = \sqrt{-1}$, R – шеңбер радиус, $R = \frac{d}{\sqrt{2(1 - \cos \alpha)}}$, d – антенна элементтерінің арақашықтығы, N – антенна элементтерінің саны.

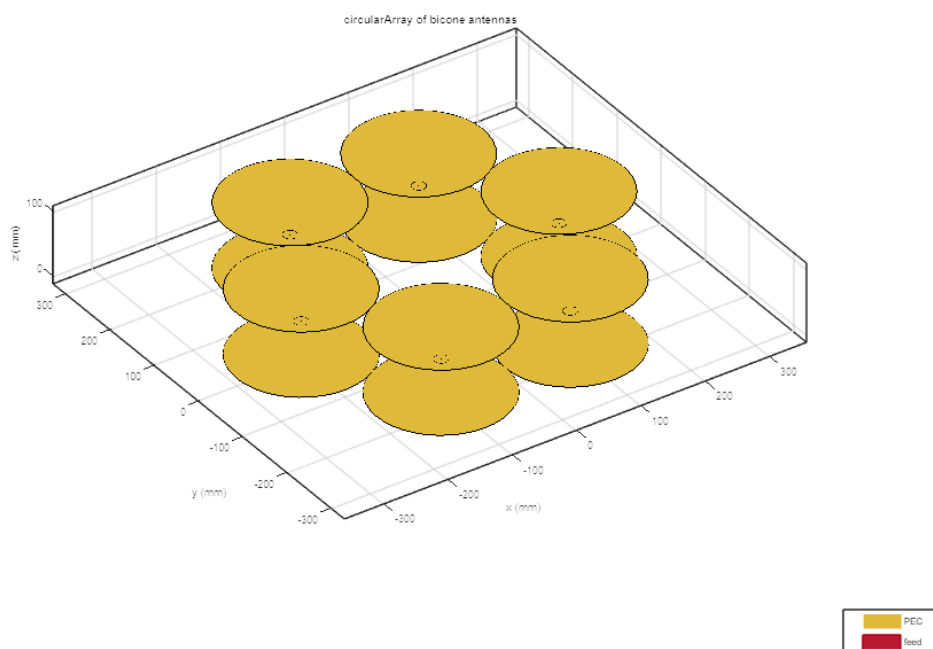
3.3 Биконусты фазалы антенналық торлардың көрінісін бағдарлама көмегімен анықтау

Биконусты фазалы антенналық тор дегеніміз - биконусты антенна элементтерінен құралған фазалы антенналық тор. Биконустың түрі астыңғы суретте көрсетілген. Биконусты элементінің мысалы ретінде В. А. Калошин жасаған мақаласындағы [26] биконусты антенна прототипі қарастырылған.



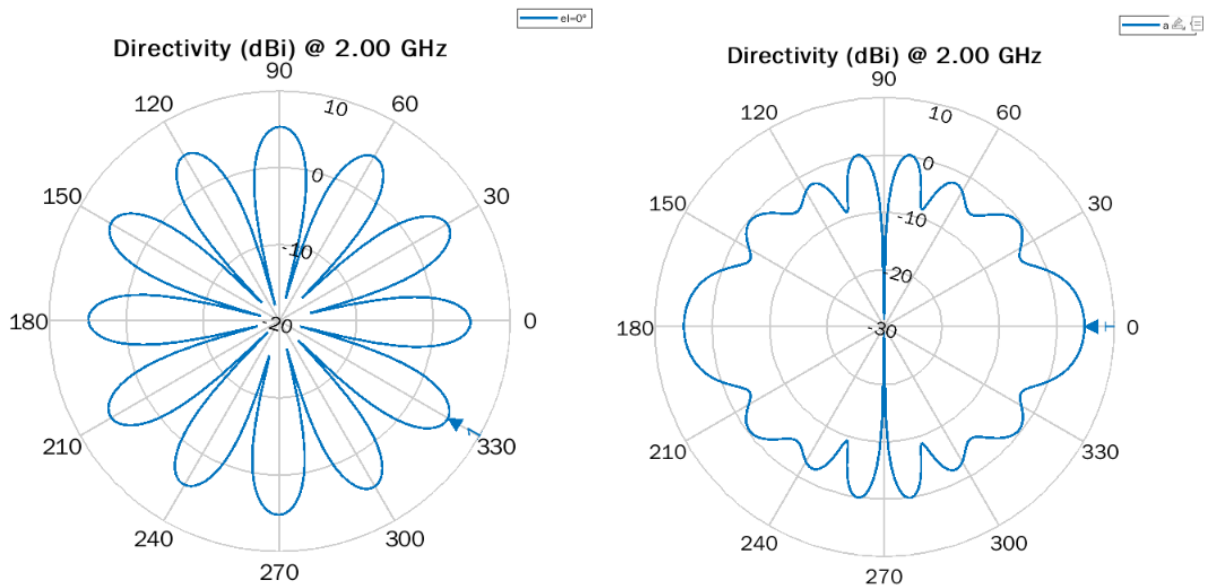
3.5 Сурет - Биконусты антеннаның бағдарламада құралған түрі

3.5 суретте көрсетілген биконустың конустарының радиусы – 100 мм, әрбір конустың биіктігі – 50 мм, конустардың жалғанған фидердің радиусы - 10 мм, фидер ұзындығы – 0,5 мм, фидер ені – 0,1 мм. Енді осы антеннадан биконусты шеңберлік антенналық торды құрайық.

