

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Ильяс Дәулет Максатұлы

«Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына дәрі-дәрмек жеткізу үшін
ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзерлеу»

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7М06201– Телекоммуникация

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ӘОЖ 528.5-529

Қолжазба құқығында

Ильяс Дәулет Максатұлы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы

Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына
дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын
зерттеу және әзерлеу
7М06201– Телекоммуникация

Дайындау бағыты

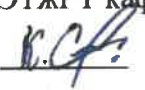
Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ кафедрасының
қауым. профессор, т.ғ.к.

 Дараев А.М.
« 8 » 01 2025ж.

Рецензент
Г.Дәукеев атындағы Алматы энергетика
және байланыс университетінің
доценті, PhD, т.ғ.к.

 Ермекбаев М. М.
« 9 » 01 2025ж.

Норма бақылаушы

ЭТЖҒТ каф. оқытушысы, т.ғ.м.
 Кенгесбаева С.С.

« 8 » 01 2025ж.



Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар кафедрасы

7M06201 – Телекоммуникация



**Диссертациялық жұмысты орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Ильяс Дәулет Максатұлы

Тақырыбы: Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзерлеу

№ 1366-М 2023 жылғы «31» тамыз бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмыстың тапсыру мерзімі: «23» қаңтар. 2025 ж.

Диссертациялық жұмыстың бастапқы деректері:

1. Қалалық ортадағы ұшқышсыз ұшу аппараттарына арналған ЭМУ талдауы
2. Шуды азайтуға арналған Калман сүзгісі
3. Matlab/Simulink бағдарламасында шуды азайту үшін Калман сүзгісін пайдалану
4. Әуе электр желілерінен сәулеленген электромагниттік интерференцияны талдау.

Диссертациялық жұмыста қарастырылған мәселелер тізімі:

1. Әдебиеттерге шолу және мәселенің қойылуы
2. Шуды азайту үшін Калман фильтрінің жұмыс принциптерін зерттеу
3. ҰҰА радиоарнасын зерттеу және олардың моделін MATLAB/Simulink жүйесінде шуды азайту үшін Кальман сүзгісі арқылы құру

Графикалық материалдар тізімі:

жұмыс презентациялары слайдтарда 15 көрсетілген

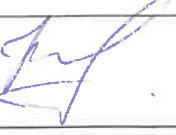
Ұсылынған негізгі әдебиеттер:

1. Ren Y., Wang Z., Liao P., et al.: '400-Gbit/s free-space optical communications link over 120-meter using multiplexing of 4 collocated orbital-angular-momentum beams. Optical Fiber Communications Conf. and Exhibition (OFC), Los Angeles, CA, USA, March 2015
2. Shen, H., Yu, L., Fan, C.: 'Temporal spectrum of atmospheric scintillation and the effects of aperture averaging and time averaging', Opt. Commun., 2014, 330, pp. 160–164
3. Uysal, M., Capsoni, C., Ghassemloooy, Z., et al.: 'Optical wireless communications: an emerging technology' Springer, Basel, 2016
4. Majumdar, A.: 'Optical wireless communications for broadband global internet connectivity: fundamentals and potential applications' (Elsevier, Cambridge MA, 2018, 1st edn.)

Диссертациялық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, әзірленетін мәселелер тізімі	Жетекшіге тапсыру мерзімдері	Примечание
1 Электромагниттік үйлесімділіктің теориялық негіздері	30.09.2023-6.10.2023	орындалды
2 Электромагниттік үйлесімділік стандарттарына сәйкес ұшқышсыз ұшу аппарат прототипін модельдеу	30.10.2023-15.06.2024	орындалды
2.2 Ұшқышсыз ұшу аппарат үшін электромагниттік интерференция сынау мәселелері	15.11.2023-30.11.2023	орындалды
2.3 Ұшқышсыз ұшу аппараттардың электромагниттік үйлесімділік стандарттары мен шешімдері	1.02.2024-15.06.2024	орындалды
3. Ұсынылған ұшқышсыз ұшу аппарат прототипінің моделі	16.06.2024-02.09.2024	орындалды
4. Диссертация жазу	03.10.2024-03.12.2024	орындалды

Аяқталған жұмыс үшін, оған қатысты бөлімдердің жұмыстарын көрсетумен,
кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған
қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер тегі, аты, әкесінің аты (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Теориялық бөлімі	ЭТЖҒТ кафедрасының қауым. профессор, т.ғ.к. Дараев А. М.	8.01.2025	
Негізгі бөлім	ЭТЖҒТ кафедрасының қауым. профессор, т.ғ.к. Дараев А. М.	8.01.2025	
Нормоконтролер	ЭТЖҒТ каф. оқытушысы, т.ғ.м. Кенгесбаева С.С.	8.01.2025	
	.		

Ғылыми жетекші



ассоц. профессор Дараев А. М.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды
Күні

Ильяс Д.М.
« 20 » 10 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл диссертация ұшқышсыз ұшатын аппараттарды (ҰҰА) пайдалана отырып, дәрі-дәрмектің жеткізілуіне шолу жасайды. Дрондарды пайдалану арқылы дәрі-дәрмектерді жеткізу дәстүрлі жеткізу әдістерін, әсіресе шалғай немесе жету қиын аудандарда қолданудан әлдеқайда жылдам және тиімдірек болуы мүмкін.

Бұл жұмыста дәрілік заттарды тасымалдау үшін қолданылатын шағын жүктерді жеткізуге арналған гексакоптердің прототипі ұсынылған. Шуды сүзу үшін Калман сүзгісі арқылы орындалған. Одсциллограф пен спектр анализаторының нәтижелері көрсетілген. Сигналдың шуы сигналды декодтау кезінде компоненттердің дұрыс жұмыс істемеуіне әкелуі мүмкін. Нәтижесінде, ЕМІ тығыздығы анағұрлым жоғары болатын қалалық пайдалану үшін әлі жеткіліксіз, бірақ қазіргі эзірлемелер қала маңында қалааралық тасымалдау үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалануға мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

В диссертации представлен обзор доставки лекарственных препаратов с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Доставка лекарств с помощью дронов может быть намного быстрее и эффективнее, чем при использовании традиционных методов доставки, особенно в отдаленных или труднодоступных районах.

В работе представлен прототип гексакоптера для доставки небольших грузов, используемых для перевозки фармацевтических препаратов. Для фильтрации шума использовался фильтр Калмана. Показаны результаты осциллографа и анализатора спектра. Шум сигнала может привести к сбоям в работе компонентов при декодировании сигнала. В результате этого пока недостаточно для использования в городах, где плотность электромагнитных помех намного выше, но текущие разработки позволяют использовать дроны для междугородних перевозок в пригородах.

ANNOTATION

This thesis provides an overview of drug delivery using unmanned aerial vehicles (UAVs). Drug delivery using drones can be much faster and more efficient than traditional delivery methods, especially in remote or hard-to-reach areas.

This work presents a prototype hexacopter for delivering small payloads used for drug delivery. A Kalman filter was used to filter out noise. The results of an oscilloscope and a spectrum analyzer are shown. Signal noise can cause components to malfunction during signal decoding. As a result, it is not yet sufficient for urban use, where EMI density is much higher, but current developments allow the use of UAVs for intercity transportation in suburban areas.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Электромагниттік үйлесімділіктің теориялық негіздері	8
1.1 Электромагниттік үйлесімділік классификациясы	8
1.2 Электромагниттік интерференция көздері	10
2 Электромагниттік үйлесімділік стандарттарына сәйкес ұшқышсыз ұшу аппарат прототипін модельдеу	19
2.1 Ұшқышсыз ұшу аппаратын модельдеуінің ағымдағы мәселелері	19
2.2 Ұшқышсыз ұшу аппарат үшін электромагниттік интерференция сынау мәселелері	26
2.3 Ұшқышсыз ұшу аппараттардың электромагниттік үйлесімділік стандарттары мен шешімдері	29
3 Ұсынылған ұшқышсыз ұшу аппарат прототипінің моделі	40
3.1 Ұшқышсыз ұшу аппарат прототип моделіне шуды азайтуға арналға Калман сүзгісін енгізу	44
3.2 Matlab/Simulink бағдарламасында шуды азайту үшін Калман сүзгісін пайдалану	48
Қорытынды	54
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	56

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда ҰҰА модель дизайнын зерттеу жұмыстары аппараттың ұшу шарттарына бағытталған. Көптеген ғылыми-техникалық жаңалықтар ҰҰА ұшу және қолдану операцияларын оңтайландыруға бағытталған. Алайда, ҰҰА қала ортасында пайдалану үшін аппараттың электромагниттік үйлесімділігін зерттеу қажет.

Бұл жұмыстың объекті – шағын пайдалы жүктерді тасымалдау үшін оңтайландырылған, 5 км ұшу қашықтығы бар дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшатын аппараттарды құру, 2 кг-ға дейінгі жүк тасымалдайтын ҰҰА прототипін жобалау және дамыту болып табылады. Бұл ұшқышсыз авиация технологиясының мемлекеттік қызмет үшін пайдалылығын арттырады.

Жұмыстың мақсаты – жоғарыда қойылған мақсатқа жету үшін қала ортасында ұшқышсыз ұшу аппараттарын мемлекеттік қызмет үшін қолдануын болдырмайтын факторларды зерттеп, оларға шешім ұсыну. Оның ішінде, ҰҰА моделінің электромагниттік үйлесімділігін арттыру жолдарын қарастыру.

Жұмыстың міндеті – ҰҰА прототип моделіндегі ЭМУ бойынша осал тұстарын анықтап, оларға шешім ұсыну.

Сол себепті осы жұмыста ҰҰА прототипі әзірленді, электромагниттік үйлесімділік зерттеу жолдары анықталды және зерттеу мысалдары келтірілді, және жақсартылған өнімділікті көрсете отырып, шуды Калман фильтри арқылы азайтатын модель одан әрі суретелді.

Жұмыста дәрі-дәрмек жеткізуге арналған коптердің техникалық дамуының нәтижелері және ұшқышсыз ұшу аппараттарының электронды шуды басу үшін әртүрлі құралдардың талдауы берілген. Дрондарды дәрі-дәрмекті жеткізу үшін пайдалану тасымалдау шығындарын азайтады және жеткізу уақытын қысқартады. Бұл пациенттің ыңғайлылығы мен қанағаттануын арттырады. Өз кезегінде, медициналық бөлімшелердегі қазіргі жағдай олардың мақсатына байланысты қиын жерлерде де, ауа райының қиын жағдайында да кез келген жағдайда жедел медициналық көмек көрсетуге қабілетті болуы керек.

Тәжірибелік маңыздылығы – медициналық бөлімшелердің жұмылдыру дайындығын арттыруда, адамдардың өмірін құтқару және шұғыл медициналық көмек көрсету үшін техниканы, медициналық мақсаттағы бұйымдарды жедел жеткізуді, тасымалдауды қамтамасыз етуде жатыр. Дронмен дәрі-дәрмектерді жеткізу уақытты үнемдейді, бірақ операциялық қиындықтарды жеңу тиімді ұзақ мерзімді орналастыру стратегиясын қамтамасыз ете алады.

1 Электромагниттік үйлесімділіктің теориялық негіздері

1.1 Электромагниттік үйлесімділік классификациясы

Қалалық ортада ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) радиоарналарының электромагниттік үйлесімділігі (ЭМУ) күрделі және маңызды міндет болып табылады. Оның шешімі қалалық жағдайларда ұшқышсыз жүйелердің сенімді және қауіпсіз жұмысын анықтайды. Соңғы жылдары ұшқышсыз ұшу аппараттары кең таралып, логистика, қоршаған ортаны бақылау, ауыл шаруашылығы, құқық қорғау және инфрақұрылымдық инспекцияларды қоса алғанда, кең ауқымда қолдануды тапты. Дегенмен, мегаполистерде ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану электронды құрылғылардың жоғары тығыздығы мен күрделі электромагниттік ортамен байланысты ерекше қиындықтарға тап болады.

Мегаполистерде электромагниттік сәулелену көздерінің үлкен саны бар: радиотаратқыштар мен ұялы базалық станциялардан бастап, тұрмыстық және өнеркәсіптік құрылғыларға дейін. Бұл әртүрлі құрылғылар бір-біріне кедергі келтіруі, байланыс сапасын нашарлатуы және тіпті басқару мен деректермен алмасуды толық тоқтауына әкелуі мүмкін. Мұндай жағдайларда жұмыстағы ұшқышсыз ұшу аппараттары электромагниттік интерференцияға жоғары төзімді болуы және тұрақты, сенімді байланысты қамтамасыз етуі керек.

ЭМУ – жалпы электромагниттік өріс болған кезде электронды жабдықтың бір-біріне және қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етпей жұмыс істеу қабілеті. ҰҰА үшін бұл олардың радиоарналары сыртқы интерференциядан қорғалуы керек дегенді білдіреді, ал дрондардың өзі басқа жүйелерге айтарлықтай кедергі жасамауы керек. ЭМУ қамтамасыз ету мәселесін шешу заманауи модуляция және кодтау технологияларын қолдануды, жиілік спектрін тиімді басқаруды, сүзгілеу және экрандау әдістерін қолдануды және интерференцияға төзімді байланыс хаттамаларын әзірлеуді қамтитын кешенді тәсілді талап етеді.

Бұл зерттеудің мақсаты – мегаполис аумағындағы радиоарналардың электромагниттік үйлесімділігінің негізгі аспектілерін қарастыру, ағымдағы мәселелер мен қиындықтарды талдау, сондай-ақ оларды шешу үшін қолданылатын әдістер мен технологиялар бойынша ұсыныстар. Жұмыста ЭМУ теориялық негіздері, әсер етуші факторлар, практикалық мысалдар және қалалық ортада ұшқышсыз ұшу аппараттарының сенімді және қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету технологияларын дамыту перспективалары қарастырылады.

Авиациялық-техникалық кешендердегі жаңа технологияларды қарқынды дамыту мен енгізуге байланысты қызметтің әртүрлі аймақтарында ұшқышсыз ұшатын аппараттарды, атап айтқанда, медициналық мақсатта ұшқышсыз ұшатын аппараттарды қолдану кеңінен таралуда.

Электромагниттік интерференциядан (ЭМИ) туындаған мәселелерге жауап табу өте маңызды, өйткені ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану

кеңінен таралуда. Өйткені электромагниттік интерференция ұшқышсыз ұшу аппараттарының өнімділігіне, сенімділігіне және қауіпсіздігіне кері әсер етуі мүмкін. Электромагниттік интерференцияны сынау ҰҰА әзірлеу мен пайдаланудың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады.

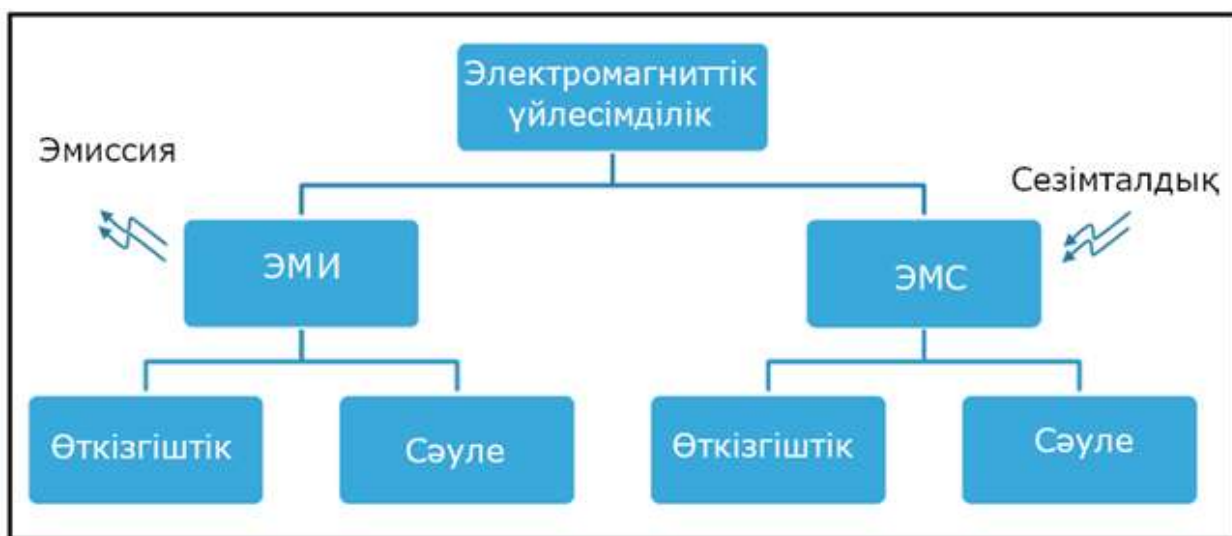
Біздің мақалада ұшқышсыз ұшу аппараттарында электромагниттік интерференцияны сынаумен байланысты қиындықтар талқыланады және осы интерференцияны еңсеру бойынша ұсыныстар берілген.

Электромагниттік үйлесімділік – электрлік және электрондық жүйелердің, жабдықтардың және құрылғылардың электромагниттік интерференция әсерінен зақымданбай немесе бұзылмай, белгіленген электромагниттік ортада белгіленген қауіпсіздік шегінде жұмыс істеу қабілеті (ANSI C64.14-1992). ЭМУ 1.1-суретте көрсетілгендей электромагниттік интерференция (ЭМИ) және электромагниттік сезімталдық (ЭМС) болып жіктеледі (1.1-сурет).

ЭМИ – бір электронды құрылғыдан немесе жабдықтан екіншісіне берілетін жойқын электромагниттік энергия, ол:

- электр желілері бойымен қозғалған кездегі радиация;
- бос кеңістікте таралу кезіндегі сәулелену.

Электромагниттік сезімталдық өнімділіктің электростатикалық разряд, электрлік жылдам өтпелі процестер немесе жарылыстар, найзағай соғуы және электромагниттік толқындар сияқты бұзылуларға төзімділігін білдіреді.



1.1-Сурет – Электромагниттік үйлесімділік диаграммасы

1.1-кесте – Ұшқыш басқарылатын ұшу аппараттары үшін электромагниттік интерференцияның көздері

ЭМИ классификациясы	ЭМИ түрлері
Ішкі ЭМИ	Атмосфералық шу Радиация LEMP
Сыртқы ЭМИ	CW NEMP UWB EMP NPM

Күшті электромагниттік интерференция электронды құрылғылардың немесе жүйелердің жұмысы кезінде пайда болатын жоғары амплитудалық электромагниттік интерференция болған кезде пайда болады. Бұл жоғары амплитудалық ЭМИ электрондық жабдықтың немесе жүйелердің қалыпты жұмыс жағдайларына қатысты бағаланады және олардың функционалдығы мен қалыпты жұмысына теріс әсер етуі мүмкін. Мұндай интерференцияға үздіксіз толқындар (CW), жоғары биіктіктегі электромагниттік импульстар (NEMP), жарықтандырушы электромагниттік импульстар (LEMP), ультра кең жолақты электромагниттік импульстар (UWB EMP) және жоғары қуатты микротолқындар (NPM) сияқты толқындардың әртүрлі түрлері жатады.

1.2 Электромагниттік интерференция көздері

Әуе кемелеріне әсер ететін интерференцияны табиғи шығу тегі және жасанды интерференция деп бөлуге болады. 1.2-суретте ЭМИ негізгі көздері көрсетілген. Әуе кемелеріне әсер ететін табиғи ЭМИ көздеріне найзағай разрядтары, электростатикалық разрядтар және атмосфера мен ғарыштан электромагниттік сәулелену жатады.

Жасанды ЭМИ көздері, өз кезегінде, қасақана көздер және әдейі болып бөлінеді. Кездейсоқ ЭМИ көздеріне әртүрлі көлік, өнеркәсіп және өндірістік жүйелер, байланыс және навигация жүйелері, әртүрлі радиотаратқыш және радиолокациялық станциялар жатады. Әдейі ЭМИ көздері құралдар санатына жатады.

Электрондық соғыс ұшақтың техникалық құралдарын мақсатты түрде өшіру үшін қолданылады. Бұл ультра қысқа импульстік генераторлар немесе жарылғыш магниттік генераторлар (ультра кең жолақты импульстік генераторлар) болуы мүмкін.

Әдейі емес көздерге басқаларға әсер ететін кейбір әуе кемелерінің техникалық жабдықтары жасаған интерференция жатады.

Найзағай разряды ұшақтар үшін ең қауіпті табиғи құбылыс болып табылады. Найзағай разряды – атмосферадағы импульстік ток (найзағай) түріндегі қуатты электромагниттік интерференцияның көзі және онымен

бірге жүретін электромагниттік өріс.

Найзағай разряды $1-3 \cdot 10^6$ В/м ретті қарқындылықта пайда болатын жетекші сатыдан басталады, содан кейін күшті импульстік электромагниттік өрістің негізгі көзі болып табылатын негізгі разряд. Көбінесе разрядтар көп (орта есеппен 15-ке дейін) уақыт аралығы 0,001-0,5 с, кейінгі разрядтар алдыңғыларға қарағанда әлсіз.

Электростатикалық разрядтар трибоэлектрлік әсердің нәтижесінде олардың жалпы және/немесе дифференциалды зарядталуына байланысты атмосфералық және ғарыштық аппараттардың бортында пайда болуы мүмкін. Яғни, оның құрылымының өткізгіш және диэлектрлік беттерінің ауаға, атмосфералық жауын-шашын бөлшектеріне (қар, жаңбыр), шаңға үйкелісі.

Корона разрядтары амплитудалық мәні бар импульстар болып табылады. Корона разрядтары электронды жабдықтың жұмысын айтарлықтай нашарлататын кең жолақты сәулеленген электромагниттік интерференция жасайды. $\sim 10-1000$ МГц жиілік спектрі бар диэлектрлік беттердің ұшқын бұзылуынан туындайтын сәулелену интерференциясы ұшақтың электронды құрылғыларының жұмысына да әсер етуі мүмкін.

Ғарыш аппараттары энергиясы $\sim 10-100$ кВ болатын элементар бөлшектердің жоғары концентрациясы бар ғарыш плазмасының аймақтары арқылы ұшу кезінде зарядталады. Ғарыш аппаратының өткізгіш құрылымында электр зарядтарының жиналуы жалпы зарядтауға әкеледі, ал диэлектрлік материалдардың беттерінде және көлемдерінде зарядтардың біркелкі таралуы дифференциалды зарядтауды тудырады, бұл электростатикалық разрядтардың әртүрлі түрлерінің пайда болуына әкеледі.



