**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Національний авіаційний університет**

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікації

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

проф. Г.Ф.Конахович

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

**Випускника освітнього ступеню**

**«магістр»**

**Тема: «**Канал первинної обробки оглядової РЛС з детальною розробкою систем придушення пасивних завад»

**Розробив** В.І. Таран

**Керівник** І.Г. Прокопенко

**Консультанти з розділів:**

**Охорона праці** І.В.Якимець

**Охорона навколишнього середовища** І.М. Горбач.

**Нормоконтролер**  М.М.Малоєд

**Київ 2020**

**Національний авіаціЙниЙ університет**

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіаційних радіоелектронних комплексів

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. В.М. Васильєв

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

«\_\_» 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студента

**ТАРАНА ВОЛОДИМИРА Ігоровича**

**1.Тема роботи:** Канал первинної обробки оглядової РЛС з детальною розробкою систем придушення пасивних завад.

Затверджена наказом ректора від «12» листопада 2019 р. № 2639/ст.

**2. Термін виконання роботи**: з 15 жовтня 2019 р. до 3 лютого 2020 р.

**3.** **Вихідні данні до роботи**:

Методи проектування фільтрів

Адаптивні алгоритми

**4. Зміст роботи:**

Радіонавігація рухомих цілей

Застосування фільтрів в системах СРЦ

Розрахунок фільтрів

Моделювання фільтрів у середовищі MATLAB

Адаптивний алгоритм фільтрації пасивних завад

Охорона праці

Охорона навколишнього середовища

**5. Перелік графічного матеріалу.**

Електронна версія доповіді та презентація.

**6. Консультанти з окремих розділів**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
| Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | Якимець І.В. |  |  |
| Охорона навколишнього середовище | Горбач І.М. |  |  |

**7. Дата видачі завдання**  «15 »жовтня 2019 р.

Керівник роботи  І.Г. Прокопенко

Завдання прийняв до виконання В.І. Таран

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№**  **№№**  **П** | **Найменування етапів роботи** | **Термін виконання етапів роботи** | **Примітка** |
| 11 | Виконання першого розділу дипломної роботи | 30.11.2019 р | Виконано |
| 22 | Виконання другого розділу дипломної роботи | 15.12.2019 р. | Виконано |
| 33 | Виконання третього розділу дипломної роботи | 30.12.2019 р. | Виконано |
| 44 | Виконання четвертого розділу дипломної роботи | 07.01.2020 р. | Виконано |
| 55 | Виконання п’ятого розділу дипломної роботи | 14.01.2020 р. | Виконано |
| 66 | Виконання розділів з охорони праці та навколишнього середовища | 20.01.2020. | Виконано |
| 7 | Оформлення дипломної роботи. | 25.01.2020 р | Виконано |
| 78 | Подання на кафедру дипломної роботи. Усунення недоліків. | 29.01.2020 р. | Виконано |
| 79 | Підготовка матеріалів до презентації | Перед захистом | Виконано |

Студент-дипломник  В.І. Таран

Керівник роботи  І.Г. Прокопенко

УДК 621.396(045)

*Таран В.І.* Канал первинної обробки оглядової РЛС з детальною розробкою систем придушення пасивних завад / керівник професор Прокопенко І.Г. Кафедра авіаційних радіоелектронних комплексів. Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2020.

У пояснювальній записці до дипломної роботи розглянута робота оглядової РЛС та обробка сигналу в каналі первинної обробки системою придушення пасивних завад. У ході дипломної роботи був розроблений адаптивний алгоритм налаштовування цифрового режекторного фільтру та спроектований такий фільтр у програмному середовищі MATLAB. Результати роботи можна використовувати як в реальних пристроях, так і для навчального процесу.

Стор. рис. 17, список літ.:15 джерел.

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Арк.

5

**НАУ 020.901.047.001 ПЗ**

Розроб.

Таран В.І.

Перевір.

*Прокопенко І.Г.*

Н. Контр.

*Прокопенко І.Г.*

Затверд.

Васильєв В.М.

Канал первинної обробки оглядової РЛС з детальною розробкою систем придушення пасивних завад

Пояснювальна записка

Літ.

Аркушів

**ЗМІСТ**

**СПИСОК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ7**

**ВСТУП8**

**1 РАДІОЛОКАЦІЯ РУХОМИХ ЦІЛЕЙ 9**

**1.1 Основи радіолокації** 9

**1.2 Принципи побудови та роботи радіолокаторів** 12

**1.3 Система селекції рухомих цілей** 20

**2 ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРІВ В СИСТЕМАХ СРЦ24**

**2.1 Лінійні стаціонарні системи та їх опис** 24

**2.2 Проектування цифрових фільтрів**26

**2.3 Реалізація цифрових фільтрів** 29

**3 РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРІВ** 3**3**

**3.1 Попередні розрахунки** 33

**3.2 Розрахунок фільтру із застосуванням методу Ейлера**34

**3.3 Розрахунок фільтру із застосуванням білінійного z перетворення** 35

**4 МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРІВ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB 36**

**4.1 Програмний код фільтрів** 36

**4.2 Опис програми фільтрів**39

**5** **АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ФІЛЬТРАЦІЇ ПАСИВНИХ ЗАВАД 41**

**5.1 Програма підбору частоти методом Монте-Карло** 41

**5.2 Опис програми алгоритму** 45

6 ОХОРОНА ПРАЦІ **4**8

**6.1 Перелік шкідливих факторів, які впливають на працівника**48

**6.2 Вплив оптичного випромінення**50

**6.3 Електрична безпека**56

**6.4 Пожежна безпека**59

7 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА62

**7.1 Екологічні проблеми традиційної енергетики**63

**7.2** **Характеристика основних альтернативних джерел енергії**67

**7.3 Витрати електроенергії комп’ютерами**73

**ВИСНОВКИ** 75

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ** 76

# СПИСОК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АД – Амплітудний детектор

АЦП – Аналогово-цифровий перетворювач

АЧХ – Амплітудно-частотна характеристика

БІХ – Безкінечна імпульсна характеристика

ДПФ – Дискретне перетворення Фур’є

ЕПВ – Ефективна площа відбиття

ІКО – Індикатор кругового огляду

КІХ – Кінцева імпульсна характеристика

ЛЗ – Лінія затримки

ЛСС – Лінійна стаціонарна система

ПЗ – Пасивні завади

ПЛІС – Програмовані логічні інтегральні схеми

ПС – Повітряні судна

РЕА – Радіоелектронна апаратура

РЕП – Радіоелектронне придушення

РЕБ – Радіоелектронна боротьба

СРЦ – Селекція рухомих цілей

ФАР – Фазована антенна рещітка

**ВСТУП**

З самого виникнення радіолокації пасивні завади (ПЗ), тобто відбиті сигнали від природних (водної поверхні, землі, гір та пагорбів, лісів, атмосферних гідрометеоутворень, птахів) та рукотворних джерел завад (будівель, дипольних відбивачів) були серйозною проблемою, яку, шляхом покращення технічних характеристик пристроїв та розробкою нових алгоритмів, по нинішній час вирішують спеціалісти, тому боротьба з таким типом завад та виділення на їх фоні рухомих цілей були і є пріоритетними напрямками розвитку радіолокаційної техніки.

За рахунок інтенсивного науково-технічного розвитку значно удосконалювалася радіолокаційна техніка для використання у цивільній та, особливо, військовій авіації, одночасно з цим розроблялись засоби протидії радіолокації або так звані системи радіоелектронного придушення (РЕП). Завдяки цьому за останні роки були винайдені нові принципи побудови РЛС та алгоритми обробки сигналів.

Для перспективних напрямків розвитку радіолокації характерні такі риси:

* застосування цифрових методів обробки радіолокаційної інформації та сигналів;
* комп’ютерне моделювання і розрахунок характеристик РЛС на основі реальних завадових ситуацій;
* впровадження нових засобів і методів завадостійкості і СРЦ, включаючи адаптивні;
* використання нових складних видів модуляції зондуючих імпульсів, таких як нелінійна ЧМ, з низьким рівнем бокових пелюсток;
* використання систем генерації потужних електромагнітних випромінень НВЧ діапазону.

ПЗ згубно впливають на характеристики виявлення цілей, тож розробка систем їх придушення – це важлива радіолокаційна задача, а застосування адаптивних алгоритмів, в яких швидкодія і точність мають ключове значення, дозволяє ефективно її вирішувати, саме тому дана робота і була присвячена дослідженню та розробці таких систем.

**1 РАДІОЛОКАЦІЯ РУХОМИХ ЦІЛЕЙ**

**1.1 Основи радіолокації**

Радіолокаційна станція (РЛС, радіолокатор або радар) представляе собою складну електротехнічну систему, що складається з предавача електромагнітних хвиль радіочастотного діапазону, які випромінюються в простір, та приймача (електроманнітного датчика), котрий приймає відбиті від об'єктів хвилі та виявляє цілі, визначає їх координати та параметри руху у просторі.

В загальному вигляді роботу радіолокатора можна описати за допомогою його підсистем наступним чином: передавч формує зондуючі сигнали, потім, через циркулятор (пристрій, що перемикає приймач та передавач та з'єднує їх з антеною), вони потрапляють в антену, де перетворюються в електромагнітну хвилю і випромінюються в середовище розповсюдження (зазвичай в атмосферу). В просторі частина енергії потрапляє на деякі цілі і відбивається від них в багатьох напрямках, в тому числі і на локатор. Відбита ЕМ хвиля (так званий ехо сигнал) знову приймається антеною, перетворюється в електричний сигнал та передається в приймач циркулятором. За допомогою нього приймач та передавач можуть бути одночасно під'єднані до антени та ізольовані один від одного, що захищає чутливі компоненти приймача від випромінюваного сигнала великої потужності. Далі сигнал підсилюється, переноситься на проміжну частоту, оцифровується за допомогою АЦП і далі оброблюється в процесорі сигналів. За допомогою детектора виділяється корисний сигнал і приймається рішення про наявність цілі, після чого можуть бути визначені її координати та інша радіолокаційна інформація. Деякі радари (в основному старого типу) не мають цифрового процесора, а використовують аналогову детекцію напруги і виводять її на індикатор кругового огляду (ІКО).

Зазвичай сигнал, що випромінюється РЛС, це послідовність вузьких прямокутних радіоімпульсів або меандрів. Відстань до цілі може бути визначена за допомогою часу за який електромагнітна хвиля проходить до цілі і назад зі швидкістю світла. Оскільки швидкість це добуток швидкості на час, а відстань долається двічі, то

R=cΔT/2, (1.1)

де *c* – швидкість світла, яка дорівнює приблизно 3\*10^8 метрів за секунду, T – час проходження сигналу, R – відстань до цілі.

Радіолокатори можуть працювати на дуже малих відстанях (такі, наприклад, використовуються в медицині) або значних (в космічній авіації) та мати розміри, в залежності від призначення, від ручних до декількох десятків метрів. Цілями можуть виступати як повітряні судна (ПС), ракети, кораблі так і люди, птахи та навіть комахи. У зв'язку з тим, що радіолокаційний сигнали постійно піддаються завадам різних типив, наприклад, внутрішньому (викликаному недосконалістю приборів) або зовнішньому шуму, випроміненням інших джерел ЕМ хвиль, відбиттям від небажаних цілей, деякі РЛС мають на меті обробку саме таких сигналів. Прикладом таких є метеорологічні станції, що працюють з відбиттями від таких атмосферних утворень як хмари, туман, дощ чи сніг; бортові локатори, які складають карту місцевості, об'єктами цікавості для яких є гори, будинки, річки, айсберги і тд. Вимірювати можна не тільки дальність та кутове положення, а і траєкторію польту, якщо координати цілі міняються на протязі деякого часу, швидкість цілі, її напрям, а також може бути спрогнозоване її майбутнє положення. Відносну швидкість цілі також можна знайти обчислюючи швидкість зміни відстані, або за допомогою доплерівського зміщенння частоти ехо сигналу визначати радіальну швидкість цілі.

Відбиття хвиль має велике значення в радіолокації , оскільки хвиля потрапляючи на поверхню об'єкту наводить на ньому електричний заряд, після чого він перевипромінює ЕМ хвилю. Це явище перевипромінення називається відбиттям або розсіюванням. Воно залежить від нерівності поверхні та від коефіцієнту відбиття. В радіолокації цей феномен описується ефективною площею відбиття (ЕПВ) цілі *σ.* ЕПВ вимірюється в квадратних метрах ,але є енергетичною характеристикою, а не площею. Це функція кута огляду цілі відносно до передаючої та приймаючої антени, частоти та поляризації падаючої на ціль хвилі. ЕПВ міра того, скільки енергії падаючї хвилі потрапило на ціль та було відбито назад в сторону випромінювача. Щоб зробити ціль непомітною для радарів потрібно якомога зменшити її ЕПВ. Це досягається такими шляхами: зменшенням поперечного перерізу цілі, зменшенням відбитої енергії шляхом застосування радіопоглинаючого матеріалу на поверхні об'єкту, зменшенням енергії відбитої в напрямі приймача РЛС, що залежить від форми цілі. Всі ці методи застосовуються в розробці стелс-технологій.

Ще одним важливим ефектом є заломлення хвиль (або рефракція), при переході з одного середовища в інше. Це явище зустрічається в радіолокаційних сигналах направлених в атмосферу під кутом відносто горизонталі. Коефіцієнт заломлення зменшується з підвищенням висоти через стоншення атмосфери, що веде до відхилення випроміненої ЕМ хвилі від прямої лінії вниз до землі. Це викривлення від прямолінійного розповсюдження негативно впливає на виявлення цілі, якщо не передбачене для цього. Рефракція може бути вигідною для радарів поверхневої дії оскільки дозволять хвилі поширюватися за горизонт і виявляти цілі поза зоною прямої видимості. На землі таке розповсюдження досягається за допомогою відбиття від іоносфери. Цей ефект найбільш помітний в області високих частот (ВЧ) і майже не зустрічається при частотах вище 150 МГц.

Малюнок 1.1 – Рефракція радіохвиль

Радіолокаційні станції можуть працювати в полосі частот від 3 МГц до 300 ГГц, характеристики ЕМ хвиль дуже різняться в залежності від їх частоти, але більшість радарів використовують діапазон від 300 МГц до 35 ГГц. Цей діапазон поділений на різні полоси радіочастот як показано в таблиці 1.1. Важливо зауважити, що окремі РЛС працюють не у всьому діапазоні вибраної полоси частот, а в окремих її межах. Стандарти діапазонів радіочастот введені Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ або ITU), вони не є обов'язковими, але широко використовуються задля міжнародної співпраці.

Таблиця 1.1 – Діапазони частот РЛС

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Полоса | Діапазон частот | Довжина хвилі |
| Високі частоти (ВЧ) | 3–30 МГц | 10 – 100 м |
| Надвисокі частоти (НВЧ) | 30–300 МГц | 0.9 – 6 м |
| Ультрависокі частоти (УВЧ) | 300 МГц – 1 ГГц | 0.3 – 1 м |
| L | 1 – 2 ГГц | 15 – 30 см |
| S | 2 – 4 ГГц | 7.5 – 15 см |
| C | 4 – 8 ГГц | 3.75 – 7,5 см |
| X | 8 – 12 ГГц | 2.5 – 3.75 см |
| Ku | 12 – 18 ГГц | 1.67 – 2.5 см |
| K | 18 – 27 ГГц | 1.11 – 1.67 см |
| Ka | 27 – 40 ГГц | 0,75–1,11 см |
| V | 40 – 75 ГГц | 4,0–7,5 мм |
| W | 75 – 110 ГГц | 2,7– 4,0 мм |
| mm | 100 – 300 ГГц | 1–7,5 мм |

**1.2 Принципи побудови та роботи радіолокаторів**

Прості радіолокатори складаються з наступних складових системи: передавач, антена, перемикач прийому-передачі та приймач. Передавач генерує зондуючий сигнал – радіосигнал обраної частоти та модуляції. Середня потужність якого може варіюватись від кількох міліват до мегават. Оскільки більшість радіолокаторів використовує сигнал у вигляді коротких імпульсів, то одна антена може працювати як на прийом, так і на передачу, завдяки розділенню їх в часі.

Пристрій перемикання прийому-передачі, або циркулятор дозволяє одній антені випромінювати сигнал, запобігаючи проникненню високопотужного згенерованного сигналу у чутливі елементи приймача, і паралельно пропускає відбиті сигнали в приймач. Антена – пристрій, що розповсюджуе ЕМ енергію зондуючих сигналів у простір і разом з тим збирає енергію відбитих сигналів на вхід приймача. Антени зазвичай мають вузьку діаграму напрямленості для високої концентрації випромінюваної енергії та точності у визначенні направлення на цілі, та велику площу прийому, щоб збирати енергію слабких сигналів з більшої площі.

Існує дві основні категорії антенних систем РЛС: моно та бістатичні. В моностатичних одна антена є передаючою і приймаючою, в той час, як для бістатичних використовуються дві антени для кожної з функцій, хоча при використанні в одній системі двох близько розташованих антен РЛС називають моностатичною. Систему визначають як бістатичну тільки при достатній умові розділеності антен, таких як кут на ціль, або відстань достатньо різні. Бістатичні антени мають перевагу для деяких функцій, наприклад, для позначення цілей для напівактивних ракет, що мають тільки приймач, або при боротьбі зі стелс-технологією, оскільки ціль може майже не відбивати енергію в напрямі джерела хвиль, але мати високу ЕПВ в іншому напрямі. Не дивлячись на це, більшість сучасних РЛС моностатичні через високу практичну цінність і зручність.

Приймач підсилює слабкий сигнал до рівня, який забезпечує його виявлення. Потрібно забезпечити мінімальний рівень власних шумів приймача, оскільки це запорука прийняття правильного рішення про наявність цілі і можливості отримання іноформації про неї. Приймачі повинні мати широкий динамічний діапазон, щоб запобігти послабленню сигналів від рухомих цілей відбитою від навколишнього середовища сильною завадою (пасивною), що далі насичується у підсилювальних каскадах. Динамічний діапазон ­– це відношення максимальнї потужності сигналу до мінімальної, при якій забезпечуються робочі характеристики виражене в децибелах. Процесор обробки сигналів це пристрій, що працює на проміжній частоті і виділяє корисний сигнал на фоні шумів. Він включає узгоджений фільтр, який максимізує на своєму виході відношення сигнал-шум. Також тут виконується доплерівська обробка рухомих об'єктів, коли рівень пасивних завад вище, ніж власний шум приймача. Це дозволяє придушити завади ввід небажаних об'єктів і прийняти рішення про наявність цілі, якщо вихідний сигнал перевищить встановлений поріг виявлення. Встановлення низького порогу призводить до частих помилкових спрацювань, дуже високий рівень стає причиною пропуску цілей. Критерієм встановлення порогу може бути вимога до встановленої частоти хибних тривог.



