

## 10G Ethernet przez miedziane okablowanie strukturalne

### Zagadnienia ogólne

Ostatnie badanie rynku wykazało wzrost zapytań w ruchu Internetowym. Wraz ze wzrostem użytkowników pojawiło się kilka nowych aplikacji, które wymusiło potrzebę wzrostu szerokości pasma. Jedną z możliwych technologii, która sprosta tym wymaganiom jest 10Gb/s Ethernet przez miedziane systemy okablowania strukturalnego. Przegląd bieżących trendów na rynku i wyścig technologii w odniesieniu do technologii 10G zostanie przeanalizowany poniżej. Pierwszym tematem poruszonym w tym dokumencie będzie przegląd kluczowych spostrzeżeń dotyczących wymaganych mediów miedzianego okablowania strukturalnego, które mogą być zastosowane przy nowych technologiach.

Należy scharakteryzować miedziane medium transmisyjne do zastosowania dla Ethernet 10Gb/s. Ta charakterystyka będzie obejmować zrozumienie kluczowych obszarów, włączając przegląd parametrów transmisyjnych dla okablowania strukturalnego, wymagania szerokości pasma i ograniczenia długości poprzez różne typy okablowania.

W celu zrozumienia teoretycznych ograniczeń kanału okablowania strukturalnego zostanie przeprowadzona analiza przy użyciu równania Shannona. Przeprowadzona będzie dyskusja na temat kluczowych propozycji określających wymagania niezawodności działania dla okablowania strukturalnego dla nowych technologii. Zrozumienie charakterystyki funkcjonowania kanału obejmującego medium transmisyjne jest kluczem do kompleksowego projektowania systemu.

Pokazane zostaną przykłady szczegółowej charakterystyki transmisyjnej dla trzech odrębnych typów okablowania. Te typy okablowania to: U/UTP – pary nieekranowane, F/UTP – pary skrętkowe z folią wokół, S/FTP – pary skrętkowe z indywidualną folią i opłotem z siatki drucianej wokół wszystkich par.

Pokazane zostaną przykłady teoretycznej pojemności Shannona użytej do obliczeń transmisji danych dla różnych typów okablowania strukturalnego. Symulacje pokażą zależności na jaki system okablowania, a właściwie parametry kanału takie jak Alien NEXT (przesłuchy obce NEXT) ma wpływ teoretyczne ograniczenie kanału.

Słowa kluczowe:

10Gb/s Ethernet, Insertion Loss, Return Loss, Near End Crosstalk (NEXT), Far End Crosstalk (FEXT), Equal Level Far End Crosstalk (ELFEXT), Alien Crosstalk (ANEXT), Powersum, U/UTP, F/UTP, S/FTP, pojemność Shannona.

### 1. Wprowadzenie

W przedsiębiorstwach, komputery PC mogą usprawnić działanie, zwiększają zyskowność, i wzrasta satysfakcja klientów. Przy dzisiejszym globalnym rynku jest w zasadzie obowiązkiem być połączonym elektronicznie z kluczowymi dostawcami i klientami.

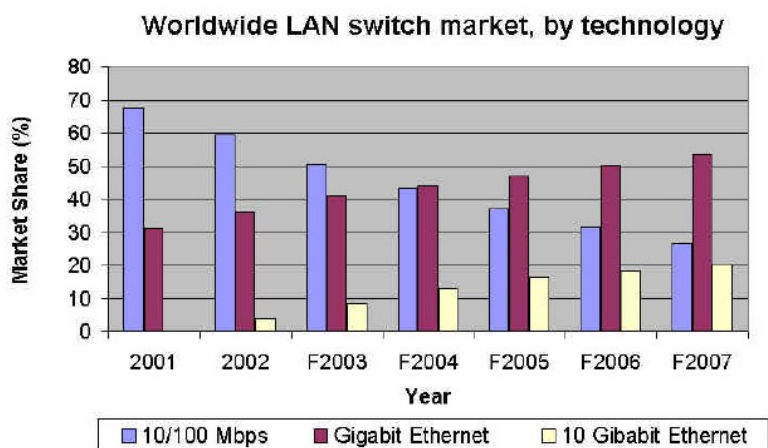
Głównym celem podczas przeprowadzeniu przeglądu technologii 10Gb/s Ethernet będzie okablowanie strukturalne. Przegląd specyfikacji okablowania będzie przeprowadzony razem na podstawie danych z pomiarów dla klas okablowania. Na końcu, rezultaty symulacji dla teoretycznej pojemności Shannona, które zostaną przeprowadzone pozwolą

pokazać techniczne możliwości osiągnięcia 10Gb/s Ethernet przez miedziane okablowanie strukturalne.

## 2. Poprzednie trendy rynku

Zapotrzebowanie na szerokość pasma rośnie dramatycznie, jako wynik używania w środowisku biznesowym sieci komputerowych z większą ilością wykonywanych operacji. Rozwój rozszerzonych aplikacji klient/serwer razem z nowymi aplikacjami integrującymi dane, głos i video było także pomocne w wypełnieniu tego zapotrzebowania. Większe i coraz większe zapotrzebowanie na szerokość pasma w sieci jest konsekwencją wzrostu niezawodności działania zarówno hardware jak i oprogramowania w komputerach PC. Złożoność problemu stanowi również to, że wraz ze wzrostem rynku biznesowego wzrasta rozmiar i użycie sieci komputerowej. W konsekwencji powoduje to spowolnienie działania sieci.

Duże zapotrzebowanie na szerokość pasma jest wynikiem wzrostu zapotrzebowania na prędkość transmisji danych dla switchy i routerów. Rysunek 1 przedstawia graficzny wykres światowego rynku switchy LAN podzielonego procentowo. Pokazane są trzy najważniejsze technologie: 10/100 Mbps, Gigabit Ethernet i 10 Gigabit Ethernet. Przewidywane prognozy rynku na najbliższe trzy lata pokazują podział rynku na dwie technologie switchy Gigabit Ethernet i 10 Gigabit Ethernet



Source: International Data Corp

Rysunek 1. Światowy rynek przełączników LAN

Pomocą w wypełnieniu tej luki może być ostatnie zadanie komitetu IEEE wymuszające rozwój standardu 10Gb/s Ethernet przez miedziane okablowanie strukturalne. Celem standardu jest rozwój produktów 10Gb/s Ethernet, które mogłyby aktualnie pracować na zainstalowanym okablowaniu strukturalnym z określonym ograniczeniem odległości. Czas zakończenia prac nad standardem został określony na czerwiec 2006

## 3. Przegląd technologii 10Gb/s Ethernet

### 3.1 Cel

Grupa inicjatywna dla zadania 10GBASE-T (formalnie znanego jako IEEE 802.3an) została powołana do rozwoju 10 Gigabit Ethernet, który mógłby działać przez poziome

okablowanie strukturalne. Kilka ważnych celów dla których grupa została powołana do pracy to:

- Zapewnienie ramek i formatu danych zgodnie z 802.3 Ethernet w standardzie MAC
- Zapewnienie prędkości 10Gb/s w standardzie MAC
- Zapewnienie działania w formacie full duplex
- Zapewnienie działania przez 4-konektorowe łącze okablowania skrętkowego 4-parowego dla wszystkich standardowych długości
- Zapewnienie satysfakcjonujących wymagań emisji według CISPR/FCC „Class A”
- Zapewnienie stopy błędów bitów BER na poziomie  $10^{-12}$  na wszystkich dystansach i we wszystkich klasach.

