



Politechnika Gdańska
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
TELEKOMUNIKACJI I
INFORMATYKI



Katedra Systemów Informacyjnych

Symulator warstwy fizycznej Ethernet

Autorzy:

Kamil Ratajczak
Sebastian Rosenkiewicz
Łukasz Wąsowski
Paweł Wojnarowicz

Konsultacje naukowe:

dr inż. Krzysztof Nowicki
mgr inż. Wojciech Gumiński

1. Wstęp

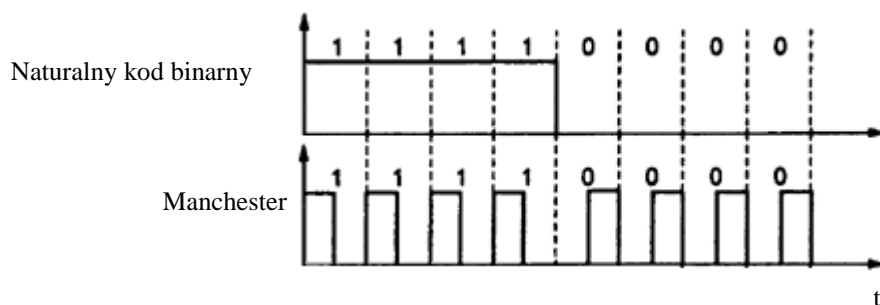
Program *EtherSim* umożliwia przeprowadzenie symulacji warstwy fizycznej sieci Ethernet w standardach 10BaseT, 100BaseTX oraz 1000BaseT z uwzględnieniem parametrów sygnałów wejściowych: szybkość (domyślnie odpowiednio 10, 100 i 1000Mb/s), nachylenie zbocza impulsu (domyślnie 40, 50 i 50dB (V/μs)); algorytmów kodowania: Manchester, 4B5B, MLT3, PAM5 oraz parametrów i charakterystyk kanału: tłumienie, przesłuchy, echo (zadawane charakterystykami częstotliwościowymi w zakresie do 100MHz). Wynikiem symulacji jest graficzna reprezentacja sygnałów obecnych w różnych momentach transmisji (ciągi wejściowe, kodowe, na wyjściu kanału, itd.) oraz analiza błędów (rozkład błędów, dystrybuanta, bitowa stopa błędów).

Parametry sygnałów wejściowych oraz kanału mogą być zmieniane przez użytkownika w celu dostosowania do pożądaných warunków symulacji.

2. Algorytmy kodowania

2.1. Manchester

Zasada działania kodu Manchester polega na zmianie poziomu sygnału w środku każdego bitu sygnału wejściowego. Bitowi „1” odpowiada zmiana poziomu od wyższego do niższego, a „0” - od niższego do wyższego:



Przejście między poziomami sygnału występują przy każdym bicie, w związku z czym możliwa jest ciągła kontrola synchronizacji detektora ze strumieniem danych, nawet w przypadku nadawania długiej sekwencji zer lub jedynek. Fakt ten może być również wykorzystywany do detekcji błędów – brak oczekiwanej zmiany poziomu sygnału oznacza przekłamanie. Kod Manchester wymaga impulsów dwukrotnie krótszych niż kod NRZ. Oznacza to dwukrotne zwiększenie szybkości modulacji, a więc i dwukrotny wzrost wymaganego pasma transmisyjnego przy tej samej szybkości transmisji danych. Korzystną cechą sygnału przesyłanego w kodzie Manchester jest fakt, że jego wartość średnia jest równa zero.

2.2. 4B/5B

Kodowanie 4B/5B zostało zaprojektowane oryginalnie na potrzeby sieci FDDI,

gdzie pozwoliło na 80% wykorzystanie przepustowości łącza. Zaadaptowano je do standardu 100BaseTX, gdzie służy jako wstępny skrambler danych przed kodowaniem MLT-3. Zabieg ten ma na celu zapobieganie powstawaniu długich ciągów logicznych zer, co skutkowałoby utratą synchronizacji (patrz kodowanie MLT-3). Kodowanie zostało zmienione jedynie w nieznacznym stopniu w stosunku do wersji FDDI, w celu uwzględnienia kontroli ramek Ethernet.

W kodowaniu 4B/5B ciągi czterobitowe kodowane są pięciobitowymi symbolami. Do każdego czterech bitów dodawany jest piąty – za pomocą 4 bitów można utworzyć $2^4 = 16$ ciągów, natomiast pięć bitów daje ich już $2^5 = 32$. Analizując zamieszczoną tabelę kodową można zauważyć, że uzyskana w ten sposób nadmiarowość umożliwia takie zakodowanie sygnału, że nawet ciąg samych zer będzie zawierał jedynekę (i analogicznie ciąg samych jedynek będzie zawierał zero), co zapewnia utrzymanie synchronizacji. Poniższa tabela przedstawia wszystkie możliwe ciągi zer i jedynek wraz z ich interpretacją:

	PCS code-group [4:0] 4 3 2 1 0	Name	MII (TXD/RXD) <3:0> 3 2 1 0	Interpretation
D A T A	1 1 1 1 0	0	0 0 0 0	Data 0
	0 1 0 0 1	1	0 0 0 1	Data 1
	1 0 1 0 0	2	0 0 1 0	Data 2
	1 0 1 0 1	3	0 0 1 1	Data 3
	0 1 0 1 0	4	0 1 0 0	Data 4
	0 1 0 1 1	5	0 1 0 1	Data 5
	0 1 1 1 0	6	0 1 1 0	Data 6
	0 1 1 1 1	7	0 1 1 1	Data 7
	1 0 0 1 0	8	1 0 0 0	Data 8
	1 0 0 1 1	9	1 0 0 1	Data 9
	1 0 1 1 0	A	1 0 1 0	Data A
	1 0 1 1 1	B	1 0 1 1	Data B
	1 1 0 1 0	C	1 1 0 0	Data C
	1 1 0 1 1	D	1 1 0 1	Data D
	1 1 1 0 0	E	1 1 1 0	Data E
	1 1 1 0 1	F	1 1 1 1	Data F
	1 1 1 1 1	I	undefined	IDLE; used as inter-stream fill code
C O N T R O L	1 1 0 0 0	J	0 1 0 1	Start-of-Stream Delimiter, Part 1 of 2; always used in pairs with K
	1 0 0 0 1	K	0 1 0 1	Start-of-Stream Delimiter, Part 2 of 2; always used in pairs with J
	0 1 1 0 1	T	undefined	End-of-Stream Delimiter, Part 1 of 2; always used in pairs with R
	0 0 1 1 1	R	undefined	End-of-Stream Delimiter, Part 2 of 2; always used in pairs with T

I N V A L I D	0 0 1 0 0	H	Undefined	Transmit Error; used to force signaling errors
	0 0 0 0 0	V	Undefined	Invalid code
	0 0 0 0 1	V	Undefined	Invalid code
	0 0 0 1 0	V	Undefined	Invalid code
	0 0 0 1 1	V	Undefined	Invalid code
	0 0 1 0 1	V	Undefined	Invalid code
	0 0 1 1 0	V	Undefined	Invalid code
	0 1 0 0 0	V	Undefined	Invalid code
	0 1 1 0 0	V	Undefined	Invalid code
	1 0 0 0 0	V	Undefined	Invalid code
	1 1 0 0 1	V	Undefined	Invalid code

W nadawanej sekwencji znaków nigdy nie wystąpi ciąg dłuższy niż 8 jedynek. Piąty bit w niewielkim zakresie umożliwia ponadto wykrywanie błędów. Wadą tego kodowania, np. w stosunku do 8B/10B, jest brak zrównoważenia wystąpień sygnałów 0 i 1, w związku z czym wymagana do zakodowania energia będzie większa w przypadku wysyłania większej liczby 1 niż 0. Należy zauważyć, że 25% nadmiarowość oznacza konieczność użycia zegara o odpowiednio wyższej częstotliwości, np. 125MHz przy 100Mb/s. Kod ten używany jest min. w standardach Fast Ethernet, FDDI czy HIPPI-6400

2.3. 5B/6B

Zasada działania jest taka sama jak w przypadku kodowania 4B/5B. Dodatkowo wprowadzona została zasada równoważenia składowej stałej w celu zapobiegania polaryzacji sygnału (3 zera i 3 jedynki w każdej grupie sześciu bitów). Umożliwia to także prostsze wykrywanie błędów – niepoprawny jest każdy ciąg, w którym występuje więcej niż 3 zera lub 3 jedynki pod rząd.

Nadmiarowość wynosi tu 20% (co pięć bitów dodawany jeden dodatkowy). Oznacza to, że przy prędkości transmisji 100Mb/s, stosowany jest zegar o częstotliwości 120 MHz. Używany m.in. w 100VGAnyLAN.

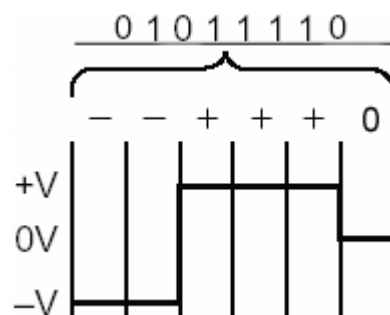
2.4. 8B/6T

Kodowanie 8B/6T zaprojektowane zostało w celu wykorzystania skrętki kategorii 3 do transmisji sygnału 100Mb/s. Kodowanie przebiega w ten sposób, że każdej sekwencji ośmiu bitów ze strumienia danych wejściowych przyporządkowany zostaje ciąg sześciu symboli trzystanowych (o trzech możliwych poziomach napięć: $-V$, 0 , $+V$). Możliwych jest więc $3^6 = 729$ ciągów, z czego wykorzystywanych jest $2^8 = 256$ ciągów. Ciągi kodowe zostały tak dobrane, aby zapewnić możliwość dobrej detekcji błędów, zmniejszyć efekty wysokoczęstotliwościowe oraz wyeliminować składową stałą. Przyjęto założenie, że w każdym ciągu muszą wystąpić co najmniej dwa poziomy napięć (niezbędne do celów synchronizacji). Ponadto mogą być używane specjalne ciągi kodowe, np. jako znaczniki.

Kodowanie wielopoziomowe umożliwia zakodowanie więcej niż jednego bitu informacji w pojedynczej zmianie poziomu – tym sposobem sygnał o częstotliwości

12,5MHz przenosi strumień danych o szybkości 33,3Mb/s. Każdy cykl sygnału 12,5MHz zawiera dwa poziomy, co daje 25 milionów zmian poziomów na sekundę na pojedynczej parze skrętki. Na trzech parach sumarycznie daje to 75 milionów zmian w każdej sekundzie. Dzieliąc przez 6 symboli w każdym ciągu kodowym, otrzymujemy 12,5 miliona ciągów kodowych na sekundę, z których każdy odpowiada ośmiu bitom danych – daje to sygnał o szybkości 100Mb/s. Warto zauważyć, że częstotliwość 12,5MHz mieści się w limicie 16MHz dla skrętki kategorii 3.

Przykładowo, osiem bitów danych *01011110* zostanie zakodowane jako następujące sześć symboli: *--+++0* co zostało zilustrowane poniżej:

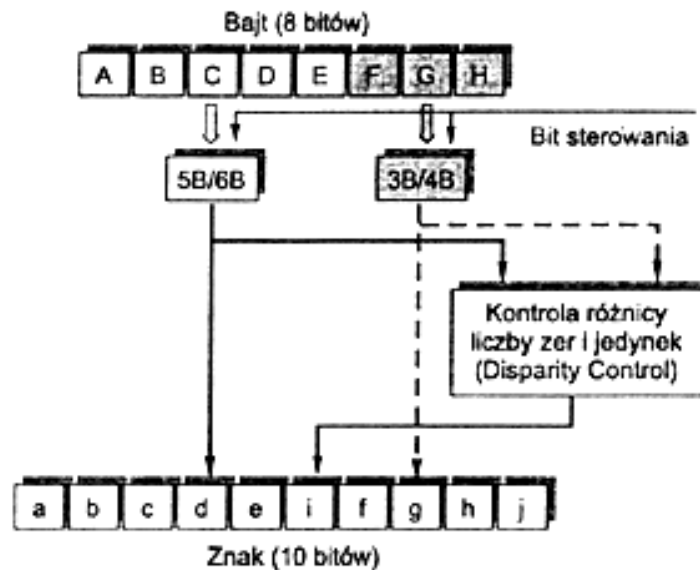


2.5. 8B/10B

Aby możliwe było wiarygodne przesyłanie danych z prędkościami gigabitowymi i większymi (standardy Gigabit Ethernet czy 10 Gigabit Ethernet), konieczna jest kolejna zmiana w metodzie kodowania danych. Strumień napływających danych dzielony jest na bloki ośmiobitowe (kolejne bity oznaczone są *HGFEDCBA*, gdzie H – najbardziej znaczący bit, A – najmniej znaczący bit), do których następnie dodawane są dwa nadmiarowe bity w celu otrzymania dziesięciobitowego ciągu kodowego. Ponadto założono istnienie tzw. zmiennej sterującej (bit sterowania) – blok ośmiobitowy zawiera dane jeżeli zmienna ta ma wartość *D*, lub jest bajtem kontrolnym jeżeli ma wartość *K*. Kodowanie przebiega w ten sposób, że najpierw każde 8 bitów dzielone jest na 3 najbardziej znaczące bity (*HGF*) oraz 5 najmniej znaczących bitów (*EDCBA*). Następnie osiem bitów przekształcanych jest na dziesięć bitów o postaci *abcdeifghj*. 10-cio bitowe ciągi kodowe zostają tak dobrane, aby zawierały:

- 5 jedynek i 5 zer lub
- 4 jedynek i 6 zer lub
- 6 jedynek i 4 zera

Zapobiega to występowaniu dłuższych sekwencji takich samych bitów co ułatwia synchronizację. Kolejne bloki ośmiobitowe kodowane są w ten sposób, aby pierwszy miał więcej bitów 1, następny więcej bitów 0, itd. Proces kodowania przedstawia poniższy schemat:



Bajt niezakodowany	Bajt zakodowany
	9 → j
7 → H	8 → h
6 → G	7 → g
5 → F	6 → f
	5 → i
4 → E	4 → e
3 → D	3 → d
2 → C	2 → c
1 → B	1 → b
0 → A	0 → a

Sposób konwersji 8B/10B

Każdy blok ośmiobitowy można zapisać w postaci $D_{xx}.y$ (bajt danych – ang. data character) lub $K_{xx}.y$ (bajt kontrolny – ang. special character), gdzie xx to zapis dziesiętny pięciu najmniej znaczących bitów, a y pozostałych. Np. bajt 10100110 zostanie zapisany jako $D6.5$. Za pomocą bajtu kontrolnego oraz 3 bajtów danych można utworzyć tzw. zestawy uporządkowane (ang. Ordered Set) – oznaczające przykładowo początek (SOF – Start of Frame to K28.5 D21.5 D23.2 D23.2) i koniec ramki (EOF – End of Frame – K28.5 D10.4 D21.4 D21.4).

Ja już napisano kolejne bajty kodowane są tak, aby pierwszy zawierał więcej jedynek niż zer. Drugi zawiera więcej zer i jedynek, w trzecim występuje więcej jedynek itd. Liczba zer i jedynek w transmitowanym bajcie określona jest jako dysparytet (ang. running disparity, RD). Jeżeli liczba zer jest równa liczbie jedynek, wówczas mówimy o dysparytecie neutralnym. Jeżeli w bajcie przeważa liczba jedynek, wówczas mówimy o dysparytecie dodatnim (RD+), a jeżeli przeważa liczba zer to o dysparytecie ujemnym (RD-).

Wartość parametru RD dla podgrup określa się według następujących zasad:

- parametr RD jest dodatni (RD+), gdy liczba jedynek jest większa niż liczba zer oraz na końcu 6-bitowej podgrupy 000111 oraz 4-bitowej podgrupy 0011

- parametr RD jest ujemny (RD-), gdy liczba jedynek jest mniejsza niż liczba zer oraz na końcu 6-bitowej podgrupy 111000 oraz 4-bitowej podgrupy 1100
- w innych przypadkach wartość dysparytetu na końcu podgrupy jest taka sama jak na początku podgrupy.

Przed wysłaniem danych nadajnik dla każdego bajtu wyszukuje na podstawie bieżącej wartości RD odpowiedni wpis w tabeli. Wpis ten staje się grupą kodową dla danego bajtu. Po wysłaniu bajtu obliczona zostaje nowa wartość RD, która użyta zostanie do wysłania kolejnego bajtu. Dodatek B przedstawia wszystkie ciągi kodowe.

W kodzie 8B/10B nadmiarowość wynosi 25%, więc by uzyskać prędkość przesyłu danych 1Gb/s, faktyczna prędkość transmisji musi wynosić 1,25GHz.

2.6. MLT-3

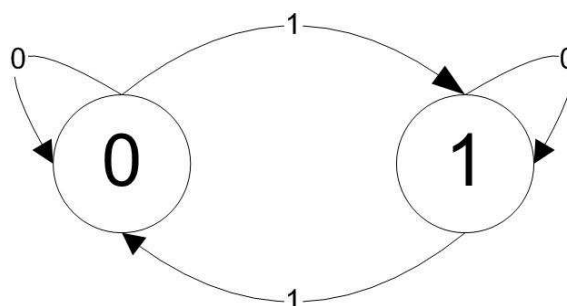
Jest to trójpoziomowy sygnał (Multi-Level Threshold) wykorzystywany do reprezentacji strumienia bitów zakodowanego jako 4B/5B (dla 100BaseTX). Zaprojektowany został z myślą o transmisji z prędkościami 100Mb/s i większymi. Jak już było powiedziane wcześniej, przy okazji 8B/6T, kodowanie wielopoziomowe umożliwia zakodowanie więcej niż jednego bitu informacji w pojedynczej zmianie poziomu. Uzyskuje się dzięki temu ograniczenie widma sygnału, lecz kosztem mniejszego odstępu sygnału od zakłóceń.

Najpierw każde 4 bity danych wejściowych zamieniane jest na 5-cio bitowy ciąg, zgodnie z kodem 4B/5B. Tym samym strumień danych o szybkości 100Mb/s zostaje zamieniony na 125Mb/s. Użycie MLT-3 pozwala na przenoszenie strumienia danych 125Mb/s, sygnałem o częstotliwości 31,25MHz.

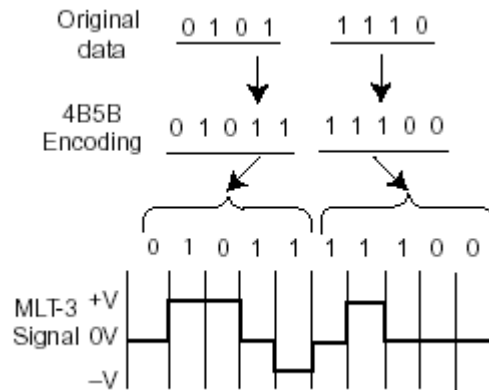
MLT-3 używa trzech różnych poziomów napięć: -1, 0, +1. Kodowanie odbywa się według następujących reguł:

- Jeżeli następny bit wejściowy jest równy 0, to następna wartość wyjściowa jest taka sama, jak poprzednio.
- Jeżeli następny bit wejściowy jest równy 1, to nastąpi zmiana poziomu wartości wyjściowej:
 - Jeżeli wartość poprzednia była równa +1 lub -1, to następna wartość wyjściowa jest równa 0.
 - Jeżeli wartość poprzednia była równa 0, to następna wartość wyjściowa będzie niezerowa, o znaku przeciwnym do ostatniej niezerowej wartości.

Na poniższym grafie stan 0 oznacza brak zmiany wartości wyjściowej, natomiast stan 1 oznacza zmianę wartości wyjściowej zgodnie z warunkiem podanym powyżej.

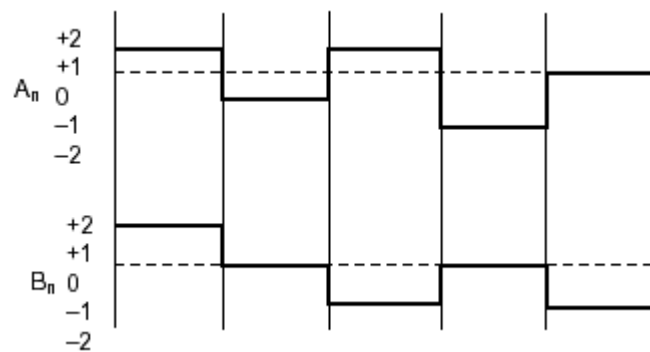


Innymi słowy poziom pozostaje niezmienny dla logicznych zer, a jedynka oznacza zmianę poziomu. Zmiany następują wg cyklu 0, +1, 0, -1, 0, +1. Przykładowy ciąg danych zakodowany MLT-3:



2.7. PAM-5

W celu zaadaptowania dwuparowej skrętki kategorii 3 do większych szybkości transmisji, zastosowano kodowanie 5 level Pulse Amplitude Modulation. Jest to kolejny kod wielopoziomowy. W 100BaseT2 przesyłane są dwa 5-cio poziomowe sygnały PAM o częstotliwości 12,5MHz. Każdy cykl sygnału dostarcza dwóch zmian poziomów, jest więc 25 milionów zmian poziomów na sekundę na parę w skrętce. Każda z par sygnału PAM (A i B) koduje inny, 4-bitowy ciąg kodowy (25mln*4b=100Mb/s), przy użyciu pięciu różnych poziomów: -2, -1, 0, +1, +2 (odpowiednio: -1V, -0.5V, 0V, 0.5V, 1V). Poniżej widać przykładowy kod PAM-5:



W Gigabit Ethernetie zastosowano kodowanie PAM-5. Główną różnicą podczas transmisji sygnału pomiędzy 10/100 Mbps Ethernetem a Gigabit Ethernetem jest fakt, że 1000BASE-T wykorzystuje cztery pary do równoczesnego wysyłania i odbierania sygnału, podczas gdy w 10/100 Mbps Ethernetie używane są tylko dwie pary – jedna do nadawania i jedna do odbioru.

Zarówno MLT-3 jak i PAM-5 zostały zaprojektowane jako kody pseudookresowe, dzięki czemu składowa stała sygnału jest bliska lub równa zero.

3. Typowe parametry

3.1. Krótka charakterystyka wybranych wersji standardu Ethernet

Wersja Ethernet	Rozmiar segmentu [m]	Kodowanie	Topologia	Medium	Szybkość transmisji [bit/s]
10Base5	500	Manchester	magistrala	koncentryk 50Ω	10M
10Base2	185	Manchester	magistrala	koncentryk 50Ω	10M
10BaseT	100	Manchester	gwiazda	skrętka 2-parowa kat. 3	10M
100BaseT2	100	PAM 5x5	gwiazda	skrętka 2-parowa kat. 3	100M
100BaseT4	100	8B/6T	gwiazda	skrętka 4-parowa kat. 3	100M
100BaseTX	100	4B/5B, MLT-3	gwiazda	skrętka 2-parowa kat. 5	100M
100BaseFX	412/2000	4B/5B, NRZI	gwiazda	światłowód wielomodowy	100M
1000BaseT	100	PAM 5x5	gwiazda	skrętka 4-parowa kat. 5	1G
1000BaseSX	275	8B/10B	gwiazda	światłowód wielomodowy	1G
1000BaseLX	316/550	8B/10B	gwiazda	światłowód wielomodowy	1G
1000BaseCX	25	8B/10B	gwiazda	twinax	1G

3.2. Rzeczywiste parametry kanału

Poniżej zamieszczone są tabele z wynikami pomiarów poziomu przesłuchów i tłumienia w trzech odcinkach skrętki kat. 5 o długościach 3, 100 i 300 metrów. Zapis $n(x,y)$ oznacza n-tą parę, przewody x i y.

a) 3 metry

Przesłuchy	Końcówka lokalna		Końcówka zdalna	
	dB	MHz	dB	MHz
2(3,6)/1(4,5)	35,4	98,75	34,7	97,25
2(3,6)/3(1,2)	37,1	88,00	35,3	88,50
3(1,2)/4(7,8)	39,0	97,25	37,5	96,25

4(7,8)/1(4,5)	41,1	90,00	45,2	90,00
1(4,5)/3(1,2)	37,0	94,25	40,1	96,75
2(3,6)/4(7,8)	38,9	96,50	38,0	88,75

Tłumienie	dB	MHz
1(4,5)	0,0	1,00
2(3,6)	0,0	1,00
3(1,2)	0,2	96,00
4(7,8)	0,0	1,00

b) 100 metrów

Przesłuchy	Końcówka lokalna		Końcówka zdalna	
	dB	MHz	dB	MHz
2(3,6)/1(4,5)	49,2	100,00	43,2	99,50
2(3,6)/3(1,2)	41,3	95,50	40,6	86,50
3(1,2)/4(7,8)	46,1	87,75	43,3	79,50
4(7,8)/1(4,5)	48,6	76,00	45,4	98,00
1(4,5)/3(1,2)	43,2	98,00	46,8	77,00
2(3,6)/4(7,8)	39,1	100,00	40,3	93,75

Tłumienie	dB	MHz
1(4,5)	23,1	75,00
2(3,6)	23,4	75,00
3(1,2)	26,1	96,00
4(7,8)	22,0	73,00

c) 300 metrów

Przesłuchy	Końcówka lokalna		Końcówka zdalna	
	dB	MHz	dB	MHz
2(3,6)/1(4,5)	36,3	85,50	39,9	96,75
2(3,6)/3(1,2)	36,3	100,00	44,1	98,00
3(1,2)/4(7,8)	39,9	94,75	43,9	94,75
4(7,8)/1(4,5)	36,4	100,00	43,3	98,00
1(4,5)/3(1,2)	40,2	94,25	38,8	99,25
2(3,6)/4(7,8)	39,0	94,25	40,8	75,75

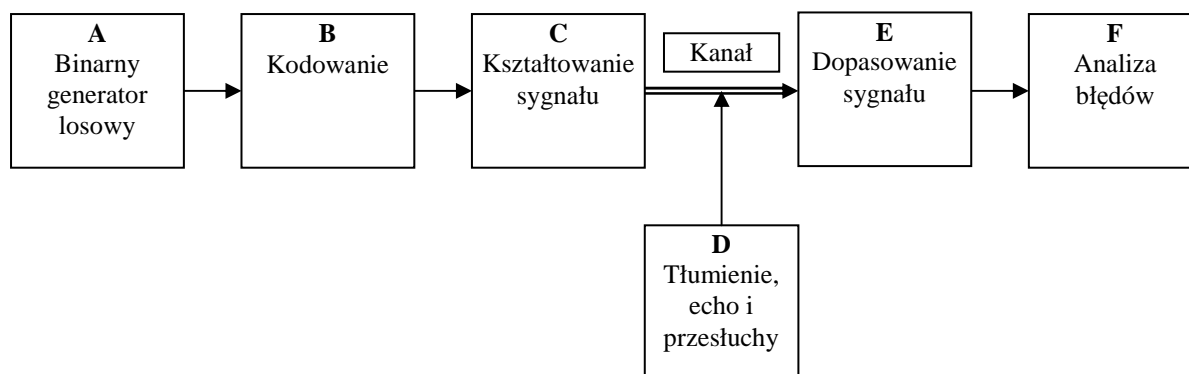
Tłumienie	dB	MHz
1(4,5)	48,0	65,00
2(3,6)	48,1	62,00
3(1,2)	48,6	65,00
4(7,8)	48,4	70,00

3.3. Obowiązujące normy parametrów okablowania kategorii 3 i 5

Częstotliwość [MHz]	Kategoria 3		Kategoria 5	
	Tłumienie (max.) [dB]	Przesłuchy (min.) [dB]	Tłumienie (max.) [dB]	Przesłuchy (min.) [dB]
1.0	2.6	41.0	2.1	60.0
4.0	5.6	32.0	4.0	51.8
8.0	8.5	27.0	5.7	47.1
10.0	9.7	26.0	6.3	45.5
16.0	13.1	23.0	8.2	42.3
20.0	-	-	9.2	40.7
25.0	-	-	10.3	39.1
31.25	-	-	11.5	37.6
62.5	-	-	16.7	32.7
100.0	-	-	21.6	29.3

4. Metody symulacji

Przebieg symulacji przeprowadzanej przez program EtherSim znajduje się na poniższym schemacie.

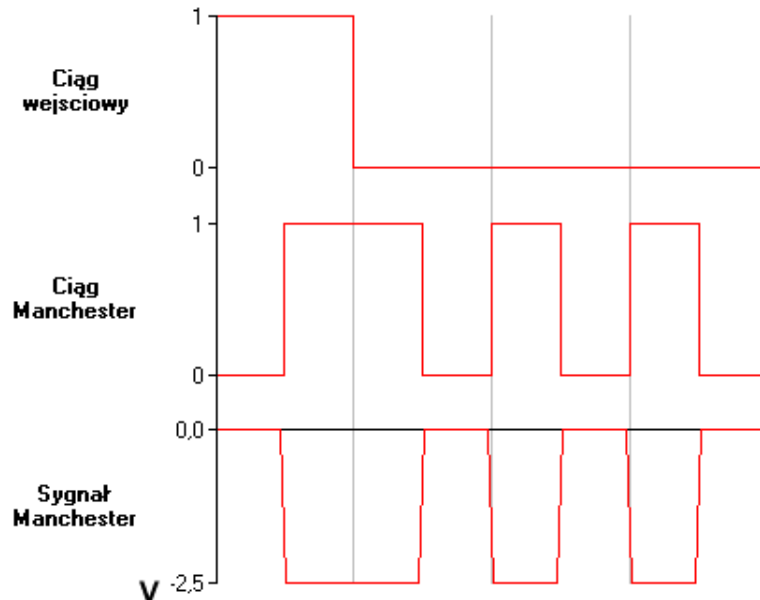


Poniżej przedstawiony został opis poszczególnych etapów symulacji, zilustrowany symulacją standardu 10BaseT.

