

Politechnika Opolska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Informatyka
Studia pierwszego stopnia

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO
PRZEDMIOT:
**TRANSMISJA DANYCH W SIECIACH
KOMPUTEROWYCH**

ĆWICZENIE nr 5

BADANIE TRANSMISJI SHDSL

Opole, luty 2020

WPROWADZENIE

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z transmisją w systemie SHDSL oraz badanie wpływu długości linii transmisyjnej na szybkość i opóźnienie transmisji. Celem jest także zapoznanie się z obsługą modemów pracujących w łączach SHDSL oraz programów wspomagających badania transmisyjne. W Załączniku nr 3 podano informacje nt. zniekształceń sygnałów transmitowanych w przewodach miedzianych.

Ćwiczenie składa się z:

- a. części teoretycznej – zapoznanie się z Techniką SHDSL (R.2) oraz Załącznikiem nr3.
- b. Filmów dydaktycznych umieszczonych na e-drive,
- c. budowy stanowiska pomiarowego oraz sprawdzenia konfiguracji sprzętu zastosowanego do budowy stanowiska (R.3-R.5)
- d. pomiarów (R.6).

Ważne: zapoznaj się z filmami dydaktycznymi umieszczonymi na e-drive,

2. TECHNIKA SHDSL

Symmetric High-speed Digital Subscriber Line, G.991.2 (poprzednio G.SHDSL) to standard techniki DSL umożliwiający abonentowi szerokopasmowy dostęp do sieci operatora telekomunikacyjnego za pomocą istniejącego okablowania miedzianego stosowanego w tradycyjnej telefonii POTS lub liniach dzierżawionych E1.

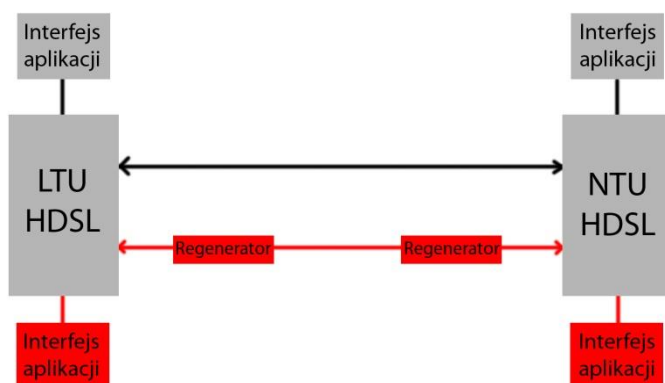
G.SHDSL to technika łączy symetrycznego, udostępniająca taką samą przepustowość w obu kierunkach. W odróżnieniu od technologii ADSL sygnał przesyłany jest w całym spektrum długości fal, co uniemożliwia stosowanie go równolegle z transmisją telefonii tradycyjnej POTS. Zaletą przesunięcia sygnału w dół pasma jest zwiększona odporność na zakłócenia, co umożliwia zmniejszenie mocy przesyłanego sygnału przy zachowanym zasięgu usługi. Mniejsza moc transmitowanego sygnału wykazuje zmniejszony wpływ na transmisje innego typu prowadzone w tej samej wiązce kabli (tzw. kompatybilność spektralna).

Technika G.SHDSL jest widziana jako tania alternatywa dla dzierżawionych łączy E1 wykorzystujących metodę multipleksacji w dziedzinie czasu (TDM). Wykorzystuje ona jedną parę przewodów, podczas gdy linie E1 korzystają z dwóch par.

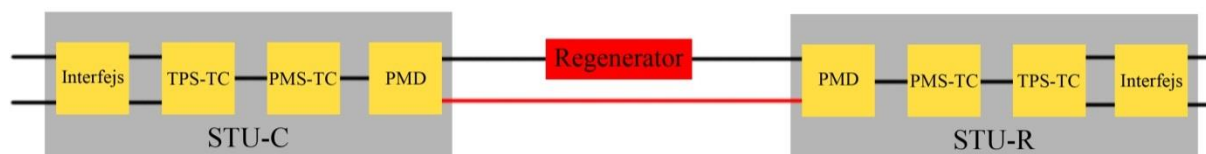
Szybkość transmisji uzyskanej przez G.SHDSL może wynosić od 192 do 2312 kb/s na parę przewodów. Przy wykorzystaniu dwóch par szybkość może ulec podwojeniu.

Zalety techniki G.SHDSL to przede wszystkim wysoka wydajność przy relatywnie niskich kosztach uruchomienia usługi (wykorzystanie istniejącego okablowania) oraz niski wpływ na inne technologie dostarczane przy wykorzystaniu tych samych wiązek kabli. Symetryczny dostęp do sieci umożliwia m.in. dwustronną transmisję wideo, zdalny dostęp oraz możliwość oferowania usług znajdujących się po stronie abonenta, które w przypadku korzystania z technologii asymetrycznej cierpiałyby z powodu ograniczeń pasma w jednym kierunku. System SHDSL wywodzi się z systemu HDSL i daje możliwość transmisji sygnałów z szybkością od 200kb/s do 2328 kb/s przy jednej parze przewodu skręconego. Natomiast przy wykorzystaniu dwóch par szybkość transmisji mieści się w przedziale od

400 kb/s do 4656 kb/s. Przesyłanie danych w taki sposób odbywa się zwykle symetrycznie, choć jest możliwość przesyłania asymetrycznego. W torze transmisyjnym systemu SHDSL jest również możliwość stosowania regeneratorów, maksymalnie ośmiu sztuk. Najnowsze rozwiązania noszą nazwę SHDSL.bis i pozwalają na szybkość przesyłania danych od 200 kb/s do 5704 kb/s. Na rysunku 10 (poniżej) jest przedstawiony schemat transmisji w systemie SHDSL. Za nadawanie i odbieranie sygnałów odpowiada element STU, po stronie centrali znajduje się model centralowy STU-C (strona centrali CO) a po stronie abonenta modem abonencki STU-R (strona abonenta CPE). Ich struktura jest przedstawiona na rys. 11.

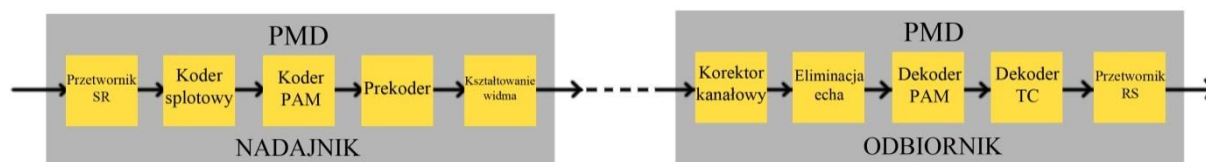


Rys. 1. Schemat blokowy systemu SHDSL



Rys..2 Struktura modemów STU-C i STU-R

Elementy bloków STU są do siebie podobne, blok interfejsu jest połączony z blokiem TPS-TC, który odpowiada za przekształcenie sygnałów zewnętrznych w ramki użytkowe. Następny blok PMS-TC zajmuje się wytwarzaniem ramek SHDSL oraz skramblowaniem, czyli przemnażaniem porcji danych przez sekwencję pseudolosową, w celu losowego uszeregowania danych i lepszego rozłożenia mocy sygnału w paśmie transmisyjnym.



Rys. 3. Struktura bloku PMD

Struktura bloku PMD znajduje się na rysunku 12. Część nadawcza składa się z przetwornika SR zajmującego się taktowaniem, kodera splotowego, który służy do kodowania TC (ang. turbo coding). Kolejnymi składnikami części nadawczej PMD jest koder PAM (np. 16 PAM), prekoder i blok kształtowania widma. Natomiast część odbiorcza zaczyna się od korektora kanałowego oraz eliminacji echa sygnału. Dalej sygnał jest przechodzi przez dekodera PAM, dekodera TC i przetwornik RS.

Tabela 1. Zasięg technologii SHDSL

Srednica żył	Zasięg przesyłania danych [km] dla różnych szybkości transmisji w b/s
--------------	---

	272	1040	2312	4624
0,4	8	5	4	2,2
0,6	12	7,5	5,5	3

Zasięg systemu SHDSL, tak jak w systemach HDSL, zależy od jakości kabla transmisyjnego. Największy zasięg oferuje SHDSL.bis przy użyciu modulacji 32 TC-PAM. Zasięg może sięgać wtedy nawet do 15km, czyli o 30% dalej niż jak to przedstawiono w Tabeli 1.

Zastosowania techniki SHDSL

O ile w rozwiązaniach dostępu do Internetu skrętka miedziana jest skutecznie zastępowana przez rozwiązania światłowodowe FTTX i dostęp radiowy, to **w zastosowaniach przemysłowych i korporacyjnych często instalacje miedziane są nadal często wykorzystywane.**

Typowy przykład zastosowania SHDSL to **wydłużenie zasięgu sieci LAN (Ethernet) ponad 100 m.** Poniżej opisano przykład takiego rozwiązania w kolejnictwie.

W infrastrukturze kolejowej odcinki kolejowe są dzielone na Lokalne Centra Sterowania (LCS). W LCS-ie montowane są terminale i serwery umożliwiające nadzór nad urządzeniami na podległym obszarze. Rozpiętość LCS wynosi przeważnie kilkadziesiąt kilometrów. System składa się z serwera, terminala dla dyżurnego ruchu i terminalu dla personelu utrzymaniowego. Transmisja z urządzeń w LCS-ach odbywa się poprzez sieć TCP/IP. Wykorzystuje się do tego celu światłowody i zabudowane urządzenia łączności SDH. Dane ze wszystkich obiektów trafiają w ten sposób do budynku LCS (główniej nastawni). Łączność światłowodowa nie dochodzi jednak do wszystkich obiektów. W takich przypadkach obiekty łączone są do najbliższego punktu z urządzeniem SDH poprzez dostępne kable miedziane. W tym celu wykorzystuje się modemy firmy Westermo pracujące w technologii G. SHDSL. Stosowane modele to: DDW-120 (do połączeń punkt-punkt), DDW-142 (do połączeń ringowych) oraz DDW-225 (modem do połączeń ringowych zintegrowany z przełącznikiem warstwy 3). Modemy G. SHDSL pozwalają rozszerzyć zasięg Ethernetu po kablach miedzianych nawet do 15 km z transferami do 30,6 Mb/s przy jednoczesnym umożliwieniu segmentacji jednej fizycznej sieci. Nie bez znaczenia pozostaje czynnik ekonomiczny wynikający z wykorzystania istniejącego okablowania.

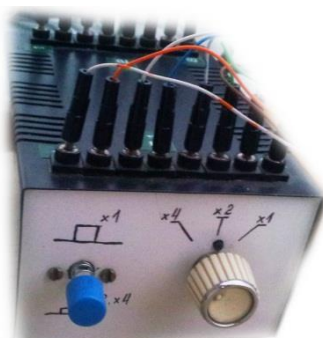
Drugim zastosowaniem techniki SHDSL to **symetryczne podłączenie klientów biznesowych do sieci metropolitalnych i dostępowych** przez operatorów telekomunikacyjnych. Technologia G.SHDSL to najlepsze rozwiązanie dla przedsiębiorstw, które chcą przesyłać określone ilości danych po łączy symetrycznym. Maksymalizuje ona wydajność przewodów miedzianych poprzez większą szybkość i zasięg transmisji. Wykorzystując wstępnie zainstalowane wiązki skrętki miedzianej w celu zapewnienia dostępu do szerokopasmowej sieci, rozwiązanie SHDSL łagodzi problemy z instalacją światłowodów. Rozwiązanie pozwala oferować różne pakiety przepustowości, a zarazem rozszerzyć ofertę usług na rentownym rynku korporacyjnym. Typowa jest realizacja usługi transmisji łącza dzierżawionego E1 2048 kb/s poprzez łącze SHDSL 2312 kb/s.

Trzecim zastosowaniem jest **realizacja mostów łączących sieci LAN** lub dołączających oddalony host do sieci LAN w rozległym przedsiębiorstwie z wieloma budynkami i sieciami LAN. Podłączane mogą być także elementy infrastruktury pomiarowo/kontrolnej przedsiębiorstwa, lokalne stacje paliw, oddalone stanowiska typ waga samochodowa (ze stanowiskiem do fakturowania), systemy rejestracji czasu pracy itp. Przedsiębiorstwa tego typu to Góraźdże Cement S.A., PGE GiEK S.A. Oddział Elektrownia Opole itp.

BUDOWA STANOWISKA LABORATORYJNEGO

3. LINIA TRANSMISYJNA

Linia transmisyjna została wykonana z dwóch 7-mio parowych kabli telekomunikacyjnych typu YTKSY o długości 200m każdy. Przewody zostały ze sobą połączone w taki sposób, aby można wykorzystać 7 par w celu zwielokrotnienia długości kabli. Dodatkowo do linii transmisyjnej jest podłączone urządzenie do regulacji długości linii, dzięki temu długość linii można regulować w trzech zakresach: 400m, 1200m i 2800m. Regulacja długości linii następuje przez ustawienie przycisku w pozycji wciśniętej lub wyciśniętej oraz poprzez regulację pokrętła na pozycję x1, x2 i x4. Jeśli przycisk jest wyciśnięty, wtedy linia ma długość 400m, a pokrętło do regulacji jest wyłączone. Przy wciśniętym przycisku, jest możliwość regulacji długości linii, ustawienie x2 oznacza długość 1200m, natomiast ustawienie x4 oznacza 2800m.



Rys. 13. Urządzenie do regulacji długości linii transmisyjnej

Uwaga: wciśnięcie przycisku i ustawienie pokrętła na pozycję x1 oznacza przerwę w linii !
Podczas regulacji długości linii, modemy będą zrywać połączenie i ustalać je na nowo.

Tabela 2 Ustawienia długości linii transmisyjnej

Ustawienie przycisku	Ustawienie pokrętła	x1	x2	x4
Wyciśnięty		400m	400m	400m
Wciśnięty		Przerwa w linii !	1200m	2800m

4. MODEMY SHDSL

Modemy zastosowane w ćwiczeniu to urządzenia SHDSL firmy PLANET - model GRT-101 i jeden egzemplarz jest przedstawiony na rysunku 14. Mają one możliwość transmisji danych na odległość do 6,7 km, natomiast maksymalna szybkość z jaką mogą przesyłać i odbierać dane (full-duplex) to 2312kb/s na dystansie 3,3 km. Modemy są wykorzystywane np. do odbierania i przekazywania sygnału sieci LAN IEEE 802.3 w celu rozszerzenia zasięgu sieci lokalnej lub połączenia dwóch sieci

lokalnych (tryb BRIDGE). Podczas ćwiczenia będą wykorzystywane dwa takie urządzenia. Mogą one także być wykorzystywane do realizacji transmisji w ramach łącza dzierżawionego E1 2048 kb/s.

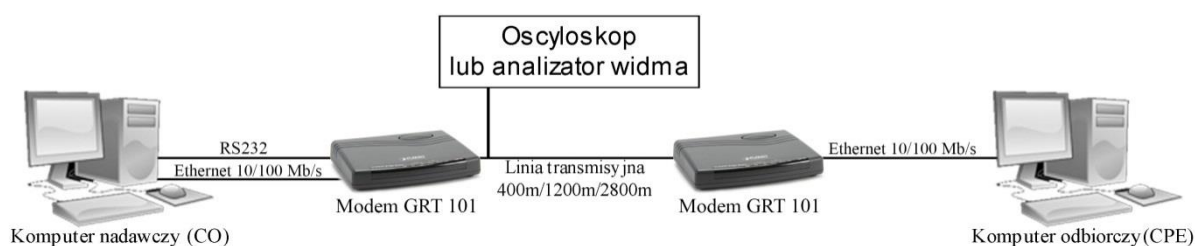


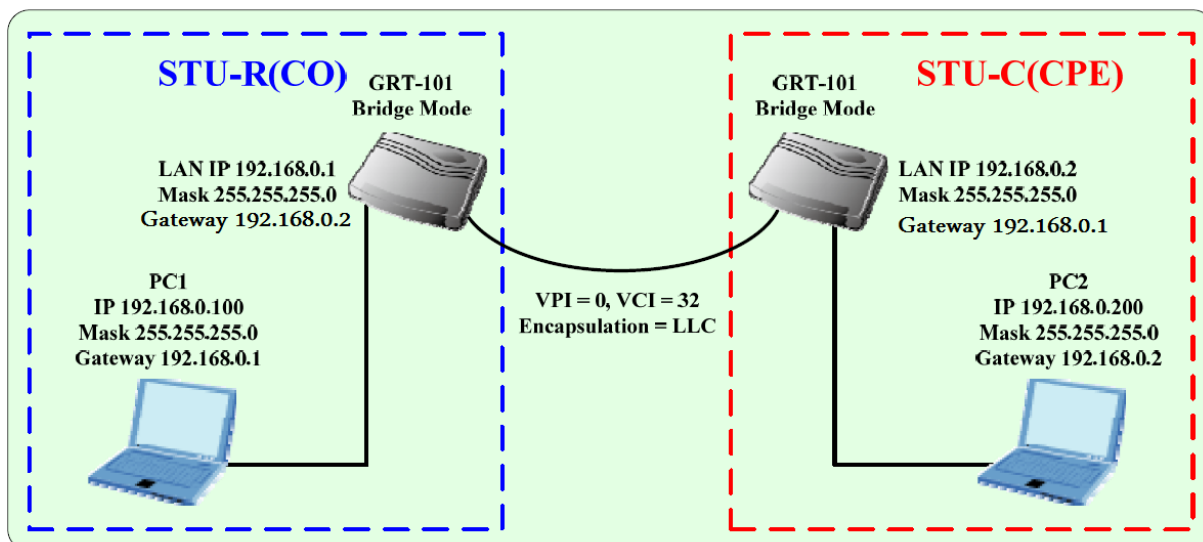
Rys. 14. Modem PLANET GRT-101

Konfiguracja modemu zwykle odbywa się poprzez złącze RJ-45 Ethernet komputera i przeglądarkę internetową. PLANET GRT-101 ma możliwość automatycznego pomiaru podstawowych parametrów linii.

5. SCHEMAT POŁĄCZEŃ I KONFIGURACJA SPRZĘTU DO POMIARU ŁĄCZA SHDSL

W celu przeprowadzenia pomiaru należy połączyć komputery linią transmisyjną z użyciem modemów SHDSL typ GRT-101, jak to przedstawiono na rysunku poniżej. **Adres bramy modemu CO jest adresem IP modemu CPE. Adres bramy modemu CPE jest adresem IP modemu CO.**





Rys. 15. Schemat połączeń oraz ustawień adresowych układu pomiarowego łącza SHDSL typu most

Do rozgałęźnika RJ-45, który jest już podłączony do jednego modemu (gniazdo LINE), należy podłączyć oscyloskop z analizatorem widma oraz jeden koniec linii transmisyjnej.

5.1. KONFIGURACJA KOMPUTERÓW

Konieczne jest ustawienie parametrów kart sieciowych w obu komputerach tak jak to podano w Tabeli 5. **Sprawdź w *Ustawieniach* danego komputera adresację IP karty sieciowej Ethernet:**

Sieć i Internet/Ethernet/Zmień opcje karty/Ethernet 2/Właściwości/ Protokół internetowy w wersji 4/ Użyj następujących adresów IP.

Tu sprawdź czy ustawienia adresacyjne są zgodnie z Tabelą 3. Działanie wykonaj osobno dla komputera strony CO i strony CPE.

Tabela 3. Ustawienia kart sieciowych komputerów CO i CPE

	Komputer server (strona CO)	Komputer client (strona CPE)
Adres IP	192.168.0.100	192.168.0.200
Maska podsieci	255.255.255.0	255.255.255.0
Brama domyślna	192.168.0.1	192.168.0.2

5.2. KONFIGURACJA I OBSŁUGA MODEMÓW

Konfiguracja modemu zwykle odbywa się poprzez złącze RJ-45 Ethernet komputera i przeglądarkę internetową. PLANET GRT-101 ma możliwość automatycznego pomiaru podstawowych parametrów linii. Nie wprowadzaj zmian w konfiguracji tylko obserwuj nastawy i czytaj wyniki pomiarów parametrów roboczych transmisji.

Strona CO

Zaloguj się w programie zarządzania modemem CPE. Otwórz przeglądarkę Chrome i wpisz w oknie przeglądarki adres modemu: 192.168.0.1. Podaj login: root i hasło: root.

Zapoznaj się z ustawieniami modemu CPE w opcji BASIC zgodnie z podanymi na rys.17.

The image shows two screenshots of a modem configuration web interface. The top screenshot is titled "BASIC - STEP1" and shows the "Operation Mode" section. It has two rows of radio buttons: "System Mode" with options "ROUTE" and "BRIDGE" (selected), and "SHDSL Mode" with options "CO Side" (selected) and "CPE Side". There are "Cancel", "Reset", and "Next" buttons at the bottom. The bottom screenshot is titled "BASIC - STEP2" and shows the "LAN" and "WAN1" configuration sections. The "LAN" section has fields for "IP Address" (192.168.0.1), "Subnet Mask" (255.255.255.0), "Gateway" (192.168.0.2), and "Host Name" (SOHO). The "WAN1" section has fields for "VPI" (0), "VCI" (32), and "Encap" with options "VC-mux" and "LLC" (selected). There are "Back", "Cancel", "Reset", and "Next" buttons at the bottom. Below the screenshots, there is a numbered instruction: "7. Setup the CO Router in bridge mode (refer to bridge mode in section 2.1). The gateway of CO Router is pointed to LAN IP, 192.168.0.2, of CPE".

Home Basic Advanced Status Admin Utility

BASIC - STEP1

Operation Mode:

System Mode: ☐ ROUTE ☒ BRIDGE

SHDSL Mode: ☒ CO Side ☐ CPE Side

Cancel Reset Next

PLANET Technology Corp. GRT-101/401/402 User's Manual

Home Basic Advanced Status Admin Utility

BASIC - STEP2

LAN:

IP Address: 192 . 168 . 0 . 1

Subnet Mask: 255 . 255 . 255 . 0

Gateway: 192 . 168 . 0 . 2

Host Name: SOHO

WAN1:

VPI: 0

VCI: 32

Encap: ☐ VC-mux ☒ LLC

Back Cancel Reset Next

7. Setup the CO Router in bridge mode (refer to bridge mode in section 2.1).
The gateway of CO Router is pointed to LAN IP, 192.168.0.2, of CPE

Rys.17. Okno konfiguracji BASIC modemu CO

HomeBasicAdvancedStatusAdminUtility

ADVANCED - SHDSL

Operation Mode:

Setup Operation Mode:

Annex Type:

☐ Annex A
☒ Annex B
☐ Annex AB

Data Rate(n*64kbps):

0

(range:0~36, n=0 for adaptive mode)

SNR margin:

0

(range:-10~10)

Cancel

Reset

Finish

Rys.18. Okno konfiguracji Advanced - SHDSL modemu CO

Zapoznaj się z ustawieniami w oknie konfiguracji Advanced – SHDSL zgodnie z rys.18. Parametr Annex AB przydziela najszersze pasmo robocze modemu, a parametr Data Rate – 0 oznacza automatyczny dobór szybkości transmisji modemów dla danego doboru okablowania. Sprawdź ustawienia LAN, WAN, BRIDGE (nic nie zmieniaj).

Uruchom STATUS i zobacz poniżej Status SHDSL. Pojawiają się odświeżane w czasie pracy wyniki pomiarów parametrów roboczych transmisji: **Tx Power** (moc nadawcza), **SNR Margin** (stosunek sygnał/szum), **Attenuation** (tłumienie linii), **Line rate** (szybkość transmisji).

Pomiar STATUS SHDSL dla strony CO dla długości kabla 1200m:

STATUS - SHDSL

Status Information:

Run-Time Device Status:

SHDSL Status	Value
SHDSL Mode	CO Side
Tx Power	13.5 dBm
Line Rate(n*64+8)	2312 Kbps

Performance Information:

Item	Local Side	Remote Side
SNR Margin	18.4 dB	16 dB
Attenuation	11.7 dB	11 dB
CRC Error Count	0	2

Clear CRC Error

Pomiar STATUS SHDSL dla strony CPE dla długości kabla 1200m

STATUS - SHDSL

Status Information:

Run-Time Device Status:

SHDSL Status	Value
SHDSL Mode	CPE Side
Tx Power	13.5 dBm
Line Rate(n*64+8)	2312 Kbps

Performance Information:

Item	Local Side	Remote Side
SNR Margin	17.1 dB	17 dB
Attenuation	11.6 dB	11 dB
CRC Error Count	2	0

Clear CRC Error

Strona CPE

Zaloguj się w programie zarządzania modemem CPE. Otwórz przeglądarkę Chrome i wpisz w oknie przeglądarki adres modemu: 192.168.0.2. Podaj login: root i hasło: root.

Sprawdź ustawienia modemu CPE w opcji BASIC czy są zgodne z podanymi na rys.19.

Home Basic Advanced Status Admin Utility

BASIC - STEP1

Operation Mode:

System Mode: ☐ ROUTE ☒ **BRIDGE**

SHDSL Mode: ☐ CO Side ☒ **CPE Side**

Cancel Reset Next

Home Basic Advanced Status Admin Utility

BASIC - STEP2

LAN:

IP Address: 192 . 168 . 0 . 2

Subnet Mask: 255 . 255 . 255 . 0

Gateway: 192 . 168 . 0 . 1

Host Name: SOHO

WAN1:

VPI: 0

VCI: 32

Encap.: ☐ VC-mux ☒ **LLC**

Rys.19. Okno konfiguracji BASIC modemu CPE

Home Basic **Advanced** Status Admin Utility

ADVANCED - SHDSL

Operation Mode:

■ Setup Operation Mode:

Annex Type: ☐ Annex A ☒ Annex B ☐ Annex AB

Data Rate(n*64kbps): (range:0~36, n=0 for adaptive mode)

SNR margin: (range:-10~10)

Cancel Reset Finish

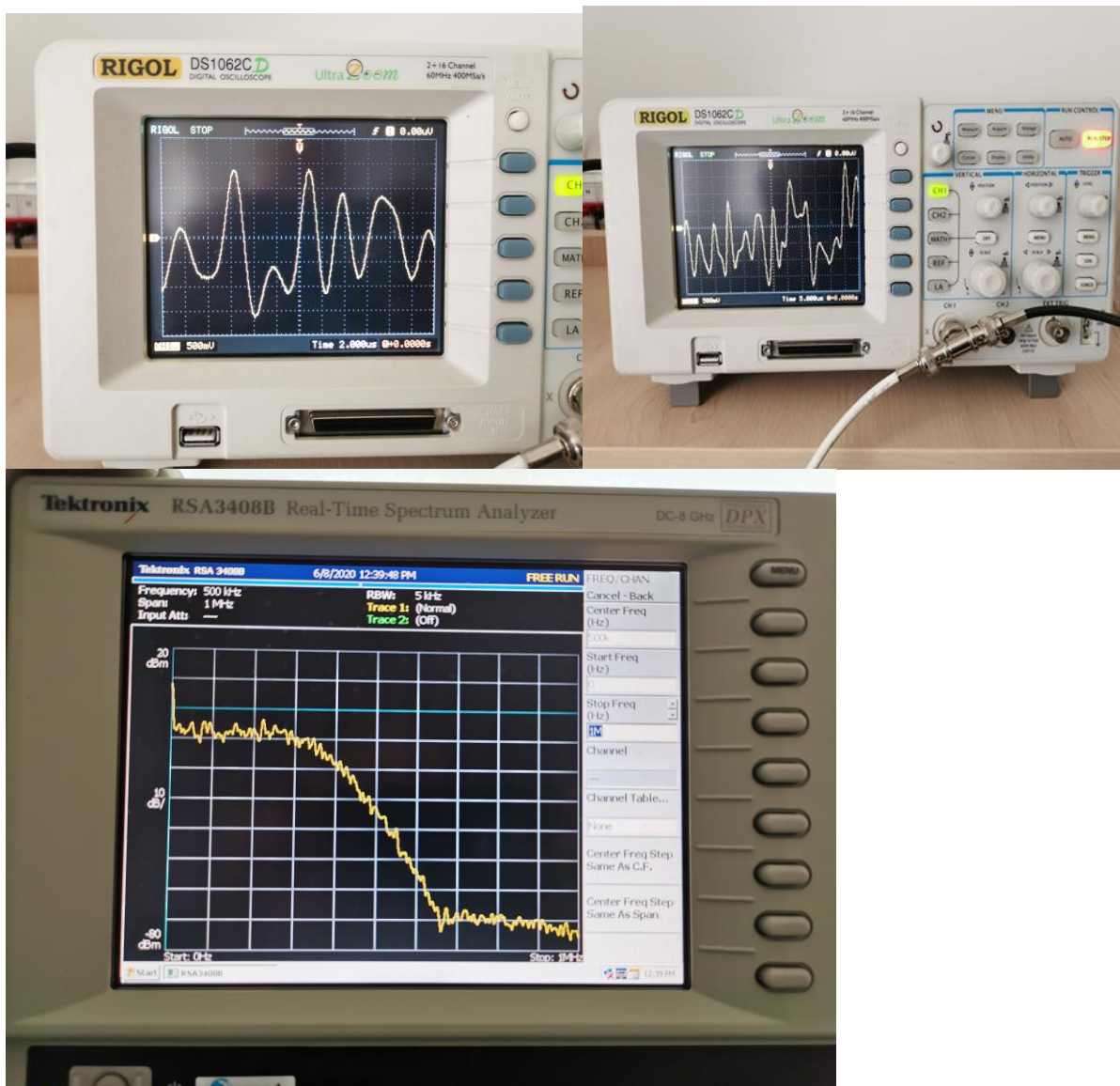
Rys.20. Okno konfiguracji Advanced - SHDSL modemu CPE

Sprawdź ustawienia w oknie konfiguracji Advanced – SHDSL czy są zgodne z rys.20. Parametr Annex AB przydziela najszersze pasmo robocze modemu, a parametr Data Rate – 0 oznacza automatyczny dobór szybkości transmisji modemów dla danego doboru okablowania.

Uruchom STATUS i zobacz **Status SHDSL**. Pojawiają się odświeżane w czasie pracy wyniki pomiarów parametrów roboczych transmisji: **Tx Power** (moc nadawcza), **SNR Margin** (stosunek sygnał/szum), **Attenuation** (tłumienie linii), **Line rate** (szybkość transmisji). **Parametry te są zamieszczone w pliku: Cw_5_wyniki pomiarów.docx.**

POMIARY ŁĄCZA SHDSL

Pomiar szybkość transmisji w łączy SHDSL należy wykonać dla wybranego ustawienia długości linii (np. 1200 m), przy stałym obciążaniu łączy transmisją generowaną programem JPERF. Dodatkowo przy każdym pomiarze, należy czytywać parametry linii mierzone przez modem (pomiar STATUS SHDSL) oraz robić zrzuty ekranowe z oscyloskopu (przebieg sygnału) oraz zmierzyć widmo– patrz rysunek 16.



Rys. 16. Przykładowe przebiegi sygnału SHDSL zarejestrowane oscyloskopowo (dziedzina czasu) oraz wygląd widma Fouriera (dziedzina częstotliwości) poniżej

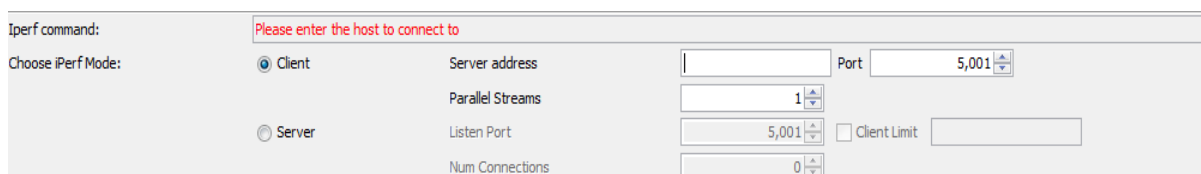
6.2. KONFIGURACJA I OBSŁUGA PROGRAMU JPERF ORAZ BADANIA WYDAJNOŚCI TRANSMISJI MOSTU

Program JPERF to program, który służy do obciążania i testowania łącz LAN /WAN i internetowych. Program stosuje nakładkę interfejsu graficznego napisanego w języku JAVA co ułatwia interpretację wyników pomiarów. JPerf jest programem typu klient-serwer, czyli do wykonania pomiaru przepływności sieci potrzebne są dwa komputery.

Strona CO

>Pierwszy komputer – komputer stacjonarny, jest używany jako serwer, a jego konfiguracja oraz uruchomienie opiera się na pięciu kliknięciach myszą. Uruchamiamy JPERF klikając ikonę programu na pulpicie komputera. Po włączeniu programu wybieramy tryb pracy jako serwer, następnie należy wskazać port, na którym serwer będzie obsługiwał nadchodzące połączenie.

>Na komputerze strony CO zaznaczamy opcje **server** i numer portu **6007**. Następnie odznaczamy rodzaj protokołu transmisyjnego.

The screenshot shows the jPerf application window. At the top, there is a text field for 'Iperf command:' with a red error message 'Please enter the host to connect to'. Below this, the 'Choose iPerf Mode:' section has two radio buttons: 'Client' (selected) and 'Server'. To the right of the 'Server' radio button, there are four input fields: 'Server address' (empty), 'Parallel Streams' (set to 1), 'Listen Port' (set to 5,001), and 'Num Connections' (set to 0). There is also a 'Port' field set to 5,001 and a 'Client Limit' checkbox which is unchecked.

Rys. 21. Wybór trybu działania programu jPerf

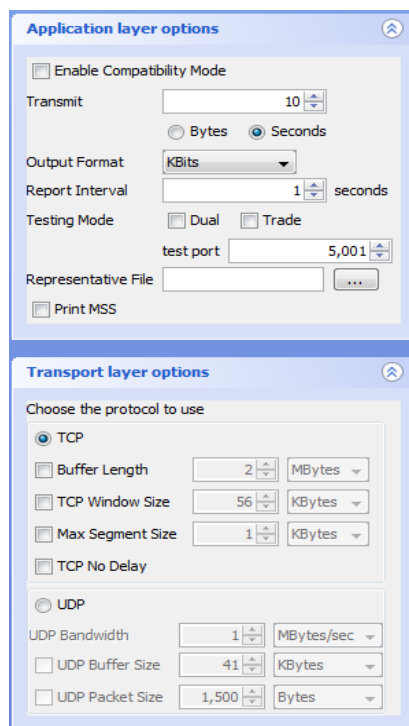
>Kolejnym krokiem jest ustawienie formatu wyjściowego (ang. Output Format) na wartość **Mb/s** w sekcji *Application layer options*, a następnie należy wybrać protokół, który ma być przetestowany.

>Wybranie protokołu umożliwia sekcja *Transport layers options* w której jest możliwość wybrania protokołu – połączeniowego **TCP** albo bezpołączeniowego **UDP**. Pierwszy cykl badań wykonujemy dla protokołu **TCP**, a drugi dla **UDP**.

>Jeśli wybrano protokół UDP należy ustalić przepływność (ang. **UDP Bandwidth**) na wybraną wartość (poniżej zdefiniowano te wartości), dodatkowo program będzie wyświetlał wartość parametru jitter - różnicę w opóźnieniu odbioru pakietów .

>Ustaw na dole panelu zarządzania opcję: Clear output on each IPerf Run.

>Ostatnim krokiem jest uruchomienie serwera poprzez wciśnięcie ikony **Run IPerf**. Program oczekuje na uruchomienie klienta poprzez wciśnięcie ikony **Run IPerf** po stronie CPE (client).



Rys. 22. Opcje programu jPerf podzielone na sekcje dla trybu simplex (w jednym kierunku, Testing mode nie odznaczone)

Strona CPE

>Drugi komputer po stronie CPE jest używany jako klient. Na komputerze strony CPE uruchamiamy JPERF (ikona pulpicy) zaznaczając opcje **client** i numer portu **6007**.

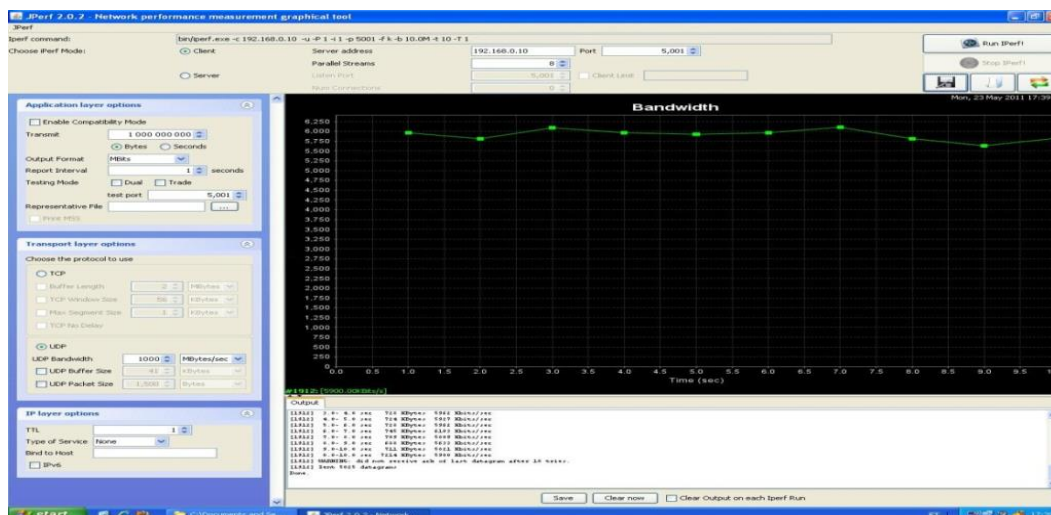
>Należy wpisać adres IP komputera docelowego po stronie CO (Server adres), w tym wypadku **192.168.0.100**.

>W sekcji *Application* należy ustawić transmisję (ang. Transmit) na 20 sekund, format wyjściowy na Mb/s.

>*Sekcja Transport layer options* umożliwia wybranie jednego z dwóch protokołów komunikacyjnych – TCP i UDP. Jeśli zostanie wybrany protokół UDP to należy ustalić przepływność UDP na wybraną wartość (2 Mb/s, 3 Mb/s). Po podstawowej konfiguracji program jest gotów do przeprowadzenia pomiaru.

>Ustaw na dole panelu zarządzania opcję: Clear output on each IPerf Run.

>Uruchamiamy pomiar JPERF klikając ikonę **Run IPerf** po stronie CPE (client). Poniższy rysunek przedstawia widok ekranu w czasie wykonywania programu JPERF.



Rys. 23. Wygląd okna ekranu z wykonywania programu JPERF

Pomiar TCP

Badania rozpoczynamy ustawiając opcję **Parallel Streams** na wartość 1. W czasie pomiarów należy zmienić wartość z 1 na 8, jest to ilość jednocześnie wysyłanych strumieni. Im więcej strumieni tym bardziej obciążona jest transmisja TCP. Cały pomiar wykonujemy dla 1 i 8 strumieni. Badanie jest prowadzone na początku w trybie **simplex** (tylko w jednym kierunku).

Pomiary TCP można prowadzić bardziej szczegółowo poprzez zmianę pozostałych parametrów TCP (rys.22 i Dodatek). Ze względu na ograniczony czas zajęć będzie to pominięte.

Wciśnięcie przycisku Run IPerf ! powoduje rozpoczęcie wysyłania transmisji pakietowej i jednocześnie obciążanie łącza xDSL. Zostanie ono zakończone po 20 s albo, gdy zostanie wciśnięty przycisk **Stop IPerf**.

Pomiar powtórz dla transmisji full-duplex.

>W sekcji **Application Testing mode** ustawić transmisję w trybie **Dual** (jednocześnie w lewo i w prawo)

Pomiar powtórz dla transmisji half-duplex.

>W sekcji **Application Testing mode** ustawić transmisję w trybie w trybie **Trade** (najpierw w jednym kierunku a potem w drugim kierunku).

Tabela 4. Ustawienia programu JPERF dla TCP

Opcja	Wartość
Server adress	192.168.0.100
Parallel Streams	1 lub 8
Transmit	20 s
Output Format	Mbits
Protocol	TCP
UDP Bandwidth	1 Mbs/sec lub 2 Mb/s lub 3 Mb/s

Pomiar UDP

Badania rozpoczynamy ustawiając opcję **Parallel Streams** na wartość 1. W czasie pomiarów należy zmienić wartość z 1 na 8, jest to ilość jednocześnie wysyłanych strumieni, im więcej tym bardziej obciążona transmisja UDP. Cały pomiar wykonujemy dla 1 i 8 strumieni. Badanie jest prowadzone na początku w trybie simplex (tylko w jednym kierunku).

Dla testu UDP należy podać z jaką szybkością będą wysyłane dane, domyślnie jest to 2Mb/s. Dla modemu SHDSL szybkość maksymalna to 23112 kb/s. Dla szybkości UDP większej od 2 Mb/s zaobserwujemy straty pakietów (datagramów). Wykonaj test dla 2 Mb/s, 3 Mb/ s. Zaobserwuj i zarejestruj poziom procentowy straty pakietów w czasie testu dla 3 Mb/s .

Pomiary UDP można prowadzić bardziej szczegółowo poprzez zmianę pozostałych parametrów UDP (rys.22 i Dodatek). Ze względu na ograniczony czas zajęć będzie to pominięte.

Pomiar powtórz dla transmisji full-duplex.

>W sekcji *Application* **Testing mode** ustawić transmisję w trybie **Dual** (jednocześnie w lewo i w prawo)

Pomiar powtórz dla transmisji half-duplex.

>W sekcji *Application* **Testing mode** ustawić transmisję w trybie w trybie **Trade** (najpierw w jednym kierunku a potem w drugim kierunku).

Tabela 5. Ustawienia programu JPERF dla UDP

Opcja	Wartość
Server adress	192.168.0.100
Parallel Streams	1 lub 8
Transmit	20 s
Output Format	Mbits
Protocol	UDP
UDP Bandwidth	2 Mb/s lub 3 Mb/s

Pomiary zamieszczono w postaci pliku: Cw_5_wyniki pomiarów.docx: pomiary JPERF, Status SHDSL, opóźnienie i zdjęć umieszczonych na e-drive (analiza czasowa, analiza widmowa).

Wyniki należy umieścić w tabelach (jak niżej) własnoręcznie opracowanych (np. szybkość, procent utraty pakietów, opóźnienie).

Wyciągnij wnioski z pomiarów.

6.3. WYNIKI POMIARÓW (SPRAWOZDANIE)

6.3.1. Pomiary JPERF są zrealizowane według poniższego wzoru. Wyniki pomiarów zamieszczono w pliku: Cw_5_wyniki pomiarów.docx.

1. Długość kabla 1200 m

A. TCP

A1. 1 strumień

- A1.1. simplex
- A1.2.dual
- A1.3.trade
- A2. 8 strumieni
 - A2.1. simplex
 - A2.2.dual
 - A2.3.trade
- B. UDP
 - B1. 1 strumień
 - B1.1. simplex
 - B1.2.dual
 - B1.3.trade
 - B2. 8 strumieni
 - B2.1. simplex
 - B2.2.dual
 - B2.3.trade

Powtórzono proces B1. i B2 dla wymuszenia 2 Mb/s i dla 3 Mb/s (przeciążenie).

WYKONAJ W SPRAWOZADANIU PODSUMOWANIE W FORMIE TABEL jak we wzorze poniżej, pobierając wyniki z pliku: Cw_5_wyniki pomiarów.docx.

Tabela 6. Pomiary zrealizowane za pomocą programu JPERF

Protokół	Szybkość (Mb/s)	Strumienie	Transmisja	Utracone pakiety	Przepustowość
TCP	2	1	Simplex	0 %	1,97 MB/s
			Full-duplex	0 %	1,97 MB/s
			Half-duplex	0 %	1,97 MB/s
		8	Simplex	0 %	1,97 MB/s
			Full-duplex	0 %	1,96 MB/s
			Half-duplex	0 %	1,96 MB/s
UDP	2	1	Simplex	0 %	1,99 MB/s
			Full-duplex	0 %	1,99 MB/s
			Half-duplex	0 %	1,99 MB/s
		8	Simplex	20 %	1,70 MB/s
			Full-duplex	15 %	1,70 MB/s
			Half-duplex	20 %	1,75 MB/s
	3	1	Simplex	35 %	3,00 MB/s
			Full-duplex	15 %	2,93 MB/s
			Half-duplex	80%	3,00 MB/s
		8	Simplex	90 %	2,30 MB/s
			Full-duplex	90 %	2,30 MB/s
			Half-duplex	80 %	2,27 MB/s

6.3.2. Pomiary opóźnień

>Należy wyznaczyć średnie opóźnienie (ping, Załącznik 2) od komputera CPE do CO i odwrotnie (adresy IP kart sieciowych są podane powyżej). Pomiar ostateczny podać jako wartość średnią obliczoną na podstawie 30 pomiarów. Pomiary zamieszczono w pliku: Cw_5_wyniki pomiarów.docx.

6.3.3. Pomiar statusu SHDSL

Wypełnij tabelę wzorując się na Tabeli 7 pobierając wyniki z pliku: Cw_5_wyniki pomiarów.docx.

Tabela 7 Status SHDSL

Strona	Moc nadawcza	Stosunek sygnał/szum	Tłumienie	Szybkość transmisji
CO	9.5 dBm	17.5 / 17 dB	3.9 / 4 dB	2312 Kbps
CPE	10.5 dBm	16.8 / 17 dB	4.4 / 3 dB	2312 Kbps

6.3.4. Pomiary oscyloskopem i analizatorem widma

Zamieść rysunki – wyniki pomiarów (oscylogramy, analiza widma) do ćw.5 dostarczone na e-drive .
Odczytaj ze zdjęć i podaj wartości parametrów: częstotliwość nośna, pasmo przenoszenia, moc w kanale (channel power).

Opracuj wnioski korzystając z instrukcji i filmów dydaktycznych.

Literatura:

KULA S.: Systemy i sieci dostępne xDSL, WKŁ, Warszawa 2009.

WESOŁOWSKI K.: Podstawy cyfrowych systemów telekomunikacyjnych, WKŁ, Warszawa 2003.

KABACIŃSKI W., M. ŻAL: Sieci Telekomunikacyjne. WKŁ, Warszawa 2008.

Instrukcja obsługi modemu Planet GRT-101

https://pl.wikipedia.org/wiki/Symmetric_High-speed_Digital_Subscriber_Line

Załącznik 1

Wydajność łącza możemy zbadać mierząc następujące parametry:

- Opóźnienie (czas odpowiedzi lub RTT): może być zmierzony za pomocą komendy [Ping](#).
- Jitter (fluktuacje czasu odp.): za pomocą testu UDP Iperf.
- Utrata datagramów: może być zmierzona za pomocą testu UDP Iperf.

Przepustowość pomiędzy komputerami mierzymy testem TCP lub UDP.

Różnica pomiędzy TCP (Transmission Control Protocol) a UDP (User Datagram Protocol) jest taka, że TCP sprawdza, czy pakiety zostały poprawnie dostarczone do odbiorcy, podczas gdy przy użyciu UDP pakiety wysyłane są do odbiorcy bez dalszego sprawdzania, co się z nimi stało. Dzięki temu UDP jest szybsze niż TCP.

