

УДК 621.391

Ю.С. Чегодаєва

Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОЛІТОНОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

У статті вирішується задача визначення напрямків збільшення швидкості передачі даних в системах синхронної цифрової ієрархії передачі SDH по волоконно-оптичним лініям зв'язку за допомогою солітонової мережі зв'язку. Здійснено аналіз фізичних умов розповсюдження сигналів.

Ключові слова: солітонові мережі зв'язку, SDH, PDH, пропускна здатність, солітоновий ефект.

Вступ

Постановка проблеми. У сучасному світі, більшість людей не представляють життя без глобальної мережі «Інтернет» і цифрового телебачення, зараз здійснюється впровадження мережі «Інтернет» для абонентів, що підключені до залізничних мереж зв'язку, а в майбутньому планується впровадження новітніх технологій зв'язку для забезпечення швидкісного руху поїздів, це потребує збільшення швидкості передачі даних від STM-4 до STM більшого рівня, тому що вже зараз спостерігається нестача трафіку для забезпечення необхідного резервування та нормального функціонування мережі зв'язку. Гонка передових провайдерів приводить до здешевлення даної послуги, що призводить до зросту споживчої спроможності абонентів, з кожним удень зростає потреба у високих швидкостях передачі даних у мережах зв'язку на більші відстані, а також виникає необхідність постійно її збільшувати. Однією з перспективних технологій високошвидкісного й наддалекого зв'язку вважається передача даних за допомогою солітонів.

Аналіз літератури. У закордонній і вітчизняній літературі [1 – 4] розглядаються принципи солітонів, їх фізичні властивості та можливість застосування властивостей солітонної передачі даних на мережах волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Метою статті є аналіз принципів побудови сучасних мереж зв'язку з тимчасовим поділом каналів: опис SDH, PDH мереж зв'язку. Дослідження фізичних властивостей і принципів функціонування солітонових мереж зв'язку. На основі проведеного аналізу робимо висновки.

Основний матеріал

Ієрархії PDH і SDH взаємодіють через процедури мультиплексування й демultipлексування потоків PDH у системи SDH. Основною відмінністю системи SDH від системи PDH є перехід на новий принцип мультиплексування. Система PDH використовує принцип плезиохронного (або майже синхронного) мультиплексування, наприклад, чотирьох потоків E1 (2048 кбит/с) в один потік E2 (8448 кбит/с) виробляється процедура вирівнювання тактових частот прихожих сигналів методом стаффінгу.

У результаті при демultipлексуванні необхідно робити покроковий процес відновлення вихідних каналів. Наприклад, у вторинних мережах цифрових телефонних лініях зв'язку, найпоширеніш використання потоку E1. При передачі цього потоку по мережі PDH у тракці E3 необхідно спочатку провести покрокове мультиплексування E1 - E2 - E3, а потім - покрокове демultipлексування E3-E2-E1 у пункті виділення каналу E1 це дуже незручно та дорого. Ці проблеми було вирішено в системах зв'язку SDH.

У системі SDH виробляється синхронне мультиплексування/демultipлексування, що дозволяє організувати безпосередній доступ до каналів PDH, які передаються в мережі SDH. Це досить важливе й просте нововведення в технології привело до того, що в цілому технологія мультиплексування в мережі SDH набагато складніше, ніж технологія в мережі PDH, підсилилися вимоги по синхронізації й параметрах якості середовища передачі й системи передачі, а також збільшилася кількість параметрів, істотних для роботи мережі. Як наслідок, методи експлуатації й технологія вимірів SDH набагато складніше аналогічних для PDH. Швидкості технології SDH постійно зростають тому необхідно впроваджувати новітні системи передачі інформації, наприклад таких як «Солітонні мережі передачі інформації».

Солітон – це особливий вид світлового імпульсу, що при поширенні в певному середовищі, і зокрема – оптичному волокні, зберігає свою форму. При посиленні солітона через рівні відстані, теоретично він може поширюватися як завгодно далеко. Це пов'язане з тим, що показник переломлення середовища, у якій поширюється солітон, має невелику добавку, що квадратично залежить від потужності сигналу. При малих потужностях сигналу цією добавкою можна знехтувати. Однак при поширенні солітона, що представляє собою хвильовий пакет великої потужності, нелінійні явища й хроматична дисперсія за певних розумів можуть компенсувати зміни форми солітона. При цьому солітон має виняткову стабільність параметрів поширення й стійкістю до зовнішніх збурювань. Незважаючи на ті, що дальність поширення солітонів і обмежена загасанням сигналу у волокні, ця технологія може успішно застосовуватися для передачі сигналів великої потужності на більші відстані.

Тимчасові ефекти самовпливу (самоствиску) оптичних імпульсів обумовлені нелінійною добавкою до показника переломлення:

$$\delta_n = \bar{n} \cdot I_{\text{еф}}, \quad (1)$$

де \bar{n}_2 – коефіцієнт нелінійності (у кварцевих світловодах, $\bar{n}_2 = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{Вт}$); $I_{\text{еф}}$ – ефективне значення інтенсивності визначається відношенням пікової потужності імпульсу P_0 до ефективності площі моди $S_{\text{еф}}$,:

$$I_{\text{еф}} = P_0 / S_{\text{еф}}. \quad (2)$$

При поширенні імпульсу на відстань z його величина здобуває додатковий фазовий набіг:

$$\delta_\varphi = k \cdot n_2 \cdot I_{\text{еф}}^z, \quad (3)$$

де k – хвильове число, отже, добавка до несучої частоти, що залежить від часу та складає:

$$\delta_\omega = \partial(\delta\varphi) / \partial t, \quad (4)$$

У результаті фазової самомодуляції наростає несуча частота від фронту імпульсу до його хвоста, тобто відбувається частотна модуляція. Для швидкості частотної модуляції $\alpha_{\text{фз}} = \partial(\delta\omega) / \partial t$ справедлива оцінка:

$$\alpha_{\text{фз}} \approx k \cdot \bar{n}_2 \cdot I_{\text{еф}}^z / 2 \cdot \tau_0^2, \quad (5)$$

де τ_0 – тривалість імпульсу.

Інший конкуруючий процес – дисперсійне розпливання імпульсу виникає у наслідку дисперсії групової швидкості, що характеризується величиною:

$$k_z = \partial^2 k / \partial \omega^2. \quad (6)$$

Спектрально-обмежений імпульс здобуває частотну модуляцію, швидкість якої α_∂ залежить від пройденної відстані z :

$$\alpha_\partial = 2 \cdot z \cdot k_z^{-1} / (z^2 + L_\partial^2), \quad (7)$$

де $L_\partial = \tau_0^2 / |k_z|$ – дисперсійна довжина. У спектральному діапазоні, що відповідає аномальній дисперсії групової швидкості ($k_z < 0$, $\lambda > 1,3 \text{ мкм}$), частота імпульсу зменшується від фронту імпульсу до хвосту.

Із умови балансу конкуруючих процесів $\alpha_\partial + \alpha_{\text{фз}} = 0$ при проходженні імпульсом відстані $z \ll L_\partial$ можна оцінити критичну потужність, при якій формуються солітони:

$$P_{\text{кр}} = k_z \cdot S_{\text{еф}} / (k \cdot \bar{n}_2 \cdot \tau_0^2), \quad (8)$$

Основою для адекватного математичного опису процесів формування й взаємодії пікосекундного діапазону тривалості є нелінійне рівняння Шрьодінгера, котрому задовольняє комплексна амплітуда поля $q(\xi, \tau)$, що обгинає солітоновий імпульс:

$$q = \text{sech}(\tau) \exp(-i\xi/2), \quad (9)$$

де ξ – відстань, нормована на дисперсійну довжину L_∂ ; i – групова швидкість; τ – час, що біжить, но-

рмований на початкову тривалість імпульсу:

$$\tau = (t - z/u) / \tau_0^2, \quad (10)$$

Нелінійне рівняння Шрьодінгера належить до класу інтегровальних нелінійних рівнянь і вирішується зворотнім завданням методу розсіювання. Якщо потужність спектрально-обмеженого імпульсу перевищує критичну, то його асимптотичне поведіння визначається солітоною складовою, амплітуда несолітоновій частини рішення убуває.

Важливим класом рішень, що обчислюються аналітично, нелінійного рівняння Шрьодінгера є N -Солітонові імпульси, що відповідають початковим умовам виду:

$$q(0, \tau) = N \text{sech} \tau, \quad (11)$$

де N – ціле число. Вони являють собою нелінійну суперпозицію N рухомих з однаковою швидкістю солітонів з амплітудами:

$$q_m = (2m - 1), \quad (12)$$

де $m = 1, 2, \dots, N$.

Важливі особливості N -Солітонових імпульсів полягають у тому, що їхнє поширення починається із самоствиску (рис. 1), а модуль комплексної амплітуди періодичний по ξ за періодом $\pi/2$.

Закономірності формування й поширення односолітонових і N -Солітонових імпульсів були підтверджені експериментами Л. Молленауера (L. Mollenauer), Р. Х. Столена (R. H. Stolen) і В. Гордона (W. Gordon). У цих досвідах за допомогою ретельно сформованих пікосекундних імпульсів лазера, що накачується синхронно, на центрах фарбування (1,5 мкм; повна тривалість імпульсу по напіввисоті 7 пкс/Вт) удалося спостерігати односолітонові й N -Солітонові імпульси для $N/4$. Успішні експерименти із солітонами стимулювали їхнє застосування у волоконно-оптичних лініях зв'язку для надшвидкісної передачі інформації, у техніку формування імпульсів фемтосекундної тривалості, у спектроскопії швидкіснопротікаючих процесів і привели до створення солітонових лазерів.

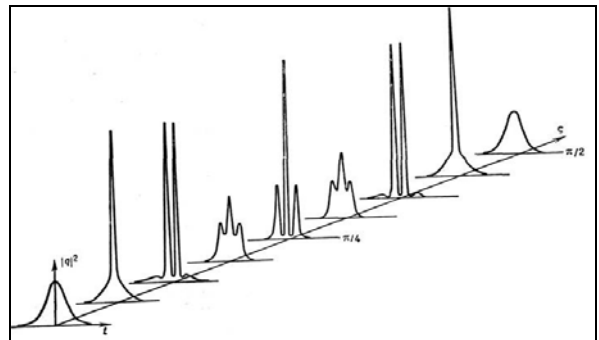


Рис. 1. Самостиск N -солітонового імпульсу при нерезонансному самовпливі у волоконному світловоді ($N = 4$)

Теоретично й експериментально досліджений

вплив різних факторів, що обурюють (оптичні втрати, дисперсія вищих порядків, інерційність нелінійного відгуку, збурювання форми вхідного імпульсу й параметрів світловода) поширення піко і фемтосекундних солітонів і на їхню взаємодію. Показано можливість компенсації оптичних втрат за рахунок комбінації посилення, що дозволяє реалізувати передачу солітонів на відстані до 50 км.

Поширення потужних когерентних імпульсів світла в резонансно-поглинаючих середовищах також супроводжується солітоновими ефектами. Якщо тривалість імпульсу t_0 істотно менше часів релаксації T_1 і загасання вільної поляризації T_2 , то в результаті поглинання протягом 1-ої половини імпульсу й наступного посилення протягом 2-ої половини імпульсу формується стаціонарний хвильовий пакет, що проникає в середовище на відстань, що істотно перевищує довжину лінійного поглинання. Математичний опис цього процесу ґрунтується на системі рівнянь Максвелла-Блоха. Для спектрально-обмежених імпульсів основне значення має площа:

$$S(t, z) = \chi \int_{-\infty}^t A(t', z) dt', \quad (13)$$

де $\chi = 2 \cdot d / \hbar$, d – дипольний момент резонансного переходу, \hbar – постійна Планка, $S = 2\pi$ – імпульси із площею що обгинають.

$$A = 2(\chi \tau_0)^{-1} \operatorname{sech}(t / \tau_0), \quad (14)$$

Групова швидкість поширення імпульсу u менше швидкості світла. Характерний час затримки t_3 імпульсу на відстані L пропорційно коефіцієнт лінійного поглинання δ :

$$t_3 = L(u^{-1} - c^{-1}). \quad (15)$$

Якщо площа вихідного імпульсу перевищує 2π в N раз, то в процесі поширення він розбивається на послідовність N імпульсів з різною тривалістю, амплітудами й швидкостями (рис. 2).

Солітонові ефекти проявляються при взаємодії хвильових пакетів з різними несучими частотами в середовищах із квадратичною нелінійністю. У цьому випадку стаціонарний імпульс формується в результаті балансу процесів енергообміну й розстроювання групових швидкостей. Теоретично показана можли-

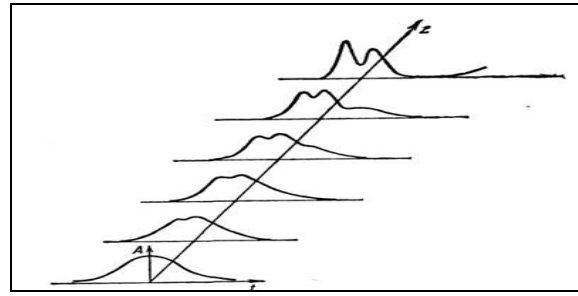


Рис. 2. Розбивка імпульсу на три імпульси при резонансному самовпливі

вість формування солітону, при змушеному комбінуванні розсіюванні світла і в процесі змушеного розсіювання Манделштама-Брилюєна, однак експериментально вони не спостерігалися через ряд твердих вимог на параметри випромінювання й середовища.

Висновки

Технологія SDH є найбільш розповсюдженою технологією передачі даних, вона дозволяє задовольнити передачу різноманітних стандартів передачі даних (PDH, Ethernet, та ін.) у межах глобальної єдиної мережі, що дозволяє передавати необхідну інформацію на різні відстані та забезпечувати необхідний рівень резервування даних, що є важливим на залізничному транспорті, де якісний зв'язок це безпека пасажирів та вантажів. Але постійне зростання швидкості передачі даних потребує впровадження солітонних мереж зв'язку, що теоретично дозволяють передавати інформацію зі швидкістю до STM-4096.

Список літератури

1. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики / И.Р. Шен. – М.: Наука, 1989. – 474 с.
2. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-Оптичні мережі / Р.Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 267 с.
3. Агравал М. Нелінійна волоконна оптика / М. Агравал. – М.: МІП, 1996. – 104 с.
4. Солитоны // Фіз. енциклопедія. –Т 4, 1994. – С. 571.

Надійшла до редколегії 24.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Альошин, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків.

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЛИТОНОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Ю.С. Чегодаева

В статье решается задача определения направлений повышения скорости передачи данных в системах передачи синхронной цифровой иерархии SDH по волоконно-оптическим линиям связи посредством применения солитоновых сетей связи. Осуществлен анализ физических условий распространения сигналов.

Ключевые слова: солитоновые сети связи, SDH, PDH, пропускная способность, солитонный эффект.

PRINCIPLES OF PERFORMANCE SOLITON OF TRANSMISSION NETWORKS

Y.S. Chegodaeva

The problem is solved of determination of directions of boosting of bit rate in transmission systems of the synchronous digital hierarchy SDH on fiber-optic links of communication by means of application soliton transmission networks in article. The analysis of physical propagation conditions of signals is carried out.

Keywords: soliton transmission networks, SDH, PDH, transmission capacity, soliton effect.