

Okablowanie strukturalne

Opracowane na początku lat 90. produkty okablowania dla uniwersalnych systemów transmisji i do różnorodnych zastosowań w zakresie transmisji niskoprądowych sygnałów (głos, dane, obraz, sygnały sterujące) w przedsiębiorstwach określono jako okablowanie strukturalne. Obejmuje ono całą pasywną infrastrukturę teleinformatyczną (kable, przyłącza, gniazda, wtyki, adaptory i krosownice) budynków inteligentnych, przedsiębiorstw i fabryk, zapewniając jednocześnie rozbudowę sieci wraz z możliwością dokonywania zmian w okablowaniu.

Multimedialny charakter usług teleinformatycznych wywiera istotny wpływ na konieczność ciągłego rozszerzania pasma dostępnego użytkownikowi, co przyczynia się do wprowadzania kolejnych udoskonaleń w okablowaniu zarówno miedzianym, jak i światłowodowym. Nowoczesny system uniwersalnego okablowania strukturalnego powinien więc charakteryzować się kilkoma podstawowymi cechami użytkowymi, jako:

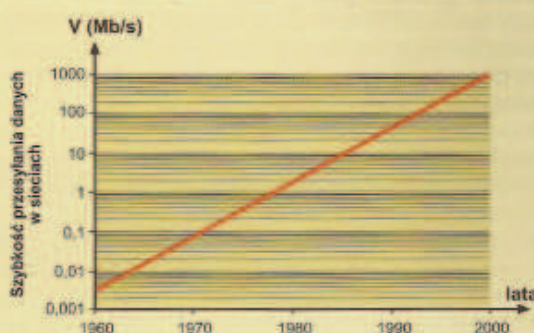
- przyszłościowy – zapewniający wdrażanie przyszłych technologii z możliwością rozbudowy okablowania i usług (automatyzacja biura, potrzeba nowych aplikacji multimedialnych, szybsza transmisja danych);
- elastyczny – gdzie wszelkie rodzaje aplikacji komunikacyjnych są oferowane przez jedną sieć dystrybucyjną, czyli przy użyciu tego samego okablowania (takie podejście pozwala na łatwe przemieszczanie, przesuwanie oraz instalowanie dodatkowych terminali sieciowych w obrębie przedsiębiorstwa lub budynku);
- otwarty – czyli będący nośnikiem wszystkich typów standardowych aplikacji głosu, danych i obrazu wg różnych obowiązujących norm (IEEE, CCITT, ANSI).

Ewolucja rozwiązań kablowych

Pierwsze amerykańskie standardy okablowania za pomocą skrętkowych par przewodów (standardy EIA/TIA 568, 1991 r.) ustąpiły miejsca udoskonalonym wersjom, preferującym kable skręcane parami, kable ekranowane powierzchniowo, kable podwójnie ekranowane wraz z modernizacją złączy RJ45. Po dwóch latach zapotrzebowanie na szerokość przenoszonych przez okablowanie pasma częstotliwości wzrosło kilkakrotnie, czego efektem było pojawienie się na rynku okablowania kategorii 5 – podstawowej kategorii przenoszenia sygnałów do 100 MHz, a wkrótce kolejnych wyższych kategorii.

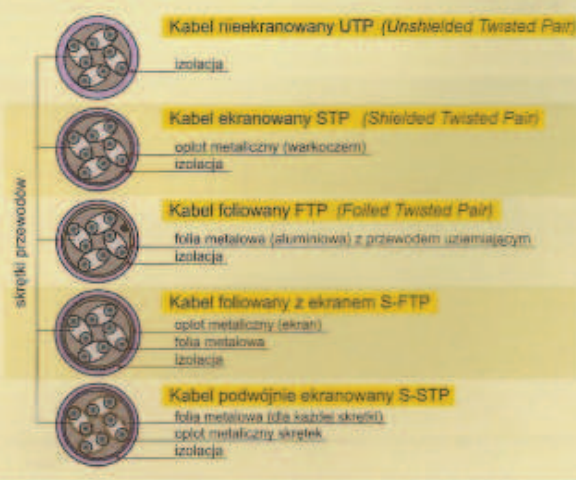
Początkowe standardy sieci LAN definiowały cechy poszczególnych kategorii okablowania, gdy wpływ interferencji elektromagnetycznej EMI (*Electromagnetic Interference*) był do pominięcia. Kłopoty z radiacją nieekranowanej pary kabli UTP zaczynają się dopiero od częstotliwości wyższych niż 30 MHz, podczas gdy w powszechnie stosowanych rozwiązaniach LAN korzystano z przepływności 10 Mb/s (Ethernet) lub najwyżej 16 Mb/s (Token Ring). Wystarczającą odporność na interferencję elektromagnetyczną EMI dla takich szybkości przynosiło zwykłe skręcenie przewodów.

Wzrost szybkości transmisji w sieciach



Od czasu, gdy podstawowa przepływność w torach kablowych zaczęła przekraczać 100 Mb/s, osiągając 1 Gb/s, a nawet zbliżając się do 10 Gb/s, podatność na interferencję EMI i lokalna emisja zakłóceń elektromagnetycznych przez kabel miedziany nabrały zasadniczego znaczenia. Standardowa skrętka nieekranowana UTP (*Unshielded Twisted Pair*) dla tych częstotliwości pracy przestaje wystarczać. Przykładem jest sieć ATM 155 Mb/s, realizująca transmisję przez okablowanie kategorii 5, dla której wymagane pasmo przenoszenia (przy zastosowaniu kodowania NRZ) wynosi 78 MHz – trudne do osiągnięcia w zwykłym nieekranowanym okablowaniu skrętkowym UTP z zachowaniem odpowiednich parametrów kompatybilności EMC (*Electromagnetic Compatibility*). Jednym z rozwiązań alternatywnych jest stosowanie kabli ekranowanych różnego typu: ekranowanych STP (*Shielded*

Typowe rodzaje kabli skrętkowych



Twisted Pair), podwójnie ekranowanych S-STP (Screened STP), foliowanych FTP (Foiled Twisted Pair) oraz foliowanych z ekranem S-FTP (Screened FTP), także specjalistycznych rozwiązań firmowych dla odrębnych aplikacji.

Oddzielną klasę rozwiązań stanowi okablowanie światłowodowe, obecnie intensywnie rozwijane przez firmy telekomunikacyjne. W lokalnych zastosowaniach jest to najdroższe rozwiązanie, gdyż nie zapewnia jeszcze bezpośredniej współpracy z konwencjonalnymi telefonami, a układy konwersji O/E (Optical/Electrical) nadal są zbyt drogie. Optyczne specyfikacje okablowania wyszczególniają światłowody wielomodowe 50/125 μm i 62,5/125 μm dla sieci LAN z propozycją standaryzacji złącza optycznego SFF (Small Form Factor) o małych gabarytach. Uzyskanie konkretnej klasy okablowania wymaga jednak stosowania komponentów odpowiedniej kategorii na wszystkich odcinkach sieci, które wpływają na parametry całego traktu komunikacyjnego.

Nowe potrzeby

Standardy okablowania strukturalnego są niezbędne, aby uzyskać zgodność współpracy (kompatybilność) przyłączanych do sieci urządzeń pochodzących od różnych producentów. Wśród obecnie obowiązujących wyróżnia się trzy podstawowe grupy norm okablowania:

- amerykańskie EIA/TIA 568 (568A, 568B), definiujące wymagania wobec systemów do kategorii 5 (100 MHz) i wyższych; w ramach tej normy istnieje też wiele specyfikacji pomocniczych, takich jak TSB 36 (kable 100 Ω), TSB 40 (złącza RJ45), TSB 53 (kabel ekranowany 150 Ω) i inne;

- międzynarodowe ISO 11801, określające wymagania systemu z podziałem okablowania wg klas aplikacji: A, B, C i D (do 100 MHz), z rozszerzeniem o już zatwierdzone klasy E (250 MHz) i F (600 MHz); normy te szczegółowo definiują kable symetryczne (100 Ω , 120 Ω , 150 Ω) z ekranem i bez, kable koncentryczne Twinax, a także światłowody z grupy 62,5/125 μm i 50/125 μm ;

- europejskie EN 50174 (EN 50174), wzorowane na normach ISO dla klas aplikacji od A do D oraz rozszerzona w 2002 r. o klasy E i F.

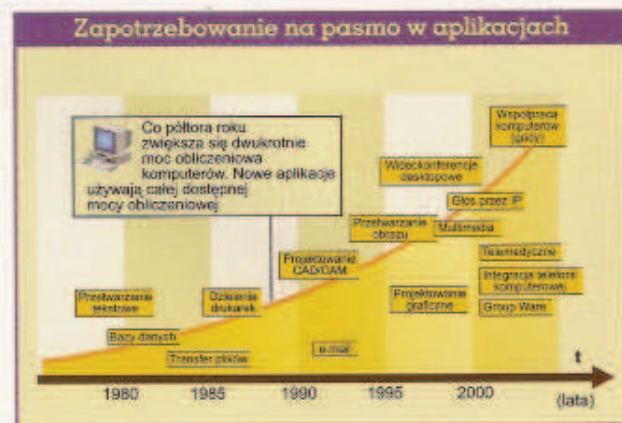
Obecnie funkcjonuje wiele aplikacji potrzebujących dużych szybkości przesyłania informacji, przekraczających znormalizowane przepływności 100 Mb/s deklarowanych w kategorii 5. Należą do nich:

- sieci pamięci masowych SAN (Storage Area Network) o wysokiej wydajności transportu (Fiber Channel, Firewire P1394), sięgające nie mniej niż 1 Gb/s;

- korzystanie z multimediów (tekst, głos, dźwięk, obraz) dostarczanych w jednym kanale telekomunikacyjnym (przez ATM od 155 Mb/s do 2,5 Gb/s lub przez Gigabit Ethernet);

- dystrybucja obrazów wysokiej rozdzielczości (sygnały wideo i CATV), a także rozpoznawanie i obróbka tych informacji (medycyna, nauka, CAD/CAM, badania naukowe);

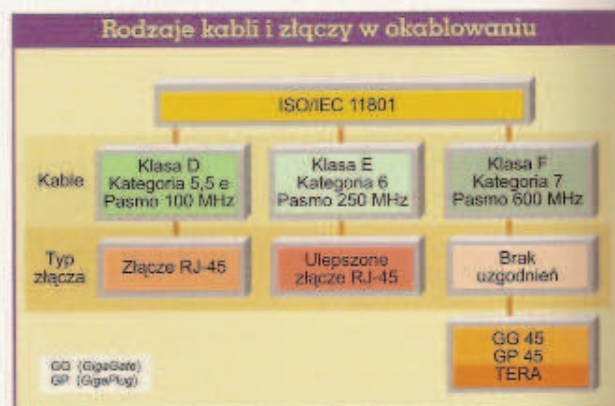
- zdecentralizowane opracowywanie danych, multitasking, aplikacje CD czy publikacje elektroniczne.



Wdrażanie nowych technologii przekazu o podwyższonych szybkościach transmisji: ATM (155 Mb/s, 622 Mb/s, 1,2 Gb/s), 1GbE (1 Gb/s), 10GbE (10 Gb/s) wymusiło wprowadzenie wielu modyfikacji do istniejących norm dotyczących od lat używanego okablowania strukturalnego w pasmie do 100 MHz.

Rozszerzanie klas okablowania

Podział na kategorie okablowania umożliwia rozróżnienie wymagań na pasmo przenoszenia (potrzebnych przez poszczególne elementy transmisji tworzące system okablowania) – bez odnoszenia się do oferowanych aplikacji. Stosowane systemy okablowania strukturalnego, wzorowane na amerykańskich standardach (EIA/TIA 568A, 568B), są oparte na elementach podstawowego standardu kategorii 5 (klasa D), dla kabli i komponentów operujących do częstotliwości 100 MHz. W związku z pojawianiem się szybszego sprzętu transmisji od 1997 r. wielokrotnie podejmowano próby podwyższenia standardu kategorii 5, w rezultacie czego powstały kolejne, nowe kategorie kabli: rozszerzona kategoria 5e (enhanced) o lepszych parametrach, lecz o tym samym pasmie 100 MHz, kategoria 6 (250 MHz) oraz kategoria 7 (600 MHz). Klasyfikacje wg kategorii stopniowo ustępują miejsca międzynarodowej klasyfikacji wg klas okablowania (od A do F), o podobnych parametrach, ale lepiej charakteryzujące przydatność łączy do aplikacji.



Obecne europejskie (EN 50174) i międzynarodowe (ISO 11801) normy dotyczą wymagań na okablowanie strukturalne, za pomocą których można realizować odpowiednie aplikacje, są ujęte w klasach od A do F, czyli do maksymalnej częstotliwości przekazu 600 MHz (klasa F). W odróżnieniu od kategorii nowa definicja klas okablowania określa wymagania, jakie muszą spełnić kompleksowe łącze transmisyjne zbudowane z kabli oraz osprzętu transmisyjnego, niezbędne do realizacji konkretnych aplikacji. Dotychczas zdefiniowany i zatwierdzony ostatecznie w 2002 r. jako obowiązujący zestaw siedmiu klas aplikacji okablowania obejmuje:

Klasa A – realizacja usług telefonicznych z pasmem częstotliwości do 100 kHz.

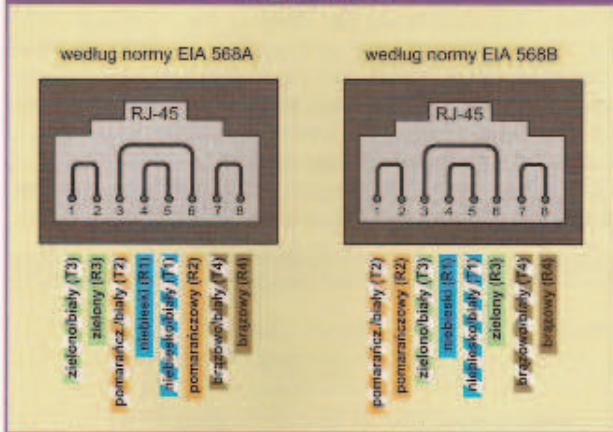
Klasa B – okablowanie dla aplikacji głosowych i usług terminalowych z pasmem częstotliwości do 1 MHz.

Klasa C (kategoria 3) – typowe techniki sieci lokalnych LAN wykorzystujące pasmo częstotliwości do 16 MHz.

Klasa D (kategoria 5) – dedykowana dla szybkich sieci lokalnych, obejmuje aplikacje wykorzystujące pasmo częstotliwości do 100 MHz. W rozszerzonej klasie D (dawna kategoria 5e, 1998 r.), przy zachowaniu pasma częstotliwości 100 MHz, zaostrzono wymagania na niektóre z parametrów i zdefiniowano sporo nowych (PSNEXT, PSACR, ELFEXT, PSELFEXT).

Klasa E (kategoria 6) – standard (2002 r.) stanowiący rozszerzenie normy ISO/IEC 11801/TIA i obejmujący okablowanie, którego parametry testowe są określone do częstotliwości do 250 MHz (dla aplikacji wymagających pasma 200 MHz) – potrzebne do realizacji Gigabitowego Ethernetu i transmisji

Różnice między normami w okablowaniu złącza RJ-45



ATM 622 Mb/s. Dla tej klasy aplikacji stosuje się zmodyfikowane złącza RJ45 z gwarantowaną kompatybilnością wsteczną (zgodność z wcześniejszymi rozwiązaniami), dające powtarzalne parametry przy wyższych częstotliwościach pracy.

Klasa F (kategoria 7) – standard (2002 r.) dla aplikacji wykorzystujących pasmo do częstotliwości 600 MHz. Różni się ona od poprzednich klas stosowaniem kabli typu S-STP (zwykle każda para w ekranie plus ekran obejmujący cztery pary) łączonych złączami ekranowanymi, także żyłami miedzianymi o zwiększonej średnicy. Zawierzenie tego standardu dopiero w 2002 r. było uwarunkowane zakończeniem prac nad nowymi złączami (wybór jednego z kilku rekomendowanych typów). Dla tej klasy okablowania będzie możliwa realizacja aplikacji potrzebujących systemów transmisyjnych z szybkościami przekraczającymi nawet 1 Gb/s. Kategoria 7 nie została uwzględniona w amerykańskich normach EIA/TIA.

Na etapie uzgodnień znajduje się projekt następnej kategorii 8 (klasa G) o częstotliwości pasma przenoszenia do 1,2 GHz do 1,4 GHz, z przeznaczeniem dla szerokopasmowych aplikacji multimedialnych. Dotąd brak oficjalnych propozycji ze strony organów standaryzujących odnośnie do typów złączy (moduł, gniazdo, wtyk, sposób instalacji) zapewniających parametry okablowania miedzianego dla klasy G.

Nowe wymagania

Brak możliwości sprawdzenia instalacji tworzonych w niekontrolowany sposób z elementów kategorii 3, 4 i 5 w zasadniczy sposób wpływał na jakość i uzyskiwanie odpowiedniej kategorii instalacji okablowania. Od 1995 r., gdy pojawiły się pierwsze przenośne przyrządy pomiarowe do sprawdzania systemów okablowania 100 MHz, przestał istnieć problem tworzenia poprawnego okablowania. Ponadto zdefiniowane nowe parametry transmisyjne kabla miedzianego pozwalają jednoznacznie klasyfikować przydatność okablowania do odpowiedniej kategorii.

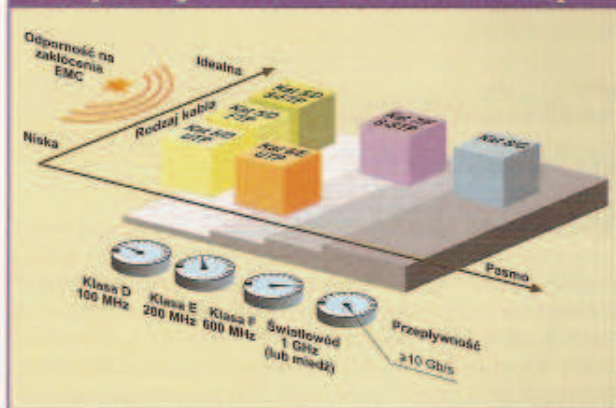
Aby zakwalifikować okablowanie strukturalne do właściwej kategorii (5, 6, 7, 8) lub klasy (A-F), wszystkie elementy wchodzące w skład toru połączeniowego muszą być tej samej (lub odpowiednio wyższej kategorii). Dotyczy to nie tylko kabli przyłączeniowych, ale również złączy, paneli kros-

wych i skłębki czteroparowej oraz sposobu jej instalacji. Brak spełnienia wymagań odpowiedniej klasy nawet dla jednego ze stosowanych elementów w konfekcjonowaniu pełnego łącza powoduje automatycznie obniżenie kategorii do klasy najgorszego elementu używanego w sieci.

Rozszerzone wymagania dla okablowania wyższych kategorii (powyżej 5) objęły następujące zalecenia:

- parametry pracy wyższych klas okablowania muszą być lepsze niż dotychczasowe parametry klasy D (kategoria 5);
- do oznaczania kolejnych klas zastosowano sekwencyjny system nazewnictwa (kategoria 5, 6, 7; klasa D, E, F);
- każde nowe okablowanie musi spełniać istniejące warunki okablowania klasy D (kategoria 5);
- nowe okablowanie powinno zapewniać wsteczną zgodność w stosunku do dotychczas stosowanych złączy o konstrukcji modułowej (RJ45);
- współpracujące ze sobą w ramach jednej instalacji, elementy kategorii 5 i 6 muszą zapewniać parametry pracy przynajmniej na poziomie kategorii 5;
- powinna być zapewniona możliwość zbudowania topologii sieci o długości minimum 100 m (przy użyciu najwyżej 4 złączy);
- częstotliwość, przy której charakterystyczny parametr ACR wynosi zero, powinna zostać zwiększona o 25% w celu zaadaptowania możliwości cyfrowych modułów elektronicznych typu DSP (*Digital Signal Processor*).

Klasy i kategorie w okablowaniu strukturalnym



Wzrost przepływności

W ciągu ostatnich 10 lat szybkość przesyłania danych w kablach miedzianych zwiększała się stopniowo, osiągając kolejno: 10 Mb/s, 100 Mb/s i 1000 Mb/s, a obecnie osiąga się szybkości 10 Gb/s w lokalnych torach miedzianych i światłowodowych oraz 40 Gb/s we włóknach technologii DWDM. Wzrost wydajności systemów okablowania miedzianego do przepływności 1 Gb/s (Ethernet) w poszczególnych klasach okablowania strukturalnego jest jedynie pośrednio związany z szerokością pasma przenoszenia w kablu wieloparowym zawierającym dwie lub cztery pary skrętek.

Pasma przenoszenia medium miedzianego jest definiowane i mierzone w określonych przedziałach częstotliwości, niezależnie od dostarczanych za

Wymagane szerokości pasma przenoszenia

Rodzaj sieci	Liczba potrzebnych par w kablu	Pełny duplex	Sposób kodowania	Minimalna szerokość pasma	Liczba poziomów kodowania	Kategoria okablowania
10Base-T	2	Nie	Manchester	10 MHz	2	3
100Base-T	2	Nie	MLT-7	31,25 MHz	3	5 (100 MHz)
ATM-155	2	Tak	NRZ	77,5 MHz	2	5 (100 MHz)
1000Base-T	4 (2x2)	Tak	TX/T2	62,5 MHz	5	6 (250 MHz) 7 (600 MHz)

pomocą tego okablowania aplikacji. W systemach okablowania dedykowanych różnym aplikacjom o podwyższonej przepływności zakresy mierzonych częstotliwości wynoszą odpowiednio: 1–100 MHz (klasa D, kategoria 5), 1–250 MHz (klasa E, kategoria 6) i 1–600 MHz (klasa F, kategoria 7). Mimo że pasmo przenoszenia ma wpływ na szybkość przesyłania danych w konkretnym systemie okablowania, zależności te są bardziej skomplikowane, niż pozornie się to wydaje.

Przykładowo, dla systemu okablowania kategorii 5 (klasa D) w mierzonym zakresie 1–100 MHz, użytkowa wartość pasma przenoszenia, przy której parametr ACR (*Attenuation to Crosstalk Ratio*) nie spada poniżej 8–10 dB, wynosi ok. 80 MHz. W takim pasmie można jednak przesyłać sygnały cyfrowe z przepływnością 100 Mb/s (standard Ethernet 100Base-TX) lub 155 Mb/s (standard 155 ATM), a nawet w pewnych okolicznościach można osiągać przepływność 1 Gb/s (standard Ethernet 1000Base-T) w sieciach LAN. Uzyskana praktycznie przepływność binarna zależy od przyjętego sposobu kodowania, w jakim są prezentowane dane w konkretnym medium transmisyjnym kabla miedzianego. Im bardziej skomplikowany jest system kodowania danych w medium transportowym, tym mniejsze są potrzebne szerokości pasma w miedzianym torze kablowym, a jednocześnie rosną wymagania w stosunku do istotnego parametru ACR – uwzględniającego wzajemny poziom sygnału do szumu w funkcji częstotliwości.

Do poprowadzenia duplexowej transmisji o maksymalnej przepływności 1 Gb/s przez okablowanie miedziane są potrzebne cztery pary przewodów oraz znaczna poprawa współczynnika SNR (*Signal to Noise Ratio*), aby uzyskać odpowiedni wskaźnik niezawodności BER (*Bit Error Rate*) podczas transmisji informacji przez sieć.

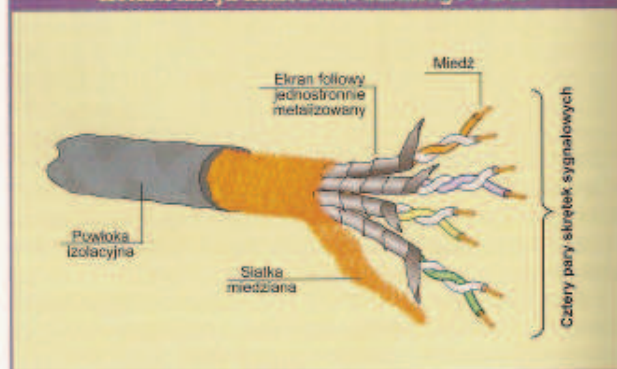
Okablowanie miedziane dla multimediów

W miarę rozszerzania się zakresu usług multimedialnych wymagających szerszego pasma stosowane i ulepszone okablowanie miedziane zaczyna stopniowo ustępować rozwiązaniom światłowodowym – o większych możliwościach dystrybucyjnych. W pierwszej kolejności w dystrybucyjnych sieciach szkieletowych, a następnie coraz bliżej roboczego stanowiska abonenta. Nadal jednak w okablowaniu odnotowuje się rozwój technologii miedzianych, a zmierzchu aplikacji na tym okablowaniu nie widać. Multimediale aplikacje są obecnie dostępne za pośrednictwem pojedynczego kabla z czterema skrętkami i jednego gniazdka zainstalowanego na ścianie budynku bezpośrednio obok stanowiska pracy bądź okablowania światłowodowego.

Tradycyjny przekaz głosowy zajmuje zwykle jedną skrętkę w czteroparowym torze okablowania, podobnie jak sygnał telewizyjny, transmisja da-

nych natomiast zajmuje już dwie lub więcej par w okablowaniu strukturalnym. W docelowej postaci potrzebne jest uniwersalne okablowanie, w którym dane komputerowe, głos, dźwięk i sygnały telewizyjne można transmitować jednym kablem miedzianym przez cztery pary przewodów i dostarczać wszystkie sygnały jednocześnie do pojedynczego uniwersalnego gniazda przy stanowisku pracy. Istotną zaletą współdzielenia kabla przez wiele aplikacji jest redukcja kosztów instalacyjnych do jednego medium transmisyjnego i jednego gniazda (rezygnacja z oddzielnych linii telefonicznych do przesyłania głosu oraz z kabli współosiowych do transmisji obrazu TV i CATV).

Konstrukcja kabla miedzianego PiMF



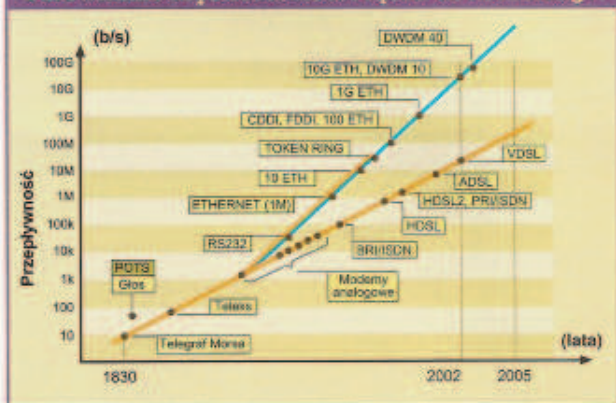
Aplikacje multimedialne potrzebują szerszego pasma przenoszenia, co wymaga od systemów okablowania strukturalnego spełniania wyższych parametrów technicznych. Zatwierdzony w Europie w wrześniu 2002 r. standard kategorii 6 (klasa E) wymaga, aby systemy okablowania strukturalnego zapewniały swą sprawność do częstotliwości 200/250 MHz (praca/test). Nie jest to zadowalająca przepustowość dla powszechnie używanych aplikacji szerokopasmowych, które już teraz potrzebują okablowania strukturalnego w kategorii 7 (klasa F) – działających do częstotliwości 600 MHz.

Przydatność kategorii 7 do przyszłych szerokopasmowych aplikacji multimedialnych nadal nie jest wystarczająca i obecnie dyskutuje się, jakie parametry powinno spełniać okablowanie strukturalne następnej kategorii 8 (klasa G). Kable kategorii 8 z indywidualnie ekranowanymi parami (do 1,4 GHz) oraz nowymi złączami wydają się kresem rozwiązań w okablowaniu miedzianym. Aby spełnić minimum wymagań normy ISO/IEC 11801 wyd. 2 (kat. 7) i wyższych, niezbędne są specjalne rozwiązania konstrukcyjne kabli miedzianych i zmodernizowane komponenty interfejsowe.

Wyższe kategorie okablowania strukturalnego mają zapewnić inne funkcje użytkowe. Okablowanie kategorii 8 (klasa G), oprócz podstawowej funkcji transmisji danych komputerowych, daje możliwość przekazu również innych sygnałów: telefonicznych, audiowizualnych, telewizyjnych i radiowych – na arbitralnie przyjmowaną w okablowaniu odległość wynoszącą 100 m. Idea multimedialności przekazów przez okablowanie wymaga użycia do transmisji wszystkich czterech indywidualnie ekranowanych par przewodów, a także dokładnego ekranowania komponentów kabla (gniazd, złączy, rozdzielników).

Dzisiejsze technologie pozwalają na uzyskiwanie pasma transmisyjnego powyżej 1 GHz, a lukę między obowiązującymi normami a bieżącymi potrzebami multimediów wypełnia praktyka. Obecnie powstają rozwiązania oparte na zmodernizowanym kablu PiMF 1200 (do częstotliwości 1,2 GHz) dla aplikacji multimedialnych. W kablu PiMF każda para transmisyjna jest oddzielnie ekranowana laminowaną jednostronnie folią, a wszystkie pary są skręcone razem między sobą w celu redukcji wzajemnego oddziaływania oraz dodatkowo osłonięte siatką ekranującą. Taka konstrukcja pozwala osiągać parametry transmisyjne kategorii 8 dla aplikacji multimedialnych, istotnie zmniejszyć przesłuch NEXT i PSNEXT oraz ograniczyć emisję na zewnątrz kabla, zarówno dla wysokich, jak i niskich częstotliwości.

Porównanie szybkości sieci i łącza abonenckiego



Ethernet 10GbE w miedzi

Podstawą teleinformatyki staje się miedziane okablowanie ethernetowe o przepływności 1 Gb/s, przyszłość okablowania strukturalnego natomiast należy do miedzianego bądź światłowodowego Ethernetu 10 Gb/s. Wprowadzenie technologii Gigabitowego Ethernetu (1GbE) wymaga spełnienia wygórowanych parametrów technicznych okablowania wg parametrów PSNEXT (*Power Sum Next*), ELFEXT, PSELFEXT (*Power Sum Eltext*) czy Delay Skew – parametrów o fundamentalnym znaczeniu dla aplikacji szerokopasmowych.

Ethernetowe aplikacje 1GbE przyczyniły się do modernizacji skrętkowego okablowania strukturalnego, co spowodowało, że normalizacyjne grupy studyjne IEEE zajęły się okablowaniem strukturalnym o wyższej nominalnej przepływności 10 Gb/s (10GbE). Obecnie przepływność docelową 10 Gb/s w miedzianej infrastrukturze lokalnej sieci ethernetowej można uzyskać za pomocą jednego z dwóch standardów okablowania: korzystając z kabli współosiowych (Twinax) wg zatwierdzonego standardu IEEE 802.3ak lub za pomocą nieekranowanych kabli skrętkowych UTP wg nadal opracowywanego standardu 10 Gb/s IEEE 802.3an.

Zatwierdzony ostatecznie w lutym 2004 r. standard 10GBase-CX4, czyli IEEE 802.3ak umożliwia lokalne transmisje ethernetowe z szybkością do 10 Gb/s, z wykorzystaniem czterech par współosiowego kabla miedzianego Twinax, na dystansie nieprzekraczającym 15–20 m. Kabel Twinax standardu 802.3ak tworzą cztery pary kabli koncentrycznych (8 przewodów współosiowych), w którym każda para ma wspólny ekran, a wszystkie cztery pary są dodatkowo oplecione ekranem zewnętrznym. Nazwa Twinax pochodzi od połączenia słów: *Twin* (bliźniak) i *coax* (koncentryk).

Zaletą krótkodystansowego okablowania Twinax (10GBase-CX4) jest jego stosunkowo niska cena, mimo że kabel jest droższy niż światłowod. Biorąc pod uwagę wszystkie elementy sieci lokalnej (przyłącza, rozgałęźniki, złącza, węzły aktywne), ogólny koszt miedzianej infrastruktury Twinax jest jednak niższy od infrastruktury opartej na światłowodzie w technologii 10GbE. Sytuacja ta będzie jeszcze lepiej widoczna w niewielkich sieciach opartych na nieekranowanej skrętce, ponieważ okablowanie UTP jest zdecydowanie najtańszym medium transmisyjnym.

Rozwiązania wg standardu IEEE 802.3ak z przewodami koncentrycznymi można praktycznie stosować jedynie do krótkich zewnętrznych połączeń między lokalnymi serwerami aplikacji czy zespołami pamięciowymi w centrum systemów przetwarzania (SAN, NAS, *data center*). Standard IEEE 802.3ak jest pierwszym z opracowywanych przez komitet normalizacyjny propozycji transportu o szybkości 10 Gb/s, które rozwiązują dwie niezależne grupy normalizacyjne IEEE, głównie z przeznaczeniem do stosowania w miedzianym okablowaniu strukturalnym.

Standard transmisji ethernetowych 10 Gb/s z wykorzystaniem nieekranowanej skrętki UTP wg projektu IEEE 802.3an znajduje się w końcowej fazie uzgodnień. Obecnie są opracowywane dwie jego wersje dla skrętki UTP 10GBase-T, które różnią się sposobem podejścia do problemu transmisji. Jedna wersja utrzymuje stałą szybkość przesyłania danych 10 Gb/s – kosztem ewentualnego skracania zasięgu sieci, druga wersja zachowuje stałą długość połączenia 100 m – kosztem obniżania szybkości.

W pierwszej wersji proponuje się zachować obowiązującą do tej pory długość połączenia ethernetowego (100 m, 1GbE), różniąc przepustowość zależnie od zastosowanego okablowania (czyli klasy skrętki). Dla obligatoryjnej długości 100 m, która obowiązywałaby nadal, w okablowaniu kategorii 5e dane byłyby przesyłane z szybkością 2,5 Gb/s, w przypadku okablowania kategorii 6 szybkość wynosiłaby 5 Gb/s, a jedynie w okablowaniu kategorii 7 przepustowość łącza osiągałaby pełną przepływność 10 Gb/s.

W drugiej propozycji przepustowość kabla zawsze wynosiłaby 10 Gb/s, niezależnie od zastosowanej klasy okablowania. W tym rozwiązaniu dłu-

gość połączenia byłaby za każdym razem inna. Połączenie oparte na okablowaniu kategorii 5e mogłoby mieć maksymalną długość 40–50 m, połączenie oparte na okablowaniu kategorii 6 będzie mieć maksymalną długość 50–70 m. Dopiero połączenie oparte na okablowaniu kategorii 7 osiągnie maksymalną długość 100 m.

Ustaleniem docelowej wersji standardu IEEE 802.3an, z uwzględnieniem kategorii okablowania strukturalnego 5e, 6, 7 i wyższych, zajmuje się grupa robocza IEEE Study Group pracująca nad skrętką nieekranowaną UTP. Pod koniec 2004 r. zapadnie decyzja, która z wersji standardu 10GBase-T (skrętka UTP) zostanie skierowana do dalszych szczegółowych rozważań przez IEEE. Od prac projektowych (*draft*) do etapu standaryzacji (*specification*) mogą upłynąć nawet dwa lata, a wg planów ostateczne zatwierdzenie standardu IEEE 802.3an ma nastąpić w 2005 r.

Dla miedzianego okablowania Ethernetu 10 Gb/s będą więc docelowo (po 2005 r.) obowiązywać dwa standardy: wg IEEE 802.3an dla nieekranowanej skrętki 10GBase-T (UTP, 4 pary skrętek) w zasięgu do 100 m lub zgodnie ze standardem IEEE 802.3ak w miedzianym okablowaniu strukturalnym Twinax (kabel koncentryczny, cztery pary) na dystansie do 20 m.

Standardy ethernetowego okablowania 10 Gb/s

IEEE Task Force Twinax	IEEE Study Group			
10GBase-CX4 (4 pary koncentryka)	10GBase-T (4 skrętki UTP)			
Standard IEEE 802.3ak	Standard IEEE 802.3an			
Szybkość 10 Gb/s	Stały dystans 100 m		Stała szybkość 10 Gb/s	
	2,5 Gb/s	Kat. 5E	40–50 m	Kat. 5E
Maksymalna odległość 15–20 m	5 Gb/s	Kat. 6	50–70 m	Kat. 6
	10 Gb/s	Kat. 7	100 m	Kat. 7
Zatwierdzony: luty 2004 r.	Przewidywane zatwierdzenie: 2005 r.			

Zespół normalizacyjny IEEE Study Group, pracujący nad projektem implementacji skrętki UTP 10GBase-T w okablowaniu 10 Gb/s, ma do rozwiązania problemy techniczne związane z zakłóceniami i przenikami generowanymi w kablu miedzianym. Powstają one podczas transmisji sygnałów informacyjnych przez okablowanie z wymaganą dla takich przepływności częstotliwością sięgającą 625 MHz. Zakłócenia generowane przez poszczególne pary skrętek podczas tych transmisji powodują szumy, które z kolei wpływają na sygnały informacyjne przesyłane przez sąsiednie pary. Aby uniknąć takich sytuacji, stosuje się technologie likwidujące przesłuchy między poszczególnymi parami skrętek UTP i modernizuje układy odpowiedzialne za synchronizację sygnałów i opóźnienia (jednakowe opóźnienia we wszystkich parach skrętek).

Zasadniczy postęp w technologiach kodowania sygnałów cyfrowych oraz sposobach kompensacji zakłóceń i szumów interferencyjnych w torach kablowych sprawił, że amerykańskie stowarzyszenie IEEE podjęło prace studyjne nad wykorzystaniem tradycyjnego okablowania w „czystej” kategorii 5 do transmisji sygnałów o przepływności 10 Gb/s poprzez skrętkę miedzianą UTP. Do tej pory brak danych o postępach tych prac. Początkowy koszt wyposażenia okablowania 10GbE w miedzi będzie jedynie 8–10 razy większy od dotychczasowego rozwiązania miedzianego dla sieci 1GbE. Za kilka lat koszt takich instalacji powinien istotnie się zmniejszyć, nie przekraczając 2–3-krotnie kosztów wyposażenia gigabitowego Ethernetu, a uzyskana szybkość będzie 10-krotnie większa.

Budowa od podstaw szybkich sieci LAN za pomocą okablowania optycznego jest zbyt kosztownym przedsięwzięciem dla niewielkich przedsiębiorstw, dlatego alternatywą stały się sieci z okablowaniem miedzianym w jednym z dwu wariantów szybkości 10GbE. Według prognoz istotny rozwój okablowania Ethernet 10 Gb/s (przez miedź lub światłowod) nastąpi dopiero po 2005 r. Obecnie wielu dostawców okablowania i producentów liniowych mikroukładów transportowych wykazuje zainteresowanie Ethernetem 10 Gb/s opartym na okablowaniu miedzianym, spodziewając się, że ta technologia będzie się szybko rozwijać w najbliższej przyszłości.

Nowości w okablowaniu

Za pomocą kabli światłowodowych można budować zarówno pętle lokalne składające się z pojedynczych światłowodów, jak i połączenia rozległe tworzone z wielu włókien. Duża odporność na zakłócenia elektromagnetyczne zewnętrzne, stopa błędów mniejsza niż 10^{-10} przy najwyższych przepływnościach binarnych oraz mała tłumienność jednostkowa (poniżej 0,20 dB/km) z praktycznie zerową dyspersją światłowodu umożliwiają budowę pojedynczych kanałów optycznych o przepływności 10–40 Gb/s. Zasięg typowej linii światłowodowej bez regeneracji sygnału za pomocą wzmacniaczy światłowodowych wynosi odpowiednio: 80–100 km (II okno optyczne) lub 160–200 km (okno III i IV).

Ze względu na konstrukcję wyróżnia się trzy typy kanałowych kabli optycznych:

- Konstrukcje tubowe, zawierające włókna światłowodowe umieszczone luźno w tubach o średnicy od 2 do 3,5 mm, w których zależnie od potrzeb mieści się 1–10 włókien. Tuby są standardowo skręcane centralnie wokół dielektrycznego ośrodka wytrzymałościowego, a wolne przestrzenie są wypełnione żelazem zabezpieczającym przed przenikaniem wilgoci. Kable konstrukcji tubowej są najczęściej wytwarzane w odcinkach 2–6 km.

- Konstrukcje rozetowe, w których centralny element wytrzymałościowy ma wyprofilowane spiralne rowki prowadzące włókna światłowodowe (1–4).

- Konstrukcje płaskie lub prostokątne, umożliwiające łatwą identyfikację rodzaju włókien optycznych, co jest bardzo przydatne w naprzemiennym łączeniu włókien o odmiennej polaryzacji dyspersji.

Do instalacji okablowania strukturalnego najbardziej przydatne są kable optyczne o konstrukcji tubowej z luźno wypełnionymi włóknami oraz kable z tubami pustymi (BioLite), przez które przeciąga się włókna dopiero podczas instalacji sieci lokalnej. Taka konstrukcja pozwala przeciągać wymaganą liczbę włókien między kolejnymi węzłami sieci, przy czym liczba włókien optycznych w poszczególnych odcinkach okablowania może być różna.

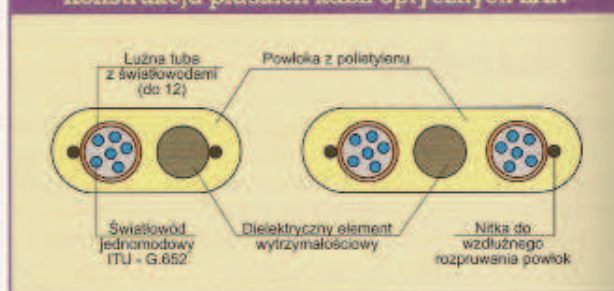
Optokable płaskie LAN

Nową generację kabli optycznych stosowanych od 2000 r. do budowy sieci LAN otwierają płaskie kable światłowodowe o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej, niezbędnej podczas instalacji sieci o niewielkim zasięgu w pomieszczeniach biurowych i budynkach przemysłowych. Ze względu na wytrzymałą konstrukcję i stosunkowo łatwy montaż – niewymagający szczególnej delikatności i ostrożności monterów w trakcie instalacji – kable płaskie zaczynają wypierać w sieciach LAN powszechnie dotąd używane wielowłóknowe kable optyczne, w standardowej izolacji zewnętrznej o przekroju kołowym. Płaskie kable są przystosowane do układania w kanalizacji pierwotnej i wtórnej, zwłaszcza o ograniczonej wolnej przestrzeni montażowej. Nadają się również do budowy szerokopasmowych łączy stacjonarnych, do tymczasowego układania luzem na powierzchni lub zakopywania w gruncie oraz na podwieszanie do linek nośnych w przęstach do 50 m.

Konstrukcja powłoki kabli płaskich o owalnym przekroju z suchym wypełnieniem luźnej tuby światłowodowej (do 12 włókien optycznych w kablu) pozwala na wielokrotne wykonywanie rozgałęzień, często potrzebnych podczas instalacji sieci lokalnej LAN. Zatopione wzdłuż kabla nitki ułatwiają rozrywanie powłoki przy demontażu kabla w węzłach sieciowych bez uszkodzenia podstawowej tuby z włóknami optycznymi. Cechy te są przydatne w pracach serwisowych oraz do odtwarzania uszkodzonych odcinków linii kablowych.

Płaskie kable optyczne są przeznaczone do transmisji cyfrowych i analogowych sygnałów w całym pasmie optycznym, wykorzystywanym w systemach transmisji multimedialnej (głosu, obrazu i danych). Stosuje się je w szerokopasmowych sieciach dostępowych DSL i sieciach CATV, a przede wszystkim do budowy sieci lokalnych (biurowych, akademickich, kampusowych czy przemysłowych) o łącznej długości nieprzekraczającej kilku, najwyżej kilkunastu kilometrów.

Konstrukcja płaskich kabli optycznych LAN



Kable optoenergetyczne

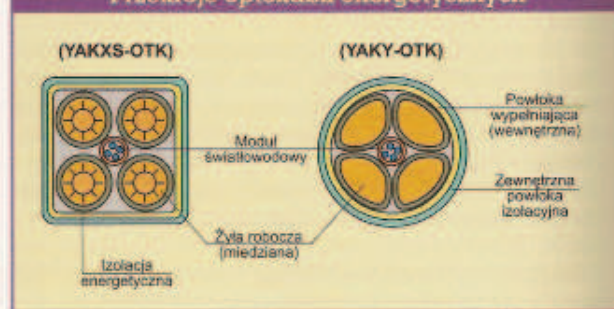
Podstawową przeszkodą w wykorzystaniu linii energetycznych jako miedziowego medium transmisyjnego są zakłócenia generowane przez urządzenia energetyczne (przełączniki, stacje transformatorowe, windy), a także przez domowe odbiorniki energii elektrycznej (sprzęt AGD i RTV). Udostępnienie aplikacjom cywilnym zaawansowanych technologii zwielokrotnienia kodowego CDMA pozwoliło na bardziej efektywną budowę sieci dostępowych DPL (*Digital Power Line*), w których do przesyłania informacji współużytkuje się żyły miedziane niskiego (0,6/1 kV) i wysokiego (18/30 kV) napięcia. W tych aplikacjach standardowo korzysta się z częstotliwości nośnej znajdującej się powyżej 1 MHz, a do instalacji usług szerokopasmowych – częstotliwości nośnych w zakresie 1,6–30 MHz. Większe możliwości dają kable energetyczne z wbudowanym modułem optotelekomunikacyjnym.

Cechą charakterystyczną kabli energetycznych z umieszczonym wewnątrz modułem światłowodowym lub tubą jest brak bezpośredniego dostępu do włókien optycznych na całej trasie przekazu między nadawcą a odbiorcą. Moduł optotelekomunikacyjny jest zwykle instalowany w osi kabla energetycznego, toteż zewnętrzne powłoki żył miedzianych (znajdujące się pod napięciem) stanowią wystarczające zabezpieczenie nawet przed całkowitym uszkodzeniem toru optycznego. Z cechy tej korzysta się w aplikacjach poprawiających stan bezpieczeństwa nadzorowanych obiektów (monitorowanie budynków za pomocą stacjonarnych i ruchomych wideokamer), w miejscach zagrożonych przestępczością czy do szerokopasmowej komunikacji w obiektach sportowych.

Sieć energetyczną wykorzystuje się do szerokopasmowej transmisji sygnałów telekomunikacyjnych również na duże odległości poprzez instalację wzdłuż stópów energetycznych wysokich napięć różnorodnych kabli optotelekomunikacyjnych: samonośnych, podwieszanych lub z wbudowanym modułem optycznym. Nowym rozwiązaniem jest budowa sieci dostępowych z zastosowaniem hybrydowych kabli energetycznych, zawierających kompleksowy moduł światłowodowy lub pustą tubę do montażu włókien wewnątrz kabla energetycznego, uzupełnianą włóknami w trakcie instalacji sieci.

Postęp w tej dziedzinie odnotowano po opanowaniu technologii produkcji kabli energetycznych z żyłami miedzianymi zawierającymi włókna optyczne. Hybrydowe kable energetyczne z żyłami miedzianymi niskiego napięcia i włóknami światłowodowymi odpornymi na działanie wyładowań, przepięć

Przekroje optokabli energetycznych



i zmiennych pól elektromagnetycznych można obecnie doprowadzać nie tylko bezpośrednio na stanowisko pracy (maszyny górnicze, nadzór operacji technologicznych w obiektach przemysłowych, automatykacja procesów produkcyjnych), ale także stosować do szeroko pojętej ochrony obiektów (telewizja przemysłowa czy ruchome kamery sterowane silownikami). Zasięg łączny optokomunikacyjnych w takich aplikacjach sięga do kilkunastu kilometrów.

W Polsce wytwarza się kable energetyczne (18/30 kV oraz 0,6/1 kV) z modułem optycznym, wypełnianym w procesie produkcyjnym włóknami światłowodowymi lub z tubą do wdmuchiwania włókien w trakcie instalacji na obiekcie. Liczba instalowanych fabrycznie włókien w tubie o średnicy wewnętrznej 2,2–4 mm wynosi 4–12 włókien. W tubach o średnicy 2,8–6 mm można umieścić do 24 włókien optycznych. Największą trudnością w produkcji kabli optoenergetycznych z centralnie umieszczoną pustą tubą światłowodową jest utrzymanie jej wewnętrznej średnicy podczas nakładania zewnętrznej powłoki kabla (w temperaturze ok. 200°C) – na całej długości kilkukilometrowego odcinka fabrykacyjnego.

Jedną z aplikacji kabli optoenergetycznych jest ciągłe monitorowanie temperatury wysokonapięciowych kabli energetycznych. Ze względu na to, że instalacja kablowych systemów energetycznych wysokich napięć wymaga znacznych inwestycji, stałą kontrola maksymalnego obciążenia kabla i jego dopuszczalnej temperatury pracy stanowi istotny element niezawodności dosyłowych linii energetycznych. Rozkład temperatury pracy energetycznych linii dosyłowych zależy od wielu czynników, takich jak konstrukcja kabla, miejsca jego ułożenia (następcznie, powietrzne, podziemne, teren wilgotny lub suchy), obecność bliskich źródeł ciepła czy lokalnego przeciążenia fragmentu linii energetycznej.

Do monitorowania temperatury włókna optycznego stosuje się technikę rozproszonego pomiaru temperatury DTS (*Distributed Temperature Sensor*), za pomocą której z dużą dokładnością można określać temperaturę włókna w dowolnym punkcie jego długości. W celu określenia temperatury medium światłowodowego przesyła się impuls laserowy wzdłuż włókna. W trakcie jego propagacji przez medium część światła ulega wstępnemu odbiciu, a składową odbicia sygnału optycznego próbkuje się bezpośrednio przy źródle światła, co pozwala wyznaczyć poszukiwaną odległość niejednorodności toru. Na podstawie tak uzyskanych wartości określa się profil temperaturowy włókna, będący odzwierciedleniem bieżącej temperatury włókna wzdłuż jego trasy. Z profilu temperaturowego włókna można ekstrapolować profil temperaturowy żyły miedzianej, a na tej podstawie obliczyć dopuszczalne obciążenie elektryczne eksploatowanego kabla energetycznego. Dokładność mierzonych przez włókno temperatur sprawdza się w zakresie 90–250°C.

Podziemne i wysokonapięciowe kable energetyczne są wytwarzane z włóknem optycznym przylegającym bezpośrednio do izolacji żyły lub znajdującym się w najbliższej dogodnej produkcyjnie odległości od niej. W kablach naziemnych średniego i wysokiego napięcia moduł światłowodowy zwykle umieszcza się w obrębie miedzianej żyły powrotnej.

Nowe elementy okablowania

Uzyskanie wysokiej kategorii okablowania strukturalnego wymaga zapewnienia wielu dodatkowych warunków infrastruktury, z uwzględnieniem nowych technologii przyłączania urządzeń i modernizacji złączy. Producenci okablowania starają się wyeksponować w swych produktach unikatowe ich cechy, zwykle przyjmujące później postać standardu i wyróżniające je spośród innych produktów optycznych.

Złącza interfejsowe

Złącza kategorii 7 powinny zapewniać pełną wymienną z złączami RJ45 stosowanymi dotychczas w okablowaniu. Najnowsze złącza **GigaGate** (Nexans) z gniazdem GG45 i wtykiem **GigaPlug** o pasmie przenoszenia sygna-

łu do ponad 600 MHz są przeznaczone dla systemów wykonanych na skrętkę czteroparowej proponowanej dla kategorii 7 (600 MHz). Podczas opracowywania tego zestawu złączy zadbano, aby wtyk GP45 przy zachowaniu wszystkich wymaganych właściwości pasował do normalnego gniazdka RJ45, i odwrotnie. Złącza GG45 i GP45 zapewniają dobrą izolację pary, ciągłość ekranowania i poprawiony współczynnik przestuchu zbliżonego NEXT sięgający odpowiednio: 72,4 dB (dla 100 MHz), 67,9 dB (200 MHz) oraz do 60,7 dB (600 MHz). Obecnie są one jedynymi złączami spełniającymi wszystkie wymagania najwyższej kategorii 7 (klasa F).



Do szybkiego wykonywania połączeń krosowych w okablowaniu miedzianym Giga-Channel (Panduit) stosuje się złącza Mini-Jack TX-6 oraz Mini-Jack TX-5e, umożliwiające realizację tanich przyłączy o poszerzonym pasmie przenoszenia. Dzięki tej technologii eliminuje się konieczność rozkręcania par kabla przed zaciśnięciem, a gniazda zapewniają lepsze parametry transmisyjne niż wymagane przez normy kategorii 5e i 6. Szybka metoda Giga-TX zaciskania włókien optycznych (przeciętnie ok. 20 s) ogranicza siły potrzebne do zaciśnięcia kabla bez potrzeby stosowania narzędzi uderzeniowych, zdecydowanie zwiększając niezawodność połączenia gniazda RJ45.

W roku 2002 pojawił się wtyk instalacyjny MT-RJ45 (Krone i Siecor) do zakończenia kabli optycznych bezpośrednio w miejscu użytkowania urządzenia końcowego. Konstrukcja wtyku MT-RJ45 pozwala na krępowanie włókien za pomocą specjalnych narzędzi wchodzących w skład uniwersalnego zestawu montażowego. Wtyk z bolcami naprowadzającymi jest dostępny dla obu rodzajów włókien wielomodowych: 50/125 μm oraz 62,5/125 μm .

Zasilanie przez okablowanie

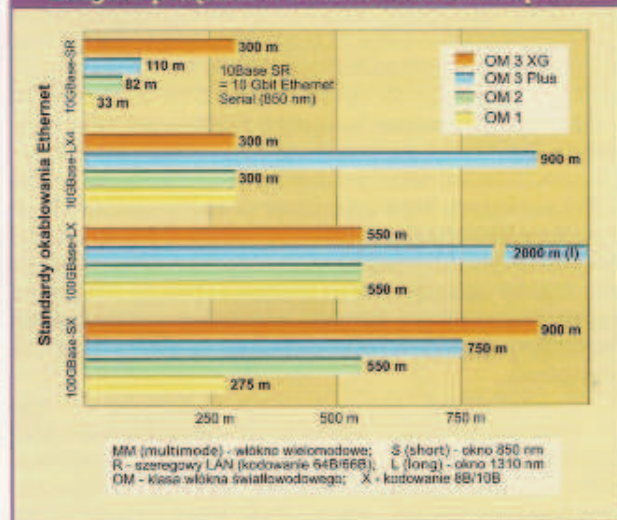
Zaakceptowany w lipcu 2003 r. przez ośrodek normalizacyjny IEEE-SA (*Electrical and Electronics Engineers – Standards Association*) standard IEEE 802.3af określa sposób zasilania urządzeń peryferyjnych przez budynkowe okablowanie strukturalne. Według standardu (i jego rozszerzenia) IEEE 802.3af (*CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications*) można zasilać energią elektryczną niewielkie, ethernetowe urządzenia terminalowe klasy DTE (*Data Terminal Equipment*), czyli głównie telefony cyfrowe IP – za pośrednictwem tego samego kabla, w którym są przesyłane dane. Rozwiązania wg tego standardu eliminują oddzielne instalacje zasilające dla terminali IP w niewielkich instalacjach budynkowych i zapewniają jednolity model awaryjnego zasilania infrastruktury komunikacyjnej IP (VoIP) przez okablowanie strukturalne.

Opóźnienie w zatwierdzeniu standardu spowodowało, że produkcja wyprzedziła ustalanie norm i na rynku pojawiły się zestawy instalacyjne (aktywne przełączniki sieciowe) w większości już zgodne z normą IEEE 802.3af. Rozwiązania praktyczne przyjmują postać niewielkich ściennych przełączników instalacyjnych PoLAN (*Power-over-LAN*), umożliwiających inteligentne łączenie okablowania światłowodowego z interfejsem miedzianym w sieciach LAN oraz zasilanie niewielkich terminali przez porty Ethernet.

Ethernet 10GbE w światłowodzie

Rynek okablowania światłowodowego zdominowały w początkowym okresie dwa rodzaje włókien optycznych o średnicach rdzenia: 62,5 μm (głównie w USA) i 50 μm (w Europie Zachodniej). Podstawowym czynnikiem decydującym o wyborze rodzaju kabla była cena, bardziej korzystna dla rozwiązań zbudowanych z wykorzystaniem włókna z rdzeniem 62,5 μm , a nie własności tłumieniowe i nieliniowe światłowodu. Od kiedy pojawił się Gigabitowy Ethernet (1999 r.) operujący dziesięć razy szybciej niż jego poprzednik Fast Ethernet, wymagany standardem dystans 300 m stał się praktycznie nieosiągalny dla włókien z rdzeniem o średnicy 62,5 μm . Podstawową przyczyną było zjawisko dyspersji (a nie tłumienia osłabiającego sygnał), której ulega transmisji promień światła. Zbyt wysoki poziom dyspersji włókna stał się bezpośrednią przyczyną wzrostu zainteresowania włóknami o średnicy 50 μm , bardziej odpowiednich zarówno dla okablowania strukturalnego, jak i długo-dystansowych transmisji.

Długość połączeń w światłowodach klasy OM



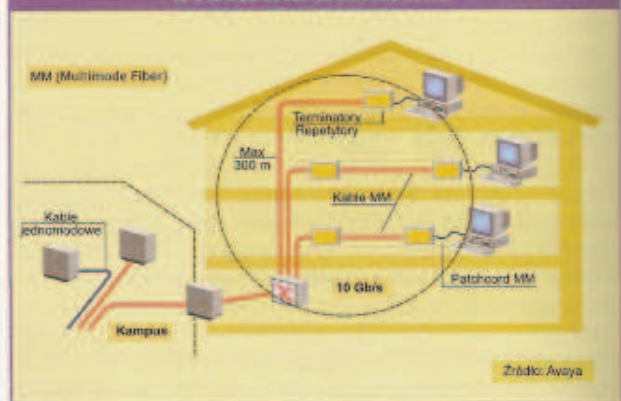
Szerokopasmowe technologie optyczne 1GbE i 10GbE potrzebują szybszych częstotliwościowo źródeł światła, ze wskaźnikiem modulacji lepszym niż mają go tradycyjnie diody luminescencyjne LED stosowane dotąd w aplikacjach o przepływnościach do 622 Mb/s. Aby obniżyć koszt szkieletowej instalacji światłowodowej dla gigabitowych aplikacji optycznych, wprowadzono w 1997 r. bardziej ekonomiczne laserowe źródła VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) działające przy długości fali 850 nm w światłowodach z włóknem 50/125 μm . Dla tych aplikacji opracowano specyfikacje wielomodowych włókien światłowodowych OM (Optical Multimode) oraz włókien jednomodowych OS (Optical Single Mode) współpracujących z laserami VCSEL.

Nowe standardy światłowodowe klasyfikują włókna w kilku kategoriach OM z uwzględnieniem podstawowych parametrów włókien nowej generacji.

Standardy włókien klasy OM1, OM2 oraz OM3

Rodzaje włókien	Pasma dla 850 nm [MHz*km] (minimum)	Pasma dla 1300 nm [MHz*km] (minimum)	Odległość transmisji 1 Gb/s dla 850 nm [m]	Odległość transmisji 1 Gb/s dla 1300 nm [m]	Odległość transmisji 10 Gb/s dla 850 nm [m]	Odległość transmisji 10 Gb/s dla 1300 nm [m]
62,5 μm	160-200	500	-	-	<33	-
50 μm	400	600	-	-	-	-
OM 1 (62,5 μm)	200	500	275	500	300	-
OM 2 (50 μm)	500	500	550	550	<82	-
OM 3 (50 μm)	1500/2000	500	550	-	<300	<300

Światłowody OM3 w rozwiązaniu SYSTIMAX LaserSPEED



Wprowadzony w drugim wydaniu norm EN 50173 oraz ISO/IEC 11801 podział włókien światłowodowych na kategorie OM1, OM2, OM3 oraz OS1 uwzględnia możliwości transmisyjne okna (pasmo przenoszenia przy określonej długości transmitowanej fali). Obliguje też producentów do stosowania rozwiązań mających sprostac tym wymaganiom także w dziedzinie złączy i elementów połączeniowych.

Zastosowanie źródeł światła laserowego VCSEL oraz osprzętu 1Gb/s dla fali 850 nm sprawia, że zwykle nie ma potrzeby inwestowania w kosztowny sprzęt aktywny i wymianę sieci kablowej przy przejściu na aplikacje 10-gigabitowe. Jeden rodzaj włókna zoptymalizowanego może zastąpić pozostałe rozwiązania kablowe, zapewniając współpracę systemów komunikacji z protokołami: Ethernet, Token Ring, Fibre Channel, FDDI, Ethernet, Fast Ethernet, 1GbE czy 10GbE.

Pierwsze włókna klasy OM (AMP) zaimplementowano w okablowaniu światłowodowym Solarium, w którym wykorzystuje się włókno OM3 (50/125) w dwóch oknach transmisyjnych: 850 nm (1500 MHz*km) i 1300 nm (500 MHz*km). Za jego pomocą uzyskuje się transmisję 10 Gb/s (Gigabit Ethernet) na odległość do 300 m. Firma Molex uzupełniła dostawy rynkowe wszystkimi rodzajami włókien kategorii OM (OM1, OM2, OM3) zgodnymi z wymaganiami standardu.

Użytkownik może obecnie wybierać między tanimi źródłami światła laserowego VCSEL o szerokopasmowej emisji sygnału, lecz z droższym okablowaniem, a tańszym osprzętem CWDM (zamiast kosztownego DWDM), ale o niższej przepustowości. Dla niewielkich odległości słuszną jest zasada, że tańsze okablowanie wymaga droższego sprzętu aktywnego, takiego jak DWDM, i odwrotnie. O ile standardowe włókna optyczne 50/125 μm i 62,5/125 μm w połączeniu z laserami VCSEL są wystarczające do aplikacji 1GbE, o tyle przy 10-krotnie wyższej częstotliwości pracy w technologii 10GbE można stosować (poza nielicznymi wyjątkami) jedynie cięstsze włókna optyczne 50/125 μm , zoptymalizowane pod kątem laserów VCSEL.

Optymalizacja włókna w procesie produkcyjnym pod lasery VCSEL polega na niewielkiej korekcie (w procesie produkcyjnym) charakterystyki współczynnika załamania światła w profilu rdzenia, ponieważ standardowa procedura wytwarzania włókien 50/125 μm nie zapewnia wymaganego pasma przenoszenia. Dla nowszych aplikacji pojemność ta wynosi obecnie ok. 2000 MHz * km dla fali 850 nm (10 Gb/s, 300 m).

Zatwierdzenie specyfikacji 10 Gigabitowego Ethernetu optycznego (10Base-X) przez komitet normalizacyjny IEEE 802.3ae stało się punktem zwrotnym implementacji światłowodowych rozwiązań 10 Gb/s w szkieletowych sieciach budynkowych. Instalacje Ethernetu 10 Gb/s wg IEEE 802.3ak oparte na miedzi mogą obecnie obsługiwać jedynie krótkie połączenia lokalne (przełącznik-przełącznik, stacja robocza-przełącznik, serwer-serwer), natomiast długodystansowy Ethernet wg standardu IEEE 802.3ae będzie oparty wyłącznie na światłowodach z osprzętem DWDM. Jednorodna postać sieciowych rozwiązań 10GbE w poszczególnych segmentach okablowania istotnie upraszcza konfigurowanie i zarządzanie szkieletem sieci. Stanowi też naturalną ścieżkę rozszerzenia możliwości transmisyjnych istniejących protokołów bez konieczności dodatkowego szkolenia personelu.



Przeptywności transmisyjne dzisiejszych jednomodowych włókien światłowodowych sięgają 40 Gb/s (TDM). Włókna te zwykle nie są w pełni wykorzystane ze względu na pozostające w tyle rozwiązania drogich, terabitowych platform optycznych oraz innych szkodliwych własności urządzeń optycznej infrastruktury (niedoskonałość elementów pasywnych, termiczne pływanie złączy, ograniczenia w szybkości przełączania i multipleksacji). Ogólny wzrost przepływności łączy uzyskuje się przez stosowanie włókien o małej (niezerowej) dyspersji i jej odpowiedniej kompensacji wzdłuż toru oraz przez stosowanie źródeł światła o wąskim spektrum promieniowania w technologiach DWDM. Rozwój systemów zwielokrotnienia falowego DWDM ewoluuje od przepływności początkowej 10 Gb/s (4 x 2,5 Gb/s) do 40 Gb/s (TDM) uzyskiwanych w pojedynczym włóknie do terabitowych platform optycznych o przepływności sięgającej kilkuset Tb/s (160 x 160 x 10 Gb/s).

Platformy miedziane

Postęp w miedzianych technologiach transmisyjnych sprawił, że stosunkowo tanie okablowanie miedziane z powodzeniem może być używane także do szybszych transmisji. Wdrażanie sieci miedzianej wymaga jednak właściwego wyboru, w szczególności zwróceniem uwagi na parametry techniczne okablowania. Punktem odniesienia są tutaj normy i udokumentowane parametry kompleksowego okablowania potwierdzające ich spełnianie. Należy zwrócić uwagę na publikowane parametry firmowe pod kątem nie tylko ich wartości, ale też proponowanych przez producenta aplikacji.

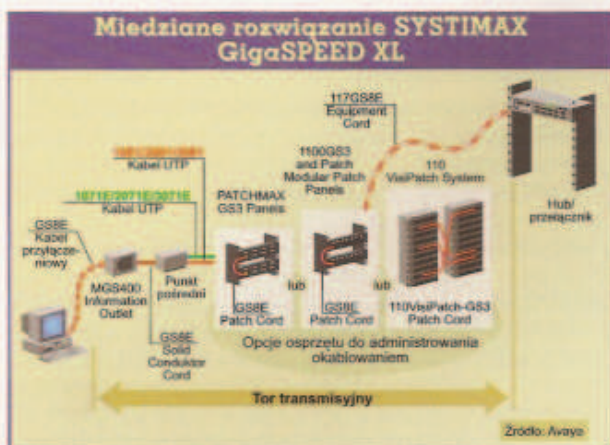
Wzrost wymagań w okablowaniu strukturalnym widać na przykładzie kategorii 5e (rozszerzona klasa D), w której przy zachowaniu częstotliwości przenoszenia 100 MHz istotnie zaostrzono wymagania na niektóre parametry i zdefiniowano sporo nowych, takich jak PSNEXT, PSACR, ELFEXT, PSELFEXT. Ich znaczenie rośnie w miarę przechodzenia do coraz wyższych kategorii, od okablowania kategorii 6 w górę. Konieczność opracowania nowych typów kabli została podyktowana szybkim wprowadzeniem w życie rozwiązań wg standardów ATM (622 Mb/s, także 1,2 Gb/s i 2,4 Gb/s) oraz sieci 1GbE i 10 GbE, które zdecydowanie wymagają większych szerokości pasma przenoszenia.

Oferowane przez firmę Avaya okablowanie strukturalne SYSTIMAX SCS obejmuje systemy kabli miedzianych GigaSPEED XL i PowerSUM oraz systemy kabli światłowodowych LaserSPEED i OptiSPEED. Dostępne od 2001 r. okablowanie GigaSPEED XL stanowi otwarty i modułowy system miedzianego okablowania strukturalnego, który umożliwia równoczesne przesyłanie informacji multimedialnych i aplikacji zarządzających budynkami inteligentnymi. Przez zachowanie odpowiedniej konstrukcji kabla i firmowej technologii skrętu przewodów uzyskano redukcję zakłóceń przesłuchu zbliżonego NEXT w całym pasmie transmisyjnym. Przesłuch ten wynosi obecnie 6 dB powyżej wymagań określonych w standardzie kategorii 6 (przy zastosowaniu rozwiązania GigaSPEED XL7 dla kabli serii 71) lub 7 dB (w rozwiązaniu GigaSPEED XL8 z kablami serii 81) w całym zakresie częstotliwości kanału transmisyjnego. Są to zadowalające parametry do prowadzenia gigabitowych transmisji przez medium miedziane.

Opracowana przez Nexans nowa generacja miedzianych kabli ekranowanych typu FTP (*Failed Twisted Pair*) stanowi postęp w tworzeniu okablowania, polegający na realizacji koncepcji podwójnego ekranu w postaci podwójnej folii zewnętrznej. W tradycyjnych kablach ekranowanych z zastosowaniem tylko pojedynczej folii interferencje elektromagnetyczne EMI (*Electromagnetic Interference*) są największe w miejscu, gdzie folia jest zamykana. Wprowadzenie folii podwójnej skutecznie rozwiązuje problem zakłóceń: interferencje elektromagnetyczne muszą najpierw przeniknąć przez otwarcie w pierwszej folii, a następnie, otaczając wokół kabel, wnikać w znacznie osłabionej postaci przez otwarcie w drugiej folii ekranującej.

Testy wykazały, że kable z ekranem w postaci podwójnej folii charakteryzują się 10 razy lepszą wartością impedancji przejściowej w porównaniu z tradycyjnymi kablami FTP. Dodatkową korzyścią rozwiązania z podwójną folią w kablach FTP jest łatwość ich instalacji, gdyż – podobnie jak w kablach UTP (*Unshielded Twisted Pair*) przy usuwaniu zewnętrznej izolacji z kabla i uwalnianiu wiązki par kablowych – jest zrywana również pierwsza warstwa folii. Obecnie kable foliowane FTP są testowane do częstotliwości 600 MHz, a punkt ACR o wartości 0 dB leży między częstotliwościami 200 a 600 MHz. Nowe kable STP (*Shielded Twisted Pair*), w których każda para kabli (skrętka) ma ekran w postaci folii, a cały kabel dodatkowo ekran w postaci opłotu, są przystosowane do instalacji okablowania kategorii 7. Dla tych wymagań kable STP mają dodatni współczynnik ACR do częstotliwości ponad 1 GHz.

Dla krótkich odcinków LAN parametry, takie jak tłumienność i szerokość pasma, nie są krytyczne, gdyż oba są funkcją długości kabla, a więc mało istotne na małych dystansach. W okablowaniu powszechnie stosuje się kilka rodzajów włókien, które stanowią mieszane medium transmisyjne: od najtańszych dla niewielkich odcinków, po najdroższe o małym tłumieniu, ale szerokim pasmie przenoszenia. Tak zróżnicowana paleta pozwala optymalizować koszty całej instalacji poprzez dobór odpowiedniego włókna w każdym z odcinków sieci, gdyż nie wszędzie jest potrzebne okablowanie z włókniem o najwyższej jakości (różnica w tłumienności pomiędzy skrajnymi rodzajami kabla wynosi ok. 20%, pasmo natomiast może wtedy różnić się nawet sześciokrotnie).



Gigabitowe platformy firmowe

Wiele firm produkuje i dostarcza rozwiązania szkieletowe 10 Gb/s (odrębne dla osiedli i budynków) oraz strukturalne okablowanie poziome (spinające piętrowe punkty dystrybucyjne ze stacjami końcowymi użytkownika). W wyższych warstwach okablowania można stosować kompleksowy system AMP Netconnect XG firmy AMP oparty na optymalizowanym włóknie 50/125 μm i zestawie łącz optycznych umożliwiających transmisję z szybkością 10 Gb/s w zasięgu 300 m. Do okablowania budynkowego 10GbE można stosować dwa rozwiązania: w systemie ACO Plus 1,2 GHz oraz AMP Netconnect Solarum. Miedziany system ASO Plus (1,2 GHz) wykorzystuje czteroparowy kabel do jednoczesnego transportu danych, głosu, obrazu i aplikacji CATV. Istotnym elementem systemu są wymienne złącza krąweżłowe, stanowiące zakończenia podwójnie ekranowanego kabla miedzianego PIMF (2 GHz) z możliwością transmisji o szybkości dochodzącej do 14,4 Gb/s. Nowszą alternatywą budynkowego okablowania firmy jest światłowodowy system Netconnect Solarum oparty na złączach interfejsowych standardu MT-RJ.

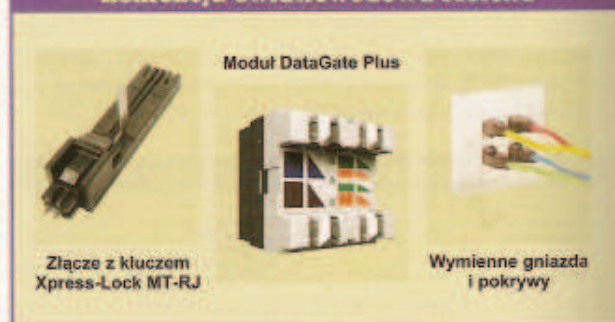
Systemy okablowania strukturalnego SYSTIMAX SCS (*Structured Cabling Solutions*) firmy Avaya obejmują rozwiązania miedziane GigaSPEED XL i PowerSUM oraz rozwiązania optyczne LaserSPEED i OptiSPEED. Dostępne od maja 2002 r. miedziane okablowanie GigaSPEED XL daje czterokrotnie lepszą wydajność (6 dB) powyżej wymagań zakładanych w okablowaniu LAN kategorii 6. System stanowi modułarne rozwiązanie, które umożliwia równoczesne przesyłanie multimediów i aplikacji zarządzających budynkami inteligentnymi.

W zestawie produktów GigaSPEED XL są dostępne rozwiązania GigaSPEED XL7 (wyposażone w kable serii 71E) lub GigaSPEED XL8 (seria 81A) uzupełniane panelami krosowymi PATCHMAN (GS3, 1100GS3) lub iPatch GS3 oraz gniazda danych MGS400. Od roku 1999 dla sieci szkieletowych firma dostarcza światłowodowe okablowanie LaserSPEED, które gwarantuje transmisję 10 Gb/s na odległość do 550 m (1100 m dla 1GbE), wykorzystując wielomodowy światłowod OM3 w oknie 850 nm. Miedziana platforma GigaSPEED XL7 zapewnia utrzymanie poziomu parametru przesłuchu zbliżonego NEXT o 6 dB powyżej wymagań określonych w standardzie kategorii 6.

Dla okablowania obsługującego sieci 1GbE (miedz) oraz 10GbE (światłowod) firma Cisco Systems dostarcza uniwersalne moduły, które pozwalają elastycznie konfigurować topologię i zwiększać bezpieczeństwo sieci łącząc z obsługą QoS. Należą do nich nowe moduły Ethernet 1 Gb/s i 10 Gb/s przeznaczone dla przetworników serii Catalyst 6500, a także porty optyczne instalowane w 4-portowym module Ethernet 10 Gb/s. Użytkownik ma wtedy do dyspozycji zarówno porty standardowej konstrukcji XENPAK wspierające okablowanie jednomodowe, jak i porty obsługujące włókna wielomodowe 10GBase-SR (850 nm) i 10GBase-LX4 (1310 nm).

W aplikacjach 10GBase-SR można osiągnąć odległość do 70 m, połączenie 10GBase-LX4 może natomiast obsłużyć stacje w odległości do 330 m. Porty optyczne SR i LX (Ethernet 10 Gb/s) znalazły się na rynku w listopadzie 2003 r., a w marcu 2004 r. firma Cisco zaimplementowała w przetwornikach Catalyst 6500 moduł, do którego można bezpośrednio podłączać sieci Ethernet 10 Gb/s wykonane na okablowaniu miedzianym.

Konfekcja światłowodowa Molexa



Zmniejszenie zakłóceń podczas transmisji w okablowaniu miedzianym uzyskuje się za pomocą specjalnych kabli z konstrukcją krzyżakową, stosowanych w systemie Millennium firmy Brand-Rex dla okablowania Cat6Plus. W podstawowej wersji okablowania GigaPlus uzyskuje się wtedy dodatni współczynnik ACR przy 200 MHz, co przewyższa wymagania rozszerzonej kategorii 5. Konwencjonalnym rozwiązaniem firmowego okablowania optycznego jest platforma optyczna Millennium Fibre Optic System obejmująca pełny asortyment podzespołów światłowodowych (krosownice, złącza, adaptory, kable) oraz unikatowy sposób wdmuchiwania włókien światłowodowych w rury prowadzące BioLite.

Kompleksowy system okablowania strukturalnego Volition firmy 3M obejmuje elementy miedziane kategorii 6 i 5e, a dla sieci światłowodowych – małogabarytowe złącza VF45. Okablowanie Volition występuje w trzech odmianach jako UTP do kabli nieekranowanych, FTP do kabli ekranowanych z zachowaniem ciągłości ekranu oraz STP do kabli ekranowanych z ekranowaniem typu 360°. Nowością jest światłowodowy system Volition Fiber ze złączem VF45, który zmniejsza koszt włączenia komputerów do szkieletu sieci. Złącze to można stosować zarówno do wielomodowych włókien 50/125 μm i 62,5/125 μm , jak i jednomodowych 9/125 μm .

Różnorodny miedziany i światłowodowy osprzęt okablowania wytwarza Molex Premise Networks, z którego konfekcji kablowej, złączy i podzespołów korzysta większość dostawców gigabitowego okablowania strukturalnego. Dla wyższych kategorii okablowania firma dostarcza: gniazda DataGate Plus do paneli krosowych (zmodyfikowana wersja RJ45), dwupoleksowe złącza światłowodowe MT-RJ Xpress-Lock oraz wymienne gniazda i pokrywy montażowe złączy stosowane w firmowych systemach Power Cat 6, Power CatPlus.

Przykładowe parametry miedzianego toru transmisyjnego

Gwarantowane parametry toru kablowego wg specyfikacji GigaSPEED XL7

	1	4	8	10	16	20	25	31,25	62,5	100	200	250
Częstotliwość (MHz)	1	4	8	10	16	20	25	31,25	62,5	100	200	250
Insertion Loss (dB)	2,0	3,8	5,4	6,0	7,6	8,6	9,6	10,8	15,6	20,2	30,0	34,0
NEXT (dB)	78,7	69,0	64,2	62,6	59,2	57,6	56,0	54,4	49,4	45,9	40,8	39,1
ACR (dB)	78,6	65,2	58,8	56,6	51,6	49,1	46,4	43,6	33,7	25,7	10,8	5,0
PSNEXT (dB)	77,8	68,0	63,1	61,5	58,1	56,5	54,8	53,2	48,1	44,6	39,4	37,7
PSACR (dB)	75,8	64,2	57,7	55,5	50,4	47,9	45,2	42,4	32,4	24,3	9,4	3,5
ELFEXT (dB)	69,3	57,2	51,2	49,3	45,2	43,2	41,3	39,4	33,3	29,3	23,2	21,3
PSELFEXT (dB)	68,3	56,2	50,2	48,3	44,2	42,2	40,3	38,4	32,3	28,3	22,2	20,3
Return Loss (dB)	23,0	23,0	23,0	23,0	22,0	21,5	21,0	20,5	18,0	16,0	13,0	12,0
Delay (ns)	580	562	557	555	553	552	551	550	549	548	547	546
Delay Skew (ns)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Zalecenia instalacyjne

Miedziane technologie transportu obejmujące ekranowane i podwójnie ekranowane kable telekomunikacyjne stanowią obecnie podstawę szybkiego transportu w sieciach teleinformatycznych okablowania strukturalnego. Podczas instalacji kablowych o dużej przepływności powstają jednak problemy, związane z ekranowaniem i uziemieniem systemu telekomunikacyjnego oraz zachowaniem zgodności elektromagnetycznej EMC (*Electromagnetic Compatibility*). Obowiązująca powszechnie zasada uziemiania w jednym miejscu systemów komputerowych, zawierających elementy aktywne, nie jest praktycznie wykonalna w okablowaniu strukturalnym.

Funkcja ekranowania

Ekranowanie miedzianych kabli transmisyjnych polega na otoczeniu wszystkich czynnych i biernych elementów transmisyjnych (przewodów sygnałowych, złączy, przyłączy, portów krosownic, portów ruterów i urządzeń) dobrze przewodzącą powłoką metalizowaną o cechach klatki Faradaya. W warunkach idealnych ekran zapobiega przenikaniu pola elektromagnetycznego zarówno z kabla na zewnątrz, jak i z otaczającego środowiska do wnętrza toru transmisyjnego. W praktyce może się jednak zdarzyć, że źle wykonane ekranowanie będzie zachowywać się jak antena i wychwytywać lub emitować sygnały zakłócające o niedopuszczalnym poziomie. Ekranowanie ma na celu wyeliminowanie zakłóceń – także toru transmisyjnego – oraz ograniczenia szkodliwych emisji elektromagnetycznych EMI (*Electromagnetic Interference*) do otaczającego środowiska.

Badania pokazują (Cabling Systems), że odporność foliowanych kabli FTP na zakłócenia wzajemne jest o 40 dB wyższa niż zwykłych nieekranowanych kabli UTP. Oznacza to, że kabel FTP ma 100 razy mniejszą radiację niż kabel UTP i absorbuje ok. 100 razy mniej zakłóceń z otaczającego środowiska. Jeszcze lepsze wyniki uzyskuje się za pośrednictwem kabli podwójnie ekranowanych S-FTP, w których każda para jest foliowana oddzielnie, a cały kabel dodatkowo ekranowany opłotem.

Ekran kabla komunikacyjnego powinien zapewnić ochronę przed zewnętrznymi zakłóceniami o niskiej i wysokiej częstotliwości na całej trasie transportu informacji. Dlatego najlepszym miedzianym medium transportowym dla transmisji o dużej szybkości są kable podwójnie ekranowane (oddzielnie każda para, a następnie cały kabel) folią aluminiową lub dodatkowym ekranem miedzianym w postaci szczelnego opłotu. Taki system ekranowania może okazać się niezbędny nawet dla niewielkich szybkości transmisji w kablu, zwłaszcza jeśli znajduje się bezpośrednio w środowisku o wysokim poziomie zewnętrznych zakłóceń EMI. Dobrze wykonane ekranowanie chroni kabel zarówno przed emisją interferencyjną, jak i przed immisją – chroniąc w ten sposób przenoszone kablem informacje. Koszt produkcji kabli z ekranowaniem łącznie z ich instalacją jest ok. 50% większy.

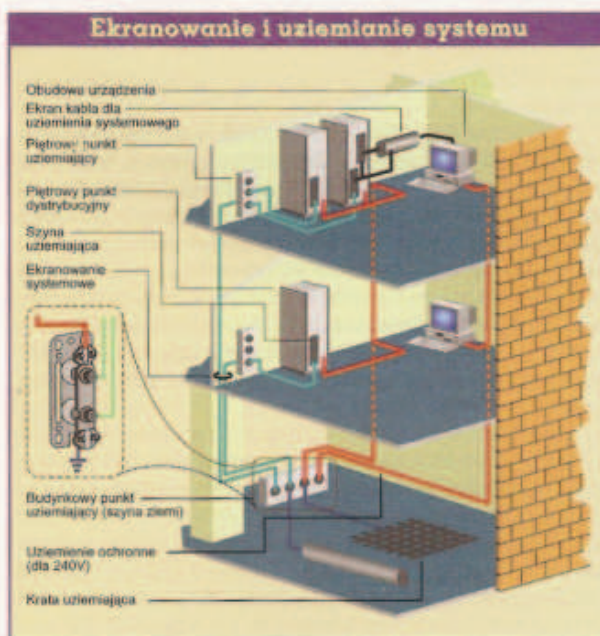
System uziemień

Podstawową funkcją systemu uziemień urządzeń komunikacyjnych jest ochrona osób przed napięciami i prądami niebezpiecznymi dla człowieka, podczas gdy celem ekranowania jest unikanie szkodliwych emisji do środowiska, minimalizacja zakłóceń samego toru transmisyjnego oraz ograniczenie szkodliwych emisji interferencyjnych między kablami teleinformatyki. Właściwe ekranowanie zwiększa prawdopodobieństwo uzyskiwania większych przepływności w kablu, wynikające z realizacji bardziej poprawnych transmisji niezawierających powtórzeń.

Podczas gdy zasady uziemiania urządzeń stacjonarnych (uziemienie ochronne) są od lat niezmiennie i rygorystycznie przestrzegane niezależnie

od rozproszenia systemu komputerowego – gdyż dotyczą bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników obsługujących system – wymagania na ekranowanie i uziemienie ekranu okablowania nie są już tak jednoznaczne. Wprawdzie negatywne oddziaływanie instalacji elektrycznej na sieć komputerową w obszarze okablowania poziomego można zmniejszyć przez wzajemną ich separację przegrodami listwowymi (za pomocą oddzielnej kanalizacji dla przewodów elektrycznych i oddzielnej dla kabli transmisyjnych), niemniej wpływ ten nadal istnieje i nie może być pomijany przy projektowaniu instalacji okablowania strukturalnego.

Inaczej niż w dużych systemach z przetwarzaniem scentralizowanym, gdzie uziemienie oraz ekranowanie można i należy wykonać w jednym centralnym punkcie zasilania całego systemu za pomocą odpowiednio krótkich przewodów, w systemach z przetwarzaniem rozproszonym – a takim jawi się okablowanie strukturalne – sposób i wykonanie ekranowania nie są tak oczywiste. Zwłaszcza że częstotliwości przekazów w okablowaniu strukturalnym przekraczają granicę 1 GHz (10 Gb/s) i stosowanie zbyt długich odcinków uziemiających ekran okablowania bądź niewłaściwy sposób ekranowania całości urządzenia przynosi odwrotny efekt, czyli emisję sygnałów szkodliwych zamiast ochrony okablowania przed zakłóceniami.

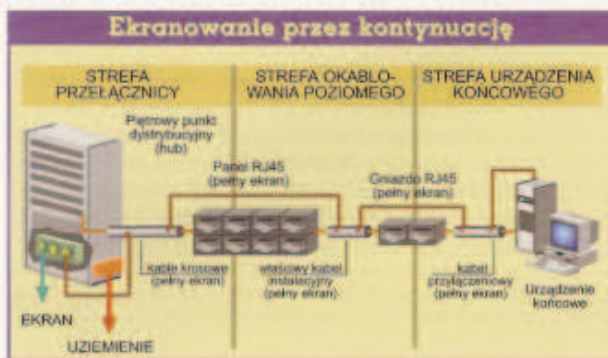


W obu przypadkach należy wyraźnie odróżnić uziemienie ochronne systemu, związane z dostarczaniem energii elektrycznej do poszczególnych stanowisk pracy, od uziemiania i ekranowania kabli połączeniowych i urządzeń komunikacyjnych w celu zapewnienia właściwych warunków transmisji.

Ekranowanie kabli

Jakość zastosowanego ekranu ocenia się głównie wg jego impedancji przejścia (impedancji wzdłuż kabla): im niższa wartość impedancji przejścia, tym lepsze ekranowanie i osiągane parametry zgodności elektromagnetycznej EMC (*Electro Magnetic Compatibility*). Nie jest to jedyny warunek dobrego zabezpieczenia przed zakłóceniami. Łączna efektywność ekranowania okablowania zależy bowiem jednocześnie od wielu innych czynników, takich jak rodzaju materiału, z którego jest wykonany ekran, grubości ekranu, szczelności połączeń ekranowania, typu i częstotliwości pola zakłócającego, maksymalnej szybkości pracy, zachowania odległości między źródłem zakłóceń a ekranem, sposobu uziemienia ekranu, zakończenia i nieciągłości ekranu, a także integralności kabla (całkowite ekranowanie obudowy przyłączy interfejsowych).

Uwzględnienie tych wszystkich czynników jest niezwykle trudne, ale umożliwia realizację wymagań kompatybilności EMC dla sieci teleinformatycznych o dużych przepływnościach i wymaga od projektantów i producentów równoczesnych działań w kilku kierunkach. Wśród nich poczesne miejsce zajmują: maksymalna symetryzacja linii przesyłowej (aż do zupełnego braku potrzeby ekranowania kabla), skuteczne ekranowanie okablowania wraz z komponentami przyłączeniowymi, co zawsze poprawia parametry EMC, oraz stosowanie odpowiednich elementów filtracji toru przesyłowego (adaptery i baluny).



Zgodnie z zaleceniami (firma Krone) ekrany kabli transmisyjnych w okablowaniu strukturalnym powinny być bezwzględnie przyziemione do izolowanej głównej szyny uziemiającej znajdującej się w centralnym punkcie dystrybucyjnym lub piętrowym punkcie rozdzielczym, a każda z izolowanych szyn uziemiających połączona gwiazdźcicie oddzielnym przewodem z systemem uziemienia budynku typu kratownica. Odizolowanie szyny od pozostałych elementów metalowych jest konieczne w celu uniknięcia powstawania szkodliwych pętli uziemiających. Z tych samych powodów izolowana szyna uziemiająca nie może być połączona bezpośrednio ani z uziemieniem ochronnym urządzenia, ani z jakimkolwiek systemem uziemienia odbioru energii elektrycznej, takim jak klimatyzacja, wentylacja, dźwigi czy oświetlenie.

Jednostronne uziemienie ekranów okablowania poziomego z szyną szafy dystrybucyjnej na konkretnym piętrze budynku inteligentnego, chociaż jest najprostszym sposobem ekranowania dla małych i średnich szybkości transmisji (pod warunkiem kontynuacji ekranu wzdłuż toru transmisyjnego), nie jest niestety zawsze poprawnym rozwiązaniem dla wysokich częstotliwości pracy, a w praktyce niekiedy wręcz szkodliwym. Zgodnie bowiem z wymaganiami zgodności EMC dla wyższych częstotliwości pracy (powyżej 1 MHz) ekran linii transmisyjnej nie powinien być uziemiony jednostronnie, lecz w dwóch niezakłóconych punktach po obu stronach kabla łączącego szafę dystrybucyjną z urządzeniem końcowym. Oznacza to, że ekran długiego kabla transmisyjnego należy uziemiać także w urządzeniach końcowych do podobnej szyny, jak w szafie dystrybucyjnej.

Dotyczy to oczywiście jedynie niezakłóconych punktów uziemiających, czyli o różnicy potencjału nie większej niż 1 V napięcia skutecznego – akceptowanego przez wszystkie typy nadawczo-odbiorczych układów interfejsowych fizycznych linii transmisyjnych. Większa różnica potencjałów oznacza nieprawidłowe zasilanie energetyczne urządzeń i szaf dystrybucyjnych (za małe przekroje, niewłaściwe złącza elektryczne, wzrost rezystancji z powodu starzenia się elektrycznych elementów stykowych), niepoprawnie wykonane uziemienie ochronne sprzętu telekomunikacyjnego i urządzeń komputerowych. Taki sam efekt daje źle poprowadzona instalacja energetyczna, powodująca powstawanie prądów lub pętli błądzących. Błędnie rozprowadzona instalacja energetyczna, czyli niewłaściwy podział sekcji zasilania energią elektryczną urządzeń, jest główną przyczyną powstawania okresowych bądź przypadkowych zakłóceń w sieciach okablowania strukturalnego.

Nieciągłość ekranu

Dodatkowe trudności powstają, gdy brak jest ciągłości ekranu wzdłuż kabla komunikacyjnego lub w przyłączach z niepełnym ekranem (ekranowanie jed-

nostronne, czyli jedynie z jednej strony kabla). Całkowity brak uziemienia otuliny ekranowej z reguły objawia się niedopuszczalnie wysokim generowaniem zakłóceń w trakcie działania systemu, co całkowicie uniemożliwia transmisję sygnałów o wysokiej przepływności.

Podobna sytuacja powstaje w razie nieciągłości ekranu wskutek uszkodzenia płaszcza, zmian temperatury, korozji czy niefachowego montażu zwiększającego impedancję, co w praktyce oznacza, że zawsze lepiej mieć za dużo punktów uziemień ekranu okablowania, niż mieć ich o jeden za mało. Zgubny wpływ na skuteczność ekranowania mogą mieć również wszelkie uziemienia o długości ok. 1/4 fali podstawowej lub maksymalnej częstotliwości pracy, a także pozostawianie zbędnych odgałęzień metalicznych o zbliżonych wymiarach.

Pomimo wielu doświadczeń praktycznych brakuje spisanego kodeksu postępowania przy instalacji sieci gwarantującego poprawne działanie każdego okablowania strukturalnego. Wymiernym wskaźnikiem skracającym czas końcowego uruchomienia okablowania pozostaje więc solidny montaż złączy i ekranów zgodnie z projektem okablowania, wielokrotne przyziemie nie ekranów okablowania w punktach o znanym i niezakłóconym potencjale, zapobieganie wibracjom złączy i ekranów, rygorystyczne stosowanie wszystkich elementów wymaganej klasy (nie niższych!) oraz zachowywanie zasad rozprowadzania kabli w odpowiednich korytkach listwowych. O długotrwałej jakości okablowania strukturalnego, mającej służyć przez wiele lat eksploatacji, decydują poprawność jej wykonania i trwałość w czasie (stabilność) użytych komponentów sieci.



Podstawowe zasady kablowania w miedzi

W uzyskaniu systemu okablowania strukturalnego zapewniającego optymalną wydajność sieci pomagają właściwy dobór podzespołów, umożliwiających uzyskanie niskiej (nawet zerowej) wartości bitowego współczynnika błędów BER (*Bit Error Rate*). Sprawdzenie jakości takiej sieci wymaga przeprowadzenia testów w kanale aktywnym, zwykle za pomocą kosztownego sprzętu pomiarowego. Stosując się do wielokrotnie sprawdzonych już reguł postępowania podczas montażu, można uniknąć części kłopotów i zminimalizować końcowy koszt uruchomienia okablowania miedzianego.

Aby unikać dodatkowych kosztów diagnozowania okablowania miedzianego po instalacji niewielkich sieci, wystarczy rzetelnie przestrzegać jedynie kilku podstawowych zasad obowiązujących podczas montażu okablowania. Poza tym jest niezbędne zrozumienie podstawowych przyczyn pojawiania się w sieci błędnych bitów, które powodują niską jakość transmisji pomiędzy kartami sieciowymi NIC (*Network Interface Card*) a węzłami, hubami, ruterami i przełącznikami sieci. Z tego względu ważne są:

1. **Dobór elementów wymaganej kategorii.** Przyczyną gubienia bitów w sieci może być użycie niewłaściwych kart (pakietów) współpracujących urządzeń. Taki sam efekt powoduje niska jakość samego okablowania

Inne wymagania stawia się kablom optycznym tworzącym szkieletowe okablowanie budynków, które z założenia powinno zawierać wiele włókien światłowodowych z możliwością łatwego tworzenia pojedynczych odgałęzień. Do tego celu nadają się kable o luźnym prowadzeniu włókien, czyli bez żelu wypełniającego tuby (kable bezżelowe), które są dostępne na rynku dopiero od niedawna. Wady kabli żelowych powodują, że instalatorzy okablowania są zainteresowani kablami światłowodowymi typu BioLite z możliwością umieszczenia w ich tubach do 72 włókien w jednym płaszczu. Stosowane najczęściej w sieciach LAN tradycyjne kable optyczne zwykle zawierają 4–24 włókien.

strukturalnego, a w praktyce nie jest możliwe proste wyizolowanie przyczyn powstawania błędów w systemie. W tej sytuacji dobór i kontrola rodzajów współpracujących modułów mają znaczenie zasadnicze. Sprawdzenie działania układów nadawczo-odbiorczych w krytycznych warunkach transmisji sieciowych (najwyższe obciążenie) prawie zawsze wymaga odrębnego stanowiska testowego.

2. Zrównoważenie impedancji. Nawet stosowanie całkowicie sprawnych elementów o zgodnych parametrach wydajności (czyli właściwej kategorii), lecz o niewielkim poziomie niezrównoważenia impedancji pomiędzy okablowaniem a złączami może mieć fatalne skutki dla funkcjonowania okablowania w konkretnej sieci. Brak zrównoważenia impedancji powoduje, że część transmitowanego sygnału odbija się z powrotem w stronę źródła, przez co amplituda sygnału docierającego do odbiornika ulega zmniejszeniu. Odbitą część sygnału nazywaną tłumieniem odbiciowym (*return loss*) określa się w dB. Im lepiej jest dopasowana impedancja toru do zainstalowanych typów złączy i kabli dodatkowych, tym lepsze są ogólne parametry elektryczne systemu, a tym samym mniejsze ryzyko pojawienia się błędów w sieci.

3. Eliminowanie retransmisji. Zależność między prawdopodobieństwem wystąpienia błędu oraz wartością tłumienia odbicia, tłumieniem samego medium a szumem występującym w systemie jest jednoznaczna. Im wyższy jest poziom szumu oraz im słabszy sygnał z powodu tłumienia właściwego i tłumienia odbicia, tym wyższe jest prawdopodobieństwo pojawienia się błędu – gdyż odbiornik nie może rozszyfrować prawdziwego sygnału. Retransmitowany sygnał jest powtórnie odsyłany do nadajnika, zajmując użyteczne pasmo transmisji i powodując automatycznie obniżenie kategorii okablowania.

4. Odpowiedni stosunek szumu do sygnału. Dopóki poziom szumu w systemie jest niski podobnie jak poziom strat związanych z tłumieniem

oraz tłumieniem odbicia, dopóty stosunek sygnału informacyjnego do szumu *S/N* (*Signal-to-Noise Ratio*) będzie miał wartość wysoką, a prawdopodobieństwo pojawienia się błędu niewielkie. Dokument IEEE 802.3ab określa górną granicę współczynnika błędu dla standardu 100Base-T równą 10^{-10} , czyli nie więcej niż 1 błąd na 10 mld bitów informacji dla okablowania miedzianego. Jeśli pojawia się więcej błędów niż określono w tej normie, jest prawdopodobne, że wydajność sieci ulegnie degradacji w zauważalny sposób i zmniejszy się przez nią przepływ danych.

5. Wyższa kategoria. Aby uniknąć nieoczekiwanych trudności związanych z nadmierną stopą błędów w najczęściej realizowanym okablowaniu strukturalnym kategorii 5, rozsądnym rozwiązaniem jest dobór elementów systemu, które spełniają wymagania normy kategorii 5e. Dzięki temu transmisja (parametr PowerSum Next) za pośrednictwem 100 m kanatu transmisyjnego o szerokości pasma przenoszenia 1–100 MHz będzie przebiegać bez trudności i z zachowaniem wyznaczonego marginesu bezpieczeństwa oraz dodatnią wartością tłumienia do przesłuchu lub stosunku sygnału do szumu – w całym zakresie częstotliwości.

6. Dodatni parametr ACR. Jeśli tłumienie odbiciowe (spowodowane niezrównoważeniem impedancji) osiąga wartości określone dla kategorii 5e, istnieje niewielkie prawdopodobieństwo, aby było przyczyną powstania szumów w instalacjach kategorii 5. W miarę wzrostu częstotliwości sygnału wzrasta także wartość tłumienia, stosunek tłumienia do przesłuchu ACR (*Attenuation to Crosstalk Ratio*) natomiast maleje. Wiadomo że odbiornik może poprawnie zidentyfikować sygnał, jeśli parametr ACR jest dodatni. Im wyższą wartość osiąga ACR, tym większe istnieje prawdopodobieństwo, że bitowy współczynnik błędu BER będzie mieścił się w granicach tolerancji.

7. Świadomość innych zagrożeń. Naczelna zasada kablowania strukturalnego nadal pozostaje jedna. Uzyskanie bezbłędnie działającego okablowania wymaga (poza solidnym montażem) nie tylko montażu podzespołów tej samej kategorii okablowania, ale również stosowania systemów dopasowanych, w których kable i złącza są zgodne zarówno w kategorii, jak i ściśle dopasowane w tej kategorii do impedancji charakterystycznej. Jeśli system spełniający wymagania kategorii 5e zostanie zainstalowany zgodnie z wszystkimi obowiązującymi standardami, nie może się on przyczynić do pojawienia się w sieci dodatkowych błędnych bitów. Producenci podzespołów kategorii 5e zwykle już dostarczają podzespoły o lepszych parametrach niż określa norma, co dodatkowo rekompensuje niedociągnięcia pojawiające się podczas procesu instalowania systemu.