



Rozdział 4

Media transmisyjne

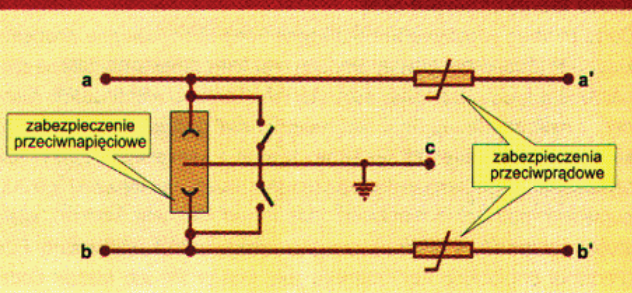
Media transmisyjne umożliwiają fizyczne rozchodzenie się fal akustycznych, elektrycznych, radiowych i świetlnych. Najczęściej spotykanymi mediami telekomunikacyjnymi są przewody kablowe: miedziane i światłowodowe, rzadziej współosiowe. Przekazy bezprzewodowe są realizowane za pomocą światła podczerwonego, mikrofalowych łączy radiowych i satelitarnych.

Kabel miedziany

Linia telefoniczna

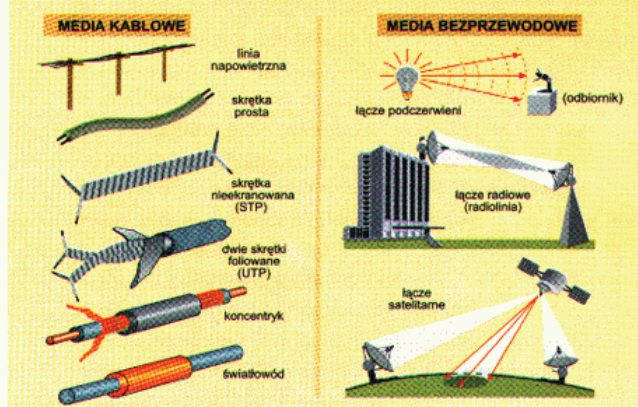
Linia telefoniczna stanowi najprostsze i najstarsze medium transportowe. Składa się głównie z przewodów miedzianych w izolacji (kabel prosty), linii kablowych (skrętka) i napowietrznych. Pomimo wielu wad nadal są stosowane w telekomunikacji kable proste w postaci dwóch przewodów, wiązek lub płaskich taśm, najczęściej używanych do przyłączenia urządzeń peryferyjnych interfejsem szeregowym (do 15–25 m z nielicznymi odstępstwami) lub prostym równoległym na odległość do 2 m. Zasadniczy wpływ na ma-

Pięciopunktowe zabezpieczenie linii telekomunikacyjnej (Siemens)

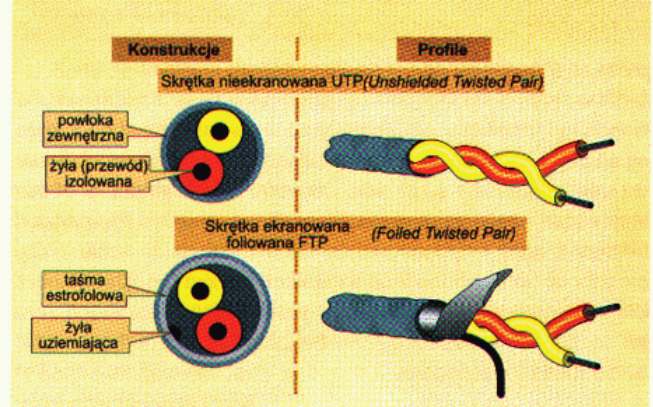


ksymalną długość kabla telekomunikacyjnego i częstotliwość graniczną pracy łączy mają: średnica przewodów miedzi, odległość między przewodami, rodzaj dielektryka, technologia skręcenia przewodów, wzajemna symetria przewodów, jednorodność wykonania kabla, przyjęta asymetria w stosunku do ziemi oraz metoda nadawania i odbioru (napięciowa, prądowa, symetryczna, różnicowa, inne).

Media transmisyjne



Skrętki przewodów telekomunikacyjnych



Skrętka nieekranowana UTP

Kabel typu skrętka UTP (*Unshielded Twisted Pair*), wykonany ze skręconych, nieekranowanych przewodów, tworzy linię zrównoważoną (symetryczną). Skręcenie przewodów ze splotem 1 zwój na 6–10 cm chroni transmisję przed oddziaływaniem (interferencją) otoczenia. Skrętka jest powszechnie stosowana w sieciach telefonicznych i komputerowych – przy czym istnieją różne technologie splotu przewodów, a poszczególne skrętki w kablu mogą mieć inny skręt (minimalizacja przesłuchów zbliżonych NEXT), zwykle opatentowany bądź pozostający tajemnicą producenta kabli. Przy przesyłaniu sygnałów cyfrowych za pomocą skrętki UTP uzyskuje się przepływności do 100 Mb/s (kategoria 5), a także 1000 Mb/s w najnowszej technologii Gigabit Ethernet.

Do poprawy parametrów przesyłowych w liniach miedzianych były stosowane do niedawna dwie metody:

- **krarupizacja** – zmniejszająca tłumienność kablowego toru przewodowego, polegająca na zwiększeniu jego indukcyjności przez pokrycie każdego przewodu warstwą materiału magnetycznego. Metoda opracowana przez Krarupa w 1900 r. i stosowana dla długodystansowych torów kablowych została wyparta przez pupinizację toru;
- **pupinizacja** – przywracająca stałą oporność falową w niejednorodnych, długodystansowych i miedzianych kablach telekomunikacyjnych. Pupinizacja polega na włączaniu do toru w równych odstępach cewek indukcyjnych (pupinizujących), o dokładnie obliczonej indukcyjności i przywracających równowagę między polem elektrycznym a magnetycznym. Zasady pupinizacji opracował i opatentował w 1899 r. Michał Pupin.

Typowe parametry skrętki typu UTP

Kategoria	2		3		4		5	
Częstotliwość (MHz)	Tłumienie (dB/100 m)	Przenik NEXT (dB)	Tłumienie (dB/100 m)	Przenik NEXT (dB)	Tłumienie (dB/100 m)	Przenik NEXT (dB)	Tłumienie (dB/100 m)	Przenik NEXT (dB)
1	2,6	–	2,6	41	2,1	56	2,1	62
4	–	–	5,6	32	4,3	47	4,3	53
10	–	–	9,8	26	7,2	41	6,6	47
16	–	–	13,1	23	8,9	38	8,2	44
20	–	–	–	–	10,2	36	9,2	42
31,25	–	–	–	–	–	–	11,8	40
62,5	–	–	–	–	–	–	17,1	35
100	–	–	–	–	–	–	22,0	32

Skrętka foliowana FTP

Skrętka foliowana FTP (*Foiled Twisted Pair*) jest skrętką ekranowaną za pomocą folii, z przewodem uziemiającym i przeznaczoną głównie do budowy sieci komputerowych (Ethernet, Token Ring) o długości nawet kilku kilometrów. Stosowana ostatnio również na krótszych dystansach w sieciach standardu Gigabit Ethernet (1 Gb/s) z wykorzystaniem wszystkich czterech par okablowania miedzianego piątej kategorii.

Skrętka ekranowana STP

Skrętka ekranowana STP (*Shielded Twisted Pair*) różni się od skrętki FTP ekranem wykonanym w postaci oplotu i zewnętrznej koszulki ochronnej. Znaczenie skrętki ekranowanej wzrasta w świetle nowych norm europejskich EMC w zakresie emisji EMI (*ElectroMagnetic Interference*) – ograniczających promieniowanie dla nieekranowanych kabli telekomunikacyjnych przy wyższych częstotliwościach pracy. Skrętka STP jest stosowana powszechnie tylko w niektórych krajach (Niemcy – 64 proc. instalacji) jako alternatywa skrętki nieekranowanej (W. Brytania – 86 proc., Włochy – 80 proc., Hiszpania – 70 proc.) i foliowanej (Francja – 79 proc.).

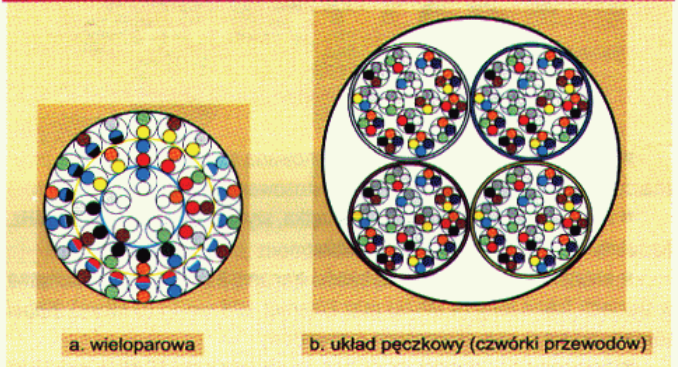
Kable telekomunikacyjne

W kablach miedzianych wyróżnia się łącza niesymetryczne (co najmniej 1 biegun połączony z ziemią) i symetryczne, w których prąd w obu przewodach powinien być taki sam, lecz płynący w przeciwnych kierunkach (symetrycznie). Tak skręcona para symetryczna daje dużą odporność na zakłócenia zewnętrzne.

Typowe parametry kabli miedzianych (miejskich)

Częstotliwość (Hz)	Tłumienność falowa (dB/km)				Impedancja falowa (W)			
	Średnica żyły w kablu (mm)				0,4	0,5	0,6	0,8
300	1,03	0,83	0,69	0,51	1785	1428	1189	884
800	1,69	1,35	1,12	0,84	1093	874	728	541
1000	1,88	1,51	1,26	0,93	978	782	651	484
2000	2,66	2,13	1,78	1,32	691	553	461	342
2400	2,92	2,33	1,95	1,45	631	505	420	312
3000	3,26	2,61	2,17	1,62	564	452	376	279
3400	3,47	2,78	2,31	1,72	530	424	353	263
3600	3,58	2,86	2,38	1,77	515	412	343	255
4000	3,77	3,01	2,51	1,87	489	391	326	242

Dwie techniki wytwarzania kabli (metalowych)



Typowa rezystancja toru mierzona prądem stałym (przy 20⁰ C) w najczęściej stosowanych przewodach miedzianych wynosi: 0,4 mm – 300 Ω, 0,5 mm – 192 Ω, 0,6 mm – 133 Ω, 0,8 mm – 73,6 Ω.

