

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.062.08
Національного авіаційного університету
доктору технічних наук, професору
Синеглазову В.М.

ВІДГУК

офіційного опонента, професора кафедри Комп'ютерних інформаційних систем та технологій Міжрегіональної академії управління персоналом, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Чепіженка Валерія Івановича на дисертаційну роботу Слободяна Олександра Петровича на тему «Спектральний метод перетворення сигналів у радіотехнічних системах на основі магнітооптичного перетворювача», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасний розвиток радіотехнічних та телекомунікаційних засобів тісно пов'язаний зі швидкими темпами і масштабами зростанням технологій, у першу чергу в сфері елементної бази. Значне місце у вирішенні актуальних завдань займає проблема розробки нових методів, на основі яких будується широкий спектр пристроїв і систем сучасної радіоелектроніки. Однією із характерних особливостей в галузях науки і техніки є створення пристроїв різних класів, в яких використовуються нелінійні ефекти. У загальному комплексі перетворювачів фізичних величин в останні два десятиліття бурхливо розвиваються магнітооптичні перетворювачі в силу ряду їх переваг перед іншими типами перетворювачів. На жаль, незважаючи на досягнення в області розробки нових магнітооптичних перетворювачів і датчиків, в відомих роботах відсутні дослідження їх основних характеристик, які дозволили б отримати науково обґрунтовані результати та рекомендації щодо підвищення їх ефективності саме в нелінійній області перетворень сигналів. Для отримання аналітичних залежностей основних характеристик магнітооптичних перетворювачів необхідне знання їх математичних моделей.

Таким чином існує проблема, яка стримує розвиток радіотехнічних систем, що забезпечують перетворення спектри сигналів, вимірювання та обробку сигналів, зокрема, у вузлах радіотехнічних пристроїв, в яких нелінійні елементи та їх характеристики не є достатньо дослідженими. Проблема також полягає у складності схмотехнічної реалізації пристроїв перетворення та обробки сигналів такого типу. Зокрема, це обумовлено тим, що перетворення сигналів за частотою, амплітудою, фазою з використанням пристроїв, які широко використовуються у техніці зв'язку, призводить до спотворення сигналу та припускає використання додаткових конструктивних рішень.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає в збільшенні ефективності спектрального

перетворення сигналів у радіотехнічних пристроях та системах за допомогою іншого методу, оснований на ефекті Фарадея з розширеними можливостями.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується і забезпечується коректним застосуванням відомих сучасних методів і засобів наукових досліджень, а саме методів математичного аналізу, законів фізики, а також методів математичного моделювання.

Ступінь обґрунтованості висновків та рекомендацій, що базуються на отриманих результатах аналітичних та комп'ютерних досліджень, достатня для практичного їх застосування на етапах проектування і виготовлення зразків магнітооптичних перетворювачів.

3. Достовірність отриманих результатів.

Достовірність наукових результатів підтверджується:

- коректною постановкою задачі, використанням апробованого математичного апарату і використанням вихідних даних, наближених до реальних;

- значною кількістю експериментальних даних, отриманих шляхом комп'ютерного моделювання, та порівняльним аналізом отриманих результатів з результатами натурних експериментальних досліджень;

- апробацією результатів дисертаційних досліджень на широкому колі наукових конференцій, участю у виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт з тематики дисертаційного дослідження

- коректним використанням математичного апарату, властивостей фізичних явищ ефекту Фарадея і закону Малюса, що не містять протиріччя між отриманими результатами та їх фізичним змістом.

4. Новизна наукових результатів, отриманих в дисертаційній роботі.

Аналіз рукопису дисертації і публікацій автора за тематикою дисертаційних досліджень дозволяє визначити головні нові наукові результати:

1. Вперше розроблено математичну модель магнітооптичного перетворювача, що відрізняється від існуючих тим, що вона придатна для багатоцільового моделювання операцій над сигналами в радіотехнічних системах, що в свою чергу надає можливість дослідити та підвищити ефективність перетворення сигналів.

