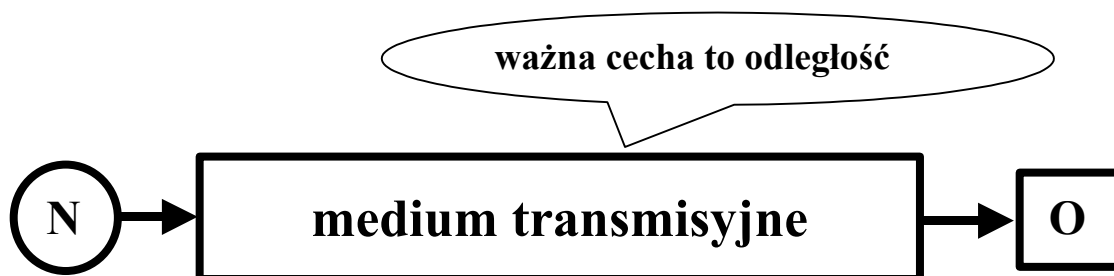


Media transmisyjne i wielkości określające ich cechy

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.

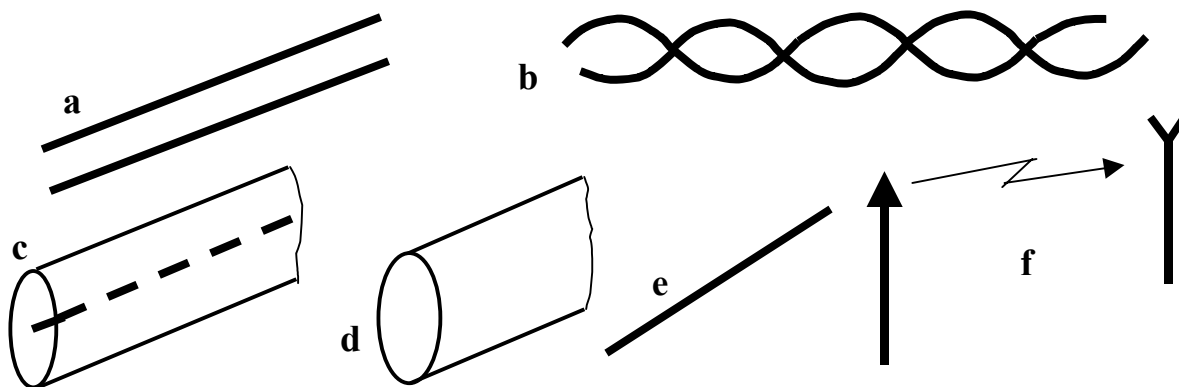
Ich zasadniczym przeznaczeniem jest pośredniczenie między źródłem informacji przekształconej w sygnał a odbiorcą informacji. Jest to zatem coś co pośredniczy, coś co jest pomiędzy. Stąd mówimy, że mamy medium. Z faktu nadawania informacji w postaci sygnału przenoszonego przez falę elektromagnetyczną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



W telekomunikacji stosuje się różne rodzaje mediów transmisyjnych:

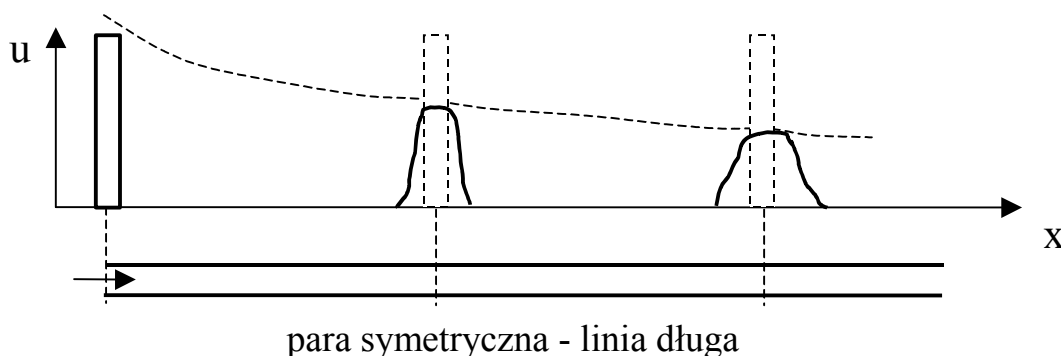
- a) para symetryczna - dwa równoległe przewody,
- b) skrętka - dwa izolowane przewody skręcone w odpowiedni sposób,
- c) kabel współosiowy - jeden przewód dokładnie otoczony przez odizolowany drugi przewód,
- d) falowód - metalowa rura o różnorodnych przekrojach,
- e) światłowód - nić wykonana z kwarcu z odpowiednimi domieszkami,
- f) wolna przestrzeń – przestrzeń fal radiowych.

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



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

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).



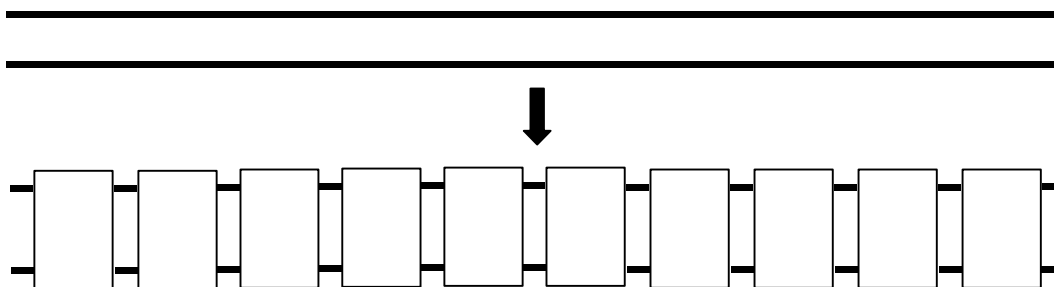
W przypadku idealnej linii amplituda i kształt w dowolnym punkcie są takie same.

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

W przypadku linii z dyspersją następuje rozmycie kształtu impulsu.

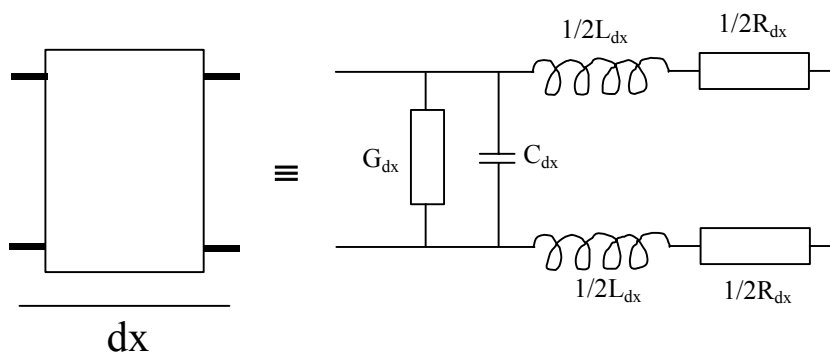
Na ogół linie wykazują straty oraz dyspersję i wówczas mamy sytuację przedstawioną na rysunku.

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, pojemności, rezystancji i konduktancji 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. Gdy z równań wyeliminujemy np. prąd to otrzymamy

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

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 dla linii długiej nazywa się impedancją charakterystyczną tej linii i wyrażony jest przez wzór

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

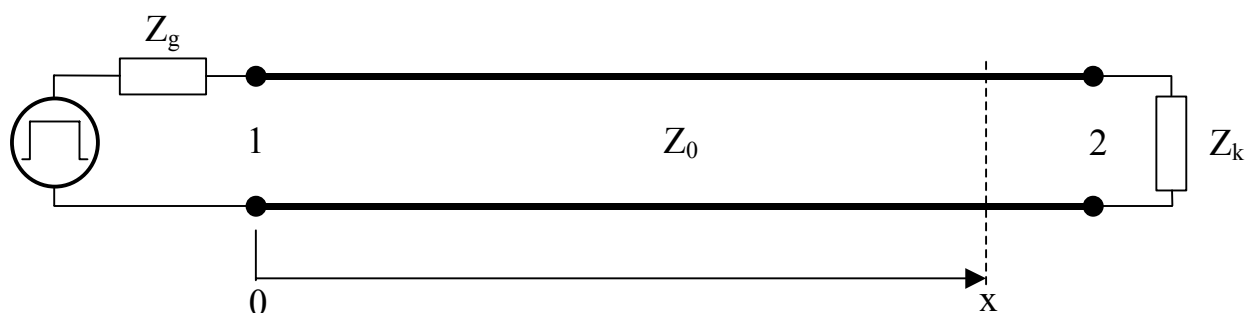
Typowe wartości Z_0 to 50, 75, 120, 150 i 600 Ω .

W rzeczywistej linii zarówno R jak i G nie są równe zero 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

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



Z_g - impedancja generatora (źródła), Z_k - impedancja zakończenia (odbiornika)

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.

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.

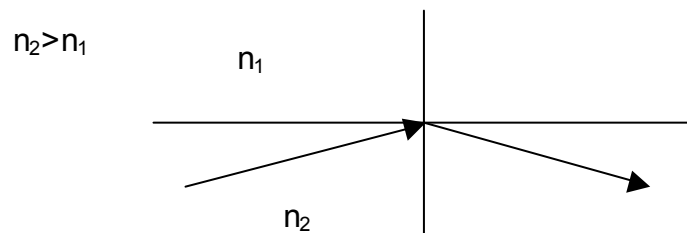
Typowe wartości parametrów jednostkowych linii długiej:

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

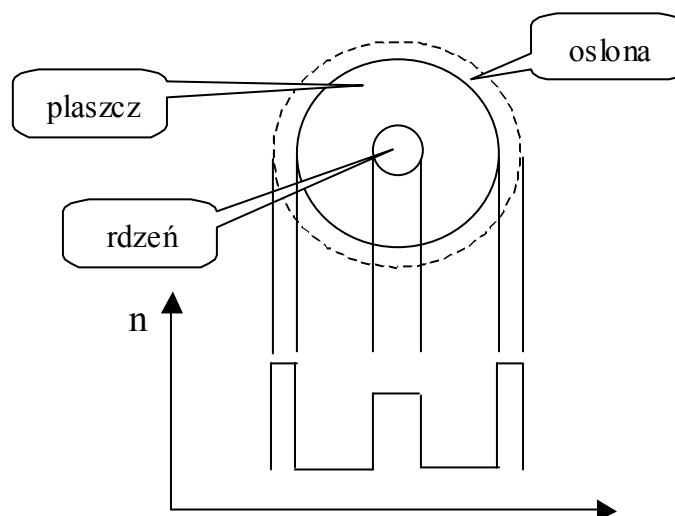
Uwaga!!!

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 (płaszcz) wynosi 125μm.



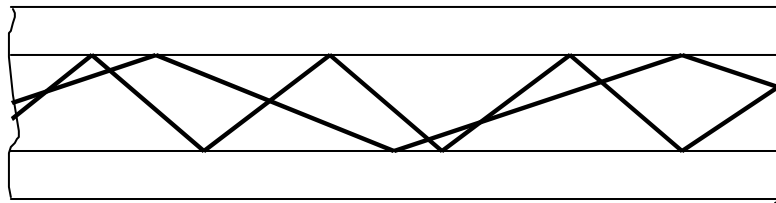
Profile współczynnika załamania mogą mieć różny kształt. Uzyskuje się wówczas różne cechy światłowodu.

Średnica rdzenia dla światłowodów:

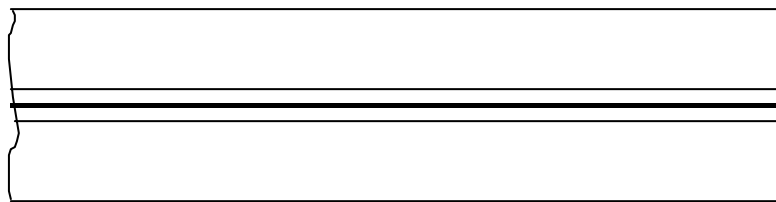
- wielomodowych wynosi 50, 62 lub $120\mu\text{m}$,
- jednomodowych wynosi $8\text{--}10\mu\text{m}$.

Oprócz światłowodów kwarcowych stosuje się światłowody plastikowe (plastomerowe) ale mają one znacznie gorsze właściwości transmisyjne ale są tanie.

światłowod wielomodowy

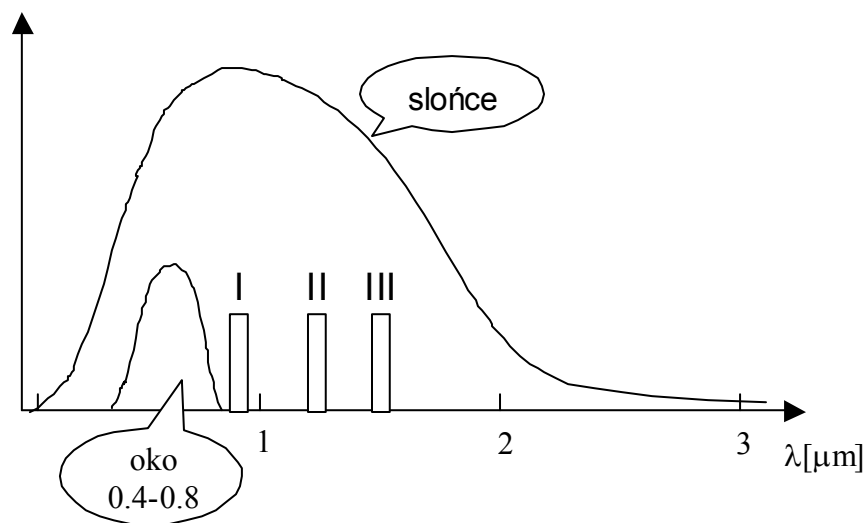


światłowod jednomodowy



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 tłumienność 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.

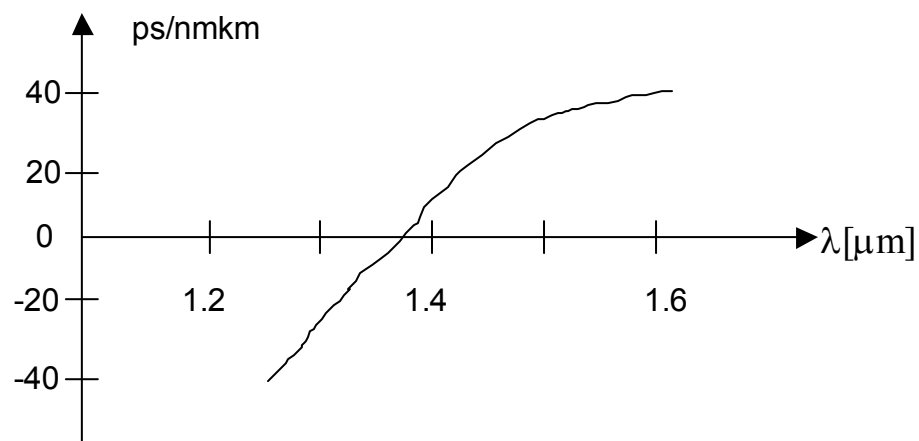
Tłumienność spawu światłowodu jest mniejsza od 0.1dB, a złącza jest mniejsza od 1dB. Konieczność spawania (lub klejenia) światłowodów wynika z faktu iż technologicznie produkuje się kable o długości do 2km.

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

Zatem im większa jest przepływność 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.

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.



Gdzie leży istota problemu w transmisji sygnału poprzez medium transmisyjne?

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

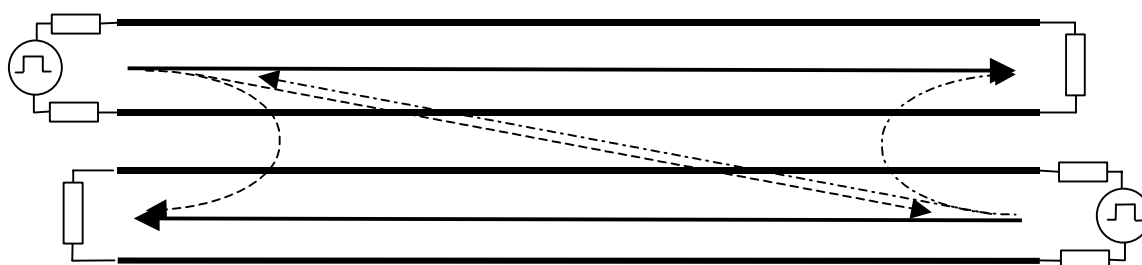
- tłumienność,
- dyspersja,

i wynikają one z właściwości samej prowadnicy.

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

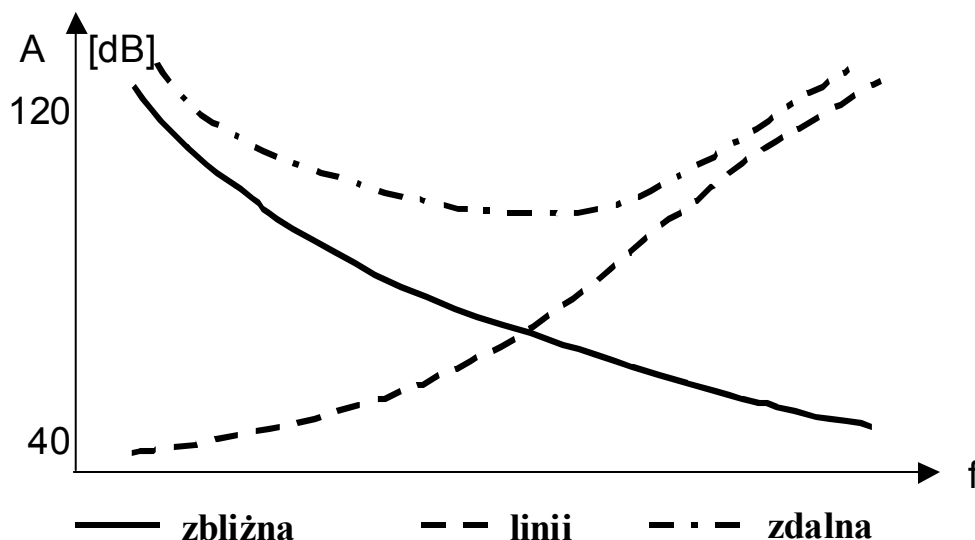
Ich istota wynika z faktu, że chcemy jednocześnie realizować dużą liczbę połączeń i to poprzez media, które znajdują się w bezpośredniej bliskości, np. kabel wieloparowy. Wówczas okazuje się, że nie możemy zwiększyć energii sygnału tak aby był on na drugim końcu medium rozróżnialny spośród innych sygnałów 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 przenikł 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 prowadnic powinna być taka aby tłumienność dla tych zjawisk była możliwie duża, tzn. przeniki były małe.

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



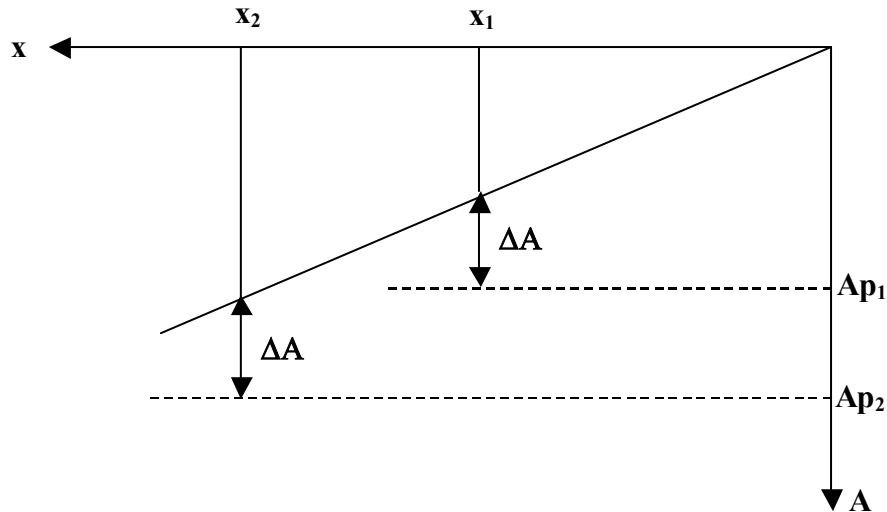
Dlaczego zjawisko przeniku a szczególnie zbliżnego jest tak istotne?

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.

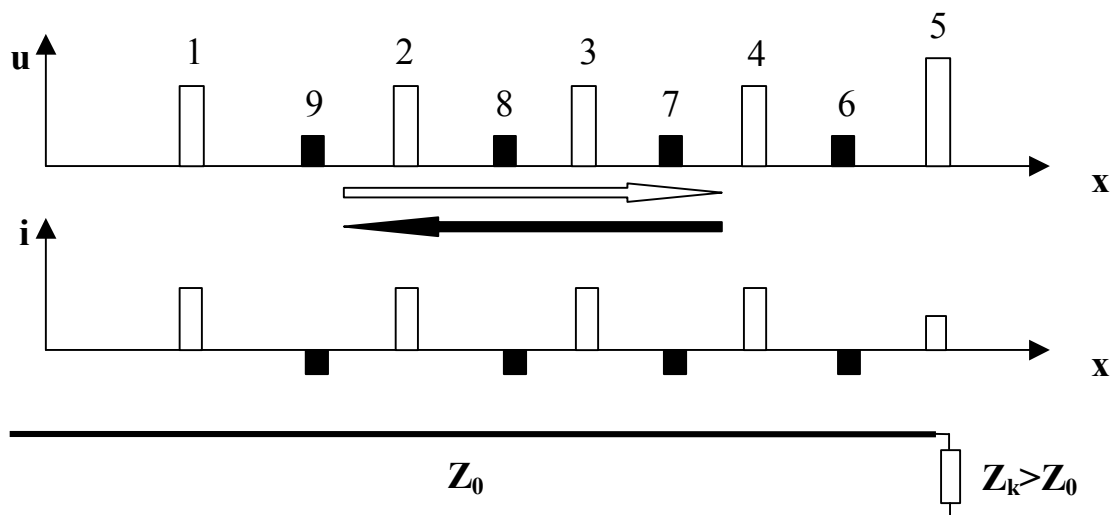
Na kolejnym rysunku zobrazowano to zjawisko pokazując przebieg zmian tłumienia w linii 2 w funkcji odległości jednocześnie zaznaczając dwa przypadki wartości tłumienności przenikowej $A_p \cdot \Delta A$ jest to dopuszczalna minimalna różnica między tymi tłumiennościami na końcu linii umożliwiającą poprawny 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 tłumieniu 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.



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

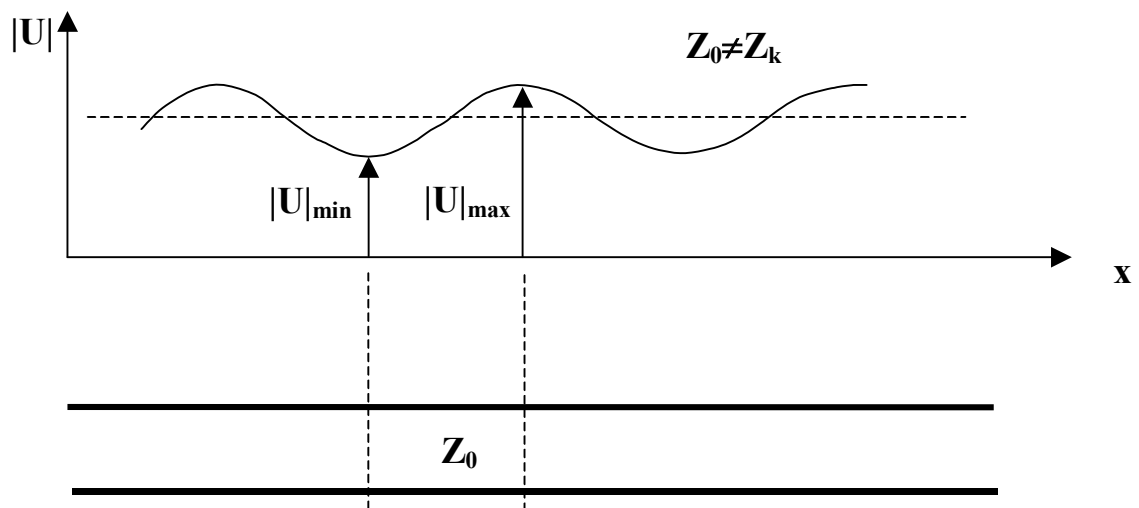
$$\frac{U^+}{I^+} = \frac{U^-}{I^-} = Z_0 \quad \text{oraz} \quad \frac{U_k^+ + U_k^-}{I_k^+ + I_k^-} = Z_k$$

Dla opisu niedopasowania wprowadzono współczynnik odbicia Γ zdefiniowany następująco

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

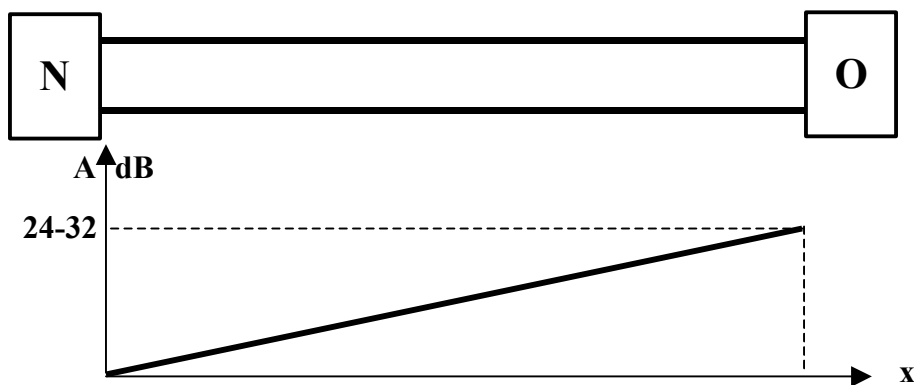
Jeżeli przeprowadzimy podobne rozważania ale dla przypadku, gdy linia zostanie pobudzona sygnałem okresowym sinusoidalnym to, pomijając efekt początkowy, w linii będą sumowały się dwie fale - padająca i odbita. W efekcie powstanie fala stojąca. W tej fali można wyróżnić maksimum i minimum amplitudy sygnału 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 $600\ \Omega$ 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.



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.