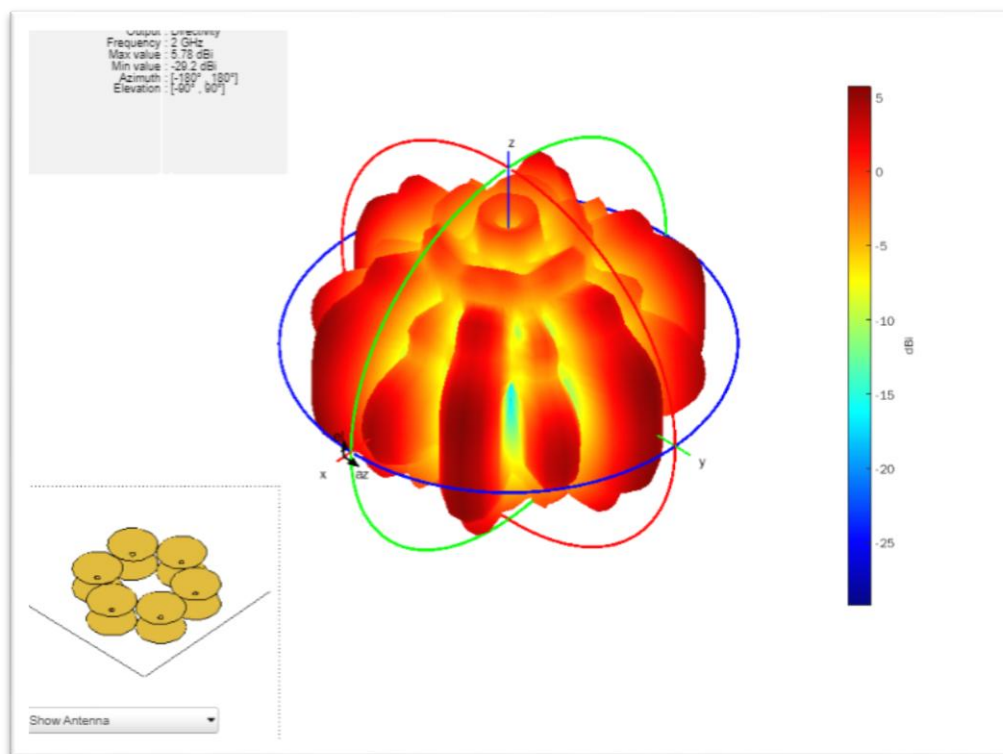


3.6 Сурет - Биконусты шеңберлік антенналық тор

Келесі біз алынған биконусты шеңберлік антенналық тордың бағыттық диаграммасын алайық. MatLab бағдарламасынан жоғарыда құралған антенналық тордың бағыттық диаграммасы келеісдей болады.



3.7 Сурет - Биконусты шеңберлік антенналық тордың бағыттық диаграммасы (Н және Е пландағы)

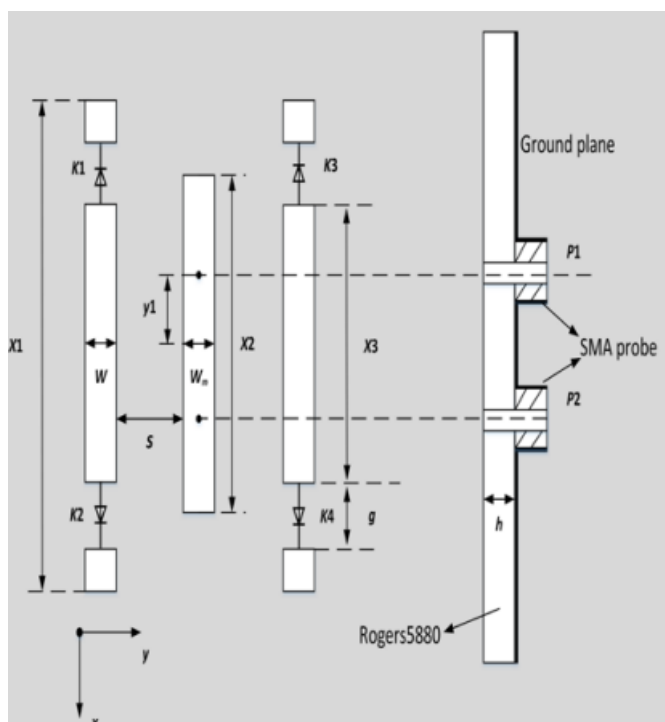


3.8 Сурет - Биконусты шеңберлік антенналық тордың бағыттық диаграммасы

Қосымшада жоғарыда көрсетілген модельдердің коды жазылған.

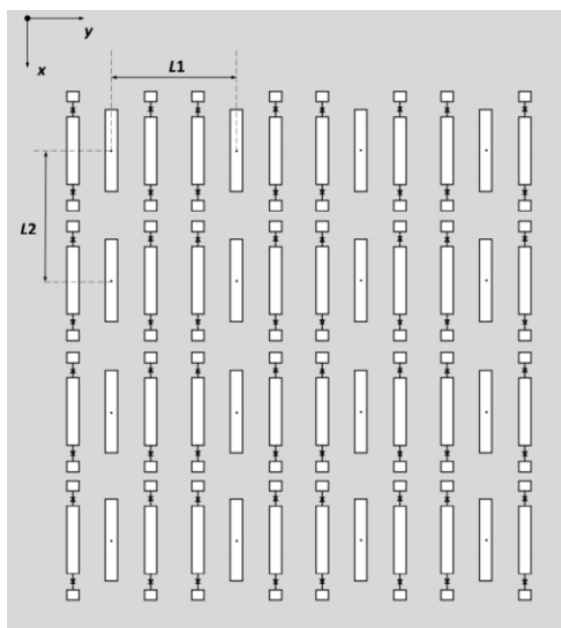
3.4 Е және Н жазықтықтағы сканерлейтін тордың бағыттық диаграммаларын бағдарлама көмегімен анықтап есептеу

Жазық ультра диапазонда жұмыс жасайтын фазалы антенналық тор ретінде мен Yagi антеннасынан жасалған планарлы фазалық антенналық торды алдым, ол [15]-ші материалда көрсетілген. Yagi антеннасынан микрополосковый түрі алынған. Одан жасалған фазалы антенналық тордың жұмыс істеу жиілігі 28,5 ГГц болып шықты.



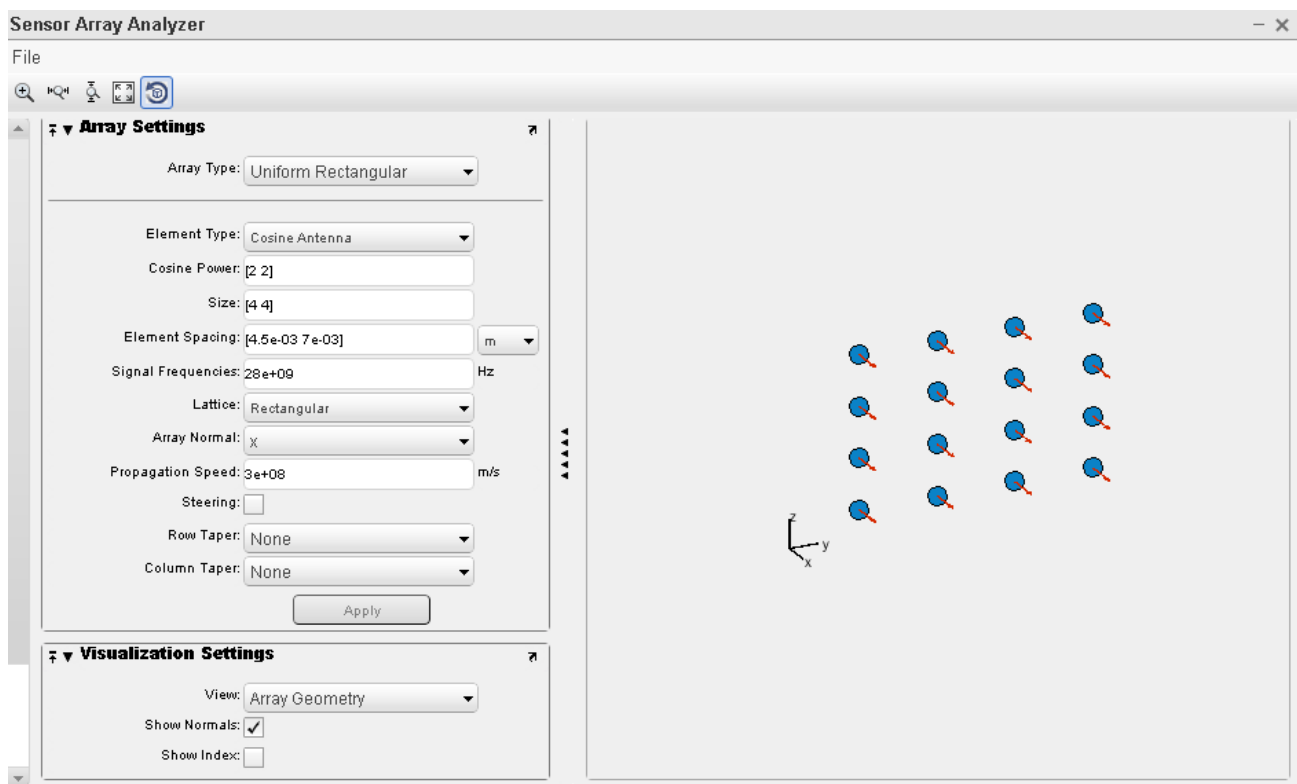
3.9 Сурет - Қайта конфигурациялы бағыттық диаграммасы және екі фидерлі порттары бар антеннаның құрылымы

3.9 суретте құралатын антеннаның 1 элементі көрсетілген. Бізге бұндай элементтің 16-сы керек.



3.10 Сурет - 16 реконфигурациялау элементтерінен тұратын ұсынылған фазалы антенналық тордың құрылымы

Сонымен біз 4x4 массивті жазық ультра диапазонды фазалы торлық антеннаны аламыз. Енді осы антеннаның бағыттық диаграммасын MatLab бағдарламасынан құрастырайық. Бірінші берілген антеннаның негізгі параметрлерін MatLab бағдарламасының Sensor Array Analyzer қосымшасына орнатамыз. Антеннаның түрін (жазық), массивтің пішімін (4x4), антеннаның жұмыс жасайтын жиілігін (28 ГГц), элементтер арақашықтығын ($L1=4.5\text{mm}$, $L2=7\text{mm}$). Берілген параметрлер бойынша антеннаның күшейту коэффициенті 18,24 Дб болып шықты.

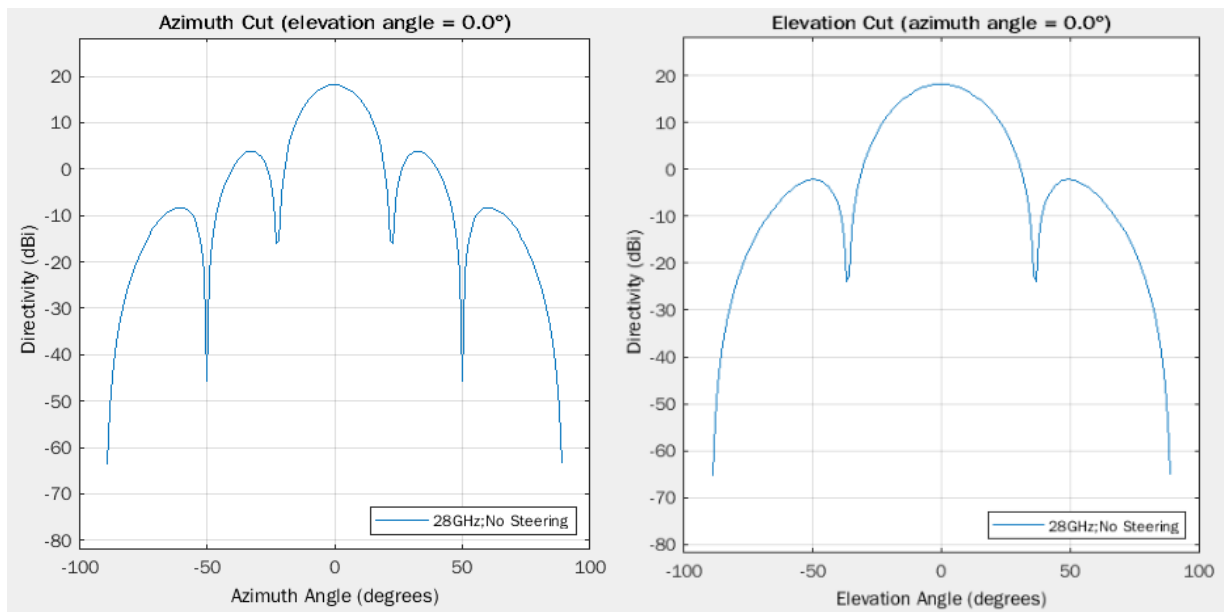


3.11 Сурет - Программа интерфейсі

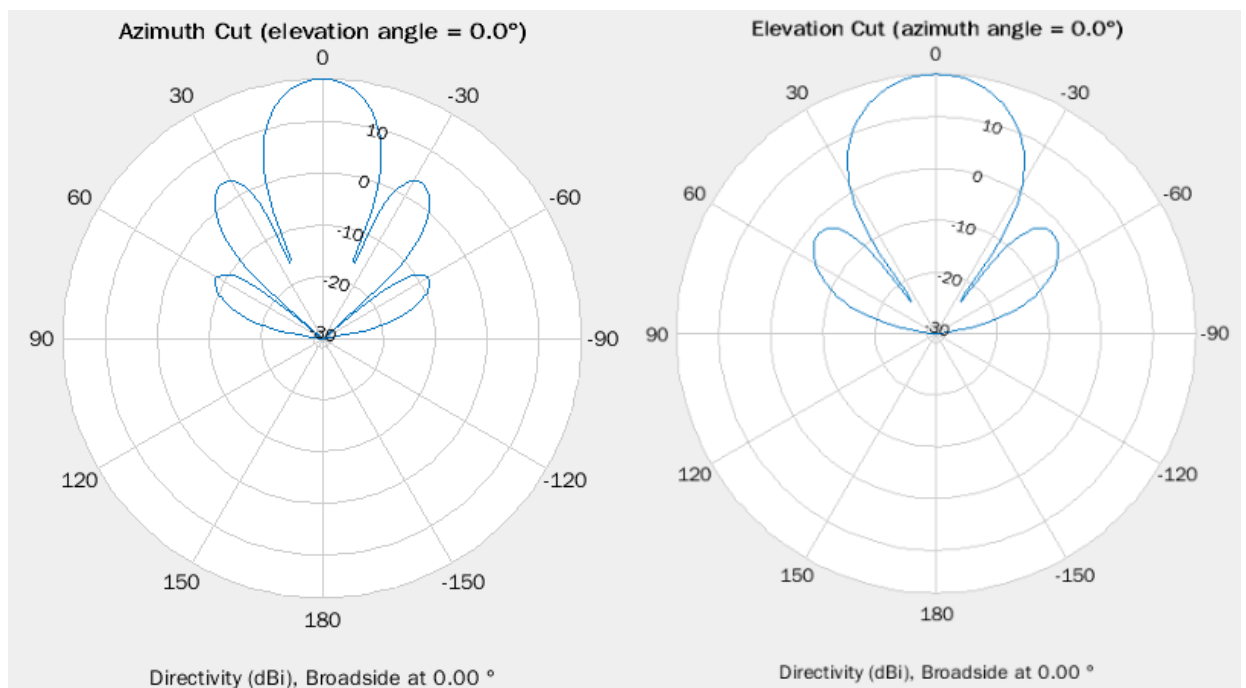
Енді антеннаның бағыттық диаграммасын тексерейік. Бағыттық диаграмманы табу үшін жоғарыда келтірілген жазық фазалы антенналы торларға арналған формуланы қолданамыз.

$$F(\theta_x, \theta_y) = F_1(\theta_x, \theta_y) \frac{\sin(\frac{n_x k d_x}{2}(\sin \theta_x - \sin \theta_{Mx}))}{n_x \sin(\frac{k d_x}{2}(\sin \theta_x - \sin \theta_{My}))} \frac{\sin(\frac{n_y k d_y}{2}(\sin \theta_y - \sin \theta_{My}))}{n_y \sin(\frac{k d_y}{2}(\sin \theta_y - \sin \theta_{My}))} \quad (3.9)$$