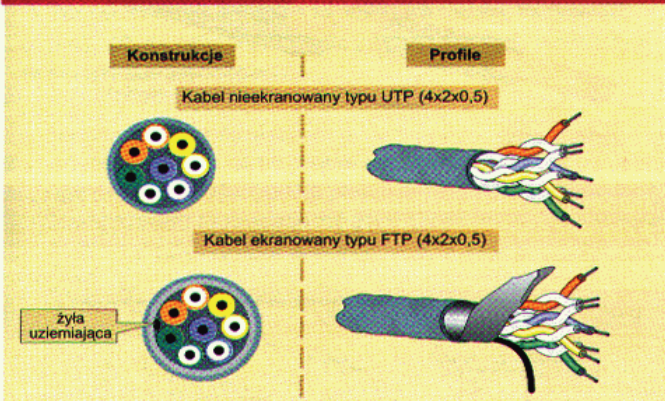
Pierwsze kable telekomunikacyjne miały papierowo-powietrzną izolację żył miedzianych, a powłokę zewnętrzną wykonaną z ołowiu. Obecnie nie produkowane, chociaż licznie jeszcze używane. Współczesnym środkiem izolacji żył przewodzących w kablu jest polichlorek winylu (PCW) lub polietylen. Zasadniczym elementem kabla miedzianego jest para izolowanych przewodów skręconych ze sobą w celu uzyskania symetrii w stosunku do innych par i potencjału ziemi (eliminacja przesłuchów).

Wśród wielu sposobów wytwarzania telekomunikacyjnych kabli miedzianych wyróżnia się dwa typy: **kable parowe**, w których każda para przewodów może być traktowana oddzielnie i winna mieć identyczne parametry, oraz **kable czwórkowe** skręcane w układzie pęczkowym (czwórki kablowe), dla których podstawową wiązką są cztery skręcone przewody.

Kategorie kabli miedzianych

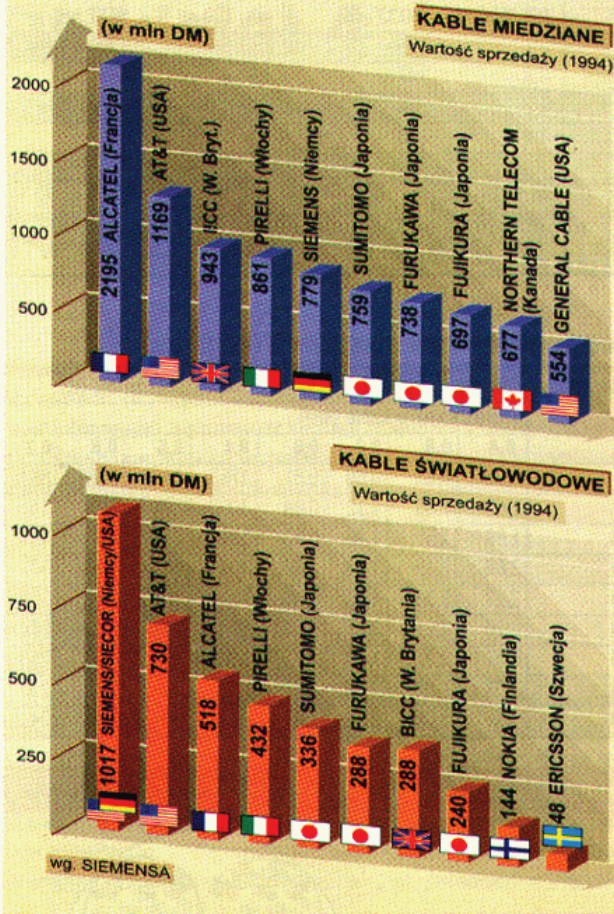
Kategorie kabli miedzianych dla sieci komputerowych zostały ujęte w specyfikacji EIA/TIA w kilka grup, w których przydatność do transmisji określa się w MHz:

Kable telekomunikacyjne



Do istotnych parametrów określających przydatność kabli miedzianych do transmisji należą: tłumienność (wymaga wzmocnienia sygnałów analogowych lub regeneracji dla sygnałów cyfrowych), pojemność jednostkowa (ok. 17-20 pF) – ograniczająca maksymalną szybkość transmisji, impedancja falowa (50, 75, 93, 100 Ω), zniekształcenia opóźnieniowe i fazowe (*jitter* i *wander*) oraz szum tła (przesłuchy, przeniki, zakłócenia).

Najwięksi producenci kabli telekomunikacyjnych



- kategoria 1 – tradycyjna nieekranowana skrętka telefoniczna przeznaczona do przesyłania głosu, nie przystosowana do transmisji danych;
- kategoria 2 – nieekranowana skrętka, szybkość transmisji do 4 MHz. Kabel ma 2 pary skręconych przewodów;
- kategoria 3 – skrętka o szybkości transmisji do 10 MHz, stosowana w sieciach Token Ring (4 Mb/s) oraz Ethernet 10Base-T (10 Mb/s). Kabel zawiera zwykle 4 pary skręconych przewodów;
- kategoria 4 – skrętka działająca z szybkością do 16 MHz, najniższa kategoria kabli nadających się do sieci Token Ring. Kabel jest zbudowany z 4 par przewodów;
- kategoria 5 (klasa D) – skrętka z dopasowaniem rezystancyjnym 100 W, pozwalająca na transmisję danych z szybkością 100 MHz (pod wa-

runkiem poprawnej instalacji kabla, zgodnie z wymaganiami okablowania strukturalnego) na odległość do 100 metrów. Przy zastosowaniu komponentów kategorii 5 i długości kabla do 160 m uzyskuje się połączenia klasy C (16 MHz), na odległość do 250 m są to połączenia klasy B (1 MHz), natomiast w zasięgu do 3 km uzyskuje się transmisję klasy A (100 kHz). Kable tej kategorii są stale ulepszone (materiały, złącza, technologia wykonania, nowe metody dostępu), dzięki czemu jest już osiągnięta przepływność 1 Gb/s na odległość do 100 m (Gigabit Ethernet 1000 Mb/s).

Niedawno potwierdzone (1997.09.17) przez ISO/IEC dwie nowe kategorie w międzynarodowej normie okablowania strukturalnego ISO 11801 obejmują następujące klasy kabli miedzianych i osprzętu przyłączeniowego: klasa E (kategoria 6) umożliwiająca transmisję z częstotliwością w zakresie do 200 MHz oraz klasa F (kategoria 7) z transmisją o szybkości do 600 MHz. Osiągnięcie szybkości 600 MHz przy dodatniej wartości parametru ACR (*Attenuation to Crosstalk Ratio*) będzie wymagać stosowania nowego typu złączy (w miejsce RJ-45) oraz kabli z każdą parą ekranowaną oddzielnie.

Włókna światłowodowe stanowią inny rodzaj telekomunikacyjnego medium transportowego klasyfikowanego jako kable światłowodowe.

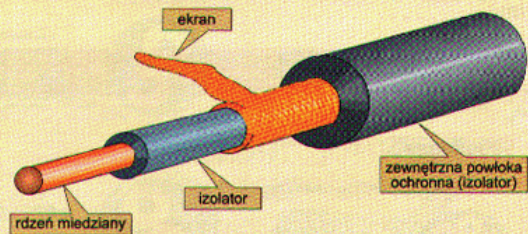
(au)

Kabel współosiowy (koncentryczny)

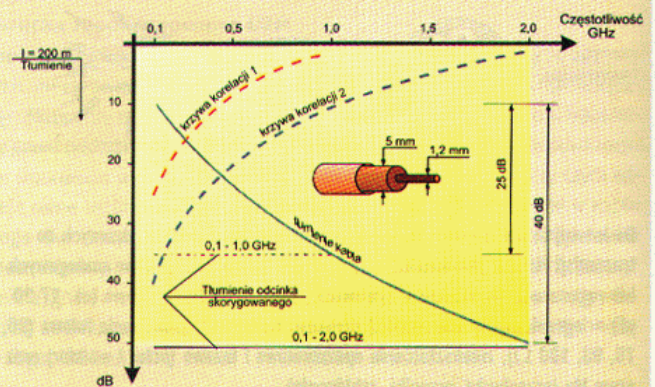
Kabel koncentryczny (albo współosiowy), stosowany początkowo głównie do tworzenia niewielkich sieci LAN, jest teraz najchętniej stosowanym medium transmisyjnym w sieciach hybrydowych, związanych ze środowiskiem telewizji kablowej CATV. Składa się z dwóch przewodów koncentrycznie umieszczonych jeden wewnątrz drugiego, co zapewnia większą odporność na zakłócenia – tym samym wyższą jakość transmisji.

Powszechnie stosuje się dwa rodzaje kabli koncentrycznych: kable o oporności falowej 50 Ω i 75 Ω (rzadko 93 Ω). Częstotliwość graniczna współczesnych grubych kabli 50-omowych o przekrojach powyżej 10 mm sięga nawet 1000 MHz (przeływność binarna do 2 Gb/s). Kable 75-omowe o przekrojach 4–6 mm są wykorzystywane zarówno w transmisji cyfrowej, jak i analogowej, a sygnały można przesyłać z przepływnością do 600

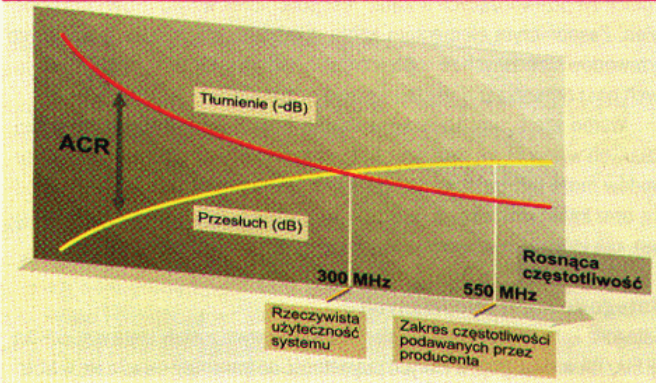
Budowa kabla współosiowego (koncentryk)



Tłumienie odcinka współosiowego kabla abonenckiego t. H47 w zakresie częstotliwości 0.1-2.0 GHz



Przykład rozbieżności danych podawanych przez producenta z rzeczywistymi parametrami systemu



Mb/s (pasmo 200 MHz używane w telewizji kablowej CATV). Parametry transmisyjne kabli koncentrycznych pozwalają na ogół uzyskiwać wyższe przepływności, lecz o mniejszym zasięgu niż za pomocą skrętek.

(au)

Kabel światłowodowy

Do czego służy światłowód

Transmisja światłowodowa polega na przewodzeniu przez włókno szklane promieni optycznych generowanych przez laserowe źródła światła. Ze względu na znikome zjawisko tłumienia, a także odporności na zewnętrzne pola elektromagnetyczne, przy braku emisji energii poza tor światłowodowy, światłowód stanowi obecnie najlepsze medium transportowe stosowane w telekomunikacji.

Wpływ tłumienności kabla światłowodowego na obszary zastosowań

Okna transmisyjne	Długość fali	Wymiary włókna rdzeń/płaszcz	Maksymalna pojemność transmisyjna BL	Mody transmisyjne	Typowa tłumienność jednostkowa	Maksymalna odległość międzygeneracyjna L [km]				Typowe zastosowania
						0,1	1	10	100	
1	850	100/140	0,2	Wielomodowe	0,7	0,1	0,5	50	50	Mikroprzemysł, wojsko, telekomunikacja, sieci lokalne, telewizja, światłowody sieci rozległe
		65/125								
		62,5/125								
		50/125								
2	1300	50/125	80	Wielomodowe	0,4	0,1	0,5	10	100	
		9/125								
3	1550	9/125	200	Jednomodowe	0,2	0,1	0,5	10	100	

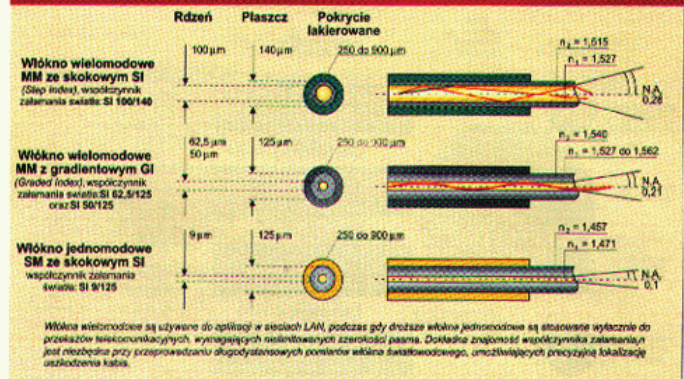
Budowa światłowodu

Medium transmisyjne światłowodu stanowi czyste szklane włókno kwarcowe wykonane z dwutlenku krzemu (o kołowym przekroju), w którym światło jest zamknięte przez otoczenie nieprzezroczystym płaszczem centralnie położonego rdzenia. Dla promieni świetlnych o częstotliwości w zakresie bliskim podczerwieni współczynnik odbicia światła w płaszczu jest mniejszy niż w rdzeniu, co powoduje całkowite wewnętrzne odbicie promienia i przewodzenie go wzdłuż osi włókna.

Włókna światłowodowe klasyfikuje się według ich średnicy, tłumienności, dyspersji, zakresu zmian współczynnika załamania oraz liczby prowadzonych modów (promieni wiązki świetlnej).

Średnicę światłowodu określaną w mikronach podaje specyfikacja kabla zarówno dla rdzenia, jak też powłoki zewnętrznej. Dla współcześnie produkowanych światłowodów jednomodowych średnica rdzenia wynosi od 4 do 10 μm (głównie 9 μm), przy średnicy powłoki od 75 do 125 μm (zwykle 125 μm). Dla światłowodów wielomodowych o skokowej (jednorodna

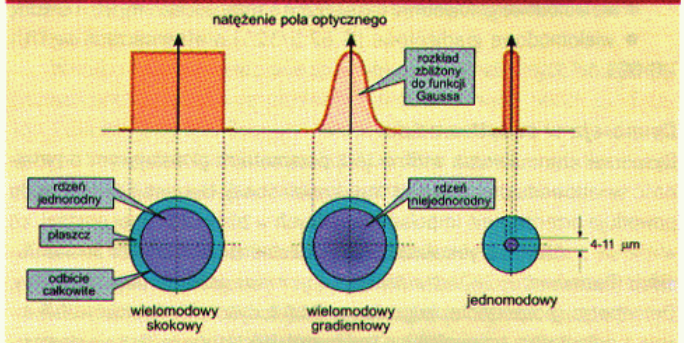
Rodzaje włókien światłowodowych



struktura rdzenia) lub gradientowej (rdzeń niejednorodny) zmianie współczynnika odbicia średnica rdzenia mieści się w zakresie od 50 do 1000 μm , średnica zewnętrzna płaszczu natomiast zależy od struktury wewnętrznej i wynosi:

- od 125 μm do 140 μm dla światłowodów ze współczynnikiem gradientowym,
- od 125 μm do 1050 μm dla światłowodów ze skokowym współczynnikiem odbicia.

Rozkład energii optycznej



Najczęściej spotykana, znormalizowana średnica zewnętrzna płaszczu światłowodu wynosi 125 μm , a średnica płaszczu z pokryciem lakierowym – 250 μm .

Okna światłowodowe

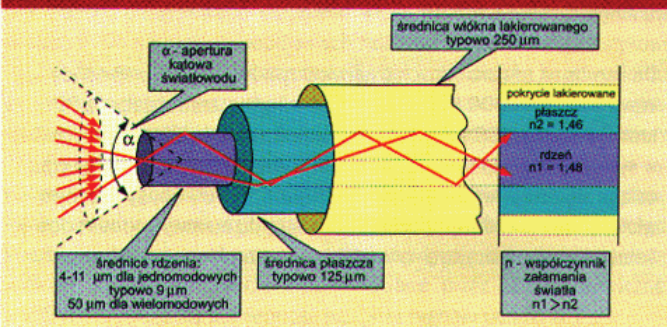
Niejednorodna tłumienność jednostkowa światłowodu w funkcji częstotliwości (wyrażana w dB/km) określa wielkość strat absorpcyjnych medium transmisyjnego i wyróżnia trzy podstawowe okna przydatne do prowadzenia transmisji o obniżonej tłumienności. W najlepszych seryjnie produkowanych światłowodach jednomodowych tłumienność w kolejnych oknach optycznych wynosi w przybliżeniu: I okno (850 nm) – 0,7 dB/km, II okno (1300 nm) – 0,4 dB/km i III okno (1550 nm) – 0,2 dB/km.

Mody światłowodu

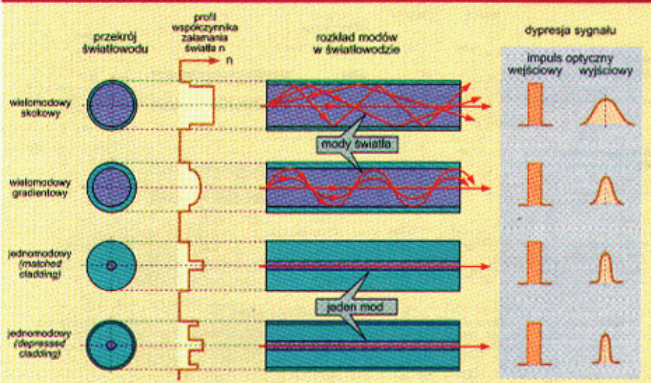
Zasadniczą cechą włókna są mody światłowodowe, określające rozkład pola i fizyczny kształt wiązki świetlnej układającej się w światłowodzie. Podwyższona wartość współczynnika załamania światła w osi rdzenia w stosunku do otaczającego go płaszczu powoduje, że wiązka świetlna prowadzona w światłowodzie ma tendencję do utrzymywania się bezpośrednio w rdzeniu, a nawet blisko osi rdzenia.

W światłowodzie **wielomodowym** istnieją warunki optyczne do powstania i przesyłania wzdłuż osi włókna optycznego wielu dyskretnych modów (promieni świetlnych), każdy o odmiennej długości fali świetlnej i szybkości propagacji. W celu uzyskania **jednomodowej** transmisji światła stosuje się światłowody o odpowiednio małej średnicy rdzenia (9 μm), porównywalnej

Struktura włókna światłowodu



Profile i mody światłowodowe



z długością fali świetlnej. W światłowodach jednomodowych jest prowadzona tylko jedna monochromatyczna wiązka świetlna o stałej szybkości propagacji impulsu, co minimalizuje dyspersję (poszerzenie) transmitowanego sygnału świetlnego i zwiększa efektywną długość toru światłowodowego bez potrzeby regeneracji sygnału.

Współcześnie w telekomunikacji są stosowane następujące rodzaje włókien:

- jednomodowe (J) o własnościach określonych wg ITU-T G-652;
- jednomodowe z przesuniętą dyspersją (Jp) określone wg ITU-T G-653;
- jednomodowe o niezerowej dyspersji (Jn) określone wg ITU-T G.655;
- wielomodowe gradientowe (G 50/125) o własnościach wg ITU-T G-651;
- wielomodowe gradientowe (G 62,5/125) o własnościach wg ITU-T G-651.

Dyspersja w światłowodzie

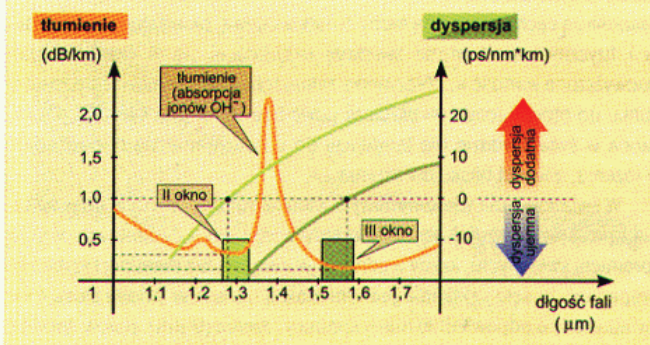
Dyspersja chromatyczna włókna jest parametrem określającym przydatność światłowodu do transmisji długodystansowej. Dyspersja światłowodu powoduje przenoszenie impulsów świetlnych w zniekształconej postaci, co wiąże się z różnymi szybkościami rozchodzenia się składowych fourierowskich (harmonicznych), odzwierciedlających przesyłany impuls wejściowy. Deformacja (poszerzenie) impulsu na skutek dyspersji chromatycznej rośnie z odległością transmisji i w końcu przy dostatecznie dużej odległości powoduje nierozróżnialność kolejnych impulsów.

Typowa wartość dyspersji światłowodów wielomodowych o skokowym współczynniku załamania światła wynosi od 15 do 30 ps/(km*nm), a w bardzo dobrych światłowodach zaledwie kilka jednostek wokół zera – w zasadniczym pasmie przenoszenia.

Dyspersja całkowita światłowodu składa się z trzech składników: dyspersji mдовой (modalnej), materiałowej i falowodowej:

- dyspersja **modalowa** nie występuje we włókach jednomodowych, a w gradientowych jest nieznaczna (poszczególne mody pokonują w przybliżeniu jednakową drogę);
- dyspersja **materiałowa**, nazywana chromatyczną (spektralną, widmową), spowodowana jest faktem istnienia wielu fal monochromatycznych.

Tłumienie i dyspersja w światłowodzie



nych. Fale o różnych długościach poruszają się w rdzeniu (jednakowa odległość) z różnymi prędkościami, co powoduje poszerzenie przesyłanych włókem impulsów;

- dyspersja **falowodowa** wynika z częściowego (około 20%) wędrowania wiązki przez płaszcz światłowodu. Szybkość rozchodzenia się zależy od właściwości materiałowych płaszczka i rdzenia. Dyspersja falowodowa i materiałowa mogą mieć przeciwne znaki, a ich suma wynosić zero.

Generacje światłowodowe

Obecnie wyróżnia się pięć generacji światłowodowych:

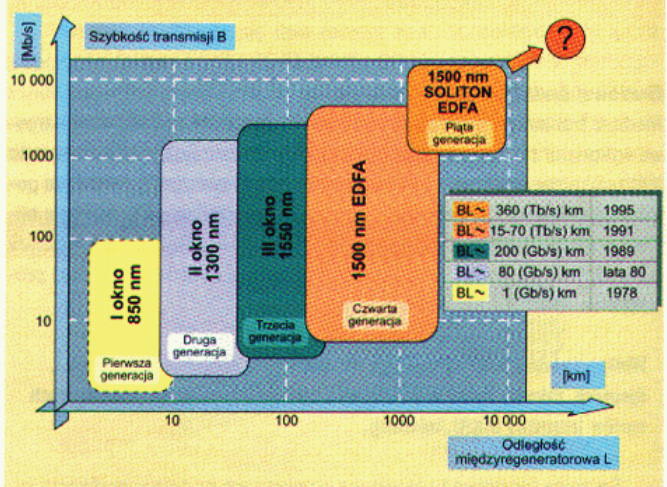
- Pierwsza (okno 850 nm) wiąże się z uzyskaniem włókna światłowodowego przez amerykańską firmę *Corning Glass* (1972 r.), włókna wielomodowego o tłumienności około 4 dB/km przy długości fali $\lambda=850$ nm oraz pojemności transmisyjnej BL poniżej 50 (Mb/s)km i skokowej charakterystyce załamania wiązki świetlnej.

- Druga (okno 1300 nm) charakteryzuje się zastosowaniem (od 1987 r.) światłowodów jednomodowych o prawie zerowej dyspersji dla fali o długości $\lambda=1300$ nm i zmniejszeniu tłumienia jednostkowego do około 0,4 dB/km.

- Trzecia (okno 1550 nm) okupuje kolejne okno światłowodowe $\lambda=1550$ nm, o najmniejszej do tej pory uzyskanej tłumienności jednostkowej od 0,16 do 0,20 dB/km, co pozwala na zwiększenie odległości międzyregeneratorowych do 200 km.

Kolejne generacje w technologii optycznej nie powstają już w wyniku dalszego udoskonalania medium transmisyjnego, lecz przez jakościowe zwiększanie przepływności B lub pojemności transmisyjnej BL, operujących w oknach o najmniejszej tłumienności: 1300 nm i 1550 nm. I tak, czwarta

Zakresy technologii światłowodowych



generacja jest związana z wprowadzeniem szerokopasmowych wzmacniaczy optycznych EDFA oraz zwielokrotnienia falowego WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) w torach optycznych. Najnowsze osiągnięcia w zakresie transmisji solitonowej, umożliwiające prawie nieograniczony wzrost pojemności transmisyjnej BL, tworzą zębę nowej, piątej generacji przezroczystych systemów światłowodowych.

Do rozwiązań transmisyjnych o największym zwielokrotnieniu należy Wave Star OLS 400G firmy Lucent Technologies, zezwalający na 80-krotne (wkrótce 160-krotne) zwiększenie liczby kanałów optycznych w systemie zwielokrotnienia DWDM. W najnowszych łączach tego typu osiąga się przepływność do 400 Gb/s (wkrótce 800 Gb/s) w jednym włóknie światłowodowym, co jest podstawą do budowy podmorskich kabli telekomunikacyjnych o terabitowych przepływnościach.

Wzmacniacze EDFA

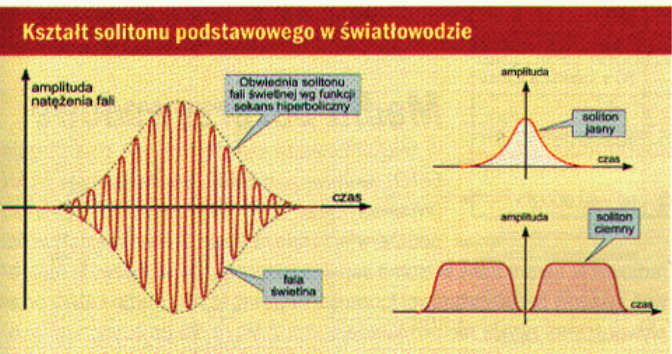
Olbzynie szerokości pasma transmisyjnego dostępne w drugim (12 THz) oraz trzecim oknie (15 THz) spowodowały rozwój szerokopasmowych wzmacniaczy optycznych, a wśród nich światłowodowych wzmacniaczy domieszkowanych prazeodymem PDFA (*Praseodymium-Doped Fibre Amplifier*) dla fali $\lambda=1300\text{nm}$ lub erbem EDFA (*Erbium-Doped Fibre Amplifier*) dla fali $\lambda=1550\text{nm}$, rekompensujących straty mocy optycznej do 30dB. Dla wzmacniaczy EDFA maksimum wzmocnienia występuje dla najbardziej korzystnego pasma transmisji optotelekomunikacyjnej – pasma 1530 nm, przy bardzo wysokiej sprawności pompowania sięgającej 90%. Nowością dla tego sposobu wzmocnienia jest nietypowa konstrukcja wzmacniacza, realizowanego w postaci fragmentu światłowodu o symetrii kołowej, wtrącanego między standardowe odcinki światłowodów telekomunikacyjnych.

Szerokie pasmo przenoszenia wzmacniaczy EDFA (od 30 do 50 nm), co odpowiada zakresem częstotliwości od 4 THz do 6,7 THz, umożliwia równoczesną transmisję na kilkudziesięciu różnych długościach fali świetlnej ze zwielokrotnieniem WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), nazywaną potocznie transmisją kolorową.

Solitonny

Najwyższe szybkości transmisji w światłowodach uzyskuje się przez stosowanie unikatowego kształtu wejściowego sygnału optycznego zwanego solitonem, transmitowanego przez medium światłowodowe. Dobór odpowiedniego natężenia sygnału i impulsu o obwiedni sekans hiperboliczny, specjalnie formowanej przez modulator laserowy, umożliwia przekaz impulsu świetlnego, praktycznie bez dyspersji, prawie na dowolną odległość.

Wykorzystując standardowe światłowody z solitonami o szerokości od 20 do 50 ps, uzyskuje się pojemność transmisyjną $BL \sim 360 \text{ (Tb/s)km}$, co umożliwia transmisję solitonową o przepływności 10 Gb/s na odległość około 36 000 km.



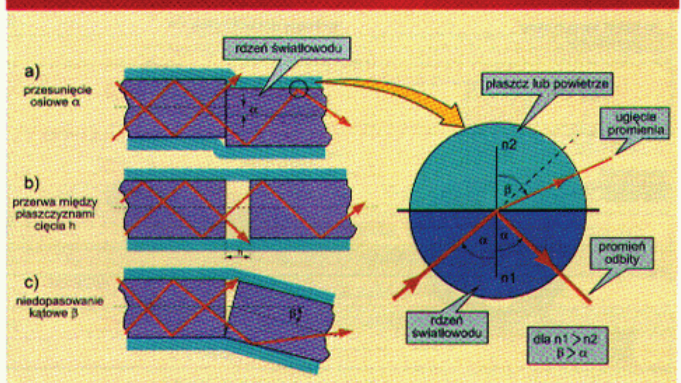
Łączenie światłowodów

Łączenie światłowodów obejmuje dwa zasadnicze typy połączeń: rozłączane za pomocą złączek i trwałe.

Połączenia rozłączne są przeznaczone do przedłużania kabli światłowodowych lub ich krosowania z siecią teleinformatyczną, z zapewnieniem przenoszenia energii świetlnej z małymi stratami i powtarzalności parametrów w kolejnych wielokrotnych połączeniach. Uzyskanie jak najmniejszych strat (od 0,5 do 3 dB) wymaga precyzyjnej obróbki mechanicznej elementów złączki, prawidłowego osiowania włókna i czystości łączonych powierzchni. Do najbardziej popularnych zaliczane są proste złącza stykowe oraz soczewkowe i gradientowe typu *Selfoc* o niewielkiej wrażliwości na zmianę odległości między współpracującymi powierzchniami. Straty wprowadzane przez dobrej jakości złącza rozłączne nie przekraczają 1 dB mocy.

Połączenia trwałe, zwane spawami światłowodowymi, umożliwiają wykonywanie długodystansowych, jednorodnych strukturalnie linii transmisyjnych między dwoma regeneratorami optycznymi toru światłowodowego. Połączenia trwałe, wykonywane początkowo przez klejenie powierzchni włókien, zostały całkowicie wyeliminowane przez spawy termiczne, w których uzyskuje się tłumienność przejścia sygnału poniżej 0,1 dB.

Przyczyny strat w światłowodach

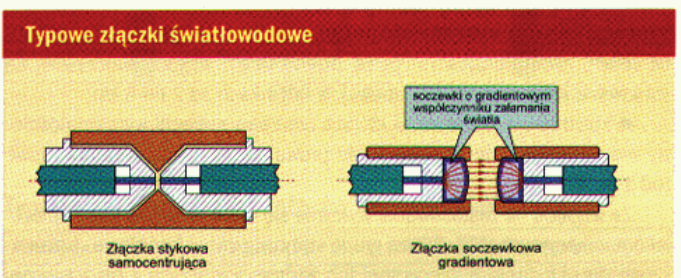


Najszerze zastosowanie do łączenia włókien światłowodowych znalazły automatyczne spawarki łukowe, łączące włókno w łuku elektrycznym jedną z trzech metod:

- **LID** (*Local Injection and Detection*), polegająca na centrowaniu łączonych światłowodów na podstawie pomiaru strat na styku włókien;
- **PAS** (*Profile Alignment System*), umożliwiająca optyczną obserwację za pomocą kamery wizyjnej stanu łączonych rdzeni we włóknach światłowodowych i obliczanie tłumienności z wymiarów geometrycznych połączenia;
- **RTC** (*Real Time Control*), zapewniająca automatyczne centrowanie włókien i dynamiczną kontrolę w czasie rzeczywistym parametrów elektrycznych wytwarzanego łuku.

W kraju używa się wiele typów spawarek półautomatycznych lub automatycznych pochodzących z renomowanych firm światowych, takich jak: Ericsson, Fujikura i Siemens. Spawarki światłowodowe najwyższej klasy wykonują spawy o tłumienności przejścia poniżej 0,03 dB, a dla włókna gradientowego nawet 0,01 dB przy współczynniku odbicia nie gorszym niż 60 dB.

Końcówki włókien kabla światłowodowego, zakończone fabrycznie standardowymi złączkami, zwane są *pigtailami*, natomiast do krosowania torów światłowodowych w łącznicach telekomunikacyjnych i węzłach komutacji stosuje się krótkie odcinki światłowodowe – *patchcordy* – zakończone dwustronnie odpowiednimi złączkami.



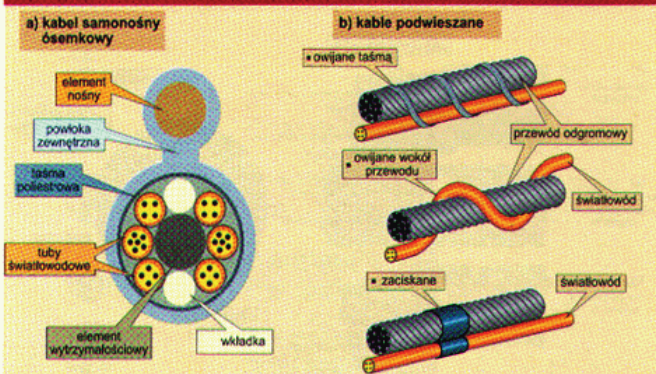
Kable światłowodowe

Kable światłowodowe stosowane do realizacji odległych połączeń są zbudowane z wielu włókien światłowodowych. Duża odporność na zakłócenia elektromagnetyczne zewnętrzne, stopa błędów mniejsza niż 10^{-10} przy najwyższych przepływnościach binarnych oraz mała tłumienność jednostkowa (zwykle około 0,20 dB/km) z praktycznie zerową dyspersją światłowodu umożliwiają budowę pojedynczych torów światłowodowych o przepływności powyżej 10 Gb/s. Zasięg typowej linii światłowodowej bez regeneracji sygnału za pomocą wzmacniaczy światłowodowych wynosi od 80 do 100 km.

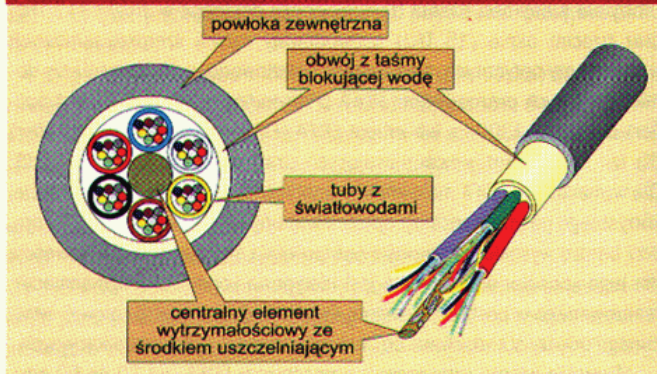
Ze względu na konstrukcję kabla wyróżnia się:

- konstrukcje **tubowe**, zawierające włókna światłowodowe umieszczone luźno w tubach (od 2,2 do 3,2 mm). W tubie, zależnie od jej wymiarów,

Światłowodowe kable samonośne i podwieszane



Kanałowy kabel światłowodowy



Kable światłowodowe specjalne (polowe)

Firma	HUBER+SUHNER	CHROMATIC	NFI	OPTICAL CABLE CORPORATION
Typ włókna	jednomodowe lub wielomodowe (50 μm)	wielomodowe (50 μm)	wielomodowe (50 μm)	jednomodowe
Liczba włókien	4	4	4	2-24
Tłumienie (dB/km)	0,5	1,5	1,5	0,5
Pasmo	jednomodowe	300 MHz/km	400 MHz/km	jednomodowe
Masa (kg/km)	30	50	43	23-136
Średnica (mm)	5	7	7	5-14
Wzmocnienie	aramid	aramid	aramid	aramid
Płaszcz	poliuretan	poliuretan	poliuretan	poliuretan
Wytrzymałość na rozciąganie podczas:				
• instalacji	2800	1850	1800	1800
• pracy	2000	415	400	550
Ściskanie (N/cm)	1000	2000	2000	440
Promień zgięcia (cm)	7,5	15	13,8	20 x średnica kabla
Temperatura składowania (°C)	od -50 do +65	od -62 do +85	od -62 do +85	od -70 do +85
Temperatura pracy (°C)	od -40 do +60	od -55 do +85	od -55 do +85	od -40 do +85

mieści się od 1 do 10 włókien. Tuby są skręcane centralnie wokół dielektrycznego osrodka wytrzymałościowego, a wolne przestrzenie są wypełnione żelazem, zabezpieczającym przed przenikaniem wilgoci. Najczęściej są stosowane kable konstrukcji tubowej, w odcinkach od 2 do 6 km;

- konstrukcje **rozetowe**, w których centralny element wytrzymałościowy ma wyprofilowane spiralne rowki prowadzące włókna światłowodowe (od 1 do 4).

Ze względu na zastosowanie wyróżnia się wiele rodzajów kabli optotelekomunikacyjnych. Największą grupę stanowią kable **kanałowe**, przeznaczone do układania w pierwotnej lub wtórej kanalizacji z rur z tworzyw sztucznych. Dużą grupę tworzą kable **wewnątrzobiektywne** (tubowe i rozetowe) z elastyczną powłoką poliwinylową lub bezhalogenową, zalecane do wykonywania instalacji w obiektach zamkniętych. Kable tego typu są przydatne do realizacji połączeń liniowych od kablowni do głównej przelącznicy światłowodowej telefonicznej centrali abonenckiej. Kable ze **wzmocnioną powłoką** są zalecane w środowiskach narażonych na ataki gryzoni oraz w tymczasowych instalacjach optotelekomunikacyjnych. Kable **opancerzone** ocynkowanym drutem stalowym lub taśmą stalową lakierowaną są przeznaczone do bezpośredniego zakopywania w ziemi na terenach o dużym zagrożeniu uszkodzeniami mechanicznymi.

Oddzielną grupę stanowią kable napowietrzne: samonośne lub podwieszane. Kable **samonośne** mają przekroje kołowe lub ósemkowe, przy czym elementem nośnym może być dielektryk lub lina stalowa. Dla linii energetycznych wysokiego napięcia wytwarza się kable światłowodowe

umieszczane wewnątrz linki odgromowej, wykonanej z kombinacji warstw drutów stalowych, aluminiowych lub stopowych. Typowe kable umieszczone w linie odgromowej zawierają od 6 do 48 włókien światłowodowych; możliwa jest również ich instalacja wewnątrz przewodów fazowych linii wysokiego napięcia.

Najnowszym rozwiązaniem są kable **podwieszane**, mocowane do przewodów odgromowych linii energetycznych. Znane są trzy metody mocowania kabli podwieszanych: podwieszanie pod przewodem za pomocą spiralnie owijanych taśm, owijanie śrubowo wokół przewodu nośnego oraz podwieszanie pod przewodem za pomocą regularnie rozmieszczanych zacisków.

(au)

Media bezprzewodowe

W telekomunikacji wykorzystuje się dwa rodzaje bezprzewodowego medium transmisyjnego WLAN (Wireless Local Area Network): fale z zakresu podczerwieni i fale radiowe. Zakres częstotliwości

radiowych, ograniczany wieloma aspektami technicznymi, pozwala realizować systemy bezprzewodowej łączności radiowej RLAN (Radio LAN) z przepływnościami zwykle nie przekraczającymi 2 Mb/s dla pojedynczego abonenta systemu. Alternatywą dla mikrofalowych kanałów radiowych jest transmisja bezprzewodowa oparta na promieniowaniu elektromagnetycznym o długościach fali 700–1500 nm, to znaczy fal radiowych z zakresu podczerwieni – praktycznie bez ograniczania maksymalnej przepływności transmisji. Uzyskiwane w ten sposób przekazy mają obecnie standardowo przepływność 155 Mb/s (ATM), najnowsze zaś rozwiązania osiągają szybkość 622 Mb/s (ATM). Oczekiwania użytkowników mobilnych sięgające przepływności 1 Gb/s są w zasięgu tej technologii przekazu, jednak tylko na niewielkim obszarze – głównie w sieciach lokalnych LAN (beziprzewodowy Gigabit Ethernet).

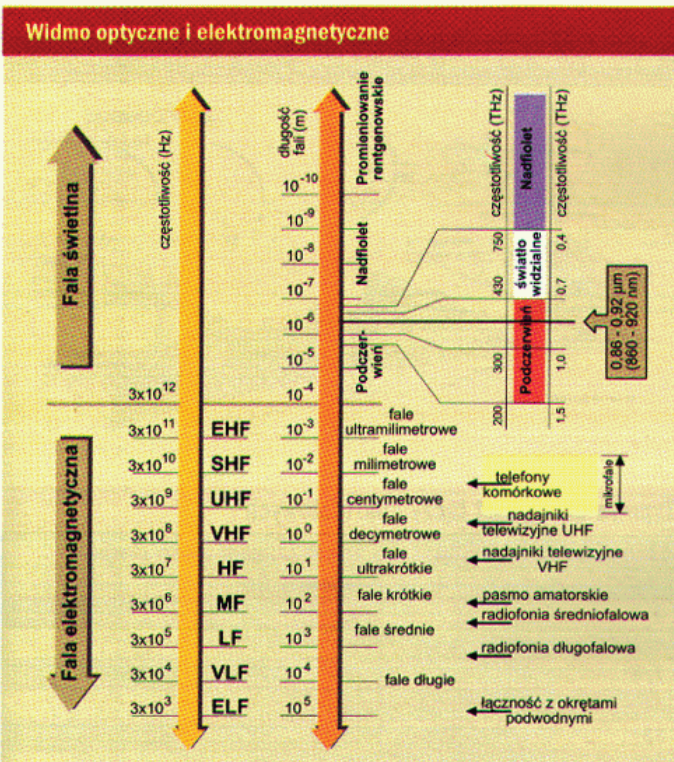
Łącza podczerwone

Kanały transmisyjne z zakresu podczerwieni, emitowane w otwartej przestrzeni lub w pomieszczeniach budynków, pomimo ich podobieństwa do kanałów radiowych wyróżniają się następującymi cechami:

- szeroki użytkowy zakres widma, wynoszący nawet 200 THz, może być wykorzystywany wielokrotnie w obrębie tego samego budynku, co jest związane z brakiem przenikalności fal przez ściany pomieszczeń (odbicie 40-90% energii fal od ścian wewnętrznych budynków);
- niewielkie lub żadne zaniki sygnałów wynikające z wielodrogowości transmisji;

Spektrum częstotliwości radiowych RF

Oznaczenie pasma	Zakres częstotliwości	Długość fali	Zastosowanie
Pasma akustyczne	20 Hz-20 kHz	>100 km	akustyka
ELF (<i>Extremely Low Frequency</i>) VLF (<i>Very Low Frequency</i>)	3-30 kHz	100 km - 10 km	nawigacja, pogoda, komunikacja podwodna
LF (<i>Low Frequency</i>)	30-300 kHz	10 km - 1 km	nawigacja morska
MF (<i>Medium Frequency</i>)	0,3-3 MHz	1 km - 100 m	nawigacja, rozgłaszanie AM
HF (<i>High Frequency</i>)	3-30 MHz	100 m - 10 m	CB-radio
VHF (<i>Very High Frequency</i>)	30-300 MHz	10 m - 1 m	radiokomunikacja amatorska, rozgłaszanie FM, telewizja VHF
UHF (<i>Ultra High Frequency</i>)	0,3-3 GHz	1 m - 10 cm	mikrofale, komunikacja satelitarna, telewizja UHF
SHF (<i>Super High Frequency</i>)	3-30 GHz	10 cm - 1 cm	mikrofale, komunikacja satelitarna
EHF (<i>Extremely High Frequency</i>)	30-300 GHz	1 cm - 1 mm	mikrofale, komunikacja satelitarna
Promieniowanie podczerwone	10^3-10^5 GHz	300 μ - 3 μ	komunikacja w podczerwieni
Promieniowanie widzialne	$10^{13}-10^{15}$ GHz	1 μ - 3 μ	komunikacja światłowodowa
Promieniowanie X	$10^{15}-10^{18}$ GHz	103 μ - 107 μ	różnorodne
Promieniowanie Gamma Promieniowanie kosmiczne	> 10^{18} GHz	<107 μ	nuklearne



- wysoka odporność na interferencje elektromagnetyczne, co staje się przydatne do stosowania tej techniki w budynkach przemysłowych, gdzie takie zakłócenia występują i są duże;
- stosunkowo wysoka tłumienność jednostkowa, mieszcząca się w zakresie od 1 do 10 dB/km dla promieniowania o długości fali 700-1500 nm;
- niewielki zasięg sygnałów podczerwieni, nie przekraczający zwykle kilkudziesięciu metrów (typowo kilkanaście metrów w sieciach LAN) z łączną przepływnością do 1 Gb/s. Tworzenie wydzielonych łączy podczerwieni na większych odległościach (do kilku kilometrów) wiąże się ze zmniejszeniem szybkości przekazów od 2 do 155 Mb/s.

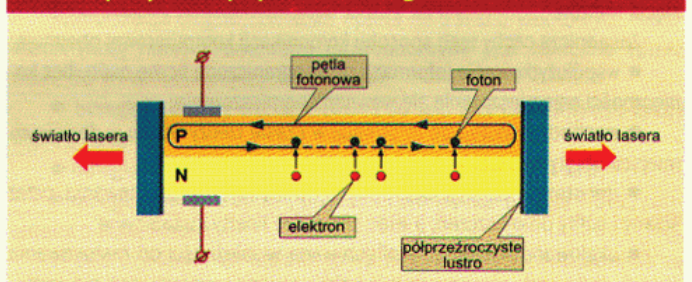
Zasadniczą zaletą łączy w podczerwieni jest brak potrzeby zezwolenia (uzyskiwania licencji) na ich stosowanie przez odpowiednie agencje rządowe, oraz możliwość stosunkowo łatwego kreowania kierunkowej wiązki transmisyjnej o wysokim skupieniu przesyłanej energii. W rezultacie transmisje w podczerwieni, mające wiele wspólnych cech z komunikacją mikrofalową, bardziej upodabniają się do techniki transmisji optycznej niż mikrofalowej.

- stosunkowo duża wrażliwość na zakłócenia pochodzące ze źródeł promieniowania widzialnego, co wymaga używania specjalnych konstrukcji urządzeń nadawczo-odbiorczych.

Modulatory podczerwieni

Źródłem promieniowania podczerwieni są diody elektroluminescencyjne LED (*Light Emitting Diode*) lub diody laserowe – promieniowanie laserowe. Charakteryzują się one szerokim pasmem modulacji, promieniowaniem wąskiej wiązki przestrzennej, wąskim widmem optycznym, niewielkimi wymiarami i małym prądem zasilania. W porównaniu z diodą LED promieniowanie diody laserowej ma mniejszą bezwładność, węższe widmo wypromieniowanej mocy, lepszą liniowość, bardziej rozbudowaną konstrukcję i wyższą cenę.

Zasada pracy lasera półprzewodnikowego



Typowe parametry modulatorów podczerwieni

Parametr	Dioda LED	Dioda laserowa
Moc optyczna	1 mW	5-10 mW
Moc wprowadzana	0,02-0,1 mW	2-4 mW
Prąd modulacji	100 mA	20-40 mA
Widmo optyczne	40-120 nm	0,3-2 nm
Szybkość modulacji	10-200 MHz	>1 GHz
Wrażliwość na zmiany temperatury	mała	duża
Cena	2-200 USD	15-5000 USD

Podobnie jak w komunikacji radiowej łączy działające w zakresie podczerwieni mogą być bezpośrednie (ciągła widoczność źródła) lub dyfuzyjne (stałe natężenie promieniowania odbitego w pomieszczeniu zamkniętym).

Fale radiowe

Przyjmuje się, że przekazy w zakresie niskich częstotliwości widma elektromagnetycznego od 3 kHz do 300 GHz są traktowane jako transmisje na falach radiowych. Typowym zastosowaniem fal radiowych jest radiodifuzja programów radiowych (z modulacją amplitudy AM i częstotliwości FM) i telewizyjnych oraz radiokomunikacja. Zasięg fal radiowych o wysokich częstotliwościach jest ograniczony linią widnokregu, chociaż istnieje wiele zjawisk rozszerzających ten zasięg. Do najważniejszych sposobów należą:

- propagacja **jonosferyczna**, wykorzystywana w radiokomunikacji krótkofalowej (3 MHz do 30 MHz), silnie uzależniona od intensywności promieniowania słonecznego w cyklu dobowym;
- propagacja **przemienna**, ograniczona do częstotliwości w zakresie 3–10 MHz i obejmująca stacje radiowe pracujące na falach średnich i długich (z modulacją amplitudy AM);
- propagacja **troposferyczna**, oddziałująca na falach w zakresie do 30 MHz, dzięki której zasięg fal radiowych prowadzonych w dolnych warstwach atmosfery (troposfera) jest wprawdzie ograniczony krzywizną kuli ziemskiej, ale większy od zasięgu optycznego (refrakcja poza horyzontalna). Ten sposób propagacji wykorzystuje tworzenie się unikatowych duktów (kanałów, falowodów) troposferycznych, powstających wokół Ziemi w zakresie bardzo niskich częstotliwości (poniżej 30 kHz), co sprzyja komunikacji między okrętami podwodnymi zanurzonymi na niewielkich głębokościach.

Łączność bezprzewodowa WLAN

Bezprzewodowe sieci komputerowe WLAN (*Wireless Local Area Networks*) zapewniają takie same parametry pracy jak lokalne sieci przewodowe LAN, zapewniając użytkownikowi przy okazji swobodę poruszania się na terenie firmy lub w budynku biurowym objętym radiowym zasięgiem sieci. Najczęściej spotykane wersje odzwierciedlają strukturę sieci Ethernet 10 Mb/s, zapewniając praktycznie taki sam stopień niezawodności, jak uzyskiwany w sieciach przewodowych LAN wg specyfikacji IEEE 802.11 DS (*Direct Sequence*) – bez konieczności tworzenia specjalnego okablowania komputerowego lub strukturalnego. Jeden punkt dostępu (z anteną umieszczoną pod sufitem) może obsłużyć kilkudziesięciu użytkowników w zasięgu do kilkudziesięciu metrów

Zasadnicze cechy tego sposobu komunikacji komputerowej obejmują:

- współużytkowanie informacji przez ograniczoną liczbę osób, bez konieczności przemieszczania się wewnątrz pomieszczenia;
- swobodny dostęp do informacji w czasie rzeczywistym w dowolnym miejscu objętym zasięgiem radiowym sieci;
- prostotę instalacji bez potrzeby prowadzenia okablowania przez ściany i sufity pomieszczeń, a więc niewielkie koszty instalacyjne;
- skalowaną strukturę, konfigurowaną w zależności od zastosowania (bez dodatkowego rozprowadzania kabli); zmiana topologii sieci nie wymaga prac instalacyjnych.

System radiowy *WaveLAN/IEEE Turbo Solution* (Lucent Technologies) zapewnia komunikację bezprzewodową typu WLAN o parametrach równoważnych sieci komputerowej Ethernet 10 Mb/s. Działa on w zasięgu do 125 m w środowisku otwartym (bezpośrednia widoczność anten) i średnio do 40 m w środowisku półotwartym (ścianki działowe, partycja stanowisk pracy). Automatyczne skalowanie szybkości umożliwia uzyskiwanie większych przepływności o małym zasięgu i transmisje maks. do 550 m z mniejszym ruchem komputerowym.

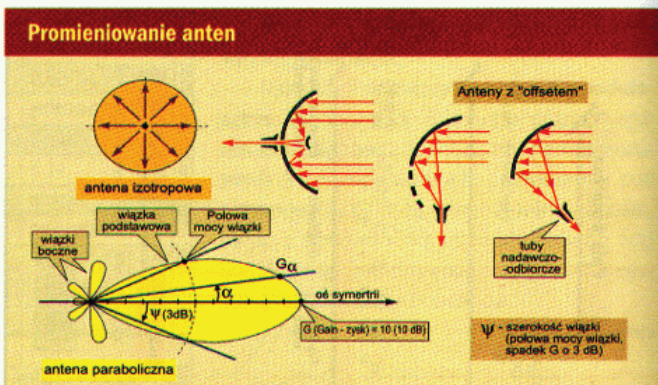
Transmisje mikrofalowe

Transmisja za pomocą mikrofal (o częstotliwości powyżej 1 GHz) może być zrealizowana pod warunkiem wzajemnej widoczności anten nadawcy i odbiorcy. Odstępstwem od tej zasady jest wykorzystanie zjawiska ugięcia i rozproszenia: wolny od przeszkód obszar pierwszej strefy Fresnela (elipsoidalna obrotowa), co umożliwia komunikację w obszarze poza bezpośrednią widocznością anten. Maksymalna odległość między kolejnymi węzłami na-

ziemnej radiolinii mikrofalowej zwykle nie przekracza 60 km; aby uzyskać większy zasięg stosuje się stacje przekaźnikowe (przebiegi pasma). Stosowane częstotliwości radiowe znajdują się w zakresie 1–30 GHz, przy czym wyższe częstotliwości są używane do transmisji prywatnych na krótszych dystansach, o większych możliwościach skupiania kierunkowego – podobnie jak promieniowanie optyczne. Transmisje mikrofalowe są stosowane w celu:

- łączności między dwoma budynkami w mieście;
- komunikacji na terenach otwartych, gdzie położenie kabla nie jest opłacalne (pustynie, bagna, obszary wodne);
- zapewnienia połączeń naziemnych dublujących inne rodzaje komunikacji publicznej;
- zapewnienia łączności satelitarnej ze stacjami naziemnymi.

Różnią się dwa rodzaje łączy mikrofalowych: typowe łączy dwupunktowe klasy P-P (Point to Point) do komunikacji radiolinijowej, także stosowane w sieciach komórkowych, oraz klasy P-MP (Point to Multipoint), z przeznaczeniem do tworzenia dwukierunkowej sieci komunikacyjnej z koncentracją ruchu.



Typowe odległości łączy mikrofalowych

Zakres częstotliwości (GHz)	Typowa odległość między stacjami radiolączy (km)
2	60
4/5/6	50
7/8	45
11	35
13	25
15	20
18/20	10
30	5
60	0,5

Pasma transmisji radiowych

Częstotliwość (GHz)	Maksymalny zasięg (km)	Rodzaj transmisji
4-6	32-48	analogowa
10-12	16-24	cyfrowa
18-23	8-11	cyfrowa

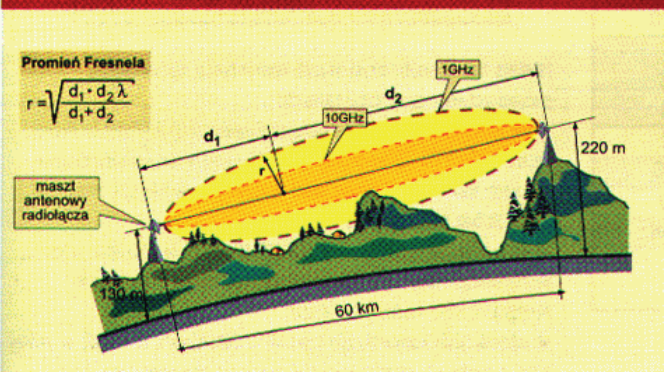
Łącze mikrofalowe

Zakres częstotliwości, na których działają naziemne łączy mikrofalowe na potrzeby telekomunikacji, jest różnie definiowany. Najczęściej stosowane długości fali radiowej w zakresie centymetrowym, od 1 m do 1 mm, odpowiadają częstotliwościom od 0,3 GHz do 30 GHz, niekiedy nawet do 300 GHz (0,1 mm).

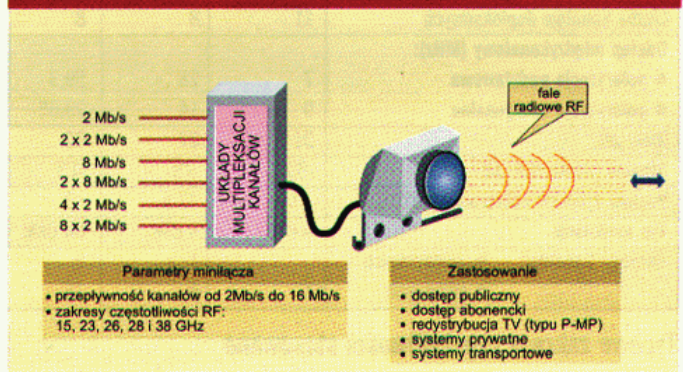
Typowe pasma łącz radiowych

Zakres częstotliwości (GHz)	Szerokość pasma (MHz)	Rekomendacje CCIR	Odstęp kanałowy (MHz)	Pojemność pasma		Liczba kanałów radiowych
				liczba kanałów analogowych	przepływność kanałów cyfrowych (Mb/s)	
2	200	283	14	60-300	2, 8, 34	4-6
2/4	400	382	29	600-1800	140/155	9
4	500	934	40	2700	140/155	6
6,2	500	383	30	960/1800	140/155	8
6,7	680	384	40	2700	140/155	8
7	300	385	7	60-300	2, 8, 34	20
8	300	386	11,6	300-960	2, 8, 34	12
11	1000	387	40	600-1800	140/155	12
13	500	497	14	60-300	2, 8, 34	8
15		636	14		2, 8, 34	16
			28		140/155	
18		595	5/7, 5/27, 5		2, 8, 34	188/125/35
23		637	14		2, 8, 34	
			28		140/155	

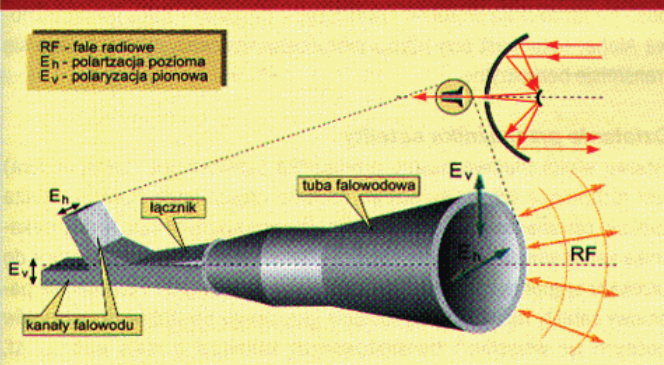
Zasięg strefy Fresnela (elipsoida obrotowa)



Interfejsy wewnętrznych miniłaczy radiowych (Ericsson)



Polaryzacja sygnałów w łączu radiowym



Tak znaczne częstotliwości nośne umożliwiają uzyskanie dużych szerokości pasma pozwalających na tworzenie dużej liczby kanałów dla telekomunikacji, zgrupowanych w trzech kategoriach:

- małej pojemności (wąskopasmowe) – zawierające do 120 analogowych kanałów telefonicznych lub kanały cyfrowe o łącznej przepływności do 10 Mb/s;
- średniej pojemności – obejmujące od 120 do 300 kanałów analogowych lub kanały cyfrowe 10 do 100 Mb/s;
- dużej pojemności – powyżej 300 kanałów telefonicznych lub cyfrowe o przepływności powyżej 100 Mb/s.

Do łączności lokalnej na terenie zurbanizowanym stosuje się systemy łącz mikrofalowych (*short haul*) działających w zasięgu wzroku, zwane miniłaczami typu LOS (*Line of Sight*) o małej i średniej pojemności kanałów i działające w zasięgu od kilkuset metrów do kilku km.

Komunikacja długodystansowa oparta na transzoryzontalnych systemach (*long haul*) z antenami parabolicznymi jest zalecana (przez CCIR/ITU-R) na następujących zasięgach:

- odległość między węzłami 100–200 km, przy częstotliwości pracy około 5 GHz;
- odległość 200–400 km, preferowana częstotliwość 2 GHz;
- odległość 400–700 km, przy częstotliwościach poniżej 1 GHz, z antenami o dużej średnicy.

W celu uzyskania jak najmniejszych mocy nadawczych stosowane są anteny kierunkowe o dużym zysku, różnorodne formy anten parabolicznych (z offsetem położenia), złożone konstrukcje falowodów doprowadzających energię fal radiowych do anten nadawczo-odbiorczych.

Łącze satelitarne

Łącza satelitarne, działające w szerokim zakresie częstotliwości radiowych od 0,3 GHz (pasmo UHF) do ponad 40 GHz (pasmo V), są wykorzystane zarówno w komunikacji satelitarnej, jak i kosmicznej. Do typowych zastosowań należą:

- komunikacja z naziemnymi obiektami ruchomymi (lądowa, samochodowa, lotnicza, morska, osobista, specjalna);
- komunikacja satelitarna ISL (*Inter Satellite Link*) między orbitującymi obiektami;
- naziemna komunikacja rozsiewcza (radiowa i telewizyjna);
- globalna radiolokacja i radionawigacja;
- badanie przestrzeni kosmicznej;
- aplikacje przyszłościowe (przesyłanie energii, komunikacja kosmiczna).

W łączności satelitarnej stosuje się trzy rodzaje zwielokrotnienia dostępu: częstotliwościowy FDMA, czasowy TDMA i kodowy CDMA. Krótsze czasy

Radiolinie systemów analogowych

Liczba kanałów telefonicznych	Szerokość pasma (kHz)	Średniokwadratowa dewiacja kanału (kHz)	Wymagany zakres częstotliwości radiowej (MHz)
12	60-108	35	35/70
24	(6)12-108	35	35/70
60	60-300	50/100/200	35/70
120	12-552	50/10/200	35/70
300	60-1300	200	70
960	60-4188	200	70
1260	60-5680	140/200	70
1800	312/316-8204	140	70
2700	312/316-12 388	140	140

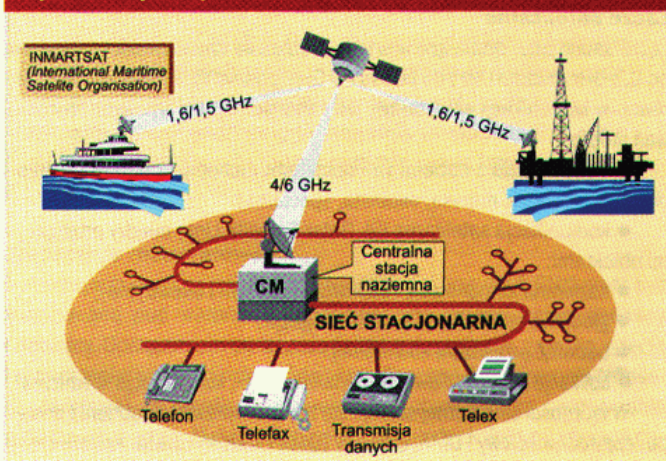
Parametry łączy radiowych RF

Kategoria	1	2	3	4
Zasięg systemu	duży	duży	duży	mały
Pojemność transmisyjna	mała	średnia	duża	mała
Szybkość transmisji (Mb/s)	2	34	140	2
Zakres częstotliwości pracy (GHz)	2	12	6,7	22
Numer rekomendacji CCIR	283-4	497-2	383-3	637
Liczba kanałów dwuplexowych	11	8	8	170
Odstęp międzykanałowy (MHz):				
• polaryzacja podstawowa	7	28	59,3	28
• polaryzacje ortogonalne	0	14	29,65	14
Moc (dB)	31,5	27	32	17
Stopień błędu BER*10 ⁻³ (dB)	-89	-79	-73	-78
Poziom szumów odbiornika (dB)	<3,5	<7,5	<3	<9
Typ modulacji	4 PSK	4 PSK	64 QAM	FSK
Obsługa kanałów:				
• analogowych	-	1	-	-
• cyfrowych	1	6	15	1

Typowe zakresy częstotliwości stosowane w łączności satelitarnej

Zakres	Nazwa	Pasma (GHz)	Wykorzystana szerokość pasma (MHz)
UHF		200-400 MHz	160 kHz
	L	1,5-1,6	47
	S	1,6/4	
SHF	C	6/4	800
	X	8/7	500
	Ku	14/12	500
	Ka	30/20	2500
EHF	Q	44/20	3500
	V	64/59	5000

System stacyjny INMARSAT



Bardziej szczegółowa lista zakresów częstotliwości

Zakres	Pasma (GHz)
HF	1,8-30 MHz
VHF	50-146 MHz
P	0,230-1
UHF	430-1300
L	1,530-2,700
S	2,700-3,500
C (downlink)	3,700-4,200
C (uplink)	5,925-6,425
X (downlink)	7,250-7,745
X (uplink)	7,900-8,395
Ku (downlink): (region 1)	FSS: 10,700-11,700 DBS: 11,700-12,500 Telecom: 12,500-12,750
Ku (uplink)	FSS & Telecom: 13,75-14,5 DBS: 17,300-18,100
Ka (one interpretation)	17,7-31
V	36-51,4

Istnieją trzy sposoby uzyskiwania komunikacji naziemnej za pośrednictwem łączy satelitarnych:

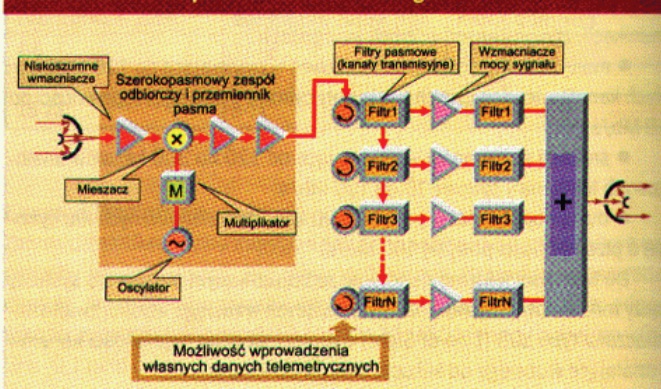
- dwupunktowe połączenia porozumiewawcze P-P (*Point to Point*), zapewniające dwukierunkową łączność między dwiema wybranymi stacjami naziemnymi (przez sieci kratowe) – zwykle dla transmisji ciągłych bez pośrednictwa stacji centralnej;
- komunikacja rozśiewcza typu P-MP (*Point to Multipoint*), w której jedna stacja rozsyła jednokierunkowo sygnały do praktycznie nieograniczonej liczby odbiorców;
- interakcyjna komunikacja typu MP-P (*Multipoint to Point*), w której zdalne terminale komunikują się ze sobą przez centralną stację pośredniczącą.

dość zapewniają protokoły rywalizacyjne (losowe) – takie jak szczelino-wa Aloha; natomiast przy użyciu protokołów rezerwacyjnych uzyskuje się transmisje bezkolizyjne.

Działanie przekaźnika satelity

Typowe wielokanałowe pasmo przekaźnika satelitarnego (transpondera) jest rozdzielone częstotliwościowo na dwie części: łącze Ziemia–satelita (*uplink*) przeznaczone do odbioru sygnałów przesyłanych z Ziemi do przekaźnika satelitarnego oraz łącze satelita–Ziemia (*downlink*) przeznaczone do przekazu sygnałów z transpondera do stacji naziemnych. Przemiennik pasmowy satelity dokonuje przesunięcia grupowego częstotliwości sygnałów nośnych we wszystkich transmitowanych kanałach o stałą wartość Δf .

Zasada działania przekaźnika satelitarnego



ustaloną przez kwarcowy, wysokostabilny generator podnośnej znajdującej się w transponderze. W przemienniku nie ulegają modyfikacji żadne informacje w kanałach komunikacyjnych, z wyjątkiem danych w kanałach specjalnych – przeznaczonych dla satelity, a dotyczących sterowania i śledzenia toru lotu przekaźnika, sterowania antenami, przełączania wiązek oraz telemetrii i monitoringu różnych jego układów.

Stacje satelitarne

Od chwili oddzielenia się satelity od ostatniego członu rakiety wynoszącej kontrolę nad dalszym lotem satelity i jego funkcjonowaniem przez cały czas trwania misji (np. 10 lat) przejmuje **naziemna stacja kontrolna TTAC** (*Tracking, Telemetry and Command*), która nawiązuje łączność, stabilizuje lot, sprawdza na bieżąco wszystkie parametry transpondera, łącznie z ko-

rektą jego orbity oraz kierunkowością anten i poprawnością działania kanałów komunikacyjnych. Operatorzy stacji TTAC prowadzą stały nadzór stanu technicznego satelity komunikacyjnego, a w przypadkach awarii elementów napędowych lub komunikacyjnych przeprowadzają zamianę uszkodzonych elementów na zapasowe układy redundancyjne (technika zdalnej redundancji układów transpondera jest jedną z istotnych funkcji satelity).

Nad właściwym wykorzystaniem łączy komunikacyjnych przekaźnika lub kilku równocześnie orbitujących przekaźników czuwa wydzielona **stacja centralnego sterowania satelitami SCC** (*Satellite Control Center*). Centrum to, oprócz kontroli i zarządzania połączeniami satelitarnymi z siecią PSTN przez huby i routery, ma dodatkowo możliwość nadrzędnego przejęcia wszystkich funkcji sterujących z podległej mu stacji kontroli TTAC.

(au)