1.2- Сурет – Электромагниттік интерференция көздері

Геомагниттік бұзылулар күн белсенділігінің нәтижесінде пайда болады, оның кезеңі шамамен 12 жыл. Ең үлкен белсенділік кезеңінде Күн шығаратын

элементар бөлшектер (электрондар, протондар), олардың ғарыштағы ағыны «күн желі» деп аталады, Жерге жақындаған кезде оның магнит өрісімен ұсталады. Нәтижесінде Жердің магнитосферасында элементар бөлшектердің жоғары концентрациясы бар аймақтар түзіледі. Спектрі 100 МГц-1000 МГц диапазонында болатын элементар бөлшектердің жоғары концентрациясы бар Жерге жақын кеңістіктің аймақтарынан жоғары жиілікті сәулелену радиобайланысты және борттық электронды құрылғылар мен жүйелердің жұмысын айтарлықтай нашарлатуы мүмкін.

Белгісіз ұшатын объектілер кейбір жағдайларда күрделі траекториялар бойымен кеңістікте қозғалатын шектеулі өлшемді, дискі немесе сигра тәрізді плазмалық түзілімдер деп саналады. Белгісіз ұшатын объектілерге жақын ұшу жағдайларын сипаттау кезінде ұшқыштар борттағы аспаптардың қалыптан тыс әрекетін, сондай-ақ радиобайланыстың уақытша үзілуін атап өтті. Өуе кемелері мен анықталмаған ұшатын объектілердің кездесулерінің кездейсоқ болуына байланысты арнайы зерттеулер жүргізілмегеніне қарамастан, жақын қашықтықтағы бұл объектілер борттық аспаптардың өнімділігін айтарлықтай төмендетуге жеткілікті күшті электромагниттік өріс жасайды деп болжауға болады.

Ядролық жарылыс - бұл электромагниттік импульс деп аталатын қуатты импульстік электромагниттік өрістің көзі ядролық жарылыс. Электромагниттік импульс ядролық энергияны электромагниттік энергияға түрлендіретін физикалық процестерге байланысты жарылыстың ішінде пайда болатын импульстік электронды ток арқылы жасалады. Электромагниттік өрістің электрлік және магниттік компоненттері уақыт өте келе шамамен апериодтық заңға сәйкес өзгереді.

Электромагниттік импульстің параметрлері қуатқа, жарылыс биіктігіне (егер ол биіктікте болса) және жарылыс орталығынан қашықтығына байланысты. Параметрлердің әртүрлілігі электрлік және магниттік өрістер үшін стандартты параметрлер жиынтығына дейін азаяды. ЭМИ NAV параметрлері: $E=50$ [кВ/м]; $H=133$ [кА/м]; фронттың ұзақтығы – 2,3 нс; импульс ұзақтығы 23 сек.

Электромагниттік интерференцияның негізгі өндірістік көздеріне мыналар жатады: жоғары вольтты ғылыми-өндірістік қондырғылар; жоғары вольтты электр желілері; темір жол және электр көлігінің байланыс желісі. Көрсетілген көздер жоғары электр және магнит өрісінің кернеулігімен импульстік өрістер жасай алатынына қарамастан, төмен ұшатын атмосфералық құрылғыларға ғана қауіп төндіреді. Көрсетілген көздермен жасалған электромагниттік өрістер жергілікті сипатта болады, олардың қарқындылығы кері пропорционалдық бойынша көзден R қашықтығы артқан сайын азаяды және бұдан басқа, олардың пайда болуы кездейсоқ болуы мүмкін. Сондықтан мұндай көздердің өрістері олардың пайда болу сәтінде, мысалы, төтенше жағдай кезінде көзден бірнеше ондаған метр қашықтықта орналасқан төмен ұшатын ұшақтарға қауіп төндіруі мүмкін.

Өуе кемелерінің ұшу маршруттары радиохабар станцияларының

таратқыш антенналарының орналасуын және тиісінше электромагниттік өрістің күші борттық жүйелер үшін рұқсат етілген мәндерден асатын аумақтардан тыс жерлерді ескере отырып жоспарланатынын атап өткен жөн.

Электромагниттік қару – жұмыс сапасын нашарлату, жұмыс режимдерін бұзу, функционалдық мүмкіндіктерін толығымен бұзу және электрондық элементтердің істен шығуына әкелу мақсатында импульстік электромагниттік өрістер және жоғары және өте жоғары жиілікті өрістер түріндегі әдейі электромагниттік интерференция жасауға арналған техникалық құралдар. , ұшақтардың құрылғылары, аспаптары және жүйелері.

Электромагниттік қарудың негізгі түрлеріне мыналар жатады: жарылғыш магниттік генераторлар; ультра кең жолақты импульстік қондырғылар;

Жарылғыш магниттік генераторлар – қолданылатын жарылғыш заттың энергиясына сүйене отырып, арнайы құрастырылған R, L, C тізбегінің индуктивті бөлігінің параметрлерін бірнеше микросекунд ішінде өзгертуге мүмкіндік беретін бір реттік құрылғылар, бұл тізбекте бастапқыда өтетін токты қамтамасыз етеді. 107 А мәндеріне дейін ұлғайту және осылайша қуаттылығы 10 ГВт-қа дейін 1 кДж/см³ жететін жоғары энергия тығыздығы бар өте күшті магнит өрісін құру. Түзілген импульстік өте күшті электромагниттік өріс бағытсыз және жергілікті болып табылады, сондықтан бірнеше ондаған метрден жүздеген метрге дейінгі радиуста борттағы электронды құрылғылар мен ұшақ жүйелеріне жойқын әсер етеді. Жарылғыш магниттік генераторды борттық электрондық жабдыққа зақымдаушы әсер ету мақсатында пайдалану оны әуе кемесіне оның ұшу жолы бойынша жеткізу құралдарына орнату қажеттілігімен байланысты.

Ультра кең жолақты импульстік қондырғылар қысқа мерзімді импульстар, радиациялық антенналар, генераторлардан тұрады. Қолданыстағы қондырғылардың әртүрлі түрлері келесі параметрлер диапазонында бағытталған импульстік электромагниттік өрісті құруға мүмкіндік береді:

1. импульс ұзақтығы (0,1-3) 10-9с;
2. импульс фронтының ұзақтығы (85-250) 10-12с;
3. импульстік электромагниттік өрістің амплитудалық мәні 100 м қашықтықта 56 кВ/м (ең жетілдірілген қондырғылар үшін);
4. Әртүрлі қондырғылар үшін импульсті генерациялау жиіліктері жүздеген герцтен бірнеше килогерцке дейін өзгеруі мүмкін.

Импульстар ұзақтығы топтық реттілікпен (пакеттерде) 1 с аралықпен беріледі.

Ультра кең жолақты импульстік қондырғылардың электромагниттік өрісінің ұшақтың борттық жүйелеріне әсері, электр өрісінің салыстырмалы амплитудалық күштері бар ядролық жарылыс электромагниттік импульсімен салыстырғанда, сапасының нашарлауы тұрғысынан тиімдірек. импульстік фронт ұзақтығының қысқа мәндеріне және олардың қайталануына байланысты жұмыс істеу және жұмыс қабілеттілігін жоғалту.

Микротолқынды сәулелену қондырғылары айтарлықтай қашықтықта салыстырмалы түрде жоғары қарқынды бағытталған электромагниттік өрісті жасайды. Ауданы 93,5 м² радиациялық антеннаға қосылған шығыс қуаты 2 кВт 3 ГГц жиілікте жұмыс істейтін генераторы бар қондырғы $E = 600 \text{ В/м}$ электрлік құрамдас күші бар бағытталған электромагниттік өрісті жасайды. м антеннадан 10 км қашықтықта. Микротолқынды радиациялық қондырғының жұмыс аймағында әуе кемесінің болуы борттық электрондық жүйелерге, атап айтқанда борттық компьютер кешенінің жұмысына қауіп төндіруі мүмкін.

Келесі факт жанама растау бола алады. Дербес компьютердің электрлік құрамдас бөлігінің күші 100 В/м 1-ден 3 ГГц-ке дейінгі жиілік диапазонындағы электромагниттік өрістің әсері деректердің жоғалуына, бағдарламаны орындаудағы қателерге және қайта жүктеу қажеттілігіне әкеледі.

Микротолқынды сәулелену қондырғылары мен ультра кең жолақты импульстік генераторларға негізделген электромагниттік қаруды әртүрлі мақсаттағы ұшақтарға қарсы әскери мақсатта тиімді пайдалануға болады.

Қалалық ортада ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) пайдалану олардың радиоарналарының электромагниттік үйлесімділігіне (ЭМУ) байланысты бірқатар қиындықтарға тап болады. Қала ортасы электромагниттік интерференцияның әртүрлі көздерімен толтырылған, соның ішінде ұялы желілер, Wi-Fi, теледидар және радиотаратқыштар және радиожиілік диапазонында жұмыс істейтін басқа құрылғылар. Бұл факторлар ұшқышсыз ұшу аппаратының байланысы мен басқару сапасына теріс әсер етуі мүмкін, бұл басқаруды жоғалту және төтенше жағдайлар қаупін арттырады. Бұл мақалада елордалық жағдайда ҰҰА радиоарналарын ЭМУ қамтамасыз етудің негізгі аспектілері қарастырылады. Интерференцияның көздері және олардың радиоарналарға әсері талданып, байланыс сенімділігі мен тұрақтылығын арттыру әдістері мен технологиялары ұсынылған. Эксперименттік зерттеулер мен компьютерлік модельдеу жүргізілді, оның нәтижелері қала жағдайында ұшқышсыз авиациялық радиоарналардың ЭӘЖ жақсарту үшін ұсынылған шешімдердің қажеттілігі мен тиімділігін растайды.

Қазіргі уақытта радиобайланыстың жаңа жүйелерін, оның ішінде ұшқышсыз ұшу аппараттарын құру кезінде ЭМУ қамтамасыз ету басты мәселе болып табылады.

Табиғи көздерден басқа, электрондық жүйелерге сыртқы электромагниттік әсерлер, оның ішінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының борттық электрондық жүйелерінің элементтері өндірістік көздер мен радиотаратқыш құралдарға бөлінген техникалық құралдардың жұмысынан қалыптасады. Өндірістік көздер күнделікті өмірде, өнеркәсіпте, көлік құралдарында, медицинада және ғылыми зерттеулерде қолданылатын электрлік, электронды және радиоэлектрондық құрылғылардан (соңғысында, антенна арқылы сәулеленуді қоспағанда) интерференция класына жатады. Бұл класстың интерференцияның рецепторларға әсері көп жағдайда импульстік процестер түрінде көрінеді, олардың сипаттамалары белгілі бір

құрылғының түріне (электр беру желісі, электр көлігінің контактілі желісі, электр қозғалтқышы және т.б.) байланысты.

Өнеркәсіптік электромагниттік интерференцияның ең кең тараған және күшті көзі - әуе электр желілері.

Әуе электр желілері шығаратын интерференцияның негізгі сипаттамасы жиілік спектрі болып табылады. Әуе электр желілерінен сәулелену интерференциясын болжауды жеңілдету үшін стандартты спектрлер қолданылады.

Негізгі мән ретінде 0,5 МГц жиіліктегі мән алынды.

Бұл спектрді формула түрінде көрсетуге болады:

$$E = 5[1 - 2(\log 10 f^2)] \quad (1.1)$$

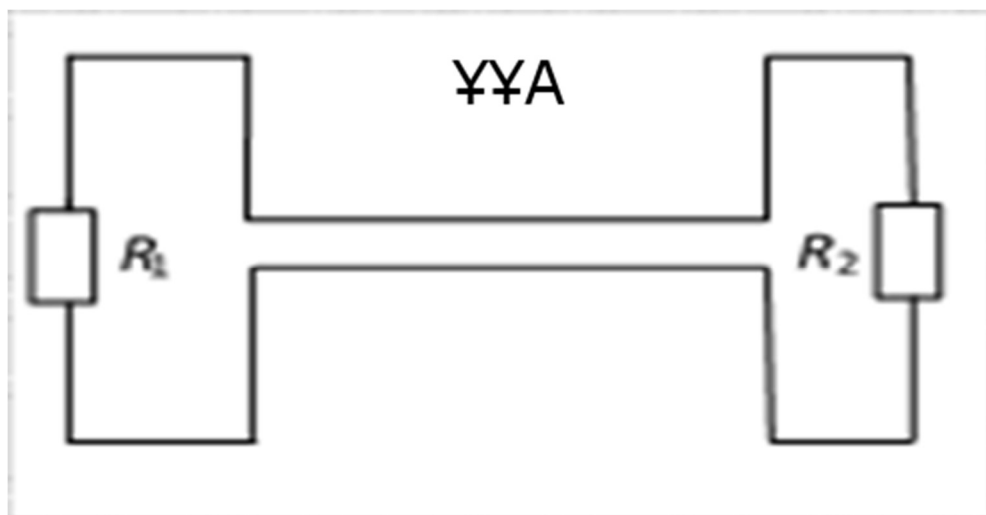
мұндағы, E – 0,5 МГц жиіліктегі интерференция деңгейіне қатысты өлшеу жиілігіндегі шығарылатын интерференция деңгейінің өзгеруі, дБ; f – 0,15 – 4 МГц жолағындағы өлшеу жиілігі.

Мысалы, егер 0,5 МГц жиілікте жоғары вольтты электр беру желілерінен сәулеленген интерференцияның максималды деңгейі $E_{DB} = 85$ дБ (1 мкВ/м қатысты, базалық қашықтықта $R = 20$ м) жетеді деп есептесек, біз $E - V/m$ кернеуді өлшеу өлшемінде әртүрлі жиіліктер үшін деректерді анықтай алады (1.2-кесте). Бұл нәтижелер ұзақ уақыт бойы шамамен елу түрлі әуе электр желілерінде жүргізілген өлшеулермен расталады.

1.2-кесте – Әуе желілерінен сәулеленген электромагниттік интерференцияның деңгейлері

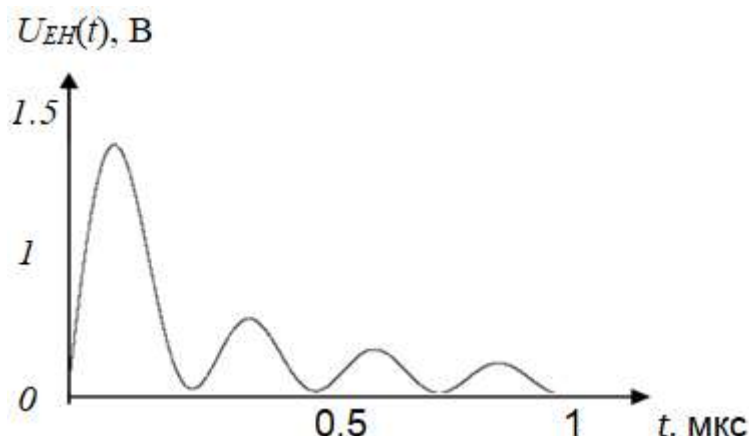
Жиілің, МГц	Жиілік деңгейіне қатысты интерференция деңгейі 0,5 МГц, В/м	Жиілік, МГц	Жиілік деңгейіне қатысты интерференция деңгейі 0,5 МГц, В/м
0,15	0,028184	1	0,009440
0,2	0,027542	1,5	0,005689
0,3	0,024266	2	0,003758
0,5	0,017790	3	0,001950
0,8	0,011885	4	0,001189

Әуе электр беру желілерінен шығарылатын электромагниттік өрістер ұшқышсыз авиацияның электронды жабдығы арасындағы тізбекке (байланыс желілері және кері өткізгіштің бөлігі) әсер етеді және оларда электромагниттік интерференция тудырады (1.3-сурет).



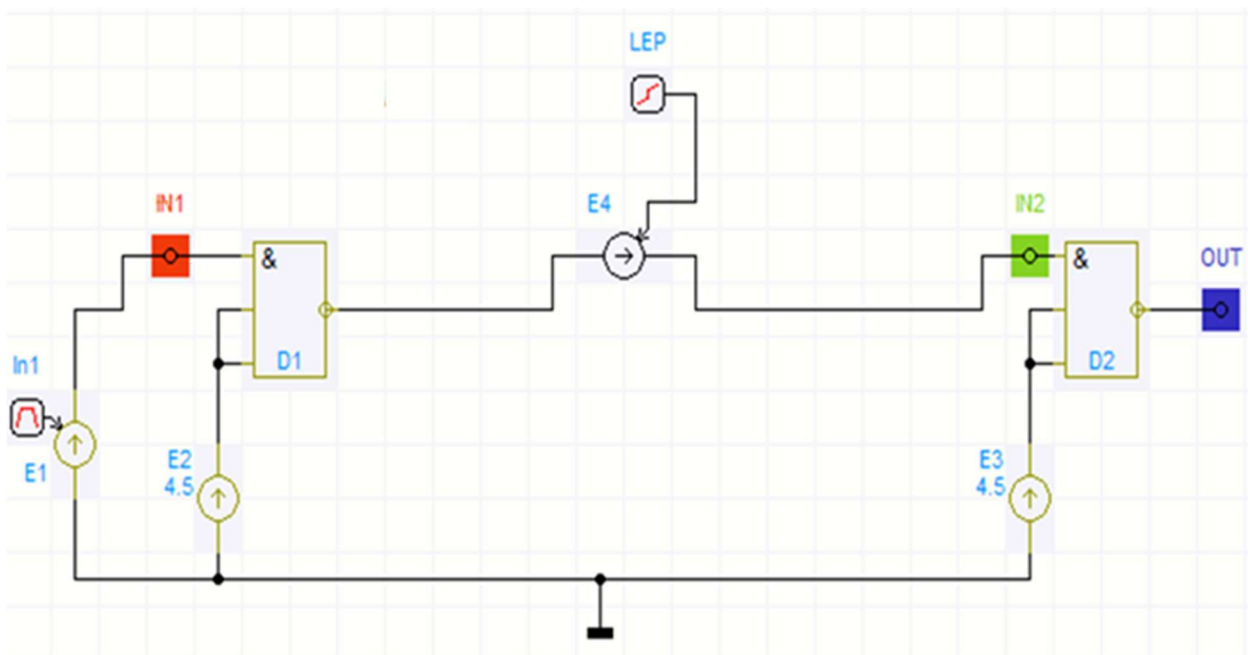
1.3- Сурет – ҰҰА электрондық жүйесінің байланыс желісі

$U_{EH}(t)$ ҰҰА байланыс желісіндегі электромагниттік интерференцияны модельдеу нәтижелерін талдау, әуе электр желісінің сәулеленген электромагниттік өрісінен туындаған (7.1-сурет). Бастапқы деректер: әуе электр желісінен зерттелетін тізбекке дейінгі қашықтық – $R = 40$ м; контур ауданы $SC = 0,1$ м²; жүктеме интерференциясы – $R_{1,2} = 100$ Ом.

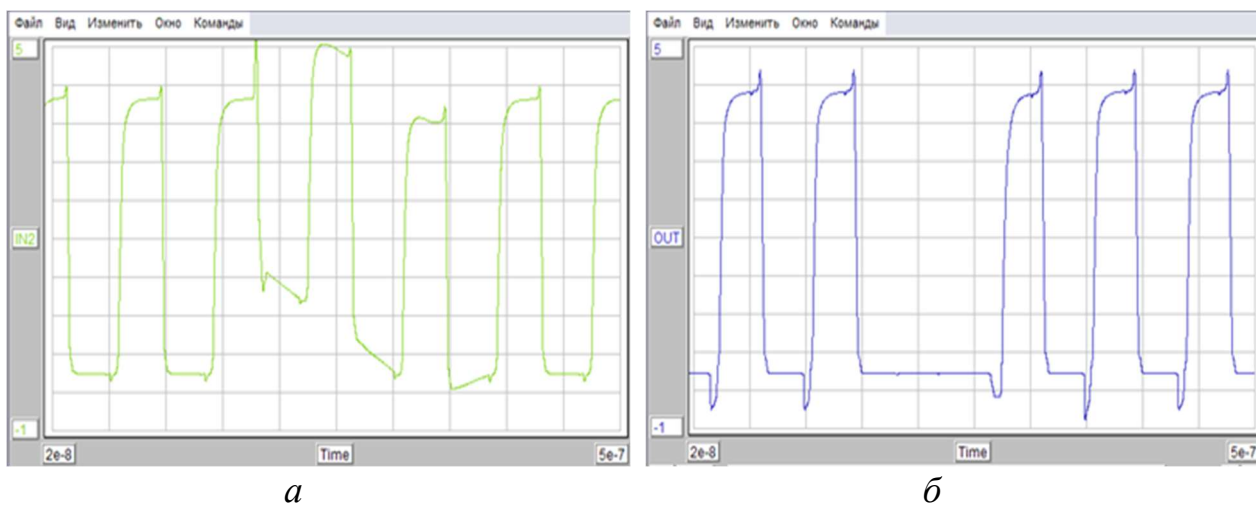


1.4- Сурет – ҰҰА байланыс желісіндегі электромагниттік интерференция

Алынған нәтижелер, TTL байланыс желілерінде индукцияланған электромагниттік интерференция түріндегі цифрлық элементтердің ақпараттық кірістеріне әсер етеді (жұмыста TTL элементтері қарастырылады). ҰҰА электрондық жүйелерінің цифрлық элементтерінің жұмысын бағалау үшін РА-9 схемасын жобалау бағдарламалық пакеті қолданылады (1.5-сурет). Элементтердің жұмысына әуе электр желілерінің электромагниттік интерференцияның әсер етуінің кейбір нәтижелері 1.6-суретте келтірілген.



1.5- Сурет – Баспа платаларының цифрлық элементтерінің жұмысына электр беру желілерінен сәулеленген интерференцияның әсер ету диаграммасы (D1 – таратқыш элемент; D2 – қабылдағыш элемент; LEP – электромагниттік интерференцияны модельдейтін генератор)



1.6- Сурет – IN2 (а) кірісіндегі және ТТЛ типті цифрлық элементінің OUT (б) шығысындағы электромагниттік интерференция

Осылайша, элементтердің шуға төзімділігінің бұзылуына және ұшқышсыз ұшу аппаратының электрондық жүйелерінің істен шығуына әуе электр беру желілерінің шығарылатын электромагниттік өрістері себеп болуы мүмкін. Осы электромагниттік өрістерге ұшыраған кезде ұшқышсыз авиацияның байланыс желілеріндегі электромагниттік интерференцияны азайту үшін белгілі және жаңа конструкциялық, схемалық және алгоритмдік қорғау әдістерін қолдану қажет.

Электромагниттік үйлесімділікті қамтамасыз ету және ұшқышсыз ұшу аппараттарын электромагниттік интерференциядан қорғау үшін әртүрлі әдістер қолданылады. Жүйеге интерференция қалай түсетініне байланысты әдістер «алдыңғы есік» байланысы және «артқы есік» байланысы болып бөлінеді.

Фронттік байланыста электромагниттік толқындар антенналар немесе сенсорлар сияқты сигналдық арналар арқылы электронды жүйеге енеді. Бұл толқындар кабельдер арқылы өтетін ток тудырады. Жүйені қорғау үшін антенналар мен сенсорлардан келетін энергия мөлшерін азайту немесе бұл энергияның жүйе ішінде таралуын шектеу шаралары қабылданады. Әдістерге беттік электромагниттік құрылымдарға негізделген қорғаныс технологиялары, шектеу технологиялары және т.б.

«Backdoor» қосылымында электромагниттік энергия ішкі электрондық жүйеге жерге, электр желісі немесе тікелей ену арқылы енгізіледі. Электромагниттік өрістің мұндай күрделі таралуы жүйенің қалыпты жұмысын бұза отырып, сезімтал тізбектерге немесе компоненттерге әсер етуі мүмкін. Бұған жол бермеу шаралары белгілі бір қосылу жолына байланысты жүйеге түсетін электромагниттік энергияны азайтуды қамтиды.

2 Электромагниттік үйлесімділік стандарттарына сәйкес ұшқышсыз ұшу аппарат прототипін модельдеу

2.1 Ұшқышсыз ұшу аппаратын модельдеуінің ағымдағы мәселелері

[2] апаттарды классификациялаудың жаңа перспективасын және апаттарды басқару үшін осы жағдайлардың әрқайсысында тиімді болуы мүмкін қолайлы желі архитектураларының көрінісін ұсынады. Мәселе мүлік пен адам шығынын барынша азайтуды қамтамасыз ететін сенімді және тиімді ұшқышсыз ұшу аппараттары желілерін құру болып табылады. Ол апаттарды басқару қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ҰҰА технологияларындағы әзірлемелерді сипаттайды.

[3] Африкадағы Руанда үкіметі елдегі шалғайдағы ауруханаларға дәрі-дәрмек жеткізу үшін Калифорниядағы Zipline стартапымен серіктес болғаны туралы хабарлайды. Қазіргі уақытта компания Руандадағы қанның 75% Кигалиден тыс жерде жеткізуге жауапты. Жеткізу процесі өте тиімді: ауруханадан тапсырыс түскенде, қажеттінің бәрі орналасады, буып-түйіледі және ҰҰА негізгі корпусына орналастырылады. Содан кейін ол ұшыру алаңына орналастырылады, онда жұмысшылар ұшқышсыз ұшақтың батареяларын, қанаттарын және мұрнын жылдам бекітеді. Құрылғы тапсырыс бергеннен кейін 90 секунд ішінде іске қосылады. Іске қосылғаннан кейін көлік ұшыру рампасының көмегімен секундтың үштен бірінде 0-ден 100 км/сағ жылдамдыққа жетеді. Бұл оны іске қосқан кезде оның круиздік жылдамдығына жеткенін және оны ауада ұстау үшін аз қуат қажет екенін білдіреді. Осылайша, ұшқышсыз ұшақтарды медициналық мақсатта пайдалану әлемнің кейбір аймақтарында сәтті жүзеге асырылды деген қорытынды жасауға болады, бұл тұжырымдаманың дәлелі деп санауға болады. ҰҰА дизайны ұзақ қашықтықты еңсеру үшін оңтайландырылғанымен, Zipline-дың «ауада қалу» тәсілі дәлдік пен қауіпсіздік есебінен келеді.

[4] жедел медициналық көмектің қолданыстағы инфрақұрылымын байланыс мүмкіндіктері бар және медициналық жабдықтарды тасымалдай алатын жылдам және ықшам дрондар желісімен толықтыруды ұсынады. Интерференцияны айналып өту үшін ұшқышсыз ұшқышсыз объектіні болдырмау технологиясын жетілдіру қажет, ал дрон әлі «нақты» науқастарда сыналған жоқ. Дегенмен, медицина саласындағы бірнеше мүдделі тараптар бұл бастамаға қызығушылық танытты. Бұл жағдай медицинада ұшқышсыз ұшу аппараттарына сұраныстың артып келе жатқанын тағы да дәлелдейді.

[5] орта және үлкен көп роторлы ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзірлеу қажеттілігі ұсынылып, орташа және үлкен көп роторлы ҰҰА үшін қалақ ұстағыштар мен автоматты қисайтқыштарды құрастыруды зерттеуді ұсынады.

[3] ұзақ қашықтықтағы қолданбалар үшін деңгейлі круиздік ұшуды пайдаланатын ҰҰА дизайнымен бөліседі. Алайда [3] үшін ҰҰА дизайны жүктің қону дәлдігін қамтамасыз етпейді, ал [6–9] VTOL (vertical take-off and

landing, вертикалды ұшу және қону) -мен көлденең круиздік ұшуды біріктіреді. Ұшақсыз ұшу аппараттарын жобалаудың бұл тәсілі ұшу уақытын оңтайландыруды бір ұшу режимі ретінде ұзақ қашықтыққа, ал екіншісі дәлдік операциялар үшін енгізеді, бірақ ұшуды жобалау мен пайдалануды қиындатады.

[10] ұшуды басқарудың интуитивті стратегиясын ұсынады. Ол ұшқыш дағдыларын қажет етпейді. Бұл ұшқышсыз ұшу аппараттарының қолжетімділігіне жасалған қадам. Жұмыста жобаның бастапқы кезеңдері сипатталғанымен, болашақ зерттеулер үшін автоматтандырылған жеткізу үшін ұшу стратегиясының осындай алгоритмдерін қарастырған жөн.

Бірқатар жобалар [11–15] ұшқышсыз ұшу аппараттарын медицинада арнайы қолдану мүмкіндігін қарастырды. Құжаттар қарастырылып отырған жобалардың жұмыс барысын сипаттайды, бірақ одан әрі талдау үшін ҰҰА прототиптері ұсынылмаған.

[16] көп роторлы ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ұшқышсыз ұшу аппараттарының) төзімділігі мен қашықтығы мүмкіндіктері туралы іргелі түсінікті және күшейтілген әуе ұтқырлығы контекстінде жүзеге асырылатын әрбір конфигурацияның қауіпсіздік пен қолайлылық мәселелерін сапалы талқылауды қамтамасыз етеді. Нәтижесінде бүйірлік тікұшақ конфигурациясы барлық өнімділік пен миссия талаптарына жауап беретін қалалық орналастыру үшін ең жақсы шешім ретінде анықталды.

Орта және үлкен габаритті көп роторлы ұшқышсыз ұшу аппараттары үшін қалақ ұстағыштар мен автотильтерлерді құрастыру [5] қарастырылады. Көп роторлы ұшқышсыз ұшқышсыз ұшу аппараты автоматты қисайтуды орнатуға арналған. Оның құрамдас бөліктерінің беріктік сынақтары талданады. Сонымен қатар, қалақтардың талаптары таңдалады, жеке құрамдас бөліктердің беріктігіне сынақтар жүргізіледі және ҰҰА ротор жүйесінің құрылымдық дизайны қамтамасыз етіледі. Содан кейін ұшқышсыз ұшу аппаратының механикалық өміршеңдігі оның механикалық құрылымын қозғалысты модельдеу арқылы расталады.

Осының барлығы қала және қала маңындағы аумақтар үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану бойынша зерттеу жүргізген жөн деп айтуға мүмкіндік береді. Ағымдағы жұмыс дәлдік, сенімділік және үнемділік сияқты талаптарды көрсетеді. Ағымдағы әзірлемелермен қатар, қала маңындағы аудандарда ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану үшін электромагниттік үйлесімділік (ЭМУ) мәселелерін қарастыру қажет. Әрі қарайғы зерттеулер ұшқышсыз авиацияның электронды құрамдас бөліктерінің сенімді және үнемді жұмысын қамтамасыз ету үшін компоненттерді жобалауға бағытталуы керек.

Әуедегі күрделі электромагниттік ортаның ұшқышсыз ұшу аппаратының ұшуына әсерін толық түсіну үшін ұшқышсыз ұшатын аппараттардың электромагниттік ортаға әсер ету ерекшеліктерін талдау қажет. ҰҰА ұшу кезіндегі электромагниттік интерференцияны екі негізгі санатқа бөлуге болады: ішкі электромагниттік интерференция және сыртқы

электромагниттік интерференция. Бұл зерттеу жұмысы қоршаған ортадан келетін сыртқы электромагниттік интерференцияға ғана бағытталған.

Сынақтық ұшулар кезінде таратқыштардың жиілігі мен қуатын, сондай-ақ бағытталған антенналарды адаптивті басқаруды пайдалану сынақтан өтті. Бұл байланыс сапасын жақсартуға және интерференция деңгейін төмендетуге ықпал етті.

Эксперимент жүргізу үшін сынақ аймағында электромагниттік интерференция жасау үшін Agilent N9310A сигнал генераторы пайдаланылды. Ол 9 кГц-тен 3 ГГц-ке дейінгі диапазондағы жиіліктерді қолдайды, осылайша оның диапазоны ҰАА байланыс арналарының жұмыс жиілігін, сондай-ақ UAV арналарына интерференция келтіруі мүмкін басқа радиожілік сигналдарын қамтиды. Сонымен қатар, Agilent CXA 9000 сигнал анализаторы қоршаған ортаның орташа радиожілік қуат деңгейлерін, UAV қашықтан басқару пәрменін (RC) жіберу қуатын және Agilent N9310A сигнал генераторы жасаған интерференцияны өлшеу үшін пайдаланылды. Ол 700 МГц-тен 3 ГГц-ке дейінгі жиіліктерді қолдайды. Сигнал генераторы мен анализаторы олардың сәйкес жиіліктерін қолдайтын кең жолақты антеннаға қосылды. 2.1-суретте сынақтарды орындау үшін пайдаланылатын орнату көрсетілген.



2.1- Сурет – Эксперименттік орнату

Радиожелінің иммунитетін сынауда қолданылатын негізгі жабдыққа ҰҰА кабинасы, Agilent N9310A RF сигнал генераторы, Agilent CXA 9000 сигнал анализаторы және ҰҰА сынақ платформалары кіреді. Тәжірибе радиожілік интерференцияға төтеп бере алатынын таңдау үшін екі түрлі жалпы мақсаттағы дрондарды пайдаланды.

2.1-кесте сынақтан өткен екі платформаның әрқайсысы үшін жіберу жиілігі мен деректерді беру арнасының ақпаратын көрсетеді.

2.1-кесте – Тексерілген платформалар пайдаланатын радиожилік және деректерді беру арнасы

Платформа	Жилік (ГГц)	Хабар алмасу желісі (ГГц)
ҰҰА 1	2.4	5.8
ҰҰА 2	2.4	5.8

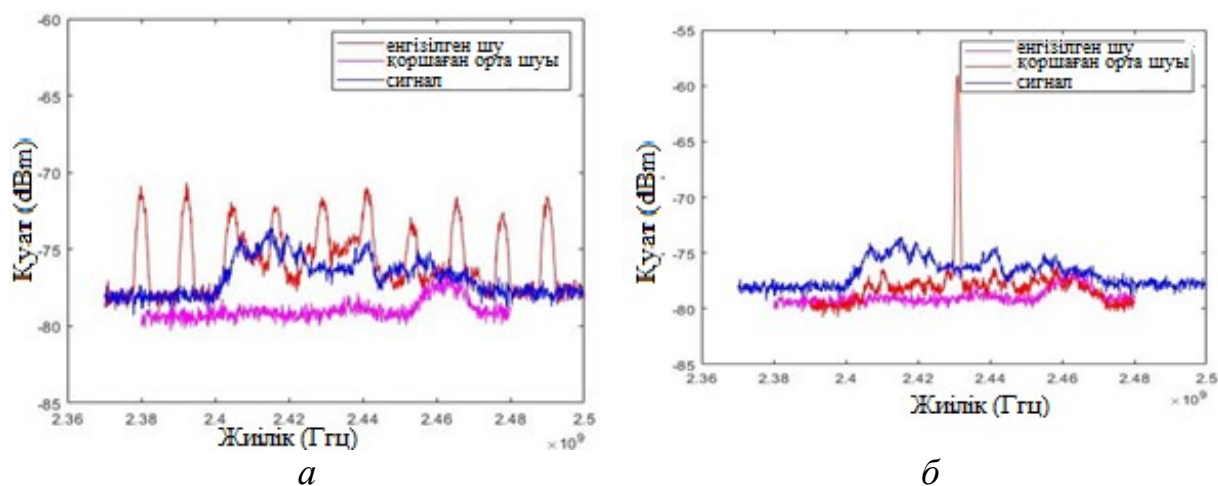
Бастапқы қадам ретінде радиосигнал анализаторы арқылы қоршаған радиосигналдың күшін анықтау үшін 2-3 ГГц жиілік диапазоны сканерленді. Содан кейін ҰҰА мен контроллер/кокпит қосылды.

ҰҰА 1 радио, GPS және бейне сигналдарына айтарлықтай әсер етпестен 20 дБм дейінгі радиожилік интерференциясын өңдеді. Мұны ҰҰА 1 әдепкі арна өшірілген кезде өте қысқа мерзімде ауысуға болатын резервтік радиожилік арналарын пайдалануымен түсіндіруге болады. Ауыстыру уақыты соншалықты қысқа болды, оның бейне ағынында немесе радиожилік қосылымдарында ешқандай үзілістер жазылмады. ҰҰА 2 радиожилік және бейне үшін ұқсас резервтеу механизмін пайдаланғанымен, коммутация уақыты ұзағырақ болды. Әдепкі жиілікке радио интерференциясы әсер еткенде, баламалы жиілікке ауысу үшін шамамен 15 секунд қажет болды. 15 секундтық кідіріс, әсіресе көпірлердің айналасындағы шектеулі кеңістіктерде навигация кезінде, ұшқышсыз ұшақтың апатқа ұшырауына әкелуі мүмкін. Бұдан басқа, нәтижелер РЖ шуына ҰҰА 1 реакциясы жасалған радиожилік шуының қуат деңгейіне байланысты екенін көрсетті. ҰҰА 1 20 дБм жететін радиожилік интерференцияға ұшырады және оның функционалдық мүмкіндіктерінің айтарлықтай нашарлауы байқалмады. Ал ҰҰА 2-де тіпті -17 дБм радиожилік шуының әсері де ҰҰА 2-де GPS, бейне беру және радио қосылымының жоғалуына әкелді.

ҰҰА 1 және ҰҰА 2 бірдей 2,4 ГГц жиілікте жұмыс істейді, қосымша радиожилік арналарына сүйенеді және басқа радиожилік интерференциядан әдепкі арнадағы байланыс мүмкін болмаған кезде ұшқышсыз басқа қолжетімді арнаға өте қысқа ауысу уақытында ауыса алады. Бірақ ауысу кідірісі ұшқышсыз ұшу үшін өте маңызды. Интерференция орын алса, аппарат жұмысын үзілссіз жалғастыру үшін балама қолжетімді жиілікке ауыса алуы керек. ҰҰА 1 үшін коммутациялық кідірістің аз болғаны сонша, оның жұмысында ешқандай үзіліс байқалмады, оның басқару командаларына жауап беруі де, бейне сапасы да, GPS сигналының күші де нашарлаған жоқ, сонымен қатар ұшқышсыз ұшу аппараты жұмысын үзілссіз жалғастыра алды. 2-дрон жағдайында, ол бірдей жиілікте жұмыс істегенімен, ол басқа жиілікте жұмысын жалғастыра алғанша, шамамен 15 секундқа ұзағырақ ауысу кешігуіне байланысты оның жұмысына әсер етті. Ауыстырудың кешігуі ҰҰА-ның басқару командаларына жауабын нашарлатып қана қоймай, сонымен қатар бейне сапасы мен GPS сигналының күшін тіпті ҰҰА 1 үшін

пайдаланылатын шу деңгейінен төмен болса да төмендетті. Осылайша, радиожіілік иммунитетін іске асыру тек артық арналардың болуын ғана емес, сонымен қатар қажет етеді. сондай-ақ ұшқышсыз ұшатын аппараттардың ұшу кезінде олардың жұмысын кедергісіз жалғастыра алатындай етіп ұшу кезінде ең аз ауысуды қамтамасыз ету қажет. Бұл жақын маңдағы басқа радиожіілік көздерінен интерференцияға тап болған кезде дрондарға бірден балама қолжетімді жиілікке ауысуға мүмкіндік береді. Әйтпесе, тапсырудың ұзақ кідірісі ұшқышсыз ұшақтың жақын жер бетіне құлауы үшін жеткілікті ұзақ байланыс жоғалуына әкелуі мүмкін, бұл көпірді тексеру кезінде ұшқышсыз ұшулар кезінде, әсіресе шектеулі кеңістікте ұшу кезінде оның жұмыс орнына жақын болуы ықтимал. Бұл ұшулар басқа радиожіілік көздері болуы мүмкін қалалық жерлерде орналасқан көпірлерді тексеру үшін және бірнеше ұшқышсыз ұшақтар жұмыс істеген кезде мәселе әсіресе маңызды болуы мүмкін. Интерференция көпірді тексеру үшін жақын жерде ұшатын басқа дроннан немесе басқа әрекетті орындап жатқан басқа ұшқышсыз ұшу аппаратынан болуы мүмкін.

2.2-суретте ҰҰА 1 (а) және ҰҰА 2 (б) үшін қоршаған орта шуының әсері көрсетілген.



2.2- Сурет – 1-ден 5 дБм-ге дейін ҰҰА 1 (а) және ҰҰА 2 (б) РЖ шуының әсері

Нәтижелер көпірді тексеру қолданбаларында пайдалануға арналған ұшқышсыз ұшу аппараттарының радиожіілік иммунитетін бағалау қажеттілігін көрсетеді. Сондай-ақ дрондардың жұмысына әсер етуі мүмкін радиожіілік шуының кез келген ықтимал көзі үшін көпір ортасын бағалау маңызды. Бұл дрондардың да, инспекция қызметкерлерінің де қауіпсіздігі үшін қажет.

ҰҰА – көптеген электронды құрылғылардан тұратын жоғары интеграцияланған электронды жүйелер. Сигнал тізбегі жүйенің құрамдас бөліктері арасында деректерді беру арнасы ретінде қызмет етеді. және жерүсті станциясы, ал схемалық диаграммада ҰҰА жүйесінің ішкі қоректендіру тізбегі

көрсетілген. Осы тізбектердің кез келгенінде күшті электромагниттік интерференция болуы мүмкін, ол ішкі электроникаға әсер етуі және әртүрлі дәрежедегі кедергілер мен ҰҰА-ға зақым келтіруі мүмкін.

ҰҰА хабарлама жүйесі нақты уақыттағы байланыс пен алыс қашықтықты қашықтан басқаруға мүмкіндік беретін ҰАА және жерүсті басқару станциясы арасындағы маңызды екі жақты деректерді беру арнасы болып табылады. Жүйе сымсыз байланысқа негізделген, оның ішінде қашықтан басқару пульті сигналдарын жіберуге арналған жоғары сілтеме және ҰҰА күйінің деректері мен бейне кескіндерін жіберуге арналған төмен байланыс.

Дегенмен, байланыс жүйесіндегі антенна жердегі станциядан басқару сигналдарын қабылдап қана қоймайды, сонымен қатар күшті электромагниттік энергияның ішкі жүйеге енуіне арналған шлюз қызметін атқарады. ҰҰА байланыс жүйесінің ішкі схемаларына күшейткіштер мен араластырғыштар сияқты көптеген белсенді сезгіш құрылғылар кіреді [18]. Өкінішке орай, бұл құрылғылар күшті электромагниттік толқындардың интерференциясына өте сезімтал, бұл ақауларға және функционалдық жоғалтуға әкелуі мүмкін.

Ұшу қашықтығы 5 км болатын салмағы 2 кг-ға дейінгі дәрілік препараттарды, қозғалыстағы көзден интерференция жағдайында, кіріс кезінде интерференция/сигнал қатынасының өзгеруін ескере отырып жеткізуге мүмкіндік беретін техникалық модель әзірленді. берілген траекториялар мен объектілер қозғалысының жылдамдықтары мен интерференция көзі үшін уақыт бойынша ҰАА қабылдағыш.

