

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Аналіз методів захисту мобільної мережі від радіодії
за рахунок приладів пригнічення стільникового зв'язку
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІм-19-2
Собка С.Д.

Спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна
інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Омельченко С.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

2021 p.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

(підпис)

Собка С.Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Омельченко С.В.

(прізвище та ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)Рівень вищої освіти другий (магістерський)Професійність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)Тип програми Освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри ІМІ _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**Студентові Собці Сергію Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи Аналіз методів захисту мобільної мережі від радіодії
за рахунок приладів пригнічення стільникового зв'язку

затверджені наказом університету від 12 березня 2021 року № 350Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12 травня 2021 р.3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження радіопротидія системам стільникового зв'язку.Необхідно проаналізувати методи та системи радіопротидії мережам мобільного зв'язку. Розробити пристрій що дозволить пригнічувати радіосигнали у діапазоні роботи мереж мобільного зв'язку.Проаналізувати ефективність його роботи, виявити достоїнства та недоліки, запропонувати можливі шляхи вирішення вказаних недоліків.4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ1. Огляд та аналіз систем пригнічування мобільного зв'язку2. Методи пригнічення стільникового зв'язку3. Розробка пристрою радіопротидії стільникового зв'язку4. Розробка антен для приладу пригнічення стільникового зв'язкуВисновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди у форматі Power Point (назва, мета і актуальність кваліфікаційної роботи, види Пригнічувачів стільникових телефонів, структурна схема пригнічувача стільникових телефонів типу а, тетрафаст, процес збору генератора перешкод, геометрична модель антени, результати моделювання антени типу PIFA, діаграма спрямованості антени PIFA, геометрична модель антени типу спіраль архімеда, результати моделювання антени типу спіраль Архімеда, діаграма спрямованості антени типу архімедова спіраль, висновки)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ | 14.03.21 | |
| 2 | Підбір літератури за темою роботи | 15.03-25.03.21 | |
| 3 | Виконання розділу 1 | 18.03-25.03.21 | |
| 4 | Виконання розділу 2 | 26.03-04.04.21 | |
| 5 | Виконання розділу 3 | 05.04-27.04.21 | |
| 6 | Виконання розділу 4 | 28.04-7.05.21 | |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки | 06.05-08.05.21 | |
| 8 | Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК | 09.05-12.05.21 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Дата видачі завдання 13.03.2021 р.

Студент _____ (Собка С.Д.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ (Омельченко С.В.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 100 с., 50 рис., 10 табл., 19 джерел, 2 додаток.

Об'єкт дослідження – радіопротидія системам стільникового зв'язку.

Мета роботи – аналіз методів пригнічення сигналів стільникового зв'язку.

Галузь застосування – служби охорони та безпеки підприємств та приватної власності, захист від несанкціонованого витоку інформації, проведення конфіденційних співбесід та нарад.

Розглянуто методи пригнічення систем стільникового зв'язку, розроблено пристрій пригнічення стільникового зв'язку, спроектовано 2 антени з різними характеристиками, що дозволяють поліпшити характеристики розробленого пристрою.

РАДІОПРОТИДІЯ, ГЕНЕРАТОР ЗАВАД, GSM, ПОСТАНОВКА ПЕРЕШКОДИ, JAMMER, АНТЕНА, ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, СИСТЕМА БЕЗПЕКИ МОВЛЕННЄВОЇ ІНФОРМАЦІЇ, СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 100 p., 50 fig., 10 tabl., 19 sources, 2 app.

Object of research – radio counteraction to cellular systems.

The purpose of the work – Analysis of methods of inhibition of cellular communication.

Development and improvement of the device for suppression of systems of cellular communication.

The scope of application - security and security services of enterprises and private property, protection against unauthorized information leakage, confidential interviews and meetings.

As a result of the certification work, methods of inhibition of cellular communication were considered, a device for suppressing cellular communication was developed, two antennas with different characteristics were designed, which allow to improve the characteristics of the developed device.

RADIO COUNTERACTION, NOISE GENERATOR, GSM, JAMMING, JAMMER, ANTENNA, TECHNICAL EQUIPMENTS, SYSTEM OF DEFENCE OF SPEECH INFORMATION, CELLULAR.

ЗМІСТ

| | |
|---|----------|
| | С |
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ..... | <u>9</u> |
| ВСТУП..... | 10 |
| 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ ПРИГНІЧУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ..... | 12 |
| 1.1 Огляд стандартів стільникового зв'язку..... | 13 |
| 1.1.1 Стандарт зв'язку DECT..... | 13 |
| 1.1.2 Стандарт зв'язку NMT-450..... | 15 |
| 1.1.3 Стандарт зв'язку DAMPS..... | 16 |
| 1.1.4 Стандарт зв'язку CDMA..... | 17 |
| 1.1.5 Стандарт зв'язку GSM-900/1800..... | 18 |
| 1.1.6 Стандарт зв'язку 3G..... | 20 |
| 1.1.7 Стандарт зв'язку 4G..... | 21 |
| 1.1.8 Стандарт зв'язку 5G..... | 22 |
| 1.1.9 Моделювання функціональних вузлів радіотрактів терагерцового діапазона з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової електроніки..... | 30 |
| 1.2 Системи радіопротидії мобільному зв'язку..... | 36 |
| 1.2.1 Організація мережі стільникового зв'язку..... | 37 |
| 1.2.2 Пристрій пригнічування систем стільникового зв'язку "ПІРАНЬЯ Х6-4G"..... | 41 |
| 1.2.3 Пристрій пригнічування систем стільникового зв'язку GSM, 3G «Скорпіон 10»..... | 42 |
| 1.2.4 Пригнічувач мобільних телефонів «БагХантер PS-1»..... | 44 |
| 1.2.5 Стаціонарний пригнічувач стільникових телефонів з пультом дистанційного керування «Скорпіон 101А / 101В+»..... | 46 |
| 1.2.6 Ручний пригнічувач сигналів мобільних телефонів ГРМ-12..... | 47 |
| 1.2.7 Стаціонарний пригнічувач стільникового зв'язку «Алігатор40»..... | 48 |
| 2 ЗАСОБИ ПРИГНІЧЕННЯ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 3 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ РАДІОПРОТИДІЇ СТІЛЬНИКОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ | 59 |
| 4 РОЗРОБКА АНТЕН ДЛЯ ПРИЛАДУ ПРИГНІЧЕННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ | 78 |
| 4.1 Моделювання антени типу PIFA..... | 79 |
| 4.2 Моделювання антени спіраль Архімеда..... | 83 |
| ВИСНОВКИ..... | 88 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 89 |
| ДОДАТОК А..... | 91 |
| ДОДАТОК Б..... | 98 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

CDMA – (Code Division Multiple Access) Кодовий роздільний доступ ;
DECT – (Digital Enhanced Cordless Telecommunication) Цифрова розширена бездротова телекомунікація;

GSM – (Global System for Mobile Communications) Глобальна система мобільного зв'язку;

NMT – (Nordic Mobile Telephony) Північна мобільна телефонія;

БЖ – блок живлення;

БС – базова станція;

ВЧГ – високочастотний генератор;

ГЛЗН – генератор лінійно-змінної напруги;

ГУН – генератор, що управляється навантаженням;

ГШ – генератор шуму;

ДН – діаграма направленості;

ДНШ – джерело низькочастотного шумового сигналу;

ППП – подвійний підсилювач потужності;

ПСТ – Пригнічувач сотових телефонів;

ПП – попередній підсилювач;

СТЗІ – системи технічного безпеки інформації.

ВСТУП

Актуальність завдань безпеки інформації від витоків технічними протоками безсумнівна і сягає провідне місце у ключовому ряду існуючих в області безпеки інформації проблем. Тому цій научній і важкій галузі знань присвячено безліч досліджень, наукомістких статей та багато інших матеріалів. З другого боку, ряд сьогоденних, в першу чергу технічних сьогоденних реалій, які змушують нас по-новому подивитись на канали витоків інформації, часто не враховуються і лишаються, таким чином, за границями уваги при будові системи інформаційної безпеки [1]. Насамперед, це пов'язано зі бурхливим розвитком стільникового зв'язку і величезним поширенням мініатюрних приладів запису інформації. Ці засоби розходяться абсолютно вільно без будь-котрих обмежень і їх використання абсолютно законно. Найбільш ефектним та дешевим засобом безпеки виділених територій від захвату мовної інформації технічними способами, побудованими на основі способів стільникового зв'язку, є застосування блокаторів (заглушувачів) стільникового зв'язку, які виконують наступні завдання:

1. Потребність в забезпеченні негучної радіо обстановки, щоб телефонний дзвінок не відвертав увагу абонента і його оточення. Це може пригодитися в кінотеатрах, театрах,, форумів, музеях, занять в навчальних закладах, тощо.

2. Відтворення безпеки інформації та її конфіденційності будь-якого процесу або заходу. Важливо те, що багато підслуховуючих приладів використовують, передавач стільникового зв'язку для трансляції мовної інформації до зловмисників.

3. Забезпечення об'єктового ладу безпеки в умовах системи виправлення покарань.

4. У зв'язку з підвищеною небезпекою терористичних актів прилади для блокування стільникового зв'язку застосовуються на службі співробітниками спецслужб. Це пов'язано не тільки з перспективою обміну інформацією за допомогою мережі стільникового зв'язку членів злочинницьких угруповань.

Модуль мережі стільникового зв'язку має можливість бути використаний для дистанційного керування вибуховими пристроями

5. Забезпечення режиму секретності на підприємствах зачиненого типу, наприклад, АЕС, підприємства військово-промислового комплексу і інші підприємства, втрати інформації з яких може спричинити шкоду безпеці підприємства, галузі чи навіть державі [2]. З цього виникає, що останнім часом стоїть питання про можливість локального блокування сигналів стільникового зв'язку.

Таким чином, тематика кваліфікаційної роботи, спрямована на огляд методів подавлення сигналів стільникового зв'язку. Також на базі проведеного аналізу буде проведена розробка приладу радіопротидії систем мобільного зв'язку. Враховуючи все сказане вище тематика кваліфікаційної роботи є актуальною.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ ПРИГНІЧУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Для того щоб провести успішний аналіз усіх систем подавлення стільникового зв'язку, треба в першу чергу розглянути, які існують технічні прийоми для беззаконного отримання негласної інформації, їх ми можемо розділити на наступні підгрупи:

- способи акустичного контролювання;
- пристрої для зчитування інформації з вікон;
- професійні звукозаписувальні пристрої;
- мікрофони різноманітного призначення і реалізації;
- електромережеві підслуховуючі пристрої;
- пристрої для зчитування інформації з телефонної лінії зв'язку і стільникових телефонів;
- професійні системи спостереження і відеозображень;
- професійні фотоапарати;
- пристрої спостереження в денний час і пристрої нічного бачення;
- професійні засоби радіоперехоплення і прийому ПЕМІН та ін.

В рамках даної кваліфікаційної роботи основна увага приділяється акустичному каналу витоку інформації, зокрема радіотелефонному каналу витоку інформації.

У всіх інших випадках втрати інформації проходить з використанням прослуховування радіосигналів: за допомогою підслуховуючих пристроїв в офісах, автомобілях, за допомогою прослуховування телефонів і навіть комп'ютерів. Окремим випадком є установка датчиків спостереження і стеження, які працюють за допомогою використання мобільного зв'язку.

І ось для того, щоб встерегти себе і свій бізнес саме від цього виду витоку інформації, створені професійні пристрої - радіопротидії мобільним системам зв'язку.

Для правильного вибору пристрою, якій задавлює стільниковий зв'язок

необхідно, для початку, ознайомимося зі стандартами і робочими частотами стільникового зв'язку.

1.1 Огляд стандартів стільникового зв'язку

Пригнічення усіх сигналів стільникового зв'язку відбувається за рахунок ставлення загороджувальної перешкоди, а перешкода ця приймає в залежності від тієї частоти, на якій пробуває стільниковий телефон (цебто залежить від стандарту зв'язку, на якому працює даний оператор стільникового зв'язку). Тому розглянемо стандарти мобільного зв'язку відповідно до їх частотних характеристик.

1.1.1 Стандарт зв'язку DECT

Цей стандарт зв'язку DECT гарантує радіодоступ для передачі інформації в цифровій формі на відстань від 5 м до 10 км. Цей стандарт в порівнянні зі звичайними системами стільникового зв'язку має щільність телефонної ємності в радіусоті малого радіусу.

Абонентську ємність систем, які розроблено на основі DECT, мають досить високу оеоло 10 000 Ерланг на кв.км. Для ефективної роботи DECT потрібна смуга частот 20 МГц.

DECT використовує цифровий стандарт, а тому можливо застосовувати всі послуги цифрового зв'язку, в тому числі і широкосмугові (ISDN). DECT можуть використовуватись як для простого бездротового телефону так і в системах, які забезпечують різні телефонні послуги в рамках сільського або міського районного телефонних вузлів.

Головні завдання, які поставлені перед стандартом зв'язку DECT:

- стільниковий зв'язок повинен бути в рамках прийнятих стандартів;
- радіодоступ виконується в діапазоні частот 1800-1900 МГц і його розширення;
- персональні радіо виклики що використовує об'єднані протоколи;

- міжнародна ССПС сумісно з супутниковою підсистемою навігації.

З метою розширення абонентської ємності своїх систем та покриття існуючих зон де відсутній сигнал оператори великих стільникових мереж дуже зацікавлені в використанні DECT. Стандарт DECT передбачає роботу поза автомобілем на території, всередині будівель та не має на виду повну мобільність. Розгортання додаткових сот потребує великих капіталовкладень, а це рішення вимагає значно менших капітальних вкладень. Інтегрований телефон дає змогу автоматично визначати через яку систему йому працювати та вирішене проблему міжмережевої взаємодії. При цьому номер телефону є єдиним та діє для обох систем. Для DECT виділено діапазон частот 1880-1900 МГц забезпечує 10 несучих частот. Наступне друге видання стандарту підвищує смугу частот до 1937 МГц, для майбутніх розширень і для цілей сумісності, коли традиційна область частот недоступна. Таке розширення до 1910 МГц має 16 несучих частот, а до 1920 МГц забезпечить 22 несучі частоти.

У різних країнах світу для DECT використовують різні частотні діапазони:

- 1880-1900 МГц - для базового частотного діапазону DECT;
- 1880-1920 МГц - для всієї Європи;
- 1910-1930 МГц - для Латинської Америки;
- 1900-1920 МГц - для основної частини території Китаю.

Для DECT характерним є висока ефективність використання виділеного частотного діапазону. Це досягається за рахунок відмови від закріплених частотних каналів, а тому стає можливим завдяки процедурі повнодоступного миттєвого динамічного вибору вільного каналу з оцінкою його завадостійкості. Завдяки цій процедурі можна без втрат в якості встановлювати базові станції ближче один до одного.

Цей базовий стандарт DECT є описом технології доступу, а не рухомої системи зв'язку. Він має повний набір протоколів, що забезпечують гнучкість при з'єднанні з різними мережами [3].

1.1.2 Стандарт зв'язку NMT-450

Аналоговий стандарт NMT-450 (Nordic Mobile Telephone) розроблено в Скандинавії з діапазоном частот від 453 до 468 МГц.

В порівнянні NMT-450 з іншими стандартами перевагою є площа обслуговування однієї базової станції при набагато менших витратах; мале загасання сигналу на відкритому просторі. Мережі NMT-450 мають велику дальність. Це дає можливість використовувати зв'язком на відстані в кілька десятків кілометрів (до 100 км) від базової станції. У випадку коли абонент підключить підсилювачі та високоефективну спрямовану антену сигнал фіксується навіть за межами гарантованої зони покриття. Перевагою є більш природне, якісне звучання людського голосу, чим при використанні вокодерів, що використовуються в цифрових стандартах зв'язку.

Низька завадостійкість до завад (рівень завад в цьому діапазоні частот буде вище, ніж в частотних діапазонах 800, 900 і 1800 МГц) це недоліки даного стандарту. Недоліком стандарту NMT-450 також є неможливість, на відміну від цифрових стандартів, надання деякого спектру сервісних послуг; незька завадозахищеність від підслуховування. При цьому вага, габарити та, споживання енергії акумуляторів у телефонних апаратів більша ніж для цифрових систем. Час роботи абонентських терміналів, відповідно буде менше, але ці недоліки в нових моделях менше виражені). Недоліком є імовірність можливого зниження якості зв'язку всередині приміщень, а також збільшення часу дозвону в моменти коли виникає пікове навантаження в мережі. Тому особливо в великих містах число одночасно працюючих номерів обмежена в межах одного стільнику стандарту NMT-450.

Поступово стандарти у процесі модернізації удосконалюються. Для підвищення ємності стільникових мереж, що застосовує стандарт NMT-450 використовується крок частотної сітки 12,5 кГц замість стандартного кроку 25 кГц. Це забезпечить збільшення кількості робочих каналів з 180 до 359. Але це доступно тільки для власників нових моделей телефонних терміналів. При цьому

використовується тимчасовий поділ каналів зв'язку (робота декількох абонентів на одній частоті), як в цифрових системах

Стандарт NMT-450 широко використовувався в середині і наприкінці 90-х років 20 століття. При цьому нині його почти не використовують [4].

1.1.3 Стандарт зв'язку DAMPS

DAMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service) –цифрова вдосконалена мобільна телефонна служба, яка є модифікацією стандарту AMPS. Вона розроблена для Північної Америки, та завоювавши популярність знайшла своє застосування і в інших країнах. Для неї діапазон частот буде в межах 825 - 890 МГц.

Для цього стандарту характерним є висока ємність мереж, яка є значно вищою ніж у NMT-450 і AMPS. Користувач може використовувати мобільний термінал як в цифровому, так і в аналоговому режимах. При комбінованому використанні ємність мереж стільникового зв'язку нижче, ніж при використанні повністю цифрових систем, але все ж значно вище, ніж в аналогових. В випадку роумінгу абонент з аналогової мережі AMPS потрапляє в цифрову мережу - DAMPS, та для його роботи йому виділяються аналогові канали.

Мережі AMPS замінюються цифровими мережами, що працюють в більш ранній версії цього стандарту. Технічні можливості для послідніх модифікацій IS-136 для стандарту DAMPS наближуються до GSM. Все більше застосовується автоматичний роумінг. Час максимального навантаження у стільникових мережах обмежує кількість однооментно використовуємих мобільних терміналів. Тому частина абонентів не можуть додзвонитися, та змушені відмовитись розмови. Саме так такі моменти виникають в великих містах, де зконцентрована велика маса користувачів. Тому для урбанізованих районів з метою розширення кількості абонентів в сервісі оператори переходять від аналогових до сучасних цифрових стандартів.

Зараз від цього стандарт практично відмовилися [5], хоча він був широко поширений в середині та наприкінці 90-х років 20 століття.

1.1.4 Стандарт CDMA

Найперспективнішою системою, що з'явилася на світовому ринку, є система множинного доступу з кодовим поділом (CDMA). Сигнали CDMA розподілені в безперервному частотно-часовому просторі. Це відрізняє їх від інших методів доступу абонентів до мережі, де енергія сигналу, як правило, концентрується на вибраних частотах або часових інтервалах. Метод CDMA маніпулює і частотою, і часом, і енергією.

Спеціальна технологія CDMA дає можливості для забезпечення високої якості мови при одночасному зниженні випромінюваної потужності і низького рівня шумів. високу якість передачі мови і даних є результатом вибору мінімально необхідної середньої вихідної потужності, яка є у сотні разів менше значення вихідної потужності чім на інших, використовуваних в даний час стандартів. Технології CDMA забезпечують відмінну якість.

CDMA має ємність в три-шість разів більшу чім ємність інших цифрових систем та від десять до двадцяти разів більше ємність ніж у аналогових системах. Побудовані на основі CDMA мережі завдяки можливості використання одних тих же частот в мережі зв'язку використовують дуже ефективно радіочастотний ресурс.

В системі CDMA є менша затримка при передачі голосових повідомлень, на відміну від інших існуючих системи рухомого зв'язку. В системі CDMA не потрібно застосовувати спеціальні засоби для пригнічення луна-сигналу.

Покращує ефективність боротьби з багатопроменевим поширенням сигналу в системі CDMA - метод корекції помилок. Це багатопромене поширенням сигналу особливо часто виникає в умовах міст з висотними будовами, що дає додаткові переваги CDMA.

В Україні такі оператори як Велтон Телеком, CDMA-Україна, Телесистеми України та Інтертелеком використовують CDMA для зв'язку населення. При цьому вони застосовують частоту 800 МГц (CDMA800). [5].

1.1.5 Стандарт GSM-900/1800

За визначенням GSM (Global System for Mobile Communications) це глобальна система рухомого зв'язку.

Розміри та вага телефонних апаратів і більший часу роботи без додаткової підзарядки акумулятора GSM є суттєво менші порівнянно з аналоговими стандартами. Це головна перевага стає можливою при використанні апаратури базової станції, яка постійно аналізує рівень сигналу, що приймається від апарату абонента та у тих випадках, коли рівень сигналу вище необхідного, то він автоматично знижується.

Перевами також є відносно висока ємність мережі, низький рівень завад та більш високий рівень безпеки від підслуховування і нелегального використання номера, ніж у аналогових стандартів.

Недоліком цього стандарту є не стійкий зв'язок на відстанях більших чім 35 км від найближчої базової станції, та при використанні спрямованих антен та підсилювачів.

Система зв'язку, діюча в стандарті GSM, надає користувачам широкий діапазон послуг, можливості використовувати різноманітне обладнання для передачі мовних повідомлень і даних, викличних та аварійних сигналів; а також підключатися до телефонних мереж загального користування (PSTN), мереж передачі даних (PDN) і цифрових мереж з інтеграцією служб (ISDN).

Ця система зв'язку стандарту GSM розрахована на її використання в різних сферах.

Такі стандарти цифрових систем як GSM-900 та GSM-1800 використовують діапазони частот 890-960 МГц і 1,71-1,88 ГГц відповідно.

Максимальна розв'язка між каналами прийому та передачі забезпечується при формуванні дуплексних каналів частотного діапазону стандарту GSM-900 що розділений на дві частотні частини. Нижній частотний діапазон 890-915 МГц застосовується для формування каналів передачі MS (мобільної станції), а нижня ділянка частот 935-960 МГц використовується для каналів передачі BTS (базової станції).

При цьому захисний частотний інтервал між частотними ділянками становить 915-935 МГц.

Кожна із частотних ділянок використовує та має 124 фіксовані частоти з кроком сітки частот $\Delta f_c = 200$ кГц. Рознос між каналами передачі і прийому в кожному дуплексному каналі рівний $\Delta f_p = 45$ МГц. Це забезпечує такий поділ частотних ділянок. Частотні ділянки в стандарті GSM-1800 включають 374 фіксовані частоти з кроком сітки частот $\Delta f_c = 200$ кГц та мають захисний частотний інтервал 1,785-1,805 ГГц.

Рознос частот в кожному дуплексному каналі між каналами передачі і прийому встановлено $\Delta f_p = 95$ МГц.

Для формування каналів прийому і передачі в цифрових стандартах ССПС є особливість. Це використання принципу ПСРЧ (псевдовипадкових стрибків робочих частот) в часовій області. Особливості роботи системи з використанням псевдовипадкових стрибків робочих частот полягає в наступному.

Передавач (приймач) використовує кілька робочих частот та при передачі повідомлень коли знаходиться на першій частотній позиції певний час то потім перескакує на іншу частотну позицію

Робочі частоти мають інтенсивність перемикавання $A = 217$ стрибків в секунду. Таким чином, на різних частотних ділянках здійснюється переривчаста передача мовних повідомлень. Стандартний цифровий кадр (TDMA-кадр) ділиться на 8 частин (0-7), кожен з яких передається на своїй часовій і частотній позиції. Це необхідно для впорядкування передачі (прийому) інформації При цьому включення режиму ПСРЧ здійснюється у випадку наявності в тракті

модуляції мовного сигналу, а у паузах мови і після закінчення розмови передавач відключається [6].

1.1.6 Стандарт 3G

3G стандарт об'єднує між собою набір таких послуг як високошвидкісний мобільний доступ та послуги мережі інтернет з технологію передачі даних що використовує канали радіозв'язку.

Мережі третього покоління 3G, передаючи дані зі швидкістю від 1 до 3 Мбіт, працюють на частотах дециметрового діапазону близько 2 ГГц.

Розглянемо дві основні технології мобільного зв'язку (GSM та CDMA). 3G-стандарт який номінально відноситься до GSM і званий HSDPA (HSPA), насправді відноситься до технології CDMA і має назву - WCDMA.

Стандарт 3G включає в себе 5 різних стандартів сімейства IMT-2000 (UMTS / WCDMA, CDMA2000 / IMT-MC, TD-CDMA / TD-SCDMA (це є власний стандарт Китаю), DECT і UWC-136).

При цьому необхідно забезпечити легку міграцію з мереж другого покоління з вимогами до швидкості передачі даних, специфікації 3G. Для цього, використовувався стандарт UMTS що став топовим вибором для операторів GSM, а стандарт CDMA 2000 забезпечував зворотню сумісність. Стандарт CDMA 2000 застосовує власну технологію безперервної передачі даних, так звану 1xRTT. Хоча офіційно CDMA2000 є стандартом 3G, але він забезпечує швидкість передачі даних лише трохи більше ніж GPRS около 100 кбіт / с.

Мережі CDMA2000 через десятиліття, отримали оновлення до EV-DO Revision A. Вона пропонує не багато вищу вхідну швидкість і суттєво вищу вихідну швидкість. В цій оригінальній специфікації, що називається EV-DO Revision 0, вихідна швидкість обмежена на рівні 150 кбіт / с., а сучасна його версія 3.5G дозволяє робити це в десятки разів швидше.

Те ж саме ми маємо для UMTS з технологіями HSDPA і HSUPA які дозволили додати швидкість для вхідного і вихідного трафіку.

Теоретично можливо забезпечать пропускну здатність до приголомшливих 600 Мбіт / с при подальших удосконаленнях UMTS, що використовуватимуть HSPA +, dual-carrier HSPA +, і HSPA + Evolution, які наведено в джерелі [7].

1.1.7 Стандарт 4G

Перспективні технології 4G дозволяють здійснювати передачу даних зі швидкістю, що перевищує 100 Мбіт/с з рухомим (з високою мобільністю) і 1Гбіт/с з стаціонарним абонентам (з низькою мобільністю).

Цей стандарт LTE розроблено в рамках 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project). Він розвинутий як продовження CDMA і UMTS, але спочатку не відносився до четвертого покоління мобільного зв'язку. Цей стандарт зв'язку який відповідає всім вимогам бездротового зв'язку четвертого покоління, Міжнародним союзом електровз'язку, був обраний десятий реліз LTE - LTE Advanced, що вперше був представлений японською компанією NTT DoCoMo. Перша комерційна мережа LTE була запроваджена 14 грудня 2009 шведською компанією TeliaSonera спільно з Ericsson, в Стокгольмі і Осло. Технологія LTE Advanced (LTE-A) та WiMAX 2 (WMAN-Advanced, IEEE 802.16m) були офіційно визнана Міжнародним союзом електровз'язку на конференції в Женеві в 2012 році бездротовим стандартом зв'язку четвертого покоління 4G (IMT-Advanced).

Стандарт WiMAX (або IEEE 802.16) розроблено створеною в червні 2001 року організацією WiMAX Forum та є продовженням бездротового стандарту Wi-Fi, альтернативою виділеним лініям зв'язку і DSL. У стандарті WiMAX є багато версій. Вони переважно поділяються на фіксований WiMAX (специфікація IEEE 802.16d, також відома як IEEE 802.16-2004, яка була затверджена в 2004 році) і мобільний WiMAX (специфікація IEEE 802.16e, більш відома як IEEE 802.16-2005, яка була затверджена в 2005 році). Першу мережу, що заснован на WiMAX, побудувала в Канаді компанія Nortel, 7 грудня 2005 року.

Сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електровз'язку (ITU-R) у березні 2008 року визначив ряд вимог до стандарту міжнародного рухомого бездротового

широкопasmого зв'язку 4G, який отримав назву специфікацій International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced), встановивши вимоги до швидкості передачі даних для обслуговування абонентів: швидкість 100 Мбіт / с повинна надаватися високоподвижній абонентам (наприклад, поїздам і автомобілів), а абонентам з невеликою рухливістю (наприклад, пішоходам і фіксованим абонентам) повинна надаватися швидкість 1 Гбіт / с. Основна відмінність мереж четвертого покоління від третього полягає в тому, що технологія 4G повністю заснована на протоколах пакетної передачі даних, в той час як 3G поєднує в собі як пакетну комутацію, так і комутацію каналів. Для передачі голосу в 4G передбачені технології VoLTE.

1.1.8 Стандарт 5G

Однією з перспективних сфер системи телекомунікацій є використання терагерцових технологій. Передбачається та здійснюється створення нових за габаритами, завадозахищеністю та енергоефективністю пристроїв суб- та терагерцового діапазону для транспортних мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G), високошвидкісної передачі відеосигналів, радіорелейних систем прямої видимості, транспортних мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) та радарів високоточного виявлення і розпізнавання малорозмірних швидкісних цілей, сенсорів для отримання більш точної та детальної оперативної інформації про стан контрольованого об'єкта або місцевості. Розробки подібні ведуться в США під егідою DARPA, в Англії, Німеччині, Китаї для застосування як у військових, так і у цивільних цілях.

Для застосування технологій стільникового зв'язку LTE і 5G потрібна величезна смуга частот, а тому її поширення стримується дефіцитом вільного спектру. Одним з ефективних рішень, що використовують для побудови мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) є використання телекомунікаційних систем фіксованого радіозв'язку терагерцового діапазону та перехід на малі стільники (мікростільники, пікосоти і фемтосоти), які являють собою базові

станції з обмеженим діапазоном дії і які встановлюються для розширення зони покриття базових станцій макрорівня.

Такі малі стільники, маючи невелику дальність передачі, дозволять задіяти технології багаторазового використання частот для більш ефективного витрачання доступного спектру.

Системи малих сот, що також називаються гетерогенними мережами або HetNets, з часом можуть стати основою стільникового зв'язку п'ятого покоління. Малі стільники можуть також працювати в терагерцовому діапазоні, що дозволить отримати безцінний спектр, необхідний для розширення зони покриття. Необхідні дослідження основних тенденцій та перспектив розвитку транспортних розподільчих мереж (Mobile backhaul) та можливостей використання телекомунікаційних систем фіксованого радіозв'язку терагерцового діапазону в рамках побудови мереж мобільного зв'язку 5G.

Завдяки розвитку елементної бази радіоелектронних пристроїв та широкому впровадженні цифрової техніки, формуванні і обробці сигналів можливо стає поновому підійти до вирішення багатьох завдань телекомунікаційних систем суб-і терагерцового діапазону.

В наші часи тенденція використання терагерцового діапазону радіохвиль набула сталого характеру, що пояснюється великими успіхами в розробці технічно досконалих пристроїв і систем. Нині з'явилась вілика потреба в організації високонадійних однопрогонових ліній зв'язку, які призначені для передачі багатоканальної телефонії, а також обміну даними між ЕОМ і периферійними пристроями. Для цих цілей в найбільшій мірі підходять радіорелейні лінії терагерцового діапазону. Їх перевагами є висока завадозахищеність і пропускна здатність та мале споживання енергії.

Одним із таких перспективних напрямів є робоча гіпотеза щодо проектування елементів та вузлів передавального та приймального трактів терагерцового діапазону з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової електроніки. Це дасть ожливісті запропонувати нові схемно-технологічні рішення створення в терагерцовому діапазоні гетеродина на основі квазіоптичних і

просторових методів підсумовування потужності і більш високочутливих частотних перетворювачів з накачуванням на основній гармоніці.

Мережі 5G ще знаходяться в розробці. Однак образом майбутніх гібридних систем 5G для доступу і для транспортних мереж можна вважати прототип системи, що створюється в європейському проекті MiWaveS. Одним з основних завдань проекту є демонстрація інноваційних можливостей радіоінтерфейсу мереж 5G в найбільш високих діапазонах частот. Розробка прототипів обладнання мереж 5G проводиться для так званих V- і E- діапазонів (57-65 ГГц і 71-76 ГГц відповідно). У проекті будуть проведені експериментальні дослідження як для прототипу радіоінтерфейсу для радіодоступу, так і для прототипу радіоінтерфейсу для транспортної мережі.

Для створення транспортної мережі передбачається забезпечення радіоінтерфейсом наступних характеристик і проведення відповідних операцій:

- Висока пропускна здатність, що використовується максимум доступної ширини смуги радіочастот в низхідному або висхідному каналах для досягнення максимальної пропускної спроможності. Для цього використовується поділ каналів по частоті. Для підвищення пропускної здатності розглядається також організація двох паралельних ліній в двох діапазонах частот. Використовуються адаптивні антени з високим коефіцієнтом посилення для досягнення максимального значення відношення SNR (сигнал / шум) на входах приймачів і забезпечення використання ефективної модуляції та схеми кодування.

- Довжина прольоту: вимір максимальної відстані між вузлами в транспортній мережі при забезпеченні певного мінімального значення пропускної здатності/ємності.

- Затримка: вимір часу затримки сигналу на рівні протоколів RHY і MAC, а також визначення часу затримки для системи, щоб адаптуватися до змін в каналі при поширенні радіохвиль.

- Простота установки і експлуатації: демонстрація різних методів, підходів і технологій, які дозволяють забезпечувати налаштування лінії транспортної мережі автономно, наприклад, автоматичний пошук і фіксація основного променя

пов'язаної антени під час розгортання.

В європейському проєкті MiWaveS використовували мережі IMT-2020 (5G) в більш високих діапазонах пропонується не тільки для бездротового мобільного доступу, але і для організації транспортних мереж для базових станцій, зокрема малих сот.

В даний час організація транспортної мережі на основі провідних технологій (наприклад, оптичне волокно, кабель) або навіть на основі традиційної фіксованого радіозв'язку є дорогим і неефективним рішенням в деяких типових сценаріях. Потрібно економічне і надійне рішення для транспортної мережі, яке могло б обслуговувати найбільш завантажені зони мережі бездротового мобільного доступу і при цьому при необхідності відстежувати зміна напрямку і величини трафіку між БС.

Гнучке рішення транспортної мережі на основі технології IMT може задовольнити різні вимоги до транспортної мережі, в тому числі для випадків мереж «точка - точка» і «точка - багато точка». Дана технологія має переваги за високими показниками ефективності використання спектра і зручності обслуговування мереж. Крім того, така технологія забезпечує доступність мережі, високу ємність, маленьку затримку передачі сигналів і високу надійність бездротової транспортної мережі з використанням передбачуваного для використання частотного ресурсу мереж 5G.

Використання радіотехнологій 5G в транспортній мережі, так званий «self-backhauling», дозволяє реалізувати концепцію гнучкої транспортної мережі. Це комплексне рішення з високою пропускною спроможністю транспортної мережі і з можливістю динамічно адаптуватися і масштабуватися під динамічні зміни топології мережі радіодоступу. При цьому перевикористання використовуваної інфраструктури мереж 5G в терагерцовому діапазоні частот дозволяє задіяти існуючі ресурси оператора і за рахунок цього знизити витрати на організацію і управління транспортною мережею. У багатьох випадках високошвидкісний радіоінтерфейс 5G зможе замінити підключення по оптоволоконній лінії, забезпечуючи пропускну здатність до десятків Гбіт/с.

Загальна архітектура системи MiWaveS для радіоінтерфейсу доступу і транспортної мережі проілюстрована на рис. 1.1. В основі мережі 5G показані макро-базові станції, що забезпечують широке покриття мережі мобільного широкосмугового доступу з використанням технології радіодоступу (LTE, UMTS і т. д.) в діапазонах радіочастот нижче 6 ГГц. Дані базові станції доповнені малими сотами, що працюють в міліметровому діапазоні частот (в V-діапазоні 57-66 ГГц), для забезпечення високої пропускної спроможності і ємності мережі для малорухомих користувачів. Кожний малий стільник має радіус дії близько 50м.

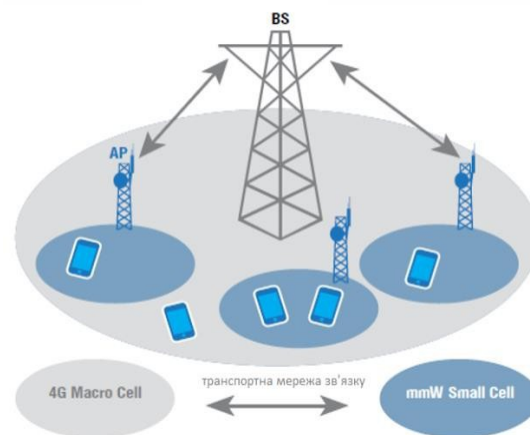


Рисунок 1.1 – Пропонована архітектура мережі з використанням системи MiWaveS

Припускаючи масове і щільне розміщення точок доступу в терагерцовому діапазоні частот, бездротові транспортні мережі забезпечують економічно ефективний і високошвидкісний зв'язок точок доступу і ядра мережі (блакитні лінії на рис. 1.2). Зокрема, система в проекті MiWaveS передбачає реалізацію бездротової транспортної мережі, використовуючи неліцензований (в ряді країн) спектр в діапазоні 57-66 ГГц і спектр зі спрощеної ліцензією в діапазоні 71-76 / 81- 86 ГГц. Пропонований частотний план використовує чотири канали технології IEEE 802.11ad (WiGiG) по 2,16 ГГц в діапазоні 57-66 ГГц і частотний план з об'єднанням блоків по 250 МГц, пропонований стандартом ETSI в діапазоні 71-76/81-86 ГГц.

В даний час в Україні для роботи систем фіксованого бездротового зв'язку

фіксованої служби виділені та використовуються окремі смуги частот в діапазоні від 60 МГц до 95 ГГц з урахуванням умов їх використання. Постановою Кабінету Міністрів України №838 від 05.09.2012р. до Плану використання радіочастотного ресурсу України (розділ II - перспективні технології) внесена радіотехнологія радіорелейного зв'язку в діапазонах частот 94,1-100 ГГц; 102- 105 ГГц; 106,5-109,5ГГц; 111,8-113ГГц; 130-134ГГц; 141-148,5 ГГц, тобто і в терагерцовому діапазоні.

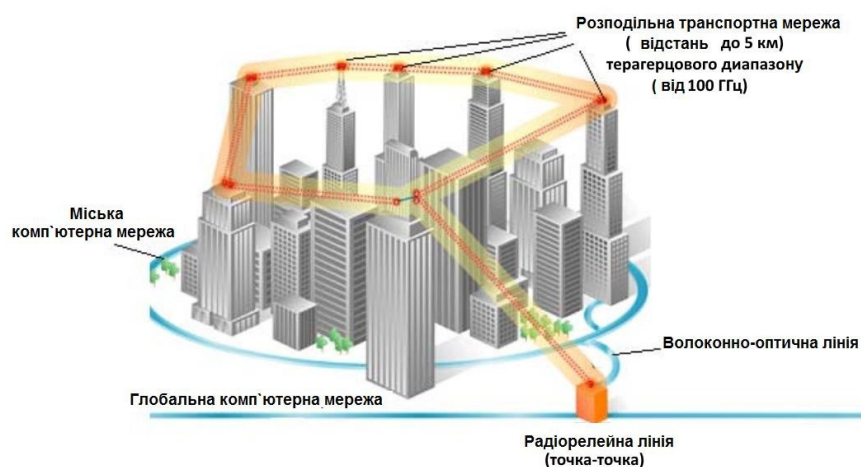


Рисунок 1.2 – Приклад використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку

Враховуючи, що багато смуг частот нижче 6 ГГц останнім часом розглядаються для розвитку мереж мобільного бездротового радіодоступу (в першу чергу стільникових мереж сухопутної рухомої служби), мережі систем фіксованого бездротового зв'язку з цих смуг при можливості виводяться.

Тому перспективний розвиток мереж систем фіксованого бездротового зв'язку і оцінку їх потреби в частотному ресурсі доцільно розглядати в діапазоні радіочастот вище 6 ГГц.

Найбільш вагомим напрямком розвитку послуг з використанням систем фіксованого радіозв'язку в даний час є застосування систем фіксованого радіозв'язку в транспортних мережах в інфраструктурі рухомого зв'язку.

Транспортні мережі інфраструктури рухомого зв'язку знаходяться на стадії розвитку, в зв'язку зі зростанням обсягу даних, необхідних для передачі в цих мережах. Зокрема, розвиток мереж рухомого зв'язку привело до збільшення числа радіорелейних ліній в багатьох діапазонах частот. Детальна статистика по країнах Європи, зокрема, наведена в Звіті ЕСС 17333.

Актуальність мереж 5G базується на вирішенні сучасних проблем підвищеної потреби в радіолініях з високою пропускну здатністю за рахунок використання терагерцового діапазону в гетерогенній транспортній мережі мобільного зв'язку (рис. 1.2), які працюють переважно на малих відстанях.

Як приклади можна перерахувати наступні:

- Використання на інтерфейсі fronthal.
- Використання у зв'язку з umbrella стільниками.

Під fronthal мається на увазі зв'язок у 4-ому поколінні мобільного зв'язку між обладнанням обробки проміжної частоти BBU* (baseband unit) та віддаленими радіо-головками RRH (Remote radio heads), головними функціями яких є:

- Перенесення частот з проміжної частоти на радіочастоту і навпаки.
- Цифрова корекція попередніх спотворень.

На даний момент на цій ділянці використовується CPRI інтерфейс. Оскільки відстані даних ділянок можуть сягати декількох кілометрів, потрібна висока швидкість для передачі інформації користувачів та забезпечення синхронної роботи обладнання.

Під зв'язком з umbrella стільниками мається на увазі зв'язок між макро-стільниками та мікро-, піко-, фемто-стільниками (малими стільниками), що знаходяться в зоні дії даного макро-стільника. Малі стільники покривають місця з більшою щільністю абонентів на територію стільника, що дозволяє збільшити пропускну здатність мережі. Макро-стільники покривають місця з меншою щільністю абонентів, використовуючи при цьому більшу потужність передавачів, що призводить до більшої території покриття (до 10 км). Umbrella стільники направлені на зменшення кількості процедур передачі обслуговування, при високій швидкості переміщення мобільних станцій між малими

стілниками, одного umbrella стільника. На цій ділянці є можливість використовувати досліджувану розробку для агрегації трафіку від багатьох абонентів малих стільників до umbrella стільника, для подальшої передачі даної інформації до мережі комутації, за допомогою транспортної мережі backhaul з використанням радіорелейної системи терагерцового діапазону.

