

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАЛІНОВСЬКИЙ ВАДИМ ІГОРЕВИЧ

УДК 681.7.068:004.7

**ІНФОРМАЦІЙНА МЕРЕЖА З ОБ'ЄДНАНИМИ
ОПТИЧНИМИ ІНТЕРФЕЙС-КАНАЛАМИ**

Спеціальність 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат

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

Вінниця - 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кожем'яко Володимир Прокопович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Осінський Володимир Іванович, Науково-дослідний інститут
мікроприладів Національної академії наук України, завідувач Центру
оптоелектронних технологій

доктор технічних наук, професор
Петух Анатолій Михайлович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри програмного забезпечення

Захист відбудеться "27" __03__ 2010 р. о __9³⁰__ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д
05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м.
Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного
університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розіслано "16" __02__ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Не викликає сумнівів актуальність створення інформаційних методів і засобів, що сприяють швидкій інформатизації сучасного суспільства. Галузь інформаційних мереж (ІМ) в наш час набуває все більшої значущості і розвитку, що можна спостерігати на прикладі глобальної мережі Internet. Але в усіх наявних на сьогодні комп'ютерних мережах виникає проблема підключення кінцевого користувача та інших апаратних засобів ПК (так звана проблема останньої милі). Оскільки розвиток програмних засобів не дозволяє досягти необхідного рівня ефективності та пропускної здатності каналів в кінцевих сегментах ІМ, то актуальним є дослідження шляхів підвищення швидкості передачі інформації у кінцевих сегментах ІМ шляхом застосування новітніх волоконно-оптичних методів і засобів передавання даних у комп'ютерних мережах. Використання волоконно-оптичних технологій у кінцевих сегментах ІМ є перспективним завдяки тому, що оптичне волокно як середовище передачі інформації має найбільшу пропускну здатність завдяки широкій смузі пропускання $\sim 10^{14}$ Гц, малому загасанню (менш ніж 0.1-0.2 Дб/км) та малому значенню дисперсії ~ 5 -10 пс/нм·км (уширення інформаційних імпульсів).

Також в інформаційних (комп'ютерних) мережах існує проблема низького рівня енергетичної автономності апаратних вузлів, яка зумовлена залежністю інформаційних потоків мережі від енергетичного живлення. Також виникає проблема відсутності гальванічної розв'язки окремих віддалених один від одного компонентів ІМ. Це призводить до збоїв і ненадійної роботи елементів інформаційних мереж. Дослідження інформаційних мереж з автономним енергетичним живленням – інформаційно-енергетичних мереж (ІЕМ) – є перспективними для підвищення надійності і автономності роботи ІМ.

Переваги оптичного випромінювання як носія можуть ефективно використовуватися як для інформаційної, так і для енергетичної складових, зокрема при створенні компонентних волоконно-оптичних інтерфейсів для одночасної передачі інформаційних даних з енергетичним живленням до кінцевого обладнання ІМ з малим енергоспоживанням. Це дозволяє забезпечити високий рівень швидкості передачі інформації та захищеності інформаційного каналу. Такі об'єднані інтерфейси передачі даних – *волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні інтерфейс-канали* (ВОІЕК) можуть ефективно використовуватись у комп'ютерних інформаційних мережах для розв'язання задач кінцевого підключення пристроїв і зменшення числа комунікацій в сучасних ІМ. У порівнянні із традиційними розділеними середовищами передавання інформації та енергетичного живлення ВОІЕК дають такий ряд переваг: 1) високошвидкісне передавання інформації в ІМ; 2) забезпечення повної гальванічної розв'язки вузлів мережі; 3) забезпечення об'єднаного передавання енергетичного живлення та інформаційних даних до компонентів ІМ з порівняно низьким енергоспоживанням; 4) забезпечення високої інформаційної захищеності каналу та відсутності електромагнітних випромінювань.

Особливо перспективним є створення технології ВОІЕК і виробництво їх для науково-промислової сфери України для застосування у локальних високошвидкісних інтерфейсах передачі даних комп'ютерних мереж.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводилися відповідно до плану наукових досліджень Вінницького національного технічного університету і Міністерства освіти і науки України за держбюджетними темами: 1) “Оптико-електронний квантово-розмірний образний комп'ютер око-процесорного типу: концепції, методологія, база знань” (№ держреєстрації 0105U002434); 2) “Оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно-енергетичні середовища на базі образних комп'ютерів” (№ держреєстрації 0108U000662), які виконувались здобувачем протягом 2005-2009 років.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення швидкодії передавання та оброблення інформації, шляхом створення та застосування паралельних об'єднаних волоконно-оптичних інтерфейс-каналів для інформаційних (комп'ютерних) мереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести класифікаційний аналіз сучасного стану і перспектив розвитку інформаційно-енергетичних технологій та інтерфейсів об'єднаного інформаційно-енергетичного обміну;
- розробити метод організації високошвидкісних волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів з гальванічно-розв'язаними входами і виходами та дослідити особливості їх використання у інформаційних мережах на базі об'єднаних оптичних каналів;
- розробити математичну модель волоконно-оптичних інтерфейс-каналів для інформаційних мереж. Дослідити особливості спільної передачі оптичних інформаційних та енергетичних потоків у волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналах, модифікувати математичну модель перехресних взаємодій спектральних каналів та оцінити їх вплив;
- вдосконалити архітектуру і структурну організацію інформаційно-енергетичних мереж (ІЕМ) на основі об'єднаних оптичних інтерфейс-каналів;
- дослідити основні характеристики волоконно-оптичних інтерфейс-каналів для інформаційних мереж шляхом комп'ютерного моделювання;
- дослідити особливості апаратної реалізації і зробити вибір оптичної елементної бази для інтерфейс-каналів інформаційних мереж;
- провести експериментальні дослідження основних характеристик та параметрів волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів на основі експериментального макету пристрою при об'єднаній передачі потоків інформації та енергії по оптичному волокну.

Об'єктом дослідження є процес передавання інформації та енергії живлення у інформаційній мережі з об'єднаними оптичними інтерфейс-каналами.

Предметом дослідження є інформаційна мережа з об'єднаними волоконно-оптичними інтерфейс-каналами та їх статичні й динамічні характеристики.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: методів теорії передавання сигналів у волоконно-оптичних системах, методів нелінійної волоконної оптики та методів математичного аналізу під час створення математичної моделі волоконно-оптичних інтерфейс-каналів та опису нелінійних процесів в оптичному середовищі; методів теорії мереж масового обслуговування для вдосконалення математичної моделі інформаційних мереж; методів комп'ютерного моделювання для дослідження об'єднаних оптичних інтерфейс-каналів у пакеті прикладних програм MathCAD; методів евристичного синтезу для розроблення структурних схем інтерфейс-каналів та інформаційної мережі; методів фізичного моделювання під час досліджень процесів в інтерфейс-каналах на експериментальному макеті.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше запропоновано метод організації об'єднаних волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів (ВОІЕК), які відрізняються від відомих тим, що використовують повністю оптичний спосіб передачі інформації та енергії живлення світловими потоками в одному волокні за допомогою спектрального WDM-мультиплексування, що дозволило підвищити швидкість передавання інформації у 12 разів і дальність у 2.5 раза, порівняно з інформаційно-енергетичними інтерфейсами HomePNA 2.0 та HomePlug 2.0, а також забезпечити повну гальванічну розв'язку при передачі даних.

2. Вперше запропоновано математичну модель волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів, яка дозволяє визначати перехідні характеристики, що впливають на швидкість передачі даних, середньоквадратичну ширину інформаційного імпульсу, а також дозволяє визначати характер, величину і динаміку впливу енергетичних спектральних каналів на інформаційні. Запропоновано критерій оцінювання інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів.

3. Отримала подальший розвиток математична модель розподілу інформаційних та енергетичних потоків у ІЕМ, яка дозволяє визначати характеристику завантаженості, імовірності виникнення інформаційних запитів та запитів на енергетичне обслуговування у мережі та, на відміну від попередньої, дозволяє оцінювати інформаційні запити на керування енергетичним живленням компонентів мережі.

4. Отримала подальший розвиток математична модель перехресних взаємодій спектральних складових волоконно-оптичного інтерфейс-каналу, яка дозволяє кількісно оцінювати взаємний вплив одних спектральних оптичних каналів на інші, визначати умови вибору довжин хвиль для уникнення перекриття спектрів каналів та, на відміну від відомої, враховує енергетичні спектральні канали.

Практичне значення одержаних результатів

1. Вдосконалено структурну організацію ІЕМ, що дозволило забезпечити гальванічну розв'язку при передаванні інформаційних даних у кінцевих і проміжних сегментах шляхом застосування ВОІЕК і шинної топології мережі.

2. Вдосконалено класифікацію ІЕМ із врахуванням компонентів інтерфейсів, яка, на відміну від відомої, є більш наочною і містить новий клас – оптичні інформаційно-енергетичні мережі. Вдосконалено класифікацію засобів оптичного і оптоелектронного оброблення і передавання, яка містить новий підклас систем передачі – волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні інтерфейс-канали.

3. Запропоновані структури ВОІЕК та структури комутації їх спектральних інформаційних та енергетичних каналів, які дозволяють забезпечити інженерне проектування і практичну реалізацію ВОІЕК для інформаційних мереж. Запропонована структура інформаційної мережі з об'єднаними оптичними каналами дозволяє розв'язувати задачі спрощення апаратно-програмних затрат і зменшення числа комунікацій у комп'ютерному середовищі.

4. Проведено дослідження інформаційних мереж на основі ВОІЕК шляхом комп'ютерного моделювання, що дозволило побудувати аналітичні залежності для їх основних характеристик. Для моделі ВОІЕК з 4-ма спектральними інформаційними і 4-ма енергетичними каналами визначена величина енергетичної потужності на рівні 4670 Вт, при швидкості передавання інформації 2.695 Гбіт/с. Розроблено і виготовлено експериментальний макет ВОІЕК, який дозволяє проводити експериментальні дослідження процесу передавання оптичних інформаційно-енергетичних потоків з енергетичною ефективністю 17%, що дозволило підтвердити теоретичні результати досліджень ВОІЕК, а також може використовуватись у навчальному процесі як експериментальний лабораторний стенд.

Впровадження результатів роботи. Результати дисертаційної роботи на НВФ «Планета-М», м. Вінниця, що сприяло розробленню високошвидкісних та гальванічно-розв'язаних волоконно-оптичних інтерфейс-каналів для апаратури передачі інформаційних даних з високим ступенем автономності. Окремі теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі кафедри лазерної та оптоелектронної техніки ВНТУ при вивченні дисциплін „Основи науково-дослідної роботи”, „Основи волоконної та інтегральної оптики”, „Оптоелектронна схемотехніка”, „Оптична обробка сигналів” та „Оптико-електронні геоінформаційно-енергетичні системи око-процесорного типу”, а також для проведення лабораторних досліджень на розробленому макеті ВОІЕК на кафедрі. Впровадження підтверджуються відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачем: розглянуто спосіб передачі енергії по лініях фідерного типу [1]; запропоновано структури блоків введення випромінювання та конструктивну реалізацію модулів на основі альтернативних джерел оптичного випромінювання [2]; запропоновано метод організації [3, 4, 8, 10, 17, 19] та математичні моделі [8-10] волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів для інформаційних мереж; розроблено універсальні структурні схеми інформаційних мереж на основі об'єднаних оптичних каналів [12-15]; запропоновані способи створення зв'язків в ІМ на основі волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів [16]; запропоновано використання методу розпізнавання зображення за ознакою вісі орієнтації в інформаційно-енергетичній системі [5]; запропоновані математичні співвідношення критеріїв стабільного функціонування [9, 18]; удосконалено математичну модель виникнення та розподілу потоків в ІМ [6]; проведено аналіз сучасного стану інформаційно-енергетичних технологій [7]; розроблено макет ВОІЕК і проведені експериментальні дослідження процесу передачі інформації та енергії живлення оптичним потоком [10];

запропоновано структури комутації та розподілу оптичних потоків, розроблено конструкцію приймачів оптичної енергії [11].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і наукові результати, викладені в дисертаційній роботі, пройшли апробацію на 9-ти науково-технічних конференціях, серед яких: III-d International Conference on Optoelectronic Information Technologies “PHOTONICS-ODS 2005” (м. Вінниця, 2005), IV-nd International Conference on Optoelectronic Information Technologies “PHOTONICS-ODS 2008” (м. Вінниця, 2008), Міжнародна науково-технічна конференція КУСС-2008 (м. Вінниця, 2008), Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні наукові дослідження – 2006» (м. Дніпропетровськ, 2006), 12-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в XXI ст.» (м. Харків, 2008), Міжнародна науково-технічна конференція «Штучний інтелект 2008» (АР Крим, с. Кацивелі), Міжнародна науково-технічна конференція «Информационные технологии - 2008» (м. Тбілісі, Грузія) та на щорічних науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу співробітників та студентів ВНТУ (м. Вінниця, 2004-2008 р.р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 31 друковану працю, з них 14 статей у наукових фахових виданнях, що належать до переліку ВАК, 8 робіт опубліковано у збірниках матеріалів конференцій. Отримано 9 деклараційних патентів України на корисну модель.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу і 4 розділів, списку використаних джерел і 5 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 192 сторінки, з яких основний зміст викладений на 143 сторінках друкованого тексту, дисертація містить 74 рисунки, 17 таблиць. Список використаних джерел складається із 164 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету і задачі досліджень, показано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У *першому розділі* проаналізовано сучасний стан інформаційно-енергетичних технологій, проведений загальний класифікаційний аналіз систем передавання інформації, наведено їх основні характеристики. Проведений аналіз характеристик інтерфейсів HomePlug 1.0, 2.0, HomePNA 1.0, 2.0 та системи передачі даних по лініях електропередач СПТД-ЛЕП, які використовуються для організації об'єднаної передачі інформаційних даних та електроенергетичного живлення у кінцевих сегментах комп'ютерних мереж. Основними недоліками цих стандартів є низька швидкість і дальність передачі інформації. Для HomePlug версії 2.0 максимальна швидкість 200 Мбіт/с при дальності до 350 м, для HomePNA 2.0 максимальна швидкість 10 Мбіт/с при відстані в 1 км, що є недостатнім для організації високопродуктивних інформаційних мереж. Проведений аналіз комп'ютерних інтерфейсів передачі інформації USB, FireWire (IEEE1394), IrDA, Bluetooth, Fibre Channel (FC) показав, що на основі них неможлива побудова ІМ з автономним енергетичним живленням.

На основі критичного аналізу існуючих інформаційно-енергетичних інтерфейсів ІМ була обґрунтована необхідність використання нового типу інтерфейсів у кінцевих сегментах інформаційних мереж. В процесі досліджень було розроблено нову класифікацію інформаційно-енергетичних мереж, а також вдосконалено класифікацію засобів оптоелектронного оброблення та передавання, окремим місцем в якій стали новітні *волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні інтерфейс-канали (ВОІЕК)*. В результаті аналізу інформаційних мереж та інтерфейсів були визначені задачі дослідження.

У *другому розділі* дисертації запропоновано теоретичні підходи та метод організації волоконно-оптичних інтерфейс-каналів (рис. 1) для кінцевих сегментів інформаційних мереж. Це дозволило підвищити швидкість передавання та оброблення інформації при вирішенні задачі підключення кінцевих вузлів ІМ.

Волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні інтерфейс-канали (ВОІЕК) – це канали на основі спеціалізованого оптичного волокна (діаметром \varnothing 200-1000 мкм), в яких крім

передачі інформації реалізується передавання енергії живлення оптичним потоком високої густини потужності шляхом хвильового оптичного мультиплексування WDM (Wave division multiplexing).

Рис. 1. Метод організації ВОІЕІК на основі оптичного ущільнення WDM

При використанні WDM-мультиплексування інформаційні λ_i , $i=1...N$ та енергетичні λ_j , $j=1...K$ спектральні оптичні канали (довжини хвиль), з сумарною їх кількістю $S_{sum} = \sum_{i=1}^N \lambda_i + \sum_{j=1}^K \lambda_j$, формують об'єднаний оптичний потік з високою густиною оптичної потужності $\rho_{opt} = \sum_{i=1}^{N_i} \frac{P_{opt.\lambda_i}}{\pi r_{core}^2}$ (10^6-10^8 Вт/см²). Оптична потужність в енергетичних спектральних каналах значно більша за потужність в інформаційних, $P_{\lambda_j} \gg P_{\lambda_i}$. Прийнята енергія на виході ВОІЕІК визначається як:

$$E_{out} = \frac{Z}{T} \int_0^{\infty} P_{in}(t) dt, \quad (1)$$

де E_{out} – енергія на виході енергетичного каналу; Z – коефіцієнт передавання потужності з врахуванням ККД всіх трактів (випромінювач, фотоприймач, оптичне волокно); $P_{in}(t)$ – оптична потужність, що введена на вхідному тракті.

Загальний коефіцієнт ефективності передачі енергії по ВОІЕІК визначається як:

$$\eta_{IE} = \sum_i k_i \cdot 100\% = (k_{laser} - k_{fiber} - k_{FEP}) \cdot 100\% = k_{IE} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де k_{laser} , k_{fiber} , k_{FEP} – коефіцієнти корисної дії лазерного джерела, оптичного волокна і енергетичного фотоелектричного перетворювача (ФЕП); k_{IE} – загальний коефіцієнт ефективності передавання енергії по ВОІЕІК (для сучасних оптичних систем передавання енергії $\eta_{IE}=0.3 - 0.6$). Гранична енергетична пропускна здатність визначається граничною густиною оптичної потужності

$$\rho_{Nmax} = \rho_{lim} \approx \sum_{j=1}^K \rho_{jmax} \text{ у волокні за формулою } E(t) = \int_0^r \int_0^t 2\pi r_{core}^2 \rho_{lim}(r,t) dr dt \text{ [Дж/с]}.$$

Запропонована структурна схема ВОІЕІК наведена на рис. 2.

Рис. 2. Структура волоконно-оптичних інтерфейс-каналів

При сумі потужностей енергетичних спектрів, яка більша за поріг, виникає ряд нелінійних явищ. Результати досліджень ВОІЕІК показали, що нелінійний вплив обумовлений зі сторони енергетичних спектральних каналів ($P_j < P_{NL\text{ пор}}$) на інформаційні нелінійним ефектом фазової крос-модуляції (ФКМ), який проявляється у вигляді зсуву оптичної фази інформаційного каналу на величину $\Delta\phi_{NL} = 2\gamma P_j$, що пропорційна умовній оптичній потужності P_j . Остання наближено рівна напруженості електричного поля спектрального каналу $P_j \approx E_j$. Враховуючи, що квадрат напруженості електричного поля чисельно оцінюється його інтенсивністю, то справедливим буде наближення $E_j^2 \approx I = \frac{P'_j}{S_{ef}}$ та, відповідно, $E_j = \sqrt{\frac{P'_j}{S_{ef}}}$.

Нелінійний вплив енергетичних каналів на інформаційні у ВОІЕК обчислюється як:

$\Delta\phi_{NL} = 2\gamma z \sqrt{\frac{P_j}{S_{ef}}}$. Враховуючи це, математична модель ВОІЕК має вигляд:

$$S_{i\ out}(t) = S_{i\ in}(t) \cdot K(\omega), \quad (3)$$

де $S_{i\ out}(t)$ – вихідний інформаційний сигнал спектрального каналу; $S_{i\ in}(t)$ – вхідний інформаційний сигнал; $K(\omega)$ – перехідна характеристика ВОІЕК.

Перехідна характеристика $K(\omega)$ ВОІЕК визначає характер впливу нелінійних факторів на вхідний інформаційний сигнал та є функціоналом від амплітудно-частотної характеристики $k(\omega)$ інтерфейс-каналу типу $K(\omega) = f(k(\omega))$.

Перехідна характеристика $K(\omega)$ визначається із врахуванням нелінійного впливу:

$$\begin{aligned} K_i(\omega + \Delta\omega) &= |k(\omega)| e^{j(\varphi(\omega) + \Delta\varphi_i)} = |k(\omega)| e^{j(\varphi(\omega) + 2\gamma z P_j)} = (|k(\omega)| e^{j\varphi(\omega)}) \cdot (|k(\omega)| e^{j2\gamma z P_j}) = \\ &= (|k(\omega)| e^{j\varphi(\omega)}) \cdot \left(|k(\omega)| e^{j2\gamma z \sqrt{\frac{P_j}{S_{ef}}}} \right) = K(\omega) \cdot K_A(\Delta\omega_{NL}), \end{aligned} \quad (4)$$

де $K(\omega) = |k(\omega)| e^{j\varphi(\omega)}$ – стала перехідна характеристика волоконно-оптичного каналу;

$K_A(\Delta\omega_{NL}) = \left(|k(\omega)| e^{j2\gamma z \sqrt{\frac{P_j}{S_{ef}}}} \right)$ – адитивна складова, що зумовлена нелінійним впливом

спектрального каналу з потужністю P_j [Вт]; $\varphi(\omega)$ – ФЧХ.

Формула (4) справедлива за умови, що вплив адитивного компонента $K_A(\Delta\omega_{NL})$ є незначним при $\Delta\omega \rightarrow 0$. За таких умов нелінійний компонент амплітудно-частотної характеристики ВОІЕК $k(\Delta\omega)$, при незначному прирості нелінійної частоти $\Delta\omega$, є першою

похідною сталої амплітудно-частотної характеристики, тобто $k(\Delta\omega) = \frac{dk(\omega)}{d\omega}$. Тому перехідна

характеристика ВОІЕК наближено визначається сталим її компонентом $K(\omega)$. Вплив адитивного компонента $K_A(\Delta\omega_{NL})$ буде проявлятися тільки на частотах, які є розмірними з оптичними $\Delta\omega_{NL} \neq 0$, $\Delta\omega_{NL} \sim \omega$, при $\omega \sim 2 \cdot 10^{14}$.

В такому випадку розширений спектр $S_{out}(\omega + \omega_{NL}) = S_{in}(\omega) \cdot K(\omega + \omega_{NL})$, враховуючи перехідну характеристику ВОІЕК (4), визначається перетворенням Фур'є:

де $S_L(\omega)$ – стале лінійне розширення спектра вихідного інформаційного сигналу, яке має місце в усіх ВОЛЗ; $S_{NL}(\Delta\omega_{NL})$ – адитивне нелінійне розширення спектра. (5)

Характер динамічних змін вихідної потужності інформаційного сигналу $P_{out}(t)$ у ВОІЕК описує імпульсна характеристика $G(\omega)$. По відомій імпульсній характеристиці визначається динаміка зміни вихідної оптичної потужності по відомій вхідній $P_{in}(t)$: , де * – знак згортки. Враховуючи, що імпульсна та перехідна характеристики (4) пов'язані перетворенням Фур'є виду

, (6)

де G – сталий та G_A – адитивний компоненти імпульсної характеристики $G(\omega)$.

Запропонована структура мережі на основі ВОІЕК у кінцевих вузлах (рис. 3).

Рис. 3. Структурна схема інформаційної мережі з ВОІЕК

У **третьому розділі** дисертації розроблено 2 структурні схеми інформаційно-енергетичних мереж (ІЕМ) на базі об'єднаних оптичних каналів. Друга структура ІЕМ на основі шинної топології забезпечує підвищені показники надійності і стабільності. Також розроблено структуру станції мережі, яка виконує функції централізованого управління та агрегації потоків інформації.

Для ІЕМ на основі теорії масового обслуговування розвинуто математичну модель розподілу потоків. Імовірності виникнення запитів визначаються як:

$$P_{i\text{inf}} = \frac{2\rho_{\text{inf}}^i}{n!n^{(i-n_{\text{inf}})}} P_{0\text{inf}} = \frac{2 \cdot \rho_{\text{inf}}^{n_{\text{inf}}}}{n!} \cdot \frac{\rho_{\text{inf}}^{i-n_{\text{inf}}}}{n^{i-n_{\text{inf}}}} P_{0\text{inf}} ;$$

$$P_{i\text{pow}} = \frac{\rho_{\text{pow}}^i}{n!n^{(i-n_{\text{pow}})}} P_{0\text{pow}} = \frac{\rho_{\text{pow}}^{n_{\text{pow}}}}{n!} \cdot \frac{\rho_{\text{pow}}^{i-n_{\text{pow}}}}{n^{i-n_{\text{pow}}}} P_{0\text{pow}} , \quad (7)$$

де $\rho_{0\text{inf}}$, $\rho_{0\text{pow}}$ – імовірності простою всіх інформаційних n_{inf} та енергетичних n_{pow} каналів ІМ; n_{inf} , n_{pow} – кількості каналів; $\rho_{\text{inf}} = 2\lambda_{\text{inf}}/\mu_i$, $\rho_{\text{pow}} = \lambda_{\text{pow}}/\mu_i$ – густини одиничних запитів інформаційного та енергетичного потоків (коефіцієнт 2 для ρ_{inf} свідчить про двонаправленість інформаційних каналів); λ_{inf} , λ_{pow} – відповідні потоки запитів; μ_{inf} , μ_{pow} – інтенсивності потоків.

Час очікування інформаційних запитів в черзі знаходиться як: $t_z = \frac{2k_{S\text{zinf}}}{\mu_{\text{inf}}}$, де

$k_{S\text{zinf}} = \rho_{\text{inf}}$ – середнє число запитів.

За допомогою формули (7) при заданих значеннях $\lambda_{0\text{inf}}$, $\lambda_{0\text{pow}}$ та μ була визначена динаміка розподілу потоків (рис. 4), що характеризує рівень завантаження ІЕМ.

Для оцінювання ефективності волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів було запропоновано критерій:

$$Q_s = \frac{S_N \cdot L \cdot B_d \cdot \delta U}{C \cdot \eta_p}, \quad (8)$$

де S_N – загальне число спектральних інформаційних та енергетичних каналів; L –

дальність інтерфейс-каналу; C – вартість системи інтерфейс-каналу в цілому; B_d – інформаційна пропускна здатність; δU – захищеність каналу ($\delta U = 1 - p_v$, де p_v – імовірність витоку інформації).

Чим вищий критерій Q_s , тим кращим є інтерфейс-канал. Для спрощення числових розрахунків прийнято коефіцієнт $K_Q = 1/Q_s$, діапазон зміни якого $0 \leq K_Q \leq 1$. Чим менша величина K_Q , тим ефективніший інформаційно-енергетичний інтерфейс. На основі порівняльної оцінки ВОІЕК та аналогів – інтерфейсів HomePlug 1.0, 2.0 та HomePNA 1.0, 2.0 за критерієм Q_s , було встановлено, що ВОІЕК є ефективнішим, ніж останні версії HomePlug 2.0; HomePNA 2.0 (табл. 1).

Таблиця 1

**Порівняльна оцінка ВОІЕК та інтерфейсів
Home Plug 1.0, 2.0; Home PNA 1.0, 2.0**

Тип інтерфейс-каналу	Добротність , Q_s	Коефіцієнт ефективності $K_Q = 1/Q_s$	Узагальнений критерій $\eta_v = \frac{1}{t_z \cdot P_z}$
HomePlug 1.0	$8,485 \cdot 10^6$	$1,18 \cdot 10^{-7}$	$4.667 \cdot 10^8$
HomePlug 2.0	$3,675 \cdot 10^8$	$2,72 \cdot 10^{-9}$	$6.667 \cdot 10^9$
HomePNA 1.0	$5,76 \cdot 10^5$	$1,74 \cdot 10^{-6}$	$1.5 \cdot 10^7$
HomePNA 2.0	$1,499 \cdot 10^8$	$6,673 \cdot 10^{-9}$	$1.5 \cdot 10^9$
ВОІЕК	$1.384 \cdot 10^9$	$7.227 \cdot 10^{-10}$	$1.7 \cdot 10^9$

За результатами оцінювання за критерієм K_Q ВОІЕК є ефективнішими за HomePlug 2.0 у 3.77 раза, за HomePNA 2.0 – у 9.23 рази, хоча вартість реалізації останніх є суттєво меншою за ВОІЕК. Вища ефективність ВОІЕК обумовлює переваги застосування їх у кінцевих сегментах інформаційних мереж.

У *четвертому розділі* дисертаційної роботи проведені дослідження ІМ на основі ВОІЕК шляхом комп'ютерного моделювання характеристик ВОІЕК в пакеті прикладних програм MathCAD 2001, а також експериментальні дослідження на розробленому і виготовленому макеті волоконно-оптичного інформаційно-енергетичного інтерфейс-каналу. На рис. 5 наведено графік розподілу густини потужності ВОІЕК, отриманий в результаті комп'ютерного моделювання у MathCAD.

Рис. 5. Розподіл густини оптичної потужності у ВОІЕК

Розрахована інформаційна пропускна здатність B для волокна MMF 400/1000 мкм при значенні дисперсії $\tau_{заг} = 100$ пс·нм/км склала $B = 690$ Мбіт/с для одного спектрального каналу ВОІЕК, за умови лінійної модуляції та інформаційного зв'язку на ділянці 0.1 – 1 км (рис. 6). Для 4-х спектральних каналів, що їх передбачає комп'ютерна модель досліджень ВОІЕК (теоретично їх може бути N), – значення інформаційної пропускної здатності $B = 4 \cdot N = 4 \cdot 690 = 2760$ Мбіт/с або $2760/1024 = 2.695$ Гбіт/с, що цілком задовольняє умови швидкодії каналів у кінцевих сегментах ІЕМ і є у 11 разів вище за значення пропускної здатності аналогів (інтерфейсів HomePlug 2.0 і HomePNA 2.0) при одночасно більшій дальності передавання у 2.5 раза (350 м для HomePlug 2.0 при швидкодії 200 Мбіт/с).

За допомогою комп'ютерної моделі в системі MathCAD було отримано залежність коефіцієнта виникнення бітових помилок BER ,

Рис. 6. Інформаційна пропускна здатність 1-го спектрального каналу ВОІЕК

залежність пропускної здатності ВОІЕК від відношення рівня завад і корисного сигналу A_s / A_n . Значення бітової помилки BER у ВОІЕК є порівняно більшим (гірші умови передачі), ніж у сучасних волоконно-оптичних лініях зв'язку, що обумовлено впливом енергетичних спектральних складових. Встановлено, що для забезпечення швидкості передачі до 1000 Мбіт/с (1Гбіт/с) на один спектральний канал при дальності до 1 км, необхідне забезпечення відношення сигнал-шум на рівні $A_s / A_n = 0.78-0.8$, що досягається шляхом збільшення оптичної потужності інформаційних каналів до 10-15 мВт.

Розроблений для досліджень експериментальний макет ВОІЕК (рис. 7) дозволяє відтворити процеси у інтерфейс-каналах інформаційних мереж.

Макет ВОІЕК (рис. 7) функціонує аналогічно звичайній лінії ВОЛЗ, за винятком того, що у пристрої передбачено повністю автономне дистанційне живлення приймального блоку (рис.

Рис. 7. Фотографія розробленого макета ВОІЕК

7, справа) від спектрального енергетичного каналу. Процес передавання відбувається на двох довжинах хвиль: $\lambda_{inf} = 658$ нм (0.658 мкм – червоний діапазон) для інформаційного спектрального каналу при оптичній потужності $P_{inf} = 5$ мВт та $\lambda_{pow} = 785$ нм (0.785 мкм – ближній інфрачервоний діапазон) при потужності $P_{pow} = 90$ мВт – для енергетичного. У пристрої використовувалось полімерне (POF) багатомодове оптичне волокно з діаметром серцевини $\varnothing = 500$ мкм, довжиною $L = 2$ м.

Як допоміжне обладнання для досліджень використовувалися: двопроменевий осцилограф

С1-96 та генератор імпульсів спеціальної форми Г 6-28, та зовнішній подільник частоти НР-6350. У приймальному блоці вхідний оптичний потік, до складу якого входять хвилі двох довжин $\lambda_{pow} = 0.785$ мкм, $\lambda_{inf} = 0.658$ мкм, розділяється і відводиться на інформаційний та енергетичний фотоприймачі. Осцилограму інформаційного сигналу, при передаванні його оптичним трактом макету ВОІЕК, показано на рис. 8.

Схема макета ВОІЕК проявляє лінійність перехідної характеристики (рис. 8) при передачі сигналу зі входу на вихід при заданій частоті. При передачі сигналу змінюється лише його амплітуда (рис. 8, б, в) на проміжному та вихідному етапах.

Рис. 8. Зображення вхідного (а), проміжного (б) та вихідного (в) сигналів типу меандр при амплітуді вхідного сигналу $U_m = 3.61$ В та частоті $f=100.05$ МГц

Електрична споживана потужність енергетичного лазерного джерела макету склала 0.228 ВА (ВольтАмпер) при $U_{pn} = 1,9$ V, $I_{pn} = 120$ mA при ефективності ККД= 75%. На приймальному кінці відтворювалась електрична потужність 0.03876 ВА при $U_{ФЕП} = 2,4$ V, $I_{pn} = 16,15$ mA. Таким чином, загальний ККД моделі волоконно-оптичного інтерфейс-каналу: $ККД=P_{out}/P_{in}\cdot 100\% \approx 17\%$ Величина ККД=17% не є межею для ВОІЕК, а лише демонструє можливість їх реалізації. Визначена гранична частота $F_{кр} = F_{max} = 340$ МГц дає змогу визначити максимальну пропускну здатність експериментального макета згідно з теоремою Котельнікова як $V_{max}=1/2F_{max}=170$ Мбіт/с. Зіставлення даних експериментальних та теоретичних досліджень (табл. 2) передачі інформаційних сигналів по ВОІЕК дали змогу підтвердити запропоновані теоретичні підходи і методи.

Таблиця 2

Дані результатів експериментальних та теоретичних досліджень ВОІЕК

Характеристика, що досліджувалась	Теоретичні результати	Експеримент на макеті ВОІЕК	Підтвердження
Перехідна характеристика ВОІЕК $K(\omega)$	$K_i(\omega) = K(\omega) \cdot K_A(\omega)$ Вплив адитивного компонента $K_A(\omega)$	Спостерігається вплив додаткової складової $K_A(\omega)$ на форму сигналу	Так
Спектр вихідного інформаційного сигналу $S(\omega)$	$S_i(\omega) = S(\omega) \cdot S_A(\omega)$ розширення спектру за рахунок $S_A(\omega)$	Спостерігається розширення спектру сигналу $S_A(\omega)$	Так
Енергетична ефективність	60%	17%	Частково
Швидкість передачі даних	690 Мбіт/с	170 Мбіт/с	Частково
Вплив спектральних взаємодій	Перехресне накладення спектрів $P_i=f(P_j)$	Спостерігаються спектральні перекриття	Так
Нелінійний вплив на фазу інформаційного сигналу	Нелінійний ефект ФКМ $\Delta\varphi_i=2\gamma P_j$	Неможливо встановити на макеті	Ні

ОТРИМАНО ТАКІ ОСНОВНІ НАУКОВІ І ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ

1. Проведено класифікаційний аналіз сучасного стану і перспектив розвитку інформаційно-енергетичних технологій та інтерфейсів передавання даних. Це дало змогу запропонувати нову класифікацію інформаційно-енергетичних мереж, яка, на відміну від відомої, є більш наочною і містить новий клас – оптичні інформаційно-енергетичні мережі. На основі класифікаційного аналізу вдосконалено класифікацію засобів оптичного і оптоелектронного оброблення і передавання, яка містить новий клас – волоконно-оптичні інформаційно-енергетичні інтерфейс-канали.

2. Вперше запропоновано метод організації об'єднаних волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів (ВОІЕК), які відрізняються від відомих тим, що використовують

повністю оптичний спосіб передачі інформації та енергії живлення світловими потоками в одному волокні за допомогою спектрального WDM-мультиплексування, що дозволило підвищити швидкість передавання інформації у 12 разів і дальність у 2.5 раза, порівняно з інформаційно-енергетичними інтерфейсами HomePNA 2.0 та HomePlug 2.0, а також забезпечити повну гальванічну розв'язку при передачі даних у кінцевих сегментах інформаційних мереж.

3. Вперше запропоновано математичну модель волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів, яка дозволяє визначати перехідні характеристики, що впливають на швидкість передачі даних, та характер і величину впливу енергетичних спектральних каналів на інформаційні. Запропоновано критерій оцінювання інформаційно-енергетичних інтерфейсів.

4. Дістала подальший розвиток математична модель розподілу інформаційних та енергетичних потоків у ІЕМ, яка дозволяє визначати характеристику завантаженості, імовірності виникнення інформаційних запитів та запитів на енергетичне обслуговування у мережі та, на відміну від попередньої, дозволяє оцінювати інформаційні запити на керування енергетичним живленням у мережі.

5. Дістала подальший розвиток математична модель перехресних взаємодій спектральних складових волоконно-оптичного інтерфейс-каналу, яка дозволяє кількісно оцінювати взаємний вплив одних спектральних оптичних каналів на інші, визначати умови вибору довжин хвиль для цих каналів, щоб уникнути перекриття їх спектрів, та, на відміну від відомої, враховує енергетичні спектральні канали.

6. Вдосконалено структурну організацію інформаційних мереж з автономним енергетичним живленням, що дозволило забезпечити гальванічну розв'язку при передаванні інформаційних даних у кінцевих і проміжних сегментах шляхом застосування ВОІЕІК і шинної топології мережі.

7. Запропоновані структури ВОІЕІК і структури комутації їх спектральних інформаційних та енергетичних каналів, які дозволяють забезпечити інженерне проектування і практичну реалізацію ВОІЕІК для інформаційних мереж. Запропонована структура інформаційної мережі з об'єднаними оптичними каналами дозволяє розв'язувати задачі спрощення апаратно-програмних затрат і зменшення числа комунікацій у комп'ютерному середовищі. Визначені особливості вибору оптичної елементної бази інтерфейс-каналів для інформаційних мереж, що дозволило визначити можливості їх апаратної реалізації та сформулювати вимоги до оптичних елементів.

8. Проведені дослідження інформаційних мереж на основі ВОІЕІК шляхом комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень на основі розробленого і виготовленого макета пристрою дозволили побудувати аналітичні залежності основних характеристик, які можуть використовуватись при інженерному проектуванні ІМ. На основі комп'ютерної моделі ВОІЕІК з 4-ма спектральними інформаційними і 4-ма енергетичними каналами було встановлено, що величина максимальної енергетичної потужності передачі складає 4670 Вт ($P_j=1167.5$ Вт для 1-го спектрального каналу) при швидкості передавання інформації 2.695 Гбіт/с. Отримані значення бітової помилки ВОІЕІК (середнє значення коефіцієнта виникнення помилки $BER_S=5.5 \cdot 10^{-8}$ та мінімальної його величини $BER_{min} = 1.55 \cdot 10^{-9}$) характеризують достатню стійкість процесу передавання інформації по ВОІЕІК. Отримані аналітичні залежності густин оптичної потужності спектральних каналів та впливу нелінійних явищ від рівня потужностей енергетичних спектрів P_{ij} дозволили оцінити стійкість роботи інтерфейс-каналів.

9. Проведені експериментальні дослідження волоконно-оптичних інтерфейс-каналів, на розробленому і виготовленому макеті, дозволили підтвердити отримані теоретичні результати та математичну модель ВОІЕІК. Експериментальний макет ВОІЕІК дозволяє проводити практичні дослідження процесу передавання оптичних інформаційно-енергетичних потоків зі швидкістю передачі інформації 170 Мбіт/с та ефективністю передачі енергії 17%, і може використовуватись у навчальному процесі як лабораторний стенд.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Маліновський В. І. Основні аспекти побудови оптико-електронних інформаційно-енергетичних середовищ на основі хвилевого способу передачі енергії / Г. Л. Лисенко, В. І. Маліновський, Р. Л. Кобзаренко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 2(14). – С. 250-256.
2. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні системи із застосуванням альтернативних джерел світлового випромінювання / В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко, В. І. Маліновський, Р. Л. Кобзаренко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2(12). – С. 228-234.
3. Маліновський В. І. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1. – С. 95-101.
4. Маліновський В. І. Організація каналів в оптичних геоінформаційно-енергетичних мережах / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – № 2 (12). – С. 19-25.
5. Око-процесорне розпізнавання образів за ознакою осі орієнтації для геоінформаційно-енергетичної системи / В. П. Кожем'яко, Р. М. Новицький, В. І. Маліновський, Я. М. Бондарчук // Штучний інтелект. – 2009. – № 3. – С. 29-35.
6. Маліновський В. І. Математична модель розподілу потоків у геоінформаційно-енергетичних мережах [Електронний ресурс] / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 3. – С. 25-36. – Режим доступу: World Wide Web, <http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-3/2009-3.htm>.
7. Маліновський В. І. Аналіз сучасного стану розвитку геоінформаційно-енергетичних технологій / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 1(15). – С. 86-99.
8. Маліновський В. І. Технології інформаційного та енергетичного обміну в оптичних геоінформаційно-енергетичних мережах / В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 2(16). – С. 207-222.
9. Маліновський В. І. Критерії стабільного функціонування оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 6. – С. 108-110.
10. Маліновський В. І. Моделі волоконно-оптичних інтерфейс-каналів геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 1(17). – С. 179-193.
11. Маліновський В. І. Тракти введення-виведення та комутації об'єднаних оптичних потоків геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 3. – С. 14-21.
12. Патент № 33184 Україна, МПК H04N7/00. Повністю оптична геоінформаційно-енергетична система / Кожем'яко В. П., Маліновський В. І.; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № 200802066 ; заявл. 18.02.2008 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
13. Патент № 33189 Україна, МПК H04N7/00. Оптична геоінформаційно-енергетична мережа на основі шинної топології / Кожем'яко В. П., Маліновський В. І.; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № 200802088 ; заявл. 18.02.2008 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
14. Патент № 33185 Україна, МПК H04N7/00, H04B19/012. Станція для геоінформаційно-енергетичних мереж / Кожем'яко В. П., Маліновський В. І.; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № 200802069 ; заявл. 18.02.2008 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
15. Маліновський В. І. Архітектурна організація бази знань багатоагентних оптичних геоінформаційно-енергетичних систем / В. І. Маліновський : зб. матеріалів доповідей

Міжнародної молодіжної наукової школи [„Системы и средства искусственного интеллекта 2008”], (АР Крим, с. Кацивелі 22-27 вересня 2008р.) / ПШШІ: Наука і освіта, 2008. – С. 83-86.

16. Малиновский В.И. Принципы построения оптических геоинформационно-энергетических систем / В.П. Кожемяко, В.И. Малиновский : зб. доповідей Міжнародної наук.-техн. конф. [„Информационные технологи 2008”], (м. Тбілісі , 16-31 липня 2008р.) / Грузія : ГТУ, 2008. – С. 257-262.

17. Малиновський В. І. Апаратний рівень структурної організації повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж : матеріали доповідей IV Міжнародної конф. [„PHOTONICS-ODS 2008”], (м. Вінниця, 30 вересня – 2 жовтня 2008р.) / Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. – С. 100-101.

18. Малиновський В.І. Критерії стабільного функціонування оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В.П. Кожемяко, В.І. Малиновський : матеріали Міжнародної наук.-техн. конф. [„Контроль і управління в складних системах 2008”], (м. Вінниця, 21-24 жовтня 2008р.) / Вінниця: ВНТУ. – 2008. – С. 25.

19. Малиновський В. І. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В. І. Малиновський : зб. матеріалів 12-го Міжнародного форуму [„Радіоелектроніка і молодь в 21-му ст.”], (1-3 квітня 2008р.). – Харків : ХНУРЕ, 2008. – С. 156.

АНОТАЦІЯ

Малиновський В. І. Інформаційна мережа з об'єднаними оптичними інтерфейс-каналами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. Вінницький національний технічний університет, Вінниця 2010.

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню швидкодії при передаванні та обробленні інформації у кінцевих сегментах комп'ютерних мереж, що реалізовано шляхом використання запропонованого методу організації волоконно-оптичних інтерфейс-каналів.

ВОІЕІК є принципово новим типом волоконно-оптичних каналів, який дозволяє передавати не тільки інформаційні дані з високою швидкістю, але й енергію живлення за допомогою об'єднаних оптичних потоків високої густини потужності шляхом використання технології оптичного хвильового мультиплексування WDM. ВОІЕІК забезпечує інформаційний обмін з одночасним автономним енергетичним живленням кінцевого обладнання з високим ступенем ізоляваності, нейтральності до електромагнітних випромінювань та забезпечення гальванічної розв'язки каналу при інформаційному обміні з кінцевими пристроями малого енергоспоживання.

У дисертаційній роботі запропоновані теоретичні і практичні підходи до створення інформаційно-енергетичних волоконних інтерфейсів для комп'ютерних мереж з автономним енергетичним живленням (інформаційно-енергетичних мереж), вперше розроблено математичну модель волоконно-оптичних інтерфейс-каналів для інформаційних мереж. А також вперше розроблені структурні схеми ВОІЕІК, структури комутації об'єднаних оптичних інформаційно-енергетичних потоків та модифіковані дві структури ІЕМ з використанням об'єднаних оптичних каналів. Це дало можливість отримати архітектуру інформаційних мереж з покращеними показниками інформаційної пропускної здатності та інформаційної ізоляваності каналів в кінцевих сегментах, а також проводити оцінювання інформаційно-енергетичних інтерфейсів ІЕМ. В процесі досліджень на розробленому експериментальному макеті ВОІЕІК було встановлено, що досягнутий коефіцієнт передачі потужності світловим потоком склав 17% при швидкості передачі інформації 170 Мбіт/с. Отримані результати комп'ютерного моделювання в середовищі MathCAD показали достатньо високу ефективність передачі інформації та енергії по ВОІЕІК та високу ефективність інформаційно-енергетичних мереж на їх основі. Ряд експериментальних досліджень на макеті ВОІЕІК підтвердили теоретичні твердження і результати математичного та комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: волоконно-оптичний інформаційно-енергетичний інтерфейс-канал, інформаційна мережа, спектральний канал, оптичний потік, оптична потужність, інформаційний канал.

АННОТАЦІЯ

Малиновский В. И. Информационная сеть с объединенными оптическими интерфейсами. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. Винницкий национальный технический университет, Винница 2010.

Диссертационная работа посвящена повышению быстродействия при передаче и обработке информации в конечных сегментах компьютерных сетей, что реализуется путем использования предложенного метода организации волоконно-оптических информационно-энергетических интерфейсов-каналов.

ВОИЭИК являются принципиально новым типом волоконно-оптических каналов, которые обеспечивают передачу не только информационных данных с относительно высокой скоростью, но и энергии питания с помощью объединенных оптических потоков высокой плотности мощности с использованием технологии оптического волнового мультиплексирования WDM. ВОИЭИК обеспечивает высокоскоростной информационный обмен с одновременным автономным энергетическим питанием конечного оборудования с высокой степенью изолированности канала и его нейтральности к электромагнитным излучениям, а также обеспечивают гальваническую развязку канала при обмене информацией с конечными устройствами малого энергопотребления.

В диссертационной работе предложены теоретические и практические подходы к созданию информационно-энергетических волоконных интерфейсов для компьютерных сетей, впервые разработана математическая модель волоконно-оптических интерфейсов-каналов. Также впервые разработаны структурные схемы ВОИЭИК, структуры коммутации информационно-энергетических потоков и модифицированы две структуры информационных сетей с использованием объединенных оптических каналов. Это дало возможность получить архитектуру информационных сетей с высокими показателями информационной пропускной способности и информационной защищенности каналов.

Проведены исследования предложенных ВОИЭИК для ИЭС с помощью компьютерного и физического моделирования их характеристик в среде MathCAD и на разработанном и изготовленном экспериментальном макете ВОИЭИК. Полученные расчетные значения скорости передачи информации для модели ВОИЭИК на основе 4-х информационных спектров показали, что скорость передачи равна 2.695 Гбит/с, что существенно выше, чем у аналогов информационно-энергетических интерфейсов HomePNA 2.0 и HomePlug 2.0 при одновременно большей дальности передачи (до 1 км для ВОИЭИК и до 350 м для HomePNA 2.0 и Home Plug 2.0). Получены на основе графических зависимостей значения битовой ошибки для волоконно-оптических информационно-энергетических интерфейсов-каналов. Среднее значение коэффициента появления ошибки $BER_s = 5.5 \cdot 10^{-8}$ и его минимальная величина $BER_{min} = 1.55 \cdot 10^{-9}$ хоть и являются меньшими, чем в современных информационных волоконно-оптических линиях, однако характеризуют достаточную стойкость процесса передачи информационных данных по ВОИЭИК. Полученные графики распределения плотностей оптических мощностей спектральных каналов и влияния нелинейных явлений на информационную составляющую позволили оценить потенциальные возможности ВОИЭИК. Была рассчитана возможная энергетическая пропускная способность для компьютерной модели ВОИЭИК с 4-ма спектральными энергетическими каналами, которая составила 4670 Вт (при 1167.5 Вт оптической мощности для 1-го спектрального канала). В процессе исследований на разработанном экспериментальном макете ВОИЭИК было установлено, что достигнутый коэффициент передачи мощности световым потоком составил 17% при скорости передачи информации 170 Мбит/с. Полученные результаты компьютерного моделирования в

среде MathCAD показали достаточно высокую эффективность передачи информации и энергии по ВОИЭИК и высокую эффективность информационных сетей с автономным энергопитанием на их основе. Ряд экспериментальных исследований на макете ВОИЭИК подтвердили теоретические утверждение и результаты математического моделирования.

Ключевые слова: волоконно-оптический информационно-энергетический интерфейс-канал, информационная сеть, спектральный канал, оптический поток, оптическая мощность, информационный канал.

ABSTRACT

Malinovsky V. I. Information Network with Incorporated Optical Interface-channels. – A manuscript.

A thesis for a candidate of technical sciences degree by speciality 05.13.05 – Computer Systems and Components. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia 2010.

Dissertation thesis is devoted ацк increase of speed of transfer and processing of the information in the final segments of information networks, that is realized by use the offered method of organization of fiber-optic information-power interface-channels (FOIPIC).

FOIPIC are essentially new type of fiber-optic channels, which is capable to transfer not only information with high speed, but also power supplies by means of the incorporated optical streams of high optical power density by use of WDM-multiplexing (optical wave division multiplexing) technology in a special type of optical fiber.

FOIPIC provides an information exchange with simultaneous independent power consumption of final equipment with a high degree of isolability, neutrality to electromagnetic radiation and interface channel galvanic outcome supply. That causes advantages at their application in final segments of information networks, an information exchange with final devices of small power consumption.

In given thesis are offered a theoretical and practical approaches to information-power fiber interfaces creations. Mathematical models are developed for description these interfaces-channels for information computer networks as a whole and also for the first time developed block diagrams FOIPIC, switching structures of information-power streams and two structures of information networks with autonomic power consumption with use of incorporated optical channels. It made possible get information networks architecture with better parameters of information bandwidth and security of channels.

During researches on developed experimental breadboard model of FOIPIC it was established, that the achieved transfer capacity factor of light stream has reached 17 % with information bit rate at 170 Mbit/s. The received results of computer simulation in MathCAD environment has shown quite high efficiency of information and energy transfer on the FOIPIC and high efficiency information-power networks on their basis.

Experimental researches on model of FOIPIC has confirmed theoretical statement and results of mathematical and computer simulation.

Keywords: fiber-optic information-power interface-channel, information networks, bandwidth, spectral channel, optical stream, optical power, information channel.

Підписано до друку 04.02.2010 р. Формат 29.7×42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2010-022
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: (0432) 59-81-59