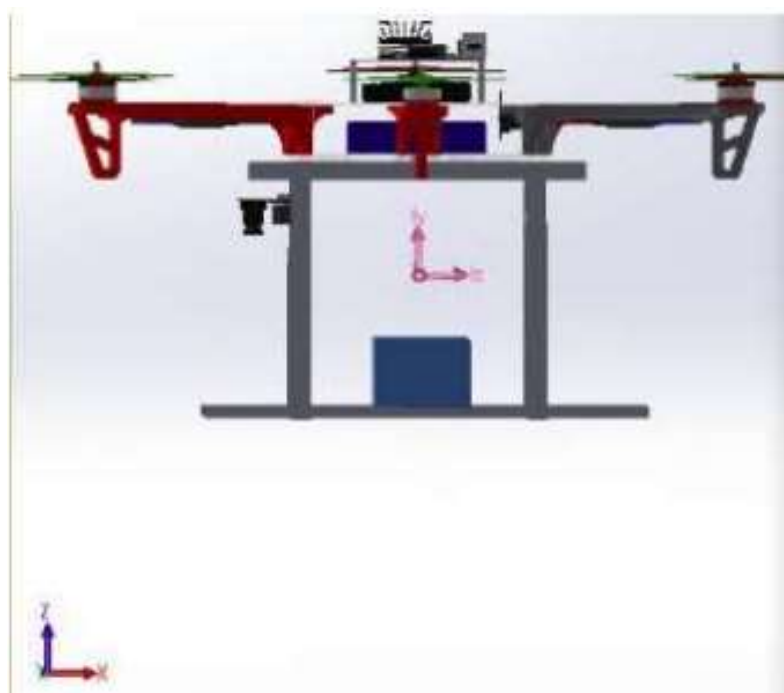
Гексакоптерде рычагтармен рамаға бекітілген алты қозғалтқыш бар. Бұл қозғалтқыштар бұранданы өте жоғары жылдамдықпен айналдырып, соғу күшін тудырады. Тұрақтылыққа жету үшін үш қозғалтқыш сағат тілімен (CW) және сағат тіліне қарсы (CCW) айналады. Бұл параметр арқылы ол дронның айналу осіне қатысты таза импульсті жоя алады. Мультироторларда қолданылатын қозғалтқыштардың түрі BLDC қозғалтқыштары болып табылады, олардың айналу жылдамдығы токтың үш түрлі фазасымен басқарылады. Қозғалтқыштардың белгіленген айналу жылдамдығы ESC (электрондық жылдамдық реттегіштері) көмегімен сақталады. ESC қозғалтқыштың кері байланыс тоғын үздіксіз бақылап отырады және қозғалтқыштарға кіріс тоқына шамалы өзгерістер енгізеді. Акселерометр мен гироскоптан тұратын инерциялық өлшем бірлігі (IMU) қысқа қозғалыстарды өлшеу және дронның бағдарын анықтау үшін қолданылады. Бұл дененің бастан кешкен үдеулеріне негізделген.

Гексакоптердің жалпы салмағын бөлуді бағалау қажет; Бұл компоненттерді талдауға, әрбір бөлшектің маңыздылығын көрсетуге және мультироторлы дизайнның алдыңғы және болашақ итерациялары арқылы оның өнімділігін бақылауға мүмкіндік береді. Барлық көп роторлы конструкциялардың ең ауыр құрамдас бөлігі батарея болып табылады. Ұшу уақытын ұзарту үшін сыйымдылығы жоғары батареяны таңдауға болады.

Дегенмен, үлкенірек батарея жинағының қосымша салмағы, өз кезегінде, ұшу уақытына тікелей әсер етеді.

Ұшу кезінде гексоптерге әртүрлі күштер әсер еткенде күтілетін қозғалысты түсіну үшін жүйенің физикалық динамикасын зерттеу қажет. Ұшу кезінде гексакоптердің құрылымдық тұтастығы мен тұрақтылығын түсіну үшін екі маңызды зерттеу жүргізуге болады. Құрылымдық талдау гексоптер төтеп бере алатын ауырлық, итеру және соқтығыстардан туындауы мүмкін күштерге ұшыраған кезде раманың, қарулардың және шассидің тұтастығын анықтау үшін қолданылады.

Физикалық дененің тұрақтылығы құрылымның ауырлық орталығының орналасуын тексеру үшін жасалады. Ауырлық центрінің орнын анықтау арқылы рамаға ауырлық центрінің айналасындағы күштер әсер еткенде гексоптердің қозғалыс бағытын болжауға болады. Ауырлық центрін ортаға қою арқылы пропеллердің тарту күші ауырлық орталығының айналасында біркелкі әрекет етеді, осылайша қажетсіз айналу мен дрейфті тудыруы мүмкін кез келген таза моментті жояды. Осылайша, тұрақтылықты талдау үшін гексоптердің ауырлық орталығы пайдалы жүктемемен және жүксіз бағаланады. Пайдалы жүк қару-жарақ пен дененің жақтауынан біршама төмен орнатылған.



2.2- Сурет – Жүктері бар ҰҰА ауырлық орталығы

Құрылғыға мына факторлар әсер етеді:

1. Гравитация. Ол әрқашан инерциялық координаталар жүйесінің осі бойымен төмен бағытталған. Гравитация тұрақты шама болып табылады және тек қана ұшқышсыз ұшу аппаратының массасына байланысты. Аппараттың массасы тұрақты деп қабылданады және өзгермейді (бірақ оны модельдеу

процесінде аппаратқа бекітілген қосымша пайдалы жүктемені имитациялау кезінде өзгертуге болады);

2. Әуе винтінің итеру күштері – олардың тек 6-ы ғана бар, олар өз бағыттары бойынша бағытталған, күштер модулі бұрандаға сәйкес айнарудың бұрыштық жылдамдығына байланысты есептеледі;

3. Ауа интерференциясы (және/немесе жел) – екі құрамдас бөліктен тұратын модельденеді. Ауа интерференциясы күші ауаның тығыздығына, ауадағы объектінің сызықтық жылдамдығының квадратына және таңдалған бағыттағы сипаттамалық қима ауданына (пішін коэффициенті) тура пропорционал. Жел күші - ерікті түрде немесе қосымша «жел үлгісін» пайдаланатын сыртқы қоздырғыш күш (осы бапта қарастырылмаған);

4. Сыртқы күш немесе интерференция – ерікті сыртқы әсер. Модель бұл мүмкіндікті әр бағытта реттеуіштердің тұрақтылығын одан әрі тексерудің қарапайым тәсілі ретінде қамтиды;

5. Қозғалтқыштардың реактивті моменті. Біздің модельде ол нөлге тең, жалпы жағдайда әрбір пропеллердегі қозғалтқыштар мен бұрандалардың жұптасуына байланысты – оны ескеру қажет. Кейбір құрылғыларда бұл сәт курсты басқару үшін де қолданылады;

6. Прецессия құбылысы – қарастырылып отырған модельде ол нөлге тең, жалпы жағдайда оны ескеру қажет;

7. Ауа интерференциясының моменті – ауа интерференциясының күшіне ұқсас, ауаның тығыздығына, ҰҰА бұрыштық жылдамдығының квадратына және пішін факторына тура пропорционал;

8. Жел жүктемесінен аударылу моменті;

9. Сыртқы интерференция сәті – реттеуіштерді жөндеуге арналған;

10. Әуе винтінің қозғаушы күштерінің сәттері. Пропеллерлер аппараттың масса орталығында орналаспағандықтан, олардың әрқайсысы өз бетінше бұрылу сәтін жасайды. Бұл ғарышта ұшқышсыз ұшу аппаратының бағдарын бақылайтын негізгі фактор болуы мүмкін.

Өткізілген эксперименттер мұндай коптерлердің нақты өмір сценарийлерінде қолданылуы мүмкін екенін растайды, онда дәрі-дәрмектің белгілі бір жерге дәл жеткізілуі қажет. Тәжірибе нәтижесін ҰҰА-коптер деп атауға болады, ол интерференцияның ауыспалы қарқындылығын және сигналды сүзу күрделілігін ескеруді талап етеді.

2.2 Ұшқышсыз ұшу аппарат үшін электромагниттік интерференция сынау мәселелері

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының табиғатына байланысты электромагниттік интерференцияны сынау бірқатар қиындықтарды тудырады. ЭМИ тестілеуіндегі негізгі кедергілердің кейбірі:

Өлшем мен салмақ шектеулері. Шағын өлшемдері мен жеңіл салмағының арқасында ұшқышсыз ұшатын аппараттар жиі электромагниттік

интерференцияны қорғау және сүзу үшін шектеулі кеңістікке ие. Салыстырмалы түрде шағын өлшемдеріне байланысты ұшқышсыз ұшатын аппараттар электромагниттік электромагниттік интерференцияны азайтудың ерекше қызықты мәселелерін ұсынады.

Жоғары жиілікті жұмыс. 2,4 ГГц және 5,8 ГГц сымсыз байланыс және басқару жолақтарын ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) жиі пайдаланады. БҰҰ сияқты жиілік диапазонын пайдаланатын басқа құрылғылардың интерференциясы ҰҰА жұмысы мен басқаруына зиянды әсер етуі мүмкін.

Күшті электромагниттік өрістердің сыналатын жабдыққа әсері бойынша сынақ зерттеулерін келесі екі негізгі категорияға бөлуге болады:

1. Радиациялық әсер сынағы: Сынақтағы жабдық күшті электромагниттік сәулелену өрісіне тікелей әсер етеді. Бұл әдіс нақты жағдайларда электромагниттік өрістерді имитациялайды және мұндай жағдайларда құрылғылардың өнімділігі мен ұзақ мерзімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

2. Инъекция сынағы: Жоғары ток немесе жоғары кернеу сыналатын жабдыққа тікелей беріледі немесе қолданылады және бүрку толқын пішінінің нақты жағдайға сәйкес келуін қамтамасыз ету қажет.

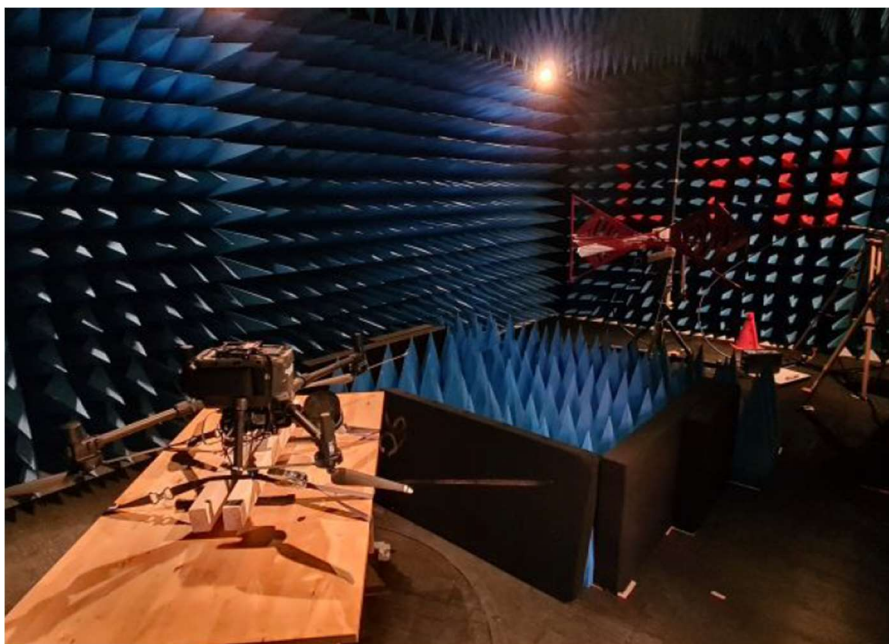
Радиациялық сынақтар ұшқышсыз ұшу аппараттарына күшті электромагниттік әсерлерді зерттеудің негізгі әдісі болып табылады және жеке жүйелерді немесе құрылғыларды зерттеу үшін кеңінен қолданылуы мүмкін.

Дегенмен, радиациялық сынақ құрылғының құрамдас бөліктерін жеке сынауға шектеулі мүмкіндіктер береді. Мұндай жағдайларда инъекциялық сынақтар қолданылады.

Компьютерлік арифметиканың қарқынды дамуымен модельдеу технологиясы ғылыми зерттеулерде кеңінен қолданыла бастады. Электромагниттік модельдеу зерттеу объектісінің электромагниттік сипаттамаларын модельдеу және имитациялауды қамтиды. Физикалық прототиптерді пайдаланудың орнына зерттеушілер әртүрлі параметрлерді талдау және есептеу үшін белгіленген үлгілерді пайдаланады. Бұл әртүрлі электромагниттік ортадағы электрондық жүйелердегі, құрылғылар мен тізбектердегі өріс өзгерістерін, жылу таралуын, күштердің таралуын және құрылымдық сипаттамаларын зерттеуге мүмкіндік береді. Зерттеушілер зиянның пайда болу механизмдерін және олардың мінез-құлқын реттейтін негізгі заңдарды аша алады.

Жұмыста [19] радиациялық әсер сынағы жүргізілді. ЭМИссия/иммунитет сынақтары LTUs ЭМУ жанындағы FAR зертханасында орындалады. Сынақ ортасы екі деңгейлі антеннадан 3 м қашықтықта айналмалы еден плиткасында орналасқан үстелге орналастырылған сынақтағы жабдықтан (EUT) тұрады. Өлшенетін өрістегі кернеу күшейтіледі және антеннаға қосылған бөлек қосымша арқылы сүзіледі. Бұл шуды сүзгілеу және интерференцияның кішірек көздерін шу деңгейінен ажырата білу үшін қажет. Өлшеу қабылдағышына кабель арқылы өткен кезде жиналған шуды күшейтпеу үшін қондырма антеннаның шығысына (яғни кабельдің

басталуына) жақын орналастырылған. Көлденең поляризацияланған өлшеу антеннасы бар сынақ ортасы FieldRobotiX жүйесімен бірге 2.2-суретте (үстел айналдырылғанымен) көрсетілген.



2.2- Сурет – FAR ішіндегі сынақ ортасы

Сәулеленген өрістерді өлшеу үшін Rohde & Schwarz ESPI сынақ қабылдағышы жақын маңдағы компьютердегі бағдарламалық құралмен бірге пайдаланылады, оның функционалдығы сынақ параметрлерін өзгертуді және сынақ нәтижелерін көрсетуді қамтиды. Тұрақтылықты тексеру үшін камераның ішінде қажетті өрісті жасау үшін сынақ сигналы қажет. Осы мақсатта Agilent Technologies E8267D PSG векторлық сигнал генераторы қолданылады. Сигнал генераторының өзі иммунитетті сынау кезінде әрбір жиілік үшін қажетті өріс күшін шығаруға жеткілікті қуатты болмағандықтан, үш Prana қуат күшейткіші пайдаланылады. Барлық қажетті жиіліктерді қамтитын бір күшейткіштің болуы өте қымбат болар еді, сондықтан бұл үш қуат күшейткішінің әрқайсысы жеке жиілік диапазонын қамтиды (тиісінше 80 МГц - 1 ГГц, 1 ГГц - 2 ГГц және 2 ГГц - 6 ГГц) және күшейткіштер автоматты түрде ауысады. тұрақтылықты сынау кезінде жиіліктерді сканерлеу кезінде өздігінен (компьютерлік бағдарламалық құрал) арасында.

Әрбір дрон үшін сынақ жоспарларында кейбір айырмашылықтар болғанымен, кейбір нәрселер екі өнім үшін де бірдей болып қалады. Әрбір жоспар үшін, қажет болса да, электростатикалық разряд (ESD) сынағы жабдықтың құрамдас бөліктерінің істен шығу қаупіне байланысты әдейі өткізілмеді. Назарға алынбаған тағы бір аспект қоректену кернеуіндегі асқын кернеулер мен өзгерістер/үзілістерге арналған сынақ болды. Себебі екі дрон да айнымалы ток қуатымен жұмыс істемейді, сондықтан мұндай сынақ қажет емес. Батареяларды зарядтау қажеттілігі мұндай сынақты негіздей алады деп

айтуға болады, бірақ бұл жағдайда оны дронның өзіне емес, зарядтағышқа талаптар қою ретінде қарастыруға болады.

Бұл жағдайда, LiDAR-ды айналдыру үшін пайдаланылатын тұрақты ток қозғалтқышы интерференция көзі болғанымен, анықталған интерференцияның ең қызықты көзі модульге бекітілген LiDAR болды, өйткені ол ЕО-да сатылатын өнім ретінде үйлесімді болуы керек. Демек, бұл өнімнің өзі емес, іске асыру мәселесін көрсетеді. Бұл қажетсіз интерференцияның нақты себебі – бұл әрі қарай зерттеу және тестілеу тақырыбы.

Сонымен қатар, жүйеде (дәлірек айтқанда, модульдің өзі) 10 В/м және 3 В/м сәулеленген электромагниттік өрістер әсер еткенде проблемалар туындайды. Бұл LiDAR 215 МГц шамасында 10 В/м әсер еткенде айналу кезінде дірілдей бастағанда көрінеді және одан әрі талдау тұрақты ток қозғалтқышы үшін сенсор көрсеткіштерінің сәйкессіздігін көрсетеді (бірақ олардың бір уақытта орын алғаны толық расталған жоқ. жиілік, бірақ бұл ең ақылға қонымды теория). Әлдеқайда азырақ болса да, деректердегі бірдей сәйкессіздіктер 3 В/м үшін орын алады (нақты жиіліктерді анықтау қиын болды, бірақ деректер журналдары шамамен 150 МГц көрсетеді) және FieldRobotiX бұл қателердің барлығы басқару компьютерінің желіге қосылғандығынан туындайды деп болжайды. тұрақты ток қозғалтқышы өзін қалпына келтіреді. Осы нәтижелермен дрон тұрақтылықты сынау үшін бұрын анықталған өнімділік талаптарына сәйкес келеді деп айтуға болмайды.

Жалпы алғанда, өлшеулер ЭМУ-ге қатысты дизайнның проблемалық аймақтарын анықтау болатын дипломдық жұмыстың мақсатына жетті. Өткізілген шығарындылар және ESD сынағы сияқты мәселелер қарастырылмағанымен, алынған нәтижелер жүйе дизайнын жақсартуда алға жылжу үшін жеткілікті.

2.3 Ұшқышсыз ұшу аппараттардың электромагниттік үйлесімділік стандарттары мен шешімдері

ЭМИ сынақтарының негізгі халықаралық стандарттары:

- IEC61000-4-2: Электростатикалық разрядтың толқын пішіні адам операторының разрядын имитациялайды және пайдаланушы қол жеткізе алатын барлық басқару элементтері мен сыртқы қосқыштарды қоса, операторға қолжетімді кез келген орынға қолданылады. ESD сынақ деңгейлері қолданбаға байланысты айтарлықтай өзгереді.

- IEC 61000-4-4: EFT толқын пішіні электр желісіндегі индуктивті жүктемелерді релені ауыстыру немесе ұзу арқылы жасалған өтпелі кезеңдерді модельдейді. Ол әдетте құрылғының айнымалы ток қуат кабелі арқылы жеткізілетін арнайы импульстік толқын түрінде қолданылады. Сондай-ақ, сол желілерде тек EFT өткізгіш қосылымды имитациялау үшін сигнал және басқару желілеріне EFT сигналын енгізуге болады.

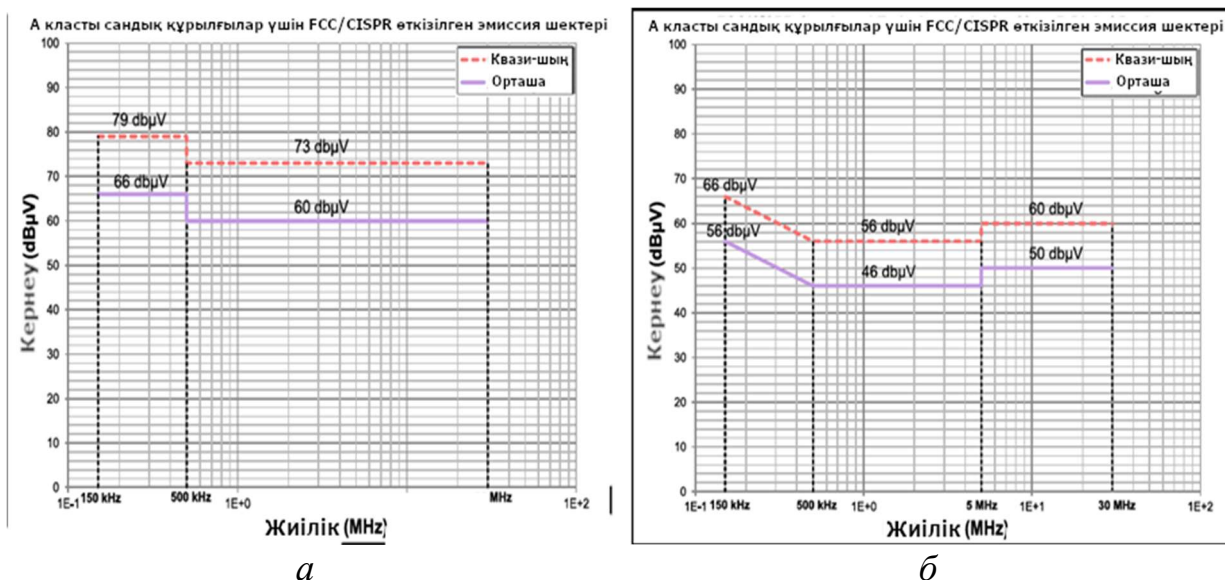
EN55014-1 және EN55014-2 тиісінше тұрмыстық құрылғылар мен электр құралдары үшін шығарындылар мен иммунитеттің негізгі еуропалық стандарттары болып табылады.

Бұл стандарт радиожиілік интерференция деңгейіне қойылатын бірыңғай талаптарды анықтайды, негізінен қозғалтқыштар мен коммутациялық жабдықтан радиожиілік интерференциясын таратуға және шығаруға қатысты. Айнымалы ток қозғалтқыштары кірісі мен шығысында гармоникалық сигналдарды жасайды, бұл қоршаған электр құрылғылары мен электр желілеріне электромагниттік интерференция тудырады. Айнымалы ток жетектері мұндай интерференцияны тудыруы және оларға әсер етуі мүмкін.

Кез келген электронды құрылғы қондырғының қоректендіру желісінде де, жалпы электр желісінде де интерференция токтарының потенциалды көзі болып табылады. Бұл үзіліс электр желісіне өткізгіштік қосылым арқылы қосылған басқа құрылғыларға әсер етуі мүмкін және өткізгіштердің электрлік ұзындығы бұл шуды босатуға мүмкіндік береді.

