

ВІДГУК

офіційного опонента

професора, д.т.н. Семенка А.І.

на дисертаційну роботу

Оборжицького Валерія Івановича на тему «Розвиток теорії та аналітичних методів підвищення ефективності проектування лінійних пасивних пристроїв для інтегрованих схем надвисокочастотного діапазону», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 - Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Актуальність обраної теми

Лінійні пасивні пристрої, які виконують функції розподілу сигналу, чи його комутації між вихідними каналами, з додаванням сигналів на загальному навантаженні, забезпечують режим узгодження чи трансформації опору, задану фазову затримку сигналу, його частотну селекцію, тощо, відносяться до важливих складових інтегрованих схем надвисокочастотних трактів радіотехнічних та телекомунікаційних систем. Результатом проектування таких пристроїв є смужковий варіант конструкції, робочі параметри та характеристики якої задовольняють поставленим технічним вимогам, і для виготовлення якої застосовують одну з розроблених технологій для інтегрованих схем діапазону надвисоких частот. Отримати геометричні розміри і параметри конструкції пристрою дозволяють методи параметричного синтезу та оптимізації з застосуванням САПР. Водночас ефективність процесу автоматизованого проектування залежить від ряду суттєвих факторів, до яких відноситься вибір структури пристрою, що не піддається формалізації і здійснюється на підставі досвіду розробника. При цьому в багатьох випадках використовуються лише поширені класичні варіанти схем з обмеженими можливостями, тоді як для забезпечення ускладнених технічних вимог потрібний широкий набір схемотехнічних рішень. Така необхідність особливо відчутна для телекомунікаційної галузі, де у зв'язку з її активним розвитком постала проблема реалізації двосмугових надвисокочастотних інтегрованих пристроїв з можливістю одночасної роботи в двох різних смугах, які відносяться до різних стандартів. Другим важливим фактором впливу на ефективність проектування є вибір початкових значень параметрів конструкції пристрою, які необхідні для проведення процедури оптимізації. Їх отримують, виходячи з електричних параметрів елементів використаної схеми пристрою, які розраховують за допомогою аналітичних методів, розроблених в одномодовому наближенні. Проте в багатьох випадках існуючі методи розрахунку отримано з використанням ряду спрощень та обмежень, які суттєво впливають на відповідність розрахованих параметрів пристрою реальним значенням. Внаслідок цього знижується ефективність процесу проектування в цілому, що вимагає розроблення аналітичних методів, які б дозволяли усунути вказані недоліки.

Отже, наявне *протиріччя* між необхідністю забезпечити при проектуванні лінійних пасивних надвисокочастотних пристроїв задані технічні параметри згідно з ускладненими технічними вимогами і розширити їх функціональні можливості та малою кількістю розроблених варіантів схемотехнічних рішень при відсутності аналітичних методів їх розрахунку, чи наявності в існуючих методах обмежень на можливість врахувати вплив ряду суттєвих факторів на роботу пристрою, що не дозволяє підвищити ефективність процесу проектування. Метою дисертаційної роботи Оборжицького В.І є усунення згаданого протиріччя шляхом розвитку теорії високочастотних кіл та багатополосників і розроблення на її основі відповідного математичного забезпечення (моделей та методів розрахунку в одномодовому наближенні, представлених у вигляді аналітичних виразів для визначення електричних параметрів елементів схеми смужкових пристроїв). Отже, тема дисертаційної роботи *є актуальною* і спрямована на вирішення важливої *наукової проблеми* підвищення ефективності проектування широкого класу лінійних взаємних пасивних надвисокочастотних пристроїв у інтегрованому виконанні шляхом розробки нових і удосконалення існуючих схемних рішень та аналітичних методів їх розрахунку з забезпеченням високих технічних параметрів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірність результатів

Наукові положення, висновки за результатами досліджень та рекомендації щодо застосування отриманих результатів теоретично обґрунтовані і експериментально підтверджені. Поставлені в дисертації завдання вирішувалися з застосуванням теорії кіл з розподіленими параметрами, теорії високочастотних багатополосників та матричних методів їх аналізу, лінійної алгебри, числових ітераційних методів, комп'ютерного моделювання в середовищі САПР. Достовірність отриманих результатів підтверджена перевіркою запропонованих методів розрахунку експериментальним дослідженням розроблених за їх результатами макетів.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше, на основі розвитку теорії високочастотних симетричних кіл та багатополосників одержано нові аналітичні співвідношення, які, на відміну від відомих, встановлюють зв'язок між хвильовими параметрами симетричного взаємного лінійного багатополосника, повністю симетричного ідеально спрямованого восьмиполосника, а також між комплексними вхідним опором і опором навантаження симетричного взаємного чотириполосника та вхідними імпедансами їх парціальних складових синфазно-протифазного збудження.