Iperf pozwala na oba rodzaje testów przepustowości (TCP i UDP) aby zapewnić dokładne statystyki linku.

Testy UDP i ustawianie przepustowości

Testy UDP dają cenne informacje o efekcie "jitter" i utracie pakietów. Dobre połączenie nie powinno gubić więcej niż 1% pakietów. Wysoka utrata pakietów powoduje bardzo dużo retransmisji segmentów TCP, co wpływa na obniżenie przepustowości.

Jitter to odchylenie od opóźnienia, niezależne od opóźnienia. Można np. mieć bardzo wysokie czasy odpowiedzi a niskie odchylenie. Wartość jitter jest szczególnie istotna w sieciach obsługujących protokoły VoIP, ponieważ jego wysoka wartość może psuć połączenie głosowe.

Ustawienia TCP

Okno rozgłaszane (Advertising window) , Rozmiar okna TCP, TCP windows Size

Ten parametr określa maksymalny rozmiar okna odbioru TCP dopuszczany przez komputer. Okno odbioru określa liczbę bajtów, które może przesłać nadawca bez odebrania potwierdzenia. Większe okna odbioru poprawiają wydajność w sieciach o wysokiej wartości (opóźnienie * szerokość pasma). Najwyższą efektywność zapewnia okno odbioru będące parzystą wielokrotnością maksymalnego rozmiaru segmentu (MSS) TCP. Wartość domyślna dla karty Ethernet to 8760. To największa porcja danych, jaką możemy wysłać bez czekania na potwierdzenie odbiorcy (paketACK). W zależności od wersji protokołu TCP w przypadku braku otrzymania potwierdzenia może nastąpić retransmisja całej niepotwierdzonej porcji danych bądź tylko straconych segmentów (SACK – Selective ACKnowledgment)

Buffer Length

BL to ilość danych, jaka może zostać zbuforowana w czasie połączenia TCP bez weryfikacji od odbiorcy. Może się zmieniać od 2B do 65kB. 16-bitowa informacja o tym, ile danych może aktualnie przyjąć odbiorca. Wartość 0 wskazuje na oczekiwanie na segment z innym numerem tego pola. Jest to mechanizm zabezpieczający komputer nadawcy przed zbyt dużym napływem danych.

Rozmiar segmentu MSS Max Segment Size

MSS to maksymalna ilość danych, w bajtach, jaką komputer może przesłać za pomocą jednego, niepodzielonego segmentu TCP.

$MSS = MTU - \text{nagłówki TCP i IP.}$

Nagłówki TCP + IP w IPv4 są równe 40 bajtom. MTU to największa ilość danych jaka może być przetransportowana w ramce. Przykładowe wartości MTU dla różnych topologii:

Ethernet - 1500 Bajtów, PPPoE - 1492 Bajty.

Ogólnie rzecz ujmując, im wyższe wartości MTU (i MSS) tym większa efektywna przepustowość.

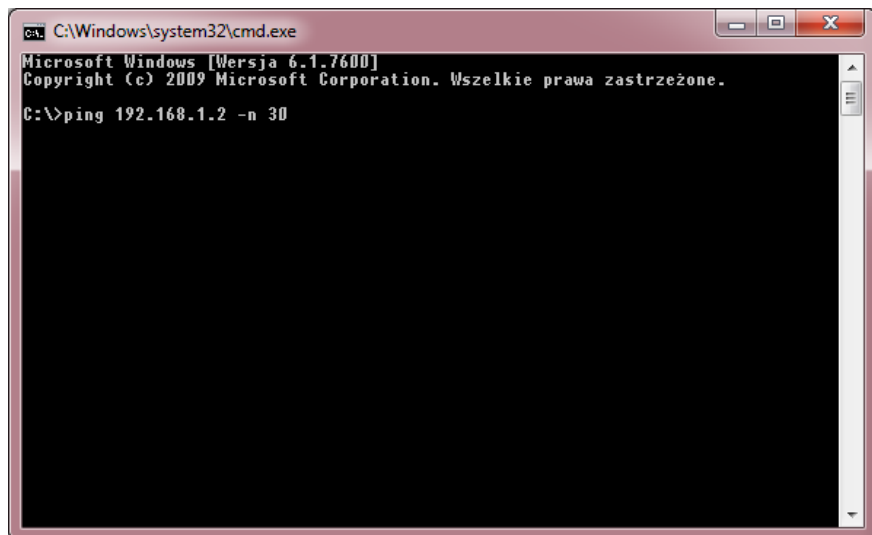
Zasadniczo przepustowość mierzy się w bitach lub kb/s, Mb/s itd., a ilość danych w bajtach (lub kilobajtach, itd). Jako przypomnienie, 1 bajt równy jest 8 bitom, a w informatyce 1 kilo jest równe 1024 (2^{10}).

Dla przykładu: 100'000'000 bajtów nie jest to 100 Mbajtów, lecz $100'000'000/1024/1024 = 95.37$ Mbajta.

Załącznik 2

Konfiguracja programu ping

W celu włączenia programu ping, należy najpierw uruchomić listę poleceń systemu Windows 10. Po otwarciu okna listy poleceń należy wpisać polecenie ping adres IP drugiego komputera -n 30 (Rysunek 6.23). Parametr -n określa ilość wysyłanych żądań retransmisji echa. Dla większej dokładności pomiaru, ilość powtórzeń powinna być większa od 15 np. 30.



Rys. 24. Okno wiersza poleceń wraz z wpisanym poleceniem

Efektom tego polecenia jest uzyskanie wyników tak jak pokazano na rysunku 6.24.

```

Badanie 192.168.1.8 z użyciem 32 bajtów danych:
Upłynął limit czasu żądania.
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=2638ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=10ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=13ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=6ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=1ms TTL=128
Upłynął limit czasu żądania.
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=2ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=6ms TTL=128
Upłynął limit czasu żądania.
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=2ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=2ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=2353ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=1ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=6ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=3ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=1ms TTL=128
Upłynął limit czasu żądania.
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=1ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=1ms TTL=128
Upłynął limit czasu żądania.
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=2ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=1ms TTL=128
Upłynął limit czasu żądania.
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=11ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=14ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=2175ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=75ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=3ms TTL=128
Odpowiedź z 192.168.1.8: bajtów=32 czas=5ms TTL=128

Statystyka badania ping dla 192.168.1.8:
Pakiety: Wysłane = 30, Odebrane = 24, Utracone = 6 (20% straty),
Szacunkowy czas błędzenia pakietów w millisekundach:
Minimum = 1 ms, Maksimum = 2638 ms, Czas średni = 305 ms

```

Rys. 25. Efekt wywołania polecenia ping 192.168.1.8 -n 30

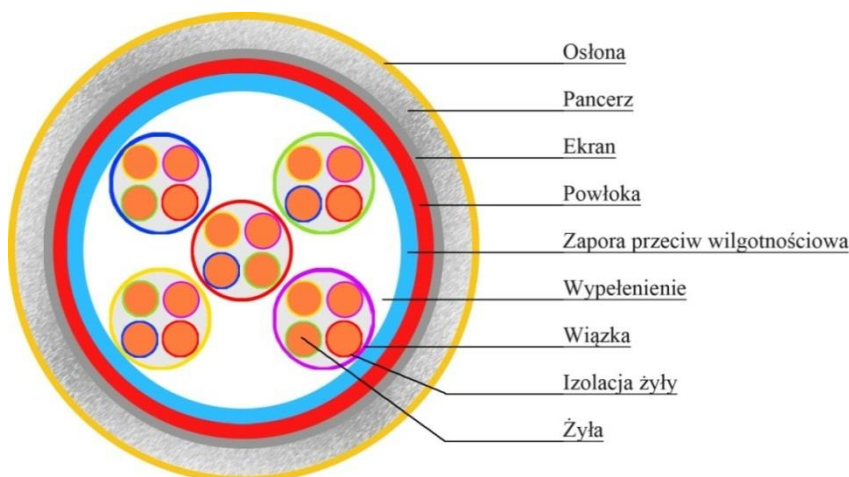
Załącznik nr 3

ZNIEKSZTAŁCENIA SYGNAŁÓW TRANSMITOWANYCH W PRZEWODACH MIEDZIANYCH

Ważnym, jak nie najważniejszym, elementem sieci dostępowej są kable, a w dokładności ich parametry. Zwraca się na to szczególną uwagę jeśli linia abonencka ma być wyko-

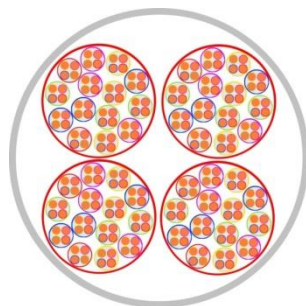
rzystana do szybkiej transmisji danych. W tym wypadku użyty do tego sprzęt ma drugorzędne znaczenie. Obecnie sieci dostępne dzieli się na bezprzewodowe i przewodowe. Te drugie można rozróżniać dodatkowo na podstawie użytego rodzaju przewodu. W tej pracy skupiono się na kablach, które jako medium transmisyjne wykorzystują miedź.

W sieciach abonenckich do tworzenia fragmentów magistralnych i rozdzielczych stosowane są telekomunikacyjne kable miejscowe, których długość sięga zazwyczaj kilkuset metrów. Żyły tych kabli mają różne średnice, w zależności od zastosowania oraz długości linii abonenckiej, a wynoszą one od 0,4 do 1,2 mm. Przekrój kabla telekomunikacyjnego miejscowego znajduje się na rys. 1 [2].



