

УПРАВЛІННЯ ВПЛИВОМ ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ОПТОВОЛОКОННИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Невлюдов І.Ш., Малик Б.А., Андрусевич А.О., Стародубцев М.Г.,
Олександров Ю.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки

The problem of environmental influences control upon fiber-optic communication lines design is considered. The ways to increase the operational efficiency of these communication lines under the environmental conditions and to factor these influences into the project design and implementation management are rationalized. The technical implementation allowing for fiber-optic communication lines use in severe environment is proposed.

Для збереження працездатності оптоволоконних ліній передачі при високих рівнях впливу чинників навколишнього середовища (механічних і теплових деформацій, радіоактивності і т.д.) потрібно оптимізувати параметри пристроїв, що забезпечують їх роботу. Цього можна досягти компенсуючи втрати і спотворення шляхом підвищення потужності генераторів, чутливості приймачів, ефективності введення випромінювання надпотужних джерел в оптичне волокно, збільшенням співвідношення сигнал/завада. Оптимізація масогабаритних і економічних характеристик ліній зв'язку складається з моделювання залежності вихідних характеристик ліній від параметрів випромінювачів, приймачів, ефективності введення випромінювання в волокно і типів волокон [1].

Для визначення параметрів напівпровідникових випромінювачів необхідно розрахувати [2]:

– внутрішню квантову ефективність:

$$\eta_{вн} = \left(1 + \frac{2\tau_{вип}}{\tau_{б/вип}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де $\tau_{вип}$, $\tau_{б/вип}$ – час випромінюючої і безвипромінюючої рекомбінації;

– зовнішню квантову ефективність:

$$\eta_{зовн} = \frac{n_e}{n_i}, \quad (2)$$

де n_e – кількість емітованих квантів; n_i – кількість інжекттованих квантів.

Апертурний коефіцієнт пов'язує обидві квантові ефективності і визначає частину випромінювання яке виводиться назовні:

$$F = \frac{\eta_{зовн}}{\eta_{вн}} \quad (3)$$

Диференціальна квантова ефективність:

$$\eta_D = \frac{dP}{dI_H}, \quad (4)$$

де P – потужність випромінювання; I_H – струм накачування.

Втрати потужності при генерації випромінювання обумовлені: повним внутрішнім віддзеркаленням на межі «напівпровідник-навколишнє середовище», якщо випромінювання падає під кутом більшим, ніж критичне; френелівським відображенням для променів, що падають під кутом, меншим ніж критичний; поглинанням променів в обсязі напівпровідника і в приконтактних областях.

Вони визначаються за формулою [3]:

$$K_{втр} = \left(\frac{n_n - n_{сеп}}{n_n + n_{сеп}} \right)^2 \approx 30\% , \quad (5)$$

де $n_{сеп}$ – показник заломлення середовища; n_n – показник заломлення напівпровідника.

Чутливість фотоприймача S характеризує реакцію фотоперетворювача (ФП) на дію потоку випромінювання певної величини.

При розрахунках необхідно використовувати:

– вольтну чутливість:

$$S_v = U_\phi / P_{випр}, \quad (6)$$

де U_ϕ – фотонапруга; $P_{випр}$ – потужність введеного випромінювання;

– струмову чутливість:

$$S_i = I_\phi / P_{випр}, \quad (7)$$

де I_ϕ – фотострум.

Критерієм чутливості може бути величина квантового виходу, яка визначається відношенням кількості генеруємих світлом електронно-комірчатих пар до кількості фотонів, які потрапили в фотоприймач [3]:

$$\eta = \frac{(I_\phi / e)}{(P_{випр} / h \cdot \nu)}, \quad (8)$$

де I_ϕ – фотострум; e – заряд електрона; $P_{випр}$ – потужність випромінювання.

Тоді струмова чутливість:

$$S_i = \eta \cdot e / h \cdot \nu = \eta \cdot \lambda / 1,24 . \quad (9)$$

Загальні параметри фотоприймачів які слід враховувати: співвідношення

сигнал/шум, дБ; рівень шумів, нВт; чутливість фотодетектора; шумовий струм; середньоквадратичне значення теплового шуму, середнє значення дробного шуму, заряд електрона, постійна Больцмана, абсолютна температура, середня сила струму (включаючи фоновий струм і струм сигналу), смуга частот, опір навантаження.

При введенні випромінювання в волокно необхідно враховувати: обмеження поверхневого допустимого кута θ до внутрішнього поверхневого відбиття; Френелівське відображення від межі розділу повітря напівпровідника; поглинання між точкою генерації випромінювання і випромінюючою поверхнею. Світловий потік визначається інтеграцією потужності, випромінюваної в одиницю тілесного кута в напрямку під кутом θ до нормалі його поверхні $I=I_0\cos\theta$ [3]:

$$\Phi_0 = \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \pi I_0 \cdot \quad (10)$$

Частина світлового потоку джерела випромінювання, що потрапляє в оптичне волокно обмежена числовою апертурою волокна і визначається інтегралом:

$$\Phi = \int_0^{\varphi_{кр}} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \pi I_0 \sin^2 \varphi_{кр} = \Phi_0 \cdot NA^2, \quad (11)$$

де $\varphi_{кр}$ – апертурний кут волокна.

Таким чином, ефективність введення в волокно дорівнює [2]:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = NA^2. \quad (12)$$

Коефіцієнт ефективності виведення випромінювання з джерела з урахуванням критичного кута θ_c . Світловий потік випромінювання в одиничному куті в напрямку θ відносно нормалі до поверхні:

$$\Phi_0 = 2 \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = 2\pi I_0. \quad (13)$$

Частка загальної потужності, обмежена кутом θ_c :

$$f = \frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{1}{2\pi I_0} \int_0^{\theta_c} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \frac{1}{2} \sin^2 \theta_c = \frac{n_0^2}{2n^2}. \quad (14)$$

При малих $\theta < \theta_c$, за рахунок Френелівського відображення, частина енергії R відбивається, так що при перпендикулярному падінні проходить частина t , якщо $n_0=1$ [3,4]:

$$t=1-R = 4n_0n/(n_0+n)^2 = 4n/(1+n)^2. \quad (15)$$

При більш похилих променях частина випромінюваної енергії, змінюється мало і дорівнює нулю, якщо $\theta_c=0$. Цей коефіцієнт може бути збільшений за рахунок

просвітління, при цьому ідеальне значення дорівнює $(n_{0n})^{1/2}$, коли t прагне до 1.

Таким чином, при реалізації оптоволоконних ліній зв'язку часто виникає завдання узгодження оптоелектронних компонентів і волокон з різними поперечними перетинами випромінювальної і приймаючої області та різними числовими апертурами. Варіантом такого завдання може бути з'єднання одномодового і багатомодового волокна або випромінювачів і фотоприймачів з волокнами різних типів [4], а також каскадні волокна, в яких приймальне волокно має спеціальну форму і ділянки градієнтних багатомодових волокон інтегровані в одномодове волокно [5]. Такі погоджуючі секції [6] перетворюють еліптичний профіль випромінювання в круговий, а розмір модового поля на виході другого багатомодового градієнтного оптичного волокна дорівнює розміру модового поля, необхідного для ефективного збудження одномодового світловода.

Література

1. Filipenko A., Nevludov I., Sychova O. Optical power transmission coefficient in photonic-crystal fiber connection //2008 International Conference on " Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science"(TCSET). – IEEE, 2008. – С. 409-411.
2. Malyk B. O., Tokarieva O. V., Malyk-Zamorii S. B. Optical fiber structures performance enhancement under the conditions of ionizing radiation high power levels // Problems of Atomic Science and Technology. – 2018. – Т. 114. – №. 2. – С. 13-18.
3. Bass M., Van Stryland E. W. Fiber Optics Handbook: fiber, devices, and systems for optical communications. – Optical Society of America., 2002. – №. Sirsi) i9780071386234.
4. Roy V., Dauliat R., Jamier R. E. Monomode optical fiber designed to compensate for a refractive index variation related to thermal effects and laser using such an optical fiber as a gain medium : заяв. пат. 15568876 США. – 2018..
5. Yoda H., Endo T., Shiraishi K. Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism //Journal of lightwave technology. – 2002. – Т. 20. – №. 8. – С. 1545..
6. Спосіб виготовлення узгоджуючої секції оптичних волокон: Патент України № UA 115811 U, опубл. 25.04.2017, бюл. № 8 / Малик Б.О., Малик-Заморій С.Б.