2. Вперше, з використанням результатів розвитку теорії симетричних багатополосників сформульовано умови для вхідних імпедансів парціальних складових синфазно-протифазного збудження, при яких симетричні чотириполосники забезпечують задану фазову, групову затримку чи режекцією сигналу на заданій частоті. Отримано нові аналітичні співвідношення для розрахунку трансформаторів імпедансу, пристроїв фазової та групової затримки сигналу на базі відрізка зв'язаних ліній передачі з різними варіантами

його навантаження і компенсації впливу різниці фазових швидкостей парної і непарної мод, нових схем режекторних фільтрів з фіксованою та регульованою частотою режекції, балансних рівноплечих подільників потужності, схеми яких для досягнення бажаних характеристик доповнено додатковими реактивними елементами, що забезпечує компенсацію впливу неоднорідностей розгалужень.

3.3 використанням результатів розвитку теорії спрямованих восьмиполіусників запропоновано новий підхід до розробки аналітичних методів розрахунку симетричних спрямованих відгалужувачів з різним типом спрямованості, на основі якого вперше одержані співвідношення для розрахунку протиспрямованих, співспрямованих і трансспрямованих відгалужувачів на базі відрізка зв'язаних ліній передачі з різними варіантами компенсації впливу різниці фазових швидкостей мод і з можливістю вибору довжини відрізка та його хвильових опорів, а також двошлейфних спрямованих відгалужувачів з компенсацією впливу неоднорідностей трійникових розгалужень.

4. Вперше отримано вирази для розрахунку рівня розв'язки та рівня внесеного загасання, які можна досягти у багатоканальному перемикачі променевого типу в залежності від способу ввімкнення ключів та від їх еквівалентних параметрів. Вперше отримано розрахункові аналітичні співвідношення для таких перемикачів з різним розміщенням трансформуючих чотириполіусників, завдяки яким досягається узгодження на вході і розв'язка входу з закритими каналами.

5. Вперше, на основі аналізу симетричних чотириполіусників з елементами керування станом сформульовано дві умови, при виконанні яких можна забезпечити дискретну зміну фазової затримки сигналу. Це дозволило вперше запропонувати схеми та аналітичні методи розрахунку петльових дискретних фазообертачів на відрізку зв'язаних ліній та петльового фазообертача з відрізками ліній у прямому каналі. Також отримано методи розрахунку шлейфного дискретного фазообертача з компенсацією, на відміну від відомих методів, впливу неоднорідностей трійникових розгалужень, а для фазообертача на комутованих каналах – з врахуванням властивостей перемикачів та вирівнюванням нахилу фазочастотних характеристик каналів.

6. Вперше, на основі встановленої залежності параметрів розсіяння симетричного багатополіусника від зміни при зміні робочої частоти вхідних імпедансів його парціальних складових синфазно-протифазного збудження сформульовано підходи до забезпечення двочастотного режиму роботи пристроїв. На їх основі розроблено нові методи розрахунку широкого ряду двочастотних пристроїв, до яких відносяться трансформатори імпедансу, в тому числі з розв'язкою за постійним струмом, перемикачі променевого типу, рівноплечі подільники потужності на зв'язаних лініях передачі, нерівноплечий подільник з різним у смугах розподілом потужності, спрямовані відгалужувачі на відрізках зв'язаних ліній з різним типом спрямованості, шлейфні спрямовані відгалужувачі з довільним розподілом потужності і, на відміну від відомих, з однаковими, чи з протилежними знаками різниці фаз сигналів на виходах у різних смугах частот, двоканальні режекторні фільтри та смуго-пропускні

фільтри на паралельно зв'язаних смужкових резонаторах з двома робочими смугами та з перестроюванням смуги.

Практичне значення одержаних результатів

Основними практичними результатами дисертаційної роботи є:

1. Можливість використання аналітичних методів розрахунку нових варіантів схемного рішення лінійних взаємних пасивних пристроїв для надвисокочастотних інтегрованих схем радіотехнічних та телекомунікаційних систем на основі теоретичної бази, отриманої в результаті досліджень в напрямку розвитку теорії високочастотних багатополісників.