4.1 Generacja ciągu bitów, kodowanie i kształtowanie sygnału (A,B,C)

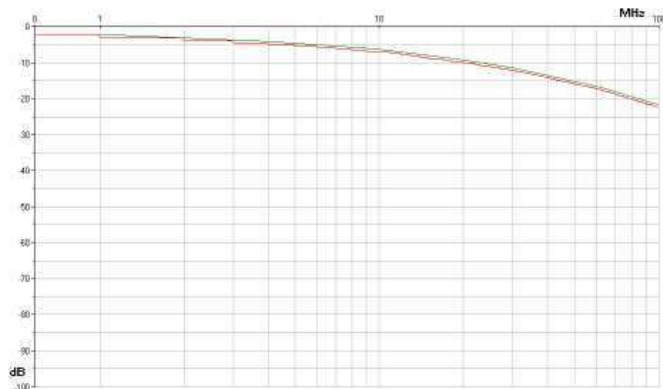
Przy pomocy generatora losowego o rozkładzie równomiernym, generowany jest wejściowy ciąg bitów. W zależności od symulowanego standardu ciąg ten jest różnymi sposobami kodowany (zgodnie z punktem 2), a po opuszczeniu kodera w swojej ostatecznej postaci poddawany jest ukształtowaniu. Kształtowanie sygnału

polega na zamianie wartości jakie przyjmuje ciąg na odpowiednie poziomy napięcie, oraz na właściwym ukształtowanie zboczy impulsów. Wszystkie te działania opierają się na prostych obliczeniach matematycznych takich jak operacje na ciągach liczbowych. Poniższy rysunek przedstawia wyniki uzyskane na tym etapie symulacji, tak jak zostało wspomniane na wstępie, na przykładzie standardu 10BaseT.

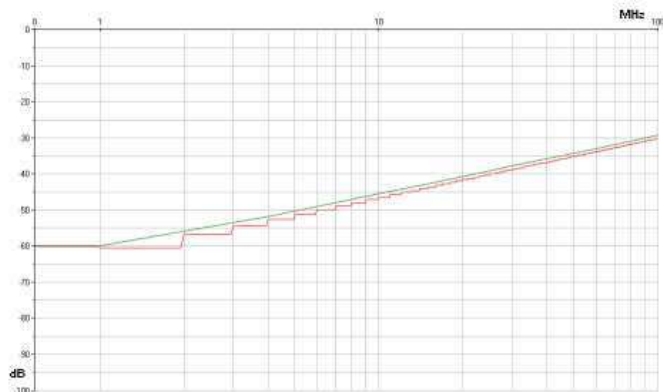
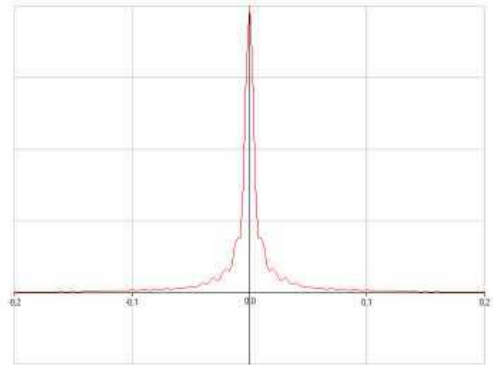


4.2 Model kanału

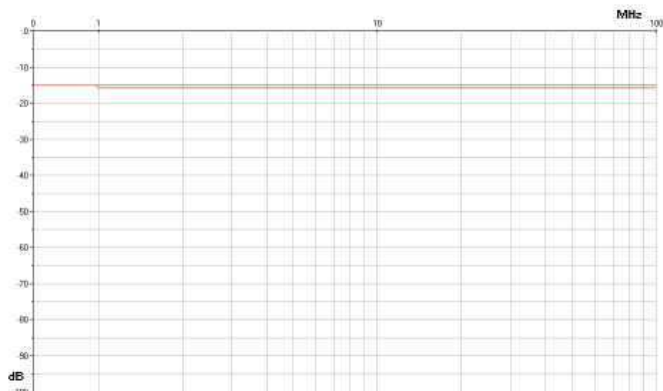
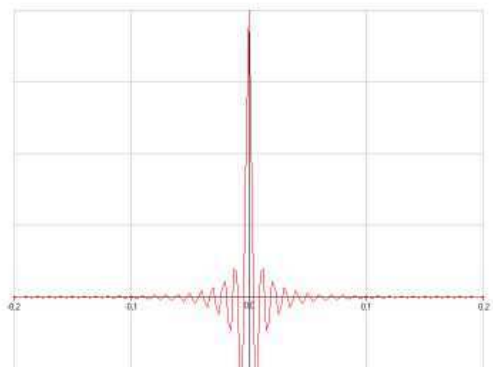
Model kanału jest konstruowany i weryfikowany przed rozpoczęciem symulacji. Składają się na niego trzy elementy: tłumienie, przesłuchy i echo. Wszystkie z nich modelowane są w identyczny sposób – jako filtry dolnoprzepustowe, zaprojektowane przez użytkownika w dziedzinie częstotliwości. Punkty składające się na teoretyczną charakterystykę każdego z filtrów określać można w zakresie częstotliwości od 0 do 100 Mhz i o tłumieniach od 0 do 100dB. Należy ponadto zaznaczyć, że dla wszystkich trzech filtrów przyjęta została częstotliwość odcięcia 200MHz – w punkcie tym tłumienie przyjmuje bardzo dużą wartość 1000dB. W taki sposób zaprojektowane filtry poddać można (a wręcz należy) weryfikacji – na podstawie ich charakterystyk teoretycznych obliczane są odpowiedzi impulsowe (przy pomocy odwrotnego przekształcenia Fouriera), z kolei na podstawie których, obliczane są charakterystyki rzeczywiste (przekształcenie Fouriera). Teoretycznie, otrzymane w ten sposób charakterystyki powinny być identyczne z zaprojektowanymi, jednakże pewne oczywiste ograniczenia numeryczne, choćby skończoność otrzymanych odpowiedzi impulsowych, są przyczyną rozbieżności. Poniżej przedstawione zostały charakterystyki (teoretyczne i rzeczywiste) oraz odpowiedzi impulsowe z przeprowadzonej wcześniej symulacji – bazują one na normach okablowania UTP kat.5.



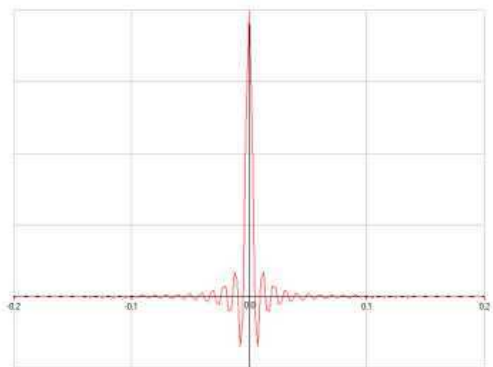
Charakterystyka tłumienia



Charakterystyka przesłuchu



Charakterystyka echa



4.3 Tłumienie, echo i przesłuchy (D)

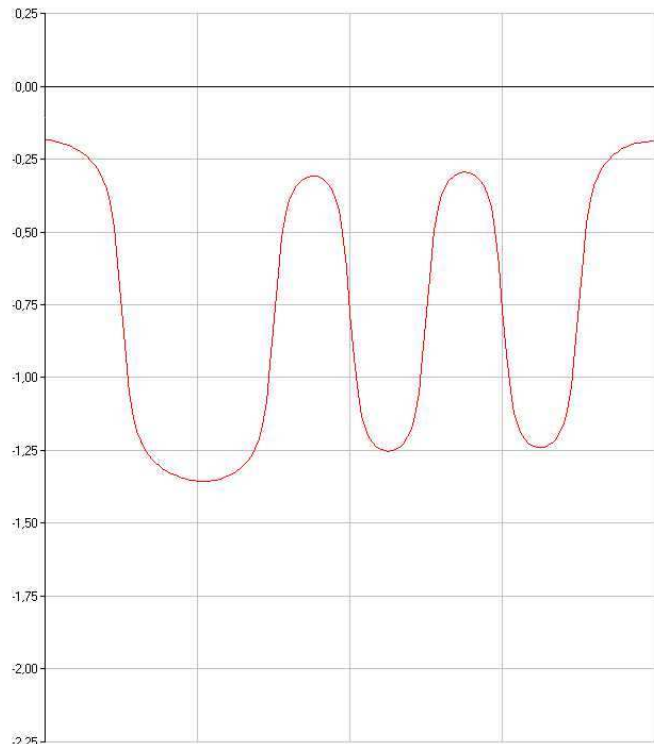
Po ukształtowaniu sygnału i otrzymaniu odpowiedzi impulsowych poszczególnych filtrów składających się na kanał, następuje najistotniejszy etap symulacji – tłumienie sygnału, stworzenie efektu echa i dodanie przesłuchów. Wszystkie operacje z tym związane przeprowadzane są w dziedzinie dyskretnego

czasu i opierają się splocie. Aby działania te mogły zostać prawidłowo wykonane, niezbędne jest odpowiednie próbkowanie zarówno sygnału, jak i odpowiedzi poszczególnych filtrów. Spełnione zostają tutaj dwa warunki:

- częstotliwość próbkowania musi być co najmniej dwukrotnie większa od największej występującej częstotliwości – z założenia jest to częstotliwość odcięcia filtrów – 200Mhz
- na jeden symbol sygnału musi przypadać co najmniej 15 próbek – wynika to z potrzeby uzyskania określonej czytelności sygnału wynikowego. Jak łatwo można policzyć nie stanowi to problemu w wypadku symulacji 10BaseT - dla minimalnej dopuszczalnej częstotliwości próbkowania (400MHz) przypada tutaj 40 próbek na jeden cykl. Lecz w wypadku 100BaseTX (125 M symboli na sekundę) próbkowanie z częstotliwością 400MHz dałoby to około 3,2 próbki na symbol, co wymusiłoby konieczność rekonstrukcji sygnału z czym wiązałyby się niepotrzebne koszty numeryczne.

Próbkowanie przeprowadzane zgodnie z powyższymi regułami pozwala na dokonanie szeregu splotów i sumowań sygnałów, w celu przeprowadzenia ich przez modelowany kanał:

- 1) Pierwszą z operacji jest uwzględnienie tłumienia – w tym celu wykonywany jest splot spróbkowanego sygnału ukształtowanego (po wyjściu z kodera) z odpowiedzią impulsową filtru modelującego tłumienie. Efekt tej operacji widoczny jest na poniższym rysunku.

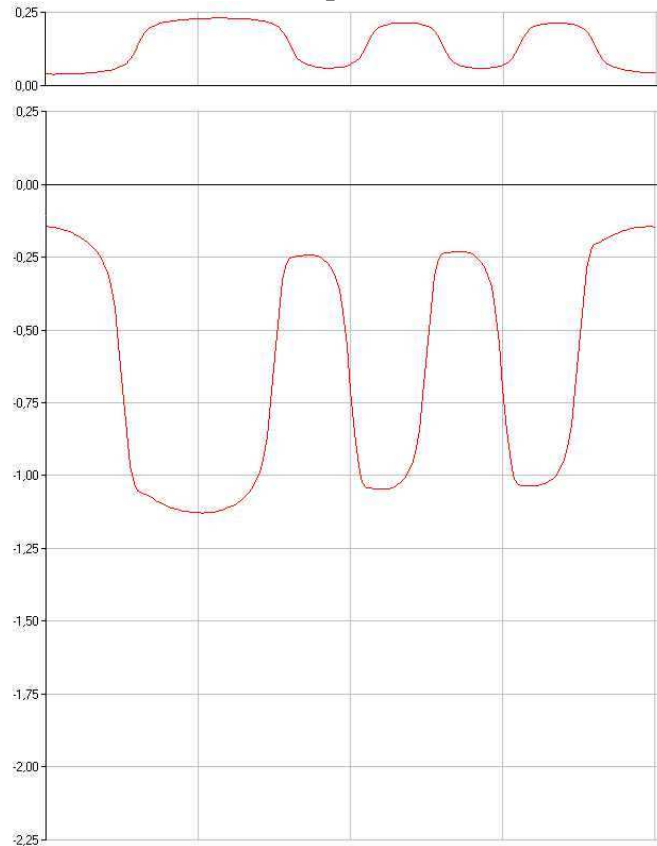


- 2) Kolejnym krokiem, jest dodanie efektu echa, a jego realizacja przedstawiona jest poniżej:

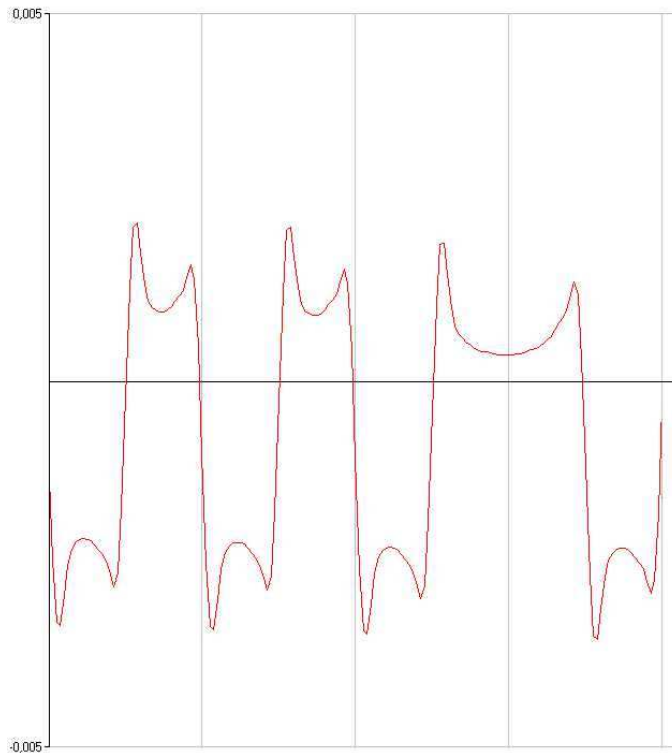
- dokonanie splotu sygnału z uwzględnionym tłumieniem z odpowiedzią impulsową filtru modelującego echo
- tak uzyskany sygnał jest opóźniany i odwracany (prosta zmiana znaku)

-
- otrzymany w ten sposób sygnał dodawany jest do sygnału otrzymanego w poprzednim etapie (z punktu 1)

Na poniższych rysunkach przedstawione są kolejno sygnał echa oraz sygnał po uwzględnieniu tłumienności kanału i wprowadzeniu echa.