### 3.1.1 Okablowanie 10GBASE-T

Głównymi celami okablowania dla realizacji zadania 10GBASE-T są:

- Zapewnienie działania przez 4-konektorowe łącze okablowania skrętkowego 4-parowego dla wszystkich standardowych długości
- Zdefiniowanie pojedynczego 10Gb/s PHY, które mogłoby zapewnić łącze:
  - Przynajmniej 100m na 4-parowym okablowaniu miedzianym zrównoważonym klasy F/kategorii 7
  - Przynajmniej 55m do 100m na 4-parowym okablowaniu miedzianym zrównoważonym klasy E/kategorii 6
- Zapewnienie satysfakcjonujących wymagań emisji według CISPR/FCC „Class A”

### 3.2 Aplikacje

Istnieją dwa ważne środowiska aplikacji, gdzie 10Gb/s Ethernet mógłby pomóc, byłyby to środowisko centrum danych (serwerownie) i środowisko miedzianego okablowania strukturalnego. Jak pokazują trendy rynku, szybsze sieci potrzebują większej szerokości pasma dla pojemności sieci. Centrum danych są pierwszymi środowiskami, gdzie pomocne mogą być nowe aplikacje dotyczące gromadzenia danych i klastrów serwerów.

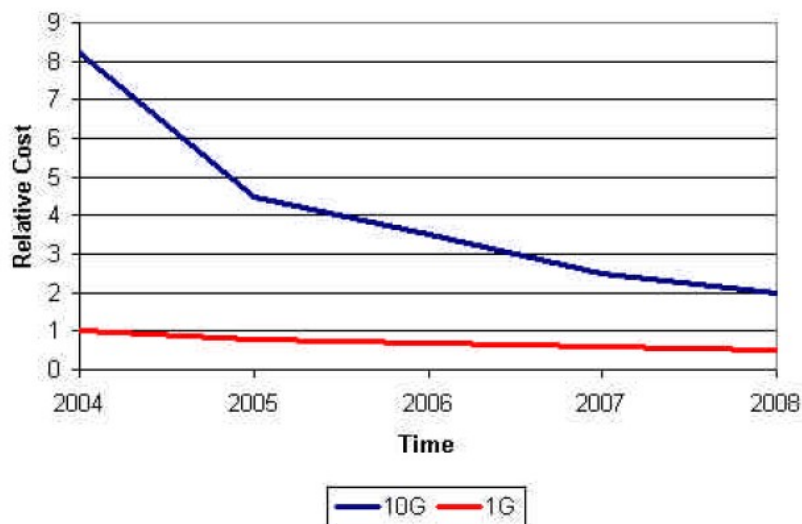
Technologia 10GBASE-T jest także konkurencyjna dla dwóch dodatkowych technologii: światłowodowej 10GBASE-T i 10GBASE-CX4. Potencjalną zaletą 10Gb/s Ethernet względem technologii światłowodowej jest redukcja kosztów. Potencjalną zaletą względem 10GBASE-CX4 jest możliwość transmisji na większe fizyczne odległości. Aktualnie standard aplikacji 10GBASE-CX4 pozwala na działanie na odległości 15m.

Jeśli historia może być jakimś wykładnikiem przyszłych trendów, aplikacje projektowane dla środowiska centrum danych będą ewentualnie przemieszczać się do biur. Dlatego, taką możliwość ukierunkowania celu jest także bardzo ważna dla grup zadaniowych 10GBASE-T.

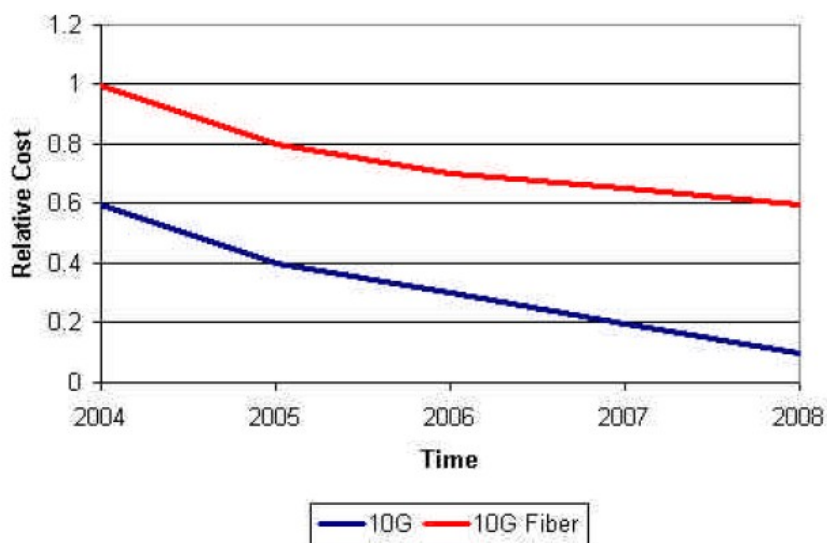
### 3.3 Względna analiza kosztów

Względny koszt dla tej technologii w porównaniu z innymi technologiami jest także bardzo ważny, aby został zaakceptowany przez rynek. Rysunek 2 pokazuje względną różnicę kosztów między 10Gb/s Ethernet a 1Gb/s Ethernet. W nawiązaniu do poprzednich prognoz (IEEE 802 10GBASE-T Tutorial, str.11: 2003) całkowita różnica kosztów między 10Gb/s Ethernet po miedzi a 1Gb/s Ethernet po miedzi została oszacowana współczynnikiem 8-9 razy więcej a prognozowane trendy podają

współczynnik 2-3 razy do roku 2008. Rysunek 3 pokazuje prognozowane trendy kosztowe porównując 10Gb/s po miedzi względem 10Gb/s po światłowodzie. Trendy pokazują, że całkowite koszty to 0,6 razy mniej niż światłowód aż do 0,15 razy mniej do roku 2008.



Rysunek 2. Względny koszt 1Gb/s a 10Gb/s

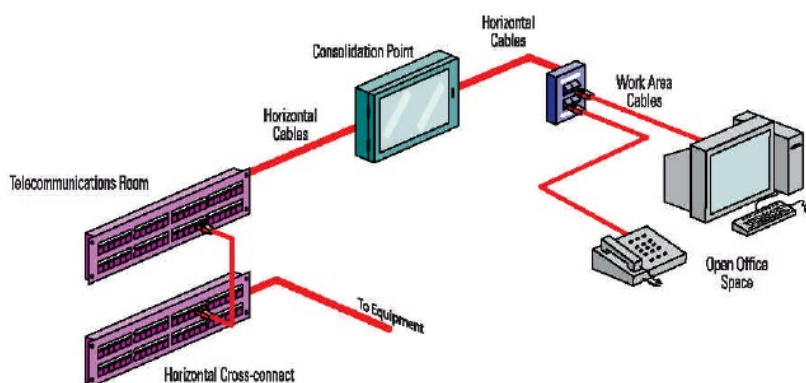


Rysunek 3. Względny koszt 10Gb/s po światłowodzie a 10Gb/s po miedzi

#### 4. Charakterystyka Okablowania Strukturalnego

Zrozumienie ważnych parametrów transmisyjnych (elektrycznych) okablowania strukturalnego jest krytyczne do tego, aby zrozumieć techniczne działanie transmisji 10Gb/s przez miedziane okablowanie strukturalne. Charakterystyka zostanie przeprowadzona w dwóch kategoriach: (1) wewnętrzne parametry kanału oraz (2)

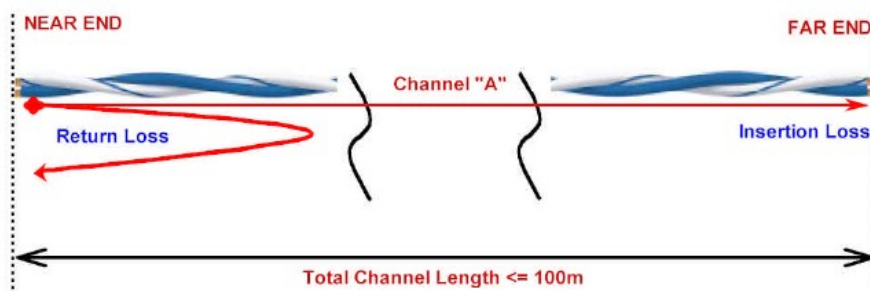
zewnętrzne parametry kanału. Tematyka topologii kanału zostanie wyjaśniona wcześniej niż rozważania na temat charakterystyki ważnych parametrów elektrycznych. Jednym z modeli poziomego okablowania jest model krosowania pośredniego (cross-connect model), jak pokazano na rysunku 4. Topologia tego modelu obejmuje trzy główne elementy: kable krosowe, osprzęt połączeniowy i kable instalacyjne. W modelu przewidziane są 4 punkty połączeniowe z maksymalną długością kanału 100m (328ft)



Rysunek 4. Model krosowania pośredniego w okablowaniu strukturalnym (cross-connect model)

Ważnymi wewnętrznymi parametrami w celu specyfikacji typów okablowania są: Insertion Loss (IL) – tłumienność, Return Loss (RL) – straty odbicie, Near End Crosstalk (NEXT) – przesłuchy na bliższym końcu, Equal Level Far End Crosstalk (ELFEXT) – przesłuchy na dalszym końcu sprowadzone do równego poziomu. Dokonamy przeglądu każdego z parametrów.

Insertion Loss stratą sygnału pojawiającego się na wejściu i wyjściu kanału. Insertion Loss jest typowo wyrażany jako stosunek mocy sygnału na odbiorniku w porównaniu do sygnału inicjującego układ, wyrażane w decybelach (dB). Return Loss (straty odbiciowe) są mierzone po to, aby wykazać jak duża ilość sygnału zostaje odbita z powrotem do źródła z powodu zmian impedancji w kanale, wyrażany w decybelach (dB). Parametry IL i RL są zilustrowane na rysunku 5. Dla uproszczenia, rysunek 5 pokazuje tylko 1 kabel skrętkowy. W tym przykładzie, ważnym współczynnikiem wpływającym na IL w kanale może być wymiar przewodnika, typ materiału izolacji przewodnika i powłoki, szerokość pasma częstotliwości, liczba połączeń i fizyczna długość. Ważnym współczynnikiem wpływającym na działanie RL może być zmiana skoku skrętu żył w parze i nieciągłość impedancji w torze z powodu nie dopasowania komponentów w kanale.



Rysunek 5. Insertion Loss (tłumienność) i Return Loss (straty odbiciowe)

NEXT jest mierzony sprzężeniem nieoczekiwanego sygnału między parami w tym samym kanale, kiedy zakłócający sygnał jest przesyłany od nadajnika na tym samym końcu., wyrażane w decybelach (dB).

Efekt zwielokrotnienia aktywnych par w kanale jest opisywany używając „powersum crosstalk” (przesłuchy sumaryczne). W pełni duplexowym środowisku, transceivery na obu końcach kanału generują sygnały jednocześnie. Przesłuch powersum jest matematycznym stosunkiem, który oblicza całkowite szумы sprzężenia od przyległych par do wybranej pary. Na przykład, całkowite szумы odbiornika, które są sprzężone z losowo wybraną parą skrętkową wynikają z nieoczekiwanego szumu generowanego od trzech innych pozostałych par w danej chwili czasu.

FEXT jest mierzony nieoczekiwanym sygnałem sprzężonym między parami w tym samym kanale, kiedy sygnał zakłócający jest przesyłany z jednego końca i odbierany jest przez transceiver na przeciwnym końcu kanału, wyrażany w decybelach (dB).

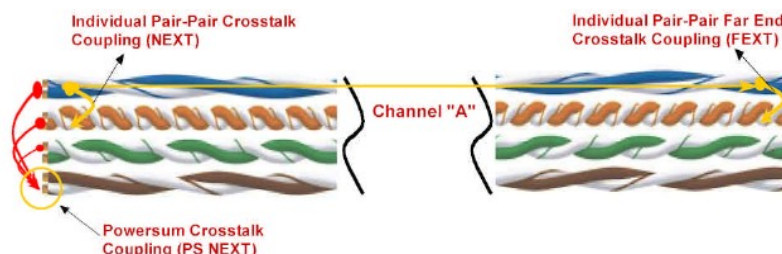
Parametr ELFEXT dla szczególnej kombinacji par jest kalkulowany, gdzie brane pod uwagę są dwa parametry szумы sprzężeniowe FEXT i straty wtrąceniowe IL dla wybranego kanału.

Matematycznie jest to wyrażane jako:

$$\text{ELFEXT} = \text{FEXT} - \text{IL} \quad (1)$$

Fizyczna długość kanału może być zmienna dla wielu par w kanale; dlatego też parametr ELFEXT jest użyteczny dla analizy generowanych przesłuchów FEXT niezależnych od strat wtrąceniowych IL. Parametr PSELFEXT może być obliczony przez zastąpienie FEXT parametrem PSFEXT w równaniu (1).

Rysunek 6 przedstawia graficzne przedstawienie obydwu parametrów NEXT i FEXT. Na tym rysunku przesłuchy NEXT pojawiają się wtedy gdy sygnał generowany w niebieskiej parze sprzężony jest z parą pomarańczową na tym samym końcu (tj. bliższy koniec). Przesłuchy FEXT pojawiają się wtedy kiedy sygnał generowany w parze niebieskiej pojawi się w parze pomarańczowej na przeciwnym końcu kanału. Przesłuchy PSNEXT dla brązowej pary na tym rysunku są obliczane poprzez sumowanie przesłuchów z trzech przylegających par (tj. niebieskiej, pomarańczowej i zielonej pary) na tym samym końcu.



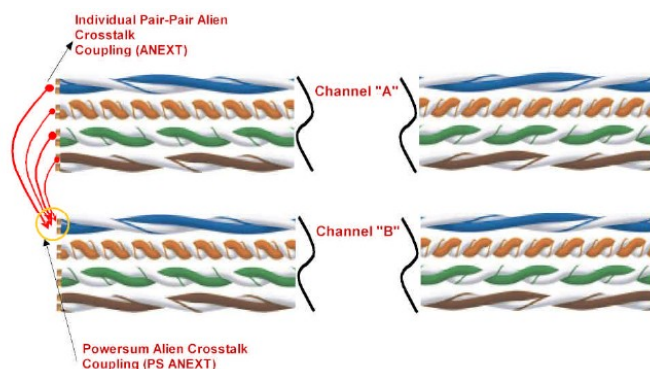
Rysunek 6. Przesłuchy NEXT i FEXT

Dotychczas opisywane były efekty parametrów w kanale. W następnej części dokonano przeglądu parametrów na zewnątrz kanału.

Przesłuchy obce są miarą nieoczekiwanych sygnałów w jednym kanale sprzężonych z jedną lub większą ilością par z kanału przylegającego, wyrażane w decybelach (dB).

Przesłuchy obce są bardzo trudnym parametrem kanału do zamodelowania z powodu jego statystycznie losowej natury. Prezentacja podana przez grupę zadaniową 10GBASE-T zidentyfikowała przesłuchy obce jako najbardziej dominujące źródło szumów. W przeciwieństwie do innych szkodliwych szumów, przesłuchy obce są bardzo trudne do zminimalizowania przy użyciu zaawansowanych algorytmów w cyfrowych procesorach sygnałowych (DSP) z powodu jego losowej statystycznej natury. Brak możliwości minimalizacji przesłuchów obcych ma duży wpływ na docelową teoretyczną pojemność.

Rysunek 7 przedstawia graficzną reprezentację przesłuchów obcych z jednego kanału do kanału sąsiedniego. W tym przykładzie, efektem zaobserwowanych przesłuchów obcych jest sygnał w jednej parze z jednego kanału (np. kanał A: para niebieska) sprzężony z parą z drugiego sąsiedniego kanału (np. kanał B: para niebieska). Tak jak z parametrem NEXT, efekt sprzężenia powodowany przez transmisję full duplex może zostać najlepiej opisany przez matematyczny stosunek powersum. W przypadku, kiedy dwa sąsiednie kanały są umieszczone obok siebie, całkowity PSANEXT obserwowany dla szczególnej pary (np. kanał B: para niebieska) jest związany z sygnałem generowanym we wszystkich parach sąsiedniego kanału (np. kanał A: niebieska, pomarańczowa, zielona i brązowa).



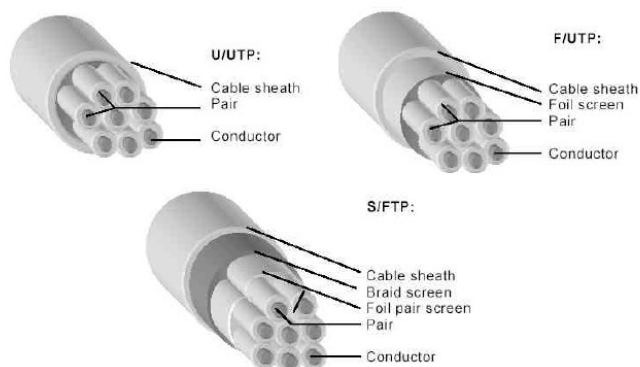
Rysunek 7. Przesłuchy obce (ANEXT)

## 10GBASE-T - okablowanie

### 4.1 Typy okablowania

Zrozumienie różnych typów okablowania będzie podstawą do przeglądu mediów dla standardu 10Gb/s. Normy okablowania ISO/IEC podają definicje różnych typów okablowania. Rysunek 8 ilustruje trzy z różnych typów konstrukcji kabli dla poszczególnych klas.

Oznaczenie U/UTP definiuje typ kabla skrętkowego (pary zrównoważonej), gdzie wszystkie 4 pary są otoczone powłoką zewnętrzną kabla. Oznaczenie F/UTP definiuje typ kabla skrętkowego, w którym wszystkie czterech pary przewodzące są zamknięte i otoczone metalową folią, a następnie metalowa folia jest otoczona powłoką zewnętrzną kabla. Oznaczenie S/FTP definiuje typ kabla skrętkowego, w którym każda z czterech par przewodzących jest zamknięta przez ekran z folii metalowej i później wszystkie cztery pary są otoczone przez oplot z siatki miedzianej ocynowanej i otoczona wokół powłoką zewnętrzną.



Source: ISO/IEC 11801 Ed2.0

Rysunek 8. Typy okablowania

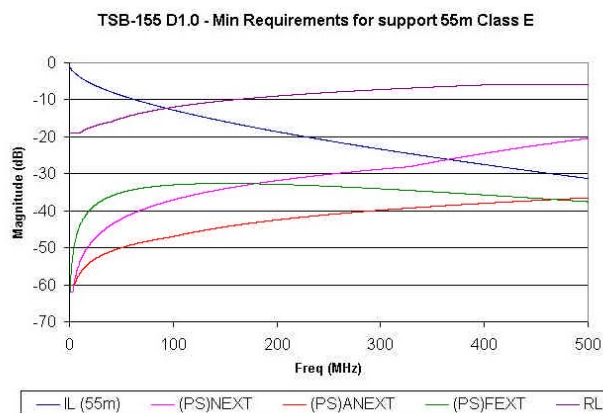
## 4.2 Specyfikacja

Jednym z ważnych celów standardu 10GBASE-T jest zastosowanie medium miedzianego, które jest reprezentowane przez obydwa standardy okablowania klasy E i klasy F. Aktualnie, specyfikacja okablowania klasy E (także jako odpowiednik kat.6) definiuje charakterystykę okablowania z maksymalną szerokością pasma do 250MHz. Specyfikacja okablowania klasy F (także jako odpowiednik kat.7) definiuje charakterystykę okablowania z maksymalną szerokością pasma do 600MHz.

Po to żeby zajmować się techniczną możliwością działania proponowanych urządzeń warstwy fizycznej (PHY), grupa standaryzacyjna 10GBASE-T rozpoczęła pracę nad wydaniem dokumentu określającego elektryczną charakterystykę okablowania strukturalnego podaną jako cele. Bieżące wyniki tych starań są udokumentowane w ważnych próbnym wydaniach norm: TIA/EIA TSB-155 D1.0. To wydanie próbne może być ewentualnie sposobem na prace nad wydaniem końcowym specyfikacji 10GBASE-T.

Dokument próbny zawiera minimum specyfikacji dla obydwu rodzajów parametrów wewnętrznych i zewnętrznych.

Rysunek 9 przedstawia kompleksowy wykres krzywych, które reprezentują minimum specyfikacji wymaganych do osiągnięcia działania aplikacji na minimalną odległość 55m przez okablowanie klasy E.



Rysunek 9. Specyfikacja dla okablowania klasy E na odległość 55m



## 4.3 Ograniczenia

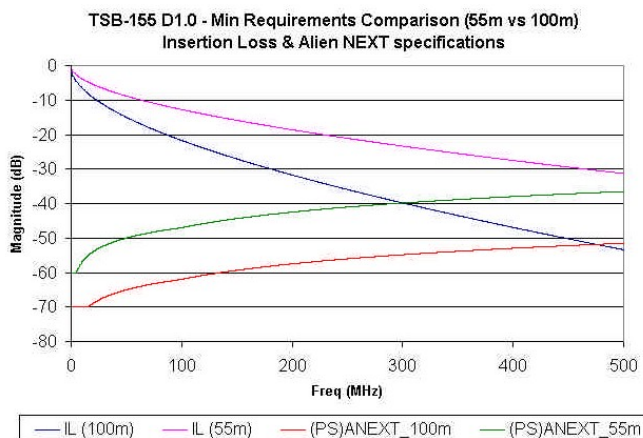
Jednym z ważniejszych celów standardu dla 10GBASE-T jest działanie na aktualnie zainstalowanym okablowaniu klasy E. Aktualnie, bieżąca specyfikacja klasy E posiada dwie główne techniczne luki. Pierwszą z nich jest szerokość pasma. Aktualnie klasa E specyfikuje tylko wymagania do 250MHz. Drugą luką, która ma także zastosowanie dla klasy F są wymagania charakterystyki dla przesłuchów obcych.

Grupa zadaniowa 10GBASE-T zgadza się również, że wyższy zakres częstotliwości dla szerokości pasma 500MHz będzie wystarczający do osiągnięcia transmisji danych 10Gb/s przez korespondujący kanał. Grupa 10GBASE-T przeprowadziła znaczną ilość prac i ważnych prezentacji pokazujących, że straty wtrąceniowe (IL) i przesłuchy obce są dwoma z najbardziej znaczącymi parametrami okablowania, które mają wpływ na pojemność Shannona.

Typ okablowania U/UTP klasa E są najbardziej czułe na sprzężenia pochodzące od przesłuchów obcych. Dlatego pojawiło się ograniczenie dla okablowania U/UTP aktualnej klasy E. Symulacje dały wyniki, że teoretycznie możliwe jest osiągnięcie fizycznej długości 55m podanej jako najgorszy wyspecyfikowany przypadek, jaki został pokazany na rysunku 9.

Rysunek 10 pokazuje sumaryczne krzywe dla strat wtrąceniowych IL oraz przesłuchów obcych „powersum”, w nawiązaniu do propozycji norm TIA/EIA TSB-155 D1.0. Celem tych krzywych jest pokazanie jakie poziomy wartości parametrów są wymagane odpowiednio do osiągnięcia długości kanału 55m i 100m. W przyszłości rozwój okablowania będzie napotykał na takie wymagania przesłuchów obcych „powersum” przedstawione poniżej, które pozwolą na zapewnienie docelowej długości 100m.

Godne uwagi jest to, że środowisko okablowania, techniczne grupy robocze okablowania takie jak TIA (telecommunication industry association) i ISO (international standard organization) pracują w kierunku rozwoju specyfikacji nowej „rozszerzonej” klasy, która będzie charakteryzować okablowanie do maksymalnej długości 100m

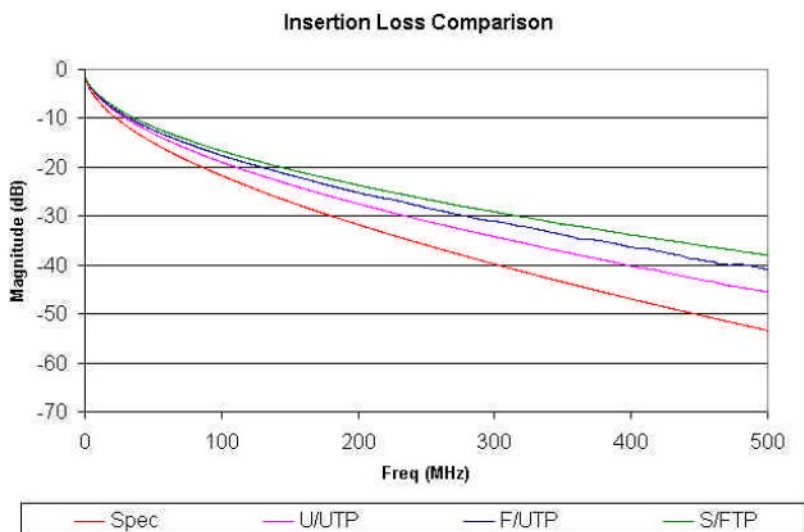


Rysunek 10. Straty wtrąceniowe IL i PSANEXT – limity

## 5. niezawodność działania okablowania

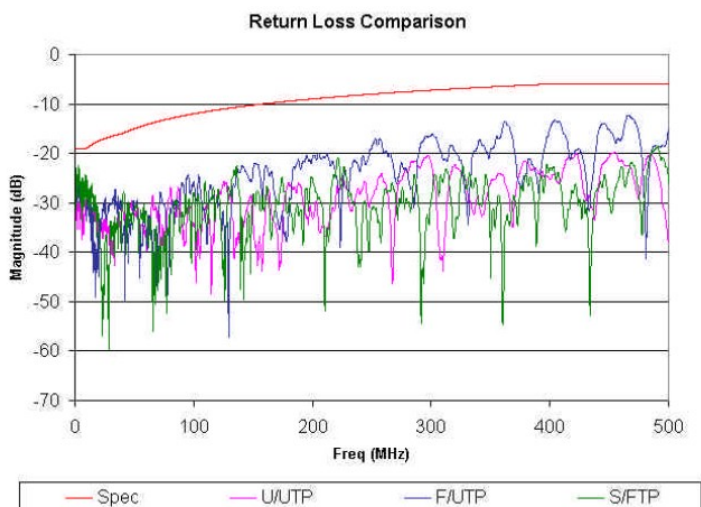
Najważniejsze dane dotyczące działania sieci zostaną zebrane i podsumowane dla trzech kluczowych typów okablowania, klasy E U/UTP, klasy E F/UTP, klasy F S/FTP. Dane wynikowe zostały zapisane w zakresie szerokości pasma 1-500MHz. Dane wynikowe zostały porównane ze specyfikacjami przywołanymi w drafcie normy TIA/EIA TSB-155 D1.0 .

Rysunek 11 przedstawia sumę wyników strat wtrąceniowych IL - wartości typowe dla kanału 100m odpowiednio dla każdego typu okablowania. Analiza danych strat wtrąceniowych IL powyżej 100MHz pokazuje, że kanały S/FTP i F/UTP wykazują znaczącą poprawę mocy sygnału w porównaniu do kanału U/UTP. Poziom mocy sygnału obserwowany na odbiorniku jest niezmiernie ważny w określeniu stosunku sygnał/szum dla systemu. Przy takiej samej reszcie warunków, silniejszy sygnał jest przetwarzany na wyższy stosunek sygnał/szum, w wyniku czego zwiększa się teoretyczna pojemność kanału.



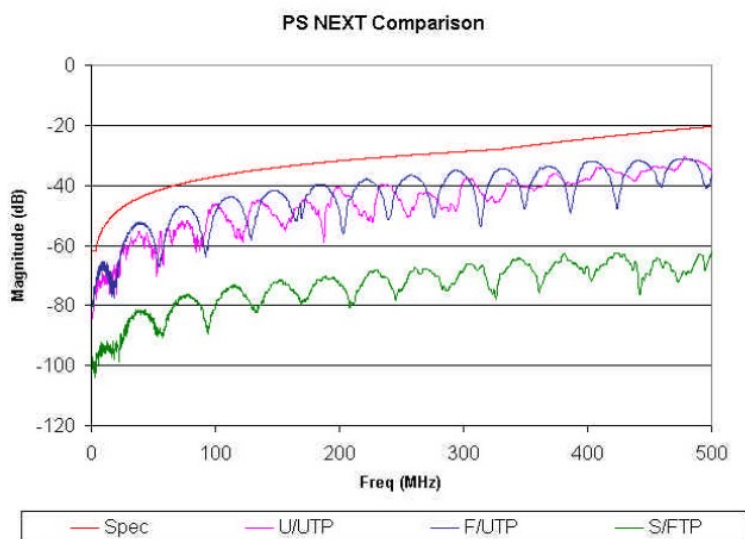
Rysunek 11. Straty wtrąceniowe IL- wyniki analizy

Rysunek 12 przedstawia sumę wyników strat odbiciowych RL - wartości typowe dla kanału 100m odpowiednio dla każdego typu okablowania. Analiza wyników strat odbiciowych RL wśród trzech typów okablowania pokazuje, że dla najgorszego przypadku okablowanie osiągało poziom strat RL około -12dB (bazując na najgorszym przypadku przy określonym punkcie częstotliwości). Dla najlepszego przypadku okablowanie osiągało poziom strat RL około -18dB. Poziom strat RL -12dB w dawałby w rezultacie około 25% poziomu sygnału. Na przykład, jeżeli sygnał 1V pk-pk zostałby wprowadzony do okablowania, to nadajnik odebrałby sygnał odbity o wartości 0,25V pk-pk. Lepsze dopasowanie komponentów to w rezultacie niższy poziom strat odbiciowych RL (wartość bezwzględna większa). To odpowiada w rezultacie niższemu poziomowi energii odbitej wracającej do źródła.



Rysunek 12. Straty odbiciowe RL- wyniki analizy

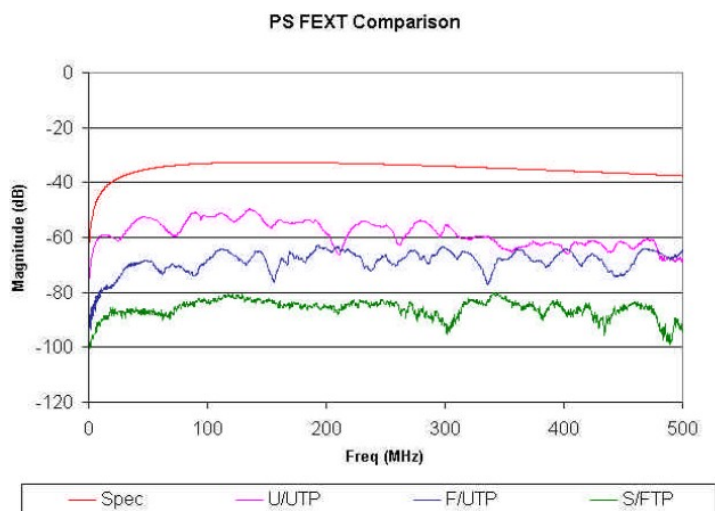
Rysunek 13 przedstawia sumę wyników PSNEXT - wartości typowe dla kanału 100m odpowiednio dla każdego typu okablowania. Podobne poziomy przesłuchów zaobserwowano dla kanałów U/UTP i F/UTP. Kanał S/FTP pokazał dalej niższy poziom przesłuchów. Przy 500MHz, analiza danych S/FTP pokazuje 27,6dB mniejszy poziom szumów w porównaniu do okablowania U/UTP. Amplituda sygnału w przybliżeniu daje 95,8% redukcji szumów w stosunku do poprzedniego poziomu. Wpływ niższego poziomu szumów w systemie pozwoli na wzrost stosunku sygnał/szum i w rezultacie zwiększy się pojemność kanału.



Rysunek 13. Przesłuchy PSNEXT – wyniki analizy

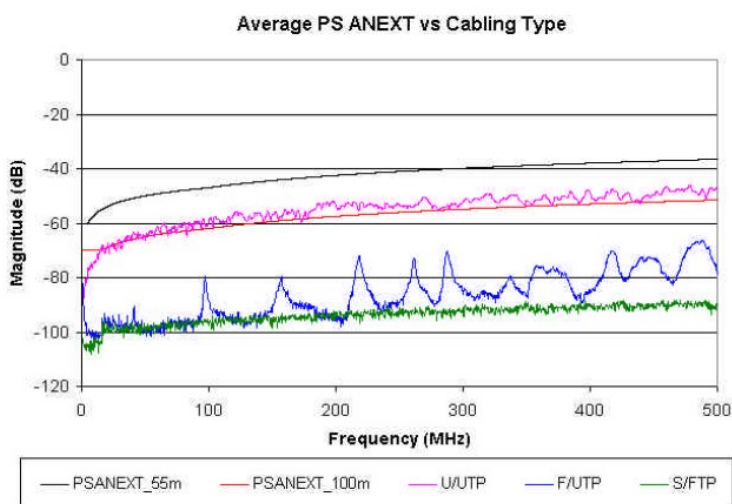
Rysunek 14 przedstawia sumę wyników PSFEXT - wartości typowe dla kanału 100m odpowiednio dla każdego typu okablowania. Jako, że sygnał krzyżuje się z wybraną szczególną parą, amplituda strat wtrąceniowych IL dla sygnału będzie wzrastała wraz ze wzrostem długości. Te stłumione sygnały na dalszym końcu kanału będą wprowadzać mniejsze szумы sprzężenia niż sygnały sprzężone na bliższym końcu kanału. W rezultacie

amplitudy poziomu szumów PSFEXT są niższe kiedy porówna się poziom szumów PSNEXT.



Rysunek 14. Przesłuchy PSFEXT – wyniki analizy

Rysunek 15 przedstawia sumę wyników PSANEXT (przesłuchy obce NEXT) - wartości typowe dla kanału 100m odpowiednio dla każdego typu okablowania. Właściwości ekranujące kanałów F/UTP i S/FTP dają w efekcie bardzo niski poziom sprzężonych sumarycznych przesłuchów obcych. Pozytywnym tego rezultatem jest możliwość transmisji na dłuższe odległości w porównaniu do kanałów, w których nie pojawia się niski poziom przesłuchów obcych. Przy 500MHz, analiza danych S/FTP wykazała 42,9dB obniżenie poziomu szumów w porównaniu do okablowania U/UTP. Taka amplituda pokazuje w przybliżeniu 99,3% redukcję szumów w stosunku do poprzedniego poziomu.



Rysunek 15. Przesłuchy PSANEXT – wyniki analizy

## 6. Pojemność Shannona i wyniki symulacji

### 6.1 Przegląd pojemności Shannona

Claude Shannon opracował formułę do wyliczenia maksymalnej pojemności kanału (bit/sec.). Równanie Shannona jest punktem odniesienia w wyniku którego mogą być w praktyce mierzone systemy telekomunikacyjne. Formuła Shannona stanowi:

$$C = W * \log_2(1+S/N) \quad (2)$$

gdzie:

$C$  = pojemność kanału (bit/sec)  
 $W$  = szerokość pasma kanału (Hz)  
 $S$  = całkowita moc sygnału (dB)  
 $N$  = całkowita moc szumów (dB)  
 $S/N$  = stosunek sygnał/szum

Równanie Shannona przedstawia nam podstawę do określenia teoretycznej pojemności kanału fizycznego medium. Ważnym elementem równania Shannona są szerokość pasma, sygnał i szum elementów okablowania. Przeprowadzony zostanie opis każdego z komponentów.

Wartość szerokości pasma dla kanału w poniższej symulacji bazuje na maksymalnej szerokości pasma przy 500MHz. Całkowity poziom sygnału ( $S$ ) jaki obserwujemy przy odbiorniku jest wyrażony jako:

$$S = S_i + IL \quad (3)$$

gdzie:

$S_i$  – moc sygnału wejściowego gęstości spektrum (PSD)  
 $IL$  – straty wtrąceniowe kanału  $IL$  (dB)

Jeden z ważniejszych elementów wpływających na ogólną moc sygnału jest związany ze stratami medium okablowania. Przy innych takich samych warunkach, kanały o krótszej długości mają mniejsze straty wtrąceniowe  $IL$  okablowania. W rezultacie dostajemy wyższy stosunek sygnał/szum w odbiorniku.

Niektóre źródła szumów istnieją w miedzianych kanałach komunikacyjnych. Te źródła szumów włączają Return Loss, PSNEXT, PSFEXT, PSANEXT i szумы tła. Poprzednie zaawansowane technologie w algorytmach DSP pozwalały na dalsze ograniczenie źródeł szumów. Matematycznie, losowość źródła szumów zawiera następująca formuła:

$$\text{Noise } j = S_i + \text{Noise Cabling} - \text{Cancel DSP} \quad (4)$$

gdzie:

$\text{Noise } j$  = źródło szumów  
 $S_i$  – moc sygnału wejściowego gęstości spektrum (PSD)  
 $\text{Noise Cabling}$  = parametr szumów komponentu okablowania  
 $\text{Cancel DSP}$  = wartość wyrażona w dB, która reprezentuje poziom zaplanowanego ograniczenia bazującego na algorytmach DSP

Całkowita moc szumów w symulacji jest potem określana przez sumowanie mocy z pojedynczych źródeł szumów. Stanowiących w formule równania:

$$N = \sum_{i=1}^j 10^{\frac{Noise_j}{10}} \quad (5)$$

Na końcu całkowity sygnał i szum komponentów jest obliczany i wynikowa pojemność kanału jest obliczana za pomocą równania 2.

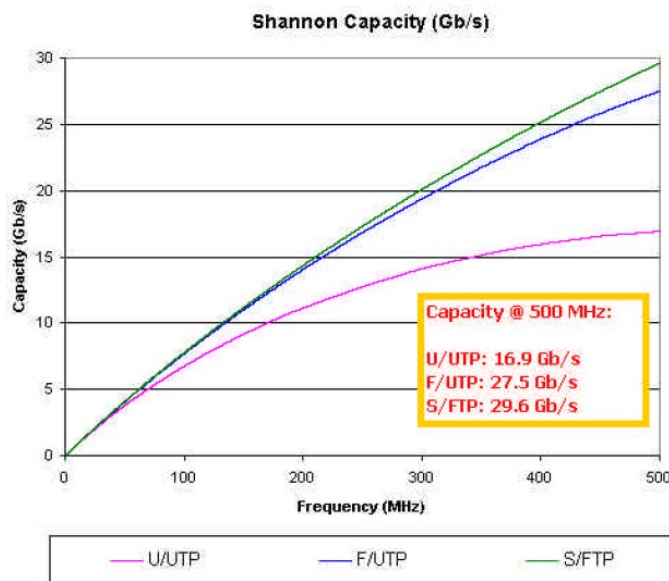
## 6.2 Wyniki symulacji.