2. Можливість реалізації лінійних взаємних пасивних пристроїв різного функціонального призначення за обраною схемою симетричного чотириполісника при використанні для розрахунку запропонованого підходу на основі вхідних імпедансів парціальних складових синфазно-протифазного збудження.

3. Застосування запатентованих нових схемних рішень та запропонованого математичного забезпечення, яке відрізняється максимальним врахуванню впливу суттєвих факторів, і дає змогу розробникам цілеспрямовано і аргументовано реалізувати проектні процедури, пов'язані з вибором структури схеми надвисокочастотного пристрою і визначенням параметрів її елементів, дозволяє зменшити обчислювальні витрати при проведенні параметричної оптимізації об'єктів проектування.

4. Завдяки простоті отриманих аналітичних співвідношення існує можливість їх включення у вигляді програмного забезпечення в пакети програм аналізу смужкових надвисокочастотних пристроїв.

Одержані у дисертаційній роботі результати можуть успішно використовуватися у наукових підрозділах, які займаються проектуванням трактів надвисокої частоти в інтегрованому виконанні

Структура та зміст дисертації

В цілому дисертація є завершеним науковим дослідженням, побудована за класичною схемою та складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить 482 сторінки, з обсягом основного тексту 306 сторінок. Дисертація містить 110 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел із 437 найменувань на 48 сторінках і 8 додатків на 116 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, вказано на низку питань теоретичного і прикладного плану, що вимагають вирішення, на основі чого сформульовано наукову проблему, мету і напрямки досліджень. Охарактеризовано наукову новизну отриманих результатів та їх практичну цінність, показано взаємозв'язок розв'язуваних завдань з науковими програмами. Надано відомості про публікації та апробацію роботи.

У першому розділі на основі аналізу наукових публікацій за темою дисертації досліджено існуючі методи проектування надвисокочастотних пристроїв у смужковому виконанні. Проведений аналіз математичних моделей

лінійних пасивних пристроїв, поширених пакетів прикладних програм та сучасних САПР відрізняється достатньою глибиною дослідження. За результатами цього аналізу зроблено висновки про обмежені можливості програмного ресурсу для параметричного синтезу вказаних пристроїв і про важливість розробки моделей на основі аналітичних методів їх розрахунку в одномодовому наближенні.

В результаті аналізу існуючих методів розрахунку основних типів лінійних взаємних пристроїв трансформації сигналу, розподілу потужності, дискретного керування фазовою затримкою сигналу, комутації каналів проходження сигналу, а також пристроїв з роботою у двох смугах частот встановлено, що одним із напрямів підвищення ефективності їх проектування є розроблення як нових схемотехнічних рішень, так і аналітичних методів розрахунку, які б давали можливість врахувати вплив на роботу пристрою важливих факторів без обмежень, що мають місце в існуючих методах.

Другий розділ присвячено питанням розвитку теорії високочастотних багатополосників на основі застосування вхідних імпедансів парціальних складових, на які розкладається багатополосник при використанні методу синфазно-протифазного збудження. Було записано аналітичні співвідношення для вказаних вхідних імпедансів в залежності від хвильових параметрів симетричного багатополосника, а також спрямованих восьмиполосників з повною симетрією при трьох типах спрямованості. В результаті аналізу отриманих співвідношень зроблено ряд тверджень про вплив зміни вхідних імпедансів на хвильові параметри симетричного багатополосника, що важливо для реалізації методу еквівалентної заміни, який дозволяє змінити структуру пристрою при збереженні його робочих параметрів, а також для реалізації пристроїв з двочастотним режимом роботи, і забезпечити який можна згідно записаних підходів з використанням приведених двочастотних вузлів.

Важливим і необхідним для подальших досліджень результатом є запис співвідношень, які встановлюють залежність вхідних імпедансів парціальних складових симетричного чотиріполосника від заданих значень комплексного опору навантаження і комплексного опору на його вході.

Виходячи з вхідних імпедансів парціальних двополосників симетричного чотиріполосника сформульовано дві важливі умови, за яких схему чотиріполосника можна застосувати для дискретної зміни фазової затримки сигналу з відповідним розміщенням керуючих елементів.

Введення для багатоканальних перемикачів поняття узагальненого комутуючого елемента дозволило записати співвідношення для розрахунку основних робочих параметрів багатоканального променевого перемикача (внесеного загасання і розв'язки), які можна отримати в залежності від вибраної схеми та еквівалентних параметрів керуючих елементів, а також визначено умову забезпечення граничних значень вказаних параметрів.

Запропоновано і показано на прикладі схем вузькосмугового узгодження, як організувати процес розрахунку електричних параметрів елементів схем смужкових пристроїв з одночасною компенсацією впливу неоднорідностей в їх структурі.

У третьому розділі показано, як залежить функціональне призначення

симетричного реактивного чотириполюсника від значень вхідних реактансів його парціальних двополюсників синфазно-протифазного збудження.

Запропоновано підхід до розробки аналітичних методів розрахунку параметрів елементів схеми симетричного чотириполюсника з використанням вхідних опорів його парціальних складових, значення яких визначаються за призначенням пристрою. З використанням вказаного підходу записано співвідношення для розрахунку пристроїв на базі відрізка, утвореного двома зв'язаними смужковими лініями з різними варіантами навантаження двох їх вільних кінців, при одночасній компенсації впливу різниці фазових швидкостей мод за допомогою дискретних елементів, відрізків ліній, шлейфів. Важливим результатом роботи є запропонована вперше модель відрізка зв'язаних ліній з навантаженими діагонально-симетричними кінцями при синфазно-протифазному збудженні, використання якої дозволяє розробляти методи розрахунку схем на базі такого відрізка, доповненого додатковими реактивними елементами, чи шлейфами.

Подібним чином отримано вирази для розрахунку схем режекції високочастотного сигналу з реалізацією на базі відрізка зв'язаних смужкових ліній, а також за запропонованою вперше двоканальною схемою. Вказано на можливість їх застосування для реалізації пристроїв з перестроюванням частоти режекції та приведено методи розрахунку.

Запропоновано використовувати отримані методи розрахунку для схем групової затримки сигналу на базі відрізків зв'язаних ліній. Записано вирази для визначення групового часу затримки та параметрів додаткових елементів схем, які забезпечують компенсацію впливу різниці фазових швидкостей мод.

Четвертий розділ присвячений методам проектування пристроїв розподілу потужності. Виходячи з вхідних імпедансів парціальних складових синфазно-протифазного збудження симетричного шестиполюсника записано аналітичні співвідношення для розрахунку рівноплечого подільника потужності на відрізках одиночних ліній, де, на відміну від відомих методів, враховано наявність відрізків ліній, що приєднують балансний опір, в загальному комплексний і не точковий, для якого в свою чергу запропоновано методуку врахування набігу фази. В схему також введено додаткові реактивні елементи для забезпечення бажаних її частотних властивостей та передбачена можливість компенсації впливу трійникових неоднорідностей. Подібним чином отримано вирази для розрахунку подільників з аналогічними можливостями на базі відрізка зв'язаних ліній з компенсацією впливу різниці фазових швидкостей мод за допомогою реактивного опору, чи запропонованого варіанту з відрізком лінії на вході. Також розглядаються подільники, у яких методом еквівалентної заміни на основі вхідних опорів замість відрізків одиночних ліній використано відрізки зв'язаних ліній з компенсацією, на відміну від відомих методів, впливу різниці фазових швидкостей мод.

На основі зв'язків вхідних опорів парціальних двополюсників, на які розкладається симетричний ідеально спрямований восьмиполюсник при подвійному застосуванні синфазно-протифазного збудження, з його параметрами розсіяння розроблено аналітичні методи для розрахунку спрямованих відгалужувачів з різним типом спрямованості на базі відрізка

зв'язаних ліній. При цьому до вихідних даних для розрахунків крім перехідного загасання, на відміну від відомих методів, відноситься і значення фазової затримки сигналу у відгалужене плече, що значно розширює можливості проектування. Для протиспрямованих відгалужувачів розглядаються аналогічні до застосованих для чотириполюсних пристроїв методи компенсації впливу різниці фазових швидкостей мод, а також метод компенсації за допомогою додаткових бокових секцій. Запропоновано відмінні від відомих методи реалізації співспрямованих і трансспрямованих відгалужувачів з довільним значенням зв'язку, в тому числі і трансспрямованого з нульовим перехідним загасанням, який потрібен для забезпечення безконтактного перетину ліній.

Для двошлейфного спрямованого відгалужувача записано вирази, які дозволяють компенсувати вплив неоднорідностей трійників, а за методом розрахунку тришлейфного відгалужувача можна розробляти пристрої з різними варіаціями частотних характеристик.

У п'ятому розділі розроблено аналітичні методи проектування багатоканальних перемикачів променевого типу. При цьому узгодження на вході перемикача і розв'язка входу з закритими виходами забезпечуються без обмежень на тип ключів, на їх кількість та спосіб розміщення за допомогою трансформаторів імпедансу, які можуть бути розміщені після розгалуження ліній, на вході перед розгалуженням і в каналах після керуючих елементів перед виходами. Методи дозволяють проводити розрахунки з компенсацією впливу неоднорідності розгалуження, визначати частоти паразитних резонансів, що можуть виникати за рахунок закритих каналів. Для схеми з трансформатором на вході результати залежать від параметрів відрізків ліній між розгалуженням і ключами, вибором яких забезпечується максимально можливе, чи задане значення коефіцієнту ділення потужності між відкритим і закритими каналами.

У шостому розділі розглядаються методи проектування дискретних фазообертачів. Отримано нові співвідношення для розрахунку доповненої схеми відбивного фазообертача, оптимізованого за амплітудою і фазою без обмежень відомих методів на параметри керуючого елемента. З використанням вхідних опорів парціальних складових симетричної схеми шлейфного фазообертача розроблено метод його розрахунку з можливістю компенсації впливу неоднорідностей розгалужень. Для вирівнювання нахилів фазочастотних характеристик каналів дискретного фазообертача на комутованих каналах, що забезпечує стабільність у смузі частот фазового дискрету, запропоновано підхід на основі вхідних опорів парціальних складових схеми каналу, за яким записано вирази для розрахунку значень цих нахилів основних варіантів схемної реалізації каналів. Для дискретного фазообертача петльового типу, відомий метод розрахунку якого обмежений використанням ідеалізованої моделі ключів, запропоновано модернізований варіант схеми, і записано розрахункові співвідношення з врахуванням еквівалентного реактивного опору керуючих елементів та з можливістю компенсації впливу неоднорідностей розгалужень. Також вперше запропоновано два варіанти петльової схеми на базі відрізка зв'язаних ліній та

розроблено методи їх розрахунку з компенсацією впливу різниці фазових швидкостей мод зв'язаних ліній.

У сьомому розділі з використанням запропонованого підходу розроблено аналітичні методи розрахунку лінійних взаємних пристроїв з двочастотним режимом роботи. До них відносяться: трансформатори комплексного опору навантаження, реалізовані за несиметричними одношлейфною та ступінчастою (з чотирьох відрізків при узгодженні комплексних опорів) схемами, чи симетричними на відрізках одиночних (одношлейфна, двошлейфна) і зв'язаних (з односторонніми і з діагонально-симетричним навантаженими кінцями) ліній; перемикачі променевого типу з використанням двочастотних трансформаторів на вході схеми, чи на виходах; ряд варіантів рівноплечих подільників потужності на відрізках зв'язаних ліній, для розробки яких запропоновано використання узагальненої схеми; спрямовані відгалужувачі на відрізках зв'язаних ліній з різним типом спрямованості, і в тому числі, трисекційний, двочастотний розрахунок якого приводить до пристрою з одною розширеною до октави робочою смугою; двошлейфні спрямовані відгалужувачі з чотирма варіантами використання додаткових реактивних елементів, завдяки яким можна забезпечити різні значення перехідного загасання і, на відміну від відомих методів, однакові чи різні знаки різницевого фазового зсуву сигналів на виходах в робочих смугах частот; тришлейфні спрямовані відгалужувачі з короткими, чи з довгими шлейфами і з можливістю їх використання для реалізації перетину ліній. З застосуванням еквівалентної заміни відрізків одиночної лінії двочастотними реактивними чотириполюсниками, для яких записано розрахункові співвідношення, вперше запропоновано метод розрахунку двочастотного нерівноплечого подільника з різним в різних смугах розподілом потужності.

Для забезпечення запирання сигналу на двох заданих частотах розроблено метод розрахунку двоканального режекторного фільтру. Також розглянуто можливість застосування відомої схеми смуго-пропускного фільтра на паралельно зв'язаних смужкових резонаторах з безпосереднім зв'язком для забезпечення двох заданих робочих смуг частот. При цьому використано запропонований варіант резонаторних ланок на базі відрізка зв'язаних ліній з діагонально-симетричним навантаженням і боковими шлейфами, якими здійснюється еквівалентна заміна відрізків зв'язаних ліній вихідного одночастотного фільтра, розрахованого класичним методом. На базі такого способу реалізації двочастотних смужкових фільтрів показано можливість розробки смужкових фільтрів з електронним перестроюванням робочої смуги частот. Достовірність більшості розроблених аналітичних методів підтверджено результатами експериментальних досліджень виготовлених макетів пристроїв.

Повнота викладу основних матеріалів дисертації в опублікованих працях

Робота пройшла обширну апробацію та обговорення на 32 міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях. Основні наукові положення достатньо повною мірою викладено у 55 наукових працях, серед

яких 22 статті у фахових виданнях зі списку наукових журналів, які включено до спеціального переліку видань України, де можуть публікуватися результати дисертаційних досліджень (з них 13 написано одноосібно, 3 статті – у науковому періодичному виданні, який індексується у наукометричній базі SCOPUS, 2 статті у журналі, включеному до інших міжнародних баз); 1 стаття – у науковому іноземному журналі, що теж індексується у наукометричній базі SCOPUS. Отримано 9 патентів України на корисну модель.

Зауваження по роботі

1. У розділі 1 при аналізі варіантів реалізації пристроїв з заданою фазовою затримкою сигналу доцільно було б розглянути використання відрізків ліній, зігнутих в меандр.

2. В дисертації недостатньо обґрунтовано вибір типу діелектрика при виготовленні тестових макетів для оцінювання переваг запропонованих методів.

3. В розділі 3 при розробці методів розрахунку пристроїв на основі відрізків зв'язаних ліній не розглянуто питання впливу неоднорідностей розгалужень і стиків ліній.

4. В запропонованій для схеми подільника потужності методиці розрахунку еквівалентної довжини плівкового резистора не проведена оцінка точності моделювання відрізка мікросмугової лінії передачі.

5. Не зрозумілий висновок, що використання для компенсації впливу різниці фазових швидкостей мод дискретних елементів і бокових секцій дає кращі результати для спрямованих відгалужувачів з вищими робочими частотами (стор 195).

6. При розробці методів проектування прохідних дискретних фазообертачів не оцінено вплив активної складової еквівалентного опору керуючих елементів.

7. При виводі виразу (6.26) для нахилу фазочастотної характеристики каналу дискретного фазообертача на комутованих каналах слід було дослідити похибку, яку дає нехтування дисперсією сигналу у відрізках лінії.

8. При аналізі результатів проектування двосмугових смуго-пропускних фільтрів не розглянута фазочастотна характеристика у другій робочій смузі.

Вказані недоліки не знижують цінності теоретичних та практичних результатів виконаних досліджень і не впливають на загальну позитивну оцінку наукового рівня дисертаційної роботи.

Висновки

1. Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, становить завершену наукову працю та має суттєве практичне значення. В дисертації міститься розв'язок важливої наукової проблеми підвищення ефективності проектування лінійних взаємних пасивних пристроїв для надвисокочастотних

інтегрованих схем радіотехнічних і телекомунікаційних систем на підставі розробки нових і удосконалення існуючих схемних рішень та аналітичних методів їх розрахунку з забезпеченням високих технічних параметрів і економічних показників.

2. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 - радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

3. Автореферат дисертації об'єктивно і достатньо повно відображає її зміст, а також основні результати та висновки дисертації

4. Матеріали дисертації пройшли обширну апробацію на міжнародних науково-практичних та науково-технічних конференціях, а також опубліковані в 22 наукових статтях в спеціалізованих виданнях, розроблені нові технічні рішення захищені 9 патентами України.

5. За актуальністю теми, мірою обґрунтованості наукових положень, достовірністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю одержаних результатів робота повністю відповідає вимогам до докторських дисертацій, зокрема, вимогам п.13 та п.14 положення про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» а її автор Оборжицький Валерій Іванович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 - радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент

професор, доктор технічних наук, професор
кафедри телекомунікаційних систем
Державного університету телекомунікацій,
лауреат Державної премії СРСР

Семенко А.І.

Особистий підпис Семенка А.І. завідувач:

вчений секретар вченої ради
Державного університету телекомунікацій



Попов О.В.