Малюнок 1.2 – Схема простого радіолокатора

Основними тактико-технічними характеристиками РЛС є наступні:

* Потужність випромінення ()– потужність генератора импульсів передавача, що випромінюються антеною. Вона поділяються на середню Pc та пікову Pп. Середня потужність більш надійний показник робочих характеристик радіолокатора, ніж пікова;
* Полоса пропускання – полоса частот вхідного тракта РЛС, в межах якої прийнятий сигнал проходить без спотворень, вона зазвичай узгоджена з тривалістю зондуючого сигналу;
* Чутливість приймача визначає мінімальну порогову потужність одиничного вхідного сигналу, за якої підтримується якість роботи системи;
* Діаграма спрямованості характеризує розподіл ЕМ поля випромінявання в просторі, вона визначається шириною головного пелюстка на рівні 0.5 від максимальної густини потужності і коефіцієнтом спрямованої дії;
* Коефіцієнт спрямованої дії антени (G) можна описати яккутової густини потужності, випроміненої в заданому напрямку, до усередненої кутової густини потужні випромінявання цієї ж антени;
* Діюча площа антени – це відношення максимальної потужності, виділеної в навантаженні при роботі антени в режимі приймання, до густини потужності падаючої на антену ЕМ хвилі;
* Дальність дії () – це максимальне віддалення цілі від локатора, при якому забезпечується підтримка заданої точності;
* Зона огляду – це частина простору або поверхні, в межах якої радар здатний виявити ціль з бажаними ймовірностями правильного виявлення та хибної тривоги. Вона визначається секторами огляду у вертикальній та горизонтальній площинах та мінімальною і максимальною дальністю виявлення;
* Тривалість огляду () – час, за який РЛС здійснює огляд всієї зони;
* Роздільна здатність по дальності – мінімальна відстань між двома цілями, що мають однакову радіальну швидкість і азимут, при якій відбиті від них сигнали спостерігаються роздільно;
* Роздільна здатність по азимуту – мінімальна різниця в кутах направлення на дві цілі, що рухаються з однаковими швидкостями і знаходяться на однаковій відстані від локатора при якій сигнали відбиті від цілей сприймаються роздільно;
* Роздільна здатність по швидкості – найменша різниця в радіальних швидкостях ціей, які мають однаковий азимут та знаходяться на однаковому віддалені, при якій відбиті сигнали спостерігаються окремо;
* Точність вимірів визначає здатність радару здійснювати вимір координат та параметрів рузу цілі з похибкою не нижче заданого рівня;
* Завадостійкість характеризує здатність РЛС зберігати свою працездатність в умовах дії пасивних та/або активних завад;
* Надійність – це здатність системи зберігати номінальне значення своїх параметрів та роботоздатність з плином часу;

Використовуючи ці та деякі інші характеристики можна вивести рівняння радіолокації. Це рівняння представляє фізичні залежності від передачі потужності, або поширення хвилі, до отримання відбитих від цілі сигналів. Потужність, яка потрапляє назад на антену, розраховується рівнянням радіолокації і залежить від випроміненої потужності, відстані від цілі до РЛС та характеристикою відбиття від цілі ЕПВ. При відомі чутливості приймача за допомогою цього рівняння можна розрахувати теоретичну максимальну дальність дії радіолокатора, та оцінити його ефективність взагалі.

, (1.2)

де L – коефіцієнт втрат, – найменша потужність, яка може бути виявлена радаром.

РЛС в залежності від типу випромінюваного сигналу можна поділити ще на два класи: імпульсні та з неперервним випроміненням. Імпульсні РЛС випромінюють послідовність імпульсів скінченної тривалості, розділених в часі періодами спокою передавача. Поки він вимкнений, працює приймач і виявляє цілі. Радіолокатори постійного випромінення передають сигнал неперервно у часі поки працює передавач, відповідно працює і приймач. Для досягнення ізоляції між приймачем та передавачем такі локатори використовують бістатичну конфігурацію. Оскільки ізоляція не ідеальна, то присутні протікання небажаних сигналів у систему, що зумовлює використання цих систем з малою потужністю, а отже і на коротких відстанях. Також оскільки дані РЛС постійно випромінюють сигнал, то визначення часу проходження сигналу до цілі і назад, має бути здійснене за допомого зміни параметрів хвилі, наприклад, зміни частоти у часі. Такий метод використання частотної модуляції (ЧМ) дозволяє ефективно виміряти дистанцію до цілі. Такі радари можуть представляти собою складні комплекси, наприклад, для підсвічення ракетних цілей або супроводження, або прості, котрі використовуються як висотоміри або радари швидкості.

Імпульсні РЛС випромінюють ЕМ хвилі протягом короткого проміжку часу, так званого тривалості імпульсу *τ****,*** зазвичай від десятої до десятьох мікросекунд. Протягом цього часу приймач від'єднаний від антени, задля захисту чутливих компонентів. В період між передачами імпульсів, приймач з'єднаний з антеною і приймає відбиті сигнал. Сума часу такого прослуховування та тривалості імпульса представляє цикл одного імпульсу, що зветься періодом повторення імпульсів . Число циклів випромінення за одиницю часу (секунду) називається частотою повторення імпульсів . Час, протягом якого передається імпульс відносно одного циклу, називається робочий цикл . Середня потужність хвилі, що передається, визначається як добуток пікової потужності та робочого циклу передачі.



Малюнок 1.3 – Параметри послідовності імпульсів та ілюстрація неоднозначності від

При визначенні відстані до цілі імпульсними радарами може виникнути проблема неоднозначності, коли час проходження сигналу до цілі і назад (ΔT) більший ніж інтервал повторення імпульсів. В такому випадку сигнал не встигне повернутися до приймача перед випроміненням наступного імпульсу, що є причиною неоднозначності в часі та відстані. Прийнятий імпульс може бути як відбитим від близької цілі, так і результатом відбиття минулого сигналу, тобто від далекої цілі. Неоднозначність відстані долається забезпеченням достатньо великого періоду повторення імпульсів, щоб встигнути прийняти всі потрібні відбиті сигнали до випромінення наступного імпульсу. Час проходження хвилі до цілі і назад знаходиться з рівняння (1.1)

ΔT = (1.3)

Отже, щоб запобігти неоднозначності потрібно задовольнити таку умову:

(1.4)

Максимальна однозначна відстань до цілі , що може бути виміряна РЛС визначається наступним чином

(1.5)

Слід зауважити, що не всі радіолокатори можуть задовольнити цю умову, через інші обмеження.

Радіолокаційні станції можуть використовувати когерентний або некогерентний прийом. Некогерентні системи визначають лише амплітуду прийнятого сигналу, а когерентні визначають амплітуду і фазу. Некогерентні локатори часто застосовуються для двовимірного зображення відміток положення цілей, амплітуда сигналу впливає на яскравість позначок. Такі радари можуть використовуватися, коли відомо, що сигнал від цілі матиме вищий рівень, ніж заважаючи сигнали.

Когерентні РЛС вимірюють фазу прийнятого сигналу, що дозволяє судити про її зміну та характеристики руху цілі. Більшість радіолокаційних систем базуються на когерентному накопиченні сигналів. Зміни у фазі прийнятого сигналу порівнюються з фазою опорного, який використовується також як випромінюваний сигнал.



Малюнок 1.4 – Спрощена схема когерентної системи СДЦ

Якщо між локатором та ціллю присутнє відносне переміщення, то частота відбитої від цілі та прийнятої хвилі буде відрізнятися від частоти, з якою сигнал був випромінений. Це є проявом ефекту Допплера. Допплерівське зміщення частоти – це різниця між частотами випроміненої та відбитої хвилі, яка дорівнює

, (1.6)

де – радіальна швидкість цілі відносно РЛС, – несуча частота.

Радіальна швидкість додатна для цілей, які рухаються в напрямі на радар (а з нею і саме зміщення , і від’ємна для тих, що віддаляються.

Як було доведено вище, зниження частоти повторення імпульсів РЛС збільшує відстань однозначного виявлення, але це приводить до небажаних наслідків. Радари вимірюючи Доплерівську частоту дискретизують її з частотою повторення імпульсів, що може привести до неоднозначностей виміру частоти, якщо частота повторення імпульсів недостатньо висока.

Теорема Котельнікова-Найквіста визначає критерій дискретизації сигналів, і говорить, що найвища частота, яка може бути однозначно виміряна, дорівнює половині частоти дискретизації. Отже максимальний діапазон Допплерівських частот зміщення, що вимірюються однозначно, дорівнює

(1.7)

Зменшення частоти повторення імпульсів веде до збільшення однозначної дальності виявлення, але зменшує діапазон однозначного виміру Допплерівських зміщень. Ця суперечність веде до застосування трьох режимів повторення імпульсів:

* Низька частота, застосовується для однозначного виміру відстані і варіюється від 100 Гц до 4 кГц;
* Висока частота, при якій задовольняється критерій Котельнікова-Найквіста для швидких цілей, змінюється від 10 кГц до 100 кГц і вище;
* Середня частота, типові значення якої різняться від 8 кГц до 30 кГц, для цього режиму мають місце неоднозначності як по частоті, так і по дальності.

Щоб відрізнити та виділити рухомі цілі від нерухомих застосовуються системи, що використовують допплерівське зміщення частоти, присутнє у відбитих від рухомих об’єктів сигналах, вони називаються системами селекції рухомих цілей (СРЦ).

**1.3 Система селекції рухомих цілей**

За шляхом забезпечення когерентності РЛС з СРЦ діляться на радіолокатори з внутрішньою та зовнішньою когерентністю. В останніх когерентність оброблюваної пачки імпульсів досягається завдяки тому, що сигнали від рухомої цілі та нерухомих об’єктів надходять на вхід приймача одночасно, в результаті чого на детекторі виділяється різна частота Допплера у вигляді огинаючої імпульсів відбитих від цілі. При тимчасовому зникненні сигналів відбитих від нерухомих об’єктів зникає і різницева частота, що потребує запам’ятовування фази пасивної завади. Недоліком РЛС з зовнішньою когерентністю є розширення спектру пасивних завад на нелінійному елементі, що погіршує їх придушення.

РЛС з внутрішньою когерентністю діляться на істинно та псевдокогерентні. Істиннокогерентні радіолокатори випромінюють в простір когерентну послідовність радіоімпульсів, заповнення яких представляє відрізки одного високочастотного сигналу, тому початкова фаза всіх імпульсів однакова.



Малюнок 1.5 – Спектр пасивної завади та сигналу

На малюнку 1.5 представлений загальний вигляд спектрів завади і сигналу від цілі для когерентної РЛС з низькою частотою повторення зондуючих імпульсів перед його обробкою. Когерентність послідовності, що приймається, зумовлює спектр бути лінійчатим, завдяки чому можна провести частотне розділення корисного сигналу і завади, не дивлячись на те, що огинаючі головних пелюсток спектрів суттєво перекриваються.

Оптимальний виявлювач когерентної пачки імпульсів на фоні білого шуму представляє послідовне поєднання узгодженого з пачкою фільтру, детектора та порогового пристрою. Задачу виявлення сигналу на фоні корельовано завади можна привести до задачі виявлення сигналу на фоні білого шуму, якщо перед цим обілити заваду, це виконується за допомогою обіляючого фільтру. Таким фільтром є режекторний фільтр, який придушує пасивну заваду пропускаючи при цьому сигнал від цілі. Після режекторного фільтру сигнал потрапляє на амплітудний детектор і всі залишки режекції накопичуються на інтеграторі. Ці залишки будуть негативно впливати на виділення сигналу, зменшити цей вплив можна, якщо пожертвувати можливістю виявлення цілей з допплерівськими частотами близькими до частоти повторення імпульсів *k*, *k=1,2,…* Оскільки в області головних піків спектральної щільності завади потужність сигналу цілі значно менша потужності завади, то виділення корисного сигналу в цій області мало можливе. В такій ситуації найкращим режекторним фільтром буде той, який повністю вирізає головні піки спектральної щільності завади і тим самим зменшуючи потужність залишків режекції на виході фільтра.

В РЛС псевдо когерентного типу випромінювана послідовність імпульсів некогерентна, а когерентність відбитої пачки забезпечується запам’ятовуванням початкових фаз зондуючи імпульсів на період їх повторення. Потужні зондуючи імпульси формуються генератором радіочастот, їх частота повторення задається хронізатором, а тривалість модулятором. Кожен імпульс за допомогою гетеродина і змішувача переноситься на проміжну частоту. Встановлену фазу і частоту когерентний гетеродин зберігає протягом періоду повторення імпульсів. Прийняті сигнали після гетеродину та підсилювача потрапляють на фазовий детектор, на виході якого виділяється відеосигнал, який містить допплерівські складові спектру.

В імпульсних радіолокаторах допплерівське зміщення частоти проявляється як фазовий здвиг між послідовно прийнятими імпульсами. Випромінені імпульси через деякий час повертаються до РЛС, після чого випромінюються нові. Відбиті від нерухомих об’єктів сигнали повертаються з однаковим відставанням, в той час як сигнали від рухомих цілей повертаються кожен раз швидше, через те, що ціль наближається до локатора в проміжках між зондуючи ми імпульсами (або з більшою затримкою, якщо ціль віддаляється). Точний час, необхідний сигналу для повернення до радіолокатора, не має особливого значення. Важливою є зміна затримки між прийнятими імпульсами, вона дорівняє декільком наносекундам і визначається порівнянням з фазою сигналу опорного генератора.

Інформація про фазу відбитого сигналу зберігається на період слідування імпульсів і віднімається від фазової інформації прийнятого в наступному періоді імпульсу. Сигнал на виході віднімаючого пристрою з’являються лише якщо сигнал відбито від рухомої цілі. Слід зазначити, що функціонування системи СРЦ не залежить від частотного розділення цілі, та завади. Щоб забезпечити хорошу роздільну здатність по частоті потрібно було б набагато більше ніж два імпульси, відбитих від цілі, як використовувалось в системах СДЦ минулого покоління. В системах нового покоління використовуються канали паралельного функціонування, що дозволяє сигналу проходити через двоімпульсний компенсатор СРЦ та набір допплерівських фільтрів. В радіолокаторах з селекцією рухомих цілей використовують нерухомі фазовані антенні рещітки (ФАР)або антени, що обертаються. Останні випромінюють неперервній модульований сигнал, обробка якого може виконуватись як КІХ так і БІХ фільтрами.

РЛС випромінює групу імпульсів з постійною частотою повторення імпульсів та заданою несучою частотою, цей часовий проміжок називається інтервалом когерентності або пачкою імпульсів. Відбиті сигнали, прийняті за час одної пачки обробляються набором допплерівських фільтрів. Для багатьох оглядових радіолокаторів важливою проблемою є сліпі частоти, коли ціль переміщується на 0, 0.25, 0.5, 1, 1.25 і так далі довжини хвилі за час між зондуючими імпульсами, такий фазовий здвиг дорівнює 2π або кратному цьому значенню, вони можуть бути розраховані наступним чином

(1.8)

Використання різних частот повторень буде призводити до зникнення сигналів цілі на різних частотах в полосі пропускання фільтра, усуваючи таким чином сліпі швидкості притаманні одній частоті повторення. Кожен допплерівський фільтр розрахований на виділення сигналів цілі в областях полоси допплерівських частот, що не перекриваються і на придушення завад на інших частотах. На малюнку 1.6 показаний приклад використання набору фільтрів.

Малюнок 1.6 – Набір допплерівських фільтрів і пасивні завади

Сигнал з вихода кожного допплерівського фільтра приходить на амплітудний детектор, а потім на порогів пристрій. Оскільки потужність відбитих від нерухомих або малорухомих об’єктів (тобто потужність пасивних завад), зазвичай на 20 – 80 децибел перевищує потужність рухомих цілей, то за умови їх одночасного прийому вирішити задачу СДЦ можливо лише при суттєвих різниці спектрів цілі та завади.

**2 ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРІВ В СИСТЕМАХ СРЦ**

**2.1 Лінійні стаціонарні системи та їх опис**

Важливою областю цифрової обробки сигналів є лінійна фільтрація, яка знайшла широке застосування у сучасній радіолокації. Фільтри – це системи, які, приймаючи сигнал на вході, виконують операцію трансформації, щоб отримати модифікований сигнал на виході, як це показано на малюнку 2.1. Фільтр можна реалізувати на цифровому процесорі використовуючи програмовані користувачем вентильні матриці (ПКВМ) або FPGA, програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) та відповідне програмне забезпечення.

Лінійні стаціонарні системи (ЛСС) можуть використовуватись як фільтри. Лінійність означає, що при вхідній суміші сигналів, на виході буде також суміш відповідних вхідним сигналів. Наприклад, якщо вхідні сигнали [*n*] і [*n*], а вихідні [*n*] та [*n*], то система лінійна за умови, що вхідна суміш *a*[*n*] + *b*[*n*] на виході даватиме *a*[*n*] + *b*[*n*].

Стаціонарними системами є такі системи, в яких реакція на вхідний сигнал однакова для будь-якого моменту дії вхідного сигналу, тобто затримка або випередження сигналу на вході спричиняє таку саму відмінність у часі сигналу на виході. Отже, при відповідних сигналах *x*[*n*] та *y*[*n*], реакцією на вхідний сигнал *x*[*n* − ] буде *y*[*n* − ] для будь-яких .

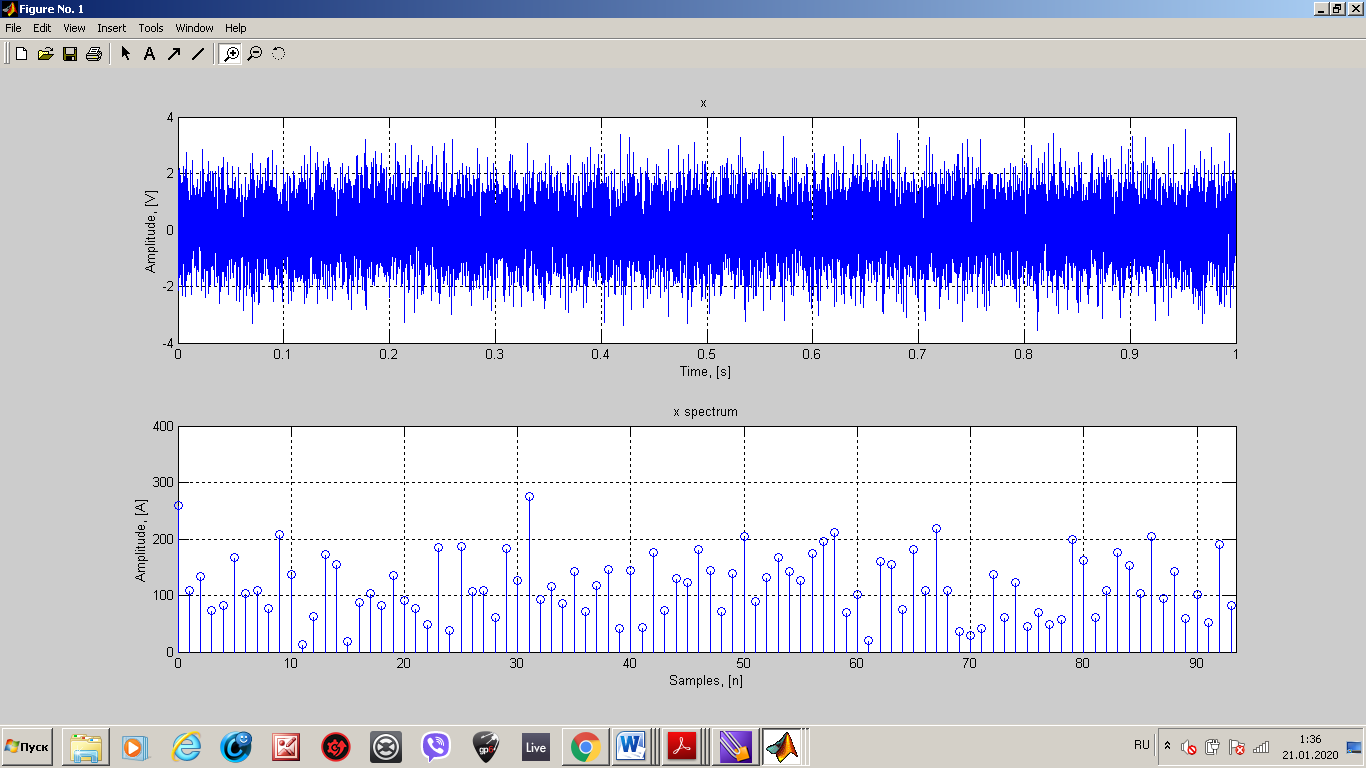
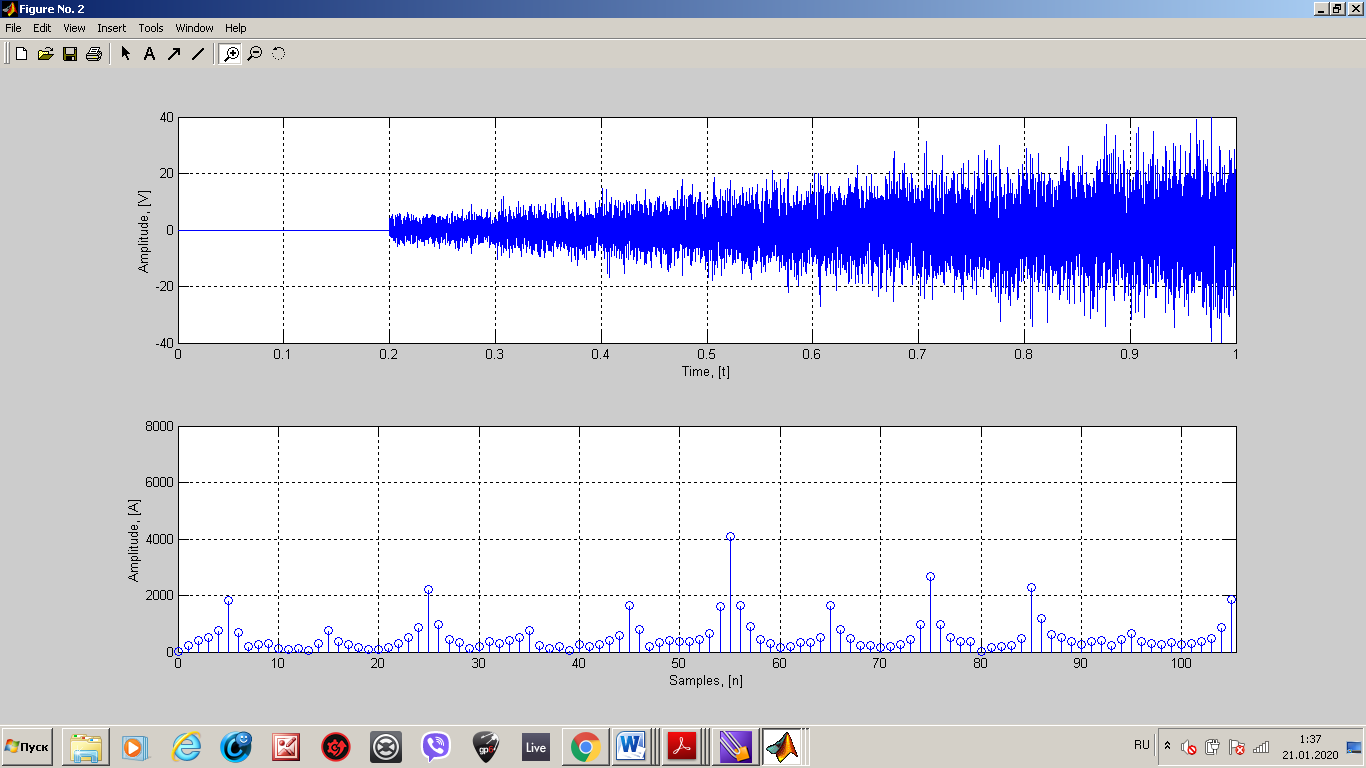
ЛСС фільтри повністю описуються їх імпульсною характеристикою *h*[*n*], що є реакцією на дельта функцію *δ*[*n*]:

(2.1)

Вихідний сигнал може бути розрахований як згортка будь-якого вхідного з імпульсною перехідною функцією

, (2.2)

де друга сума отримана з першої, але використано іншу змінну.

h(n)

H(ˆ*f*)

Рисунок 2.1 – Фільтр або ЛСС

Вираз (2.2) використовують як для аналізу, так і для розрахунку виходу фільтру. Якщо вхідний сигнал та імпульсна характеристика мають кінцеву тривалість, відповідно *N* та *L* відліків, тоді (2.2) може бути використана, щоб показати, що тривалість вихідного сигналу фільтра буде обмеженою *N* +*L* −1 відліками. Це важливо для реалізації фільтрів використовуючи дискретне перетворення Фур’є (ДПФ).

В казуальній системі починаючи зі стану спокою, вихід ненульовий тільки для таких відліків *n*, які більші або дорівнюють першому відліку ненульового вхідного сигналу. Іншими словами, система не реагує поки не буде поданий сигнал на вхід. З рівняння (2.2) видно, що ЛСС буде казуальною тільки коли *h*[*n*] = 0 при *n <* 0.

Іноді доцільно представляти лінійну фільтрацію і згортку векторними операціями. Розрахуємо вихідний сигнал в момент часу з імпульсною характеристикою тривалістю *L* відліків. Представимо Вхідний сигнал та імпульсну характеристику векторами:

(2.3)

(2.4)

Зазначимо, що відліки в оберненому порядку, а в прямому, зважаючи на це, вихідні відліки *y*[] розраховуються як скалярний добуток:

Добуток виразу (2.5) є одиничною скалярною величиною вихідної послідовності *y*[*n*]. Щоб отримати додаткові вихідні відліки потрібно підставляти відповідні значення вектору .

Щоб описати будь-яку ЛСС в часовій області і розрахувати вихідний сигнал достатньо використовувати імпульсну характеристику *h*[*n*] та згортку, але для детального розгляду системи необхідно перейти до частотної області, для цього використовується перетворення Лапласа, або z перетворення згортки для дискретних систем, яке описується наступним виразом:

*Y (z)* = *H(z)X(z),* (2.6)

де *H*(*z*) це перехідна функція фільтру. Оскільки z перетворення це ДПФ обчислене на одиничному колі в *z* площині, то

*Y (* ˆ*f )* = *H(* ˆ*f )X(* ˆ*f ),* (2.7)

де *H(* ˆ*f )* – це частотна характеристика системи.

Z перетворення (або перетворення Лорана) – це згортка сигналу заданого послідовністю *x*[*n*] в часовій області в функцію комплексної частоти, і визначається як

(2.8)

де z – комплексна змінна. В загальному випадку, таке сумування є збіжним тільки для деяких значень z. Достатньою умовою збіжності буде

, (2.9)

для деякої скінченної границі ; тобто, сумування маю бути скінченним. Такі області *z* площини, де *X*(*z*) збігається утворюють область збіжності.

Z перетворення для дискретних сигналів грає ту саму роль, що і перетворення Лапласа для неперервних сигналів.

Зазначимо, що ДПФ

або (2.10)

це випадок рівняння (2.8) для *z* = exp*( jω*ˆ *)* = exp*( j*2*π f*ˆ*).* Тут |*z*| = 1, а фазовий кут (аргумент) *z* це *ω*ˆ . Отже, оскільки *ω*ˆ набуває значень від 0 до 2*π* (або *f*ˆ від 0 до 1), z описує одиничне коло в z площині.

Особливої уваги потребують z перетворення, в яких *X*(*z*) представлено співвідношенням двох скінченних многочленів :

(2.11)

Корені знаменника називають полюсами *X*(*z*), а корені чисельника нулями.

Важливою особливістю z перетворення є ефект затримки сигналу. Якщо z перетворення *x*[*n*] це *X*(*z*), то z перетворення *x*[*n* −] is *X(z)* відповідно. В поєднанні з (2.11), цей факт приводить до одного з методів реалізації цифрових фільтрів.

**2.2 Проектування цифрових фільтрів**

Цифрові фільтри поділяються на дві великі групи: з кінцевою імпульсною характеристикою (також називаються КІХ або нерекурсивними фільтрами) та з безкінечною імпульсною характеристикою (БІХ або рекурсивні фільтри), в залежності від тривалості імпульсної характеристики *h*[*n*]. Будь-який фільтр можна повністю описати за допомогою імпульсної характеристики, частотної характеристики або системної функції. На базі будь-якої групи фільтрів можна реалізувати фільтри низьких, високих частот, полосові або режекторні фільтри, але кожна має свої важливі переваги та недоліки.

В КІХ фільтрах імпульсна характеристика ненульова для 0 ≤ *n* ≤ *M* −1, порядок фільтру *M* −1, а довжина імпульсної характеристики *M* відліків. В такому випадку згортка (2.6) це зважена комбінація скінченної кількості вхідних відліків *M.* Поки вхідний сигнал обмежений (скінченний), таким буде і вихідний сигнал. Завдяки цьому КІХ фільтри завжди стабільні.

В радарній обробці сигналів значної уваги приділяють фазі прийнятих сигналів. Інформація про фазу важлива для Допплерівської обробки, стиснених імпульсів, візуалізації синтетичних апертур та просторово-часової адаптивної обробки. Важливо, щоб апаратура обробки не вносила фазових спотворень в сигналі. Відношення в частотному діапазоні (2.12) передбачає вимогу щоб фаза *H*( ˆ*f* ) була нульовою. Однак достатнім буде обмеження щоб фаза змінювалась за лінійним законом. Лінійна фаза відповідає затримці сигналу в часі. КІХ фільтри можуть бути спроектовані так, щоб мати точно лінійну фазу. Якщо імпульсна характеристика точно симетрична або несиметрична,

*h*[*n*] = *h*[*M* − 1 − *n*]

або (2.12)

*h*[*n*] = −*h*[*M* − 1 − *n*]

то частотна характеристика *H*( ˆ*f* ) матиме лінійну фазу. Як додаткова перевага, симетричні або асиметричні фільтри простіші в обчисленні порівняно з довільними КІХ фільтрами. Традиційні БІХ фільтри мають нелінійну фазу. Тож КІХ фільтри популярні в радарній обробці.

Існує багато алгоритмів для проектування КІХ фільтрів , відповідних до вимог, зазвичай заданих у вигляді потрібної частотної характеристики. Незалежно від алгоритму спроектований фільтр задається імпульсною характеристикою *h*[*n*].

Метод вікна відносно проста техніка, яка добре підходить для реалізації простих смугових/режекторних фільтрів. Для початку зазначимо бажану частотну характеристику ( ˆ*f* ) після чого обчислимо відповідну імпульсну характеристику [*n*] використовуючи обернене ДПФ:

або (2.13)

В загальному така імпульсна характеристика буде нескінченною. Скінченна версія отримується шляхом множення [*n*] на віконну функцію скінченної довжини *w*[*n*]:

Оскільки *h*[*n*] це всього наближення до заданої [*n*], то отримана частотна характеристика *H*( ˆ*f* ) буде наближенням до бажаної ( ˆ*f* ). Вибір віконної функції пропонує компроміс між перехідною полосою між пропускною та полосою затримки (міра швидкості спаду країв частотної характеристики) та рівнем бокових пелюсток полоси затримки. КІХ фільтри спроектовані за віконним методом мають загалом однаковий рівень пікових похибок в різних полосах, а пульсації частотної характеристики найбільші поруч з краями полос.

БІХ фільтри не мають гарантованої стабільності порівняно з КІХ фільтрами, вони мають бути спроектовані особливим чином, щоб бути стабільними. Також БІХ фільтри не можна легко розробити, щоб мати лінійну фазу. Однак БІХ фільтри в цілому мають більш селективну частотну характеристику (гостріші краї та менші бокові пелюстки) для заданого порядку фільтру порівняно з КІХ фільтрами. БІХ фільтри забезпечують задану частотну селективність при меншому використання обчислювальних потужностей ніж КІХ фільтри, більша увага має надаватись стабільності.

БІХ цифрові фільтри проектуються за допомогою використання перетворення одного з багатьох видів аналогових фільтрів, або застосовуючи техніки комп’ютерної оптимізації. Наприклад, використовуючи метод Ейлера або білінійне перетворення можна перетворити аналоговий фільтр заданий аналоговою системною функцією (*s*) в цифровий фільтр заданий системною функцією *H*(*z*) застосовуючи відповідні підстановки

(2.15)

та

(2.16)

**2.3 Реалізація цифрових фільтрів**

Існує три основних методи реалізації цифрових фільтрів: згортка в часовій області, різницеве рівняння і згортка в частотній області (або так звана швидка згортка).

Перший метод це згортка в часовій області рівняння (2.2). Для цього метод потрібно, щоб імпульсна характеристика фільтру *h*[*n*] була відомою. Згортка спирається на серію операцій множення і додавання. Якщо імпульсна характеристика має довжину в *M* відліків, то реалізація згортки передбачає *M* операцій множення і *M* − 1 додавань на один вихідний відлік. В радарній обробці, дані, як і коефіцієнти фільтрів, зачасту мають комплексні величини, тож мають місце операції комплексного множення і додавання. Потрібно зауважити, що пряма згортка практично застосовується тільки для КІХ фільтрів, для котрих *M* скінченне число.

Другий метод використовує згортку перетворення Фур’є наведеного в (2.7). Техніка застосування дискретного в часі ДПФ прийнятна як для КІХ так і БІХ фільтрів. Однак ДЧПФ, хоч і гарно підходить для аналізу, не може бути розраховане через неперервність частотної характеристики, тому використовують версію ДПФ дискретну по частоті.

Зазвичай потрібна стандартна згортка, а не періодична. Незважаючи на ефект реплікації це може бути здійснено використовуючи ДПФ якщо його величина підібрана правильно, а конкретно, якщо і відліків – довжини послідовностей *x*[*n*] і *h*[*n*] відповідно, тоді їхня лінійна згортка має довжину +−1 відліків. Періодична згортка, отримана добутком їх обернених ДПФ, ідентична до лінійної згортки отриману за допомогою ДПФ з розміром *K* ≥+ − 1. Отже, для скінченних послідовностей даних, КІХ фільтр може бути реалізований наступним чином

, (2.17)

де представляє обернене ДПФ довжини *K,* що задовольняє минуле обмеження.

Процес КІХ фільтрації, який використовує множення ДПФ називається швидкою згорткою.

На скільки даний метод швидше ніж пряма згортка і чи швидше взагалі, впливає вибір використаних параметрів. Розрахунок *y*[*n*] використовуючи рівняння (2.17) потребує обчислення двох *K*-точкових ДПФ, *K*-точкового векторного множення для отримання добутку *H*[*k*]*X*[*k*] і *K*-точкового оберненого ДПФ. Отже, число множень та додавань (загалом комплексних) приблизно дорівнює *(*3*(K/*2*)* log *K* + *K)*, де *K* це сума довжин *x*[*n*] і *h*[*n*]. Хоча часто сума менша ніж при прямій згортці, бувають і виключення, зокрема коли одна з послідовностей (зазвичай *h*[*n*]) значно коротша за іншу.

Якщо один і той же фільтр застосувати на багато різних послідовностей даних, частотна характеристика *H*[*k*] має обчислюватись тільки раз; число додаткових обчислень на кожну відфільтровану послідовність даних зменшено до *(K* log *K* + *K)*.

Дуже довгі або неперервні вхідні послідовності сигналів можуть бути відфільтровані використовуючи КІХ фільтри та швидку згортку застосовані на методи перекриття-додавання або перекриття-збереження, основна ідея яких розбиття довгих вхідних сигналів на коротші відрізки, щоб фільтрувати кожний відрізок окремо, після чого використати властивість лінійності, для об’єднання відфільтрованих елементів і формування вихідного сигналу.

Фільтрація окремих сегментів може бути виконана використовуючи часову або швидку згортку. Остаточна реалізація методу часто використовується для проектування БІХ фільтрів. Починаючи з рівняння (2.6), яке пов’язує z перетворення вхідного та вихідного сигналу фільтру із системною функцією фільтра. Що для раціональних *H*(*z*) має наступний вигляд

Застосовуючи властивість z перетворення що *x*[*n* −] це  *X(z)*

до кожного члену обох сторін (2.18) та перестановки дає нам різницеве рівняння для обчислення вихідного сигналу фільтру *y*[*n*]:

(2.19)

Різницеве рівняння це дискретний еквівалент диференційних рівнянь в неперервному аналізі.

Рівняння (2.19) виражає кожен вихідний відлік як зважену суму *M* + 1 вхідних відліків та *N* попередніх відліків. Отже, БІХ фільтри, на відміну від КІХ фільтрів, мають зворотній зв’язок попередніх вихідних відліків до нинішніх. Через цю особливість, як зазначалось раніше, вони називаються рекурсивними цифровими фільтрами, тоді як КІХ фільтри не рекурсивні. Наявність зворотнього зв’язку є також причиною того, що неправильно спроектовані БІХ фільтри можуть стати нестабільними.

На прикладі рекурсивного фільтру другого порядку розглянемо умови його стабільності, вони записуються у вигляді системи нерівностей для коефіцієнтів характеристичного поліному (при вихідних відліках)

(2.20)

Значення коефіцієнтів, які задовольняють ці нерівності, знаходяться всередині трикутника (рисунок 2.1), який називають областю стабільності фільтру.



Рисунок 2.1 – Трикутник стабільності фільтру

Незважаючи на нескінченну імпульсну характеристику, різницеве рівняння дозволяє розрахувати кожен вихідний відлік виконуючи скінченну кількість операцій, а точніше *(M*+*N)* перемножень та додавань на кожен вихідний відлік.

Згаданий раніше метод Ейлера простий однокроковий метод, який потребує мінімальних обчислювальних потужностей але дозволяє розрахувати вихідний сигнал з доволі низькою точністю. Для цього використовується заміна (2.15). В цьому наближенні немає коефіцієнтів при вихідних відліках *{bi}*. Для методу Ейлера необхідно використовувати маленький інтервал дискретизації, оскільки від цього залежить якість фільтрів, що очевидно з частотних характеристик.

Така форма фільтру потребує тільки N кількість ліній затримок, де N це порядок фільтру. Така структура отримана оберненням порядку чисельника та знаменника (2.11), оскільки це по суті дві лінійні системи, і можна застосувати принцип комутативності. Можна помітити, що є два стовпці ліній затримок об’єднавши які отримаємо реалізацію фільтра, як показано далі на рисунку 2.1.

Недоліком цієї форми є значне збільшення розрахунків при великих значеннях добротності фільтра *Q* або резонанса. Відомо, що зі збільшенням *Q* збільшується шум, це спричинено через те, що сигнал спочатку проходе через все полюсний фільтр (що зазвичай збільшує підсилення на резонансних частотах), після чого проходить через всенульвий фільтр (що послаблює все те, що частково підсилює все полюсний).



Рисунок 2.2 – Структурна схема цифрового фільтру

**3 РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРІВ**

**3.1 Попередні розрахунки**

В цій роботі було обрано аналоговий «фільтр-пробку» за основу для розрахунку цифрового режекторного фільтру. Як було зазначено в 2 розділі проектування БІХ фільтру на основі аналогового потребує перетворення його системної функції (коефіцієнта передачі) в цифрову за допомогою заміни передбаченої методом Ейлера (2.15), білінійному z перетворенні (2.16) або іншому обраному методу.



Рисунок 3.1 – Аналоговий фільтр-пробка

Для подальшого розрахунку фільтру обраним методом необхідно вивести комплексний коефіцієнт передачі , для чого знаходимо коефіцієнт передачі по напрузі в частотній області використовуючи формулу дільника напруги , з чого слідує наступне:

**3.2 Розрахунок фільтру із застосованням методу Ейлера**

Для знаходження передатної функції *H(z)* методом Ейлера використовуємо підстановку в (3.1).

Далі зводимо (3.2) до загальної форми, для чого групуємо коефіцієнти біля та :

де , , – коефіцієнти при вхідних відліках,

, .

**3.3 Розрахунок фільтру із застосованням білінійного z перетворення**

Для знаходження передатної функції *H(z)* методом білінійного z перетворення, як було зазначено раніше, використовуємо наступну заміну .

де , ,

, .

**4 МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРІВ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB**

**4.1 Програмний код фільтрів**

Далі буде представлено код цифрових режекторних фільтрів, в якому будуть використовуватись результати розрахунків проведених у 3 розділі даної роботи.

sr=32000;

T=1;

dt=1/sr;

It=1:sr;

t=dt\*(It-1);

f=(0:16000);

n=length(t);

f1=1000;

R=1000;

C=0.000001;

L=((1/(2\*pi\*f1))^2)/C;

Q=(sqrt(L/C))/R;

b1e=-(L\*C\*dt+2\*R\*L\*C^2)/(dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+R\*L\*C^2);

b2e=(R\*L\*C^2)/(dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+R\*L\*C^2);

a0e=(R\*C\*dt^2+R\*L\*C^2)/(dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+R\*L\*C^2);

a2e=b2e;

a1e=-2\*a2e;

b1z=(2\*R\*C\*dt^2-8\*R\*L\*C^2)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

b2z=(R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2-2\*dt\*L\*C)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

a0z=(R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

a1z=(2\*R\*C\*dt^2-8\*R\*L\*C^2)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

a2z=a0z;

ye(1)= 0; ye(2)= 0;

yz(1)= 0; yz(2)= 0;

for i=1:n

if i>1 &i<3 x(i)=100;

else x(i)=0;

end

end

figure(1)

plot(t,x,'r')

xlabel('Time, [s]');

ylabel('Amplitude, [V]');

grid on

title('delta-impulse ')

for i=3:n

ye(i)=-b1e\*ye(i-1)-b2e\*ye(i-2)+a0e\*x(i)+a1e\*x(i-1)+a2e\*x(i-2);

yz(i)=-b1z\*yz(i-1)-b2z\*yz(i-2)+a0z\*x(i)+a1z\*x(i-1)+a2z\*x(i-2);

end

figure(2)

subplot(2,1,1)

plot(t,ye)

xlabel('Time, [s]')

ylabel('Amplitude, [V]')

grid on

title('impulse response of ''Euler'' filter ')

subplot(2,1,2)

plot(t,yz)

xlabel('Time, [s]')

ylabel('Amplitude, [V]')

grid on

title('impulse response of ''Z transformation'' filter ')

w=2\*pi\*f;

AFCe=((a0e^2)+(a1e^2)+(a2e^2)+a0e\*a1e\*2\*cos(dt\*w)+a0e\*a2e\*2\*cos(2\*w\*dt)+a1e\*a2e\*2\*cos(w\*dt))./(1+(b1e^2)+(b2e^2)+2\*(b1e+b1e\*b2e)\*cos(w\*dt)+2\*b2e\*cos(2\*w\*dt));

AFCz=((a0z^2)+(a1z^2)+(a2z^2)+a0z\*a1z\*2\*cos(dt\*w)+a0z\*a2z\*2\*cos(2\*w\*dt)+a1z\*a2z\*2\*cos(w\*dt))./(1+(b1z^2)+(b2z^2)+2\*(b1z+b1z\*b2z)\*cos(w\*dt)+2\*b2z\*cos(2\*w\*dt));

figure(3)

subplot(2,1,1)

plot(f,AFCe)

xlabel('Frequency, [f]')

ylabel('Amplitude, [A]')

grid on

title('AFC of ''Euler'' filter ')

subplot(2,1,2)

plot(f,AFCz)

xlabel('Frequency, [f]')

ylabel('Amplitude, [V]')

grid on

title('AFC of ''Z transformation'' filter ')

**4.2 Опис програми фільтрів**

Для початку задаються такі параметри як частота дискретизації (sr), яка в даній програмі дорівнює 32 кілогерци, час спостереження Т, інтервал дискретизації та діапазон частот, який береться вдвічі меншим за частоту дискретизації (за теоремою Котельнікова). Після чого вводяться значення елементів фільтра: опір R, ємність С, а індуктивність котушки L знаходиться з формули

, (4.1)

де частота налаштування фільтру, в нашому випадку 1000 Гц.

Далі задаються коефіцієнти при вхідних та вихідних відліках комплексного коефіцієнту передачі для фільтрів розрахованих різними методами (3.3) та (3.4). Перші два вихідних відліки приймаються рівними нулю, що означає затримку вхідного сигналу на два такти.

Наступним кроком є формування вхідного сигналу, який тут задано δ-імпульсом, щоб на виході отримати імпульсні характеристики фільтрів для порівняння.

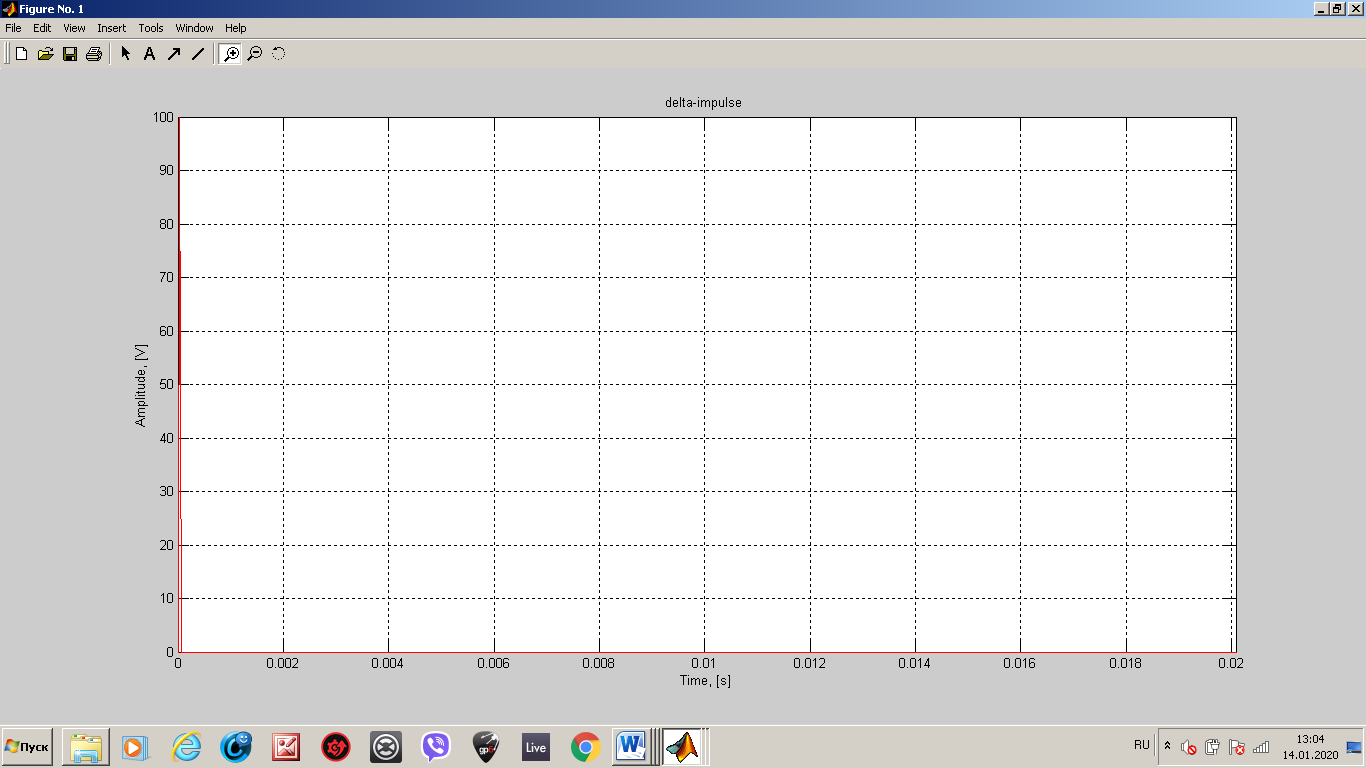


Рисунок 4.1 – δ-імпульс

Для розрахунку вихідних відліків фільтрів було обрано використовувати різницеві рівняння, які використосувують все ті ж коефіцієнти *a* та *b.* Після чого візуалізуються вхідний сигнал та реакції на нього обох фільтрів використовуючи функцію програмного середовища MATLAB *plot.*

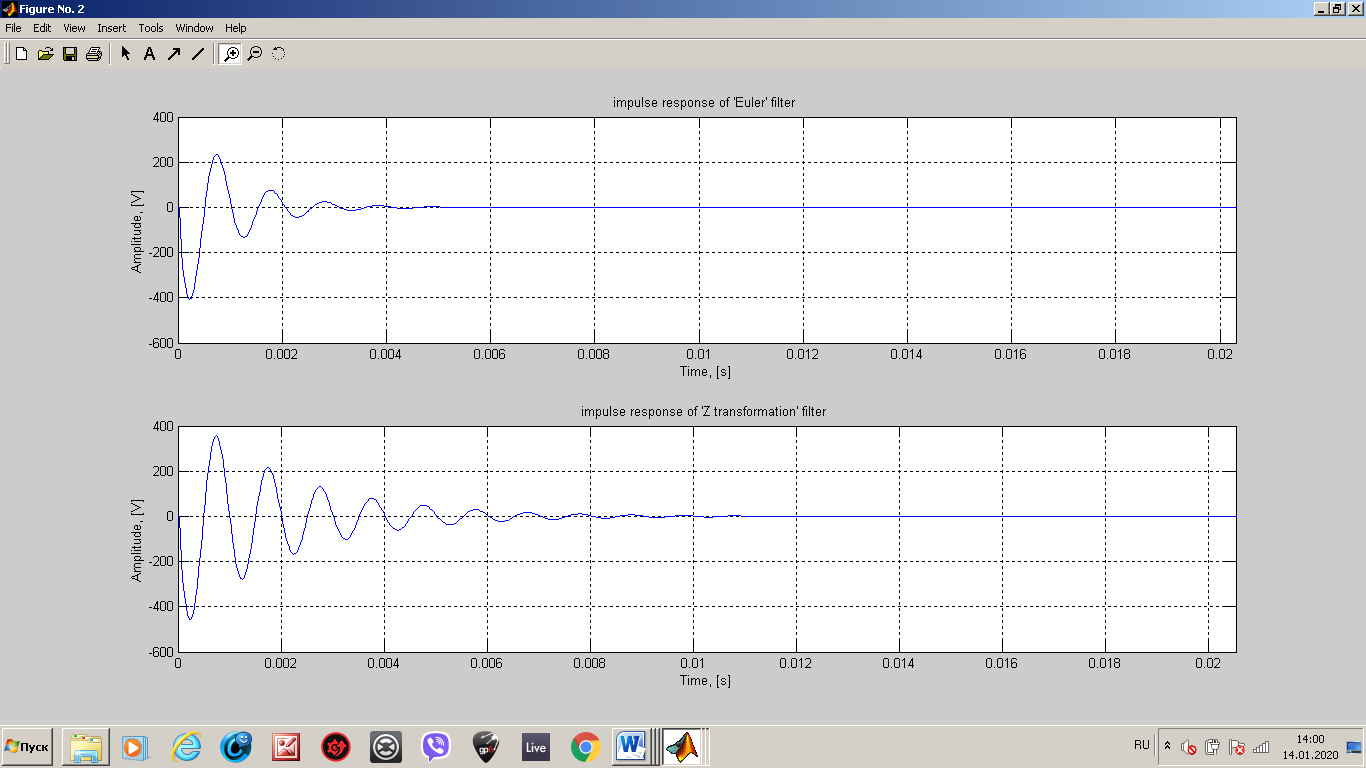


Рисунок 4.2 – Імпульсна характеристика фільтрів:

а) розрахованого за Ейлером;

б) розрахованого за z перетворенням

Далі для подальшого використання визначається циклічна частота і розраховуються амплітудно-частотні характеристики відповідних фільтрів за допомогою множення передатної характеристики на комплексно-спряжене значення , після чого теж візуалізуються.

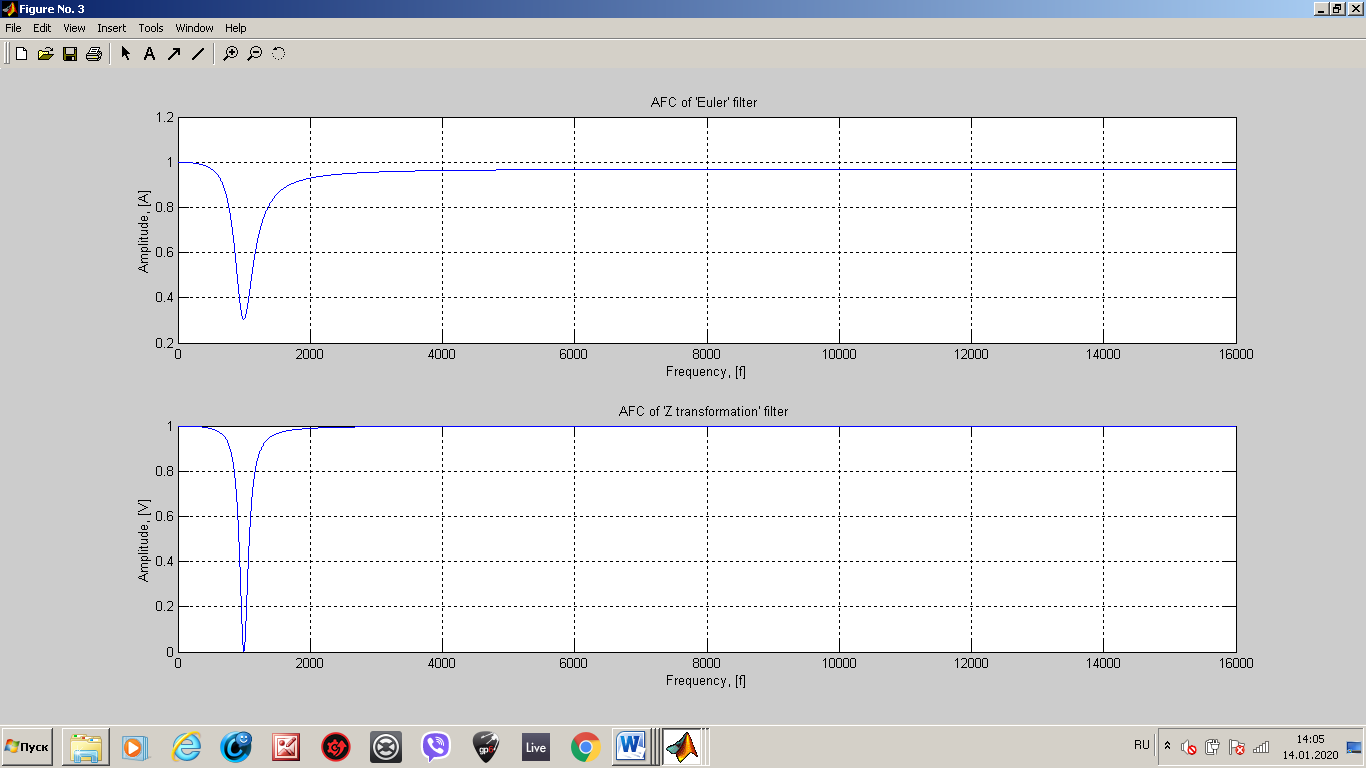


Рисунок 4.3 – Амплітудно-частотна характеристика фільтрів:

а) розрахованого за Ейлером;

б) розрахованого за z перетворенням

**5** **АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ФІЛЬТРАЦІЇ ПАСИВНИХ ЗАВАД**

**5.1 Програма підбору частоти методом Монте-Карло**

T=1;

sr=32000;

dt=T/sr;

It=1:sr;

t=dt\*(It-1);

f=(0:sr-1);

n=length(t);

n1=20;

nit=5;

fo=200;

fd=2400;

To=n/fo;

Td=n/fd;

sigo=7;

sigd=3;

U=700;

y(1:2)= zeros;

for i=1:n

so(i)=10\*U\*(1/sqrt(2\*pi\*sigo))\*(exp(-(f(i)-fo)^2/(2\*pi\*sigo)^2));

sd(i)=U\*(1/sqrt(2\*pi\*sigd))\*(exp(-(f(i)-fd)^2/(2\*pi\*sigd)^2));

end

xo=ifft(so);%U\*sin(2\*pi\*(i/Td));

xd=ifft(sd);%5\*U\*sin(2\*pi\*i/To);

for i=1:n

x(i)=xd(i)+xo(i)+normrnd(0,0.1);

end

X=fft(x);

a=10;b=2010;

for i=1:nit

for j=1:n1

rf(j)=(b-a)\*rand(1)+a;

R=180;

C=0.000001;

L(j)=((1/(2\*pi\*rf(j)))^2)/C;

b1(j)=(2\*R\*C\*dt^2-8\*R\*L(j)\*C^2)/(2\*dt\*L(j)\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L(j)\*C^2);

b2(j)=(R\*C\*dt^2+4\*R\*L(j)\*C^2-2\*dt\*L(j)\*C)/(2\*dt\*L(j)\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L(j)\*C^2);

a0(j)=(R\*C\*dt^2+4\*R\*L(j)\*C^2)/(2\*dt\*L(j)\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L(j)\*C^2);

a1(j)=(2\*R\*C\*dt^2-8\*R\*L(j)\*C^2)/(2\*dt\*L(j)\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L(j)\*C^2);

a2(j)=a0(j);

for i1=3:n

y(i1)=-b1(j)\*y(i1-1)-b2(j)\*y(i1-2)+a0(j)\*x(i1)+a1(j)\*x(i1-1)+a2(j)\*x(i1-2);

end % i1

v(j)=var(y);

end% j

[vv,fn]=min(v);

an=rf(fn)-(b-a)/4;

bn=rf(fn)+(b-a)/4;

a=an;

b=bn;

dm=(b-a)/(n1-1);

rfest(i)=rf(fn);

end %nit

figure(1)

stem(rf,v)

ylim([min(v) max(v)])

grid on

title('Variation')

xlabel('Frequency')

ylabel('Variation value')

Q=(sqrt(L(fn)/C))/R;

rfmest=(a+b)/2;

w=2\*pi\*f;

AFC=((a0(fn)^2)+(a1(fn)^2)+(a2(fn)^2)+a0(fn)\*a1(fn)\*2\*cos(dt\*w)+a0(fn)\*a2(fn)\*2\*cos(2\*w\*dt)+a1(fn)\*a2(fn)\*2\*cos(w\*dt))./(1+(b1(fn)^2)+(b2(fn)^2)+2\*(b1(fn)+b1(fn)\*b2(fn))\*cos(w\*dt)+2\*b2(fn)\*cos(2\*w\*dt));

figure(2)

plot(f(1:16001),AFC(1:16001))

xlabel('Frequency, [f]')

ylabel('Amplitude, [A]')

grid on

title('Amplitude-frecquency characteristic of tuned rejection filter')

L=((1/(2\*pi\*rfmest))^2)/C;

b1=(2\*R\*C\*dt^2-8\*R\*L\*C^2)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

b2=(R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2-2\*dt\*L\*C)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

a0=(R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

a1=(2\*R\*C\*dt^2-8\*R\*L\*C^2)/(2\*dt\*L\*C+R\*C\*dt^2+4\*R\*L\*C^2);

a2=a0;

for i=3:n

y(i)=-b1\*y(i-1)-b2\*y(i-2)+a0\*x(i)+a1\*x(i-1)+a2\*x(i-2);

end

Y=fft(y);

disp('Optimal rejection frequency')

disp([rfmest])

figure

plot(f,abs(X))

xlim([0 sr/8])

ylim([0 1000])

xlabel('Frequency, [f]')

ylabel('Amplitude, [A]')

grid on

title('Input signal spectrum')

figure

plot(f,abs(Y))

xlim([0 sr/8])

ylim([0 1000])

xlabel('Frequency, [f]')

ylabel('Amplitude, [A]')

grid on

title('Output signal spectrum')

**5.2 Опис програми алгоритму**

За основу для моделювання були взяті характеристики зондуючого сигналу РЛС середньої дальності, призначеної для виявлення ПС, а саме: тривалість радіоімпульса одна мікросекунда з періодом повторення рівному одній мілісекунді, що відповідае частоті слідування в один кілогерц. Типовою полосою робочих частот для аеродромної оглядової РЛС цивільної авіації буде приблизно 2700 - 2900 МГц (S діапазон), а довжина хвилі відповідно приблизно 10 см. Для демонстрації в роботі будуть прийняті деякі спрощення в наслідок потреби у великих обчислювальних потужностях для обробки реальних сигналів.

