

УДК 683.3

В. П. Кожем'яко, д. т. н., проф.;

В. І. Маліновський, асп.

КРИТЕРІЇ СТАБІЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТИЧНИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

Визначено умови та критерії стабільного функціонування оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж. Визначено математичні залежності для цих критеріїв та описано баланси для інформаційної та енергетичної складових.

Вступ

Оптичні геоінформаційно-енергетичні мережі — це універсальні мережеві рішення, які базуються на принципах обробки і передачі структурно — розміщених даних [1], які зберігаються і обробляються на локально — розміщених просторово (географічно) рознесених ресурсах (віддалених серверах), що забезпечує підвищення продуктивності пошуку і обробки інформаційних ресурсів. Крім того, основним визначенням геоінформаційно-енергетичних мереж (ГІЕМ) є те, що переважна більшість каналів передачі інформації у них об'єднана з каналами передачі енергії живлення усіх елементів цих мереж [1, 2]. Таким чином у ГІЕМ досягається можливість автономного живлення її складових. Принцип обміну енергії по інформаційно-енергетичним провідникам дозволяє не лише забезпечити живлення кінцевих вузлів ГІЕМ, а також підвищити дальність передачі інформаційних каналів шляхом забезпечення живлення проміжних інформаційних підсилювачів і регенераторів від енергетичного каналу на протяжних ділянках зв'язку.

Одночасний інформаційно-енергетичний обмін можна забезпечити:

– по бінарним (подвійним) провідникам [1], які включають в себе внутрішні інформаційно-передавальне (на основі оптичного волокна) і енергетично-передаюче (на основі металевих провідників) середовища;

– по суто волоконно-оптичним каналам [1—3] (на основі багатомодових спеціалізованих волокон), у яких забезпечується введення шляхом хвильового мультиплексування WDM [1—3] інформаційної складової на одних довжинах хвиль, та енергетичної (у вигляді оптичного потоку високої густини) на інших довжинах хвиль. Але порівняно з попередніми у цих інформаційно-енергетичних каналах виникає ряд суттєвих труднощів, пов'язаних в першу чергу з коефіцієнтом корисної дії (ККД) енергетичної передачі, зниженням швидкості інформаційної передачі (завдяки використанню багатомодового волокна) та підвищенням економічної вартості апаратного устаткування. Не зважаючи на це, представляється актуальним використання волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних каналів для вирішення проблем гальванічної розв'язки складових мереж, використання таких каналів в умовах критичності до виникнення електричних розрядів, іскр та необхідності зменшення ваги ліній передачі.

Умови стабільної роботи геоінформаційно-енергетичних мереж

Під час реалізації інформаційно-енергетичного обміну у геоінформаційно-енергетичних мережах постають такі проблеми як необхідність забезпечення як проміжних, так і кінцевих ланок і вузлів визначеними мінімальними рівнями інформаційної та енергетичної складових, що в принципі визначає умову стабільного функціонування всієї мережі.

Умова стабільної роботи ГІЕМ в загальному випадку визначається умовами стабільності інформаційного (2) та енергетичного (1) балансу [2, 3] в цих мережах. Допустимі межі для енергетичного трафіку мережі можна визначити через співвідношення

$$P_{ЗАГ} \geq \sum_{i=1}^J P_{ОД\max} + P_{ВТР} + P_{рез}, \quad (1)$$

де $P_{ЗАГ}$ — загальна потужність, що надходить у мережу; $P_{ОД\max}$ — значення максимальної

потужності, яку може спожити один споживач; $P_{\text{втр}}$ — величина всіх втрат потужності в каналах системи та у її вузлах; $P_{\text{рез}}$ — значення запасу потужності, яка зарезервована на майбутніх користувачів та іншого кінцевого обладнання, і визначає ступінь потенційної енергетичної масштабності (потенційної нарощуваності) мережі.

Основним критерієм стабільного функціонування для енергетичної складової ГІЕМ буде достатній рівень загальної потужності $P_{\text{ЗАГ}}$ при введенні її в мережу.

