

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 681.390

В. П. Кожем'яко, д. т. н., проф.;

В. І. Маліновський, асп.

ТРАКТИ ВВЕДЕННЯ-ВИВЕДЕННЯ ТА КОМУТАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ ОПТИЧНИХ ПОТОКІВ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

Проаналізовано сучасні апаратні блоки введення/виведення випромінювання оптичних інформаційних та енергетичних потоків. Запропоновано структури комутації волоконно-оптичних каналів оптико-електронних геоінформаційно-енергетичних мереж (ГІЕМ).

Вступ

Оптичні (оптико-електронні) геоінформаційно-енергетичні мережі [1—3] є актуальними з точки зору забезпечення енергетичної автономності їх кінцевих і проміжних вузлів, що підвищує стабільність передачі і оброблення інформації в цих мережах.

У роботах [1, 2] розроблені принципи функціонування волоконно-оптичних каналів для оптико-електронних геоінформаційно-енергетичних мереж, згідно яких пропонувалось розміщення інформаційних каналів на оптичних спектрах λ_i , $i = 1, N$, а енергетичних (для енергетичного живлення проміжних і кінцевих вузлів) на λ_j , $j = 1, M$, шляхом оптичного хвильового мультиплексування WDM (Wave Division Multiplexing) [1].

Для забезпечення багатофункціональності геоінформаційно-енергетичних мереж, актуальним і необхідним є ефективний швидкісний розподіл та перенаправлення, як інформаційних, так і енергетичних потоків між вузлами і окремими складовими цих мереж. Тому, основною задачею на шляху побудови оптико-електронних ГІЕМ є розробка структур комутації, введення/виведення інформаційних та енергетичних потоків, які розташовані на оптичних спектральних каналах.

Комутаційні пристрої відомих інформаційних волоконно-оптичних мереж [3] є сформованими і конструктивно закінченими функціональними модулями комутаторів і випускаються серійно. Ці пристрої орієнтовані на роботу з малими рівнями оптичних потужностей інформаційних каналів ВОЛЗ. На відміну від вказаних комутаційних структур, густини оптичних потужностей енергетичних трактів ГІЕМ, можуть досягати рівнів $\rho_{opt.} = 10^6 \dots 10^8$ Вт/см² [4]. Це обумовлює розробку комутаційних елементів з високим значенням променевої міцності.

Принципи реалізації комутації інформаційно-енергетичних каналів

Внутрішню будову відомих структур комутації волоконно-оптичних каналів показано на рис. 1 [5].

Активні комутаційні елементи використовують принципи керування вхідним світловим потоком I_0 , та розподіл його по відповідним вихідним каналам I_1, I_2 за допомогою сигналів керування U_1, U_2 .

Для реалізації комутаційних трактів волоконно-оптичних каналів ГІЕМ необхідно застосовувати фізичну комутацію, оскільки відокремлення інформаційних каналів від енергетичних потребує спект-

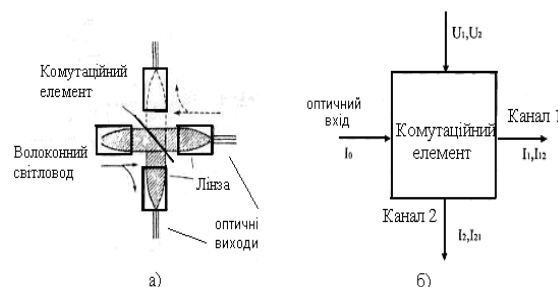


Рис. 1. Внутрішня будова активного комутаційного елемента:

а — фізична реалізація; б — схема комутації

© В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, 2009

рального розділення за технологією WDM (WDM — демультимплексування).

Відомі 2 способи здійснення комутації і, відповідно, принципи реалізації комутаційних елементів:

1) з використанням елементів Покельса (*PE*) [5], робота яких ґрунтується на зміні напрямку розповсюдження оптичного випромінювання у спеціальних матеріалах (наприклад, електрооптичного кристалу LiMbO_3) під дією зовнішнього перпендикулярно орієнтованого електричного поля;

2) за допомогою механічно керованих дзеркал, які приводяться в дію електромагнітними тригерами (*EMD*-Electromagnetic drivers [6]);

Перший спосіб має значні переваги у швидкодії. Час перемикання знаходиться в межах $t_{comut} \sim 10^{-6} \dots 10^{-9}$ [с]. Другий спосіб має значно гірші характеристики часу комутації $t_{comut} \sim 10^{-2} \dots 10^{-3}$ [с], зумовлений інерційністю механічно-рухомих дзеркал, але найменші втрати, які знаходяться в межах $a_{к.ел.} \sim 0,01 \dots 0,1$ [Дб]. Крім того, променева міцність дзеркал, виготовлених із спеціальних типів оптичного скла набагато більша ніж променева міцність електрооптичних елементів, що зумовлює їх придатність до використання у енергетичних оптичних трактах.

Швидкодія комутаційних структур інформаційних трактів – величина обернено пропорційна часу перемикання одного елемента *PE*, тобто $F_{inf} = 1/t_{comutPE}$. Аналогічно для комутувальних структур енергетичних трактів $F_{pow} = 1/t_{comutEMD}$. Загальним критерієм оцінки швидкості комутації оптичних комутувальних структур може бути величина δ , яка визначається відношенням швидкодій інформаційних та енергетичних трактів:

$$\delta = \frac{F_{inf} + F_{pow}}{F_{pow}F_{pow}} = \frac{\frac{1}{t_{comutPE}} + \frac{1}{t_{comutEMD}}}{\frac{1}{t_{comutPE}} \cdot \frac{1}{t_{comutEMD}}} = t_{comutPE}t_{comutEMD} \left(\frac{1}{t_{comutPE}} + \frac{1}{t_{comutEMD}} \right). \quad (1)$$

Оптична пропускна характеристика оптичних комутувальних елементів є величиною оберненою до оптичних втрат у них $\gamma = 1/a_{comut}$ [1/Дб]. Відповідно, для двох типів комутаційних елементів можна записати: $\gamma_{PE} = 1/a_{comutPE}$, $\gamma_{EMD} = 1/a_{comutEMD}$. Комплексне оптичне пропускання

$$\gamma_{comut} = \frac{\gamma_{comutPE} + \gamma_{comutEMD}}{\gamma_{comutPE}\gamma_{comutEMD}}. \quad (2)$$

Крім швидкодії, велике значення має якість комутаційних елементів, яку оцінюють за допомогою таких характеристик як: внесені втрати, перехідне затухання, коефіцієнт комутації, робочі напруги керування U_1, U_2 .

Перехідне затухання P_{ij} та коефіцієнт комутації K_{ij} визначають в Дб з відомих співвідношень [5] $K_1 = I_1/I_2$; $K_2 = I_2/I_1$; $P_{12} = I_1/I_{21}$; $P_{21} = I_2/I_{12}$ за відомими максимально можливими значеннями інтенсивності I_{ij} відповідних каналів.

Враховуючі ці особливості, оптимальним є використання першого способу на основі електрооптичних елементів для комутації інформаційних оптичних каналів, а другого — для комутації енергетичних оптичних каналів (рис. 2).

Інформаційні та енергетичні світлові потоки, які надходять із передавального модуля (з джерелами випромінювання $LD_1 \dots LD_N$ інформаційних каналів та $LD \dots LD_M$ енергетичних каналів) вводяться у оптичне волокно *IE* каналу за допомогою блоків оптичних мультиплексорів (*MX*) та надходять до блоку оптичного комутатора.

Для забезпечення комутації та розподілу як інформаційних, так і енергетичних мультиплексованих потоків необхідним є попередній просторовий розподіл (демультимплексування за допомогою оптичних демультимплексорів (*DMX*)) інформаційної оптичної складової та енергетичної, і подача їх окремо на комутаційні елементи інформаційних каналів $PE_1 \dots PE_N$ (виконані на комірках Покельса) та комутаційні елементи енергетичних каналів $EMD_1 \dots EMD_M$, виконані на основі механічно керованих поворотних дзеркал $M_1 \dots M_M$.

