

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ OLS

© Кайдан М. В., Андрущак В. С., Думич С. С., Пашкевич В. З., 2016

Викладено основні принципи роботи транспортної технології OLS. Особливу увагу зосереджено на двох режимах передавання даних – коли корисне навантаження передається з пакетом-заголовком (міткою) у спільних або різних оптичних каналах. Досліджено основні проблеми розвитку технології OLS і встановлено, що одним із вузьких місць цієї технології є використання оптичних буферів. Крім того, існують проблеми визначення розміру транспортного модуля технології OLS, синхронізації транспортного модуля і мітки, архітектури проміжного вузла такої оптичної транспортної мережі.

Ключові слова: оптична транспортна мережа, OLS, режими передавання даних, оптична мітка, оптичний комутатор, якість обслуговування.

M. Kaidan, V. Andrushchak, S. Dumych, V. Pashkevych
Lviv Polytechnic National University

THE STUDY OF DEPLOYMENT BASICS OF OLS-BASED BACKHAUL NETWORKS

© Kaidan M., Andrushchak V., Dumych S., Pashkevych V., 2016

Unified network platform to support voice, data and multimedia applications is attractive for optical level. Optical packet switching (OPS) provides a platform where the only transport data unit for all type of traffic will be package. On the other hand, quality of service (QoS), class of service (CoS) and the type of service (ToS) required for the future of the Internet more elaborated and more powerful control plane. Optical switching labels (OLS) supports OPS, optical flow switching (OFS) and optical burst switching (OBS) with full interoperability of QoS, CoS and ToS.

In paper presented basic principles of the technology OLS where attention was focused on the rules of processing optical labels. Described in detail the principles of data transmission in optical transport networks with technology OLS, namely data transmission modes where the payload with label are transmitted in common and different optical channels. Investigated bottlenecks of each mode of data transmission, where established that one such place is the using of optical buffers in intermediate nodes. Presented the simplified structure of the intermediate node for optical transport network technology OLS.

Particular attention in the modes of data transmission was focused the rules of transfer labels between boundary nodes, calculation time between payload and label, data processing at intermediate nodes and the implementation of optical switching. Considered data transfer mode where unnecessary use of optical buffers.

Special attention is focused on the existing problems of technology OLS, such as determining the size of the transport data unit, content and size of the packet-header (label), the high cost of accurate optical buffers, absence of algorithms for accurate synchronization label and transport data unit, design architecture intermediate node and optical switch.

Key words: optical transport network, OLS, data transfer modes, optical label, optical switch, quality of service.

Вступ

Телекомунікаційні мережі швидко змінюються і щоразу ставляться нові вимоги. Мережі повинні бути здатні підтримувати експоненціальне зростання трафіку з відповідною маштабованістю, продуктивністю і низьким енергетичним споживанням. Крім того, нові мережеві застосування потребують високого ступеня захисту, ефективності використання мережевих ресурсів і якості обслуговування. Єдина мережева платформа в підтримці голосу, даних і мультимедійних застосувань приваблива на оптичному рівні. Оптична комутація пакетів (Optical packet switching – OPS) забезпечує платформу, в якій єдиним транспортним блоком даних для трафіку всіх видів сервісів буде пакет. З іншого боку, якість обслуговування (Quality of Service – QoS), клас обслуговування (Class of Service) і тип обслуговування (Type of Service – ToS) вимагають для майбутнього Інтернету детальніше розробленої та потужнішої площини управління. Оптична комутація міток [1] (Optical-label switching – OLS) підтримує OPS, оптичну комутацію потоків (Optical flow switching – OFS) й оптичну комутацію блоків (Optical burst switching – OBS) з повною функціональною сумісністю QoS, CoS і ToS [2].

1. Принципи роботи технології OLS

В OLS є два ключові об'єкти передавання даних – корисне навантаження і мітка. Оптична мітка являє собою маркований пакет із адресною інформацією, яка передається так само, як корисне навантаження по оптичній лінії різними методами. Корисне навантаження передається на оптичному рівні без здійснення оптоелектронного перетворення. Оптична мітка містить в собі службову інформацію про маршрутизацію цього оптичного блока даних, яка конвертується в електричний сигнал, тим самим надаючи необхідну службову інформацію для забезпечення високошвидкісної оптичної комутації. Водночас генерується нова мітка і передається до наступного комутаційного вузла. Оптичні комутаційні технології ґрунтуються на описаному вище принципові комутації оптичних міток.

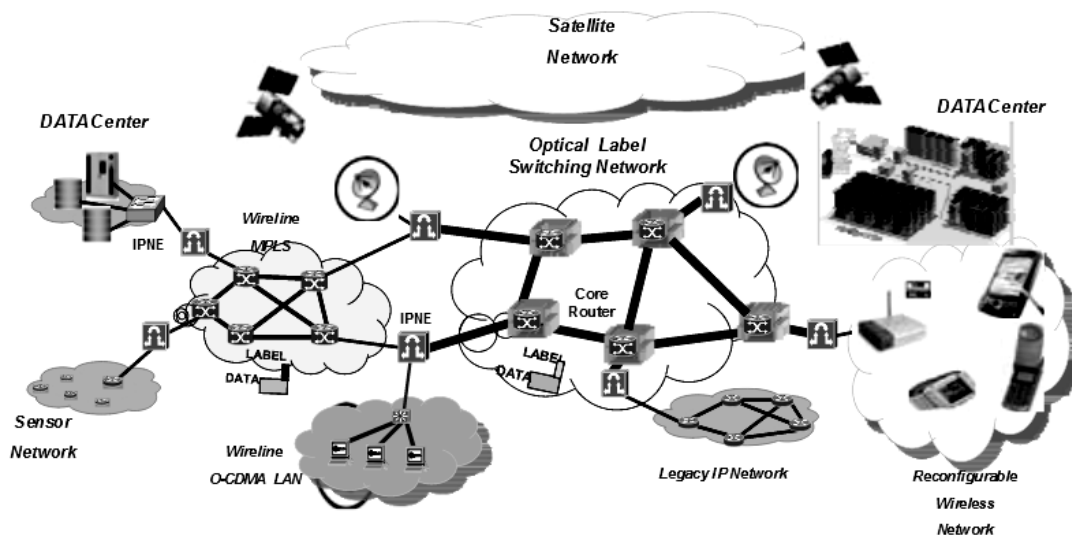


Рис. 1. Майбутні телекомунікаційні мережі разом з OLS, бездротовими технологіями, сенсорними мережами і хмарними обчисленнями

В OLS оптичний блок даних являє собою корисне навантаження і заголовок – мітки, який містить в собі всю службову (зокрема адресну) інформацію. На проміжному вузлі лише мітка (оптичний заголовок блока даних) обробляється для визначення вузла одержувача, вихідного оптичного порта і каналу відповідно до контенту оптичного заголовка. Корисне навантаження передається безпосередньо на оптичному рівні без застосування оптоелектронного перетворення.

Спільнота науковців здійснила багато досліджень оптичної комутації – реалізації оптичної мітки. Тому останнім часом сформувались два основні механізми для передавання оптичних міток – мітка передається в оптичному каналі із корисним навантаженням і мітка передається в окремому оптичному каналі.

2. Проблеми розвитку технології OLS

З урахуванням двох режимів передачі даних постає низка проблем, які необхідно вирішити перед розробленням цієї технології:

- яким повинен бути розмір транспортного модуля, оскільки цей параметр істотно впливатиме на параметри QoS;
- яку інформацію повинна нести в собі мітка, щоб проміжний вузол міг швидко її обробити і забезпечити безпомилковість комутації оптичних каналів;
- дослідити і розробити доволі прості й дешеві оптичні буфери, оскільки з переходом до технології OLS їх значення в транспортних мережах суттєво зросте;
- забезпечення чіткої синхронізації. Тобто потрібен набір алгоритмів, який би уможливив чітку належність мітки певному транспортному модулю у будь-якому режимі передачі даних;
- розробити і дослідити два режими передачі даних, встановити їхні переваги і недоліки, вузькі місця, а також подальші можливі концепції їхнього розвитку;
- для забезпечення оптичної комутації на проміжних вузлах необхідно визначити робочі швидкості передачі даних, а також спроектувати модель робочого проміжного вузла транспортної оптичної мережі, зокрема оптичного комутатора.

3. Режими передачі даних технології OLS

Режим передачі даних, коли корисне навантаження і службові дані передаються в одному каналі зв'язку.

На рис. 2 представлено досліджувану мережу, а також узагальнену структуру роботи цього режиму передачі даних. Граничний вузол транспортної мережі групує клієнтське навантаження, яке надходить із мереж доступу. Ці дані групуються у транспортні модулі технології OLS (проте, як зазначено вище, технологія OLS готова інкапсулювати дані із інших транспортних технологій – OBS, OPS, OFS). Звідси впливає одна із проблем OLS – який повинен бути розмір транспортного модуля, що буде досліджено в наступних роботах.

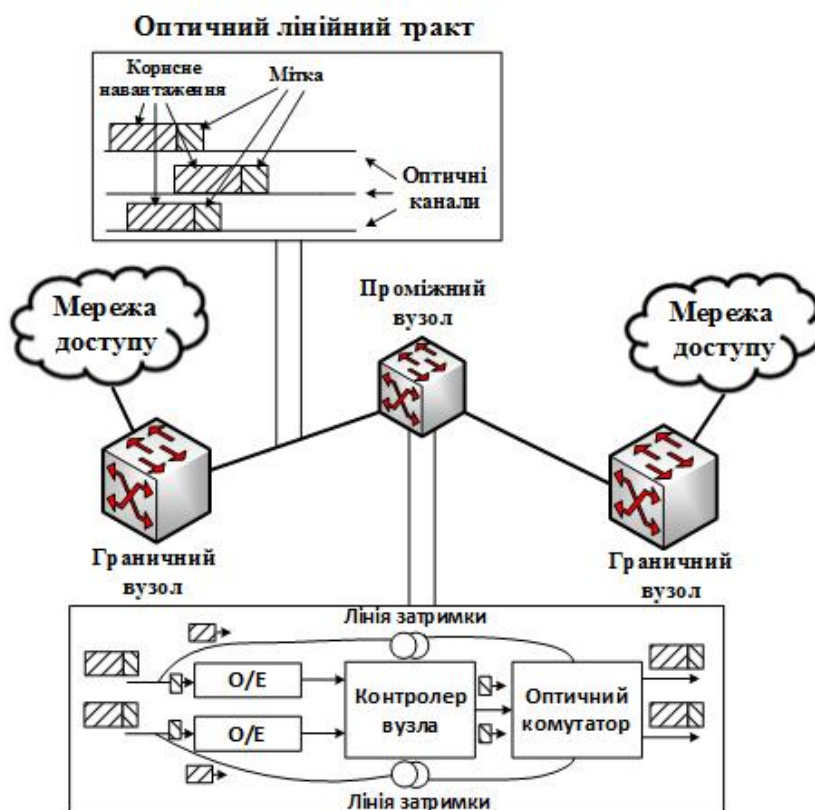


Рис. 2. Оптична транспортна мережа із використанням технології OLS для передавання корисного навантаження і службових даних в одному каналі

Далі до транспортного модуля додається пакет-заголовок – оптична мітка, яка містить всю службову інформацію (зокрема адресну інформацію) про цей блок даних. Після прикріплення мітки і перетворення транспортного модуля в оптичну форму блок передається по оптичному лінійному тракту до наступного вузла. Наступний крок – важливо на проміжному чи кінцевому вузлі відділити мітку від корисного навантаження. В роботі [3] розглянуто випадок, коли мітці виділяється 10 % оптичної потужності від сумарного транспортного модуля, а 90 % на корисне навантаження. Тобто якщо тривалість передачі транспортного модуля становить t , то протягом часу $0,1t$ передається мітка. Відповідно приймач проміжного вузла розпізнає початок мітки, відраховує необхідний час для її приймання і відсікає від неї корисне навантаження, яке потрапляє в лінію затримки на час обробки мітки. Мітка перетворюється на електричний сигнал і з неї отримується адресна інформація про маршрут цього транспортного модуля. На основі цих даних транспортному модулю присвоюється нова мітка, яку використає наступний вузол, а стара мітка буде видалена. Нова мітка перетворюється на оптичний пакет-заголовок і додається до відповідного транспортного модуля, де останній перебував у оптичному буфері на час оброблення мітки. На основі службових даних зі старої мітки контролер вузла приймає рішення і відсилає сигнал управління до оптичного комутатора, щоб останній скомутував цей блок даних у відповідний вихідний порт.

Одним із недоліків цього режиму передавання даних є використання оптичних буферів на проміжних вузлах. Як зазначено вище, використання оптичних буферів зумовлене необхідною затримкою корисного навантаження на час обробки мітки цього блока. Використання оптичних буферів у вузлах суттєво збільшує капітальні витрати оператора мережі, оскільки вартість цих буферів, а особливо точних буферів, значна [4–6]. Крім того, з теорії надійності систем, збільшення кількості елементів пристрою призводить до зменшення його надійності.

Режим передавання даних, коли корисне навантаження і службові дані передаються в різних каналах зв'язку.

На рис. 3 подано досліджувану мережу, а також узагальнену структуру роботи цього режиму передавання даних.

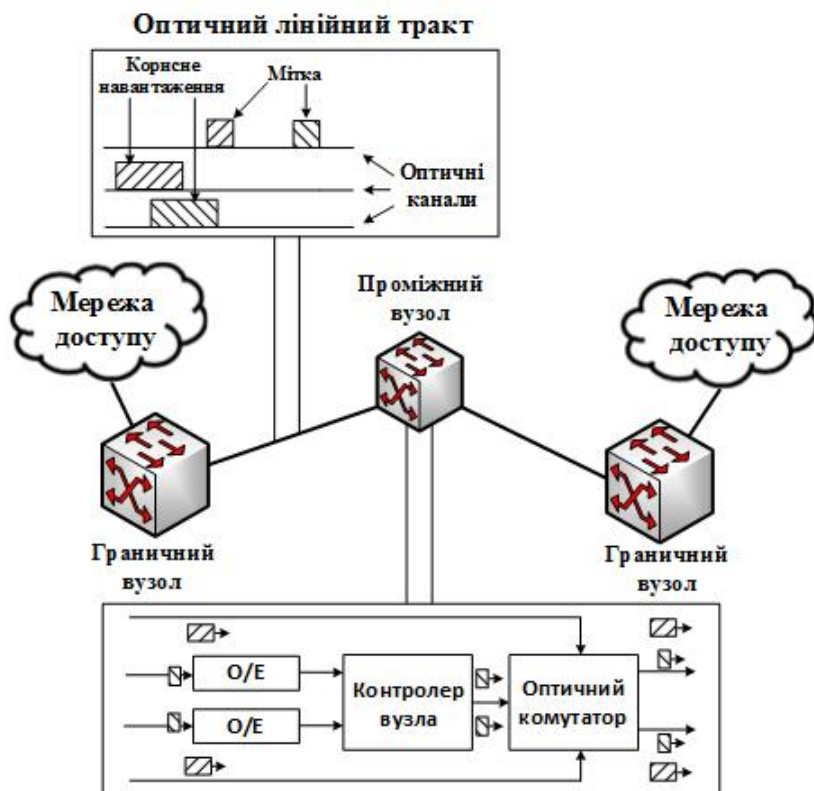


Рис. 3. Оптична транспортна мережа із використанням технології OLS для передавання корисного навантаження і службових даних у різних каналах

Після агрегації даних граничним вузлом і формування транспортного модуля вузол формує мітку і відсилає її до наступного вузла. В цьому випадку мітка передається по окремому службовому каналу зв'язку, а транспортний модуль із корисним навантаженням відправляється до наступного вузла із часовою затримкою T стосовно її мітки. Це роблять, щоб наступний вузол за певний час зміг обробити мітку і на основі цих даних скомутувати транспортний модуль із корисним навантаженням у необхідний вихідний порт. Тобто суттєвою перевагою цього методу є відсутність оптичних буферів.

Проте забезпечення цього режиму передавання даних вимагає розрахунку часу різниці між передавання мітки і корисного навантаження. Тобто в цьому випадку зростає ймовірність втрат блоків даних за рахунок помилок розрахунку часу T і зменшується ефективність використання оптичних ресурсів за рахунок додаткових захисних часових інтервалів між транспортними модулями корисного навантаження.

4. Розроблення режиму передавання даних, коли корисне навантаження і мітка передаються в різних оптичних каналах

Спочатку формується транспортний модуль корисного навантаження, де всі внутрішні блоки PDU прямують до спільного вузла-одержувача. Після цього відбувається формування заголовка-пакета (мітки) для цього блока. Ця мітка містить адресну інформацію, часові інтервали для здійснення комутації на проміжних вузлах, вказівник на часовий інтервал першого проміжного вузла.

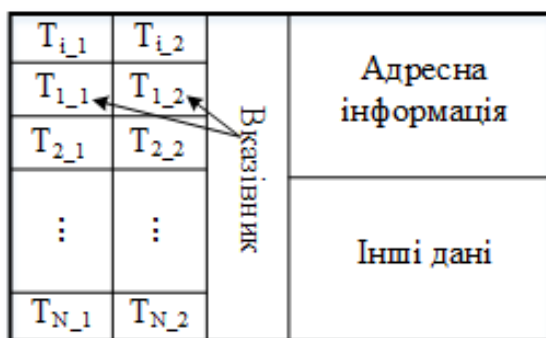


Рис. 4. Узагальнена структура мітки

Як зазначено вище (див. *Режим передавання даних, коли корисне навантаження і службові дані передаються в різних каналах зв'язку*), мітка передається в оптичний тракт з певним часом випередження T . Це визначають у такий спосіб:

1. Визначається шлях, яким буде передаватись корисне і службове навантаження.
2. Формується сумарний час випередження мітки як сума середніх часів обробки цієї мітки

на кожному вузлі шляху $T = \sum_{i=0}^N t_{int_node} + t_{reserve}$ де N – кількість проміжних вузлів, t_{int_node} – середній час обробки мітки на i -му проміжному вузлі, $t_{reserve}$ – часовий резерв.

3. У мітку записуються часи комутації для кожного із проміжних вузлів: 1 пром.вузол – $T_{1,1} = t_{send}$ (час відправлення) + $t_{optLine}$ (час передачі по лінії зв'язку між першим і другим вузлом) – $t_{resNode}$ (резервний час похибки обробки мітки проміжним вузлом: $t_{max} - t_{int_node}$), $T_{1,2} = t_{send}$ (час відправлення) + $t_{optLine}$ (час передачі по лінії зв'язку між першим і другим вузлом) + $t_{resNode}$ (резервний час похибки обробки мітки проміжним вузлом: $t_{max} - t_{int_node}$) + t_{block} (час передачі транспортного модуля по внутрішній лінії зв'язку проміжного вузла); 2 пром. Вузол – $T_{2,1} = T_{1,2} + t_{optLine}$ (час передачі по лінії зв'язку між другим і третім вузлом) – $t_{resNode}$ (резервний час похибки обробки мітки проміжним вузлом: $t_{max} - t_{int_node}$), $T_{1,2} = T_{1,2} + t_{optLine}$ (час передачі по лінії зв'язку між другим і третім вузлом) + ...;

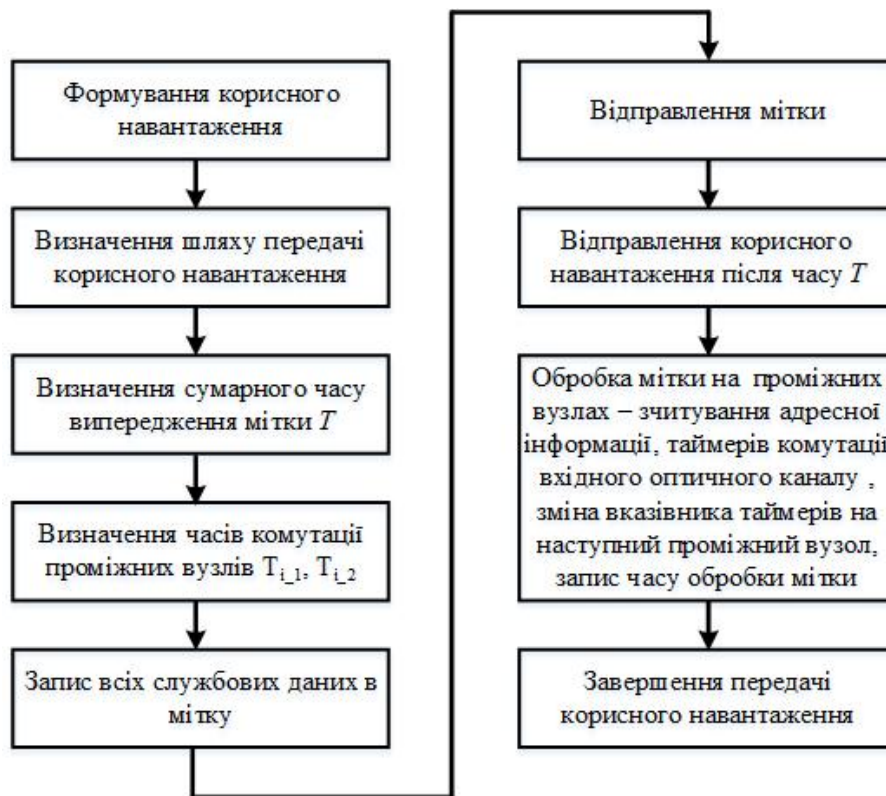


Рис. 5. Узагальнена структура роботи розробленого режиму передавання даних

Після визначення всіх необхідних робочих таймерів у мітку записується адресна інформація і відбувається безпосереднє передавання мітки в оптичний канал із часом випередження T відносно корисного навантаження. Перший проміжний вузол отримує по службовому каналі мітку, зчитує адресну інформацію, визначає необхідний вихідний інтерфейс для цього транспортного модуля. На основі таймерів T_{1-1} і T_{2-2} визначає, протягом якого часу потрібно скомутувати вхідний оптичний канал у відповідний вихідний. Після цього видаляє запис про часи комутації для першого проміжного вузла і на їхнє місце записує дані про час обробки цієї мітки, змінює вказівник таймера на другий вузол і передає її (мітку) по службовому каналу на наступний проміжний вузол. Після обробки мітки на кожному із проміжних вузлів вона міститиме всі дані про час її обробки на кожному із цих вузлів. По зворотних службових каналах ця інформація передається до вузла-ініціатора передавання даних з метою корекції часу випередження мітки.

Висновки

У роботі викладено основні принципи роботи технології OLS, особливу увагу зосереджено на правилах обробки міток. Детально описано принципи роботи передавання даних в оптичних транспортних мережах з технологією OLS, а саме режими передавання даних, у яких корисне навантаження передається з міткою у спільних і різних оптичних каналах. Досліджено вузькі місця кожного із режимів передавання даних і встановлено, що одним таким місцем є використання оптичних буферів у проміжних вузлах. Подано спрощену структуру проміжного вузла для транспортної оптичної мережі з технологією OLS.

Особливу увагу зосереджено на проблемах розвитку технології OLS: визначення розміру транспортного модуля, вміст і розмір пакета заголовка (мітки), висока вартість точних оптичних буферів, відсутність алгоритмів для чіткої синхронізації мітки і транспортного модуля, розроблення архітектури проміжного вузла, зокрема оптичного комутатора.

Розроблено метод передавання даних для технології OLS, коли корисне навантаження і мітка передаються в різних оптичних каналах, щоб уникнути використання оптичних буферів. Представлено послідовність розрахунку часу випередження мітки від корисного навантаження,

вміст мітки, а також спрощений метод роботи проміжного вузла у разі виявлення передачі цього пакета-заголовка.

1. Yoo S. J. B. and Chang G. K. U.S. Patent 6,111,673, 1997. 2. Yoo S. J. B. *Optical-label switching, MPLS, MPLambdaS and GMPLS. Optical Networks Magazine. Vol. 4, 2003. P. 17–31.* 3. *Design and Implementation of Ultra-Low Latency Optical Label Switching for Packet-Switched WDM Networks / B. Meagher, G. K. Chang, G. Ellinas, Y. M. Lin, W. Xin, T. F. Chen, X. Yang, A. Chowdhury, J. Young, S. J. Yoo, C. Lee, M. Z. Iqbal, T. Robe, H. Dai, Y. J. Chen, and W. I. Way. Journal of Lightwave Technology. 2000. Vol. 18. № 12. P. 1978–1987.* 4. *Api technologies corp. Delay lines. URL.: http://micro.apitech.com/delay_lines.aspx* 5. *Thorlabs. 220 mm Optical Delay Line Kit. URL.: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=5521* 6. *Newport. Optical Fiber Delay Lines, Manually Variable. URL.: <https://www.newport.com/f/optical-delay-lines-manually-variable>*

References

1. S. J. B. Yoo and G. K. Chang (1997) *High-throughput Low-Latency Next Generation Internet Networks using Optical-Tag Switching. U.S. Patent 6,111,673.* 2. S. J. B. Yoo (2003) *Optical-label switching, MPLS, MPLambdaS and GMPLS. Optical Networks Magazine, v.4, pp. 17–31.* 3. B. Meagher, G. K. Chang, G. Ellinas, Y. M. Lin, W. Xin, T. F. Chen, X. Yang, A. Chowdhury, J. Young, S. J. Yoo, C. Lee, M. Z. Iqbal, T. Robe, H. Dai, Y. J. Chen, and W. I. Way (2000). *Design and Implementation of Ultra-Low Latency Optical Label Switching for Packet-Switched WDM Networks. Journal of Lightwave Technology. Vol. 18. – № 12. – p. 1978–1987.* 4. *Api technologies corp. Delay lines. Available at: http://micro.apitech.com/delay_lines.aspx* 5. *Thorlabs. 220 mm Optical Delay Line Kit. Available at: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=5521* 6. *Newport. Optical Fiber Delay Lines, Manually Variable. Available at: <https://www.newport.com/f/optical-delay-lines-manually-variable>*