

WIDE BANDWIDTH OPTICAL CABLE

Sterlite Technologies Now Offers A New, Wide Bandwidth Optical Fibre, Which Enables Optical Transmission Even At 1400 Nm. This Provides 33% Increased Capacity Per Fibre, Particularly Useful For Reverse Path Channels In A CATV Network.

Optical fibre is now the medium of choice for transmitting CATV signals. Not only does it provide extremely low loss and a huge channel capacity, it also provides effectively a "Zero Slope" for more than 100 CATV channels transmitted simultaneously. The most popular form of optical cables deployed on CATV networks worldwide is the single mode, glass fibre optical cable.

OPTICAL WINDOWS

Conventional single mode glass fibre offer optical cable has very low attenuation at 2 specific wavelengths viz. 1310 nm and 1550 nm. Even very close to these wavelengths, the optical losses are extremely high. Hence, transmission of optical signals is only possible at 1310 nm, where the optical losses 0.33 dB per kilometer and at 1550 nm where the optical loss is 0.22 dB per kilometer. This is shown in Fig. 1.

Hence,

वाइड बैंडविड्थ ऑप्टिकल केबल

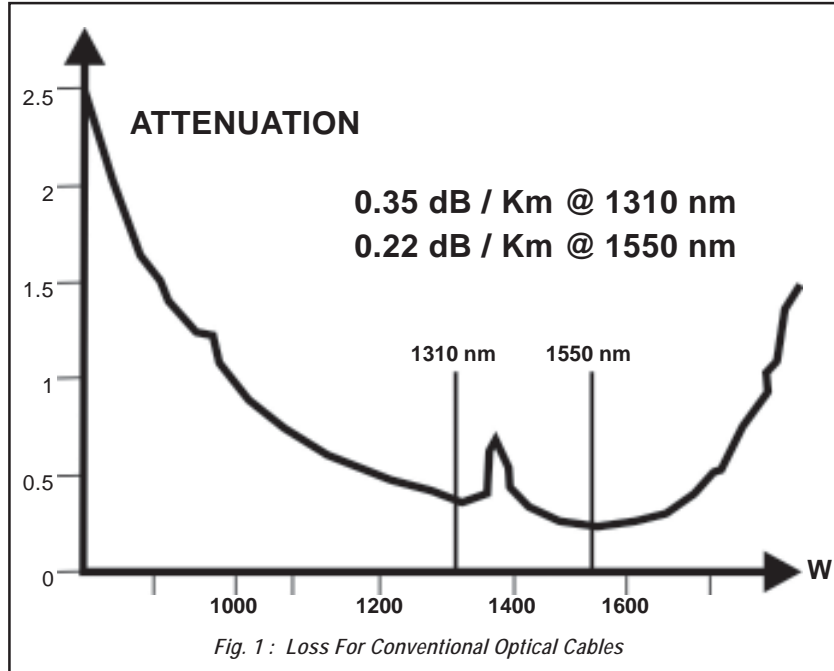
स्टरलाइट टेक्नॉलाजी अब एक नया वाइड बैंडविड्थ ऑप्टिकल फाइबर प्रस्तुत कर रहा है, जो कि १४०० Nm पर भी ऑप्टिकल ट्रांसमिशन को संभव बनाता है। यह प्रति फाइबर क्षमता में ३३ फीसदी की बढ़ोतरी करता है, जो कि सीएटीवी नेटवर्क में रिवर्स पॉथ चैनलों के लिए विशेष रूप से उपयोगी है।

ऑप्टिकल फाइबर अब ट्रांसमीटिंग सीएटीवी सिगनलों के लिए पसंदीदा माध्यम है। यह न सिर्फ अत्यंत निम्न लॉस और अत्यधिक चैनल क्षमता प्रदान करता है, बल्कि यह १०० से अधिक सीएटीवी चैनलों को एकसाथ प्रसारित करने के लिए प्रभावशाली जीरो स्लोप प्रदान करता है। विश्वस्तर पर सीएटीवी नेटवर्कों पर इस्तेमाल होने वाला सबसे लोकप्रिय केबल सिंगल मॉड ग्लास फाइबर ऑप्टिकल केबल है।

ऑप्टिकल विंडो

पारंपरिक सिंगल मॉड ग्लास फाइबर, १३१०nm व १५५०nm

जैसे २ विशिष्ट वेबलेंथ पर ऑप्टिकल केबल अत्यंत निम्न अट्टेन्युएशन ऑफर करता है। इन वेबलेंथों के काफी निकट रहने पर भी ऑप्टिकल लॉस काफी अधिक है। इसलिए ऑप्टिकल सिगनलों का ट्रांसमिशन सिर्फ १३१० nm पर ही संभव है, जहां ऑप्टिकल लॉस ०.३३ dB और १५५० nm पर ऑप्टिकल लॉस ०.२२ dB प्रति किलोमीटर है। इसे चित्र १ में दिखाया गया है।



OPTICAL CABLE

1310 nm and 1550 nm are referred to as the 2 "Optical Windows" on these cables.

All CATV optical transmitters are designed to operate at either 1310 nm or 1550 nm. In reality, the each optical channel is 20 nm wide as per international specification laid down by ITU G 694.2. Given a 20 nm wide optical channel bandwidth, it yields a capacity of 2.5 Giga Bits per Second. This implies that a typical 1310 nm laser actually operates from 1300 nm to 1320 nm. Similarly a 1550 nm laser would actually have an output from 1540 nm to 1650 nm.

ADDITIONAL CAPACITY

Despite the huge channel bandwidth per optical 20 nm wavelength band, cable networks often require additional capacity.

In a typical Bi-directional CATV network that supports interactive CATV and / or a cable modem service, it is necessary to establish both, forward and reverse paths through out the network. At a rudimentary level, some Indian cable networks have used 1550 nm in the forward path and 1310 nm in the reverse path, or vice versa. This scheme of things supports only 2 paths, 1 at 1310 nm and the other at 1550 nm.

Advance CATV networks that support a cable modem service as well as interactive CATV requires a reverse path to be established from each customer back to the head end. This is typically done by aggravating content from 1 cluster of customers located geographically together, and sending this aggregated content back to the head end, from a local optical node fitted with a Reverse Path Transmitter.

Any reasonably large cable TV network could deploy 50 to 100 such reverse path nodes. One option is to lay separate optical fibre from each reverse node back to the head end. Clearly this is a wasteful procedure and not always implemental if additional cable has not been laid at the time of the initial installation.

Clearly the ideal solution would be to have a system that uses existing cables to establish return paths at different optical wavelengths.

CWDM SYSTEM

The simplest means to deploy multiple paths on the same optical fibre is to set up a Coarse

इसलिए १३१० nm और १५५० nm को इन केबलों पर २ ऑप्टिकल विंडो के रूप में उद्घृत किया जाता है।

सभी सीएटीवी ऑप्टिकल ट्रांसमीटरों की बनावट १३१० nm या १५५० nm पर संचालन करने के रूप में होती है। वास्तव में आइटीयू जी ६९४.२ द्वारा निर्धारित अंतरराष्ट्रीय विशिष्टकरण के तहत प्रत्येक ऑप्टिकल चैनल २० nm वाइड होता है। २० nm वाइड ऑप्टिकल चैनल बैंडविड्थ के साथ यह २.५ गीगा बाइट प्रति सेकेंड की क्षमता प्राप्त करता है। इसके मुताबिक १३१० nm लेजर वास्तव में १३०० nm से १३२० nm पर संचालन करती है। इसी तरह १५५० nm लेजर का वास्तव में १५४० nm से १६५० nm आउटपुट होता है।

अतिरिक्त क्षमता

प्रति ऑप्टिकल २० nm वेबलेंथ बैंड के विशालतम चैनल बैंडविड्थ के बावजूद केबल नेटवर्कों को प्रायः अतिरिक्त क्षमता की जरूरत होती है।

एक विशिष्ट बॉय डायरेक्शनल सीएटीवी नेटवर्क में (जो कि इंटरैक्टिव सीएटीवी और/ या केबल मॉडम सेवा को सपोर्ट करता है) फॉरवर्ड और रिवर्स पॉथ दोनों का रहना जरूरी है। कुछ समय पूर्व कुछ भारतीय केबल नेटवर्कों ने फॉरवर्ड पॉथ में १५५० nm और रिवर्स पॉथ में १३१० nm का इस्तेमाल करना शुरू किया है। यह स्किम सिर्फ २ पॉथ को ही सपोर्ट करता है, १३१० nm पर १ और दूसरा १५५० nm पर।

परिष्कृत सीएटीवी नेटवर्क जो कि केबल मॉडम सेवा के साथ-साथ इंटरैक्टिव सीएटीवी को सपोर्ट करता है, इसके लिए प्रत्येक उपभोक्ता से लेकर हेडएंड पर रिवर्स पॉथ स्थापित करने की जरूरत है। इस काम को पूरा करने के लिए एक भौगोलिक क्षेत्र में रहने वाले उपभोक्ताओं के १ क्लस्टर से कार्यक्रमों को लेकर इसे रिवर्स पॉथ ट्रांसमीटर के साथ लगे स्थानीय ऑप्टिकल नोड से हेडएंड तक वापस भेजा जाता है। आमतौर पर कोई भी बड़ा केबल टीवी नेटवर्क इस तरह के ५० से १०० रिवर्स पॉथ नोड लगा सकता है। एक विकल्प है हेडएंड से लेकर प्रत्येक रिवर्स नोड तक पृथक ऑप्टिक फाइबर को लगाना। स्पष्टतया यह बर्बादकारी प्रक्रिया है और स्थापना के समय यदि अतिरिक्त केबल नहीं लगाया जाता है तो प्रायः इसका इस्तेमाल नहीं किया जाता।

स्पष्टतया सबसे आकर्षक उपाय है ऐसे सिस्टम का होना जो कि भिन्न ऑप्टिकल वेबलेंथ पर मौजूदा केबल का इस्तेमाल करके रिटर्न पॉथ स्थापित करे।

सीडब्लूडीएम सिस्टम

उसी ऑप्टिकल फाइबर पर भिन्न पॉथ लगाने का सबसे आसान मतलब है कोर्स वेबलेंथ डिविजन मल्टीप्लेक्सड सिस्टम जैसे सीडब्लूडीएम

OPTICAL CABLE

Wavelength Division Multiplexed System such a CWDM system will have each path separated by 20 nm. Such a system would not be feasible using conventional optical fibres which have operating windows only at 1310 nm and 1550 nm.

DWDM SYSTEMS

Conventional cables require the use of sophisticated and very expensive Dense Wavelengths Division Multiplexing. Such systems have very sharply tuned DFB lasers which are some times even externally cooled to provide the very narrow operating bandwidth. DWDM systems can operate with channel spacing as narrow as 0.4 nm compared to 20 nm for CWDM. As expected, DWDM systems are very expensive but users - until now - have had little choice.

WIDE BANDWIDTH CABLE

As shown in Fig. 1, there are only 2 optical windows where the glass fibre exhibits low loss.

Recently, Sterlite Optical Technologies Ltd., an Indian company based in Aurangabad, Maharashtra has developed and commercially marketed their "OH LITE" single mode glass fibre optical cables.

Sterlite is one of India's largest optical cable fibre manufactures and has a fully integrated facility which draws out the optical cable from a glass ingot. This technology has been developed only by a few companies worldwide. The rest often by optical fibres from another manufactures and simply Sheath it into a finished product with the number of optical strengths specified by the customer.

The OH LITE optical cable is radical and noteworthy development which offers tremendous commercial advantages.

OH LITE CABLE

Sterlite's new OH LITE low water peak single mode fibre has been best suited for CWDM systems. The newly developed fibers have low attenuation over wide range of operating bands including water peak at 1380 \pm 3 nm. Low water peak fiber with CWDM system can be used in about 33% more channel than conventional Single Mode Fiber in the same system.

Fig. 2 shows the optical characteristics of the OH LITE optical cables compared to the characteristics of standard optical cable.

सिस्टम स्थापित करना, जिसमें प्रत्येक पॉथ 20 nm द्वारा पृथक होती है। इस तरह का सिस्टम पारंपरिक ऑप्टिकल फाइबर के इस्तेमाल में उपयुक्त नहीं है, जिसमें संचालन विंडो सिर्फ 1310 nm और 1550 nm पर ही होती है।

डीडब्ल्यूडीएम सिस्टम

पारंपरिक केबल के लिए परिष्कृत और अत्यंत महंगे डेंस वेबलेंथ डिविजन मल्टीप्लेक्सिंग के इस्तेमाल की जरूरत है। इस प्रकार के सिस्टम में अत्यंत तीक्ष्ण डीएफबी लेजर होता है जो कि कभी कभी बाहर से ठंडे होकर अत्यंत नैरो ऑपरेटिंग बैंडविड्थ प्रदान करता है। डीडब्ल्यूडीएम सिस्टम अपना संचालन 0.4 nm के निम्नतम चैनल स्पेसिंग के साथ कर सकता है, जबकि सीडब्ल्यूडीएम के लिए 20nm की जरूरत होती है। उम्मीद के मुताबिक डीडब्ल्यूडीएम सिस्टम बेहद महंगी है, लेकिन इस्तेमालकर्ताओं के पास इसके अलावा कोई उपाय भी नहीं है।

वाइड बैंडविड्थ केबल

जैसाकि चित्र-1 में दिखाया गया है कि मात्र 2 ऑप्टिकल विंडो है जहां ग्लास फाइबर, निम्न लॉस प्रदर्शित कर रहा है।

हाल में स्टारलाइट ऑप्टिकल टेक्नोलॉजी लिमिटेड (औरंगाबाद, महाराष्ट्र में स्थित भारतीय कंपनी) ने OH LITE सिंगल मॉड ग्लास फाइबर ऑप्टिकल केबल को विकसित करके उसकी मार्केटिंग शुरू की है। स्टारलाइट भारत के सबसे बड़े ऑप्टिकल केबल फाइबर उत्पादकों में एक है और उनके पास इसके उत्पादन की भी सुविधा है, जो कि ग्लास इन्गोट से ऑप्टिकल केबल बनाता है। इस तकनीकी का विकास विश्वस्तर पर कुछ ही कंपनियों द्वारा किया गया है। जबकि अन्य उत्पादक, ऑप्टिकल फाइबर को शीथ करके उपभोक्ताओं को विभिन्न विशेषताओं को बताकर उसे बेचते हैं। OH LITE ऑप्टिकल केबल की खोज, बेहद उल्लेखनीय और अनोखी है जिसके कई एक व्यवसायिक विशेषताएं हैं।

OH LITE केबल

स्टारलाइट का नया OH LITE लो वॉटर पीक सिंगल मॉड फाइबर है, जो कि सीडब्ल्यूडीएम सिस्टम के लिए उपयुक्त है। नये विकसित फाइबर में, 1380 \pm 3 nm पर वॉटर पीक सहित संचालन बैंड के विस्तृत रेंज के ऊपर निम्न अट्टेन्यूएशन होता है। सीडब्ल्यूडीएम सिस्टम में समान सिस्टम में पारंपरिक सिंगल मॉड फाइबर में 33 फीसदी से अधिक चैनल का इस्तेमाल किया जा सकता है।

चित्र-2 में मानक ऑप्टिकल कैरेक्टरिस्टिक की तुलना OH LITE ऑप्टिकल केबल के ऑप्टिकल कैरेक्टरिस्टिक से की गयी है।

OPTICAL CABLE

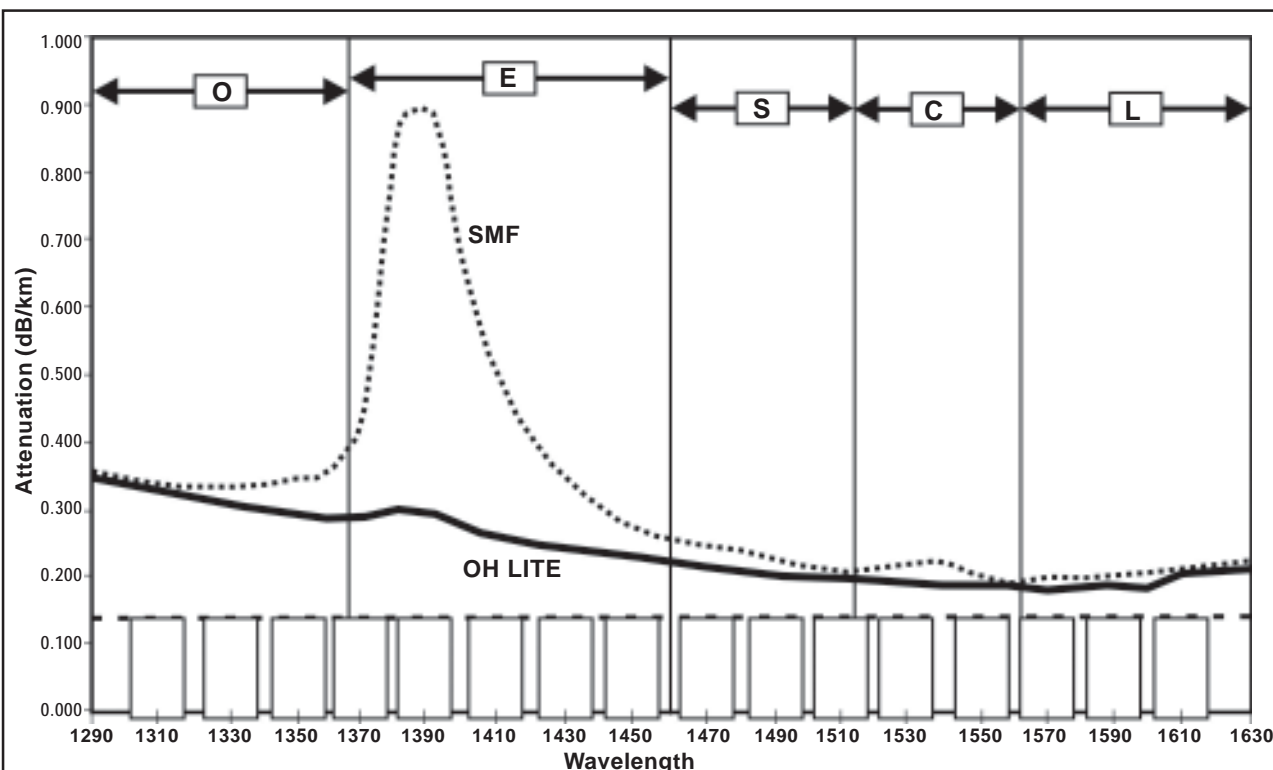


Fig. 2 Shows The Optical Characteristics Of The OH LITE Optical Cables Compared To The Characteristics Of Standard Optical Cable.
Source : Sterlite Technical Paper "LOW WATER PEAK SINGLE MODE FIBER A DEMAND FOR INCREASING METRO AND ACCESS NETWORKS"

The OH LITE cable does not have the huge attenuation at 1390 nm. It exhibits uniformly low attenuation from 1310 nm to 1630 nm.

The large 1390 nm attenuation in conventional optical fibres is due to the residual presence of the hydroxyl ion (OH). This represents residual moisture or water incorporated in the glass during the manufacturing process. Sterlite Optical Technologies Ltd. have managed to minimise and almost eliminate the OH presence in the glass. This shows up as a mild attenuation hump (0.01 dB) at around 1380 nm for the OH LITE cable.

OPTICAL BANDS

As shown in Fig. 2, the range of wavelengths used in optical transmission can be split into 5 bands. These are :

O Band	1290 nm to 1365 nm
E Band	1365 nm to 1460 nm
S Band	1460 nm to 1505 nm
C Band	1505 nm to 1570 nm
L Band	1570 nm to 1630 nm

OH LITE केबल में १३९० nm पर अत्यधिक अटेनुएशन नहीं होता है। यह १३१० nm से १६३०nm पर एकसमान लो अटेनुएशन प्रदर्शित करता है। पारंपरिक ऑप्टिकल फाइबर में बड़े १३९० nm अटेनुएशन, हाईड्रोऑक्सिलियॉन (OH) की रिसाइड्यूल उपस्थिति के कारण होता है। यह उत्पादन प्रक्रिया के दौरान ग्लास में रिसाइड्यूल आर्द्रता की उपस्थिति दर्शाता है। स्टरलाइट ऑप्टिकल टेक्नोलॉजी लिमिटेड ने ग्लास में OH की उपस्थिति को न्यूनतम करने और लगभग समाप्त करने में सफलता पायी है। यह OH LITE केबल के लिए लगभग १३८० nm पर हल्का अटेनुएशन प्रदर्शित करता है।

ऑप्टिकल बैंड

जैसाकि चित्र-२ में दिखाया गया है कि ऑप्टिकल ट्रांसमिशन में इस्तेमाल वेबलेंथ की श्रृंखला को ५ बैंड में विभक्त किया जा सकता है।

O Band	1290 nm to 1365 nm
E Band	1365 nm to 1460 nm
S Band	1460 nm to 1505 nm
C Band	1505 nm to 1570 nm
L Band	1570 nm to 1630 nm

OPTICAL CABLE

WIDE TRANSMISSION WINDOW

The OH LITE optical fibre from Sterlite offers uniform attenuation right from 1290 nm (0.33 dB per kilometer to 1630 nm (0.24 dB per km).

This effectively offers a 320 nm wide window. In practice, wavelengths upto 1600 nm are used, providing atleast 15 extra channels using simple, CWDM system.

SPLICE LOSS

CATV networks in India frequently require to fusion splice their optical cables. Fusion splicing of a broken cable is usually not an issue. However, some times if the physical dimension and characteristics of the optical fiber vary in different production runs, poor splice losses result.

Sterlite's OH LITE fiber has a very tight manufacturing tolerance on the fiber diameter, core clad concentricity error and cladding non-circularity. This ensures excellent splice performance even between fibers from different production runs.

BEND SENSITIVITY

The loss along an optical fiber increases as the fiber is bend sharply. For very sharp bends such as tight knot on the optical fiber strand, the optical loss can increase upto 40 dB! These are called micro bends.

Even large (Macro) bends such as when an optical fiber is wrapped on a reel, the optical losses increase the ITU Specification (ITU G 652 D) permit a Macro bending loss at 1550 nm, for 100 turns with a 30 mm radius, of 0.5 dB. The OH LITE cable suffers a loss of only 0.05 dB, making it far superior to the worst case specification.

FUTURE APPLICATIONS

Fig. 3 shows a graphical representation of various wavelengths and their applications in proposed optical transmission.

The OH LITE fiber with its wide transmission window offers the full spectrum of services on a single fiber, without any co-interference.

As shown in Fig. 3, High Definition Video channels that require a much larger bandwidth per channel can be easily supported over the 1350 nm to 1500 nm band which is not otherwise available on standard, single mode fiber.

वाइड ट्रांसमिशन विंडो

स्टरलाइट का OH LITE ऑप्टिकल फाइबर, १२९० nm से (०.३३ dB प्रति किलोमीटर से १६३०nm) (०.२४ dB प्रति किलोमीटर) एकसमान अटेन्युएशन प्रस्तुत करता है। यह प्रभावशाली तरीके से ३२० nm वाइड विंडो ऑफर करता है। व्यवहार में सीडब्ल्यूडीएम सिस्टम, कम से कम १५ अतिरिक्त चैनलों को प्रदान करने के लिए १६०० nm तक के वेबलेंथ का इस्तेमाल करता है।

स्पलाइस लॉस

भारत में सीएटीवी नेटवर्कों को अपने ऑप्टिकल केबल में लगातार फ्यूजन स्पलाइस की जरूरत होती है। टूटे केबल के फ्यूजन स्पलाइसिंग आमतौर पर कोई बड़ी बात नहीं है। हालांकि कभी-कभी यदि ऑप्टिकल केबल के फिजिकल डायमेंशन और कैरेक्टरिस्टिक प्रोडक्शन संबंधी भिन्नता के कारण अलग होता है तो कमजोर स्पलाइस से परिणाम खराब होता है। स्टरलाइट का OH LITE फाइबर, फाइबर डायमीटर, कोर क्लैड कॉन्सेंट्रिसिटी इगोर और क्लैडिंग नॉन सर्कुलेटरी पर काफी मजबूत टॉलरेंस होता है। यह विभिन्न प्रोडक्शन संचालन से फाइबरों के बीच भी उत्कृष्ट स्पलाइस प्रदर्शन की सुनिश्चितता करता है।

बैंड संवेदनशीलता

फाइबर में जोड़-तोड़ के बाद ऑप्टिकल फाइबर में लॉस में बढ़ोतरी होती है। ऑप्टिकल फाइबर में मजबूत गांठ लगाने के बाद ऑप्टिकल लॉस में ४० dB तक की बढ़ोतरी हो सकती है। इसे माइक्रो बैंड कहा जाता है। रिल पर ऑप्टिकल फाइबर को त्रैप करते समय होने वाले बड़े बैंड (माक्रो) में भी ऑप्टिकल लॉस में बढ़ोतरी होती है। आईटीयू विशिष्टकरण (ITU G 652 D) १५५० nm पर माक्रो बैंडिंग लॉस को अनुमति देता है, जो कि ०.५ dB के ३० mm रेडियस के साथ १०० टर्न के लिए होता है। OH LITE केबल सिर्फ ०.०५ dB के लॉस को सहन करता है, जिससे कि यह अपने सुपरियर के विशिष्टकरण का सबसे खराब मामला बनता है।

भविष्य का आवेदन

चित्र-३ में विभिन्न वेबलेंथों के ग्राफिकल प्रस्तुति और प्रस्तावित ऑप्टिकल ट्रांसमिशन में उनके आवेदन को दिखाया गया है।

अपने वाइड ट्रांसमिशन विंडो के साथ OH LITE फाइबर, बिना किसी सह हस्तक्षेप के सिंगल फाइबर पर सेवाओं का पूर्ण स्पेक्ट्रम ऑफर करता है। जैसाकि चित्र-३ में दिखाया गया है हाई डिफिनेशन वीडियो चैनल, जिसके लिए बड़े बैंडविड्थ प्रति चैनल की जरूरत होती है, आसानी से १३५० nm से १५०० nm बैंड से अधिक को सपोर्ट करता है, जो कि अन्यथा मानक सिंगल मॉड फाइबर पर उपलब्ध नहीं होता है।

OPTICAL CABLE

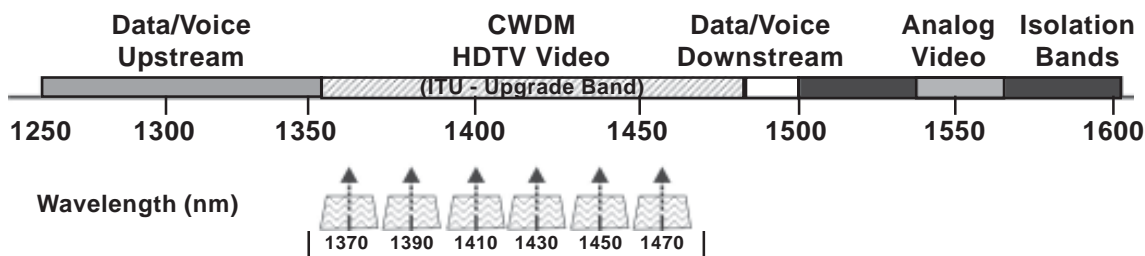


Fig. 3 Shows A Graphical Representation Of Various Wavelengths And Their Applications In Proposed Optical Transmission.
Source : Sterlite Technical Paper "LOW WATER PEAK SINGLE MODE FIBER A DEMAND FOR INCREASING METRO AND ACCESS NETWORKS"

FINANCIAL IMPLICATIONS

Fiber optic installation and deployment is a long term investment, which forms the foundation of the network's performance and capabilities not only today but upto 25 years later. Hence, even though cable networks may not have any immediate need for additional bandwidth on their fiber, it would be prudent to ensure that the new fiber laid has the widest possible bandwidth.

Happily, Sterlite's OH LITE fiber is priced very competitively, when compared to standard single mode fiber.

6 Fiber OH LITE Ariel cable for CATV applications is priced at just Rs. 12 per meter. This price rises to Rs. 32 per meter for 24 fibers and Rs. 55 per meter for 48 fibers. Taxes are extra.

The full range of Sterlite optical fiber for CATV applications are available from Meenakshi Satellite Communication (Attn: Mr. Atul Agrawal) 13C/1, Mhada Colony, Shivdham Complex, Filmcity Road, Dindoshi, Malad (E), Mumbai-400097. Tel: 022-56960839/28403053. Fax: 022-56960839. Mobile: 09821055243/09324249708. ■

वित्तीय प्रभाव

फाइबर ऑप्टिक को लगाना एक दीर्घकालिन निवेश है, जो कि न सिर्फ आज बल्कि अगले २५ वर्ष के लिए नेटवर्क प्रदर्शन और क्षमता की आधारशीला रखता है। इसलिए यदि उनके केबल नेटवर्क के फाइबर पर अतिरिक्त बैंडविड्थ के लिए तत्काल किसी प्रकार की कोई जरूरत नहीं होती है, तो भी इसकी सुनिश्चितता करना आवश्यक है कि नये फाइबर में विस्तृत संभावित बैंडविड्थ होनी चाहिए।

जहां तक कीमत का सवाल है तो जब हम इसकी तुलना अन्य सिंगल मॉड फाइबर से करते हैं तो यह बेहद तुलनात्मक लगती है। सीएटीवी आवेदनों के लिए ६ फाइबर OH LITE एरियल केबल का मूल्य मात्र १२ रुपये प्रति मीटर है। यह २४ फाइबर के लिए ३२ रुपये प्रति मीटर और ४८ फाइबर के लिए ५५ रुपये प्रति मीटर है। इसमें कर अतिरिक्त है।

सीएटीवी आवेदन के लिए स्टरलाइट ऑप्टिकल फाइबर की पूरी रेंज मीनाक्षी सैटेलाइट कम्युनिकेशन्स पर उपलब्ध है। (संपर्क श्री अतुल अग्रवाल), १३सी/१, म्हाडा कॉलोनी, शिवधाम कॉम्प्लेक्स, फिल्मसिटी रोड, दिंडोशी, मलाड (ई), मुंबई-४०००९७, फोन नंबर 022-56960839/28403053 फैक्स:022-56960839 मोबाईल: 09821055243/09324249708. ■

ACKNOWLEDGEMENTS

This technical article is largely based on a technical paper by M/s Shashi KANT, Harish TANEJA & Abhay ARORA at Sterlite Optical Technologies Ltd., Aurangabad, Maharashtra. We sincerely thank the authors, Sterlite Optical Technologies Ltd. and Mr Atul Agrawal at Meenakshi Communication for their technical contribution and content that has enabled this article.



आभार

यह तकनीकी लेख, स्टरलाइट ऑप्टिकल टेक्नोलॉजी लिमिटेड, औरंगाबाद, महाराष्ट्र के शशीकांत, हरीश तनेजा व अभय अरोड़ा द्वारा प्रस्तुत टेक्निकल पेपर पर आधारित है। हम लेखक को धन्यवाद करते हुए स्टरलाइट ऑप्टिकल टेक्नोलॉजी लिमिटेड और मीनाक्षी कम्युनिकेशन्स द्वारा प्रस्तुत तकनीकी सहभागिता के लिए अभारी हैं।