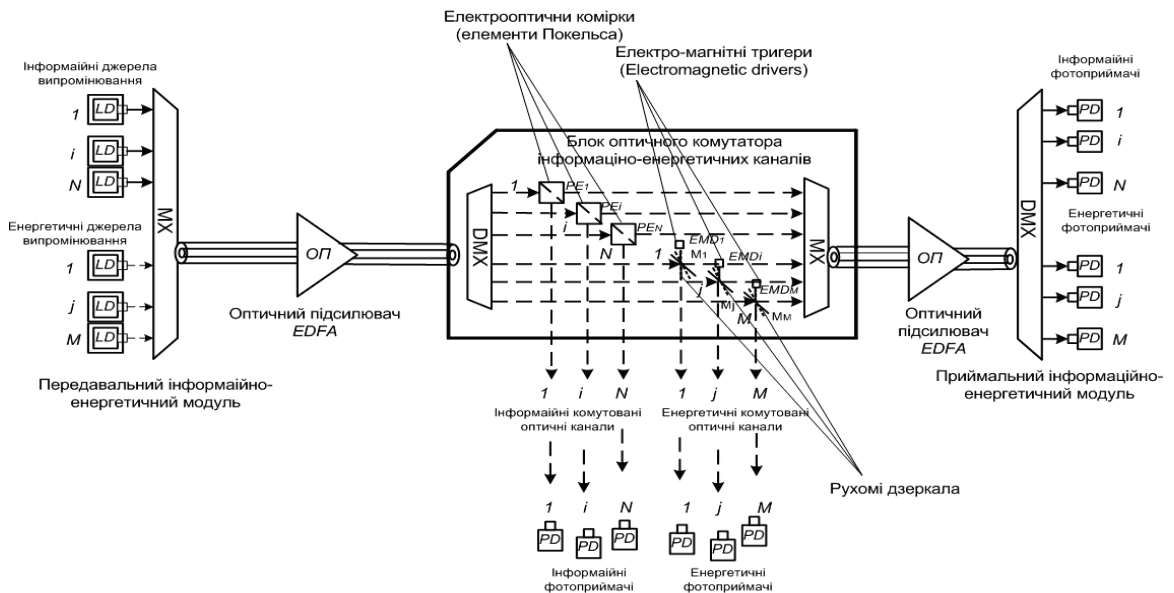


Рис. 2. Структури оптичних комутаційних блоків для волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів ГЕМ

Після відокремлення, виходи з комутаційних елементів знову об'єднуються, шляхом оптичного хвильового мультиплексування і направляються у оптичне волокно для подальшої передачі на приймальний модуль (з приймачами випромінювання $PD_1 - PD_N$ інформаційних каналів, $PD_1 - PD_M$ енергетичних каналів).

Хоча встановлення у блоці оптичного комутатора додаткових оптичних мультиплексорів та демультиплексорів збільшить величину оптичних втрат, то просторовий розподіл дозволить підвищити швидкодію інформаційних трактів, що є оптимальним розв'язком задачі перерозподілу інформаційної та енергетичної складових.

Згідно принципів архітектурної реалізації волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів [2] оптична передача енергії високого рівня оптичної потужності P_{opt} відбувається пріоритетно в односторонньому напрямку – від станції енергетичного забезпечення до кінцевих вузлів ГЕМ через пасивні компоненти ІЕ волоконно-оптичних каналів. Передача ж інформації як у магістральних каналах на основі бінарних провідників, так і в інформаційно-енергетичних волоконно-оптичних каналах реалізована у двосторонньому (повна дуплексна передача) напрямку. Для цього необхідним є застосування оптичних комутаційних структур, які орієнтовані на здійснення зворотного інформаційного зв'язку (рис. 3).

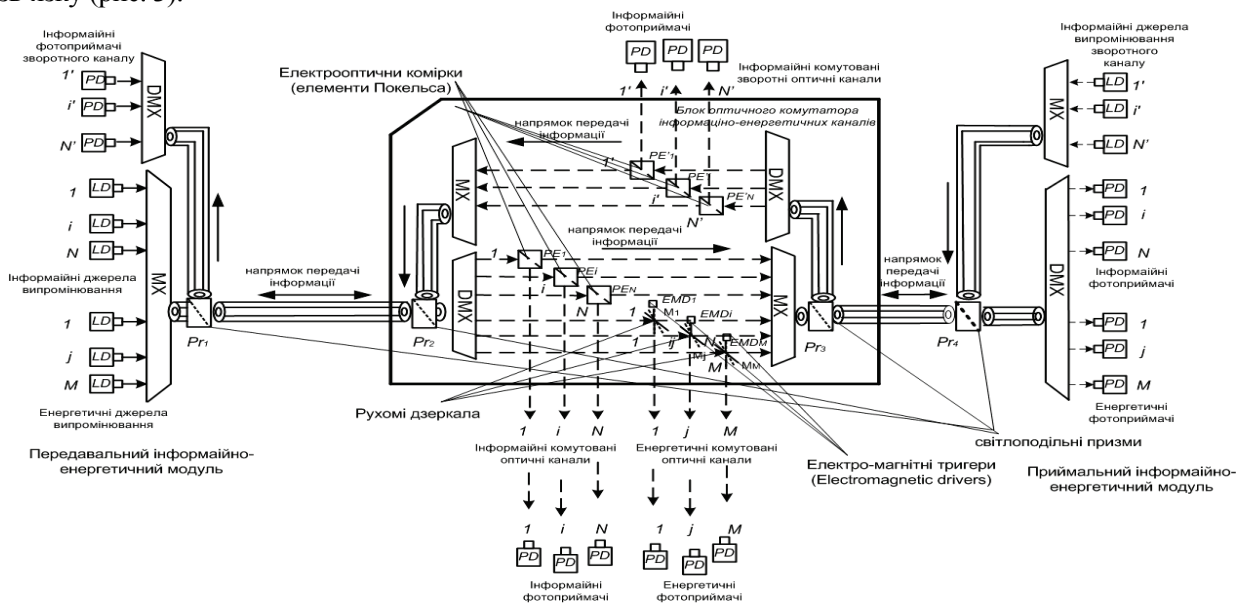


Рис. 3. Оптична комутувальна структура з двостороннім оптичним інформаційним зв'язком

Структура оптичної комутації (рис. 3) дозволяє організувати зворотні інформаційні оптичні канали $1' \dots i' \dots N'$ шляхом розміщення зворотного аналогічного основному інформаційному тракту прийом/передачі, який містить N' передавачів (джерел випромінювання) на приймальному кінці основного модуля інформаційно-енергетичного волоконно-оптичного каналу ПЕМ, та таку саму кількість N' інформаційних фотоприймачів, розміщених у передавальному модулі основного інформаційно-енергетичного каналу. До складу блоку оптичного комутатора інформаційно-енергетичних каналів входить N' комутаційних елементів PE (комірок Покельса) зворотних інформаційних каналів, які дозволяють перемикаєти зворотні оптичні канали і виводити їх окремо на інший порт блоку комутатора, крім основного, який підключений до передавального модуля.

Для апаратної реалізації інформаційно-енергетичних каналів і комутаційних блоків необхідно використовувати спеціалізовану оптику із малим відсотком оптичних втрат ($a_{opt.} \sim 0,1 \dots 0,3$ [Дб]) у пасивних і активних оптичних вузлах, та високим значенням променевої міцності $\rho_{opt.} \sim 10^8$ Вт/см².

Для забезпечення об'єднання сегментів геоінформаційно-енергетичних мереж з різних за типом фізичного носія інформаційних та енергетичних потоків, необхідно використовувати шлюзи, які виконують функції узгодження сегментів ПЕМ та керування енергетичним забезпеченням.

Шлюз геоінформаційно-енергетичної системи включає в себе пристрої узгодження фізичних рівнів каналів на основі блоків введення/виведення інформаційно-енергетичних потоків мережі, до складу яких входять приймально-передавальні модулі, блок керування енергетичним трафіком (потужністю) сегментів, комутатори на основі активних комутаційних матриць та матрицю силових ключів керування струмом і напругою у енергетичних каналах. Структурну схему шлюзу ПЕМ показано на рис. 4.

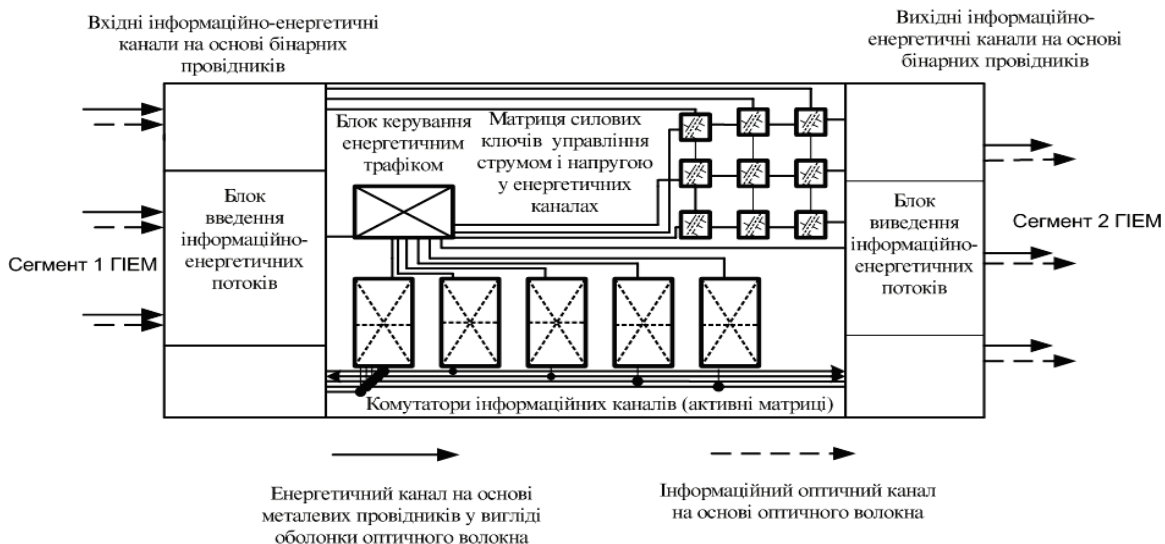


Рис. 4. Структурна схема шлюзу ПЕМ

Комутація вхідних інформаційних каналів забезпечується за допомогою активної матриці інформаційних комутаторів. Блок керування енергетичним трафіком здійснює управління енергетичними потоками шляхом управління матрицею силових ключів. Силовими ключами можна здійснювати як плавні зміни енергії, забезпечуючи режими енергозбереження, так і повні включення/виключення та переключення електро-енергетичних каналів між собою. Керування енергією у вихідному сегменті забезпечується шляхом управління параметрами робочих струмів та напруг у матриці силових ключів, яка може бути виконана на базі технології потужних транзисторних або тиристорних ключів напівпровідникової структури MOSFET [7]. Такі силові ключі технологічно виконуються у вигляді закінчених електронних модулів з програмним управлінням і розраховані на комутацію і інтерактивне управління лінійними колами струму з потужністю від 100 Вт до 1000 кВт і більше [7], з максимальною робочою напругою до 1700 В і струмом 50...1500 А.

Джерела випромінювання інформаційного та енергетичного трактів

Оскільки в архітектурі оптичних ГЕМ розглядаються дві складові: інформація та енергія, то, відповідно, мають використовуватись два типи джерел випромінювання: інформаційні та енергетичні. Інформаційні знаходять використання у інформаційних каналах ВОЛЗ, таких як бінарні провідники та інформаційні тракти (мультиплексовані інформаційні оптичні канали) у волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналах. Джерела випромінювання інформаційних трактів серійно виготовляються промисловістю в якості технологічно закінчених волоконно-оптичних модулів для ВОЛЗ (рис. 5).

Серед відомих виробників волоконно-оптичних лазерних передавальних модулів можна відмітити такі компанії: Mitsubishi Electric, Samsung Electronics, Nortel Networks, Telenetics, Corning, Lument Technologies, Alcatel і інші, Coherent, American Laser Inc, Ericsson Microelectronics, НПФ «Діалаз», та ін.

Оптичні передавальні та приймальні модулі сучасних інформаційних систем здатні забезпечити необхідні значення швидкостей передачі ($10 \dots 80$ Гбіт/с [1]) і великого (до $t = 10^6$ год) гарантованого часу наробітку на відмову. Це робить їх технологічними і взаємозамінними компонентами для ГЕМ.

Але зовсім інша ситуація у області енергетичної оптичної передачі, де в залежності від поставлених вимог тип джерел може значно відрізнятись. Для оптичних енергетичних каналів ГЕМ необхідно обрати максимально придатні, в першу чергу, за ефективністю електрооптичного перетворення, лазерні джерела.

Для вибору джерела випромінювання волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів у табл. подано узагальнені порівняльні характеристики відомих лазерів різних типів.

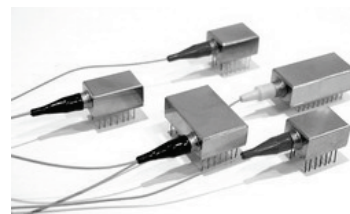


Рис. 5. Конструкція інформаційних модулів ВОЛЗ

Узагальнені порівняльні характеристики існуючих типів лазерів

Тип лазера	Можлива потужність випромінювання, Вт	ККД, %	Габаритні розміри активного тіла, м	Складність реалізації модуляції	Діапазон робочих напруг, В
Газові	$10^{0,05} \dots 10^{10}$	0,01...5	0,1...20	складна	$10^3 \dots 10^5$
Рідинні	$10^{0,1} \dots 10^6$	0,5...10	0,1... 10^1	середня	$10^3 \dots 10^4$
Твердотілі	$10^{0,01} \dots 10^9$	1...5	0,1...1	середня	$10^3 \dots 10^4$
Напівпровідникові	$10^{0,001} \dots 10^5$	40...90	$10^{-5} \dots 10^{-3}$	проста	$10^{0,5}$
Іонні	$10^1 \dots 10^4$	5...20	1...5	складна	10^3
Плазмові	$10^2 \dots 10^8$	30	0,5...20	складна	$10^5 \dots 10^6$
На вільних електронах	$10 \dots 10^7$	3...5	5...30	дуже складна	—
Газодинамічні	$10^2 \dots 10^{13}$	20...40	1...10	складна	—
Хімічні	$10^2 \dots 10^{14}$	10...50	0,1...10	складна	—
Ексімерні	$10^{0,1} \dots 10^3$	1...10	0,1...1	середня	$10^3 \dots 10^5$
На парах металів	$10 \dots 10^{13}$	5...35	0,1...10	складна	$10^2 \dots 10^4$

На основі таблиці за параметрами ККД, робочої напруги і реалізації модуляції можна обрати саме напівпровідниковий тип лазера, оскільки він має найпридатніші для застосування у ГЕМ показники. А також зумовлений тим, що має найвищий ККД – 40...90 % серед відомих типів лазерів, малі габарити і вагу а також простий у використанні, обслуговуванні і реалізації модуляції його інтенсивності.

Більшість наявних напівпровідникових лазерів (лазерних діодів) орієнтовані на застосування у інформаційній області і мають діапазон вихідної оптичної потужності від одиниць і десятків міліват (мВт) до одиниць Вт. Але для реалізації оптичних джерел випромінювання енергетичних трактів ПЕМ необхідні значення потужності від сотень Вт до одиниць і десятків кВт ($P_{\text{опт}} \approx 10^2 \dots 10^4$ Вт). Такі значення $P_{\text{опт}}$ можна отримати шляхом застосування спеціалізованих напівпровідникових лазерних діодів і їх збірок.

Лазери такого типу виготовляє міжнародна компанія «IPG Polus» [8], яка спеціалізується на розробці, як оптичних інформаційних систем для ВОЛЗ так і оптичних енергетичних для області обробки матеріалів. Переваги таких джерел випромінювання: 1) високий ККД (більше 60 %); 2) сумісність з волоконними трактами багатомодових волокон; 3) компактність; 4) кращі, порівняно з іншими типами лазерів характеристики вихідного випромінювання.

На рис. 6 показані фотографії волоконних лазерів виробництва компанії «IPG Polus» [8].



Рис. 6. Волоконні лазери компанії «IPG Polus» середньої потужності (5 кВт, 2кВт, 1 кВт) для застосування в оптичних енергетичних трактах ПЕМ

Фотоприймальні тракти інформаційно-енергетичних волоконно-оптичних каналів

Фотоприймачі оптичних каналів геоінформаційно-енергетичних мереж, є одними з основних елементів цих мереж. На них накладаються найкритичніші вимоги, в першу чергу щодо коефіцієнта корисної дії під час роботи у оптичних енергетичних трактах.

Відомі технології волоконно-оптичних фотоприймальних модулів [1, 2] базуються на фотоприймальних елементах на основі *p-i-n*, APD — фотодіодних структур матеріалу InGaAs. Швидкості прийому інформації сучасних фотоприймальних модулів ВОЛЗ відповідають швидкостям передачі передавальних модулів. Це сфера є достатньо вивченою і реалізованою у виробництві.

Розробка фотоприймачів для енергетичних трактів волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів ПЕМ є складною задачею і потребує врахування багатьох факторів. Основним з них є ефективність фотоелектричного перетворення (ККД), який для наявних на сьогоднішній день оптичних фотоприймальних пристроїв для енергетичної області коливається в межах від 20 % до 45 % [2, 8].

Технологія фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які застосовуються у сонячних батареях передбачає перетворення енергії за схемою: *енергія оптичного випромінювання* → *електрична енергія*, і має технологічно досягнутий ККД до 45 %. У більшості дешевих ФЕП використовується полікристалічний кремній, що дозволяє досягати ККД до 25 %. У якісних ФЕП, з яких будують сонячні енергосистеми, використовується монокристалічний кремній з технологічно досяжним на сьогоднішній день ККД — 45 %.

Ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких найважливішу роль грає фотопровідність. Вона зумовлена явищами внутрішнього фотоефекта в напівпровідниках при опроміненні їх світловим потоком.

Основні втрати енергії у ФЕП пов'язані з: а) відбиванням оптичного випромінювання від поверхні перетворювача; б) проходженням частини випромінювання через ФЕП без його корисного поглинання; в) розсіюванням на теплових коливаннях напівпровідникової ґратки надлишкової енергії фотонів, г) присутнім внутрішнім опором перетворювача; д) конструктивними особливостями структури фотоперетворювача.

Для зменшення усіх видів втрат енергії у сонячних ФЕП розробляються й успішно застосовуються різні заходи. До них відносяться: 1) використання напівпровідників з оптимальної для сонячного випромінювання шириною забороненої зони; 2) технологічне покращення і адаптація властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення убудованих електричних полів; 3) перехід від гомогенних до гетерогених і різнозонних напівпровідникових структур; 4) оптимізація конструктивних параметрів ФЕП (глибини залягання *p-n* переходу, товщини базового шару, частоти контактної сітки тощо); 5) застосування багатофункціональних оптичних покриттів; 6) створення каскадних ФЕП.

Для застосування у приймальних трактах волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналах ГІЕМ необхідним є узгодження ФЕП і фронту випромінювання з волоконного виходу (рис. 7), шляхом встановлення вихідного волокна і ФЕП у модулі енергетичного фотоприймача, і застосуванням узгоджувальної оптики — лінзових коліматорів (рис. 7б).

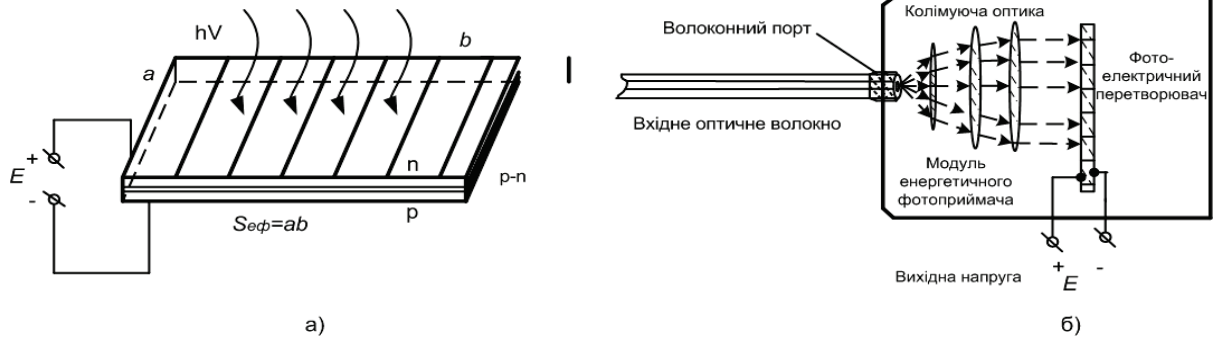


Рис. 7. Блоки ФЕП для волоконно-оптичних трактів:
а – узагальнена структура ФЕП; б – схема узгодження з оптичним волокном

Можна стверджувати, що вихідна потужність фотоприймального модуля ФЕП буде пропорційною прийнятій оптичній потужності P_{opt} , величині коефіцієнта перетворення ефективній площі ФЕП S_{ef} , косинусу кута падіння $P_{FEP} \approx kP_{opt}S_{ef} \cos \alpha$. Тому для ефективного перетворення, кут падіння випромінювання на активну поверхню ФЕП повинен максимально наближатися до 90° , що відповідає умові максимального перетворення для $\cos 90^\circ = 1$ $P_{FEP} \approx kP_{opt}S_{ef}$.

Ефективність перетворення в значній мірі зменшується через відносно велике значення відбивання від поверхні ФЕП. Кількість поглиненого випромінювання буде визначатись різницею між падаючим і кількістю пропущеного і відбитого $k_{pogl}P_{pogl} = P_{opt} - k_{vidb}P_{opt} - k_{prop}P_{opt}$, де, k_{pogl} , k_{vidb} , k_{prop} — коефіцієнти поглинання, пропускання і відбивання. Відомою умовою з теорії взаємодії оптичного випромінювання з речовиною, для якої $k_{pogl} + k_{vidb} + k_{prop} = 1$ [5]. Найбільше значення коефіцієнта поглинання для ФЕП визначає умову його максимальної ефективності. Якщо врахувати, що напівпровідниковий матеріал ФЕП непрозорий і пропускання умовно відсутнє, то ефективність його роботи буде в повній мірі залежати від кількості відбитого випромінювання $k_{vidb}P_{opt}$.

Для реалізації модулів ФЕП підвищеної ефективності можна використати незадіяну у процесі кількість відбитого випромінювання, конструктивно виконавши фотоприймальний модуль із декількома ФЕП (рис. 8).

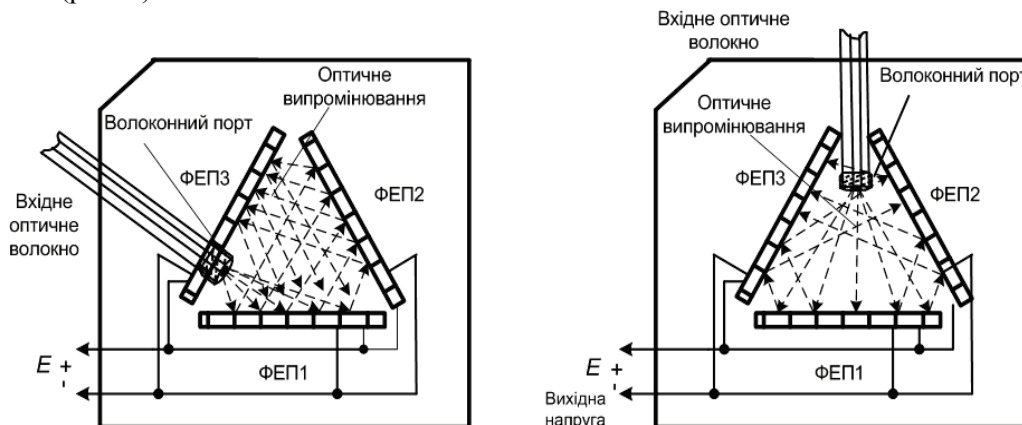


Рис. 8. Реалізації модулів ФЕП підвищеної ефективності

Такі фотоприймальні модулі ФЕП містять 3 фотоперетворювачі (або дзеркальні поверхні замість допоміжних ФЕП2 і ФЕП3), виконані у вигляді трикутної конструкції. Завдяки перетворен-

ню випромінювання, яке відбилось від основного ФЕП, іншими двома фотоперетворювачами можна практично повністю використати енергію вхідного оптичного випромінювання із волокна.

Модулі фотоприймачів, реалізовані за таким принципом, складніші і мають більшу вартість і ресурсовитрати, але значно ефективніше приймають та перетворюють енергію оптичного випромінювання. Також, за таким принципом можна досягнути компактніших розмірів кінцевих фотоприймальних модулів.

Висновки

В статті запропоновані комутаційні структури волоконно-оптичних трактів інформаційно-енергетичних каналів ГІЕМ та описані особливості реалізації джерел та приймачів оптичного випромінювання. Запропоновані структури можуть ефективно використовуватись для побудови оптичних ГІЕМ. Подані варіанти конкретної конструктивної реалізації фотоелектричних модулів оптичних енергетичних трактів, які в цілому значно підвищують ефективність ГІЕМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кожем'яко В. П. 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.
2. Кожем'яко В. П. Структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2007. — № 2. — С. 42 — 44.
3. 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.
4. 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.
5. Волоконно-оптичні структури комутації та передачі інформації : навч. посіб. / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, Т. Б. Мартинюк, Г. Л. Лисенко. — Вінниця: ВДТУ, 2002. — 106 с.
6. Кожем'яко В. П. Принципи побудови лазерних шоу / В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2006. — № 2(12). — С. 164—170.
7. Фурман И. Мощные драйверы MOSFET; LDO и стандартные линейные стабилизаторы фирмы Texas Instruments: Электронный ресурс / И. Фурман, Е. Звонарев // Инженерная микроэлектроника — 2009. — Режим доступа : World Wide Web, <http://www.chipinfo.ru/literature/chipnews/200307/12.html>.
8. НТО ИРЭ-Полус. Мощные промышленные лазеры Электронный ресурс. — Режим доступа : World Wide Web, http://www.ntoire-polus.ru/products_powerful.html.

Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки

Надійшла до редакції 5.03.09
Рекомендована до друку 14.04.09

Кожем'яко Володимир Прокопович — завідувач кафедри, **Маліновський Вадим Ігоревич** — аспірант.

Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет