

Testowanie okablowania

Bazą dla współczesnych systemów informatycznych są systemy okablowania strukturalnego. Będąc częścią wyposażenia współczesnych budynków, stanowią szkielet sieci lokalnych i telefonicznych. Sieci okablowania strukturalnego opierają się na kablach miedzianych i światłowodowych. Pomimo niewątpliwych zalet światłowodów okablowanie miedziane jest nadal powszechnie stosowane i nic nie zapowiada, że w najbliższej przyszłości odejdzie do lamusa. Standaryzowane na początku lat dziewięćdziesiątych systemy okablowania – gwarantujące możliwość wykorzystania wielu technik transmisyjnych stosowanych w pasmie częstotliwości do 100 MHz – są obecnie na granicy swoich możliwości. Rozwój sieci w kierunku prędkości gigabitowych (Gigabit Ethernet, ATM) sprawił, że dostępne pasmo 100 MHz staje się barierą poważnie utrudniającą wykorzystanie istniejącego okablowania.

Standardy

Prace normalizacyjne organizacji międzynarodowych ISO/IEC, amerykańskich ANSI/TIA/EIA i europejskich CENELEC prowadzą do zmian w istniejących oraz definiowania nowych wymagań dla okablowania obejmującego techniki transmisyjne wykorzystujące pasmo częstotliwości do 250 MHz (klasa E/kategoria 6) i 600 MHz (klasa F/kategoria 7).

Dla okablowania strukturalnego istnieje kilka porównywalnych standardów:

- amerykański **EIA/TIA 568A**,
- europejski **EN 50173**,
- oraz międzynarodowy **ISO 11801**.

Standard ISO 11801 i zgodna z nim norma EN 50173 definiują zestaw siedmiu klas aplikacji i odpowiednich dla nich wymagań na elementy okablowania strukturalnego. Odpowiednikami klas aplikacji w normach amerykańskich EIA/TIA są kategorie wymienione w nawiasach:

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

Klasa B – dla głosu i usług terminalowych z pasmem częstotliwości do 1 MHz.

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

Klasa D (kategoria 5) – jest przewidziana dla szybkich sieci lokalnych i obejmuje techniki wykorzystujące pasmo częstotliwości do 100 MHz.

Klasa optyczna – wykorzystująca łącza światłowodowe – umożliwia realizację wszystkich dostępnych technik transmisji danych. Barierą w rozwoju sieci światłowodowych jest względnie wysoki koszt komponentów optoelektronicznych.

Rozszerzona klasa D (kategoria 5e). Większość instalacji jest zgodna z wymaganiami klasy D zdefiniowanymi w 1995 r. W 1998 r. pojawiła się aktualizacja dokumentu ISO 11801 rozszerzająca listę parametrów wymaganych dla okablowania klasy D. Przy zachowaniu pasma częstotliwości 100 MHz zaostrzono wymagania na niektóre z parametrów i zdefiniowano wymagania dla nowych (PSNEXT, PSACR, ELFEXT,

PSELFEXT). Silnym bodźcem do opracowania nowych wymagań są próby wdrożenia techniki Gigabit Ethernet dla tej klasy.

Klasa E (kategoria 6) – jest najświeższym rozszerzeniem ISO/IEC 11801 i TIA – obejmuje okablowanie, którego parametry są określone do częstotliwości 250 MHz. Stworzeniem nowych wymagań dla tej klasy zainteresowane są wszystkie ciała normujące. Pierwsze wersje specyfikacji pojawiły się w 1999 r. Przewiduje się ustabilizowanie standardu w 2002 r. Klasa E pozwala na implementację gigabitowego Ethernetu i transmisji ATM 622 Mb/s. Dla tej klasy wykorzystywane jest złącze typu RJ45.

Klasa F (kategoria 7) – prace nad tym rozwiązaniem zainicjowały kraje europejskie. Pierwowzorem są normy niemieckie. W klasie tej jest możliwa realizacja aplikacji wykorzystujących pasmo do 600 MHz. Różni się ona od poprzednich klas wymogiem stosowania kabli typu STP (każda para w ekranie plus ekran obejmujący cztery pary) łączonych ekranowanymi złączami. Zakończenie prac nad standardem – związane ze zdefiniowaniem wymagań na wszystkie parametry i wyborem typu złącza – jest przewidywane pod koniec 2002 r. Dla tej klasy będzie możliwa realizacja systemów transmisji danych z prędkościami znacznie przekraczającymi 1 Gb/s.

Czy musimy testować kable?

Komponenty systemu okablowania strukturalnego są obecnie oferowane przez renomowanych dostawców, gwarantujących odpowiednią jakość produktu (weryfikowaną badaniami w certyfikowanych laboratoriach). Autoryzowani wykonawcy okablowania zazwyczaj wykonują pomiary sprawdzające, których efektem jest certyfikat z deklaracją zgodności z obowiązującymi normami (system okablowania jest weryfikowany uniwersalnymi testerami w miejscu instalacji). Instalatorzy z dużą znajomością tematu dokonują uruchomienia i konfiguracji sprzętu (korzystają z dobrej jakości kabli przyłączeniowych i krosujących; poprawnie działająca sieć jest świadectwem dobrej wykonanej pracy).

Ostatecznie instalacja przechodzi pod opiekę administratorów systemu. W trakcie eksploatacji okazuje się, że wraz z upływem czasu i zwiększaniem się liczby urządzeń obserwujemy problemy z prawidłowym działaniem sieci. Nie udaje się uruchomienie kolejnego przyłącza do przełącznika Fast Ethernet. Próba dołączenia kolejnego rutera do korporacyjnego przełącznika ATM kończy się niepowodzeniem ze względu na niestabilną pracę interfejsu. Obserwujemy bardzo dziwne przypadki zawieszania się serwera plików.

Bardzo szybko kojarzymy, że przyczyną problemów jest nieśmiertelny „problem kabelka”, jednak nie pomagają wymiana kabli przyłączeniowych. Po sprawdzeniu omomierzem okazuje się, że nie ma przerw w kablu.

Gdzie jest popełniany błąd? Kto zawinił?

Parametry okablowania

W teletransmisji mierzymy parametry fizyczne toru transmisyjnego. W okablowaniu strukturalnym tor transmisyjny składa się z jednego lub wielu – połączonych ze sobą – odcinków skręconych par przewodów oraz złączy.

Podczas testowania okablowania mierzymy parametry torów, które możemy podzielić na trzy kategorie:

1. Parametry mechaniczne

- Poprawność podłączenia przewodów (mapa połączeń).
- Długości torów transmisyjnych (l [m]).

2. Parametry propagacyjne

- Opóźnienie propagacji (t_p [ns]).
- Błąd opóźnienia (Δt_p [ns]).
- Stałoprądowa oporność pętli (R_p [Ω]).
- Tłumienie (ATTN [dB]).
- Impedancja charakterystyczna i/lub straty odbiciowe (Z_0 [Ω] i/lub RL [dB]).

3. Parametry związane z kompatybilnością elektromagnetyczną

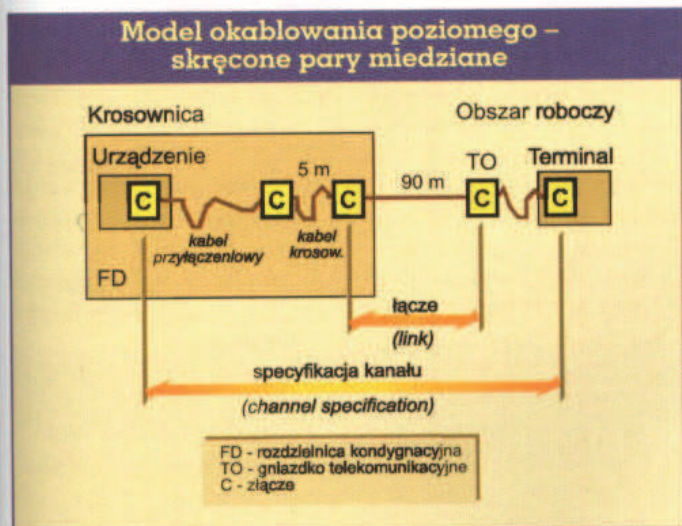
- Wielkości opisujące zjawisko przesłuchów:
 - NEXT [dB],
 - PSNEXT [dB],
 - ELFEXT [dB],
 - PSELFEXT [dB].
- Straty zakłóceń współbieżnych (LCL [dB]) – miara zrównoważenia toru.
- Straty zakłóceń współbieżnych w stosunku do sygnału różnicowego (LCTL [dB]) – miara zrównoważenia toru.
- Tłumienie sprzężeniowe (ac [dB]) – miara skuteczności ekranowania.
- Impedancja sprzężeniowa (Z_t [Ω/m]) – miara skuteczności ekranowania.

Łącze i kanał

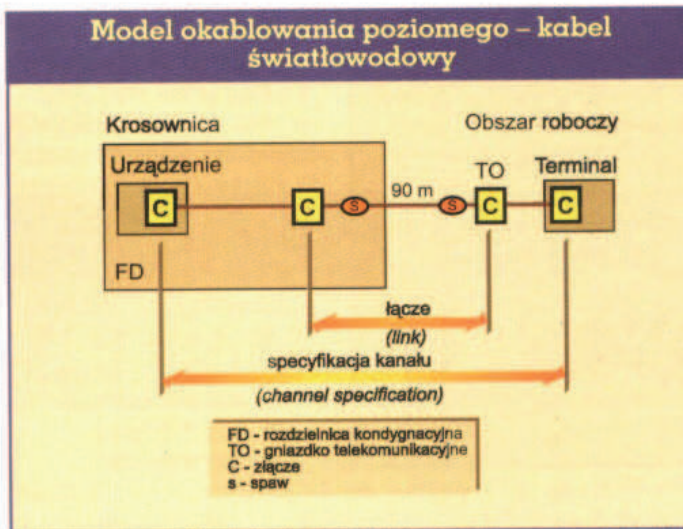
W zaleceniu ISO 11801 zdefiniowane są pojęcia łącza (*link*) i kanału (*channel*). Łącze jest podstawowym elementem okablowania strukturalnego. Obejmuje odcinek „poziomego” kabla zakończony złączami (rys. 388 i 389). Z jednej strony kabel jest zakończony w gniazdku telekomunikacyjnym, z drugiej w krosownicy. Specyfikacja łącza nie obejmuje kabli przyłączeniowych i krosujących. Łącze jest obiektem testów określających klasę (kategorię) okablowania.

Ze względu na wykorzystywane techniki transmisji danych większe znaczenie ma specyfikacja kanału. Kanał obejmuje kompletny tor transmisyjny od interfejsu do interfejsu urządzeń aktywnych (komputery, huby, mosty, routery).

W okablowaniu wyróżniamy złącza i kable. Ich parametry służą do określenia kategorii danego produktu.



Rys. 388



Rys. 389

Właściwości kabli, złączy, łącza i kanału można opisać przez te same parametry. Różne są wymagania dotyczące granicznych wartości tych parametrów. Najostrzejsze wymagania dotyczą kabli i złączy. Kategoria okablowania jest zależna od właściwości łącza. Parametry kanału decydują o klasie stosowanej aplikacji. Utworzenie kanałów transmisyjnych wymaga zainstalowania urządzeń, dotychczas kabli krosujących i przyłączeniowych. Zazwyczaj powoduje to pogorszenie parametrów elektrycznych systemu.

W przypadku okablowania wykonanego zgodnie z klasą D (kat 5, 5e):

- pogorszenie parametrów na ogół nie przeszkadza w sieciach o małych i średnich prędkościach transmisji (telefonia, Ethernet, Token Ring, ATM 25);
- weryfikacja parametrów kanału jest przydatna przy dużych prędkościach transmisji (Fast Ethernet);
- jakość kanału jest krytyczna dla dużych prędkości transmisji w systemach zajmujących całe dostępne pasmo 100 MHz częstotliwości (TPPMD, ATM 155), często zwielokrotnione przez transmisję jednocześnie we wszystkich parach kabla;
- nowe systemy transmisyjne, zdefiniowane dla okablowania klasy D o bardzo dużych prędkościach (Gigabit Ethernet, ATM 625), wymagają kanałów o podwyższonej jakości w stosunku do dotychczas obowiązujących wymagań standardu okablowania klasy D (kat 5).

Poprawność połączenia przewodów

Wspólną cechą klas od A do E okablowania strukturalnego jest zunifikowane przyłącze do sieci, którym jest 8-stykowe modułowe gniazdo zgodne ze specyfikacją IEC 603-7 oraz TSB568A (rys. 390). W okablowaniu strukturalnym klas od A do E można zastosować kable nieekranowane UTP, foliowane FTP lub ekranowane STP odpowiedniej kategorii (rys. 391). Dla klasy E komponenty muszą spełniać wymagania kategorii 6. W klasie F stosujemy wyłącznie kable ekranowane STP kategorii 7.

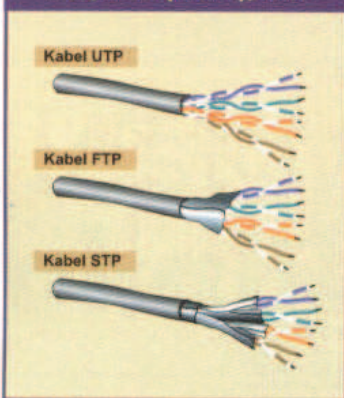
Sprawdzenie poprawności połączenia przewodów pozwala na wykrycie błędów powstałych w czasie instalacji lub wynikających z zastosowania złych kabli przyłączeniowych.

W ramach testów tworzona jest mapa połączeń, w której odwzoro-



Rys. 390

Konstrukcja kabli UTP, FTP (ScTP), STP



Rys. 391

wany jest rzeczywisty przebieg przewodów pomiędzy złączami badanego kanału. Przeprowadzenie testu wymaga podłączenia przyrządów z obydwu stron kanału. Poprawna mapa połączeń zawiera jedynie połączenia na wprost (rys. 392). W trakcie testów wykrywane są następujące błędy (rys. 393):

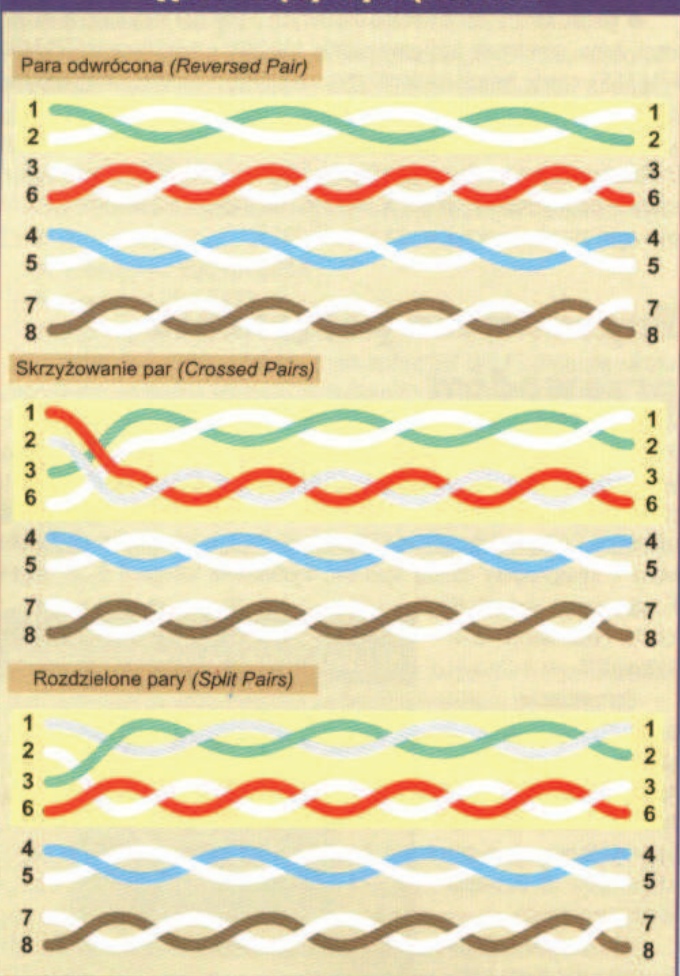
- nieciągłość łącza,
- zwarcia,
- pary odwrócone,
- pary skrzyżowane,
- pary podzielone.

Poprawnie zrealizowane połączenie



Rys. 392

Typowe błędy w połączeniach



Rys. 393

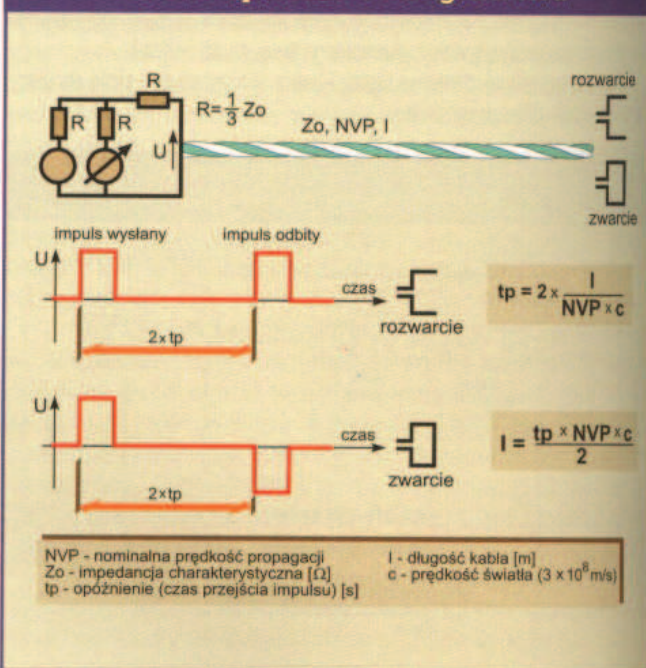
Mapę połączeń możemy utworzyć badając za pomocą źródła napięcia i woltmierz wszystkie możliwe kombinacje połączeń pomiędzy złączami i na każdym ze złączy. W razie wystąpienia nieciągłości lub zwarcia możemy z dużym przybliżeniem określić miejsce awarii, wykorzystując reflektometr. Reflektometr pozwala na pomiar odległości od gniazda do miejsca uszkodzenia kabla. W okablowaniu typu FTP lub STP należy sprawdzić ciągłość ekranu. Zgodnie z normą ISO 11801 ekran musi zachować ciągłość na całej długości kanału, oznacza to, że jeżeli okablowanie jest ekranowane, to kable przyłączeniowe i krosownicze muszą zapewnić ciągłość ekranu.

Długość

Podstawą pomiaru parametrów okablowania jest znajomość długości torów transmisyjnych. Typowy kabel składa się z czterech par skręconych przewodów umieszczonych w oprawie zapewniającej odpowiednie parametry wytrzymałościowe.

Każda para przewodów ma inny skok skrętu, co prowadzi do powstawania różnic w długości torów transmisyjnych. Dodatkowo pary przewodów są ze sobą skręcone, co powoduje, że długość torów jest większa od długości kabla. Oznacza to, że pomiar, polegający na porównaniu ze wzorcem (np. z taśmą mierniczą), nie pozwala na dokładne wyznaczenie długości poszczególnych torów, a po zainstalowaniu kabli zazwyczaj nie mamy do nich potrzebnego dostępu. Najczęściej pomiar długości realizowany jest metodą pośrednią, polegającą na pomiarze czasu transmisji impulsu elektrycznego przenoszonego w badanym torze. Istotnym problemem jest fakt, że prędkość propagacji impulsu w kablu jest zależna od jego konstrukcji. W typowych kablach prędkość propagacji impulsu elektrycznego może stanowić od 0,6 do 0,9 prędkości światła ($c = 300\ 000\ \text{km/s}$). Co oznacza, że impuls elektryczny w kablu przesunie się o jeden metr w czasie od 5,5 do 3,7 ns (miliardowej części sekundy). Przed przystąpieniem do pomiaru musimy znać nominalną prędkość propagacji impulsu elektrycznego w kablu. Parametr ten, nazywany NVP (*Nominal Velocity of Propagation*) i podawany jako utamek dziesiąty lub wartość procentowa, pozwala na określenie prędkości impulsu w stosunku do prędkości światła. Na przykład $NVP = 0,74$ oznacza, że prędkość impulsu w kablu V_f wynosi $0,74c$ ($V_f = 222\ 000\ \text{km/s}$). W tym przypadku impuls elektryczny będzie potrzebował ok. 4,5 ns na przebycie 1 m, przejście przez tor o długości 100 m zajmie więc ok. 450 ns.

Pomiar opóźnienia i długości toru



Rys. 394

Do pomiaru czasu propagacji impulsów w torze transmisyjnym wykorzystujemy zazwyczaj technikę pomiaru sygnałów odbitych w dziedzinie czasu TDR (*Time Domain Reflectometry*). W technice tej wykorzystuje się zjawisko odbicia impulsu występujące na niejednorodnościach toru transmisyjnego (rys. 394). Pomiar jest przeprowadzany urządzeniem nazywanym reflektometrem. Reflektometr jest wyposażony w generator krótkich impulsów o stromych zboczach i rejestrator pozwalający na pomiar kształtu i przesunięcia w czasie impulsu nadawanego i odbieranego. Granicznym przypadkiem niejednorodności jest zwarcie lub rozwarcie toru. Pomiar przesunięcia w czasie pomiędzy impulsem nadawanym i odbitym pozwala na wyznaczenie długości toru lub odległości od miejsca uszkodzenia w torze. Dokładna analiza kształtu odbitego impulsu pozwala na wyznaczenie parametrów częstotliwościowych toru. Zazwyczaj analiza w dziedzinie czasu pozwala na wyznaczenie parametrów częstotliwościowych w zakresie do kilkuset megaherców. Maksymalna długość łącza nie może przekraczać 90 m. Typowa długość kanału dla większości technik transmisyjnych wynosi 100 m.

Opóźnienie (czas propagacji sygnału)

Opóźnienie (*delay*) jest czasem, w jakim impuls jest przenoszony z jednego końca toru na drugi. Opóźnienie jest proporcjonalne do współczynnika NVP. Przyjmuje się, że opóźnienie w kablu typu UTP wynosi około 5,7 ns na jeden metr długości. Parametr ten określa maksymalną długość połączeń w sieci LAN. Pomiar tego parametru jest zazwyczaj przeprowadzany reflektometrem (rys. 394). Opóźnienie może mieć różne wartości dla każdej z par w kablu.

Dopuszczalne opóźnienie w kanale (w ns)

Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
1 MHz	580	580	580	
2 MHz	569	569	569	570
100 MHz	548	548	548	
250 MHz		546	546	
600 MHz			545	

długość toru 100 m.

Rozrzut opóźnienia

Rozrzut opóźnienia (*delay skew*) jest różnicą pomiędzy najmniejszym i największym opóźnieniem. Jest wyliczany na podstawie zmierzonych opóźnień dla każdej z par. Rozrzut opóźnienia wynika z różnic w długościach poszczególnych par. Parametr ten jest krytyczny dla systemów wykorzystujących wszystkie pary do jednoczesnej transmisji. Z sytuacją taką będziemy mieli do czynienia w przypadku realizacji połączeń Gigabit Ethernetu w okablowaniu kategorii 5. Sygnał podzielony na cztery strumienie zajmujące pasmo do 125 MHz (każdy) jest transmitowany jednocześnie w czterech parach kabla. Duże różnice opóźnienia pomiędzy parami mogą uniemożliwić poprawny odbiór i rekonstrukcję sygnału w odbiorniku.

Dopuszczalny rozrzut opóźnienia w kanale (Delay skew) (w ns)

Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
50	50	30	50

długość toru 100 m, częstotliwość 1–100 MHz

Stałoprądowa oporność pętli

Oporność mierzy się na jednym końcu toru po zwarcii drugiego końca (rys. 395).

Dopuszczalna wartość oporności stałoprądowej (w Ω)

Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
25	25	25	-

długość toru 100 m

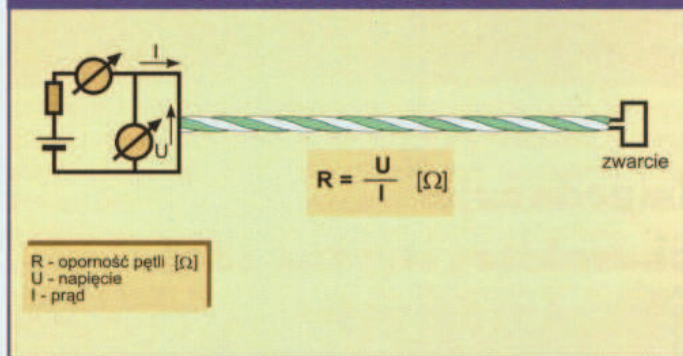
W nowej edycji standardu ISO/IEC 11801 pojawiły się wymagania związane z zasilaniem terminali (np. telefony IP) przez okablowanie strukturalne. Określono minimalną wartość prądu stałego, który może się pojawić w przewodach kabli stosowanych w okablowaniu strukturalnym.

Minimalna wartość prądu stałego w jednym przewodzie (w A)

Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
0,175	0,175	0,175	-

napięcie zasilające wynosi 72 V, a pobór mocy na jedną parę nie przekracza 10 W

Pomiar stałoprądowej oporności w pętli



Rys. 395

Tłumienie

Tłumienie jest parametrem określającym straty sygnału w torze transmisyjnym. Wartość tłumienia podajemy w dB. W normach dotyczących okablowania strukturalnego wartości dopuszczalne definiuje się dla największej długości toru. W przypadku specyfikacji dla kanału odpowiada to 100 m. Nie definiuje się limitów dla wartości jednostkowych (np. tłumienności) – oznacza to, że można zbudować okablowanie zgodne z normami, wykorzystując kable o małym tłumieniu na długich połączeniach, i gorsze – o dużym tłumieniu – na krótkich połączeniach.

Dopuszczalne wartości tłumienia w kanale (w dB)

Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	24,0	21,1	20,8	24,0
250 MHz		35,9	33,8	
600 MHz			54,6	

długość toru 100 m

Decybel (dB) jest podstawową jednostką używaną przez projektantów telekomunikacyjnych przy porównywaniu możliwości systemów okablowania. Tylko co to jest dB i jaką rzeczywistą korzyść daje nam margines kilku decybeli? Najpierw używany przy pomiarach intensywności dźwięku jest jednostką nazwaną tak na cześć Aleksandra Grahama Bella. Decybel jest dla inżynierów wygodną miarą pozwalającą na określenie stosunku napięcia lub mocy pomiędzy wejściem i wyjściem układu. Decybel jest zdefiniowany następująco:

$$dB = \text{decybel} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right)$$

gdzie:

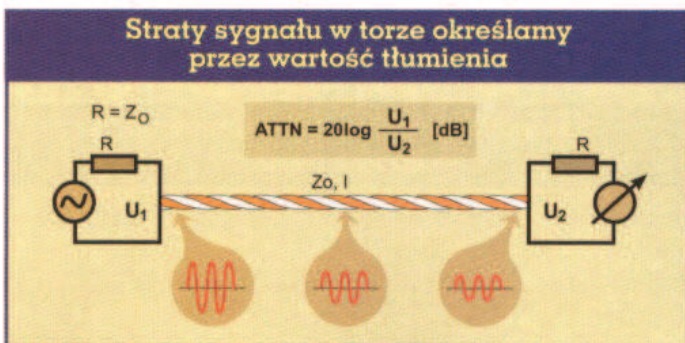
P_1 – moc mierzona w watach U_1 – mierzone napięcie w voltach
 P_2 – moc odniesienia w watach U_2 – napięcie odniesienia w voltach

Miara decybelowa pozwala wyrazić wielkości różniące się od siebie o wiele rzędów wartości w jednej skali. Na przykład wzrost o 3 dB oznacza podwojenie mocy, a o 20 dB oznacza 100-krotne zwiększenie mocy. Podwojenie napięcia odpowiada 6 dB, a 100-krotny wzrost napięcia wyrażymy przez 40 dB. Tłumienie ok. 36 dB (Tabela „Dopuszczalne wartości tłumienia w kanale”, Klasa E, 250 MHz) oznacza 1000 {30 dB} x4 {6 dB} = 4000 razy zmniejszoną moc sygnału. Dodatkowo wartości decybeli oznaczają mnożnik większy od jedności, ujemne – mnożnik mniejszy od jedności. 0 dB oznacza stan stały (mnożnik równy 1). Decybelowa miara tłumienia i wzmocnienia została powszechnie przyjęta z dwóch powodów: po pierwsze bardzo często stosujemy zapis wielkości w postaci potęgowej i po drugie 1 decybel odpowiada najmniejszej zmianie mocy akustycznej, którą odczuwa ludzkie ucho. W praktyce spotyka się bardzo duży zakres stosunków mocy rzędu 10^{18} , odpowiada to 180 dB.

Impedancja

charakterystyczna (Z_0)

Impedancja charakterystyczna jest parametrem ściśle związanym z geometrią kabla (grubość drutów, odległość pomiędzy nimi) i właściwościami dielektryka stanowiącego izolację w przewodach. Zmiana geometrii pary przewodów w funkcji długości kabla jest przyczyną powstawania zmian impedancji. Mówimy wtedy o niejednorodności toru. Dla sygnałów przenoszonych przez tor takie lokalne zmiany impedancji są miejscem, w którym odbita część sygnału wraca do źródła. Niedopasowanie impedancyjne do źródła sygnału powoduje odbicia już na wejściu do kabla. W okablowaniu strukturalnym spotykamy kable o impedancji charakterystycznej – 100, 120, 150 [Ω]. W nowych instalacjach stosuje się kable o impedancji charakterystycznej 100 [Ω]. Niedopuszczalne jest stosowanie kabli o różnych impedancjach charakterystycznych w jednym systemie okablowania.



Rys. 396

Straty odbiciowe

Straty odbiciowe (*Return Loss*) są miarą uwzględniającą niedopasowanie impedancyjne i niejednorodności toru. Straty odbiciowe mówią, ile razy sygnał na wejściu do toru jest większy od sygnału odbitego od wejścia i niejednorodności toru. RL jest mierzony w dziedzinie częstotliwości i podaje się go w dB. Pomiar RL jest realizowany przy użyciu elementu mającego właściwość odróżniania kierunku propagacji sygnału. Mała wartość RL oznacza, że duża część sygnału wraca do źródła (są wtedy wymagane systemy kompensacji echa). Idealne dopasowanie oznaczałoby wartość RL dążącą do nieskończoności. W praktyce RL nie przekracza 50 dB, a wartości powyżej 20 dB oznaczają pomijalnie małe straty odbiciowe. RL=0 dB oznacza, że mamy do czynienia ze zwarciem lub rozwarciem toru. Dla okablowania strukturalnego definiuje się minimalną wartość strat odbiciowych od częstotliwości 4 MHz.

Minimalne wartości strat odbiciowych w kanale (w dB)				
Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	10,0	12,0	12,0	8,0
250 MHz		8,0	8,0	
600 MHz			8,0	

długość toru od 10 do 100 m

Przesłuchy

Przesłuchem nazywamy zjawisko przenikania sygnału pomiędzy sąsiadującymi w kablu parami przewodów. Zbyt duże przesłuchy są podstawową przyczyną zakłóceń komunikacji w sieci. W latach 1998 i 1999 ISO 11801 zostało rozszerzone o wymagania na trzy dodatkowe parametry związane z przesłuchami. Przesłuchy są obecnie określane przez cztery parametry: NEXT, PS NEXT, EL FEXT, PS ELFEXT.

Minimalne wartości NEXT dla dwóch dowolnych par w kanale (w dB)				
Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	30,1	39,9	62,9	27,1
250 MHz		33,1	56,9	
600 MHz			51,2	

długość toru 100 m

Współczynnik NEXT (*Near-End Crosstalk*) jest mierzony jako stosunek amplitudy napięcia testowego do napięcia wyindukowanego w sąsiedniej parze (rys. 397). Napięcia obydwu sygnałów są zazwyczaj wyrażone jako wartość względna (poziom sygnału) podana w decybelach (dB). Różnica wartości poziomów sygnałów jest miarą parametru NEXT. Duża wartość NEXT oznacza występowanie małych przesłuchów. Generowanie sygnału testowego i pomiar napięcia są realizowane z tego samego końca kabla. Mała wartość NEXT stanowi najważniejsze ograniczenie dla zwiększenia przepustowości sieci.

