



ЧАСТ ОТ



ЕВРОПЕЙСКИ
ТЕХНОЛОГИЧЕН
УНИВЕРСИТЕТ

**Факултет по транспорта
Катедра „Въздушен транспорт“**

маг. инж. София Стефанова Узунова

**СВРЪХШИРОКОЛЕНТОВИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА
КОМУНИКАЦИЯ НА БОРДА НА ЛЕТАТЕЛНИТЕ АПАРАТИ И
ЛОКАЛИЗАЦИЯ НА ЦЕЛИ В УСЛОВИЯ НА СМУЩЕНИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен

"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

**Професионално направление: 5.5 Транспорт, корабоплаване и
авиация**

**Научна специалност: „Навигация, управление и експлоатация на
въздушния транспорт“**

Научен ръководител: доц. д-р. инж. Михаил Желязов

СОФИЯ,
2026 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Въздушен транспорт“ към Факултет по транспорта на ТУ-София на редовно заседание, проведено на **16.06.2026 г.**

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на **24.09.2026 г.** от **15:00** часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № **ОЖ-5.5-23 / 26.06.2026 г.** на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р Михаил Тодоров – председател
2. Проф. д.т.н. Ивайло Пандиев – научен секретар
3. Проф. д.т.н. Георги Сотиров
4. Проф. д-р Марин Маринов
5. Доц. д-р Живко Петров

Рецензенти:

1. Проф. д.т.н. Ивайло Пандиев
2. Проф. д.т.н. Георги Сотиров

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по транспорта на ТУ-София, блок 9, кабинет № 9310.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Въздушен транспорт“ на Факултет по транспорта . Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. София Стефанова Узунова

Заглавие: Свръхширококоловни технологии за комуникация на борда на летателните апарати и локализация на цели в условия на смущения

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалността на темата се определя от:

1.Търсене на нови комуникационни решения в авиацията:

Въвеждането на безжични бордови комуникации;

2.Локализация на малоразмерни цели: Нарастващата употреба на дистанционно управляеми летателни системи (ДУЛС/дронове) изисква прецизни методи за тяхното откриване и съпровождане;

3.Технологични предизвикателства: Необходимостта от синтезиране на ефективни методи за обработка на сигнали с наносекундна продължителност;

4.Липса на регламентация: В България липсва единна методологична и законова база за изследване на влиянието на СШЛ сигнали върху бордовите системи.

Цел на дисертационния труд:

Да се изследват възможностите за приложение на свръхширококоловни технологии за безжични бордови комуникации (ББК) в гражданската авиация и откриване и съпровождане на малоразмерни цели в условия на смущения.

Основни задачи:

1. Да се извърши анализ на характеристиките, областите за приложение и методите за обработка на свръхширококоловните сигнали (СШЛС);

2. Да се проектират свръхширококоловни печатни антени за безжична бордова комуникация в ЛА и симулационни изследвания в среда Matlab с верификация в Ansys HFSS при различни честотни диапазони;

3. Да се предложи методика и проведе експериментално изследване върху реален самолет на шумоустойчивостта на бордовите комуникационни системи при въздействие със свръхширококоловни сигнали;

4. Да се синтезира блокова схема на радарна система за 24 GHz и проведат практически изследвания на възможностите за приложение на свръхширококоловни сигнали за откриване на малоразмерни цели, в условия на смущения.

Научна новост:

1. Синтезирана е оригинална „Методика за проверка шумоустойчивостта на основните бордови комуникационни и навигационни системи при въздействие на СШЛ сигнали“, която не е съществувала в регламентиращите документи в Р. България;
2. Синтезиран е модифициран алгоритъм за обработка на пачка отразени СКИ, който оптимизира работата на АЦП чрез предварителен нискочестотен филтър на Найкуист (вместо традиционната Калманова филтрация);
3. Предложен е метод за подобряване формата на сондиращия импулс чрез добавяне на коригиращ правоъгълен импулс, което увеличава спектралния КПД до 2 пъти при определени честотни съотношения;
4. Разработена е 16-битова схема за презпериодно изваждане, изградена със суматори, за селекция на подвижни цели в СШЛ радары, предлагаща висока гъвкавост и по-ниска сложност спрямо FPGA (Field-Programmable Gate Array - Програмируема логическа матрица) реализациите.

Практическа приложимост:

Резултатите от труда намират приложение в:

1. Обучението: Внедряване в дисциплини като „Авиационни комуникационни системи“ и „Авиационни радиолокационни системи“ за студенти от специалност АТТ;
2. Техническата експлоатация: Използване на разработената технологична карта и протоколи при техническо обслужване на ЛА за оценка на електромагнитната съвместимост;
3. Сигурността: Разработената блокова схема на 24 GHz радар с приложение за защита на летища и критична инфраструктура от малоразмерни точкови цели (C-UAS системи).

Апробация: Дисертационният труд е докладван и обсъден на катедрен съвет на катедра “Въздушен транспорт” при ТУ – София на 16.06.2026 г.

Основните резултати и идеи в дисертацията са представени на:

- Експериментални изпитвания върху реални ЛА (Boeing и Airbus) и валидиране на проектираните антени в сертифицирана безехова камера;
- XIII Международна научна конференция „ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. СИГУРНОСТ 2025“;
- Годишна международна научна конференция на ВВВУ „Георги Бенковски“ 2025.

Публикации:

1. Sofia Uzunova – “Integration of cognitive radio and ultra-wideband technologies for intelligent self-adaptive wireless networks” subsequent publication in a journal indexed in the Scopus database, ISSN 0974-0635. Date: 22.04.2026.
2. Узунова, С. A VARIANT OF MODIFIED ALGORITHM FOR PROCESSING A PACKET OF REFLECTED ULTRAWIDEBAND PULSES - XIII Международна научна конференция „ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. СИГУРНОСТ 2025“, 01-04 септември 2025 г., ISSN 2535-0315 (Print), стр. 14-16
3. Узунова, С. PERFORMANCE STUDY OF AN ALGORITHM FOR PROCESSING A PACKET OF REFLECTED ULTRASHORT PULSES UNDER A PRIORI UNKNOWN WAVEFORM AND GAUSSIAN NOISE CONDITIONS. XIII Международна научна конференция „ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. СИГУРНОСТ 2025“, 01-04 септември 2025 г., ISSN 2535-0315 (Print), стр. 17-18
4. Узунова, С., Желязов, М. СИНТЕЗ НА АЛГОРИТЪМ ЗА РАБОТА НА РАДАР С КОМБИНИРАНО ИЗЛЪЧВАНЕ И ПОДОБРЕНИ ПАРАМЕТРИ НА ССДЦ. ГОДИШНА МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ НА ВВВУ „ГЕОРГИ БЕНКОВСКИ“ 2025, ISSN 2738-716X, стр. 292 – 302

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **163** страници, като включва, списък на използваните съкращения, списък на фигурите, списък на таблиците, списък на приложенията, увод, три раздела, заключение, списък на приносите, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература.

Цитирани са общо **146** литературни източници, като **80** са на латиница и **56** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **75** фигури, **23** таблици.

Номерата на фигурите, таблиците и приложенията в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Съдържание на дисертационния труд

Увод

Свърхшироколентовите (UWB, СШЛ) системи представляват иновативна безжична технология, която предлага различен подход в сравнение с традиционните теснолентови системи. Тази технология осигурява високоскоростен пренос на данни, ниска енергийна плътност и устойчивост на смущения, което я прави подходяща за авиационни бордови комуникации и локализация на малки цели.

Преди 2001 г. приложенията на СШЛ технология са били ограничени основно до военната сфера. Постепенно, Федералната комисия по комуникации на САЩ (FCC - ФКК) разрешава търговската употреба на честотни обхвати за СШЛ. ФКК регулира използването на честоти за СШЛ системи в диапазона от 3.1 GHz до 10.6 GHz, като минималната ширина на честотната лента е 500 MHz.

РАЗДЕЛ I.

Анализ на свръхширококоловите сигнали и методите за тяхната обработка.

1.2. Анализ и класификация на свръхширококоловите сигнали.

Използват се различни наименования на СШЛ сигнали: несинусоидални, нехармонични, нестационарни, сигнали без носеща, импулсни, моноимпулсни, свръх кратки импулси. [110, 111, 131] Има и различни определения за това, кои системи са свръхширококоловови. [8, 24, 70, 139]

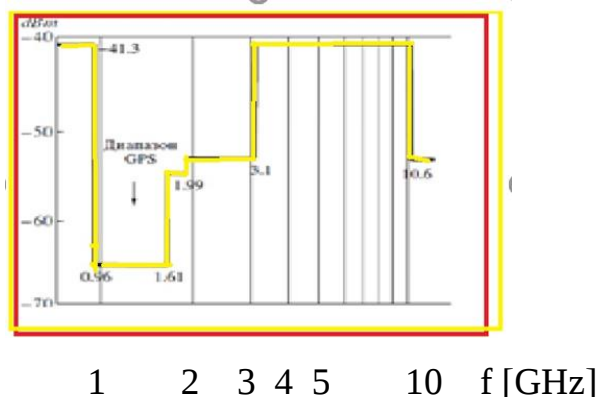
СШЛ сигнали се подразделят на три основни класа според начина на формиране:

- **Първият клас** са хаотичните сигнали, които се описват и анализират с методите на статистическата обработка. [44, 46, 110, 113, 127]

- **Вторият клас** са сигнали с носеща честота, които са модулирани със сигнали, с ширина на спектъра, близка до стойността на носещата честота.

- **Третият клас**, използващи импулсни сигнали без носеща честота и непрекъснато излъчване [44, 45, 48, 92, 94, 102, 108, 133] са намерили най-широко разпространение.

На фиг.1.1 са показани обобщените изисквания за спектралната плътност на излъчване в целия честотен диапазон съгласно ФКК на САЩ.



Фиг. 1.1. Изисквания за спектралната плътност на излъчване за СШЛ сигнали.

[24]

Както се вижда от фигурата, разрешената спектрална плътност на СШЛ устройства е в диапазона 3,1-10,6 GHz е - 41,3 dBm/MHz, или 71,3 dB/MHz.

1.3. Оценка областите на приложение на СШЛ сигнали.

Влиянието на СШЛ системи върху авиационните комуникационни системи в момента не е напълно изяснено. Различните технически и оперативни характеристики правят невъзможно категоризирането на СШЛ технология с едно описание. Разпространението на СШЛ сигнални устройства може да предизвика вредни смущения в критични за авиационната безопасност бордови системи.

Особеното приложение ще определя в коя област от честотния спектър ще работи СШЛ устройство.

- **Авиационни комуникации** - Безжичните решения за комуникации на борда на самолетите набират скорост в аерокосмическата индустрия с цел допълнително подобряване на безопасността на полетите, намаляване на разходите при производството на ЛА и ограничаване на въздействието върху околната среда.

- **Откриване и съпровождане на малоразмерни и точкови цели** - Провеждат се симулативни изследвания за това, как различните продължителности на импулсите влияят върху времевата резолюция, съотношението сигнал-шум – С/Ш (SNR) и способността на системата да проследява динамични движения на малоразмерни цели.

1.4. Анализ на популярни математически модели на сондиращи СШЛ сигнали.

Съществува голямо разнообразие от математически модели на СШЛ сигнали, но към всички тях се поставят следните три изисквания [24]:

- да нямат постоянна съставляща (1.4), т.е

$$|S(t)f| = 0 = 0 \text{ или } \int_{\text{ти}} s(t)dt = 0; \quad (1.4)$$

- да имат крайна продължителност по време (1.5) – $\tau_{\text{и}}$

$$s(0) = 0 \text{ и } s(t - \tau_{\text{и}}) = 0, \text{ за } t \geq \tau_{\text{и}}; \quad (1.5)$$

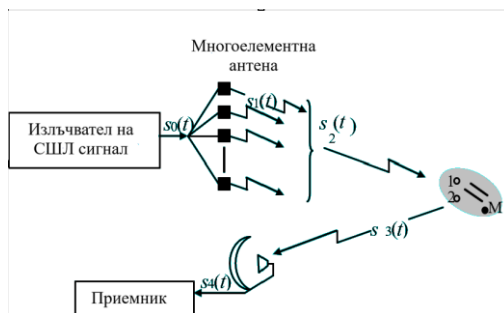
- да имат непрекъснат характер по време, т.е. да бъдат диференцируеми.

Най-прости са реалните модели, които се описват с реални математически функции. Най-обобщеното математическо описание на такива модели е:

$$s(t) = A(t) \cos(2\pi f t_c + \phi_0), \quad (1.7)$$

1.5. Анализ на промените в структурата на СШЛ сигнали след излъчване, при разпространение и приемане.

Наличието на модел на свръшироколентов сигнал е само началото на моделирането на СШЛ радар, тъй като този сигнал претърпява изменения при излъчването от антената, при разпространението във въздушна среда, при отражението от обектите и при приемането от приемната антена в условия на въздействие на пасивни и активни смущения, характерни за урбанизирана среда. То може да бъде илюстрирано чрез Фиг. 1.3.