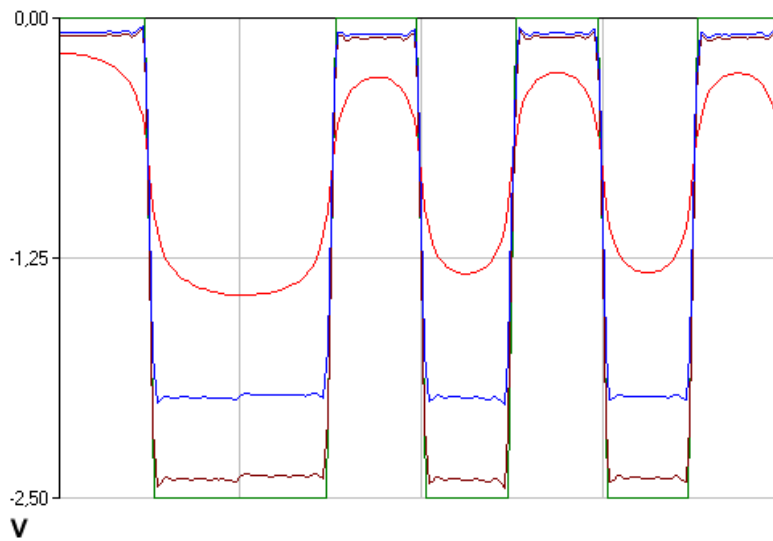
3) Ostatnim etapem jest wprowadzenie przesłuchów. Aby tego dokonać niezbędny jest sygnał (bądź sygnały) zakłócające. Generowane są one identycznie jak w wypadku sygnału będącego przedmiotem symulacji – ciąg bitów jest losowany, kodowany, a tak uzyskany sygnał kształtowany i wprowadzany w kanał (ciągi te są wyliczane, lecz nie rysowane przez symulator). Po uwzględnieniu tłumienności i echa, dokonywany jest spłot z odpowiedzią filtra modelującego przesłuchy, a otrzymany sygnał (bądź ich grupa) dodawany jest to sygnału podstawowego (uzyskanego w punkcie 2). Poniżej zaprezentowany został sygnał przesłuchu (jest bardzo niewielki – proszę zwrócić uwagę na skalę).



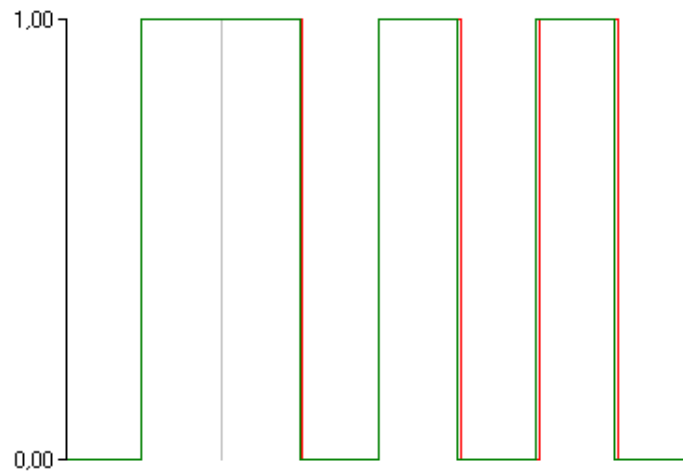
4.4 Regeneracja sygnału i analiza błędów (E i F)

Regeneracja sygnału odbywa się w dwóch etapach. Pierwszy z nich, opcjonalny, polega na zastosowaniu selektywnego wzmacniacza, którego charakterystyka może być przykładowo dopasowana do charakterystyki tłumienia kanału. Realizacja takiego wzmacniacza realizowana jest poprzez splot sygnału z odpowiedzią impulsową wzmacniacza, obliczoną na podstawie teoretycznej charakterystyki częstotliwościowej (identycznie jak przy obliczeniach związanych z kanałem). Drugi etap regeneracji przebiega w bardzo prosty sposób – sygnał jest wzmacniany, a współczynnikiem wzmocnienia jest stosunek średniej wartości sygnału przed i po wprowadzeniu do kanału. Poniższy rysunek obrazuje uzyskane w ten sposób przebiegi – sygnał wejściowy (zielony), sygnał po kanale (czerwony), sygnał zregenerowany (niebieski) oraz sygnał po wyrównaniu wartości średniej (brązowy)

Standardy Ethernet oraz FastEthernet nie definiują regeneracji sygnału. W programie EtherSim mechanizm regeneracji domyślnie jest wyłączony dla Ethernetu 10/100 Mb/s. Program umożliwia włączenie regeneratora, jednak wyniki są wówczas niewiarygodne (zbyt dobre).



Tak otrzymany sygnał poddawany jest dekodowaniu, które realizowane jest przez jego proste kwantowanie – na podstawie porównania uzyskanego ciągu z ciągiem wejściowym obliczana jest pierwsza z miar błędów – czas poprawnej transmisji sygnału. Ciąg otrzymany w procesie dekodowania (czerwony) oraz ciąg wejściowy (zielony), przedstawione zostały poniżej:



Następnym etapem, jest zliczenie błędów (różnica między sygnałami wejściowym i wyjściowym) co pozwala na przykład na wykreślenie ich rozkładu (rysunek poniżej) oraz wyznaczeniu błędów średniego co pozwoli na przybliżone określenie stopy błędów BER – *Bit Error Rate*, która jest drugą otrzymywaną miarą błędów. W tym celu posłużono się funkcją *erf* (*error function*), określoną wzorem:

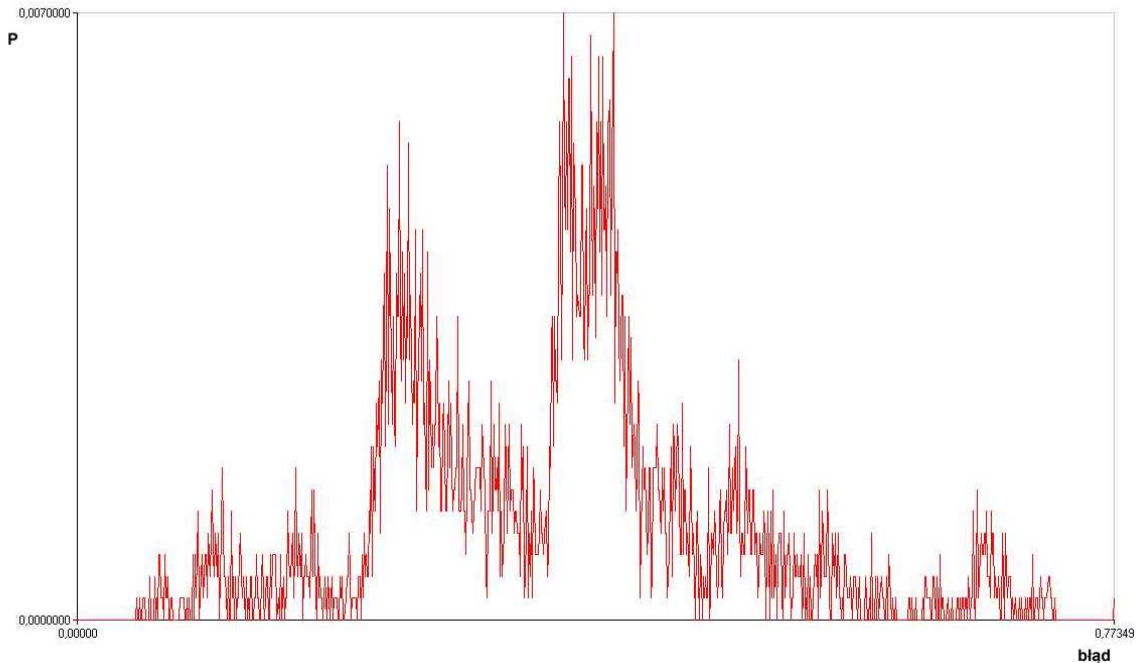
$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du$$

gdzie x jest ilorazem wartości progu decyzyjnego i błędów średniego. Funkcja ta pozwala obliczyć prawdopodobieństwo tego, że przy danym błędzie średnim, błąd nie przekroczy wartości progu decyzyjnego. Zakłada ona jednak, że błędy mają rozkład

Gaussa (liczy ona pole pod tzw. „ogonem” krzywej dzwonowej). Szacowany w ten sposób *BER* wynosi:

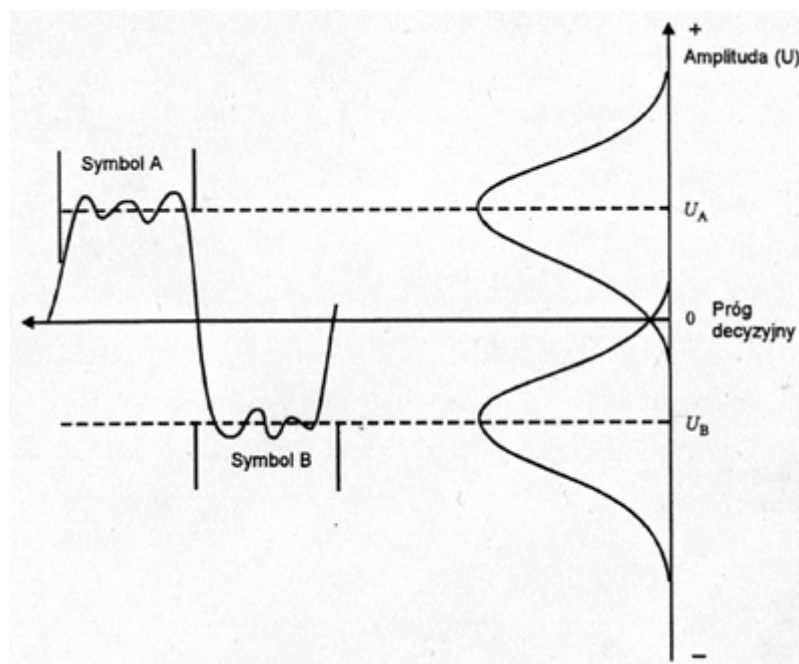
$$BER = 0,5(1 - erf(x))$$

Użyty w programie algorytm do obliczenia wartości *erf* (a konkretnie $1 - erf$), polega na prostym numerycznym całkowaniu, aż do osiągnięcia zadanej dokładności.



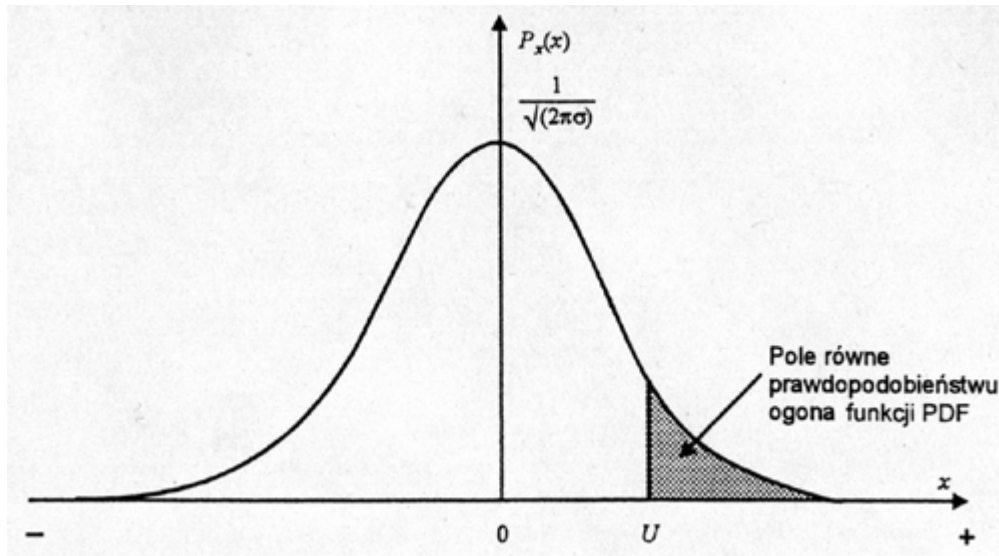
Bitowa Stopa Błędu BER

Rysunek poniżej przedstawia wpływ szumu na sygnał binarny:



Funkcję gęstości prawdopodobieństwa (PDF) szumu gaussowskiego nałożono tu na dwa nominalne poziomy sygnały U_A i $-U_B$. Niech różnica potencjałów między U_A i $-U_B$ wynosi $2V$. Wówczas prawdopodobieństwo błędu P_e jest równe:

$P_e = \int_U^{\infty} P_x(x) dx$, czyli jest prawdopodobieństwem tego, że amplituda szumu przekracza $+U$ i jest znane jako prawdopodobieństwo ogona PDF:



W przypadku rozkładu gaussowskiego $P_x(x)$, prawdopodobieństwo błędu ma postać:

$$P_e = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_U^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx, \text{ gdzie } \sigma \text{ jest wartością skuteczną napięcia szumów.}$$

Prawdopodobieństwo błędu znane jest też pod nazwą bitowej stopy błędu (BER). Jeżeli BER wynosi np. 10^{-6} , to jeden błędny bit przypada na każdy milion bitów nadanych. Gdy znane są amplitudy szumu i symboli, prawdopodobieństwa błędu może nie udać się wyznaczyć z powyższego wzoru, gdyż całka nie ma postaci zamkniętej. Aby dokonać obliczeń numerycznych związanych z BER, stosuje się funkcję błędu:

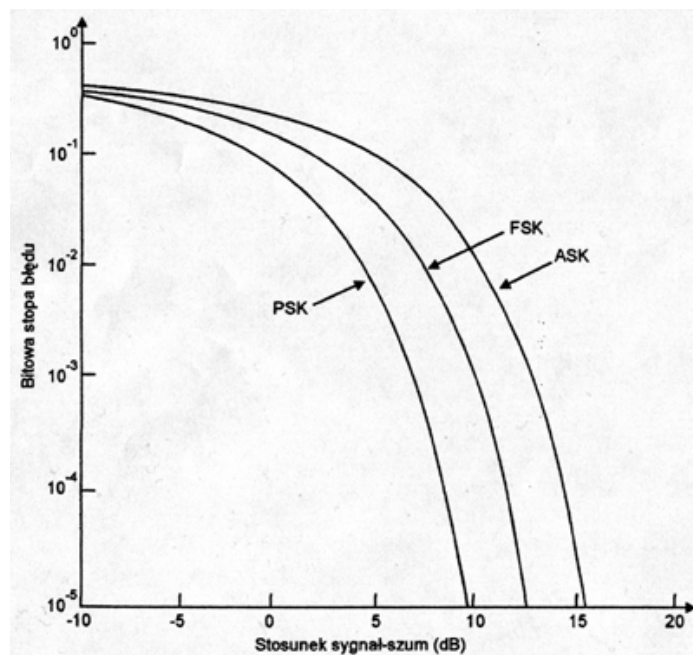
$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du, \text{ gdzie } x = \frac{U}{\sigma\sqrt{2}}.$$

Wyrażenie definiujące funkcję błędu oznacza prawdopodobieństwo tego, że x leży w przedziale $0 \leq x \leq \pm U$. Prawdopodobieństwo błędu jest równe polu pod krzywą dla $x > U$. Pole pod krzywą PDF dla wszystkich x wynosi 1, stąd pole pod krzywą na prawo od U jest dane wzorem: $P_e = 0,5[1 - \text{erf}(x)]$.

Gdy mamy dwa symbole różniące się o $2V$, stosunek średniej mocy sygnału do mocy szumu wynosi:

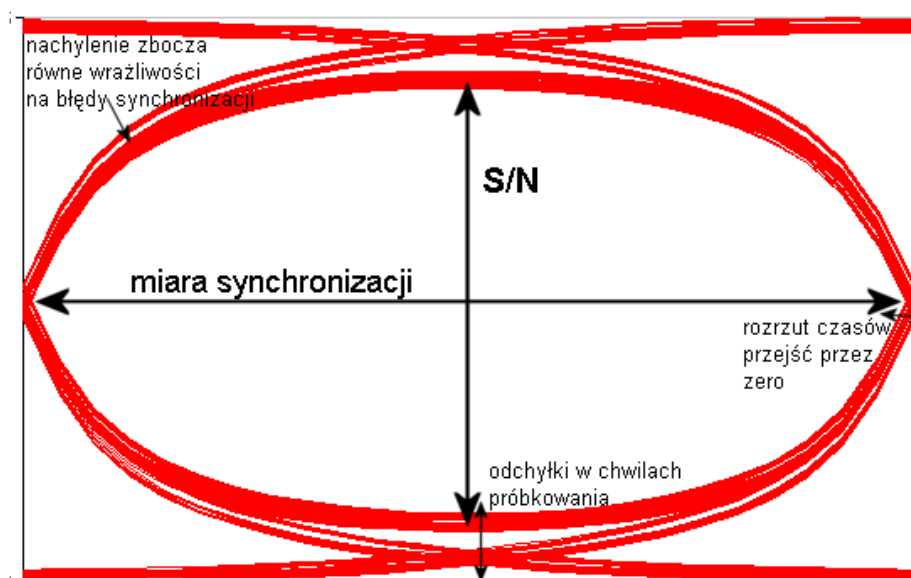
$$\frac{S}{N} = 20 \log \frac{U}{\sigma} \text{ dB.}$$

Bitową stopę błędu w funkcji stosunku $\frac{S}{N}$ przedstawia poniższy wykres.

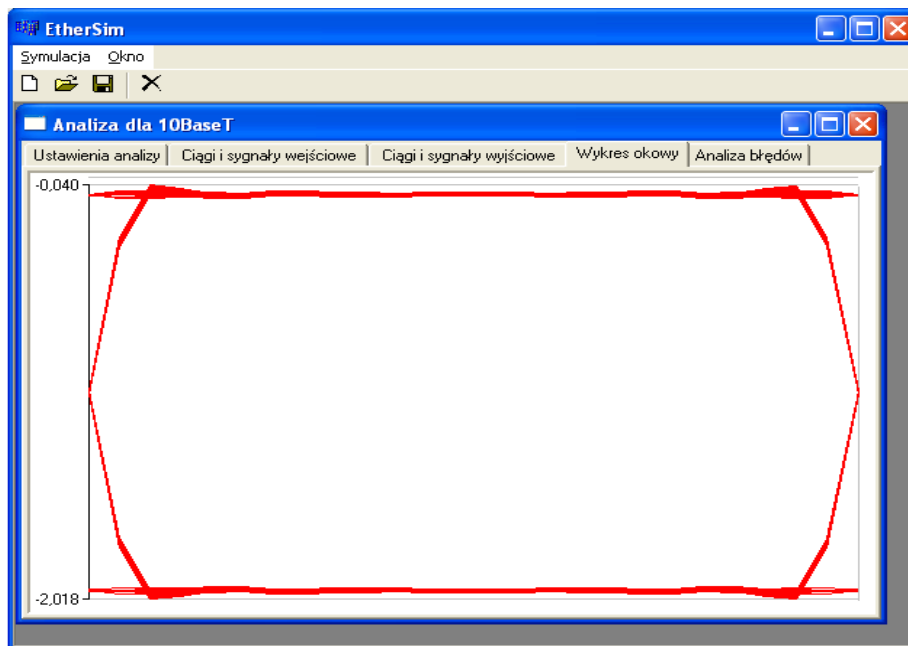


Interpretacja wykresu okowego

Wykres okowy (lub oczkowy) jest testem umożliwiającym zbadanie wpływu szumów i zakłóceń na sygnał. Powstaje on w ten sposób, że poszczególne symbole zostają nałożone na siebie – obraz taki przypomina z wyglądu oko i stąd nazwa. Odbiornik pobiera próbki odbieranego sygnału okresowo w momentach czasu odpowiadającym środkom każdego z symboli, co daje kształt podobny do oka. Dla sygnału binarnego napięcie, które w momencie decyzji jest większe od poziomu progowego, zostaje zakwalifikowane jako binarne 1, analogicznie dla 0. Na rysunku pokazano uogólniony wykres oczkowy. Rozmyte linie związane są z sygnałem i jego zmianami spowodowanymi przez szumy.



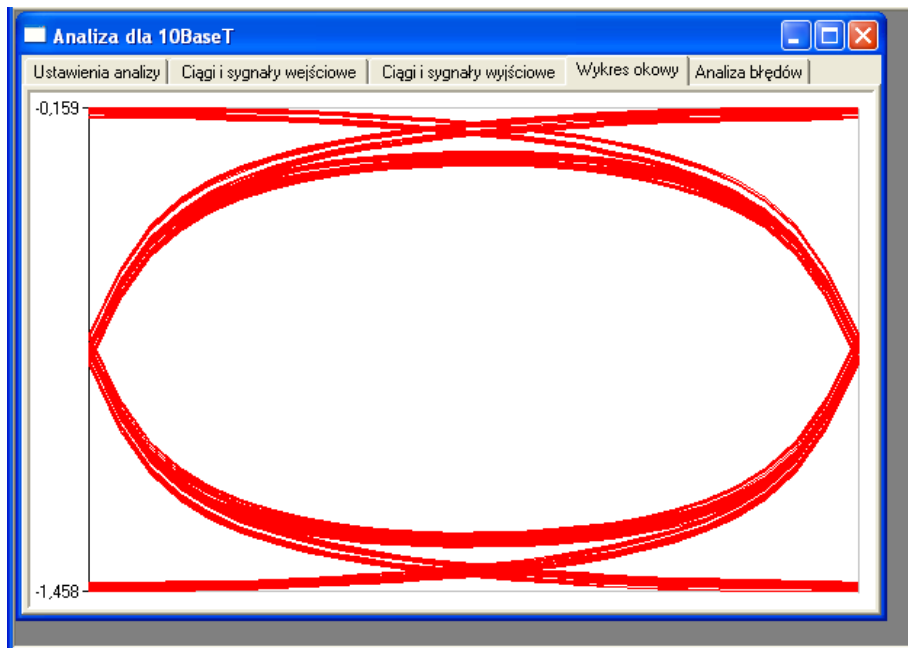
Wykres okowy tworzony jest poprzez nakładanie na siebie fragmentów sygnału wyjściowego (po przejściu przez kanał). Długość tych fragmentów związana jest z długością cyklu, w którym następuje zmiana wartości sygnału mająca reprezentować impuls (logiczną 1 lub 0) – jeśli impulsy mają różną długość to mamy tu na myśli długość najkrótszego z nich. W ten sposób otrzymujemy graficzną reprezentację przebiegu sygnału, dzięki której możemy ocenić, poprzez analizę porównawczą, rozrzut wartości sygnału (różnice w wartościach „w pionie” – należy zwrócić uwagę na wartości na skali!) oraz utratę synchronizacji, spowodowaną rozmyciem sygnału (różnice w wartościach „w poziomie”). W przypadku sygnału dwuwartościowego (Ethernet), otrzymujemy pojedyncze oko:



W tym przypadku mamy do czynienia z poprawną transmisją. Można to stwierdzić w następujący sposób:

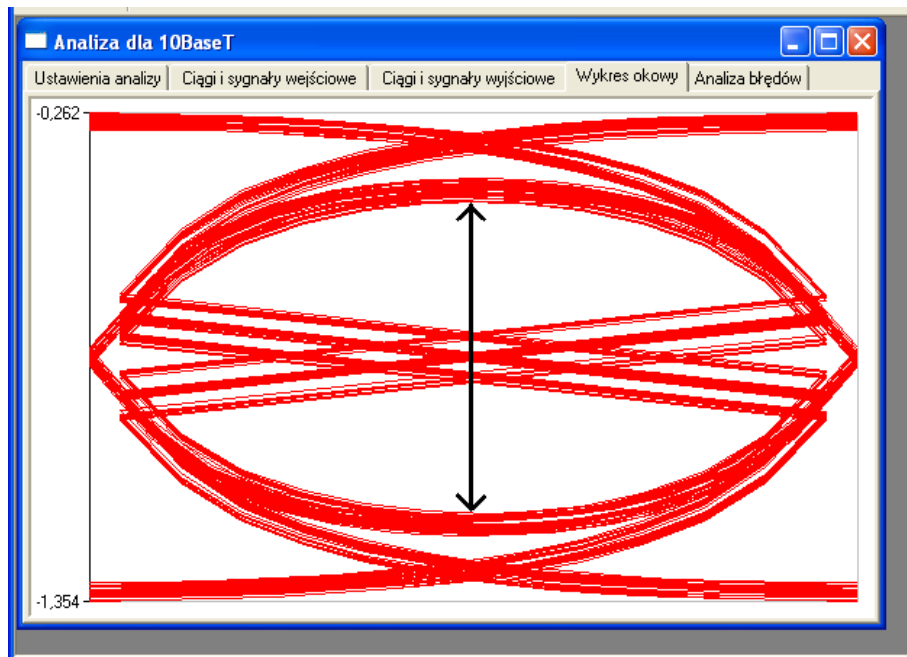
Odbiornik musi zdecydować czy w danym cyklu (o którym wspomniano powyżej) w danym momencie, nadeszła logiczna 1 czy 0 (rozdzielane na podstawie odpowiednich wartości sygnału). Musi zatem przyjąć pewną progową wartość, w odniesieniu do której podejmie tą decyzję. W naszym przypadku próg znajduje się w połowie wykresu okowego (w poziomie). Bez trudu możemy dostrzec, że fragmenty sygnału wyjściowego nakładają się na siebie niemal idealnie („cienkie” oko) przyjmując dwie wartości (pomijając brzegi). Świadczy to o małych zniekształceniach wprowadzanych przez kanał, co jest równoznaczne z dobrą jakością transmisji.

Poniżej przedstawiono dla porównania sytuację, w której jakość transmisji pogarsza się:



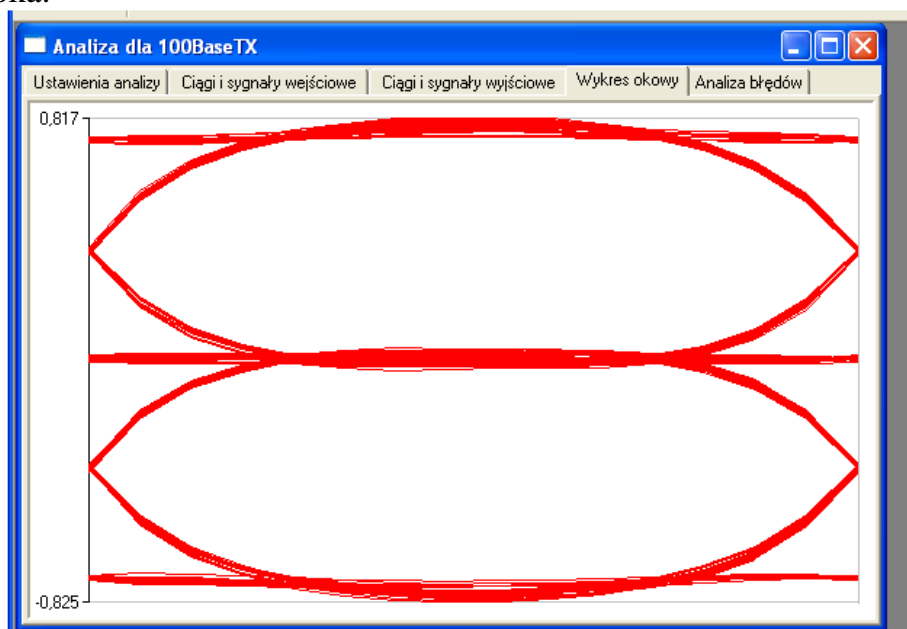
Widzimy, że jakość sygnału znacznie się pogorszyła. Rozrzut wartości sygnału i jego rozmycie spowodowały „pogrubienie” się wykresu okowego. Mimo to, pamiętając o założonym progu, odbiornik nie powinien mieć kłopotów ze zdekodowaniem tego sygnału. Nadal możemy stwierdzić, że wartości sygnału oscylują wokół dwóch różniących się znacznie wartości (maksymalnej i minimalnej – patrz na skalę). Należy w tym miejscu podkreślić, że **wykres okowy powinien być pierwszym i najważniejszym kryterium oceny jakości transmisji**. Dopiero w następnej kolejności istotne są elementowa stopa błędów BER i procent czasu poprawnej transmisji. Przykładowo – w powyższej sytuacji, $BER=10^{-3}$, co powinno świadczyć o olbrzymich błędach w transmisji, praktycznie uniemożliwiających poprawną pracę sieci (pamiętając, że założone minimum to $BER \leq 10^{-8}$). Patrząc na wykres okowy, nie mamy jednak wątpliwości, że sytuacja nie jest tak zła, jak mogłaby to sugerować stopa błędów BER.

Dla porównania poniżej zaprezentowano sytuację rzeczywiście złą, czyli taką, w której zniekształcenia wprowadzane przez kanał są zbyt duże, aby zapewnić poprawną transmisję:



Jak widzimy rozrzut wartości sygnału i jego rozmycie spowodowało dalsze „pogrubienie” się wykresu okowego. Co ważne, rozwartość pionowa oka (zaznaczona strzałką) zmalała do wartości około 0,7V, a pamiętać należy, że w pierwszym przypadku (prawidłowym), wartość progu wynosiła około -1V. Oznacza to, że stosując tę wartość progu, niektóre impulsy, zostaną mylnie zinterpretowane.

W przypadku sieci FastEthernet mamy do czynienia z sygnałem trójwartościowym. Konsekwencją tego jest pojawienie się na wykresie okowym drugiego oka:



Każde z tych oczu analizujemy w sposób analogiczny do wyżej zaprezentowanego.

Z podobną sytuacją mamy do czynienia w sieci GigaEthernet – w tym przypadku sygnał jest pięciowartościowy, co skutkuje pojawieniem się czterech oczu na wykresie okowym, w sposób analogiczny, jaki to miało miejsce w sieci FastEthernet.