Ostatnie opracowania podczas spotkania grupy zadaniowej 10GBASE-T dawały w rezultacie aprobatę dla strategii modulacji PAM w paśmie podstawowym. Bazując na architekturze modulacji przeniesiono i wybrano maksymalną szerokość pasma systemu okablowania wymaganą do zadziałania kodowania modulacji, która wynosi 500MHz. Jak pokazano w równaniu (3), całkowita moc sygnału jest zależna od strat wtrąceniowych IL dla poszczególnych typów okablowania (patrz: rysunek 11) Wyższe straty tym słabszy sygnał zostanie zdekodowany w odbiorniku. To obróci się w rezultacie w niższy stosunek sygnał/szum. Amplituda mocy sygnału wejściowego spektralnej gęstości pozostawała stała dla wszystkich symulacji. Te stałe warunki są zależne od poziomu mocy transmitowanego sygnału i wskaźnika symbolu.

Kilka źródeł szumów było czynnikami w symulacjach. Te wskaźniki zawierały tło szumów, RL, PSNEXT, PSFEXT i PSANEXT. Okiem eksperta, kilka ważnych źródeł szumów może być dalej ograniczonych używając zaawansowanych algorytmów DSP. W symulacji czynnikami do ograniczenia są poziomy dla PSNEXT, PSFEXT, i RL. Amplituda tych poziomów zawiera : 40dB(PSNEXT), 25dB(PSFEXT), i 55dB(RL). Losowa natura parametru PSNEXT sprawiła bardzo dużo trudności do zamodelowania i zaniechano tego. Dlatego, ograniczenie szumów poprzez algorytmy DSP nie zostało zastosowane dla parametru przesłuchów obcych.

Rysunek 16 przedstawia sumę krzywych pojemności Shannona wykorzystujących wyniki przeprowadzone w rozdziale 6 dla każdego odpowiedniego typu okablowania. Przy 500MHz, analiza danych kanału S/FTP wykazuje wzrost o 12,7Gb/s pojemności kanału w porównaniu do okablowania U/UTP.

Wyniki symulacji pokazują, że przy innych równych warunkach, wyniki pojemności kanału osiągnięte dla okablowania S/FTP są o najwyższym poziomie, następnie okablowanie F/UTP i w końcu okablowanie U/UTP. Z powodu dużej obecności przesłuchów obcych, stosunek sygnał/szum w kanale medium U/UTP był mniejszy niż jego odpowiednik okablowania ekranowanego.



Rysunek 16. Wykres – symulacja pojemności Shannona

W lipcu 2004, grupa zadaniowa 10GBASE-T głosowała za adaptacją kodu LDPC – low-density parity-check jako preferowane kodowanie kanału pojawiające się w specyfikacji. W nawiązaniu do powyższej analizy grupa zadaniowa 10GBASE-T przedstawiła jako wymagany cel pojemność Shannona gwarantującą 10Gb/s Ethernet, która może być rozszerzona do 15,9Gb/s kiedy zastosuje się kodowanie LDPC. Ta docelowa pojemność powinna być także zapewniona w przybliżeniu 6dB headroom dzięki solidnie zaprojektowanemu systemowi.

## 7. Wnioski

Wzrost szerokości pasma w sieci prowadzi do potrzeby rozwoju nowych produktów, które potrafią poradzić sobie z ruchem w sieci i poprawią działanie sieci. Grupa zadaniowa 10GBASE-T jest aktualnie zobligowana do opracowania standardu, który określi produkty pozwalające na przesyłanie 10Gb/s Ethernet poprzez miedziane okablowanie strukturalne.

Zostanie przeprowadzony przegląd rynku pod kątem czynników warunkujących i celów dla nowej technologii. W sumie dokonany zostanie przegląd ważnych parametrów elektrycznych definiujących okablowanie strukturalne. Wyniki pomocnych pomiarów dla trzech typów okablowania zostały przedstawione w rozdziale 6.

W nawiązaniu do przeprowadzonej symulacji, oczekuje się, że 10Gb/s Ethernet będzie mógł funkcjonować w kanale klasy E U/UTP specyfikowanym dla minimalnej długości 55m. Możliwości kanału U/UTP aby osiągać docelowe długości powyżej 55m są zawieszane ze względu na dwa czynniki. Pierwszym z tych czynników są wyniki weryfikacji parametrów elektrycznych aż do 500MHz. Drugi z czynników mówi o tym jaki poziom ograniczania szumów DSP może być osiągnięty. Niemożliwość osiągnięcia tych dwóch czynników będzie miał duży wpływ na fizyczną długość na jakiej może

funkcjonować 10Gb/s Ethernet. Przemysł okablowania wierzy, że obydwa z tych czynników zostaną zrealizowane i systemy okablowania U/UTP dla kategorii 6 będą mogły być stosowane do 100m.

Symulacje przeprowadzone w kanale F/UTP wykazały bardzo niski poziom tłumienia przesłuchów obcych PSNEXT. Ten tłumiony poziom przesłuchów obcych daje możliwość zastosowania dla większej fizycznej długości powyżej 55m aż do 100m.

System klasy F (kat.7) wykorzystujący okablowanie S/FTP wykazuje lepsze ogólne działanie transmisyjne. Niski poziom strat sygnału i tłumienie przesłuchów obcych pozwala na wyższy stosunek sygnał/szum. W wyniku tego system okablowania S/FTP zapewnia maksymalne wymaganie odnośnie długości kanału 100m.

Następnym krokiem w procesie jest zdefiniowanie przez techniczne komitety normalizacyjne (takie jak TIA/EIA i ISO/IEC) parametrów okablowania aż do minimum 500MHz, które będą mogły pomóc w zlikwidowaniu aktualnych luk w istniejącym fundamencie instalacji i zapewnić 10Gb/s Ethernet w kanale o maksymalnej długości 100m.

## 8. Odnosiniki

- [1] ISO/IEC 11801:2002(E), "Information Technology – Generic cabling for customer premises", (Sept 2002)
- [2] TIA/EIA TSB-155 D1.0, "Additional guidelines for 4-pair 100 ohm category 6 cabling for 10GBASE-T applications", (July 2004)
- [3] 10GBASE-T study group, "IEEE 802 10GBASE-T Tutorial", p. 11 (Nov 2003)
- [4] W. Stallings, "Data and computer communications, 5<sup>th</sup> edition", p.62 (1997)
- [5] S. Powell, H. Takatori and J. Tellado, "10GBASE-T PAM Scheme: Proposed Overall Architecture", p. 15 (July 2004)
- [6] J. Tellado and D. Dibiri, "Shannon Capacity Targets: Effects of coding loss and margin", p. 7 (March 2004)

Opracowanie S-Cabling na podstawie materiałów z firmy Siemon.