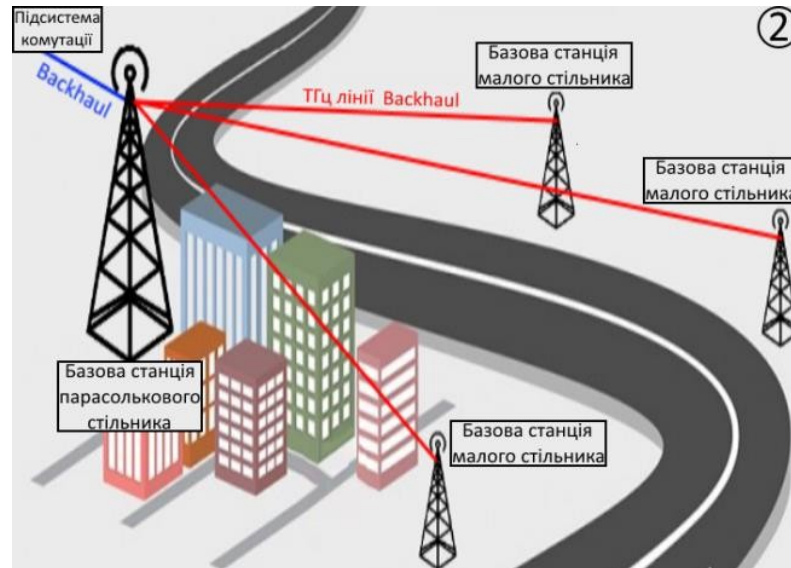


Рисунок 1.3 – Схема використання радіолінії терагерцового діапазону в транспортній мережі мобільного зв'язку

Приймальний та передавальний тракти такої радіорелейної системи були побудовані з використанням спеціально розроблених функціональних вузлів, модульне виконання яких з максимальним використанням монолітних мікросхем забезпечило компактність конструкції.

Експериментальні дослідження трактів радіорелейної системи показали наступні значення головних характеристик в робочому діапазоні частот: шумова температура приймального тракту $T_{ш}=5000$ К; вихідна потужність передавального тракту $P_{вих}=40$ мкВт.

В режимі модуляції QAM-64 проведено експериментальні дослідження лабораторного зразка цифрової симплексної радіорелейної системи терагерцового діапазону, у її складі: приймальний та передавальний радіотракти в діапазоні

частот 130...134 ГГц, цифрові модеми та її випробування згідно зі схемою, що показана на рис.1.4.

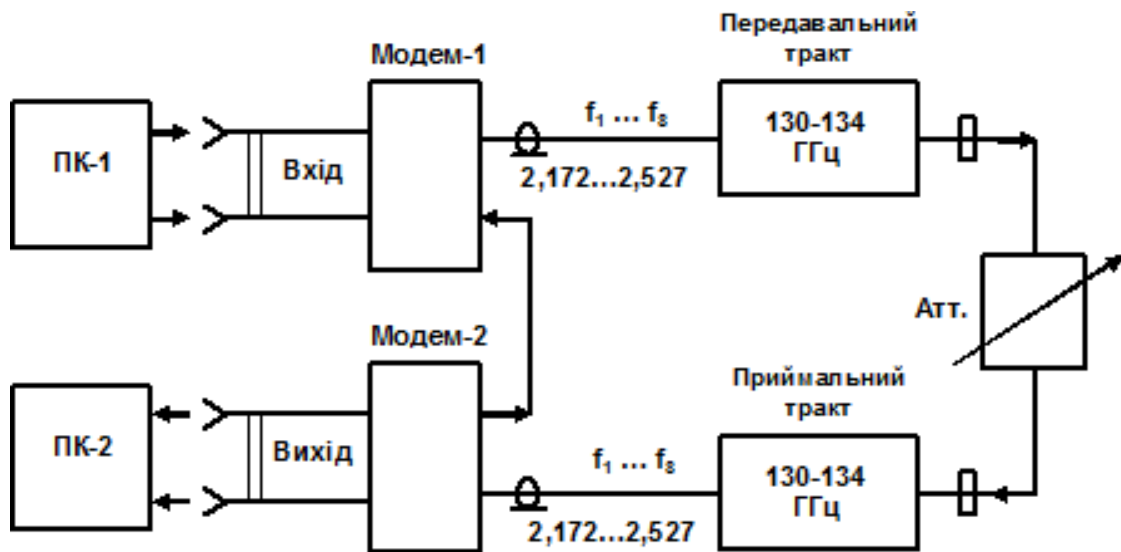


Рисунок 1.4 – Схема випробувань телекомунікаційної системи

Тепер коли ми розглянули стандарти стільникового зв'язку і знаємо їх робочі частоти настав час розглянути пристрої, які дозволяють пригнічувати роботу стільникового зв'язку.

1.1.9 Моделювання функціональних вузлів радіотрактів терагерцового діапазона з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової електроніки.

Моделювання та розробка функціональних вузлів приймального і передавального трактів. Ключовими елементами радіо релейної станції зв'язку терагерцового діапазону є радіоелектронні приймально-передавальні пристрої, здатні формувати і передавати модульовані сигнали необхідної потужності зі швидкістю від 1 Гбіт/с і приймати сигнали з прийнятною високою чутливістю. Передавальний і приймальний тракту складають аналогову (лінійну) частину радіо релейної станції. Тракти побудовані за гетеродинною схемою і забезпечують передачу сигналів на трасі в терагерцового діапазону частот в межах 130 ... 134 ГГц. Діапазон проміжних частот становить 2 ... 4 ГГц.

Частотні перетворювачі сигналу. Частотний перетворювач вгору і змішувач,

що працюють в різних режимах і виконують різні функції, мають однакову уніфіковану схему і конструкцію.

Перетворювачі побудовані на базі безкорпусних арсенід-галієвих діодів Шотткі з балочними виводами. Гранична частота діодів складає 2,5 ГГц, що дозволяє їм працювати принаймні в нижній частині терагерцового діапазону. За електричними і конструктивними параметрами розроблені діоди не поступаються зарубіжним аналогам, наприклад, арсенід-галієвим діодам фірми Hewlett Packard.

Балансний змішувач приймального тракту. Спроектвана монолітно-інтегральна схема балансного змішувача приведена на рис. 1.5

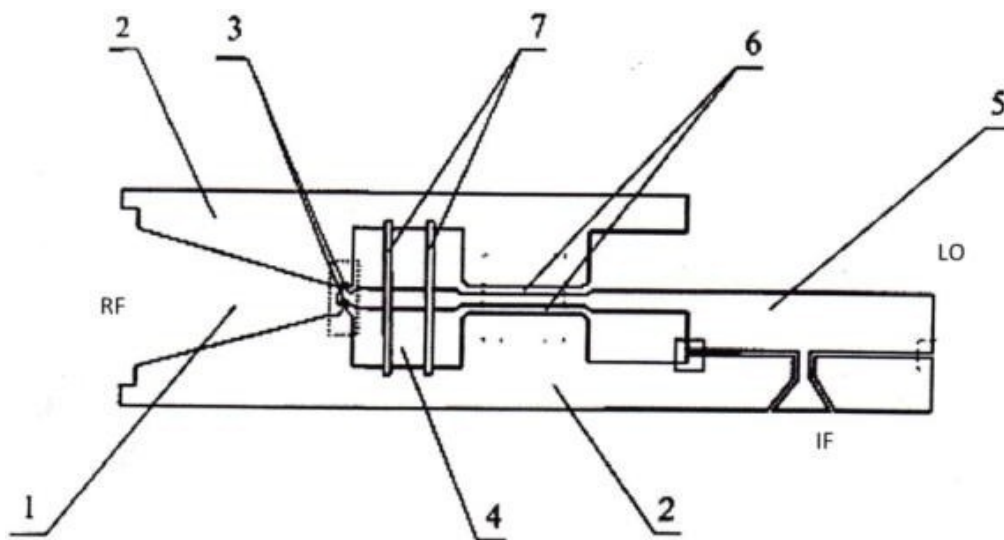


Рисунок 1.5 – Монолітно-інтегральна схема балансного змішувача:

1 - щілинна лінія передачі; 2 - смужкові провідники (золото товщиною бмкм); 3-послідовно включені два напівпровідникових діода; 4 - хвилевидно-щілинний резонатор; 5- смужкова лінія; 6 - копланарна лінія передачі; 7 - дві смужки з арсенід-галію.

Мікрохвильова монолітна інтегральна система (ММІС) змішувача містить: щілинну лінію передачі (RF), діоди Шотткі, вихід щілинної лінії з'єднаний з щілинним резонатором, копланарну лінію (LO) для подачі сигналу гетеродина. Ділянка смужкової лінії є виводом проміжної частоти (IF) і елементом узгодження імпедансу (повного опіру) гетеродинного входу хвилеводу з

копланарною лінією.

У смужковий резонатор введені реактивні елементи в формі арсенід-галієвих смужок, які виконані в єдиному технологічному циклі за технологією виготовлення мікрохвильової монолітної інтегральної системи.

Реалізація реактивних елементів у вигляді двох арсенід-галієвих смужок (ємнісний характер реактивного опору) з відстанню, що дорівнює половині довжини хвилі центральної робочої частоти гетеродина, дозволяє додатково розширити смугу пропускання резонатора, за рахунок виникнення нових ємнісних зв'язків при збереженні досить великого рівня добротності.

При подачі до щілинної лінії інформаційного високочастотного сигналу електромагнітні хвилі поширюються по щілинній лінії, збуджують резонатор і напівпровідникові діоди протифазно. Сигнал гетеродина поширюючись по смужковій і копланарній лінії передачі, збуджує щілинний резонатор і напівпровідникові діоди синфазно. На напівпровідникових діодах відбувається перетворення коливань двох частот і різницевий сигнал проміжної частоти $f_{\text{пч}}=f_{\Gamma}$

- f_c знімається зі смужкової лінії і надходить на смужково-проникний фільтр проміжної частоти (на малюнку не показаний).

Розміри мікрохвильової монолітної інтегральної системи балансового змішувача (ММІС БЗ) $3,81 \times 1,24 \times 0,007$ мм. Широкосмугові високочастотні балансові змішувачі (БЗ) приймача виконані за технологією виготовлення арсенід-галієвих ММІС і характеризуються низьким рівнем паразитних зв'язків.

Введення реактивних елементів в резонатор у вигляді арсенід-галієвих смужок, виконаних в єдиному технологічному циклі виготовлення ММІС, дозволяє позбутися від таких паразитних явищ, як «просочування» електромагнітного випромінювання по діелектричній підкладці, звести до мінімуму паразитні зв'язку.

Конструкція такого БЗ (рис. 1.6) складається з розрізаних по Е-площині половинок хвилеводу $1,6 \times 0,8$ мм і ММІС на одній з них, виконаних в єдиній конструкції.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд балансного змішувача

Вимірні втрати перетворення (SSB) балансового змішувача становлять 8 дБ, що відповідає кращим зарубіжним аналогам.

Перетворювач частоти вгору. Підвищуючі перетворювачі частоти або змішувачі зсуву, призначені для перетворення сигналу проміжної частоти (ПЧ) в сигнал більш високих частот.

Особливістю змішувача передавача є досить великі рівні вхідного сигналу і коливань гетеродина, а, отже, і побічних продуктів перетворення.

Основними вимогами до змішувача передавача є: забезпечення заданої вихідної потужності з допустимою нерівномірністю в діапазоні робочих частот, задане придушення побічних продуктів перетворення, малі втрати перетворення, стійкість в роботі, надійність, максимальний коефіцієнт використання потужності гетеродина (відношення потужності вихідного сигналу до потужності гетеродина).

Вимога максимального коефіцієнта використання потужності гетеродина або, інакше, к.к.д., важливо для передавача, тому що змішувач останнього працює при відносно великому рівні сигналу (до десятків міліват).

Гібридно-інтегральна схема (ГІС) змішувача має щілинну лінію передачі, один кінець якої є входом інформаційного сигналу. З іншого боку топологічної схеми знаходиться копланарна лінія передачі для сигналу гетеродина. В області А-А, розрив щілинної і копланарної ліній передачі послідовно-паралельно

включені чотири планарних змішувальних діодів Шотткі (рис. 1.7).

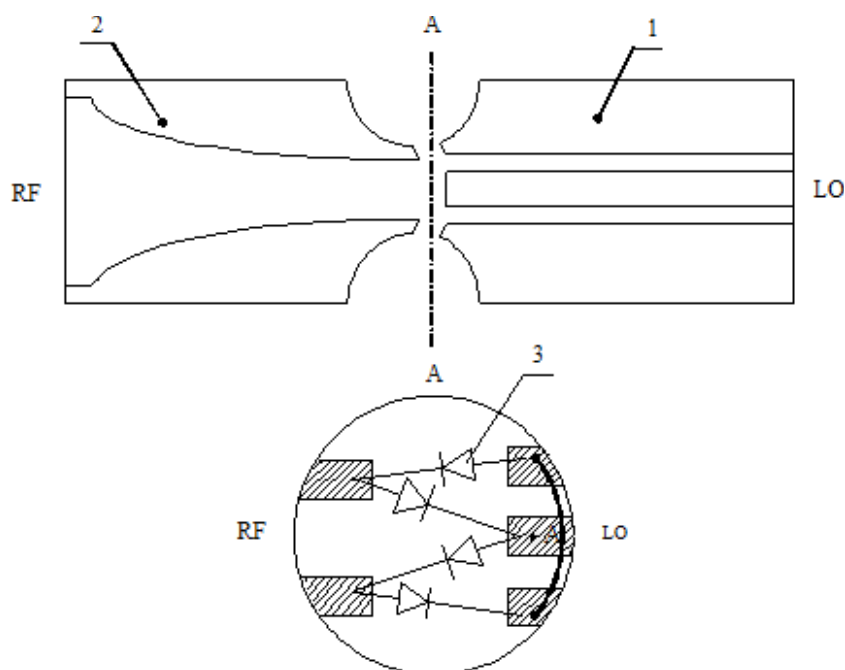


Рисунок 1.7 – Гібридно-інтегральна схема змішувача зсуву: 1 - копланарна лінія; 2 - хвилеводно-щілинна лінія; 3 - діоди Шотткі

При подачі до входу щілинної лінії інформаційного ВЧ сигналу, електромагнітні хвилі збуджують напівпровідникові діоди протифазно. Сигнал гетеродина поширюючись по копланарній лінії передачі збуджує напівпровідникові діоди синфазно. На напівпровідникових діодах відбувається перетворення коливань двох частот і різницевий сигнал проміжної частоти $f_{\text{пч}} = f_r - f_c$ знімається з центральної смужки копланарної лінії (точка А див. рис.1.7) і надходить на фільтр проміжної частоти (на рис. не показаний).

У сучасних мікрозбірках гібридно-інтегральних схем важлива роль відводиться технологіям монтажу. Монтаж діодів здійснено методом клеєння безпосередньо на підкладці з дьюроїда.

Розроблений змішувач зсуву на основі ГІС має наступні параметри: робоча частота сигналу передавача - 134 ГГц; робоча частота сигналу гетеродина - 129,6 ГГц; розв'язка гетеродин-сигнал - 25,0 дБ; розв'язка гетеродин-ПЧ, - 30,0 дБ; вихідна потужність при компресії коефіцієнта передачі на 1 дБ, дБм: при

потужності гетеродина 10...13дБм - 5,0; при потужності гетеродина 13...15 дБм - 9,0; діапазон проміжних частот - 2,0-4,0 ГГц; втрати перетворення - 8,0 дБ.

З аналізу отриманих характеристик можна зробити висновок, що потужність передавача знаходиться в межах 3-5 мВт, що цілком достатньо для організації зв'язку прийом/передача на інтервалі 1,0 ... 5,0 км.

1.1.11 Вкрай високочастотні смуго-пропускні фільтри

Вкрай високочастотної смуго-пропускні фільтри (ППФ) на виході передавального і вході приймального трактів повинні забезпечити розв'язку сигналів даних трактів, а також достатнє придушення дзеркальних каналів і сигналів гетеродинової. Низька проміжна частота (ПЧ) ($F_{пч} = 1 \dots 3$ ГГц) обумовлює жорсткі вимоги до високочастотним смуго пропускним фільтром (СПФ) по вибірковості. Найбільш прийнятними в 2-х мм діапазоні довжин хвиль з точки зору малих втрат і високої вибірковості є хвильовесептум-фільтри. Саме такий фільтр був розроблений в рамках даного проекту. Конструктивно тонку металеву пластину, вставлену в Е площину волноводного каналу. Пластина містить резонансні вікна, зв'язок між якими визначається шириною поділяють смужок. Для забезпечення достатньої вибірковості узятий шести резонаторній фільтр.

На рис. 1.8 представлені розраховані S-параметри шестирезонаторного СПФ і його частотна характеристика. Результати експерименту показують, що фільтр задовольняє вимогам вибірковості, необхідним для забезпечення достатнього придушення (більше 20 дБ) дзеркального каналу і другий гармоніки сигналу гетеродина (129,6 ГГц).

Втрати фільтра в ТГД передавача не перевищують 4 дБ, що є задовільним результатом для таких високих частот. Нерівномірність АЧХ по плоскій частині не перевищує 2 дБ.

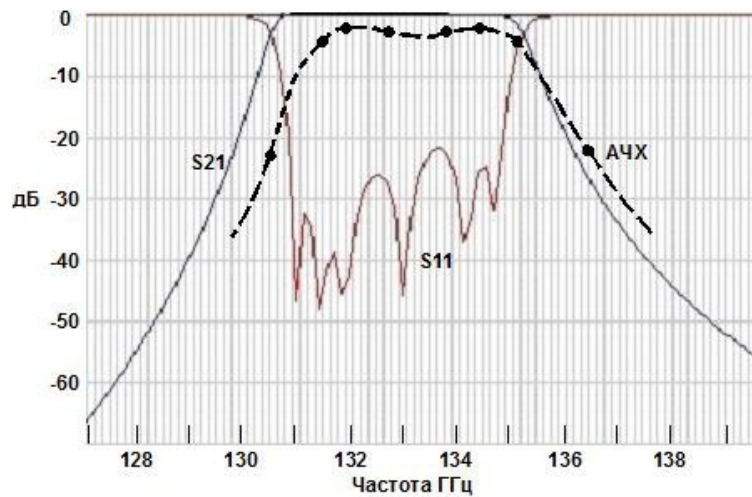


Рисунок 1.8 – Розраховані S -параметри і виміряна АЧХ септума-фільтра.

Спроектовані пристрої передають (з вихідною потужністю до 5 мВт) і прийомні (з коефіцієнта шуму на рівні 10 дБ) радіотракт терагерцового діапазону довжин хвиль можуть бути використані надалі при побудові передавального і приймального радіотракту телекомунікаційних систем і мереж, в тому числі радіорелейних систем прямої видимості для транспортних розподільчих мереж мобільного зв'язку наступного покоління. Забезпечення пропускної здатності радіолінії в десятки Гбіт/с і більше, можливо за рахунок використання терагерцового діапазону довжин хвиль, в якому можна отримати не тільки велику швидкість передачі інформації, але і високу надійність радіолінії зв'язку при досить малій вазі і габариті приемо-передавального тракту і антеною системи.

1.2 Системи радіопротидії мобільному зв'язку

Пригнічувач стільникових телефонів (ПСТ) або пригнічувач стільникового зв'язку GSM, 3G, CDMA - це пристрій блокування каналів мобільного зв'язку на заданих частотах з метою забезпечення особистої безпеки. ПСТ бувають з різним радіусом дії і пригнічують різні частоти зв'язку. Розрізняють портативні і стаціонарні. Радіус дії таких пристроїв залежить від різних чинників, таких як дальність, від базової станції стільникового оператора, товщина стін приміщення,

в якому застосовується пригнічувач стільникових телефонів, а також вихідна потужність застосовуваного пристрою. На рис.1.9 показані приклади сучасних ПСТ.



Рисунок 1.9 – Приклади сучасних ПСТ

1.2.1 Організація мережі стільникового зв'язку

Свою назву мережі стільникового зв'язку одержали відповідно до стільникового принципу організації зв'язку, відповідно до якого зона обслуговування (територія міста або регіону) ділиться на деяке число стільників. Принцип організації мережі стільникового зв'язку Поділити територію на стільники можна у два способи 1. Шляхом вимірювання статистичних характеристик поширення сигналів в системах зв'язку; 2. Шляхом вимірювання або обчислення параметрів поширення сигналів для конкретного району. При реалізації першого способу вся територія ділиться на однакові за розміром стільники, а потім за допомогою закону статистичної радіофізики визначаються їх розміри та відстані до інших зон, у межах яких виконуються вимоги допустимого взаємного впливу. Для оптимального (тобто, без перекриття або пропускання ділянок) розділення території на стільники можна використовувати лише три геометричні фігури: трикутник, квадрат та шестикутник. Найбільш підходящою фігурою є шестикутник, оскільки якщо антену з круговою діаграмою спрямованості встановити в його центрі, то буде забезпечено доступ до всього

стільника. При використанні першого способу інтервал між стільниками, в яких використовуються однакові робочі канали, є більшим, ніж потрібно для забезпечення допустимого рівня взаємних завад. Більш доцільним є другий спосіб розділення на зони обслуговування. У цьому випадку вимірюють або обчислюють параметри системи для ви- 11 значення мінімальної кількості базових станцій, що забезпечують задовільне обслуговування абонентів на всій території, визначають оптимальне місце розташування базової станції з врахуванням рельєфу місцевості, можливість використання направлених антен, пасивних ретрансляторів і сумісних центральних станцій у момент пікового навантаження. Стільник звичайно схематично зображують у вигляді правильних шестикутників, які мають подібність із бджолиними стільниками, це й було приводом назвати систему стільниковою. Стільникова структура мережі безпосередньо пов'язана із принципом повторного використання частот, відповідно до якого ті самі частоти можуть повторюватися в стільниках, вилучених друг від друга на певну відстань. У центрі кожного стільника розташована базова станція (БС) (base station), яка обслуговує всі рухомі станції (mobile station) у межах свого стільника. При переміщенні абонента з одного стільника до іншого відбувається передача його обслуговування від однієї БС до іншої. У дійсності стільники ніколи не бувають строгої геометричної форми. Реальні границі стільників мають вигляд неправильних кривих, що залежать від умов поширення й загасання радіохвиль, тобто від рельєфу місцевості, щільності забудови й інших факторів. Крім того, у межах зони впевненого прийому часто мають місце області, у яких прийом сигналу неможливий (тіньові зони). Відповідно положення базової станції лише приблизно збігається із центром стільника, який складно визначити однозначно. Якщо на БС використовуються спрямовані антени, то БС фактично виявляються на границях стільників. Реальні границі стільників Кількість каналів базової станції кратна 8, наприклад, 8, 16, 32. Один з каналів є керуючим (control channel). У деяких випадках його також називають каналом виклику (calling channel). На цьому каналі відбувається безпосереднє встановлення з'єднання при виклику рухомого абонента мережі, а сама розмова розпочинається тільки після того, коли

буде знайдено вхідний у даний момент канал і відбудеться переключення на нього. Всі ці процеси відбуваються дуже швидко і непомітно для абонента. Будь-який з каналів стільникового зв'язку використовує при роботі пару частот для дуплексного зв'язку, тобто частоти базової і рухомої станції рознесені. Це робиться для того, щоб покращити фільтрацію сигналів і усунути взаємний вплив передавача на приймач одного і того ж пристрою при їх одночасній роботі. Комутація каналів базових станцій здійснюється в центрі комутації (ЦК) (Mobile Switching Center), що підключається до телефонної мережі загального користування (ТФЗК) на правах кінцевої телефонної станції. У цифрових системах стільникового зв'язку (наприклад GSM) використовується поняття «система базової станції» (СБС), у яку входить контролер базової станції (КБС) і декілька базових станцій прийому-передачі (БППС). Один контролер може управляти декількома БППС і виконує такі функції: управляє розділенням радіоканалів; контролює з'єднання й регулює їхню черговість; забезпечує режим роботи зі «стрибучою» частотою, модуляцію й демодуляцію сигналів, кодування та декодування повідомлень. Три БППС, які підключаються до одного загального КБС, можуть обслуговувати кожна свій 120-градусний сектор, а шість БППС із одним КБС – шість 60- градусних секторів. БС – шість 60- градусних секторів.

Пригнічувач являє собою прилад, що генерує потужний шумовий сигнал на певних частотах. В результаті, на частотах, в яких працює даний пристрій, неможлива передача будь-якої інформації, ніби сигнали стільникового зв'язку, шпигунських "жучків" або бездротової апаратури (3G, GPRS-модеми, GPS-пристрої і т.д.). Якщо візуально уявити зону дії цього пригнічувача, то вона буде мати вигляд кулі (з радіусом від 5 до 200 м, в залежності від обраного пристрою) (рис.1.10). Іншими словами, прилад блокує дію мобільних телефонів і інших бездротових засобів зв'язку не тільки в приміщенні, в якому встановлено пригнічувач, і в сусідніх кімнатах, але і в приміщеннях, розташованих поверхом вище і поверхом нижче. Слід зазначити, що дальність дії таких приладів - непостійна величина. Вона залежить від перешкод, умов місцевості, близькості базових станцій і може сильно змінюватися.

Пригнічувачі мобільних телефонів глушать тільки задані діапазони частот, тому інші пристрої працюють в звичайному режимі. Наприклад, в той час, як блокується стільниковий зв'язок GSM і 3G, інтернет по Wi-Fi каналу і Dect телефон працюватимуть.

Блокатор стільникових телефонів працює безшумно і абсолютно не вплине на що знаходиться поруч побутову техніку, оргтехніку, комп'ютери, що дозволяє без проблем встановлювати дане устаткування в будь-якому приміщенні, де це необхідно.

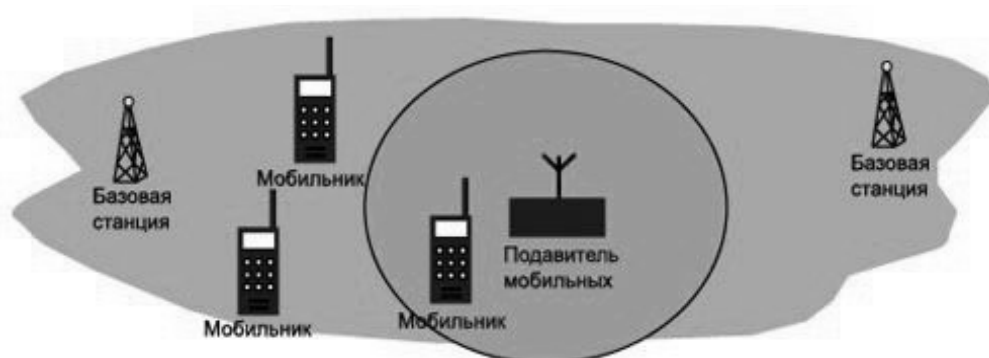


Рисунок 1.10 – Приклад зони дії пригнічувача стільникових телефонів

Найбільшого поширення набули кишенькові пригнічувачі стільникових телефонів. Це невеликі мобільні пристрої, що містяться в кишені і блокують стільниковий зв'язок в невеликому радіусі, в середньому до 10 метрів. Кишеньковий мобільний пригнічувач має вбудований акумулятор і може безперервно працювати до 5 годин. Застосування таких блокаторів, як правило, пов'язане захистом особистого автомобіля, з необхідністю проведення конфіденційних виїзних переговорів, а також пригнічувач стільникових застосовується для пригнічення GSM жучків - найбільш поширених пристроїв для прихованого прослуховування. Кишеньковий пригнічувач мобільних телефонів також може бути застосований в антитерористичних цілях, наприклад, при знешкодженні механізмів детонаторів, які активуються за допомогою дзвінка на вбудований стільниковий телефон.

Стационарні пригнічувачі стільникових телефонів, як правило, мають більший радіус пригнічення, ніж кишенькові моделі. В середньому він становить близько 50 метрів. Вони використовуються в основному в офісах і переговорних кімнатах для проведення нарад.

Розглянемо ж існуючі на ринку пристрої для пригнічування стільникового зв'язку.

1.2.2 Пристрій пригнічування систем стільникового зв'язку "ПІРАНЬЯ Х6-4G"

ПІРАНЬЯ Х6-4G (рис.1.11) призначений для абсолютного глушіння сигналу мобільного телефону, 3G, 4G і Wi-Fi. [9]



Рисунок 1.11 – Пристрій пригнічування систем стільникового зв'язку "ПІРАНЬЯ Х6-4G"

Висока потужність 6 антеною глушилки " ПІРАНЬЯ Х6-4G" забезпечує глушіння сигналу на відстані від 5 до 40 метрів (радіус дії приладу залежить від близькості станцій мобільного зв'язку, рельєфу місцевості). Вихідна потужність 18 Вт, що дозволяє глушити навіть найсильніші сигнали. Пригнічує всі сигнали стільникових телефонів, GPS і Wi-Fi сигналу. Технічні характеристики комплексу ПІРАНЬЯ Х6-4G наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики комплексу ППРАНЬЯ Х6-4G

| Технічні характеристики: | |
|--------------------------|--------------------|
| 4G LTE+ CDMA | 791 - 894MHz |
| GSM | 925-960 MHz |
| DCS | 1805-1880 MHz |
| 3G | 2110-2170 MHz |
| WI-FI | 2400-2500 MHz |
| 4G WiMax | 2620-2690 MHz |
| Радіус дії | 2-40 м |
| Живлення | адаптер (220В~12В) |

1.2.3 Пристрій пригнічування систем стільникового зв'язку GSM, 3G «Скорпіон 10»

Кишеньковий пригнічувач сигналів GSM і 3G «Скорпіон 10» - це одне з найбільш недорогих пристроїв серед пригнічувачів GSM сигналу, при цьому, він має гарну якість. Його корпус цілком виготовлений з металу. Пригнічувач невеликого розміру і може поміститися у кишені.

На рис. 1.12 представлений пригнічувач мобільних телефонів GSM, 3G «Скорпіон 10»



Рисунок 1.12 – Пригнічувач мобільних телефонів GSM, 3G «Скорпіон 10»

Сигнал GSM пригнічується в радіусі від 2 до 5 метрів. Тобто до 10 метрів в діаметрі. Радіус пригнічування сильно залежить від оператора мережі стільникового зв'язку (важливо, які частоти він використовує і наскільки хороший прийом сигналу в даній місцевості), а також від ступеня зарядженості акумулятора пристрою.

В табл. 1.2 наведені основні технічні характеристики пригнічувача мобільних телефонів «Скорпіон 10».

Таблиця – 1.2 Основні технічні характеристики пригнічувача мобільних телефонів «Скорпіон 10».

| | |
|---|--|
| Технічні характеристики: | |
| Спектр частот і типи мереж, що пригнічуються: | GSM 900 МГц- 1800 МГц, CDMA 870 МГц – 880 МГц, DCS / PHS 1805 МГц – 1920 МГц, 3G 2110МГц - 2170 МГц |
| Радіус пригнічення | 2 м -5 м |
| Можливо використовувати при температурі і вологості | від -30 до 60 градусів Цельсія от 5 % до 95 % |
| Вбудований акумулятор | 1500 mAh (3 - 4 часа работы) |
| Розміри | 104 мм x 47 мм x 18 мм |

| | |
|------|-------|
| Вага | 150 г |
|------|-------|

«Скорпіон 10» ідеально підходить для пригнічення стільникового сигналу в невеликих приміщеннях (класних кімнатах, офісах і т.п.), в автомобілях [10].

1.2.4 Пригнічувач мобільних телефонів «БагХантер PS-1»

На рис. 1.13 представлений пригнічувач мобільних телефонів «БагХантер PS-1».

Портативний пристрій - пригнічувач стільникових телефонів «БагХантер PS-1» призначений для запобігання витоку інформації з каналів мобільного і бездротового зв'язків. Дана модель блокує роботу підслуховуючих пристроїв, що використовують канали систем бездротового зв'язку стандартів GSM, CDMA, AMPS, N-AMPS, NMT, TACS, TDMA, IDEN, UMTS, забезпечує пригнічення мобільних телефонів і бездротових відеокамер, які працюють на перерахованих вище стандартах зв'язку [11].



Рисунок 1.13 – Пригнічувач мобільних телефонів «БагХантер PS-1»

В табл. 1.3 наведені основні технічні характеристики пригнічувач стільникових телефонів «БагХантер PS-1».

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики пригнічувач стільникових телефонів «БагХантер PS-1»

| | |
|--|--|
| Відстань ефективного пригнічення | 8-10 м |
| Середня вихідна потужність кожної антени | 300 мВт |
| Робочі частоти | - 845-975 МГц - 1785-2000 МГц - 2100-2180 МГц |
| Стандарти пригнічування | AMPS, N-AMPS, NMT, TACS, GSM, CDMA, TDMA, IDEN, UMTS |
| Живлення | Литієва батарея DC 12V / 1600 mA/h |
| Час роботи від акумулятору | 1,5-2 ч |
| Розмір | 110 x 62 x 30 мм |
| Вага | 300 г |

1.2.5 Стационарний пригнічувач стільникових телефонів з пультом дистанційного керування «Скорпіон 101А / 101В+»

Стационарний пригнічувач стільникових телефонів з пультом дистанційного керування блокує мобільний зв'язок стандартів GSM 900/1800, CDMA, 3G. Діаметр пригнічення - до 30 метрів для моделі «101А» і до 45 метрів для моделі «101В +». Пристрій показано на рис. 1.14.



Рисунок 1.14 – Стационарний пригнічувач стільникових «Скорпіон 101А / 101В+»

Пристрій ідеально підходить для пригнічення стільникового зв'язку в промислових приміщеннях, офісах, муніципальних установах. [12]

У табл. 1.4 представлені основні характеристики стаціонарного пригнічувача стільникових телефонів «Скорпіон 101А / 101В +».

Таблиця 1.4 – Основні характеристики стаціонарного пригнічувача стільникових телефонів «Скорпіон 101А / 101В +»

| | |
|------------------------------|--|
| Діапазони робочих частот: | 850-894 МГц; 925-960 МГц; 1805-1880 МГц; 1900-2170 МГц; |
| Стандарти, що пригнічуються: | GSM/CDMA/3G/DSC/ |
| Живлення | 220В |
| Дальність пригнічування | від 15 до 45 м |
| Вага | 1.9 кг |

1.2.6 Ручний пригнічувач сигналів мобільних телефонів ГРМ-12

На рис. 1.15 показаний ручний пригнічувач сигналів мобільних телефонів ГРМ-12

Ручний пригнічувач 3G і мобільних телефонів має в своєму розпорядженні значну потужність вихідного сигналу, незважаючи на мініатюрний розмір. Кожен діапазон частот виводиться з ладу за допомогою сигналу, потужність якого становить 25 дБ, що, по суті, передбачає тристоронню продуктивність.

Даний пригнічувач GSM може функціонувати від вмонтованої електричної батареї тривалістю в 2-3 години. Також цей пригнічувач стільникових телефонів здатний працювати безпосередньо від мережі електроживлення.

Три надпотужних антени здатні блокувати всі сигнали мобільних телефонів в радіусі 12 метрів [13].



Рисунок 1.15 – Ручний пригнічувач сигналів мобільних телефонів ГРМ-12

У табл. 1.5 наведені основні характеристики ручного пригнічувача сигналів мобільних телефонів ГРМ-12.

Таблиця 1.5 - Основні характеристики ручного пригнічувача сигналів мобільних телефонів ГРМ-12.

| | |
|------------------------------------|---|
| Діапазони робочих частот: | - GSM-900 (930–960 МГц); - GSM-1800(DSC) (1805-1850 МГц); - 3G (2110-2170 МГц). |
| Радіус зони пригнічування сигналів | 12 м |
| Сила вихідного сигналу | 75 дБ |
| Час автономної роботи | 3 години |
| Розміри | 235x145x43 мм |

1.2.7 Стаціонарний пригнічувач стільникового зв'язку «Алігатор40»

Стаціонарний пригнічувач стільникових телефонів «Алігатор 40» (рис. 1.16) блокує роботу телефонів стандартів GSM на частотах CDMA-800 МГц, GSM-900/1800/1900 МГц і 3G-2100 МГц в приміщеннях великого розміру, таких як бібліотеки, кінотеатри, аудиторії і т.д. Радіус дії до 40 метрів [14].



Рисунок 1.16 – Стаціонарний пригнічувач стільникового зв'язку «Алігатор40»

У табл. 1.6 наведені основні характеристики стаціонарного пригнічувача стільникового зв'язку «Алігатор 40».

Таблиця 1.6 - Основні характеристики стаціонарного пригнічувача стільникового зв'язку «Алігатор 40»

| | |
|-----------------|---|
| Робочі частоти | CDMA-800 МГц; GSM - 900/1800/1900 МГц; 3G - 2100 МГц; |
| Радіус дії | до 40 м; |
| Час роботи | не обмежено; |
| Електроживлення | 220 В; |
| Ширина смуги | 100 МГц; |
| Розміри | 250x114x33 |

У цьому розділі ми провели детальний аналіз існуючих на ринку пристроїв, які дозволяють забезпечити пригнічення мобільних систем. Так як згідно з технічним завданням необхідно спроектувати систему радіопротидії системам стільникового зв'язку, в наступному розділі ми розглянемо методики пригнічення таких систем і їх особливості.

2 ЗАСОБИ ПРИГНІЧЕННЯ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Всім відомо, що радіопристрої можуть бути не тільки засобом спілкування, але також і засобом передачі секретної інформації. Отже, існує необхідність обмежувати використання засобів радіоапаратури в місцях, в яких даний вид телекомунікації, або заборонений повністю, або в яких його необхідно припинити при певних умовах (іспит у ВНЗ, велике зібрання і т.д.). З цими завданнями справляється генератори хвильових перешкод - пригнічувачі радіосигналу. В даний час мобільні ПСТ стають громадянською продукцією, так як зі збільшенням числа користувачів мобільних телефонів зростає необхідність відключати мобільні телефони в певних місцях, де це необхідно.

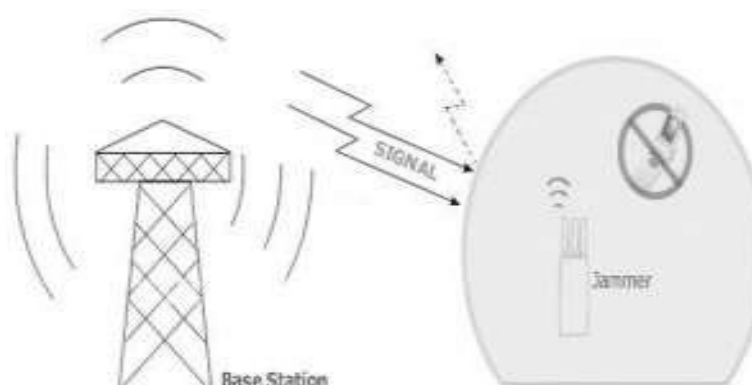


Рисунок 2.1 – Робота пригнічувача стільникових телефонів

Пристрої пригнічення стільникового зв'язку поділяють на п'ять типів:

А Тип: До цього типу належать блокатори стільникового зв'язку, що представляють собою генератори радіоперешкод, що забезпечують постановку шумової перешкоди в діапазоні частот роботи базових станцій відповідного стандарту, тобто на частотах прийому мобільних телефонів стільникового зв'язку.

Постановка такої перешкоди призводить до зриву управління мобільного телефону номер соти зв'язку, а також будь-яких пристроїв працюють в даному діапазоні частот (відбувається втрата мережі мобільним телефоном), і отже, - до

неможливості передачі інформації. При цьому на екрані телефону значок рівня сигналу пропадає і з'являється повідомлення «Пошук мережі».

В Тип: Пристрій такого типу також називають "Інтелектуальним пристроєм блокування стільникового зв'язку", і воно він не передає сигнал перешкоди на каналах управління. Пристрій в основному працює в якості детектора, і здатне взаємодіяти з стільниковою базовою станцією. Коли пристрій виявляє присутність мобільного телефону в «тихій кімнаті», то запобігання дозволу встановлення виклику здійснюється за допомогою програмного забезпечення на базовій станції. Пристрій сигналізує базовій станції, коли користувач знаходиться в «тихій кімнаті» і базова станція не встановлює зв'язок зі стільниковим телефоном. Цей процес виявлення і деактивації з'єднання займає невеликий проміжок часу сумірний за часом з рукошуканням при зустрічі, що є цілком достатній для запобігання витоку інформації.

Даний інтелектуальний пристрій, може розпізнавати екстрені виклики, а також може дозволяти використання мобільних телефонів певним заздалегідь, зареєстрованим користувачам протягом певного часу. Слід зазначити, що даний тип пристрою краще рішення для відключення мобільних телефонів, але для успішного використання таких пристроїв необхідно укладати угоди з провайдерами стільникового зв'язку, що може бути досить складно і дорого.

Даний фактор є важливим аргументом при виборі типу пристроїв пригнічення стільникового зв'язку.

С Тип: Цей пристрій також називають "Інтелектуальний блокуючий радіо - маяк", як і в типі «В» цей пристрій не передає сигнал перешкоди на каналах управління. Пристрій, якщо вони знаходяться в "тихій" кімнаті, функціонує як «маяк» і якщо телефон має спеціальний приймач сумісний терміналом, то маяк відключає його дзвінка або відключити його роботу. У зоні покриття маяка реагуватимуть тільки термінали, які мають сумісний приймач, і це повинно бути побудовано на окремій технології (може ґрунтуватися на bluetooth технології) від стільникових виробників.

Застосування такого типу пристрою проблематично, так як для їх успішної

роботи необхідні інтелектуальні телефони з окремим приймачем для прийому радіомаяка.

D Тип: Даний пригнічувач схожий на тип "А", але з приймачем. Подавитель працює переважно в режимі прийому і коли пристрій визначає наявність мобільного телефону в "тихому" кімнаті; він буде інтелектуально вибирати, взаємодіяти і блокувати мобільний телефон шляхом передачі в ефір помехового сигналу.

Переважний сигнал випромінюється до того часу, до тих пір, поки стільниковий телефон продовжує встановлювати зв'язок з базовою станцією. Таким чином такий тип пристроїв глушіння набагато менше створює електромагнітне забруднення на відміну від пристроїв типу "А", і, отже є більш екологічним і має менше енергоспоживання в порівнянні з типом «А». Даний метод може бути реалізований без співпраці з стільниковими операторами.

