

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ПРИХОДЬКО ТЕТЯНА ЮРІЇВНА**



УДК 044.052.34: 004.3'122

**МОДЕЛІ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ ВИСОКОШВИДКІСНИХ  
СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ**

Спеціальність 05.13.21 - системи захисту інформації

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі засобів захисту інформації Національного авіаційного університету, м. Київ.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Козловський Валерій Валерійович**  
Національний авіаційний університет, завідувач  
кафедри засобів захисту інформації

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор **Рибальський Олег Володимирович**, головний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії «З проблем криміналістичного забезпечення та судової експертології» Навчально-наукового інституту №2 Національної академії внутрішніх справ.

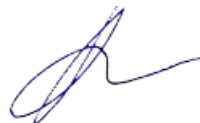
кандидат технічних наук, доцент **Браїловський Микола Миколайович**, доцент кафедри кібербезпеки і захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Захист відбудеться "29" вересня 2021 року о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.17 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м.Київ, пр. Любомира Гузара 1, корпус 11, ауд. 111.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м.Київ, пр. Любомира Гузара 1.

Автореферат розісланий " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., професор**



**Є. Іванченко**

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність.** Найважливішою умовою захисту інформації в технічних засобах передачі даних є створення спеціалізованої бази технологічних компонентів - перешкодоподавляючих виробів (фільтрів), необхідних для прийняття схемотехнічних заходів щодо мінімізації паразитних генерацій і побічних випромінювань на етапі розробки будь-якого електронного пристрою.

В даний час спостерігається швидкий прогрес у створенні високошвидкісних систем передачі інформації, специфікою яких є сумірність довжин хвиль короткохвильової частини спектра оброблюваних сигналів з геометричними розмірами елементів радіотехнічних пристроїв і наявність динамічних навантажень, особливо при використанні цифрових принципів обробки інформації. Наявність даних особливостей призводить до появи додаткових каналів витоку інформації, усунути які традиційними методами побудови перешкодоподавляючих фільтрів важко або неможливо.

Питання розробки різноманітних аспектів побудови фільтрів для придушення каналів витоку технічних систем передачі інформації висвітлені в роботах таких зарубіжних і вітчизняних вчених, як: Johnson H., Graham M., Matthaе G.L., Young L., Jones E.M.T., Cohn S.B., Collin R.E., Lambert R.F., Whinnery J.R., Marcuvits N., Solymar L., Mittra R., Montgomery C.G., Cameron R.J., Беляков А.Ю., Петров Е.В., Попов В.Е., Халяпин Д.Б., Машковцев Б.М., Цибилов К.Н. Емелин Б.Ф., Собенин Я.А., Знаменский А.Е., Шестопалов В.П., Кириленко А.А..

Таким чином, актуальність даної роботи обумовлена необхідністю створення моделей каналів витоку інформації високошвидкісних систем передачі даних і в розробці на їх основі схемотехнічних заходів щодо мінімізації рівня витоку інформації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематики науково-дослідних робіт (НДР), що проводяться в Навчально-науковому інституті захисту інформації Державного університету телекомунікацій в рамках НДР "Безпека - 07П" (держреєстрація № 01086 від 25.12.2005) та в Інституті Управління державної охорони України Київського національного університету імені Тараса Шевченка в рамках постановки лабораторної бази з дисципліни "Технічні засоби охорони".

**Мета і задачі дослідження.** Мета дисертаційної роботи - підвищення рівня захисту інформації в високошвидкісних системах передачі інформації.

Мета дисертаційної роботи визначає необхідність розв'язання таких **основних задач**:

1) Здійснити аналітичний огляд методів побудови перешкодоподавляючих фільтрів технічних каналів витоку інформації і розкрити причини появи нових каналів витоку інформації в високошвидкісних технічних системах передачі інформації (ТСП).

2) Визначити особливості та причини існування каналів витоку інформації в екранованих колах живлення. Розробити модель каналу витоку інформації.

3) Встановити зв'язок між частотним розташуванням каналів витоку інформації і хвильовим опором розподіленого фільтра на основі неоднорідної лінії

передачі.

4) Розробити метод синтезу фільтрів з розширеною смугою захисту інформації від зовнішніх деструктивних впливів.

5) Розробити модель оцінки деструктивного шумового впливу на розподілений фільтр високошвидкісних цифрових каналів з багатопозиційною квадратурною амплітудною модуляцією.

6) Розробити модель оцінки деструктивного шумового впливу на розподілений фільтр високошвидкісних цифрових каналів в разі неідеальної синхронізації високошвидкісних цифрових систем для двійкової фазової модуляції.

**Об'єктом дослідження** є процеси в перешкодоподавляючих розподілених фільтрах високошвидкісних технічних систем передачі інформації.

**Предметом дослідження** є моделі каналів витоку інформації високошвидкісних систем передачі даних.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань в роботі використовувалася теорія розподілених кіл. Зокрема при розробці методу синтезу фільтрів з розширеною смугою захисту інформації від зовнішніх деструктивних впливів використовувалася теорія багатоступеневих ліній передачі.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

– *вперше розроблено* модель оцінки деструктивного шумового впливу на розподілений фільтр високошвидкісних цифрових каналів з багатопозиційною квадратурною амплітудною модуляцією (M-QAM модуляцією), яка за рахунок використання запропонованих методів синтезу розподілених фільтрів на основі ліній передачі зі змінним по довжині хвильовим опором (неоднорідних ліній), дозволяє зменшити вплив порізаності та провалів АЧХ розподіленого фільтра на рівень зростання шумової смуги, а відповідно і ймовірність помилки прийому сигналів, на відміну від фільтрів, що побудовані на відрізках однорідних ліній;

– *вперше розроблено* модель оцінки деструктивного шумового впливу на розподілений фільтр високошвидкісних цифрових каналів в разі неідеальної синхронізації високошвидкісних цифрових систем для двійкової фазової модуляції (BPSK) при використанні контуру фазового автопідстроювання, яка за рахунок використання запропонованих методів синтезу розподілених фільтрів на основі ліній передачі зі змінним по довжині хвильовим опором (неоднорідних ліній) в сукупності з додатковими зосередженими та розподіленими включеннями, дозволяє в широких межах регулювати рівень загасання в області загородження, а відповідно і ступінь руйнування оброблюваної інформації, на відміну від фільтрів, що побудовані на відрізках однорідних ліній;

– *удосконалено* моделі визначення каналів витоку інформації екранованих частотних фільтруючих структур, які за рахунок розрахунку хвильового опору екранованої двопровідної лінії при непарному (протифазному) та парному (синфазному) збудженні в сукупності, дозволяють моделювати процес витоку інформації через неоднорідні пов'язані лінії передачі з врахування впливу екрану, на відміну від існуючих, де використовується для розрахунків лише непарне збудження лінії передачі;

– *удосконалено* методи розрахунку хвильових опорів секцій перешкодоподавляючих фільтрів, які на відміну від відомих реалізують мінімальний перепад хвильових опорів фільтрів, за рахунок розрахунку хвильового опору кожної секції фільтру окремо з використанням теореми Річардса, що дозволяє при технологічних обмеженнях, які накладаються на конструкцію фільтра, забезпечити максимальну область загородження і тим самим знизити рівень випромінювань по каналу витоку інформації;

– *набули подальшого розвитку* методи синтезу багатоступеневих ліній передачі, які на відміну від відомих методів синтезу мережевих фільтрів, за рахунок збільшення кількості ступеней фільтрів, дозволяють безпосередньо по центральним частотам каналів витоку інформації визначати хвильові опори секцій перешкодоподавляючих фільтрів та збільшити протяжність області загородження. Розроблені методи мають підвищені захисні властивості в порівнянні з існуючими аналогами на зосереджених та розподілених елементах.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані в дисертаційній роботі результати можуть бути використані при розробці перешкодоподавляючих фільтрів високошвидкісних ТСПП.

*Практична цінність* роботи полягає в наступному: сукупність розроблених схемотехнічних рішень побудови фільтрів, що створюють спеціалізовану базу по мінімізації паразитних генерацій і побічних випромінювань яку запропоновано використовувати ще на етапі розробки будь-якого електронного пристрою, отримані оцінки деструктивного впливу по каналах витоку інформації дають можливість оцінити ступінь збитку в цифрових каналах ТСПП.

Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі НАУ на кафедрі засобів захисту інформації при викладанні дисципліни «Системи технічного захисту інформації» та впроваджені в практичну діяльність підприємств ТОВ «Інтернет Інвест», що затверджено актом за №352/1 від 17.12.2018, ТОВ «ПЕРША УКРАЇНСЬКА ЛІЗИНГОВА КОМПАНІЯ», що затверджено актом №21 від 7.12.2018 та ТОВ «Українські Магістральні Мережі» за №323 від 27.11.2018

За результатами впровадження у практичну діяльність підприємств в зазначених актах наведено, що вдосконалені схемотехнічні методи побудови перешкодоподавляючих фільтрів забезпечують мінімізацію паразитних генерацій і побічних випромінювань ще на етапі розробки, що дозволяє досягти зменшення деструктивної дії зовнішніх шумових впливів в середньому на 10 % - 15%.

У додатку до дисертації представлені документи, що підтверджують практичне використання результатів дисертаційної роботи.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати дисертаційної роботи автор отримав самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [1-3] – досліджено вплив конструктивних параметрів полоскових ліній на добротність резонаторів на частотах каналів витоку інформації; [4,7,8] - аналіз існуючих моделей побудови фільтрів, постановка задачі і обґрунтування базових фільтруючих елементів пасивного захисту інформації високошвидкісних систем передачі даних; [6] – запропоновано, в якості моделі фантомного каналу витоку інформації, використовувати пов'язану неоднорідну

лінію передачі при парному збудженні; [9] – здійснено оцінку деструктивного шумового впливу по каналах витоку інформації розподіленого фільтра високошвидкісних цифрових каналів зв'язку.

З робіт, що опубліковані у співавторстві, у дисертаційній роботі використовуються виключно результати, отримані особисто здобувачем.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 8 міжнародних наукових конференціях, серед яких: II Международной научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика», 3 – 4 декабря 2015 г., КазНТУ, г. Алматы; III міжнародній науково-практичній конференції «Наука як рушійна антикризова сила», м. Київ, Центр наукових публікацій, 2016; VII міжнародній науково-практичній конференції (м. Чернігів, 24–27 квіт. 2017 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції, 2018, м. Киев; 9th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Word and Perception, ICSCCW 2017, 24-25 22-23 August, 2017, Budapest, Hungary; Міжнародній науково-технічній конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" 17-18 травня 2018 року. Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. Львів – 2018; Міжнародній конференції ИСЗЗІ НТУУ КПІ 2018 Київ-2018.

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано у 24 наукових працях, у тому числі: 9 наукових статтях ( з яких 2 – у виданнях проіндексованих у Scopus та Web of Science, 5 – у вітчизняних фахових наукових журналах), а також 15 матеріалах та тезах доповідей наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел (в кінці кожного розділу основної частини дисертації) і має 125 сторінок основного тексту, 74 рисунків, 8 таблиць, 4 сторінки додатків. Список використаних джерел містить 118 найменувань і займає 15 сторінок. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 152 сторінки.

## **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність, сформульовано мету і задачі досліджень, відображено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведено дані щодо їх апробації та впровадження.

У **першому розділі** проведено огляд методів побудови перешкодоподавляючих фільтрів технічних систем передачі інформації (ТСПІ). Здійснено аналіз процесів виникнення несанкціонованих електромагнітних випромінювань ТСПІ. Розглянуто особливості побудови фільтрів складних навантажень. Представлено аналіз процесів при виникненні витоку інформації цифрових систем передачі інформації. Проаналізовано моделі генератора перешкод цифрових систем.

Встановлено, що існуючі методи побудови перешкодоподавляючих фільтрів ТСПІ з ростом швидкості передачі інформації мають такі недоліки:

1. Методи синтезу фільтрів, що використовуються на поточний час, орієнтовані переважно на усунення каналів витоку інформації в області порівняно низьких частот. При цьому під час аналізу амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) фільтрів використовуються найпростіші еквівалентні схеми зосереджених резисторів, індуктивностей і конденсаторів, які справедливі для низькошвидкісних ТСП. Внаслідок цього, із зростанням частоти, використовувані еквівалентні схеми стають несправедливими, що призводить до помилок при побудові перешкодоподавляючих фільтрів.

2. Встановлено, що з ростом швидкості передачі інформації елементи використовуваних зосереджених фільтрів стають розподіленими елементами (довгими лініями). Тому для проектування фільтрів високошвидкісних систем передачі інформації необхідно враховувати хвильовий характер процесів, що відбуваються.

3. З огляду сучасних літературних джерел впливає, що неврахування хвильового характеру процесів в фільтрах призводить до появи несанкціонованих частотних каналів витоку інформації. Дані паразитні частотні області можуть також служити каналами деструктивного зовнішнього впливу на оброблювану інформацію аж до її часткового або повного руйнування.

4. Показано, що в високошвидкісних цифрових системах передачі інформації навантаження фільтрів являються динамічними. Тобто протягом часу роботи процесорів змінюється комплексний опір навантажень фільтрів. Дана обставина призводить до додаткового зростання електромагнітних випромінювань цифрових систем зв'язку і, як наслідок, до появи додаткових каналів витоку інформації.

Для усунення каналів витоку інформації, викликаних зростанням швидкості передачі інформації, пропонується, в якості елементів перешкодоподавляючих фільтрів, використовувати лінії передачі зі змінним по довжині хвильовим опором (неоднорідні лінії передачі). Відомо, що характер зміни хвильового опору повністю визначає АЧХ фільтрів. Тому виникає задача знаходження такої функції зміни хвильового опору від координати лінії, при якій в заданій смузі частот відсутні канали витоку інформації (паразитні канали).

**Другий розділ** присвячений розробці різних моделей електромагнітних каналів витоку інформації.

Показано, що зі збільшенням швидкості передачі інформації, коли довжина хвилі стає сумірною з геометричними розмірами окремих елементів (індуктивностей, ємностей, активних опорів, різних кіл на їх основі) необхідно враховувати хвильовий характер процесів в реальних елементах. У найпростішому випадку окремі елементи і пристрої слід розраховувати на основі теорії довгих ліній (коли коло можна вважати одновимірним). В цьому випадку амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) пасивних пристроїв стають періодичними і сильно порізнаними. При цьому провали АЧХ утворюють канали витоку інформації, за якими також може здійснюватися зовнішній деструктивний вплив на ТСП.

Розроблено модель каналу витоку інформації в високошвидкісних ТСП. *Модель каналу витоку є неоднорідною лінією або з'єднанням неоднорідних ліній*

передачі, що має провали загасання на частотах в області загородження. Ці провали і утворюють канали витоку інформації. Модель може містити зосереджені включення.

Розглянуто канали витоку інформації симетричного триступеневого фільтра. На рисунках 1 та 2 представлений варіант фільтра нижніх частот (ФНЧ) з хвильовими опорами секцій:

$$Z_{x1} = Z_{x3} = 11,6 \text{ Ом};$$

$$Z_{x2} = 114 \text{ Ом};$$

$$\Theta_1 = \Theta_3 = \Theta;$$

$$\Theta_2 = m\Theta$$

$\Theta$  - електрична довжина однієї секції.

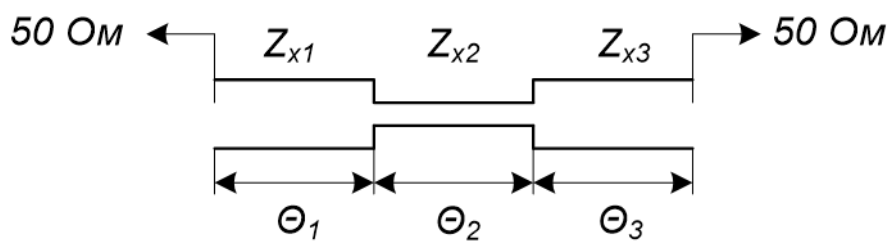


Рис.1. Симетричний триступеневий ФНЧ

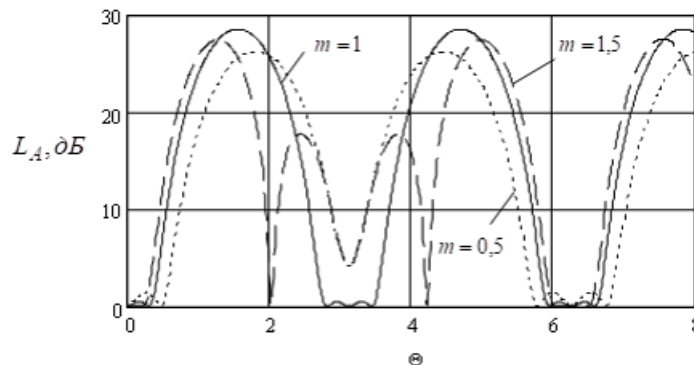


Рис. 2. Залежність загасання ФНЧ від електричної довжини  $\Theta$

З аналізу залежностей (рис. 2.) випливає, що найбільша область загородження спостерігається при  $m=1$ . При цьому центральні частоти каналів витоку інформації визначаються умовою  $\Theta_1 = \pi, 2\pi, \dots$ . Через дані частотні канали витоку інформації може здійснюватися як позаполосне випромінювання, так і зовнішній деструктивний вплив на ТСПП. Аналогічна ситуація має місце і при розгляді АЧХ складних багатосекційних фільтруючих структур. Отримані результати свідчать про те, що при високих швидкостях передачі інформації завжди виникають частотні канали витоку інформації, які відсутні при низьких швидкостях, коли фільтр можна вважати зосередженим колом.

Показано, що зменшити вплив збільшення швидкості передачі інформації на витік інформації можна шляхом вибору хвильових опорів фільтра (рис.3). З аналізу отриманих залежностей (рис. 3) випливає, що триступеневий фільтр має набагато



ширші смуги загородження в порівнянні з фільтром на основі однорідної лінії: в області першої смуги загородження триступеневого фільтра міститься дві паразитних смуги пропускання фільтра (два частотних канали витoku інформації) на однорідній лінії. При чому рівень загасання ступеневого фільтра в смузі загородження в три рази перевищує рівень загасання однорідного фільтра.

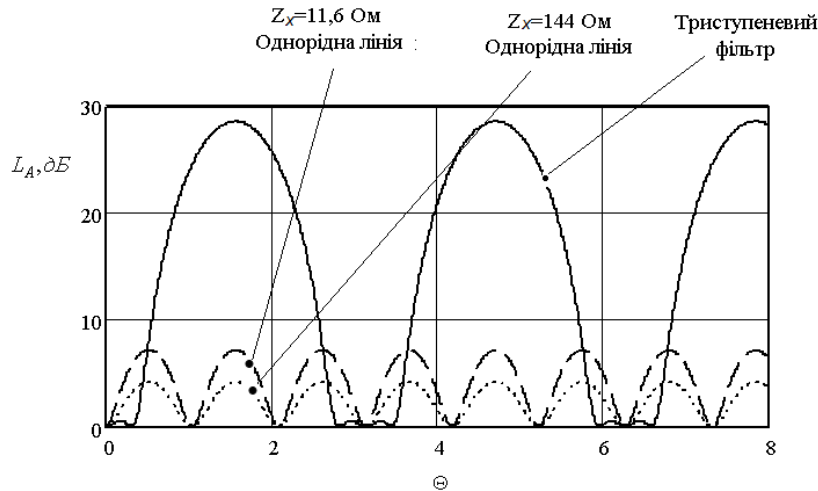


Рис.3. Порівняльна характеристика розташування каналів витoku інформації ФНЧ на основі однорідної лінії і трисекційного ФНЧ при однаковій загальній електричній довжині фільтра

Досліджено вплив хвильових опорів симетричного трисекційного ФНЧ на АЧХ і характеристики каналів витoku інформації. Показано, що чим більше перепад хвильових опорів  $Z_{x2}/Z_{x1}$ , тим більше загасання в області загородження фільтра. При цьому є ділянки АЧХ з сильною порізаністю частотної характеристики. Отримані результати показують, що вибором залежності хвильового опору від довжини можна істотно підвищити рівень загасання в смузі загородження і тим самим знизити рівень позасмугових випромінювань через канали витoku.

Розроблено модель утворення фантомного каналу витoku інформації в екранованих фільтрах. Модель фантомного каналу являє собою розподілений восьмиполіусник на неоднорідних зв'язаних лініях передачі при їх парному збудженні, має провали загасання на частотах в області загородження. Ці провали і утворюють додаткові канали витoku інформації або канали зовнішнього деструктивного впливу. Показано, що в загальному випадку частотні канали витoku утворюються сукупністю каналів витoku інформації при парному і непарному збудженнях. При цьому повна схема витoku інформації має вигляд рис.4. Опори  $R_1 - R_4$  характеризують навантаження восьмиполіусника і визначаються зовнішніми колами

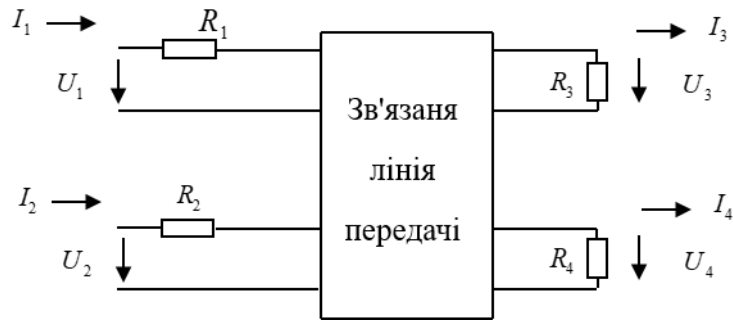


Рис. 4. Повна схема каналу витоку інформації по екранованому колу живлення

На підставі схеми рис.4 були проаналізовані канали витоку трисекційного екранованого фільтра кола живлення (рис.5).

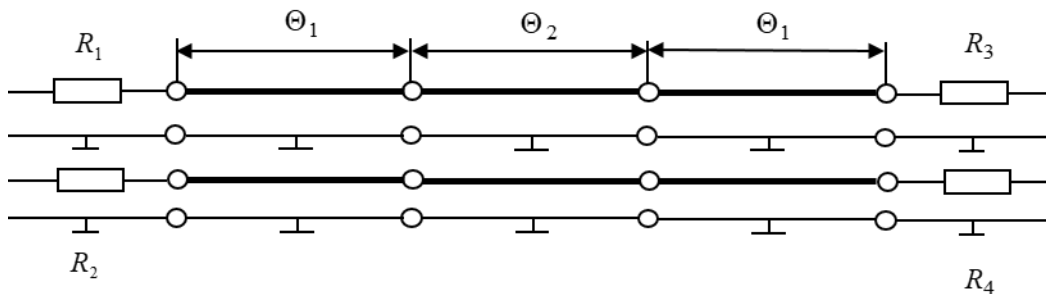


Рис. 5. Схема трисекционного ФНЧ на зв'язаних лініях

Показано, що при порушенні плечей 1 та 2 інформаційним сигналом, сумарна потужність, що виділяється на зовнішніх активних навантаженнях в плечах 3 і 4 має складний порізаний характер. При цьому глибокі провали в АЧХ є джерелом каналів витоку інформації або каналами зовнішнього деструктивного впливу на ТСПШ. Як приклад на рис. 6 приведена залежність загасання ФНЧ на секціях з однаковим часом затримки (рис.5) від електричної довжини секції  $x=\Theta$ . При цьому всі навантаження вважалися рівними 50 Ом. Хвильові опори при непарному і парному збудженнях відповідно рівні:

$$\begin{aligned} Z_{oo1} &= Z_{oo3} = 9,228 \text{ Ом}; \\ Z_{oo2} &= 114,512 \text{ Ом}; \\ Z_{oe1} &= Z_{oe3} = 14,217 \text{ Ом}; \\ Z_{oe2} &= 176,421 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

З рис.6 випливає, що частоти  $\omega_k = k\pi/t_c$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , де  $t_c$  - час затримки секції фільтра, є центральними частотами каналів витоку інформації.

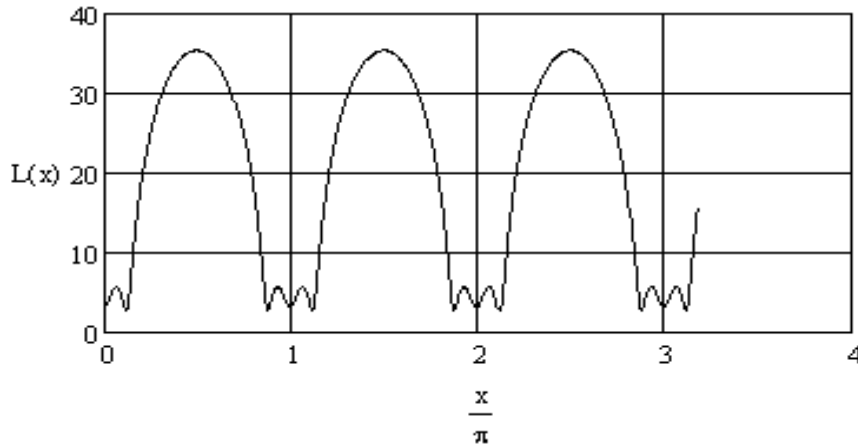


Рис. 6. Частотний розподіл каналів витoku інформації (деструктивних каналів зовнішнього впливу) трисекційного ФНЧ на зв'язаних лініях.

Показано, що при різних електричних довжинах секцій, різних і комплексних навантаженнях кількість каналів витoku зростає.

**Третій розділ** присвячений розробці методів побудови багатоступеневих секції фільтрів по розташуванню центральних частот деструктивних каналів зовнішніх впливів (каналів витoku).

Показано, що канали зовнішніх впливів визначаються розташуванням нулів і полюсів вхідного опору лінії, на основі якої будується фільтр (рис.7). Фізично полюси визначають резонансні частоти фільтру, а нулі - протирезонансні частоти. Тобто резонансні і протирезонансні частоти визначають положення центральних частот каналів деструктивного впливу. При цьому можливі дві ситуації: при побудові фільтра можна змінювати нулі і полюси як вхідного опору розімкнутої, так і замкнутої лінії. Все сказане відноситься і до вхідної провідності.

Розроблено метод побудови фільтрів із заданим розподілом каналів витoku інформації за допомогою зсуву нулів і полюсів вхідного опору (рис.7).

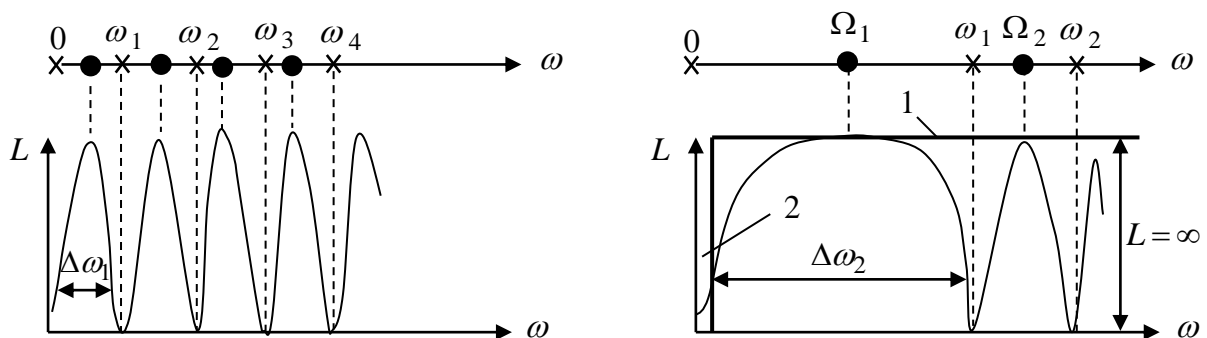


Рис. 7. Принцип отримання заданого розташування деструктивних каналів впливу:

1 - характеристика ідеального ФНЧ;

2 - робоча область

Показано, що при синтезі ФНЧ з високоомними навантаженнями отримати вигрaш по першій захисній смузі (смузі загородження) в порівнянні з відомим аналогом на однорідній лінії можна тільки при використанні багатоступеневих ліній з кількістю ступеней  $n \geq 3$ . Збільшенням кількості ступеней  $n$  можна розширити смугу загородження. При цьому максимальний вигрaш становить  $V_{\max} = n/2$ . При технічній реалізації багатоступеневих ліній простіше виготовляти лінії з малою відмінністю хвильових опорів, яке характеризується хвильовим перепадом (відношення максимального хвильового опору до мінімального хвильовому опору)  $m = Z_{x \max} / Z_{x \min}$ . Використовуючи процедуру Річардса була здійснена оптимізація хвильового опору ступінчастої лінії по критерію мінімального перепаду хвильових опорів при заданому вигрaші в області загородження ФНЧ (рис.8).

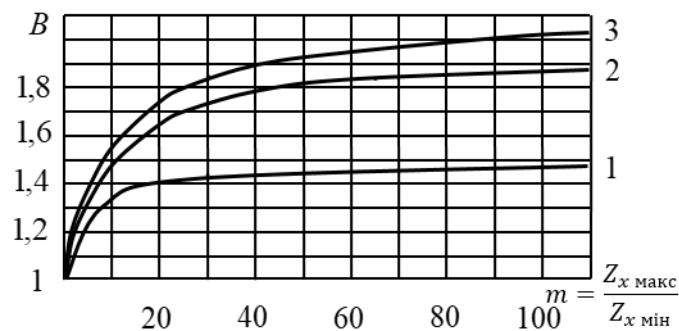


Рис. 8. Залежність вигрaшу по смузі загородження від хвильового перепаду:

- 1 - треступенева секція;
- 2 - чотиреступенева секція;
- 3 - п'ятиступенева секція

Отримано аналітичні вирази для визначення хвильових опорів багатоступеневих ліній з кількістю ступенів до семи, що дозволяє безпосередньо по заданих областях каналів витoku інформації визначати хвильові опори ступеней фільтра. Розроблено метод синтезу фільтрів нижніх частот з розширеною смугою захисту від зовнішніх впливів. Даний метод доцільно використовувати при побудові фільтрів кіл живлення систем передачі інформації. Розроблено конкретні схеми фільтрів, які мають підвищені захисні властивості в порівнянні з існуючими аналогами на зосереджених і розподілених елементах.

Показано, що до розроблених фільтруючих секцій можуть бути підключені додаткові як зосереджені, так і розподілені елементи (шлейфи). Це дозволяє додатково підвищити стійкість і перешкодозахищеність технічних засобів передачі інформації.

**У четвертому розділі** розроблено модель оцінки деструктивного шумового впливу на розподілений фільтр ТСП. Зокрема розроблено модель оцінки за критерієм ймовірності помилки на символ каналу (BER)) від шумових впливів на розподілений фільтр цифрових каналів зв'язку з 64-QAM модуляцією та оцінено вплив деструктивної дії на вході розподіленого фільтра на ймовірність помилкового прийому інформації пасивною системою. Показано, що при збільшенні відношення центральної частоти  $\omega_2$  (першого каналу витoku інформації (каналу деструктивного

впливу)) до центральної частоти  $\omega_1$  робочої області, деструктивний вплив шумової перешкоди на ТСПІ убуває, тобто ймовірність помилки зменшується. Як результат, для зменшення деструктивного зовнішнього впливу слід центральну частоту каналу витоку інформації, по можливості, брати якомога більшою. Модель впливу перешкоди по паразитному каналу прийому наведено рис.9.

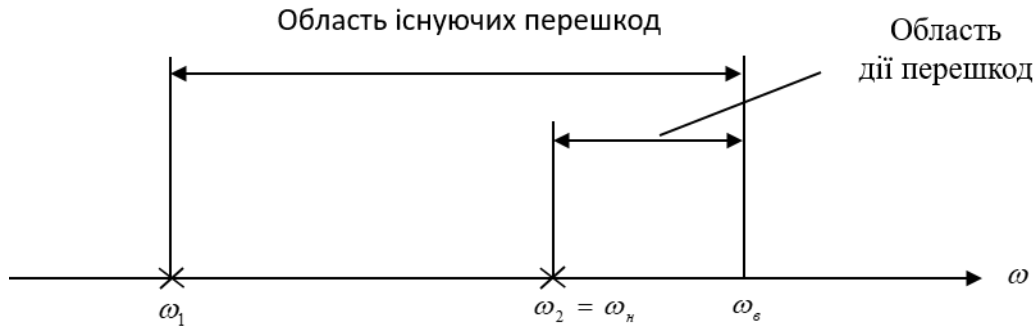


Рис. 9. Модель впливу перешкоди по паразитному каналу прийому на пасивну інформаційну систему

Оцінено ступінь руйнування інформації за критерієм ймовірності помилки в разі неідеальної синхронізації для модуляції BPSK при порушенні синхронізації через зовнішній шумовий канал впливу за умови, що на виході джерела живлення використовується двоступеневий ФНЧ з паралельною ємністю, паралельним розімкненим шлейфом з хвильовим опором  $W$  на однорідній лінії передачі і активною провідністю  $G$  (рис.10).

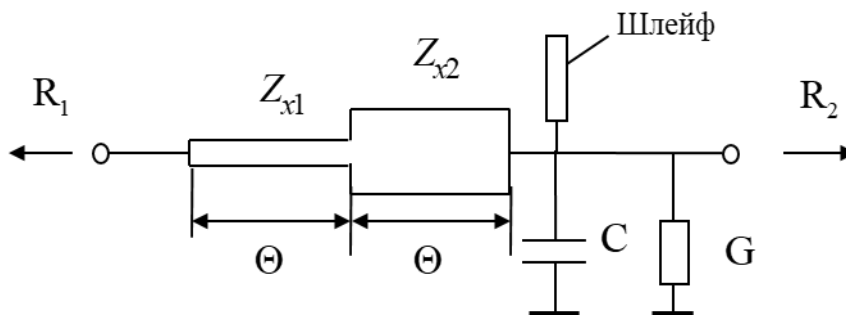


Рис. 10. ФНЧ з додатковими включеннями

Підключення додаткової резистивної провідності, ємності і шлейфу дозволяє підвищити загасання в області загородження фільтра (рис. 11). Наявність провалів АЧХ фільтрів призводить до утворення як каналів витоку інформації, так і утворення каналів нападу. При цьому під час нападу зростають ймовірності бітових помилок цифрових ТСПІ. Тому при побудові фільтрів високошвидкісних ТСПІ слід обов'язково так розташувати канали витоку, щоб ймовірність бітової помилки не перевищувала заданої величини.

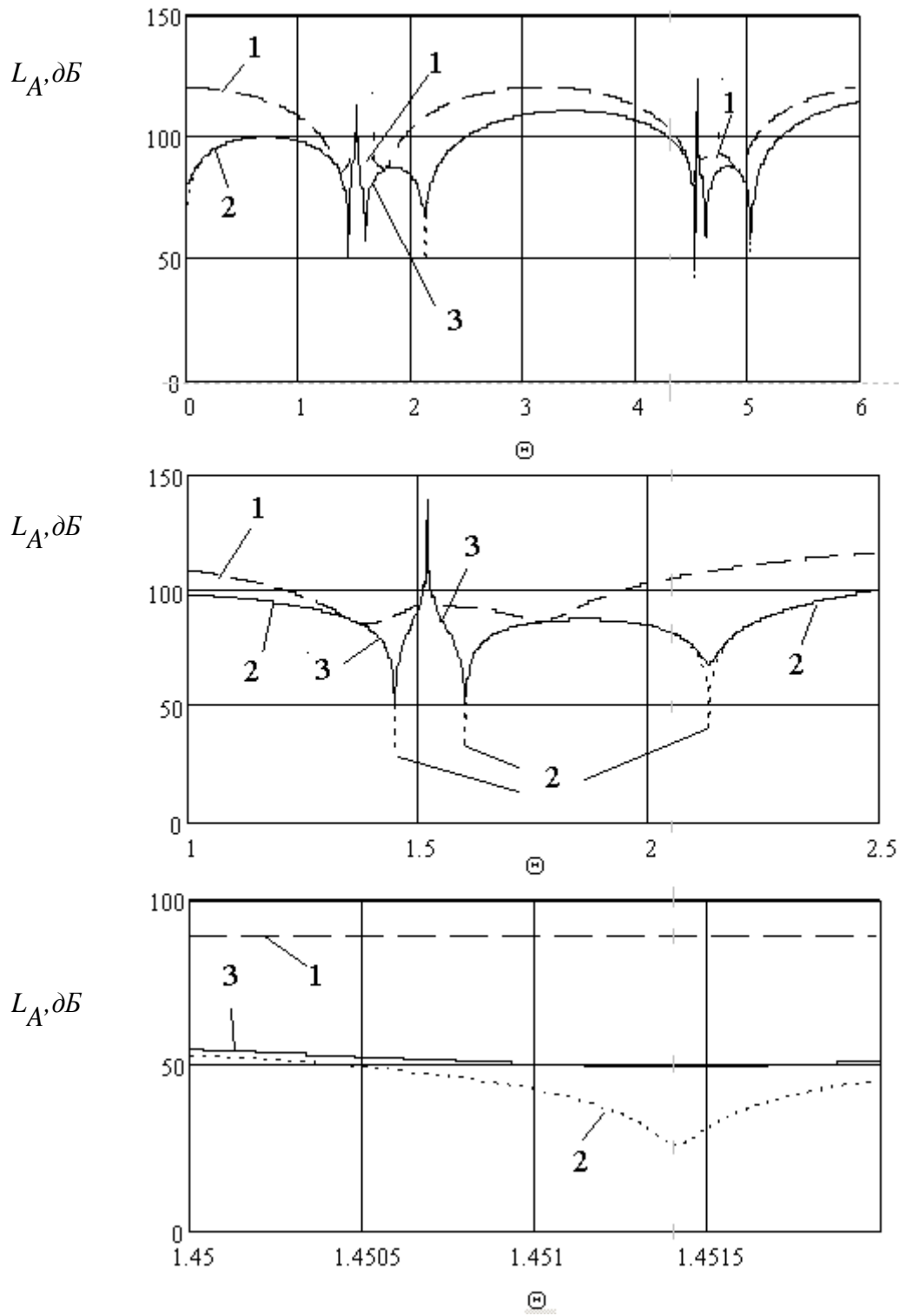


Рис. 11. АЧХ фільтра з додатковими включеннями

( $Z_{x1} = 115 \text{ Ом}, Z_{x2} = 5 \text{ Ом}, R_1 = R_2 = 1 \text{ МОм}, t_c = 2 \cdot 10^{-11} \text{ с}, W = 24 \text{ Ом}, C = 4 \text{ пФ}$ ):

1 –  $G = 2 \frac{1}{\text{Ом}}$ ; 2 –  $G = 2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{Ом}}$ ; 3 –  $G = 2 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{Ом}}$

## ВИСНОВКИ

Результатом виконаної дисертаційної роботи є розв'язання актуальної та важливої науково-технічної задачі підвищення рівня захисту інформації в високошвидкісних системах передачі інформації.

У процесі виконання дисертаційної роботи отримані такі наукові та практичні результати:

1. Здійснено аналітичний огляд методів побудови перешкодоподавляючих фільтрів технічних каналів витоку інформації і розкриті причини появи нових каналів витоку інформації в високошвидкісних технічних системах передачі інформації (ТСП). За результатами проведеного аналізу каналів витоку і засобів захисту інформації встановлено, що існуючі методи побудови перешкодоподавляючих фільтрів технічних систем передачі інформації (ТСП) з ростом швидкості передачі даних мають ряд недоліків. Зокрема, використовувані методи синтезу фільтрів орієнтовані переважно на усунення каналів витоку області порівняно низьких частот (не перевищують 1 гігагерц). При цьому під час аналізу амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) фільтрів використовуються найпростіші еквівалентні схеми зосереджених резисторів, індуктивностей і конденсаторів, які справедливі для низькошвидкісних ТСП. Внаслідок цього із зростанням частоти використовувані еквівалентні схеми стають несправедливими, що призводить до помилок при побудові перешкодоподавляючих фільтрів. Встановлено, що з ростом швидкості передачі інформації елементи використовуваних зосереджених фільтрів стають розподіленими колами: довгими лініями. Тому для проектування фільтрів високошвидкісних систем необхідно враховувати хвильовий характер процесів, що відбуваються. Показано, що неврахування хвильового характеру процесів в фільтрах призводить до появи несанкціонованих частотних каналів витоку інформації. Дані паразитні частотні області можуть також служити каналами деструктивного зовнішнього впливу на оброблювану інформацію аж до її часткового або повного руйнування.

Для усунення цих недоліків запропоновано в якості елементів перешкодоподавляючих фільтрів використовувати лінії передачі зі змінним по довжині хвильовим опором (неоднорідні лінії передачі).

2. Визначено особливості та причини існування каналів витоку інформації в екранованих колах живлення. За результатами проведеного дослідження встановлено, що фізичною причиною утворення каналів витоку інформації в високошвидкісних системах є сумірність довжин хвиль короткохвильової частини спектра оброблюваної інформації з геометричними розмірами окремих елементів (індуктивностей, ємностей, активних опорів, різних кіл на їх основі). Отже, через періодичність частотних характеристик відрізків ліній передачі, частотні характеристики фільтрів також є періодичними. Дане явище призводить до появи крім робочої смуги пропускання додаткових неробочих (паразитних) частотних смуг пропускання, які утворюють канали витоку інформації. Наявність таких каналів призводить не тільки до зростання помилок при обробці інформації, але і до втрати працездатності ТСП. Доведено існування додаткового (фантомного) каналу витоку інформації по екранованим колам живлення: при цьому фантомний канал

утворюється за рахунок поширення хвиль при парному (синфазному збудженні) лінії живлення. Розроблено та проаналізовано модель фільтра з урахуванням каналу витоку інформації. Показано, що рівень сумарного інформаційного сигналу, що поширюється по лінії передачі, буде визначатися рівнем сигналу в парному і непарному каналі. Отже, при розробці фільтрів, що запобігають витоку інформаційного сигналу по колах живлення, слід додатково оцінювати рівень сигналу в другому каналі.

3. Встановлено зв'язок між частотним розташуванням каналів витоку інформації і хвильовим опором розподіленого фільтра на основі неоднорідної лінії передачі. Канали витоку інформації визначаються розташуванням нулів і полюсів вхідного опору лінії, на основі якої будується фільтр. При цьому можливі дві ситуації: при побудові фільтра можна змінювати нулі і полюси як вхідного опору розімкнутої, так і замкнутої лінії. Розроблено метод визначення хвильового опору фільтрів центральними частотам каналів витоку інформації. Отримано аналітичні вирази для визначення хвильових опорів багатоступеневих ліній, що дозволяє безпосередньо по заданих областях каналів витоку інформації визначати хвильові опори ступенів фільтра.

4. Розроблено метод синтезу фільтрів з розширеною смугою захисту інформації від зовнішніх деструктивних впливів. Синтезовані секції фільтрів, забезпечують мінімальний перепад хвильових опорів при заданій частотній області захисту від зовнішніх деструктивних впливів та визначено обмеження на протяжність смуги захисту від зовнішнього деструктивного впливу. Даний метод доцільно використовувати при побудові фільтрів кіл живлення систем передачі інформації. До розроблених фільтруючих секцій можуть бути підключені додаткові як зосереджені, так і розподілені елементи (шлейфи). Це дозволяє додатково підвищити стійкість і перешкодозахищеність технічних засобів передачі інформації.

5. Розроблено модель оцінки деструктивного шумового впливу на розподілений фільтр високошвидкісних цифрових каналів з багатопозиційною квадратурною амплітудною модуляцією (M-QAM модуляцією), яка за рахунок нових методів синтезу розподілених фільтрів на основі ліній передачі зі змінним по довжині хвильовим опором (неоднорідних ліній), дозволяє зменшити вплив порізаності та провалів АЧХ розподіленого фільтра на рівень зростання шумової смуги а відповідно і рівень ймовірності помилки прийому сигналів, в порівнянні з фільтрами, що побудовані на відрізках однорідних ліній. Оцінку впливу деструктивної дії на вході розподіленого фільтра на якість прийому інформації пасивною системою здійснено за критерієм ймовірності помилки. Показано, що застосування фільтрів з широкими смугами загородження дозволяє значно зменшити ймовірність помилкового прийому. Наприклад, фільтри з широкими смугами загородження, в яких реалізується рознос резонансних частот (нулів і полюсів вхідного опору)  $\Delta = 7$ , дозволяють зменшити ймовірність помилки відповідно в 11,6 рази в порівнянні з фільтрами-аналогами на регулярних лініях передачі.

6. Розроблено модель оцінки деструктивного шумового впливу на розподілений фільтр високошвидкісних цифрових каналів в разі неідеальної



синхронізації високошвидкісних цифрових систем для двійкової фазової модуляції (BPSK) при використанні контуру фазового автопідстроювання, яка за рахунок нових методів синтезу розподілених фільтрів на основі ліній передачі зі змінним по довжині хвильовим опором (неоднорідних ліній) в сукупності з додатковими зосередженими та розподіленими включеннями, дозволяє в широких межах регулювати рівень загасання в області загородження, а відповідно і ступінь руйнування оброблюваної інформації, в порівнянні з фільтрами, що побудовані на відрізках однорідних ліній. Показано, що для зменшення зовнішнього деструктивного впливу на ТСПІ необхідно нулі і полюси опору і провідності фільтрів розташовувати за межами шумовий області. Причому для усунення локальних глибоких провалів амплітудно-частотної характеристики фільтра необхідно підключати паралельний розподілений шлейф. Для зниження рівня витоку інформації і зменшення деструктивного впливу зовнішніх перешкод слід паралельно ланкам фільтра підключати ємності і активні провідності.

Результати дисертації впроваджені і використовуються у діяльності ТОВ «Інтернет Інвест», ТОВ «ПЕРША УКРАЇНСЬКА ЛІЗИНГОВА КОМПАНІЯ» та ТОВ «Українські Магістральні Мережі», що підтверджено відповідними актами впровадження.

#### ПУБЛІКАЦІ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Козловський В.В., Чирва Д.П., Басюк І.А., Приходько Т.Ю., «Продукційні моделі бази знань інформаційної технології автоматизованої діагностики високошвидкісних нерегулярних магістралей» *Вісник інженерної академії України*. №3, 2016 - С. 88-92
2. Міщенко А.В., Басюк І.А., Приходько Т.Ю., «Резонансные частоты защитных диэлектрических покрытий телекоммуникационной аппаратуры». *Вісник інженерної академії України*. №4, 2016 – С.122-127.
3. Приходько Т.Ю., Мищенко А.В., Лициновская Н.А., «Добротность резонатора на основе нерегулярной линии передачи». *Вестник Инженерной академии Украины*. №3, 2017, С – 97-102.
4. Приходько Т.Ю., Мищенко А.В., Лициновская Н.А., «Модели фильтров утечки и защиты информации (обзор)». *Вестник Инженерной академии Украины*. №3, 2017 – С. 200-208.
5. Shulha V., Volokitin D., Prykhodko T., Basiuk I., Nevinskyi D., «Chain Model Of Knowledge Base Of Telecommunication Systems Dielectric Structures». *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST) ISSN: 2458-9403 Vol. 4 Issue 5, May - 2017, P-7352-7354 p. (Scopus, Web of Science)*
6. Shulha V., Kozlovskiy V., Prykhodko T., Korzh R., Nevinskyi D., «Chain model of knowledge base of telecommunication systems dielectric structures». *Procedia Computer Science* 120(2017) 939-944.(Scopus).
7. Бойко Ю.П., Приходько Т.Ю., Лещиновська Н.А., «Анализ современных методов построения СВЧ фильтрующих устройств». *Вестник Инженерной академии Украины*. №3, 2017 – С.142-148.

8. Бойко Ю.П., Приходько Т.Ю., Басюк І.О., «Огляд сучасних фільтруючих пристроїв НВЧ і їх методів побудов». *Наукоємні технології*. №3(39), 2018 – С. 338-344
9. Приходько Т.Ю., Басюк І.О., Ліщиновська Н.О. «Спектральний підхід до синтезу пристроїв на основі неоднорідних ліній та питання визначення хвильового опору по центральним частотам каналів витоку інформації (огляд)» *Наукоємні технології*. №1(41), 2019 - С.30-35
10. Приходько Т.Ю., Козловський В.В., Яковів І., Комар О. «СИНТЕЗ ФНЧ НА НЕОДНОРІДНИХ ЛІНІЯХ З РОЗШИРЕНОЮ СМУГОЮ ЗАХИСТУ ВІД ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ» *Альманах науки*. № 6 (39) червень 2020 р.– С.25-29
11. Bakhtiiarov, D., Lavrynenko, O., Lishchynovska, N., Basiuk, I., & Prykhodko, T. METHODS FOR ASSESSMENT AND FORECASTING OF ELECTROMAGNETIC RADIATION LEVELS IN URBAN ENVIRONMENTS. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 11(1), 2021 – P.24-27.
12. Приходько Т.Ю., Басюк І.О. «Важность внедрения технологии DNSSEC для безопасности Интернет-пользователей». *Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика: тезисы доп. II Международной научно-практической конференции*, 3 – 4 декабря 2015 г., КазНТУ, г. Алматы - С.274-276.
13. Ю.П.Бойко, Т.Ю.Приходько, Д.П.Чирва, «Частотні перетворення для кіл з відрізківнеоднорідних ліній». *Наука як рушійна антикризова сила: тези доп. за матеріалами III міжнародної науково-практичної конференції*, м. Київ: Збірник центру наукових публікацій «Велес» (рівень стандарту, академічний рівень). – К.: Центр наукових публікацій, 2016. – С.71-76.
14. Козловський В.В., Чирва Д.П., Приходько Т.Ю., Басюк І.О., Волокітін Д.О., Ковтун С.Ю. «Метод оцінки пошкоджень сервісів безпеки телекомунікаційної системи авіатранспортного комплексу». *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2017) : тези доп. VII міжнародної науково-практичної конференції* (м. Чернігів , 24–27 квіт. 2017 р.) : у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – Т. 2. – С.98-100.
15. Козловський В.В., Чирва Д.П., Приходько Т.Ю., Басюк І.О., Волокітін Д.О., Ковтун С.Ю. «Побудова базових елементів швидкодіючих інтегральних схем засобів телекомунікацій». *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2017) : тези доп. VII міжнародної науково-практичної конференції* (м. Чернігів , 24–27 квіт. 2017 р.) : у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – Т. 2. – С.112-114
16. Козловський В.В., Чирва Д.П., Приходько Т.Ю., Басюк І.О., Волокітін Д.О. «Оцінка рівня комплексної безпеки інформаційної системи авіатранспортного комплексу». *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК – 2017)* – Київ :С.245-247

17. Козловський В.В., Чирва Д.П., Ковтун С.Ю. Чирва Д.П., Приходько Т.Ю., Басюк І.О., Волокітін Д.О. «Побудова інтегральних схем надвисокочастотного випромінювання засобів телекомунікації». *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК – 2017)* – Київ : С.248-250

18. Чирва Д., Волокітін Д., Басюк І., Ковтун С., Приходько Т. «Багатошарні інтегральні схеми надвисокочастотного випромінювання засобів телекомунікації». *ITSEC: Безпека інформаційних технологій: VII міжнародна науково-технічна конференція, 16-18 травня 2017 р.* – К.: НАУ, 2017. – С 17-20

19. Чирва Д., Волокітін Д., Басюк І., Ковтун С., Приходько Т. «Фактори захисту інформаційної безпеки авіатранспортного комплексу». *ITSEC: Безпека інформаційних технологій: VII міжнародна науково-технічна конференція, 16-18 травня 2017 р.* – К.: НАУ, 2017. – С 20-22

20. Козловський В.В., Приходько Т.Ю., Лициновская Н.А.. «Модель фантомного каналу утечки інформації по цепі живлення». *Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: тези доп. IV Міжнародної науково-практичної конференції, 2018.* – С.71-74

21. Рижов С.И., Приходько Т.Ю., Ліщівська Н.О. «Проблеми проектування перешкодопридушуючих фільтрів швидкісних цифрових телекомунікаційних систем військової техніки зв'язку». *Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, тези доп. Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" 17-18 травня 2018 року.* Львів – 2018.- С. 238-239

22. Козловський В.В. Приходько Т.Ю. «Оцінка руйнування інформації при дії шумових перешкод на розподілений фільтр високошвидкісних систем зв'язку». *тези доп. Міжнародної науково-технічної конференції ІСЗЗІ НТУУ КПІ, Київ – 2018.* – С.209-211.

23. Приходько Т.Ю., Яковів І., Комар О., «ШУМОВИЙ ВПЛИВ НА ЙМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ В РАЗІ НЕІДЕАЛЬНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ». *Проблеми та перспективи реалізації та впровадження міждисциплінарних наукових досягнень: матеріали міжнародної наукової конференції (Т. 1), 12 червня, 2020 рік.* Київ, Україна: МЦНД. – С.69-73.

24. Приходько Т.Ю. «ВИКОРИСТАННЯ НЕОДНОРІДНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ СИНТЕЗУ ФНЧ З РОЗШИРЕНОЮ СМУГОЮ ЗАХИСТУ ВІД ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ» *Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: Матеріали VII міжнарод. наук.-практ. конф., 24–27 лютого 2021 р. / Редкол.: І.І. Тимошенко та ін. – К. : Вид-во Європейського університету, 2021. – С.78-83*

## АНОТАЦІЯ

**Приходько Т.Ю. Моделі каналів витоку інформації високошвидкісних систем передачі даних – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.21 «Системи захисту інформації». – Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі розроблення моделей каналів витоку інформації для високошвидкісних систем передачі даних.

В результаті проведеного аналізу каналів витоку і засобів захисту інформації встановлено, що існуючі методи побудови перешколоподавляючих фільтрів технічних систем передачі інформації (ТСПІ) з ростом швидкості передачі даних мають ряд недоліків. Зокрема, використовувані методи синтезу фільтрів орієнтовані переважно на усунення каналів витоку в області порівняно низьких частот (не більше одиниць гігагерц). При цьому під час аналізу амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) фільтрів використовуються найпростіші еквівалентні схеми зосереджених резисторів, індуктивностей і конденсаторів, які справедливі для низькошвидкісних ТСПІ. Внаслідок цього із зростанням частоти використовувані еквівалентні схеми стають несправедливими, що призводить до помилок при побудові перешкодоподавляючих фільтрів.

Розроблено метод визначення хвильового опору фільтрів по центральним частотам каналів витоку інформації. Визначено обмеження на протяжність смуги захисту від зовнішнього деструктивного впливу. Синтезовані секції фільтрів, що забезпечують мінімальний перепад хвильових опорів при заданій частотній області захисту від зовнішніх деструктивних впливів. Розроблено метод синтезу фільтрів нижніх частот з розширеною смугою захисту від зовнішніх впливів. Даний метод доцільно використовувати при побудові фільтрів кіл живлення систем передачі інформації.

**Ключові слова:** технічний засіб передачі інформації, канал, витік інформації, деструктивний вплив, зовнішній вплив, захист інформації, високошвидкісні системи, амплітудно-частотна характеристика.

## ABSTRACT

**Prykhodko T. Models of information leakage channels of high-speed data transmission systems. – Manuscript.**

The dissertation on competition of scientific degree of the technical sciences candidate on specialty 05.13.21 "Information security systems". - National Aviation University, Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to the development of models of information leakage channels for high-speed data transmission systems.

As a result of the analysis of the leakage channels and information protection means, it is established that the existing methods of constructing interference suppression filters of information transmission means with an increase in the data transfer rate have a number of drawbacks. In particular, the filter synthesis methods used are oriented primarily to the

elimination of leakage channels in the region of relatively low frequencies (not more than 1 GHz units). In this case, the analysis of the amplitude-frequency characteristics (AFC) of filters uses the simplest equivalent circuits of lumped resistors, inductances and capacitors, which are valid for low-speed of information transmission means. As a consequence, as the frequency increases, the equivalent circuits used become unjustified, which leads to errors in the construction of noise suppression filters. It was found that with an increase in the information transmission rate, the elements of the used lumped filters become distributed chains: long lines. Therefore, for the design of filters for high-speed systems, it is necessary to take into account the wave nature of the processes occurring. It is shown that disregard of the wave nature of processes in filters leads to the appearance of unauthorized frequency channels of information leakage. These parasitic frequency regions can also serve as channels of destructive external influence on the processed information up to its partial or complete destruction. To eliminate these shortcomings, it is proposed to use transmission lines with variable wave impedance (non-uniform transmission lines) as elements of noise suppression filters.

Specific filter circuits have been developed that have increased information security properties in comparison with existing analogs based on lumped and distributed elements. Additional lumped and distributed elements (loops) can be connected to the developed filtering sections. This makes it possible to further increase the noise immunity of technical means of information transmission.

The existence of an additional (phantom) channel of information leakage through shielded power circuits has been proven: in this case, a phantom channel is formed due to the propagation of waves with an even (in-phase excitation) power line. A filter model was developed and analyzed taking into account the information leakage channel. It is shown that the level of the total information signal propagating through the transmission line will be determined by the signal level in the even and odd channels. Therefore, when developing filters that prevent leakage of an information signal through the power supply circuits, it is necessary to additionally estimate the signal level in the second channel.

It was found that the channels of information leakage are determined by the location of the zeros and poles of the input resistance of the line, on the basis of which the filter is built. A method for determining the wave impedance of filters by the central frequencies of the information leakage channels has been developed. Limitations on the length of the strip of protection from external destructive effects have been determined. Sections of filters are synthesized that provide a minimum drop in wave impedances at a given frequency range of protection from external destructive influences. A method for the synthesis of low-pass filters with an extended protection band against external influences has been developed. This method is advisable to use when building filters for power supply circuits of information transmission systems.

A model for estimating the destructive noise impact on a distributed filter of high-speed digital channels in case of imperfect synchronization of high-speed digital systems for binary phase modulation (BPSK) using a phase-locked loop is developed, inhomogeneous lines, in combination with additional concentrated and distributed inclusions, allows to adjust the level of attenuation in the area of the barrier, and

accordingly the degree of destruction of the processed information, compared with filters built on segments of homogeneous lines.

**Key words:** technical means of information transfer, channel, information leakage, destructive influence, external impact, information protection, high-speed systems, amplitude-frequency response.