DODATEK A

Pełen zestaw ciągów kodowych 8B/6T

Data octet	6T code group	Data octet	6T code group	Data octet	6T code group	Data octet	6T code group
00	+ - 0 0 + -	20	0 0 - + + -	40	+ 0 + 0 0 -	60	0 - 0 + + 0
01	0 + - + - 0	21	- - + 0 0 +	41	+ + 0 0 - 0	61	0 0 - + 0 +
02	+ - 0 + - 0	22	+ + - 0 + -	42	+ 0 + 0 - 0	62	0 - 0 + 0 +
03	- 0 + + - 0	23	+ + - 0 - +	43	0 + + 0 - 0	63	- 0 0 + 0 +
04	- 0 + 0 + -	24	0 0 + 0 - +	44	0 + + 0 0 -	64	- 0 0 + + 0
05	0 + - - 0 +	25	0 0 + 0 + -	45	+ + 0 - 0 0	65	0 0 - 0 + +
06	+ - 0 - 0 +	26	0 0 - 0 0 +	46	+ 0 + - 0 0	66	0 - 0 0 + +
07	- 0 + - 0 +	27	- - + + + -	47	0 + + - 0 0	67	- 0 0 0 + +
08	- + 0 0 + -	28	- 0 - + + 0	48	0 0 0 + 0 0	68	- + - + + 0
09	0 - + + - 0	29	- - 0 + 0 +	49	0 0 0 - + +	69	- - + + 0 +
0A	- + 0 + - 0	2A	- 0 - + 0 +	4A	0 0 0 + - +	6A	- + - + 0 +
0B	+ 0 - + - 0	2B	0 - - + 0 +	4B	0 0 0 + + -	6B	+ - - + 0 +
0C	+ 0 - 0 + -	2C	0 - - + + 0	4C	0 0 0 - + 0	6C	+ - - + + 0
0D	0 - + - 0 +	2D	- - 0 0 + +	4D	0 0 0 - 0 +	6D	- - + 0 + +
0E	- + 0 - 0 +	2E	- 0 - 0 + +	4E	0 0 0 + - 0	6E	- + - 0 + +
0F	+ 0 - - 0 +	2F	0 - - 0 + +	4F	0 0 0 + 0 -	6F	+ - - 0 + +
10	+ 0 + - - 0	30	+ - 0 0 - +	50	+ 0 + - - +	70	- + + 0 0 0
11	+ + 0 - 0 -	31	0 + - - + 0	51	+ + 0 - + -	71	+ - + 0 0 0
12	+ 0 + - 0 -	32	+ - 0 - + 0	52	+ 0 + - + -	72	+ + - 0 0 0
13	0 + + - 0 -	33	- 0 + - + 0	53	0 + + - + -	73	0 0 + 0 0 0
14	0 + + - - 0	34	- 0 + 0 - +	54	0 + + - - +	74	- 0 + 0 0 0
15	+ + 0 0 - -	35	0 + - + 0 -	55	+ + 0 + - -	75	0 - + 0 0 0
16	+ 0 + 0 - -	36	+ - 0 + 0 -	56	+ 0 + + - -	76	+ 0 - 0 0 0
17	0 + + 0 - -	37	- 0 + + 0 -	57	0 + + + - -	77	0 + - 0 0 0
18	0 + - 0 + -	38	- + 0 0 - +	58	+ + + 0 - -	78	0 - - + + +
19	0 + - 0 - +	39	0 - + - + 0	59	+ + + - 0 -	79	- 0 - + + +
1A	0 + - + + -	3A	- + 0 - + 0	5A	+ + + - - 0	7A	- - 0 + + +
1B	0 + - 0 0 +	3B	+ 0 - - + 0	5B	+ + 0 - - 0	7B	- - 0 + + 0
1C	0 - + 0 0 +	3C	+ 0 - 0 - +	5C	+ + 0 - - +	7C	+ + - 0 0 -
1D	0 - + + + -	3D	0 - + + 0 -	5D	+ + 0 0 0 -	7D	0 0 + 0 0 -
1E	0 - + 0 - +	3E	- + 0 + 0 -	5E	- - + + + 0	7E	+ + - - - +
1F	0 - + 0 + -	3F	+ 0 - + 0 -	5F	0 0 - + + 0	7F	0 0 + - - +

80	+ - + 0 0 -	A0	0 - 0 + + -	C0	+ - + 0 + -	E0	+ - 0 + + -
81	+ + - 0 - 0	A1	0 0 - + - +	C1	+ + - + - 0	E1	0 + - + - +
82	+ - + 0 - 0	A2	0 - 0 + - +	C2	+ - + + - 0	E2	+ - 0 + - +
83	- + + 0 - 0	A3	- 0 0 + - +	C3	- + + + - 0	E3	- 0 + + - +
84	- + + 0 0 -	A4	- 0 0 + + -	C4	- + + 0 + -	E4	- 0 + + + -
85	+ + - - 0 0	A5	0 0 - - + +	C5	+ + - - 0 +	E5	0 + - - + +
86	+ - + - 0 0	A6	0 - 0 - + +	C6	+ - + - 0 +	E6	+ - 0 - + +
87	- + + - 0 0	A7	- 0 0 - + +	C7	- + + - 0 +	E7	- 0 + - + +
88	0 + 0 0 0 -	A8	- + - + + -	C8	0 + 0 0 + -	E8	- + 0 + + -
89	0 0 + 0 - 0	A9	- - + + - +	C9	0 0 + + - 0	E9	0 - + + - +
8A	0 + 0 0 - 0	AA	- + - + - +	CA	0 + 0 + - 0	EA	- + 0 + - +
8B	+ 0 0 0 - 0	AB	+ - - + - +	CB	+ 0 0 + - 0	EB	+ 0 - + - +
8C	+ 0 0 0 0 -	AC	+ - - + + -	CC	+ 0 0 0 + -	EC	+ 0 - + + -
8D	0 0 + - 0 0	AD	- - + - + +	CD	0 0 + - 0 +	ED	0 - + - + +
8E	0 + 0 - 0 0	AE	- + - - + +	CE	0 + 0 - 0 +	EE	- + 0 - + +
8F	+ 0 0 - 0 0	AF	+ - - - + +	CF	+ 0 0 - 0 +	EF	+ 0 - - + +
90	+ - + - - +	B0	0 - 0 0 0 +	D0	+ - + 0 - +	F0	+ - 0 0 0 +
91	+ + - - + -	B1	0 0 - 0 + 0	D1	+ + - - + 0	F1	0 + - 0 + 0
92	+ - + - + -	B2	0 - 0 0 + 0	D2	+ - + - + 0	F2	+ - 0 0 + 0
93	- + + - + -	B3	- 0 0 0 + 0	D3	- + + - + 0	F3	- 0 + 0 + 0
94	- + + - - +	B4	- 0 0 0 0 +	D4	- + + 0 - +	F4	- 0 + 0 0 +
95	+ + - + - -	B5	0 0 - + 0 0	D5	+ + - + 0 -	F5	0 + - + 0 0
96	+ - + + - -	B6	0 - 0 + 0 0	D6	+ - + + 0 -	F6	+ - 0 + 0 0
97	- + + + - -	B7	- 0 0 + 0 0	D7	- + + + 0 -	F7	- 0 + + 0 0
98	0 + 0 - - +	B8	- + - 0 0 +	D8	0 + 0 0 - +	F8	- + 0 0 0 +
99	0 0 + - + -	B9	- - + 0 + 0	D9	0 0 + - + 0	F9	0 - + 0 + 0
9A	0 + 0 - + -	BA	- + - 0 + 0	DA	0 + 0 - + 0	FA	- + 0 0 + 0
9B	+ 0 0 - + -	BB	+ - - 0 + 0	DB	+ 0 0 - + 0	FB	+ 0 - 0 + 0
9C	+ 0 0 - - +	BC	+ - - 0 0 +	DC	+ 0 0 0 - +	FC	+ 0 - 0 0 +
9D	0 0 + + - -	BD	- - + + 0 0	DD	0 0 + + 0 -	FD	0 - + + 0 0
9E	0 + 0 + - -	BE	- + - + 0 0	DE	0 + 0 + 0 -	FE	- + 0 + 0 0
9F	+ 0 0 + - -	BF	+ - - + 0 0	DF	+ 0 0 + 0 -	FF	+ 0 - + 0 0

DODATEK B

Grupy kodowe kodowania 8B/10B

Nazwa grupy kodowej	Wartość oktetu	Bity oktetu		RD -	RD +
		HGF EDCBA	abcdei fghj	abcdei fghj	
D0.0	00	000 00000	100111 0100	011000 1011	
D1.0	01	000 00001	011101 0100	100010 1011	
D2.0	02	000 00010	101101 0100	010010 1011	
D3.0	03	000 00011	110001 1011	110001 0100	
D4.0	04	000 00100	110101 0100	001010 1011	
D5.0	05	000 00101	101001 1011	101001 0100	
D6.0	06	000 00110	011001 1011	011001 0100	
D7.0	07	000 00111	111000 1011	000111 0100	
D8.0	08	000 01000	111001 0100	000110 1011	
D9.0	09	000 01001	100101 1011	100101 0100	
D10.0	0A	000 01010	010101 1011	010101 0100	
D11.0	0B	000 01011	110100 1011	110100 0100	
D12.0	0C	000 01100	001101 1011	001101 0100	
D13.0	0D	000 01101	101100 1011	101100 0100	
D14.0	0E	000 01110	011100 1011	011100 0100	
D15.0	0F	000 01111	010111 0100	101000 1011	
D16.0	10	000 10000	011011 0100	100100 1011	
D17.0	11	000 10001	100011 1011	100011 0100	
D18.0	12	000 10010	010011 1011	010011 0100	
D19.0	13	000 10011	110010 1011	110010 0100	
D20.0	14	000 10100	001011 1011	001011 0100	
D21.0	15	000 10101	101010 1011	101010 0100	
D22.0	16	000 10110	011010 1011	011010 0100	
D23.0	17	000 10111	111010 0100	000101 1011	
D24.0	18	000 11000	110011 0100	001100 1011	
D25.0	19	000 11001	100110 1011	100110 0100	
D26.0	1A	000 11010	010110 1011	010110 0100	
D27.0	1B	000 11011	110110 0100	001001 1011	
D28.0	1C	000 11100	001110 1011	001110 0100	
D29.0	1D	000 11101	101110 0100	010001 1011	
D30.0	1E	000 11110	011110 0100	100001 1011	
D31.0	1F	000 11111	101011 0100	010100 1011	
D0.1	20	001 00000	100111 1001	011000 1001	
D1.1	21	001 00001	011101 1001	100010 1001	
D2.1	22	001 00010	101101 1001	010010 1001	
D3.1	23	001 00011	110001 1001	110001 1001	
D4.1	24	001 00100	110101 1001	001010 1001	
D5.1	25	001 00101	101001 1001	101001 1001	
D6.1	26	001 00110	011001 1001	011001 1001	
D7.1	27	001 00111	111000 1001	000111 1001	
D8.1	28	001 01000	111001 1001	000110 1001	
D9.1	29	001 01001	100101 1001	100101 1001	
D10.1	2A	001 01010	010101 1001	010101 1001	
D11.1	2B	001 01011	110100 1001	110100 1001	
D12.1	2C	001 01100	001101 1001	001101 1001	
D13.1	2D	001 01101	101100 1001	101100 1001	
D14.1	2E	001 01110	011100 1001	011100 1001	
D15.1	2F	001 01111	010111 1001	101000 1001	
D16.1	30	001 10000	011011 1001	100100 1001	
D17.1	31	001 10001	100011 1001	100011 1001	
D18.1	32	001 10010	010011 1001	010011 1001	
D19.1	33	001 10011	110010 1001	110010 1001	
D20.1	34	001 10100	001011 1001	001011 1001	
D21.1	35	001 10101	101010 1001	101010 1001	
D22.1	36	001 10110	011010 1001	011010 1001	

D23.1	37	001 10111	111010 1001	000101 1001
D24.1	38	001 11000	110011 1001	001100 1001
D25.1	39	001 11001	100110 1001	100110 1001
D26.1	3A	001 11010	010110 1001	010110 1001
D27.1	3B	001 11011	110110 1001	001001 1001
D28.1	3C	001 11100	001110 1001	001110 1001
D29.1	3D	001 11101	101110 1001	010001 1001
D30.1	3E	001 11110	011110 1001	100001 1001
D31.1	3F	001 11111	101011 1001	010100 1001
D0.2	40	010 00000	100111 0101	011000 0101
D1.2	41	010 00001	011101 0101	100010 0101
D2.2	42	010 00010	101101 0101	010010 0101
D3.2	43	010 00011	110001 0101	110001 0101
D4.2	44	010 00100	110101 0101	001010 0101
D5.2	45	010 00101	101001 0101	101001 0101
D6.2	46	010 00110	011001 0101	011001 0101
D7.2	47	010 00111	111000 0101	000111 0101
D8.2	48	010 01000	111001 0101	000110 0101
D9.2	49	010 01001	100101 0101	100101 0101
D10.2	4A	010 01010	010101 0101	010101 0101
D11.2	4B	010 01011	110100 0101	110100 0101
D12.2	4C	010 01100	001101 0101	001101 0101
D13.2	4D	010 01101	101100 0101	101100 0101
D14.2	4E	010 01110	011100 0101	011100 0101
D15.2	4F	010 01111	010111 0101	101000 0101
D16.2	50	010 10000	011011 0101	100100 0101
D17.2	51	010 10001	100011 0101	100011 0101
D18.2	52	010 10010	010011 0101	010011 0101
D19.2	53	010 10011	110010 0101	110010 0101
D20.2	54	010 10100	001011 0101	001011 0101
D21.2	55	010 10101	101010 0101	101010 0101
D22.2	56	010 10110	011010 0101	011010 0101
D23.2	57	010 10111	111010 0101	000101 0101
D24.2	58	010 11000	110011 0101	001100 0101
D25.2	59	010 11001	100110 0101	100110 0101
D26.2	5A	010 11010	010110 0101	010110 0101
D27.2	5B	010 11011	110110 0101	001001 0101
D28.2	5C	010 11100	001110 0101	001110 0101
D29.2	5D	010 11101	101110 0101	010001 0101
D30.2	5E	010 11110	011110 0101	100001 0101
D31.2	5F	010 11111	101011 0101	010100 0101
D0.3	60	011 00000	100111 0011	011000 1100
D1.3	61	011 00001	011101 0011	100010 1100
D2.3	62	011 00010	101101 0011	010010 1100
D3.3	63	011 00011	110001 1100	110001 0011
D4.3	64	011 00100	110101 0011	001010 1100
D5.3	65	011 00101	101001 1100	101001 0011
D6.3	66	011 00110	011001 1100	011001 0011
D7.3	67	011 00111	111000 1100	000111 0011
D8.3	68	011 01000	111001 0011	000110 1100
D9.3	69	011 01001	100101 1100	100101 0011
D10.3	6A	011 01010	010101 1100	010101 0011
D11.3	6B	011 01011	110100 1100	110100 0011
D12.3	6C	011 01100	001101 1100	001101 0011
D13.3	6D	011 01101	101100 1100	101100 0011
D14.3	6E	011 01110	011100 1100	011100 0011
D15.3	6F	011 01111	010111 0011	101000 1100
D16.3	70	011 10000	011011 0011	100100 1100
D17.3	71	011 10001	100011 1100	100011 0011
D18.3	72	011 10010	010011 1100	010011 0011
D19.3	73	011 10011	110010 1100	110010 0011
D20.3	74	011 10100	001011 1100	001011 0011
D21.3	75	011 10101	101010 1100	101010 0011

D22.3	76	011 10110	011010 1100	011010 0011
D23.3	77	011 10111	111010 0011	000101 1100
D24.3	78	011 11000	110011 0011	001100 1100
D25.3	79	011 11001	100110 1100	100110 0011
D26.3	7A	011 11010	010110 1100	010110 0011
D27.3	7B	011 11011	110110 0011	001001 1100
D28.3	7C	011 11100	001110 1100	001110 0011
D29.3	7D	011 11101	101110 0011	010001 1100
D30.3	7E	011 11110	011110 0011	100001 1100
D31.3	7F	011 11111	101011 0011	010100 1100
D0.4	80	100 00000	100111 0010	011000 1101
D1.4	80	100 00001	011101 0010	100010 1101
D2.4	82	100 00010	101101 0010	010010 1101
D3.4	83	100 00011	110001 1101	110001 0010
D4.4	84	100 00100	110101 0010	001010 1101
D5.4	85	100 00101	101001 1101	101001 0010
D6.4	86	100 00110	011001 1101	011001 0010
D7.4	87	100 00111	111000 1101	000111 0010
D8.4	88	100 01000	111001 0010	000110 1101
D9.4	89	100 01001	100101 1101	100101 0010
D10.4	8A	100 01010	010101 1101	010101 0010
D11.4	8B	100 01011	110100 1101	110100 0010
D12.4	8C	100 01100	001101 1101	001101 0010
D13.4	8D	100 01101	101100 1101	101100 0010
D14.4	8E	100 01110	011100 1101	011100 0010
D15.4	8F	100 01111	010111 0010	101000 1101
D16.4	90	100 10000	011011 0010	100100 1101
D17.4	91	100 10001	100011 1101	100011 0010
D18.4	92	100 10010	010011 1101	010011 0010
D19.4	93	100 10011	110010 1101	110010 0010
D20.4	94	100 10100	001011 1101	001011 0010
D21.4	95	100 10101	101010 1101	101010 0010
D22.4	96	100 10110	011010 1101	011010 0010
D23.4	97	100 10111	111010 0010	000101 1101
D24.4	98	100 11000	110011 0010	001100 1101
D25.4	99	100 11001	100110 1101	100110 0010
D26.4	9A	100 11010	010110 1101	010110 0010
D27.4	9B	100 11011	110110 0010	001001 1101
D28.4	9C	100 11100	001110 1101	001110 0010
D29.4	9D	100 11101	101110 0010	010001 1101
D30.4	9E	100 11110	011110 0010	100001 1101
D31.4	9F	100 11111	101011 0010	010100 1101
D0.5	A0	101 00000	100111 1010	011000 1010
D1.5	A1	101 00001	011101 1010	100010 1010
D2.5	A2	101 00010	101101 1010	010010 1010
D3.5	A3	101 00011	110001 1010	110001 1010
D4.5	A4	101 00100	110101 1010	001010 1010
D5.5	A5	101 00101	101001 1010	101001 1010
D6.5	A6	101 00110	011001 1010	011001 1010
D7.5	A7	101 00111	111000 1010	000111 1010
D8.5	A8	101 01000	111001 1010	000110 1010
D9.5	A9	101 01001	100101 1010	100101 1010
D10.5	AA	101 01010	010101 1010	010101 1010
D11.5	AB	101 01011	110100 1010	110100 1010
D12.5	AC	101 01100	001101 1010	001101 1010
D13.5	AD	101 01101	101100 1010	101100 1010
D14.5	AE	101 01110	011100 1010	011100 1010
D15.5	AF	101 01111	010111 1010	101000 1010
D16.5	B0	101 10000	011011 1010	100100 1010
D17.5	B1	101 10001	100011 1010	100011 1010
D18.5	B2	101 10010	010011 1010	010011 1010
D19.5	B3	101 10011	110010 1010	110010 1010
D20.5	B4	101 10100	001011 1010	001011 1010

D21.5	B5	101 10101	101010 1010	101010 1010
D22.5	B6	101 10110	011010 1010	011010 1010
D23.5	B7	101 10111	111010 1010	000101 1010
D24.5	B8	101 11000	110011 1010	001100 1010
D25.5	B9	101 11001	100110 1010	100110 1010
D26.5	BA	101 11010	010110 1010	010110 1010
D27.5	BB	101 11011	110110 1010	001001 1010
D28.5	BC	101 11100	001110 1010	001110 1010
D29.5	BD	101 11101	101110 1010	010001 1010
D30.5	BE	101 11110	011110 1010	100001 1010
D31.5	BF	101 11111	101011 1010	010100 1010
D0.6	C0	110 00000	100111 0110	011000 0110
D1.6	C1	110 00001	011101 0110	100010 0110
D2.6	C2	110 00010	101101 0110	010010 0110
D3.6	C3	110 00011	110001 0110	110001 0110
D4.6	C4	110 00100	110101 0110	001010 0110
D5.6	C5	110 00101	101001 0110	101001 0110
D6.6	C6	110 00110	011001 0110	011001 0110
D7.6	C7	110 00111	111000 0110	000111 0110
D8.6	C8	110 01000	111001 0110	000110 0110
D9.6	C9	110 01001	100101 0110	100101 0110
D10.6	CA	110 01010	010101 0110	010101 0110
D11.6	CB	110 01011	110100 0110	110100 0110
D12.6	CC	110 01100	001101 0110	001101 0110
D13.6	CD	110 01101	101100 0110	101100 0110
D14.6	CE	110 01110	011100 0110	011100 0110
D15.6	CF	110 01111	010111 0110	101000 0110
D16.6	D0	110 10000	011011 0110	100100 0110
D17.6	D1	110 10001	100011 0110	100011 0110
D18.6	D2	110 10010	010011 0110	010011 0110
D19.6	D3	110 10011	110010 0110	110010 0110
D20.6	D4	110 10100	001011 0110	001011 0110
D21.6	D5	110 10101	101010 0110	101010 0110
D22.6	D6	110 10110	011010 0110	011010 0110
D23.6	D7	110 10111	111010 0110	000101 0110
D24.6	D8	110 11000	110011 0110	001100 0110
D25.6	D9	110 11001	100110 0110	100110 0110
D26.6	DA	110 11010	010110 0110	010110 0110
D27.6	DB	110 11011	110110 0110	001001 0110
D28.6	DC	110 11100	001110 0110	001110 0110
D29.6	DD	110 11101	101110 0110	010001 0110
D30.6	DE	110 11110	011110 0110	100001 0110
D31.6	DF	110 11111	101011 0110	010100 0110
D0.7	E0	111 00000	100111 0001	011000 1110
D1.7	E1	111 00001	011101 0001	100010 1110
D2.7	E2	111 00010	101101 0001	010010 1110
D3.7	E3	111 00011	110001 1110	110001 0001
D4.7	E4	111 00100	110101 0001	001010 1110
D5.7	E5	111 00101	101001 1110	101001 0001
D6.7	E6	111 00110	011001 1110	011001 0001
D7.7	E7	111 00111	111000 1110	000111 0001
D8.7	E8	111 01000	111001 0001	000110 1110
D9.7	E9	111 01001	100101 1110	100101 0001
D10.7	EA	111 01010	010101 1110	010101 0001
D11.7	EB	111 01011	110100 1110	110100 1000
D12.7	EC	111 01100	001101 1110	001101 0001
D13.7	ED	111 01101	101100 1110	101100 1000
D14.7	EE	111 01110	011100 1110	011100 1000
D15.7	EF	111 01111	010111 0001	101000 1110
D16.7	F0	111 10000	011011 0001	100100 1110
D17.7	F1	111 10001	100011 0111	100011 0001
D18.7	F2	111 10010	010011 0111	010011 0001
D19.7	F3	111 10011	110010 1110	110010 0001

D20.7	F4	111 10100	001011 0111	001011 0001
D21.7	F5	111 10101	101010 1110	101010 0001
D22.7	F6	111 10110	011010 1110	011010 0001
D23.7	F7	111 10111	111010 0001	000101 1110
D24.7	F8	111 11000	110011 0001	001100 1110
D25.7	F9	111 11001	100110 1110	100110 0001
D26.7	FA	111 11010	010110 1110	010110 0001
D27.7	FB	111 11011	110110 0001	001001 1110
D28.7	FC	111 11100	001110 1110	001110 0001
D29.7	FD	111 11101	101110 0001	010001 1110
D30.7	FE	111 11110	011110 0001	100001 1110
D31.7	FF	111 11111	101011 0001	010100 1110

Specjalne grupy kodowe kodowania 8B/10B

Nazwa grupy kodowej	Wartość oktetu	Bity oktetu		
		HGF EDCBA	RD - abcdei fghj	RD + abcdei fghj
K28.0	1C	000 11100	001111 0100	110000 1011
K28.1	3C	001 11100	001111 1001	110000 0110
K28.2	5C	010 11100	001111 0101	110000 1010
K28.3	7C	011 11100	001111 0011	110000 1100
K28.4	9C	100 11100	001111 0010	110000 1101
K28.5	BC	101 11100	001111 1010	110000 0101
K28.6	DC	110 11100	001111 0110	110000 1001
K28.7	FC	111 11100	001111 1000	110000 0111
K23.7	F7	111 10111	111010 1000	000101 0111
K27.7	FB	111 11011	110110 1000	001001 0111
K29.7	FD	111 11101	101110 1000	010001 0111
K30.7	FE	111 11110	011110 1000	100001 0111

5. Ćwiczenia laboratoryjne

1. Badanie wpływu przesłuchów w kanale na jakość transmisji:
 - a) dla charakterystyki opisanej krzywą (domyślnej)
 - b) dla charakterystyki stałej

Sposób wykonania ćwiczenia:

- 1.1 Utworzyć nową symulację dla wybranego typu sieci.
- 1.2 Zapoznać się z poszczególnymi parametrami symulacji.
- 1.3 Wyłączyć przesłuchy (na odpowiedniej zakładce).
- 1.4 Przeprowadzić symulację z domyślnymi wartościami pozostałych parametrów.
- 1.5 Obejrzeć wyniki symulacji – przebiegi ciągów i sygnałów wejściowych i wyjściowych, wykres okowy i analizę błędów.
- 1.6 Zmienić warunki symulacji – włączyć przesłuchy.
- 1.7 Przeprowadzić symulację.
- 1.8 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 1.5.
- 1.9 Zmienić charakterystykę przesłuchów na stałą, równą maksymalnej wartości na krzywej.
- 1.10 Ponownie przeprowadzić symulację.
- 1.11 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 1.8.

Uwaga!

W celu przyspieszenia obliczeń można wyłączyć echo (odpowiednią zakładkę).

2. Badanie wpływu echa w kanale na jakość transmisji:
 - a) z minimalnym przesunięciem
 - b) z przesunięciem równym połowie długości trwania jednego bitu
 - c) z przesunięciem bliskim długości trwania jednego bitu

Sposób wykonania ćwiczenia:

- 2.1 Utworzyć nową symulację dla wybranego typu sieci.
- 2.2 Zapoznać się z poszczególnymi parametrami symulacji.
- 2.3 Ustawić przesunięcie echa na 0ns (na odpowiedniej zakładce).
- 2.4 Przeprowadzić symulację.
- 2.5 Obejrzeć wyniki symulacji – przebiegi ciągów i sygnałów wejściowych i wyjściowych, wykres okowy i analizę błędów (zwrócić uwagę na kształt sygnałów wyjściowych).
- 2.6 Zmienić warunki symulacji – ustawić minimalną wartość przesunięcia echa (1ns).
- 2.7 Przeprowadzić symulację.
- 2.8 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 2.5.

-
- 2.9 Zmienić warunki symulacji – ustawić wartość przesunięcia echa równą połowie czasu trwania jednego bitu (dla sieci Ethernet – 25ns; dla sieci Fast/GigaEthernet – 4ns).
 - 2.10 Przeprowadzić symulację.
 - 2.11 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 2.8.
 - 2.12 Zmienić warunki symulacji – w opcjach kanału ustawić wartość przesunięcia echa bliską czasowi trwania jednego bitu (dla sieci Ethernet – 49ns; dla sieci Fast/GigaEthernet – 7ns).
 - 2.13 Przeprowadzić symulację.
 - 2.14 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 2.11.

Uwaga!

W celu przyspieszenia obliczeń można wyłączyć przesłuchy (odpowiednią zakładkę).

3. Szacowanie maksymalnej szybkości transmisji:
 - a) w idealnych warunkach transmisji (bez przesłuchów i bez echa)
 - b) w złych warunkach transmisji (z uwzględnieniem przesłuchów i przesuniętym echem)

Sposób wykonania ćwiczenia dla podpunktu a):

- 3.1 Utworzyć nową symulację dla wybranego typu sieci.
- 3.2 Zapoznać się z poszczególnymi parametrami symulacji.
- 3.3 Wyłączyć przesłuchy i echo (odpowiednie zakładki).
- 3.4 Przeprowadzić symulację.
- 3.5 Obejrzeć wyniki symulacji – przebiegi ciągów i sygnałów wejściowych i wyjściowych, wykres okowy i analizę błędów (zwrócić uwagę na wykres okowy, BER i procent czasu poprawnej transmisji).
- 3.6 Zmienić warunki symulacji – zwiększyć szybkość transmisji.
- 3.7 Przeprowadzić symulację.
- 3.8 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 3.5.
- 3.9 Powtarzać kroki 3.6, 3.7, 3.8 do momentu, gdy jakość transmisji spadnie poniżej wymaganego minimum ($BER \leq 10^{-8}$, procent czasu poprawnej transmisji $\geq 95\%$).

Sposób wykonania ćwiczenia dla podpunktu b):

Jest taki sam z tą różnicą, że w punkcie 3.3 należy włączyć przesłuchy (przyjąć domyślną charakterystykę) i włączyć echo (wartość przesunięcia – patrz ćwiczenie 2, punkt 2.12).

4. Wpływ ciągu wejściowego na jakość transmisji w sieci typu 100BaseTX (bez 4B/5B):

-
- a) ciąg wejściowy losowy
 - b) ciąg wejściowy w postaci samych zer
 - c) ciąg wejściowy w postaci samych jedynek

Sposób wykonania ćwiczenia:

- 4.1 Utworzyć nową symulację dla sieci 100BaseTX (bez 4B/5B).
- 4.2 Zapoznać się z poszczególnymi parametrami symulacji.
- 4.3 Wyłączyć przesłuchy (odpowiednią zakładkę).
- 4.4 Ustawić ciąg wejściowy – losowy.
- 4.5 Przeprowadzić symulację.
- 4.6 Obejrzeć wyniki symulacji – przebiegi ciągów i sygnałów wejściowych i wyjściowych, wykres okowy i analizę błędów (zwrócić uwagę na wykres okowy).
- 4.7 Zmienić warunki symulacji – ustawić ciąg wejściowy w postaci samych zer.
- 4.8 Przeprowadzić symulację.
- 4.9 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 4.5.
- 4.10 Zmienić warunki symulacji – ustawić ciąg wejściowy w postaci samych jedynek.
- 4.11 Przeprowadzić symulację.
- 4.12 Obejrzeć wyniki symulacji i porównać je do otrzymanych w punkcie 4.8.

Uwaga!

Ćwiczenie należy wykonywać z wyłączonymi przesłuchami.

5. Na podstawie tabel p.3.2 i p.3.3 ustalić który z odcinków badanego kabla spełnia wymogi kategorii 3, a który kategorii 5. Podać przyczyny niespełnienia wymogów odpowiedniej kategorii.

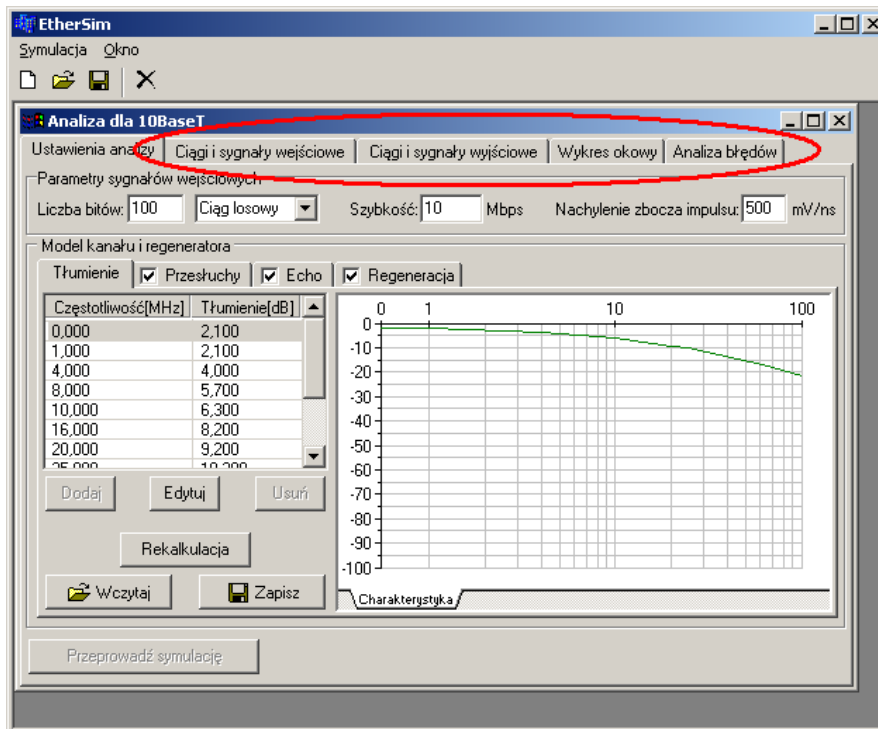
Przykład wykonania ćwiczenia nr 1.

Po uruchomieniu symulatora EtherSim należy wybrać interesujący nas typ sieci. Niniejszy przykład ćwiczenia wykonamy dla sieci 10BaseT:

Po utworzeniu nowej symulacji pojawi nam się główne okno symulacji, w którym możemy dokonywać zmiany ustawień poszczególnych parametrów. Parametry kanału (tłumienie, przesłuchy, echo) umieszczone są na osobnych zakładkach:

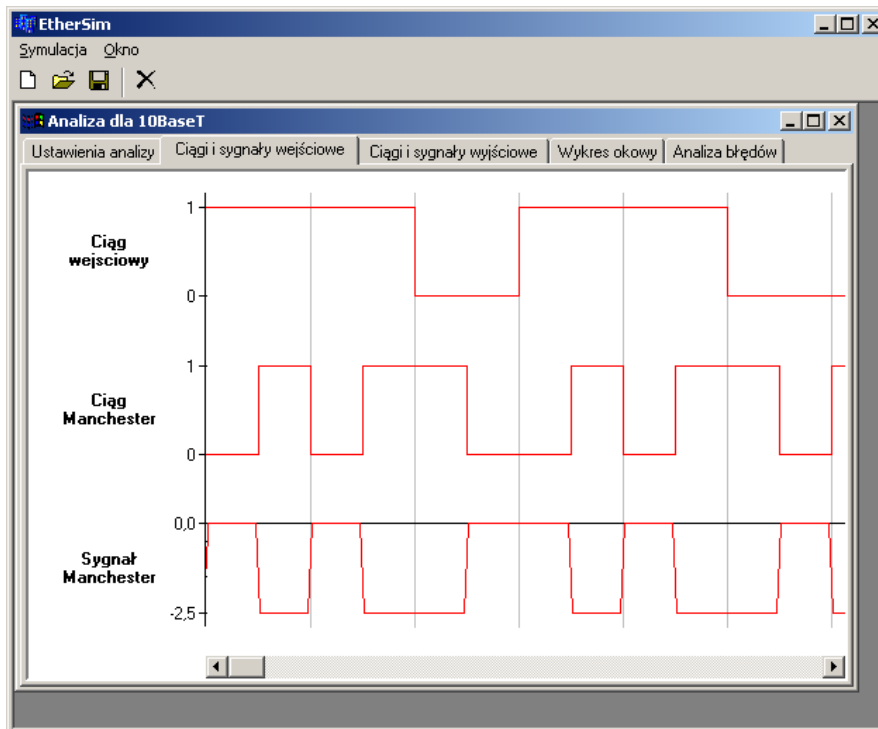
Następnym krokiem ćwiczenia jest wyłączenie przesłuchów, co sprowadza się do odznaczenia pola na odpowiedniej zakładce (zaznaczonej powyżej). Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie symulacji. Robi się to poprzez naciśnięcie przycisku „Przeprowadź symulację” znajdującym się na zakładce „Ustawienia analizy” (na

powyższym obrazku znajduje się on w dolnej części okna). Po przeprowadzeniu symulacji pojawią się dodatkowe zakładki w górnej części okna:

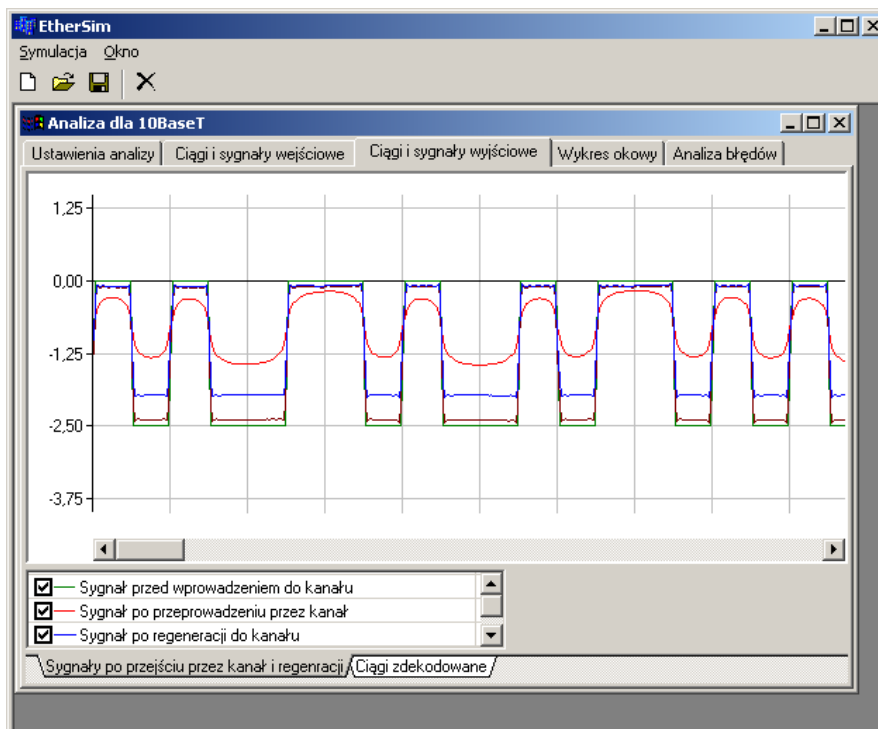


Przełączając się pomiędzy tymi zakładkami możemy obejrzeć wyniki symulacji:

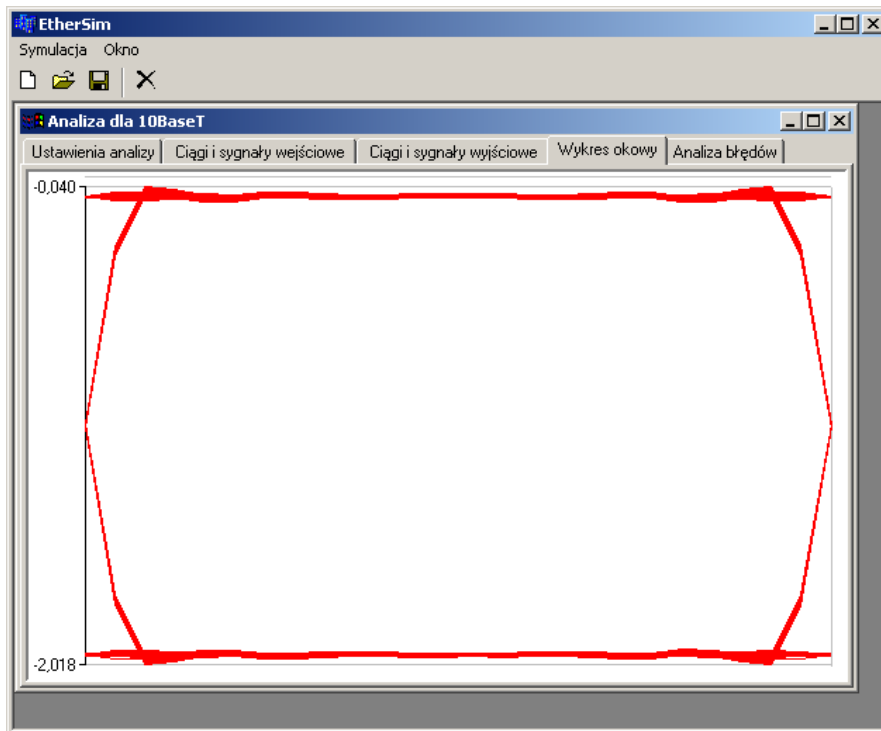
- ciągi i sygnały wejściowe:



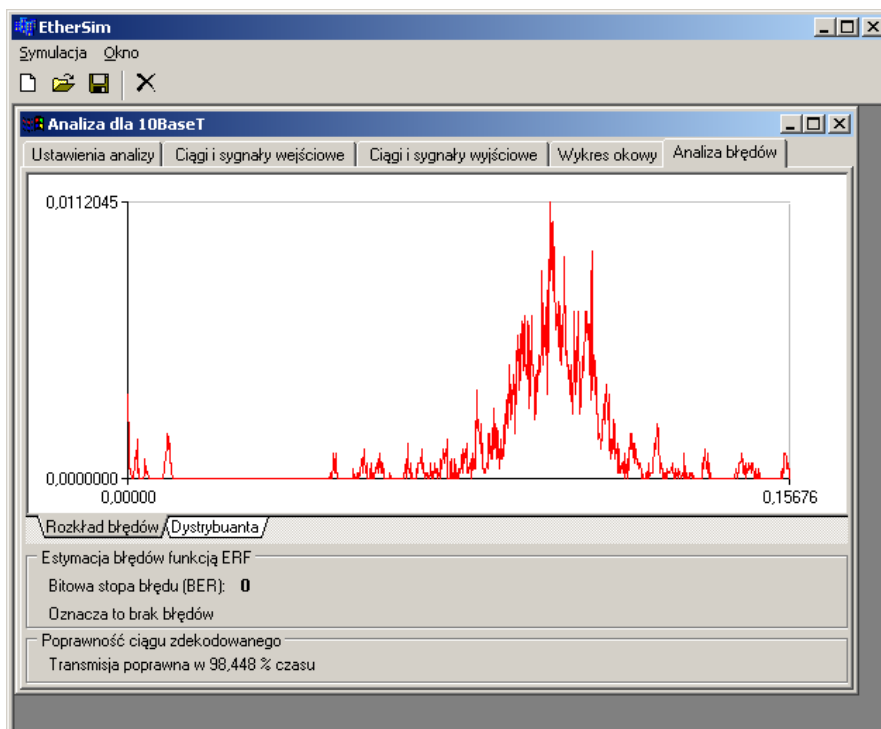
- ciągi i sygnały wyjściowe:



- wykres okowy:

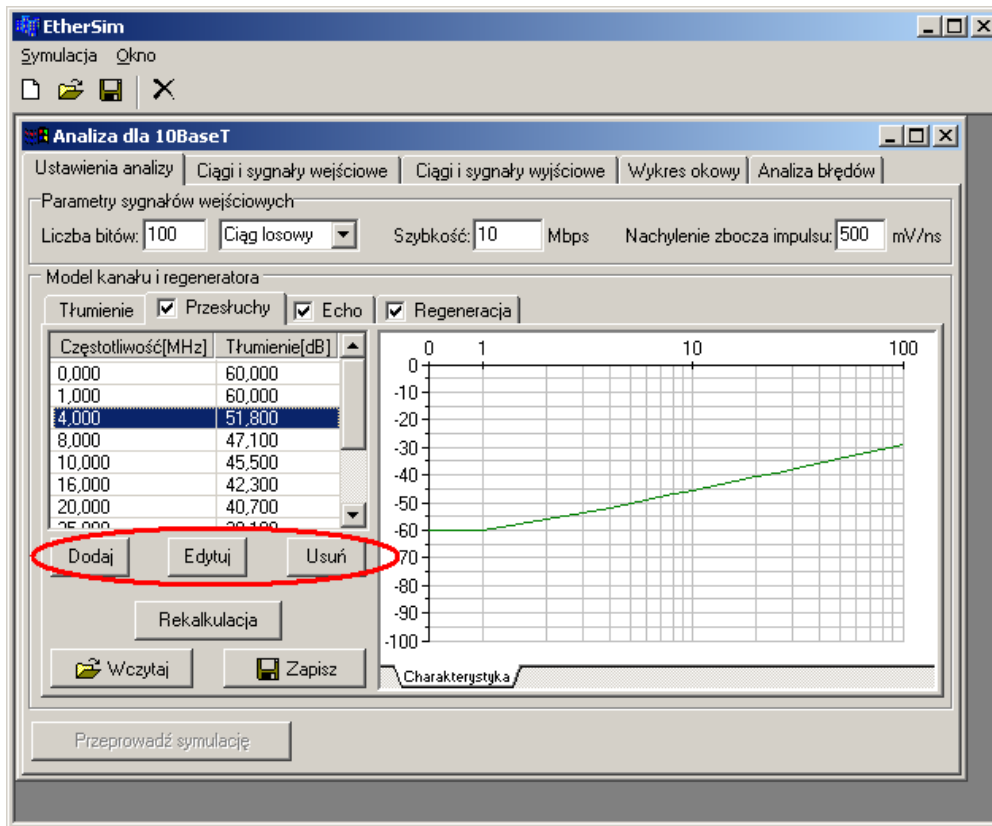


- analiza błędów:



Kolejnym krokiem ćwiczenia jest włączenie przesłuchów i ponowne przeprowadzenie symulacji. Dokonujemy tego na karcie „Ustawienia analizy”. Następnie obserwujemy wyniki symulacji w sposób analogiczny do opisanego powyżej. Dalej przechodzimy do punktu 1.9 ćwiczenia. Na zakładce z ustawieniami parametrów przesłuchu

(znajdującej się na karcie „Ustawienia analizy”) dokonujemy zmiany kształtu charakterystyki (za pomocą przycisków „Dodaj”, „Edytuj” i „Usuń”):



Po dokonaniu zmian charakterystyki przesłuchów wykonujemy nową symulację (przyciskiem „Przeprowadź symulację”), po czym przechodzimy do kolejnego etapu – obserwacji wyników i wyciągania wniosków.