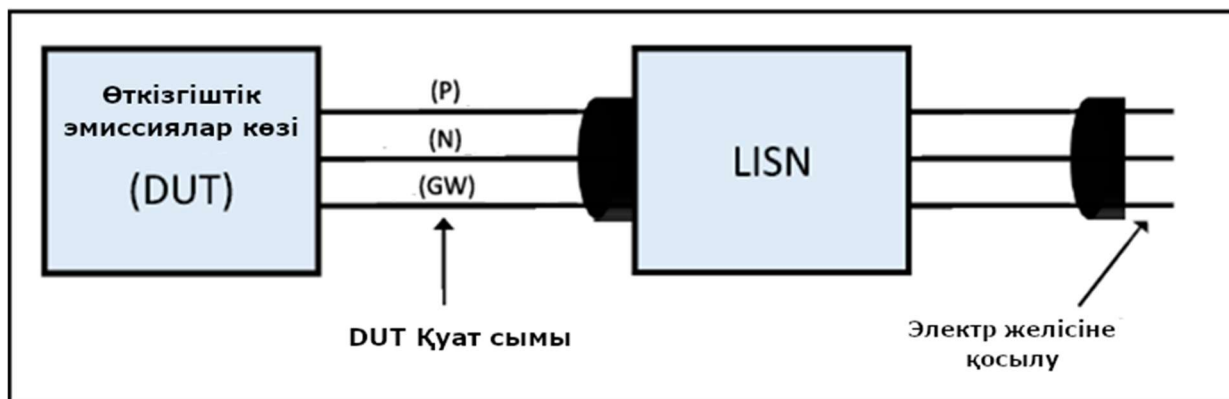
CEI EN 55022 стандарты 150 кГц-тен 30 МГц-ке дейінгі жиілік диапазонында А класы (коммерциялық немесе өнеркәсіптік пайдалануға арналған өнімдер) және В класы (тұрмыстық немесе тұрмыстық пайдалануға арналған өнімдер) үшін шектеулерді анықтайды. Квази-ең жоғары және орташа шығарындыларға арналған шектер берілген (2.3-сурет: «Радиациялық сәуле шығару шектері»).

Өткізілген асқын кернеулер шу токтары ретінде көрсетілгенімен, олар шуға пропорционалды кернеулерде өлшенеді, сондықтан стандартты шектер дБмV-де көрсетіледі.



2.3- Сурет – Радиациялық сәуле шығару шектері: *а* – А класындағы цифрлық құрылғылар үшін; *б* – В класындағы цифрлық құрылғылар үшін

Өткізілген эмиссиялар электр желісімен тізбектей жалғанған желілік интерференцияны тұрақтандыру желісін (LISN) пайдалану арқылы өлшенеді (2.4-сурет: «LISN диаграммасы»). LISN белгіленген жиілік диапазонында сыналатын құрылғыға тұрақты бұзылуды қамтамасыз етеді, өлшеуді қуат нүктесінің орнынан тәуелсіз етеді және сынаққа кедергі келтіруі мүмкін электр желісінің шу ағындарын сүзеді.



2.4- Сурет – LISN диаграммасы

Электрондық құрылғылардағы, жабдықтар мен жүйелердегі күшті электромагниттік интерференцияны зерттеуге көбірек көңіл бөлінуде. Зерттеушілер мұндай араласуларға байланысты зақымдану механизмдері мен заңдылықтарын зерттеу үшін әртүрлі әдістерді қолданды. Бұл әдістерді тестілік зерттеулер және симуляциялық зерттеулер ретінде кеңінен жіктеуге болады. Сынақ зерттеулері әртүрлі электромагниттік орталар мен сынақ жағдайларын жасау арқылы нақты жұмыс сценарийлерін модельдеуді қамтиды. Зерттеушілер жабдық пен жүйелердің сенімділігі мен иммунитетін бағалауға көмектесетін сынақ деректерін ала алады. Сынақ зерттеулері тәжірибеде әртүрлі электромагниттік жағдайларда құрылғылардың жұмысын тексеруге мүмкіндік береді. Екінші жағынан, модельдеу зерттеулері күшті ЭМИ әсерін талдау үшін компьютерлік модельдерді және сандық модельдеу әдістерін пайдаланады. Математикалық және физикалық модельдерді құру арқылы электромагниттік өрістің таралуын, электромагниттік байланыс пен электромагниттік әсерлерді сандық есептеулер мен модельдеуге болады.

Модельдік зерттеулердің мақсаты - жабдық пен жүйелерге күшті электромагниттік интерференцияның әсер етуінің негізгі механизмдерін зерттеу. Бұл тәсіл жан-жақты талдауды қамтамасыз етеді және тестілеу қымбат немесе қиын болуы мүмкін жағдайларда да әртүрлі параметрлер мен механизмдерді зерттеуге мүмкіндік береді. Осы зерттеу әдістерін біріктіріп пайдалану күшті электромагниттік интерференцияны түсінуге және оларға жауап беруге күшті қолдау көрсете алады.

Мақсатты электрондық құрылғыларда, схемаларда, жабдықтарда немесе жүйелерде күшті өзара әрекеттесу және ЭМИ қосылу процестері бірнеше

физикалық параметрлерді қамтиды. Теориялық талдау немесе имитациялық есептеулер алынған нәтижелер мен нақты сынақ нәтижелері арасындағы елеулі сәйкессіздіктерге әкелуі мүмкін. Сондықтан күшті ЭМИ-нің осы объектілерге әсерін дәл және шынайы зерттеу үшін әдетте пилоттық зерттеу қажет.

Электромагниттік интерференцияны сынау, егер адам ұшқышсыз ұшатын аппараттардың (ұшқышсыз ұшу аппараттарының) өнімділігінің, сенімділігінің және қауіпсіздігінің мүмкін болатын ең жоғары деңгейлеріне ие болуын қамтамасыз ету үшін абсолютті қажеттілік болып табылады. Электромагниттік интерференцияны сынау, егер инженерлер ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) үшін олардың ықшам өлшемі, жоғары жиілікті жұмысы, динамикалық ортасы және электромагниттік үйлесімділігі (ЭМУ) сияқты бірегей қасиеттерін ескерсе, тиімдірек болуы мүмкін.

Қорғауды, сүзуді, электромагниттік иммунитетті сынауды, жиілік диапазонын талдауды және жер мен ұшуды қатаң сынауды пайдалану ЭМИ мәселелерін анықтау және шешу үшін пайдаланылуы мүмкін құралдардың кейбірі болып табылады.

Электромагниттік интерференцияны экрандау және жерге қосу. Сәйкес экрандау және жерге қосу әдістерін қолдану арқылы ұшқышсыз ұшу аппараттарындағы шығарындылар мен электромагниттік интерференцияға сезімталдықты айтарлықтай азайтуға болады. Электромагниттік сәулеленуді шектеу үшін ҰҰА компоненттеріне өткізгіш жабындар немесе металдандырылған парақтар сияқты қорғаныс материалдарын қолдануға болады. Бұл радиацияны сақтауға көмектеседі. Оған қоса, барлық электрлік құрамдас бөліктер мен жүйелердің дұрыс жерге тұйықталуын қамтамасыз ету арқылы электромагниттік интерференция қаупін азайтуға болады.

Электромагниттік интерференцияны сынау сенімді және кедергі жасамайтын ұшқышсыз ұшатын аппараттарды дамытуға көмектеседі. Бұл, өз кезегінде, нормативтік критерийлерді қатаң сақтау және үздіксіз бақылау арқылы әртүрлі салаларда ҰҰА кеңірек қолданылуын қамтамасыз етеді. Көптеген ЭМИ көздері мен сезгіштерін жақсы жерге қосу стратегиясымен оңай басқаруға болады. Дизайн командасы алдымен барлық сигналдар үшін түпкілікті жер сілтемесін табу үшін тақта қай жерін шешуі керек. Бұл көбінесе тақтадағы жалғыз физикалық нүкте; тақта шассиге немесе металл корпусқа бекітілген жерде болуы мүмкін. Бұл нүктенің тақтадағы арнайы қабатқа қосылуы осы анықтаманы сақтауға көмектеседі.

Нақты орналасуды жоспарлауды сегменттеу және жерлендіруге негізделген тақта таңдау процестері аяқталғаннан кейін бастауға болады. Қорытындылай келе, негіздеудің негізгі мақсаттары:

1. электр заряды мен ток көзден жүктемеге және кері жол арқылы көзге қайта ағуына мүмкіндік беру;

2. 0 вольт тұрақты анықтамалық потенциалды қамтамасыз ету;

3. электрлік және магниттік өрістің қосылуынан болатын электромагниттік кедергілерді бақылау, яғни барабар оқшаулауды қамтамасыз ету.

Төмендегі ЭМУ қолайлы орналасу нұсқаулары жерге қосудың негізгі мақсаттарына қол жеткізуге және ЭМУ-ге қатысты жерге қосудың толық артықшылықтарын пайдалануға көмектеседі.

Тақта үлкен аумақтарын жерге бөлу және құрамдастарды осы аймақтарға ең қысқа жолдармен қосу ток ағынына кедергіні азайтады, осылайша жердегі кедергіні азайтады. Индуктивтілік пен қарсылық жер жазықтығына дереу қосылу мүмкін болмаған кезде кең, қысқа жолдарды қолдану арқылы азайтылады.

Электромагниттік интерференцияға ұшқышсыз ұшу аппараттарын сынау қиыншылықтардың бірегей жиынтығын ұсынады, бірақ таңдау үшін көптеген шешімдер бар.

Сигнал мен қуат көздері арасындағы қосылымға ерекше назар аудару керек.

Сигнал тізбегінің жерге тұйықталуын бір нүктеде қуат жерге қосқан дұрыс, себебі қуаттылық жердегі өтпелі кернеудің төмендеуі шекті индуктивтілік арқылы өтетін di/dt жоғары мәндеріне байланысты айтарлықтай болуы мүмкін.

Егер сигналды өңдеу тізбегінің қайтарулары бірнеше нүктелердегі қуат жерге қосылған болса, бұл өтпелі процестер сигналды өңдеу схемасының әртүрлі нүктелерінде қайтару кернеуінің айырмашылығы ретінде пайда болады.

Сигналдарды өңдеу схемасы қуатты жердегі өтпелі процестерді өңдеу үшін сирек шуға қарсы иммунитетке ие болғандықтан, әдетте сигналды жерге тек бір нүктеде қосу қажет.

Бұл ережені жердегі ұшақтарды пайдалануға да кеңейтуге болады. Қуат тізбектері үшін жер бетіндегі бөлек жазықтықтардың болуы немесе жердегі жазықтықтағы жоғары ток жолы бір жазықтықтағы сезімтал сигналдың жер учаскелерін кесіп өтпеуін қамтамасыз ету маңызды.

Қажетсіз шығарындылар ықтималдығын азайту үшін қуат элементтерін жерге мүмкіндігінше жақын орналастырыңыз. Бұған ең жоғары токтар/кернеулер ғана емес, сонымен қатар ең жоғары өзгеру жылдамдығы (di/dt , dv/dt) бар блоктар кіреді. Мұндай блоктар:

- сағаттар;
- шина буферлері/драйверлері;
- қуат осцилляторлары.

Есіңізде болсын, бірдей жоғары токтар мен кернеулер жердегі жол арқылы нақты жерге өтуі керек және осылайша жер сигналдары болып табылады. Бұл жоғары қуатты блоктардың жер сигналдарын төменгі қуат немесе сезімтал тізбек блоктарында бар жердегі токтардан физикалық түрде бөлу маңызды.

Сезімтал тізбектер жер жазықтығына жақын жерде (бірақ қуат элементтерінен алыс) орналастырудың келесі басымдығы болып табылады. Сондықтан бұл блоктар қуат блоктарына қарағанда нақты жерден алыс орналасқан.

Тақта көздерінен ЭМИ әсер ету ықтималдығын азайту үшін сезімтал блоктарды тақтаның шетіне жақын орналастырмау жақсы тәжірибе болып табылады. Бір шешім - тақтаның шеті мен сезімтал блоктар арасындағы жерді ұйымдастыру.

Сезімтал блоктар болуы мүмкін:

- төмен деңгейлі аналогтық немесе тұрақты ток сигналдары, мысалы, ток сезу, ақаулық сигналдары және қорғаныс;
- жоғары жылдамдықты цифрлық деректер.

Мүмкіндігінше барлық функционалды блоктарды жерге апаратын жол арқылы бір-бірінен бөліңіз. Жер бетіндегі жолдар мүмкіндігінше жиі нақты жер қабатымен мерзімді байланыстар құруы керек.

Орналасу дизайнері бұл басымдықты тақтаны барлық өзара байланысты іздерді итеру керек толық өткізгіш мыс қабатынан бастау ретінде елестету арқылы орындауы мүмкін. Бұл перспектива жерге апаратын жолдардың әрқашан мүмкіндігінше қысқа болуын және блоктардың мүмкіндігінше бөлек болуын қамтамасыз етеді.

Жақсырақ жерге қосу әдістеріне қол жеткізу шектелген кезде, Фарадей торлары сияқты дискретті экрандау шешімдері қажет болуы мүмкін. Тақтаның арнайы құрамдас бөліктері немесе тіпті аймақтары металл корпуспен қорғалуы мүмкін.

Сүзгілеу және басу. Өткізілетін және жіберілетін электромагниттік интерференцияның мөлшерін шектеу үшін сүзгілер мен басу компоненттерін салуға болады. Интерференция мен гармоникалардың мөлшерін азайту үшін сүзгілерді электр желілеріне, деректер желілеріне және басқару сигналдарына қолдануға болады. Конденсаторлар, феррит моншақтар және индукторлар ұшқышсыз ұшу аппараттарының электромагниттік үйлесімділігін және шу интерференциясын жақсартуға көмектесетін үш компонент болып табылады.

Электромагниттік тұрақтылықты тексеру. Басқа көздерден келетін интерференцияға төтеп бере алатынына көз жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын электромагниттік иммунитетке сынау өте маңызды. ҰҰА иммунитеті нақты өмір жағдайларын жаңғырту және олардың интерференция кезінде қалай әрекет ететінін көру үшін зертханалық жағдайларда электромагниттік өрістерге әсер ету арқылы тексеріледі. Инженерлер дизайндағы кез келген кемшіліктерді түзету арқылы ҰҰА-ның электромагниттік интерференцияға төзімділігін жақсартып алады.

Жиілік диапазонын талдау. ҰҰА байланысы мен басқаруына ISM жолақтарын, сондай-ақ рұқсат етілген жиіліктерді қоса алғанда, жиілік диапазондарының кең ауқымын пайдалану арқылы қол жеткізуге болады. Интерференцияның себептерін анықтау және нормативтік стандарттарға сәйкестікті қамтамасыз ету ұшқышсыз ұшу аппараттары пайдаланатын жиілік

диапазондарын зерттеуді талап етеді. Жетілдірілген технологияға негізделген спектр анализаторлары мен ЭМИ сынақ қабылдағыштары ұшқышсыз ұшу аппараттарының спектрлік сипаттамаларын талдау және кез келген ықтимал ЭМИ мәселелерін анықтау үшін қажет.

Жердегі және ұшу сынақтары. ҰҰА-ларды электромагниттік интерференцияға сынау жерде де, ұшу кезінде де жүргізілуі тиіс. ҰҰА-ның электромагниттік интерференция сипаттамалары жердегі сынақ процедурасының бөлігі ретінде бақыланатын зертханалық ортада зерттеледі. Шығарынды және сезімталдықты өлшеуді, сондай-ақ әртүрлі ЭМИ әсерлерін азайту әдістерінің тиімділігін бағалауды инженерлер ЭМИ сәйкестігін сынау бөлігі ретінде орындауы мүмкін.



2.5- Сурет – ЭМИ-9КВ ЭМИ сынақ қабылдағышы

Содан кейін ұшқышсыз ұшақтың электромагниттік интерференция өнімділігі ұшуды модельдеу арқылы нақты жұмыс жағдайында тексеріледі. Ұшу сынақтары кезінде инженерлер ұшқышсыз ұшу аппаратының байланыс, басқару және навигация жүйелерінде болуы мүмкін кез келген интерференция немесе өнімділіктің төмендеуін мұқият қадағалайды. Бұл эксперименттер ұшқышсыз ұшатын аппараттың электромагниттік интерференцияға төзімділігін және оның әртүрлі орталарға бейімделуін көрсетеді.

Техникалық факторлардан басқа, нормативтік талаптарды сақтау негізгі аспект болып табылады. Ұшқышсыз ұшатын аппараттарға электромагниттік интерференцияны сынау. Ұшқышсыз ұшу аппараттары авиациялық билік органдары мен ұйымдары белгілеген заңдарға, ережелерге және ұсыныстарға бағынады. Мұндай нұсқауларға ЭМИ талаптарын қосу ұшқышсыз ұшу аппараттарының біркелкі және қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету үшін кең таралған тәжірибе болып табылады. Осы стандарттарды сақтау ұшқышсыз ұшу аппараттарының қолданыстағы әуе инфрақұрылымына интеграциялануын жеңілдетіп қана қоймайды, сонымен қатар ұшқышсыз ұшу аппараттарының қауіпсіздігі мен тиімділігін қамтамасыз етуге көмектеседі.

ҰҰА-ға келетін болсақ, тұрақты мониторинг пен техникалық қызмет көрсету өте маңызды. Технологиялар дамып келе жатқанда, жаңа интерференция көздері пайда болады, ЭМИ тексеру әдістемелерін жүйелі түрде қарап шығу және жетілдіру маңызды.

ҰҰА шығарындыларын және ЭМИ бейімділігін тұрақты бақылау ұшқышсыз ұшу аппаратының электромагниттік сипаттамаларындағы кез келген өзгерістерді немесе ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді. Болашақта ықтимал ЭМИ мәселелеріне дайындалу арқылы оларды уақтылы жаңартулар мен патчтармен шешуге болады.

Сонымен қатар, ЭМИ сынағы тиімді болуы үшін мемлекеттік органдар, ҰҰА өндірушілері және ЭМИ сынақ жабдықтарын жеткізушілер бірлесіп жұмыс істеуі керек. Егер күш-жігер үйлестірілсе, сынақ процестері мен жабдықтарын ұшқышсыз ұшу аппараттарына бейімдеуге болады. Бұған қоса, ол білім алмасуды ынталандырады, бұл сайып келгенде, ұшқышсыз ұшу аппараттары үшін ЭМИ сынау хаттамаларын жақсартуға әкеледі.

OEM құрылғылары пайдалану мақсатына байланысты әртүрлі ЭМИ және ЭМУ стандарттарымен реттеледі. Бұл стандарттар өнімнің техникалық сипаттамаларына және нормативтік талаптарға сәйкес келетін және уақыт көздерін, жолдарын және ауырлық деңгейлерін анықтайтын сынақ әдістерін қамтиды.

2.3.1 Калман сүзгісі

Калман сүзгісі — алдыңғы деректер негізінде келесі нәтижені болжау (немесе бағалау) үшін пайдаланылатын алгоритм. Ол LPF, HPF және BPF сияқты жалпы сүзгілерге жатпайды. Негізінде, ол сигналды қамтитын сигналдың кез келген күйін немесе бөлігін болжауға арналған бағалаушы. Бағалау процесінің нәтижесі сигналдан шуды жоюға ұқсас, сондықтан оны Калман сүзгісі деп атайды.

Калман сүзгісіндегі жүйелер сызықтық жүйелер болып саналады. Калман сүзгісі желілік шу датчигі арқылы стохастикалық сызықтық жүйелер үшін орташа квадратты бағалау қатесін азайтады. Ол сондай-ақ ақ және шуды бұзу өлшемдерін қолданатын сызықтық динамикалық жүйелер үшін квадрат қате функциясын азайтады. Ол динамикалық жүйелердегі күйлерді бағалау үшін де, жүйе өнімділігін талдау үшін де қызмет етеді [20].

Төмен жиілікті сүзгі (LPF), жоғары жиілікті сүзгі (HPF) және жолақты өткізу сүзгісі (BPF) сияқты ең көп таралған сүзгілер шу мен нақты өлшеу деректерін ажырату үшін жиілікті пайдаланады. Бұл ең қарапайым әдіс, бірақ оның кейбір кемшіліктері бар. Біріншіден, біз шудың жиілігін білуіміз керек. Бұл шудың нақты өлшеу деректерімен ерекше жиілігі болған кезде қолданылады. Дегенмен, бұл бүкіл жиілік диапазонында шу пайда болған кезде қолданылмайды.

Калман сүзгісін 1960 жылы Р.Е.Калман ұсынған [21] және оны сызықтық ең аз орташа квадраттарды бағалаушы (LLSME) немесе сызықтық квадраттық бағалаушы (LQE) деп те атаған [20]. Ол робототехника [22] [23], басқару жүйелері [24] [25], батареяларды басқару жүйелері (BMS) [26] [27], динамикалық процесті басқару [28], су тасқынын болжау [29] сияқты көптеген салаларда қолданылған.

Калман сүзгісі есептеудің қарапайымдылығы, жад талаптары және шуды жеңу қабілетінің арқасында танымал. Бұл шулы деректерден ақпаратты алу мүмкіндігін беретін технология өнерінің жағдайын бағалау [30]. Сондықтан, Калман сүзгісі сенсор көрсеткіштеріндегі жалпы шуды басу үшін, әсіресе сенсор көрсеткіштерінде пайда болуы мүмкін шудың жиілігі туралы ақпарат қолжетімді болмаған кезде жақсы қолданылады.

Артықшылықтарына қарамастан, шуды басатын құрылғы үшін қажетті Калман сүзгі теңдеуін жасау қиын. Сонымен қатар, өлшеу константасы және процестің дисперсия константасы сияқты кейбір параметрлерді анықтау кезінде абай болу маңызды, өйткені олар сүзгі нәтижесіне үлкен әсер етеді. Бұл мақалада сенсор көрсеткіштеріне негізделген шуды басатын құрал үшін Калман сүзгі теңдеуін және параметрлерін арнайы құрастыру жолы талқыланады. Калман фильтрінің теңдеуі теориялық тұрғыдан талданады және оның құрамдас теңдеуі негізінде әзірленеді. Сонымен қатар, өлшем константасы мен дисперсиясының кейбір мәндері имитацияланады, содан кейін сүзілген нәтиже ең жақсы сәйкес келетін параметр мәндерін алу үшін талданады.

Бұл жұмыста Калман фильтрі аппараттың Wi-Fi компонентінде қолданылаған. Wi-Fi 5 протоколы модуляция үшін 256 QAM қолданады. Квадрат амплитудалық модуляция (QAM) – ақпаратты беру үшін заманауи телекоммуникацияларда кеңінен қолданылатын цифрлық модуляция әдістері тобының және аналогтық модуляция әдістерінің тиісті тобының атауы. Ол екі тасымалдаушы толқынның амплитудаларын өзгерту (модуляциялау) арқылы екі аналогтық хабарлама сигналын немесе екі сандық разрядты ағынды амплитуданы ауыстыруды кілттеу (ASK) цифрлық модуляция схемасын немесе амплитудалық модуляцияны (AM) аналогтық модуляция схемасын пайдалана отырып жеткізеді. Екі тасымалдаушы толқынның жиілігі бірдей және бір-бірінен 90° -қа фазадан тыс, бұл шарт ортогональдық немесе квадратура деп аталады. Берілетін сигнал екі тасымалдаушы толқынды қосу арқылы жасалады. Қабылдағышта екі толқынды олардың ортогональдылығына байланысты когерентті бөлуге (демодуляциялауға) болады. Тағы бір негізгі қасиет мынада, модуляциялар тар жолақты болжам ретінде белгілі тасымалдаушы жиілігімен салыстырғанда төмен жиілікті/төмен жолақты толқын пішіндері болып табылады.

QAM 802.11 Wi-Fi стандарттарындағы сияқты сандық байланыс жүйелері үшін модуляция схемасы ретінде кеңінен қолданылады. Тек шу деңгейімен және байланыс арнасының сызықтылығымен шектелетін сәйкес шоқжұлдыз өлшемін орнату арқылы QAM көмегімен ерікті түрде жоғары спектрлік тиімділікке қол жеткізуге болады.

Хабар тарату немесе телекоммуникациялар сияқты дұшпандық радиожиілік/микротолқынды QAM қолданбалы орталарында жоғарырақ ретті QAM шоқжұлдызына (жоғары деректер жылдамдығы және режимі) ауысқанда, әдетте көп жолды кедергі артады. Шоқжұлдыздағы дақтардың таралуы бар, іргелес күйлер арасындағы алшақтықты азайтады, бұл

қабылдаушыға сигналды тиісті түрде декодтауды қиындатады. Басқаша айтқанда, шуға қарсы иммунитет төмендейді. Белгілі бір жұмыс ортасы үшін оңтайлы QAM режимін анықтауға көмектесетін бірнеше сынақ параметр өлшемдері бар. Төмендегі үшеуі ең маңызды:

- Тасымалдаушы/кедергі қатынасы;
- Тасымалдаушы-шу қатынасы;
- Шекті-шу арақатынасы.

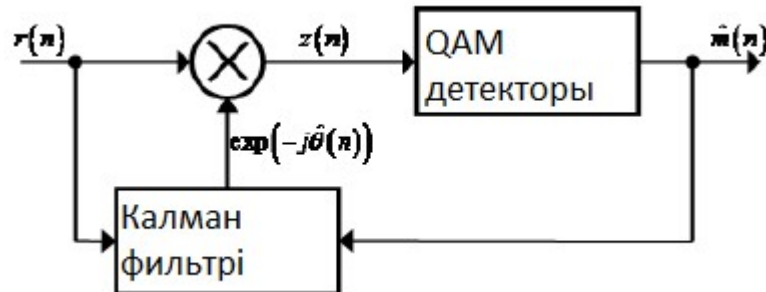
Жоғары ретті квадраттық амплитудалық модуляция (QAM) - әсіресе кабельдік байланыс саласында қолданылатын жоғары өткізу қабілеттілігі тиімді модуляция схемасы. Модуляцияның бұл түрі үшін ең маңызды мәселелердің бірі когерентті демодуляцияға мүмкіндік беретін тасымалдаушыны қалпына келтіру болып табылады. Тасымалдаушы мен қабылдағыш арасындағы тасымалдаушы жиілігінің ауытқуы сөзсіз болғандықтан, жіберілген таңбаларды дұрыс шығарып алу үшін қабылдағыш соқыр жылдам тасымалдаушы жиілік синхрондауды қамтамасыз етуі керек.

Алынған сигналдың жиілігін бақылау үшін қабылдағыш әдетте фазалық құлыпталған цикл (PLL) әдісін пайдаланады. QAM қабылдағышын синхрондау үшін PLL тасымалдаушысының қалпына келтіру циклін пайдалану жылдам конвергенция жылдамдығын және тұрақты күйдегі фазаны қадағалаудың шағын қателерін, екі қарама-қарсы талапты талап етеді. Осы PLL циклдарында қолданылатын шешім қабылдауға бағытталған қарапайым фазалық қателерді бағалаушылар жиілікті алу үшін шектеулі өнімділікті қамтамасыз етеді, өйткені фазалық қателік диапазоны жоғары қуатты белгілер үшін өте төмен, мысалы. 256 QAM жүйесіндегі бұрыштық белгілер үшін $\pm 3,7^\circ$.

PLL тасымалдаушысын қалпына келтіруге балама Кальман сүзгі алгоритмдерін қолдану болып табылады. Кальман сүзгісі минималды орташа квадраттық мағынада оңтайлы рекурсивті сызықтық сүзгі ретінде белгілі. Жүйе ортасы өзгерген сайын, Кальман сүзгісі дәстүрлі PLL-ге қарағанда жүйе ортасының өзгерістеріне бейімделген түрде төтеп бере алады. Тасымалдаушы фазалық динамикалық модельге негізделген сызықтық Калман сүзгілері немесе кеңейтілген Калман сүзгілері QAM сигналдарын тасымалдаушы синхрондауда сәтті қолданылды. Осы қолданбалардың барлығында жүйе моделі айнымалылар ретінде кіріс сигналының фазасы мен жиілігін біріктіреді. Бұл айнымалылар мен бақылаулар арасындағы байланыс сызықты емес болғандықтан, есептерді шешу үшін Калман сүзгілері қолданылады.

[31] орындалған модельдеулердің мақсаты шешім қабылдауға көмектесетін PLL синхронизаторларына балама ретінде қағазда ұсынылған Калман алгоритмдерін сертификаттау болды. Негізгі алгоритм 2.6-суреттің құрылымында және адаптивті Калман алгоритмі 2.7-суреттегі жүйені пайдаланады. 64-QAM және 256-QAM сигналдарымен 50 000 таңбадан тұратын модельдеу сынақтары жасалды. шоқжұлдыз және таңба жылдамдығы Ω_s . Модуляцияланған сигнал нөлдік орташа және дисперсиясы

σ_w^2 болатын қосымша ақ және Гаусс шуы бар байланыс арнасы арқылы таралады. Шешім қабылдауға бағытталған синхрондау жүйелерінің кірісінде қолданылатын қабылданған сигналдың тасымалдаушы жиілігінің ығысуы Ω , әр таңбаға бір үлгі, тамаша уақыт синхронизациясы және дұрыс күшейту бақылауы бар.



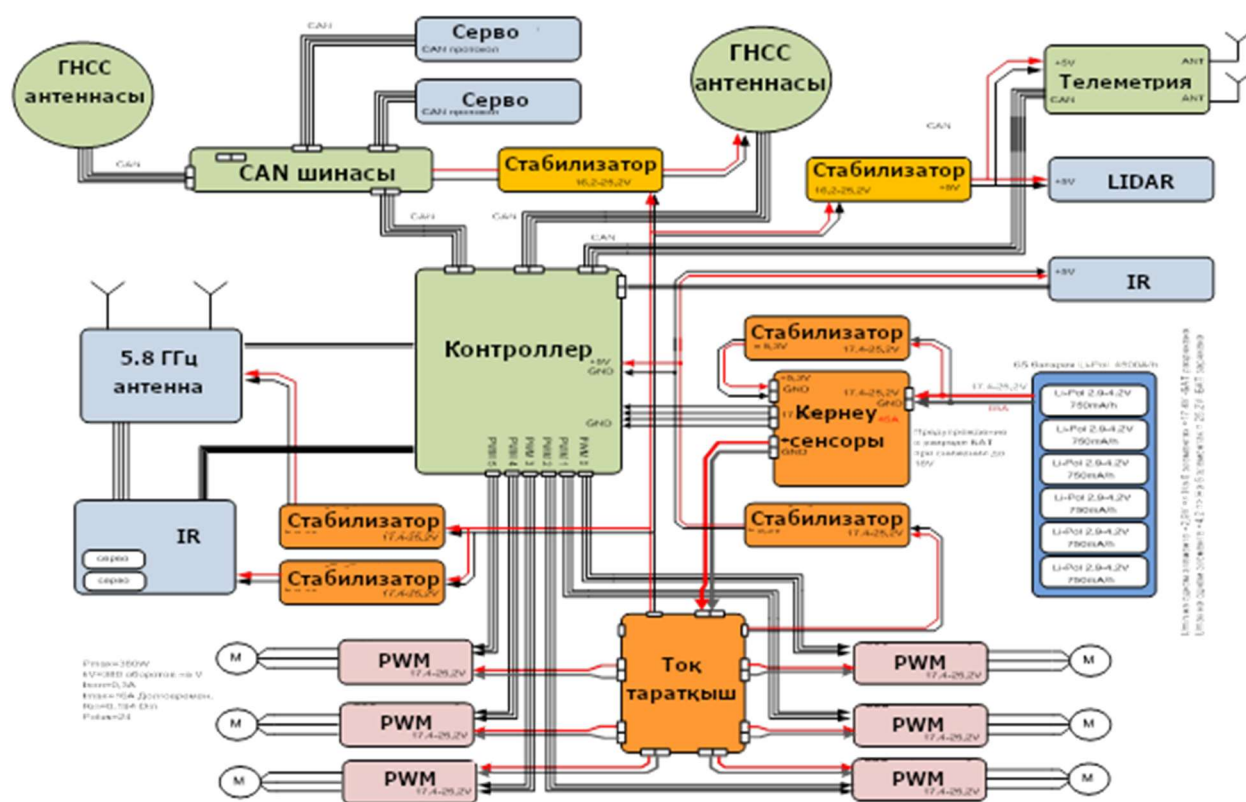
2.6-Сурет – Шешім қабылдауға бағытталған негізгі Калман сүзгі тасымалдаушысын синхрондау жүйесі



2.7-Сурет – Шешім қабылдауға бағытталған адаптивті Калман сүзгі тасымалдаушысын синхрондау жүйесі

3 Ұсынылған ұшқышсыз ұшу аппарат прототипінің моделі

Зерттеу объектісі – тікұшақ типті ұшақ. 3.1-суретте көрсетілген электр схемасы қолданылады.



3.1- Сурет – Жасалып жатқан гексакоптердің схемасы

3.1-суретке сүйене отырып, 3.2-суретте көрсетілгендей, дәрілік заттарды жеткізуге арналған мамандандырылған ұшқышсыз ұшақтың техникалық үлгісін құрастыруға болады, мысалы, салмағы 2 кг-ға дейінгі медициналық заттарды жеткізуге арналған коптер.



3.2- Сурет – ҰҰА прототипінің жақыннан түсірілімі.

Оның ашық сары үстіңгі қақпағы, тұрақты ұшуға арналған бірнеше винттері, ал төменгі жағында жүк тасымалдауға арналған ақ жәшік бар. Ұшақтың әртүрлі құрамдас бөліктері, соның ішінде фондық тақта мен камера жүйесі, антенналық транспондер, камера, анализатор, соңғы басқару жүйесі және телекоммуникация жүйесі таңбаланған. Бұл коптер дәрі-дәрмекті дәл және тиімді жеткізу үшін әртүрлі технологиялармен жабдықталған.

ҰҰА электронды бөлігіне мыналар кіреді:

1. CUBE Pilot ұшу диспетчері;
2. FrSkyR9M радиобасқару қабылдағышы;
3. GPS қабылдағышы M8;
4. Телеметриялық қабылдағыш/таратқыш; Holybro (100 мВт) ;
5. Литий-ионды батарея, SONY 22V; өнімділігі 9 А/сағ;

Коптердің техникалық сипаттамалары (4.1-сурет):

1. Ұшу салмағы: 6 кг-ға дейін;
2. Пайдалы жүк: Салмағы 2 кг-ға дейінгі медициналық жүк;
3. Ұшу жылдамдығы: 0–70 км/сағ;
4. Ұшу/қону: тік;
5. Ұшу биіктігі: 2–1000 м;
6. Жұмыс жиіліктері: 915 МГц, 5,8 ГГц;
7. Спутниктік позициялау жүйелері: GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO;
8. Қону алаңының өлшемдері: 2x2 м;
9. Қозғалтқыш осьтері бойынша диаметрі: 850 мм;
10. Қозғалтқыштардың саны: 6;
11. Қозғалтқыш түрі: щеткасыз 3 фазалы BLDC;

12. Басқару: жартылай автоматты, автоматты (ұшу/қону, маршруттық ұшу);

13. Маршрутты жоспарлау: модем арқылы ДК арқылы;

14. Позиция дәлдігі 0,6 м дейін;

15. Бағдарламалық қамтамасыз ету: QGroundControl.

3.3-суретте орталық корпустан созылған алты иінінде орналасқан алты айналмалы қозғалтқышы бар күрделі құрылымы мен функционалдығы бар коптер көрсетілген.



3.3- Сурет – Гексакоптер

Прототип құрамы:

1. Бұл коптердің қаңқасы алюминий мен текстолиттен жасалған жеңіл және берік конструкция болып табылады, ол қозғалтқыштарды, электрониканы және батареяларды орнату үшін сенімді негіз береді;

2. Күшті жақтау шыны талшықтан, бұрандалар композитті, көміртекті талшықтан жасалған;

3. Жүк бөлігінің конструкциясы (пайдалы жүк, серво механизм). Сервожетегі ЕМАКН, 6V; ESOSA (1,8 кг/см², 0,12 сек/600) ;

4. Модельде 6 T-MOTOR 4006 щеткасыз қозғалтқыштар қолданылады - 380 кВ, 22 В, 240 Вт;

5. Аккумулятор қозғалтқыштар мен электрониканың үздіксіз жұмысын қамтамасыз етеді;

6. Мотор контроллері: TURNIGY Plush 60A;

7. Қашықтан басқару пульті: FrSky HORUS x10.

Зерттеудің гипотезасы қазіргі прототип конфигурациясы сенімді пайдалану үшін шуды азайту құралдарын қажет етеді. Осылайша, шуды азайту үшін шешім ретінде Калман сүзгісі ұсынылады.

Бұл прототип электромагниттік интерференция деңгейі салыстырмалы түрде төмен қала маңындағы аудандарда жұмыс істеуге арналған. Зерттеу жаңбырсыз, тұмансыз немесе қар жаумайтын оңтайлы ауа райы жағдайында пайдалануды ұсынады.

Прототип дизайны қарапайымдылық пен өндіріс құны үшін [6]-да берілген реттелетін қалақтарға қарағанда, статикалық орнатылған қозғалтқыштары бар қарапайым гексоптер болды. [7-10] сияқты қос режимді ұшу прототиптерімен салыстырғанда бірдей қорытынды жасауға болады.

Жасалған коптердің артықшылықтары:

1. Пайдалы жүктеменің артуы: Үлкен дрондар күрделірек жабдықты және көбірек сенсорларды тасымалдай алады, нәтижесінде пайдалы деректер пайда болады.

2. Ұшу уақыты ұзағырақ: Үлкенірек дрондардың батарея сыйымдылығы көбірек, бұл оларға ұзақ миссияларды ұшуға және үлкен қашықтықта деректер жинауға мүмкіндік береді.

3. Жоғары тұрақтылық: Үлкен дрондар жел жағдайларына төзімді және ауа-райының кең ауқымында ұша алады.

Өзірленген гексакоптерге арналған шектеулер:

1. Маневрлігі аз: Үлкен дрондардың маневрлігі аз және шектеулі кеңістікте ұшуға жарамсыз.

2. Үлкенірек өлшем: Олардың өлшемдері кейбір миссиялар үшін, әсіресе халық тығыз орналасқан қалалық жерлерде жеткілікті түрде қолайлы болмауы мүмкін.

Зерттелетін объектінің күшті және әлсіз жақтарына тоқталатын болсақ, онда күшті жақтарға мыналар жатады:

1. Ұтқырлық;
2. Тұтынушының қауіпсіздігі;
3. Пайдаланушыға ыңғайлылық;
4. Кестені тазалау.

Кемшіліктерге мыналар жатады:

1. Бір уақытта жеткізілетін дәрі-дәрмектің көлемін шектеуі мүмкін ұшқышсыз ұшу аппараттарының жүк көтергіштігіндегі шектеулер;

2. Қымбат құрал-жабдықтар, мамандардың құны;

3. Ауа райы. ҰҰА конструкциясына және жалпы әуе кемелерінің табиғатына байланысты ауа-райы жағдайлары тәуекелді есептеудің негізгі факторы болып табылады;

4. Навигация және байланыс. ҰҰА конструкциясына байланысты барлық энергия тұтынатын элементтер бір-біріне жақын орналасқан, сондай-ақ электр энергиясын көп мөлшерде жеткізуді талап етеді, сонымен қатар батареялардың немесе генераторлардың өлшемдерін шектейді;

5. Занды шектеулер. Қалалық жерлерде ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану қауіп тудырады, өйткені ұшақтардың ақаулары мен бұзылуы адам өмірі мен денсаулығына немесе мүліктің бұзылуына әкелуі мүмкін;

6. Террористік әрекеттердің ықтималдығы;

7. Занды пайдалануды теріс пайдалану.

Негізінде, дәрі-дәрмек жеткізу үшін тікұшақ типті ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолданған дұрыс. Тікұшақ типті ұшқышсыз ұшу аппараттары

конструкциясы бойынша басқарылатын тікұшаққа ұқсас. Айналмалы қанатты ұшқышсыз ұшу аппараттарының қолдану аясы кең.

Аэродинамика заңдарына сәйкес, мұндай дизайндағы дрондар көп роторлы нұсқаға қарағанда әлдеқайда тиімді. Сипаттамаларға жоғары ұшу уақыты, жүк көтергіштігі және жоғары маневрлік жатады. Тікұшақ түріндегі ұшқышсыз ұшу аппаратының айқын артықшылығы – бір нүктеде қалықтау және шағын кеңістікте жұмыс істеу мүмкіндігінде [7–10].

Зерттеу әдістері: Алматы қаласының маңында сынақ ұшуы, 5 км қашықтыққа 500 г жүкті басқарылатын рейспен жеткізу; осциллограф пен спектр анализаторының көмегімен сенсордың құрамдас бөліктерімен сынақтан өту; Matlab/Simulink моделін тестілеу.

ҰҰА-ны практикалық жөндеу кезінде кейбір жұмыс режимдерінде жеткізілген жүкті ұстайтын құлыптау механизмінің шайқалуы және тұрақсыз бекітілуі байқалды. ҰАА-ның төменгі жағында рычаг тәрізді серво механизмі бар. Қалыпты режимде құлып оператордың пәрмені бойынша жұмыс істеуі керек. Жақын жерде орналасқан қосылған борттық ҰҰА таратқыштың максималды қуат режимінде (шамамен 1 Вт), рычаг пен құлыптау штангасы бар сервомотор өздігінен тербелмелі паразиттік режимге өтеді, соның нәтижесінде өзек жеткілікті түрде жұмыс істемейді. жүктемені бекітіңіз [6].

Сәулеленуді сынаумен салыстырғанда, инъекциялық сынау бірдей кіріс қуатында жоғары сынақ тиімділігін қамтамасыз етеді және интерференция сигналының параметрлерін жақсырақ басқаруға мүмкіндік береді, нәтижесінде дәлірек деректер алынады.

Компьютерлік арифметика өте жылдам дамығандықтан, модельдеу технологиясы ғылыми зерттеулерде кеңінен қолданылды. Зерттеу объектісінің электромагниттік сипаттамаларын модельдеу және имитациялау электромагниттік модельдеу деп аталады. Әртүрлі факторларды зерттеу және есептеу үшін зерттеушілер нақты прототиптерден гөрі дәлелденген үлгілерді пайдаланады. Бұл әртүрлі электромагниттік жағдайларда электрондық жүйелердің, құрылғылардың және тізбектердің құрылымдық ерекшеліктерін, жылу мен күштің таралуын және өріс өзгерістерін зерттеуге мүмкіндік береді. Зерттеушілер іргелі заңдарды анықтай алады және олардың мінез-құлқын реттейтін процестерді зақымдайды.

Ең дұрысы, жоғары сезімтал сенсорлар үшін көрсеткіштердің барлық шуды жойылуы керек. Дегенмен, барлық шуды жою мүмкін емес, өйткені ол сыртқы ортадан туындайды. Басқа қолжетімді опциялар шуды азайту немесе шуды нақты өлшеу деректерінен бөлектеу болып табылады.

3.1 Ұшқышсыз ұшу аппарат прототип моделіне шуды азайтуға арналға Калман сүзгісін енгізу

ҰҰА бортындағы таратқыш 900 МГц аймағында секіру жиілігі (секундына 5-тен 20-ға дейін) жоғары жиілікті (ЖЖ) импульстердің

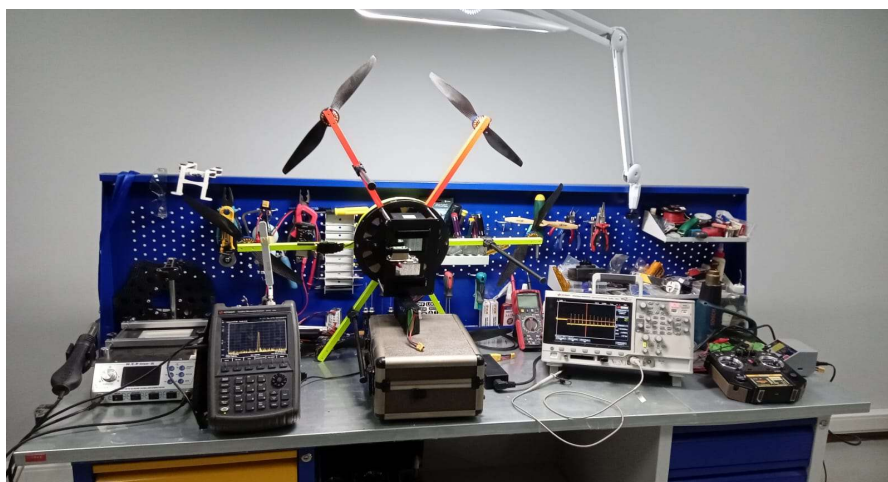
жарылыстарын шығарады. Бұл сәулелену сервоқозғалтқышты басқару тізбектерінде ЭМИ тудыруы мүмкін.

Зерттеуде Keysight құралдары пайдаланылды:

1. InfiniVision DSO2012A осциллографы 100 МГц талдау өткізу қабілеттілігі және 10/1 зонд жинағы бар 2 GS/s іріктеу жылдамдығы;

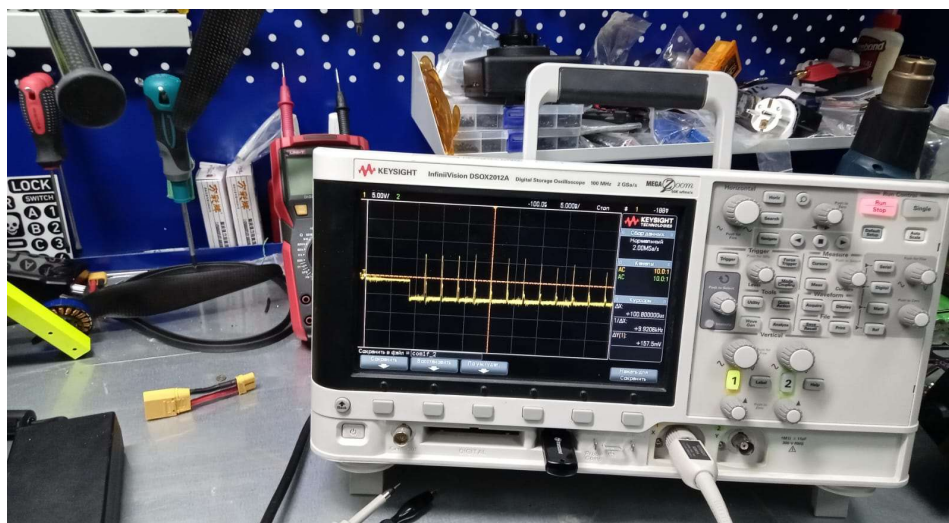
2. Талдау өткізу қабілеттілігі 9 ГГц дейін, 900 МГц өлшеу антеннасы бар Fieldfox 9915 спектр анализаторы.

Экспериментке көшейік. Алдымен әзірленген коптермен зерттеу жұмыс станциясын құрастырайық. Құрастыру үстелінің үстіндегі аспаптары бар өлшеуіш стендтің фотосуреті 3.4-суретте көрсетілген.



3.4- Сурет – Құрастыру үстеліндегі аспаптармен және ұшқышсыз ұшатын аппаратпен өлшеуіш стендтің фотосуреті

Осы орнатуды пайдалана отырып, қозғалтқышты іске қосу және оған әсер ететін интерференцияны өлшеу жүргізілді. InfiniVision DSO2012A осциллографында интерференция пайда болатыны анықталды (3.5-сурет).



3.5- Сурет – Дірілдеу жиілігінің интерференциясы

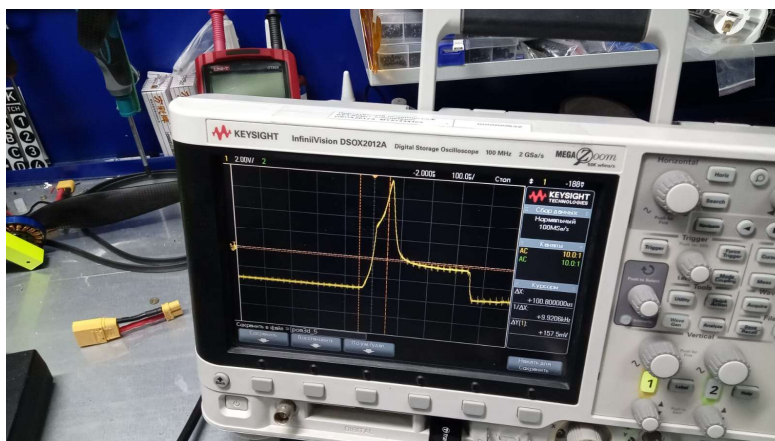
3.5-суретте көрсетілген діріл жиілігінің интерференциясы де кешеннің өзінде спектр анализаторымен (3.5-сурет) көрсетіледі.

Сервомотор контактілерінде дірілдеу сәтінде алынған осциллограммалар (3.6-сурет) қозғалтқыштың жалған жұмысына әкелетін жалған импульстердің болуын көрсетеді.



3.6- Сурет – Спектр анализаторының интерференциясы: *а* – сервотестерде; *б* – осциллографта

3.6-суреттегі мәліметтерге сәйкес қозғалтқышқа басқару импульсі берілді. Яғни, олар шуды басатын құрылғы орнатқан. Шуды басатын құрылғы, өз кезегінде, сигналдың таралуындағы интерференцияны жойды (3.7-сурет).



3.7- Сурет – Шуды азайтуды енгізгеннен кейін интерференциясыз сигнал

Уақыт бойынша кеңейген, импульстар арасындағы интерференциялар ізі бар бірдей сигнал 3.7-суретте көрсетілген.

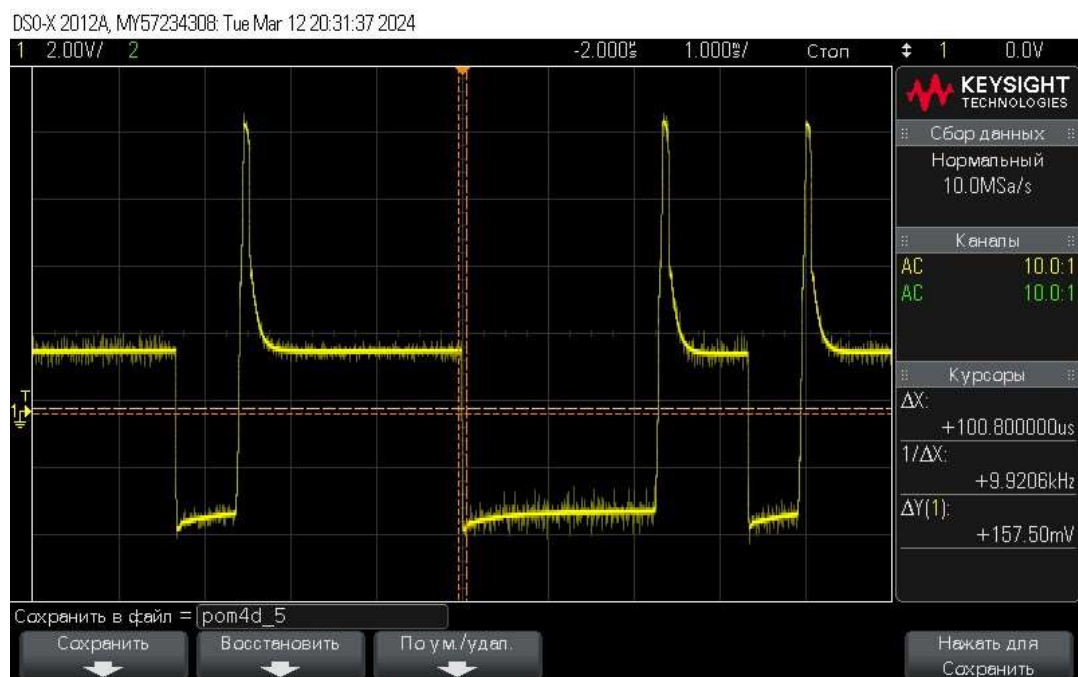
Сервоқозғалтқышты басқару жүйесі таратқыштан жоғары жиілікті сигналды интерференция ретінде қабылдайды, тұрақсыз болады және сервоқозғалтқышты басқаруға арналған стандартты импульстік ен

модуляциясының (PWM) амплитудасы бойынша ұқсас жалған сигналдарды жасайды.



3.8- Сурет – Қызыл түспен белгіленген импульстар арасындағы РЖ интерференция іздері

3.9-суретте паразиттік РЖ интерференциясыз сервоқозғалтқыштың PWM импульстері көрсетілген.



3.9- Сурет – Паразиттік радиожиілік интерференциясыз сервоимпульстердің импульстік ені модуляциясы

Радиоинтерференция бойынша эксперименттік зерттеулер нәтижесінде басқару жүйесі паразиттік өздігінен тербелетін режимге енді кірмейді және

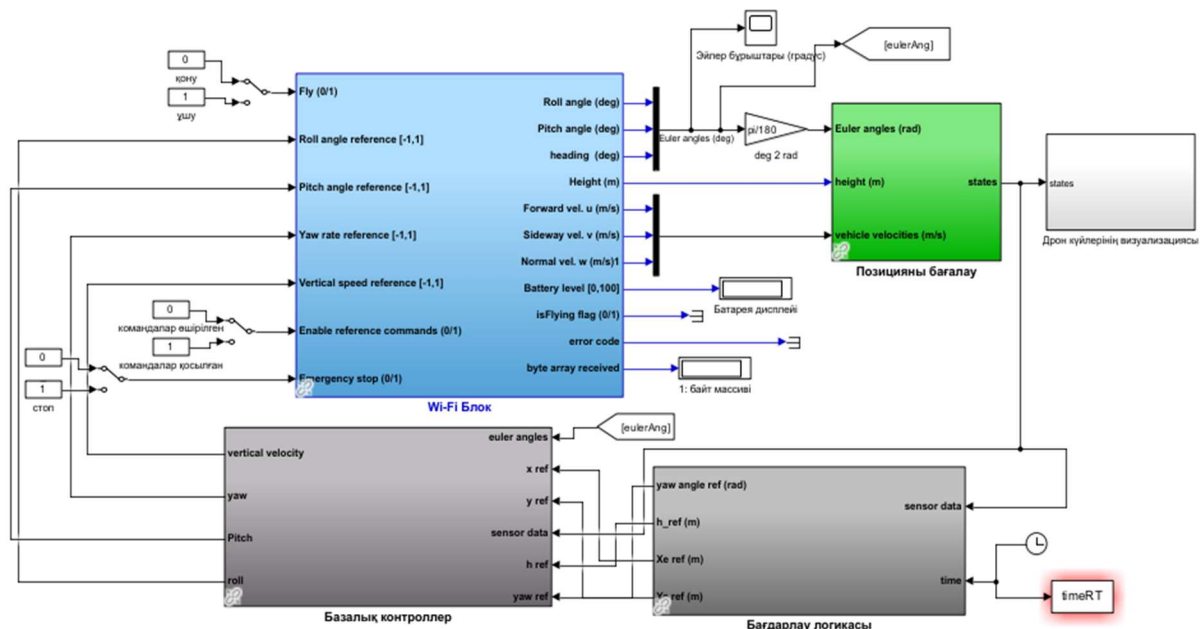
сервомотор оператордың командалары бойынша PWM жетегімен қалыпты режимде жұмыс істей алады.

3.2 Matlab/Simulink бағдарламасында шуды азайту үшін Калман сүзгісін пайдалану

Дәрілік заттарды жеткізу үшін Simulink/MATLAB ортасында гексоптер басқару жүйесін модельдеу әдістемесін қарастырайық.

Simulink/MATLAB ортасында құрастырылған коптер типті ҰАА сипаттайтын модель 3.10-суретте көрсетілген.

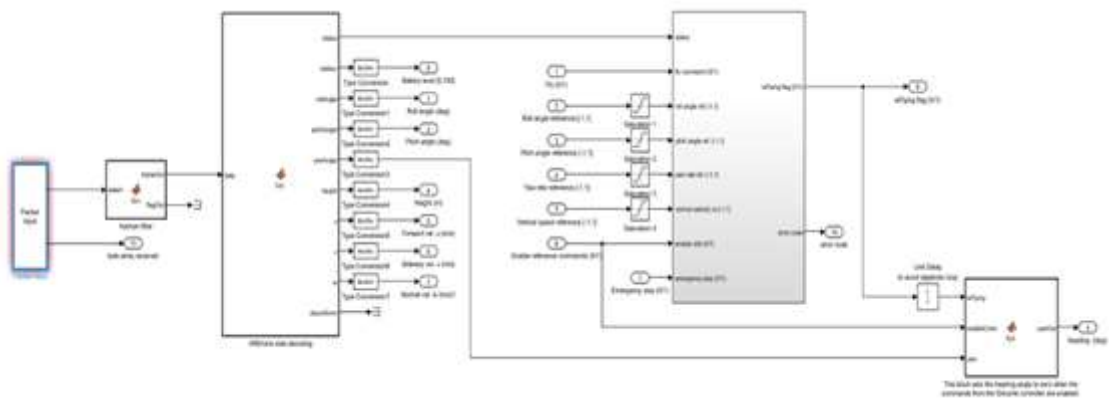
3.10-суретте көрсетілген модельдеу үлгісі қосылымдарды ескереді, бірақ бұрандалар мен гайкалар сияқты кейбір элементтердің әсері соңғы нәтижеге аз әсер етеді. Бұл бөліктердің рамамен өзара әрекеттесуін есептеу қосымша уақытты қажет етеді.



3.10- Сурет – Simulink ортасында коптердің симуляциялық моделі

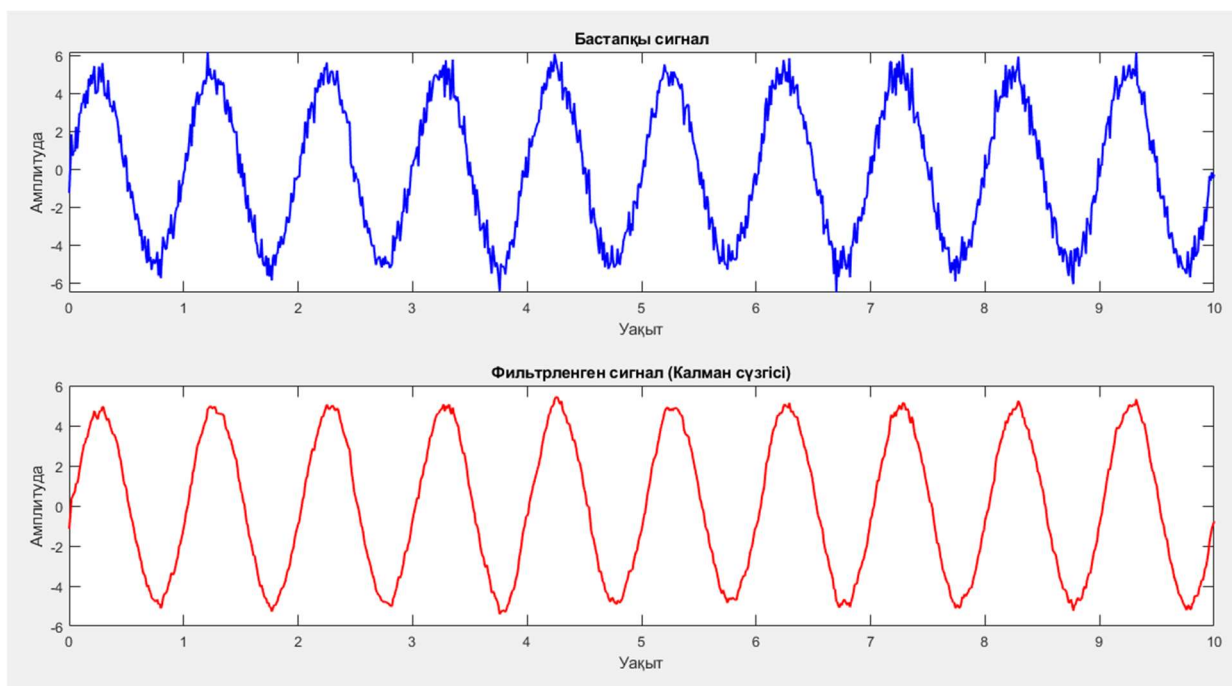
Біздің міндетіміз Калман сүзгісі арқылы шуды азайту болғандықтан, 3.10-суретте көрсетілгенге ұқсас схеманы құрастыру қажет.

3.11-суретте келесі параметрлері бар коптерге арналған шуды сүзгілеу көрсетілген: жиілік: 900 МГц, қуат: 1 Вт, амплитудасы: 5 В.



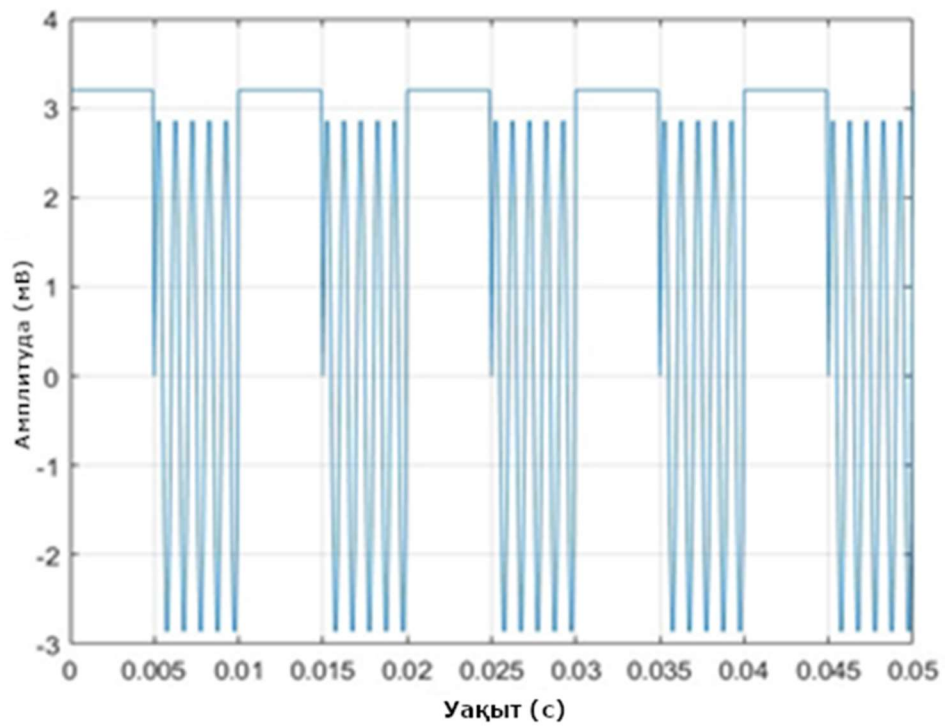
3.11- Сурет – Комптердегі кіріс сигналдарының шуды басу үшін Калман сүзгісі бар Wi-Fi блогы

Суретке негізделген. 3.10, 3.11-суретте 3.10-суретте көрсетілген эксперименттік нәтижелерді салыстыру арқылы қозғалтқыштың жалған жұмысына әкелетін жалған импульстарды модельдеу нәтижелерін ұсынуға болады (3.12-сурет).

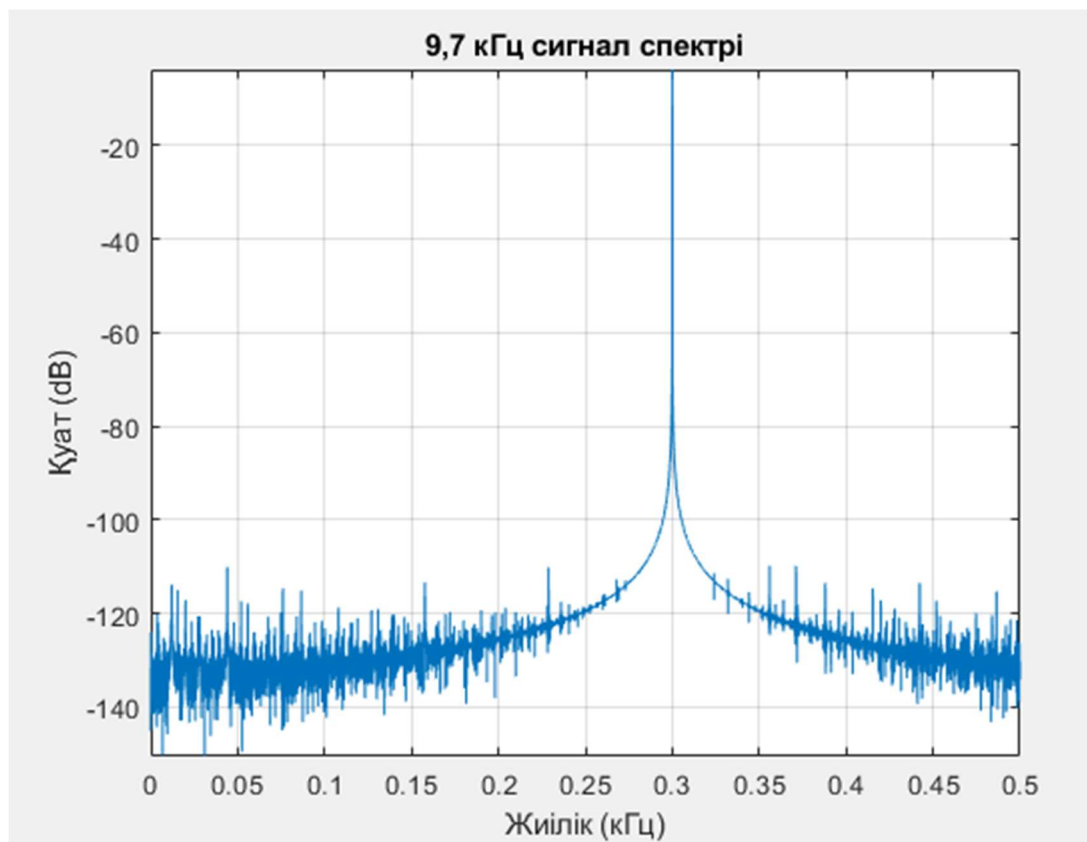


3.12- Сурет – Калман сүзгісі: шуды сүзу нәтижелері

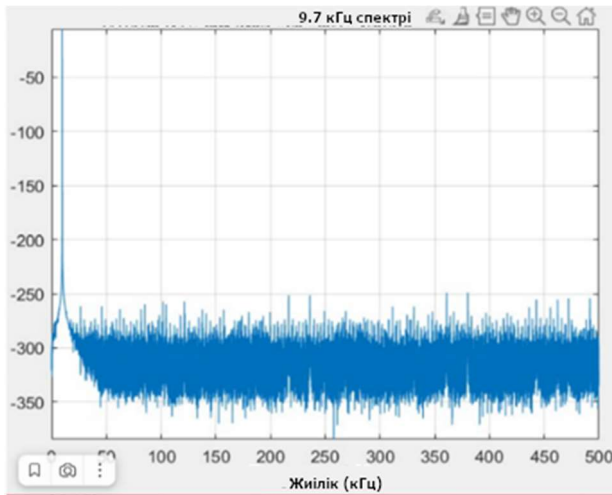
Сол сияқты, 3.13-суретте көрсетілген жиілікті секіру интерференциясын модельдеуге болады. Спектр анализаторының жиілік секіру интерференциясын модельдеу нәтижесі 3.14-суретте көрсетілген.



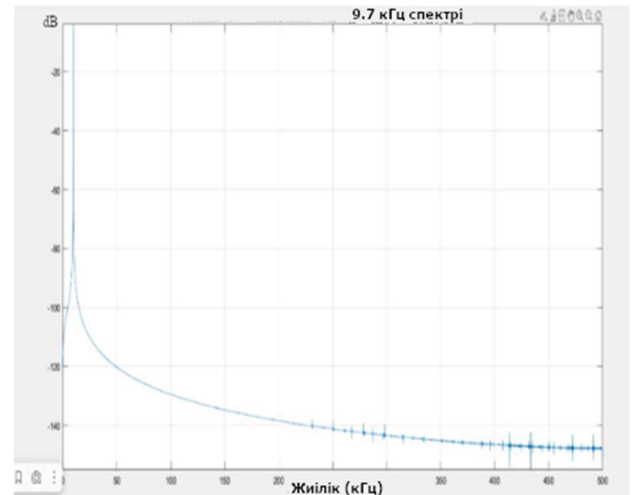
3.13- Сурет – Қозғалтқыштың жалған іске қосылуына әкелетін жалған импульстарды модельдеу нәтижелері



3.14- Сурет – Спектр анализаторының серпілу интерференциясын модельдеу



a



б

3.15- Сурет – Модельдеу нәтижелері: *a* – шуы бар сигнал; *б* – шуды азайтуы бар сигнал

Датчик пен антеннаның құрамдас бөліктері үшін инъекциялық сынау суретте көрсетілген ортада орындалды. Қозғалтқышты іске қосу кезінде Wi-Fi блогы қабылдайтын сигналдардың өлшемдері суретте көрсетілген. Өлшемдер шуды басу құралдарын қажет ететін өте шулы арнаны көрсетеді. Өлшеу нәтижелері суретте көрсетілген. Калман сүзгісін қолданғаннан кейін қабылдағыш сигналының анықтығының жақсарғанын көрсетеді.

Антенналар/датчиктер мен микропроцессорлар арасындағы байланыстарға Калман сүзгісін қосу ұшу және навигация кезінде дәл есептеулерді қамтамасыз етеді, нәтижесінде қабылданған сигналдардың анықтығы артады. Калман сүзгісі табысының өсу сипаты әдістің ұзақ мерзімді тиімділігін қамтамасыз етеді.

3.5–3.15 суреттер Wi-Fi құрылғысының қабылдағыш сигналдарының Калман сүзгісін қолданғанға дейінгі және одан кейінгі өлшемдерін көрсетеді, олар сигналды декодтау айқындығының айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді.

Болжам:

$$\hat{x}_{t|t-1} = F_t \hat{x}_{t-1|t-1} + B_t u_t \quad (3.1)$$

$$P_{t|t-1} = F_t P_t F_t^T + Q_t \quad (3.2)$$

Жаңарту:

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t (y_t - H_t \hat{x}_{t|t-1}) \quad (3.3)$$

$$K = P_{t|t-1} H_t^T (H_t P_{t|t-1} H_t^T + R_t)^{-1} \quad (3.4)$$

$$P_{t|t} = (I - K_t H_t) P_{t|t-1} \quad (3.5)$$

мұндағы, x – болжалды күй, F – күйдің ауысу матрицасы, u — басқару айнымалылары, B - басқару матрицасы, P – күй дисперсиялық матрицасы, Q – процесс дисперсиясының матрицасы, y — өлшем айнымалылары, H – өлшемдер матрицасы, K – бұл калмандық табыс, R – өлшемдер матрицасы, $t|t$ — ағымдағы уақыт аралығы, $t-1|t-1$ – алдыңғы уақыт кезеңі, ал $t|t-1$ – аралық қадамдар.

(3.1)–(3.5) негізіндегі Калман сүзгі алгоритмі суреттегідей блок-схема түрінде көрсетілген. 2. Оны Matlab, Arduino немесе басқа бағдарламалау көздері арқылы жүзеге асыруға болады. Бағдарламаны іске қосқаннан кейін кейбір айнымалылар мен тұрақтылар үшін кейбір инициализацияны орындау қажет. Бұл кезеңде процестің дисперсия константасын Q және өлшеу константасын R дұрыс таңдау қажет. Бастапқыда күйді бағалау айнымалысының мәндері x нөлге тең орнатуға болады және күй дисперсиясының айнымалысы P біріне тең орнатуға болады. Келесі қадам - сенсор деректерін шикізат сигналы ретінде Калман сүзгісінің кірісіне айналдыру. Үшінші қадам болжамды жағдайды бағалау айнымалысы $x_{t_predict}$ және болжанатын күй дисперсиясы P_{t_pret} тұратын болжамды бөлікті есептеу болып табылады.

Төртінші қадам – шын мәнінде Kalman кірісінен K , жаңартылған болжалды күй айнымалысы x тұратын жаңарту бөлігін есептеу және жаңартылған күй дисперсиясының айнымалысы P . Жаңарту бөлігінде сүзілген деректер жаңартылған болжалды күй айнымалысы x болып табылады және алгоритмнің шығысы ретінде көрсетіледі. Соңғы болжамды күй және соңғы күй дисперсиясы сияқты кейбір басқа мәндер де келесі итерация үшін алдыңғы деректер ретінде сақталады, өйткені цикл процесі жүйе тоқтатылғанға дейін қызмет ету мерзімі бойы орындалады.

```

% Кальман сүзгісінің бастапқы мәндері
initial_state = 0;
initial_error = 1;

% Жүйе үлгісі (көрсеткіш үшін қарапайым жағдай)
F = 1; % Күйдің ауысу матрицасы
H = 1; % Өлшем матрицасы
Q = 0.01; % Процесс ковариациясының матрицасы
R = 0.1; % Өлшем ковариациясының матрицасы

% Кальман сүзгісін баптау
state = initial_state;
error = initial_error;

% Кальман сүзгісін қолдану
filtered_signal = zeros(size(time));
for t = 1:length(time)
    % Күйдің болжамы
    state_prediction = F * state;
    error_prediction = F * error * F' + Q;

    % Өлшемге байланысты күйді жаңарту
    K = error_prediction * H' / (H * error_prediction * H' + R);
    state = state_prediction + K * (noisy_signal(t) - H * state_prediction);
    error = (1 - K * H) * error_prediction;

    % Сүзілген сигналды сақтау
    filtered_signal(t) = state;
end

```

3.16- Сурет – Matlab/Simulink симуляциясындағы Калман сүзгісінің коды

ҚОРЫТЫНДЫ

Қала жағдайында ұшқышсыз ұшу аппараттарының жұмысына әсер ететін ЭМИ түрлеріне талдау жүргізілді.

Осы жұмыстың тақырыбы бойынша әдебиеттерге шолу жасалды.

Метрополитен жағдайында электромагниттік интерференцияны сынау мәселелері қарастырылады.

Магистрлік диссертациямыздағы зерттеу жұмысының мақсаты мен міндеттері анықталды: шағын жүктерді тасымалдау үшін оңтайландырылған ҰАА құрастыру және әзірлеу. Бұл ұшқышсыз авиация технологиясының мемлекеттік қызметтер үшін пайдалылығын арттырады.

Зерттеу барысында ұшқышсыз авиациялық радиоарналардағы ЭМУ, шу және электромагниттік интерференция мәселесі анықталды.

ЭМИ тығыздығы жоғары қалалық және қала маңындағы аудандарда электрондық компоненттердің сенімділігін арттыру үшін ЭМУ қарастырулары. Сынақ ұшуынан алынған өлшемдер антенналар мен сенсорлар сияқты сезімтал компоненттер сигналды сүзуді қажет ететінін көрсетті. ҰҰА прототипін сынақтан өткізу кезінде жеткізілген жүкті ұстайтын құлыптау механизмінің шайқалу және тұрақсыз бекітілу сияқты мәселелер анықталды және атап өтілді. Бұл зерттеу шуды басу үшін Калман сүзгісін пайдалануды ұсынады.

Калман сүзгісі сенсорлар/антенналар мен процессорлар арасында орнатылған. Сүзгі ағымдағы және алдыңғы өлшемдер арасындағы айырмашылықты есептеу арқылы келесі өлшеуге болжам жасайды. Болжам мен келесі итерациялық өлшеу арасындағы қате уақыт өте азаяды. Бұл ҰҰА-ның Wi-Fi блогынан сигналдың нақты декодталуына әкеледі, бұл ҰҰА мен жерүсті станциясы арасында деректерді жылдамырақ тасымалдауға мүмкіндік береді, сондықтан ұшу кезінде бақылау мен айқындылықты арттырады.

Matlab/Simulink үлгісінде шуды азайту үшін Калман сүзгісін қолдануды мұқият сынаудан кейін дәл осындай нәтиже алынды. Антенналар мен сенсорларға арналған Калман сүзгісін қосу туралы шешім қабылданды. Калман сүзгісін қолданар алдында және одан кейінгі өлшеулер шуды азайтудың айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді.

Осылайша, элементтердің шуға төзімділігінің бұзылуының және ҰАА электрондық жүйелерінің істен шығуының себебі электр берудің әуе желілерінің шығарылатын электромагниттік өрістері болуы мүмкін. Осы электромагниттік өрістерге ұшыраған кезде ұшқышсыз авиацияның байланыс желілеріндегі электромагниттік интерференцияны азайту үшін белгілі және жаңа конструкциялық, схемалық және алгоритмдік қорғау әдістерін қолдану қажет.

Магистрлік диссертация бойынша жұмыс нәтижелері бойынша «Құрама көлік құралы бар көп циклді квадрокоптер» пайдалы моделіне патент, сондай-ақ «Құрама жерүсті ұшқышсыз көлік құралы» пайдалы моделіне патент алынды.

Scopus журналында мақала жарияланды: «Development of a hexacopter model for transporting medicines with noise reduction».

Сондай-ақ БҒССҚК журналында «Электр желілерінің сәулеленген электромагниттік интерференцияны талдау» мақаласы жарияланды.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Pandey, S. K., Zaveri, M. A., Choksi, M., Kumar, J. S. (2018). UAV-based Localization for Layered Framework of the Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 143, 728–735. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.442>
- 2 Erdelj, M., Natalizio, E., Chowdhury, K. R., Akyildiz, I. F. (2017). Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management. *IEEE Pervasive Computing*, 16 (1), 24–32. <https://doi.org/10.1109/mprv.2017.11>
- 3 Simmons, D. (2016). Rwanda begins Zipline commercial drone deliveries. Available at: <https://www.bbc.com/news/technology-37646474>
- 4 TU delft's ambulance drone drastically increases chances of survival of cardiac arrest patients (2014). Available at: <http://www.odbornecasopisy.cz/en/post/tu-delft-s-ambulance-drone-drastically-increases-chances-of-survival-of-cardiac-arrest-patients--842>
- 5 Qin, Z., Tang, X., Meng, Z., Wu, Y.-T., Lyu, S.-K., Wang, Y. (2023). Conceptual design for a multi-rotor UAV based on variable paddle pitch. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37 (10), 5349–5361. <https://doi.org/10.1007/s12206-023-0936-1>
- 6 Moormann, D. (2015). DHL parcelcopter research flight campaign 2014 for emergency delivery of medication. ICAO RPAS Symposium. Montreal. Available at: <https://www.icao.int/Meetings/RPAS/RPASSymposiumPresentation/Day%20%20Workshop%20%20Technology%20Dieter%20Moormann.pdf>
- 7 Coxworth, B. (2011). Quadshot RC aircraft combines quadcopter hovering with airplane flight. Available at: <https://newatlas.com/quadshot-hovers-and-flies/19449/>
- 8 Saeed, A. S., Younes, A. B., Cai, C., Cai, G. (2018). A survey of hybrid Unmanned Aerial Vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 98, 91–105. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.007>
- 9 Gu, H., Lyu, X., Li, Z., Shen, S., Zhang, F. (2017). Development and experimental verification of a hybrid vertical take-off and landing (VTOL) unmanned aerial vehicle(UAV). 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 160–169. <https://doi.org/10.1109/icuas.2017.7991420>
- 10 Hochstenbach, M., Notteboom, C., Theys, B., De Schutter, J. (2015). Design and Control of an Unmanned Aerial Vehicle for Autonomous Parcel Delivery with Transition from Vertical Take-off to Forward Flight – VertiKUL, a Quadcopter Tailsitter. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 7 (4), 395–405. <https://doi.org/10.1260/1756-8293.7.4.395>
- 11 Six places where drones are delivering medicines (2022). *Nature*. Available at: <https://www.nature.com/articles/d41591-022-00053-9>
- 12 Drones Could Soon Deliver Medications to Your Home. *Verywell Health*. Available at: <https://www.verywellhealth.com/drones-medications-delivery-5219050>

- 13 How are Drones Used in Healthcare? News-Medical.net. Available at: <https://www.news-medical.net/health/How-are-drones-used-in-healthcare.aspx>
- 14 Drone-Enabled Pharmaceutical Delivery: Navigating Regulatory Turbulence. Available at: <https://blog.petrieflom.law.harvard.edu/2021/04/15/drone-enabled-pharmaceutical-delivery/>
- 15 How drones could change the future of healthcare delivery (2020). World Economic Forum. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2020/05/medical-drone-delivery-india-africa-modernize-last-mile/>
- 16 Mazzeo, F., de Angelis, E. L., Giulietti, F., Talamelli, A., Leali, F. (2024). Performance Analysis and Conceptual Design of Lightweight YFA for Urban Air Mobility. *Drones*, 8 (9), 507. <https://doi.org/10.3390/drones8090507>
- 17 Li, Y.; Ding, Q.; Li, K.; Valtchev, S.; Li, S.; Yin, L. A Survey of Electromagnetic Influence on UAVs from an EHV Power Converter Stations and Possible Countermeasures. *Electronics* 2021, 10, 701
- 18 Zhu,X.;Lai,J.;Chen,S. Cooperative Location Method for Leader-Follower UAV Formation Based on Follower UAV's Moving Vector. *Sensors* 2022, 22, 7125.
- 19 A. Bergdahl Electromagnetic compatibility of unmanned aircraft, Engineering Physics and Electrical Engineering, master's level, Luleå University of Technology 2022
- 20 M. S. Grewal and A. P. Andrews, *Kalman Filtering: Theory and Practice with MATLAB*. Wiley, 2015.
- 21 R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 82, no. 1, pp. 35–45, Mar. 1960.
- 22 L. Lasmadi, "Attitude Estimation for Quadrotor Based on IMU with Kalman-Filter," *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 4, no. 0, pp. 351–358, Nov. 2018.
- 23 I. Maulana and N. S. Widodo, "Sistem Pengolah Musik Sebagai Kontrol Gerak Robot Humanoid," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, p. 46, 2019.
- 24 A. Ma'arif, A. I. Cahyadi, O. Wahyunggoro, and Herianto, "Servo state feedback based on Coefficient Diagram Method in magnetic levitation system with feedback linearization," in *2017 3rd International Conference on Science and Technology - Computer (ICST)*, 2017, pp. 22–27.
- 25 A. Ma'Arif, H. Nabila, Iswanto, and O. Wahyunggoro, "Application of Intelligent Search Algorithms in Proportional-Integral-Derivative Control of Direct-Current Motor System," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1373, no. 1.
- 26 P. A. Topan, M. N. Ramadan, G. Fathoni, A. I. Cahyadi, and O. Wahyunggoro, "State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) estimation on

lithium polymer battery via Kalman filter,” in Proceedings - 2016 2nd International Conference on Science and Technology-Computer, ICST 2016, 2017, pp. 93–96.

27 G. Fathoni, S. A. Widayat, P. A. Topan, A. Jalil, A. I. Cahyadi, and O. Wahyunggoro, “Comparison of State-of-Charge (SOC) estimation performance based on three popular methods: Coulomb counting, open circuit voltage, and Kalman filter,” in Proceedings of the 2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology, ICACOMIT 2017, 2017, vol. 2018-January, pp. 70–74.

28 M. Shyamalagowri and R. Rajeswari, “Unscented Kalman filter based nonlinear state estimation case study-Nonlinear process control reactor (Continuous stirred tank reactor),” in Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2016, 2016.

29 F. A. Ruslan, A. M. Samad, and R. Adnan, “Modelling of flood prediction system using hybrid NNARX and Extended Kalman Filter,” in Proceedings - 2017 IEEE 13th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, CSPA 2017, 2017, pp. 149–152.

30 Y. Pei, S. Biswas, D. S. Fussell, and K. Pingali, “An elementary introduction to Kalman filtering,” Communications of the ACM, vol. 62, no. 11, pp. 122–133, Nov. 2019

31 A. Câmpeanu, J. Gál, “Kalman filtering applied to carrier recovery of high-order qam signals”, Politehnica University Timișoara, EURASIP 2011

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

магистрлік диссертация жұмысына

Ильяс Дәулет Максатұлы

«7M06201 – Телекоммуникация»

Тақырыбы: «Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзерлеу»

Бұл магистрлік жұмыстың зерттеу нысаны тікұшақ типті коптер болып табылады. Дәрілік заттарды тасымалдау үшін қолданылатын шағын жүктерді жеткізуге арналған гексакоптердің прототипі ұсынылған. ҰҰА прототипін сынақтан өткізу кезінде жеткізілген жүкті ұстайтын құлыптау механизмінің шайқалуы және тұрақсыз бекітілуі сияқты мәселелер анықталды және атап өтілді. Жұмыс проблемалардың себебін электромагниттік үйлесімділік мәселелері ретінде көрсетеді, осциллограф және серво сынағы арқылы сигналдарды өлшеуден тұрады және антенналар үшін Калман сүзгісін пайдалану түрінде шешімді ұсынады.

Шуды сүзу үшін Калман сүзгісі арқылы оңтайландыруға дейін және одан кейін жөндеу кезінде осциллограф пен спектр анализаторының нәтижелері көрсетілген. Сигналдың шуы сигналды декодтау кезінде компоненттердің дұрыс жұмыс істемеуіне әкелуі мүмкін. Сынақ ұшуы кезінде ҰҰА прототипі шамамен 0,2 секунд жауап кідірісін көрсетті, бұл ұшу және жеткізу дәлдігі үшін маңызды болуы мүмкін.

Бұл диссертация ұшқышсыз ұшатын аппараттарда электромагниттік кедергілерді сынаумен байланысты қиындықтарды қарастырады және осы кедергілерді еңсеру үшін шешімдерді ұсынады.

Қорытындыда диссертациялық жұмысты орындау барысында алынған нәтижелер берілген.

Ильяс Дәулеттің диссертациялық жұмысы «7M06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша техникалық ғылымдар магистрі дәрежесін беруге ұсынамын және 95 (өте жақсы) деген бағамен бағаладым.

Ғылыми жетекші
қауым профессоры, PhD, т.ғ.к

Дараев А. М.

« 9 »

2025ж

СЫН-ПІКІР

«7М06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасының магистранты

Ильяс Дәулет Максатұлы

магистрлік диссертация жұмысына

Тақырыбы: «Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзерлеу»

Орындалды:

а) теориялық және практикалық бөлімі - __ бет

б) графикалық бөлімі - __ бет

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Диссертант Ильяс Дәулет Максатұлының магистрлік диссертациялық жұмысы ЭМИ тығыздығы жоғары қалалық және қала маңындағы аудандарда электрондық компоненттердің сенімділігін арттыру үшін ЭМУ қарастыруларын зерттеуге арналған. Шуылға төзімділіктің заманауи әдістері талданып, ҰҰА қолданыс аясында ЭМУ зерттеулері жүргізілді. Зерттеулер барысындағы ақаулықтарды Калман фильтрі арқылы шешті. Калман фильтріне Matlab\Simulink жүйесінде модель құрылып, Wi-Fi технологиясы үшін Калман фильтрінің жұмыс принципі ұсынылған.

Диссертацияның құрылымы жүйелі, материалдың мазмұны мен презентациясы дәйекті. Теориялық талдау мен практикалық ұсыныстардың үйлесімі жұмыстың жоғары ғылыми деңгейде орындалғанын көрсетеді. Жұмыс тақырыбы өзекті болғандықтан және нәтижелер нақты практикалық мәнге ие болғандықтан, диссертация қорғауға толығымен лайық деп санаймын.

Жұмысты бағалау

Жалпы бағалай кетсем, егер нақты объектілерде жүргізілген эксперименттердің деректері және оны практикалық ету үшін кәсіпорындардың мүдделері туралы ақпарат толықтырылса, жұмыс тиімдірек болатынын атап өткен жөн. Қорытындылай айтқанда, диссертант өзінің білімі мен зерттеу қабілеттерін жоғары деңгейде көрсетті деп санаймын. Менің ойымша, диссертант Көпболсын М.М. «7М06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасын бойынша “техника ғылымдарының магистрі” академиялық дәрежесін алуға және «өте жақсы» (А, 90%) бағалануға лайық деп санаймын.

Рецензент

Energo University,

«Телекоммуникациялық инженерия»

кафедрасының қауым. профессоры, PhD, т.ғ.к

Ермекбаев М.М.

« 9 »

(қолы)

2025 ж.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

Вед. спец. О. Мекеев

қызметі

аты-жөні

« 9 »

01

2025 ж.

ҚазҰТЗУ 706-17 Ү. Рецензия



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

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

Автор: Ильяс Дәулет Максатұлы

Тақырыбы: Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзерлеу

Жетекшісі: Абдумажит Дараев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 5.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.4

Дәйексөз (35): 0.7

Әріптерді ауыстыру: 2

Аралықтар: 4

Шағын кеңістіктер: 2

Ақ белгілер: 0

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

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

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

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

Негіздеме:

20.01.2025 г.
Күні



Таштай Е.
Кафедра меңгерушісі

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ильяс Дәулет Максатұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзерлеу

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 5.6

Коэффициент Подобия 2: 2.4

Микропробелы: 2

Знаки из здругих алфавитов: 2

Интервалы: 4

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:

20.01.2025 г.
Дата



Таштай Е.
Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ильяс Дәулет Максатұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Ауылдық жерлерге, халықтың әлеуметтік осал топтарына дәрі-дәрмек жеткізу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарын зерттеу және әзерлеу

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 5.6

Коэффициент Подобия 2: 2.4

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 4

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:

20.01.2025 г.
Дата

Марксұлы С.
проверяющий эксперт