2. Вперше розроблено метод перетворення модульованих гармонічних сигналів з використанням магнітооптичних перетворювачів на основі ефекту Фарадея, який реалізується за рахунок перенесення інформації на світлову хвилю для її подальшої обробки та перетворення, що надає змогу підвищити швидкість обробки та покращити шумові характеристики.

3. Розроблено аналітичну модель нелінійних характеристик елементів з визначенням коефіцієнтів апроксимації на основі експериментальних ВАХ з урахуванням режимів глибокого насичення.

5. Практична цінність дисертаційної роботи полягає в наступному:

Побудована узагальнена математична модель магнітооптичного перетворювача являє собою систему нелінійних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, може бути використана для проектування радіотехнічних пристроїв з блоками на основі магнітооптичних перетворювачів. Проведені дослідження дозволяють розробити обґрунтовані вимоги до параметрів елементів блоків перетворювачів сигналів, які в подальшому можуть бути використані під час проектування вузлів радіотехнічного обладнання.

Розроблені математичні моделі та пристрої перетворення дозволяють, насамперед, більш поглиблено вивчати фізичні процеси, що відбуваються при інтенсивних вхідних сигналах. Результати роботи можуть бути використані при вивченні суттєво нелінійних систем різної природи (механічних, акустичних, оптичних тощо). Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами впровадження. Отримано 3 патенти на винахід.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеності в цілому, відповідність оформлення дисертаційної роботи вимогам МОН України.

Дисертаційна робота Слободяна Олександра Петровича оформлена відповідно до вимог, що висуваються до чинних документів.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 142 сторінки основного тексту, в тому числі 69 рисунків та 3 таблиці, список використаних джерел з 127 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, виконано формулювання мети й завдання дисертації, визначено об'єкт та предмет дослідження, описані основні наукові результати, новизна та практична цінність отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими програмами й темами, а також наведено відомості про публікації, апробацію та структуру роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих методів перетворення сигналів, що використовуються у вузлах радіотехнічних пристроїв та здійснено огляд сучасної елементної бази, що здатна вирішувати поставлені задачі та потребує пошуку нових технічних рішень.

У результаті досліджень відомих методів було визначено, що вони характеризуються певними недоліками, що обмежують їх використання для ефективного перетворення амплітудних, частотних та фазових характеристик сигналу. Зроблено коректний висновок про те, що для отримання нелінійної характеристики необхідно використовувати фізичні явища на основі магнітооптичного ефекту Фарадея, який не пов'язаний з електропровідністю.

У другому розділі розроблено новий метод спектрального перетворення модульованих гармонійних сигналів з використанням магнітооптичного перетворювача на основі ефекту Фарадея, який реалізується за рахунок перенесення інформації на світлову хвилю для її подальшої обробки.

Наведені у розділі результати теоретико-аналітичного дослідження показують принципову можливість здійснювати радіотехнічні операції перетворення спектри сигналу за допомогою магнітооптичного перетворювача: множення частоти сигналу, гетеродинування, амплітудну і фазову модуляцію, ущільнення та розширення спектра сигналу, цифрові перетворення.

Сформовано загальне наукове завдання, щодо створення нових вузлів радіоелектронних пристроїв, в тому числі, інженерно-технічних рішень, направлених на розширення функціональних можливостей магнітооптичного перетворювача і його багатоцільового використання для вирішення завдань, пов'язаних з перетворенням спектра сигналів, множення частоти, зсуву фази, вимірювання різниці фаз.

У третьому розділі розроблено математичні моделі магнітооптичного перетворювача. Результати математичного моделювання вказують на можливість створення нових вузлів для радіотехнічних пристроїв і систем, а саме: помножувачі амплітуди сигналу, фазообертачі, пристрої вимірювання різниці фаз сигналу та помножувачі частоти сигналу. Використання цього способу вимірювання дозволяє створювати прилади дуже високої точності для вимірювання різниці фаз сигналів в інфра- і низькочастотному діапазонах, а також використовувати даний спосіб в радіотехнічних системах і комплексах, наприклад, в далекомірах, пеленгаторах, радіолокаційних і радіонавігаційних системах.

