

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КІБЕРБЕЗПЕКИ ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ
КАФЕДРА ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ КІБЕРЗАХИСТУ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Антенні системи пристроїв протидії витоку інформації через радіоканал»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 125 - Кібербезпека та захист інформації»
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Технічні системи інформаційного та кібернетичного захисту

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*
_____ Ілля САВОТІКОВ

Виконав: здобувач вищої освіти групи СЗДМ 61
Ілля САВОТІКОВ

Керівник: _____
к.т.н. , (ПРИЗВИЩЕ, Ім'я)

Рецензент: _____
(ПРИЗВИЩЕ, Ім'я)

Київ 2025

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КІБЕРБЕЗПЕКИ ТА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ**

Кафедра Технічних систем кіберзахисту
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 125-Кібербезпека та захист інформації
 Освітньо-професійна програма Технічні системи інформаційного та кібернетичного захисту

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТСКБ

_____Олександр ТУРОВСЬКИЙ

«_____» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Савотікову Іллі Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

«Антенні системи пристроїв протидії витоку інформації через радіоканал»

керівник кваліфікаційної роботи ГАВРИЛЕНКО Олексій, к.т.н.,

(ПРІЗВИЩЕ Ім'я, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій
 від « 15 » жовтня 2024 р. № 320

2. Строк подання кваліфікаційної роботи

20.12.2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: об'єкт інформаційної діяльності, мережеві канали витоку інформації, вимоги до захисту конфіденційної інформації, програмно-апаратні комплекси захисту інформації в локальних комп'ютерних мережах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Провести огляд процесів та сучасних підходів до створення генераторів радіозавад

4.2. Проаналізувати основні елементи генераторів радіозавад;

4.3. Розробити практичні рекомендації що до застосування антенних системи пристроїв протидії витоку інформації через радіоканал.

5. Перелік графічного матеріалу: Презентаційний матеріал на _____ слайдах.

6. Дата видачі завдання 15.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури		
2	Написання першого розділу роботи		
3	Написання другого розділу роботи		
4	Написання третього розділу роботи		
5	Написання висновків по роботі		
6	Підготовка демонстраційних матеріалів		
7	Підготовка доповіді		

Здобувач вищої освіти _____ Ілля САВОТІКОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник роботи _____ Олексій ГАВРИЛЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є генератори радіозавад, що використовуються в радіоелектронній боротьбі. Дослідження зосереджене на типах сигналів, способах їх генерації та модуляції, а також на виборі компонентів, таких як фільтри, підсилювачі та антени, які необхідні для побудови таких генераторів.

Мета дипломної роботи полягає в дослідженні сучасних підходів до створення генераторів радіозавад, а також у визначенні основних елементів, які застосовуються при побудові таких генераторів. Оскільки ефективність радіозавадних систем є важливою складовою радіоелектронної боротьби, головним завданням є аналіз різних типів генераторів, методів модуляції сигналів, а також вибору компонентів для їх побудови, таких як генератори сигналів, модулятори, підсилювачі потужності, фільтри та антени. Крім того, в роботі розглянуто питання узгодження елементів системи, що забезпечують максимальну ефективність роботи генератора.

Методи дослідження включають теоретичний аналіз сучасних схем генераторів радіозавад, методи моделювання та порівняння різних типів генераторів і компонентів, а також експериментальне тестування ефективності роботи компонентів у складі генератора. Зокрема, для аналізу характеристик системи використано методи математичного моделювання, а для практичної частини — аналіз існуючих схем та їх адаптація до конкретних завдань.

Апробація:

І.В. Савотіков, Моделювання антенних систем генераторів радіозавад. *Всеукраїнської науково-практичної конференція: Актуальні проблеми безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем*. м. Київ, 03 листопада 2024 року, Київ: РВЦ ДУІКТ. – 024. С.57 - 58. https://duikt.edu.ua/uploads/p_2661_93669247.pdf.

Ключові слова; РАДІОЕЛЕКТРОННА БОРОТЬБА; ГЕНЕРАТОРИ РАДІОЗАВАД; РАДІОЗАВАДОВІ СИГНАЛИ; МОДУЛЯЦІЯ СИГНАЛІВ; ПРИДУШЕННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ; КОМПОНЕНТИ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ.

SUMMARY

The object of the research is the radio jamming generators used in electronic warfare. The study focuses on the types of signals, methods of their generation and modulation, as well as the selection of components such as filters, amplifiers, and antennas necessary for building such generators.

The **aim** of this thesis is to investigate modern approaches to the design of radio jamming generators, as well as to identify the key components used in their construction. Since the effectiveness of jamming systems is a critical element in electronic warfare, the main objective is to analyze different types of generators, signal modulation methods, and the selection of components for their construction, such as signal generators, modulators, power amplifiers, filters, and antennas. Additionally, the work examines the issue of matching components within the system to ensure maximum efficiency of the generator.

The **research methods** include theoretical analysis of modern jamming generator circuits, simulation methods, and comparison of different types of generators and components, as well as experimental testing of the components' performance within the generator. Specifically, mathematical modeling methods are used for system characteristic analysis, and the practical part involves analyzing existing circuits and adapting them to specific tasks.

This work allows for the evaluation of the **effectiveness** of various types of generators, the selection of components for them, and the optimization of their characteristics in the context of electronic warfare applications.

Approbation:

I.V. Savotikov, Modeling of antenna systems of radio interference generators. All-Ukrainian scientific and practical conference: Current problems of information and telecommunication systems security. Kyiv, November 03, 2024, Kyiv: DUKT Research and Development Center. – 024. P.57 - 58. https://duikt.edu.ua/uploads/p_2661_93669247.pdf.

Keywords; RADIO ELECTRONIC COMBAT; RADIO INTERFERENCE GENERATORS; RADIO INTERFERENCE SIGNALS; SIGNAL MODULATION; COMMUNICATION SYSTEM Suppression; COMPONENTS OF RADIO ELECTRONIC DEVICES.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ ГЕНЕРАТОРІВ РА- ДІОЗАВАД.....	10
1.1 Типи генераторів радіозавод та їх призначення.....	10
1.2 Методи модуляції в генераторах радіоперешкод.....	13
1.3 Роль антен у системах радіозавод.....	19
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ГЕНЕРАТОРА РАДІОЗАВАД.....	22
2.1 Генератор сигналів	22
2.1.1 Побудова та принцип роботи таймерів.....	23
2.1.2 Альтернативні генератори (LC, кварцові тощо)	30
2.2 Модулятор сигналу	35
2.2.1 Основи модуляції (АМ, ЧМ, шум)	36
2.2.2 Варіанти реалізації модулаторів	39
2.3 Підсилювач потужності.....	43
2.3.1 Принципи підсилення сигналу.....	44
2.3.2 Вибір підсилювача для застосування в схемі генератора	45
2.4 Фільтри та узгоджувальні пристрої.....	48
2.4.1 Роль фільтрів у генераторі радіозавод.....	48
2.4.2 Вузли узгодження та їхня конструкція	48
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55

ВСТУП

У сучасному світі радіоелектронна боротьба (РЕБ) є важливою складовою частиною військових технологій, що дозволяє ефективно протистояти різноманітним загрозам у цифровому середовищі. Одним із основних елементів РЕБ є генератори радіозавад, які використовуються для придушення або блокування ворожих систем зв'язку, навігації та радарів. Метою цієї дипломної роботи є дослідження сучасних підходів до створення генераторів радіозавад, а також аналіз ключових елементів, що використовуються в їх конструкції. [11–16, 20–23]

Генератори радіозавад є важливими інструментами для забезпечення національної безпеки, оскільки дозволяють створювати перешкоди для ворожих електронних систем. Вибір ефективних компонентів для побудови таких генераторів, а також розуміння принципів їх роботи є необхідними для розробки нових поколінь радіоелектронних засобів. Це включає вивчення типів сигналів, методів їх генерації та модуляції, а також підбору компонентів, таких як генератори сигналів, модулятори, підсилювачі потужності, фільтри та антени. [11–16, 20–23]

Об'єктом дослідження є генератори радіозавад, які застосовуються в системах радіоелектронної боротьби. Дослідження зосереджене на аналізі типів сигналів, методів їх генерації та модуляції, а також на виборі компонентів для їх побудови. Оскільки ефективність таких систем є ключовою для забезпечення обороноздатності, головним завданням є не тільки теоретичний аналіз, але й порівняння різних варіантів конструкцій і методів моделювання. [11–16, 20–23]

Методи дослідження включають теоретичний аналіз сучасних схем генераторів радіозавад, методи моделювання та порівняння різних типів генераторів і компонентів, а також експериментальне тестування їх ефективності. У практичній частині роботи застосовано методи математичного моделювання для аналізу характеристик системи, а також аналіз існуючих схем і їх адаптація до конкретних задач. [11–16, 20–23]

Робота спрямована на вдосконалення процесу створення генераторів радіозавод і підвищення їх ефективності у рамках сучасних вимог до радіоелектронної боротьби.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ ГЕНЕРАТОРІВ РАДІОЗАВАД

1.1 Типи генераторів радіозавад та їх призначення

Спочатку розглянемо, за якими принципами роботи можуть працювати генератори радіозавад. Основні типи генераторів радіоперешкод: Генератори **вузькосмугових, широкосмугових**, та **імпульсних** радіоперешкод. [6–10, 14–16]

Генератори вузькосмугових перешкод — це пристрої, призначені для створення електромагнітних сигналів у чітко визначеній смузі частот. Їх головне завдання — протидія роботі радіоелектронних засобів зв'язку та управління, що функціонують у заданому частотному діапазоні. Такі пристрої стають незамінними в забезпеченні інформаційної безпеки, випробуванні стійкості обладнання до перешкод чи навіть у створенні специфічних умов для військових застосувань. [23–27]

Серце таких генераторів — це осцилятор із можливістю точного налаштування частоти. Він створює сигнал із високою частотною вибірковістю, спрямовуючи вплив саме на ті частоти, які є цільовими. На відміну від широкосмугових генераторів, вузькосмугові працюють локально, що дозволяє мінімізувати зайве випромінювання й зосереджувати енергію там, де це необхідно. [6–10, 14–16]

Ключовими елементами конструкції є кварцові резонатори або LC-контури, які забезпечують стабільність сигналу, підсилювач потужності, що надає сигналу необхідної інтенсивності для випромінювання через антену. [5, 28, 29]

Особливостями конструкції таких пристроїв є частотна вибірковість. Завдяки застосуванню фільтрів забезпечується чітке обмеження спектра сигналу, що дозволяє точно налаштувати генератор на бажану частоту. [5, 11–13, 20–22]

Для подібних пристроїв характерною ознакою є стабільність сигналу. Для уникнення зсуву частоти використовуються схеми термокомпенсації та стабілізації напруги живлення, що особливо важливо для тривалої роботи пристрою.

Генератори вузькосмугових перешкод дають можливість регулювати потужність. Деякі генератори оснащені механізмами зміни рівня потужності сигналу, що дозволяє адаптувати пристрій до конкретних умов. [6–10, 14–16]

Застосовуються вузькосмугові генератори у цивільних системах такі генератори використовуються для перевірки стійкості радіоприймачів до інтерференції. У військовій сфері їх застосовують для подавлення радіозв'язку противника чи дезорієнтації навігаційних систем. В інформаційній безпеці вони слугують засобом захисту від витоку даних через радіоканали.

Даний тип надає перевагу у ефективності, завдяки концентрації енергії в обмеженому спектрі частот, але у той же час являється обмеженим у спектрі дії. Наступний тип, який ми розглянемо - буде генератор **широкосмугових** перешкод.

Даний тип генераторів створюють електромагнітний сигнал у широкому діапазоні частот. Їх основна мета — забезпечити масове глушіння радіоелектронних пристроїв у певній зоні, незалежно від конкретних частот, на яких вони працюють. Ці пристрої знаходять своє застосування як у цивільних сферах, так і в стратегічних завданнях військового призначення. [11–13, 19–22]

На відміну від вузькосмугових генераторів, які впливають на конкретні частоти, широкосмугові діють відразу на цілий спектр. Основою їхньої роботи є генератор шуму, який створює випадковий сигнал, розподілений у широкій частотній смузі. [7, 10, 16]

Для ефективності пристрій оснащений потужним підсилювачем, що забезпечує достатню енергію для подолання природного радіошуму. Також важливу роль відіграють антени, здатні ефективно випромінювати сигнал у широкому частотному діапазоні. [1–5, 17, 18]

Особливостями конструкції є широкий частотний спектр: Завдяки генераторам шуму пристрій охоплює діапазон, який може включати як низькі, так і високі частоти. Такому типу генераторів необхідно мати високу потужність, для досягнення ефекту глушіння в широкій зоні використовуються підсилювачі потужності з високими характеристиками. Деякі генератори дозволяють регулювати ширину смуги частот або

потужність сигналу залежно від умов експлуатації - що робить їх більш гнучкими у застосуванні.

Такі пристрої використовуються для випробувань стійкості електронного обладнання до радіоперешкод. У військовій галузі вони забезпечують подавлення комунікацій противника, створення "зон тиші" для радіоелектронних засобів. В інформаційній безпеці застосовуються для захисту від витоку даних через непередбачувані радіоканали.

Недоліками такого типу є велике енергоспоживання через значну потужність сигналу, можливість створення небажаних перешкод для обладнання, що працює поза цільовими діапазонами, менш точний вплив порівняно з вузькосмуговими генераторами.

Давайте перейдемо до **імпульсних генераторів радіоперешкод**. Основна функція імпульсних генераторів — створення сигналів, здатних впливати на радіоелектронні системи чи служити джерелом енергії для різних пристроїв. Завдяки своїй універсальності та простоті налаштування імпульсні генератори широко застосовуються як у цивільних, так і у військових технологіях.

Основою імпульсного генератора є схема, здатна перетворювати постійний або змінний струм у серію імпульсів. Це досягається завдяки використанню компонентів, таких як:

Таймери (наприклад, NE555), які забезпечують формування чітких тимчасових характеристик імпульсів. [28–30]

Транзистори, що виступають у ролі комутаторів, дозволяючи швидко перемикати подачу струму.

Конденсатори та індуктивності, які зберігають і вивільняють енергію, формуючи потрібну форму сигналу.

Генератори можуть працювати в різних режимах:

Режим стабільної генерації (**астабільний режим**), де імпульси створюються постійно.

Режим одиночного імпульсу (**моностабільний режим**), коли пристрій генерує сигнал лише після отримання зовнішнього тригера.

Особливостями конструкції є чіткість параметрів імпульсів, висока стабільність частоти, амплітуди та тривалості імпульсу досягається за допомогою точної налаштування елементів схеми. Також схема може бути адаптована до різних потреб — від низьковольтних імпульсів для керування мікросхемами до потужних сигналів для електронних систем. Завдяки використанню сучасних мікросхем, імпульсні генератори можуть бути мініатюрними, не втрачаючи при цьому функціональності.

Імпульсні генератори створюють завадні сигнали високої потужності на дуже короткі періоди часу, що дозволяє ефективно порушувати роботу чутливих електронних пристроїв. Імпульсні генератори мають перевагу в енергоефективності.

Імпульсні генератори ефективні для введення в оману ворожих радіолокаційних систем, порушуючи їх здатність точно визначати положення об'єктів за допомогою короткочасних, потужних імпульсів. У той же час вузькосмугові генератори не зможуть охопити всі частоти радіолокації, що залишить прогалини для виявлення об'єктів, а широкосмугові генератори можуть спричиняти загальні завади, які легко виявити і знешкодити, а також можуть впливати на власні системи РЕБ.

1.2 Методи модуляції в генераторах радіоперешкод

Наступною важливою ознакою є **тип модуляції**. Тип модуляції може бути **Амплітудно-модульованим, частотно-модульованим, фазово модульованим, шумовим**. [6–10]

Амплітудно-модульовані генератори (АМГ) є пристроями, які генерують коливання, де амплітуда основного сигналу (високочастотного несучого) змінюється відповідно до сигналу низької частоти (модулюючого). [6–10]

АМГ складається з двох основних компонентів: Генератор несучого сигналу (Генерує високочастотний сигнал постійної амплітуди), Модулятор (Змінює амплітуду несучого сигналу відповідно до амплітуди модулюючого сигналу).

Математично амплітудно-модульований сигнал можна описати як:

$$s(t) = [A + m(t)] \cdot \cos(2\pi f_c t), \text{ де}$$

A — амплітуда несучого сигналу;

$m(t)$ — модулюючий сигнал;

f_c — частота несучого сигналу.

Перевагами АМГ є сумісність з багатьма існуючими технологіями передачі сигналу, простота реалізації, можливість роботи з шумовими сигналами для створення завад. [7, 10, 16]

Разом з цим АМГ мають погану завадостійкість, особливо в умовах високих рівнів перешкод, не ефективні у енергоємності (частина енергії витрачається на побічні гармоніки). Мають необхідність фільтрації побічних компонентів. [5, 11–13, 20–22]

АМГ підходить, коли необхідно створювати широкосмугові завади, охоплюючи великий діапазон частот, особливо для перешкоджання радіозв'язку або систем передачі даних. Також підходить для імітації реальних сигналів, наприклад, для тестування систем захисту або засобів радіоелектронної боротьби. В таких випадках амплітудна модуляція дозволяє зручно варіювати амплітуду сигналу, що дозволяє створювати перешкоди, схожі на реальні інформаційні сигнали. [6–10]

Інші типи генераторів, наприклад, частотно-модульовані (ФМГ) чи імпульсні генератори, не підходять для створення таких завад, оскільки вони зазвичай генерують сигнали з більш вузьким спектром або не здатні імітувати поведінку реальних інформаційних каналів так ефективно. [6–10]

Фазово-модульовані генератори (ФМГ) використовують метод модуляції, при якому змінюється фаза несучого сигналу відповідно до модуляційного сигналу, а не його амплітуда чи частота. У таких генераторах основною характеристикою є те, що зміни фази несучого сигналу використовуються для переносу інформації або створення перешкод.

Основний принцип роботи ФМГ полягає в тому, що фаза несучого сигналу змінюється залежно від значень низькочастотного модуляційного сигналу. Математично це можна виразити як:

$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + \Delta\phi(t))$$

де A — амплітуда несучого сигналу, f_c — частота несучого сигналу, $\Delta\phi(t)$ — зміна фази, яка визначається модуляційним сигналом.

ФМГ є корисними в системах, де важливим є підвищення завадостійкості, оскільки фазова модуляція менш чутлива до змін амплітуди сигналу, що робить її стійкішою до різних типів завад. Це забезпечує кращу якість зв'язку, оскільки амплітудні коливання не впливають на передачу інформації.

Фазово-модульовані генератори використовуються в радіозв'язку, де важливе забезпечення стійкості сигналу до завад і перешкод. Вони також широко застосовуються в системах, де важлива точність синхронізації фаз, наприклад, у GPS-системах або в телекомунікаціях. Фаза модуляції використовується для передачі цифрових даних, таких як в системах фазово-лічбової модуляції (PSK).

Однак ФМГ мають і деякі недоліки. Наприклад, вони вимагають більш складної обробки сигналів для відновлення переданої інформації, оскільки потрібно точно вимірювати фази на приймальній стороні. Крім того, фазова модуляція може бути менш ефективною в умовах високих рівнів шуму, оскільки зміна фази сигналу може бути складною для коректного виявлення в зашумленому середовищі.

ФМГ підходять для використання в тих випадках, коли важлива висока завадостійкість і необхідність у передачі інформації без значних амплітудних коливань, особливо коли сигнал має бути стійким до впливу перешкод, наприклад, у мобільних зв'язках, радіолокаційних системах або в радіоелектронній боротьбі.

Шумові генератори використовують принцип створення випадкових або шумових сигналів, які мають широкий спектр частот. Це дозволяє їм генерувати сигнали, які не мають певної частоти або періодичності, і зазвичай вони використовуються для створення перешкод або в якості джерела випадкових сигналів для тестування та досліджень. [7, 10, 16]

Основною особливістю шумових генераторів є те, що їх вихідний сигнал містить усі частоти в певному діапазоні. Зазвичай це білі шуми, які мають рівний спектр потужності на всіх частотах, або ж червоні шуми, де потужність зменшується

з ростом частоти. Такий сигнал часто використовується для створення широкосмугових перешкод, які можуть заважати роботі радіозв'язку або інших бездротових систем.

Шумові генератори використовуються в системах, де потрібен широкий спектр сигналів з випадковими амплітудами та частотами, які можуть бути застосовані для тестування або перевірки завадостійкості. Наприклад, у радіоелектронній боротьбі, де необхідно створювати радіочастотні перешкоди для блокування або зашумлення роботи ворожих радіоелектронних систем. [4, 5, 11–13, 19]

Ці генератори також широко застосовуються в різноманітних наукових експериментах, де потрібно генерувати випадкові сигнали для дослідження поведінки систем в умовах шуму або для моделювання реальних умов роботи систем. Шумові генератори використовуються для створення шумових сигналів, що імітують природні процеси або технічні умови, в яких система повинна працювати.

Основною перевагою шумових генераторів є їх здатність генерувати сигнал, який неможливо передбачити або контролювати, що робить їх дуже корисними для створення радіоелектронних завад. Проте їх використання може бути складним через необхідність забезпечення належного рівня потужності та рівномірного розподілу сигналу в широкому спектрі частот. Також ці генератори потребують спеціального обладнання для точного вимірювання і управління рівнем шуму.

Шумові генератори підходять для використання в тих випадках, коли необхідно створити нестабільні, неперіодичні або випадкові сигнали, які заважають роботі системи або можуть бути використані для імітації природних або технічних шумових умов. Вони не підходять для тих застосувань, де потрібна висока точність або стабільність сигналу, оскільки шумовий сигнал є непередбачуваним і нестабільним за своєю природою. [6–10, 28, 29]

Давайте перейдемо до розгляду генераторів активних та пасивних перешкод: Генератори активних та пасивних перешкод є важливими елементами в контексті радіоелектронної боротьби та захисту інформації від витоку через електромагнітні

канали. Вивчення цих генераторів дозволяє зрозуміти механізми створення перешкод, які можуть впливати на ефективність роботи радіосистем, систем навігації та зв'язку. [23–27]

Активні генератори створюють потужні перешкоди за допомогою активних компонентів, тоді як пасивні генератори пасивно впливають на вже існуючі сигнали, поглинаючи або відбиваючи електромагнітне випромінювання. Розуміння принципів роботи цих генераторів та їх ролі в радіоелектронних системах має велике значення для розробки заходів захисту інформації і створення ефективних методів боротьби з витоками електромагнітної інформації. [23–27]

Генератори активних перешкод використовують спеціалізовані схеми для створення перешкод, що генеруються на основі активних елементів, таких як транзистори або операційні підсилювачі. Ці генератори активно впливають на радіочастотні системи, створюючи перешкоди, які можуть спричиняти зниження ефективності роботи радіоелектронних систем або навіть їх повну дезактивацію. [11–13, 19–22]

Основна ідея генераторів активних перешкод полягає в використанні активних компонентів для створення сигналів, що мають значну потужність і здатні проникати через системи фільтрації або захисту. Це робить їх ефективними для порушення роботи радіоелектронних засобів, особливо в умовах радіоелектронної боротьби. Вони можуть працювати в різних діапазонах частот, від дуже низьких до високих, і використовуватися для створення перешкод, що мають велику інтенсивність і можуть перебивати сигнали зв'язку, навігації або радіолокації. [11–13, 19–22]

Генератори активних перешкод можуть бути сконструйовані таким чином, щоб вони створювали перешкоди за допомогою маніпуляцій з амплітудою, частотою або фазою сигналу. Для цього можуть використовуватися різні техніки, наприклад, частотно-модульовані або амплітудно-модульовані сигнали, що забезпечують ефективне перекриття потрібного діапазону частот і вплив на цільову радіосистему. [11–13, 19–22]

Завдяки своїй конструкції та використанню активних елементів, генератори активних перешкод можуть забезпечувати високу потужність сигналу. Вони можуть

бути налаштовані на різні типи завад, зокрема для блокування каналів зв'язку, порушення роботи приймачів радіолокаційних систем або для запобігання ефективному використанню систем навігації, таких як GPS.

Основною перевагою генераторів активних перешкод є їх здатність досягати високої ефективності у створенні потужних завад, які важко подавити стандартними методами фільтрації або захисту. Проте ці генератори мають й свої недоліки, оскільки для їх використання необхідне відповідне джерело живлення, що може бути значним обмеженням в умовах, де важлива енергетична ефективність або мобільність. Крім того, конструкція активних генераторів перешкод потребує високої точності в налаштуванні параметрів сигналу для досягнення бажаного ефекту. [5, 11–13, 20–22]

Генератори активних перешкод ідеально підходять для використання в умовах радіоелектронної боротьби, де важливо створити потужні перешкоди, що можуть вплинути на ефективність роботи ворога. Вони не підходять для застосувань, де потрібна стабільність сигналу або його точність, оскільки їх використання вимагає активного впливу на сигнал, що може бути непередбачуваним і важко контролювати.

Генератори пасивних перешкод використовують компоненти, які не мають власного джерела енергії для створення сигналу, а генерують перешкоди шляхом пасивного впливу на радіочастотні системи. Це можуть бути різноманітні пасивні елементи, такі як антенні конструкції, фільтри, резистори або інші матеріали, що поглинають або відбивають електромагнітне випромінювання, створюючи таким чином перешкоди для роботи радіосистем. [1–5, 17, 18]

Генератори пасивних перешкод не генерують активного сигналу, як це відбувається в активних генераторах, а впливають на сигнал, що вже існує в середовищі. Це може бути досягнуто шляхом створення ефектів перешкод, таких як втрати енергії в матеріалі, відбиття радіохвиль або їх поглинання. Такий тип генератора зазвичай не потребує значної потужності для функціонування, оскільки він лише перекриває або змінює вже наявний сигнал.

Основним застосуванням генераторів пасивних перешкод є створення перешкод на радіочастотах для зменшення ефективності радіозв'язку або навігації. Вони

використовуються для перешкоджання радіоелектронним системам, не порушуючи сам сигнал активно. Наприклад, спеціальні пасивні екрани можуть використовуватися для блокування електромагнітних хвиль в певних діапазонах частот. Це може бути корисно для забезпечення безпеки, наприклад, в захищених зонах або для обмеження дії радіоприладів. [4, 5, 11–13, 19]

Генератори пасивних перешкод мають низку переваг, серед яких простота конструкції та відсутність необхідності в джерелі живлення. Вони також більш енергоефективні, оскільки не вимагають активних елементів для створення перешкод. Однак вони мають обмежену ефективність, оскільки їх вплив на сигнал є пасивним і, як правило, не може генерувати такі ж потужні перешкоди, як активні генератори.

Пасивні генератори перешкод підходять для застосувань, де важливо створювати перешкоди без необхідності в значній потужності або активному джерелі сигналу. Вони використовуються для створення перешкод в місцях з високими вимогами до енергетичної ефективності або там, де активні генератори не можуть бути використані через обмеження в джерелах живлення. Проте вони не підходять для ситуацій, коли необхідно створювати сильні, високочастотні перешкоди, які потребують великої потужності та контролю.

1.3 Роль антен у системах радіозавад

Анени є ключовим елементом генератора радіоперешкод, оскільки визначають напрямок, потужність і ефективність випромінювання сигналу. Вибір типу антени залежить від необхідної діаграми спрямованості, частотного діапазону, та умов експлуатації. Основні типи антен включають всеспрямовані, направлені та широкосмугові. Всеспрямовані антени забезпечують рівномірне випромінювання в усіх напрямках, що підходить для створення перешкод у великих зонах. Направлені антени концентрують енергію в заданому напрямку, що важливо для точкових завад. Широкосмугові антени дозволяють працювати в широкому діапазоні частот і ефективні проти різних типів сигналів. [1–5, 17, 18]

Всеспрямовані антени характеризуються рівномірним випромінюванням сигналу в усіх напрямках, що робить їх ідеальними для створення перешкод у великих зонах покриття. Вони використовуються, коли необхідно забезпечити радіозавадою великі території, наприклад, у приміщеннях або на відкритих площах, де немає конкретної спрямованості сигналу. Одним із прикладів всеспрямованих антен є штифтова антена, яка має кругову діаграму спрямованості. [1–5, 17, 18]

Коефіцієнт підсилення всеспрямованих антен зазвичай не перевищує 2 дБ, що вказує на їх порівняно низьку ефективність у порівнянні з направленими антенами, але їх простота конструкції та здатність покривати великий простір роблять їх зручними для деяких специфічних застосувань. [1–5, 17, 18]

Основними характеристиками всеспрямованої антени є її рівномірне випромінювання сигналу в горизонтальній площині, що дозволяє створювати перешкоди без точкової спрямованості. Це особливо важливо для генерації широкосмугових або випадкових перешкод, коли важливіше забезпечити рівномірний вплив на великі ділянки, ніж сконцентрувати потужність на конкретному об'єкті. [1–5, 17, 18]

З точки зору вибору антени для генератора радіоперешкод, всеспрямовані антени підходять для створення завад, які повинні покривати широкий спектр частот або простір, де необхідно забезпечити постійний рівень перешкод.

Направлені антени концентрують енергію в певному напрямку, що дозволяє досягти високої потужності сигналу на великій відстані. Вони корисні для створення перешкод в конкретній точці або на певній території. Такі антени зазвичай мають високу спрямованість, що дозволяє зосередити випромінювання в одній області, а не по всьому простору. Приклади направлених антен — це рупорні антени та фазовані решітки. [4, 5, 11–13, 19]

Рупорні антени мають форму рупора і дозволяють ефективно передавати сигнал на великі відстані з високим коефіцієнтом підсилення. Вони зазвичай використовуються в системах, де потрібен точковий вплив на відстані, наприклад, для створення перешкод для конкретного приймача або сигналу.

Фазовані решітки складаються з кількох антен, розташованих у певному порядку. Це дозволяє регулювати напрямок випромінювання, змінюючи фазу сигналу в кожній антені. Такий тип антени дозволяє більш точно контролювати зону завад.

Завдяки своїй високій спрямованості, направлені антени підходять для створення потужних перешкод на великих відстанях або для точкових атак на радіообладнання. Вони особливо корисні, коли необхідно зосередити вплив лише на одну або декілька конкретних цілей.

Широкосмугові антени здатні працювати в широкому діапазоні частот, що робить їх ефективними для подавлення різноманітних сигналів одночасно. Вони мають здатність покривати великий спектр частот, що дозволяє створювати завади на різних рівнях та діапазонах. Прикладом такої антени є логоперіодична антена, яка є популярною завдяки своїй універсальності та ефективності у широкосмуговому діапазоні. [6–10, 28, 29]

Широкосмугові антени особливо корисні в ситуаціях, коли потрібно створити радіоперешкоди для великої кількості різних частот одночасно. Це дозволяє ефективно блокувати або заважати різним типам сигналів, не зважаючи на їх частотний діапазон. Така здатність є важливою для генераторів радіоперешкод, оскільки дозволяє створювати перешкоди для різних радіосистем одночасно, що може бути корисно в умовах високої насиченості радіочастотного спектра або в ситуаціях, коли потрібно заважати багатьом системам одночасно.

Вибір широкосмугової антени для генератора радіоперешкод залежить від необхідності впливати на велику кількість різних частот, що робить її ідеальним варіантом для загального покриття широких діапазонів сигналів.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ГЕНЕРАТОРА РАДІОЗАВАД

2.1 Генератор сигналів

Генератори сигналів — це пристрої, що створюють періодичні або неперіодичні електричні сигнали з певними характеристиками, такими як частота, форма хвилі та амплітуда. Їх широко застосовують у радіотехніці, генераторах радіоперешкод і системах передачі даних. [6–10, 28, 29]

Генератори на таймерах, наприклад, на базі NE555, є універсальними та простими у використанні. Вони працюють як астабільні мультивібратори, генеруючи прямокутні імпульси з налаштовуваними частотою та скважністю. Такі генератори особливо ефективні для низько- та середньочастотних сигналів і шумових генераторів. Їх перевагами є низька вартість, компактність і гнучкість у налаштуваннях. [28–30]

LC-генератори використовують коливальні контури на котушках індуктивності (L) і конденсаторах (C) для створення сигналів. Вони здатні генерувати стабільні синусоїдальні коливання у високочастотному діапазоні, завдяки чому ідеально підходять для створення точкових високочастотних перешкод. Їх головні переваги —

висока стабільність частоти та чистота сигналу, але вони можуть бути складнішими у налаштуванні порівняно з таймерами. [28–30]

Вибір між таймером і LC-генератором залежить від вимог до частоти, стабільності сигналу та умов використання.

2.1.1 Будова та принцип роботи таймерів

Роль таймерів у генераторах радіоперешкод полягає в тому, щоб створювати імпульси або сигнали, які потім використовуються для формування перешкод. Таймери виступають як джерело базового сигналу, частота й форма якого визначають характеристики створюваних перешкод. Вони забезпечують стабільність та точність сигналу, що критично важливо для ефективної роботи генератора.

У **високочастотних генераторах** таймери використовуються для формування сигналів з частотою, достатньою для перешкод у діапазоні високих частот. Наприклад, таймер 555 у режимі астабільного мултивібратора може генерувати сигнали в діапазоні десятків кілогерц до кількох мегагерц, що підходить для створення завад у високочастотних радіоканалах.

У **низькочастотних генераторах** таймери застосовуються для генерування сигналів у діапазоні декількох герц до сотень кілогерц. Це підходить для створення перешкод у звуковому діапазоні або для радіоканалів, які працюють на низьких частотах.

У **шумових генераторах** таймери часто слугують джерелом базового сигналу, який потім модулюється для створення випадкових або квазівипадкових перешкод. Наприклад, таймер генерує імпульси, які піддаються додатковій обробці, щоб створити широкий спектр шуму.

Таким чином, вибір використання таймера залежить від потрібного частотного діапазону перешкод. Таймери надають гнучкість, стабільність і можливість налаштування частоти та форми сигналу, що робить їх універсальними для різних типів генераторів радіоперешкод.

Внутрішня побудова найпростішого таймера. Давайте розглянемо принцип роботи на прикладі внутрішньої побудови таймера NE555. Цей вид таймера ідеально підходить, якщо проект потребує мінімуму бюджетних вкладень, та ми плануємо генерувати широкосмугові перешкоди.

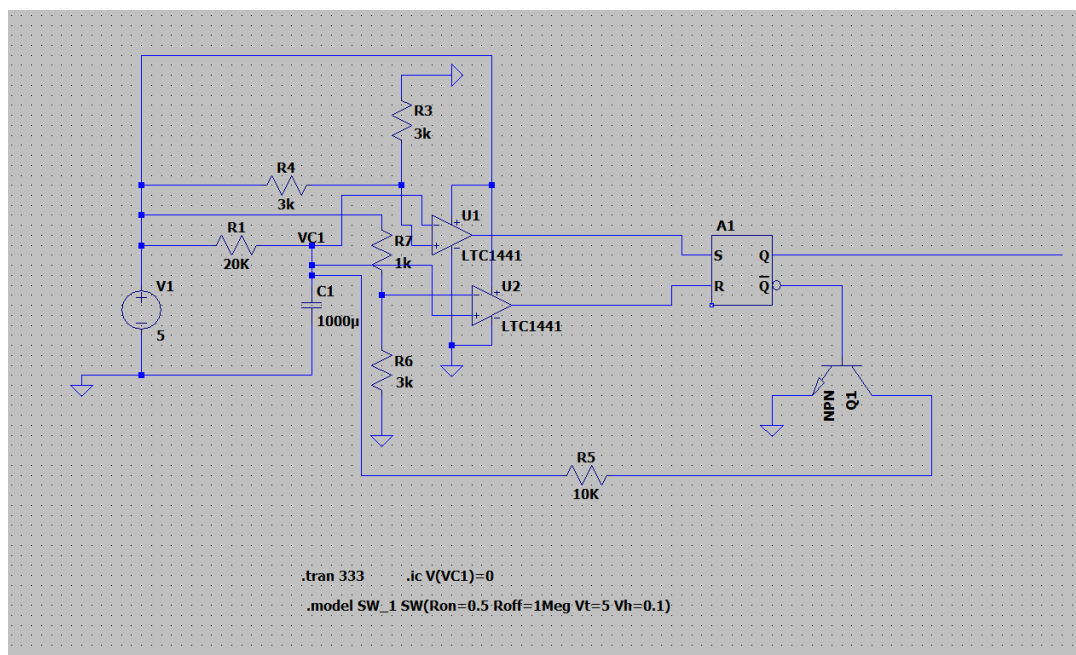


Рис.2.1 - Схема найпростішого таймера, згенерована в LTSpice

Таймер 555 складається з кількох основних внутрішніх елементів, які працюють разом для забезпечення його функціональності. Основними компонентами є два компаратори, RS-тригер, транзистори, і резистори, що визначають пороги напруги для роботи компараторів.

Перший важливий компонент — це два компаратори, які порівнюють вхідні напруги з внутрішніми пороговими рівнями. Один компаратор порівнює вхідну напругу з $1/3$ від напруги живлення, а інший — з $2/3$ від напруги живлення. Коли напруга на вході перевищує $2/3$ від напруги живлення, один компаратор генерує сигнал, що змушує тригер змінити свій стан, а коли напруга на вході зменшується до $1/3$ від напруги живлення, інший компаратор знову змінює стан тригера.

RS-тригер, який є внутрішнім елементом таймера, відповідає за збереження стану виходу. Він має два стани: високий і низький. Коли один із компараторів активується, тригер переключається між цими станами. Тригер працює таким чином, що його вихід утримується в одному з цих станів до того моменту, поки не буде отримано зовнішній або внутрішній сигнал для зміни цього стану.

Іншими важливими компонентами є два транзистори, які відповідають за підключення та відключення вихідного сигналу. Транзистори використовуються для забезпечення відповідної логіки на виході таймера. Вони керують тим, чи буде вихідний сигнал високим чи низьким залежно від поточного стану тригера.

Ще один важливий елемент — це вбудовані резистори, які визначають внутрішні пороги для компараторів, а також резистори, через які заряджається і розряджається конденсатор в астабільному і моностабільному режимах. Ці резистори важливі для точного налаштування часу, тривалості імпульсів та частоти генерації.

Всі ці елементи працюють разом для реалізації різних режимів роботи таймера 555, дозволяючи йому функціонувати як генератор імпульсів, таймер або перемикач.

Керування таймером, якщо ми користуємось ним, як компонентом. Таймер 555 має кілька входів, кожен з яких має специфічне призначення. Один з найважливіших — це вхід **"TRIGGER"** (пін 2). Цей вхід використовують для ініціалізації таймера в моношаговому режимі. При подачі імпульсу низького рівня на цей вхід (менше ніж $1/3$ від живлення), таймер переходить у активний стан, і його **вихід** (пін 3) переходить в низький рівень на певний час, визначений зовнішніми компонентами.

"RESET" (пін 4). Якщо цей вхід з'єднаний із землею, таймер скидається незалежно від інших сигналів і встановлюється в початковий стан. Це дозволяє вимкнути або скинути таймер у будь-який час. Якщо вхід **"RESET"** підключений до позитивного живлення, він не має впливу на роботу таймера.

"CONTROL VOLTAGE" (пін 5). Цей пін дозволяє змінювати пороги порівняння внутрішнього компаратора, що впливає на ширину імпульсів. Вхід має дуже

малу імпедансність і вимагає низької напруги, щоб змінити характер роботи таймера, і зазвичай використовується для точного налаштування генератора. [5, 11–13, 20–22]

"THRESHOLD", контролює рівень напруги для порівняння з внутрішнім референтним рівнем $2/3$ від живлення. Коли напруга на цьому вході перевищує цей рівень, таймер перемикається зі стану активності в неактивний.

"DISCHARGE" (пін 7). Цей пін використовується для розрядки зовнішнього конденсатора, що керує тривалістю імпульсу в моношаговому і астабільному режимах. У момент, коли таймер переходить в неактивний стан, цей пін підключається до землі, розряджаючи конденсатор через зовнішній резистор.

"OUT" показує результат роботи таймера, даючи імпульс низького або високого рівня, залежно від режиму роботи таймера. У моношаговому режимі він може бути високим на короткий період часу, після чого повертається в низький стан. В астабільному режимі пін 3 постійно змінює рівень на виході, генеруючи квадратні імпульси.

Конденсатори та резистори, підключені до пінів 6, 2, 7, визначають часові характеристики роботи таймера. Для астабільного режиму використовуються два резистори та конденсатор, щоб задати період генерації імпульсів.

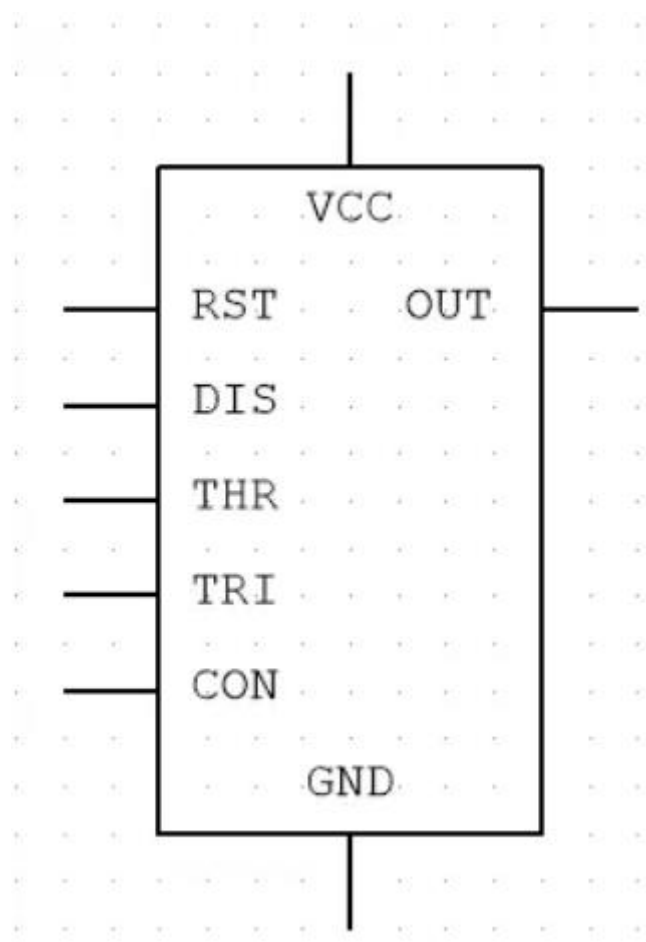


Рис.2.2 - Зображення найпростішого таймера, як компонента електричної схеми.

AD9850 є набагато більш потужним і точним інструментом для генерації сигналів і перешкод в порівнянні з таймером 555. Його здатність точно налаштовувати частоту, а також можливість роботи з високочастотними сигналами робить його ідеальним для застосування в радіочастотних системах, де потрібна висока точність і стабільність сигналу.

Використовуючи AD9850, можна генерувати сигнал з різними характеристиками, такими як змінна частота або фаза, що дає можливість створювати складні перешкоди, включаючи випадкові шуми або широкосмугові перешкоди. Це дає значну перевагу в порівнянні з простими генераторами сигналів, оскільки дозволяє детально налаштовувати параметри сигналу. Також, завдяки можливості цифрового управління, AD9850 легко інтегрується в мікроконтролерні або цифрові системи, що робить його зручним для використання в складних схемах, де потрібен точний контроль над параметрами сигналу.

У порівнянні з таймером 555, який є аналоговим компонентом для створення різних хвильових форм (наприклад, квадратних або трикутних сигналів), AD9850 є набагато більш універсальним і точним інструментом для генерації перешкод. Таймер 555 широко застосовується для створення імпульсних сигналів і для генерації різних типів хвильових форм, однак він не здатен генерувати сигнал на високих частотах, таких як ті, що досягаються за допомогою AD9850. Крім того, таймер 555 має обмежену здатність до регулювання частоти, тоді як AD9850 дозволяє точне налаштування частоти в широкому діапазоні, що робить його більш підходящим для складних задач, таких як створення радіочастотних перешкод.

Таймер 555 також не може працювати з цифровими сигналами так, як AD9850, оскільки його використання зазвичай обмежується аналоговими схемами. Для створення шумових або складних сигналів з таймером 555 потрібно додавати додаткові елементи, такі як фільтри або мікшери, що ускладнює схему та знижує точність управління сигналом. В той час як AD9850 може генерувати не тільки чисті синусоїдальні сигнали, але й бути частиною більш складних схем для модуляції сигналу та створення випадкових перешкод, що робить його набагато більш гнучким для використання у складних системах.

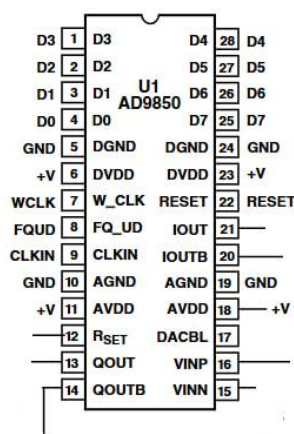


Рис.2.3 - Зображення таймера AD9850, як компонента електричної схеми

Управління таймером AD9850 здійснюється через цифрові інтерфейси, що дозволяє точно налаштовувати вихідну частоту сигналу. Це здійснюється за допомогою передачі команд через послідовний інтерфейс (SPI або інші схеми). Ключовими

елементами управління є вхідні регістри, які дозволяють встановити параметри генерації сигналу, такі як частота, фаза та амплітуда. Для налаштування частоти використовується 32-розрядний регістр, який відповідає за фіксацію частоти вихідного сигналу. Змінюючи значення цього регістра, можна отримати бажану частоту в діапазоні від кількох герц до 125 МГц, що дозволяє точно регулювати параметри сигналу.

Управління AD9850 включає в себе передачу даних через SPI, де мікроконтролер або інший цифровий пристрій відправляє серії байтів для встановлення значень регістрів. Однією з переваг такого управління є те, що він дозволяє автоматизувати процес зміни частоти або фази в реальному часі, що робить AD9850 зручним для інтеграції в складні системи. Крім того, для роботи з AD9850 не потрібні складні схеми генерації сигналів, оскільки всі функції генерації сигналів реалізовані на чіпі. Це дозволяє значно спростити проектування та знизити вимоги до складності схеми.

Процес управління також включає налаштування фазового зсуву, що дає змогу точніше коригувати фазу вихідного сигналу. За допомогою відповідних регістрів можна не тільки змінювати частоту, але й здійснювати точну настройку фази сигналу, що дозволяє досягати більшої гнучкості при використанні AD9850 в різних радіотехнічних або тестових додатках. Для генерації перешкод чи імпульсних сигналів можна використовувати ці можливості для створення різноманітних варіантів модуляції та зміни параметрів сигналу.

Крім того, управління AD9850 також передбачає використання спеціальних команд для активації певних функцій чіпа, таких як запуск генератора або скидання налаштувань. Ці команди можна відправляти через інтерфейс SPI в разі необхідності зміни режиму роботи генератора або для синхронізації з іншими компонентами системи. Цифрове управління дозволяє створювати складні комбінації сигналів, що необхідно для тестування або генерації перешкод, і все це з високою точністю та стабільністю сигналу.

Таким чином, управління AD9850 здійснюється через цифровий інтерфейс, що забезпечує точне налаштування параметрів сигналу, таких як частота, фаза та амплітуда. Це дає можливість інтегрувати чіп в складні системи, де потрібен високий рівень гнучкості і точності.

2.1.1 Альтернативні генератори (LC, кварцові, тощо)

LC-генератор на операційному підсилювачі. LC-генератор є схемою, що використовує котушку індуктивності (L) і конденсатор (C) для створення осциляцій. Операційний підсилювач (ОУ) в такій схемі забезпечує підсилення і стабільність генерації. Сигнал, отриманий від такого генератора, зазвичай має синусоїдальну форму, і його частота визначається значеннями індуктивності та ємності:

$$F = 1/(2\pi\sqrt{LC})$$

LC-генератори на операційних підсилювачах можуть бути відносно простими в реалізації, оскільки використовують лише кілька пасивних елементів (індуктивність, ємність) і операційний підсилювач. Зміна значень індуктивності або ємності дозволяє коригувати частоту генератора в широких межах. Дане рішення є економічно доступне для генерації сигналів на певних частотах.

LC-генератори на операційних підсилювачах зазвичай працюють у діапазоні низьких і середніх частот (дещо нижче від десятків мегагерц), оскільки індуктивності і ємності, які використовуються для налаштування частоти, можуть стати важкими для реалізації на високих частотах. Це може обмежити їх використання для високочастотних радіозавод (наприклад, понад 100 МГц).

Сигнал, що генерується LC-генератором, зазвичай має невелику амплітуду, і якщо потрібно, щоб цей сигнал був достатньо потужним для перешкодження або для проходження через фільтри, може знадобитися додатковий підсилювач.

Стабільність і точність: LC-генератори можуть бути чутливими до змін температури і інших факторів, що можуть впливати на індуктивність і ємність. Це може призвести до зсувів частоти, що особливо важливо, якщо потрібна стабільність сигналу.

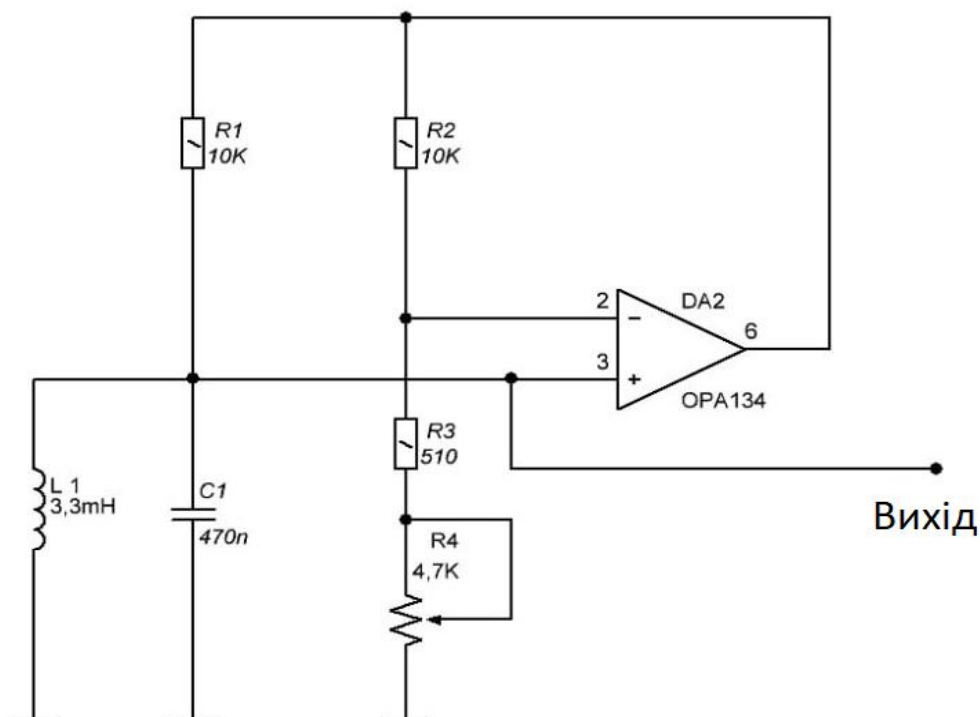


Рис.2.4 - LC-генератор на операційному підсилювачі

LC-генератор на транзисторі. Генератори на операційних підсилювачах (ОП) можуть використовуватися для створення сигналів через схеми з позитивним зворотним зв'язком, такі як генератори на основі принципу фазового зсуву. Операційний підсилювач у таких схемах забезпечує стабільне підсилення сигналу, а фазовий зсув створює умови для самопідтримки коливань. Операційні підсилювачі мають кращу стабільність частоти, що забезпечує меншу чутливість до температури та напруги, а також дає можливість генерувати сигнали з меншими спотвореннями. Переваги генератора на операційному підсилювачі включають стабільність частоти, ширший діапазон частот, менші спотворення сигналу. Однак такі генератори можуть бути складнішими у реалізації, дорожчими та вимагати додаткових елементів для стабілізації частоти. До того ж, операційні підсилювачі мають обмежену вихідну потужність, що може вимагати додаткових підсилювачів. [5, 28, 29]

Для джерела радіоперешкод LC-генератор на транзисторі буде хорошим вибором, якщо важлива потужність сигналу та простота конструкції. Такі генератори

здатні працювати в високочастотному діапазоні і генерувати сигнали з великою кількістю гармонік, що може бути корисно для створення широкого спектра перешкод. Проте, якщо необхідна стабільність частоти та чистота сигналу, то генератор на операційному підсилювачі буде більш підходящим варіантом, оскільки він дасть стабільніший і менш спотворений сигнал. Однак для створення джерела радіоперешкод з високою потужністю і простотою реалізації LC-генератор на транзисторі може бути більш підходящим варіантом.

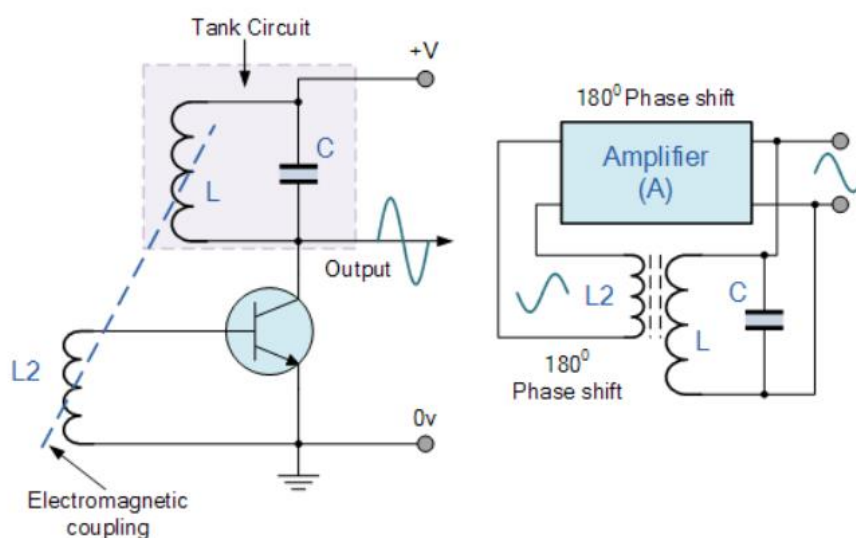


Рис.2.5 - LC-генератор на транзисторі

Генератор на тунельному діоді працює рахунок унікальної властивості цього елемента – наявності області негативного диференціального опору у його вольт-амперної характеристики. Це дозволяє організувати процес створення електричних коливань. Тунельний діод у схемі грає роль активного елемента, який компенсує втрати енергії в коливальному контурі та підтримує коливання.

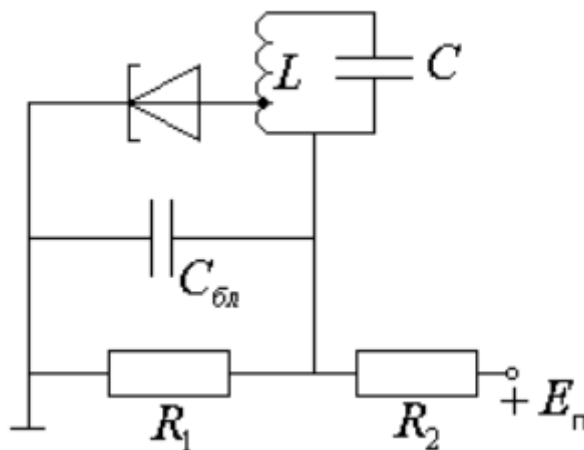


Рис.2.6 - Генератор на тунельному діоді

Для створення перешкод генератор налаштовується на певну частоту, яка збігається або перекриває діапазон частот цільового пристрою. Це дозволяє «глушити» сигнали радіозв'язку, радарів або інші системи, що використовують радіохвилі. Наприклад, якщо потрібно завадити роботі радіозв'язку в конкретному діапазоні, частота резонансного контуру генератора регулюється відповідно до цієї мети. Для створення більш широкосмугових перешкод схема може бути доповнена додатковими елементами, які розширюють спектр випромінювання.

Окрім цього, тунельні діоди мають низьке енергоспоживання, що є важливою перевагою для портативних пристроїв. Завдяки цьому генератори на їх основі можуть працювати автономно протягом тривалого часу, використовуючи компактні джерела живлення. Також вони здатні генерувати сигнали в діапазоні до кількох гігагерц, що дозволяє їм створювати перешкоди навіть для сучасних систем, таких як супутниковий зв'язок, навігація або радіолокаційні станції.

Варто зазначити, що використання генераторів радіоперешкод є суворо регламентованим через можливість негативного впливу на важливі радіотехнічні системи. Їх застосування здебільшого обмежується військовою сферою, спеціальними випробуваннями техніки або дослідницькими цілями. У будь-якому випадку створення та використання таких пристроїв вимагає дотримання чинного законодавства і суворого контролю.

Отже, Генератор на тунельному діоді має свої особливості, які визначають його переваги або недоліки порівняно з іншими типами генераторів, такими як LC-генератори на операційних підсилювачах (ОУ), транзисторах і таймерах. Розглянемо це питання детальніше.

Головною перевагою тунельного діода є його здатність працювати на дуже високих частотах, які можуть досягати кількох гігагерц. Це пов'язано з надзвичайно малою ємністю і швидкою динамікою тунельного діода. У порівнянні з LC-генераторами на операційних підсилювачах, тунельний діод значно виграє за частотним діапазоном, оскільки швидкість операційного підсилювача і його смуга пропускання обмежують можливість генерації сигналів на високих частотах, зазвичай до десятків мегагерц.

Порівняно з LC-генераторами на транзисторах, тунельний діод також має перевагу у високочастотних застосуваннях. Хоча транзистори здатні працювати на високих частотах, особливо спеціалізовані ВЧ-транзистори, їхня стабільність і характеристики при надвисоких частотах часто поступаються тунельному діоду. Крім того, схема на тунельному діоді має меншу кількість елементів, що спрощує її конструкцію та зменшує паразитні втрати на додаткових елементах.

Щодо порівняння з таймерами, такими як NE555, тунельний діод значно краще підходить для роботи на високих частотах. Таймери мають обмеження за частотою (зазвичай до декількох мегагерц) і призначені для роботи в низькочастотних або імпульсних режимах. Крім того, таймери створюють прямокутні сигнали, тоді як тунельний діод генерує гармонійні коливання, які краще підходять для радіотехнічних застосувань.

Водночас генератори на тунельному діоді мають і недоліки. Вони вимагають дуже точного налаштування робочої точки, оскільки діод повинен працювати в області негативного диференційного опору. Для цього необхідно точно підібрати напругу живлення і резистори схеми. У цьому відношенні LC-генератори на операційних підсилювачах та транзисторах мають більшу гнучкість, оскільки вони менш чутливі до параметрів живлення і простіші в налаштуванні.

Ще одним недоліком тунельного діода є його обмежене застосування через низьку вихідну потужність. У ситуаціях, коли потрібен генератор з високою вихідною потужністю, LC-генератори на транзисторах мають перевагу, оскільки транзистори можуть забезпечувати значний струм на виході. Таймери, хоч і мають обмеження за частотою, також здатні видавати більшу вихідну потужність порівняно з тунельним діодом.

Таким чином, генератор на тунельному діоді є оптимальним вибором для застосувань, де потрібна висока частота і компактність схеми. Однак для задач, що вимагають простоти налаштування, гнучкості або високої вихідної потужності, краще використовувати LC-генератори на операційних підсилювачах, транзисторах або таймерах, залежно від конкретних вимог.

2.2 Модулятор сигналу

У пристрої радіозавад модулятор найчастіше використовується для створення перешкод у вигляді «шуму», імпульсів чи гармонійних коливань, що змінюються за певним законом. Наприклад, якщо потрібно створити широкосмугову перешкоду, сигнал генератора може модулюватися таким чином, щоб його частота постійно змінювалася у межах заданого діапазону. Така частотна модуляція дозволяє одночасно блокувати кілька каналів зв'язку або радіолокаційних частот.

Амплітудна модуляція сигналу також широко застосовується для створення радіозавад. Вона дозволяє змінювати потужність випромінюваного сигналу, що особливо ефективно у випадках, коли необхідно створити перешкоди для пристроїв, чутливих до змін рівня сигналу. Імпульсна модуляція, своєю чергою, використовується для створення короткочасних, але інтенсивних перешкод, які можуть ефективно порушувати роботу радіосистем із вузькою смугою пропускання.

Залежно від конструкції пристрою, модулятор може бути реалізований на основі аналогових або цифрових компонентів. Аналогові модулятори, такі як діоди чи транзисторні ключі, прості у реалізації та забезпечують зміну сигналу без значних втрат енергії. Цифрові модулятори, з іншого боку, дозволяють створювати складні

закони модуляції, наприклад, псевдовипадкове перемикування частоти, що підвищує ефективність завад у сучасних системах зв'язку.

Для інтеграції модулятора з генератором сигналу (наприклад, генератором на тунельному діоді) зазвичай додають елементи, які впливають на роботу коливального контуру або змінюють параметри сигналу після його генерації. Наприклад, для частотної модуляції можна використовувати варикапи, які змінюють ємність у контурі в залежності від керуючої напруги. Для амплітудної модуляції підключають підсилювач з регульованим коефіцієнтом посилення.

2.2.1 Основи модуляції (АМ, ЧМ, шум)

Амплітудна модуляція полягає у зміні амплітуди несучого сигналу залежно від інформаційного сигналу. У випадку радіозавад це означає, що рівень потужності перешкоди може змінюватися в часі, що ускладнює для цільової системи виявлення і фільтрацію сигналу. Наприклад, генератор перешкод може створювати сигнал із змінною амплітудою, що викликає ефект періодичного "зникання" або "сплесків" шуму в радіоканалі.

АМ є порівняно простим у реалізації, оскільки вимагає лише зміни рівня напруги або струму на виході генератора. Для цього часто використовуються транзистори чи ключові елементи, які керуються низькочастотним сигналом. Така модуляція добре підходить для створення перешкод у радіомовленні та аналогових системах зв'язку, які чутливі до змін амплітуди сигналу.

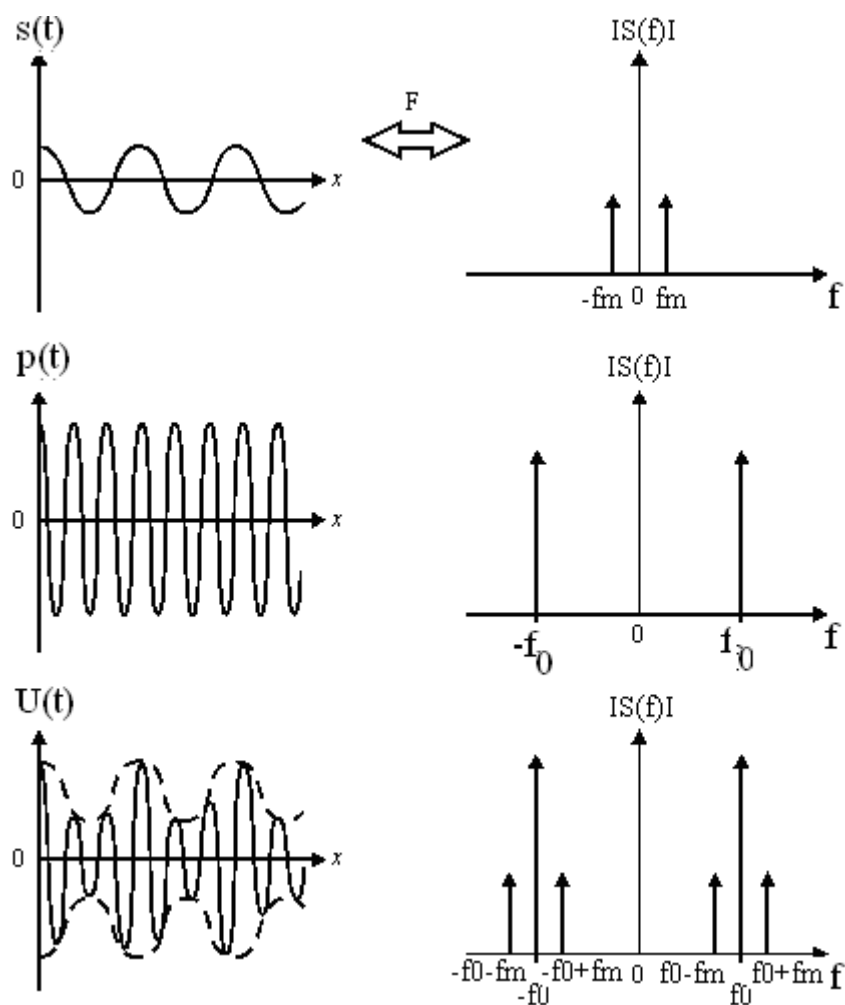


Рис.2.7 - Амплітудна модуляція

У радіоперешкодах ЧМ дозволяє створювати широкопasmові сигнали, які складаються з різних частот, що змінюються з часом. Це може ускладнити прийом сигналів на певних частотах, оскільки радіоприймач не може ефективно відфільтрувати ці змінювані частоти, що призводить до погіршення якості зв'язку. У порівнянні з амплітудною модуляцією, де сигнал має чітко визначену частоту та амплітуду, частотна модуляція дозволяє створювати більш "розмиті" та різноманітні спектри, що робить її ефективною для радіоперешкод.

Іншим важливим аспектом є те, що ЧМ може використовуватися для генерації сигналів з великим спектральним розподілом, що дає можливість перешкоджати різним частотним каналам одночасно. Це може призвести до значних труднощів в роботі систем, що використовують вузькосмугові канали або намагаються зберегти

точність частотного спектру. Одним з основних застосувань такої технології є виведення з ладу радіоелектронних засобів противника, зокрема у військових операціях, де створення перешкод на багатьох частотах може ускладнити або зовсім заблокувати зв'язок та радіолокацію.

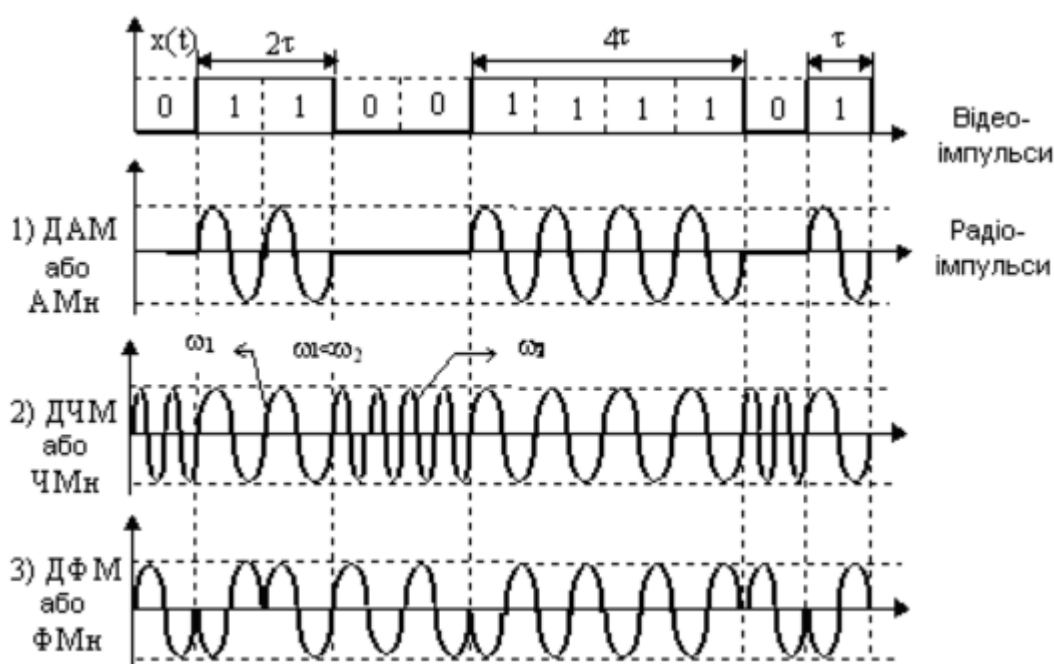


Рис.2.8 - Приклади АМ, ЧМ, ФМ коли модулюючим сигналом являється послідовність імпульсів

Амплітудна модуляція (АМ), частотна модуляція (ЧМ) та шум мають різні характеристики, які визначають їх ефективність у створенні радіоперешкод.

АМ працює шляхом зміни амплітуди носія відповідно до сигналу.

У контексті радіоперешкод, АМ може створювати сигнал з постійною частотою, але варіативною амплітудою, що може зашкодити прийому на певній частоті, особливо якщо пристрій має вузькосмуговий фільтр. Однак, таке застосування має обмеження, оскільки АМ-радіоперешкоди зберігають певну частоту, і сучасні системи часто можуть фільтрувати їх з використанням відповідних методів, таких як детектори частоти або адаптивні фільтри.

ЧМ забезпечує значно ширший спектр, оскільки зміна частоти носія може покривати широкі діапазони частот, що створює більш ефективні радіоперешкоди. Це робить ЧМ корисною для створення шумових сигналів, які не обов'язково мають чітко визначену частоту. Такий підхід значно ускладнює фільтрацію або відновлення основного сигналу, оскільки радіоприймачі часто не можуть точно визначити, на якій частоті працює сигнал перешкоди.

Шум, в свою чергу, створює абсолютно хаотичні коливання сигналу, які можуть покривати дуже широкий спектр частот. Шум, як метод радіоперешкод, є особливо потужним, оскільки він не має визначеного спектра і може ефективно зашкоджувати роботі систем з будь-якою частотою. Він може бути реалізований як білий шум, який рівномірно розподіляється по всьому частотному діапазону, або як інші типи шуму, такі як червоний чи коричневий, які мають свої особливості в спектральному розподілі. Це робить шум дуже потужним інструментом для зашкодження як радіозв'язку, так і радіолокаційним системам.

Отже, АМ є менш ефективною в порівнянні з ЧМ та шумом, оскільки вона обмежена в частотному діапазоні і може бути відфільтрована за допомогою стандартних технік. ЧМ має ширший спектр впливу, що робить її більш ефективною для зашкодження прийому сигналів, а шум є найпотужнішим інструментом, оскільки може охоплювати весь частотний діапазон, не маючи чітко визначеного спектра, і зашкоджувати багатьом системам одночасно.

2.2.1 Варіанти реалізації модуляторів

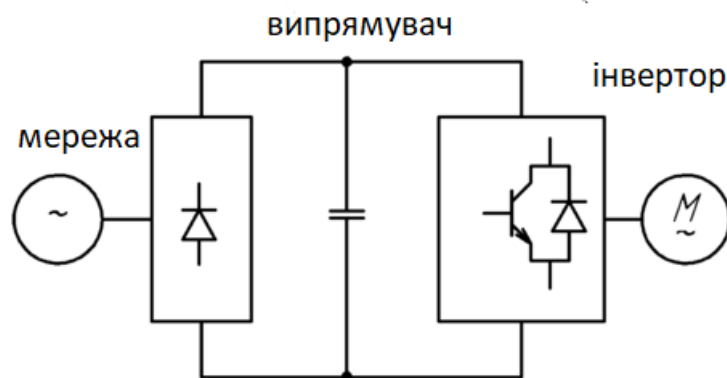


Рис.2.8 - Функціональна схема перетворювача частоти, виконаного за схемою джерела напруги

Частотний перетворювач, як показано у вашій схемі, має основну функцію перетворення змінної напруги з мережі на постійну (випрямляч) і назад у змінну (інвертор) з керованою частотою. У радіозавадних пристроях такий підхід може використовуватись як основна частина схеми для модуляції та випромінювання сигналу.

Принцип роботи. Вхідна змінна напруга мережі випрямляється і згладжується за допомогою конденсатора. Це створює стабільне джерело постійного струму для живлення інвертора.

Частотний перетворювач, представлений у вашій схемі, має основну функцію перетворення змінної напруги з мережі на постійну за допомогою випрямляча і назад у змінну через інвертор з можливістю керування частотою. У пристроях для створення радіозавад такий підхід може бути корисним для модуляції та випромінювання сигналів. Основні етапи його роботи включають випрямлення вхідної змінної напруги, її згладжування накопичувальним конденсатором для забезпечення стабільної постійної напруги, роботу інвертора для генерації змінного сигналу із заданими параметрами частоти, амплітуди і форми, а також передачу цього сигналу на навантаження, яким у разі радіозавад може бути антена або резонансний контур. У такій системі випрямляч створює постійне джерело живлення для інвертора, а накопичувальний конденсатор згладжує пульсації напруги, запобігаючи її просіданню при швидких змінах навантаження. Інвертор генерує змінний сигнал, частота якого може керуватись, що дозволяє створювати інтерференційні хвилі або широкий

спектр частот для завад. У ролі навантаження використовується спеціалізований випромінювальний елемент, наприклад, антена.

Частотний перетворювач може застосовуватись для частотної модуляції, де інвертор генерує змінний сигнал із частотою, що змінюється в часі. Це дозволяє створювати завади в заданому частотному діапазоні. Також його можна використовувати для генерації широкосмугових завад у разі підключення шумового генератора, або для створення імпульсних завад за рахунок модифікації вихідного сигналу на високі амплітуди. Перевагами такої схеми є гнучкість у виборі частот вихідного сигналу, простота реалізації стандартної схеми перетворювача, можливість додавання модуляції, а також масштабованість, що дозволяє адаптувати пристрій для роботи з різними навантаженнями. Проте є й суттєві недоліки, зокрема обмежений частотний діапазон, оскільки стандартний інвертор зазвичай працює на частотах від 50 Гц до кількох кГц, що недостатньо для багатьох видів радіозавад. Також схеми на основі частотного перетворювача демонструють низьку ефективність у високочастотному діапазоні через обмеження елементів, таких як транзистори інвертора. Крім того, якщо пристрій не буде належно ізольований, він може створювати небажані перешкоди в електромережі. Іншою проблемою є складність охолодження при роботі з високими навантаженнями або частотами, оскільки елементи схеми можуть нагріватися, що знижує їхню ефективність. Для застосування у високочастотному діапазоні необхідно вносити додаткові модифікації, такі як інтеграція шумових генераторів, фільтрів та антен, що значно ускладнює конструкцію.

Ефективність. Ця схема буде ефективною у випадках, коли потрібно створити генератор завад для низькочастотного діапазону або для локальних завад у системах, що працюють із частотами до кількох десятків кГц. Вона також підходить для навчальних цілей або тестування базових систем модуляції. Однак для створення ефективного генератора радіозавад у високочастотному діапазоні, наприклад для радіо, Wi-Fi або мобільного зв'язку, краще використовувати спеціалізовані високочастотні генератори, такі як кварцові генератори або синтезатори частот, які забезпечують більш точний і стабільний сигнал у необхідному діапазоні. [5, 28, 29]

АЦП як спосіб модуляції. Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) є ключовим елементом у багатьох електронних системах, які працюють із сигналами, зокрема в пристроях радіозавод. Його основна функція полягає у перетворенні аналогового сигналу на цифровий, щоб забезпечити можливість подальшої обробки сигналу мікроконтролером, цифровим сигнальним процесором або іншими цифровими схемами. На поданій схемі зображено АЦП на основі архітектури послідовного наближення (SAR ADC), яка є однією з найефективніших для досягнення високої точності та швидкості. SAR ADC працює за принципом поступового порівняння вхідного аналогового сигналу зі значеннями, які генерує цифро-аналоговий перетворювач (DAC).

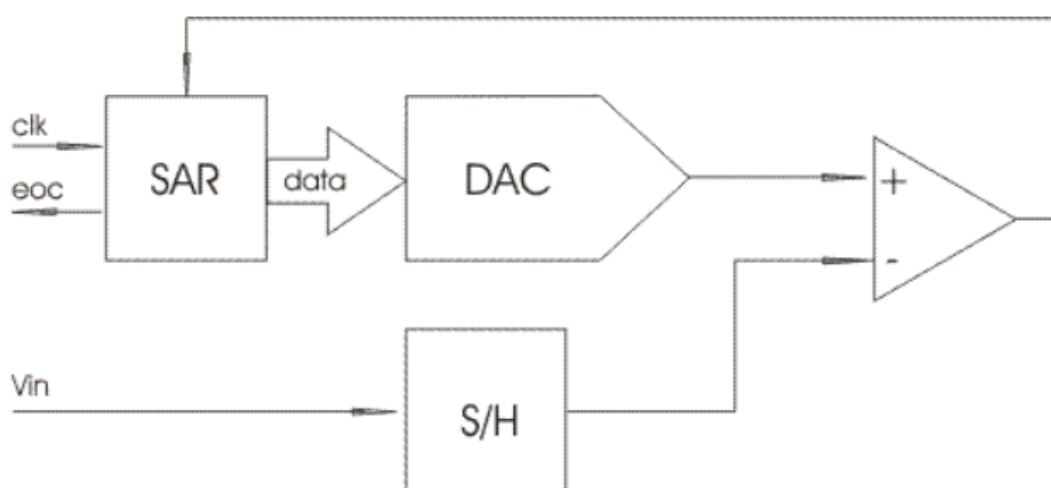


Рис.2.9 - Структурна схема АЦП послідовного наближення.

На схемі показано основні компоненти: блок SAR, цифро-аналоговий перетворювач, компаратор, блок вибірки і утримання (S/H) та інтерфейс для синхронізації (сигнали *clk* і *eoc*). Блок вибірки і утримання забезпечує стабільність вхідного сигналу під час його перетворення. SAR послідовно генерує цифрові дані, які передаються на DAC, а DAC створює відповідний аналоговий сигнал. Цей сигнал порівню-

ється компаратором із вхідним, і на основі результату порівняння SAR уточнює кожен біт цифрового представлення вхідного сигналу. Процес триває до завершення визначення повного цифрового коду, який відповідає вхідному сигналу.

Застосування такої схеми в пристроях радіозавод базується на можливості перетворення сигналів із широкого діапазону частот, що дозволяє аналізувати, модулювати чи демодулювати сигнали перед їхнім подальшим використанням для генерації радіозавод. Це важливо для адаптації пристрою до змінних умов роботи, таких як необхідність впливати на різні діапазони частот. Використання SAR ADC забезпечує високу точність, яка є критичною для роботи з вузькосмуговими сигналами або сигналами високої складності.

Основними перевагами використання SAR ADC є висока енергоефективність і компактність, що дозволяє інтегрувати його в портативні або високопродуктивні системи. До недоліків можна віднести те, що швидкість перетворення може бути нижчою, ніж у інших архітектур, таких як перетворювачі на основі флеш-технології, однак для задач радіозавод цього зазвичай достатньо. В контексті побудови генераторів радіозавод ця схема дозволяє створювати пристрої, які можуть адаптивно генерувати заводи із заданими параметрами, включаючи амплітуду, частоту та фазу сигналу. SAR ADC забезпечує точне вимірювання вхідних сигналів, що критично для аналізу і подальшої обробки сигналів у реальному часі.

2.3 Підсилювач потужності

У контексті радіозавод підсилювач потужності повинен працювати в широкому діапазоні частот і забезпечувати необхідну лінійність або, в деяких випадках, кероване спотворення для досягнення заданих характеристик заводового сигналу. Його параметри, такі як коефіцієнт підсилення, максимальна вихідна потужність та ефективність, критично впливають на дальність та ефективність заводового впливу. Наприклад, високоефективні підсилювачі на основі транзисторів класу АВ або D часто застосовуються для забезпечення високої потужності при низьких енергетичних витратах. Водночас важливо враховувати теплові характеристики підсилювача, оскі-

льки при високих рівнях потужності виділяється значна кількість тепла, яка потребує належного відведення. Підсилювач потужності є критично важливим для перетворення теоретично сформованого сигналу у практичний вплив, що робить його одним із ключових елементів у конструкції генератора радіозавод. [5, 28, 29]

2.3.1 Принципи підсилення сигналу

Принципи підсилення сигналу в контексті побудови радіоперешкод спрямовані на забезпечення достатньої потужності випромінювання заводового сигналу для ефективного впливу на роботу цільових радіопристроїв. У такій системі підсилювач сигналу виконує функцію енергетичного буфера, який підсилює амплітуду сформованого сигналу до рівня, необхідного для подальшого випромінювання через антену або інший випромінювальний елемент.

Основним принципом є використання активних елементів, таких як біполярні або польові транзистори, які працюють у режимах високої потужності. Вибір робочого класу підсилювача залежить від типу радіоперешкоди. Наприклад, підсилювачі класу А забезпечують високу лінійність і точну передачу сигналу, що важливо для гармонічних або вузькосмугових завод. Для широкосмугових радіоперешкод зазвичай застосовуються підсилювачі класу АВ або D, які забезпечують високу потужність і ефективність при помірному рівні нелінійних спотворень.

Особливе значення має здатність підсилювача працювати в широкому частотному діапазоні, оскільки радіоперешкоди можуть бути спрямовані на пристрої з різними частотними характеристиками. Це вимагає використання широкосмугових підсилювачів із стабільним коефіцієнтом підсилення на всьому діапазоні частот.

Ще одним важливим аспектом є управління тепловими втратами. У підсилювачах для радіоперешкод, що працюють на високій потужності, генерується значна кількість тепла, яка потребує ефективного відведення за допомогою радіаторів або активного охолодження. Неврахування цього аспекту може призвести до перегріву та виходу з ладу підсилювача, що особливо критично для пристроїв радіоперешкод, які працюють у безперервному режимі.

2.3.2 Вибір підсилювача для застосування в схемі генератора

Для побудови генератора радіоперешкод зазвичай використовують потужні транзисторні підсилювачі, які можуть працювати в широкому діапазоні частот і забезпечувати необхідну потужність на виході. Вибір підсилювача залежить від кількох факторів. По-перше, важливо визначити частотний діапазон, на якому буде працювати генератор. Якщо він має працювати в певному діапазоні частот (наприклад, УВЧ або СВЧ), потрібно вибирати підсилювачі, які можуть ефективно працювати на цих частотах.

Для високочастотних сигналів краще використовувати спеціалізовані підсилювачі для СВЧ. По-друге, для генератора радіоперешкод підходять лінійні підсилювачі (Class A, AB), але вони менш ефективні за підсилювачі класів B, C чи D, коли мова йде про високу потужність. Підсилювачі класу C підходять краще, оскільки вони ефективні для високочастотних коливань і дають можливість отримувати вищі вихідні потужності при меншому енергоспоживанні. Третій фактор — вихідна потужність.

Для радіоперешкод зазвичай потрібен підсилювач, який може забезпечити вихідну потужність від кількох ват до кількох десятків ват, залежно від мети. Зазвичай потужність 10–50 Вт достатня для більшості застосувань. По-четверте, для радіочастотних підсилювачів краще використовувати кремнієві або арсенід галію (GaAs) транзистори, якщо потрібно працювати в СВЧ-діапазоні. Для більш широких частотних діапазонів ефективними будуть транзистори на основі галій-нітридних (GaN) матеріалів, які забезпечують високу потужність і працюють на високих частотах. Останнім варіантом є використання інтегральних підсилювачів або готових модулів підсилювачів, наприклад, на базі LM3886, TDA2030 для низькочастотних генераторів або спеціалізованих RF-підсилювачів для високих частот.

Для побудови генератора радіоперешкод найкраще підходять підсилювачі класу C, які мають високу ефективність і можуть забезпечити необхідну потужність в радіочастотних діапазонах.

Для побудови генератора радіоперешкод можна використовувати різні типи підсилювачів в залежності від вимог до частоти, потужності та бюджету.

IRF510 — це N-канальний MOSFET, який добре підходить для високочастотних сигналів і має високу ефективність, особливо коли він працює в класі С. Він є доступним і дешевим, але його потужність обмежена, тому для застосувань, що вимагають більше ніж 100 Вт, він може бути неефективним. Також для стабільної роботи на високих частотах його потрібно налаштовувати.

2N2222 — це популярний NPN транзистор, який широко використовується в радіoeлектроніці для низькочастотних до середніх частот (до 250 МГц). Він дешевий і доступний, але має обмежену потужність (до 0,8 Вт), тому для СВЧ застосувань може потребувати додаткових схем для стабільної роботи.

TDA2030 — інтегральний аудіопідсилювач, який має високу потужність (до 35 Вт) і добре підходить для низькочастотних генераторів радіоперешкод. Він має вбудовані захисти від перегріву та короткого замикання, але не підходить для високочастотних застосувань, оскільки його ефективність обмежена низькими частотами.

LM3886 — ще один інтегральний підсилювач з високою потужністю (до 68 Вт на канал). Він забезпечує стабільну роботу з хорошою якістю сигналу і підходить для аудіо та низькочастотних застосувань, але для радіочастотних генераторів він є менш ефективним через свою низьку ефективність на високих частотах.

MRF150 — транзистор на основі кремнію, що забезпечує потужність до 150 Вт. Він ефективно працює в СВЧ-діапазоні (до 150 МГц) і є хорошим вибором для високочастотних генераторів перешкод. Однак він досить дорогий і потребує додаткового охолодження через високе тепловиділення.

ВТА10 — тиристор, який використовується для великих потужностей (до 10 кВт). Він добре підходить для створення імпульсних генераторів з високою потужністю, але не підходить для високочастотних застосувань і є складним у налаштуванні.

MHW635 — високопотужний радіочастотний транзистор, який може працювати з потужністю понад 100 Вт і підходить для широкого спектра радіочастот,

включаючи СВЧ. Він є ефективним для генераторів радіоперешкод, але також має високу вартість і потребує точного налаштування для оптимальної роботи на потрібних частотах.

GaN транзистори (наприклад, RFH1P2032, TGF2023) — ці транзистори на основі галій-нітридних матеріалів забезпечують високу потужність і ефективність на дуже високих частотах, до 30 ГГц. Вони ідеально підходять для сучасних радіочастотних систем, але мають дуже високу ціну і потребують спеціалізованих схем для налаштування та роботи.

Схемотехнічні вимоги підсилювачів, підходящих для генератора радіоперешкод:

- Для високочастотних застосувань (СВЧ або УВЧ) зазвичай використовують транзистори на основі кремнію (Si) або арсенід галію (GaAs). Транзистори GaAs забезпечують високі характеристики на високих частотах і мають вищу потужність у порівнянні з кремнієвими.
- Для дуже високих частот (наприклад, в СВЧ або мікрохвильових діапазонах) використовують транзистори на основі галій-нітридних (GaN) матеріалів, які можуть забезпечити ефективну роботу на частотах до кількох десятків ГГц.
- Підсилювачі для генераторів радіоперешкод повинні мати високу ефективність, оскільки вони працюватимуть на великих потужностях і при високих частотах. Схеми, що забезпечують низькі енергетичні втрати, допомагають забезпечити стабільну і тривалу роботу генератора.
- У схемах генераторів радіоперешкод часто використовуються резонансні контури, які дозволяють генерувати сигнали на конкретних частотах або з певними властивостями. Це може бути корисно для направлення радіоперешкод у конкретний частотний діапазон.

2.4 Фільтри та узгоджувальні пристрої

Фільтри та узгоджувальні пристрої є ключовими елементами в конструкції генераторів радіоперешкод, оскільки вони відіграють важливу роль у формуванні та управлінні частотним спектром генерованих сигналів. Завдяки цим компонентам можна знижувати втрати потужності, обмежувати перешкоди для інших систем та забезпечувати стабільність роботи. Фільтри дозволяють обмежити або усунути частоти, що не є необхідними для конкретного застосування, а узгоджувальні пристрої налаштовують імпеданс між різними компонентами схеми, забезпечуючи максимальну передачу потужності.

2.4 Роль фільтрів у генераторі радіозавад

Фільтри в контексті генераторів радіоперешкод відіграють ключову роль у формуванні та контролюванні частотного спектру генерованих сигналів. Вони дозволяють відсікти непотрібні частоти, що можуть спричинити зайві перешкоди або втрати для інших систем. В залежності від конкретних вимог до генератора, фільтри можуть бути низькочастотними, високочастотними або смуговими. Наприклад, низькочастотний фільтр (LPF) дозволяє пропускати тільки низькочастотні сигнали, що може бути корисно для блокування високочастотних шумів, тоді як високочастотний фільтр (HPF) усуває низькочастотні компоненти, залишаючи лише високочастотні частоти, необхідні для роботи генератора. Ці фільтри не тільки мінімізують негативний вплив непотрібних частот на роботу інших систем, але й забезпечують чистоту сигналу, що генерується, покращуючи його якість та знижуючи рівень радіоперешкод.

2.5 Вузли узгодження та їхня конструкція

Вузли узгодження в схемах генераторів імпульсів — це елементи, які використовуються для налаштування імпедансу між різними частинами електронної схеми, зокрема між виходом генератора та антеною або навантаженням. Вони мають крити-

чне значення для ефективної передачі сигналу, оскільки дозволяють мінімізувати відображення потужності, що може призвести до втрат енергії і погіршення роботи системи.

У схемах генераторів імпульсів, вузли узгодження виконують кілька важливих функцій. По-перше, вони допомагають забезпечити максимальний коефіцієнт передачі потужності, що означає, що весь сигнал, що генерується, буде максимально ефективно переданий до навантаження або антени, без втрат на відображення. По-друге, ці пристрої запобігають утворенню стоячих хвиль, які можуть виникати, коли імпеданс джерела та навантаження не збігаються, що призводить до часткової втрати сигналу та зниження ефективності. Вузли узгодження також можуть бути використані для підтримки стабільності роботи генератора імпульсів, особливо в високочастотних схемах, де навіть незначні відхилення в імпедансі можуть суттєво вплинути на характеристики сигналу.

Резистивні узгоджувальні мережі: Це найпростіший тип узгодження, що використовує резистори для налаштування імпедансу між компонентами схеми. Резистивний вузол узгодження дозволяє уникнути відображення сигналу, особливо у випадках, коли потрібно обмежити потужність або забезпечити простоту конструкції. Такі узгоджувальні мережі зазвичай виглядають як прості послідовні або паралельні резистори, що підключаються між виходом підсилювача та навантаженням (антеною або іншим компонентом).

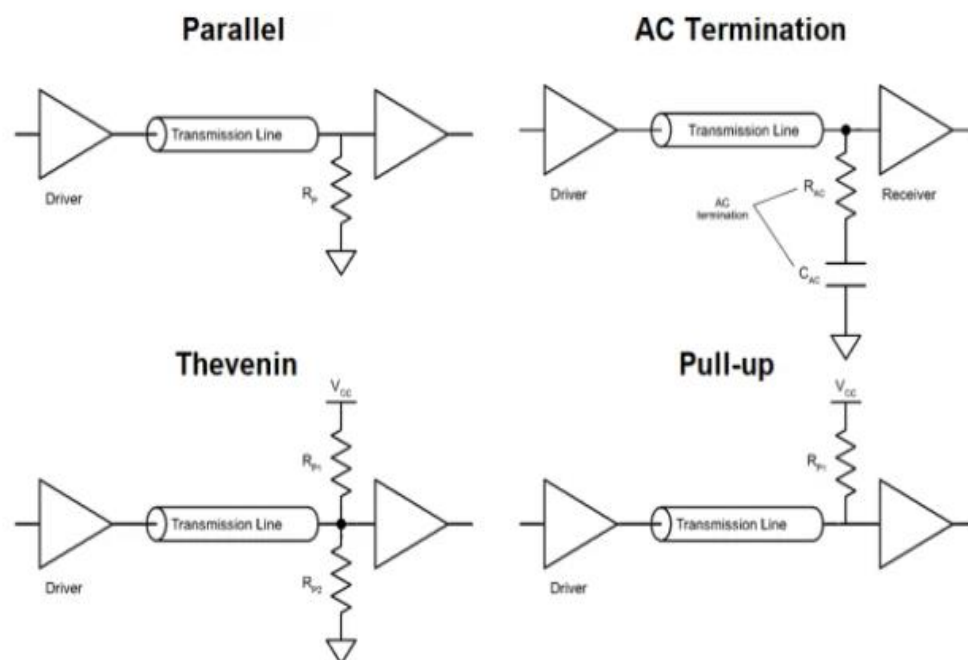


Рис.2.9 - Типи узгоджувальних резисторів

Схема "Parallel" (Паралельне з'єднання): Паралельне з'єднання резисторів може бути використане для створення узгодження імпедансу між різними елементами схеми. В цьому випадку резистори, підключені паралельно, можуть використовуватися для досягнення бажаного імпедансу на виході або для зменшення відображення потужності між різними компонентами. Паралельні резистори зазвичай застосовуються, коли потрібно створити імпеданс, що відповідає характеристикам навантаження.

Схема "Pull-up" (Резистор на підтягування): Резистори "Pull-up" використовуються для підключення до високого рівня (наприклад, до джерела живлення) для підтримки певного потенціалу на вході. У контексті генератора радіоперешкод, схема "Pull-up" може бути корисною, якщо потрібно забезпечити стабільність сигналу в певній частині схеми, зокрема для контролю за логічними рівнями в цифрових схемах або для налаштування напруги на виході.

Схема "Thevenin" (Теорема Тевенена): Схема за теоремою Тевенена може бути застосована для спрощення розрахунків і моделювання узгодження імпедансу. Вона дозволяє замінити складну частину схеми еквівалентним джерелом напруги та

імпедансом. Це дозволяє легко визначити, як схема буде взаємодіяти з іншими елементами і допомагає в налаштуванні імпедансу для мінімізації відображення сигналу.

Схема "AC-Terminator" Основна відмінність AC-Terminator полягає в його специфічному використанні для зменшення відображення сигналів у лініях передачі, в той час як інші схеми більш орієнтовані на стабілізацію логічних рівнів або узгодження між компонентами схеми.

Трансформаторні вузли узгодження. Трансформаторні вузли узгодження та резистивні узгоджувальні мережі є двома різними підходами до узгодження імпедансу в електронних схемах, зокрема в контексті побудови генератора радіоперешкод. Кожен з цих підходів має свої переваги та недоліки залежно від специфіки застосування.

Трансформатори здатні працювати на широкому діапазоні частот, що робить їх ідеальними для радіочастотних застосувань, таких як генератори радіоперешкод. Вони можуть ефективно працювати навіть на високих частотах, де інші методи узгодження (наприклад, резистори) можуть втрачати ефективність.

Трансформатори зазвичай мають менші втрати потужності порівняно з резистивними вузлами узгодження, оскільки вони не розсіюють потужність на резисторах.

Трансформатори дозволяють гнучко налаштовувати відношення напруги та потужності між різними компонентами, що особливо важливо для точного узгодження імпедансу в складних системах.

Принцип роботи трансформаторних вузлів узгодження полягає в тому, що трансформатор використовується для адаптації імпедансу між різними компонентами схеми. Він забезпечує відповідне перетворення рівня напруги або струму на різних частинах ланцюга, зберігаючи енергію і запобігаючи відображенню сигналів. Це досягається за рахунок використання індуктивної зв'язку між первинною та вторинною обмотками трансформатора, що дозволяє коригувати співвідношення імпедансів між джерелом сигналу, лінією передачі та навантаженням. У свою чергу, **резистивні узгоджувальні мережі** працюють шляхом підключення резисторів до схеми для вста-

новлення відповідного значення імпедансу, що дозволяє зменшити відображення сигналу і забезпечити коректну передачу енергії між компонентами, хоча і з більшими втратами потужності, особливо на високих частотах.

ВИСНОВКИ

У рамках дипломної роботи було проведено детальний аналіз сучасних підходів до створення генераторів радіозавад, які є ключовими компонентами в системах радіоелектронної боротьби. Генератори радіозавад забезпечують ефективне придушення ворожих радіоелектронних систем, таких як зв'язок, навігація та радарні системи, через генерацію перешкод на різних частотах. У роботі було розглянуто типи генераторів, методи їх модуляції, а також важливість підбору відповідних компонентів для забезпечення їх ефективної роботи. [11–16, 20–27]

Основними елементами генератора радіозавад є генератори сигналів, модулятори, підсилювачі потужності, фільтри, узгоджувальні пристрої та антенна система. Аналіз кожного з цих компонентів показав їхню важливість для забезпечення стабільності та ефективності роботи генератора. У розділі про генератори сигналів були розглянуті принципи побудови та роботи таймерів і альтернативних генераторів, таких як LC- та кварцові генератори. Дослідження модуляторів дозволило виділити основні методи модуляції, зокрема амплітудну, частотну модуляцію та шумові модуляції, а також їхні варіанти реалізації. [1–5, 17–19]

Вибір підсилювача потужності для генератора є критичним, оскільки він визначає здатність системи створювати необхідну потужність на виході. Було розглянуто принципи підсилення сигналу, а також основні характеристики підсилювачів, які використовуються в радіозавадних генераторах. Фільтри і узгоджувальні пристрої, які забезпечують коректну роботу системи, були також детально проаналізовані. Підбір правильних фільтрів і узгоджувальних мереж є важливим для досягнення високої ефективності перешкод.

Антенна система є останнім, але не менш важливим компонентом генератора радіозавад. Вона безпосередньо впливає на розповсюдження сигналу та його ефективність на різних частотах. Розрахунки антен для радіозавад дозволяють оптимізувати їх характеристики відповідно до конкретних вимог. [1–5, 17–19]

У підсумку, дана робота дозволяє оцінити різноманітні аспекти створення генераторів радіозавад, їхніх компонентів і принципів роботи. Знання та аналіз цих елементів є важливим для удосконалення та розвитку радіоелектронної боротьби в умовах сучасних загроз.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Balanis C. A. Antenna Theory: Analysis and Design. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2016. 1096 p.
2. Stutzman W. L., Thiele G. A. Antenna Theory and Design. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2012. 848 p.
3. Kraus J. D., Marhefka R. J. Antennas for All Applications. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2002. 936 p.
4. Balanis C. A. Advanced Engineering Electromagnetics. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2012. 1040 p.
5. Pozar D. M. Microwave Engineering. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2012. 752 p.
6. Rappaport T. S. Wireless Communications: Principles and Practice. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 707 p.
7. Haykin S. Communication Systems. 5th ed. Hoboken: Wiley, 2009. 816 p.
8. Proakis J. G., Salehi M. Digital Communications. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2008. 1150 p.
9. Sklar B. Digital Communications: Fundamentals and Applications. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. 1079 p.
10. Lathi B. P., Ding Z. Modern Digital and Analog Communication Systems. 4th ed. New York: Oxford University Press, 2009. 928 p.
11. Paul C. R. Introduction to Electromagnetic Compatibility. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2006. 1016 p.
12. Ott H. W. Electromagnetic Compatibility Engineering. Hoboken: Wiley, 2009. 872 p.
13. Williams T. EMC for Product Designers. 5th ed. Oxford: Newnes, 2017. 498 p.
14. ITU Radio Regulations. Geneva: International Telecommunication Union, 2024.
15. ITU-R SM.329-13. Unwanted emissions in the spurious domain. Geneva: International Telecommunication Union, 2012.
16. ITU-R SM.1753-2. Methods for measurements of radio noise. Geneva: International Telecommunication Union, 2012.

17. IEEE Std 145-2013. IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas. New York: IEEE, 2014.
18. IEEE Std 149-2021. IEEE Recommended Practice for Antenna Measurements. New York: IEEE, 2022.
19. IEEE Std 299-2006. IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures. New York: IEEE, 2007.
20. CISPR 32:2015. Electromagnetic compatibility of multimedia equipment — Emission requirements. Geneva: IEC, 2015.
21. IEC 61000-4-3:2020. Electromagnetic compatibility (EMC) — Testing and measurement techniques — Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test. Geneva: IEC, 2020.
22. IEC 61000-4-6:2023. Electromagnetic compatibility (EMC) — Testing and measurement techniques — Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields. Geneva: IEC, 2023.
23. NIST SP 800-53 Rev. 5. Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2020. 492 p.
24. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements. Geneva: ISO, 2022.
25. ISO/IEC 27002:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security controls. Geneva: ISO, 2022.
26. ДСТУ ISO/IEC 27001:2023. Інформаційна безпека, кібербезпека та захист приватності. Системи керування інформаційною безпекою. Вимоги. Київ: ДП «Укр-НДНЦ», 2023.
27. Anderson R. Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems. 3rd ed. Indianapolis: Wiley, 2020. 1232 p.
28. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. 1224 p.
29. Sedra A. S., Smith K. C. Microelectronic Circuits. 7th ed. New York: Oxford University Press, 2015. 1488 p.

30. Texas Instruments. LMx55x, NE555, SA555, SE555 Precision Timers: Data Sheet. Dallas: Texas Instruments, 2015. 42 p.

Кваліфікаційна робота здобувача освітнього ступеня «Магістр»

АНТЕННІ СИСТЕМИ ПРИСТРОЇВ ПРОТИДІЇ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ ЧЕРЕЗ РАДІОКАНАЛ

Спеціальність: 125 - Кібербезпека та захист інформації

Виконав: Ілля САВОТІКОВ

Керівник: к.т.н. Олексій ГАВРИЛЕНКО

Київ - 2025

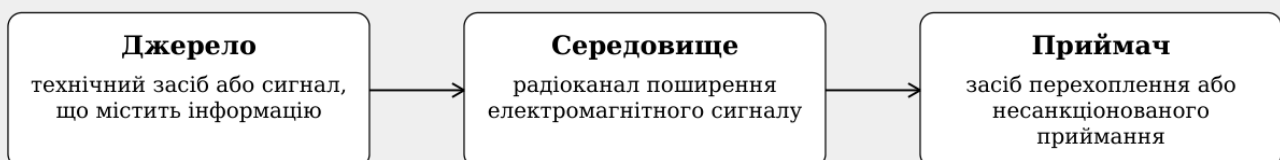
АКТУАЛЬНІСТЬ, ОБ'ЄКТ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2

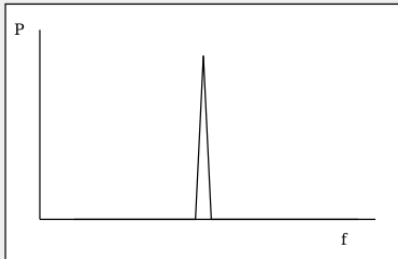
- Актуальність роботи пов'язана з потребою захисту інформації від витоку через радіоканал та зростанням ролі засобів радіоелектронної протидії.
- Об'єкт дослідження - генератори радіозавад і антенні системи, що застосовуються для протидії витоку інформації через радіоканал.
- Мета роботи - дослідження сучасних підходів до створення генераторів радіозавад та визначення ключових елементів їх побудови.
- Основні завдання: аналіз типів генераторів, методів модуляції, підсилювачів, фільтрів, узгоджувальних пристроїв і антенних систем.



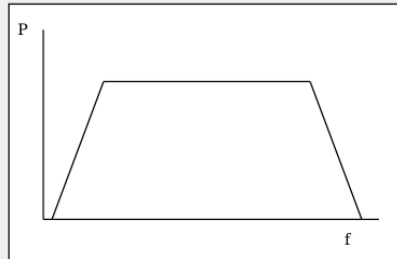
- У першому розділі розглянуто сучасні підходи до створення генераторів радіозавад, їх класифікацію та призначення.
- У другому розділі проаналізовано основні функціональні елементи: генератор сигналів, модулятор, підсилювач потужності, фільтри, вузли узгодження та антену.
- Підсумкові результати спрямовані на обґрунтування вибору антенної системи й узгоджених елементів пристрою протидії витоку інформації.



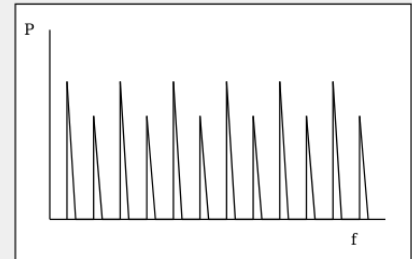
- Радіоканал розглядається як середовище, через яке можливе неконтрольоване поширення небезпечного сигналу.
- Протидія витоку передбачає не лише створення завад, а й правильний вибір частотного діапазону, потужності, спрямованості та умов застосування.
- Антенна система визначає, куди саме буде спрямована енергія сигналу та наскільки ефективно вона буде використана.



Вузькосмугові перешкоди



Широкосмугові перешкоди



Імпульсні перешкоди

- Вузькосмугові генератори концентрують енергію в обмеженій смузі частот і застосовуються для точкового впливу на заданий частотний діапазон.
- Широкосмугові генератори формують завадний сигнал у широкому спектрі частот та можуть впливати на декілька каналів одночасно.
- Імпульсні генератори формують короточасні сигнали підвищеної інтенсивності, що доцільно для спеціалізованих режимів впливу.

МЕТОДИ МОДУЛЯЦІЇ В ГЕНЕРАТОРАХ РАДІОПЕРЕШКОД

АМ



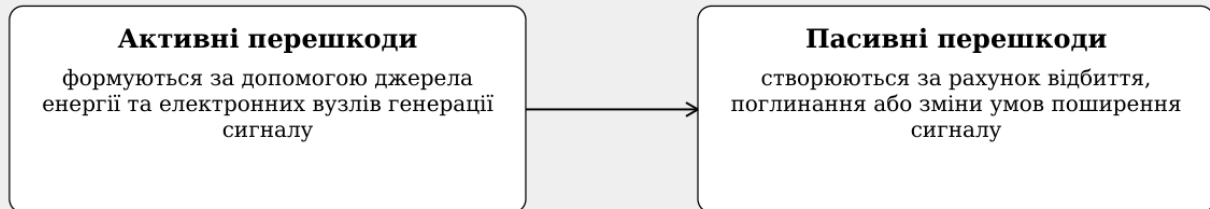
FM/PM



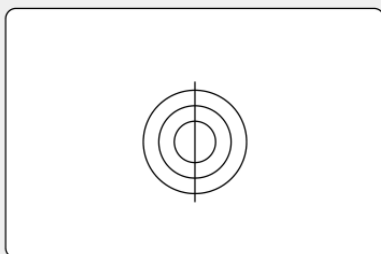
Шумова



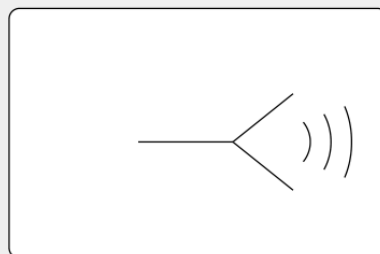
- Амплітудна модуляція змінює рівень несучого сигналу та може застосовуватись для імітації або формування завадних коливань.
- Частотна і фазова модуляції змінюють відповідно частоту або фазу сигналу, що підвищує гнучкість формування завади.
- Шумова модуляція забезпечує випадковий або квазівипадковий характер сигналу та використовується для широкосмугового впливу.
- У роботі порівнюються методи модуляції за спектром, стабільністю, складністю реалізації та сферою застосування.



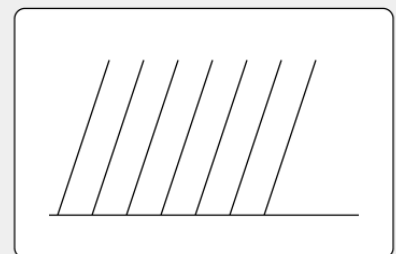
- Активні засоби забезпечують керований вплив на радіосистему, але потребують джерела живлення, підсилення та контролю параметрів сигналу.
- Пасивні засоби простіші та енергоефективніші, однак їх вплив обмежений умовами середовища і властивостями матеріалів.
- Практичний вибір методу визначається цільовим діапазоном, умовами застосування, вимогами до мобільності та допустимим рівнем випромінювання.



Всеспрямована антена



Направлена антена



Широкосмугова антена

- Всеспрямовані антени доцільні для рівномірного покриття певної зони.
- Направлені антени концентрують енергію в заданому напрямку та підвищують ефективність точкового впливу.
- Широкосмугові антени забезпечують роботу у значному діапазоні частот і є важливими для складних спектральних режимів.



- Генератор сигналу формує базові електричні коливання із заданими параметрами частоти та форми.
- Модулятор задає характер завадного сигналу та визначає його спектральні властивості.
- Підсилювач, фільтр і вузол узгодження забезпечують передачу сигналу до антени з потрібним рівнем якості й мінімальними втратами.
- Антенa перетворює електричний сигнал на електромагнітне випромінювання з відповідною діаграмою спрямованості.

Таймерні рішення

простота, компактність,
гнучке формування імпульсів

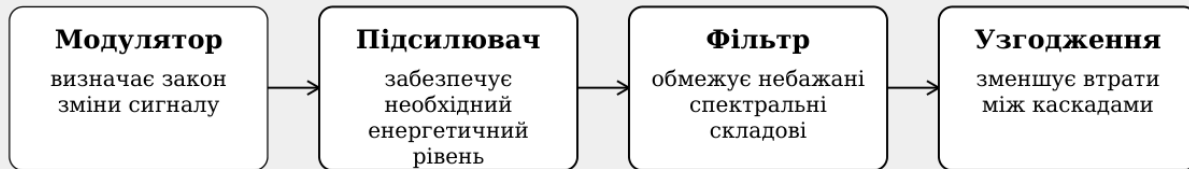
LC-генератори

стабільні синусоїдальні
коливання у
високочастотному діапазоні

Кварцові та DDS

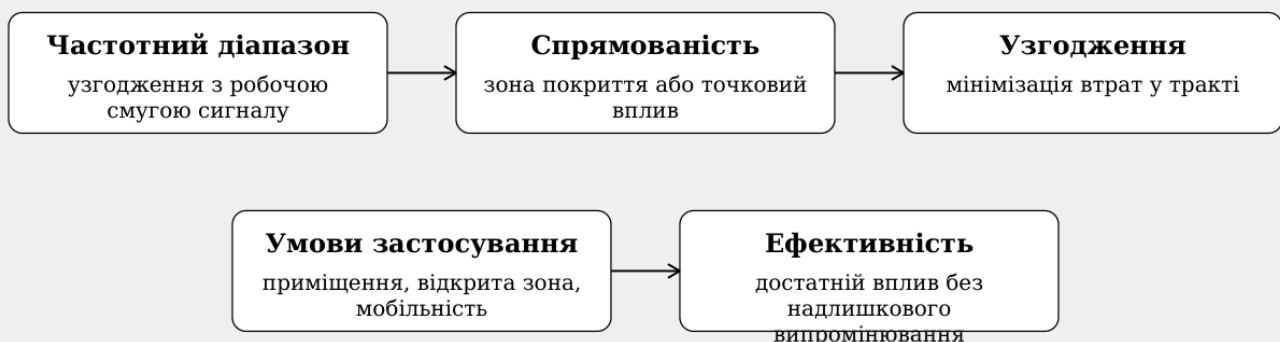
підвищена точність, цифрове
налаштування параметрів

- У роботі розглянуто різні варіанти формування базового сигналу та їх придатність для генераторів радіоперешкод.
- Таймерні рішення застосовуються для імпульсних режимів, LC-генератори - для стабільних коливань, а цифрові рішення - для гнучкого керування частотою.
- Вибір генератора залежить від потрібного частотного діапазону, стабільності, енергоспоживання і складності реалізації.



- Модулятор формує необхідний вид завадного сигналу відповідно до обраного методу впливу.
- Підсилювач потужності визначає практичну дальність і рівень сигналу, однак потребує контролю теплового режиму та енергоспоживання.
- Фільтри та узгоджувальні пристрої потрібні для зменшення втрат, забезпечення стабільності роботи й коректної взаємодії з антенною системою.

ПІДХІД ДО ВИБОРУ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ



- Антенна система повинна відповідати частотному діапазону генератора, обраному виду перешкод і практичним умовам застосування.
- Для інформаційної безпеки важливо забезпечити локалізований та контрольований вплив лише в межах допустимого сценарію використання.

- Систематизовано типи генераторів радіозавад за шириною спектра, режимом роботи та характером формування перешкод.
- Проаналізовано методи модуляції сигналів і визначено їх вплив на спектральні характеристики завадного сигналу.
- Охарактеризовано роль генератора сигналу, модулятора, підсилювача, фільтрів, вузлів узгодження та антени у складі системи.
- Обґрунтовано, що вибір антенної системи має виконуватися з урахуванням робочого діапазону, діаграми спрямованості, узгодження та сценарію застосування.
- Практичне використання таких засобів має здійснюватися тільки у правомірних і контрольованих умовах захисту інформації та випробувань.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

Доповідь підготував здобувач вищої освіти Ілля САВОТІКОВ

Тема: «Антенні системи пристроїв протидії витоку інформації через радіоканал»

Київ - 2025