

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

**КЛИМАША МИХАЙЛА МИКОЛАЙОВИЧА**

на дисертаційну роботу

ДУДНИКА Владислава Басіровича на тему:

«Синтез розподілених структур фільтрації для підвищення ефективності радіотехнічних та телекомунікаційних систем на основі неоднорідних ліній»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі розробки та удосконалення методів синтезу фільтруючих та узгоджуючих пристроїв з покращеними характеристиками для систем телекомунікацій.

Розвиток високошвидкісних телекомунікаційних систем з підвищеними вимогами до якості передавання різного роду інформації зумовлюють необхідність ускладнення активних і пасивних компонентів інформаційних трактів. Особливо помітним є зростання рівня вимог завадостійкості та перешкодозахищеності радіоелектронних комплексів в системах радіонавігації та радіоелектронної боротьби. Збільшення кількості, різноманіття, складності радіоелектронних засобів, розміщених у локальних територіальних районах, підвищення потужності передавальних та чутливості радіоприймальних пристроїв в умовах обмеженого частотного діапазону призводять до різкого погіршення характеристик електромагнітного середовища компонентів ліній зв'язку. Ці і багато інших завдань вирішуються за допомогою використання фільтруючих систем, основним завданням яких є придушення позасмугових, побічних випромінювань та випромінювань на гармоніках. Це досягається шляхом забезпечення необхідної крутизни амплітудно-частотної характеристики фільтра в районі основної смуги пропускання, заданої протяжності смуги загородження та рівня загасання в ній. Прагнення забезпечити виконання цих вимог, як правило, супроводжується збільшенням втрат у смузі пропускання, масо-габаритних показників та вартості виробів. Це зумовлює важливість продовження інтенсивних пошуків нових рішень, що сприятимуть усуненню перелічених вище протиріч і приведуть до отримання конструктивно нових фільтруючих пристроїв з покращеними частотними характеристиками.

Слід враховувати, що завдяки значній увазі науковців і розробників до цієї проблеми, можливості побудови фільтруючих систем на основі однорідних ліній вже можуть вважатися вичерпаними. Відкриваються можливості успішного вирішення завдань, пов'язаних з побудовою фільтруючих систем із заданими властивостями, за допомогою застосування неоднорідних ліній (НЛ). Завдання використання неоднорідних ліній слабо досліджене, оскільки, на сьогодні, існує лише невелика кількість НЛ, для яких відомі точні рішення телеграфічних рівнянь, що обмежує можливості комп'ютерної реалізації процедури синтезу фільтрів та не дозволяє реалізувати на практиці потенційні властивості всього класу НЛ. Завдання розрахунку характеристичних параметрів різних

типів НЛ та фільтруючих ланок на їх основі, зокрема визначення хвильових опорів багатоступінчатих резонаторів є ключовим для забезпечення якісної фільтрації та узгодження в широкій області частот.

З викладеного випливає, що тема дисертації, присвячена використанню нових типів неоднорідних ліній для розробки кіл фільтрації з більш досконалішими характеристиками безумовно є актуальною.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків.**

Розвиток представленого напрямку дослідження пов'язаний з використанням великого об'єму математичних викладок і розрахунків з використанням математичного апарату теорії кіл та сигналів. Результати дисертації представлені у вигляді строгих математичних виведень, відповідних математичних моделей та графіків, що ілюструють характеристики досліджуваних фільтрових ланок. Аналіз АЧХ фільтрів підтверджує ефективність використання НЛ при синтезі фільтрів, що розширює можливості методу характеристичних параметрів.

Для підтвердження теоретичних результатів наведені результати синтезу смугопропускаючих фільтрів запропонованими методами з покращеними частотними характеристиками. Дано аргументовані порівняльні оцінки запропонованих автором нових рішень відносно результатів інших авторів, одержаних раніше.

### **Достовірність наукових положень.**

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації, на наш погляд, обумовлена такими міркуваннями:

- математичний апарат, що використаний у дисертаційних дослідженнях, застосований на високому рівні точності та коректності;
- нові наукові результати, які отримані в дисертації підтверджені результатами модулювання та не суперечать існуючим методам теорії фільтрації.
- 

**Наукова новизна отриманих результатів.** У дисертаційній роботі отримані наступні нові наукові і практичні результати:

1. Вперше отримано аналітичні вирази для визначення характеристичних параметрів НЛ, за якими визначено чотириполюсні параметри нових типів НЛ, що дозволить використовувати класичні методи теорії синтезу фільтрів не тільки на однорідних лініях, а й на основі НЛ.
2. Вперше визначено хвильовий опір та характеристичні параметри неоднорідної лінії при зміщенні дійсного нуля або полюса вхідного опору навантаженої однорідної лінії, що дозволяє реалізувати різні залежності характеристичного опору від частоти, таким чином розширюючи клас навантажень, які можуть використовуватися.
3. Удосконалено метод синтезу фільтрів на відрізках ОЛ з використанням характеристичних параметрів для його застосування до синтезу фільтрів на основі НЛ, в наслідок чого чутливість електричних параметрів фільтра до розкиду конструктивних параметрів фільтрових ланок зменшується порівняно з конструкціями фільтра, синтезованого іншими методами.
4. Вперше розроблено метод синтезу фільтрів на основі широкосмугової імітації характеристик зосереджених елементів двоступінчастими однорідними лініями з урахуванням впливу стрибків хвильового опору.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

1. Вирішене завдання розширення класу НЛ для яких отримані точні рішення для елементів матриці опорів (провідностей). На основі отриманих результатів синтезовані розподілені фільтри на неоднорідних лініях з характеристиками, що перевершують існуючі аналоги.

2. На основі запропонованого методу синтезу фільтрів на основі НЛ розроблені варіанти топології реалізації ФНЧ та ФВЧ. У синтезованому СПФ при використанні шлейфів на НЛ смуга загородження більш ніж у два рази перевищує смугу загородження аналога на ОЛ. Практичне використання таких фільтрів підвищує завадостійкість та перешкодозахищеність телекомунікаційних систем.

3. Показано, що розрахунок величини ємності та індуктивності стиків ліній у місцях стрибків хвильового опору дає можливість підвищити точність розрахунків та скоригувати хвильові опори та час затримки відрізків однорідних ліній. Використання стрибка в смужці двоступінчастої лінії дозволило збільшити діапазон реалізації індуктивності в 1,33 рази.

4. У порівнянні з існуючими методами реалізації індуктивності використання двоступінчастої розімкненої лінії на НЛ дозволяє збільшити робочий діапазон відтворення АЧХ зосередженого ФВЧ на 20%.

Основні результати дисертаційних досліджень можуть бути використані при розробці пристроїв фільтрації радіотехнічних пристроїв високошвидкісних засобів телекомунікацій.

**Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях.** Основні результати дисертації викладені у 9 публікаціях, серед яких: 1 у виданні, що представлене в наукометричній базі SCOPUS, 4 статті у періодичних виданнях включених до «Переліку наукових фахових видань України», 4 доповіді на міжнародних наукових конференціях міжнародних конференціях. В роботі відмічено особистий вклад автора у публікаціях, зміст яких відповідає темі та меті роботи і висвітлює результати виконання часткових задач.

**Мова і стиль дисертації** цілком задовільні і відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Зміст дисертації відзначається повнотою, взаємопов'язаністю і логічною структурою викладення інформації. Необхідно відмітити повноту та якість оформлення математичних викладок та супроводжуючих графіків. Посилання на використані джерела оформлені коректно.

**Обсяг і структура дисертації** відповідають вимогам та рекомендаціям ДАК. Загальний об'єм дисертаційної роботи складає 143 сторінки з них: основна частина 118 сторінок, 70 рисунків, 1 таблиця. Список використаних джерел містить 108 найменувань.

**У вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність обраної теми, запропоновано методику наукового дослідження, сформульовано мету і задачі роботи, зазначено практичну цінність, наукову новизну, показано зв'язок роботи з науковими темами, планами, програмами, наведено відомості про апробацію результатів і їх впровадження.

**У першому розділі** виконано аналітичний огляд проблематики і постановка задачі досліджень в області розробки розподілених фільтруючих пристроїв. Розглянуто традиційні способи побудови основних типів зосереджених фільтрів на основі кіл Річардса з однорідних відрізків ліній передачі. Розглянуто методи синтезу фільтруючих структур методом характеристичних параметрів та чисельні методи проектування.

Показано існуючі обмеження і недоліки методів синтезу різного типу фільтруючих структур на ОЛ. Обґрунтовано, що для поліпшення характеристик пасивних пристроїв НВЧ як базовий елемент доцільно використовувати неоднорідні лінії, в яких хвильовий опір залежить від поточної довжини.

**Другий розділ** присвячений математичному аналізу НЛ як чотиріполюсної структури. Проведено аналіз характеристичних параметрів нових типів неоднорідних ліній та отримано аналітичні вирази для визначення характеристичних параметрів НЛ. Зокрема: отримано аналітичні вирази для вхідного опору та хвильового опору неоднорідної лінії при зміщенні дійсного нуля або полюса опору однорідної лінії, навантаженої на активний опір  $R$ ; визначено процедуру знаходження вхідного опору НЛ за частковим розв'язанням рівнянь НЛ для струму та напруги з врахуванням навантаження; отримано аналітичні вирази для визначення чотиріполюсних параметрів нових типів НЛ як елементів матриць опорів та провідностей.

**Третій розділ** присвячений удосконаленню методів синтезу фільтрів на відрізках ОЛ для його застосування до синтезу фільтрів на основі НЛ. Для цього розглянуто фільтруючі властивості елементарної симетричної ланки між двома ідентичними відрізками однорідних ліній. Отримані залежності зміни характеристичного опору від частоти фільтруючої ланки. Наведено висновки щодо покращення якості фільтруючих кіл (фільтрів та кіл узгодження) з використанням відрізків НЛ зі змінним хвильовим опором.

Запропоновано процедуру підбору такої залежності хвильового опору від електричної довжини ланки, за якої реалізується максимальна смуга узгодження при заданих комплексних навантаженнях та заданій схемі узгодження.

Запропоновано використання нових типів НЕ, для яких встановлено вигляд ланцюгової матриці кожної ланки, вираз для аналітичного опору ланки та отримані графічні залежності характеристичних параметрів від частоти для різних значень індуктивності і ємності.

**У четвертому розділі** здійснена розробка методу синтезу фільтрів на основі неоднорідних ліній. Розглянуто ланки на основі двоступінчатих ліній. Показано, що при використанні в якості зосереджених елементів  $L$ ,  $C$  ступінчастих ліній, для підвищення точності розрахунків необхідно враховувати індуктивності та ємності стрибків хвильового опору у місцях стиків. Проведено аналіз АЧХ фільтрів на основі запропонованого методу від елементів, виконаних на однорідних лініях.

Розроблені варіанти смужкової топології реалізації ФНЧ та ФВЧ Т- та П- ланок. За отриманими формулами запропоновано синтезований СПФ з двома паралельними шлейфами на основі замкнутої однорідної лінії та одним шлейфом на основі трьох НЛ. Приведені вичерпні числові характеристики синтезованих структур. Здійснено аналіз та виведено практичні рекомендації для ефективного використання резонаторів на основі неоднорідних ліній.

#### **Недоліки та зауваження для дисертаційної роботи.**

1. В роботі заявлено, що удосконалений метод синтезу фільтрів з використанням характеристичних параметрів НЛ показує зменшення чутливості електричних параметрів фільтра до розкиду конструктивних параметрів фільтрових ланок порівняно з конструкціями фільтра, синтезованого іншими методами, проте не наведено експериментальні дані для обґрунтування даного твердження.

2. В 3 розділі, що присвячений аналізу характеристик фільтрових ланок на основі неоднорідної лінії зі зміщеним дійсним нулем вхідного опору розглядаються ланки навантажені на дійсний опір. Проте не розглянуто залежність вхідного опору НЛ у випадку комплексного навантаження.

3. У п. 4.2.1. стверджується, що в порівнянні з існуючими методами реалізації індуктивності використання двох відрізків ліній дозволяє збільшити робочий діапазон відтворення АЧХ зосередженого ФВЧ на 20% - 30%, проте не приведені результати, що підтверджують ці цифри для ФВЧ.

4. Пункт 4.2. присвячений вирішенню завдання визначення матриць чотириполосника НЛ для кіл без втрат. Доцільно було б дати оцінку і рекомендації по корегуванню отриманої моделі з врахуванням енергетичних втрат в матеріалі.

5. Отримані формули розрахунку характеристичних параметрів НЛ розділу 2., передбачають значний об'єм математичних розрахунків, варто проводити аналіз та надати загальні рекомендації щодо їх програмної реалізації.

Наведені зауваження та недоліки не є принциповими і не впливають на кінцеві результати дисертаційної роботи. Більшість з них є дискусійними і обумовлена складністю задачі, що розглядається, високим рівнем та суперечливістю вимог, що висуваються до сучасних НВЧ фільтрів, необхідністю врахування особливостей технологічного процесу виготовлення таких фільтрів.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи.**

Дисертація представляє собою одноособово написану кваліфікаційну наукову працю, яка містить нові наукові результати, має внутрішню єдність та логіку, свідчить про особистий внесок автора у науку. Автор роботи глибоко вник в суть задачі, що вирішується, виявив добру обізнаність з предметом дослідження, коректно та за потрібним призначенням застосував математичний апарат. Одержані наукові результати, особливо отримані аналітичні вирази для визначення характеристичних параметрів НЛ показують великий об'єм виконаної роботи та лишають дуже хороше враження від дисертаційної роботи.

### **Висновки.**

За результатами розглядання дисертаційної роботи можна зробити такі висновки.

1. Дисертаційна робота в цілому є самостійно виконаним завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона містить нове рішення задачі удосконалення методів синтезу розподілених фільтруючих структур на основі неоднорідних ліній.

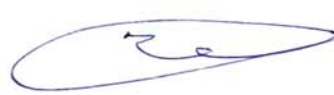
2. Дисертація відповідає стандарту спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Основні наукові положення дисертації повно та об'єктивно викладені в публікаціях.

3. За своїм змістом та науковим рівнем дисертаційна робота задовольняє вимогам Постанови № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженої Кабінетом Міністрів України від 12 січня 2022 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 341 від 21.03.2022р.) а її автор – Дудник Владислав Басірович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».



Вважаю, що отримані результати можуть бути використані при розробці фільтрів радіотехнічних пристроїв засобів телекомунікацій, а також при підготовці фахівців для відповідних галузей.

Офіційний опонент  
Завідувач кафедри телекомунікацій  
Національного університету  
"Львівська політехніка",  
д.т.н., проф.



Михайло КЛИМАШ

Підпис професора Климаша М. М. засвідчую,

Вчений секретар  
Національного університету  
"Львівська політехніка"  
Національного університету  
"Львівська політехніка"



Роман БРИЛИНСЬКИЙ