E Тип: Цей тип пригнічення заснований на створенні кімнати з використання методів пригнічення електромагнітних перешкод, створюється так звана клітка Фарадея. Хоча такий тип є досить трудомістким при реалізації, так як має на увазі розгортання будівельних робіт, але такий метод не пропускає, або значно послаблює, практично всі електромагнітне випромінювання на вході, або виході з «клітки», або в даному випадку цільовою кімнаті. При нинішніх досягненнях методів електромагнітного екранування і комерційно доступних продуктів можна реалізовувати такий метод пригнічення на стадії планування нового будинку або ж при необхідності, провести будівельні роботи для створення так званих «тихих кімнат».

При використанні такого методу екстрені виклики будуть заблоковані, зв'язок може бути реалізована тільки через кабельні системи зв'язку виходять за боковий вівар «тихої» кімнати. Даний метод пасивного безпеки в даний час є законним практично у всіх країнах.

В табл. 2.1 показано порівняння між різними типами пристроїв.

Таблиця 2.1 – Порівняння між різними типами ПСТ

| Тип | Екстрені номери | Ефективність | Реалізація |
|-----|-----------------|---------------------------------|-------------|
| A | Заблоковані | Низька | Дуже проста |
| B | Дозволені | Середня | Комплексна |
| C | Дозволені | Висока | Комплексна |
| D | Дозволені | Середня | Проста |
| E | Заблоковані | Висока (немає передачі сигналу) | Проста |

Розглянемо принцип роботи заглушувачів стільникових телефонів типу А.

Найбільш ефективним і дешевим способом безпеки виділених приміщень від перехоплення мовної інформації технічними засобами, побудованими на базі засобів стільникового зв'язку, є використання блокаторів (пригнічувачів) стільникового зв'язку

Блокатори стільникового зв'язку, є генератори радіоперешкод забезпечують постановку загороджувальної шумової перешкоди в діапазоні частот роботи базових станцій відповідного стандарту, тобто на частотах прийому мобільних телефонів стільникового зв'язку. Постановка такої перешкоди призводить до зриву управління мобільного телефону номер соти зв'язку (відбувається втрата мережі мобільним телефоном), і отже, до неможливості передачі інформації. При цьому на екрані телефону значок рівня сигналу пропадає і з'являється повідомлення «Пошук мережі».

Найбільш широко в таких Пригнічувачі використовуються генератори перешкод з пилкоподібної перебудовою несучої частоти. Спрощена схема такого генератора представлена нижче (рис. 2.2).

Генератор перешкод включає: високочастотний генератор (ГВЧ) на базі керованого напругою генератора, такого що лінійно змінюється (пилкообразно) (ГЛЗН), смуговий фільтр та підсилювач потужності, що погоджують пристрій і антену.

Частота випромінювання високочастотного генератора змінюється при подачі напруги в межах заданої смуги частот (частотного діапазону відповідного стандарту стільникового зв'язку).

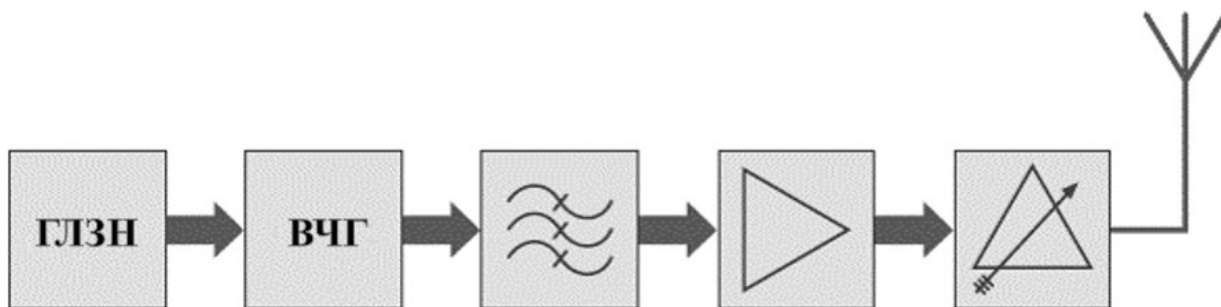


Рисунок 2.2 – Схема пригнічувача засобів стільникового зв'язку (одноканального) побудованого на базі генератора напруги, що лінійно змінюється (пилкообразно)

Керуюча напруга являє собою послідовність пилкоподібних імпульсів.

Сигнал з виходу генератора надходить на смуговий фільтр з смугою пропускання ΔF , де здійснюється пригнічення позасмугових випромінювань, посилюється і через пристрій, що подається в антену. Таким чином, генератор випромінює шумову загороджувальну перешкоду в заданій смузі частот ΔF .

У деяких пригнічувачів для перебудови високочастотного генератора в заданій смузі частот використовують не генератор напруги, що лінійно змінюється (пилкообразно), а генератор послідовності імпульсів з амплітудою, що змінюється по псевдовипадковому закону.

З метою підвищення ефективності завадового сигналу в ряді пригнічувачів використовується шумова модуляції високочастотного сигналу. Найпростіша схема такого генератора представлена на рис. 2.3.

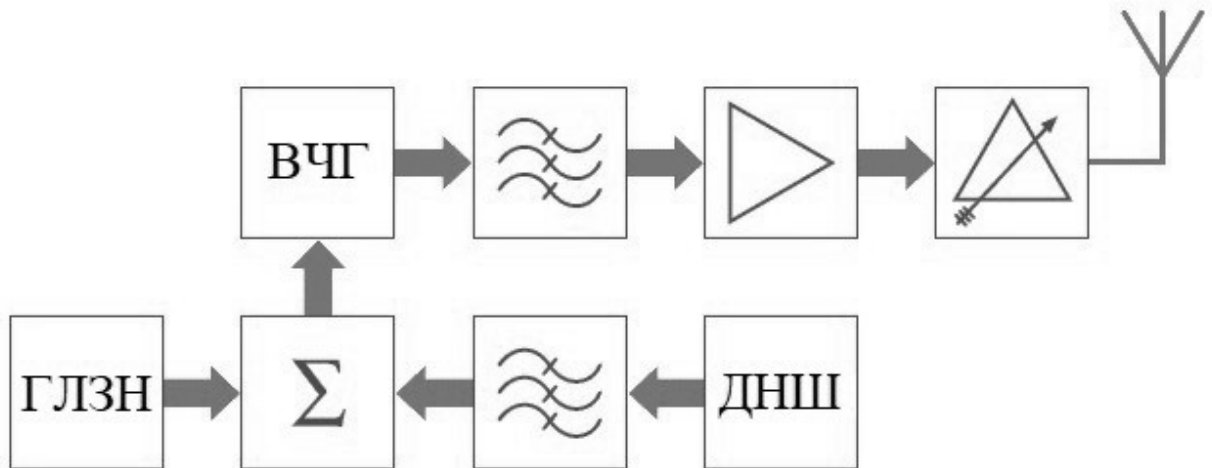


Рисунок 2.3 – Схема пригнічувача засобів стільникового зв'язку (одноканального) з шумовою частотною модуляцією

Напруга, що управляє, подається на генератор, є адитивною сумішшю послідовності пілкоподібних імпульсів і "білого шуму", тому міняється не лише частота випромінювання, але і відбувається його модуляція низькочастотним шумовим сигналом. У найбільш простих пригнічувачів замість джерел низькочастотного шумового сигналу (ДНШ) можуть використовуватися генератори низькочастотної синусоїдальної напруги, а також можуть бути відсутніми смугові фільтри. Проте у таких пригнічувачів спостерігається високий рівень позасмугових випромінювань і їх ефективність в порівнянні з пригнічувачами, які розглянуто вище значно нижче. Кількість генераторів перешкод, що входять до складу того, що блокує стільникового зв'язку, визначається його призначенням і зазвичай складає від 2 до 4. У тих, що деяких, що блокують передбачена можливість незалежного включення кожного генератора перешкод.

В якості антен в пригнічувачах використовуються зовнішні телескопічні і штирьові антени, а також внутрішні штирьові і рамкові антени. Кількість антен, як правило, відповідає кількості пригнічуваних стандартів зв'язку. У тих, що блокують стільникового зв'язку в основному використовуються генератори перешкод з потужністю випромінювання в кожному каналі від 0,5 до 2 Вт. Проте зустрічаються ті, що блокують з потужністю випромінювання 8-10 Вт і більше.

Такі пригнічувачі використовуються для безпеки великих приміщень, наприклад конференц-залів. Однією з основних характеристик тих, що блокують стільникового зв'язку є радіус зони пригнічення, який залежить не лише від потужності генератора перешкод, але і від видалення базової станції: чим далі базова станція від місця установки того, що блокує, тим більше дальності пригнічення. У тих, що деяких, що блокують передбачено регулювання вихідної потужності в межах 10-20 дБ, що дозволяє встановити потрібну для приміщення, що захищається, зону пригнічення.

Основною перевагою таких пригнічувачів (рис. 2.2 і рис. 2.3) є простота конструкції, а недоліком - те, що постановка перешкод починається відразу після включення генератора незалежно від того, працюють на випромінювання телефони стільникового зв'язку в виділеному приміщенні чи ні [15].

Існує так само інший тип пригнічувачів стільникового зв'язку - це пригнічувачі стільникового зв'язку з блоком управління включення генераторів перешкод. До складу блоку управління входять багатоканальний приймач індикаторного типу з облаштуванням управління включенням генераторів перешкод (рис. 2.4). До складу багатоканального приймача входять: широкодіапазонна антена, смугові фільтри, підсилювачі високої частоти, діодні детектори, підсилювачі постійного струму і порогові пристрої з регульованим рівнем порогу (рис. 2.5).

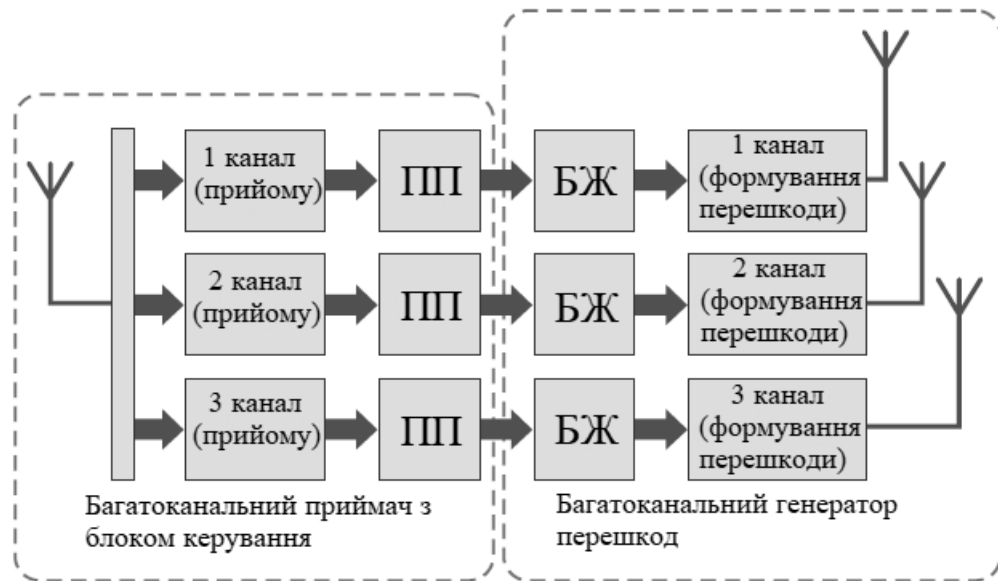


Рисунок 2.4 – Схема багатоканального пригнічувача стільникового зв'язку з автоматичним включенням генераторів перешкод

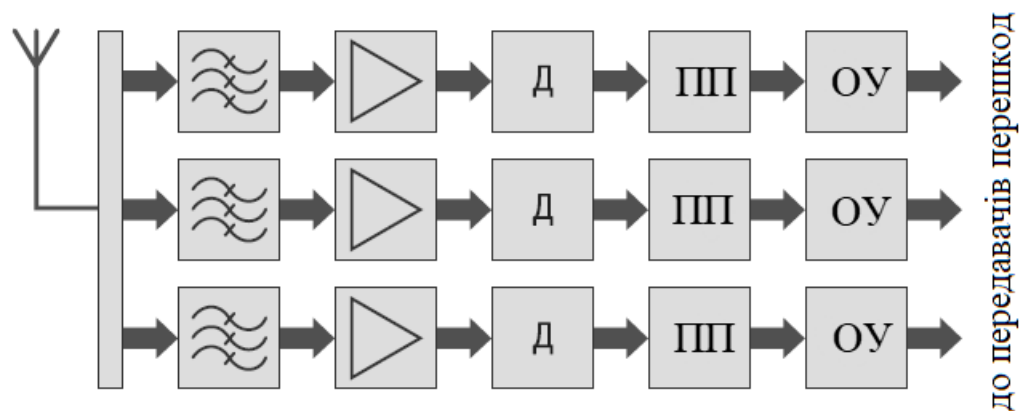


Рисунок 2.5 – Схема багатоканального приймача індикаторного типу, що входить у блок управління багатоканального пригнічувача стільникового зв'язку

Кожен смуговий фільтр налаштований на діапазон частот передачі мобільного телефону відповідного стандарту стільникового зв'язку, а їх кількість відповідає кількості генераторів перешкод.

Принцип роботи приймача аналогічний принципу роботи індикатора електромагнітного поля. При встановленні зв'язку, тобто при відповіді на сигнал

виклику або передачі сигналу виклику, передавач мобільного телефону стільникового зв'язку включається на випромінювання. Високочастотний радіосигнал, що викликаний цим випромінюванням і наводиться в антені приймача, через дільника і смуговий фільтр частотного діапазону відповідного стандарту стільникового зв'язку поступає на підсилювач, а потім - на діодний детектор (Д) і підсилювач постійного струму. З виходу підсилювача сигнал поступає на пороговий пристрій (ПУ). У разі перевищення встановленого порогу сигнал поступає на облаштування управління (УУ), яке видає команду (сигнал) у блок живлення (БЖ) на включення генератора перешкод відповідного діапазону частот. Передавач перешкод включається на короткий, як правило, декілька секунд, проміжок часу. При постановці широкопasmової загороджувальної перешкоди відбувається зрив сеансу зв'язку. Приймач може бути вбудований в корпус того, що блокує або ж виконаний у вигляді окремого блоку (модуля). Наявність багатоканального приймача дозволяє використати систему пригнічення в двох режимах. Перший режим (виявлення) використовується для автоматичного виявлення (виявлення) працюючих на передачу облаштувань стільникового зв'язку. Він призначений для прихованого виявлення у виділеному приміщенні електронних облаштувань перехоплення інформації, побудованих на базі засобів стільникового зв'язку, а також активації "поліцейського режиму" стільникових телефонів при веденні конфіденційних переговорів. Радіус зони виявлення стільникових телефонів регулюється встановлюваними оператором рівнями порогу або чутливості приймача. У другому режимі (виявлення - пригнічення) здійснюється автоматичне виявлення і пригнічення усіх працюючих на передачу облаштувань стільникового зв'язку. Цей режим, як правило, використовується при проведенні конфіденційних переговорів і нарад. Радіус зони пригнічення регулюється рівнем потужності генераторів перешкод [15].

3 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ РАДІОПРОТИДІЇ СТІЛЬНИКОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ

Оптимальне проектування системи стільникового рухомого радіо- зв'язку (ССРР) є дуже складною багатофакторною задачею, яка не має точного аналітичного рішення і звичайно вирішується за допомогою ітеративних комп'ютерних програм. На сьогодні основні виробники обладнання для ССРР використовують власні програми, а єдиної загально визнаної методики проектування не існує. В той же час розглянута нижче спрощена методика дає прийнятні за точністю результати на етапі створення ССРР, а наступний їх розвиток може оптимально плануватися на основі реальних статистичних даних, оцінених на створеній мережі.

Частотно-територіальне планування, тобто закріплення частотних каналів за окремими зонами, є однією з найбільш складних і трудомістких процедур при проектуванні ССРР. Ця процедура поділяється на три самостійні задачі:

- виділення з заданого частотного діапазону груп інтермодуляційно сумісних частот;
- оптимальне присвоєння частотних каналів базовим станціям;
- вибір місця розташування БС і розрахунок напруженості поля з урахуванням рельєфу місцевості на заданій території.

Зупинимось докладніше на розв'язанні першої задачі. Відомо, що внаслідок нелінійності амплітудної характеристики в приймачах виникають інтермодуляційні завади. Найбільшу шкоду якості зв'язку завдають інтермодуляційні складові третього та п'ятого порядку, які також називають міжканальними завадами. Ці завади можуть суттєво знизити завадостійкість усієї системи зв'язку з рухомими об'єктами навіть при великому захисному інтервалі D , тобто при малому рівні завад на співпадаючих частотах.

Завади через перехресну модуляцію можуть бути визначені, якщо апроксимувати нелінійну характеристику поліномом третього ступеня виду

$$U_{\text{вих}}(t) = a_1 U_{\text{вх}}(t) - a_3 U_{\text{вх}}^3(t), \quad (3.1)$$

де

$$U_{\text{вх}}(t) = A \cos \alpha(t) + B \cos \beta(t) + C \cos \gamma(t).$$

Уникнути появи взаємної модуляції третього порядку можна в тому випадку, якщо серед каналів радіозв'язку, розподілених у довільній зоні, не виявиться групи з рівними інтервалами Δf_k між носійними частотами.

Розв'язання другої задачі розглянемо докладніше. Для територіальної системи зі стільниковою структурою є значна кількість алгоритмів розподілу частотних каналів між базовими станціями. Розглянемо фіксований розподіл каналів, за якого вони можуть бути використані тільки у певних осередках. Така система розподілу каналів має недоліки. Наприклад, маємо дві сусідні чарунки з фіксованими каналами. Якщо в будь-який момент виявиться, що всі канали однієї з чарунок зайняті, а надходить запит на зв'язок саме в цій чарунці, то цей новий запит буде відключений, навіть якщо в цей самий час будуть вільні канали в сусідній чарунці. У результаті - не-раціональне використання каналів.

Розглянемо схему динамічного розподілу каналів, в якій відсутній однозначний зв'язок між чарунками системи і каналами. Канали розподіляються для тимчасового використання в чарунках протягом сеансу зв'язку. Після закінчення сеансу зв'язку канали звільнюються і знаходяться в центральному фонді. Щоб уникнути інтерференції каналів, що трапилось би у результаті використання в двох суміжних чарунках того ж самого каналу одночасно, будь-який канал, що використовується в одній чарунці, може виділятися і на іншу чарунку, якщо відносна відстань між двома чарунками

$$Q = D/R \geq q_{\text{мін доп}},$$

D – відстань між центрами двох чарунок, що використовують той же канал;

$q_{\text{мін доп}}$ – мінімально необхідна відносна відстань.

де R – радіус чарунки;

Для малих ймовірностей відмов динамічна система більш ефективна ніж система фіксованого розподілу каналів.

При розв'язанні третьої задачі визначаються місця розташування базових станцій та необхідне рознесення частот між ними, а також уточнюються результати розрахунків після отримання даних про вимірний рівень сигналу.

Для оптимального розташування системи базових станцій необхідно знати середній рівень сигналу, який випромінюється з місць можливого розташування базових станцій, у будь-якому місці розташування рухомого об'єкту аж до відстаней, далі яких зазначені сигнали вже не приводять до взаємних завад. Інформація про рівень сигналів може бути отримана в результаті вимірів або прогнозування.

Метою оптимізації розташування базових станцій є мінімізація їхньої кількості, необхідної для обслуговування визначеного числа каналів у межах заданої області. У місці розташування базових станцій може бути задано декілька зон обслуговування за рахунок використання направлених антен, що дає додаткову можливість вибору форм і розмірів зон обслуговування.

Переходячи до розрахунку характеристик системи рухомого радіозв'язку, вважаємо, що проблеми частотно-територіального планування знайшли своє рішення на попередньому етапі проектування.

При цьому

- числа M секторів обслуговування в одній чарунці ($M = 1$ при $\varphi = 360^\circ$; $M = 3$ при $\varphi = 120^\circ$ та $M = 6$ при $\varphi = 60^\circ$, де φ – ширина ДН антен БС на рівні половинної потужності);
- числа $k_{\text{БС}}$ базових станцій, які необхідно установити на

обслуговуваній території;

- радіуса чарунки R ;
- потужності передавача БС $P_{\text{пер БС}}$;
- висоти підвісу $h_{\text{БС}}$ антени БС (висота антени мобільної станції звичайно приймається рівною $h_{\text{МС}} = 1,5$ м).

ДН антен БС на рівні половинної потужності);

Для розрахунку зазначених величин необхідно вибрати стандарт ССРР.

Крім того, повинні бути відомі наступні параметри мережі:

F – смуга частот, що виділена згідно з планом розподілу частот для передачі сигналів у мережі;

F_k – смуга частот, займана одним частотним каналом системи рухомого радіозв'язку;

n_a – число абонентів, що одночасно можуть використовувати один частотний канал (для системи GSM $n_a = 8$);

N_a – загальна кількість абонентів, яких повинна обслуговувати стільникова мережа;

β – активність одного абонента під час найбільшого навантаження (в Ерлангах);

P_B – припустима ймовірність блокування виклику в стільниковій мережі;

ρ_0 – необхідне захисне відношення для приймачів МС;

P_t – відсоток часу, протягом якого відношення сигнал/шум на вході приймача може бути менше захисного відношення ρ_0 ;

S_0 – площа території, в якій планується розгорнути стільникову

мережу;

α – параметр, що визначає діапазон випадкових флуктуацій рівня сигналу в точці прийому (для стільникових систем $\alpha = 4...10$ дБ);

$P_{\text{пр МС}}$ – чутливість приймача МС;

$G_{\text{БС}}$ – коефіцієнт підсилення антени БС.

Для визначення необхідної розмірності кластера K при заданих значеннях ρ_0 і P_t використовують співвідношення

$$P(K) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \right] 100, \quad (3.2)$$

де $P(K)$ – відсоток часу, протягом якого відношення сигнал/завада на вході приймача МС буде нижче захисного відношення ρ_0 .

Значення l і β_i в залежать від того, якого типу антени використовуються на БС – ненаправлені або секторні. Тут необхідно розглянути три випадки:

1. Якщо $\varphi = 360^\circ$ та $M = 1$,
то $l = 6$ та $\beta_1 = \beta_2 = (q - 1)^{-4}$; $\beta_3 = \beta_4 = q^{-4}$; $\beta_5 = \beta_6 = (q + 1)^{-4}$;
2. Якщо $\varphi = 120^\circ$ та $M = 3$, то $l = 2$ та $\beta_1 = (q + 0,7)^{-4}$;
 $\beta_2 = q^{-4}$;
3. Якщо $\varphi = 60^\circ$ та $M = 6$, то $l = 1$ та $\beta_1 = (q + 1)^{-4}$.

В усіх випадках $q = D/R = \sqrt{3K}$.

При заданих ρ_0 та α для $M = 1$ або 3 , або 6 та декількох значень K виконуються розрахунки відсотка часу зриву зв'язку $P(K)$. Найменше значення K , для якого виконується умова $P(K) < P_t$, може бути прийнято як розмірність кластера стільникової мережі, що проектується.

Наступним кроком є визначення розмірів чарунки в проєктованій мережі. Використовуючи карту, визначаємо оптимальне розташування БС (БС у центрі чарунки), змінюючи розміри чарунок і розташовуючи БС, за можливості, в найвищих місцях. Вибравши оптимальним чином місця розташування БС,

можна знизити витрати на установку БС і прокладку з'єднувальних ліній.

Виходячи з умови, що чарунка повинна бути таких розмірів, щоб по-верхнева щільність телефонного навантаження дорівнювала $\beta \cdot V$, можна записати, що:

$$\frac{A_c}{S_c} = \beta \cdot V, \quad (3.3)$$

де A_c – телефонне навантаження для однієї чарунки;

S_c – площа
чарунки. Площа
чарунки:

$$S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot R^2 \quad (3.4)$$

Знаючи обраний радіус чарунки R , можна визначити площу чарунки за формулою (7.7), а також визначити телефонне навантаження для однієї чарунки, використовуючи (7.6):

$$A_c = S_c \cdot \beta V,$$

а далі

$$A_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot R^2 \cdot \beta V \quad (3.5)$$

Визначивши A_c , знаходимо за таблицею ймовірностей втрат на повнодоступному пучку ліній (Додаток 2 у [11]) кількість каналів, необхідних для обслуговування визначеного телефонного навантаження.

Загальна кількість фізичних каналів у чарунці

$$n_0 = n_s \cdot n_a, \quad (3.6)$$

де n_s – кількість частотних каналів, що використовуються для обслуговування

абонентів в одній чарунці.

Зараз ми маємо всі необхідні дані, щоби розрахувати необхідну потужність передавача БС $P_{\text{пер.БС}}$ при вибраних висотах антен $h_{\text{БС}}$, для чого скористаємося формулою Хата (так званим першим рівнянням передачі)

$$P_{\text{пр.МС}} = P_{\text{пер.БС}} + G_{\text{БС}} - 70 - 26,16 \lg(f) + 13,82 \lg(h_{\text{БС}}) - [45 - 6,55 \lg(h_{\text{БС}})] \lg(R), \text{ дБВт}, \quad (3.7)$$

де f – середня частота виділеного діапазону частот, МГц;

$P_{\text{пр.МС}}$ – потужність на вході приймача мобільної станції, дБВт;

$P_{\text{пер.БС}}$ – вихідна потужність передавача базової станції, дБВт;

$h_{\text{БС}}$ – висота підвішування антен базової станції, м;

R – радіус чарунки, км;

$G_{\text{БС}}$ – коефіцієнт підсилення антени базової станції, дБ.

Наведена методика розрахунку дозволяє визначити всі необхідні параметри стільникової мережі рухомого радіозв'язку. При складанні повного частотного плану необхідно, знаючи кількість частотних каналів, що надані одній БС, визначити конкретні номінали частот, які будуть виділені для кожної БС одного кластера.

Виконавши аналіз методів радіопротидії системам мобільного зв'язку вирішено розробити пристрій, який відноситься до типу А. В якості основи обрано схему, яка часто обговорюється на просторах інтернету, спеціалізованих форумах і різних радіожурналах. Цей пристрій має ім'я Тетрафаст [16]. На рис. 3.1 представлена принципова схема пристрою

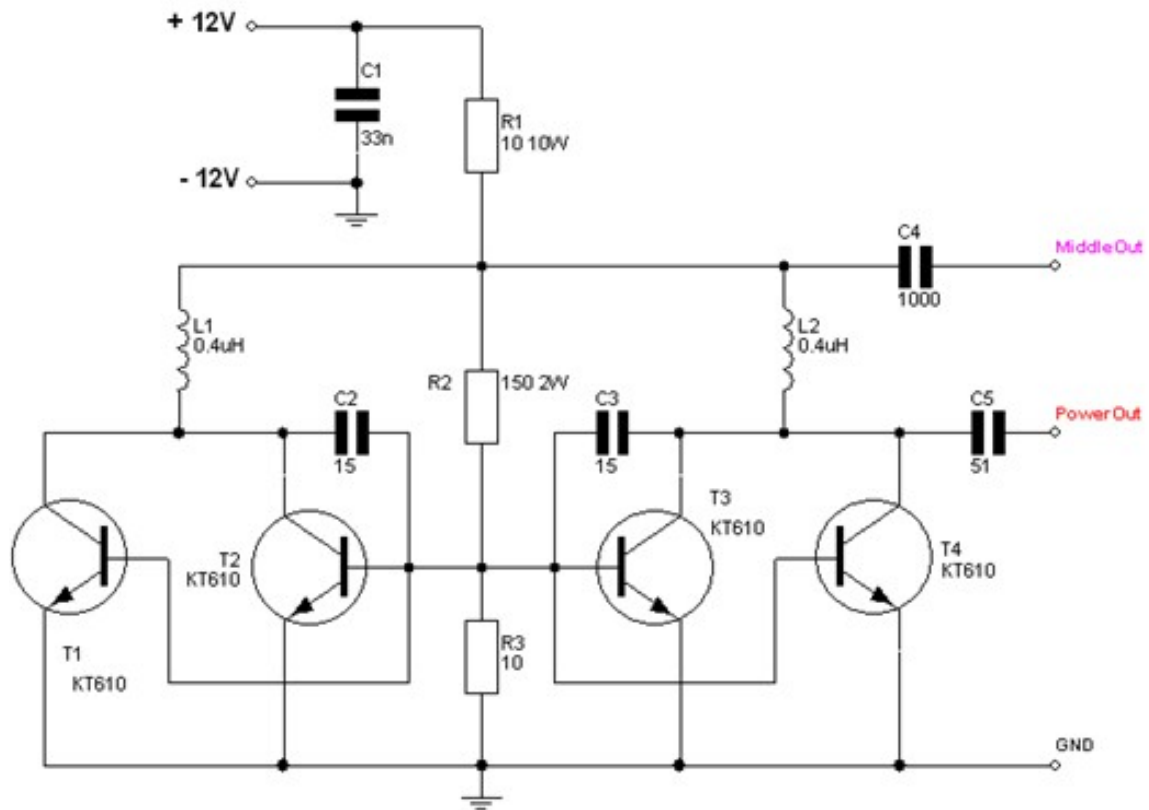


Рисунок 3.1 – Принципова схема пристрою Тетрафаст

Тетрафаст, – широкосмуговий шумовий генератор, оптимізований для наступних завдань :

- приведення в тимчасовий неробочий стан музичної апаратури, працюючої на граничній гучності;
- пригнічення сигналу FM- приймачів;
- пригнічення стільникового сигналу Groupe Special Mobile (GSM), Code Division Multiple Access (CDMA), Third Generation (3g) (при підвищеній напрузі живлення і силі струму).

Діапазон випромінюваних частот від сотень кГц до 2,5 ГГц. Налаштування не потребує, працювати починає відразу. Має два виходи - звичайній і високій потужності. Використання потужного виходу збільшує споживаний струм і розігрівання елементів, тому вимагає додаткового охолодження. При номінальній споживаній напрузі радіус пригнічення, радіохвиль, як заявлено в джерелах,

складає 5-7 м² за відсутності бар'єрів різного типу (стіни, перегородки, сторонніх ефірних шумів).

При використанні потужного виходу, грамотній пайці і правильному розташуванні радіодеталей для перешкоди виникнення наведень усередині пристрою можна добитися пригнічення частот стільникового зв'язку на більшій площі. Необхідно враховувати той факт, що при збільшенні відстані від генератора до пригнічуваного пристрою ефективність роботи першого знижуватиметься.

У схему генератора входять наступні радіоелементи. Для генератора були вибрані транзистори марки КТ920В. Основною відмінністю генератора "Тетрафас" від інших пристосувань подібного роду є його широкосмугова - здатність генерувати сигнали не на одній певній частоті, а на ширшому спектрі. У цьому генераторі на виході Middle Out знімаються свідчення частоти для стандартів FM - 80-140 МГц і GSM - 900 МГц, а з виходу Power Out - GSM - 1800 МГц і 3G - 2100 МГц.

Принцип роботи пристрою. У основі роботи широкосмугового шумового генератора лежить вплив позитивного зворотного зв'язку на підсилювальні елементи (транзистори). У зв'язку з відсутністю якої-небудь резонансної системи, в схемі відсутній елемент, здатний утримувати частоту роботи пристрою в певному чіткому діапазоні, що дозволяє генератору "плавати" по частотах.

Частота періодично зрушується під впливом безлічі чинників - частотних властивостей транзисторів, впливу параметрів друку і зовнішнього середовища, напруги живлення і так далі. Коли таких генераторних каскадів розташовано поруч чотири із загальними елементами навантаження і зворотного зв'язку, загальний спектр приймає розмитий, безперервний і випадковий характер.

На рівні електричних струмів принцип роботи генератора можна описати таким чином. Генератор складається з дільника напруги (R1, R2), 2-х LC генераторів з позитивним зворотним зв'язком (на транзисторах Т1, Т2 і транзисторах Т3, Т4) і вихідних фільтрів (С4, С5). Після проходження дільника напруги струм поступає на бази транзисторів Т1-Т4. Після цього LC - генератори

починають генерувати сигнали. Кожен генератор працює, але не на частоті вільних коливань контуру, а на частоті вимушених коливань, через це генератор випромінює дві частоти: велику - на частоті вимушених коливань і меншу на частоті вільних коливань контуру.

При першій ітерації дві частоти утворюють чотири: дві початкові і дві сумарнорізницеві. При другій ітерації чотири частоти роблять ще більше число сумарнорізницевих частот. В результаті, при великому числі ітерацій виходить цілий спектр частот, який в приймачах змішується з вхідним сигналом і утворює ще більше число сумарнорізницевих частот.

Для створення пристрою пригнічення систем стільникового зв'язку нам необхідно виготовити друковану плату для монтажу радіоелементів. Плата розводилася в програмі Sprint - Layout. Програмний пакет Sprint - Layout є простим, але в теж час дуже ефективним інструментом для проектування і ручної розводки друкованих плат малої і середньої складності. Основною гідністю Sprint - Layout являється інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що включає лише найнеобхідніші інструменти для підготовки друкованих плат розміром 300 на 300 мм. Програма дозволяє працювати з двома шарами (провідників і маркіровці) для кожної сторони плати [17]. Вбудований трасувальник допомагає розводити провідники, і не є автоматичним. У поповнюваній бібліотеці містяться найбільш поширені електронні компоненти. У Sprint - Layout реалізована можливість експортувати результати роботи в популярні формати Excellon і Gerber, а також створити файл HPGL для обробки друкованої плати на програмно-керованому фрезерному верстаті. Пакет широко застосовується для виготовлення плат ЛУТ способом.

На рис. 3.2 представлений ескіз друкованої плати розроблений у програмі Sprint Layout 5.

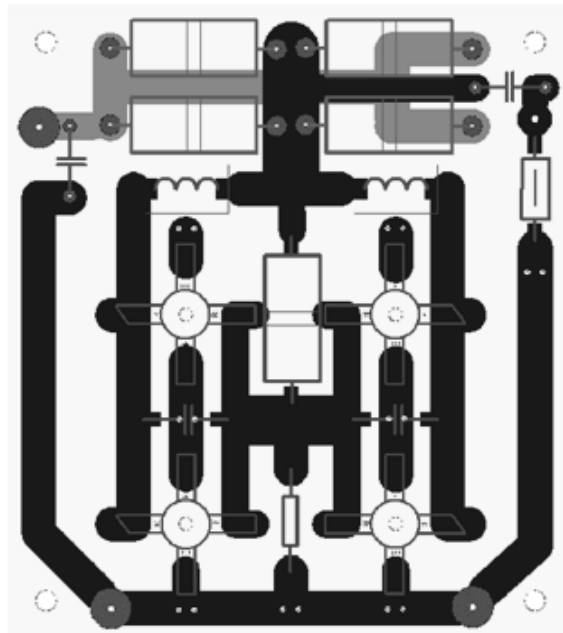


Рисунок 3.2 – Ескіз друкованої плати пристрою Тетрафаст

Нині для створення електронних пристроїв використовується 2 типи монтажу: навісний, тобто елементи кріпляться на яку-небудь поверхню, після чого з'єднуються між собою дротами або безпосередньо виводами, і монтаж за допомогою друкованих плат. Друкована плата - це поверхня з готовими доріжками для з'єднання елементів. Вони робляться на замовлення, продаються готові (під конкретні пристрої) або ж робляться самостійно. Враховуючи ті чинник, що Тетрафаст - це не серійний генератор, і готові плати для нього не продаються, необхідно зупинитися на варіанті самостійного виготовлення друкованої плати.

Увесь цей процес складається з декількох етапів:

а) Підготовка текстоліту. Спершу слід узяти текстоліт і відмітити область, яка потрібна для розміщення схеми пристрою. Після цього ця область відрізається. Фольгована поверхня зачищається (наждачним папером, або іншими засобами);

б) Нанесення малюнка. Для цього можна просто нанести на поверхню міді малюнок схеми лаком для нігтів. Але це довгий і стомливий процес. Тому частіше використовується метод, який називається "Лазерно-праскова технологія". Суть

його полягає в наступному. Готове зображення плати наноситься на глянсову паперову поверхню. Це може бути або лист з журналу, або брошура, або спеціальний папір для роздруку фотографій. Зазвичай використовується папір для фотографії.

Після цього зачищений текстоліт нагрівається праскою (для цього необхідно на текстоліт покласти аркуш звичайного паперу, а згори поставити праску.) протягом 30-50 секунд. Потім на мідне покриття текстоліту кладеться папір із зображенням схеми картинкою вниз. Якщо текстоліт розігрівся досить добре, то папір відразу ж приклеїться. Вона розрівнюється ватним або бинтовим тампоном, але не придавлюється. Далі на текстоліт знову кладеться аркуш звичайного паперу, і ставиться праска на 20-30 секунд. Через цей час забирається лист, і необхідно почати "розкочувати" малюнок по поверхні текстоліту тампоном горизонтальними і вертикальними рухами, придавлюючи малюнок до текстоліту. Коли схема остигла, папір, на якому був розташований малюнок, акуратно знімається з текстоліту, а сам малюнок під дією тепла залишається на текстоліті.

Далі свердлимо необхідні отвори під монтаж елементів. Наступний етап - це, травлення друкованої плати. Травлення плати - це процес зняття непотрібного шару провідника з робочої поверхні. Найбільш поширений вид того, що труїть серед радіоаматорів - це, хімічне травлення. При використанні цього методу текстоліт з нанесеним малюнком плати поміщається в хімічний розчин. Найчастіше як розчин використовується розчин хлорного заліза. Під час травлення плати необхідно періодично рухати усередині розчину, щоб з поверхні знімався шар міді, що залишився. Після витравлення метал на текстоліті залишається тільки на тих місцях, де був нанесений тонер. Процес травлення плати зображений на рис .3.3.

Після чого проводиться пайка елементів на витравлену друковану плату. На рис. 3.4 показана плата з припаяними елементами \ і антеною у вигляді відрізка мідного дроту скрученого в спіраль.

Виконавши випробування, були виявлені наступні недоліки :

- нагрів транзисторів на платі;

- при включеному пристрої мобільний зв'язок працював, чого не повинно бути.

У зв'язку з цим були прийняті наступні рішення:

- встановити додаткове охолодження;
- замість встановленої раніше антени встановити GSM- антену.

Вибір ліг на несиметричну чверть хвилеву вібраторну антену (рис. 3.5).



Рисунок 3.3 – Травлення друкованої плати

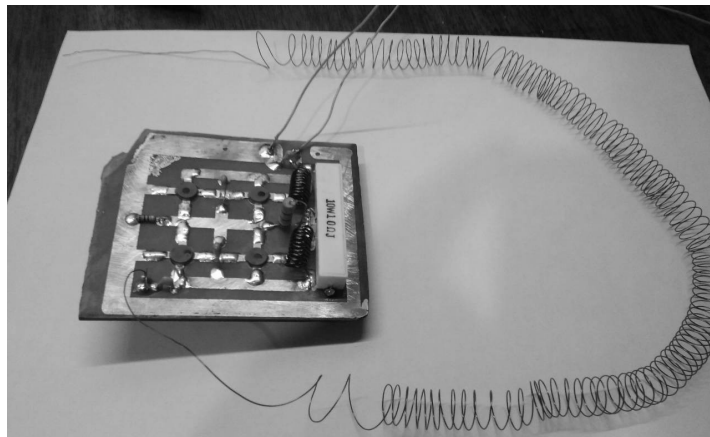


Рисунок 3.4 – Плата генератора завад Тетрафаст

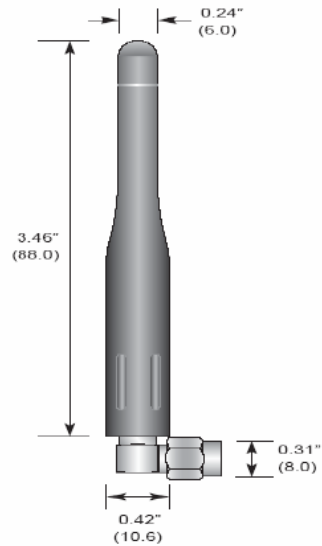


Рисунок 3.5 – Четверть хвильова вібраторна антена

Слід так само сказати, що диполь має маленький коефіцієнт стоячої хвилі, і смугу 150 МГц, навколо центральної частоти 916 МГц. Діаграма спрямованості вібратора приведена на рис. 3.6.

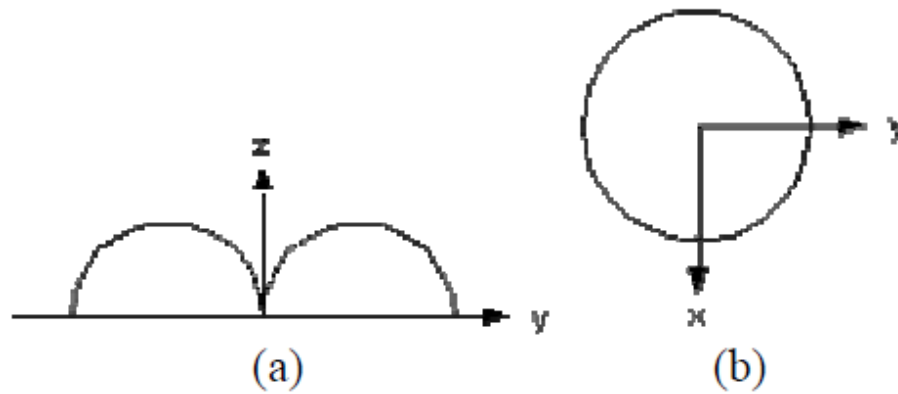


Рисунок 3.6– Діаграма спрямованості чверть хвильова вібратора(а) – Е площина; (б) – Н площина

Для підключення ми обрали антену Gamma ADA - 900/227 - SMA - 3,0m (рис. 3.7), оскільки вона була у нас в наявності і підходила за параметрами.



Рисунок 3.7 – Антена Gamma ADA-900/227-SMA-3,0m

Ця антена використовується для передачі даних в GSM діапазоні пристроями, які оснащені GSM комунікатором, а саме такі антени встановлюються на термінали оплати "I-box". Антена підключається до стандартного гнізда за допомогою перехідника або безпосередньо припаюється до плати, саме так реалізовано підключення у нас.

Далі ми зайнялися розробкою компактного блоку живлення для генератора перешкод, який можна встановити в корпус пристрою. Для живлення розробленого пристрою нам потрібний імпульсний блок живлення на 12В 2А для цього ми вибрали схему показану на рис. 3.8 ця схема для блоку живлення розрахована на потужність 48 Вт але в результаті відладки з'ясувалося, що навантаження 48 Вт, цей саморобний блок живлення, не тримає, але 24Вт тримає стабільно, чого нам цілком вистачає.

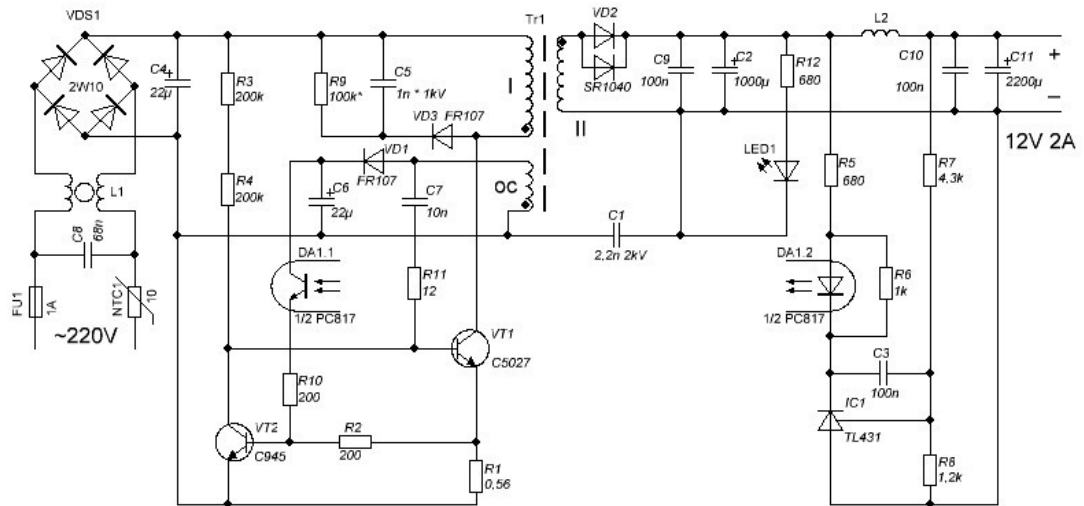


Рисунок 3.8 – Принципова схема імпульсного блоку живлення

Трансформатор для цього імпульсного блоку живлення використовувався з сердечником EI - 28. У бічних частин Е частини було повне примикання до І частини, а у середньої - був заводський проміжок в 0,65 мм Трансформатор перемотувався кілька разів.

Вперше обмотки були наступними: І - 46 витків (\varnothing - 0.36 мм), ІІ - 5 витків (\varnothing - 1 мм х 3), зворотний зв'язок (ЗЗ) - 4 витки (\varnothing - 0.22 мм). Індуктивність первинної обмотки - 490 мкГн. Вторинна обмотка і ЗЗ знаходилися між двома половинами первинною. При цьому був надмірний нагрів транзистора навіть при малих навантаженнях, напруга ЗЗ - вище за необхідний.

В другий раз трансформатор був перемотаний з розрахунку на 12В 4А: І - 36 витків (\varnothing - 0.36 мм), ІІ - 4 витків (\varnothing - 1 мм х 2), зворотний зв'язок - 2 витки (\varnothing - 0.36 мм). Індуктивність первинної обмотки - близько 250 мкГн. Як і в першому випадку, первинна обмотка розділена на дві половини. Блок живлення при таких обмотках запускався у вузькому діапазоні. Але навіть у той момент, коли він запускався, його робота була нестабільна.

Утретє - взяли наявний шматок дроту \varnothing 0.36 мм і намотали його увесь. Вийшло, що до другої половини первинній обмотці додалося ще 26 витків. У сумі

- первинна обмотка складала 62 витки, дротом \varnothing - 0.36 мм Індуктивність первинної обмотки - орієнтовно складала 850 мкГн.

Для досягнення максимальної стабільності і продуктивності, підбиралися номінали R9+C5, R2, C7+R11. Елементи підбиралися досвідченим шляхом. Також, замість транзистора C5027, був встановлений C5763. В якості радіатора використали алюмінієву пластину, завтовшки 2 мм і площею 15 см², зігнуту так, щоб вона помістилася в корпусі і не контактувала з іншими деталями. Транзистор змонтований на теплопровідну пасту. L1 зроблений самостійно. За основу узятa конструкція з комп'ютерного блоку живлення. У оригінальному виконанні кільце мало зовнішній діаметр 17 мм, а ширина - 8 мм, обмотки мали по 18 витків \varnothing - 0.5 мм Кільце узятe від материнської плати комп'ютера, а в якості дротів використав частину звитої пари. L2 - готовий дросель. Сердечник L2 у висоту 20мм, \varnothing - 5 мм, обмотка - 18 витків \varnothing - 1 мм, індуктивність 3,9 мкГн. На рис. 3.9 показаний готовий імпульсний блок живлення.

Далі все було встановлено у пластиковий корпус. За основ узяти велику електричну розподільну коробку. У корпусі був вирізані вентиляційні отвори для відведення тепла з плати. Для охолодження елементів на корпус встановлений вентилятор, який так само живиться від розробленого блоку живлення. Основна плата була прикріплена на ніжки. Блок живлення і антена були встановлений за допомогою гарячого клею. На передню (чи задню) панель виведена кнопка у включення/ виключення і роз'єм для підключення живлення 220 В.

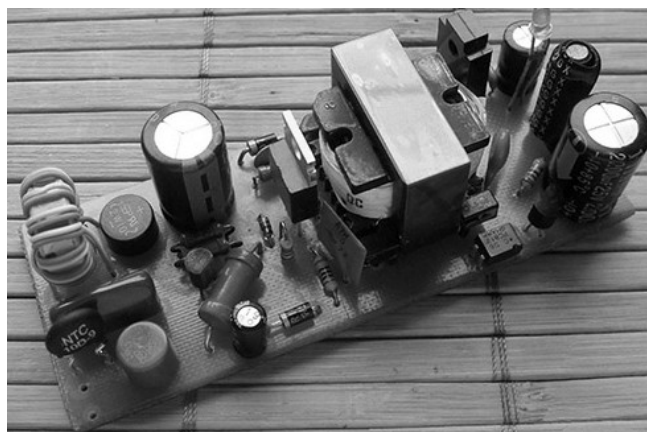
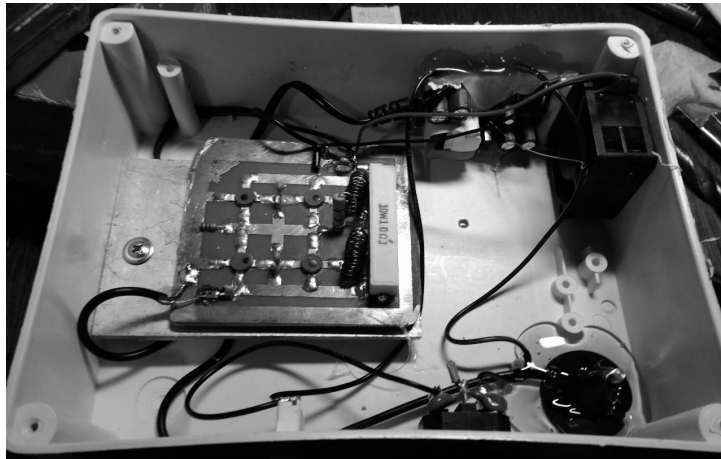


Рисунок 3.9 – Виготовлений імпульсний блок живлення

На рис. 3.10 показаний готовий пристрій з різних ракурсів.



а)



б)



в)

Рисунок 3.10 – Змонтований пристрій Тетрафаст, а) – внутрішній вид пристрою; б) – вид з боку; в) – вигляд готового пристрою

У цьому розділі був розроблений широкосмуговий генератор шуму. Також приведені принципові електричні схеми вузлів ПСТ. Описані процеси монтажу елементів і створення друкованої плати. Зроблений опис і принцип роботи пристрою.

Випробування розробленого пристрою, показали, що заміна антени дала позитивні результати і генератор перешкод заглушав мобільний зв'язок в радіусі 2-3 метрів. Так само були помічені збої в роботі безпроводної Wi-Fi мережі. Тестування проводилося з використання різних телефонів, зокрема Lenovo P1m, iPhone 5 plus, Samsung galaxy s6. Всі телефони при підключенні Sim-карти компанії

Kyivstar не змогли виконати підключення до базової станції, при встановленні Sim-карти від компанії Life - мережа була, але при спробі дзвінка писалося повідомлення "Збій мережі", тобто вчинити дзвінок було неможливо. При тестуванні стільникового оператора Vodaphone, з якихось причин дзвінки проходили і жодних проблем із зв'язком не спостерігалися.

В ході випробувань було виявлено, що прилад має деякі недоліки, які, імовірно, можна усунути підключивши додаткову антену, яка працює в діапазоні 3G, 4G. Тому було прийнято рішення розробити антену, яка працює в заданому діапазоні частот. Процес моделювання буде описаний у наступному розділі.

4 РОЗРОБКА АНТЕН ДЛЯ ПРИЛАДУ ПРИГНІЧЕННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Для покращення якості роботи системи пригнічення стільникового зв'язку розроблено антенні системи, що застосовують основні частоти мобільного зв'язку. З аналізу наукових робіт [18,19] можна зробити висновки, що в якості антенних систем можливо вибрати такі види мікросмужних антен, це:

- PIFA, яка включає дві гілки. При цьому у такої антени металізована основа. Ця антена збуджується портом, який узгоджує ланцюги та елементи перебудови, що розташовані на платі з FR4. До антени між металізацією друкованої плати і антеною включено джерело напруги (порт) з внутрішнім опором 50 Ом. Розміри друкованої плати є 68x130x1.6 мм.

- Спіральна антена система Архімеда, яка збуджується портом що розміщено по центру. Така антена є широкосмугова. Вона працює на усіх частотах зв'язку, які розглянуті нами. Особливістю такої антени є можливість монтажу на корпус генератора пристрію пригнічення.

З застосуванням програмного пакету High Frequency System Simulator (HFSS) від AnSoft виконано моделювання таких антен.

HFSS це ефективна програма яка використовується для моделювання антенних систем, та дозволяє розрахувати та виконати аналіз тривимірних НВЧ структур. Є також широкі можливості для виконання моделювань антен та інших пристроїв що є незалежні. Така програма дозволяє виконувати аналіз багатополісників з багатомодовими портами виконати параметричний аналіз параметрів структури та має високий рівень моделювання складних структур. Програма застосовує адаптивний алгоритм для вирішення завдання.

Ця програма включає досить великі бази даних з НВЧ матеріалами та компонентами. В ній є система макросів, що значно спрощують користування та покращують можливості програми. Є також можливості застосовувати періодичні граничні умови, що корисно при аналізі антенних ґрат.

Виконання моделювання з застосуванням програми HFSS базується на методі кінцевих елементів. Цей метод дозволяє використовувати універсальність чисельних алгоритмів. Ці алгоритми підтверджують ефективність при роботі з широким спектром складних завдань, що включає аналіз хвилеводних структур та проектування антенних систем та других складних пристроїв. Програма дозволяє розрахувати матриці розсіювання, імпеданс, зовнішні параметри НВЧ пристроїв. Результати досліджень отриманих в програмі HFSS дозволяє їх застосовувати сумісно з другими програмами засобами моделювання.

При використанні програми HFSS необхідно виконати наступні стандартні кроки.

Формування моделі досліджуваної структури, що включає у себе:

- креслення структури тривимірної графічної моделі;
- вибір та установка параметрів матеріалів, що використовує задана раніше аналізована структура.

Завдання таких електродинамічних параметрів структури як:

- вибір граничних умов на поверхнях об'єкту;
- вибір та калібрування портів;
- ввід параметрів рішення.

Електродинамічний аналіз об'єкту, що включає також:

- об'єкт в смузі частот;
- параметричний аналіз та оптимізація об'єкту.

Результати електродинамічного аналізу представляються у вигляді графіків у полярних та декартових системах координат. Використовують також для візуалізації отриманих результатів діаграми Смита, діаграми спрямованості.

4.1 Моделювання антени типу PIFA

Наша перша антена яку ми вибрали для синтезу була антена типу PIFA. Цей тип антени використовується в мобільних терміналах, тому що вона компактна та має малі геометричні розміри. Така антена досліджена в [18], та тож відповідать вимогам до розмірів та вміщується в корпус пригнічувача

зв'язку. Для виготовлення використовується двосторонній фольгований текстоліт FR – 4 с діелектричною проникністю 4.4, який виготовлено з міді. Його товщина буде 1.6 мм, а весь розмір цієї антени PIFA - 68x130 мм

Геометрія модельованої антени зображена на рис. 4.1.

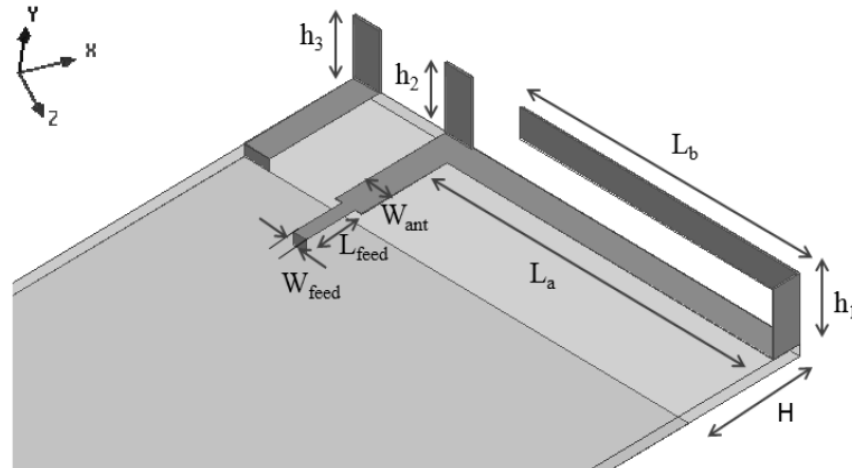


Рисунок 4.1– Зображення геометричної моделі антени PIFA

В табл. 4.1 показані розміри цієї антени.

Таблиця 4.1 – Значення геометричних розмірів модельованої антени

| L_a | L_b | L_{feed} | H | h_1 | h_2 | h_3 | W_{ant} | W_{feed} |
|-------|-------|------------|----|-------|-------|-------|-----------|------------|
| 49.7 | 42.2 | 7.5 | 10 | 9 | 9 | 8 | 4 | 2 |
| мм | мм | мм | мм | мм | мм | мм | мм | мм |

Виконавши моделювання антени, ми не отримали необхідні характеристики, та була виконана наступна ітерація після коригування параметрів в первинну геометрію антени. При цьому лівий відрізок ми змінили, а правий відрізок антени залишили таким який був раніше. На рис. 4.2 наведено антену з новими геометричними параметрами.

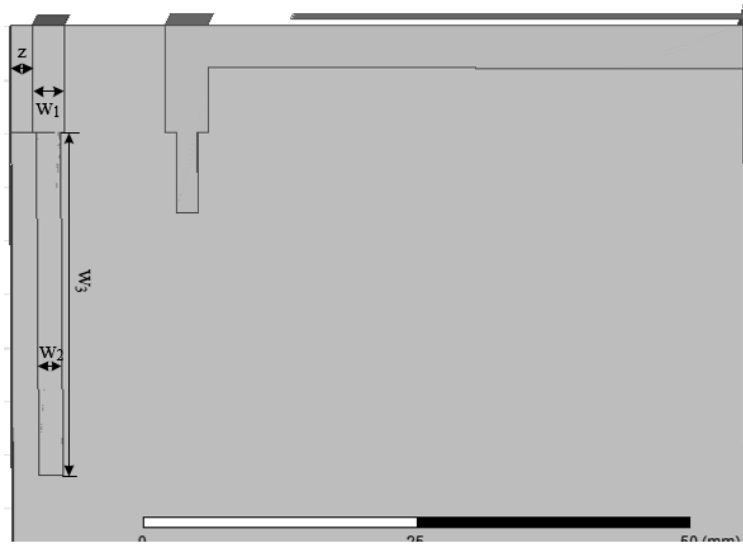


Рисунок 4.2 – Модифіковані антенна структура

Значення параметрів геометричних розмірів антени приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Застосовані геометричні параметри модифікованої антени пристрою

| L_a | L_b | L_{feed} | H | h_1 | h_2 | h_3 |
|-------|-------|-------------------|-------|-------------------|------------------|-------|
| 49.7 | 42.2 | 7.5 | 10 | 9 | 9 | 8 |
| MM | MM | MM | MM | MM | MM | MM |
| z | W_1 | W_2 | W_3 | W_{feed} | W_{ant} | |
| 2 | 3 | 2.2 | 32 | 2 | 4 | - |
| MM | MM | MM | MM | MM | MM | - |

З рис. 4.3, де наведено частотну залежність коефіцієнта відбиття від частоти, слідує, що така конструкція антени добре узгоджена на частотах, що застосовуються в стільниковому зв'язку. Також далі розглянемо основні характеристики отриманої антени.

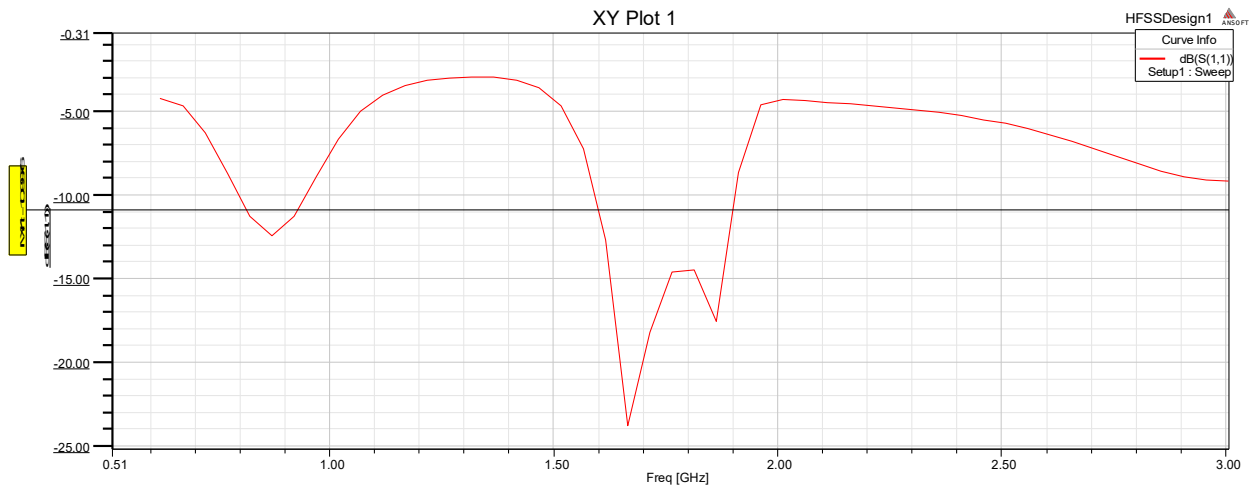


Рисунок 4.3 – Частотна залежність коефіцієнта відбиття

З частотної залежності вхідного імпедансу антени, яка наведена на рис. 4.4 отримано, що антена має вхідний опір близький до 50 Ом. Це свідчить про те, що антена узгоджена та практично максимально ефективно перетворюватиме сигнали, які подаються до входу, в вигляді електромагнітних хвиль.

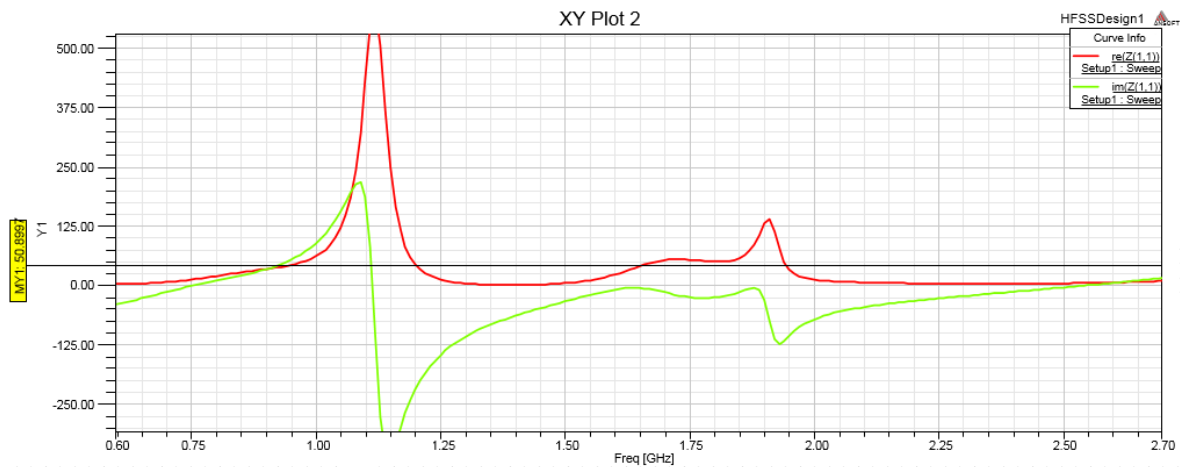


Рисунок 4.4 – Графік вхідного опору антени

Особливості діаграми спрямованості антени для випадків різних частот наведено на рис. 4.5.

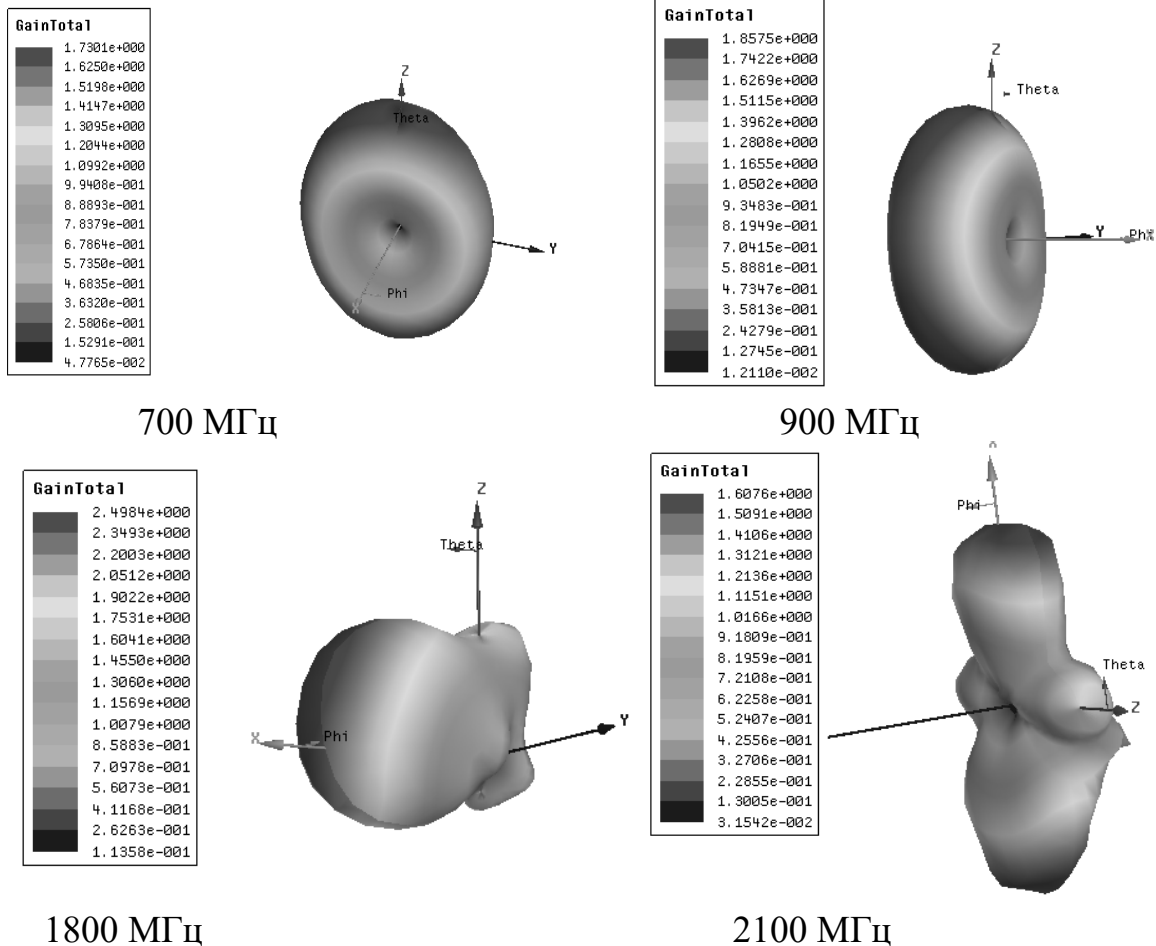


Рисунок 4.5 – Результати знаходжень 3D -діаграм спрямованостей антени для заданих частот

4.2 Моделювання антени спіраль Архімеда

Необхідно для придушення стільникового зв'язку синтезувати таку широко смугову антену, яка відразу охопить увесь діапазон що застосовується для стільникового зв'язку. З аналізу переваг антени, яка описана в відомих наукових працях [19] можливо зупинити свій вибір на ній.

Геометричні особливості антени та застосовані початкові параметри видно з рис. 4.6.

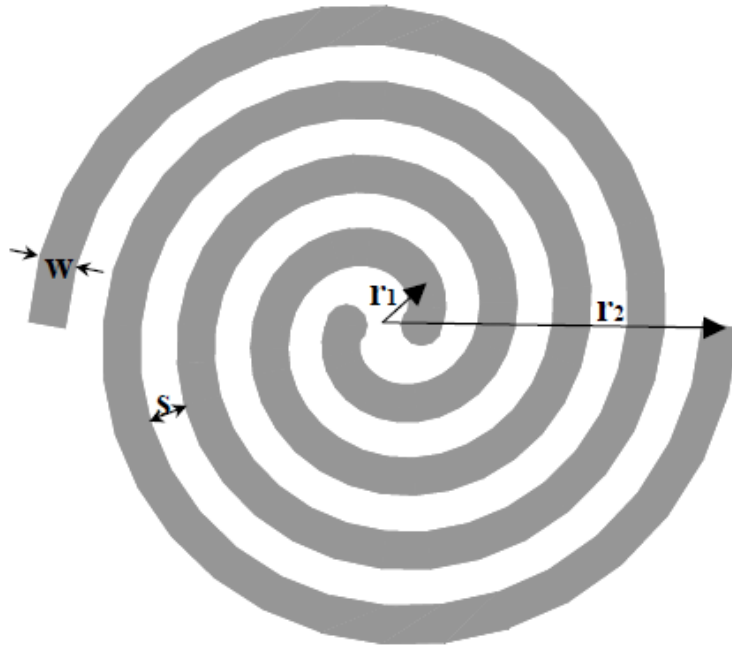


Рисунок 4.6 – Начальна модель дослідженої спіральної антени

У табл. 4.3 наведені основні розміри змодельованої антени.

Таблиця 4.3 – Геометричні параметри антени

| W | S | r_1 | r_2 | Розміри порта |
|--------|--------|----------|---------|------------------|
| 1.6 мм | 1.6 мм | 16,69 мм | 47,5 мм | 22,48 x 22,48 мм |

На рис. 4.7 показана геометрія модельованої антени в програмі HFSS.

Розглянемо результати досліджень отриманої конструкції антени. Залежність коефіцієнта відбиття від частоти наведено на рис. 4.8. Модельована антена має добрі характеристики в цьому частотному діапазоні мобільного зв'язку.

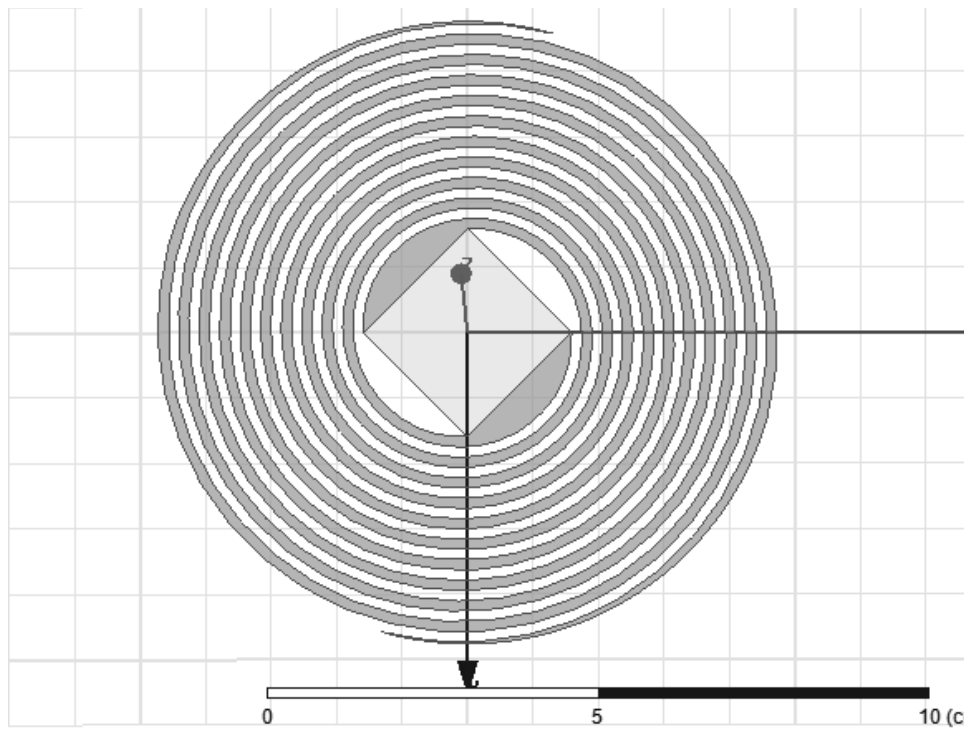


Рисунок 4.7 – Геометрична модель антени

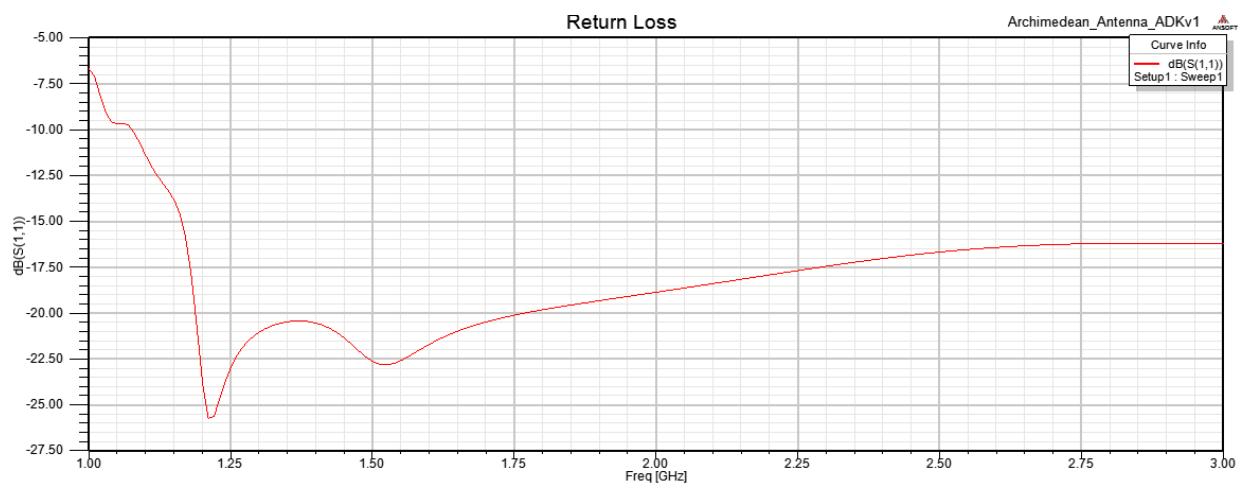


Рисунок 4.8 – Частотна залежність коефіцієнта відбиття

Частотна залежність вхідного імпедансу антени наведена на рис. 4.9. В досліджуваному діапазоні частот для антени буде вхідний опір в межах 152,81-25,62 Ом. Тому для кращого використання антени в пристрої придушення необхідно використовувати узгоджувач, який змінює вхідний опір антени до потрібного нам.

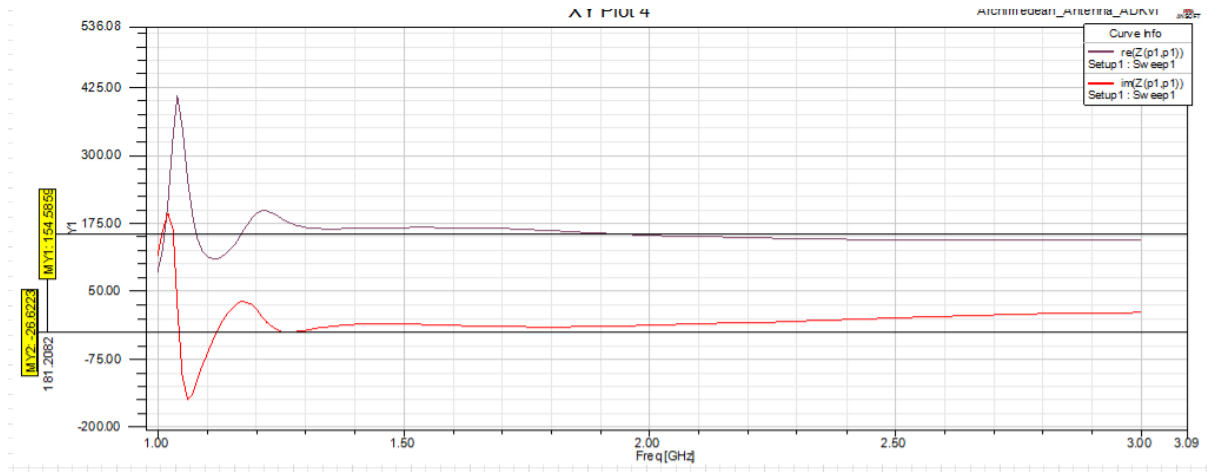


Рисунок 4.9 – Графік залежності вхідного опору антени від частоти

Діаграма спрямованості для спіральної антени наведена на рис. 4.10, з якого видно, що діаграма спрямованості цієї синтезованої антени має вигляд вісімки.

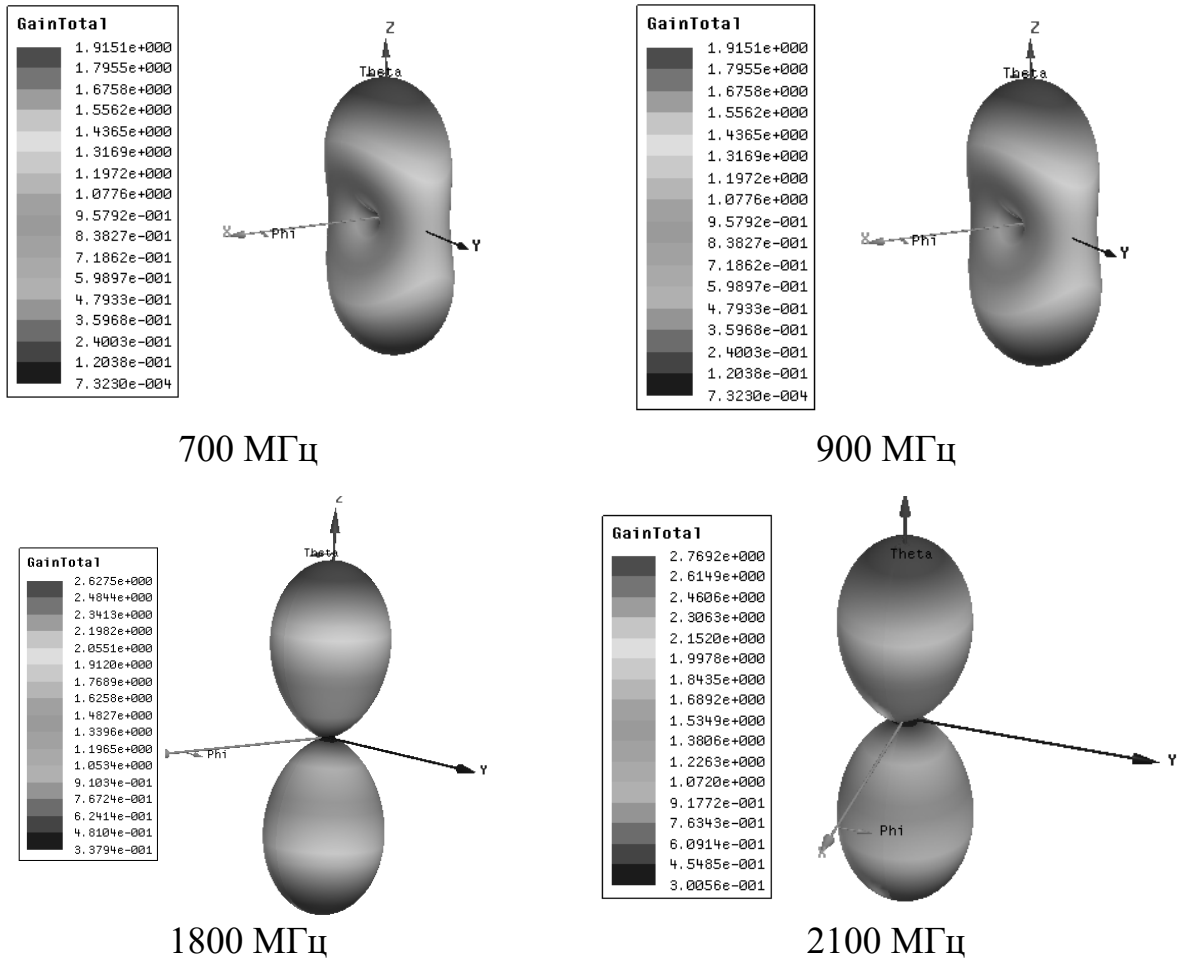


Рисунок 4.10 – 3D - діаграма направленості антени з застосуванням ряду різних частот

Таким чином було виконано моделювання двох різних антену. Використання запропонованих антен сумісно з розробленим генератором завад покращує якісні характеристики пристрою, та суттєво збільшує радіус дії пристрою придушення зв'язку. Таким чином, отримано покращення якості роботи розробленого пристрою.

ВИСНОВКИ

В рамках даної кваліфікаційної роботи проведено короткий огляд стандартів стільникового зв'язку. Також проведено аналіз методів і засобів радіопротидії системам мобільного зв'язку. У зв'язку з цим, відповідно до завдання на атестаційну роботу було проведено аналіз сучасного стану техніки, що дозволяє подавляти такі системи.

Розроблено пристрій, який генерує широкопasmову заваду, що блокує роботу пристроїв мобільного зв'язку.

Розглянуто основні відомості про програмне забезпечення HFSS. Показана доцільність використання даного програмного продукту для розробки мікросмугових антен різного типу.

Запропоновано два види антен, які працюють в діапазоні систем мобільного зв'язку. Показано, що антенна типу PIFA за рівнем узгодження повністю задовольняють поставленим вимогам, а антенна типу спіраль Архімеду має широкопasmові властивості, але потребує додаткового узгодження з пристроєм.

Потрібно сказати, що встановлення у виділених приміщеннях пристроїв, які блокують стільниковий зв'язок виключають можливість витоку конфіденційної речової інформації за границі контрольованої зони.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Торокин А.А. Инженерно-техническая защита информации: учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям в обл. информ. безопасности [Текст] / А. А. Торокин. – М. : Гелиос АРВ, 2005. – 960 с.
2. Хорев А.А. Основы инженерно-технической защиты информации. Ч.1. Угрозы безопасности информации [Текст] / А. А. Хорев. - М. : РГГУ, 2005. – 266 с.
3. Дингес С.И. Мобильная связь: технология DECT [Текст] / С.И. Дингес. – Спб. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 272 с.
4. Мерлинг Д.О. История появления стандарта NMT-450 [Текст] / Д.О. Мерлинг. – М. : Наука и Техника, 2007. – 103 с.
5. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи [Текст] / В.Ю. Бабков. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 536 с..
6. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM [Текст] / В.И. Попов. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 296 с.
7. Портал «ЕР», [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ep-z.ru/stroitelstvo/sayt/internet/mobilnyiy-internet/3g> – Загл. с экрана.
8. Портал «ЕР», [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ep-z.ru/stroitelstvo/sayt/internet/mobilnyiy-internet/4g> – Загл. с экрана.
9. Портал «Glushilka.com.ua», [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://glushilka.com.ua/glushilka-gps-gsm/glushilki-gsm-mobilnih-telefonov/glushilka-universalnaya-piranya-kh6-4g-moshchnost-18-vatt-do-40-metrov.html> – Загл. с экрана.
10. Портал «Glushilka.com.ua», [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://glushilka.com.ua/glushilka-gps-gsm/glushilki-3g-dcs/glushilka-mobilnih-telefonov-do-10-m.html> – Загл. с экрана.
11. Портал «Каталог оборудования охраны», Режим доступа:

<http://antibug.com.ua/bughunter-ps1.php>, Загл. с экрана.

12. Портал «Каталог оборудования охраны» [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.aurix.ru/goods/goods6-3.html>, Загл. с экрана.

13. Портал «Каталог оборудования охраны» [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.jammer.su/ruchnoj-podavitel-signalov-mobilnyh-telefonov.html>, Загл. с экрана.

14. Портал ООО «Логос» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.podavitel.ru/company.php> Загл. с экрана.

15. Подаветели средств сотовой связи и беспроводного доступа. / А.А. Хорев [Текст] // Журнал «Защита информации. Инсайд». – №1. – 2012. – с. 8-10.

16. Портал «VRTP.ru» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vrtp.ru/index.php?showtopic=19761> Загл. с экрана.

17. Портал «VRTP.ru» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://easyelectronics.ru/sprint-layout-5-podrobnoe-rukovodstvo.html>. Загл. с экрана.

18. L. H. Trinh, F Ferrero, Mobile Phone Antenna for 2G, 3G and 4G Standards, ATC 2013 Conference, 2013, pp.199-202.

19. Y. Amin, Q. Chen, Design and Fabrication of Wideband Archimedean Spiral Antenna Based Ultra-Low Cost "Green" Modules for RFID Sensing and Wireless Applications, Progress In Electromagnetics Research, Vol. 130, 2012, pp. 241 –256, 2012.