Rys. 1. Przekrój przewodu telekomunikacyjnego miejscowego [17]

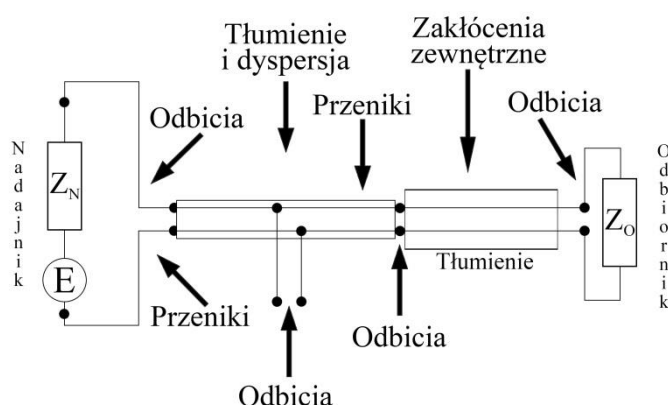
Już na pierwszy rzut oka widać, że zanim dojdziemy do przewodów właściwych należy pokonać kilka warstw zabezpieczających. Poczynając od zewnętrznej warstwy z tworzywa sztucznego, następnie mamy pancerz chroniący kabel przed uszkodzeniami mechanicznymi. Później jest ekran, wykonany z folii aluminiowej i powłoka która, gdyby nie był stosowany pancerz, mogłaby być warstwą zewnętrzną. Najniższą warstwą oraz wypełnieniem wszystkich wolnych przestrzeni jest materiał hydrofobowy, żel chroniący przed wodą. Żyły miedziane w przewodzie posiadają własną izolację i dodatkowo są skręcone, co daje wiązki parowe (dwie żyły) lub czwórkowe (cztery żyły). Takich wiązek w jednym kablu może być wiele, na rys. 2 przedstawiono przekrój przewodu czwórkowego pęczkowego. Duże znaczenie w budowie kabli ma właśnie skręcenie par, po pierwsze wzmacnia całą konstrukcję a po drugie ułatwia tworzenie dróg symetrycznych. Wyróżnia się trzy rodzaje skrętów: parowy, dwuparowy, gwiazdowy [17].



Na końcach kabli telekomunikacyjnych miejscowych używa się kabli zakończeniowych. Do tych zaś podłącza się różne urządzenia telekomunikacyjne za pomocą kabli stacyjnych. Przewodem stacyjnym, który ma większość osób w domu jest kabel telefoniczny, dwu lub cztero żyłowy przewód miedziany równoległy (nieskręcony)[3].

1. TŁUMIENIE

W rzeczywistej linii abonenckiej sygnał z nadajnika nie dociera do odbiornika w niezmienionej formie, ponieważ fragment energii sygnału zanika w drodze do odbiornika, między innymi zamieniając się w ciepło. Część energii sygnału przedostaje się również do otoczenia. Przyczyną tego jest promieniowanie elektromagnetyczne lub tzw. przeniki, o których mowa w punkcie 2.4. Wpływ na moc sygnału docierającego do odbiornika, ma również impedancja odbiornika.



Rys. 3. Miejsca w których występują niepożądane zjawiska fizyczne w linii transmisyjnej, Z_N – impedancja nadajnika, E – zasilanie nadajnika, Z_O – impedancja odbiornika [2]

Linie abonencką można uznać za element bierny, jeśli impedancja odbiornika Z_O równa jest impedancji charakterystycznej Z_c linii, a długość linii wynosi l . Taka linia posiada transmitancję równą $H(l, f) = H(f)$:

$$H(f) = e^{-l\gamma(f)} = e^{-l\alpha(f)} e^{-jl\beta(f)} \quad (6.1)$$

gdzie:

- α - stała tłumienia
- β - stała fazowa
- γ - stała propagacji
- e - stała, w przybliżeniu 2,7182818
- f - częstotliwość
- H - transmitancja
- j - jednostka urojona
- l - długość linii

Powyższa zależność obowiązuje w przypadku, kiedy obciążenie jest dopasowane do linii, a moc sygnału docierającego do odbiornika jest maksymalna.

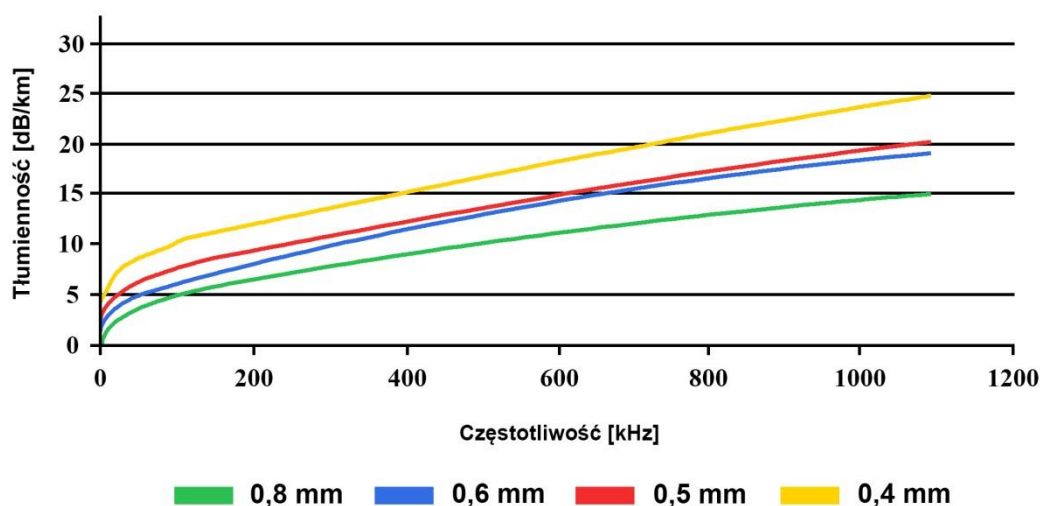
Nie zawsze impedancja odbiornika czy nadajnika dopasowana jest do impedancji linii. Dlatego same parametry linii nie wystarczają do określenia tłumienności linii, dlatego wprowadzono dodatkowe parametry robocze: impedancję wejściową linii (Z_{we}), tłumowność wtrąceniową (Γ_w), a także tłumienność wtrąceniową (A_w) [2].

W przypadku, kiedy linia jest obustronnie dopasowana ($Z_C = Z_N = Z_O$), współczynniki odbicia są równe zero a $Z_{we} = Z_C$, wtedy tłumienność wtrąceniowa jest równa tłumienności A , którą wyraża się następującym wzorem:

$$A[dB] = 20 \log \frac{U_N}{U_O} = 10 \log_{10} \frac{P_N}{P_O} \quad (6.2)$$

gdzie:

- U_N - Napięcie skuteczne sygnału nadawanego
- U_O - Napięcie skuteczne sygnału odbieranego
- P_N - Moc sygnału nadawanego
- P_O - Moc sygnału odbieranego



Rys. 4. Zależność tłumienności A od częstotliwości dla linii transmisyjnej o średnicy żył 0,8; 0,6; 0,5 i 0,4 mm [2]

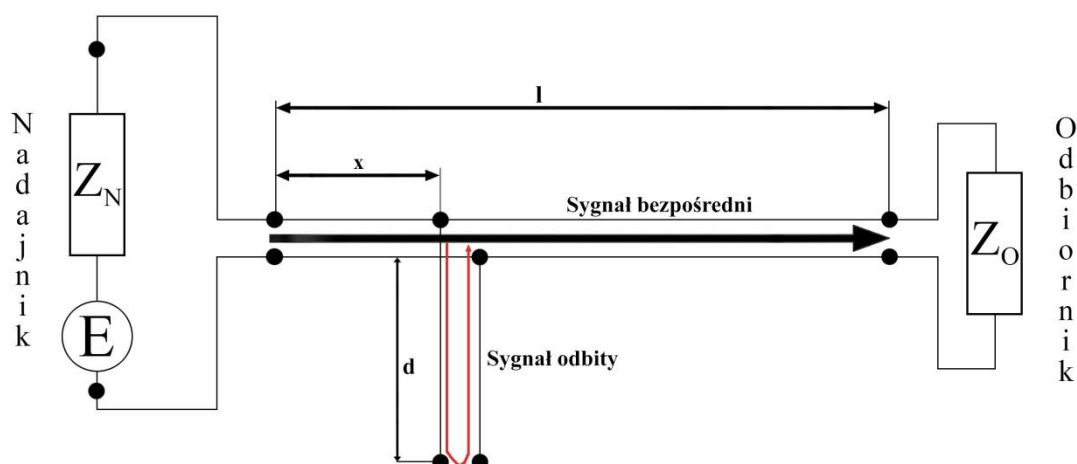
Tłumienność A zależy od długości linii a także od częstotliwości sygnału, na wykresie powyżej przedstawiono zmianę tłumienności A względem częstotliwości. Długość linii w tym przypadku wynosi 1km, a linia jest dopasowana [1].

2. ODBICIA

Niedopasowanie impedancji odbiornika Z_O z impedancją linii Z_C powoduje, że część sygnału nie trafia do odbiornika, tylko się odbija i wraca z powrotem do nadajnika, w wyniku czego na odbiorniku wydziela się nie pełna moc sygnału. Jeśli strata mocy jest większa, to sygnał może zostać nieprawidłowo zinterpretowany przez odbiornik.

Odbicia sygnału występują nie tylko w przypadku niedopasowania impedancji odbiornika, ale w każdym przypadku niedopasowania impedancji związanych z punktami niejednorodności linii transmisyjnej. Takimi punktami mogą być łączenia kabli o różnych para-

metrach, a także w wszelkiego rodzaju rozgałęzienia (odczepy) linii, co przedstawiono na rysunku 5. Odczepy to równoległe linie transmisyjne, utworzone w celu np. podsłuchu rozmów telefonicznych, utworzenia dodatkowych gniazd telefonicznych, do szybkiego podłączenia nowego abonenta bądź nie odłączenia starego abonenta [2].

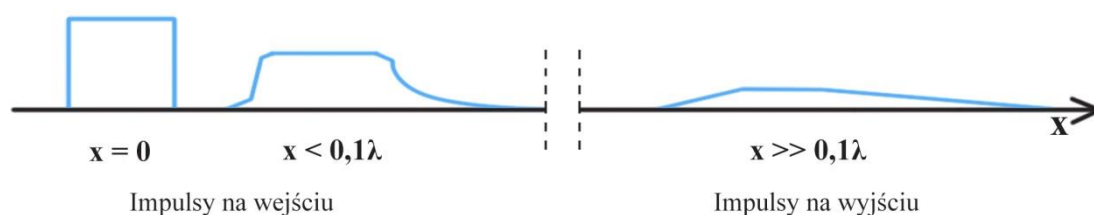


Rys. 5. Odbicie sygnału w przykładowej linii transmisyjnej z odczepem, Z_N – impedancja nadajnika, E – zasilanie nadajnika, Z_O – impedancja odbiornika, l – długość linii, x – odległość na jakiej wystąpił odczep, d – długość odczepu [2]

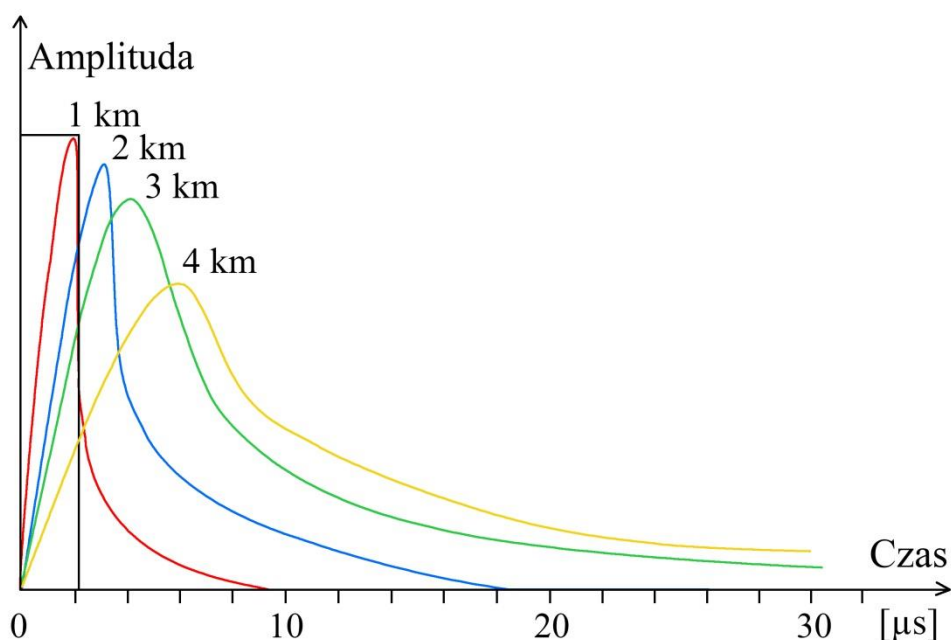
Sygnał rozdziela się w miejscu występowania odczepów, dochodzi do końca odczepu i z powodu rozwarcia na jego końcu odbija się i wraca do linii głównej. W linii głównej nakłada się na sygnał bezpośredni i mogą nastąpić dwie sytuacje. Jeśli sygnały mają taką samą fazę to wszystko jest w porządku. Jeśli mają przeciwną fazę, to od sygnału bezpośredniego odejmuje się sygnał odbity, co skutkuje zmniejszoną amplitudą sygnału bezpośredniego [8].

3. DISPERSJA IMPULSU

Linia dyspersyjna to taka, której parametry zależą od częstotliwości. Częstotliwość ma wpływ głównie na stałą fazową $\beta(f)$, która zmienia się pod wpływem częstotliwości, ale nie proporcjonalnie. Typowo do transmisji sygnałów w telekomunikacji stosuje się impulsy prostokątne. Taki idealny impuls o czasie trwania T posiada widmową gęstość mocy o kształcie funkcji $(\sin x)/x$. W zależności od szybkości propagacji niektórych składowych stałych widma oraz od niejednakowego tłumienia w funkcji częstotliwości, zmienia się kształt przesyłanego impulsu [2]. Impuls w odbiorniku nie jest już prostokątny, co zostało zilustrowane na rysunku poniżej.



Rys. 6. Symbolicznie przedstawiona dyspersja impulsu prostokątnego w linii, x – długość linii transmisyjnej, λ – długość impulsu [2]

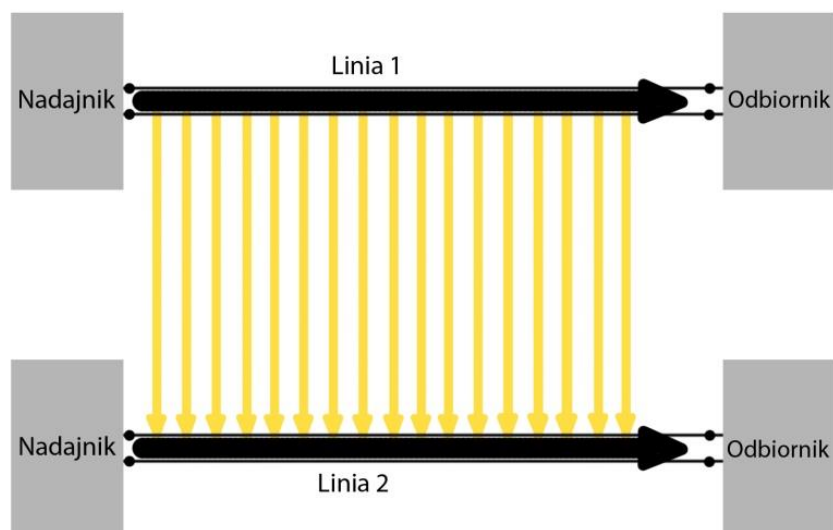


Rys..7. Kształt impulsu prostokątnego o szerokości $2\mu s$ na końcu linii transmisyjnej symetrycznej, z przewodami miedzianymi o średnicy 0,5 mm i długości: 1, 2, 3 oraz 4 km [2]

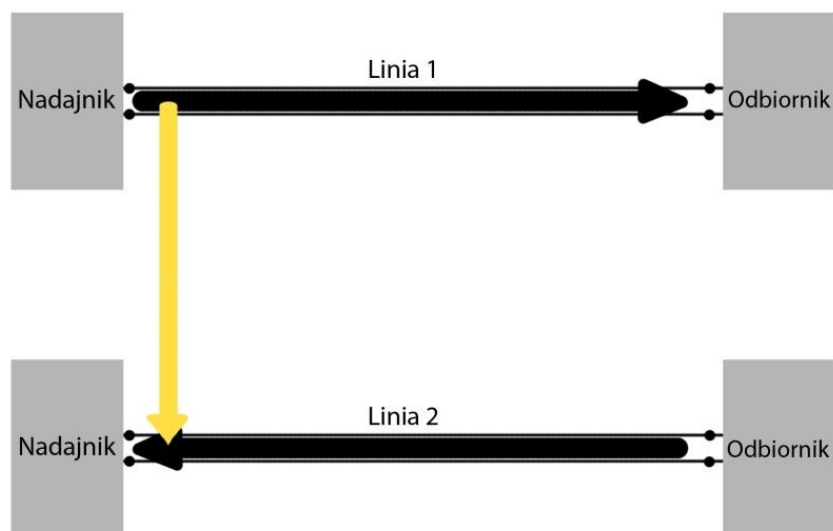
Zniekształcenie impulsu prostokątnego może powodować ISI (ang. Inter Symbol Interferences), co z kolei może powodować błędy w przesyłanym sygnale cyfrowym. Interferencje międzysymbolowe są uzależnione od szybkości przesyłania danych, im szybkość jest wyższa, tym interferencje są bardziej szkodliwe. Przykład zmiany kształtu impulsu prostokątnego na końcu linii transmisyjnej pokazano na powyższym rysunku 7 [2].

4. PRZENIKI

Jednym z problemów jakie można również spotkać w okablowaniu są przeniki. Tak nazywa się zakłócanie sygnału płynącego w jednym torze sygnałem z innego toru. Przeniki nie zawsze dotyczą tej samej linii kablowej. Wyróżnia się przeniki nielinearne, różniące się widmem. W tym przypadku przeniki odnoszą się do jednego i tego samego toru, ale dla różnych częstotliwości. Występują również przeniki linearne, których widmo jest takie samo w obu sygnałach, a ich źródłem są czynniki naturalne, takie jak zjawiska elektryczne, galwaniczne czy magnetyczne. Można je dodatkowo podzielić na przeniki linearne zdalne FEXT (ang. Far End crossTalk), które powstają, gdy oba sygnały są przesyłane w tę samą stronę i na przeniki linearne zbliżne NEXT (ang. Near End crossTalk), które powstają, gdy oba sygnały są przesyłane w odwrotną stronę. Powstawanie tych przeników zostało zilustrowane odpowiednio na rysunku 8 i rysunku 9 [2].



Rys. 8. Powstawanie przeników zdalnych [2]



Rys. 9. Powstawanie przeników zbliżnych [2]