

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,  
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

**Тема:** «Модернізована зарядна лінія для імпульсних модуляторів»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Богдан БАСОК  
(підпис)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олександр ПЛЮЩ  
(підпис)

**Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:**

**Консультант розділу «Охорона праці»** \_\_\_\_\_ Батир ХАЛМУРАДОВ  
(підпис)

**Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»**  
\_\_\_\_\_ Євгеній БОВСУНОВСЬКИЙ  
(підпис)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Денис БАХТІЯРОВ  
(підпис)

**Київ 2022**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Баска Богдана Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Модернізована зарядна лінія для імпульсних модуляторів»

затверджена наказом ректора від «07» вересня 2022 р. №1321/ст

2. Термін виконання роботи: з 05.09.2022 р. по 30.11.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки: \_\_\_\_\_

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: \_\_\_\_\_

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	05.09.2022- 06.09.2022	Виконано
2	Вступ	07.09.2022- 10.09.2022	Виконано
3	Використання імпульсних модуляторів в радіотехнічних приладах	12.09.2022- 05.10.2022	Виконано
4	Структурна схема та принцип роботи імпульсного модулятора	06.10.2022- 15.10.2022	Виконано
5	Імпульсний модулятор з модернізованою зарядною лінією	17.10.2022- 05.11.2022	Виконано
6	Охорона праці	07.11.2022- 12.11.2022	Виконано
7	Охорона навколишнього середовища	14.11.2022- 19.11.2022	Виконано
8	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	21.11.2022- 30.11.2022	Виконано

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.м.н., проф. Батир ХАЛМУРАДОВ		
Охорона навколишнього середовища	к.т.н., доц. Євгеній БОВСУНОВСЬКИЙ		

8. Дата видачі завдання: “22” серпня 2022 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Олександр ПЛЮЩ  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Богдан БАСОК  
(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Модернізована зарядна лінія для імпульсних модуляторів» містить 77 сторінок, 18 рисунків, 3 таблиці, 15 використаних джерел.

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ, ІМІТАЦІЙНЕ КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІМПУЛЬСНИЙ МОДУЛЯТОР, ШТУЧНА ДОВГА ЛІНІЯ, ФЛУКТУАЦІЯ АМПЛІТУДИ.

Об'єкт дослідження – процеси в зарядній лінії для імпульсних модуляторів.

Предмет дослідження – зарядні довгі лінії для імпульсних модуляторів.

Мета кваліфікаційної роботи – модернізація зарядної довгої лінії в імпульсному модуляторі з метою покращення її характеристик.

Метод дослідження – імітаційне комп'ютерне моделювання в середовищі MatLab.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНИХ МОДУЛЯТОРІВ В РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИЛАДАХ	11
1.1. Радіолокаційні станції що використовуються для контролю польотів авіації	11
1.2. Типи і побудова передавальних пристроїв радіолокаційних станцій	19
1.3. Важливість параметрів передавального пристрою для забезпечення характеристик РЛС	23
РОЗДІЛ 2 СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ІМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРУ	33
2.1. Загальна схема імпульсного модулятора з штучною довгою лінією	33
2.2. Розробка моделі штучної довгої лінії для імпульсного модулятора	37
2.3. Перевірка характеристик штучної довгої лінії за допомогою розробленої моделі	43
РОЗДІЛ 3 ІМПУЛЬСНИЙ МОДУЛЯТОР З МОДЕРНІЗОВАНОЮ ЛІНІЄЮ	46
3.1 Модернізація штучної зарядної довгої лінії за допомогою демпфуючого резистору	46
3.2 Розробка імітаційної моделі модернізованої зарядної довгої лінії	47
3.3 Перевірка характеристик модернізованої зарядної довгої лінії за допомогою розробленої моделі	47
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	55
4.1 Вступ	55
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	55
4.3 Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів	56
4.4 Інструкція з охорони праці при обслуговуванні РЛС	65
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	68
5.1. Негативний вплив на людське здоров'я	68
5.2. Електронні відходи	69

ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

РЛС - радіолокаційна станція.

ПвС - повітряне судно.

ККД - коефіцієнт корисної дії

РСП - радіолокаційна система посадки.

ДРЛ - диспетчерський радіолокатор.

ЗПС - злітно посадкова смуга.

НВЧ - надвисока частота.

РЧ – радіо частота.

ТТХ - тактико-технічні характеристики.

ОНІ - обробки навігаційної інформації.

ПП – період повторення.

ВЧ – висока частота.

ЦАП – цифро-аналогове перетворення.

АЦП – аналогово-цифрове перетворення.



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Штучні довгі дроти відіграють важливу роль у багатьох областях радіотехніки. Найчастіше вони використовуються в потужних підсилювачах потужності або імпульсних модуляторах для генераторів. Основна проблема, з якою стикаються інженери при розробці імпульсного модулятора, полягає в тому, щоб отримати бажану форму імпульсу на його виході. Деякі підсилювачі потужності та генератори, включаючи клістриони та магнетрони, вимагають, щоб вершина імпульсу модулятора була плоскою; ця вимога пов'язана з тим, що під час зміни амплітуди імпульсу модулятора частота та фаза вихідного сигналу можуть значно відхилитися від заданого значення. В однорідних штучно довгих лініях з однаковими значеннями ємності та індуктивності в кожному каскаді лінії природним чином виникають скачки напруги поблизу переднього фронту імпульсу і коливаються на його піку. Ці небажані ефекти викликані процесами в індукторах і конденсаторах першого ступеня, і їх важко приборкати, не кажучи вже про усунення. Одним із способів вирішення цих проблем є використання лише частини імпульсів модулятора, що подаються на підсилювач потужності, але при цьому ККД пристрою значно знизиться.

При розробці та вдосконаленні штучних довгих ліній виникла проблема швидкої та правильної оцінки форми імпульсу при погоджених навантаженнях. Форму цього імпульсу можна оцінити за допомогою аналітичних методів або польових експериментів. Однак ці методи аналізу передбачають розв'язування складних поліномів високого порядку, що займає багато часу та є недостатньо гнучким і зручним. При цьому для проведення повномасштабних випробувань на стадії проектування та удосконалення потрібно багато часу та матеріальних ресурсів.

Зважаючи на вищевикладене, важливою та актуальною є розробка простого та гнучкого методу оцінки форми імпульсу на виході штучних довгих ліній в імпульсних модуляторах. Дослідження цієї проблеми дозволить вирішити більш складні актуальні проблеми, включаючи вдосконалення штучно довгих ліній для зменшення стрибків напруги та коливань на піках імпульсів, сформованих цією лінією при узгоджених навантаженнях.

## **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є покращення параметрів форми імпульсу на виході штучної довгої лінії завдяки додаванню демпфувального резистора індуктивності першого каскаду та налаштуванню значення першої ємності цієї лінії і, для досягнення цієї мети, розроблення та використання імітаційної комп'ютерної моделі досліджуваної штучної довгої лінії.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

**Об'єктом дослідження** – процеси в зарядній лінії для імпульсних модуляторів.

**Предметом дослідження** – зарядні довгі лінії для імпульсних модуляторів.

**Методи досліджень.** Дослідження проводиться методом імітаційного комп'ютерного моделювання в середовищі MatLab.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вперше розроблена модель модернізованої зарядної лінії яка надала змогу оцінити характер модернізованої довгої лінії у складі імпульсного модулятора, автору роботи невідомі аналогічні моделі які досліджують характеристики модернізованої довгої лінії для імпульсних модуляторів

## **Практичне значення отриманих результатів.**

Отриманні результати дозволяють здійснити модернізацію зарядних довгих ліній, що дає змогу побудувати імпульсні модулятори з кращими характеристиками щодо форми імпульсу лінії.

# РОЗДІЛ 1

## ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНИХ МОДУЛЯТОРІВ В РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИЛАДАХ

### 1.1. Радіолокаційні станції що використовуються для контролю польотів авіації

Одним із специфічних видів оперативного забезпечення діяльності авіації є радіотехнічне забезпечення – комплекс заходів, спрямованих на своєчасне формування інформації про обстановку в повітрі та доведення її до пунктів управління та екіпажів повітряних суден, забезпечення їх навігації, зльоту. і посадка. До радіотехнічних засобів належать радіолокаційні та радіоосвітлювальні засоби.

Організувати виконання радіооптико-технічного забезпечення вирішення завдань управління повітряним рухом, наведення повітряних суден, цілевказування, взаємної ідентифікації повітряних суден, зльоту та посадки повітряних суден у районі аеропорту.

Для радіолокаційного забезпечення управління польотами поблизу зон посадки в аеропортах використовуються наступні типи РСП:

- РСП-6М2 – системи, які побудовані за принципом двокомплектного застосування приймальнопередавальної апаратури;
- РСП-10МН, РСП-10МА – системи, які мають у своєму складі по одному комплекту приймальнопередавальної апаратури.

Система включає в себе два комплекти приймально-передавальної апаратури з підвищеною експлуатаційною надійністю, кращими характеристиками виявлення, більшим кутовим розміром району бойових дій і виконує функції основної системи посадки на аеродромі основного базування. Інші радіолокаційні системи використовуються як основні засоби на аеродромах тимчасового базування і як резервні засоби на основних аеродромах через їх більш високу мобільність. Всі види РСП мають схожі характеристики.

ДРЛ:

- $R_{\max} = 80$  км (ПАСС, СДЦ),  $R_{\max} = 150$  км (АКТ);
- імпульсна потужність передавача  $P_i = 200$  кВт (ПАСС, СДЦ),  $P_i = 2$  кВт (АКТ);
- $\lambda = 35$  см;
- частотний діапазон перебудови – 50 МГц;
- тривалість зондуючих імпульсів – 2 мкс (ПАСС), 1 мкс (АКТ, СДЦ);
- розміри зон діаграм спрямованості у площині огляду – 2,5...3,5°.

ПРЛ:

- $R_{\max} = 20$  км (ПАСС, СДЦ),  $R_{\max} = 40$  км (АКТ);
- імпульсна потужність передавача  $P_i = 70$  кВт (ПАСС, СДЦ, АКТ);
- $\lambda = 3$  см;
- частотний діапазон перебудови – 400 МГц;
- тривалість зондуючих імпульсів – 0,45 мкс (ПАСС, АКТ, СДЦ);
- розміри зон діаграм спрямованості у площині огляду – 45...55'.

Система РСР-6М2 призначена для регулювання руху засобів протиповітряної оборони на далеких і коротких заходах на посадку до аеропортів посадки, а також для послідовного виведення літака (за межами наземної видимості) на злітно-посадкову смугу і управління його зниженням для прийняття рішень в умовах несприятливих погодних умов. умов Команди подаються через станцію радіозв'язку до висоти 150...120 м.

Обладнання включає:

1) Посадкова радіолокаційна станція ПРЛС-6М2, яка містить комплекс обладнання, необхідного для забезпечення безпечного керування повітряним рухом повітряних суден у ближній та дальній зонах, диспетчеризації та забезпечення посадки, що включає:

- РЛС посадки (ПРЛ) з контрольними індикаторами керівника посадки;

- триканальний диспетчерський радіолокатор (DRL);
  - Двоканальний автоматичний УКХ, DCH радіопеленгатор Е-519;
  - Блок керування радіостанцією П-863;
  - Обладнання дротового зв'язку для апаратури магнітного запису для радіозв'язку;
  - Пристрій централізованого електропостачання та розподілу;
  - Освітлювальне, опалювальне, вентиляційне та повітродувне обладнання;
- 2) Мобільна автономна електростанція ПЕП6М2 включає:
- Три радіостанції Р-863;
  - Високочастотний радіопеленгатор Е-519;
  - АД-30-Т/230-1Р;
  - мережевий перетворювач VPL-30 MD;
  - набір з'єднувальних кабелів;
- 3) Літак-відповідач управління СО-63ТМ;
- 4) Симулятор SDC.

Живлення РСП-6М2 здійснюється від пересувної автономної електростанції ПЕП-6М2 трифазного струму 220 В 400 Гц. Може працювати як від власного блоку (АД-30-Т/230-1Р), так і від зовнішньої мережі 220/380В 50 Гц через мережевий перетворювач VPL-30 MD. Акумуляторна батарея 6СТ-140ЕМ використовується для аварійного живлення деяких компонентів (АРП, радіо, магнітофон МС-61).

Пульт реагування СО-63ТМ призначений для оперативного керування функціями допоміжних каналів ДРЛ і ПРЛ.

Коли РСП працює в режимі СДЦ, симулятор СДЦ використовується для створення маркера на екрані індикатора, який використовується для позначення злітно-посадкової смуги на екрані індикатора курсу. Цей ярлик відобразить фактичне положення симулятора на місцевості.

Посадкова радіолокаційна система РСП10МН (РСП-10МН-1) призначена для:

- денного і нічного керування польотом літака в простих і складних метеоумовах;
- виводу літаків в район аеропорту та керувати їх зниженням;
- послідовного виводу літаків по курсу посадки й глісаді планерування й забезпечення їхньої посадки на ЗПС аеродрому шляхом подачі команд екіпажам літаків через радіостанції зв'язку;
- вирішення завдань індивідуальної ідентифікації повітряних суден за допомогою авіаційних ретрансляторів або автоматичного радіопеленгатора;
- виводить на цифрову панель приладу ОНІ додаткову навігаційну інформацію про номер рейсу, висоту польоту та залишок палива.

До складу РСП-10МН входять:

- диспетчерський радіолокатор;
- посадочний радіолокатор;
- автоматичний УКХ радіопеленгатор (АРП);
- апаратура ОНІ;
- блоки очищення від несинхронних завад (БОП);
- два комплекти радіостанцій зв'язку Р-863;
- фотореєструючий пристрій та два магнітофони МС-61;
- два бензоелектричних агрегати АБ-16;
- перетворювач частоти ПСЧ-15 і акумуляторні батареї;
- запасне майно;
- контрольно-вимірювальна апаратура (контрольний відповідач СО-63ТМ, генератор ГК4-19А або РИП-3, осцилограф С1-77, ампервольтметр АВО-5М1, комбінований прилад Ц4313, генератор Г4-76А, блок імітатору кодів (БІК), магнітофон МН61, бусоль ПАБ-2-М).

Принципова різниця між РСП-6М2 та РСП10МН1 полягає у наступному:

- первинні канали радіолокаторів у РСП10МН1 мають по одному комплекту передавальних та приймальних трактів, а у РСП-6М2 – по два комплекти;
- у ДРЛ системи РСП-6М2 вторинний канал є автономним, має свій передавальний тракт, а не використовує для формування сигналу запиту передавач первинного каналу, що має місце у ДРЛ системи РСП-10МН та ПРЛ систем РСП-6М2 і РСП-10МН.

Принципи побудови одного комплекту приймальної та передавальної апаратури ДРЛ і ПРЛ названих систем аналогічні:

- передавач магнетронного типу;
- приймач супергетеродинного типу;
- функціонування апаратури ДРЛ і ПРЛ в трьох режимах: пасивному (ПАС), селекції рухомих цілей (СРЦ) і активному (АКТ).

Активний режим роботи - найбільш завадостійкий режим роботи пристроїв ДРЛ і ПРЛ (двоімпульсний код сигналу запиту), з табличним відображенням сигналів відповіді від бортових аварійників і дешифрованих радіосигналів РЛС на індикаторах.

Пасивний режим роботи - режим роботи звичайного моноімпульсного каналу РЛС.

Метод вибору рухомої цілі полягає в тому, що радіолокаційний канал приймає одноімпульсну роботу, частота імпульсів передачі має високу стабільність, а метод фазової когерентності використовується для вибору рухомої цілі для компенсації сигналу відбиття місцевих об'єктів.

Пасивний режим роботи - режим роботи звичайного моноімпульсного каналу РЛС.

Сучасний посадковий радіолокаційний комплекс РСП-10МА призначений для забезпечення польотів літаків і вертольотів у районі аеропортів, отримання

інформації про повітряні судна, виведення їх у зону посадки, безпосереднього управління та контролю способів посадки в легких і складних умовах. RSP- 10MA поєднує в собі первинний і вторинний радари, а також РЛС посадки (PRL).

Основний канал РСР-10МА працює в L-діапазоні (ІСАО), допоміжні канали використовують стандартні частоти системи RBS (запит - 1030 МГц, відповідь - 1090 МГц) і АТС (запит - 1030 МГц, відповідь). - 740 МГц). Первинний і додатковий канали працюють на загальну антену. Канал Аух підтримує режими RBS, АТС і Мк ХА. Посадковий радар (PRL) містить курсовий канал і канал глісади та працює в Х-діапазоні.

Завдяки модернізації покращено характеристики виявлення, що дозволяє автоматично супроводжувати траєкторії літаків. Станція забезпечує прийом даних від інших РЛС, а обмін радіолокаційною інформацією відбувається по будь-якому каналу обміну даними в узгодженому протоколі обміну.

У приймально-передавальному обладнанні оглядової РЛС РСР-10МА використовуються тільки твердотільні компоненти. Пускова установка побудована за принципом модульності і передбачає «м'які» відмови - вихід з ладу окремих модулів призводить лише до часткового погіршення параметрів оглядової РЛС. В антенній системі оглядової РЛС встановлено новий асинхронний обертовий двигун, керований частотним перетворювачем.

У комплект РСР-10МА входять робочі місця оператора оглядової РЛС (ПРЛ/ВРЛ) і оператора посадкової РЛС (ПРЛ) із засобами відображення повітряної обстановки та пультами радіозв'язку (рис. 1.1).





Рис. 1.1. Зовнішній вигляд робочого місця оператора оглядового радіолокатора і оператора посадочного радіолокатора

Вся обстановка в повітрі автоматично записується і може відтворюватися в пасивному та інтерактивному режимах.

RSP-10MA має високу стійкість до імпульсних і активних шумових перешкод.

Посадкова РЛС РСП-10MA живиться від двох незалежних джерел: промислової трифазної мережі (380 В, 50 Гц) і автономної дизель-генераторної установки.

Ситуація чітко відображається на екрані оператора. Захист від активних шумових перешкод досягається розширенням динамічного діапазону системи обробки сигналів і можливістю електронної настройки частоти на льоту. Адаптивна цифрова система SDC і створення карт перешкод забезпечують пасивний захист від перешкод.

Конструктивно десантна система змонтована на двох причепних шасі, які можуть транспортуватися автомобільним, водним або повітряним транспортом.

DRL реалізує когерентний принцип побудови основного каналу, використовуючи складні сигнали зондування та їх оптимізовану обробку, переведення на міжнародний діапазон частот (1250–1350 МГц).

У допоміжному каналі ДХО сучасних систем можлива робота в режимах «АТС» і «RBS». В основному ДХО відносяться до сучасних локаторів, які відповідають сучасним стандартам.

На жаль, виробник РСП-10МА розробляв систему цивільної авіації і не доручив ПРЛ самостійно забезпечити можливість посадки літака в несприятливих погодних умовах. Тому на даному етапі в ПРЛ реалізується тільки амплітудний канал приймача з логарифмічним детектором.

При цьому сигнал цього каналу обробляється програмно для реалізації високої точності вимірювання координат.

Крім того, PRL реалізував абсолютно нове конструктивне рішення, яке полягало в розміщенні блоків передавача та приймача PRL на причепі антени PRL у поворотному кріпленні антенної стійки. Таке розташування може значно зменшити втрати енергії сигналу в хвилеводі.

В результаті цього вдалося збільшити дальність дії локатора в два рази для простих метеорологічних умов при імпульсній потужності передавача в 4 рази меншій, ніж в ПРЛ-10МН.

Після аналізу авіаційних катастроф, що сталися під час регулярних тренувальних польотів, стало зрозуміло, що для забезпечення високого рівня безпеки польотів на етапі посадки літаків необхідно розробити програму, яка підвищить вимоги до точності управління польотами та оснащення аеропортів кращими сучасними радіотехнічними засобами посадки.

Крім того, для забезпечення безпечного повітряного руху необхідно:

- Використовувати засоби контролю повітряного простору під час зльоту та посадки ПВС;
- Розвиток радіолокаційних засобів виявлення та оцінки параметрів радіолокаційних цілей з малою ефективною площею розсіювання в районі аеродромів ускладнює ситуацію із завадами сигналу.

У перспективі необхідно буде вивчити можливість розвитку існуючої радіолокаційної системи посадки та відповідних сигналів, що дозволить покращити якісні та кількісні характеристики великої кількості літаків у районі аеродрому.

## 1.2. Типи і побудова передавальних пристроїв радіолокаційних станцій

Важливою частиною будь-якої радіолокаційної станції є обладнання, яке генерує високочастотну енергію. З базового рівняння радара видно, що за інших рівних умов максимальна дальність станції у вільному просторі збільшується пропорційно кореню квадратному з потужності випромінювання передавача. Наприклад, щоб збільшити дальність дії в 2 рази, необхідно збільшити потужність випромінювання передавача в 16 разів. Це збільшення діапазону занадто дороге. Тому важливо вибрати найкращий передавач. Сучасні передавачі не тільки визначають більшу частину початкової вартості радара, але й поточну поточну вартість основної енергії або палива. [4]

Основними факторами, що визначають вибір типу радіопередавального обладнання РЛС, є: простота технічної реалізації обладнання, що використовується для формування сигналу виявлення, забезпечення необхідної стабільності параметрів сигналу в каналах прийому та передачі РЛС; вихідна потужність і коефіцієнт корисної дії передавальної системи; рівень небажаних (позасмугових і побічних) випромінювань, надійність, довговічність і деякі інші.

- Передавач є складовою частиною РЛС і використовується для формування електромагнітних коливань (сигналів визначення місцезнаходження) з певною амплітудною і фазовою модуляцією.

- Основними технічними особливостями трансмісії є:
- Потужність випромінювання (середня або імпульсна);
- коефіцієнт корисної дії (ККД);
- Тривалість, ширина спектру, закони внутрішньоімпульсної

модуляції генерації імпульсів;

- частота повторення;
- довжина хвилі результуючого коливання (несуча частота);
- Сфера трансформації;
- надійність, якість, розмір;

- Стабільність несучої частоти, амплітуди і тривалості, регулярність внутрішньої імпульсної модуляції.

- Основні функції трансмісії:
- Генерація коливань;
- Контроль параметрів коливань (модуляція);
- Збільшити потужність.

Отже, функціонально необхідними вузлами передавального обладнання є:

- Генератор високочастотних генераторів;
- модулятор;
- підсилювач потужності.

Крім того, пристрій передачі включає джерело живлення, помножувач частоти (частотний дільник), систему автоматичного регулювання частоти (AFC) і параметри модуляції сигналу.

Залежно від призначення РЛС, типу сигналу виявлення, передавач будується за двома основними схемами:

- Передавальний одноступінчастий пристрій (збирається за схемою «Потужний мікрохвильовий автоматичний генератор»);
- Багатокаскадна передавальна апаратура (збирається за схемою «Налаштування генератор-підсилювач потужності»).

Радіолокаційні станції являють собою технічні засоби що реалізують радіолокаційні принципи виявлення цілей і вимірювання координат та параметрів їх руху. Структурна схема імпульсної РЛС приведена на Рис. 1.2.

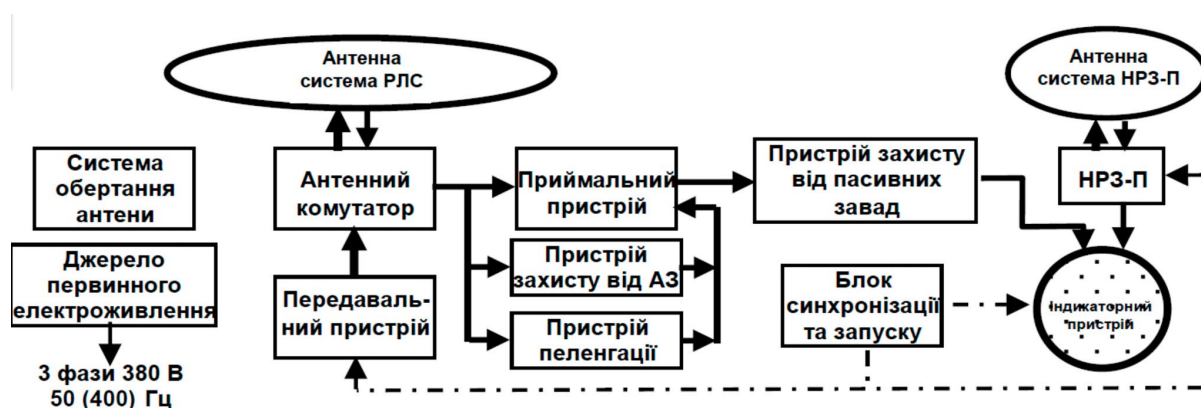


Рис. 1.2. Структурна схема імпульсної РЛС

Вузли і елементи які входять до РЛС мають таке призначення:

- Основне джерело живлення використовується для живлення всіх радіолокаційних систем і обладнання.
- Блок синхронізації та активації - координує роботу різних елементів РЛС. Формує короткі імпульси, які подаються на всі елементи РЛС.
- Передавач - генерує потужні короткі імпульси струму надвисокої частоти в заданому діапазоні радіохвиль.
- Захист від пасивних перешкод - пригнічує перешкоди від місцевих об'єктів і пасивні перешкоди.
- Підшипниковий вузол - обов'язково визначає кутові координати ПАЗ.
- Активний захист від перешкод - пригнічує активні перешкоди.

- Перемикач антени - забезпечує автоматичне перемикання антенної фід-системи з передавального на приймальний і назад, а також узгодження виходу передавального пристрою з антенною системою.
- Антенна система - для прямого випромінювання та прийому електромагнітної енергії УВЧ.
- Приймальний пристрій - для підсилення та перетворення прийнятих сигналів, що надходять з антени, до виду і величини, необхідних для відображення на індикаторному пристрої
  - Індикаторний пристрій - забезпечує візуальне спостереження за сигналами, відбитими від об'єктів що знаходяться в зоні виявлення РЛС.
  - Наземний радіолокаційний запитувач системи "Пароль" - для приналежності виявлених радіолокатором об'єктів

РЛС активного реагування передбачає наявність і злагоджену роботу двох груп засобів: наземних радіолокаційних запитувачів і радіолокаційних відповідачів (транспондерів), розміщених на літаках. При цьому апаратура наземної групи може бути виконана як у вигляді автономної РЛС (типу 1Л22), так і у вигляді вторинного каналу в складі комбінованої первинно-вторинної РЛС (найпоширеніша схема на даний момент).

Для синхронізації відображення даних на вторинній РЛС (вторинний канал комбінованої РЛС) необхідний синхронізуючий імпульс основного РЛС.

- Вибраний шаблон запиту кодується в кодері, який іноді називають скремблером. Запити на різні типи літаків генеруються за різними шаблонами.
- У передавачі модуляція тремтіння виконується імпульсом запиту, який генерує кодер. Багато радіолокаційних запитів побудовані таким чином, що канали запиту та відповіді працюють на різних частотах. У цьому випадку відпадає необхідність у складному (і досить дорогому) обладнанні на зразок антенних перемикачів у складі вторинного радара.

- У комбінованій РЛС антена запитувача встановлена на антені основної РЛС, тому вона обертається синхронно з нею і синхронізується з розгортанням на екрані покажчика.

На літаку встановлені приймальні антени та транспондери (транспондери).

- У приймачі опитувальний імпульс підсилюється і демодулюється.
- У дешифраторі (дешифраторі) виконується декодування коду запиту, на підставі чого в кодері формується відповідна відповідь.

- У кодері результуюча відповідь кодується у вигляді серії імпульсів.
- У передавачі відповідний імпульс посилюється і у відповідь передається на несучу частоту каналу.

Коли відповідь отримана:

- У приймачі відповідні імпульси підсилюються і демодулюються.

Відфільтруйте (придушть) якомога більше перешкод і заважаючих сигналів.

- Декодер декодує сигнал відповідно до отриманої інформації «Режим» і «Код».

- Отримана та декодована запитувачем інформація виводиться на головний екран РЛС у вигляді додаткових символів біля цілевказівника. Додаткова цифрова інформація також може відображатися на зовнішньому дисплеї.

### 1.3. Важливість параметрів передавального пристрою для забезпечення характеристик РЛС

Радіопередавальне обладнання, призначене для генерації модульованих коливань надвисокої частоти.

Структурна схема радіопередавача наведена на малюнку 1. 1.3 До складу радіопередавального пристрою входять такі основні вузли [5]:

- 1) УВЧ генератор, який перетворює енергію джерела живлення в енергію УВЧ коливань;

2) Модулятор - пристрій, який керує коливанням генератора відповідно до сигналу, що випромінюється радіолокатором;

3) Блок живлення.

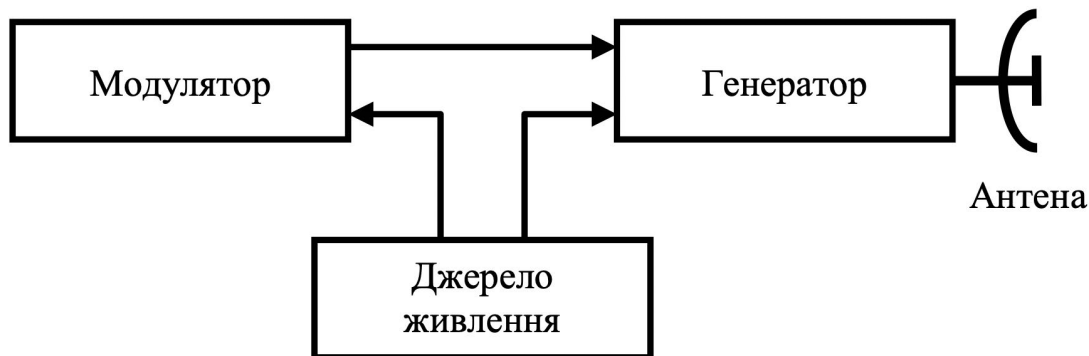


Рис. 1.3. Структурна схема радіопередавального пристрою

Сучасна радіопередавальна апаратура відома великою різноманітністю. Основними ознаками класифікації радіопередавальної апаратури є призначення, потужність передачі та діапазон хвиль.

За призначенням радіопередавальні пристрої поділяються на радіолокаційні, зв'язку, радіонавігаційні, телевізійні, радіоперешкоди, дистанційного керування дротові тощо.

За потужністю в режимі безперервної генерації або середньою потужністю в режимі генерації імпульсів радіопередавальні пристрої поділяються на:

- $P_{сер} < 3$  Вт при дуже низькій потужності;
- мала потужність  $P_{сер} = 3...100$  Вт;
- середня потужність  $P_{сер} = 0,1...3$  кВт;
- велика потужність  $P_{сер} = 3...100$  кВт;



– велика потужність  $P_{сер} > 100$  кВт;

За діапазоном хвиль радіопередавальна апаратура поділяється на:

– довга довжина хвилі  $\lambda > 2000$  м;

– МВТ  $\lambda = 200...2000$  м;

– проміжна хвиля  $\lambda = 100...200$  м;

– короткохвильовий  $\lambda = 10...100$  м;

– метрова хвиля  $\lambda = 1...10$  м;

– дециметрові хвилі  $\lambda = 0,1...1$  м;

– сантиметрових хвиль  $\lambda = 1...10$  см;

– міліметрових хвиль  $\lambda = 1...10$  мм.

Весь діапазон радіочастот поділяється на дві категорії: діапазон високих частот, який охоплює частоти, що відповідають довжинам хвиль понад 10 м, і діапазон мікрохвиль, який охоплює частоти, що відповідають довжинам хвиль менше 10 м.

В останні роки швидко розвиваються радіопередавачі в інфрачервоному та оптичному діапазонах.

Радіопередавальне обладнання класифікують і за іншими ознаками, наприклад, за типом сигналу, що передається, за умовами експлуатації, за типом НВЧ-генератора.

Високочастотні тракти сучасної радіопередавальної апаратури будуються за багатокаскадною або однокаскадною схемами. [6]

Там, де необхідно забезпечити високу стабільність частоти коливань, приймається багатокаскадне рішення для високочастотного тракту

радіопередавального пристрою. Блок-схема передавача з кількома каскадними високочастотними трактами показана на рис. 1.4.

Перший каскад – автогенератор. У таких генераторах частота і амплітуда коливань визначаються параметрами коливальної системи і устроєм генератора. Для того щоб стабілізувати частоту коливань, генератор повинен бути малої потужності. У наступному ступені передавача, який називається проміжним, коливання посилюються. Як правило, деякі проміжні ступені працюють в режимі подвійної частоти. Кінцевий вихідний каскад передавача призначений для забезпечення необхідної потужності випромінюваних коливань. Кількість каскадованих високочастотних трактів залежить від застосування, діапазону хвиль, потужності та вимог до стабільності частоти коливань передавача. Проміжний і вихідний каскади часто називають генераторами із зовнішнім збудженням. Для керування роботою генератора із зовнішнім збудженням необхідно подати на його вхід напругу відповідної амплітуди та частоти.

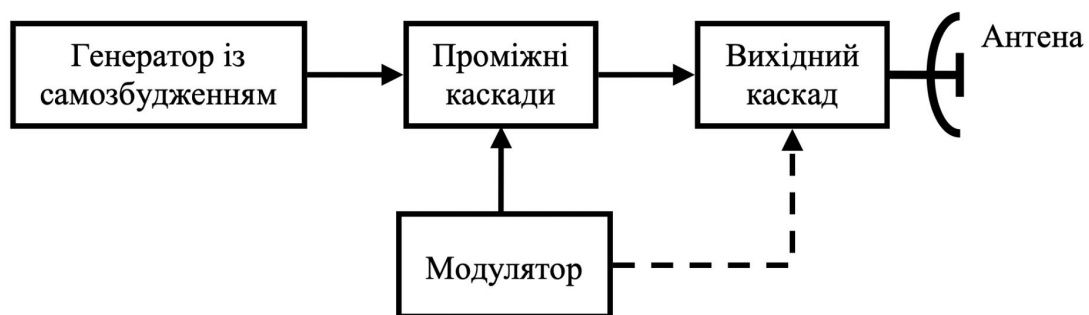


Рис. 1.4.Блок-схема передавача із багатокаскадним високочастотним трактом

Технічні вимоги до системи передачі були запропоновані в ході аналізу системи відповідно до основного призначення радіотехнічної зброї та необхідних характеристик на основі компромісів з урахуванням фізичних, економічних та організаційних обмежень. Загалом виділяють три основних види технічних вимог: електричні, конструктивні та експлуатаційні. При цьому першим і найважливішим є вимоги до його електричних характеристик.

Основними електричними характеристиками системи передачі є:

- 1) Тип і параметри сигналу виявлення;
- 2) робочий діапазон частот (робочу частоту)  $f_n \dots f_v$  передавача (MV, DCM, CM) і спектральну ширину  $\Delta f$  зондуючого сигналу;
- 3) Імпульсна потужність  $P_i$  сигналу виявлення — від сотень кіловат до десятків мегават;
- 4) Тривалість сигналу виявлення  $t_i$  — одиниця — десятки мкс;
- 5) Частота повторення сигналу виявлення - від десятків до сотень Гц, коливання періоду повторення сигналу виявлення (10-25% частоти повторення сигналу);
- 6) стабільність та точність установлення частоти (фази), частотних (фазових) та часових параметрів сигналів;
- 7) коефіцієнт корисної дії ККД = 20 – 60 %;
- 8) рівень бічних (позасмугових) випромінювань, дБ;
- 9) імпульсна анодна напруга генераторної лампи – десятки кВ;
- 10) середнє значення анодного струму генераторної лампи – одиниці А;
- 11) напруга розжарювання генераторної лампи  $U_P = 6,3 (\pm 0,3 \text{ В})$ ;
- 12) струм розжарювання генераторної лампи – десятки А;
- 13) охолодження генераторної лампи – повітряне (рідинне).

Робоча частота передавача — це кількість коливань синусоїдального змінного струму протягом 1 с. Вимірюється в герцах (1 герц - це одне повне коливання в секунду).

Якщо частота змінної напруги промислової мережі становить 50 Гц (довжина хвилі 6000 км), то робоча частота передавача РЛС становить тисячі або мільйони Гц.

Так, наприклад, РЛС метрового типу П-18 має несучу частоту 150 ... 170 МГц (довжина хвилі 2...1,8 м), а РЛС сантиметрового типу П-37 має несучу частоту близько 3 ГГц (довжина хвилі 10 см) .

За довжиною робочої довжини хвилі радіолокаційні станції поділяються на РЛС метрового, дециметрового та сантиметрового діапазонів (табл. 1.1).

## Розподіл РЛС за діапазонами радіохвиль

Діапазон роботи РЛС	Довжина робочої хвилі	Частота коливань, МГц
Метровий	1...10 м	300...30
Дециметровий	10...100 см	3000...300
Сантиметровий	1...10 см	30 000...30

Діапазон робочих частот визначається нижньою межею  $f_n$  і верхньою межею  $f_b$  частоти, в межах яких можна знайти спектр досліджуваного сигналу.

При виборі діапазону робочих частот радіолокаційного передавача необхідно виконати різні суперечливі вимоги, в основному включаючи:

- 1) Антена, що забезпечує високий коефіцієнт підсилення і її прийнятний (найменший) розмір;
- 2) забезпечити межі налаштування частоти, необхідні для захисту від активних перешкод;
- 3) Зменшити вплив земної поверхні на спотворення діаграми спрямованості антени та зменшити затухання електромагнітних коливань на фідері та траєкторії розповсюдження;
- 4) Забезпечити каналізацію від передавача до антени електромагнітного генератора з великою піковою потужністю та зменшити їх відносну смугу

пропускання при заданій абсолютній спектральній ширині з метою зменшення амплітуди та фази в тракті підсилення, каналізації та спотворення процесу розповсюдження шлях, що знижують ефективність використання енергії сигналу передавального каналу;

5) переконатися, що галактичні шуми, внутрішні шуми тракту підсилення, радіовипромінювання від позаземних джерел і атмосферні шуми обмежують чутливість каналу прийому;

6) забезпечення найбільшої ефективної поверхні для відбиваючих цілей при відомих геометричних розмірах;

7) Відповідати вимогам щодо електромагнітної сумісності радарів та іншого радіоелектронного обладнання.

При виборі робочого частотного діапазону також необхідно враховувати здатність галузі створювати генераторні пристрої, перетворювачі, підсилювачі та інші компоненти системи передачі з необхідною потужністю, смугою пропускання та властивим шумом у цьому частотному діапазоні.

Вимоги до типів і параметрів сигналів. Тип і параметри сигналу мають найбільший вплив на ТТХ будь-якої радіотехнічної зброї, включаючи радар. Використовуються як прості, так і складні сигнали. Простим називають сигнал з  $Pf \cdot \tau_c = 1$ , де  $\tau_c$  – тривалість імпульсу або квазінеперервного сигналу,  $Pf$  – ширина спектру сигналу. Величина  $p_c = Pf \cdot \tau_c$  називається потужністю (широсмуговим коефіцієнтом) сигналу. Сигнали з  $p_c > 1$  називають комплексними сигналами. Прості сигнали складаються з безперервних (фактично квазібезперервних) немодульованих сигналів і одиничних імпульсів з несучою частотою  $f_0 = \text{const}$ . До складних сигналів

відносяться кодовані імпульсні пучки, квазібезперервні або імпульсні сигнали з амплітудною, частотною або фазовою модуляцією (керуванням) і різні їх комбінації.

Використання комплексних сигналів дозволяє:

- Усунення внутрішніх суперечностей простих вимог до сигналу для радарів для забезпечення високого розносу за швидкістю або виявлення на великій відстані з одночасним високим розносом за дальністю;
- підвищена швидкість просторових вимірювань і гнучкість керування діаграмою спрямованості антени;
- впровадження високопотенційного радара, здатного вимірювати координати цілі з високою точністю за однократне обстеження;
- Підвищення радіолокаційної захищеності, можливості вибору та класифікації цілей на основі інформації, що міститься у відбитих сигналах тощо.

Проте є неузгодженості у розпізнаванні виявлених цілей, вимірюванні координат цілей та інших параметрів їх руху, розділенні цілей, класифікації цілей (визначення атрибуції при запиті «свій-чужий», визначення комбінованих і незапитуваних класів цілей). Покажемо це на прикладі основних видів сигналів, що самостійно застосовуються в радіолокації та використовуються при синтезі комбінованих сигналів.

До основних типів сигналів, що застосовуються в радіолокації, належать [7]:

- простий імпульсний сигнал;
- складний імпульсний і квазібезперервний лінійно-частотно- модульований (ЛЧМ) сигнали;

– складний імпульсний і квазібезперервний дискретний фазокодоманіпульований (ФКМ) сигнали.

Основні властивості сигналів наочно характеризуються їхніми автокореляційними функціями  $\rho(\tau, F_d = \text{const})$  і діаграмами невизначеності  $\rho(\tau, F_d) = \text{const}$ .

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

- 1) РЛС відіграють велику роль щодо контролю за повітряним простором в районі інфраструктури аеродрому;
- 2) Важливим елементом РЛС є передавальний пристрій характеристики якого визначають параметри усієї РЛС;
- 3) Основним елементом передавального пристрою постає імпульсний модулятор з штучною зарядною лінією;
- 4) Зарядна довга лінія цілковито визначає, як параметри передавального пристрою так і РЛС станції загалом.



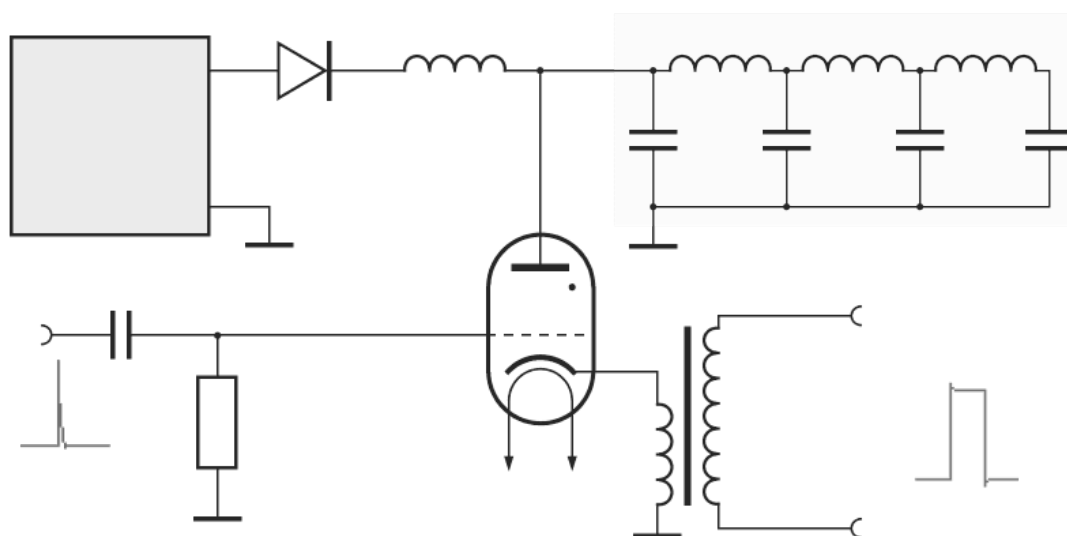
## РОЗДІЛ 2

### СТРУКТУРНА СХЕМА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ІМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРУ

#### 2.1. Загальна схема імпульсного модулятора з штучною довгою лінією

Модулятор радіолокатора генерує високу напругу протягом всієї тривалості імпульсу. Модулятор фактично включає лише анодне напруга під час передачі імпульсу. Через цю функцію перемикавання в англійській літературі його також називають радіолокаційним модулятором із кнопкою ввімкнення/вимкнення. У більшості випадків такі модулятори використовуються для управління потужними осциляторами, наприклад магнетонами. Однак потужні підсилювачі, оснащені підсилювальними лампами, також вимагають таких радіолокаційних модуляторів, оскільки вони можуть приймати лише високі напруги під час передачі імпульсу. [1]

Рис. 2.1. Принципова схема модулятора радара



Цей Модулятори використовують лінії затримки для накопичення енергії. Ця лінія затримки заряджається на шляху заряджання до подвоєння напруги джерела високої напруги через магнітне поле зарядного дроселя. Зарядний дросель також обмежує зарядний струм. Метою встановлення зарядного діода є запобігання розрядженню ланцюга затримки через внутрішній опір джерела живлення після того, як ланцюг затримки заряджено. Бюретка працює як електронний перемикач,

керований імпульсом голки. Комбінація R-C відокремлює сітку тиристора від попереднього підсилювача з напругою постійного струму. Для регулювання опору при розряді використовується імпульсний трансформатор.

Шлях розряду. Передбачається, що у початковому стані ланцюг знеструмлений.

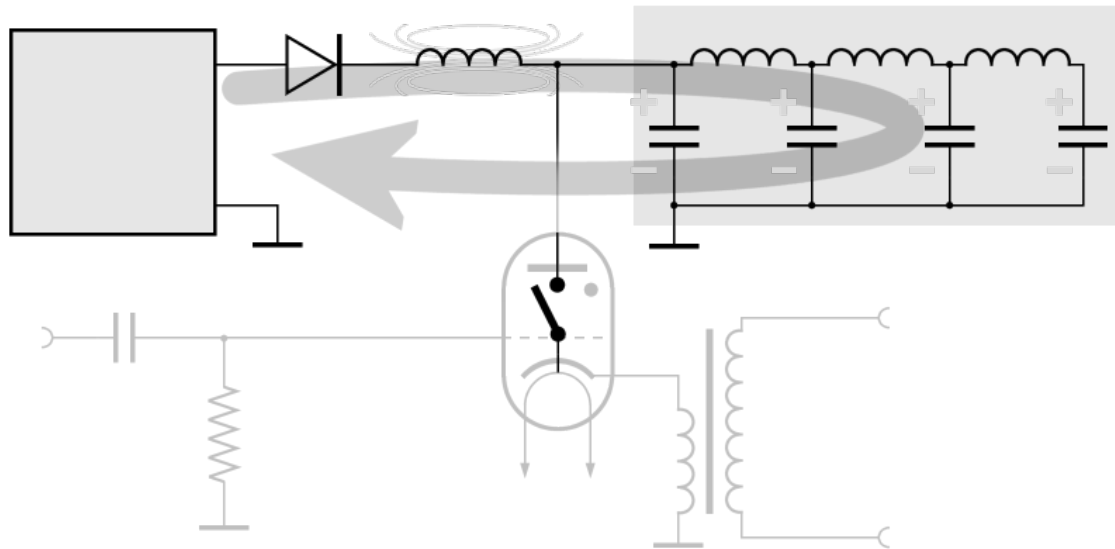


Рис. 2.2. Еквівалентна схема зарядного тракта

На схемі тиристор зображений у вигляді відкритого вимикача. Після включення (скачок напруги в ланцюзі) струм проходить через зарядний діод, потім через зарядний дросель і заряджає конденсатор схеми затримки. Котушки схеми затримки тепер, як і раніше, виконують функцію веденого. Однак індуктивність зарядного дроселя протистоїть пусковому струму з великим індуктивним опором і створює сильне магнітне поле. Конденсатор заряджається за експоненціальною функцією. На нього накладено чутливий резистор дроселя зарядки.

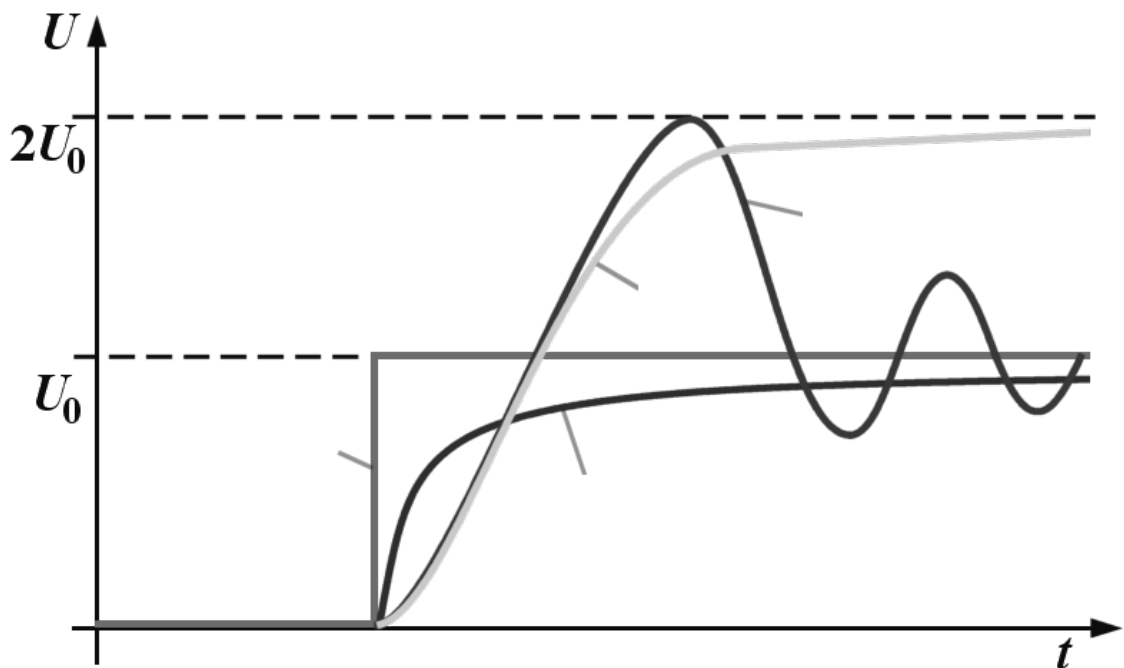
$$U_c = U_0 \cdot (1 - \cos \omega r \cdot t)$$

$$\omega \frac{2}{r} = \frac{1}{L_{dr} \cdot \epsilon_c} \quad (1.1)$$

З моменту зарядки конденсатора до напруги, що забезпечується джерелом живлення, зарядний струм зменшується, а магнітне поле в зарядному індукторі

руйнується. Таким чином, наступна індукція створює додаткову напругу, яка продовжує заряджати конденсатор, поки магнітне поле повністю не знищиться. Тепер конденсатор знову розряджається джерелом живлення, але зарядний діод перешкоджає протіканню цього струму, тому енергія накопичується в конденсаторі.

Рис. 2.3. Діаграма напруги заряду



шлях розряду. Після того, як лінія затримки заряджена, імпульс запалювання може бути поданий на тиристор через комбінацію R-C. Тиратрон запалюється і розрядний струм пропускається через імпульсний трансформатор.

Перший конденсатор починає розряджатися за рахунок запалювання тиристора і імпульсного трансформатора. Це буде експоненціальна функція, але тепер антиіндуктивність котушки діє як лінія затримки: вона заряджається з невеликою затримкою іншими конденсаторами.

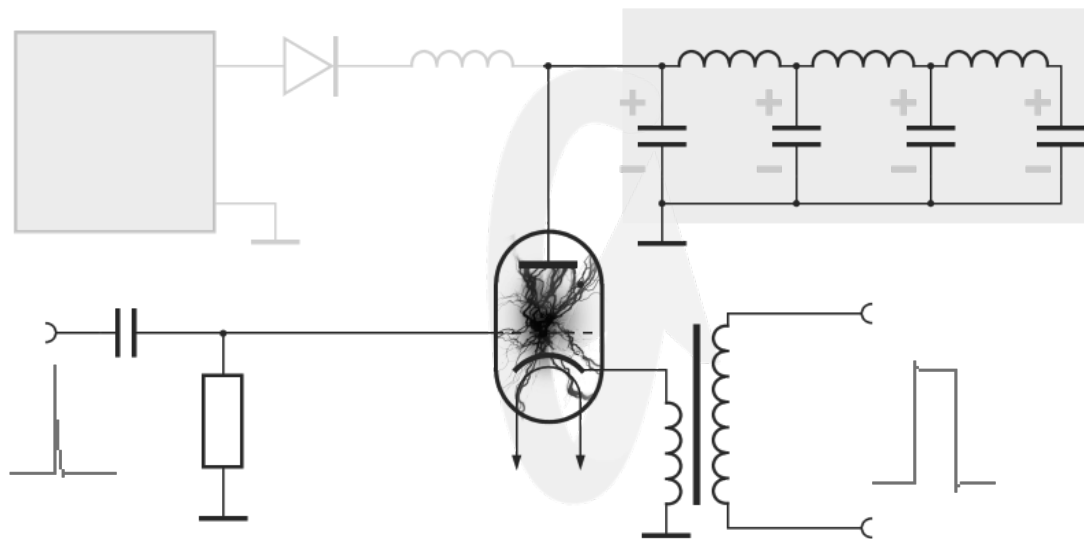


Рис. 2.4. Еквівалентна електрична схема шляху розряду

Тому через імпульсний трансформатор протікає струм тривалістю  $\tau$ . На вторинній стороні імпульс високої напруги може бути застосований до пускової труби, яка потім коливається з точно такою ж частотою, як і час запуску. Задній фронт кривої розряду генерується кривою розряду конденсатора лінії затримки. Зелена крива розряду відповідає конденсатору з сумою ємностей окремих конденсаторів. Насправді перерегулювання може виникнути навіть через індуктивність первинної обмотки імпульсного трансформатора.

Передача енергії є найбільш ефективною, коли внутрішній опір ланцюга затримки дорівнює опорі імпульсного трансформатора.

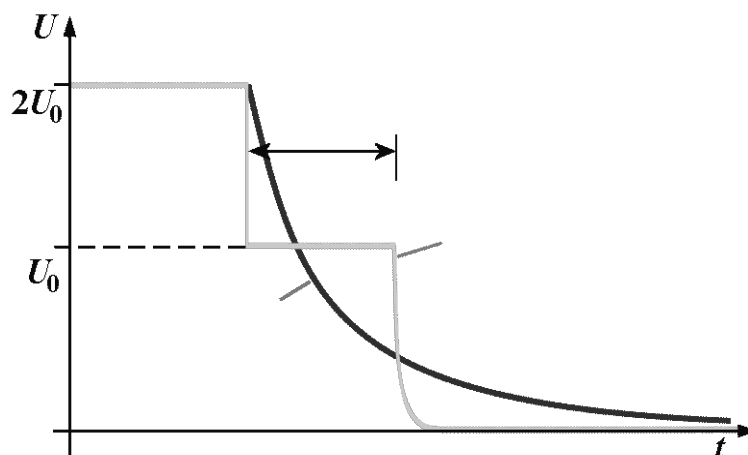


Рис. 2.5. Діаграми розрядних струмів

Таким чином, імпульсний трансформатор отримує лише половину напруги, інша частина падає через внутрішній опір лінії затримки.

## 2.2. Розробка моделі штучної довгої лінії для імпульсного модулятора

Штучні довгі дроти відіграють важливу роль у багатьох областях радіотехніки. Найчастіше вони використовуються в потужних підсилювачах потужності або імпульсних модуляторах для генераторів. Основна проблема, з якою стикаються інженери при розробці імпульсного модулятора, полягає в тому, щоб отримати бажану форму імпульсу на його виході. Деякі підсилювачі потужності та генератори, включаючи клістри та магнетрони, вимагають, щоб вершина імпульсу модулятора була плоскою; ця вимога пов'язана з тим, що під час зміни амплітуди імпульсу модулятора частота та фаза вихідного сигналу можуть значно відхилитися від заданого значення. В однорідних штучно довгих лініях з однаковими значеннями ємності та індуктивності в кожному каскаді лінії природним чином виникають скачки напруги поблизу переднього фронту імпульсу і коливаються на його піку. Ці небажані ефекти спричинені індуктивними та ємнісними процесами на першому етапі, і їх дуже важко приборкати, не кажучи вже про усунення. Одним із підходів до нівелювання цих проблем є використання тільки частини імпульсу модулятора, що живить підсилювач потужності, але при цьому істотно знижується коефіцієнт корисної дії пристрою.

При розробці та вдосконаленні штучних довгих ліній виникла проблема швидкої та правильної оцінки форми імпульсу при погоджених навантаженнях. Форму цього імпульсу можна оцінити за допомогою аналітичних методів або польових експериментів. Однак ці методи аналізу передбачають розв'язування складних поліномів високого порядку, що займає багато часу та є недостатньо гнучким і зручним. При цьому для проведення повномасштабних випробувань на стадії проектування та удосконалення потрібно багато часу та матеріальних ресурсів.

З огляду на вищезазначене, важливою та актуальною є розробка простого та гнучкого методу оцінки форми імпульсу на виході штучних довгих ліній імпульсних

модуляторів. Дослідження цієї проблеми дозволить вирішити більш складні актуальні проблеми, включаючи вдосконалення штучно довгих ліній для зменшення стрибків напруги та коливань на піках імпульсів, сформованих цією лінією при узгоджених навантаженнях.

Модифікований штучний довгий провід для імпульсного модулятора показаний на рис. 2.6. Ця лінія є однорідною, тобто параметри ємності  $C$  та індуктивності  $L$  кожного каскаду однакові (крім першого каскаду), і вона модернізована додаванням демпфуючого резистора  $R_D$ .

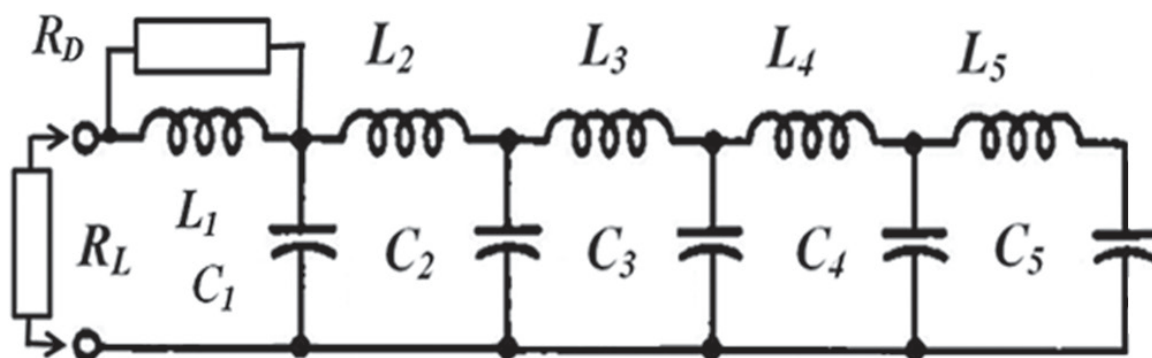


Рис. 2.6. Модифікована штучна довга лінія з демпфувальним резистором  $R_D$

Загалом, форму імпульсу під час розряду лінії при звичайному навантаженні  $R_L$  можна отримати аналітично або шляхом побудови натурального експерименту, як було зазначено раніше. У статті пропонується використовувати аналогову комп'ютерну модель для досягнення цього, ми розробимо модифіковану модель штучної довгої лінії з опором демпфування  $R_D$ , яка при дуже великих значеннях  $R_D$  також буде моделювати лінію зарядки без опору  $R_D$  (класичний зарядний кабель).

У загальному вигляді принципова схема представлена на рис. 2.6. Складається з трьох типових електричних компонентів:  $R$ ,  $L$  і  $C$ . З літератури відомо, що для цих компонентів напруга і струм пов'язані таким співвідношенням:

$$v(t) = Ri(t) \quad (2)$$

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \text{ або } v(t) - v(0) = \frac{1}{C} \int i(t) dt, \quad (3)$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \text{ або } i(t) - i(0) = \frac{1}{L} \int v(t) dt. \quad (4)$$

Зв'язок між струмом і напругою для резистора показаний у (2), тоді як зв'язок між цими змінними для ємності та індуктивності визначається рівняннями (3) і (4) відповідно.

У загальному вигляді математична модель штучного ярусу показана на рисунку 1. 2.6. Можна отримати за допомогою наступного процесу:

- По-перше, вам потрібно написати відповідні звичайні диференціальні рівняння першого порядку для кожного елемента зберігання енергії (конденсатора та індуктора). Динамічні змінні цих диференціальних рівнянь будуть напругою  $v_C(t)$  (для ємності) або струмом  $i_L(t)$  (для котушки індуктивності);
- По-друге, необхідно використовувати закони Кірхгофа, щоб виразити невідомі напруги та струми через динамічні змінні, пов'язані з елементами накопичення енергії ( $v_C(t)$  або  $i_L(t)$ ) або джерелами струму та напруги (якщо доступні).

З дослідження схеми на рис.2.6. стає зрозумілим, що вона складається з кількох контурів, причому всі контури, за винятком першого, є однотипними як за структурою, так і за параметрами елементів. Цей факт значно спрощує процедуру комп'ютерного моделювання схеми, наведеної на рис. 2.6.

Розглянемо процес формування математичної моделі для першого (лівого) контуру принципової схеми на рис. 2.6.

Застосувавши закон Кірхгофа для напруги для першого контуру, дістанемо таке рівняння:

$$v_{CI}(t) - v_{LI}(t) - v_{RI}(t) = 0. \quad (5)$$

Якщо підставити (4) в (5) та взяти до уваги, що

$$v_{R_L}(t) = (i_{R_D}(t) + i_{L_1}(t))R_L,$$

то матимемо рівність

$$v_{C_1}(t) = L \frac{di_{L_1}(t)}{dt} + (i_{R_D}(t) + i_{L_1}(t))R_L. \quad (6)$$

Немає труднощів встановити, що

$$i_{R_D}(t) = \frac{L}{R_D} \frac{di_{L_1}(t)}{dt}, \quad (7)$$

а отже, (6) трансформується в

$$v_{C_1}(t) = L \frac{di_{L_1}(t)}{dt} + R_L \left( \frac{L}{R_D} \frac{di_{L_1}(t)}{dt} + i_{L_1}(t) \right). \quad (8)$$

Вираз (8) може бути переписано як

$$v_{C_1}(t) - R_L i_{L_1}(t) = \left( L + \frac{R_L L}{R_D} \right) \frac{di_{L_1}(t)}{dt}. \quad (9)$$

Для спрощення позначень уведемо константу  $K_1$ , яка визначається так:

$$K_1 = L + \frac{R_L L}{R_D}$$

Тоді (9) можна переписати у вигляді

$$\frac{di_{L_1}(t)}{dt} = \frac{1}{K_1} v_{C_1}(t) - \frac{R_L}{K_1} i_{L_1}(t) \quad (10)$$

Вираз (10) є одним із рівнянь математичної моделі першого контуру схеми, зображеної на рис. 1, згідно з раніше згаданими правилами. 2.6.



Друге рівняння можна отримати за допомогою законів Кірхгофа для електричного струму. Давайте застосуємо цей закон до вузлів, що з'єднують  $L_1$ ,  $L_2$  і  $C_1$  на малюнку 1. 2.6 Отже, маємо рівняння

$$i_{L_1}(t) + i_{R_1}(t) + i_{C_1}(t) = i_{L_2}(t). \quad (11)$$

Зважаючи на (3), (4) і (7), вираз (11) може бути перетворений у такий:

$$i_{L_2}(t) - C_1 \frac{dv_{C_1}(t)}{dt} = i_{L_1}(t) + \frac{L}{R_D} \frac{di_{L_1}(t)}{dt} \quad (12)$$

Для спрощення подання рівнянь є доцільним позначити  $L/R_D$  в (12) як  $K_2$ .

Формула (12) містить дві похідні й одну з них потрібно усунути. Для цього підставимо (10) у праву частину (12); як результат дістанемо таку формулу:

$$C_1 \frac{dv_{C_1}(t)}{dt} = -i_{L_1}(t) + i_{L_2}(t) - \frac{K_2}{K_1} v_{C_1}(t) + \frac{K_2 R_L}{K_1} i_{L_1}(t). \quad (13)$$

Поділивши ліву та праву частини (13) на  $C_1$ , здобудемо вираз

$$\frac{dv_{C_1}(t)}{dt} = -\frac{1}{C_1} i_{L_1}(t) + \frac{1}{C_1} i_{L_2}(t) - \frac{K_2}{C_1 K_1} v_{C_1}(t) + \frac{K_2 R_L}{C_1 K_1} i_{L_1}(t). \quad (14)$$

Рівняння (10) і (14) разом складають безперервну математичну модель першого контуру штучного ярусу, показаного на рис. 1. 2.6 Щоб використовувати його як комп'ютерну модель, потрібно перейти від безперервного до дискретного часу в (10) і (14). Це перетворення можна здійснити за допомогою формули Ейлера, яка передбачає заміну кожної похідної на її наближення, як показано нижче:

$$\frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}, \quad (15)$$

де  $\Delta t$  — розмір кроку, який вважається постійним.

Використовуюючи (15), диференційні рівняння (10) і (14) після нескладних перетворень можуть бути подані у вигляді рівнянь різниці:

$$v_{C1}(n+1) = v_{C1}(n) - i_{L1}(n) \frac{\Delta t}{C_1} + i_{L2}(n) \frac{\Delta t}{C_1} - \frac{\Delta t K_2}{C_1 K_1} v_{C1}(n) + \frac{\Delta t K_2 R_L}{C_1 K_1} i_{L1}(n), \quad (16)$$

$$i_{L1}(n+1) = i_{L1}(n) + \frac{\Delta t}{K_1} v_{C1}(n) - \frac{\Delta t R_L}{K_1} i_{L1}(n), \quad (17)$$

...

де  $n$  — номер ітерації.

Формули (16) і (17) є математичною моделлю в дискретному часі першого контуру схеми штучного довгострокового принципу. Виконуючи всі кроки, описані раніше, ви можете отримати математичні моделі в дискретному часі для всіх інших схем на малюнку 1. 2.6; і рівняння від другого до останнього контуру будуть такими ж. Як зазначалося раніше, це впливає з однорідності штучних ярусів.

Таким чином, для всіх інших контурів, крім першого, рівняння типу (16) і (17) матимуть такий вигляд:

$$v_{Ci}(n+1) = v_{Ci}(n) - i_{Li}(n) \frac{\Delta t}{C_i} + i_{Li+1}(n) \frac{\Delta t}{C_i}, \quad (18)$$

де  $i$  — порядковий номер контуру.

$$i_{Li}(n+1) = i_{Li}(n) + v_{Ci}(n) \frac{\Delta t}{L} - v_{Ci-1}(n) \frac{\Delta t}{L}, \quad (19)$$

Система рівнянь різниці (16), (17), (18) і (19) являє собою математичну модель дискретного часу для штучної довгої лінії під час її розряджання на узгодженому навантаженні. Ця система рівнянь є дуже зручною для її реалізації в будь-якому середовищі програмування; як середовище вибрано Matlab.

Зазначена модель для великих значень  $R_D$  (демпфувального резистора) буде також моделлю класичної зарядної лінії.

### 2.3. Перевірка характеристик штучної довгої лінії за допомогою розробленої моделі

Переходимо до вивчення продуктивності комп'ютерної моделі, заданої рівняннями (16), (17), (18) і (19). Для цього виконаємо комп'ютерне моделювання довгої штучної лінії, зображеної на малюнку 1. Використовуйте розроблену модель для ситуацій із простою фізичною інтерпретацією. Так, наприклад, демпфуючий резистор  $R_D$  дорівнює 10 мОм (варіант класичного зарядного довгого дроту), що відповідає відсутності цього резистора, і конденсатор  $C_1$  такого ж номіналу, як і інші конденсатори. У цьому випадку імпульс напруги на узгодженому навантаженні повинен мати добре відому форму з літературних джерел, зі сплеском напруги на початку імпульсу приблизно 12% від амплітуди імпульсу.

Початкові умови для імітаційного комп'ютерного моделювання вибрано наступним чином: кількість вузлів штучної довгої лінії – 10, початковий заряд конденсатора – 10 В, хвильовий опір довгої лінії – 60 Ом, усі індуктивності – включені. Котушка 60 мкГн. Значення всіх ємностей конденсаторів вибрано так, щоб для вказаної індуктивності хвильовий опір лінії становив 60 Ом. Штучна довга лінія розряджається на узгодженому опорі, що дорівнює 60 Ом.

Для наведених обставин та початкових умов імпульс на виході штучної довгої лінії зображено на рис. 2.7.

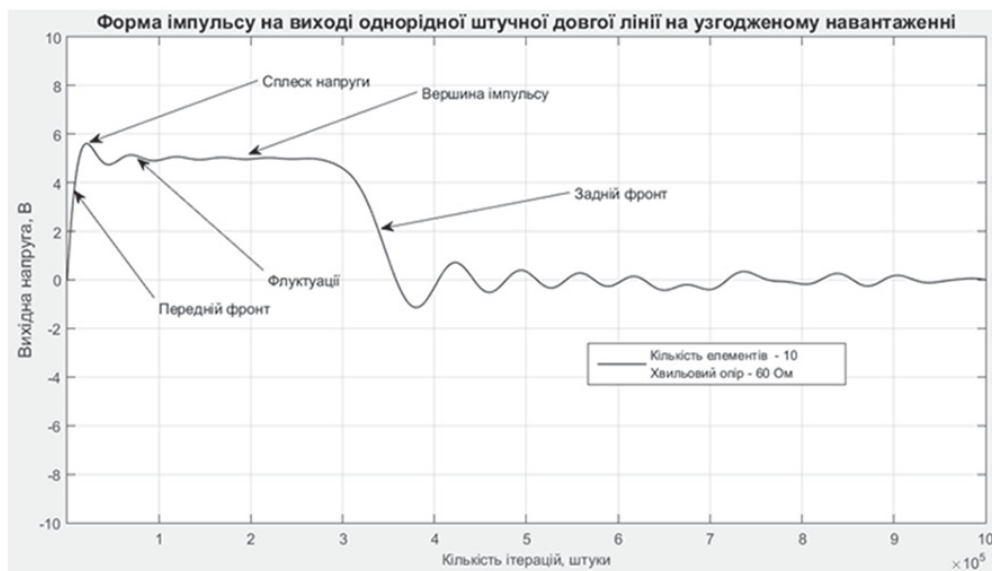


Рис. 2.7. Імпульс на виході однорідної штучної довгої лінії на узгодженому навантаженні

Аналіз кривих дозволяє зробити такі висновки:

- Імпульс напруги на виході штучного довгого дроту має типову форму, добре відому з літературних джерел, що демонструє справедливість розробленої комп'ютерної моделі.
- Як згадувалося раніше, імпульс має сплеск напруги біля переднього фронту імпульсу, майже 12,4% від амплітуди імпульсу, і пульсацію на вершині імпульсу.
- Амплітуда імпульсу становить приблизно 5 В, що відповідає узгодженому випадку навантаження, коли мережева напруга ділиться навпіл.

Головний висновок полягає в тому, що модель повністю функціональна і демонструє наявність стрибків напруги та флуктуацій на піку імпульсу, які є небажаними, і потрібно вжити заходів для їх зменшення. Як було сказано раніше, для їх усунення в статті рекомендується використовувати демпферний резистор  $R_D$  і регулювати номінал конденсатора  $C_1$ . Саме це буде розглянуто далі.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

- 1) В розділі отримано імітаційну комп'ютерну модель зарядної довгої лінії з  $R_D$  (демпфуючим резистором);
- 2) Якщо задати для  $R_D$  дуже велике значення (МОм) то ця модель також постає як імітаційна комп'ютерна модель класичної зарядної лінії;
- 3) Випробування розробленої моделі як класичної зарядної довгої лінії дозволяє зробити висновки, що сигнал на виході імпульсного модулятора буде мати великі флуктуації амплітуди. Це значно погіршує параметри модулятора і передавального пристрою загалом.

## РОЗДІЛ 3

### ІМПУЛЬСНИЙ МОДУЛЯТОР З МОДЕРНІЗОВАНОЮ ЛІНІЄЮ

# 3.1 Модернізація штучної зарядної довгої лінії за допомогою демпфуючого резистору

Проаналізуємо яким чином можливо покращити параметри вихідного імпульсу зарядної довгої лінії.

Спочатку давайте знайдемо фізичне пояснення проблеми вершини імпульсу. Скачок напруги поблизу переднього фронту імпульсу (див. рисунок 2.7) викликає зміну індуктивності  $L1$  штучного довгого дроту на малюнку 2. 2.6. Це можна пояснити наступним чином: коли струм, створюваний першим конденсатором, починає різко падати під час розряду, падіння напруги на дроселі  $L1$  змінює полярність і додає напругу на конденсаторі  $C1$ . Саме цей ефект створює стрибок напруги на початку імпульсу. Тому розумно припустити, що демпфуючий резистор, включений паралельно котушки індуктивності, зменшить цей стрибок напруги. При цьому цей опір впливає не тільки на діапазон коливань під час розряду, а й на середнє значення підвищення напруги. Додатково змінюючи ємність  $C1$ , можна впливати тільки на величину коливання, а не на середнє значення підвищення напруги. Таким чином, завдяки цим двом факторам, передній фронт імпульсу налаштування та пік його частини переднього фронту стають реальними. Розроблена модель, через свою варіативність, дуже добре пристосована для розв'язання цих задач.

Знаходження оптимального значення під час варіації двох параметрів є достатньо складним і тривалим процесом тому в роботі викладено тільки результати кінцевої стадії цієї процедури.

## 3.2 Розробка імітаційної моделі модернізованої зарядної довгої лінії

Розроблена вище імітаційна комп'ютерна модель зарядної довгої лінії є універсальною, при великих значеннях демпфувального резистора та однакових значеннях всіх конденсаторів  $C$  та індуктивностей  $L$  лінії, вона постає як імітаційна комп'ютерна модель класичної довгої лінії. В той же час коли демпфувальний резистор має значення співставне з резистором навантаження та характерним опором лінії ця модель постає як імітаційна комп'ютерна модель модернізованої довгої лінії.

За рахунок використання даної моделі виникає можливість підібрати значення демпфувального резистора  $R_D$  та ємності першого каскаду  $C_1$  для отримання оптимальних параметрів імпульсів на виході імпульсного модулятора.

Дана властивість імітаційної комп'ютерної моделі є надзвичайно важливою так як отримати аналітичне рішення для такої лінії є майже неможливим.

Пошук оптимальних значень демпфувального резистора  $R_D$  та величини ємності першого каскаду  $C_1$  буде здійснено в наступному підрозділі.

## 3.3 Перевірка характеристик модернізованої зарядної довгої лінії за допомогою розробленої моделі

Виявлено, що для кількох певних фіксованих значень опору  $R_D$  можна отримати оптимальне значення ємності  $C_1$ . Найбільш вдалим є значення  $R_D$ , яке в 1,7

рази перевищує хвильовий опір лінії. Саме для значення опору резистора  $R_D$  вибирається оптимальне значення конденсатора  $C_1$ . Для такого ж номіналу конденсатора  $C_1$ , як і інших елементів лінії, імпульс на виході штучно подовженої лінії показаний на малюнку 1.3.1. Надалі ємність буде тільки зростати і набувати значень, наведених у таблиці і виражених відносно ємностей інших елементів лінії  $C$ . У збільшеному масштабі наведено на рис. 3.2. рис. 3.3. рис. 3.4. рис. 3.5. і рис. 3.6.



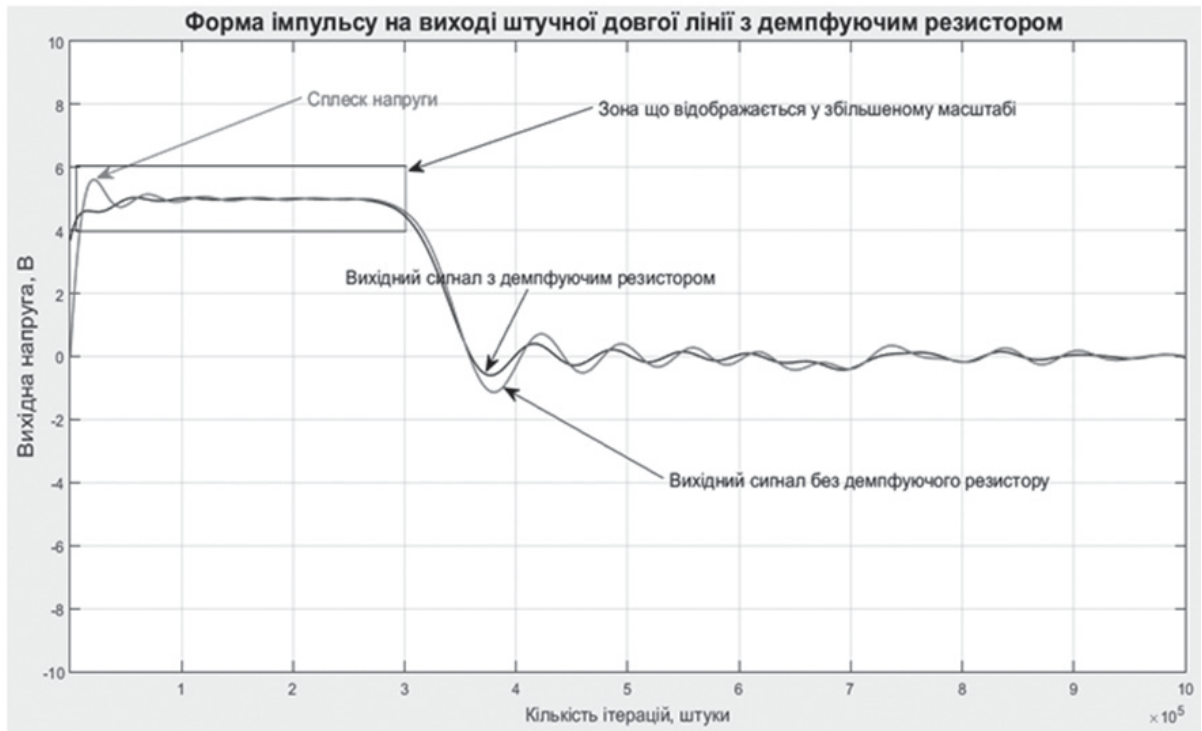


Рис. 3.1. Імпульс на виході штучної довгої лінії з демпфувальним резистором  $1,7 R_L$  та ємністю першого каскаду  $C$



Рис. 3.2. Вершина імпульсу на виході штучної довгої лінії з демпфувальним резистором  $1,7 R_L$  та ємністю першого каскаду  $C$  у збільшеному масштабі

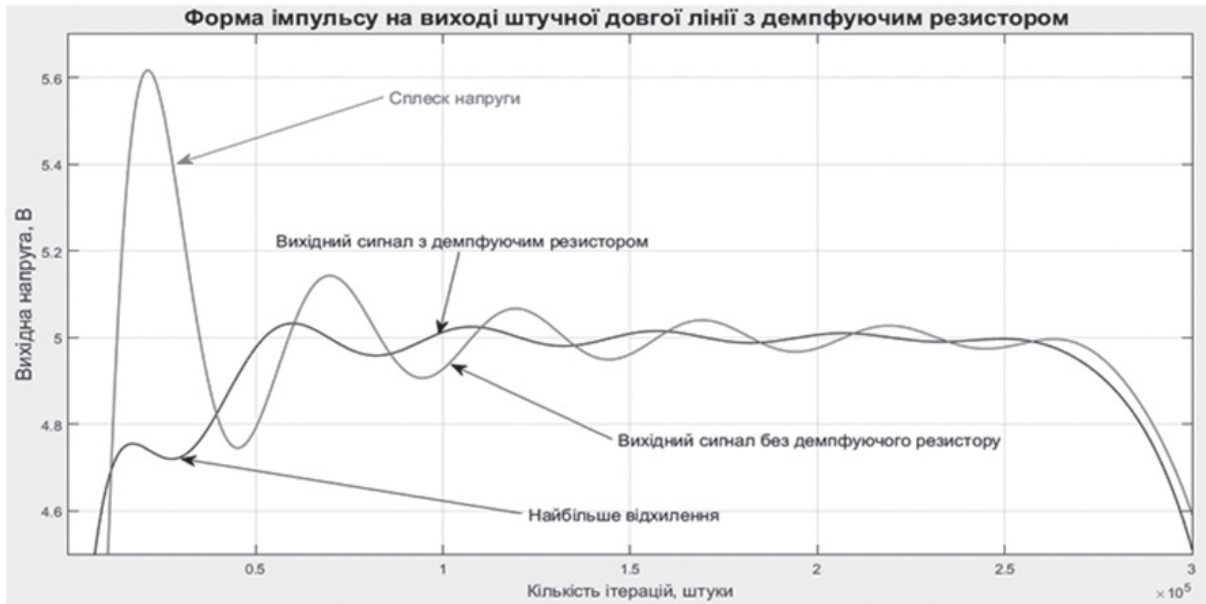


Рис. 3.3. Вершина імпульсу на виході штучної довгої лінії з демпфувальним резистором  $1,7 R_L$  та ємністю першого каскаду  $1,1 C$  у збільшеному масштабі



Рис. 3.4. Вершина імпульсу на виході штучної довгої лінії з демпфувальним резистором  $1,7 R_L$  та ємністю першого каскаду  $1,2 C$  у збільшеному масштабі



Рис. 3.5. Вершина імпульсу на виході штучної довгої лінії з демпфувальним резистором  $1,7 R_L$  та ємністю першого каскаду  $1,3 C$  у

збільшеному масштабі



Рис. 3.6. Вершина імпульсу на виході штучної довгої лінії з демпфувальним резистором  $1,7 R_L$  та ємністю першого каскаду  $1,34 C$  у збільшеному масштабі

Таблиця 3.1

Значення максимальних абсолютних і відносних відхилень амплітуди імпульсу на виході штучної довгої лінії для різних значень ємності  $C_1$

Значення ємності $C_1$ у першому контурі штучної довгої лінії	1,0 C	1,1 C	1,2 C	1,3 C	1,34 C
Абсолютне значення в точці максимального відхилення амплітуди, В	4,59	4,72	4,83	4,93	5,04
Максимальне абсолютне відхилення, В	0,41	0,28	0,17	0,07	0,04

Значення ємності $C_1$ у першому контурі штучної довгої лінії	1,0 C	1,1 C	1,2 C	1,3 C	1,34 C
---	-------	-------	-------	-------	--------

Частина імпульсу на рис. 3.1 позначено прямокутником для різних значень ємності  $C_1$ . Саме ця частина є важливою для дослідження.

Аналіз даних, наведених у таблиці, та кривих, зображених на рис. 3.2, рис. 3.3 , рис. 3.4 , рис. 3.5 і рис. 3.6 дає змогу дійти сказати наступне:

- Із збільшенням ємності  $C_1$  максимальні абсолютні та відносні відхилення амплітуди імпульсу на вихідному кінці штучної довгої лінії від очікуваного значення зменшуються. При цьому амплітуда коливань вершини імпульсу також зменшується;
- Зверніть увагу, що мінімальне значення максимального абсолютного та відносного відхилення амплітуди імпульсу на вихідному кінці змодельованої довгої лінії є значенням конденсатора  $C_1$ , яке становить 1,34 C. Це мінімальне значення дорівнює 0,8% амплітуди імпульсу;
- За допомогою демпфуючих резисторів і регулювання ємності першого каскаду можна зменшити максимальне відносне відхилення амплітуди імпульсу на виході штучної довгої лінії більш ніж у 12 разів, що доводить високу ефективність та перспективність запропонованого методу.

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1) Застосування демпфувального резистора  $R_D$  певним номіналом та підлаштування ємності першого каскаду  $C_1$  дозволили значно покращити форму імпульсу на виході модулятора;

2) Найкраща форма імпульсу виявлена при значенні демпфувального резистора  $1,7 R_L$  (опору навантаження) та ємності першого каскаду  $C_1$   $1,34$  від ємності всіх інших конденсаторів лінії;

3) Застосування демпфувального резистора та налаштування ємності першого каскаду дає можливість зменшити у понад 12 разів максимальні відносні відхилення амплітуди імпульсу на виході штучної довгої лінії, що доводить високу ефективність та перспективність запропонованого методу.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Вступ

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

При використанні алгоритмів, розроблених у процесі дипломного проектування, в робочому процесі бере участь інженер-оператор (алгоритми автоматизовані, але не автоматичні), інженер повинен вести постійний контроль виконання, за необхідності змінювати налаштування, а в екстрених випадках – вчасно відновити обладнання через надмірне мікрохвильове випромінювання та постійні електромагнітні поля, які наражають працівників на ризик пошкодження очей і серцево-судинної системи; оскільки обладнання живиться від високої напруги, також існує ризик ураження електричним струмом; ) витрачайте також багато часу та піддаються занадто сильному випромінюванню від екрана, що шкідливо впливає на очі та сильно втомлює очі, тому використовуються спеціальні захисні окуляри та рекомендується планувати роботу та відпочинок біля робочого місця. Відпочинок має здійснюватись у за екранованих приміщеннях задля протидії постійному опроміненню.

### 4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Відповідає вимогам міждержавного стандарту ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори». Класифікація", у сфері виробництва

класифікує фактори на вражаючі, небезпечні та шкідливі. Вражаючі фактори можуть спричинити смерть людини. Фактори ризику можуть призвести до травм або раптового погіршення здоров'я в окремих випадках (головний біль, втрата зору, слуху, зміни в психічні та фізичні стани). Шкідливі чинники можуть викликати захворювання або зниження працездатності людини як у явній, так і в прихованій формах. Поділ факторів на вражаючі, небезпечні та шкідливі досить умовний. Один і той самий фактор може спричинити смерть, хворобу або викликати не завдають шкоди людині через її міцність, опірність організму. Вражаючі, небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні. Те, що забезпечують ремонт РЛС. процес, піддається впливу наступним небезпечним та шкідливим факторам:

- недостатня освітленість в робочій зоні;
- занижена або завищена температура повітря робочої зони;
- надмірний рівень електромагнітних випромінювань;
- завищена або занижена рухомість повітря;
- ураження електричним струмом;

## 4.3 Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів

Виробниче освітлення необхідно нормувати на робочих поверхнях. Освітленість вимірюється у люксах. Однак нормування рівня освітленості природним світлом у люксах викликало б великі труднощі, тому що освітленість природним світлом коливається в дуже широких межах в залежності від періоду року, часу дня,



стану хмарності, що відображають властивості поверхні землі (сніг, трав'яний покрив, асфальт та інш.). Тому показником ефективності природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО), виражений у відсотках:

$$c = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{зовн}}} 100\% \quad (4.1)$$

де  $E_{\text{вн}}$  - освітленість в даній точці всередині приміщення, що створюється світлом неба (безпосереднім чи відбитим);  $E_{\text{зовн}}$  - освітленість горизонтальної поверхні, що створюється в той самий час ззовні світлом повністю відкритого небосхилу.

Світловий день нормується відповідно до точності виконаної роботи. Точність роботи залежить від розрізнення розміру об'єкта - мінімального розміру об'єкта, елементів, які необхідно спостерігати окремо під час роботи (ширина тріщин, подряпин, товщина ліній, написи на контрольних шкалах і вимірювальна техніка тощо).

Коли місце виробництва знаходиться нижче  $45^\circ$  північної широти та на північ від  $60^\circ$  північної широти, нормоване значення КРО збільшується на 0,75 і 1,2 відповідно.

Параметри природного освітлення виробничих приміщень з урахуванням максимально можливого освітлення (в залежності від виду освітлення) під час очищення скла ліхтарів і ліхтарів. Мийте скло не рідше двох разів на рік, якщо є невелика кількість диму, пилу та кіптяви, і не рідше чотирьох разів на рік, якщо є багато диму, пилу та кіптяви. Стіни і стеля повинні бути в світлих тонах. [12]

У НАОП Гігієнічним кодексом ДБН В.2.5-28-2006\* встановлено мінімально допустимі значення для штучного освітлення світлом.

При виконанні робіт категорій I-IV, Va, Vб рекомендується використовувати тільки комбіновані системи освітлення. Для загального освітлення в комбінованих системах по можливості слід використовувати газорозрядні лампи. За таких обставин стандарт освітленості повинен бути збільшений на один рівень рівня освітленості:

а) при роботі I-VI розрядів, коли відстань між очима та предметом, про який йдеться, перевищує 0,5 м;

б) освітленість системи загального освітлення не перевищує 150 лк при підвищеній небезпеці травмування (наприклад, при заточуванні ножів на верстаті для ножів і роботі на гільйотинні ножиці);

в) для класів, де навчаються підлітки, нормативне освітлення не повинно перевищувати 300 лк;

г) у період роботи I-IV категорій, якщо зорова робота виконується безперервно протягом половини робочого дня і більше;

д) у тих приміщеннях, де відсутнє природне освітлення і постійно перебувають люди.

Норми освітленості необхідно знижувати:

а) під час короткочасного перебування робітників у виробничому приміщенні;

б) якщо в приміщенні встановлено устаткування, що не потребує постійного обслуговування.

### **Нормування та загальні заходи і засоби параметрів мікроклімату**

У робочих зонах промислових підприємств ДСН 3.3.6.042-99 «Гігієнічні нормативи мікроклімату для промислових підприємств» встановлює нормативи температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в теплий, холодний і перехідний періоди року відповідно до складності, місця розташування, використання, категорії роботи для відпрацьованого тепла тощо.

Метеорологічні умови трактувалися як прийнятні, за яких тривалий час може зберігатися рівноважний тепловий стан організму, і оптимальні, коли процеси терморегуляції організму не зазнають значного навантаження під час роботи.

Оптимальні параметри повітряного середовища забезпечують опалення, вентиляція та кондиціонування відповідно до гігієнічних норм і нормативів. [12]

## Оптимальні норми метеорологічних умов для різних категорій робіт

Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний і перехідний періоди року			
Ia (легка)	20 - 23	60 - 40	0,2
Iб (легка)	19 - 21	60 - 40	0,2
IIa (середньої важкості)	18 - 20	60 - 40	0,2
IIб (середньої важкості)	17 - 19	60 - 40	0,2
III (важка)	16 - 18	60 - 40	0,2
Теплий період року			
I (легка)	23 - 25	60 - 40	0,2
IIa (середньої важкості)	21 - 23	60 - 40	0,3
IIб (середньої важкості)	20 - 22	60 - 40	0,4
III (важка)	18 - 21	60 - 40	0,5

**Нормування електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону**

Стандарт ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ «Електромагнітні поля радіочастот. Допустимі рівні та вимоги контролю на робочих місцях» встановлює допустимі рівні впливу ЕМП радіочастот. Електромагнітні поля на радіочастотах слід оцінювати в діапазоні частот 60 кГц-300 МГц - напруженість електромагнітної складової, що проходить через поле; в діапазоні частот 300 МГц-300 ГГц - поверхневу щільність потоку променистої енергії (далі - щільність). (EGE)) та енергетичне навантаження (EN), створене цим потоком.

Вищезазначені рівні можуть бути дозволені, але не більше двох разів, за умови, що людина не піддається впливу ЕМП більше 50% робочого дня.

Напруги ЕМП в діапазоні частот 60 кГц-300 МГц на робочих місцях працівників не повинні перевищувати встановлених гранично допустимих рівнів (ГДК) протягом робочого дня:

- за електричною складовою, В/м
- для частот від 60 кГц до 3 МГц – 500
- для частот понад 3 до 30 МГц – 300
- для частот понад 30 до 50 МГц - 80
- за магнітною складовою, А/м
- для частот від 60 кГц – до 3 МГц – 50

Гранично допустимі величини ГПЕ ЕМП у діапазоні частот 300 МГц-300 ГГц на робочих місцях персоналу варто визначати, виходячи з допустимої ЕН на організм з урахуванням часу впливу за формулою:

$$ГПЕ_{доп} = \frac{ЕН_{доп}}{T} \quad (4.2)$$

де: ГПЕ - гранично допустимі значення ГПЕ, Вт/м<sup>2</sup> (мВт/см<sup>2</sup>, мкВт/см<sup>2</sup>); ЕН<sub>гду</sub>- нормативна величина ЕН, яка дорівнює: 2Втгод/ м<sup>2</sup> (200 мкВт год/см<sup>2</sup>) для усіх випадків опромінення, крім опромінення від обертових і скануючих антен; 20 Вт год/м<sup>2</sup> (2000 мкВт год/ см<sup>2</sup>) для випадків опромінення від обертових і скануючих антен з частотою обертання чи сканування не більше ніж 1 Гц і шпаруватістю не менше 50; Т - час перебування в зоні опромінення за робочу зміну, год. (без урахування режиму обертання чи сканування антен).

Максимальне значення ГПЕг не повинно перевищувати 10 Вт/м<sup>2</sup> (1000 мкВт/см<sup>2</sup>).

Санітарними правилами передбачена обов'язкова періодичність перевірки на робочих місцях рівня ГПЕ, створюваного джерелами НВЧ опромінення. Перевірки повинні бути не рідше одного разу за рік.

### **Захист від впливу електромагнітних полів**

Основними методами розробки захисту від впливу ВЧ і УВЧ полів є:

1) Зменшення ГПЕ безпосередньо від самого джерела випромінювання є найефективнішим засобом захисту обслуговуючого персоналу, який регулює, налагоджує та проводить випробування радіолокаційних станцій і передавачів мікрохвильових генераторів. Для цього замість антени підключається навантаження, що відповідає вихідному каскаду передавача - еквівалент антени (поглинач потужності). В еквівалентній антені вироблена енергія повністю поглинається без порушення режиму роботи мікрохвильового генератора. Елемент, що поглинає хвилі, еквівалентній антені, має форму клина, драбини або конуса. При використанні антенного еквівалента випромінювання мікрохвильової енергії в простір зменшується більш ніж на 50 дБ, тобто в 100 000 разів менше випромінювання, ніж при використанні антени;

2) Зниження інтенсивності ЕМП в робочій зоні НВЧ можна досягти екрануванням джерела випромінювання суцільними металевими та сітчастими екранами. Інтенсивність випромінювання може бути знижена також за допомогою поглинаючих покриттів. Електромагнітне поле в металевому екрані наводить вихрові струми, що створюють ЕМП, протилежне екрану. Товщину суцільного металевого екрана вибирають з конструктивних міркувань, тому що глибина проникнення електромагнітної ВЧ і НВЧ енергії невелика. Екран товщиною 0,01 мм послабляє енергію поля на 50 дБ (у 100000 разів). Саме тому, як матеріал екрана застосовують фольгу.

3) Поглинаючі екрани застосовуються у випадках, коли відбита електромагнітна енергія від внутрішніх поверхонь суцільних металевих екранів може істотно порушити режим роботи НВЧ генератора. Тому поглинаюче покриття має максимально поглинати енергію. Це досягається відповідним підбором діелектричної та магнітної проникності поглинаючого матеріалу. В якості поглинаючого покриття для поглинання електромагнітної енергії в діапазоні 0,8-4 см використовуються гумові прокладки з конічними шипами В2Ф-2, В2Ф-1; 0,8, ХВ-2,0, ХВ-3,2, ХВ-10,6 - поглинають хвилі від 0,8-10,6 см, вбираючі покриття на основі піни ВРПМ поглинають хвилі в діапазоні 0,8-3 см. Сітчасті металеві екрани застосовують для зниження щільності потужності НВЧ-випромінювання на 20-30 дБ (у 102-103 рази).

З'єднання між металевими пластинами повинні бути міцно електрично з'єднані по всьому периметру зварюванням або паянням, а рухомі або рухомі частини екрана (двері, оглядові вікна) повинні мати електричний контакт з нерухомими частинами екрана;

4) Забезпечує екранування робочого місця при негайному зниженні інтенсивності випромінювання джерела чи його екранування зумовлює технічні ускладнення. Екранування робочого місця виконують у вигляді незамкненого екрана чи спеціальної kabіни, звідки керують роботою чи настроюванням установки.

5) Індивідуальний захист від ЕМП мікрохвиль полягає у використанні спеціального одягу – комбінезонів, халатів, капюшонів. Матеріал сукні - бавовняна тканина з тонкими металізованими нитками, що утворюють сіточку. Тканина арт.4381 може послаблювати потужність випромінювання в діапазоні 0,8-10 см на 20-38 дБ. Для захисту очей використовуються захисні окуляри ОРЗ-5. Скло келихів вкрите прозорою плівкою діоксиду олова  $\text{VIO}_2$ . Каркас пористо-гумовий з пресованою металевою сіткою. [13]

Скло послаблює потужність в діапазоні 3...150 см не менше ніж на 25 децибел, рама - на 20 децибел. Світлопроникність скла не менше 74%.

Вентиляція та кондиціонування виробничих приміщень

Важливим засобом нормалізації мікроклімату промислових підприємств є вентиляція, за допомогою якої створюються належні санітарно-гігієнічні та метеорологічні умови.

Вентиляція - організований і регульований повітрообмін, метою якого є:

- Видалення шкідливих газів і пилу з повітря в промислових приміщеннях які можуть нести небезпеку отруєння, вибуху чи пожежі;
- створення нормальних метеорологічних умов у виробничому середовищі - температури, вологості, швидкості руху повітря. Види вентиляції: природна і штучна.

Природна вентиляція (рис. 5.1) здійснюється внаслідок різниці густини повітря поза й у середині приміщення. Повітря у середині приміщення звичайно має більш високу температуру.

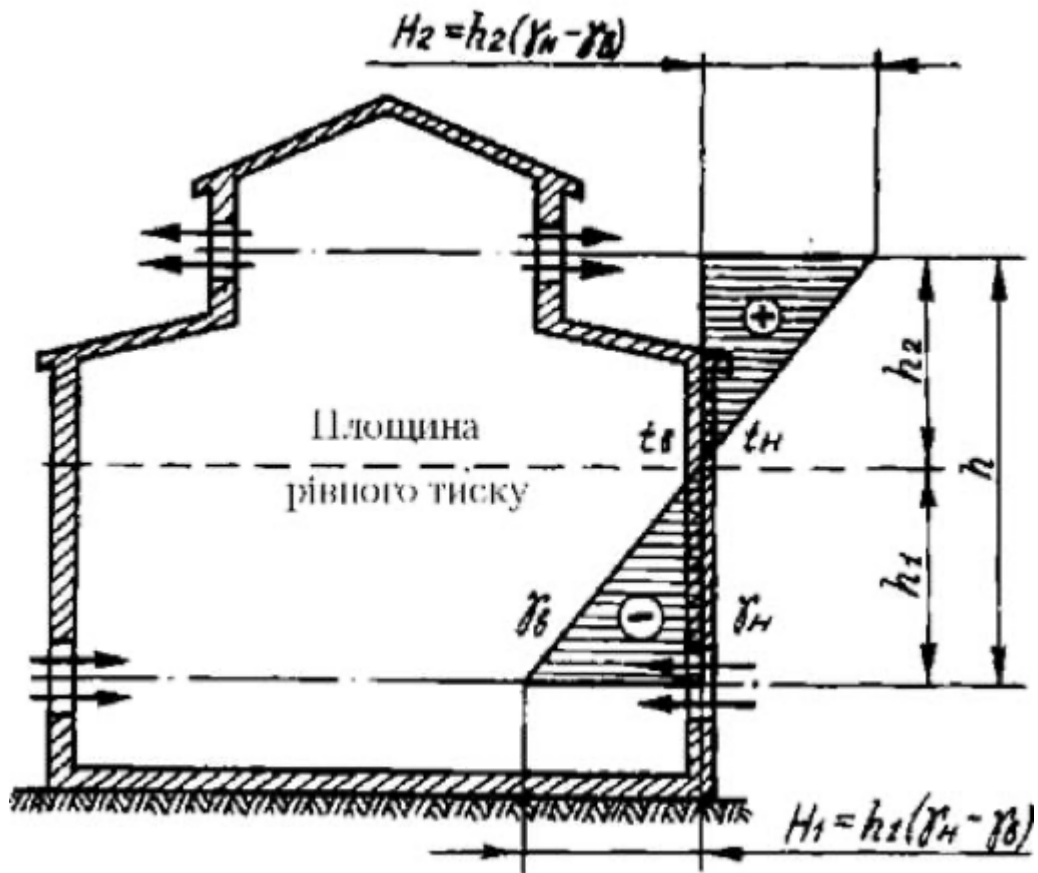


Рис. 4.1 Принцип роботи природної вентиляції

Чим більша відстань  $h$  між осями верхнього  $h_1$  і нижнього  $h_2$  прорізів, тим більше значення теплового напору  $H$ , що дорівнює сумі теплових напорів  $H_1$  і  $H_2$ :

$$H_m = H_1 + H_2 = h(\gamma_n - \gamma_v) \quad (4.3)$$

Для збільшення теплового тиску на будинках і сховищах споруджують витяжні шахти з дефлекторами.

Штучна (механічна) вентиляція здійснюється завдяки тиску повітря, створюваному вентилятором, що приводиться в обертання електродвигуном. Щодо зон дії вона буває загальною й місцевою, а за призначенням - припливною, витяжною і припливно-витяжною:

- місцева - для видалення шкідливих газів, пари і пилу від місця їхнього утворення; перешкоджає їх поширенню в приміщенні. Шкідливі речовини відсмоктуються за допомогою витяжних парасолів, шаф і щілинних приймачів;

- загальна - для повітрообміну в усьому приміщенні; припливна (рис.3.2, а) - для подачі в приміщення чистого повітря, коли виділення в процесі виробництва шкідливих речовин незначне і потрібна неповна заміна повітря, а також для запобігання підсмоктуванню в приміщення шкідливих газів і парів із суміжних (сусідніх) приміщень.[14]

**Способи запобігання ураженню електричним струмом.** Виконання, розміщення, вибір, спосіб монтажу та клас ізоляції використовуваних машин, устаткування та іншого електрообладнання здійснюються відповідно до вимог ДСТУ та Правил улаштування електроустановок НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила» для безпечної експлуатації споживчих електронних пристроїв». Розглянемо загальні заходи струмового захисту.

застосування ізоляції. Ізоляція струмопровідних частин електроустановок, подвійна або посилена в особливих випадках, запобігає появі струму на неструмопровідних металевих частинах електрообладнання, стікання струму в землю, а також захищає персонал від струму, викликаного випадковим дотиком до струмоведучих частин.

Причини зносу електроустановок та ізоляції мережі:

- Вплив низької температури повітря і обладнання, і навпаки, високої температури повітря і обладнання;
- струм, що протікає переважно при перевантаженнях і коротких замиканнях, нагріває ізоляцію;
- механічні впливи ударного, вібраційного і розривного характеру;
- вплив хімічно активних речовин, підвищеної і зниженої вологості повітря.

Підтримання ізоляції електроустановок в належному стані, її опір вимірюють або періодично, або безперервно. Приймально-здавальні випробування ізоляції проводяться при уведенні в експлуатацію нових і відремонтованих електроустановок.

Тримайте струмопровідні частини в недоступному для вас місці. Внутрішня електропроводка з незахищеними ізолюваними проводами на ізоляторах і роликах, не менше 2 м від землі, немає підвищеної небезпеки в приміщеннях з напругою вище



42 В підвищеної небезпеки в приміщеннях на висоті не менше 2,5 м від землі, з напругою вище ніж Особливо небезпечно при 42 В.

застосування низької напруги. Напруга не повинна перевищувати 42 В - низька напруга, щоб зменшити ризик ураження електричним струмом. Це ефективний захід для зниження ризику обслуговування електрообладнання, де технічне обслуговування проводиться в умовах підвищеної та особливої небезпеки. Ліхтарі низької напруги 24В і 36В широко використовуються при обслуговуванні електрообладнання в нічний час. У приміщеннях, що не підвищують небезпеку (хімічні лабораторії), допускається використання переносних ламп напругою до 220 В включно без захисних засобів.[13]

## 4.4 Інструкція з охорони праці при обслуговуванні РЛС

Відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.15-98 «Положення про підготовку нормативно-правових актів з охорони праці» (Наказ Держнагляддохоронпраці від 26.01.2005 р. № 15) сформульовано типові процедури.

Загальні вимоги:

Обслуговувати машину може інженерно-технічний персонал, який пройшов об'єкт дослідження, інструкцію з технічної експлуатації, діючу інструкцію, пройшов випробування з технічної безпеки та пожежної безпеки;

Ремонт і налаштування повинні виконуватися не менше двох спеціалістів. При цьому обладнання повинно бути в нормальному робочому стані, а джерело живлення повинно бути відключеним;

Робоче місце або приміщення повинні бути обладнані засобами протипожежного захисту – сухими хімічними або іншими видами вогнегасників;

Вимоги безпеки під час роботи:

Перед початком роботи переконайтеся:

– обладнання належним чином підключено та заземлено;

– Усі з'єднувальні кабелі та розетки в хорошому стані.

При виконанні роботи необхідно:

- переконатися, що на робочому місці немає зайвих предметів, що відволікають увагу і можуть призвести до його травмування;

– при появі іскріння, короткого замикання, запаху гару, диму обладнання негайно відключити та виявити причини можливого виникнення пожежі.

Після закінчення роботи необхідно:

– вимкнути прилад, коли спеціаліст залишає своє місце;

– прибрати своє робоче місце;

– перевірити наявність всього інструменту згідно опису;

– повідомити керівника робіт про виявлені недоліки в роботі приладу.

**ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ:**

– у випадку виникнення пожежі негайно викликати пожежну команду. До її приїзду приступити до тушіння пожежі підручними засобами;

– у випадку ураження електричним струмом відключити живлення, прийняти необхідні міри по наданню першої медичної допомоги;

– в робочому приміщенні працівники мають бути ознайомлені з планом та порядком евакуації з приміщення;

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4**

1) Аналіз робочого місця інженера виявив шкідливі та небезпечні фактори, що впливають на роботу інженера: ураження електричним струмом, недостатнє освітлення, поганий мікроклімат, високий рівень електромагнітного випромінювання, погана вентиляція.

2) Внесено пропозиції щодо покращення умов праці інженерів, які експлуатують та обслуговують обладнання, сформульовано заходи щодо нормалізації освітлення робочої зони, покращення мікроклімату та пожежної безпеки.

3) Розглядаються питання пожежної безпеки та визначаються необхідні умови для забезпечення пожежної безпеки. Вогнегасник типу Обано, визначено основні заходи пожежогасіння.

**РОЗДІЛ 5**  
**ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

## 5.1. Негативний вплив на людське здоров'я

Під час користування комп'ютером людина піддається впливу різноманітних факторів: електромагнітних полів (діапазон радіочастот: КВ, УВЧ та УВЧ), інфрачервоного та іонізуючого випромінювання, шуму та вібрації, статичної електрики. Комп'ютерні монітори випромінюють декілька видів випромінювання: рентгенівське, ультрафіолетове, інфрачервоне та електромагнітні хвилі. Дослідження показали, що це не небезпечно для користувачів ПК, оскільки інтенсивність цього випромінювання нижче максимально допустимої межі.

Норма передбачає, що опромінюється все тіло, тоді як насправді опромінюється лише верхня половина тіла. Наведені вище критерії були встановлені окремо для кожного виду опромінення, хоча всі поля діють одночасно і їх комплексна дія не досліджена. Крім того, на відео видно, що термінал порушує баланс позитивних і негативних іонів у повітрі. Електростатичне поле дисплея притягує негативні іони, що порушує загальний баланс атмосфери. Це також шкідливо для здоров'я. Протягом години роботи біля монітора відбувається майже повне зникнення негативних іонів. Ось чому необхідно, щоб свіже повітря надходило на робоче місце.

До оптичного випромінювання належать: ультрафіолетове (УФ), світло та інфрачервоне (ІЧ). Загалом УФ-випромінювання може впливати на шкіру та очі людини. Аналіз робочих місць користувачів ПК показав, що в 86% вимірювань у більшості випадків УФ-випромінювання не було виявлено. У тих же випадках, коли таке випромінювання виявляється, його середній рівень дорівнює 0,001 Вт/м<sup>2</sup>.

Світлове випромінювання в першу чергу впливає на очі і викликає втому очей і запалення райдужної оболонки. Однак ці симптоми швидко проходять і не викликають патологічних змін. Інфрачервоне випромінювання – Довжина хвилі обмежена від 0,76 мм до 1 мм.

Для більшості біологічних матеріалів випромінювання потрапляє в цей діапазон

вважається непрозорим. Дослідження показали, що інтенсивність інфрачервоного випромінювання відеотерміналів нижча за показник, передбачений санітарними нормами.

Джерелом ЕМП є монітор. Тому, вибираючи робоче місце для комп'ютера, слід мати на увазі, що його задня і бічні стінки можуть джерелом значно більшої ЕРС, ніж екран.

## 5.2. Електронні відходи

Поняття «електронні відходи» описує викинуті електричні або електронні пристрої. Використане електронне обладнання, призначене для відновлення, повторного використання, перепродажу, переробки або переробки, також вважається електронними відходами. Нерегульована переробка електронних відходів у країнах, що розвиваються, може негативно вплинути на здоров'я людини та забруднення навколишнього середовища.

Електронні відходи, такі як процесори, містять потенційно небезпечні речовини, такі як свинець, кадмій, берилій або бромовані антипірени. Поводження та утилізація електронних відходів може становити значний ризик для здоров'я працівників і громад у розвинених країнах.

Наприклад, у 2018 році споживачі міняли свої телефони кожні 15 місяців, за даними MarketWatch. Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР)

визначає електронні відходи як будь-яке електричне обладнання, термін служби якого закінчився. Отже, мова йде не лише про мобільні телефони.

Електронні відходи можна класифікувати за їх складом і складом. Чорні та кольорові метали, скло, пластмаси, забруднюючі речовини тощо – це шість основних категорій матеріалів, які складають електронні відходи. На сталь припадає найбільша частка відходів електричного та електронного обладнання (WEEE), за нею йде пластмаса. Матеріали з кольорових металів, включаючи такі метали, як мідь і алюміній, а також дорогоцінні метали, такі як срібло, золото і платина, займають третє місце за запасами і також мають важливу комерційну цінність. До токсичних речовин належать свинець і кадмій у друкованих платах, оксид свинцю й кадмію в електронно-променевих трубках, ртуть у перемикачах і плоских дисплеях, бромовані вогнезахисні речовини на друкованих платах, а також пластикові та ізольовані кабелі; коли вони перевищують порогове значення, вони вважаються забруднювачами та можуть завдати шкоди навколишньому середовищу якщо будуть неправильно утилізовані.

Розглянемо деякі типи ВЕЕО, які існують відповідно до директиви Європейського Союзу (ЄС):

- Велика побутова техніка: холодильники, морозильні камери, пральна машина, сушильна машина, посудомийна машина, плита та плита, мікрохвильова піч, вентилятор та кондиціонер.
- Дрібна техніка: пылососи, тостери, млинки, кавоварки, машинки для стрижки та сушарки, зубні щітки та бритви.
- Інформаційні технології (ІТ) і телекомунікаційне обладнання: мейнфрейми, міні-комп'ютери, персональні комп'ютери, ноутбуки, ноутбуки, принтери, телефони та мобільні телефони.
- Побутова техніка: радіоприймачі, телевізори, відеокамери, відеомагнітофони, музичні центри, підсилювачі, музичні інструменти.

- Освітлення: прямі та компактні люмінесцентні та газорозрядні лампи високої інтенсивності.
- Електричні та електронні інструменти: дрилі, пилки, швейні машини, паяльники, обладнання для токарної, фрезерної, шліфувальної, свердлільної, свердлильної роботи, складання, згинання або подібних робіт по дереву та металу.
- Іграшки, обладнання для відпочинку та спортивні товари: електрички або набори гоночних автомобілів, відеоігри та спортивне спорядження з електричними елементами.
- Медичні вироби: обладнання для радіотерапії, кардіологія, діаліз, легеневі вентилятори, ядерні ліки та аналізатори.
- Прилади моніторингу та управління: детектори диму, регулятори нагріву та термостати.
- Автоматичні дозатори: для гарячих напоїв, гарячих або холодних пляшок, твердих продуктів, грошей та всіх приладів, які автоматично доставляють різні продукти.

Згідно зі звітом ООН, у 2018 році у світі було утворено 48,5 мільйонів тонн електронних відходів. Ця цифра підкреслює зростаючу важливість переробки, що викликає тривогу: лише 20% відходів переробляється. Якщо ми продовжимо так і далі, за оцінками ООН, до 2050 року люди зможуть створити 120 мільйонів тонн електронних відходів.

Величезна кількість електронних відходів, що утворюються в усьому світі, і погане управління переробкою становлять загрозу для навколишнього середовища. Найпоширеніші речовини, які містяться в цих відходах, включають кадмій, свинець, оксид свинцю, сурму, нікель і ртуть. Ці токсичні елементи забруднюють річки, озера та океани та викидають гази в атмосферу, завдаючи шкоди екосистемам. Тому існує нагальна потреба повернутися до моделей виробництва та споживання, які зменшують кількість електронних відходів.

Електронні відходи складні за складом і неправильно утилізуються, що негативно впливає на здоров'я людей. Зростаючий обсяг епідеміологічних та клінічних доказів призвів до посилення занепокоєння щодо потенційної загрози електронних відходів для здоров'я людей, особливо в таких країнах, що розвиваються, таких як Індія та Китай. Примітивні методи, які використовуються нерегульованими операторами на задвірках (наприклад, неформальний сектор) для рекультивації, переробки та переробки електронних відходів, піддають працівників ряду токсичних речовин. Прямий контакт і вдихання шкідливих хімічних речовин здійснюються за допомогою таких процесів, як демонтаж компонентів, волога хімічна обробка та спалювання. Засоби безпеки, такі як рукавички, маски для обличчя та вентилятори, практично невідомі, і працівники часто не знають, що вони використовують.

Наприклад, з точки зору небезпеки для здоров'я, відкрите спалювання друкованих плат підвищує концентрацію діоксинів у прилеглий зоні. Якщо робітники та місцеві жителі вдихають ці токсини, вони підвищують ризик раку. У процесі штучного вилучення та збирання невеликої кількості дорогоцінних металів токсичні метали та отрути також потрапляють у кров, а працівники часто піддаються впливу токсичних хімікатів і кислотного туману високої концентрації. Переробка міді для перепродажу при спалюванні ізольованих проводів призводить до неврологічних розладів і гострого впливу кадмію, що міститься в напівпровідниках та мікросхемах резисторах, може пошкодити нирки та печінку та призвести до втрати кісткової маси. Тривалий вплив свинцю на друкованих платах та екранах комп'ютерів та телевізорів може пошкодити центральну та периферичну нервову систему та нирки, а діти більш сприйнятливі до цих шкідливих впливів.

Діти особливо вразливі до можливих ризиків для здоров'я через контакт з електронними відходами, тому потребують більш конкретного захисту. Оскільки діти ще ростуть, вони споживають значно більше повітря, води та їжі пропорційно до маси свого тіла, ніж дорослі, а разом з цим виникає ризик проковтування небезпечних хімічних речовин. Крім того, функціональні системи їхніх органів, такі як центральна



нервова система, імунна система, репродуктивна система та система травлення, все ще розвиваються, і вплив токсичних речовин перешкоджає подальшому розвитку та завдає незворотної шкоди. Багато дітей стикаються з хімічними речовинами в електронних відходах у своєму повсякденному житті через небезпечну діяльність з переробки, часто вдома - або членами сім'ї, або самими дітьми. Крім того, діти можуть опинитися на звалищах, розташованих поблизу їхніх будинків, шкіл та ігрових майданчиків.

Хоча електронні вироби є невід'ємною частиною повсякденного життя, їх шкідливий вплив на навколишнє середовище не можна ігнорувати або недооцінювати. Взаємодія між електричним та електронним обладнанням і навколишнім середовищем відбувається під час виробництва, обробки та утилізації цих продуктів. Викиди диму, газів і твердих частинок у повітря, скидання рідких відходів у водопровідні та каналізаційні системи, утилізація небезпечних відходів призводять до погіршення навколишнього середовища. На додаток до більш суворого регулювання переробки та утилізації електронних відходів, необхідні політики, які розширюють відповідальність усіх зацікавлених сторін, особливо виробників, за межі точки продажу до кінця життєвого циклу продукту.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5**

Останніми роками питання збереження набули більшого масштабу. Найбільша турбота полягає в захисті екологічного балансу землі та захисту природної спадщини. Навіть ця, здавалося б, нешкідлива комп'ютерна операція може мати багато негативних наслідків для навколишнього середовища.

Загальні принципи охорони навколишнього середовища від забруднення включають встановлення комплексу заходів щодо обмеження або виключення надходження шкідливих речовин у біосферу. Оскільки неможливо зупинити всі

процеси, пов'язані з господарською діяльністю людини на Землі та в атмосфері, неможливо повністю перейти на безвідходні технології виробництва.

Сьогодні охорона навколишнього середовища здійснюється шляхом обмеження викидів, маса яких не перевищує гранично допустимої концентрації та не викликає змін у складі та структурі ґрунту, тропосфери та верхніх шарів атмосфери.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи було розглянуто РЛС, можна зробити висновок, що РЛС відіграють важливу роль щодо контролю за повітряним простором в районі інфраструктури аеродрому. Визначено, що дуже важливим елементом РЛС є передавальний пристрій характеристики якого визначають параметри усієї РЛС. Основним елементом передавального пристрою являється імпульсний модулятор з штучною зарядною лінією, він виконує основні функції. Зарядна довга лінія визначає параметри передавального пристрою, а також параметри РЛС станції загалом.

Було розроблено імітаційну комп'ютерну модель зарядної довгої лінії з демпфуючим резистором  $R_D$ . Можна зробити висновок - якщо для  $R_D$  дуже велике значення (МОм) то ця модель також постає як імітаційна комп'ютерна модель класичної зарядної лінії, випробування розробленої в результаті виконання роботи моделі як класичної зарядної довгої лінії дозволяє зробити висновки, що сигнал на виході імпульсного модулятора буде мати великі флуктуації амплітуди. Це значно погіршує параметри модулятора і передавального пристрою загалом.

Розглянуто процеси в штучних довгих лініях, які є складовою імпульсних модуляторів для підсилювачів потужності та автогенераторів. Проведений аналіз показує, що забезпечення необхідної форми імпульсу під час розряду лінії через узгоджене навантаження є головною проблемою при її розробці. Для вивчення форми зазначеного імпульсу використовується імітаційне комп'ютерне моделювання процесів лінії. Розроблена комп'ютерна модель однорідної штучної довгої лінії дозволяє встановити, що вихідний імпульс такої лінії при розряді на узгодженому навантаженні має небажані сплески напруги та флуктуації на початку вершини імпульсу. Відомо, що зазначені недоліки форми імпульсу можуть призводити до суттєвих відхилень частоти та фази коливань у підсилювачі потужності, який живиться від модулятора.

Для усунення зазначених недоліків пропонується використовувати резистор, що демпфує, підключений паралельно першій індуктивності лінії, і відповідне налаштування величини першої ємності лінії. З використанням розробленої моделі

штучної довгої лінії були встановлені оптимальні величини опору резистора, що демпфує, і ємності першого конденсатора лінії і було виявлено, що запропонований підхід дозволяє зменшити максимальне відносне відхилення амплітуди імпульсу модулятора від очікуваного значення приблизно 12 разів на виході штучної довгої лінії, що доводить високу ефективність та перспективність запропонованого методу.

З урахуванням проведених досліджень модернізована наведеним чином штучна довга лінія може бути використана в імпульсних модуляторах, які живлять підсилювачі потужності з жорсткими вимогами до відхилень значень напруг імпульсного джерела живлення, телекомунікаційних мереж та радіолокації.

Застосування демпфувального резистора  $R_D$  певним номіналом та підлаштування ємності першого каскаду  $C_1$  дозволили значно покращити форму імпульсу на виході модулятора.

Найкраща форма імпульсу виявлена при значенні демпфувального резистора  $1,7 R_L$  (опору навантаження) та ємності першого каскаду  $C_1$   $1,34$  від ємності всіх інших конденсаторів лінії.

В результаті проведеного аналізу робочого місця інженера були виявлені шкідливі і небезпечні фактори, які впливають на інженера під час роботи, а саме ураження електричним струмом, недостатній рівень освітленості, поганий мікроклімат, завищений рівень електромагнітних випромінювань, погана вентиляція.

Дано рекомендації з поліпшення умов праці інженера з експлуатації доглядової техніки, а також розроблено заходи щодо нормалізації освітленості робочої зони, з покращення мікроклімату і пожежної безпеки.

Під час виконання проекту було розглянуто питання пожежної безпеки та визначено необхідні умови для її забезпечення. Обрано тип вогнегасник, визначено основні протипожежні заходи. За останні роки проблеми охорони природи стали більш глобальними. Найбільша увага приділяється збереженню екологічної рівноваги планети, збереженню

природної спадщини. Навіть такі на перший погляд нешкідливі операції з комп'ютером мають багато негативного впливу на наше довкілля.

Було проаналізовано загальні принципи захисту навколишнього середовища від забруднення, які складаються з розробки комплексу заходів, що обмежує або виключає надходження шкідливих речовин у біосферу. Оскільки неможливо зупинити всі процеси, пов'язані з господарською діяльністю людини на Землі та в атмосфері, неможливо повністю перейти на безвідходну технологію виробництва, то доцільно що сьогодні захист навколишнього середовища відбувається шляхом обмеження викидів, маса яких не перевищуватиме гранично допустимих концентрацій і не спричинятиме змін у складі та структурі ґрунту, тропосфери та верхніх шарів атмосфери.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.radartutorial.eu/08.transmitters/tx06.ru.html>
2. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ppt-online.org/459518>
3. Радіолокаційні системи посадки. Ч. 1. Диспетчерський радіолокатор радіолокаційної системи посадки РСП10МА / О.В. Висоцький, О.В. Водолажко, В.О. Лебедєв, С.А. Макаров. – Х.: ХУПС, 2015. – 132 с.
4. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://studopedia.com.ua/1\\_68912\\_vidi-peredavalnih-pristroiv-rls-rtv-ta-ih-parametri.html](https://studopedia.com.ua/1_68912_vidi-peredavalnih-pristroiv-rls-rtv-ta-ih-parametri.html)
5. Пащенко Р. Е. Генерування та формування сигналів : навч. посіб. / Р. Е. Пащенко, І. В. Красношарпа, Д. В. Максютя. – Х. : ХУПС, 2011.
6. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору : конспект лекцій / К. С. Васютя, О. В. Тесленко, В. М. Купрій, О. А. Малишев. Х. : ХУПС, 2013. – 212 с.: іл.
7. Радіоелектронні системи : навч. посіб. / за ред. Ю. М. Седишева. – Х. : ХУПС, 2010.
8. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. М.: Издательство Московского университета, 2011. – 304 с. – ISBN 978-5-211-05923-8.
9. Библиотека моделирования потоков.[Електронний ресурс].URL:<https://www.anylogic.ru/resources/libraries/fluid-library/>.
10. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
11. ЗАКОН України “Про охорону праці”. – К.: Основа, 1993. – 40 с.
12. Основи охорони праці – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://pidruchniki.com/1636051238236/bzhd/osnovi\\_ohoroni\\_pratsi](https://pidruchniki.com/1636051238236/bzhd/osnovi_ohoroni_pratsi)
13. Основи охорони праці – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://pidruchniki.com/1636051238236/bzhd/osnovi\\_ohoroni\\_pratsi](https://pidruchniki.com/1636051238236/bzhd/osnovi_ohoroni_pratsi)

14. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs2.cntd.ru/document/5200272>
15. Handbook of RF and Microwave Power Amplifiers. Ed. J. Walker, Cambridge University Press, Cambridge UK, 2012 (eng).