Запропонований в дисертації спосіб також буде конкурентоздатним з відомими способами множення частоти за чутливістю і може широко використовуватися в цифровій і обчислювальній техніці.

У четвертому розділі досліджено зовнішні характеристики магнітооптичного перетворювача на основі експериментальних даних в умовах та режимах, характерних для їх роботи в радіотехнічних системах. Проведені розрахунки за визначенням аналітичних співвідношень залежностей кута повороту площини поляризації від величини підмагнічувального струму при різних кратностях віддзеркалення променя в активній речовині магнітооптичного перетворювача дозволяють вирішувати задачу визначення необхідного підмагнічувального струму не графічним, а аналітичним методом, і автоматизувати задачу пошуку необхідної величини керування. Динамічна модель магнітооптичного перетворювача дозволяє проводити імітаційне моделювання, що значно спрощує задачу дослідження динаміки перетворювача спектра радіосигналів.

Загальні висновки логічно впливають із представленого здобувачем матеріалу і відбивають найбільш вагомі наукові і практичні результати дисертаційної роботи та свідчать про досягнення поставленої мети.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що структура та зміст дисертаційної роботи повністю відповідає існуючим вимогам. Зміст

дисертаційних досліджень викладено лаконічно. Структурні розділи дисертації містять усі необхідні для проведеного дослідження положення і висновки. Робота достатньо проілюстрована графіками й рисунками, а стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків забезпечує доступність їх сприйняття. Дисертація є завершеною науковою працею, її оформлення повністю відповідає вимогам МОН України. Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи.

7. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових фахових виданнях та апробація

Основні результати дисертації повністю представлено у 11 наукових статтях, опублікованих у журналах, що входять до переліку фахових видань України з технічних наук, у тому числі 10 статей індексовані в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar, 3 патентах на винахід, 7 тезах і матеріалах конференцій.

Основні теоретичні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на наукових семінарах, Всесвітньому конгресі «Aviation in the XXI-st century», Міжнародних науково-технічних конференціях.

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У першому розділі дисертаційної роботи автор провів аналіз характеристик електронних компонентів радіотехнічних систем у різних частотних областях. Однак, доцільніше було б сконцентрувати увагу на тій частині спектру, де працює запропонований у роботі магнітооптичний перетворювач.

2. У дисертаційній роботі в якості основного матеріалу магнітооптичного перетворювача розглядаються лише кристали Ітрієвого ферит-гранату ($Y_3Fe_5O_{12}$). Однак, існують і інші матеріали, які виявляють поздовжній магнітооптичний ефект Фарадея. До таких матеріалів відносяться: рідкоземельні ферит-гранати на основі Самарію, Празеодіуму, Церію, Лантану; монокристалічні ферит-гранати; ферит-гранати на основі Вісмуту і Свинцю і інші. Використання того чи іншого матеріалу в магнітооптичному перетворювачі може суттєво вплинути на процес перетворення сигналів. Наприклад, наявність інтенсивних електричних дипольних переходів між енергетичними рівнями рідкоземельних іонів і переходів з переносом заряду від іонів кисню на рідкоземельні іони, що знаходяться в ультрафіолетовій області спектра, виявляє помітний вплив на магнітооптичні властивості ряду рідкоземельних ферит-гранатів в інфрачервоній і видимій областях спектра.

Також відомо, що кут повороту площини поляризації прямо пропорційний постійній Верде, яка залежить не тільки від властивостей речовини, з якої виготовлено магнітооптичний перетворювач, але і від довжини хвилі і монохроматичності випромінювання, температури. Ці параметри середовища можуть призвести до зростання намагніченості насичення, зростання або зменшення температури Кюрі, збільшення констант кубічної

магнітної анізотропії та магнетострикції, виникнення значної одноосьової магнітної анізотропії та інших суттєвих змін властивостей магнітооптичних перетворювачів.

Нажаль, розроблена Слободяном О.П. математична модель магнітооптичного перетворювача не враховує особливості впливу матеріалу перетворювача і зовнішніх параметрів середовища на характеристики перетворення сигналів.

2. З метою отримання аналітичної моделі нелінійних характеристик магнітооптичного перетворювача Слободян О.П. використав степеневі поліноми третього і четвертого ступенів. Особливістю таких апроксимаційних поліномів є те, що апроксимована характеристика може суттєво відрізнятись від дійсної характеристики на межах і за межами інтервалу апроксимації. Ця особливість не була врахована здобувачем, в результаті чого при струмі підмагнічування $I=0$ апроксимаційна модель не дає нульове значення куту повороту площини поляризації світла Θ_a . Для представлених на стор. 124 дисертації значень коефіцієнтів апроксимуючих поліномів 4-го ступеня значення кута повороту площини поляризації світла Θ_a при одноразовому, триразовому, п'ятиразовому і семиразовому проходженню променю дорівнює відповідно 13, 37, 50 і 50 градусів відповідно. Крім того, коефіцієнти поліномів для випадків п'ятиразового і семиразового проходження променю повністю співпадають, хоча на рис. 4.5. криві 5 і 7 є різними.

Аналогічна картина спостерігається і щодо визначення аналітичних залежностей статичних вихідних характеристик магнітооптичного перетворювача (стор. 127 дисертації).

3. Вступна частина з обґрунтуванням актуальності дослідження занадто затягнута, але при цьому не даються чіткі формулювання, визначення понять, які використовуються в постановці завдань, що ускладнює розуміння умов вирішення поставлених завдань і вимог до результатів.

4. В тексті дисертації є багато неузгоджених речень. Наприклад, на стор. 50 є речення: "Для якісного перетворення сигналів, необхідно шукати нові способи, засновані на інших методах, як нелінійного елемента яких використовується ферримагнітний кристалі, прозорого в оптичному діапазоні." На стор. 53 є незрозумілий вислів: "... магнітооптичний матеріал, поміщений в змінне магнітне поле підмагнічу котушки...".

5. У роботі не достатньо висвітлено усі етапи моделювання роботи динамічної моделі магнітооптичного перетворювача у середовищі Matlab/Simulink.

9. Загальні висновки та оцінка дисертації в цілому.

Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Слободяна О.П.

У цілому можна констатувати, що дисертаційна робота Слободяна О.П. є закінченим науковим дослідженням, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати. На базі узагальнення результатів теоретичних та розрахунково-

експериментальних досліджень створено науково-методичний апарат для вирішення науково-прикладної проблеми збільшення ефективності спектрального перетворення сигналів у радіотехнічних пристроях та системах за допомогою методу, який ґрунтується на ефекті Фарадея.

Дисертаційна робота і автореферат оформлені з дотриманням вимог, встановлених МОН України. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Зважаючи на актуальність теми досліджень Слободяна О.П., ступінь обґрунтованості наукових результатів роботи, новизну та повноту викладу результатів в опублікованих працях автора, вважаю, що дисертація Слободяна Олександра Петровича на тему «Спектральний метод перетворення сигналів у радіотехнічних системах на основі магнітооптичного перетворювача» відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами та доповненнями згідно Постанов КМ № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016, №943 від 20.11.2019 та №607 від 15.07.2020 р.), що висувається до дисертації, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент

Доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних інформаційних систем і технологій «Міжрегіональна академія управління персоналом»



Приватне акціонерне товариство
«Вищий навчальний заклад «Міжрегіональна
Академія управління персоналом»
Власноручний підпис Чепіженко В.І.
СТВЕРДЖУЮ
Відділ управління персоналом
«08» Вересня 2021 р.
Підпис Чепіженко

В.І. Чепіженко

Підпис професора кафедри Комп'ютерних інформаційних систем та технологій Міжрегіональної академії управління персоналом, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Валерія Івановича Чепіженка, засвідчую.

*Вх 15/51.03
Від 08.09.21*