Даний алгоритм базується на методі випадкового пошуку (так званому методі Монте-Карло). В ньому для знаходження невідомої величини обирається інтервал пошуку, викидається декілька випадкових значень, з яких по заданій ознаці (наприклад, мінімуму або максимуму функції) обирається одне, яке стає центром нового інтервалу пошуку, котрий з кожною ітерацією зменшується вдвічі. Процедура закінчується при досягнені бажаної точності, або якщо було перевищено встановлену кількість ітерацій.

Як і в минулому розділі, при програмуванні фільтрів, спочатку встановлюємо частоту і крок дискретизації , інтервал спостереження та діапазон частот. Після чого обирається бажана кількість викинутих випадкових значень та кількість ітерацій. Далі встановлюємо такі параметри сигналів як частоту зміщення завади, допплерівську частоту зміщення цілі та амплітуду сигналу.

Вхідний сигнал для фільтрації приймемо як суму сигналу з допплерівським зміщенням, відбитого від цілі, пасивну заваду, який перевищує амплітуду корисного сигналу в десять разів та Гаусівський шум з нульовим математичним сподіванням. Після цього задаємо інтервал первинного пошуку алгоритму (тут а=10 та b=2010). Встановлюємо значення елементів фільтру та вхідних і вихідних коефіцієнтів, як і в програмі моделювання фільтрів. Параметром, який ми будемо мінімізувати, і на якому будується даний алгоритм, було обрано дисперсію. Вважатимемо, що вона буде найбільшою у завадового сигналу, тому саме на його частоту буде налаштовуватись фільтр. Вимірявши перше найменше значення (оскільки частота з великим значенням скв придушується), на його основі будується новий інтервал пошуку, використовуючи виміряне значення як середину.

На останній ітерації візуалізуємо дисперсії суміші сигналу та шуму після придушення частот на останній ітерації та АЧХ фільтру режекції, котрий відбілює корельовану заваду. Також розраховуємо добротність фільтру Q:

де R, L та C – опір, індуктивність та ємність, а – характеристичний, або хвильовий опір.

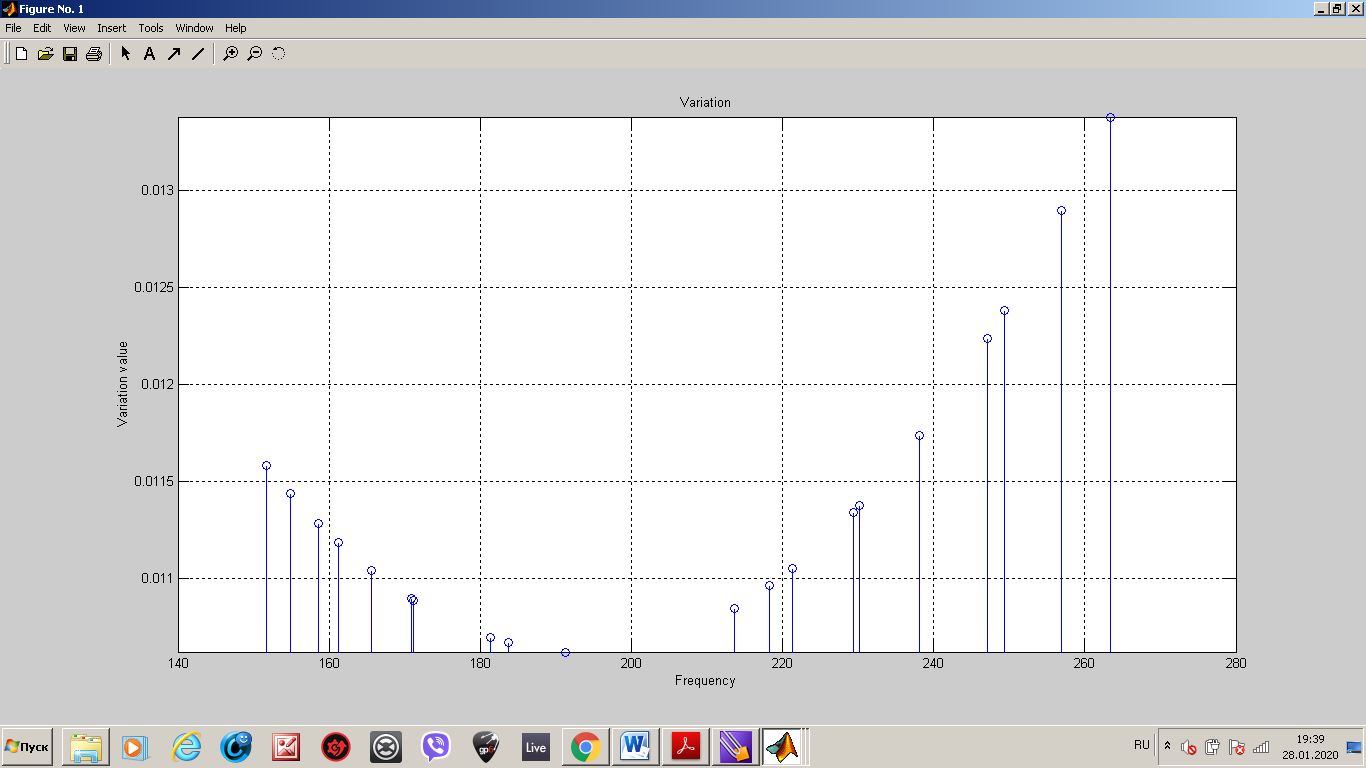


Рисунок 5.1 – Дисперсії при останній ітерації

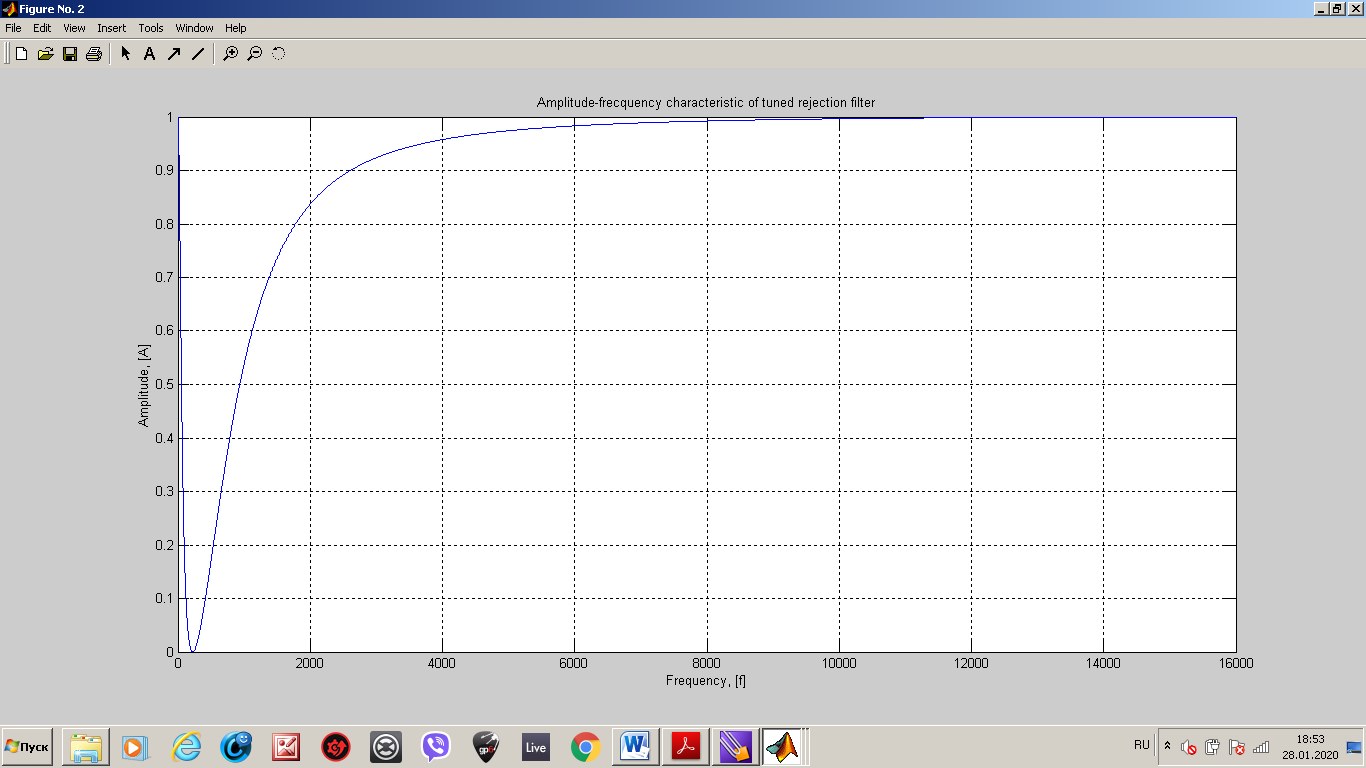


Рисунок 5.2 – АЧХ вибілюючого режекторного фільтру

Останнім кроком буде налаштування фільтру на частоту пасивної завади, придушивши котру, вхідний сигнал матиме найменшу дисперсію.

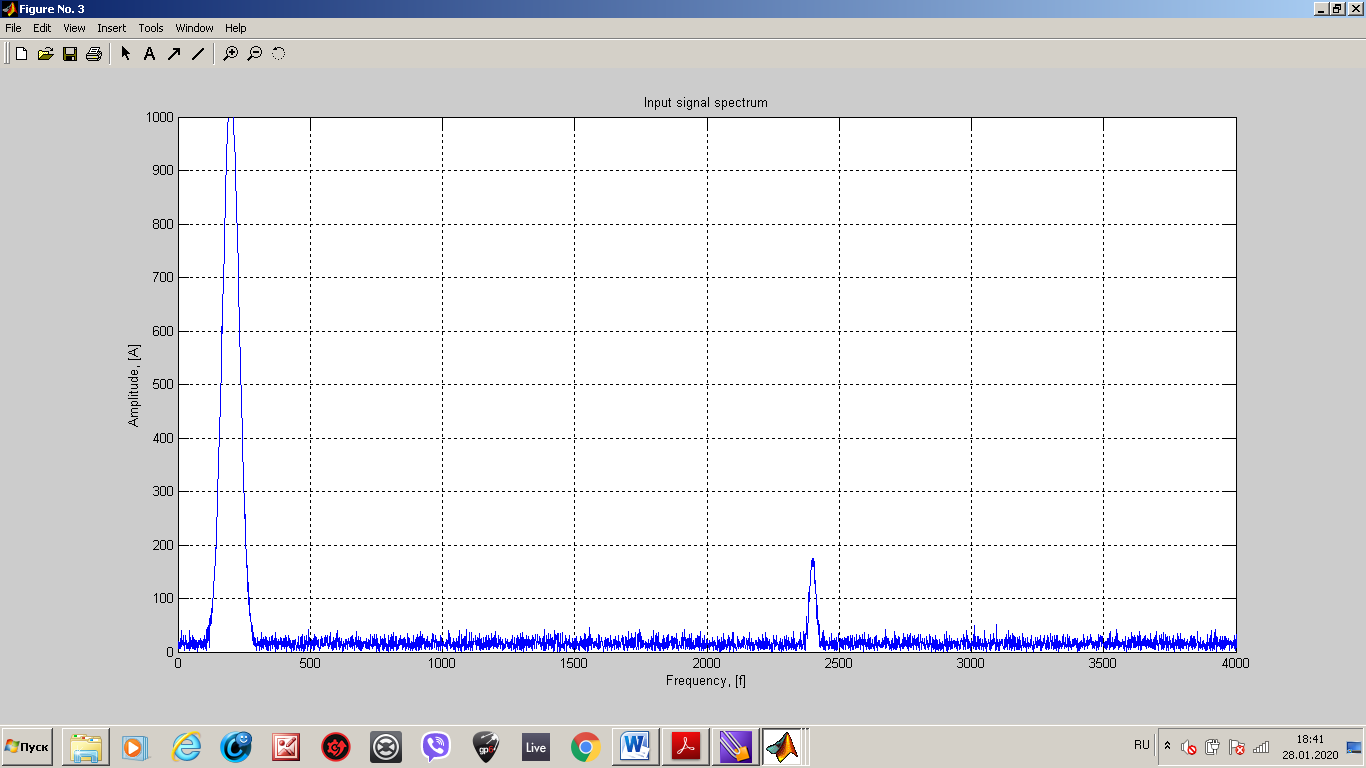


Рисунок 5.3 – Спектр вхідної суміш корисного сигналу, завади і шуму;

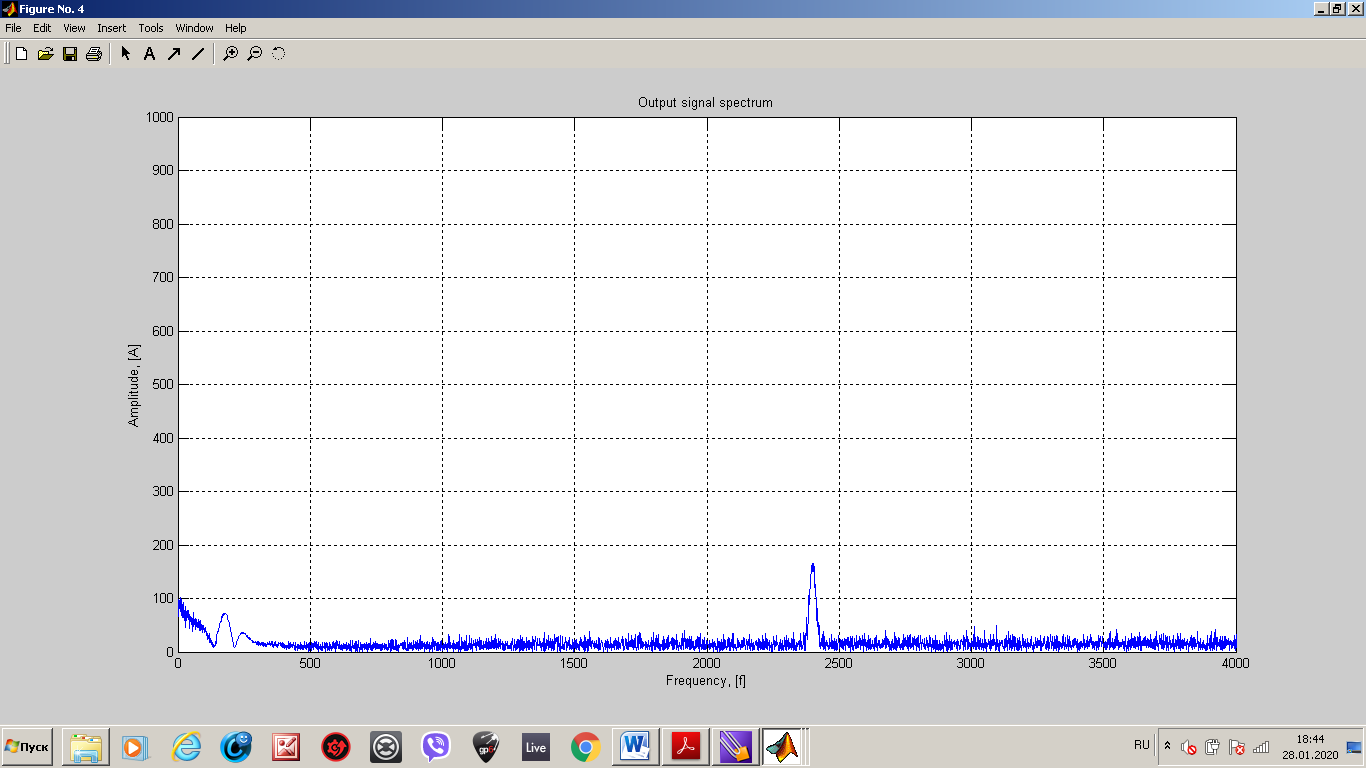


Рисунок 5.4 – Спектр відфільтрованої суміші.

Проаналізувавши вихідні значення, можна сказати, що фільтр придушує заваду достатньо для подальшого виявлення корисного сигналу з даної суміші. Алгоритм опрацьовує достатньо великі об’єми інформації за незначний час, що є суттєвою перевагою.

**6 ОХОРОНА ПРАЦІ**

Для забезпечення умов безпечної та продуктивної праці на виробництвах законодавством передбачено проведення періодичного медичного огляду працівників, забезпеченні технічної підтримки обладнання, використання сертифікованої техніки та методів її використання.

При використанні алгоритму, розробленого в ході дипломного проектування, в робочому процесі передбачається участь людини-оператора (алгоритм автоматизований але не автоматичний), котрий має перевіряти і, у разі необхідності, підлаштовувати код програми в залежні від ситуації, що наражє працівника на небезпеку отримати травми зору через перевищення часу знаходження за робочим місцем (а саме перед екраном монітору) і отримання черезмірного опромінення від екрану, що шкідливо впливає на очі та сильно виснажує їх, тож рекомендується використання спеціальних захисних окуляр та розробка плану праці біля робочої станції та відпочинку. Також були розраховані основні значення використання світлового потоку для різних типів приміщень та робочих характеристик електрообладнання.

* 1. **Перелік шкідливих факторів, які впливають на працівника**

Оскільки радіолокаційні станції – це джерела надпотужного електромагнітного випромінення, а управління такою технікою здійснюється, в основному з комп’ютерів, то люди, які керують всім процесом стають жертвами опромінення різних типів, яке регулюється ДСН 239-96 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань.

За даними Європейської Комісії, джерела неіонізуючого електромагнітного випромінювання можна класифікувати як:

* + статичні поля;
  + низькочастотні поля ЕМ випромінення;
  + ЕМ поля проміжної частоти;
  + радіочастотні поля;

Щоб кількісно проілюструвати твердження, представлені вище, типові джерела електромагнітних полів та електромагнітного випромінювання, що впливають на людей, перераховані та описані в таблиці 1.

Таблиця 6.1 Джерела випромінень

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип поля | Частота | Джерело |
| Статичне |  | Відео дисплеї, магнітно-резонансна томографія, зварювальні апарати |
| Вкрай низької частоти | Нижче 300 Гц | Лінії електропередачі, електропроводка, автомобільні електромотори |
| Проміжної частоти | 300 Гц – 100 кГц | Пристрої сигналізації, що застосовуються в автомобілях, будинках картрідери, металошукачі |
| Радіочастоти | 100 кГц – 300 ГГц | Радіо, телебачення, смартфони, мікрохвильові печі, радіолокатори |

Для попередження професійних захворювань, які виникають в результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань.

Нормування електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону здійснюється згідно із ДСН 239-96 "Державні санітарні норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань" і ДСанПіН 3.3.6.096-2002 "Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів".

Згідно з цими документами нормування електромагнітних випро­мінювань здійснюється в діапазоні частот 50кГц – 300 ГГц. Причому у діапазоні 50 Гц – 300 МГц нормованими параметрами є напруженість електричної Е, В/м, та магнітної Н, А/м, складових поля, а у діапазоні 300 МГц – 300 ГГц нормативним параметром є густина потоку енерії ГПЕ, Вт/. Нормативною величиною є також гранично допустиме енергетичне навантаження, (В/) × год та ЕН, (А/) × год.

Слід зазначити, що різні типи електромагнітного випромінювання є причинами різних явищ, які можна спостерігати в результаті опромінення працівників та обладнання.

Наприклад, високоенергетичне НВЧ-випромінювання може бути канцерогенним і викликати теплові ефекти, підвищуючи температуру опромінених людей та пристроїв. З іншого боку, випромінювання на нижчих частотах від 100 кГц до 300 МГц не має такого впливу. Важливо відзначити, що електромагнітні хвилі до 300 ГГц є джерелами неіонізуючого випромінювання, тобто такого, яке не спричиняють іонізацію атомів та молекул.

Оптичне випромінювання включає світло, що випромінюється різними джерелами, включаючи сонячне світло. Штучне оптичне випромінювання включає світло у всіх його формах, включаючи ультрафіолетове, інфрачервоне та лазерні промені. Управління безпекою праці розглядає сонячне світло окремо, оскільки воно стосується лише працівників на вулиці. Крім того, лазери та деякі застосування ультрафіолетового світла становлять високий ризик і висвітлюються як окремі теми.

З іншого боку, низькочастотні (50 – 60 Гц) електромагнітні поля є джерелом іншого типу електромагнітного випромінювання, як у випадку ліній електропередачі або трансформаторів, що значно впливає на роботу пристроїв, тому зазвичай в техніці використовуються фільтри, для їх придушення. Таке випромінювання відповідає промисловому струму, що розповсюджене як основне джерело живлення, однак в разі недотримання правил техніки безпеки воно несе небезпеку.

* 1. **Вплив оптичного випромінення**

Штучні джерела світла присутні в дуже широкому діапазоні середовищ: робочих місць, наукових досліджень, повсякденних діяльностей. Джерела світла можна класифікувати за категоріями низької, середньої або підвищеної небезпеки, це дає змогу зосереджувати управління ризиками там, де це необхідно, тобто на робочих місцях, де виникають серйозніші небезпеки:

* + Низька небезпека: оптичне випромінювання, яке не становить небезпеки через нормальні поведінкові обмеження впливу. Також включають лампи, які випромінюють інфрачервоне випромінювання без сильного зорового подразника і які не становлять небезпеки для сітківки опроміненням до 100 секунд.
  + Середня небезпека: штучні оптичні випромінювання, які не становлять небезпеки через реакцію відрази очей на дуже яскраві джерела світла або через тепловий дискомфорт. Сюди також входять лампи, які випромінюють інфрачервоне випромінювання без сильного зорового подразника та які не становлять небезпеки для сітківки опроміненням до 10 секунд.
  + Висока небезпека: Штучні оптичні випромінювання, які можуть становити небезпеку навіть для короткого опромінення. Шкода може включати опік або почервоніння (еритему) шкіри та поверхні ока (фотокератит); опік сітківки ока (фоторетиніт) і пошкодження, що можуть спричинити ранню катаракту.

Оцінки ризику повинні проводитися для всіх робочих діяльностей. Мало небезпечні джерела світла та більшість джерел середньої небезпеки, ймовірно, будуть визначені та включені до «загальних» оцінок ризику на робочому місці. Однак для деяких джерел світла групи середньої небезпеки та всіх джерел підвищеної небезпеки може знадобитися проведення спеціальної оцінки ризику з урахуванням конкретної небезпеки.

Оцінки ризику повинні визначати засоби контролю, щоб зменшити ризик шкідливого впливу до мінімально можливого рівня. Заходи контролю, які слід виконувати при управлінні ризиками штучного оптичного випромінювання:

* + Використовуйте альтернативне безпечне джерело світла;
  + Використовуйте фільтри, екрани, дистанційний перегляд, штори, спеціальні кімнати, пульти дистанційного контролю;
  + Навчайте робітників за найкращими методами та надайте їм відповідну інформацію;
  + Організуйте роботу так, щоб зменшення вплив на працівників та обмежуйте доступ до небезпечних зон;
  + Використовуйте захисні засоби, такі як одяг, захисні окуляри чи лицьові щитки.

Освітлення робочих місць всередині будівель визначається ДЕРЖАВНИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ НОРМАМИ УКРАЇНИ, а саме ДБН В.2.5-28:2018 «ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ»[4], а також ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць.[5]

Значення освітленості в зоні периферії має бути не більше 1/3 освітленості зони безпосереднього оточення. Значення освітленості в зоні безпосереднього оточення в залежності від освітленості в зоні зорової роботи наведені в таблиці 2.

Таблиця 6.2 – Значення освітленості навколишньої зони в залежності від освітленості об’єкта

|  |  |
| --- | --- |
| зони зорової роботи, лк | навколишньої зони, лк, не менше |
| 750 | 500 |
| 500 | 300 |
| 300 | 200 |
| 200 | 150 |
| 150 | 150 |
| 100 | 100 |
| 50 | 50 |

Для робочих місць, обладнаних ПК або моніторами, допустимі значення яскравості ОП, що відбиваються в екранах моніторів при нормальному напрямку лінії зору, в залежності від яскравості екранів наведені в таблиці 3.

Далі розрахуємо коефіцієнт використання світлового потоку. Загальна розрахункова формула має вигляд:

, (1)

де *F -* світловий потік лампи, лм;

*Е -* мінімальне нормоване освітлення, лк, для заданого розряду зорової роботи;

*S* – площа приміщення, м2;

*N* – число світильників; *п -* число ламп в кожному світильнику;

*К -* коефіцієнт запасу;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Розв'язати формулу можна відносно *F* –світлового потоку лампи. В цьому, випадку треба спочатку визначити число світильників *N* та загальну кількість ламп (*N* х *n*) підставити в формулу, або спочатку обрати тип люмінесцентної лампи з її світловим потоком (*F*)і підставити це значення в розрахункову формулу. Тоді визначаємо *N* та *п* - кількість світильників та кількість ламп у кожному світильнику.

Світильники з люмінесцентними лампами рекомендується встановлювати рядами паралельно довгій стороні приміщення або стіні з вікнами. При цьому відношення L\h = λ повинно бути в межах 0,8 – 1,5. Тобто, λ = 0,8 – 1,5, де *L* – відстань міжрядами люмінесцентних світильників, *h* - висота підвісу світильників над робочою поверхнею. Взагалі люмінесцентні світильники розміщують у перекритті стелі, тобто *h* дорівнює висоті приміщення мінус висота робочої поверхні. Із цього співвідношення знаходять значення *L* - відстань між світильниками. Відстань крайнього ряду світильників до стін повинна дорівнювати β = (0,25 – 0,50) *L.* Таким чином, відстань між рядами світильників повинна задовольняти умовам:

Коефіцієнт Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення – приймається для люмінесцентного освітлення 1,5. Коефіцієнт використання світлового потоку η- співвідношення падаючого світлового потоку на розрахункову поверхню до сумарного потоку

де *Fc* – світловий потік усіх світильників, *F*Σ *-* сумарний світловий потік, що враховує вплив відбитого світла від поверхонь стелі, стін, робочої поверхні, який залежить від розмірів приміщення, типу світильників.

Значення коефіцієнта η можна знайти в табл. 3:

*і*= *f*(*N*ГР.СВ., і, ρп, ρс; ρр),

Таблиця 6.3 – Коефіцієнти використання світлового потоку, %

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип сві-тильника** | **Світильники групи 1** | | | | | **Світильники групи 2** | | | | | **Світильники групи 3** | | | | | **Світильники групи 4** | | | | |
| **ρп%**  **ρс %**  **ρр%** | **770 50 30** | **770 50 10** | **550 30 10** | **330 10 10** | **20**  **10**  **10** | **770 50 30** | **770 50 10** | **550 30 10** | **330**  **10 10** | **0201010**  **0**  **0** | **770 50 30** | **770 50 10** | **550 30 10** | **330 10 10** | **0 20 10**  **10** | **770 50 30** | **770 50 10** | **550 30 10** | **330**  **10**  **10** | **0 20 10 10** |
| ***і*** | **Коефіцієнти використання світлового потоку η** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **0,5** | 222 | 128 | 123 | 121 | 29 | 29 | 19 | 14 | 11 | 8 | 23 | 20 | 20 | 17 | 16 | 25 | 25 | 19 | 14 | 12 |
| **0,6** | 225 | 223 | 127 | 124 | 12 | 23 | 22 | 18 | 15 | 10 | 28 | 26 | 24 | 21 | 20 | .31 | 29 | 22 | 18 | 16 |
| **0,7** | 228 | 227 | 230 | 126 | 15 | 26 | 25 | 21 | 18 | 11 | 32 | 30 | 29 | 26 | 24 | 36 | 33 | 26 | 22 | 20 |
| **0,8** | 331 | 229 | 233 | 129 | 17 | 29 | 27 | 23 | 20 | 13 | 35 | 33 | 32 | 28 | 27 | 39 | 36 | 10 | 35 | 22 |
| **0,9** | 334 | 332 | 236 | 231 | 19 | 32 | 30 | 25 | 22 | 14 | 38 | 35 | 36 | 32 | З0 | 43 | 40 | 33 | 28 | 25 |
| **1,0** | 337 | 334 | 238 | 233 | 21 | 34 | 32 | 27 | 24 | 15 | 41 | 38 | 39 | 35 | 33 | 46 | 43 | 36 | 30 | 28 |
| **1,1** | 339 | 336 | 340 | 235 | 23 | 36 | 34 | 28 | 26 | 16 | 43 | 40 | 41 | 37 | 36 | 49 | 45 | 38 | 32 | 30 |
| **1,25** | 442 | 138 | 342 | 237 | 25 | 38 | 36 | 30 | 28 | 17 | 45 | 41 | 43 | 39 | 38 | 52 | 47 | 40 | 35 | 32 |
| **1,5** | 446 | 442 | З46 | 340 | 28 | 42 | 38 | 32 | 30 | 19 | 49 | 45 | 48 | 44 | 42 | 56 | 51 | 44 | 38 | 35 |
| **1,75** | 449 | 444 | 348 | 343 | 30 | 45 | 41 | 34 | 32 | 20 | 52 | 47 | 51 | 47 | 45 | 59 | 54 | 47 | 42 | 38 |
| **2,0** | 551 | 446 | 450 | 349 | 32 | 47 | 42 | 36 | 34 | 21 | 54 | 49 | 53 | 49 | 48 | 62 | 56 | 49 | 44 | 40 |

де NГР.СВ. – номер групи світильника;

*і* – індекс приміщення (коефіцієнт геометрії), який обчислюється за формулою:

(4)

де *А, В* - довжина, ширина приміщення, м; *h -* висота підвісу світильників, м.

Також необхідно, визначити коефіцієнти відбиття світлового потоку від стелі – ρпстін – ρс; робочої поверхні – ρр*.*

Отже, для невеликих приміщень для роботи операторів приймемо

А=20 м, В= 12 м, h=3 м, ρп=70%, ρс=50%, ρр = 30 %.

Значення *K* для визначеного приміщення з концентрацією пилу – до 5 мг/м3 дорівнює 1.5.

Для виробничих приміщень

А=10 м, В= 6 м, h=2.5 м, ρп=70%, ρс=50%, ρр = 10 %.

Значення *K* для виробничого приміщення з концентрацією пилу – до 10 мг/м3 дорівнює 1.8.

Для складських приміщень

А=40 м, В= 20 м, h=4 м, ρп=70%, ρс=50%, ρр = 10 %.

Значення *K* для складів з концентрацією пилу – до 10 мг/м3 дорівнює 1.8.

Таблиця 6.4 – Допустимі значення габаритної яскравості ОП, що відбиваються в екранах моніторів

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Клас відображення інформації | Яскравість ОП, що відбиваються в екранах, кд/ | |
| 200 кд/ | 200 кд/ |
| А – позитивна, темні знаки на світлому тлі |  |  |
| В – негативна, світлі знаки на темному тлі |  |  |

* 1. **Електрична безпека**

Зазвичай розділяють два види небезпеки, які несе в собі електричний струм – шокова та термальна. Термальна небезпека – це ситуація, коли надмірна електроенергія спричиняє небажані теплові ефекти, наприклад, виникнення пожежі на робочому місці. Небезпека шоку виникає, коли електричний струм проходить через людину. Шокові враження струмом варіюються по ступеню наслідків від болісної але нешкідливої, до такої, що може призвести до зупинки серця. Дотримання електричної безпеки – важлива задача на підприємствах, для забезпечення і підтримки якої мають виконуватись відповідні міри. Вражаючи людей електричні струми спричиняють надзвичайно різноманітні наслідки. Звичайно, існують послідовні обґрунтування цих розрізнених наслідків. Основні фактори, від яких залежать наслідки ураження електричним струмом:

* + Величина струму I
  + Шлях яким пройшов струм
  + Тривалість враження струмом
  + Частота струму *f* (0 для постійного струму)

У таблиці 5 наведено наслідки ураження електричним при випадковому враженні. Наслідки удару 50 Гц струмом тривалістю 1 секунда, який проходить через тіло.

Таблиця 6.5 – Наслідки ураження струмом

|  |  |
| --- | --- |
| Сила струму (мА) | Ефект |
| 1 | Поріг відчуття |
| 5 | Максимальний струм, який не спричиняє шкоди |
| 10-20 | Скорочення м’язів може спричинити зупинку дихання |
| 50 | Поріг больового відчуття |
| 100 | Можлива фібриляція шлуночків, часто летальний випадок |
| 300 | Настають опіки в залежності від концентрації струму |

Людські тіла відносно хороші провідники через наявність в них вологи. Зважаючи на те, що більші струми будуть протікати через ділянки з меншим опором, тобто електричні струми переважно протікають через шляхи в тілі людини, які мають мінімальний опір прямого шляху до землі. Земля – в силу свого складу притягує електрони. Ізоляційний одяг (рукавиці, взуття, тощо), забезпечує великий опір на шляху електронів, і є обов’язковою вимогою для багатьох професій. Щоразу, працюючи з потужними електроінструментами або в небезпечних ситуаціях, працівник має переконатися, що він не надає шлях для потоку струму (особливо через серце).

Поріг відчуття, як було зазначено вище, становить лише 1 мА, а нешкідливі для здоров’я струми – 5 мА. Велика кількість правил безпеки приймає значення 5 мА для максимально дозволеного враження. При 10-20 мА і вище струм може стимулювати стійкі м’язові скорочення.

Сила струму є головним фактором, що визначає ступінь тяжкості враження (враховуючи, що інші умови, такі як шлях проходження, тривалість та частота є фіксованими). Більша напруга більш небезпечна, але , тяжкість удару залежить від поєднання напруги та опору. Наприклад, людина з сухою шкірою має опір близько 200 кОм. Якщо вона контактує зі 120 В змінної напруги, струм

,

тобто проходить без шкоди.

Людина з вологою шкірою може мати опір 10 кОм:

Струм 12 мА – значення при якому скорочуються м’язи потенційно небезпечне.

Електрична енергія викликає небажаний нагрівальний ефект, коли вона перетворюється на теплову швидше, ніж розсіюється. Класичним прикладом цього є коротке замикання – виникнення низького опору між клемами джерела напруги. Якщо ізоляція провідників, що ведуть до пристрою, зносилась, тоді це може призвести до контактування двох дротів. Такий небажаний контакт з високою напругою і називається коротким. Оскільки опір коротких замикань дуже малий, то потужність, що розсіюється на цій ділянці, *P =* / *r*, дуже велика. Наприклад, якщо V – 120 В, а r – 0,100 Ом, то потужність

144 кВт – потужність набагато більша за ту, яку використовує звичайний побутовий прилад. Теплова енергія, що так подається, дуже швидко підвищить температуру навколишніх матеріалів, плавлячи або підпалюючи.

Особливим аспектом короткого замикання є те, що його опір може бути фактично знижений через підвищення температури. Це може статися, якщо коротке замикання іонізує повітря. Ці заряджені атоми і молекули вільно рухаються , завдяки чому знижують опір. Оскільки *P =* / *r*, потужність швидко розсіюється спричиняючи більшу іонізацію. Високі напруги, такі як 480 В змінного струму, що використовуються в промислових областях, піддаються цій небезпеці, оскільки більш високі напруги створюють більше початкове виробництво електроенергії при короткому замиканні.