Допустимі межі для інформаційного балансу в загальному випадку можна визначити через співвідношення

$$B_{\text{ЗАГ}} \geq \sum_{i=1}^J B_{\text{ОД}} + B_{\text{РЕЗ}}; \quad B_{\text{МАГ}} \geq \sum_{j=1}^Q B_{\text{ОДМАГ}}, \quad (2)$$

де $B_{\text{ЗАГ}}$ — пропускна спроможність всієї мережі; $B_{\text{ОД}}$ — пропускна спроможність одиначної ланки мережі; $B_{\text{РЕЗ}}$ — зарезервована пропускна спроможність ГІЕМ; $B_{\text{МАГ}}$ — пропускна спроможність магістрального вузла ГІЕМ; $B_{\text{ОДМАГ}}$ — пропускна спроможність будь-якої одиначної ланки, що підключена до магістрального вузла мережі; J — кількість всіх одиначних ланок мережі; Q — кількість одиначних ланок, які підключені до одного магістрального вузла.

Стабільність функціонування ГІЕМ по інформаційній складовій гарантується достатньою величиною пропускної спроможності (трафіку), як всієї мережі в цілому, так і окремих магістральних її ланок. У будь-якому випадку загальна величина пропускної спроможності повинна бути не меншою за суму трафіку кожного з одиначних вузлів.

Розглядаючи будь-яку систему енергозабезпечення, доцільним є визначення верхньої та нижньої границь величин енергетичної потужності, при якій ця система буде надійно працювати. Для каналів геоінформаційно-енергетичних мереж дані границі можна визначити як нижню $P_{\text{гр. ниж}}$ і верхню $P_{\text{гр. верх}}$ межі потужностей, які вводяться на стороні станції енергозабезпечення. Нижня границя залежить зокрема від n — кількості кінцевих споживачів ГІЕМ та від загальної потужності енергетичних втрат у всіх каналах ГІЕМ $P_{\text{втр. заг.}}$, і наближено може бути визначена, як $P_{\text{гр. ниж}} \approx n \cdot P_{\text{макс. од. спож.}} + P_{\text{втр. заг.}}$. Верхня границя визначається виключно граничною потужністю, яку спроможні передавати енергопередаючі канали, тобто $P_{\text{гр. верх}} \approx P_{\text{кр. волок.}}$. Аналогічні залежності можна записати для швидкості передачі інформаційної складової $B_{\text{гр. ниж}} \approx n \cdot B_{\text{макс. од. спож.}} + B_{\text{рез. заг.}}$, де $B_{\text{гр. ниж}}$ — мінімальна швидкість передачі центрального вузла мережі (наприклад, центра керування мережею); $B_{\text{макс. од. спож.}}$ — максимальна швидкість передачі інформації у кінцеві одиначні ланці (наприклад, у ланці зв'язку кінцевого користувача); $B_{\text{рез. заг.}}$ — зарезервована швидкість передачі мережі (закладається в процесі проектування). Верхня границя максимальної швидкості передачі інформації мережі визначається інформаційною пропускною спроможністю магістральних каналів, тобто $B_{\text{гр. верх}} \approx n_{\text{магістр.}} \cdot B_{\text{гр. маістр.}}$, де $n_{\text{магістр.}}$ — кількість магістральних каналів.

Потужність інформаційного сигналу на вході приймача повинна перевищувати задану мінімально-допустиму потужність $P_{\text{rec. min}}$ для забезпечення мінімального коефіцієнту виникнення помилок BER [4], що є необхідною умовою забезпечення якості передачі інформації. Якщо позначити рівень потужності інформаційного сигналу на вході каналу передачі ГІЕМ через $p_{\text{trans.}}$, отримуємо:

$$p_{\text{trans.}} - a_c - n_p a_p - n_n a_n - aL \geq P_{\text{rec. min}}, \quad (3)$$

де a_c — втрати введення/виведення випромінювання у волоконно-оптичний канал ГІЕМ; a_n, a_p — втрати у роз'ємних і нероз'ємних з'єднувачах; n_n, n_p — кількості роз'ємних і нероз'ємних з'єднувачів відповідно; L — довжина регенераційної ділянки; a — волоконні втрати випромінювання (власні та інші втрати, що виникають у оптичному волокні).

Вираз (3) є спеціалізованим критерієм стабільного функціонування одиначного волоконно-оптичного інформаційного інформаційно-енергетичного (ІЕ) каналу. З даного співвідношення можна визначити важливий параметр Q , який характеризує допустимий потенціал потужності випромінювання на фотоприймальному кінці кінцевого обладнання. У літературі [4] він отримав назву — енергетичний потенціал апаратури, і описується такою нерівністю [4]:

$$aL + n_p a_p + n_n a_n \leq Q. \quad (4)$$

Але специфіка даної роботи, яка передбачає розгляд інформаційної і енергетичної складових в єдиному, спільному інформаційно-енергетичному полі не дозволяє визначити параметр Q як суто енергетично характеризуючий. Тому доречним буде введення поняття для Q — енергетичний потенціал інформаційної складової ІЕ волоконно-оптичного каналу.

Аналогічно вищеприведеним залежностям (3), (4) для енергетичної складової одиничного ІЕ каналу, можна записати:

$$P_{pow.transm.} - a_{c.pow.} - n_p a_{p.pow.} - n_n a_{n.pow.} - aL_{Pow.} \geq P_{pow.rec. min.}, \quad (5)$$

де $P_{pow.transm.}$ — передавальна енергетична потужність на передавальному тракці; $P_{pow.rec. min.}$ — мінімально-допустима приймальна енергетична потужність на приймальному тракці одиничного ІЕ каналу; $a_{c.pow.}$ — втрати введення/виведення енергетичного каналу; $a_{n.pow.}$, $a_{p.pow.}$ — втрати для випромінювання енергетичного каналу у роз'ємних і нероз'ємних з'єднувачах; $L_{Pow.}$ — довжина ділянки енергетичного зв'язку.

Для енергетичного волоконно-оптичного каналу параметри втрат є більш критичними, оскільки коефіцієнт передачі, який визначається відношенням прийнятої до переданої оптичних потужностей є основним критерієм, що визначає ефективність роботи такого волоконно-оптичного каналу. Тому значення $a_{c.pow.}$, $a_{n.pow.}$, $a_{p.pow.}$ та власних волоконних втрат a повинні бути найменшими. Якщо для інформаційних каналів коефіцієнт передачі може бути незначним (порядку 0,001 %), і такий інформаційний оптичний сигнал можна детектувати фотоприймачами високої чутливості (наприклад, лавинним APD чи *p-i-n* фотоприймачем [4]) і в подальшому відновлювати підсилювачами і регенераційними трактами, то енергетичну величину на виході енергетичного фотоприймального тракту, призначену для живлення кінцевого обладнання необхідно передати максимально наближеною до тої, яка поступила в канал на вході.

Для енергетичного потенціалу енергетичної складової ІЕ каналу, аналогічно залежності (5), що визначає інформаційний можна записати таку залежність:

$$aL_{Pow.} + n_p a_{p.pow.} + n_n a_{n.pow.} \leq Q_{Pow.} \quad (6)$$

Залежність (6) є спеціалізованим критерієм стабільного функціонування одиничного волоконно-оптичного інформаційно-енергетичного (ІЕ) каналу.

Енергетичний потенціал енергетичної складової ІЕ $Q_{Pow.}$, на відміну від інформаційної характеризує мінімально допустимий рівень оптичної потужності призначеної для живлення потужності кінцевого обладнання на приймальному кінці каналу ГІЕМ.

Висновки

Крім загальних та спеціалізованих критеріїв стабільності функціонування ГІЕМ, визначених у цій роботі, велике значення відіграють такі показники, як надійність апаратних і програмних засобів ГІЕМ, вплив зовнішніх умов на їх роботу. Ці показники визначаються індивідуально в кожному конкретному випадку реалізації топології ГІЕМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. № 33189 України (UA), МПК H04N7/00. Оптична геоінформаційно-енергетична мережа на основі шинної топології / Кожем'яко В. П., Маліновський В.І.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. — № 2008131736/08; заявл. 18.02.08; опубл. 10.06.08, Бюл. № 11, 2008 р.
2. Маліновський В. І. 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. 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.
4. Андрушко Л. М.. Волоконно-оптические линии связи / Л. М. Андрушко, И. И. Гроднев, И. П. Панфилов. — М.: Радио и связь, 1984. — 135 с.

Рекомендована кафедрою автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки

Надійшла до редакції 21.10.08
Рекомендована до друку 20.11.08

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

Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет