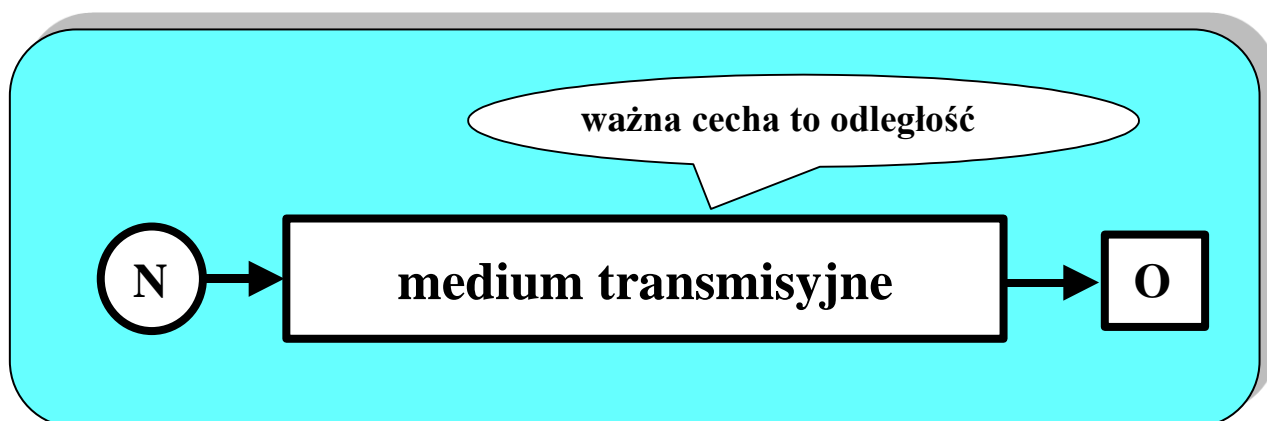


Media transmisyjne i wielkości określające ich cechy

Z najprostszej definicji **TELEKOMUNIKACJI** wynika iż dla jej realizacji wykorzystujemy rozprzestrzeniającą się falę elektromagnetyczną (falę optyczną). Fala ta może rozprzestrzeniać się w różnych ośrodkach oraz w różnorodny sposób zrealizowanych strukturach prowadzących fale, nazywanych **przewodnikami**.

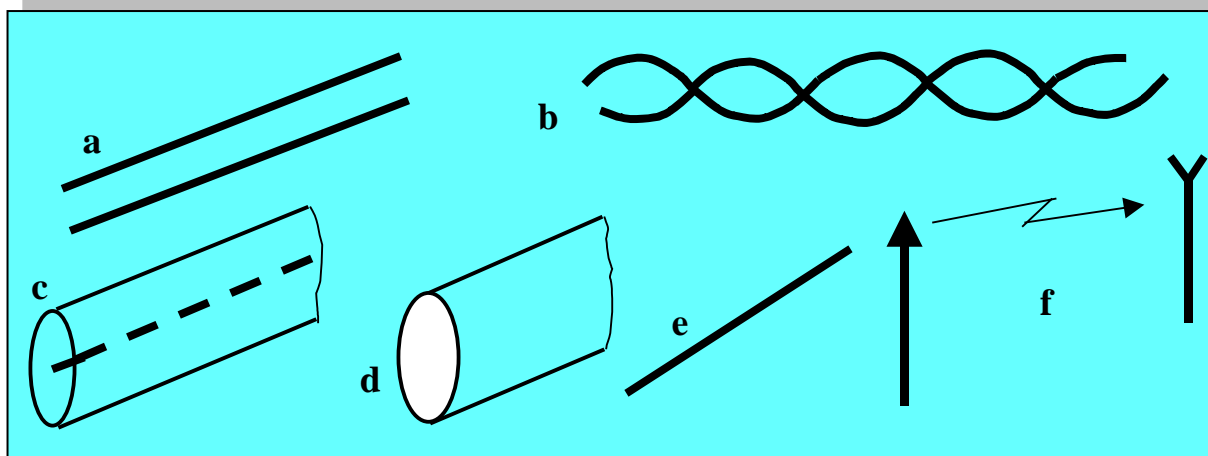
Ich zasadniczym przeznaczeniem jest **pośredniczenie** między **źródłem informacji** przekształconej w sygnał a **odbiorcą informacji**. Jest to zatem coś co **pośredniczy**, coś co jest pomiędzy. Stąd mówimy, że mamy **medium**. Z faktu nadawania informacji w postaci sygnału przenoszonego przez falę elektromagnetyczną czyli transmisji mówimy o medium transmisyjnym.



W telekomunikacji stosuje się różne **rodzaje mediów** transmisyjnych:

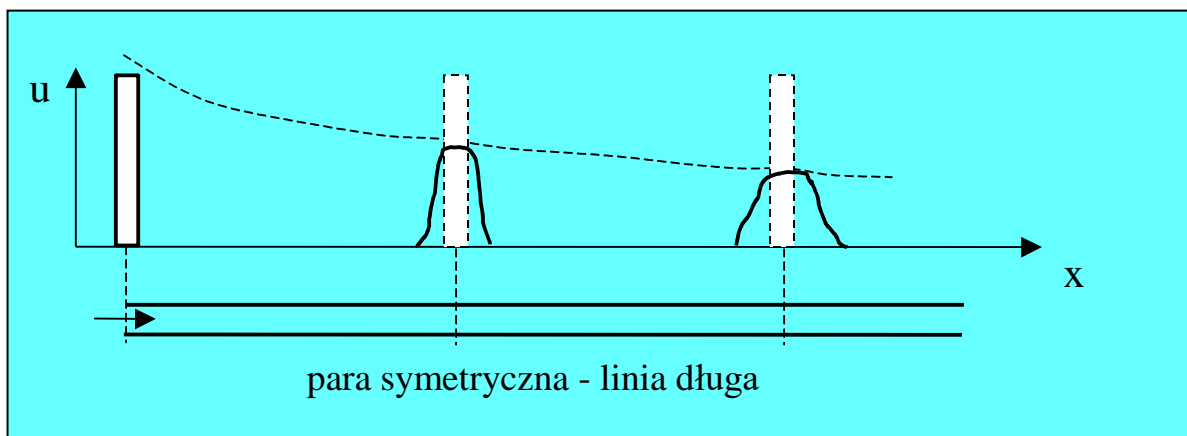
- a) **para symetryczna** - dwa równoległe przewody,
- b) **skrętka** - dwa izolowane przewody skręcone w odpowiedni sposób,
- c) **kabel współosiowy** - jeden przewód dokładnie otoczony przez odizolowany drugi przewód, np. w postaci siatki drucianej, rury,
- d) **falowód** - metalowa rura o różnorodnych przekrojach,
- e) **światłowód** - nić wykonana z kwarcu z odpowiednimi domieszkami,
- f) **wolna przestrzeń** – fale radiowe w wolnej przestrzeni.

Prowadnice te dzielimy na otwarte i zamknięte. Zamknięte tzn. takie, które są izolowane od otaczającej ich przestrzeni.



Chcemy opisać właściwości prowadnicy, która łączy dwa urządzenia - nadajnik N i odbiornik O. Opisać właściwości tzn. podać wyrażenia matematyczne, które umożliwiają określenie kształtów przebiegów napięcia i prądu (wektorów E i H pola) w dowolnym miejscu prowadnicy i w dowolnym czasie - jeżeli tylko znamy ich przebieg na wejściu prowadnicy.

Jako przykład weźmy parę symetryczną na której wejście podano impuls. Otóż **impuls ten po przejściu przez tę linię** będzie miał zmienioną **amplitudę** (na skutek **tłumienia**) oraz **kształt** (na skutek **dyspersji**).



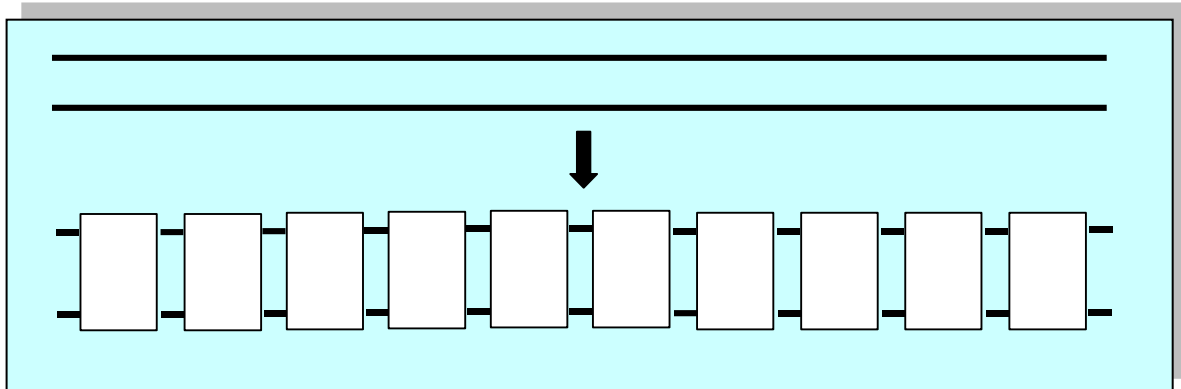
W **przypadku idealnej linii** amplituda i kształt w dowolnym punkcie są takie same.

Dla **linii stratnej** amplituda maleje w sposób **wykładniczy** a szerokość impulsu jest zachowana.

W przypadku **linii z dyspersją** następuje **rozmycie** kształtu impulsu.

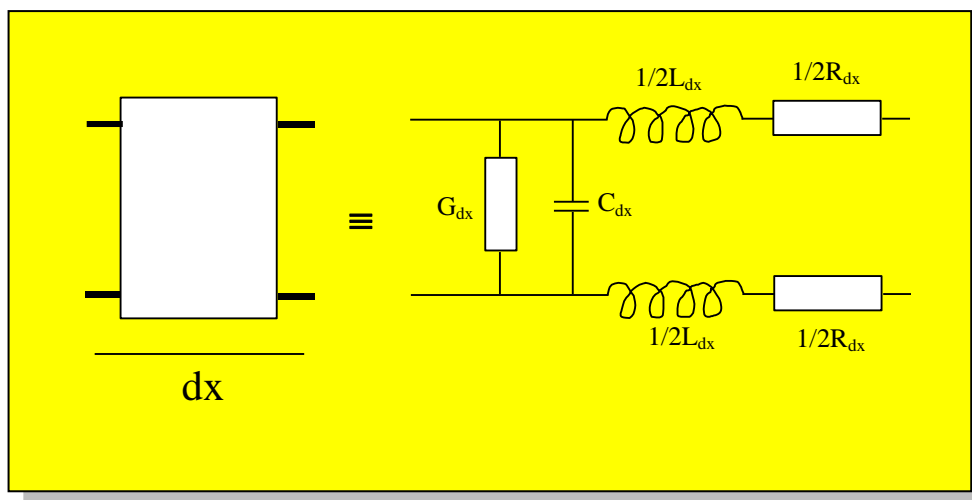
Na **ogół linie wykazują** straty oraz dyspersję i wówczas mamy sytuację przedstawioną na rysunku.

Chcąc opisać linię długą **tworzymy jej model** w postaci ciągu czwórników połączonych szeregowo.



Każdy z tych **czwórników** ma identyczny schemat **składający** się z **elementów skupionych**, tzn. indukcyjności L , pojemności C , rezystancji R i konduktancji G odcinka o długości dx .

Schemat czwórnika przedstawiono na rysunku.



Dla przypadku linii bezstratnej (G i R są równe zero) można napisać następujące równania na zmianę napięcia i prądu wzdłuż odcinka dx

$$\frac{\partial u}{\partial x} = L_1 \cdot \frac{\partial i}{\partial t},$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = C_1 \cdot \frac{\partial u}{\partial t},$$

gdzie L_1 i C_1 to indukcyjność i pojemność jednostkowa linii (np. na km długości). Gdy z równań wyeliminujemy np. prąd to otrzymamy równanie

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = L_1 C_1 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} ,$$

które pokazuje **współzależność zmian napięcia wzdłuż linii ze zmiennością w czasie**. Równanie to opisuje rozchodzenie się zaburzenia wzdłuż linii, a jego **prędkość** wynosi

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

Z kolei współczynnik proporcjonalności między zmianami napięcia i zmianami prądu nazywany **impedancją** i dla linii długiej nazywa się **impedancją charakterystyczną** tej linii a wyrażona jest ona przez wzór

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$$

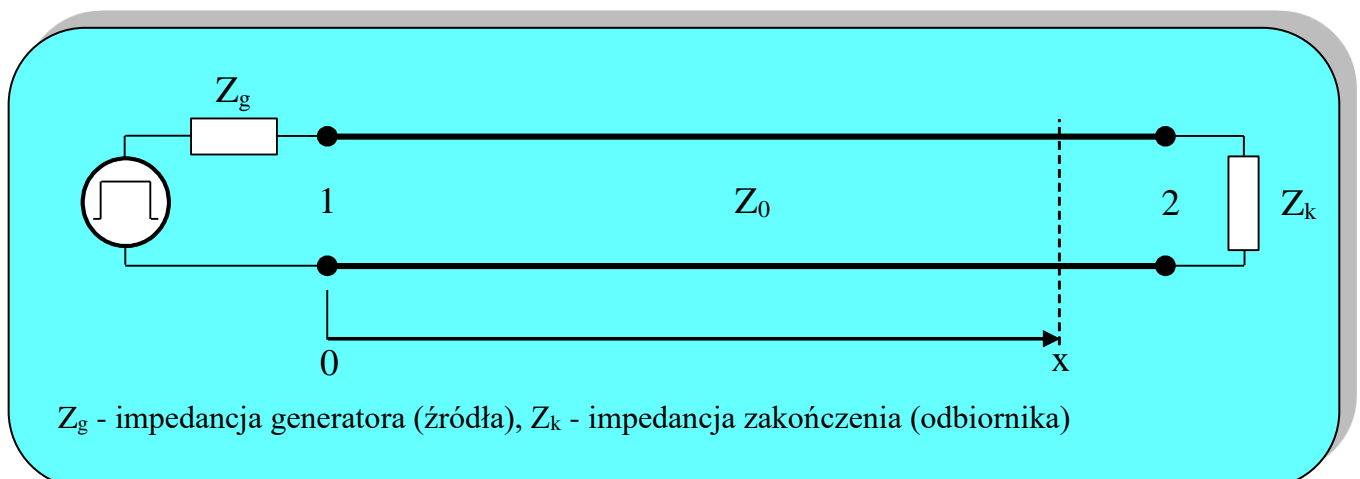
Typowe wartości Z_0 to 50, 75, 120, 150 i 600 Ω .

W **rzeczywistej linii** zarówno R jak i G nie są równe zero z uwagi na straty i wówczas mamy następujący wzór na impedancję charakterystyczną (dla sygnału sinusoidalnego, $\omega = 2\pi f$, gdzie f jest częstotliwością sygnału) określa wzór

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_1 + j\omega L_1}{G_1 + j\omega C_1}} .$$

Do opisu sygnału wzdłuż linii wykorzystuje się **stałą propagacji**

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R_1 + j\omega L_1) \cdot (G_1 + j\omega C_1)} .$$



Zmiany napięcia wzdłuż linii można zapisać następująco

$$U(x) = U(0) \cdot e^{-\gamma \cdot x} = U(0) \cdot e^{-\alpha \cdot x} \cdot e^{-j\beta \cdot x}$$

Parametr α (stała tłumienia) opisuje tłumienie amplitudy wzdłuż linii natomiast parametr β (stała fazowa) opisuje szybkość zmian fazy wzdłuż linii i jest związany z szybkością rozchodzenia się fali następującą zależnością (λ - długość fali)

$$\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Stale te wyraża się odpowiednio w **neperach** (**decybelach**) oraz **radianach** na jednostkę długości, którą najczęściej jest metr.

Neper [N] jest jednostką logarytmiczną, a tłumienie w neperach określa się z wzoru

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1} = \ln \frac{U_2}{U_1} [N],$$

natomiast decybel [dB] jest także jednostką logarytmiczną, a tłumienie oblicza się z wzoru

$$A = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 20 \log \frac{U_2}{U_1} [dB],$$

przy czym przy napięciach należy pamiętać, że porównywane napięcia występują na tych samych impedancjach!!!

Przykładowe wartości tłumienia:

- **kabel współosiowy do Ethernetu** o średnicy 4.65 mm:
3.24dB/100m dla 5MHz,
4.59dB/100m dla 10MHz,
22dB/100m dla 100MHz,
- **skrętka telekomunikacyjna**:
2.62dB/100m dla 1MHz,
6.7dB/100m dla 10MHz,
- **kabel CATV** 27dB/100m dla 900MHz.

- **skrętka komputerowa:**
mamy aktualnie siedem kategorii (klas) z których kategoria 7A (F_A) mają pasmo do 1GHz.

Tłumienie jest funkcją częstotliwości i rośnie w przybliżeniu proporcjonalnie do pierwiastka z częstotliwości, a jego wartość zależy od konstrukcji przewodnicy falowej.

Podobnie impedancja charakterystyczna Z_0 zmienia się wraz z częstotliwością.

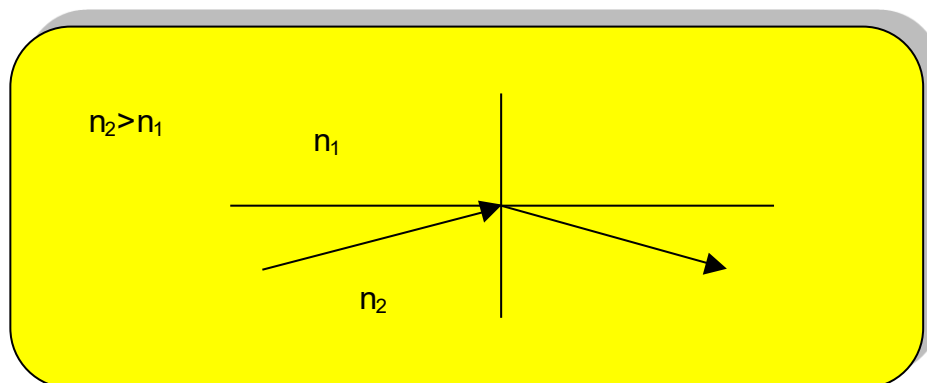
Typowe wartości parametrów jednostkowych linii długiej:

- **indukcyjność** - 0.4-0.8mH/km,
- **pojemność** - 20-40nF/km,
- **rezystancja** - 40-120 Ω /km,
- **konduktancja** - 0.0001-0.7 μ S/km (silnie zależy od częstotliwości).

Uwaga!!!

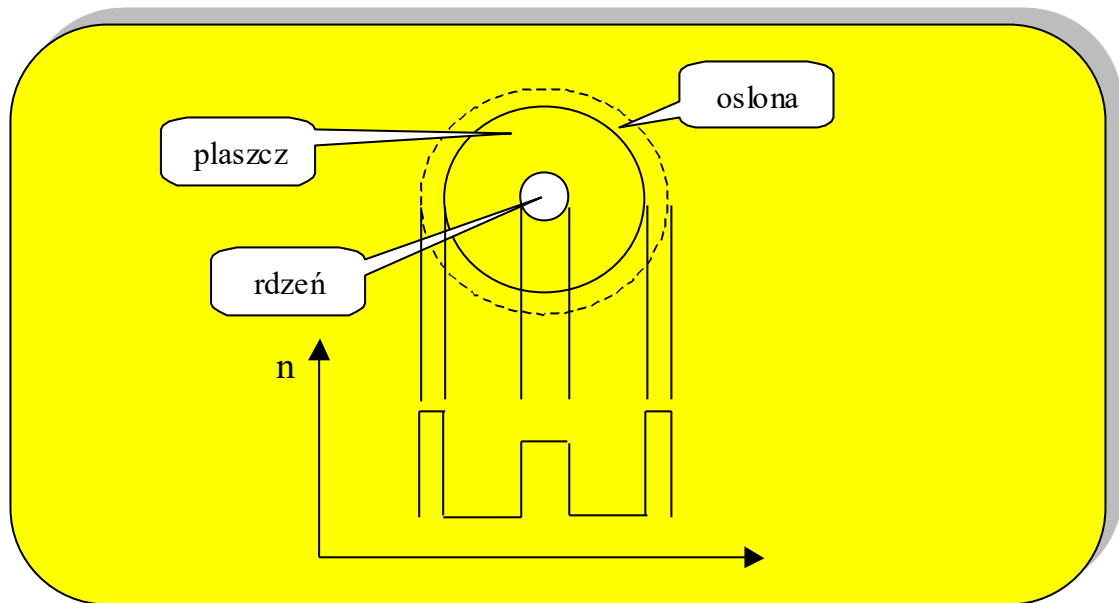
Do tego aby kierować przepływ energii fali elektromagnetycznej nie jest niezbędny metal.

Otóż fala elektromagnetyczna padająca na granicę dwóch dielektryków ulega odbiciu jeżeli będą spełnione określone warunki co do kąta padania i relacji współczynników załamania.



To zjawisko wykorzystano konstruując światłowód. Jest to nić z kwarcu z odpowiednimi domieszkami kształtującymi współczynnik załamania w przekroju tej nici.

Zewnętrzna średnica nici (plaszcz) wynosi $125\mu\text{m}$.

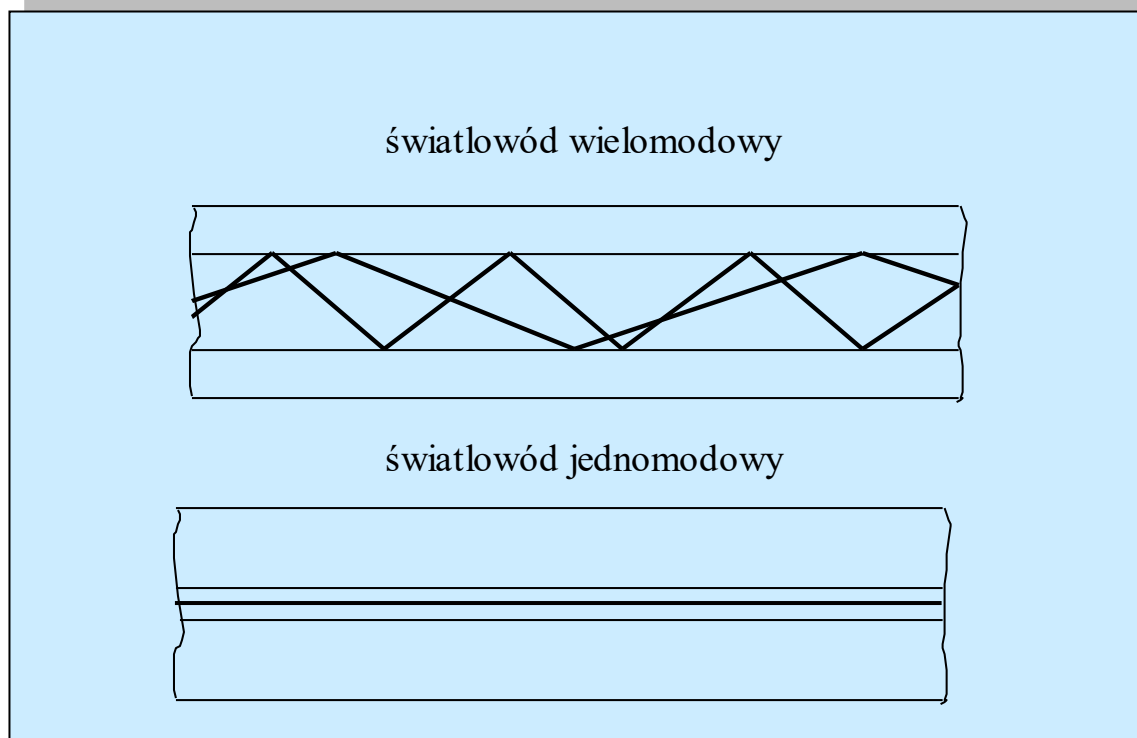


Profile współczynnika załamania mogą mieć różny kształt. Uzyskuje się wówczas różne cechy światłowodu.

Średnica **rdzenia** dla światłowodów:

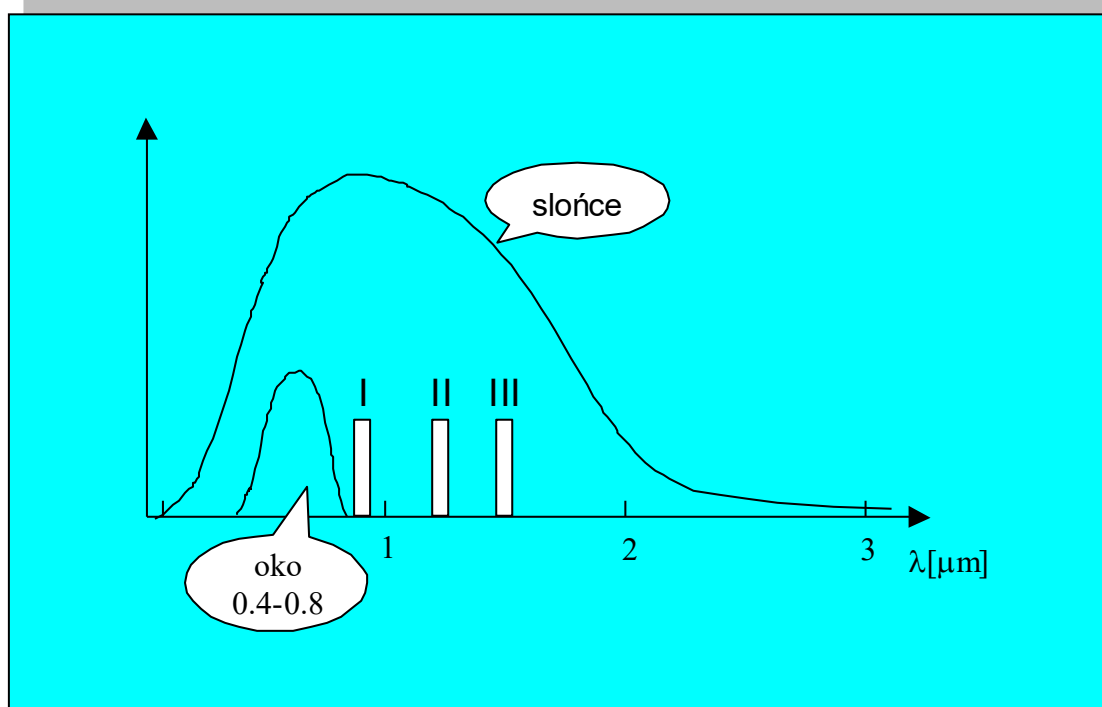
- **wielomodowych** wynosi 50, 62 lub $120\mu\text{m}$,
- **jednomodowych** wynosi 8- $10\mu\text{m}$.

Oprócz światłowodów kwarcowych stosuje się **światłowody plastikowe** (plastomerowe), które mają znacznie gorsze właściwości transmisyjne ale są za to tanie.



Właściwości transmisyjne tego medium są silnie zależne od długości fali i wykazują **minima tłumienia**. Stąd też wyróżnia i wykorzystuje się **trzy okna** nazwane w kolejności:

- **pierwszym oknem** w zakresie długości fal $0.85\mu\text{m}$ (850nm),
- **drugim oknem** w zakresie długości fal $1.31\mu\text{m}$ (1310nm),
- **trzecim oknem** w zakresie długości fal $1.55\mu\text{m}$ (1550nm).



Uzyskiwana **tlumienność** dla poszczególnych okien wynosi:

- w pierwszym jest mniejsze od **3dB/km**,
- w drugim jest mniejsze od **0.4dB/km**,
- w trzecim jest mniejsze od **0.2dB/km**.

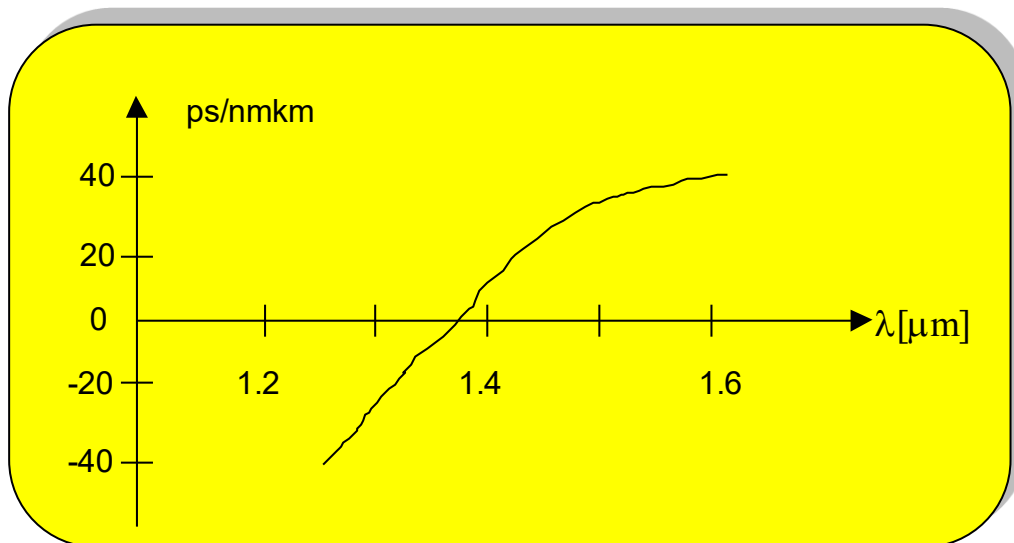
Tlumienność spawu światłowodu jest mniejsza od **0.1dB**, a **złącza** jest mniejsza od **1dB**. Konieczność spawania (lub klejenia) światłowodów wynika z faktu iż technologicznie produkuje się kable o długości do 2km.

W przypadku światłowodów **oprócz tlumienności** sygnału bardzo istotną rolę odgrywa **dyspersja**, która ma istotny wpływ na zasięg transmisji. Wpływ ten jest **tym większy im krótszy jest impuls (dlaczego?)**. Z tą sytuacją mamy do czynienia w przypadku techniki światłowodowej.

Zatem im większa jest przepływność (przepustowość) systemu transmisyjnego tym większy wpływ na zasięg ma dyspersja i to ona głównie limituje zasięg systemu transmisyjnego.

Wartość i zmiany dyspersji w funkcji długości fali są zależne od profilu światłowodu i kształtowania współczynnika załamania.

Wartość dyspersji wyraża się ją w jednostce **ps** na **nm** na **km** – ps/nm km, a mówi ona nam o tym o ile ps zmieni się szerokość impuls na jednym km światłowodu jeśli szerokość linii widmowej światła wynosi jeden nm. Na wykresie przedstawiono przykładową krzywą dyspersji dla światłowodu skokowego.



Różne znaki dyspersji wykorzystuje się do jej kompensacji!!!

Gdzie leży istota problemu w transmisji sygnału poprzez medium transmisyjne?

Oczywiście **podstawowe przyczyny** zasięgu transmisji poprzez medium transmisyjne zostały wymienione, a są to:

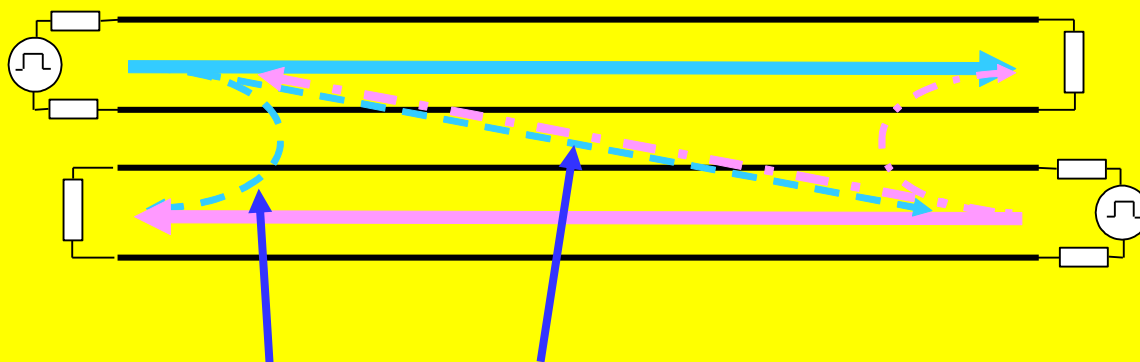
- **tlumiennosc**,
- **dyspersja**,

i wynikają one z właściwości samej przewodnicy.

Istnieją jednakże także inne przyczyny z których podstawowa to **obecność zakłóceń** generowanych w najbliższym otoczeniu przewodnicy. Ich znaczenie jest istotne w przypadku przewodnic otwartych.

Ich istota wynika z faktu, że chcemy jednocześnie realizować dużą liczbę połączeń i to poprzez media, które znajdują się w bezpośredniej bliskości, np. **kabel wieloparowy**. Wówczas okazuje się, że nie możemy zwiększyć energii sygnału tak aby był on na drugim końcu medium rozróżnialny spośród innych sygnałów przy założonej odległości nadajnika od odbiornika.

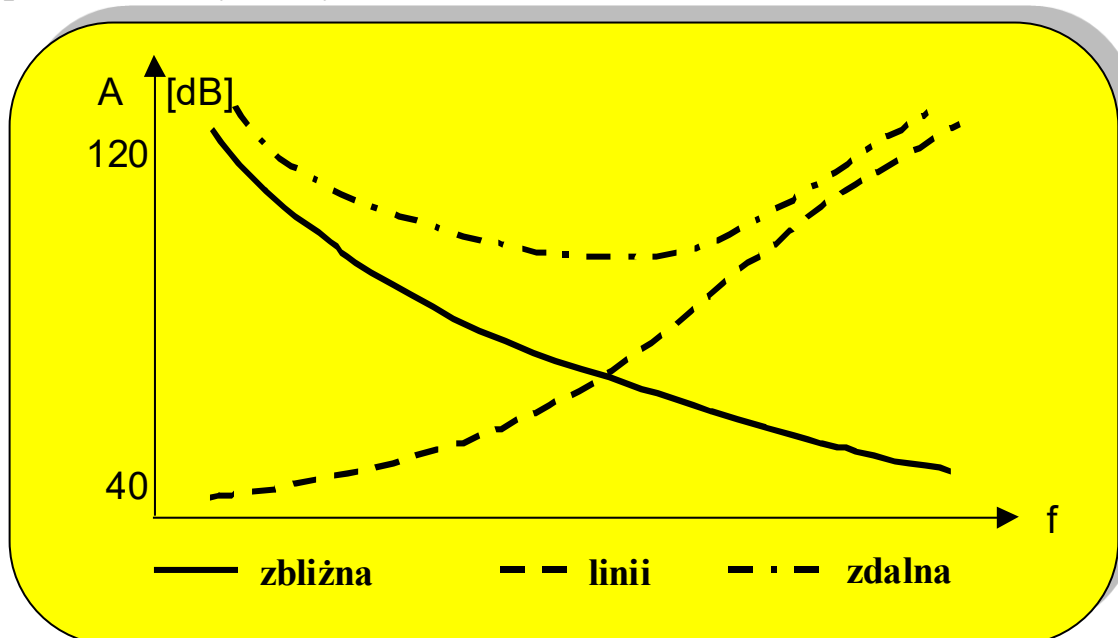
Jeżeli zatem rozważymy sytuację, że mamy dwie linie długie to wówczas na skutek tego, że pole elektromagnetyczne jednej linii jest na zewnątrz (nie zamierzone przez jej konstruktorów a wynikające z praw fizyki) a w bezpośredniej odległości znajduje się druga linia długa to energia tego pola przedostaje się do tej drugiej linii. To zjawisko ma miejsce na całej długości wzajemnie na siebie wpływających linii. Jeżeli tych linii jest więcej to takie wzajemne oddziaływanie jest między każdą parą linii. **Efekt końcowy jest taki, że w danej linii przenoszony jest nie tylko sygnał użyteczny ale także ten, który przeniknął do tej linii**. Jest to zjawisko niepożądane i powoduje ono w efekcie zmniejszenie zasięgu transmisji w medium transmisyjnym, gdyż zniekształca kształt sygnału użytecznego i jest traktowane jako zakłócenie.



Mamy tu przenik zbliżny i przenik zdalny.

Konstrukcja przewodnic powinna być taka **aby tłumienność** dla tych zjawisk była możliwie **duża**, tzn. przeniki były male.

Tłumienność przenikowa zależy od częstotliwości sygnału i jej przebieg został przedstawiony na wykresie.



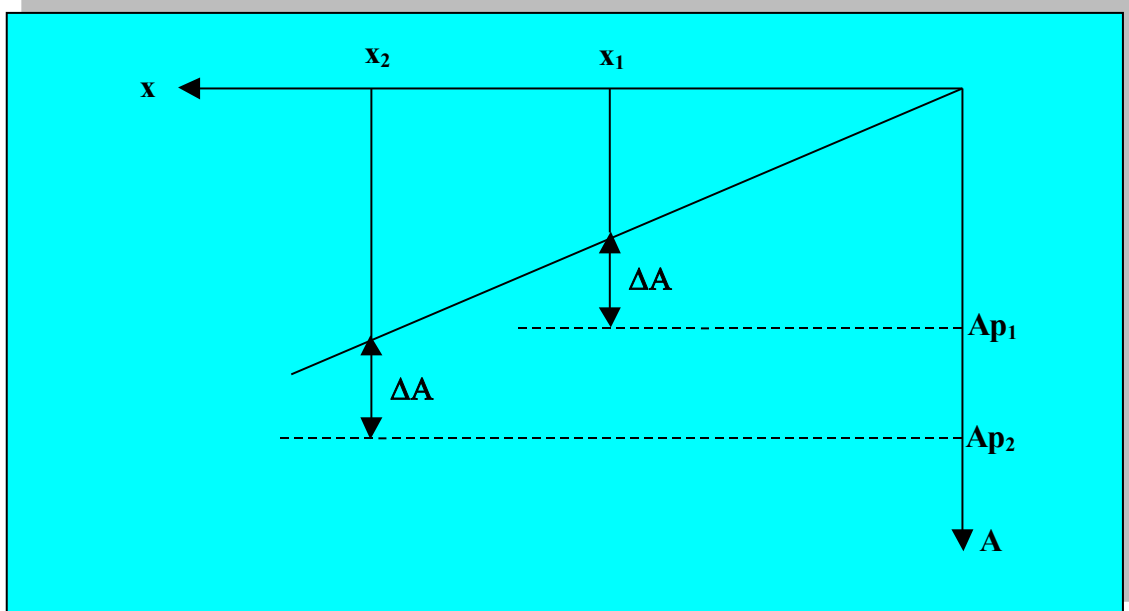
Dlaczego zjawisko przeniku a szczególnie zbliżnego jest tak istotne?

Otóż jeżeli rozważymy dwie linie, które w kablu znajdują się obok siebie i są wykorzystane tak jak to pokazano na poprzednim rysunku to **sygnał będący wynikiem przeniku zbliżnego powoduje znaczne obniżenie zasięgu transmisji.**

Wynika to z następujących faktów:

- **sygnał użyteczny** w linii 2 na swoim końcu **ma małą amplitudę** na skutek tłumienia wzdłuż linii,
- natomiast **sygnał przeniku zbliżnego ma stosunkowo dużą wartość** jak na sygnał zakłócający, szczególnie dla wyższych częstotliwości,
- aby poprawnie odtworzyć informację zawartą w sygnale użytecznym musi być **zachowana odpowiednia różnica między tymi sygnałami,**
- zatem **im większą wartość ma sygnał przeniku zbliżnego tym większą wartość musi mieć sygnał użyteczny** a to z kolei oznacza, że dopuszczalne tłumienie w linii dla sygnału użytecznego musi być mniejsze i tym samym przy danej stałej tłumienia α **długość linii czyli zasięg będzie mniejszy.**

Na kolejnym rysunku zobrazowano to zjawisko pokazując [przebieg zmian tłumienia w linii 2](#) w funkcji odległości jednocześnie zaznaczając dwa przypadki wartości tłumienności przenikowej A_p . ΔA jest to dopuszczalna minimalna różnica między tymi tłumiennościami na końcu linii umożliwiającą poprawny odbiór informacji.

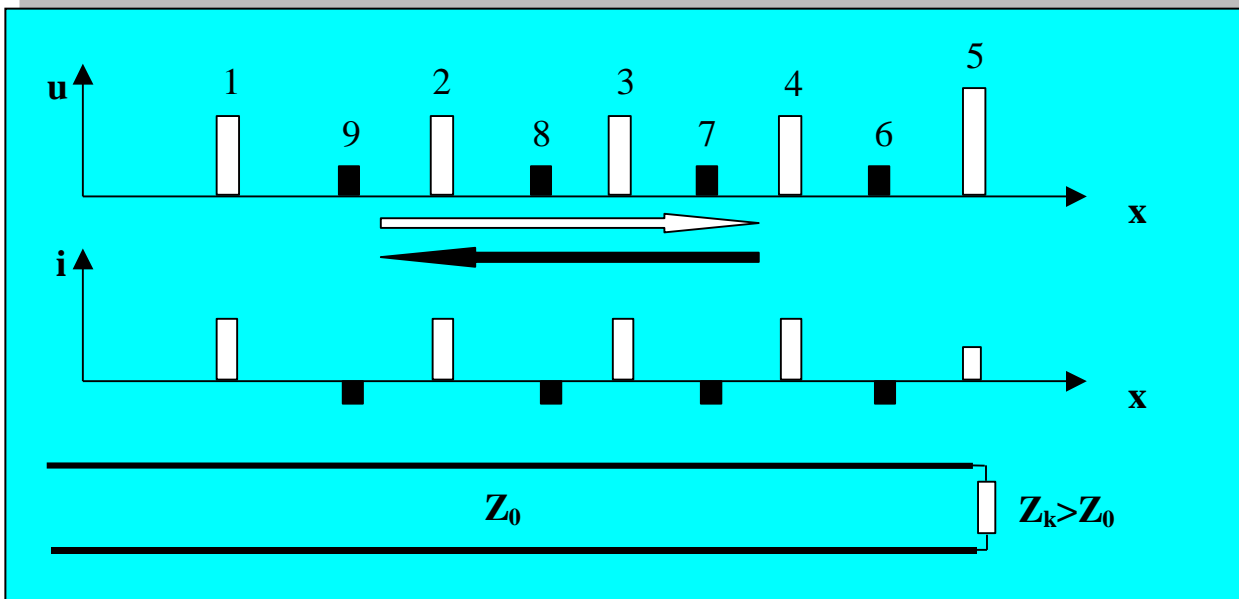


Innym niekorzystnym [zjawiskiem](#) jakie ma miejsce podczas transmisji sygnału w medium jest [powstanie fali odbitej](#) na skutek [niedopasowania impedancji](#) na końcach linii.

Fala która dociera do końca linii niesie jakąś energię. Stosunek napięcia i prądu (składowych E i H pola) w określonym punkcie przewodnicy zależy od impedancji w tym punkcie. Jeżeli fala dojdzie do punktu w którym z jednej strony mamy impedancję Z_0 a z drugiej strony impedancję Z_k to aby spełniony był ten warunek [powstaje fala odbita \(wtórna\) i to kosztem energii fali padającej \(pierwotnej\)](#). Zatem [nie cała energia](#) zostanie przekazana odbiornikowi. Jest to równoważne dodatkowemu słumieniu sygnału użytecznego. Fala odbita przemieszcza się w linii ale w kierunku przeciwnym i w każdym punkcie obie fale (pierwotna i wtórna) dają wypadkowe napięcie i prąd (składowe E i H pola). Jeżeli na wejściu linii także nie będzie dopasowanie impedancji to nastąpi kolejne odbicie i [w ten sposób w linii dojdzie do przemieszczania się kolejnych fal odbitych](#), których amplitudy są coraz mniejsze.

Przedstawiony na kolejnym rysunku przebieg dotyczy przemieszczania się jednego impulsu (biały impuls jest pierwotnym a czarny odbitym obserwowanym w różnych punktach linii długiej). W przypadku, gdyby w linii przemieszczał się ciąg impulsów to miałyby miejsce ich nakładanie i

tworzenie wypadkowego sygnału. Dla przejrzystości na rysunku nie przedstawiono tej sytuacji. Także założono, że stała tłumienia jest równa zero.



Jeżeli przez U^+ i U^- (I^+ i I^-) oznaczmy odpowiednio napięcie (prąd) fali padającej i odbitej w konkretnym punkcie to muszą być spełnione następujące zależności

$$\frac{U^+}{I^+} = \frac{U^-}{I^-} = Z_0 \quad \text{oraz} \quad \frac{U_k^+ + U_k^-}{I_k^+ + I_k^-} = Z_k$$

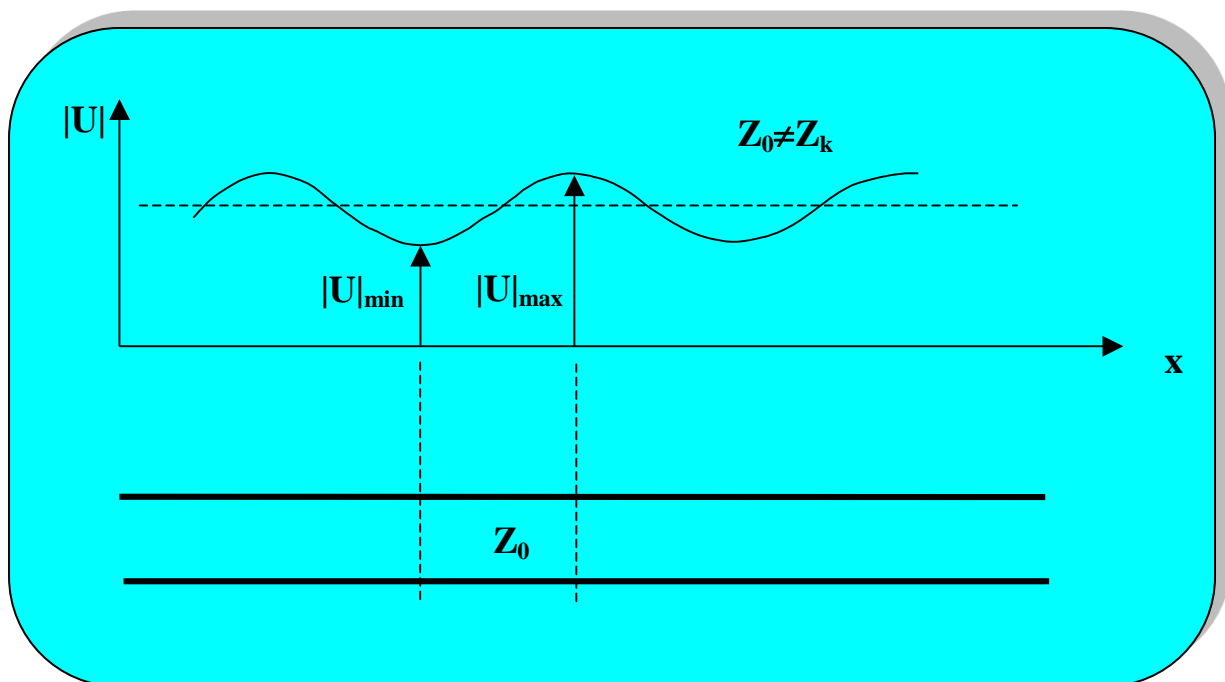
Dla opisu niedopasowania wprowadzono **współczynnik odbicia Γ** zdefiniowany następująco

$$\Gamma = \frac{U^-}{U^+} = \frac{Z_k - Z_0}{Z_k + Z_0}; \quad -1 \leq \Gamma \leq +1$$

Jeżeli przeprowadzimy podobne rozważania ale dla przypadku, gdy linia zostanie pobudzona sygnałem okresowym sinusoidalnym to, pomijając efekt początkowy, w linii będą sumowały się dwie fale - padająca i odbita.

W efekcie powstanie fala stojąca. W tej fali można wyróżnić maksimum i minimum amplitudy sygnału wypadkowego. Do opisu tej sytuacji wprowadzono pojęcie **współczynnika fali stojącej WFS** (oznaczanego także przez ρ).

$$\rho = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

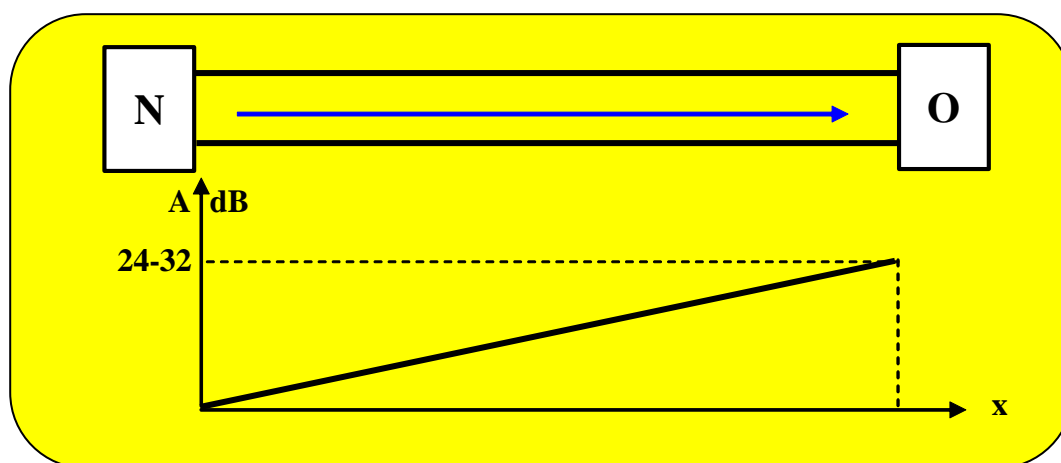


Ważną wielkością i jej wartością jest dopuszczalne tłumienie sygnału w medium. Otóż przyjęto jako wartość odniesienia:

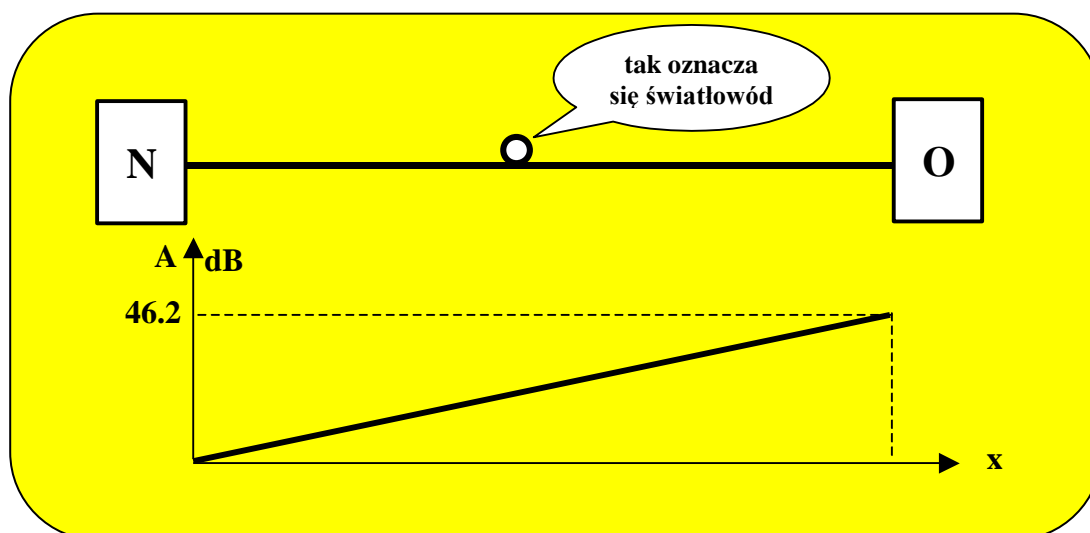
- moc sygnału równą 1 mW odbieraną na impedancji 600 Ω co odpowiada
- napięciu 775 mV i
- prądowi 1.29 mA.

Sygnałowi o tej mocy odpowiada poziom 0dBm i jest to poziom jaki posiada źródło mowy. Dodana do jednostki dB litera m czyli dBm właśnie informuje czytającego, że podany poziom odniesiony jest do mocy 1 mW.

W przypadku mediów opartych na przewodach maksymalne dopuszczalne tłumienie wynosi 24 - 32 dB. Proszę obliczyć jaka jest wówczas moc sygnału mowy na odbiorniku?



W przypadku linii światłowodowej dopuszczalne maksymalne tłumienie wynika z poziomu mocy źródła światła i czułości fotodiody. Wartości te wynoszą typowo odpowiednio -0.3 dBm i -46.5 dBm. Zatem tłumienie to wynosi 46.2 dB. Należy jednak pamiętać o tym, że zasięg transmisji w przypadku światłowodu jest głównie limitowany przez dyspersję.



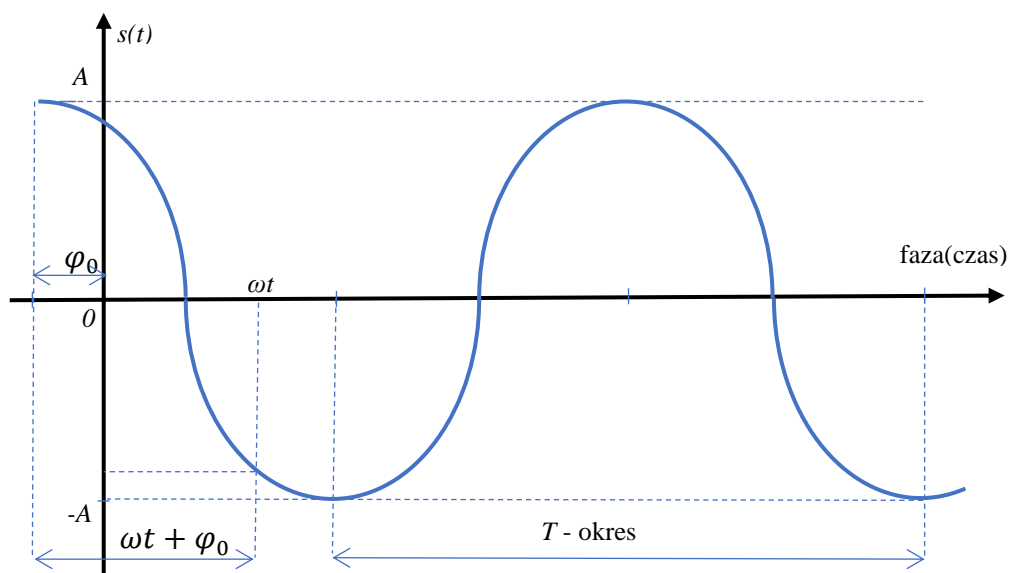
Dodatek A

Opis parametrów sygnału

1. Podstawowa forma opisu sygnału okresowego jest postaci

$$s(t) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0); \quad \omega = 2\pi f,$$

gdzie A to amplituda sygnału, f częstotliwość sygnału, $\varphi(t) = \omega t + \varphi_0$ faza sygnału, φ_0 faza początkowa. Przebieg tego sygnału można zobrazować graficznie.

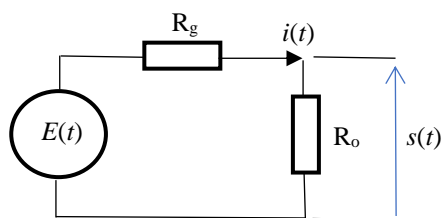


Okres T powiązany jest z częstotliwością f następującą zależnością $T=1/f$.

Wówczas faza $\varphi(t)=\omega t+\varphi_0=2\pi(t/T)+\varphi_0$.

Częstotliwość jest to liczba wystąpień okresów sygnału w jednej sekundzie. Jednostką częstotliwości jest Hertz [Hz] od nazwiska niemieckiego uczonego.

Jeżeli mamy taki sygnał w postaci źródła napięciowego $E(t)$ i podłączymy je do odbiornika, którym jest rezystancja R_o , to wówczas możemy napisać proste zależności.



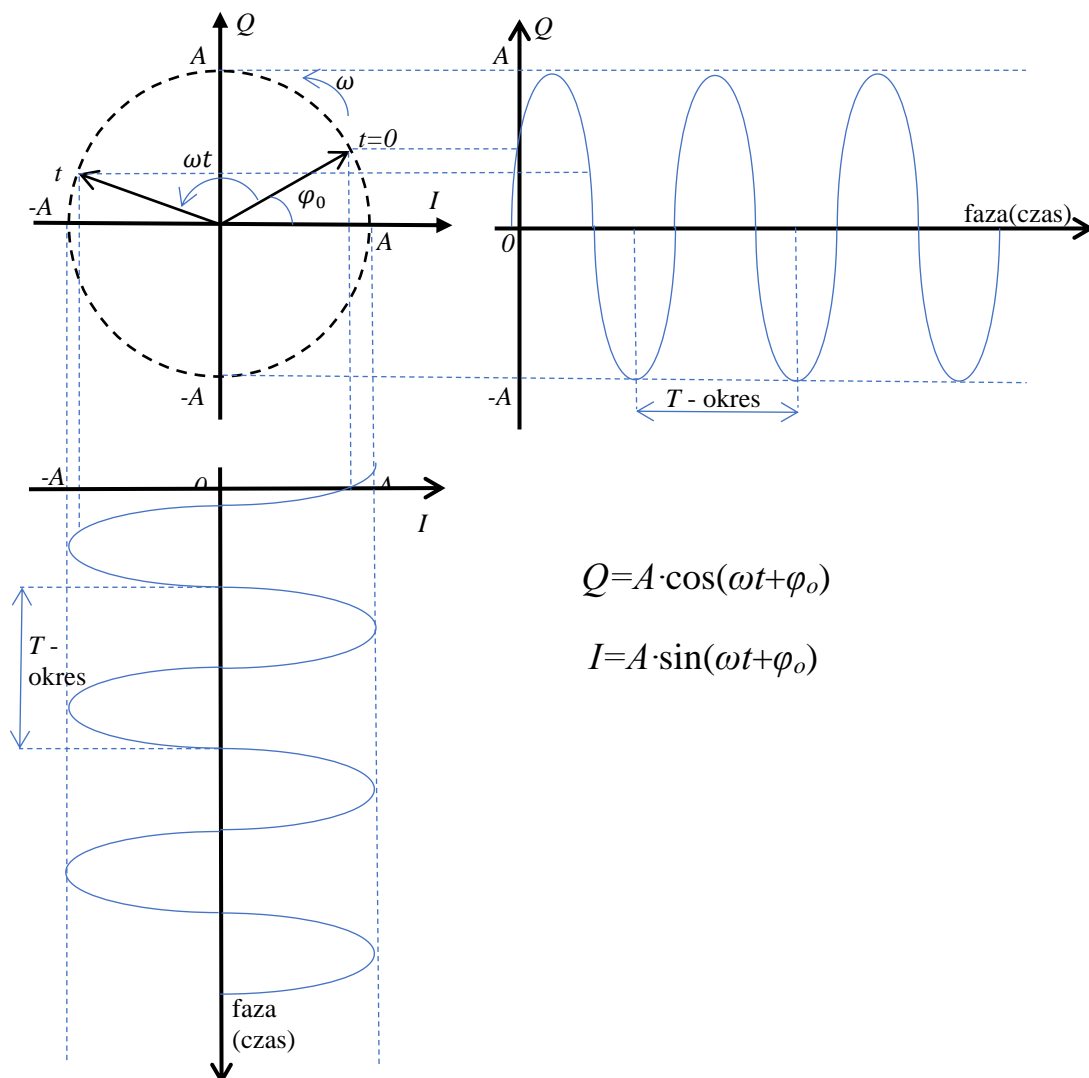
Prąd $i(t)$ w obwodzie elektrycznym obliczamy ze wzoru $i(t)=E(t)/(R_g+R_o)$.

Napięcie na odbiorniku określa wzór

$$s(t)=i(t) \cdot R_o=E(t) \cdot [R_o/(R_g+R_o)]$$

Moc na odbiorniku to $p(t)=s(t) \cdot i(t)=i^2(t) \cdot R_o = s^2(t)/R_o$

2. Prezentacja sygnału w oparciu o koło trygonometryczne (wskazowa).



Punkt na okręgu porusza się z prędkością kątową równą $\omega=2\pi f$ przeciwnie do wskazówek zegara. Rzut tego punktu na oś I daje nam funkcję cosinus, natomiast rzut na oś Q daje nam funkcję sinus. Obie o amplitudzie równej A . Jeden obrót po kole trwa czas T (okres) i odpowiada drodze kątowej równej 2π radianów. Droga kątowa jest fazą sygnału.

3. Prezentacja sygnału w postaci liczby zespolonej ma następującą formę

$$s(t) = A \cdot e^{j(\omega t + \varphi_0)}$$

a ponieważ

$$e^{j(\omega t + \varphi_0)} = \cos(\omega t + \varphi_0) + j\sin(\omega t + \varphi_0)$$

to

$$s(t) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) + jA \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Część rzeczywista tego sygnału (operator Re)

$$Re(s(t)) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$$

natomiast część urojona (operator Im)

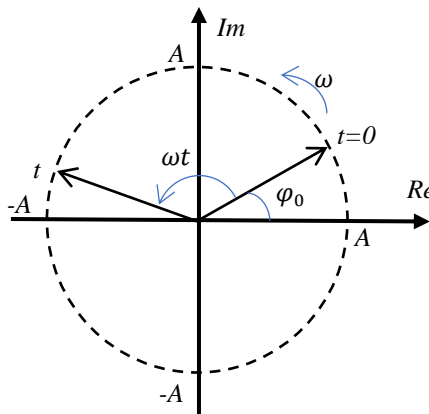
$$Im(s(t)) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Jak łatwo zauważyć przy porównaniu z prezentacją wskazową mamy tu następującą odpowiedniość

$$Re(s(t)) = I$$

oraz

$$Im(s(t)) = Q$$



Jeżeli mamy taki sygnał w postaci źródła napięciowego $E(t)$ i podłączymy je do odbiornika, którym jest impedancja $Z_o = R_o + jX_o$, to wówczas możemy napisać proste zależności, podobnie jak dla liczb rzeczywistych (w liczbach zespolonych

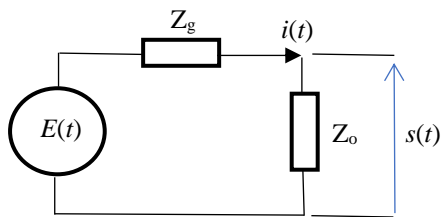
$j^2 = -1$ i czasami piszemy, że $j = \sqrt{-1}$; litera j wskazuje część urojoną liczby zespolonej).

Prąd $i(t)$ w obwodzie elektrycznym obliczamy ze wzoru $i(t) = E(t) / (Z_g + Z_o)$

Napięcie na odbiorniku określa wzór

$$s(t) = i(t) \cdot Z_o = E(t) \cdot [Z_o / (Z_g + Z_o)]$$

Moc na odbiorniku to $p(t) = s(t) \cdot i(t) = i^2(t) \cdot Z_o = s^2(t) / Z_o$



Dodatek B

Rodzaje i oznaczenia skrętki komputerowej

Sposób opisu skrętki komputerowej

określa norma **ISO/IEC 11801:2002**. Opis kabla komputerowego ma składnię xx/yyTP, gdzie yy - opis pojedynczej pary w kablu, xx - dotyczy całości kabla, TP - twisted-pair cable. Przyjmowane oznaczenia xx i yy:

- U – nieekranowane (ang. unshielded),
- F – ekranowane folią (ang. foiled),
- S – ekranowane siatką (ang. shielded),
- SF – ekranowane folią i siatką.

Typowe skrętki komputerowe:

- U/UTP – kabel i skrętka nieekranowana,
- F/UTP – skrętka nieekranowana, kabel foliowany,
- U/FTP – skrętka w osobnym ekranie z folii, kabel nieekranowany,
- F/FTP – skrętka w osobnym ekranie z folii, kabel w ekranie z folii,
- SF/UTP – skrętka nieekranowana, kabel w ekranie z folii i siatki,
- S/FTP – skrętka w osobnym ekranie z folii, kabel w ekranie z siatki,
- SF/FTP – skrętka w osobnym ekranie z folii, kabel w ekranie z folii i siatki.

Tab. B1. Normy i zalecenia stosowane przy instalacji okablowania

Kraj	Polska	Europa	USA	Świat
Norma	PN-EN 50173	EN 50173	TIA/EIA 568A	ISO/IEC 11801

Kategorie i klasy skrętki komputerowej

Tab. B2. Klasy skrętki według europejskiej normy EN 50173 oraz normy TIA/EIA 568A

TIA/EIA 568A	EN50173	Złącze	Zastosowanie	Pasma
kat. 1	Klasa A		Realizacja usług telefonicznych	do 100 kHz
kat. 2	Klasa B		Dla aplikacji głosowych i usług terminalowych	do 1 MHz
kat. 3	Klasa C	RJ11 RJ12 RJ45	Średnia szybkość bitowa, Ethernet 10Base-T	do 16 MHz
kat. 4	brak	RJ45	Średnia szybkość bitowa, Ethernet do 16 Mbit/s	do 20 MHz
kat. 5/5e	Klasa D	RJ45	Duża szybkość bitowa np. FastEthernet 100Base-TX, GigabitEthernet 1000Base-T	do 100 MHz
kat. 6	Klasa E	RJ45	Bardzo duża szybkość bitowa, np. ATM622, GigabitEthernet 1000Base-T	do 250 MHz
kat. 6A	Klasa E _A	RJ45	Bardzo duża szybkość bitowa, GigabitEthernet, 10-GigabitEthernet 10GBase-T	do 500 MHz
kat. 7	F	GG45, TERA	Przyszłościowe, 10GBase-T, transmisja wideo wysokiej jakości, współdzielenie kabla (3-play)	do 600 MHz
kat. 7A	F _A	GG45, TERA	Przyszłościowe, 10GBase-T, pełne pasmo CATV (862 MHz), współdzielenie kabla (3-play), także dla 40G i 100G	do 1GHz