Фиг. 1.3. Изменения на сондиращия сигнал след излъчване, разпространение и отразяване от целта при СШЛ радари. [схема - автора]

1.6 Анализ на модели на радиолокационни цели, при използване на СШЛ сигнали.

За математическо описание на радиолокационните обекти и радиолокационните системи при използване на СШЛ сигнали най-често се използват параметрични и непараметрични модели [3]. Най-използваните непараметрични модели на радиолокационни цели са „интеграла на

конволюцията“(в дискретния случай - сумата на конволюцията), моделите с изчисляване на честотните характеристики, или предавателните функции на разсейване. [8,103]

1.7. Анализ на методите за откриване и обработка на СШЛ сигнали.

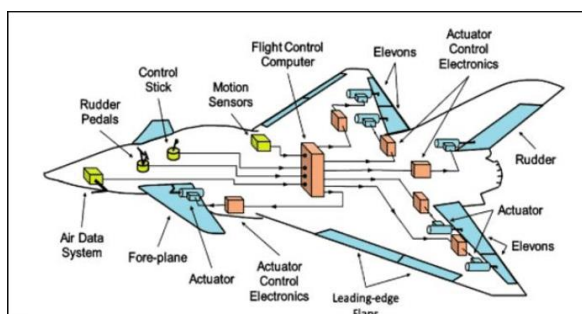
Една от основните задачи пред СШЛ радиолокация е търсенето на пътища за квазиоптимална обработка, позволяващи при откриването на обекта да се максимизира отношението сигнал-шум – S/N . [78] В задачите за разпознаване и идентификация на съпровождащите цели, проблемът за изчислителната ефективност остава на заден план, предвид ускореното развитие на цифровите технологии, като на преден план е поставена информационната ефективност. [88]

РАЗДЕЛ II.

Изследване възможностите за приложение на свръхшироколентови печатни антени за безжична бордова комуникация в авиацията.

2.2. Анализ и оценка на бордните компютърни системи (БКС).

Въвеждането на бордови компютри в гражданската авиация получава значителен импулс с интеграцията на системи от типа Fly-by-Wire. По този начин се въвежда възможност за автоматично компенсиране на нестабилности, турбулентии и грешки от страна на човешкия фактор, което революционизира съвременната концепция за сигурен полет (АС_25-22) ("Introduction to Avionics Systems" – R. Collinson).

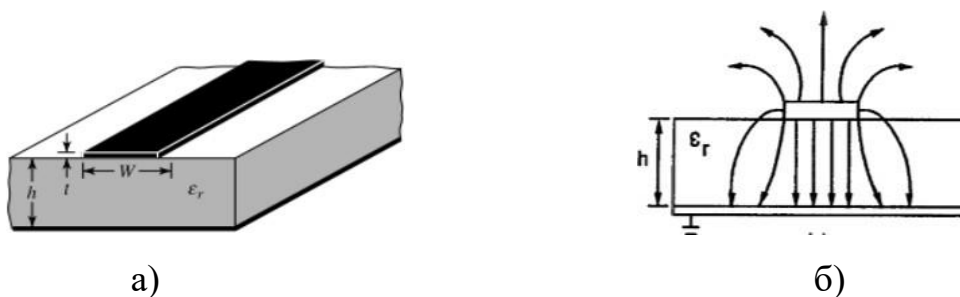


Фиг. 2.1. Работа на Fly-by-Wire система; [31]

2.3. Проектиране на печатни антени на 5,8 GHz и 6,5 GHz за осигуряване на бордова комуникационна връзка с подобрени показатели за качество.

На практика панел с 12×12 елемента, изработен като печатна платка, показва сканиране на лъча в рамките на $\pm 45^\circ$ при 5,8 GHz и приемливо ниво на страничните ленти. Тези антени се използват и при свръхвисоки честоти.

Микролентовите антени се наричат още лепенки. Излъчващата лепенка може да бъде квадратна, правоъгълна, диполна, кръгла, елиптична, триъгълна и т.н. На фиг.2.6. е показана микролентова линия с два слота, с ширина W , на разстояние L - а) и картина на електрическите линии на полето –б):



Фиг.2.6. Микролентова линия с два слота, с ширина W , на разстояние L - а);

Картина на електрическите линии на полето – б):[11]

Антените, използвани в авиацията, трябва да бъдат конструирани с оглед на определени спецификации, включително устойчивост на вибрации, температурни промени и контакт с метални повърхности.

2.4. Изчислителни процедури и избор на основните параметри на микролентова печатна антена за честоти 5.8 GHz и 6.5 GHz.

Разгледани са алгоритмичният процес и математическият модел за изграждане на правоъгълна микролентова пач антена, базирана на зададени входни технически параметри. Реализацията на математическият модел е изготвена в MATLAB среда, използват се аналитични изрази и числени техники при определяне на основните електрически и геометрични свойства на антената. Зададени са две основни работни честоти - 5.8 GHz и 6.5 GHz, което реализира разликата при проектиране на антена при едночестотния метод. Избора на тези стойности е обоснован от необходимостта от сравняване на антени, произведени за различни честотни диапазони, подходящи за безжични и авиационни приложения.

За реализиране на изчисленията е използван MATLAB код, който автоматизира изчисляването на основните параметри като резонансна честота, входен импеданс и размери на пача.

Проектирането използва двойна стратегия - числено симулиране с MATLAB и аналитична техника, предвид целите на проекта, които изискват надеждна първоначална оценка, и потенциал за по-нататъшно развитие чрез реалистични симулации.

Резултатите, получени след изчислителните процедури по-горе, са показани в таблица 2.1.

Таблица 2.1

Параметър	5.8 GHz	6.5 GHz
λ_0 (във въздух)	51.72 mm	46.15 mm
λ_d (в пача)	36.27 mm	32.37 mm

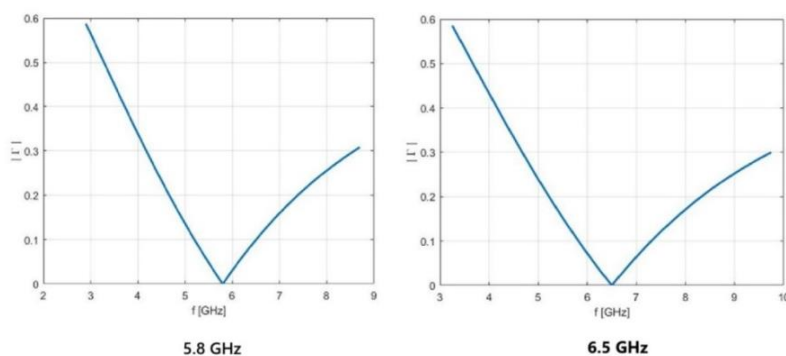
2.5. Симулационни изследвания в среда MATLAB и ANSYS HFSS, оценка на получените резултати, избор на подходящо приложение в авиационната индустрия и общ вид на проектираната антена.

В изследването са включени основните фактори като: коефициент на стояща вълна (VSWR), входен импеданс, насоченост и насочено действие, ефективност на излъчване, коефициент на отражение и други важни параметри.

За двете честоти всеки параметър се анализира и оценява независимо.

Обект на изследването са два варианта на антени, предназначени за работа на честоти от 5.8 GHz и 6.5 GHz.

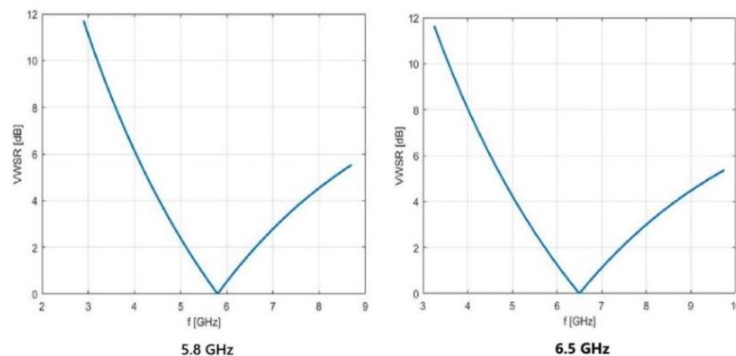
Коефициент на отражение $|\Gamma(f)|$



Фиг. 2.13 Графика на коефициента на отражение.

Коефициентът на отражение $|\Gamma(f)|$ - Фиг. 2.13 е основен показател, който показва каква част от мощността, изпратена към антената, се отразява обратно към генератора поради несъответствието между антената и захранващата линия.

Коефициент на стояща вълна (VSWR)



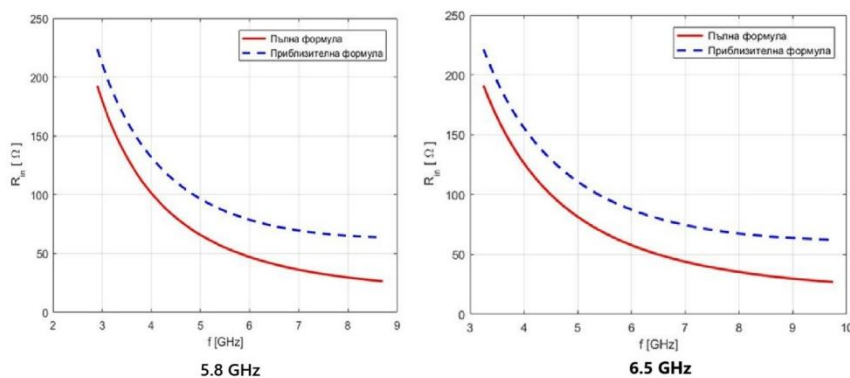
Фиг. 2.14. Графика на коефициента на стояща вълна

Важен индикатор за загубите от съгласуване между източника и антената е KCB (VSWR) – Фиг.2.14, като **стойност по-малка от 2 се счита за задоволителна**.

Резултатите от графиките на MATLAB показват:

- В честотния диапазон от 5.2 до 6.6 GHz, VSWR остава под 2, което предполага добър пренос на енергия с малко отражения;
- Съответният резултат за антената, проектирана за 6.5 GHz, показва KCB под 2 в диапазона 5.8–7.3 GHz, като оптималната стойност е регистрирана при 6.6 GHz.

Входен импеданс $R_{in}(f)$

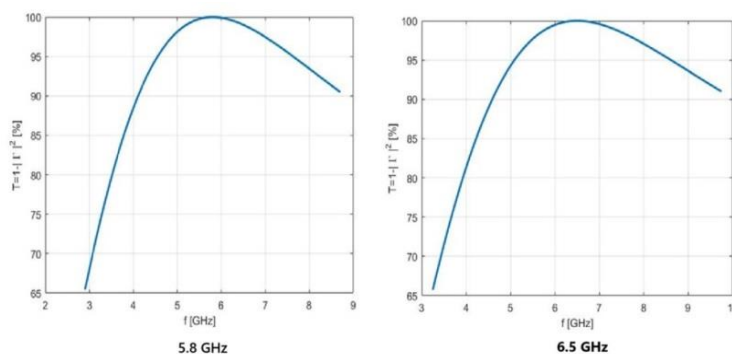


Фиг. 2.15. Графика на коефициента на входния импеданс

Един от най-важните фактори при оценката на съгласуването, който определя съотношението ток/напрежение на точката на захранване, е входният импеданс – Фиг. 2.15.

Тъй като импедансът на типична микролентова линия е $50\ \Omega$, то тази стойност се приема за оптимално съгласуване.

Ефективност на антената



Фиг. 2.16. Графика, показваща ефективността на антената

Процентът на предаваната мощност, която действително се излъчва, без да се губи като топлина в проводниците или диелектрика, **е известен като ефективност на антената** - Фиг. 2.16. и е рисков параметър при проектирането на антени за безжични системи.

Ефективността достига около 94-95% за антената, работеща на 5.8 GHz, и достига максимум от 97.7% при 5.9 GHz..

Анализ на резултатите след симулациите:

Потвърдена е много висока степен на съответствие между HFSS симулациите и аналитичния дизайн, реализиран в MATLAB.

Конструкция и общ вид на проектираната антена:



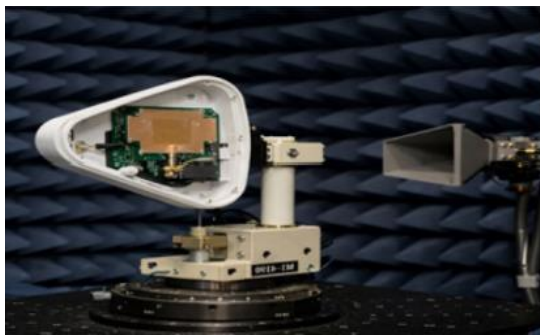
Фиг. 2.18



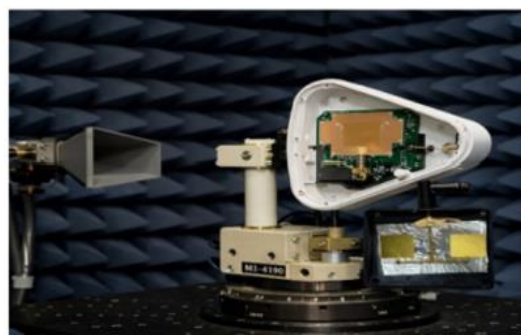
Фиг.2.19



Фиг. 2.20



а)



б)

Фиг. 2.21 – а), б) Опитна постановка за тестване на проектираната антена

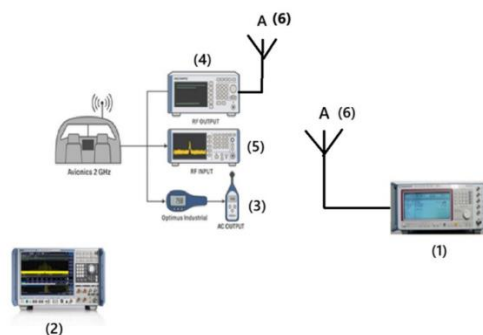
Антената е добре съгласувана при 5.8 GHz със $S_{11} = -26.2$ dB, и 6,5 GHz със $S_{11} = -25.1$ dB; Измереното максимално усилване е 7.4 dBi и 6.9 dBi съответно; Поляризацията е линейна. Измерванията са извършени в съответствие с ETSI EN 300 440 и ETSI EN 302 502

Заключение за сертификация: На база проведените измервания и анализи се заключава, че изпитваната антена е съвместима с приложимите ETSI и FCC регулаторни изисквания за работа в ISM обхвата 5.8 GHz - 6.5 GHz.

2.6. Методика за измерване шумоустойчивостта на БКС при въздействие със свръхшироколентови сигнали на борда на ЛА.

Предлага се провеждането на експериментално изследване, което за последно е провеждано през 2012 год. в САЩ с публикувани резултати - (виж. Раздел 2.1).

На територията на Република България не е провеждано подобно изследване.



Фиг. 2.23. Схема на свързване на устройства, необходими за провеждане на експеримента

- (1) - Сигналгенератор на шумови сигнали;
- (2) – Крайно измервателно устройство;
- (3) – Шумомер;
- (4) – Спектроанализатор;
- (5) – Форма на сигнала върху екрана на спектроанализатора;
- (6) – Приемопредавателна антена за 5.725–5.875 GHz./n и 6.489 – 6.524 GHz./n.

Резултати след провеждане на експеримента:

Проведено е тестване на въздействието на свръхширококоловите активни антени (проектираните антени – 2бр.) на честота 5.8 GHz върху системите на самолет Boeing 737-200, Airbus A – 320, като източникът на СШЛ сигнал е с вътрешна батерия от 9V и вътрешен часовник от 10 MHz, свързан с проектираната по-горе антена, настроена за честотния диапазон на радио системата на самолета, която е оценявана. Спектралният анализатор и антените са проверени и са в съответствие с графика за калибриране.

•**VHF Voice Communication:** Разговора е инициран и поддържан между бордова VHF радио система на летателния апарат и преносимо VHF радио.

По време на разговора е наблюдавано незначително влияние на източника на СШЛ сигнал върху качеството на звука на бордовата комуникационна система.

•**ILS Localizer:** Местният ILS локализаторен маяк в района на летището не е прихванат от самолета в мястото на провеждане на теста.

Инструментите в кабината не са показали никаква информация от ILS локализатора. Наблюдавани са негативни ефекти - премигване на дисплея и неустойчива работа на системата при въздействието на свръхширококоловите системи.

•**VOR:** Местният VOR маяк в района на ПИК е успешно прихванат от самолета на мястото на теста.

Инструментите в кабината са показали съответната навигационна информация за дадения радиомаяк. Не са наблюдавани афекти от въздействието на свръхширококоловите сигнали.

• **АТС и TCAS:** Индикаторната лампа „АТС Fail“ на дисплейния панел в пилотската кабина е светнал, а на дисплея на TCAS са изчезнали близко разположените цели при включване на свръхширококоловия сигнал.

Ръчен, нискомощен свръхширококолов предавател може да смуцава радиосистемата на TCAS, АТС, ILS локалайзера и глосадния канал на самолетите. Измерването е проведено на самолет Boeing 737 - 200 при нива, достигащи – 41 dBm. При по-малките летателни апарати има вероятност от възникване на смущения и при по-ниски нива на мощността на СШЛ сигнал.

Направени са и демонстрационни реализации на безжична сензорна мрежа (WSN), инсталирана в **Airbus A-320**. Резултатите от тази тестова платформа подчертават потенциала на UWB за използване на борда на самолета и очертават предстоящите решения на отчетените проблеми.



Фиг.2.31. Безжични решения за комуникации на борда на ЛА и свързаност с интернет – 5G, 6G.

СШЛ комуникационна технология предлага широк честотен обхват и нейната непрекъсната еволюция чрез обединяването с други технологии обещава да отключи нови направления в бъдеще. Технологията с ултраширококолов сигнал е обещаваща реализация на вътрешно - самолетни комуникации.

РАЗДЕЛ III.

Изследване възможностите за приложение на свръхширокополосните радиолокационни сигнали за откриване и съпровождане на малоразмерни цели в условия на смущения.

3.2 Синтез на блокова схема на радар на 24 GHz за откриване и съпровождане на точкови и малоразмерни цели.

Свръхширокополосният (UWB – Ultra-Wideband) радар на честота 24 GHz е съвременна технология, използвана за откриване, проследяване и класифициране на обекти.

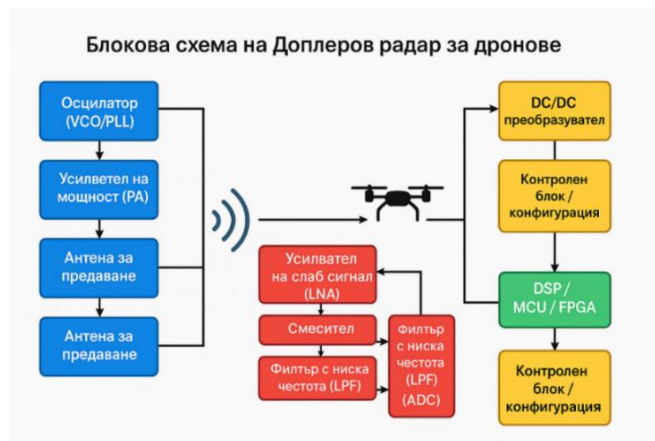
Характеристики при откриване на малоразмерни и точкови цели:

Таблица 3.1

Характеристика	Обяснение
Далечина на откриване	Зависи от мощността и RCS (радиолокационно сечение) на дрона. Обикновено до 1–2 км за малки дроне.
Минимален размер на дрон	Възможно е засичане на дроне с размер под 30 см, благодарение на високата разделителна способност.
Откриване при ниски височини	Подходящ за близко разположени цели, летящи на малка височина – трудно откриваеми с класически радари.
Работа в сложни условия	Независим от времето в денонощието и до голяма степен устойчив на атмосферни влияния.
Възможност за 3D позициониране	При използване на няколко радара или фазиращи пасивни или активни антенни решетки.

Приложения:

- Защита на летища, електроцентрали, правителствени сгради и други отговорни зони;
- Военни и тактически системи за ПВО;
- Системи за **counter-UAS** (срещу БПЛА и дроне) – откриване, проследяване, насочване на средствата за управление, насочване и неутрализация;



Фиг. 3.1. Примерна блокова схема на радар на 24 GHz, подходяща за доплеров или FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) радар (сх. – AI)

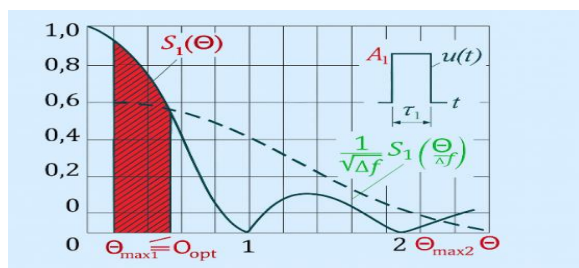
3.3. Метод за подобряване формата на излъчен (сондиращ) импулс в свръхширококолентов радар.

В този подраздел е предложен метод за подобряване на формата на сондиращия импулс, с помощта на който се избягва недостатъка, описан по-горе. След прилагане на метода се повишава ефективността на антената и намаляват енергийните загуби.

Тези загуби трябва да се отчитат, когато се оценяват енергийните показатели на свръхширококолентовата РЛС. За целта се използва спектрален КПД $\eta_{\Delta f}$, който е основната част на КПД на предавателното устройство на радара. Този КПД определя относителната част от енергията на сондиращия импулс, която попада в работния диапазон на честотите на антената.

Целта е да се предложи метод за получаване на максимален спектрален коефициент за някои сравнително прости форми на основния и коригиращия сондиращи импулси, намерили приложение в СШЛ РЛС.

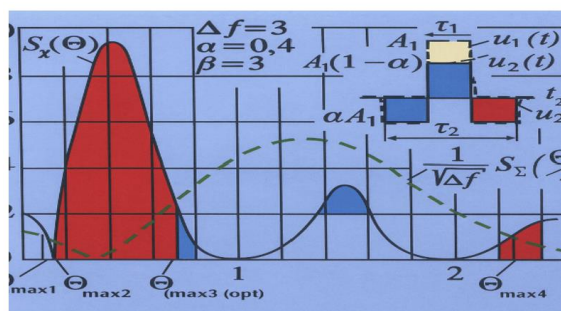
Не се привеждат обаче аналитичните изрази за добре познатите форми на видеоимпулсите и техните спектри. Всички числени стойности са получени по метода на математическото моделиране.



Фиг. 3.3. Графично решение за правоъгълен СКИ импулс при зададена Δf [84]

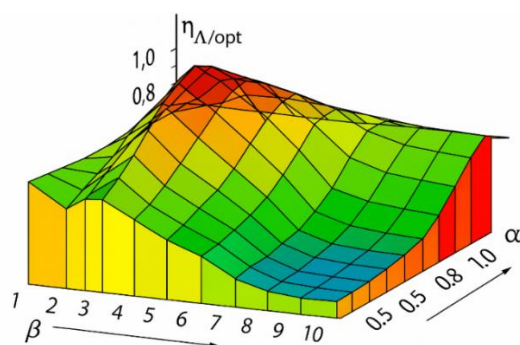
Като пример на фиг. 3.3. е показано общото решение за импулс с правоъгълна форма при $\Delta f = 2,5$. Отбелязани са екстремните стойности на $\theta_{\max}$.

На фиг. 3.7. е показан коригиран импулс, формиран с помощта на основен и коригиращ импулс с правоъгълна форма. Също така е показан и спектър за $\alpha = 0,4$ и $\beta = 3$. Избрано оптимално значение - $\theta_{\max opt} = 0,71$.



Фиг.3.7. Коригиран импулс, формиран с помощта на основен и коригиращ импулс с правоъгълна форма. [84]

На фиг.3.8. е показана зависимостта на най-големите стойности на $\eta_{\Delta f opt}$ от параметрите α, β за $\Delta f = 3$.

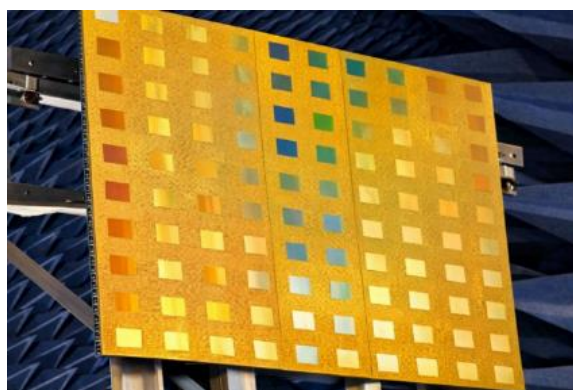


Фиг. 3.8. Зависимост на най-големите стойности на $\eta_{\Delta f opt}$ от параметрите α, β за $\Delta f = 3$.

При сравнението на получените стойности с аналогични стойности при еднополярни импулси следва, че за сметка на корекция на формата на импулса, спектралния КПД може да бъде съществено увеличен, обаче ефективността от увеличаването е толкова по-голяма, колкото е по-малка величината Δf .

3.4 Синтез на приемо – предавателна антена за 24 GHz.

На фиг.3.11 е показана антенна решетка 10x10, настроена на 23.225 - 24.325 GHz за пространствена локация.



Фиг.3.11. Антенна решетка с 10x10 елемента, за междупространствена комуникация и експериментално изследване на радарна система.

[снимка - експериментален център, безехова камера]

Оценка качествените показатели на антената след проведената симулация.

След анализ на получените след симулацията графики, могат да се направят следните заключения:

1. Първият страничен лист е при - 13 dB, независимо от броя на елементите. Това е така заради наличието на функцията $\sin$ във формулата за фактора на масива;
2. Страничните листи намаляват, ако се намалят усилванията на отделните пачове, както и нивото им намалява при увеличаване на броя на елементите, но увеличаването на елементите води и до увеличаване на броя на страничните листи;

3. Ширината на главния лъч се стеснява при увеличаване на броя на пачовете.

От изложеното следва, че антенната решетка е съвкупност от антенни елементи, които събрани заедно, образуват ефективен модел на излъчване с един основен насочен лъч.

Предимство на този тип антени е, че бързо може да се премине от режимна излъчване към режим на приемане.

3.5. Синтез на предварителен съгласуван филтър за компенсация на пасивните смущения с приложение в СШЛ радар.

Кохерентните радары използват последователности от радиоимпулси, началната фаза на които е постоянна или се изменя по определен закон.

При обработката на сигнала се използва постоянството на фазата за реализация на синхронно детектиране и оптимална филтрация. [71]

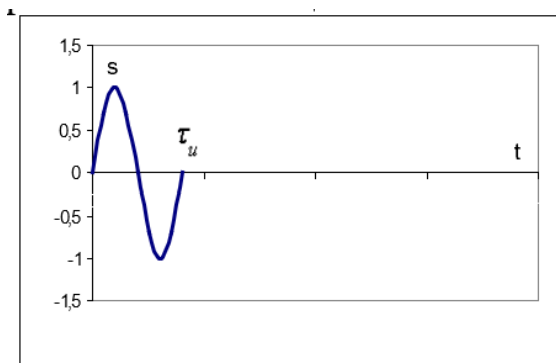
Импулсната характеристика на съгласувания филтър СФ - $g(t)$, която осигурява максимално отношение сигнал/шум на изхода на приемника, трябва да бъде съгласувана с някакъв еквивалентен сигнал $x_e(t)$, и да удовлетворява следното условие:

$$g(t) = x_e(t_0 - t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(w)}{S_n(w)} e^{[iw(t-t_0)]} \quad (3.5)$$

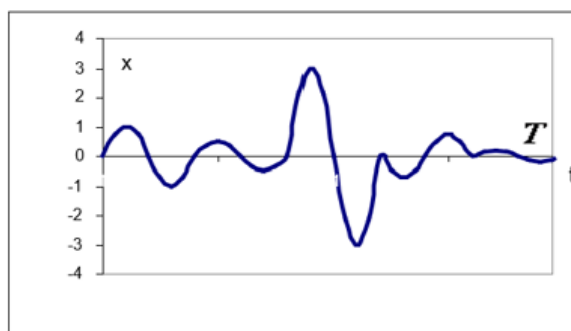
където:

- t_0 – време за наблюдение на сигнала.

Съгласуваният филтър, изграден на НЛВП трябва да се синтезира така, че неговата импулсна характеристика да отговаря на вече посочените начални условия. Когато импулсната характеристика на целта е известна, СФ може да бъде настроен на нея. При това биха могли да се решат едновременно и двете задачи – задачата по откриване и задачата по разпознаване на целите.

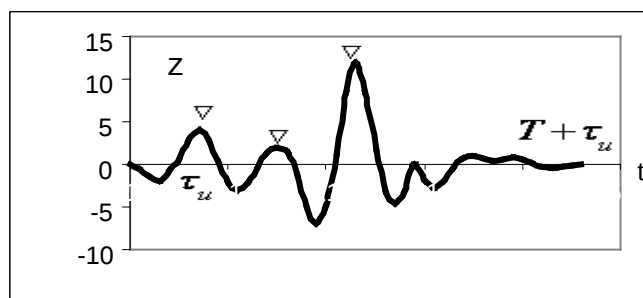


Фиг. 3.15. Общ вид на
сондиращ сигнал. [98]



Фиг. 3.16 СШЛ отразен сигнал. [98]

На Фиг.3.17. е показан подобен сигнал, формиран на изхода на съгласувания филтър, (с триъгълници са обозначени максимумите на корелационните функции)



Фиг. 3.17 Сигнал на изхода на съгласувания филтър, съгласуван със сондиращия
сигнал. [98]

От получените графики е видно, че стойностите на максимумите не са се променили особено, и тяхното местоположение по времевата ос на практика е постоянно.

Тези резултати показват, че в така предложеният предварителен съгласуван със сондиращия сигнал филтър се получава компенсиране на пасивното смущение. По-нататъшните изследвания показват че е напълно възможно повишаването на отношението сигнал/шум с 5-6 dB.

3.6. Синтез на шестнайсетбитова схема за презпериодно изваждане в системата за селекция на подвижни малоразмерни цели (ССДМЦ) в свръхширококолов радар, изградена със суматори.

В схемата няма делители и усилватели на напрежение, тъй като всички напрежения са съгласувани. Входящият модул на АЦП е конструиран в съответствие с препоръчаното в документация на съответния АЦП. Програмираният часовник - ICS525-01 работи при захранващо напрежение 3,3V, неговото високо ниво на изходното напрежение (логическата единица) е $3,3 - 0,4 = 2,9V$.

Схемата се състои от:

- програмируем часовник - ICS525-01 който генерира честота за АЦП LTC2203;
- кварцов генератор, който генерира честотата на часовника;
- четири четири-битови брояча - 74HC161, необходими за записване на информацията в адреса на паметта от АЦП;
- двупортова статична асинхронна оперативна памет - 70V9389PF с капацитет 64K x 16 бита;
- четири четирибитови суматора - CD54HC283;
- три инвертора - 74HCT140.

Принцип на работа на схемата:

• Сигналът на фазовия детектор се подава към АЦП, където се преобразува в цифрова 16-битова дума, честотата на сеплиране за АЦП се генерира от програмируем часовник ICS525-01, който при входен сигнал с честотата 15, MHz от кристалният осцилатор и установена логическата единица на съответните пинове.

• Ако честотата на кварца е 15 MHz и необходимата изходна честота е 3 MHz, необходимо е да се приложи нивото на логическата единица към пинове V2, R3, R1. (За да се определят пиновете се използва компютърна програма, създадена от производителя на часовника).

- За адресиране на паметта се изискват четири брояча на четири бита, когато часовникът генерира честотата на дискретизация, адресът се увеличава и съответно, когато се прилага период на повторение (към входовете за reset), адресът се нулира. [138]

- По адреса, определен от броячите, се записва шестнадесетбитова дума от АЦП. За да се извърши изваждането, с помощта на суматори на думата от изхода на АЦП и думата, задържана от паметта на един период на повторение, е необходимо да се превърне думата, задържана от паметта, в допълнителен код. [17]

- За да се направи това, първо е необходимо да тя да се инвертира, като се използват трите инвертора - 74НСТ140, след което към ниския бит на суматора се прибавя бит за пренесяне (carry bit) (високо логическо напрежение на входа C_{in} на младшия суматор).

- Това действие е аналогично на добавяне на двоична единица. По този начин, на всеки суматор CD54НС283 постъпват четири бита от изхода на АЦП и закъснелите четири бита от изхода на паметта, които се сумират, а на изхода на системата се получава шестнадесетбитова разлика в думите. [17]

3.7. Синтез на алгоритъм за обработка на пачка отразени свръхкратки импулси.

В тази част от изследването е синтезиран вариант на модифициран алгоритъм за измерване времезакъснението на отразен от малоразмерна (точкова) цел сигнал, при използване на свръхширококоленова (СШЛ) последователност от свръхкратки (СКИ) сондиращи импулси. Изследването е продължение на редица публикации посветени на възможностите за намаляване броя на операциите при дискретизация на отразения сигнал в АЦП и повишаване разделителната способност на радара. При синтезирането на алгоритъма ще се използва СШЛ отразен сигнал с известна - „камбанообразна“ форма на обвиващата.

Едно от предизвикателствата при обработката на приетите СКИ сигнали е необходимостта от бързодействащи и скъпи аналого-цифрови преобразователи (АЦП) и голям обем от ресурси, което прави невъзможна обработката на отразените от целта СКИ, често с продължителност от няколко пикосекунди, в реално време.

3.8 Изследване на свръхширококолов радар за откриване и съпровождане на точкови и малоразмерни цели.

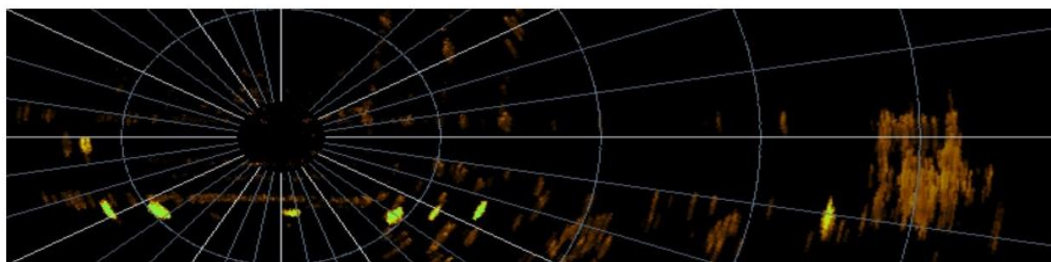
Практическите експериментални изследвания са проведени със свръхширококолов радар с непрекъснато излъчване „PXG-XCW Дрон“ с фазирана антенна решетка за откриване и съпровождане на малоразмерни и точкови въздушни нисколетящи цели:



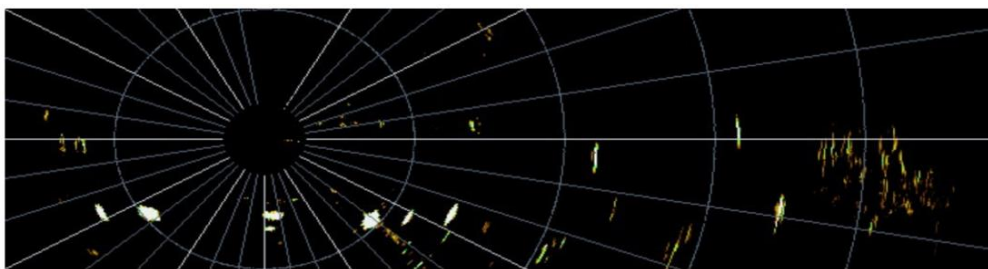
Фиг. 3.31. 3D радар с фазирана антенна решетка, плот-екстрактор и индикатор за кръгов обзор

Цел на експеримента:

Постигане на висока производителност и точност при прецизно откриване и проследяване на малоразмерни и точкови въздушни и наземни цели в голям диапазон на височина, включително малки и гранично малки височини, и защита от заглушаване, благодарение на прилагането на нови технически решения.



Фиг.3.35. Фазов канал за обработка на ехото с филтър на Найкуист.



Фиг.3.39. Ехо сигнал, който се получава след изваждане на фона от полученото ехо, съответно за фазовия канал.

Основната разлика от вторичните радари е в това, че в качеството на източник на отразен сигнал е устройство, което, заедно с излъчения сигнал образува „сложен“ сигнал. Този сложен сигнал е много близък по структура с шумоподобен сигнал, който пък, от своя страна е напълно детерминиран за приемното устройство.

3.9 Протокол, методика за провеждане на експеримента и оценка на получените резултати.

Методика за провеждане на експеримента:

Настройка:

1. позициониране на радарната система на стабилна основа или превозно средство;
2. калибриране на антената/модулите (ако такава се изисква);
3. проверка на спектралния фон – за определяне на шумовата основа (baseline).

Провеждане:

1. излитане на тестов дрон от определено място и зададена височина;
- засичане на RF активност от радара;
- потвърждение от EO/IR видеокамера.

Измерване на:

1. разстояние на откриване;
2. ъглова резолюция;
3. чувствителност при нисък RCS.

Запис на всички данни: координати, скорост, височина, SNR.

В заключение е направено сравнение на основните характеристики на радар – немско производство и радар от типа „свръхширококолентов радар за откриване и съпровождане на нисколетящи малоразмерни (точкови) цели“ - **PXG-CCW-Дрон** - опитен образец с *вградени модули, подробно описани в дисертацията и публикувани на наши и международни форуми (виж Списък с публикации по темата на дисертацията).*

Заключение.

Свръхширококолентовите (Ultra-Wideband, UWB, СШЛ) системи представляват съвременна безжична технология, която се отличава съществено от класическите тесноколентови комуникационни и радиолокационни системи по принципите на сигнално формиране, методите за обработка и техническата реализация.

Актуалността на изследването се определя от нарастващите изисквания към надеждността, точността и сигурността на комуникационните системи в авиационна среда и радиолокационните системи за откриване и съпровождане на малоразмерни и точкови цели в шумова обстановка.

Обект на изследването са възможностите за използване на свръхширококолентовите радиокомуникационни и радиолокационни системи. Предмет на изследването са методите за формиране и обработка на СШЛ сигнали.

ПРИНОСИ НА ДОКТОРАНТА

маг. инж. София Стефанова Узунова.

Научно - приложения:

1. Създадена е оригинална методика за проверка шумоустойчивостта на основните бордови комуникационни и навигационни системи на летателните апарати, при въздействие със свръхширококолентови шумови сигнали, съгласно действащите стандарти.
2. Използвани са съвременни програмни продукти - MATLAB и Ansys HFSS за верификация на резултатите от изчисленията и симулациите.
3. Проведен е експеримент, изготвена е технологична карта и протокол за оценка на получените резултати.
4. Синтезирани са устройства, в състава на блокова схема на кохерентен радар. Работоспособността им е доказана от получените резултати след проведени експерименти с модел на мобилен радар.

Приложения:

1. Литературната справка и синтезираните устройства позволяват актуализиране на учебния материал по редица дисциплини.
2. Получените резултати са реално приложими при създаването на лабораторни упражнения по различни теоретични дисциплини.
3. Синтезираната методика е от отворен тип и позволява по - нататъшни изследвания в авиационните комуникации.
4. Постигнатите резултати и направените изводи са приложими за подобряване характеристиките на радарните и комуникационни системи, с приложение на свръхширококолентови технологии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам своята искрена признателност и благодарност на научния си ръководител доц. д-р инж. Михаил Петков Желязов за търпението, ценните напътствия и препоръки при съвместната ни работа по дисертацията.

Благодарност към отдел НИС при ТУ – София за оказаното съдействие при подготовката на дисертационния труд по проект № 242ПД0018-04 „В помощ на докторанта“ .

Благодаря на колегите от базите за поддръжка на авиационна техника за помощта, която ми беше оказана при провеждането на експерименталните изследвания и верифицирането на резултатите.

Искрено благодаря на представителите на бизнеса за насоките и оказаното съдействие за провеждането на експерименталните изследвания със специализирана техника.

Благодарности изказвам и на колегите от факултета по транспорт, които ме подкрепяха по време на разработването на дисертацията.

ANOTATION

Topic: "Ultra-Wideband Technologies for On-Board Aircraft Communication and Target Localization under Interference Conditions"

Author: MSc. Eng. Sofia Stefanova Uzunova

The dissertation addresses the growing need for wireless airborne communication (WAC) solutions in aviation and the increasing challenge of localizing small-sized targets, such as Unmanned Aircraft Systems (UAS), which require high-precision tracking methods. The primary objective of the study is to explore the applications of Ultra-Wideband (UWB) technology for both civil aviation communications and the detection/tracking of small targets under interference conditions. To this end, UWB patch antennas for 5.8 GHz and 6.5 GHz were designed using MATLAB and Ansys HFSS. Additionally, an experimental methodology was developed to test the noise immunity of aircraft systems (such as the Boeing 737 and Airbus A-320) when exposed to UWB signals. Finally, a 24 GHz radar system was synthesized for small target detection and the optimization of UWB pulse shapes.

The research presents several original scientific and applied contributions:

A specialized methodology was synthesized to check the noise immunity of critical aircraft communication and navigation systems against UWB interference, filling a gap in existing Bulgarian regulations.

A modified algorithm for processing reflected UWB pulses was developed using a Nyquist low-pass filter, which optimizes Analog-to-Digital Converter (ADC) performance more effectively than traditional Kalman filtration.

Testing on real aircraft revealed that while VHF voice communication remained largely unaffected, UWB signals could cause instability in ILS Localizer systems and trigger "ATC Fail" warnings. The designed patch antennas demonstrated high efficiency (up to 97.7%) and a strong correlation between simulations and physical tests.

Radar studies focused on the PXG-XCW drone prototype, proving the system's ability to detect targets smaller than 30 cm at low altitudes.

The results are applicable in technical maintenance for electromagnetic compatibility assessments, airport security (C-UAS systems), and the modernization of aviation engineering curricula for both Bachelor's and Master's degree programs.



**Faculty of Transport
Department of Air Transport**

MSc. Eng. Sofia Stefanova Uzunova

**ULTRA-WIDEBAND TECHNOLOGIES FOR ON-BOARD AIRCRAFT
COMMUNICATION AND TARGET LOCALIZATION UNDER
INTERFERENCE CONDITIONS**

Author's summary

of dissertation for the acquisition of an educational and scientific degree

"PhD Student"

Field: 5. Technical Sciences

Professional Direction: 5.5 Transport, Shipping and Aviation

**Scientific specialty: "Navigation, management and operation of air
transport"**

Scientific Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Eng. Mihail Zhelyazov

Sofia,
2026

The dissertation has been discussed and recommended for defense by the Department Council of the "Air Transport" Department at the Faculty of Transport of the Technical University of Sofia during a regular meeting held on June 16, 2026.

The public defense of the dissertation will take place on **24.09.2026** at **15:00** in the Conference Hall of the BIC (Business and Innovation Center) at the Technical University – Sofia, during an open session of the scientific jury, appointed by Order No. OZH-5.5-23 / 26.06.2026 of the Rector of TU-Sofia, consisting of:

1. Prof. Mihail Todorov, PhD – Chairman
2. Prof. Ivaylo Pandiev, D.Sc. – Scientific Secretary
3. Prof. Georgi Sotirov, D.Sc.
4. Prof. Marin Marinov, PhD
5. Assoc. Prof. Zhivo Petrov, PhD

Reviewers:

1. Prof. Ivaylo Pandiev, D.Sc.
2. Prof. Georgi Sotirov, D.Sc.

The defense materials are available to interested parties at the office of the Faculty of Transport of TU-Sofia, Block 9, Office No. 9310.

The candidate is a full-time PhD student at the "Air Transport" Department of the Faculty of Transport. The research for the dissertation was conducted by the author, with some of the studies supported by scientific research projects.

Author: MSc. Eng. Sofia Stefanova Uzunova

Title: Ultra-Wideband Technologies for On-Board Aircraft Communication and Target Localization under Interference Conditions

Print run: 30 copies

Printed at: IPC (Editorial and Publishing Center) of the Technical University – Sofia

I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

The relevance of the topic is determined by:

1. **Search for new communication solutions in aviation:** The introduction of wireless on-board systems.

2. **Localization of small-sized targets:** The growing use of remotely piloted aircraft systems (RPAS/drones) requires precise methods for their detection and tracking.

3. **Technological challenges:** The necessity of synthesizing effective methods for processing signals with nanosecond duration.

4. **Lack of regulation:** Bulgaria lacks a unified methodological and legal framework for researching the impact of UWB (Ultra-Wideband) signals on on-board systems.

Goal of the dissertation:

To investigate the possibilities for applying ultra-wideband technologies for wireless avionics communications (WAC) in civil aviation and for the detection and tracking of small-scale targets under interference conditions.

Main tasks:

1. To perform an analysis of the characteristics, application areas, and processing methods of ultra-wideband signals (UWBS).

2. To design ultra-wideband patch antennas for wireless onboard communication in aircraft and conduct simulation studies in a Matlab environment with verification in Ansys HFSS at different frequency ranges.

3. To propose a methodology and conduct an experimental study on a real aircraft regarding the noise immunity of onboard communication systems when exposed to ultra-wideband signals.

4. To synthesize a block diagram of a 24 GHz radar system and conduct practical research on the application possibilities of ultra-wideband signals for detecting small-scale targets under interference conditions.

Scientific Novelty

1. An original "Methodology for testing the noise immunity of the main on-board communication and navigation systems under the influence of UWB signals" was synthesized, which did not previously exist in the regulatory documents of the Republic of Bulgaria.

2. A modified algorithm for processing a packet of reflected ultra-short pulses (USP) was synthesized, which optimizes ADC performance through a preliminary Nyquist low-pass filter (instead of traditional Kalman filtration).

3. A method for improving the shape of the sounding pulse by adding a corrective rectangular pulse is proposed, which increases spectral efficiency by up to 2 times at certain frequency ratios.

4. A 16-bit inter-period subtraction scheme, built with adders, was developed for moving target selection in UWB radars, offering high flexibility and lower complexity compared to FPGA (Field-Programmable Gate Array) implementations.

Practical Applicability

The results of the work find application in:

1. Education: Implementation in disciplines such as "Aviation Communication Systems" and "Aviation Radar Systems" for students in the "Aeronautical Engineering and Technology" (ATT) specialty.

2. Technical Operation: Use of the developed technological map and protocols during aircraft maintenance for electromagnetic compatibility (EMC) assessment.

3. Security: The developed block diagram of a 3D radar with AESA technology is applicable for the protection of airports and critical infrastructure from small-sized point targets (C-UAS systems).

Approbation: The dissertation was reported and discussed at the Department Council of the "Air Transport" Department at the Technical University of Sofia on **June 16, 2026**.

The main results and ideas of the dissertation were presented at:

- Experimental tests on real aircraft (Boeing and Airbus) and validation of the designed antennas in a certified anechoic chamber.
- XIII International Scientific Conference "TECHNIQUE. TECHNOLOGIES. EDUCATION. SAFETY 2025".
- Annual International Scientific Conference of the "Georgi Benkovski" Air Force Academy 2025

Publications

1. Sofia Uzunova – “Integration of cognitive radio and ultra-wideband technologies for intelligent self-adaptive wireless networks”, subsequent publication in a journal indexed in the Scopus database, ISSN 0974-0635. Date: 22.04.2026.
2. Uzunova, S. "A VARIANT OF MODIFIED ALGORITHM FOR PROCESSING A PACKET OF REFLECTED ULTRAWIDEBAND PULSES" - XIII International Scientific Conference „TECHNIQUE. TECHNOLOGIES. EDUCATION. SAFETY 2025”, September 01-04, 2025, ISSN 2535-0315 (Print), pp. 14-16.
3. Uzunova, S. "PERFORMANCE STUDY OF AN ALGORITHM FOR PROCESSING A PACKET OF REFLECTED ULTRASHORT PULSES UNDER A PRIORI UNKNOWN WAVEFORM AND GAUSSIAN NOISE CONDITIONS." XIII International Scientific Conference „TECHNIQUE. TECHNOLOGIES. EDUCATION. SAFETY 2025”, September 01-04, 2025, ISSN 2535-0315 (Print), pp. 17-18.
4. Uzunova, S., Zhelyazov, M. "SYNTHESIS OF AN ALGORITHM FOR RADAR OPERATION WITH COMBINED RADIATION AND IMPROVED MTI (Moving Target Indication) PARAMETERS." ANNUAL INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF THE "GEORGI BENKOVSKI" AIR FORCE ACADEMY 2025, ISSN 2738-716X, pp. 292 – 302.

Structure and Volume of the Dissertation

The dissertation consists of **163** pages and includes a list of abbreviations used, a list of figures, a list of tables, a list of appendices, an introduction, three sections for solving the formulated main tasks, a conclusion, a list of main contributions, a list of publications related to the dissertation, and a bibliography.

A total of **146** literary sources are cited, of which **80** are in Latin script and **56** in Cyrillic, with the remainder being internet addresses. The work includes a total of **75** figures, **23** tables.

The numbering of figures, tables, and appendices in this abstract corresponds to those in the dissertation itself.

Contents of the Dissertation

Introduction

Ultra-Wideband (UWB) systems represent an innovative wireless technology that offers a different approach compared to traditional narrowband systems. This technology provides high-speed data transmission, low power density, and interference resistance, making it suitable for aviation on-board communications and the localization of small targets.

Prior to 2001, UWB technology applications were primarily restricted to the military sphere. Gradually, the U.S. Federal Communications Commission (FCC) authorized the commercial use of frequency bands for UWB. The FCC regulates the use of frequencies for UWB systems in the range from 3.1 GHz to 10.6 GHz, with a minimum bandwidth of 500 MHz.

SECTION I.

Analysis of Ultra-Wideband Signals and Methods for Their Processing

1.2. Analysis and Classification of Ultra-Wideband Signals

Various names are used for UWB signals: non-sinusoidal, non-harmonic, non-stationary, carrier-free, pulsed, monopulse, and ultra-short pulses. [110, 111, 131] There are also different definitions regarding which systems are classified as ultra-wideband.

UWB signals are subdivided into three main classes according to their formation method: [8, 24, 70, 139]

- **The first class** includes chaotic signals, which are described and analyzed using statistical processing methods. [44, 46, 110, 113, 127]

- **The second class** consists of signals with a carrier frequency modulated by signals with a bandwidth close to the value of the carrier frequency.

- **The third class**, utilizing carrier-free pulsed signals and continuous radiation, has become the most widely used. [44, 45, 48, 92, 94, 102, 108, 133]

Fig. 1.1 shows the generalized requirements for spectral emission density across the entire frequency range according to the U.S. FCC.

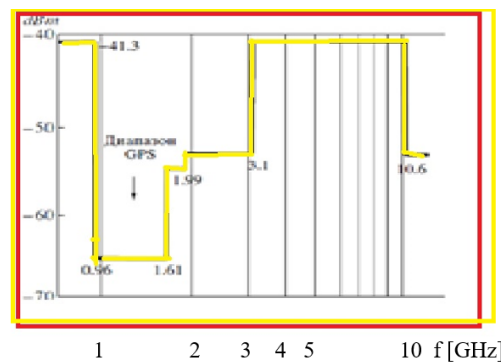


Fig. 1.1. Spectral emission density requirements for UWB signals. [24]

As seen from the figure, the authorized spectral density for UWB devices in the 3.1–10.6 GHz range is -41.3 dBm/MHz, or 71.3 dB/MHz. appropriate

processing methods, the maximum amount of information can be extracted from a single observation through them.

1.3. Assessment of the application areas of UWB signals.

The impact of UWB systems on aviation communication systems is currently not fully understood. Various technical and operational characteristics make it impossible to categorize UWB technology with a single description. The proliferation of UWB signaling devices could cause harmful interference to on-board systems critical to aviation safety.

The specific application will determine which area of the frequency spectrum the UWB device will operate in.

- **Aviation Communications:** Wireless on-board communication solutions are gaining momentum in the aerospace industry with the aim of further improving flight safety, reducing aircraft manufacturing costs, and limiting environmental impact.

- **Detection and Tracking of Small-Sized and Point Targets:** Simulation studies are being conducted on how different pulse durations affect time resolution, signal-to-noise ratio (SNR), and the system's ability to track dynamic movements of small-sized targets.

1.4. Analysis of popular mathematical models of UWB sounding signals.

There is a wide variety of mathematical models for UWB signals, but the following three requirements are placed on all of them: [24]

- To have no DC component (1.4), i.e.

$$|S(t)|_{f=0} = 0 \text{ or } \int_T s(t)dt = 0; \quad (1.4)$$

- To have a finite time duration (1.5) – τ_{and}

$$s(0) = 0 \text{ and } s(t - \tau_{\text{and}}) = 0, \text{ per } t \geq \tau_{\text{and}}; \quad (1.5)$$

- To be continuous in time, i.e., they must be differentiable.

The simplest are real models, which are described by real mathematical functions. The most generalized mathematical description of such models is:

$$s(t) = A(t)\cos(2\pi f t_c + \phi_0), \quad (1.7)$$

1.5. Analysis of changes in the structure of UWB signals after emission, during propagation, and reception.

The existence of a model for an ultra-wideband signal is only the beginning of UWB radar modeling, as this signal undergoes changes during radiation from the antenna, propagation in the air medium, reflection from objects, and reception by the receiving antenna under the influence of passive and active interference characteristic of an urban environment. This can be illustrated through Fig. 1.3

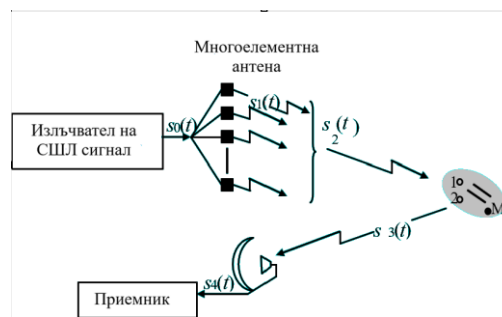


Fig. 1.3. Changes in the sounding signal after emission, propagation, and reflection from the target in UWB radars. [diagram - by the author]

1.6. Analysis of radar target models using UWB signals.

Parametric and non-parametric models are most commonly used for the mathematical description of radar objects and radar systems when using UWB signals. [3] The most widely used non-parametric models of radar targets are the "convolution integral" (in the discrete case – the convolution sum), models involving the calculation of frequency characteristics, or scattering transfer functions. [8,103]

1.7. Analysis of methods for detection and processing of UWB signals.

One of the primary tasks in UWB radar is the search for ways of quasi-optimal processing, which allow for the maximization of the signal-to-noise ratio (S/N) during object detection. [78] In the tasks of recognition and identification of

tracked targets, the problem of computational efficiency remains in the background, given the accelerated development of digital technologies, while information efficiency is placed in the foreground. [88]

SECTION II.

Investigation of the possibilities for the application of ultra-wideband patch antennas for wireless on-board communication in aviation.

2.2. Analysis and evaluation of on-board computer systems (BCS).

The introduction of on-board computers in civil aviation received a significant boost with the integration of Fly-by-Wire systems. This introduces the possibility for automatic compensation of instabilities, turbulence, and human factor errors, which revolutionizes the modern concept of safe flight (AC_25-22) ("Introduction to Avionics Systems" – R. Collinson).

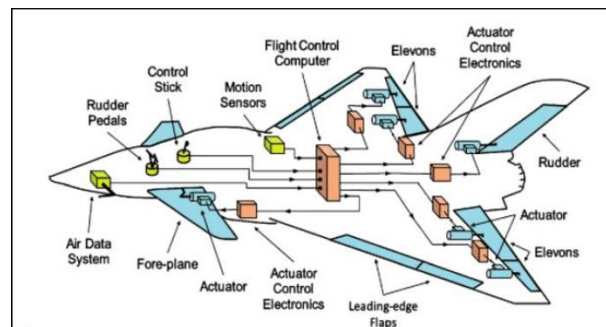


Fig. 2.1. Operation of a Fly-by-Wire system

2.3. Design of patch antennas at 5.8 GHz and 6.5 GHz to provide an on-board communication link with improved quality indicators.

In practice, a 12×12 element panel, manufactured as a printed circuit board (PCB), showed beam scanning within $\pm 45^\circ$ at 5.8 GHz and an acceptable sideband level. These antennas are also used at ultra-high frequencies.

Microstrip antennas are also called patch antennas. The radiating patch can be square, rectangular, dipole, circular, elliptical, triangular, etc. Fig. 2.6 shows a microstrip line with two slots, with width W , at a distance L – a) and a pattern of electric field lines – b):

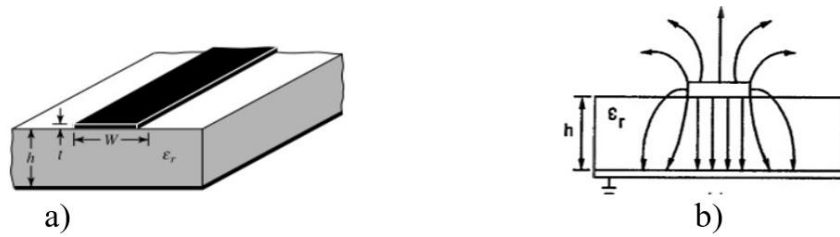


Fig. 2.8. Microstrip line with two slots, with width W , at distance L - a); Electric field line pattern - b) [11]

Antennas used in aviation must be designed with certain specifications in mind, including resistance to vibrations, temperature changes, and contact with metal surfaces.

2.4. Computational procedures and selection of basic parameters for a microstrip patch antenna for frequencies 5.8 GHz and 6.5 GHz.

The algorithmic process and the mathematical model for constructing a rectangular microstrip patch antenna based on specified input technical parameters are examined. The implementation of the mathematical model was developed in a MATLAB environment, utilizing analytical expressions and numerical techniques to determine the basic electrical and geometric properties of the antenna. Two primary operating frequencies—5.8 GHz and 6.5 GHz—are set, which demonstrates the differences in antenna design compared to the single-frequency method. The choice of these values is justified by the need to compare antennas manufactured for different frequency ranges suitable for wireless and aviation applications.

To perform the calculations, a MATLAB code was developed that automates the calculation of basic parameters such as resonance frequency, input impedance, and patch dimensions.

The design utilizes a dual strategy—numerical simulation with MATLAB and analytical techniques—considering the project goals that require a reliable initial assessment and the potential for further development through realistic simulations. The results obtained from the computational procedures described above are presented in Table 2.1

Table 2.1

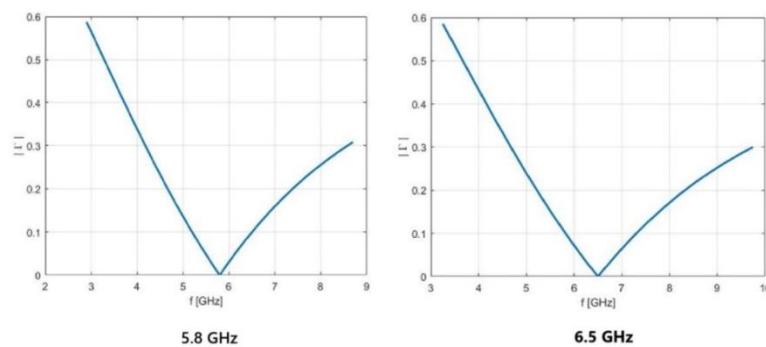
The Pope's	5.8 GHz	6.5 GHz
λ_0 (in the ascendant)	51.72 mm	46.15 mm
λ_d (in the pace)	36.27 mm	32.37 mm

2.5. Simulation studies in MATLAB and ANSYS HFSS environment, evaluation of the results, selection of suitable applications in the aviation industry, and general appearance of the designed antenna.

The study includes key factors such as: voltage standing wave ratio (VSWR), input impedance, directivity and directional action, radiation efficiency, reflection coefficient, and other significant parameters.

For both frequencies, each parameter is analyzed and evaluated independently.

The object of the study consists of two antenna variants designed to operate at frequencies of 5.8 GHz and 6.5 GHz.

Reflection coefficient $|\Gamma(f)|$ **Fig. 2.13 Graph of the reflection coefficient.**

The reflection coefficient $|\Gamma(f)|$ – Fig. 2.13 is a key indicator that shows what portion of the power sent to the antenna is reflected back to the generator due to the mismatch between the antenna and the feed line.

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

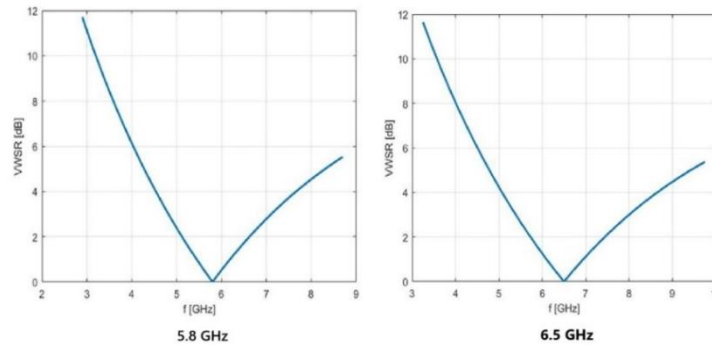


Fig. 2.14. Graph of the voltage standing wave ratio.

An important indicator of matching losses between the source and the antenna is the VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) – Fig. 2.14, where a value of less than 2 is considered satisfactory.

The results from the MATLAB graphs show:

- In the frequency range from 5.2 to 6.6 GHz, the VSWR remains below 2, which implies good energy transfer with few reflections;
- The corresponding result for the antenna designed for 6.5 GHz shows a VSWR below 2 in the 5.8-7.3 GHz range, with the optimal value recorded at 6.6 GHz.

Input Impedance $R_{in}(f)$.

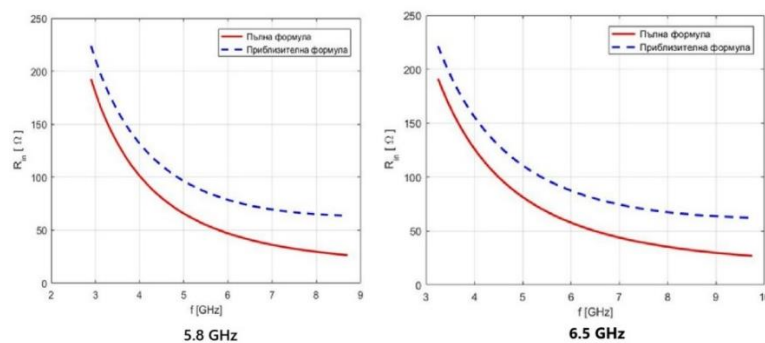


Fig. 2.15. Graph of the input impedance coefficient

One of the most important factors in assessing the matching, which determines the current/voltage ratio at the feed point, is the input impedance – Fig. 2.15.

Since the impedance of a typical microstrip line is $50\ \Omega$, this value is accepted for optimal matching.

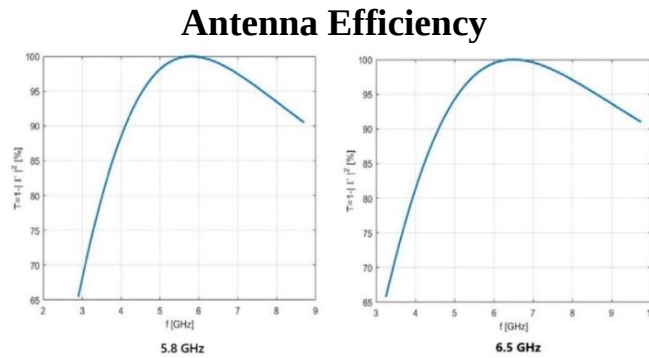


Fig. 2.16. Graph showing antenna efficiency

The percentage of the transmitted power that is actually radiated, without being lost as heat in the conductors or dielectric, is known as **antenna efficiency** – Fig. 2.16, and it is a risk parameter in the design of antennas for wireless systems.

The efficiency reaches about 94–95% for the antenna operating at 5.8 GHz and reaches a maximum of 97.7% at 5.9 GHz.

Analysis of the results after simulations:

A very high degree of correspondence between the HFSS simulations and the analytical design implemented in MATLAB has been confirmed.

Design and general appearance of the designed antenna: Since the impedance of a typical microstrip line is $50\ \Omega$, this value is accepted for optimal matching."

Construction and General View of the Designed Antenna:



Fig. 2.18



Fig. 2.19



Fig. 2.20

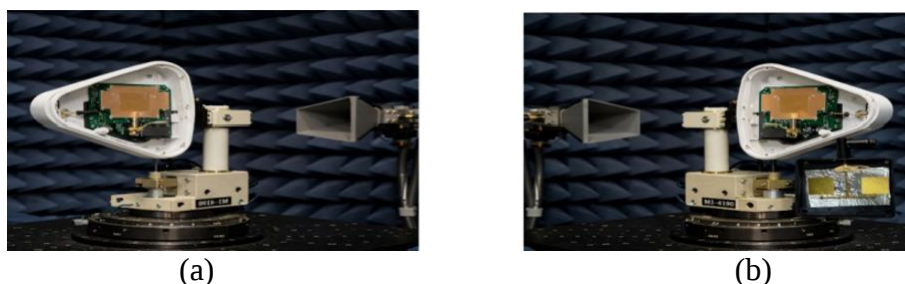


Fig. 2.21 – a), b) Experimental setup for testing the designed antenna.

The antenna is well-matched at 5.8 GHz with $S_{11} = -26.2$ dB, and at 6.5 GHz with $S_{11} = -25.1$ dB; the measured maximum gain is 7.4 dBi and 6.9 dBi, respectively; the polarization is linear. Measurements were performed in accordance with ETSI EN 300 440 and ETSI EN 302 502.

Certification Conclusion: Based on the conducted measurements and analyses, it is concluded that the tested antenna is compliant with the applicable ETSI and FCC regulatory requirements for operation in the 5.8 GHz - 6.5 GHz ISM band.

2.6. Methodology for measuring the noise immunity of BCS under the influence of ultra-wideband signals on board the aircraft.

The conduct of an experimental study is proposed, which was last carried out in 2012 in the USA with published results (see Section 2.1).

No such study has been conducted on the territory of the Republic of Bulgaria.

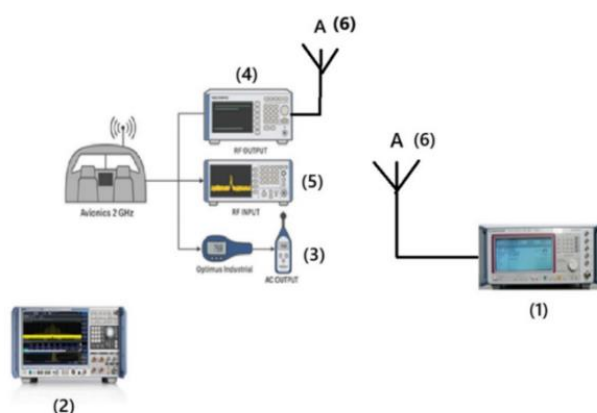


Fig. 2.23. Connection diagram of devices required for conducting the experiment

- (1) – Noise signal generator;
- (2) – Final measuring device;
- (3) – Sound level meter;
- (4) – Spectrum analyzer;
- (5) – Signal waveform on the spectrum analyzer screen;
- (6) – Transceiver antenna for 5.725–5.875 GHz and 6.489–6.524

GHz.

Results after conducting the experiment:

Testing was conducted on the impact of ultra-wideband active antennas (2 pcs. of the designed antennas) at a frequency of 5.8 GHz on the systems of Boeing 737-200 and Airbus A-320 aircraft. The UWB signal source was equipped with an internal 9V battery and an internal 10 MHz clock, connected to the antenna designed above, which was tuned to the frequency range of the aircraft radio system being evaluated. The spectrum analyzer and the antennas were verified and found to be in compliance with the calibration schedule.

•**VHF Voice Communication:** A conversation was initiated and maintained between the aircraft's on-board VHF radio system and a portable VHF radio.

During the conversation, negligible influence from the UWB signal source on the sound quality of the on-board communication system was observed.

•**ILS Localizer:** The local ILS localizer beacon in the airport area was not intercepted by the aircraft at the test site.

The cockpit instruments showed no information from the ILS localizer. Negative effects were observed—display flickering and unstable operation of the system under the influence of the ultra-wideband systems.

•**VOR:** The local VOR beacon in the runway area was successfully intercepted by the aircraft at the test site.

The cockpit instruments displayed the corresponding navigation information for the given radio beacon. No effects from the influence of the ultra-wideband signals were observed.

•**ATC and TCAS:** The "ATC Fail" indicator light on the cockpit display panel illuminated, and nearby targets disappeared from the TCAS display when the ultra-wideband signal was switched on.

A handheld, low-power ultra-wideband transmitter can interfere with the radio systems of TCAS, ATC, the ILS localizer, and the glideslope channel of aircraft,. The measurement was conducted on a Boeing 737-200 aircraft at levels reaching -41 dBm. For smaller aircraft, there is a probability that interference may occur even at lower UWB signal power levels.

Demonstration implementations of a wireless sensor network (WSN) installed in an Airbus A-320 have also been conducted. The results from this test platform highlight the potential of UWB for on-board aircraft use and outline the upcoming solutions to the reported problems.



Fig. 2.31. Wireless solutions for on-board aircraft communications and internet connectivity – 5G, 6G.

UWB communication technology offers a wide frequency range, and its continuous evolution through integration with other technologies promises to unlock new directions in the future. Ultra-wideband signal technology is a promising implementation for on-board aircraft communications.

SECTION III.

Investigation of the possibilities for the application of ultra-wideband radar signals for detection and tracking of small targets under interference conditions.

3.2 Synthesis of a block diagram of a 24 GHz radar for detection and tracking of point and small targets.

The Ultra-Wideband (UWB) radar at a frequency of 24 GHz is a modern technology used for the detection, tracking, and classification of objects.

Characteristics for detecting small-scale and point targets:

Table 3.1

Characteristics	Explanation
Detection Range	Depends on power and the RCS (Radar Cross Section) of the drone. Typically up to 1–2 km for small drones
Minimum Drone Size	Detection of drones smaller than 30 cm is possible, thanks to the high resolution
Detection at Low Altitudes	Suitable for close-range targets flying at low altitudes—difficult to detect with classical radars
Operation in Complex Conditions	Independent of the time of day and largely resistant to atmospheric influences
3D Positioning Capability	Possible through the use of multiple radars or phased passive or active antenna arrays

Applications:

- Protection of airports, power plants, government buildings, and other high-security zones.
- Military and tactical Air Defense (AD) systems.
- **Counter-UAS systems** (against UAVs and drones) – detection, tracking, guidance of control systems, and neutralization.



Fig. 3.1. Sample block diagram of a 24 GHz radar, suitable for Doppler or FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) radar (diag. – AI)

3.3. Method for improving the shape of the radiated (sounding) pulse in an ultra-wideband radar.

In this subsection, a method for improving the shape of the sounding pulse is proposed, which helps avoid the disadvantage described above. After applying the method, antenna efficiency increases, and energy losses are reduced.

These losses must be taken into account when evaluating the energy performance of the ultra-wideband radar. For this purpose, spectral efficiency is used, which constitutes the main part of the radar transmitter's efficiency. This efficiency determines the relative portion of the sounding pulse energy that falls within the antenna's operating frequency range.

The goal is to propose a method for obtaining the maximum spectral coefficient for several relatively simple shapes of the primary and corrective sounding pulses used in UWB radar systems.

However, analytical expressions for the well-known video pulse shapes and their spectra are not provided. All numerical values were obtained through the method of mathematical modeling.

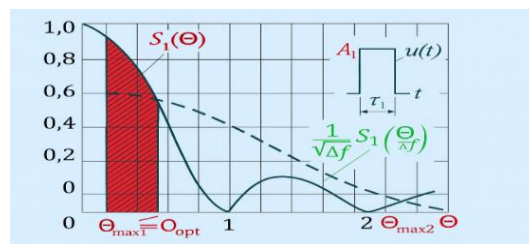


Fig. 3.3. Graphical solution for a rectangular ultra-short pulse (USP) for a given Δf

As an example, Fig. 3.3 shows the general solution for a rectangular pulse at $\Delta f = 2,5$. The extreme values of $\theta_{\max}$ are marked.

Fig. 3.7 shows a corrected pulse formed using a main and a correcting rectangular pulse. A spectrum for $\alpha = 0,4$ and $\beta = 3$ is also shown. An optimal value of $\theta_{\max opt} = 0,71$ was chosen.

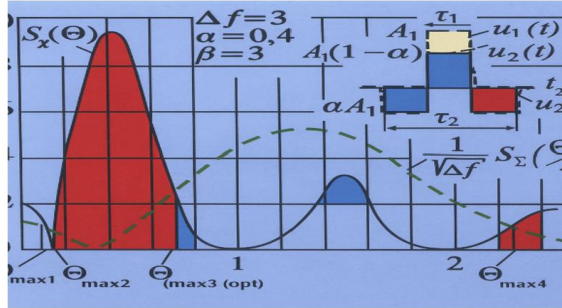


Fig. 3.7. Corrected pulse formed using a main and a correcting rectangular pulse. [84]

Fig. 3.8 shows the dependence of the peak (maximum) values of $\eta_{\Delta f opt}$ on the parameters α , β for $\Delta f = 3$.

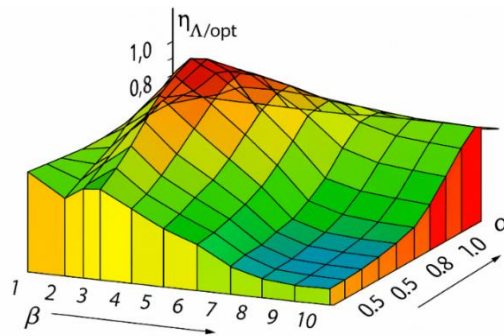


Fig. 3.8. Dependence of the peak values of $\eta_{\Delta f opt}$ on the parameters α , β for $\Delta f = 3$ [84]

Comparing the obtained values with analogous values for unipolar pulses shows that by correcting the pulse shape, the spectral efficiency can be significantly increased, however, the effectiveness of this increase is greater as the value of Δf decreases.

3.4 Synthesis of a 24 GHz Transceiver Antenna

Fig. 3.11 shows a 10x10 antenna array tuned to 23.225 - 24.325 GHz for spatial localization.

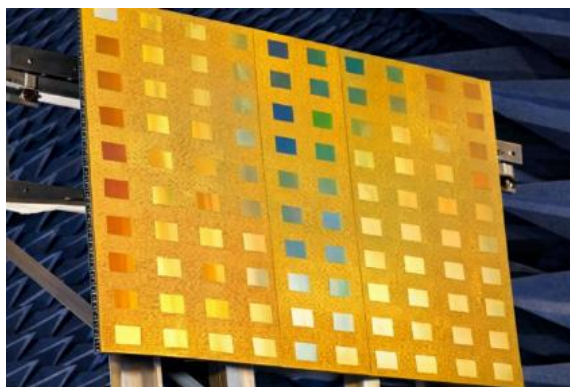


Fig. 3.11. 10x10 element antenna array for inter-spatial communication and experimental investigation of a radar system. [Photo - experimental center, anechoic chamber]

Evaluation of the antenna's quality indicators after the conducted simulation.

After analyzing the graphs obtained from the simulation, the following conclusions can be drawn:

1. The first side lobe is at -13 dB, regardless of the number of elements. This is due to the presence of the sine function in the array factor formula;
2. Side lobes decrease if the gain of the individual patches is reduced; their level also decreases as the number of elements increases, but increasing the number of elements also leads to an increase in the number of side lobes;
3. The main beam width narrows as the number of patches increases. From the above, it follows that the antenna array is a set of antenna elements which, when combined, form an effective radiation pattern with one main directional beam. An advantage of this type of antenna is the ability to quickly switch from transmit to receive mode.

3.5. Synthesis of a Pre-matched Filter for Passive Interference Compensation with Application in UWB Radar.

Coherent radars use sequences of radio pulses, the initial phase of which is either constant or varies according to a specific law.

In signal processing, phase consistency is utilized to implement synchronous detection and optimal filtering. [71]

The impulse response of the matched filter (MF) - $g(t)$, which ensures a maximum signal-to-noise ratio at the receiver output, must be matched with an equivalent signal $x_e(t)$ and satisfy the following condition:

$$g(t) = x_e(t_0 - t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(w)}{S_n(w)} e^{[iw(t-t_0)]} dw \quad (3.5)$$

where:

- t_0 – signal observation time.

The matched filter built on NLVP must be synthesized such that its impulse response meets the previously stated initial conditions. When the target's impulse response is known, the MF can be tuned to it. In doing so, both tasks – target detection and target recognition – could be solved simultaneously.

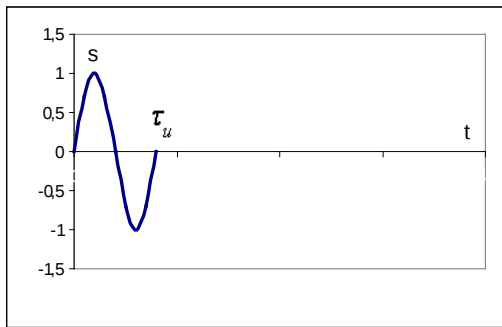


Fig. 3.15. General view of a sounding signal. [98]

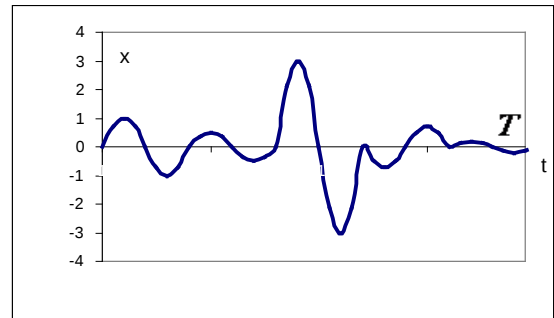


Fig. 3.16 UWB reflected signal. [98]

Fig. 3.17 shows a similar signal formed at the output of the matched filter (triangles denote the maximums of the correlation functions).

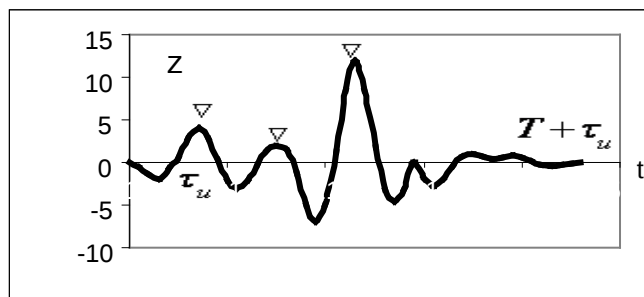


Fig. 3.17. Signal at the output of the matched filter, matched with the sounding signal. [98]

From the obtained graphs, it is evident that the peak values have not changed significantly, and their location along the time axis is practically constant.

These results show that the proposed pre-filter, matched with the probing signal, achieves compensation for passive interference (clutter). Further research indicates that it is entirely possible to increase the signal-to-noise ratio by 5-6 dB.

3.6. Synthesis of a sixteen-bit delay-line canceller (inter-period subtraction) scheme in the Moving Target Selection (MTS) system for small targets in an ultra-wideband radar, constructed using adders.

The circuit does not include voltage dividers or amplifiers, as all voltages are matched. The ADC input module is designed according to the recommendations in the respective ADC documentation. The programmable clock - ICS525-01 operates at a 3.3V supply voltage; its high-level output voltage (logic high) is $3.3 - 0.4 = 2.9\text{V}$.

The circuit consists of:

- Programmable clock - ICS525-01, which generates the frequency for the LTC2203 ADC;
- Crystal oscillator, which generates the clock frequency;
- Four 4-bit counters - 74HC161, required for writing data to the memory address from the ADC;
- Dual-port static asynchronous RAM - 70V9389PF with a capacity of 64K x 16 bits;
- Four 4-bit adders - CD54HC283;
- Three inverters - 74HCT140.

Principle of operation of the circuit:

- The phase detector signal is fed to the ADC, where it is converted into a 16-bit digital word; the sampling frequency for the ADC is generated by an

ICS525-01 programmable clock, using a 15 MHz input from a crystal oscillator and logic high levels on the corresponding pins.

- If the crystal frequency is 15 MHz and the required output frequency is 3 MHz, a logic high level must be applied to pins V2, R3, and R1. (A manufacturer-provided program is used to determine the pins).

- Memory addressing requires four 4-bit counters; the address increments with the sampling frequency and is reset (cleared) when the repetition period is applied to the reset inputs. [138]

- To perform subtraction between the current ADC word and the word stored in memory from the previous period, the stored word must be converted into two's complement. [17]

- This is achieved by first inverting it using 74HCT140 inverters, then adding a carry bit (logic high at the Cin input of the LSB adder).

- This process is analogous to adding a binary one. Thus, each CD54HC283 adder receives four bits from the ADC and four delayed bits from memory, resulting in a 16-bit word difference at the system output. [17]

3.7. Synthesis of an algorithm for processing a packet of reflected ultra-short pulses.

In this part of the research, a modified algorithm is synthesized for measuring the time delay of a signal reflected from a small (point) target, using an Ultra-Wideband (UWB) sequence of Ultra-Short (US) probing pulses. The study continues a series of publications focused on reducing the number of sampling operations in the ADC and increasing radar resolution. A UWB reflected signal with a known 'bell-shaped' envelope is used for the algorithm synthesis.

A major challenge in processing received US signals is the requirement for high-speed, expensive Analog-to-Digital Converters (ADCs) and significant

resources, which makes real-time processing of reflected pulses—often lasting only a few picoseconds—impossible.

3.8. Investigation of an ultra-wideband radar for detection and tracking of point and small-sized targets.

The practical experimental studies were conducted using the 'PXG-XCW Drone' ultra-wideband continuous-wave radar with a phased antenna array for the detection and tracking of small and point-like low-flying aerial targets:



Fig. 3.31. 3D radar with a phased antenna array, plot extractor, and plan position indicator (PPI).

Experiment Objective:

Achieving high performance and accuracy in the precise detection and tracking of small-scale and point-like aerial and ground targets across a wide altitude range, including low and ultra-low altitudes, as well as anti-jamming protection through the implementation of new technical solutions.

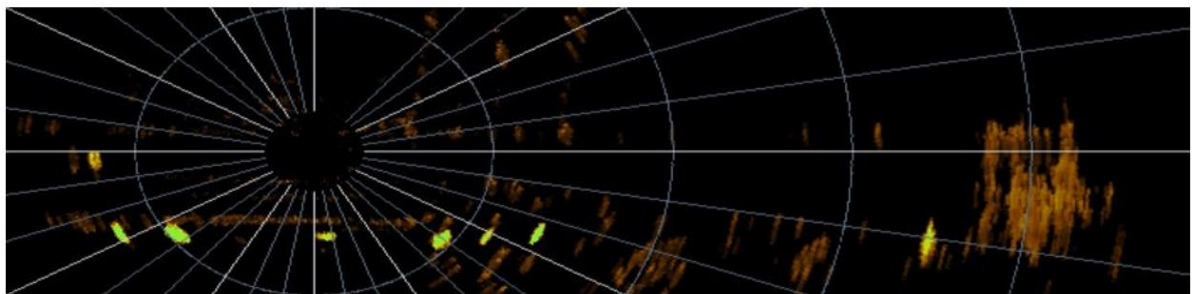


Fig. 3.35. Phase channel for echo processing with a Nyquist filter.

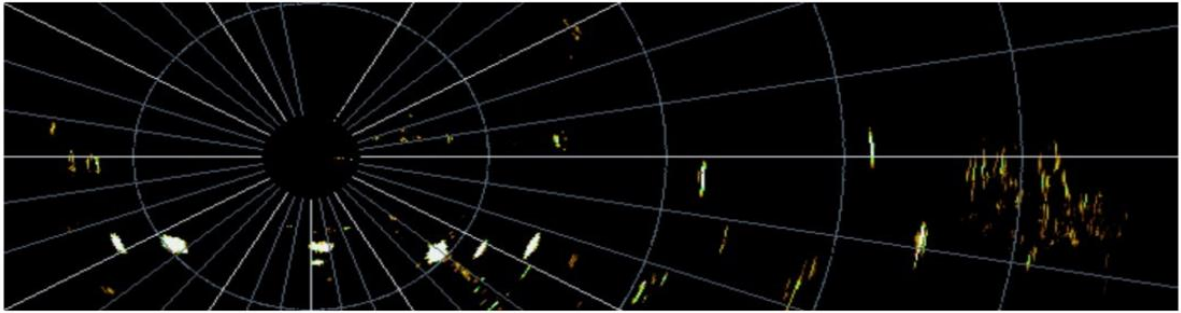


Fig. 3.39. Echo signal obtained after background subtraction from the received echo for the phase channel.

The primary difference from secondary radars is that the source of the reflected signal is a device which, together with the transmitted signal, forms a 'complex' signal. This complex signal is very close in structure to a noise-like signal, which, in turn, is fully deterministic for the receiving device.

3.9. Protocol, methodology for conducting the experiment, and evaluation of the results obtained.

Experimental Methodology:

Setup:

1. Positioning the radar system on a stable platform or vehicle;
2. Calibration of the antenna/modules (if required);
3. Spectral background check - to determine the noise floor (baseline).

Execution:

1. Takeoff of a test drone from a specific location and set altitude;
2. Detection of RF activity by the radar;
3. Confirmation from an EO/IR video camera.

Measurement of:

1. Detection range;
2. Angular resolution;
3. Sensitivity at low RCS (Radar Cross Section).

Data recording: coordinates, speed, altitude, SNR.

In conclusion, a comparison is made between the key characteristics of a German-made radar and the '**PXG-CCW-Drone**'—an ultra-wideband radar prototype for detecting and tracking low-flying, small-scale (point) targets. ***Its integrated modules are described in detail within this dissertation and have been presented at national and international forums (see List of Publications).***

Conclusion.

Ultra-Wideband (UWB) systems represent a modern wireless technology that differs significantly from classic narrowband communication and radar systems in signal formation principles, processing methods, and technical implementation.

The relevance of the research is driven by increasing demands for reliability, accuracy, and security of communication systems in aviation environments and radar systems for detecting and tracking small-scale and point targets in noisy conditions.

The object of the study is the potential for using ultra-wideband radio communication and radar systems, while the subject of the study is the methods for UWB signal formation and processing.

CONTRIBUTIONS OF THE DOCTORAL STUDENT

Scientific-Applied Contributions:

1. An original methodology was developed for testing the noise immunity of key onboard aircraft communication and navigation systems under UWB noise signals, according to current standards.
2. MATLAB and Ansys HFSS were utilized for the verification of calculation and simulation results.
3. An experiment was conducted, and a technological map and evaluation protocol were established.
4. Devices were synthesized within a coherent radar block diagram, with their performance proven through mobile radar experiments.

Applied Contributions:

1. The literature review and synthesized devices allow for curriculum updates across multiple disciplines.
2. The results are practically applicable for creating laboratory exercises.
3. The open-type methodology facilitates further research in aviation communications.
4. The findings are applicable for improving radar and communication system characteristics via UWB technologies.

ACKNOWLEDGMENTS

I express my sincere appreciation and gratitude to my scientific supervisor, Assoc. Prof. Dr. Eng. Mihail Petkov Zhelyazov, for his patience, valuable guidance, and recommendations during our joint work on the dissertation.

Gratitude to the Scientific Research sector at the Technical University of Sofia for the assistance provided in the preparation of the dissertation under Project No. 242PD0018-04 „In Aid of the Doctoral Student".

I thank my colleagues from the aircraft maintenance bases for the help provided during the experimental research and the verification of the results. I sincerely thank the representatives of the business sector for their guidance and the assistance provided in conducting the experimental research with specialized equipment.

I also express my gratitude to my colleagues from the Faculty of Transport who supported me during the development of the dissertation.

ANOTATION

Topic: "Ultra-Wideband Technologies for On-Board Aircraft Communication and Target Localization under Interference Conditions"

Author: MSc. Eng. Sofia Stefanova Uzunova

The dissertation addresses the growing need for wireless airborne communication (WAC) solutions in aviation and the increasing challenge of localizing small-sized targets, such as Unmanned Aircraft Systems (UAS), which require high-precision tracking methods. The primary objective of the study is to explore the applications of Ultra-Wideband (UWB) technology for both civil aviation communications and the detection/tracking of small targets under interference conditions. To this end, UWB patch antennas for 5.8 GHz and 6.5 GHz were designed using MATLAB and Ansys HFSS. Additionally, an experimental methodology was developed to test the noise immunity of aircraft systems (such as the Boeing 737 and Airbus A-320) when exposed to UWB signals. Finally, a 24 GHz radar system was synthesized for small target detection and the optimization of UWB pulse shapes.

The research presents several original scientific and applied contributions:

A specialized methodology was synthesized to check the noise immunity of critical aircraft communication and navigation systems against UWB interference, filling a gap in existing Bulgarian regulations.

A modified algorithm for processing reflected UWB pulses was developed using a Nyquist low-pass filter, which optimizes Analog-to-Digital Converter (ADC) performance more effectively than traditional Kalman filtration.

Testing on real aircraft revealed that while VHF voice communication remained largely unaffected, UWB signals could cause instability in ILS Localizer systems and trigger "ATC Fail" warnings. The designed patch antennas demonstrated high efficiency (up to 97.7%) and a strong correlation between simulations and physical tests.

Radar studies focused on the PXG-XCW drone prototype, proving the system's ability to detect targets smaller than 30 cm at low altitudes.

The results are applicable in technical maintenance for electromagnetic compatibility assessments, airport security (C-UAS systems), and the modernization of aviation engineering curricula for both Bachelor's and Master's degree programs.