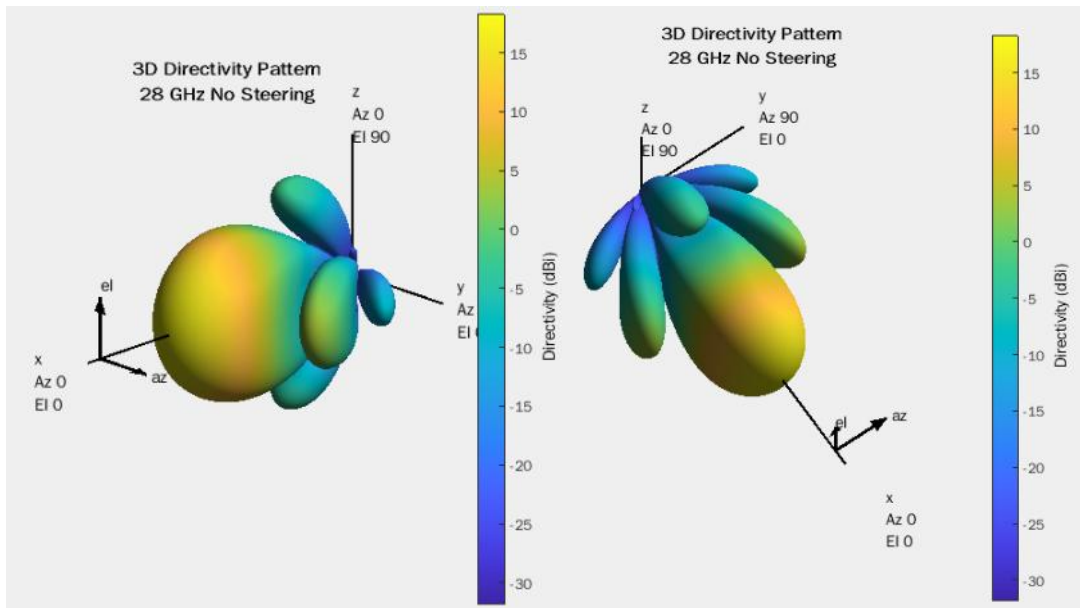
Бұнда Θ_x және Θ_y – фазалы антенналық тордың сканерлеуді жасай алатын азимут пен элевация бағыттарының бұрыштық диапазоны, Θ_{Mx} және Θ_{My} – азимут пен элевация бағыттарындағы максималды сканерлеу бұрышы, d_x және d_y – x және y осьтерінде орналасқан антенналардың арақашықтығы, ал n_x және n_y сәйкесінше - x және y осьтерінде орналасқан антенналардың саны, k – толқындық сан, оның формуласы $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ - толқын ұзындығы. Бағыттық диаграмма әр түрлі фазалы антенналық торлар үшін әртүрлі болады.



3.12 Сурет - Антеннаның график түріндегі бағыттық диаграммасы (Н және Е планындағы)

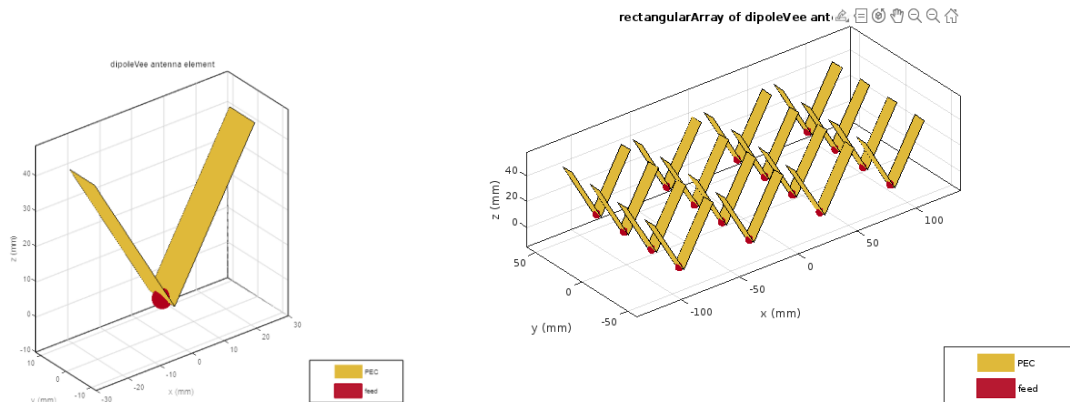


3.13 Сурет - Антеннаның полярлы координаттар жүйесіндегі бағыттық диаграммасы (Н және Е планындағы)

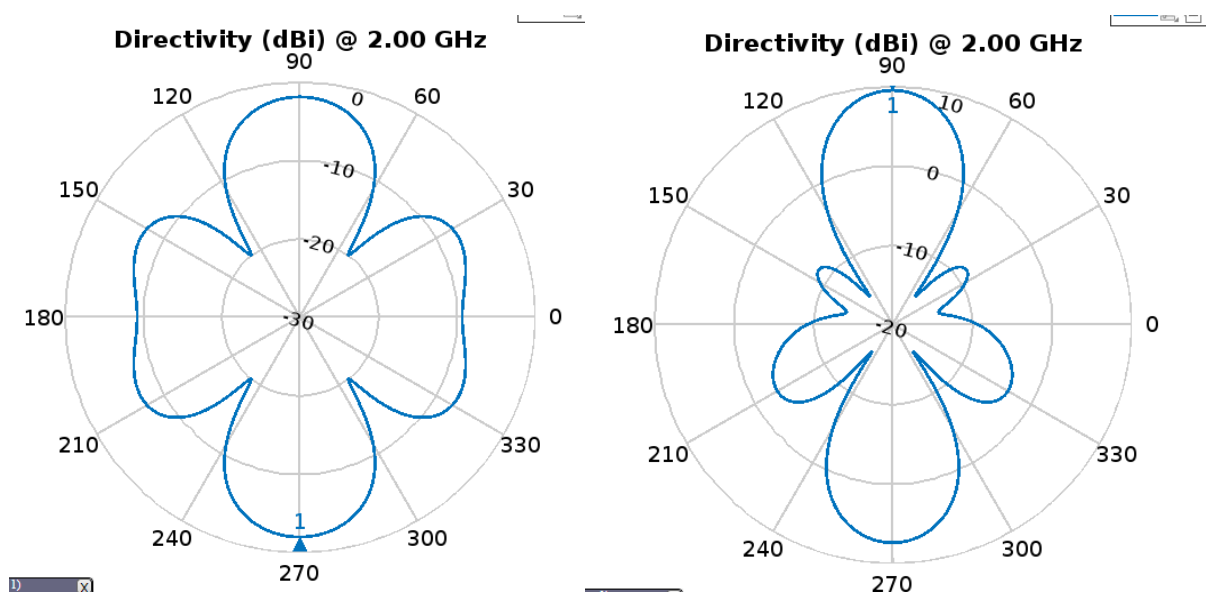


3.14 Сурет - Антеннаның полярлы координаттар жүйесіндегі 3D бағыттық диаграммасы

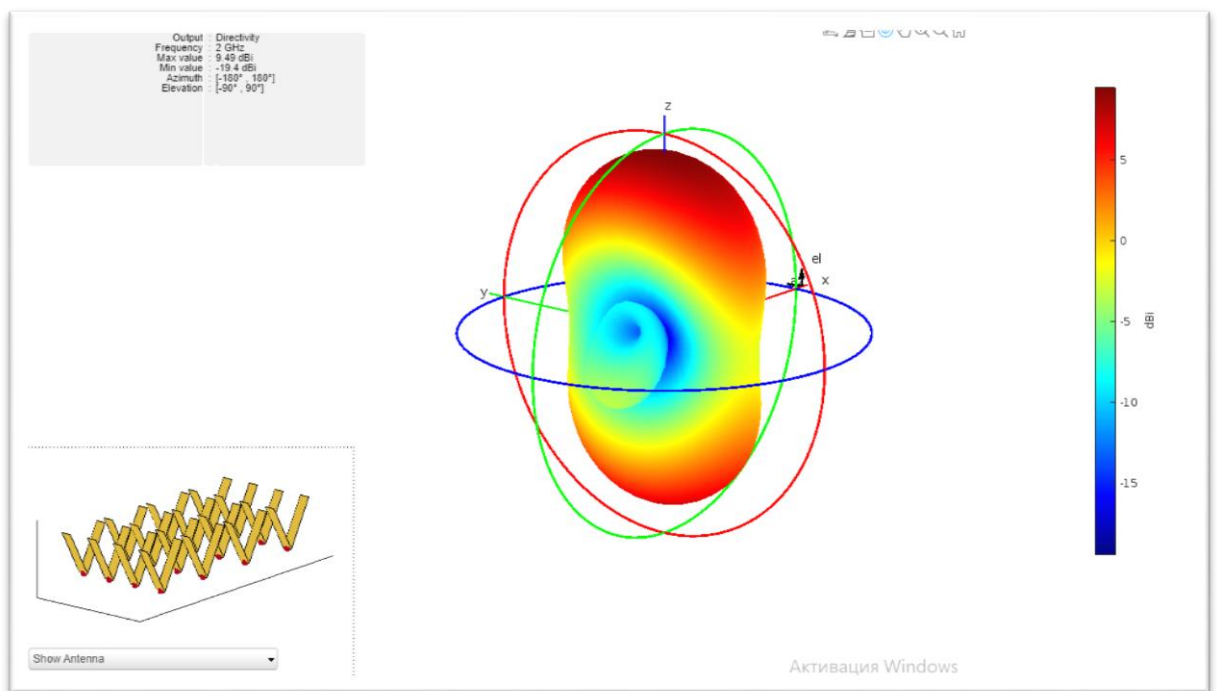
Енді осы жасылған фазалы антенналық торда Yagi антеннасы элементі орнына басқа элементті қойғандағы шыққан нәтижемен салыстырсақ. Антенна элементі ретінде V тәрізді дипольді қолдандым. Бұл диполь алу себебі, цилиндрлік антенналық торларға арналған 2.2 бөлімде цилиндр бағыттық диаграммасында пайда болатын интерференцияны азайту мақсатында зерттеушілер осы антеннаны қолданды.



3.15 Сурет – Дипольдік антенна элементі мен антенналық тор құрылымы



3.16 Сурет - Антеннаның полярлы координаттар жүйесіндегі бағыттық диаграммасы (Н және Е планындағы)



3.14 Сурет - Антеннаның полярлы координаттар жүйесіндегі 3D бағыттық диаграммасы

Нәтижесінде екі бағытты антенналық тор шықты. Жаңа планарлы фазалы антенналық тор XOZ жақықтығында -30^0 -тан $+30^0$ -қа дейін, ал YOZ жазықтығында шамамен -60^0 -тан $+60^0$ -қа дейінгі сканерлеу диапазонын қамти алады. Модельді құрау кезінде жазылған код қосымшада.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста фазалы антенналық торлар қарастырылды, жұмыс істеу принципі 1.1 бөлімінде ашылды. Олардың қолданылу аясы, қай жерде, кіммен, не үшін қолданылғаны және болашақта тағы қай салаларда қолданылуы мүмкіндігі 1.2 бөлімде қарастырылды. Фазалық антенналық торлар қазіргі заманда, 30-шы жылдары теория жүзінде пайда болғалы бері, жетілдіріліп тұрады. Жаңа антенна қолданылу мүмкіндіктері туралы тұжырымдамалар, жетілдіру алгоритмдері, антеннаның кемшіліктерін табу жолдары және оларды шешу тәсілдері 1.3 бөлімінде айтылып кетті.

Фазалы антенналық торлар түрлері 2 бөлімнен бастап қарастырылды. Зерттеушілер жасаған антенналары қарастырылды. Жазық фазалы антенналық торлардың түрлері, жасау технологиясы, әрбір зерттеуші жасаған антенналардың қасиеттері 2.1 бөлімде қарастырылды. Цилиндрлік фазалы антенналар 2.2 бөлімде ашылды.

Тақырып бойынша жазық және цилиндрлік антенналардың қасиеттері, олардың құрылымы, бағыттық диаграммасын құрау формулалары 3 бөлімінде айтылды. Жазық және цилиндрлік фазалы антенналар 3.1 және 3.2 бөлімдерінде қарастырылды. 3.3 бөлімінде биконусты фазалы антенналық торы қарастырылды. MatLab бағдарламасы арқылы 1-ші биконусты элементтің моделі жасалынды, 2-ші биконусты элементтерден шеңберлік фазалы антенналық тор құрастырылды. Шеңберлік антеннаның бағыттық диаграммасын құруға арналған формуланы биконусты элементтерге бейімдеп бағыттық диаграмма құралды. Бағыттық диаграмма H және E жазықтығында полярлы екі өлшемді графикте және полярлы үш өлшемді графикте фазалы антеннаның бағыттық диаграммасы құрастырылды. 3.4 бөлімде жазық фазалы антенналық торы қарастырылды. Прототипі ретінде жоғарыда қарастырылған Yagi микрополоскалы антеннасынан құралған фазалы антенналық торы алынды. 3.3 бөлімдегідей жазық фазалы антенналық тордың бағыттық диаграммасының формуласын қолдана екі және үш өлшемді бағыттық диаграммасы жасалынды және де жаңадан жасалынған V тәрізді дипольді фазалы антенналық тормен салыстырылынды. Нәтижелердің барлығы 3 бөлімде көрсетілген.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. “Real-time Millimeter Wave Omnidirectional Channel Sounder Using Phased Array Antennas” <https://arxiv.org/abs/2009.11093v1>, 23 Sep 2020
2. “Nonreciprocal Phased-Array Antennas” <https://arxiv.org/abs/1911.02059v1>, 5 Nov 2019
3. “Joint Beam and Channel Tracking for Two-Dimensional Phased Antenna Arrays” <https://arxiv.org/abs/1804.06258v4>, 27 Dec 2018
4. “28 GHz mmWave Channel Measurements: A Comparison of Horn and Phased Array Antennas and Coverage Enhancement Using Passive and Active Repeaters” <https://arxiv.org/abs/2002.00121v1>, 1 Feb 2020
5. “Real-Time CRLB based Antenna Selection in Planar Antenna Arrays” <https://arxiv.org/abs/2111.15008v1>, 29 Nov 2021
6. “Efficient Cell-Specific Beamforming for Large Antenna Arrays” <https://arxiv.org/abs/2110.05214v1>, 11 Oct 2021
7. “RAPID: Retrofitting IEEE 802.11ay Access Points for Indoor Human Detection and Sensing” <https://arxiv.org/abs/2109.04819v1>, 10 Sep 2021
8. “Explicit Calibration of mmWave Phased Arrays with Phase Dependent Errors” <https://arxiv.org/abs/2107.09561v1>, 16 Jul 2020
9. “Empirical Evaluation of a 28 GHz Antenna Array on a 5G Mobile Phone Using a Body Phantom” <https://arxiv.org/abs/2009.06318v3>, 16 Mar 2021
10. “SuperCell: A Wide-Area Coverage Solution Using High-Gain, High-Order Sectorized Antennas on Tall Towers” <https://arxiv.org/abs/2012.00161v2>, 21 Dec 2020
11. “SPSA-Based Successive Beamforming for Mobile Satellite Receivers with Phased Arrays” <https://arxiv.org/abs/2104.09199>, 19 Apr 2021
12. “A Real-Time Millimeter Wave V2V Channel Sounder” <https://arxiv.org/abs/2203.09057v1>, 17 Mar 2022
13. “Physical Limitations of Phased Array Antennas” <https://arxiv.org/abs/2006.02777v2>, 16 Feb 2021
14. “Beam steering with a nonlinear optical phased array antenna” <https://arxiv.org/abs/1905.09115v1>, 22 May 2019
15. “Two-Dimensional Scanning Phased Array Based on Pattern Reconfigurable Antenna” <https://arxiv.org/abs/1903.06561v1>, 15 Mar 2019
16. “Hierarchical sinuous-antenna phased array for millimeter wavelengths” <https://arxiv.org/abs/1801.02543v2>, 29 Mar 2018
17. “Dynamically controlled plasmonic nano-antenna phased array utilizing vanadium dioxide” <https://arxiv.org/abs/1702.02333v1>, 8 Feb 2017
18. “An Unbalanced Feed Design For Wideband Phased Arrays” <https://arxiv.org/abs/1706.04658v1>, 14 Jul 2017
19. “An Antenna Array Initial Condition Calibration Method for Integrated Optical Phased Array” <https://arxiv.org/abs/1902.06203v1>, 17 Feb 2019

20. "Conformal Metasurfaces: a Novel Solution for Vehicular Communications" <https://arxiv.org/abs/2201.08820v1>, 21 Jan 2022
21. "Geometric phase in phasing of antenna arrays" <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0003396v1>, 25 Mar 2000
22. "Extending the scanning angle of a phased array antenna by using a null-space medium" <https://arxiv.org/abs/1408.0977v1>, 5 Aug 2014
23. "Fast Analog Beam Tracking in Phased Antenna Arrays: Theory and Performance" <https://arxiv.org/abs/1710.07873v4>, 25 Apr 2019
24. "Compact optical phased array using a serial grating antenna design" <https://arxiv.org/abs/1903.04573v1>, 16 Feb 2019
25. "Urban Outdoor Measurement Study of Phased Antenna Array Impact on Millimeter-Wave Link Opportunities and Beam Misalignment" <https://arxiv.org/abs/1909.12024v2>, 26 Sep 2019
26. В. А. Калошин, Н. Т. Ле "ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СКАНИРОВАНИЯ В Н-ПЛОСКОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК БИКОНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ" 20 Июня 2018. Точный адрес: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=radel&y=2019&v=64&n=5&a=RadEl1905007Kaloshin>
27. Под редакцией Д.И. Воскресенского "Антенны и устройства СВЧ" 1993 год
28. М. -Н. Golbon-Haghighi, M. Mirmozafari, H. Saeidi-Manesh and G. Zhang, "Design of a Cylindrical Crossed Dipole Phased Array Antenna for Weather Surveillance Radars," in IEEE Open Journal of Antennas and Propagation, vol. 2, pp. 402-411, 2021, doi: 10.1109/OJAP.2021.3059471.
29. X. S. Fang, L. P. Weng and Y. -X. Sun, "Slots-Coupled Omnidirectional Circularly Polarized Cylindrical Glass Dielectric Resonator Antenna for 5.8-GHz WLAN Application," in IEEE Access, vol. 8, pp. 204718-204727, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3037778.
30. X. Lv, Y. Zhang, Q. Shi, M. Temiz and A. El-Makadema, "A Dual Slant-Polarized Cylindrical Array of Tightly Coupled Dipole Antennas," in IEEE Access, vol. 10, pp. 30858-30869, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3159791.

ҚОСЫМША

Биконусты шеңберлік фазалы антенналық торды құраған кезде жазылынған код:

```
a = bicone;  
a.ConeHeight(1,1) = 0.05;  
a.BroadRadius(1,1) = 0.1;  
a.FeedHeight = 0.0005;  
a.FeedWidth(1,1) = 0.0001;  
a.NarrowRadius(1,1) = 0.01;  
show (a)
```

```
b = circularArray;  
b.Element = a;  
b.Radius(1,1) = 0.201;  
show (b)
```

```
pattern (b, 2e9)  
patternAzimuth (b, 2e9)  
patternElevation (b, 2e9)
```

V тәрізді дипольді фазалы антенналық торды құраған кезде жазылынған код:

```
d = dipoleVee;  
d.ArmLength = [0.05 0.05];  
d.ArmElevation = [60 60];  
d.Width = 0.01;  
show(d)
```

```
c = rectangularArray;  
c.RowSpacing = 0.03;  
c.ColumnSpacing = 0.06;  
c.Size = [4 4];  
c.Element = d;  
show(c)
```

```
pattern (c, 2e9)  
patternAzimuth (c, 2e9)  
patternElevation (c, 2e9)
```

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

дипломдық жұмыс

Ғанибек Әділжан

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбы: Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық торлардың дамуын талдау

Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық торларының ерекшеліктері мен модельдері талданды.

Жұмыста жазық және цилиндрлік фазаланған антенналық торларының технологиясының тұжырымдамалары осы техникаға сәйкес математикалық көзқарас қысқаша ұсынылды. Практикалық бөлімде жазық және цилиндрлік фазаланған антенналық торларын зерттеу үшін MatLab бағдарламасы қолданыла отырып, антенналардың модельдері қарастырылды.

Жұмыстың мақсатын айқындау құрастырылған модельдердің бағыттық диаграммалары есептелді.

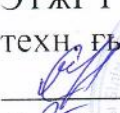
Бірінші бөлімде зерттелген ғылыми жұмыстың теориясына шолу жасалынды, қолданылу аясы мен жетілдіру технологиялары жазылды. Бұл жобада кәсіби әдебиеттерден үзінділер келтіріліп, антенналардың артықшылықтары мен кемшіліктеріне талдау жасалынды.

Екінші бөлімде жазық және цилиндрлік фазалы антенналық торлар түрлері мен ерекшеліктері туралы айтылып өтті.

Үшінші бөлімде жазық және цилиндрлік фазалы антенналық торлар қарастырылып, MatLab бағдарламалық жүйесінде модельдері алынды.

Студент Ғанибек Әділжан дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс "85/B+/ жақсы" деп бағаланды, ал студент Ғанибек Әділжан 5B071900 - «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне сай.

Ғылыми жетекші
ЭТжҒТ каф. лекторы,
техн. ғыл. магистры


С. Марксұлы
«25» 05 2022 ж.



СЫН – ПІКІР
дипломдық жұмыс

Ғанибек Әділжан

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбы: Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық торлардың дамуын талдау

Орындалды:

- а) графикалық бөлімі 9 бет;
б) түсіндірме жазбасы 68 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Дипломдық жұмыста Ғанибек Әділжан жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазалы антенналық торлардың қолданылу аясы мен жетілдіру технологиясы айтылды және бағдарламада антенна модельдерін іске асырды. Дипломдық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады:

Бірінші бөлімде зерттелген ғылыми жұмыстың теориясына шолу жасалынды, қолданылу аясы мен жетілдіру технологиялары жазылды. Бұл жобалада кәсіби әдебиеттерден үзінділер келтіріліп, антенналардың артықшылықтары мен кемшіліктеріне талдау жасалынды.

Екінші бөлімде жазық және цилиндрлік фазалы антенналық торлар түрлері мен ерекшеліктері туралы айтылып өтті.

Үшінші бөлімде жазық және цилиндрлік фазалы антенналық торлар қарастырылып, MatLab бағдарламалық жүйесінде модельдері алынды.

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

Жұмыс бағасы

Жалпы, дипломдық жұмыс «90/А-/ өте жақсы» деген бағаға, ал студент Ғанибек Әділжан 5B071900 - РЭТ мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензия беруші

Тұран университеті

PhD доктор.

Жасандықызы М

«24» _____ 2022 ж.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ғанибек Әділжан Ғанибекұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық торлардың дамуын талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 3.3

Коэффициент Подобия 2: 0.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 47

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:

19.05.2022

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ғанибек Әділжан Ғанибекұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жазық және цилиндрлік ультра диапазонды фазаланған антенналық торлардың дамуын талдау

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 3.3

Коэффициент Подобия 2: 0.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 47

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:

Дата

19.05.2022

С.Ғ Марксұлы

проверяющий эксперт