Ще одна серйозна теплова небезпека виникає, коли дроти, що постачають живлення користувачеві, перевантажені занадто великим струмом. Потужність, що розсіюється в провідникових жилах, становить , де – опір провідників, а *I* струм, що проходить через них. Якщо струм або опір занадто великі, кабелі перегріваються. Наприклад, старий дріт приладу (з пошкодженим плетінням) може мати *= 2,00 Ом*, а не 0,100 Ом, як має бути. Якщо через нього проходить 10 А струму, то

*= 200 Вт*

розсіюється в кабелі, що сильно перебільшує допуски безпеки. Аналогічно, якщо через провідник з опором 0,100 Ом, розрахований проводити кілька амперів, пустити струм в 100 А, він сильно перегріється. Потужність, що розсіюється в дроті, буде в цьому випадку

*Р = =1000 Вт*.

Для обмеження надмірних струмів використовуються запобіжники та вимикачі. Кожен пристрій автоматично розриває ланцюг, коли постійний струм перевищує безпечні межі.

Запобіжники та вимикачі для типових побутових напруг і струмів виробляти порівняно просто, але для великих напруг і струмів виникають проблеми. Наприклад, коли вимикач намагається перервати потік високовольтної електрики, через його розімкнуті клеми може проскочити іскра, яка іонізує повітря і дозволяє струму продовжувати текти. Великі вимикачі, які використовуються в системах розподілу електроенергії, використовують ізолюючий газ і навіть використовують струмені газу для видування таких іскор.

* 1. **Пожежна безпека**

Причини виникнення пожежі та вибуху в РЕА:

* коротке замикання в електричних ланцюгах РЕА, пробій конденсаторів та електролітів і т.ін.;
* перевантаження ЕРЕ, доріжок друкарських плат, монтажних проводів, блока живлення і т.ін.;
* виділення тепла в контактах;
* перегрів опорної поверхні РЕА;
* коронний розряд у РЕА при напрузі понад 30 кВ тощо.

Основні методи та засоби запобігання пожежі та вибуху РЕА:

* запобігання пробою конденсаторів, між доріжками друкарських плат, пелюстками і ЕРЕ тощо;
* вибір мережного шнура живлення (перетин, ізоляція, робоча і пробивна напруги);
* вибір і обгрунтування класу ізоляції (із вказівкою робочих і пробивних напруг), повітряних зазорів між струмоведучими частинами, відстані між доріжками друкарських плат, покриттів електроізоляційним лаком, шляху витоку струмів, ізоляції пелюстків і кінців монтажних проводів;
* перевірка на коронний розряд і розробка відповідних заходів щодо його запобігання (високовольтні блоки живлення, помножувачі напруги тощо);
* вибір і обгрунтування ступеня пожежозахисту оболонок РЕА (IP-класифікація);
* вибір і обгрунтування рівня і виду вибухозахисту РЕА в залежності від класу робочих зон приміщення з вибухопожежонебезпечності;
* розробка електричного захисту схем і РЕА в цілому (реле, автомати, швидкодіючі безконтактні електронні схеми, плавкі запобіжники і т.ін.;
* не допущення нагріву частин (деталей) РЕА вище пікових температур.

Приміщення, в якому знаходиться оператор комп’ютера для спостерігання та управлінням роботою радіолокаційної станції відноситься до категорії приміщень В, тобто пожежонебезпечного. Через невелику площу приміщення достатньо одного вогнегасника, слід використовувати вуглекислотні вогнегасники, так як вони застосовуються для гасіння пожеж класу В та електроустаткування, що знаходиться під напругою до 1000 В

У разі виявлення ознак горіння на об'єкті, де є електрообладнання, яке перебуває або може перебувати під напругою, необхідно визначити місце загоряння, оцінити ситуацію та вжити заходи для запобігання появи нових осередків горіння на іншому електрообладнанні. Перед гасінням, якщо є можливість, необхідно зняти напругу з електрообладнання, яке перебуває в зоні горіння та поблизу неї. Дозволяється проводити гасіння пожежі з наявністю електричної напруги тільки за допомогою вуглекислотних, хладонових та порошкових вогнегасників, при цьому максимальне значення напруги на електрообладнанні не повинно перевищувати 1000 В, а відстань між насадком або розтрубом вогнегасника до струмоведучих конструкцій щоб була не менше 1 м. Під час гасіння пожежі силового та освітлювального електрообладнання, що знаходиться в шафах, вогнегасну речовину необхідно подавати всередину шафи.   
Забороняється проводити гасіння пожежі з наявністю електричної напруги за таких умов:  
- поза приміщенням під час атмосферних опадів (дощу, снігу, граду);  
- у вологих приміщеннях (відносна вологість понад 75%);  
- у приміщеннях з хімічно активним середовищем;  
- в умовах сильного задимлення, коли не видно струмоведучих конструкцій.  
Використання під час гасіння пожежі з наявністю електричної напруги електрозахисних засобів (діелектричних рукавичок, бот та килимів) одатково забезпечить надійний захист від ураження електричним струмом. Під час гасіння пожежі з використанням газових, насамперед вуглекислотних, вогнегасників необхідно брати до уваги можливість зниження концентрації кисню у повітрі захищуваного приміщення, особливо якщо воно невелике за об'ємом.   
Забороняється:  
- наближатись до струмоведучих конструкцій ближче ніж на 1 м;  
- використовувати для гасіння вогнегасники, які не придатні для гасіння пожеж за наявності електричної напруги;  
- проводити гасіння пожеж обладнання, яке перебуває під електричною напругою більше 1000 В;  
- застосовувати у вибухонебезпечних зонах та приміщеннях вуглекислотні газові вогнегасники з розтрубами із полімерних матеріалів;  
- спрямовувати під час експлуатації насадок вогнегасника (гнучкий рукав або розтруб) у бік людей.

**7 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Сучасні технології, особливо в області радіолокації та навігації, стали потужним джерелом електромагнітного забруднення від генерованих електромагнітних полів і внаслідок цього електромагнітного випромінювання, яке має особливість розповсюджуватись на великі відстані і долати різні перешкоди. У багатьох випадках це забруднення набагато сильніше, ніж будь-які природні джерела електромагнітних полів чи випромінювання. Бездротовий та радіозв'язок, передача електроенергії або пристрої щоденного використання, такі як смартфони та портативні комп'ютери щодня піддають людей електромагнітному забрудненню.

Електромагнітні поля та електромагнітні випромінювання, як електромагнітні забруднення, впливають на різні елементи навколишнього середовища. Серед елементів цього середовища всі живі організми повинні бути поставлені на перше місце. Тому стає дуже важливим відповідним чином визначити природу та пов'язані з цим побічні ефекти електромагнітного забруднення та його вплив на живі організми. Щодня живі організми стикаються з різними видами електромагнітного забруднення. Однак усі вони можуть бути добре охарактеризовані за своїми фізичними параметрами, такими як тип (електричний, магнітний, електромагнітний), частота та потужність. Електронні пристрої, випромінюють електромагнітне випромінювання низької інтенсивності на частотах від 300 МГц до 300 ГГц, таке випромінення входить в категорію мікрохвильового. З іншого боку, лінії електропередачі та електричні пристрої є сильними джерелами електромагнітних полів і випромінювання набагато нижчих частот, але набагато більшої інтенсивності.

У сучасному світі енергетика є основою розвитку базових галузей промисловості, що визначають прогрес суспільного виробництва. В усіх промислово розвинених країнах темпи розвитку енергетики випереджали темпи розвитку інших галузей.   У той же час енергетика - один з джерел несприятливого впливу на навколишнє середовище і людину. Вона впливає на атмосферу (споживання кисню, викиди газів, вологи і твердих частинок), гідросферу (споживання води, створення штучних водоймищ, скиди забруднених і нагрітих вод, рідких відходів) і на літосферу (споживання викопних палив, зміна ландшафту, викиди токсичних речовин) .

**7.1 Екологічні проблеми традиційної енергетики**

Основна частина електроенергії виробляється в даний час на теплових електростанціях (ТЕС). Далі зазвичай йдуть гідроелектростанції (ГЕС) і атомні електростанції (АЕС).

У більшості країн світу частка електроенергії, що виробляється на ТЕС більше 50%. В якості палива на ТЕС зазвичай використовуються вугілля, мазут, газ, сланці. Корисні копалини відносяться до невідновлюваних ресурсів. Згідно з багатьма оцінками вугілля на планеті вистачить на 100-300 років, нафти на 40-80 років, природного газу на 50-120 років. Коефіцієнт корисної дії ТЕС становить в середньому 36-39%. ТЕС також споживає значну кількість води. Типова ТЕС потужністю 2 млн. КВт щодоби споживає 18 000 тон вугілля, 2500 тон мазуту, 150 000 кубометрів води. На охолодження відпрацьованого пара на ТЕС використовуються щодоби 7 млн. кубометрів води, що призводить до теплового забруднення водойми-охолоджувача.

Для ТЕС характерне високий радіаційне і токсичне забруднення навколишнього середовища. Це обумовлено тим, що зола вугілля містить домішки урану і ряду токсичних елементів в значно більших концентраціях, ніж земна кора. При будівництві великих ТЕС або їх комплексів забруднення ще більш значне.

У таблиці 1 наведені дані щодо викидів з димовими газами шкідливих речовин ТЕС потужністю 2400 МВт при висоті труби 180 метрів. Як видно з даних, концентрація викидів істотно залежить від відстані між точкою виміру і електростанцією. Концентрації викидів нижче гранично допустимих значень досягаються на відстані більше 15 км.

Таблиця 7.1 – Добова концентрація викидів в атмосферу ТЕС, мг / м3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Відстань від триби | Сірчастий газ | Сірководень | Окиси азоту | Окис вуглецю | Зола |
| 1 км | 6,02 | 0,002 | 1,95 | 7,2 | 1,2 |
| 3 км | 1,47 | 0,008 | 1,30 | 16,0 | 3,4 |
| 5 км | 1,22 | 0,008 | 0,05 | 13,3 | 1,2 |
| 7 км | 1,12 | 0,03 | 1,3 | 13,0 | 2,4 |
| 15 км | 0,22 | 0,002 | 0,03 | 4,0 | 0,27 |
| Допустима концентрація | 0,5 | 0,008 | 0,085 | 3,0 | 0,5 |

З корисних копалин найбільш перспективним є вугілля (його запаси величезні в порівнянні з запасами нафти і газу). Основні світові запаси вугілля зосереджені в Росії, Китаї і США. При цьому основна кількість енергії в даний час виробляється на ТЕС за рахунок використання нафтопродуктів. Таким чином, структура запасів копалин не відповідає структурі його сучасного споживання при виробництві енергії. У перспективі перехід на нову структуру споживання викопного палива (вугілля) викличе значні екологічні проблеми, матеріальні витрати і зміни у всій промисловості.

Основні переваги ГЕС - низька собівартість виробленої електроенергії (собівартість приблизно в 4 рази нижче ніж на ТЕС), висока маневреність, що дуже важливо в періоди пікових навантажень, можливість акумуляції енергії.

Але навіть при повному використанні потенціалу всіх річок Землі можна забезпечити не більше чверті сучасних потреб людства. В Україні використовується менше 8% гідроенергетичного потенціалу. У розвинених країнах ефективність використання гідроресурсів в 3-6 разів вище. Однак спорудження ГЕС (особливо на рівнинних річках) призводить до багатьох екологічних проблем. Водосховища, необхідні для забезпечення рівномірної роботи ГЕС, викликають зміни клімату на прилеглих територіях на відстанях до сотень кілометрів та є природними накопичувачами забруднень.

У водосховищах розвиваються синьо-зелені водорості, прискорюються процеси ефтрофікаціі, що призводить до погіршення якості води, порушує функціонування екосистем. При будівництві водосховищ порушуються природні нерестовища, відбувається затоплення родючих земель, змінюється рівень підземних вод. Більш перспективним є спорудження ГЕС на гірських річках. Це обумовлено більш високим гідроенергетичним потенціалом гірських річок в порівнянні з рівнинними річками. При спорудженні водосховищ в гірських районах не вилучаються із користування великі площі родючих земель. АЕС не виробляють вуглекислого газу, обсяг інших забруднень атмосфери в порівнянні з ТЕС також малий. Кількість радіоактивних речовин, що утворюються в період експлуатації АЕС, порівняно невелика. Протягом тривалого часу АЕС представлялися як найбільш екологічно чистий вид електростанцій і як перспективна заміна ТЕС, які впливають на глобальне потепління. Однак процес безпечної експлуатації АЕС ще не повністю забезпечений. З іншого боку, заміна основної маси ТЕС на АЕС для усунення забруднення атмосфери в широкому масштабі не здійсненна через величезні економічні витрати.

Таблиця 7.2 – Порівняльна характеристика споживання палива і забруднення навколишнього середовища ТЕС і АЕС

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Найменування** | **ТЕС** | **АЕС** |
| Вироблено електроенергії | 28 млрд. кВт. год | 28 млрд. кВт. год |
| Витрачено палива: | | |
| Вугілля | 12 млн. т (190 тис. вагонів) | - |
| Мазуту | 6 млн. т (99 тис. цистерн) | 286 т |
| Витрачено атмосферного кисню | 26 млн. т | - |
| Викинуто в навколишнє середовище: | | |
| Оксидів вуглецю | 29 млн. т | - |
| Оксидів азоту | 310 млн. т | - |
| Оксидів сірки | 620 тис. т | - |
| Золи | 6,4 млн. т | - |
| Довгоживучих радіонуклідів | 40 К | 2 К |
| Потужність дози в районі розміщення | 45-80 мкР/год | 10-14 мкР/год |

Серед основних проблем використання АЕС можна виділити наступні:

1. Безпека реакторів. Всі сучасні типи реакторів ставлять людство під загрозу ризику глобальної аварі. Така аварія може статися з вини конструкторів, через помилки оператора або в результаті терористичного акту. Принцип внутрішньої самозахищеності активної зони реактора в разі розвитку аварії за найгіршим сценарієм з розплавленням активної зони повинен бути непорушною вимогою при проектуванні реакторів. Ядерна технологія складна. Потрібні були роки аналізу і накопиченого досвіду, щоб просто усвідомити можливість виникнення деяких типів аварій.

    Невизначеності щодо безпеки ніколи не будуть повністю вирішені заздалегідь. Велика їх кількість буде виявлено тільки під час експлуатації нових реакторів.

1. Зниження емісії діоксиду вуглецю. Вважається, що витіснення теплових електростанцій атомними допоможе вирішити проблему зниження викидів діоксиду вуглецю, одного з головних парникових газів, які сприяють потеплінню клімату на планеті. Однак, насправді, електростанції з комбінованим циклом на природному газі не тільки набагато економічніше, ніж АЕС, але і при одних і тих же витратах досягається значно більше зниження викидів діоксиду вуглецю, ніж при використанні атомної енергії з урахуванням усього паливного циклу (споживання енергії при видобутку та збагаченні урану, виготовлення ядерного палива та інших витрат на «вході» і «виході»).
2. Зняття з експлуатації реакторів на АЕС. До 2010 р половина з працюючих в світі АЕС мала вік 25 років і більше. Після цього передбачається процедура зняття з експлуатації реакторів. За даними Всесвітньої ядерної асоціації (WNA), понад 130 промислових ядерних установок уже виведені з експлуатації, або очікують цієї процедури. І у всіх випадках виникає проблема утилізації радіоактивних відходів, які треба надійно ізолювати і зберігати тривалий термін в спеціальних сховищах. Багато експертів вважають, що ці витрати можуть зрівнятися з витратами на будівництво АЕС.

**7.2** **Характеристика основних альтернативних джерел енергії**

Вважається, що відновлювані джерела енергії (вітрові, сонячні, геотермальні, хвильові і ін.), Модульні станції на природному газі з використанням паливних елементів, утилізація скидного тепла і відпрацьованого пара, як і багато іншого, - реальні шляхи захисту від зміни клімату без створення нових загроз для нині живучих і майбутніх поколінь. Розглянемо ці питання більш докладно.

Пряме використання сонячної енергії. Потужність сонячної радіації, поглинутої атмосферою і земною поверхнею, складають 105 ТВт (1017 Вт). Ця величина здається величезною в порівнянні з сучасним світовим енергоспоживанням, рівним 10 ТВт. Тому її вважають найбільш перспективним видом нетрадиційної (альтернативної) енергетики. До основних методів перетворення сонячної енергії відносяться, перш за все, методи прямого використання сонячної енергії - фотоелектричне перетворення і термодинамічний цикл, а також біоконверсія.

Фотоелектричний метод перетворення сонячної енергії заснований на особливостях взаємодії напівпровідникових матеріалів зі світловим випромінюванням. У фотоелектричному перетворювачі вільні носії утворюються в результаті поглинання світлового кванта напівпровідником, поділ зарядів проводиться під дією електричного поля, що виникає всередині напівпровідника. Теоретично ККД перетворювача може досягати 28%.

Низька щільність сонячного випромінювання є однією з перешкод його широкого використання. Для усунення цього недоліку при конструюванні фотоелектричних перетворювачів використовуються концентратори випромінювання різного роду. Головні переваги фотоелектричних установок полягають в тому, що вони не мають рухомих частин, їх конструкція дуже проста, а виробництво технологічне. До їх недоліків можна віднести руйнування напівпровідникового матеріалу від часу, залежність ефективності роботи системи від її запиленості, необхідність розробки складних методів очищення батарей від забруднення. Все це обмежує термін служби фотоелектричних перетворювачів.

Гібридні станції, що складаються з фотоелектричних перетворювачів і дизельних генераторів, вже широко використовуються для електропостачання на територіях, де немає розподільних електричних мереж.

Енергію отримують з сонячної методом термодинамічної перетворення практично так само як з інших джерел. Однак такі особливості сонячного випромінювання як низька потужність, добова і сезонна мінливість, залежність від погодних умов, накладають певні обмеження на конструкцію термодинамічних перетворювачів. Звичайний термодинамічний перетворювач сонячної енергії містить систему уловлювання сонячної радіації, яка призначена частково компенсувати низьку щільність сонячного випромінювання; приймальну систему, яка перетворює сонячну енергію в енергію теплоносія; систему перенесення теплоносія від приймача до акумулятора або до теплообмінника; тепловий акумулятор, який забезпечує пом'якшення залежності від добової мінливості і погодних умов; теплообмінники, що утворюють нагрівальний і охолоджувальний джерела теплової машини.

Для середньотемпературного акумулювання (від 100 до 550 С) використовуються гідрати оксидів лужноземельних металів. Високотемпературне акумулювання (температура вище 550 С) здійснюється за допомогою оборотних екзо-ендотермічних реакцій. В даний час ідеї термодинамічного перетворення реалізуються в схемах двох типів: геліостати баштового типу і станції з розподіленим приймачем енергії.

На геліостанції баштового типу енергія від кожного геліостату передається оптичним способом. Управління геліостатами здійснює ЕОМ. До 80% вартості станції становить вартість геліостатів. Система збору та передачі енергії в установках баштового типу виявляється дуже дорогою. Тому такі установки не набули широкого поширення. У Мексиці, США, працюють установки такого типу потужністю 10 Мвт.

Станції з розподіленими приймачами сонячної енергії виявилися більш перспективними. Концентратори параболічного типу, що обертаються навколо осі, передають енергію трубчастим приймачам, які перебувають на фокальній лінії. В якості теплоносія зазвичай використовується масло. Невирішеною проблемою в геліостанціях є питання про тривале зберігання електроенергії. Це питання не вирішене взагалі в енергетиці.

Біоконверсія сонячної енергії. Біомаса, як джерело енергії, використовується з найдавніших часів. В процесі фотосинтезу сонячна енергія запасається у вигляді хімічної енергії в зеленій масі рослин. Запасена в біомасі енергія може бути для отримання енергії в побуті та виробництві. В даний час до 15% енергії у світі виробляється з біомаси.

Найдавніший, і ще широко застосовуваний, спосіб отримання енергії з біомаси полягає в її спалюванні. У сільській місцевості до 85% енергії отримують цим способом. Як паливо, біомаса має ряд переваг перед викопним паливом. Перш за все - це відновлюване джерело енергії. При спалюванні біомаси виділяється в 10-20 разів менше сірки та в 3-5 разів менше золи, ніж при спалюванні вугілля. Кількість вуглекислого газу, що виділився при спалюванні біомаси, дорівнює кількості вуглекислого газу, витраченого в процесі фотосинтезу.

Енергію біомаси можна отримувати зі спеціальних сільськогосподарських культур. До перспективних видів відносяться швидкозростаючі дерева, рослини, багаті вуглеводами, які застосовуються для отримання етилового спирту (наприклад, цукрова тростина). У США розроблений спосіб виробництва спирту з кукурудзи, в Італії ведуться роботи над розробкою способу рентабельного виробництва спирту з сорго. Близько 200 автобусів в Стокгольмі вже працюють на спирті.

Широко поширений спосіб отримання енергії з біомаси полягає в отриманні біогазу шляхом анаеробного переброджування. Такий газ містить близько 70% метану. Біогаз дозволяє використовувати газові турбіни, які є найсучаснішими засобами теплоенергетики. Для виробництва біогазу використовуються органічні відходи сільського господарства і промисловості. Цей напрямок є одним з перспективних і багатообіцяючих способів вирішення проблеми енергозабезпечення сільських районів. Наприклад, з 300 т сухого речовини гною, перетвореного в біогаз, вихід енергії становить близько 30 т нафтового еквівалента. Біомасу для подальшого отримання газу, можна вирощувати в водному середовищі, культивуючи водорості та мікроводорості. У багатьох наукових лабораторіях, зараз займаються розробкою технологій вирощування мікроводоростей для біоконверсії сонячної енергії.

Хвильова енергетика. Хвильова електростанція - установка, розташована у водному середовищі, метою якої є отримання електрики з кінетичної енергії хвиль.

Останнім часом багато вчених і конструкторів впроваджує використання різних видів енергії Світового океану. Побудовано приливні електростанції. Розробляються методи використання теплової енергії океану, пов'язаної, наприклад, зі значною різницею температур поверхневого і глибинного шарів океану, що досягає в тропічних областях 20°С і більше. В даний час накопичено значний обсяг інструментальних вимірювань вітрових хвиль в Світовому океані. На основі цих даних хвильова кліматологія визначає райони з найбільш інтенсивним і постійним хвилюванням.

У більшості проектів хвильових електростанцій передбачається використовувати двоступеневу схему перетворення. На першому етапі здійснюється передача енергії від хвилі до тіла-поглинача і вирішується завдання концентрування хвильової енергії. На другому етапі поглинена енергія перетворюється в вид, зручний для споживання. Існує три основних типи проектів по вилученню хвильової енергії. У першому використовується метод підвищення концентрації хвильової енергії та перетворення її в потенційну енергію води. У другому - тіло з декількома ступенями свободи знаходиться біля поверхні води. Хвильові сили, що діють на тіло, передають йому частину хвильової енергії. Основним недоліком такого проекту є вразливість тіла, що знаходиться під дією хвиль. У третьому типі проектів, система, що поглинає енергію, знаходиться під водою. Передача хвильової енергії відбувається під дією хвильового тиску або швидкості.

У ряді хвильових установок для підвищення ефективності щільність хвильової енергії штучно підвищується. Змінюючи рельєф дна в прибережній зоні, можна сконцентрувати морські хвилі подібно лінзі, котра фокусує світлові хвилі. Якщо сфокусувати хвилі з побережжя завдовжки в кілька кілометрів на фронті в 500 м, то висота хвилі може досягти 30 м. Потрапляючи в спеціальні споруди, вода піднімається на висоту в 100 м. Енергія піднятої води може бути використана для роботи гідроелектростанції, розташованої на рівні океану . Хвильова електростанція подібного типу використовується для забезпечення електроенергією острова Маврикій, що не має традиційних джерел енергії.

Ряд пристроїв по перетворенню хвильової енергії використовує різні властивості хвильових рухів: періодичні зміни рівня водної поверхні, хвильового тиску або хвильової швидкості. Відсоток використання хвильової енергії досягає 40%. Електроенергія передається на берег по кабелю. В Японії створено промисловий зразок такої системи, яка має 9 турбін загальною потужністю в 2 МВт.

Сила, з якою хвилі впливають на спорудження в береговій зоні, досягає декількох тонн на квадратний метр. Цей силовий вплив теж може бути використано для перетворення хвильової енергії.

Хвильова енергетика не використовує викопне паливо, вартість якого безперервно зростає, а запаси обмежені. Перед хвильовою енергетикою не стоїть в гострій формі проблема впливу на навколишнє середовище. Однак в даний час виробництво 1 кВт електроенергії на хвильових електростанціях в 5-10 разів вище, ніж на АЕС або ТЕС. Крім того, якщо значна частина акваторії буде покрита хвильовими перетворювачами, це може привести до неприємних екологічних наслідків, так як хвилі грають важливу роль в газообміні атмосфери і океану, в очищенні поверхні моря і приводного шару повітряного потоку від забруднення.

Тому хвильову енергетику слід розглядати тільки як додаткову до традиційних джерел енергії.

Вітрова енергетика. Людство давно використовує енергію вітру. В кінці минулого століття настав новий етап використання вітрових установок - вони почали застосовуватися для вироблення електроенергії. У тридцяті роки минулого століття мільйони вітрових електрогенераторів потужністю близько 1 кВт використовувалися в сільській місцевості Європи, Америки, Азії. У міру розвитку центрального електропостачання поширення вітрових електрогенераторів різко впало. З ростом вартості корисних копалин і усвідомлення екологічних наслідків їх застосування надії багатьох дослідників знову стали зв'язуватися з вітровою енергетикою.

Дійсно вітровий потенціал величезний - близько 2000 ТВт становить потужність вітрового потоку в атмосфері. Використання навіть невеликої частини цієї потужності призвело б до вирішення енергетичних проблем людства.

Вітрова енергетика не споживає паливо, не використовує воду для охолодження і не викликає теплового забруднення водойм, не забруднює атмосферу. І, тим не менш, вітрові електрогенератори мають широкий спектр негативних екологічних наслідків, виявлених тільки після того, як в 1970 роки почався період відродження вітрової енергетики.

Головні недоліки вітрової енергетики - низька енергетична щільність, сильна мінливість залежно від погодних умов, яскраво виражена географічна нерівномірність розподілу вітрової енергії. Зазвичай робочий діапазон швидкостей вітру великих вітрових установок становить від 5 до 15 м / с. При швидкості вітру меншою 5 м / с ефективність роботи установки падає, при швидкостях вітру великих 15 м / с велика ймовірність поломки конструкції, перш за все лопастей. Розміщення генераторів на великих висотах (там, де більше швидкість) висуває підвищені вимоги до міцності конструкції висотних щогл, які повинні забезпечувати утримання при потужному вітровому навантаження ротора, коробки передач і генератора. Розробка і створення більш надійних конструкцій значно підвищує вартість вітрових установок, хоча собівартість вітрової електроенергії приблизно в 1.5-2 рази нижче собівартості електроенергії, отриманої в фотоелектричних перетворювачах.

Ще однією важливою проблемою використання вітрових генераторів є сильні вібрації їх несучих частин, які передаються в грунт. Значна частина звукової енергії припадає на інфразвуковий діапазон, для якого характерно негативний вплив на організм людини і багатьох тварин.

Так як швидкість обертання лопатей вітрових генераторів близька до частоті синхронізації телебачення ряду країн, то робота вітрових генераторів порушує прийом телепередач в радіусі 1-2 км від генератора. Вітрові генератори є також джерелами радіозавад. Обертання лопатей вітрових генераторів губить птахів. Так як зазвичай вітрові установки розташовуються у великих кількостях в районах сильних вітрів (хребти, морське узбережжя), то вони можуть призводити до порушення міграції перелітних птахів. Модуляція вітрового потоку лопатями створює деяку подібність регулярних структур в повітрі, які заважають орієнтації комах. У Бельгії встановили, що це призводить до порушення стійкості екосистем полів, розташованих в зоні вітрових установок, зокрема спостерігається падіння врожайності.

Нарешті, вітрова енергетика вимагає великих площ для розміщення установок. Тому системи вітрових установок намагаються розміщати в безлюдній місцевості, що в свою чергу здорожує вартість передачі енергії.

**7.3 Витрати електроенергії комп’ютерами**

Щоб зрозуміти скільки електроенергії споживає настільний комп'ютер не слід вивчати блок живлення в пошуках необхідного значення. При розрахунку слід врахувати, що електроенергія витрачається всіма комплектуючими комп'ютера і його периферійними пристроями. Крім цього на витрату електрики впливає також характер використання ПК.

Споживання системного блоку

Дізнатися скільки енергії споживає системний блок можна з технічної документації, що додається до комп'ютера. Адже по суті, його максимально можливим енергоспоживанням є потужність блоку живлення, так як саме від нього живляться всі комплектуючі з яких складається системник і деякі периферійні пристрої. Потужність блоку живлення варіюється приблизно від 300 Ватт на годину на простих ПК і до 1600 Ватт на годину і більше. Але слід знати, що це значення, які може видавати блок живлення, а не скільки за фактом споживає комп'ютер. Насправді, щоб з'ясувати скільки саме витрачає персональний комп'ютер, необхідно підсумувати енергоспоживання всіх його комплектуючих. Найактивнішими споживачами є процесор і відеокарта.

Споживання електрики материнською платою залежить безпосередньо від закладених в неї виробником можливостей. В середньому для її живлення необхідно від 20 до 35 Ватт, але якщо до неї підключені кулери, графічний процесор, звукова карта та інші елементи, її енергоспоживання значно зростає.

Продуктивність процесора - це параметр визначає скільки енергії він буде споживати. Двоядерні процесори, що працюють на низьких частотах будуть споживати набагато менше восьмиядерних. Але при цьому слід враховувати також і те, що старі варіанти завжди більш енерговитратні. Наприклад, чотирьохядерний Intel Core i5 споживає до 140 Ватт електроенергії, в той час як Intel Quad Core при максимальному завантаженні витрачає більше 200 Ватт на годину. А ось двоядерні AMD в середньому витрачають від 65 до 95 Ватт, в той час як більш потужні варіанти цього виробника споживають приблизно від 95 до 125 Ватт на годину.

У відеокарті, як і в процесорі, енергоспоживання безпосередньо залежить від потужності. Високопродуктивні пристрої при великих навантаженнях витрачають в середньому від 240 до 350 Ватт на годину, а в режимі простою їх споживання варіюється в межах від 35 до 55 Ватт. Але так як відеокарта не завжди використовується на повну потужність, то витрата електроенергії на її роботу можна в середньому вважати від 100 до 300 Ватт.

Енергоспоживання звичайного жорсткого диска в середньому коливається від 0,7 до 6 Ватт, в той час як більш сучасні SSD витрачають менше - від 0,6 до 3 Ватт на годину.

При навантаженні оптичний привід витрачає в середньому до 27 Ватт електроенергії, в той час як в режимі простою його споживання становить не більше 15 Ватт.

Система охолодження комп'ютера тягне на себе приблизно від 0,6 і до 6 Ватт електрики, при цьому слід врахувати, що вентилятори працюють постійно, і як правило, будь-який стаціонарний комп'ютер включає в себе кілька кулерів.

На питання скільки електроенергії бере на себе периферія комп'ютера, можуть відповісти цифри, зазначені в їх технічних характеристиках. При цьому слід врахувати, що монітор працює безпосередньо від мережі і споживає, приблизно від 18 ВТ і вище, залежно від моделі. А енергоспоживання інших пристроїв, таких як веб-камера, колонки, навушники, клавіатура і миша, походить від інтерфейсів системного блоку, а тому їх енергоспоживання не перевищить зазначену максимальну потужність блоку живлення. До речі, колонки також можуть живитися безпосередньо від мережі 220 В.

Споживання електрики комп'ютером залежить не тільки від потужності його комплектуючих, але також і від характеру його використання. Адже очевидно, що комп'ютер в режимі сну витрачає набагато менше енергії, ніж при запуску ресурсномістких програм і додатків:

1. У стані бездіяльності. Комп'ютер, що працює на «холостому ходу», тобто коли на ньому не виконуються жодні операції користувачем, споживає в середньому близько 78 Вт електроенергії. В такому стані пристрою ПК все таки тягнуть на себе електроенергію, але в малих обсягах.
2. Сплячий або енергозберігаючий режим. Залежно від продуктивності персонального комп'ютера, в сплячому режимі він витратить на свою роботу приблизно від 20 до 40 Вт, а в енергозберігаючому режимі - до 10 Вт на годину. За місяць це може скласти в середньому від 2 до 15 кіловат, особливо якщо врахувати, що системний блок, перебуваючи в вимкненому стані, споживає струм: живиться блок живлення, запитана материнська плата (але тільки на лінію сигналізації свого стану), живлення пам'яті.
3. При максимальній продуктивності. На споживання електроенергії суттєво впливають ресурсомісткі програми, які запускаються на ПК, а також час, витрачений на їх використання. В середньому це значення при максимальній продуктивності коливається від 170 до 200 Вт на годину.

Точні виміри споживаної електроенергії можна отримати, використовуючи з цією метою звичайний ватметр, за допомогою якого можна виміряти потужність електричного струму, що надходить до ПК. Для цього слід застромити пристрій в розетку, а до нього підключити вилку блоку живлення. Після включення ПК, на екрані ватметра відобразиться точне значення споживання електроенергії комп’ютером.

На прикладі можна наочно побачити скільки електроенергії витрачає звичайний стаціонарний комп'ютер. Візьмемо середньостатистичний випадок, коли персональний комп'ютер працює близько 5 годин. Як показує практика, реальне споживання електрики середнім системним блоком, незалежно від значень на блоці живлення (будь-то навіть 1000 ват), варіюється від 100 до 180 Вт \* год при звичайному використанні до 350 Вт \* год при значному навантаженні на машину (це робота в ресурсномістких програмах). Отже, середньостатистичне значення споживання електроенергії дорівнюватиме (100 Вт \* год + 180 Вт \* год + 350 Вт \* год) / 3 = 210 Вт \* год. Приблизні витрати електрики монітором - до 40 Вт \* ч. У підсумку виходить: 210 Вт \* год + 40 Вт \* год = 250 Вт \* год. Помноживши отримане значення на 5 годин і додавши витрати на електрику комп'ютером в вимкненому стані, решта 19 годин - приблизно 4 Вт х 19 год = 76 Вт, знайдемо необхідну кількість споживаної електроенергії ПК в день – 5год х 250 Вт \* год + 76 Вт = 1,326 кВт, що дорівнює 39,780 кВт в місяць.

Розроблений в дипломній роботі алгоритм витрачає менше часу на реалізацію процесу, ніж розрахунок і підбір частоти звичайними методами та алгоритмами, а отже краще оптимізований і витрачає менше потужностей та ресурсів. Використовуючи результати роботи в радіолокаційних підприємствах дозволить значно зменшити електроспоживання.

**ВИСНОВКИ**

Після розгляду та оцінки проблем та перспективних напрямків розвитку в радіолокації було обрано важливу задачу оптимізації використання систем виявлення рухомих цілей та придушення пасивних завад, а саме розробку нових методів фільтрації та адаптивних алгоритмів.

Можна дійти висновку, що якість фільтрації сильно залежить від використаного методу проектування та розробки. Так результатом дослідження даної роботи, було доведено, що фільтри спроектовані на основі білінійного z перетворення мають кращі властивості (такі як добротність та придушення/підсилення), ніж ті, які базувались на методі Ейлера.

Також можна стверджувати, що адаптивний алгоритм на основі методу випадкового пошуку набагато швидше знаходить потрібне значення, оскільки використовуючи покроковий метод довелось би обробляти кожний відлік, що зайняло б набагато більше часу при однаковому початковому інтервалі. Крім того оскільки обробка проходить у складних завадових умовах, шукані функції мають декілька локальних мінімумів та максимумів, що зумовило б алгоритми побудовані на градієнтних методах приймати хибні рішення при виборі початкового значення пошуку в межах несприятливого інтервалу пошуку.

Представлений в роботі інноваційний високоточний алгоритм адаптивної системи придушення пасивних завад, який може бути застосований також для придушення активних завад та виділення сигналів з заданими характеристиками, можливо удосконалений в майбутньому шляхом оптимізації підбору інтервалу пошуку та кількості випадкових значень та ітерацій розрахунків в залежності від ситуації, а також застосування нових методів розрахунку цифрових фільтрів (наприклад, методу Рунге-Кутта) та адаптації добротності фільтрів в залежності від ширини спектру завади.

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. *Prokopenko I.G.* Statistical processing of signals / *I.G.* *Prokopenko.*– K. : NAU, 2011. – 220 p.
2. *Ільницький Л.Я., Савченко О. Я., Сібрук Л.В.* Антени та пристрої надвисоких частот: Підручник для ВНЗ / За ред. Л.Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496 с. з іл.
3. *Melkumian V.G., Semenov О.О., Zuiev О.V*. Radionavigation systems of airports. Angle-measuring and distance-measuring systems: Tutorial. – К.: KIUCA, 2000. – 196 p.
4. *Дипломне проектування:* Методичні рекомендації до оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів. / Уклад. А. А. Семенов, Ю. М. Хмелько. – Київ: НАУ, 2013. - 32 с.
5. *Richards, Scheer, Holm* Principles of modern radar V1 / *Richards, Scheer, Holm* 2010. – 924 p.
6. *Koptev A.N.* Aviation and radioelectronic equipment aircraft of civil aviation / *A.N.* *Koptev.*– SAM. : SSAU nam. aft. S. P. KOROLYOV, 2011. – 555 p.
7. *Sergeev V.G.* Signals receiving and processing devices. Pt.1. Calculation and Design: A Tutorial. М.: МSTU CА, 2001.
8. *Skolnik.M* Radar handbook / *Merill I. Skolnik. –* 2nd ed. 1990/ - 846
9. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин [и др.];под общ. ред. В.Н. Тяпкина. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т. – 2011. – 536 с.
10. ДСН 239-96 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань;
11. ГОСТ 12.1.006-84 "Електромагнітні поля радіочастот. Припустимі рівні на робочих місцях і вимоги до впровадження контролю"
12. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 "Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів".
13. ДЕРЖАВНИМІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМАМИ УКРАЇНИ, ДБН В.2.5-28:2018 «ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ»;
14. ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць.
15. Закон України «Про пожежну безпеку», вимоги НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні»