

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 64.157.01
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України
61085, м. Харків, вул. Ак. Проскури, 12

ВІДГУК

офіційного опонента провідного наукового співробітника наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба доктора технічних наук, професора Сухаревського Олега Ілліча на дисертаційну роботу Пазиніна Вадима Леонідовича “Моделювання і аналіз процесів пасивної та активної компресії електромагнітних імпульсів мікрохвильового і оптичного діапазонів”, яка подана на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03– радіофізика.

Актуальність теми дисертації. Існує безліч прикладних задач, в яких потужні електромагнітні радіо- та відеоімпульси слугують для зондування, підігріву плазми, передачі інформації, прискорення заряджених частинок, та ін. Перехід до більш потужних імпульсів у відповідних радіофізичних системах приводить зазвичай до росту їх ключових характеристик. Однак існуючими натеper методами аналізу, які базуються на наближених поданнях, досягти істотного прогресу у бік генерування великих потужностей край складно або взагалі неможливо. Генератори таких імпульсів мають занадто багато вільних параметрів – як геометричних, так і електричних, – і похибка, що припущена у визначенні будь-якого з них, неконтрольовано впливає на характеристики імпульсу, що генерується. Саме тому тема досліджень, які проведено у дисертації, і які були спрямовані на побудову точних математичних моделей, що описують перехідні процеси у компресорах електромагнітних імпульсів, є **актуальною**.

В дисертації в якості об’єкту дослідження обрано активні та пасивні компресори електромагнітних імпульсів. Такі пристрої дозволяють відносно простими засобами підвищувати потужності імпульсів, що генеруються наявними джерелами, уникаючи при цьому модернізації власно самих

джерел. Це також є **вагомим аргументом** на користь обраного напрямку досліджень, оскільки така модернізація джерел значно складніша, ніж синтез компресорів, і навряд може привести до суттєвого збільшення робочих потужностей.

Актуальність досліджень, результати яких представлено у дисертації, також визначається тим, що вони проводилися у рамках п'яти держбюджетних науково-дослідницьких робіт та однієї цільової програми НАНУ, що виконувалися у ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАНУ.

Загальна характеристика дисертації. Дисертація складається з чотирьох основних розділів. У **першому розділі** виконано огляд літературних джерел, що присвячені фізиці пасивного і активного стискання електромагнітних імпульсів, а також техніці моделювання перехідних процесів за допомогою кінцево-різницевого методу. У **другому розділі** детально описано всі математичні аспекти, що складають зміст розвинутого у дисертації методу дослідження перехідних процесів. А само постановки початково-крайових задач, перехід до їх різницевих аналогів, опис характеристик, що можна отримувати з розв'язків таких задач як у часовій, так і в частотній області, низку тестів розробленого програмного продукту. **Третій розділ** присвячено вивченню пасивної компресії. Тут наведено результати низки чисельних експериментів по такому стисканню у різноманітних хвилеведучих об'єктах: металеві та діелектричні хвилеводи, середовища з дисперсією показника заломлення, випромінювачів. **Четвертий розділ** містить результати синтезу моделей активних компресорів: як одноступеневих, так і двоступеневого.

Одержані результати та їх новизна. Результати, що виносяться до захисту, є повністю оригінальними. Їх новизна полягає перш за все у тому, що здобувачеві, вдалося а) побудувати якісний математичний апарат для моделювання перехідних процесів у досить складних хвилевідних дисперсійних та резонансних структурах, в тому числі і в об'єктах зі змінюваними у часі параметрами, б) реалізувати цей апарат у прикладних програмах для персональних комп'ютерів, в) провести за їх допомогою низку унікальних чисельних експериментів щодо пасивного та активного стискання електромагнітних імпульсів. Ці чисельні експерименти дозволили вийти на принципово новий рівень за кількістю та якістю даних, що отримуються, – про це наявно свідчать майже усі графічні матеріали, які представлено у

дисертації. Отримання таких величезних об'ємів достовірних даних лише з натурних експериментів з лабораторними зразками компресорів неможливе, а за допомогою чисельних експериментів з комерційними програмними продуктами на кшталт відомого CST Microwave Studio супроводжується низкою питань, які стосуються їх достовірності. Не принижуючи цінності таких комерційних продуктів слід відмітити якість розробленого у дисертації програмного забезпечення: усі фізичні величини, які можливо розраховувати за його допомогою, мають строге математичне уявлення (для CST Microwave Studio це не так) та прогнозований рівень похибки.

Звертають на себе увагу і такі оригінальні результати, як застосування методу обернення хвильового фронту для синтезу пасивних компресорів та запропонована автором схема синтезу активних компресорів, за якою такі непрості хвильові вузли синтезуються крок за кроком з постійним контролем головних параметрів (робочої частоти, наприклад).

Практичне значення отриманих результатів полягає в першу чергу у тому, що розроблений в ній математичний апарат є універсальним. Його застосування не обмежується лише компресорами імпульсів, як це можна б було вивести з назви дисертації, а поширюється на будь-які резонансні та/або дисперсійні об'єкти, що генерують, випромінюють, стискають електромагнітні імпульси. При цьому немає потреби накладати будь-які додаткові спрощуючі припущення або обмеження, а створений програмний інтерфейс дозволяє наочно візуалізовувати та вивчати динаміку перехідних процесів. Такий підхід дозволяє виконувати синтез та оптимізацію широкого класу структур шляхом чисельних експериментів з їх математичними моделями, що, у кінцевому підсумку, сприяє зменшенню матеріальних витрат на виготовлення подібних імпульсних джерел.

Важливими з практичної точки зору є й суто фізичні результати, що представлені у дисертації. Наприклад, отримане узагальнення методу обернення хвильового фронту, яке дозволяє точно розраховувати часові залежності вхідних імпульсів пасивних компресорів довільної геометрії так, щоб їх вихідні імпульси мали задану форму. Озброївшись таким методом, можна в подальшому виконувати широкий пошук дисперсійних елементів, в яких можна було б стискати імпульси зі спектром, що займає на частотній вісі багато октав.

Побудовані моделі активних компресорів дозволяють зрозуміти фізику перехідних процесів, які відбуваються при накопиченні енергії в

резонаторі, перемиканні його активного елемента, перекачуванні в інший резонатор та ін. Це розуміння, в свою чергу, робить можливим подальший осмислений пошук більш ефективних конструкцій компресорів.

Окремо хотілось би відмітити побудовану у дисертації модель двоступеневого компресора. Техніка, з якою її було синтезовано, вражає своєю ретельністю (було налаштовано три резонансних об'єми на одну саму частоту з точністю в п'ять десяткових знаків), та при покроковому відтворенні у фізичному експерименті може привести до компресора з унікальними характеристиками.

Достовірність отриманих результатів обґрунтована використанням строгого математичного підходу до розв'язання задач, пов'язаних з аналізом перехідних процесів. Цей підхід включає в себе строгу постановку початково-крайових задач, їх дискретизацію на різницевій сітці, акуратну реалізацію розрахункових алгоритмів, що підтверджена низкою тестів на відомих канонічних задачах. У всіх цих тестах данні, що отримані за допомогою розробленого чисельного алгоритму, добре (в декількох десяткових знаках) співпадають з даними, що отримано іншими методами, зокрема з відомими аналітичними уявленнями (задача випромінювання нескінченної нитки зі струмом у вільний простір та плоско паралельний хвилевід).

Повнота викладення результатів в опублікованих роботах. Основні наукові результати опубліковано у 23 статтях, 1 розділі монографії та 11 тезах доповідей на міжнародних конференціях.

В цілому, структура дисертації побудована логічно і послідовно, її результати та висновки сформульовані вірно. Зміст і основні положення, що наведені у авторефераті, ідентичні тим, що наведені у дисертації. Оформлення дисертації та автореферату повністю задовольняє вимогам, що висуваються ВАК України до таких робіт.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Дисертація має деякий структурний дисбаланс: розділ 2, де викладається математичний апарат, перевантажений дрібними деталями, наприклад, описом розрахункових формул, за якими виконується швидке перетворення Фур'є (п. 2.8.2), і займає більше

сотні сторінок. В той же час останній четвертий розділ, присвячений активним компресорам, і в якому представлено найбільш цікаві фізичні результати, викладено стисло і у межах приблизно 70 сторінок. Ймовірно слід було б зробити зворотне співвідношення.

2. Дисертантом погано обґрунтовано вибір методу (FDTD), за допомогою якого виконані всі чисельні експерименти. Вочевидь, що метод FDTD не єдиний, що дозволяє моделювати імпульсні поля у часовій області, але його важко віднести до методів, що є невибагливими до комп'ютерних ресурсів.
3. Дисертації не вистачає результатів чисельних експериментів з тривимірними моделями. Особливо це відчувається при знайомстві з підрозділом 4.5 де будується модель двоступеневого компресора: при приблизно тих самих розмірах тривимірний резонатор першої ступені буде мати більшу добротність робочого коливання ніж його двовимірний аналог. Як наслідок, збільшуються усі енергетичні характеристики компресора.
4. Слід зазначити зауваження, яке стосується техніки проведення чисельних експериментів, в яких моделювалося перемикання інтерференційних перемикачів активних компресорів. У всіх цих експериментах перемикання здійснювалося завдяки зміні питомої провідності деякого об'єму всередині накопичувального резонатора. При цьому вважалося, що така зміна провідності обумовлена деяким зовнішнім джерелом вільних носіїв заряду – струмом у газорозрядній трубці або потоком електронів від зовнішньої електронної гармати. Але цей зовнішній струм не враховувався при розв'язанні початково-крайових задач, що представлені у дисертації. Очевидно, що цей зовнішній струм є джерелом потужних імпульсних хвиль, які вносять вклад до вихідного імпульсу компресора переважно у вигляді його деякого спотворення. Це зауваження носить скоріше рекомендаційний характер для подальших досліджень, оскільки задачі, що розв'язуються, є лінійними, і врахування вкладу такого зовнішнього струму може бути виконано за принципом суперпозиції.

Вказані недоліки не знижують загального позитивного враження від роботи В.Л. Пазиніна.

Висновок: дисертаційна робота Пазиніна В.Л. є завершеним дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну наукову проблему строгого аналізу та синтезу активних і пасивних компресорів електромагнітних імпульсів. Зміст дисертаційної роботи і отримані результати відповідають паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика та задовольняють вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.13 року № 567, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Пазинін Вадим Леонідович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
Наукового центру Повітряних Сил
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
Заслужений діяч науки і техніки України
доктор технічних наук професор

12.11.2019

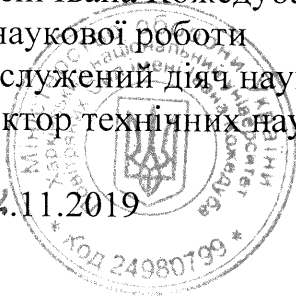


О.І. СУХАРЕВСЬКИЙ

Особистий підпис доктора технічних наук професора О. І. Сухаревського засвідчую.

Заступник начальника
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
з наукової роботи
Заслужений діяч науки і техніки України
доктор технічних наук професор

14.11.2019




Г.В. ПЄВЦОВ