Minimalne wartości PS NEXT dla wszystkich par w kanale (w dB)				
Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	27,1	37,1	59,9	
250 MHz		30,2	53,9	
600 MHz			48,2	

długość toru 100 m

PS NEXT (*Power Sum Near-End Crosstalk*). W przypadku systemów wykorzystujących więcej niż dwie pary kabli w czasie transmisji występuje zjawisko sumowania się zakłóceń od wielu par (rys. 398). Zakłada się, że zakłócenia od sąsiednich par nie są ze sobą skorelowane.

Minimalne wartości ELFEXT dla dwóch dowolnych par w kanale (w dB)

Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	17,4	23,3	44,4	17,0
250 MHz		15,3	37,8	
600 MHz			31,3	

dlugość toru 100 m

Współczynnik EL FEXT (*Equal Level Far-End Crosstalk*) jest nowym parametrem pozwalającym ocenić przydatność sieci dla nowych technik transmisyjnych, wykorzystujących te same pary kanałów w dwóch kierunkach jednocześnie (rys. 397). EL FEXT jest mierzony podobnie jak NEXT, lecz poziom sygnału jest mierzony na końcu toru odległym od generatora. Sygnał, który dochodzi do końca toru, ma poziom zmniejszony ze względu na tłumienie toru. Aby poprawnie wyznaczyć przesłuchy, zwiększa się poziom mierzonych zakłóceń o wartość tłumienia toru.

Minimalne wartości PS EL FEXT dla wszystkich par w kanale (w dB)

Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	14,4	20,3	41,4	
250 MHz		12,3	34,8	
600 MHz			28,3	

dlugość toru 100 m

Współczynnik PS EL FEXT (*PowerSum Equal Level Far-End Crosstalk*) pozwala ocenić przydatność sieci dla systemów transmisji wykorzystujących wieloparową transmisję w trybie duplex (rys. 398).

Minimalne wartości ACR w kanale (w dB)

Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	6,1	18,2	42,1	
250 MHz		-2,8 (250 MHz) 3,0 (200 MHz)	23,1	
600 MHz			-3,4	

dlugość toru 100 m

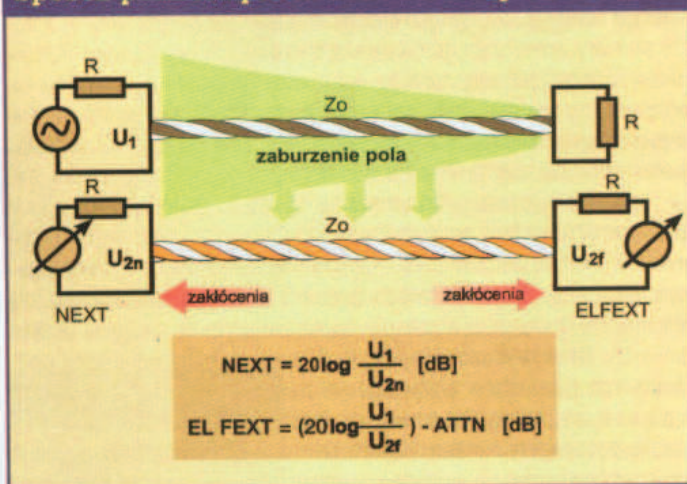
Współczynnik ACR (*attenuation to crosstalk ratio*) jest różnicą pomiędzy NEXT i tłumieniem w dB. Wartość ACR wskazuje, jak amplituda sygnału odbieranego z odległego końca toru będzie zakłócana przez

Minimalne wartości PSACR w kanale (w dB)

Częstotliwość	Klasa D	Klasa E	Klasa F	1000BASE-T
100 MHz	3,1	15,4	39,1	
250 MHz		-5,8 (250 MHz) 0,1 (200 MHz)	20,1	
600 MHz			-6,4	

dlugość toru 100 m

Sposób pomiaru przesłuchów zbliżnych i dalekich



Rys. 397

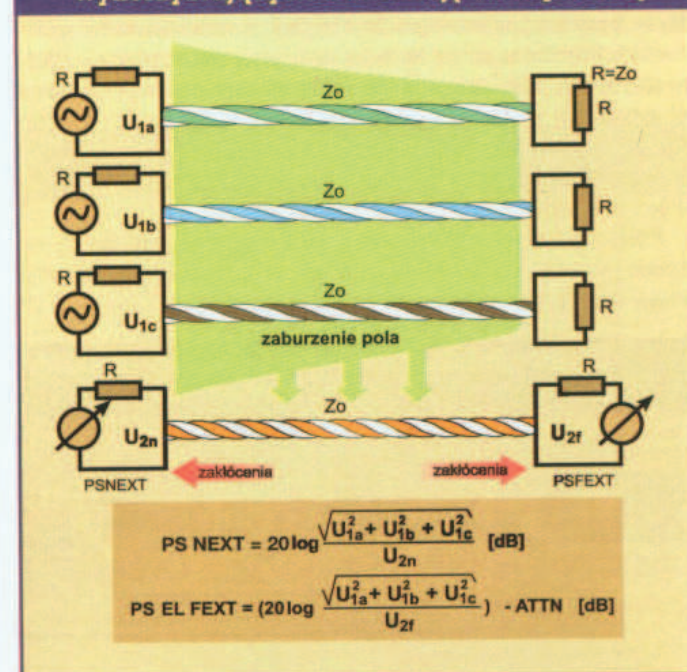
przesłuchy bliskie. Duża wartość ACR oznacza, że odbierany sygnał jest znacznie większy od zakłóceń.

Współczynnik PS ACR (*PowerSum attenuation to crosstalk ratio*) podaje te same informacje co ACR w sytuacji wieloparowej transmisji sygnału.

Czym mierzymy?

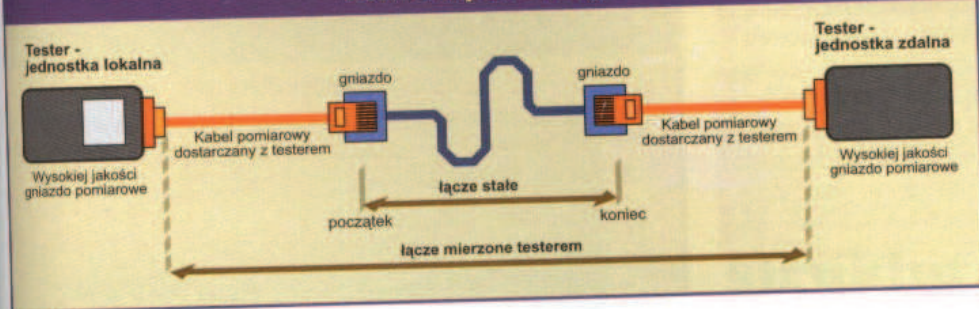
Wszystkie wymienione wyżej parametry systemu mogą być dla wybranych elementów okablowania strukturalnego mierzone w warunkach laboratoryjnych. Podstawowe urządzenia pomiarowe to skalarne i wektorowe analizatory sieci analogowych (*Network Analyzer*), analizatory widma, oscyloskopy cyfrowe, mostki RLC, generatory przebiegów sinusoidalnych i prostokątnych, anteny, cęgi absorpcyjne, układy symetryzujące. Laboratorium powinno być wyposażone w ekranowane pomieszczenia, stanowiska do pomiaru zakłóceń oraz odpowiednią liczbę wysokiej jakości akcesoriów pomiarowych, takich jak kable, złącza, sondy pomiarowe, wzorce używane w procesie kalibracji przyrządów. Koszt wyposażenia takiego laboratorium sięga setek tysięcy, a nawet milionów

Pomiar przesłuchów dla systemów wykorzystujących transmisję wieloparową



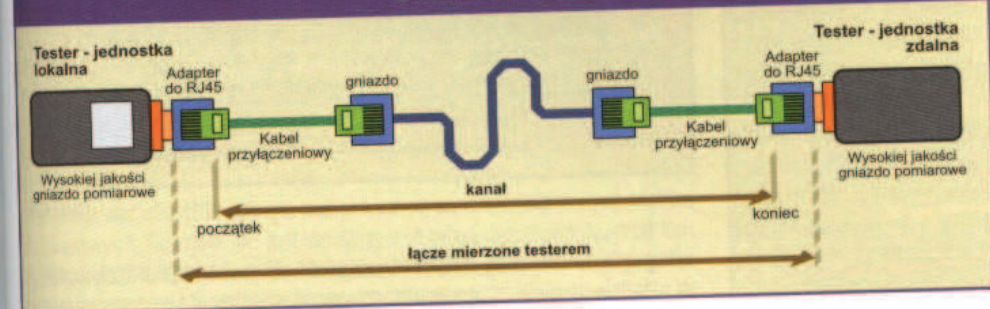
Rys. 398

Pomiar łącza stałego



Rys. 400

Pomiar kanału



Rys. 401

- Straty odbicia portu pomiarowego (*Return Loss of the test part*);
- Zestaw parametrów wpływających na dokładność pomiaru strat odbicia (*Return Loss Measurement accuracy parameters*).

Przykładowe wyniki z pomiaru łącza

Nazwa łącza:	TEST-01-01	Tester okablowania:	PentaScannert+
Data pomiaru:	22/Jul/98	Numer testera:	38P96B0001
Wynik testu:	PASS	Numer przystawki:	38T96F0001
Jakość łącza:	Quality Band 5	Oprogramowanie:	V05.00
Nazwa testu:	ISO-D 350	Rodzaj złącza:	RJ45
Typ kabla:	M-T_POWER	Wsp. skrócenia fali:	69 %

Rodzaj testu	Wartości dopuszczalne	Wyniki testu
Mapa połączeń	blisko: 12345678 zdalnie: 12345678	blisko: 12345678 zdalnie: 12345678
Maksymalna różnica opóźnienia propagacji [ns]		3
		Para 12 Para 36 Para 45 Para 78
Długość [m]	0 - 100	20.2 20.5 20.5 20
Opóźnienie [ns]	0 - 1000	97 99 99 96
Impedancja char. [Ω]	85 - 115	106 105 104 106
Rezystancja [Ω]	0 - 40	3.7 4 3.3 3.5
Pojemność [pF]	10 - 5600	970 1007 990 977
Tłumienie [dB]	Class D	4 3.9 4 4
Częstotliwość [MHz]	1 - 100	98 91 96 97
Wart. maksymalne [dB]	Class D	22.9 22 22.6 22.8
Tłumienność odbiciowa		18.9 18.8 18.6 18.5
Złącze bliskie [dB]		
Częstotliwość [MHz]	1 - 100	53 100 1 88
Wart. minimalne [dB]	Class D	10 10 16 10
Złącze zdalne [dB]		16.8 18.6 18.3 14.9
Częstotliwość [MHz]	1 - 100	83 81 86 78
Wart. minimalne [dB]	Class D	10 10 10 10
		Pary 12/36 Pary 12/45 Pary 12/78 Pary 36/45 Pary 36/78 Pary 45/78
NEXT		
Złącze bliskie [dB]		43.3 44.2 47.5 38.8 43.2 40.7
Częstotliwość [MHz]	1 - 100	95.9 66.1 64.5 93.3 84.9 96.1
Wart. minimalne [dB]	Class D	24.3 26.7 26.8 24.5 25.2 24.3
Złącze zdalne [dB]		40.5 44.3 47.4 39.4 41.3 42.1
Częstotliwość [MHz]	1 - 100	95.4 65 99.6 93.4 94.2 96
Wart. minimalne [dB]	Class D	24.3 26.6 24 24.5 24.4 24.3
ACR		
Złącze bliskie [dB]		39.4 41.1 44.5 35.3 39.5 36.8
Częstotliwość [MHz]	1 - 100	96 66 65 93 85 96
Wart. minimalne [dB]	Class D	6 12.6 12.8 6.1 8.4 6
Złącze zdalne [dB]		36.7 41.1 43.5 35.9 37.5 38.1
Częstotliwość [MHz]	1 - 100	96 65 100 93 94 96
Wart. minimalne [dB]	Class D	6 12.8 4 6.1 6 6

UWAGI:

Rys. 402

Parametry testerów okablowania są określone dla dwóch układów pomiarowych:

- Układu odniesienia (*Basic Link/BaseLine*) (rys. 399), w którym nie uwzględniamy wpływu kabli pomiarowych i adapterów na dokładność pomiaru. Wymagania w tym przypadku są ostrzejsze.

- Układu do pomiaru parametrów łącza (rys. 400) i kanału (rys. 401), w którym uwzględniamy błędy wprowadzane przez kable pomiarowe i adaptory. W tych układach przeprowadzamy pomiary.

Wymagana dokładność pomiaru takich parametrów, jak opóźnienie propagacji, różnice opóźnień, długość i rezystancja stałoprądowa, jest taka sama dla przyrządów poziomu II-e i III. Wynosi odpowiednio **25 ns** – opóźnienie, **10 ns** – różnice opóźnień, **5 m** – długość toru i **1,4 Ω** – rezystancja stałoprądowa.

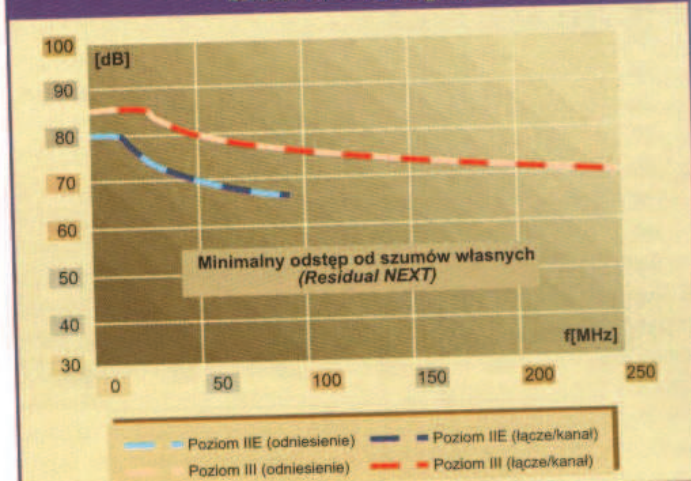
Dokładność dynamiczna – (dokładność detektora) jest wyrażona jako maksymalny błąd pomiaru sygnału. Jest on wyznaczany w całym zakresie mierzonych poziomów sygnału i częstotliwości

pomiarowych. Dokładność dynamiczna jest określona na **±0,75 dB** dla poziomów od 0 do poziomu większego o 10 dB od krzywej określającej minimalną wartość NEXT lub tłumienia. Jest to podstawowy parametr wpływający na dokładność pomiarów przestuchów i tłumienia.

Szumy własne – ograniczają dynamikę przyrządu. Tester wykonuje pomiary amplitudy sygnału w funkcji częstotliwości. Jeżeli poziom szumów jest porównywalny z mierzonym sygnałem, wyniki pomiaru są zniekształcone. W tym przypadku wartość NEXT jest zawyżona, a tłumienie zanizone. Minimalny odstęp pomiędzy sygnałem mierzonym a poziomem szumów powinien wynosić od 10 do 15 dB. Tester powinien dla częstotliwości 100 MHz mieć szumy własne mniejsze od sygnału na wejściu badanego toru o **65 dB** (poziom II-e) lub **75 dB** (poziom III) (rys. 403).

Własne straty przestuchowe – ograniczają, podobnie jak szumy własne, dynamikę przyrządu. Część energii sygnału przenika pomiędzy portami generatora i miernika, powodując wskazanie niezerowej wartości przestuchów. Wielkość własnych strat przestuchowych jest wyznaczana w układzie, w którym badany kabel jest zastąpiony przez rezystory o wartości równej impedancji charakterystycznej (najczęściej 100 Ω). Największa zmierzona war-

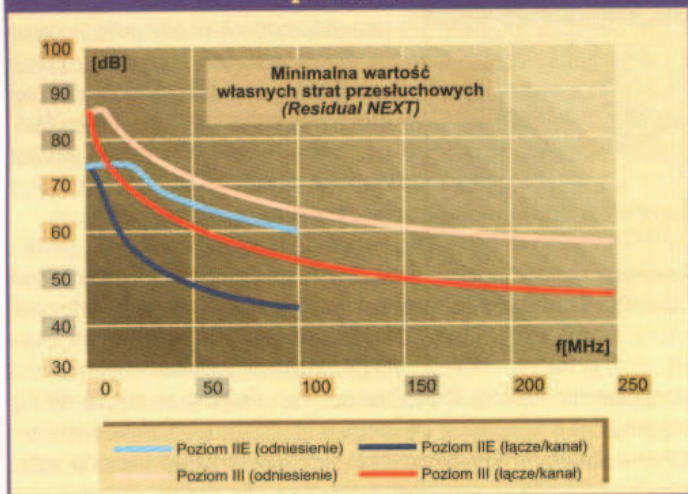
Dynamika przyrządu jest ograniczona poziomem szumów własnych



Rys. 403

Sygnaly w liniach transmisyjnych mogą być transmitowane w dwóch trybach, wspólnym i różnicowym. Tryb wspólny oznacza w przypadku pary skręconej transmisję sygnału, w czasie której w obydwu przewodach w tym samym kierunku płyną takie same prądy. Tryb różnicowy jest wtedy, gdy prądy równe co do modułu płyną w przeciwnych kierunkach. W trybie różnicowym występuje zjawisko kompensacji pola elektromagnetycznego wokół przewodów. W kablu występuje najmniejsza tłumienność i największa wartość NEXT.

Mała wartość własna NEXT powoduje zmniejszenie dynamiki i powstanie błędów pomiaru

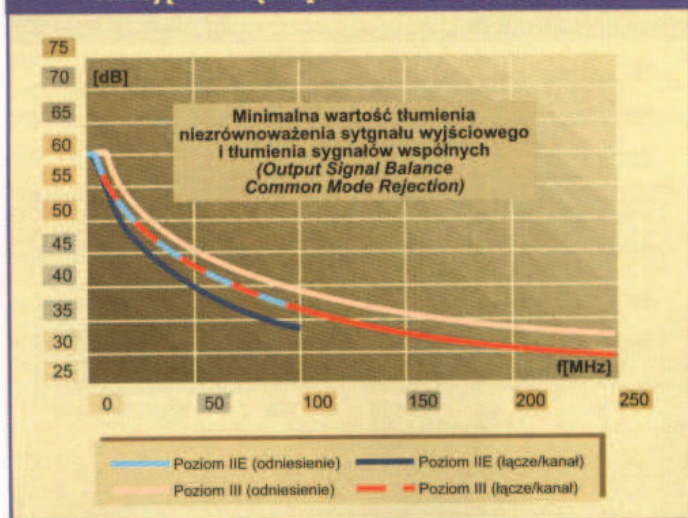


Rys. 404

tość NEXT nigdy nie przekracza własnych strat przesłuchowych. Przy częstotliwości 100 MHz tester łącznie z adapterem lub kablem pomiarowym powinien mieć wartość NEXT większą od **43 dB** (poziom II-e) lub od **54 dB** (poziom III) (rys. 404).

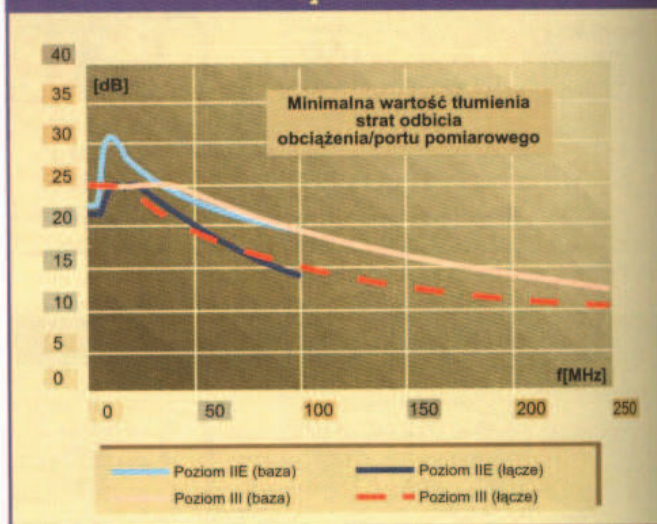
Tłumienie niezrównoważenia sygnału na wyjściu i tłumienie sygnałów wspólnych są miarami określającymi zrównoważenie testera. Parametry te są bardzo ważne przy pomiarze torów symetrycznych. Duża wartość obydwu parametrów oznacza dobre zrównoważenie układu pomiarowego. Tryb różnicowy jest wykorzystywany do transmisji sygnału w liniach symetrycznych – zrównoważonych. W praktyce występują obydwie składowe, wspólna i różnicowa. Składowa różnicowa jest sygnałem

Dobre zrównoważenie układu oznacza małą emisję i dużą odporność na zakłócenia



Rys. 405

Niedopasowanie mierzonego toru do portu miernika jest przyczyną zniekształceń amplitudy systemu



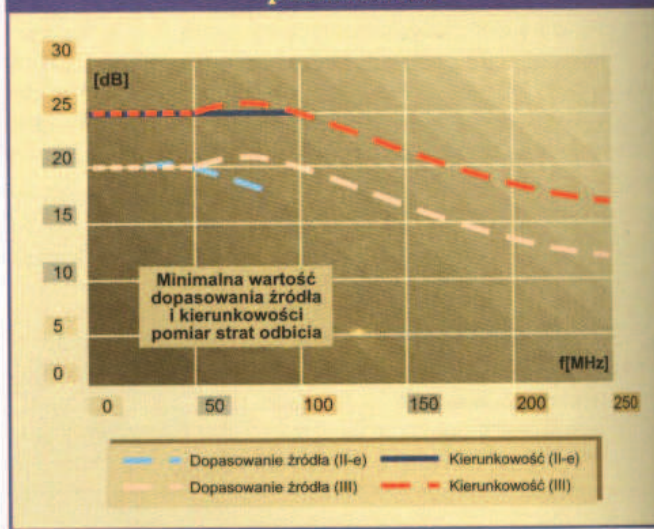
Rys. 406

niosącym informację, składowa wspólna stanowi sygnał zakłócający. W układzie idealnie zrównoważonym sygnał wspólny nie wpływa na sygnał różnicowy. Rzeczywiste układy nigdy nie są całkowicie zrównoważone. Składowa wspólna zniekształca sygnał różnicowy i na odwrót – sygnał różnicowy powoduje powstanie sygnałów wspólnych. Dąży się przez zrównoważenie układu do zminimalizowania wpływu składowej wspólnej. Zrównoważenie układu pogarsza się ze wzrostem częstotliwości. Tester łącznie z adapterem lub kablem pomiarowym – przy częstotliwości 100 MHz – powinien mieć tłumienie niezrównoważenia sygnałów na wyjściu i tłumienie sygnałów wspólnych większe od **34 dB** (poziom II-e) lub większe od **37 dB** (poziom III) (rys. 405).

Odbicie sygnału na porcie pomiarowym jest przyczyną błędów w pomiarze amplitudy sygnału (rys. 406) wpływa na pomiar strat odbicia. Wymagana wartość przy 100 MHz jest większa od **20 dB** dla poziomu II-e i większa od **25 dB** dla poziomu III.

Dokładność pomiaru strat odbicia jest zależna od wielu parametrów i wpływa na dokładność wyznaczenia pozostałych parametrów. Dla mierników poziomu II w oszacowaniu błędów pomiaru tłumienności i przesłuchów uwzględniano niedopasowanie impedancyjne testera i badanych torów. Dla urządzeń zgodnych z poziomem III zdefiniowano nowy parametr straty odbi-

Dopasowanie generatora do mierzonego kabla jest podstawą poprawnego pomiaru wielu parametrów



Rys. 407

Tłumienność sprzężenia kabli i złącz stosowanych w transmisji danych

Tłumienność sprzężenia (dB)		Opis kabli i wymagań
Kable	Złącza	
21–30	15–24	Brak ciągłości ekranów. Bardzo złe zrównoważenie kabla UTP
31–40	25–34	Złe połączenie ekranów. Złe zrównoważony kabel UTP
41–50	35–44	Złe połączenie ekranów. Dobrze zrównoważony kabel UTP. Minimum wg wymagań CENELEC dla 100 MHz – kabel UTP
51–60	45–54	Niskiej jakości kabel FTP wg wymagań CENELEC 55 dB to minimum dla 100 MHz – kabel ekranowany
61–70	55–64	Średniej jakości kabel FTP. Minimum wg wymagań CENELEC dla 200 MHz – kabel ekranowany
71–80	65–74	Dobrej jakości kabel FTP. Niskiej jakości kabel S-FTP
81–90	75–84	Bardzo dobry kabel FTP lub S-FTP. Minimum wg wymagań CENELEC dla 600 MHz – kabel ekranowany

Źródło: Third Party Testing.

cia. Mała wartość strat odbicia jest przyczyną powstawania dużych błędów pomiarowych. Parametr ten jest jednocześnie miarą dopasowania impedancyjnego do toru i niejednorodności samego toru. Pomiar strat odbicia polega na generacji sygnału do mierzonego toru i jednoczesnym pomiarze na tym samym porcie sygnału odbitego. Jednoczesny pomiar obydwu sygnałów jest możliwy w układzie nazywanym sprzęgaczem kierunkowym. Powinien on zapewnić dobre dopasowanie generatora do toru, precyzyjny pomiar napięcia i dobrą izolację sygnału transmitowanego od odbitego.

Parametry wpływające na dokładność pomiaru strat odbicia to:

- dopasowanie źródła (*Source Match*),
- dokładność śledzenia (*Tracking*),
- kierunkowość sprzęgacza (*Directivity*).

Dokładność śledzenia – odpowiednik dokładności dynamicznej – jest podstawowym składnikiem błędu pomiaru. Testery poziomu II-e i III muszą mieć dokładność lepszą od $\pm 0,5$ dB. Przy 100 MHz testery przygotowane do pomiaru powinny mieć kierunkowość lepszą od 25 dB i dopasowanie źródła lepsze od 20 dB (rys. 407).

Testery okablowania strukturalnego

Przyrządy te, poza standardowym zestawem testów, oferują możliwość diagnostyki połączeń i lokalizacji uszkodzeń w kanale. Dostępne są przystawki umożliwiające pomiar łączy światłowodowych. Testery mają dodatkowe oprogramowanie umożliwiające przesyłanie wyników pomiarów do komputera, magazynowanie wyników, ich dalsze przetwarzanie i generację raportów. Testery poziomu III są przyrządami pracującymi w większości na zasadzie wektorowych analizatorów obwodów, dzięki czemu mają duże możliwości w zakresie eliminacji błędów pomiarowych oraz prezentacji wyników w dziedzinie zarówno częstotliwości, jak i czasu.

Instalator i administrator sieci mają obecnie duży wybór testerów. Wprowadzanie nowych technik transmisyjnych wymaga ponownej certyfikacji istniejącego okablowania. W okablowaniu zrealizowanym w kategorii 6 barierą mogą się okazać zastosowane kable przyłączeniowe. Wydaje się, że gdy dotychczas pomiary okablowania były domeną instalatorów i były ograniczone do łączy trwałych (gniazdo–gniazdo), to coraz częściej użytkownicy sieci będą zmuszeni do testowania zestawionych kanałów (interfejs–interfejs). Obecnie użytkownicy mają do wyboru zaawansowane technicznie testery poziomu III i nieco prostsze, ale też i tańsze testery poziomu II. Ceny testerów zawierają się w przedziale od dwóch do kilkunastu tysięcy dolarów, w zależności od klasy i wyposażenia. Prosty, przejrzysty interfejs użytkownika oraz duży stopień automatyzacji sprawiają, że obsługa tych przyrządów nie jest bardziej złożona od obsługi współczesnych multimetrów. Można zaryzy-

kować stwierdzenie, że w sieciach liczących kilkadziesiąt przyłączy tester jest przyrządem niezbędnym.

Kompatybilność elektromagnetyczna w okablowaniu strukturalnym

Kompatybilność jest tematem budzącym najwięcej nieporozumień wśród wytwórców, dostawców, instalatorów i wreszcie użytkowników sieci. Pewną panikę wywołała europejska dyrektywa dotycząca kompatybilności elektromagnetycznej. Toczy się dyskusja, czy stosować okablowanie ekranowane czy nieekranowane. Na czym polega problem?

Okablowanie strukturalne składa się z elementów biernych i jako takie nie wymaga certyfikatów dotyczących poziomu emitowanego pola elektromagnetycznego czy też odporności na zewnętrzne zaburzenia pola. Tego typu wymagania dotyczą wyłącznie urządzeń aktywnych. Wynika to z faktu, że poziom emitowanego pola będzie zależał od urządzenia, które podłączamy do naszego okablowania. W zależności od poziomów napięć i częstotliwości nasza sieć może przekraczać dozwolone limity promieniowania lub nie. Dla większości spotykanych rozwiązań poziom generowanych zaburzeń pola jest w normie.

Problem kompatybilności elementów biernych sprowadza się do stwierdzenia: jak dalece zastosowane komponenty osłabiają emisję pola elektromagnetycznego na zewnątrz oraz w jakim stopniu są podatne na pola zewnętrzne (przy danym polu zewnętrznym, jakie napięcie zakłóceń powstanie w torze transmisyjnym).

W przypadku kabli ekranowanych, stosowanych np. w telewizji kablowej, wyznacza się parametr nazwany tłumiennością ekranowania. Parametr ten podaje w dB, ile razy emitowane pole z ekranowanego kabla współosiowego będzie słabsze od pola emitowanego przez tor o takiej samej impedancji charakterystycznej, niezrównoważony i bez ekranu. Na poziom emitowanego pola z toru symetrycznego (para skręcona) mają wpływ zrównoważenie układu i dodatkowe ekranowanie. Dotychczas każdy z parametrów był mierzony inną metodą, a wyników nie można było ze sobą porównać. Przez to nie można było stwierdzić, czy lepszym rozwiązaniem jest kabel z dodatkowym ekranem czy może lepiej zrównoważony (wykonany z większą precyzją). Problem był tym trudniejszy, że dodanie ekranu zmieniało poziom niezrównoważenia. Dopiero teraz są opracowywane metody, które pozwalają mierzyć w ten sam sposób kable ekranowane i nieekranowane (EN 50289-1-6). Parametr, który mierzymy w tej metodzie, nazywany jest tłumiennością sprzężenia (*coupling attenuation*). Wykorzystano do pomiaru tego parametru zmodyfikowaną metodę pomiaru tłumienności ekranowania za pomocą cęgów absorpcyjnych (transformatora prądowego). W metodzie tej za pomocą transformatora prądowego o specjalnej konstrukcji mierzy się prąd płynący na zewnątrz ekranu kabla (media ekranowane) lub składową prądu powstającą w wyniku niezrównoważenia toru (media nieekranowane). Otrzymany wynik pozwala oszacować na podstawie znajomości sygnału transmitowanego w torze, jaki poziom pola elektromagnetycznego może się pojawić w otoczeniu przewodu.

Przykładowe wartości wraz z komentarzem odnoszącym się do zastosowanego kabla przedstawiono w tabeli powyżej. Z zawartości tabeli wynika, że nowe techniki transmisyjne będą wymagały stosowania kabli ekranowanych lub światłowodów. Tłumienność sprzężenia jest obecnie mierzona w warunkach laboratoryjnych. Metoda pomiarowa może być w przyszłości zastosowana do pomiaru w miejscu instalacji sieci. Być może testery poziomu IV (jeżeli taki zostanie zdefiniowany) będą mierzyć tłumienność sprzężenia. W zestawie standardowych testów odnajdziemy narzędzia do weryfikacji okablowania pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej.