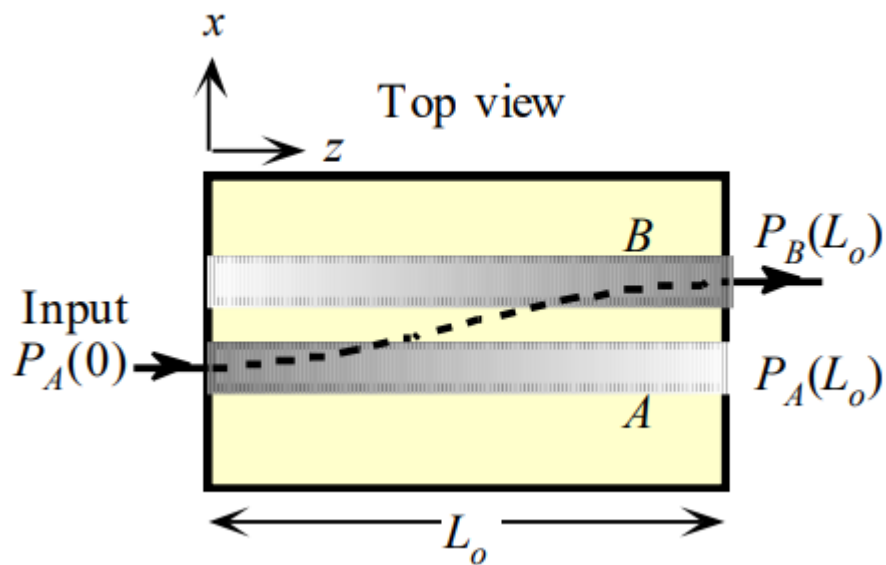
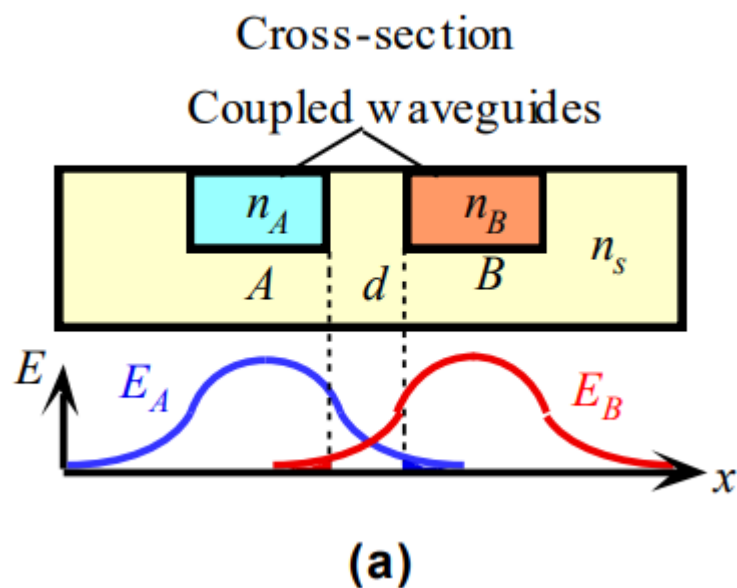


1. Sprzęgacz kierunkowy: budowa, działanie, właściwości

Sprzęgacz kierunkowy - prosty układ zawierający dwa falowody. Następuje sprzężenie między falowodami i dochodzi do wymiany energii. Energia może przechodzić z falowodu a do b i odwrotnie.

- współczynniki załamania n_A i n_B (efekt falowodowy - $n_B > n_A$)
- odległość między falowodami d - wpływa na współczynnik sprzężenia między falowodami
- penetracja pola w drugim falowodzie



Siła sprzężenia znajdująca się między tymi falowodami zależy od :

- odległości - gdy wzrasta odległość to współczynnik maleje

- delta n (różnica n_a/n_b w stosunku do n_s) maleje, to rozkład natężenia jest coraz szerszy
- długość fali - gdy jest dłuższa fala, tym większy rozkład modowy, a co z tym idzie współczynnik sprzężenia

Mamy dwa falowody - jeden o energii równej P [czerwony], drugi o energii równej 0 [niebieski]. Falowód czerwony i jego energia zwiększają się, niebieskiego falowodu energia spada. W L_0 odległości dochodzi do przekazania energii / mocy optycznej z czerwonego światłowodu do niebieskiego. Mamy też punkt w którym te energie się przecinają, nazywamy ten punkt L_{3db} , to podział energii jest 50:50 -> jak np. był 1mw i 0 mw to jest 0.5 i 0.5 w każdym. To wszystko się dzieje w sposób oscylacyjny - okresowy.

- **Excess loss – straty wewnętrzne**
$$L_E = 10 \log \frac{P_1}{P_3 + P_4}$$
- **Insertion loss – straty wtrąceniowe**
$$L_I = 10 \log \frac{P_1}{P_4}$$
- **Directionality - kierunkowość**
$$L_D = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$
- **Split ratio – współczynnik podziału**
$$SR = \left[\frac{P_3}{P_3 + P_4} \right] * 100\%$$

$$= \left[1 - \frac{P_4}{P_3 + P_4} \right] * 100\%$$

2. Współczynnik sprzężenia światłowodów – od czego zależy jego wartość?

$$\frac{dA_0(z)}{dz} = -i\beta A_0(z) - i\chi A_1(z)$$

$$\frac{dA_1(z)}{dz} = -i\beta A_1(z) - i\chi A_0(z)$$

gdzie:

- A - amplituda fali
- β - stała propagacji,
- χ - współczynnik sprzężenia.

$A_0(z)$ zależy od $A_1(z)$ i wzajemnie. Obydwa falowody na siebie oddziałują.

The solutions of coupled equations for $A_0(0)=1$ and $A_1(0)=0$ are:

The amplitude transmitted in fibers can be expressed as follow:

$$A_0(z) = \cos(\chi z) e^{i\beta z}$$

$$A_1(z) = -i \sin(\chi z) e^{i\beta z}$$

Thus the power flow in the guides is given by:

$$P_0(z) = \cos^2(\chi z) e^{-\alpha z}$$

$$P_1(z) = \sin^2(\chi z) e^{-\alpha z}$$

W wejściu 2 nie ma sygnału na początku. Rozkład dla A_0 jest cosinusoidalny, a $A_1(z)$ jest sinusoidalny.

Rozkład mocy: moce są zawsze dodatnie (cosinus i sinus - jak cosinus =1 to sinus =0 i tak okresowo na zmianę)

Prawie takie same struktury, jak w przypadku sprzęgacza światłowodowego i sprzęgacza falowodowego, są używane w urządzeniach WDM. Wartość współczynnika sprzężenia c dla urządzenia WDM różni się od współczynnika sprzęgacza 3 dB i jest zmienna dla używanego zakresu długości fal.

For λ_1 , $\chi L = \pi/2$ and:

$$P_0(L) = 0$$

$$P_1(L) = A^2$$

For λ_2 , $\chi L = \pi$ and:

$$P_0(L) = A^2$$

$$P_1(L) = 0$$

Współczynnik sprzężenia c zależy od budowy falowodu, czyli od odległości dwóch rdzeni, kształtu rdzenia i profilu współczynnika załamania światła:

$$\chi = 2h^2 q e^{-qd} / [\beta W (q^2 + h^2)]$$

gdzie:

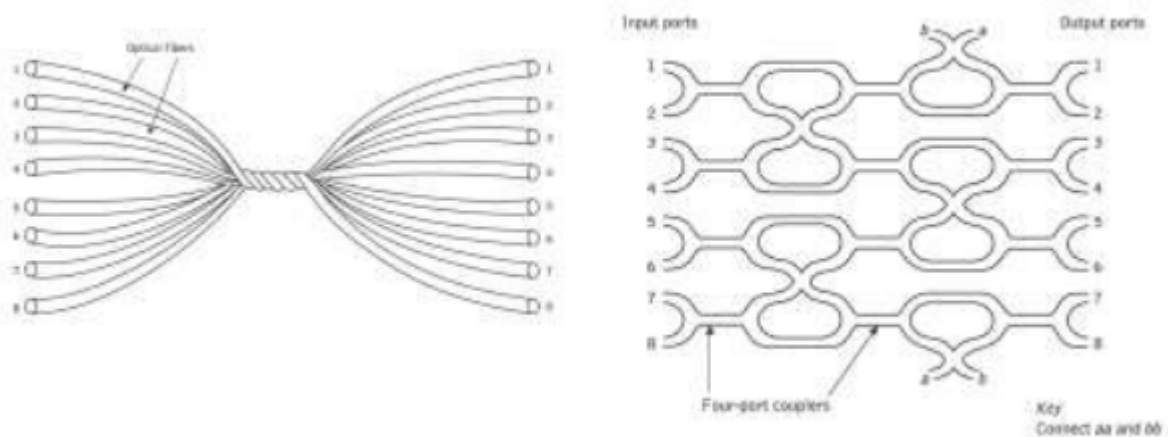
- W - szerokość falowodu,
- d - odległość,
- h, q, b - stałe propagacji.

3. Zastosowanie sprzęgacza kierunkowego

- połączenie między sygnałem transmitowanym w kablu a urządzeniami sprawdzającymi parametry sygnałów przesyłanych w systemie
- może pracować jako multiplekser i demultiplekser
- systemy wojny elektronicznej, radary, pomiary kompatybilności EMC i szyki fazowane

4. Rozgałęźniki optyczne: typy, parametry

- rozgałęźnik N*N - star - zgrzewano i skręcano jednocześnie włókna z akrylu , pomiędzy węzłami była możliwość przeniesienia energii



- rozgałęźnik 1:N - najczęściej stosowany

- **Splitting losses – straty podziału (star coupler)**

$$L_S = 10 \log(N)$$

- **Excess loss (star coupler)**

$$L_E = 10 \log \left[\frac{P_i}{\sum_1^N P_j} \right]$$

- **Total loss**

$$L_T = L_S + L_E$$

- rozgałęźnik M:N

- Splitting losses – straty podziału (star coupler)

$$L_S = 10 \log(N)$$

- Excess loss – straty wewnętrzne (star coupler)

$$L_E = 10 \log \left[\frac{P_i}{\sum_{j=1}^N P_j} \right]$$

- Total loss – straty całkowite

$$L_T = L_S + L_E$$

- Insertion loss – straty wtrąceniowe

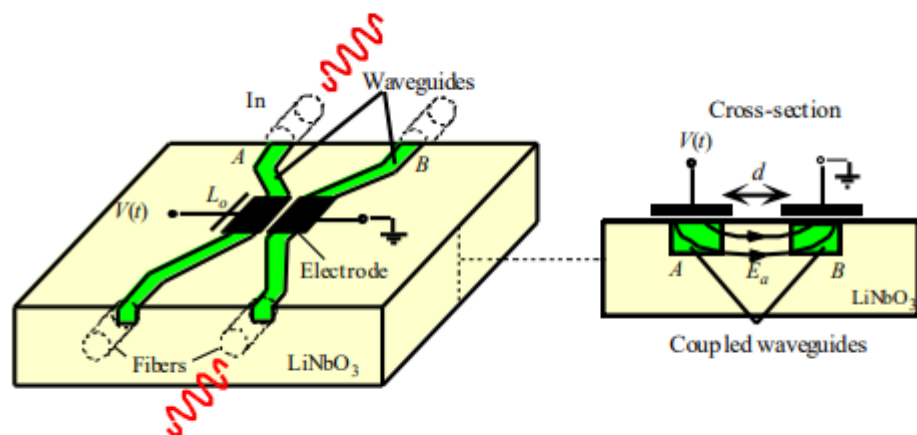
$$L_I = 10 \log(P_i/P_j)$$

5. Modulator elektro-optyczny

- Dorzucone na powierzchni materiały w które wykonane są falowody. Mamy sterujące ruchem elektrody. W związku z tym podłoże nie może być z dowolnego materiału. Musi być materiał który wykazuje się silnym efektem elektrooptycznym. Efekt elektrooptyczny to wpływanie natężenia pola elektrycznego na właściwości optyczne - na współczynnik załamania. Jest to regulowanie zmiany współczynnika załamania pod wpływem pola elektrycznego.
- Po to są nam potrzebne elektrody, pod którymi/pomiędzy którymi wytwarza się pole elektryczne które zmienia wartości współczynników załamania zarówno w rdzeniach jak i w obszarze pomiędzy rdzeniami.
- W związku z tym musi być wytworzone na materiale który ma dobre współczynniki/właściwości elektrooptyczne.
- Falowody początkowo są w dużej odległości od siebie, nie oddziałują na siebie. Zbliżają się no i +/- od tego momenty zaczyna się oddziaływanie. Sprężenie między falowodami występuje wyłącznie na tej długości gdzie falowody biegną blisko siebie. Na etapie projektowania można ustalić tą długość.
- Na bazie Niobianu Litu wykonujemy wszelkie modulatory.
- Co się dzieje jak napięcie doprowadzone zostanie do elektrod. - zmieniają nam się parametry materiałów w obrębie falowodów i pomiędzy falowodami (zmiana współczynnika sprężenia między falowodami. Zależy on od napięcia sterującego.
- Strujemy parametrem BETA poprzez napięcie zewnętrzne sterujące.

- Sygnał wejściowy pojawia się od góry (IN), to ramię z lewej strony (A). Gdy nie ma sygnału elektrycznego to mamy 100% sprzężenie i mamy wyjściem falowodem przeciwnym (B), ale my chcemy uzyskać sytuację że istnieje takie napięcie sterujące które powoduje zmianę sytuacji, czyli wprowadzamy na wejście A, ale przy pewnym napięciu dochodzi do przerzucenia sygnału już nie na wyjście falowodu B tylko na wyjście falowodu A. - funkcja komutatora.

Modulator E/O



An integrated directional coupler. Applied field E_a alters the refractive indices of the two guides and changes the strength of coupling.

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)

- Stała propagacji B mają różne wartości - nie są sobie równe. Współczynnik sprzężenia KSI jest funkcją napięcia. Beta są funkcją napięcia. Dla pewnego napięcia możemy uzyskać możliwość $B_0 = B_1$, najczęściej gdy napięcie jest równe zero. Zmieniamy napięcie, zmienia się sprzężenie, zmienia się beta i dostajemy inny stan.

Równania sprzężone modulatora E/O: Coupled equations can be given by:

$$\frac{dA_0(z)}{dz} = -i\beta_0 A_0(z) - i\chi A_1(z)$$

$$\frac{dA_1(z)}{dz} = -i\beta_1 A_1(z) - i\chi A_0(z)$$

- Warunki początkowe: $A_0(z=0)=1$
Boundary conditions: $A_1(z=0)=0$

- Amplitudy sygnału optycznego:
Signals amplitude: $A_0(z) = \left[\cos(gz) - i \frac{\Delta\beta}{2g} \sin(gz) \right] \exp \left[-i \left(\beta_0 - \frac{\Delta\beta}{2} \right) z \right]$
 $A_1(z) = - \left[- \frac{i\chi}{g} \sin(gz) \right] \exp \left[-i \left(\beta_1 - \frac{\Delta\beta}{2} \right) z \right]$

- gdzie:
where: $\Delta\beta = \beta_0 - \beta_1$
 $g^2 \equiv \chi^2 + \left(\frac{\Delta\beta}{2} \right)^2$

6. Schemat, działanie interferometru Macha-Zendera

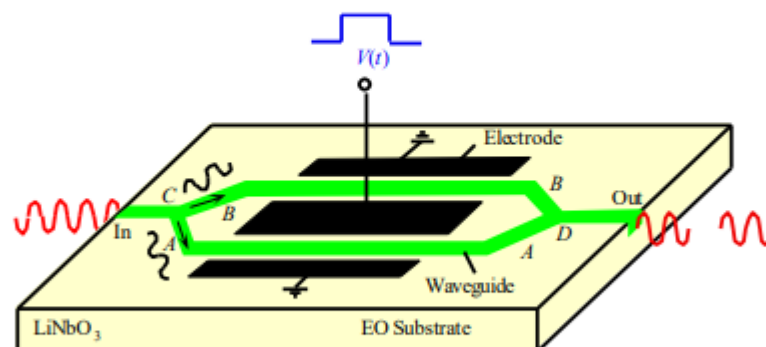
- Wiązkę światła rozdzielamy na 2 części - górną i dolną (B i A). Potem spotykają się one w punkcie D - sumują się, ale pamiętamy że wiązka optyczna to fala elektromagnetyczna i to sumowanie (interferencja) zachodzi z uwzględnieniem zależności fazowych między B i A. Jeżeli przesunięcie fazowe jest takie, że w punkcie D te dwie części (zakładamy o identycznych mocach) spotykają się w przeciwnej fazie o następuje całkowite wygaszenie i na wyjściu nie

obserwujemy sygnału optycznego. Jeżeli są w zgodnej fazie, jest maksymalny sygnał optyczny i interferencja konstruktywna.

- Struktura falowodów planarnych (tych zielonych) są stworzone na Niobalanie Litu, na falowody górny i dolny oddziałujemy elektrodami po to by zmienić współczynnik załamania oraz by wpływać na fazę.
- Przy zerowym napięciu pojawia się przesunięcie fazowe i jeżeli fazy są przeciwne to pod wpływem napięcia następuje zanik sygnału wyjściowego.
- Do podziału wiązki na dwa (w punkcie C) lub sumowania wiązek (w punkcie D) stosujemy sprzęgacze kierunkowe. Mamy dwa wejścia - jedno wykorzystujemy, drugie "wisi" w powietrzu nieużywane, nie jest wyprowadzone. Na końcu jest też sprzęgacz kierunkowy.
- W sumie składa się z rozgałęźnika sprzęgacza kierunkowego, z dwóch linii światłowodowych o regulowanym przesunięciu fazy, sumatora na bazie sprzęgacza kierunkowego i dwóch wyjść.

The Mach-Zender E/O Modulator / Tunable Filter (MZI)

The Mach-Zender Tunable interferometric filter is another potential tunable filter candidate to use in multiaccess networks.



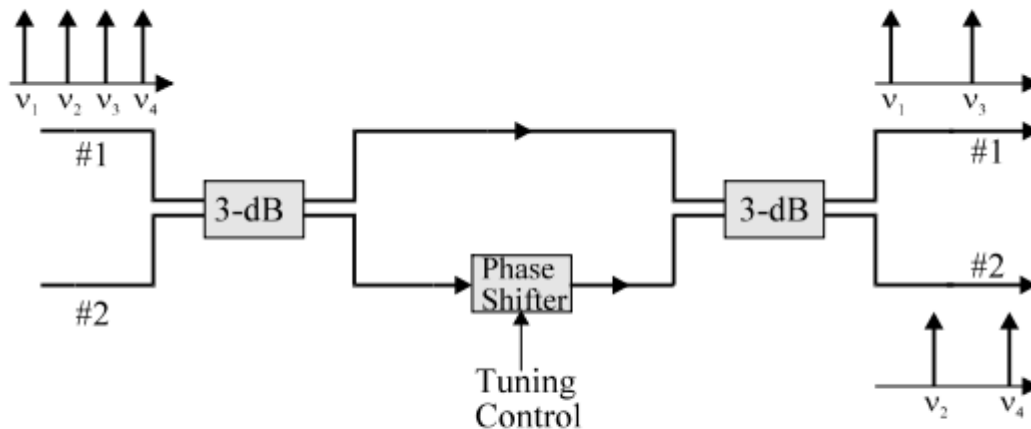
An integrated Mach-Zender optical intensity modulator. The input light is split into two coherent waves *A* and *B*, which are phase shifted by the applied voltage, and then the two are combined again at the output.

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)

- Dotyczy ten rysunek jak demultipleksa na bazie interferometru.

- Jest tu jeden przesuwnik fazy, ale wyżej są dwa przesuwniki.

A single-stage Mach-Zender interferometer:



The multichannel input signal is split into two equal parts by a 3-dB coupler. The two versions of the same signal traverse paths of slightly different lengths and merge together in another 3-dB coupler at the output.

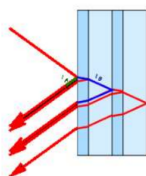
7. Zastosowanie interferometru Macha-Zendera

- Można to wykorzystać do badania subtelnych niejednorodności obiektów przezroczystych - np. przestrzennego rozkładu naprężeń w przezroczystym ośrodku stałym, lub rozkładu temperatury (i zarazem gęstości) gazu.
- Modulacja intensywności.
- Modulacja fazy nośnej optycznej.

8. Sieciowe elementy selektywne

Elementy selektywne są to elementy działające na określonej długości fali. Przykładem elementu selektywnego jest siatka Bragga będąca fragmentem światłowodu odbijającym określoną długość fali. Pozostałe długości są całkowicie przepuszczane.

Reflektor Bragga jest strukturą utworzoną z kilku warstw materiałów o naprzemiennie różnym współczynniku załamania światła. W wyniku uzyskuje się okresowe zmiany efektywnego współczynnika załamania światła na jego drodze przez falowód. Każda granica warstw powoduje częściowe odbicie fali optycznej. Dla fal, których długość jest bliska czterokrotnej grubości optycznej warstw, fale odbite sumują się z falami interferencyjnymi – otrzymuje się wtedy rodzaj selektywnego zwierciadła optycznego.



Bardzo istotnym parametrem siatki Bragga jest kontrast współczynnika załamania:

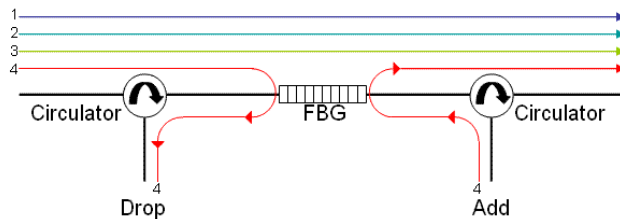
$$\Delta = \frac{n_{max} - n_{min}}{n_{max}}$$

gdzie:

n_{min} - minimalna wartość współczynnika załamania,

n_{max} - maksymalna wartość współczynnika załamania.

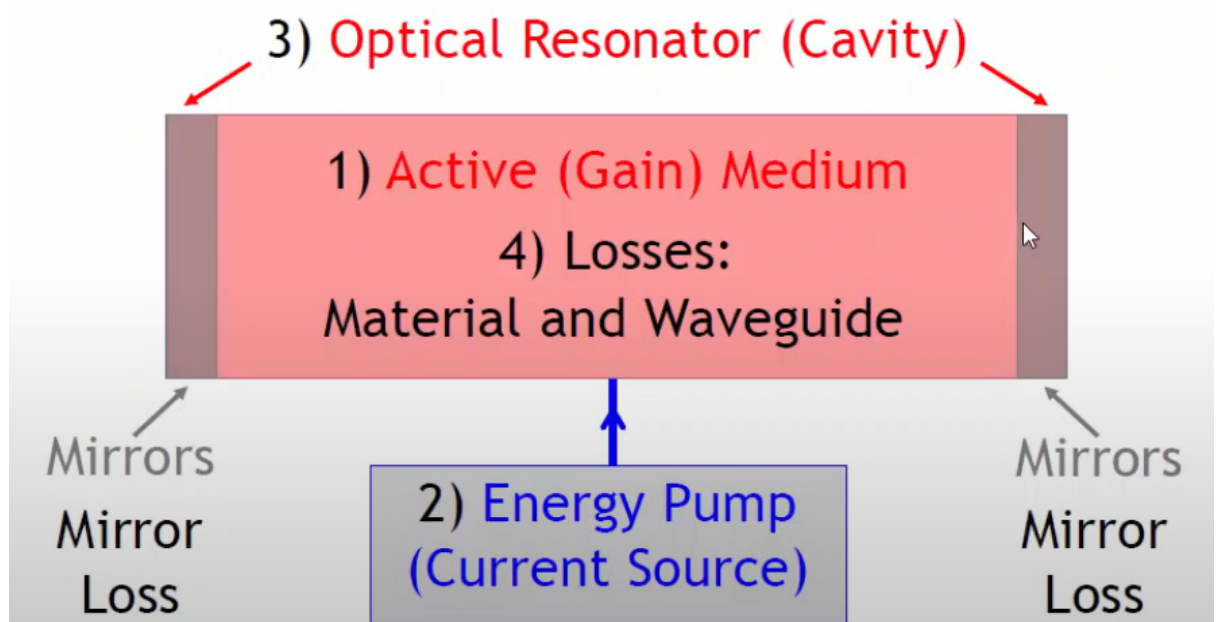
Wykorzystując filtry bragga można stworzyć add-drop multiplexer umożliwiający wyekstrahowanie i dołączenie fali o określonej długości w określonym kanale.



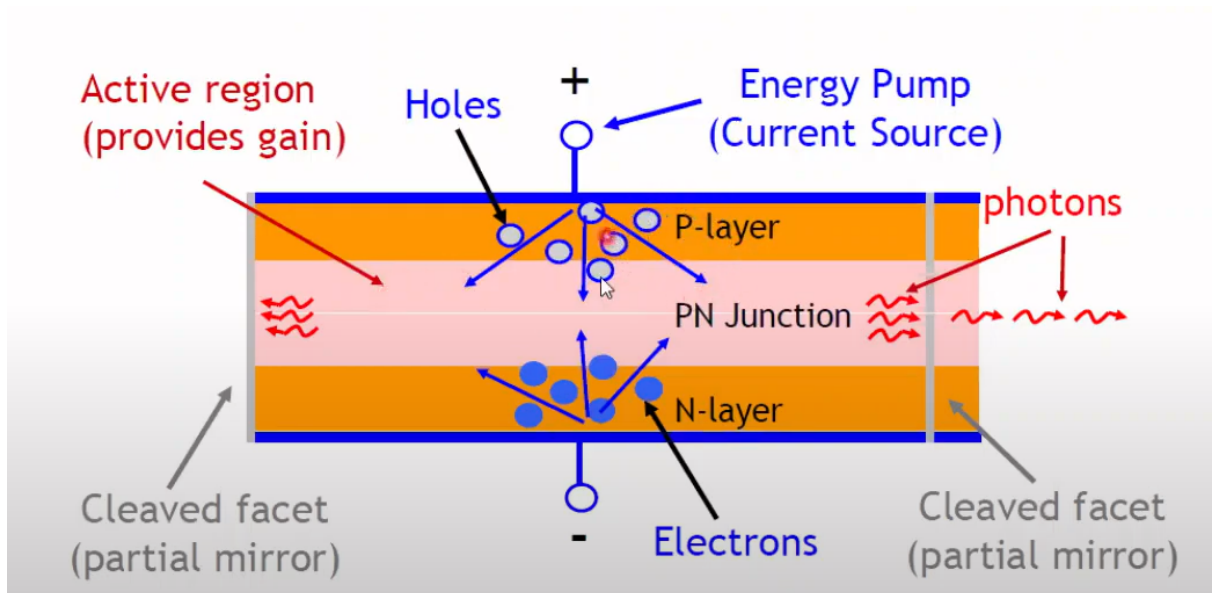
9. Nadajnik – lasery półprzewodnikowe: struktura lasera półprzewodnikowego, absorpcja, emisja spontaniczna, emisja wymuszona, inwersja obsadzenia, spektralna charakterystyka wzmocnienia, rezonator Fabry-Perot, warunki akcji laserowej, lasery wielomodowe / jednomodowe

Laser półprzewodnikowy - dioda laserowa / laser diodowy zapewnia większą moc wprowadzoną do włókna, niż dioda elektroluminescencyjna.

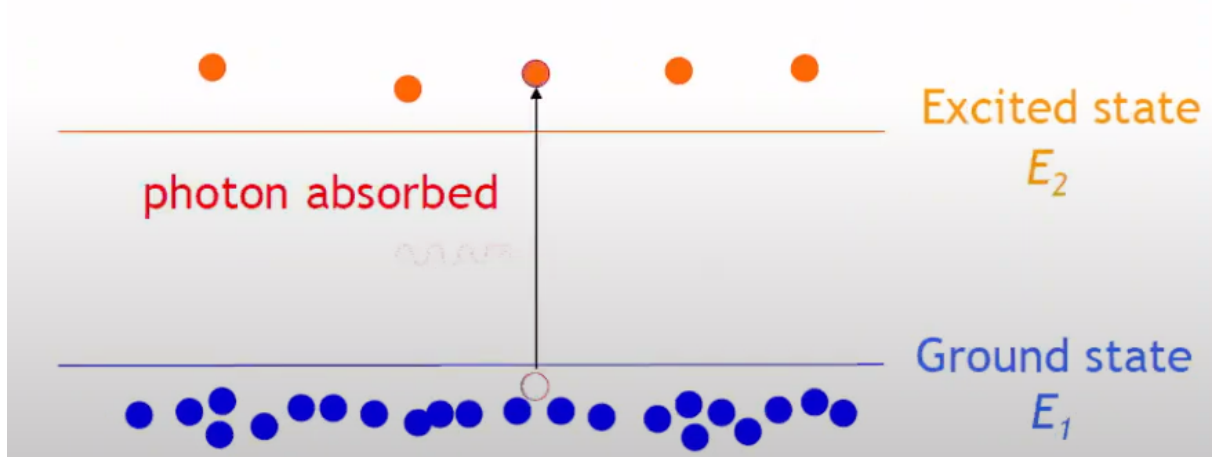
Struktura lasera półprzewodnikowego - Obszar aktywny (złącze PN będący ośrodkiem wzmacniającym) oraz zwierciadła zewnętrzne realizujące sprzężenie zwrotne. Laser musi posiadać zasilanie zewnętrzne.



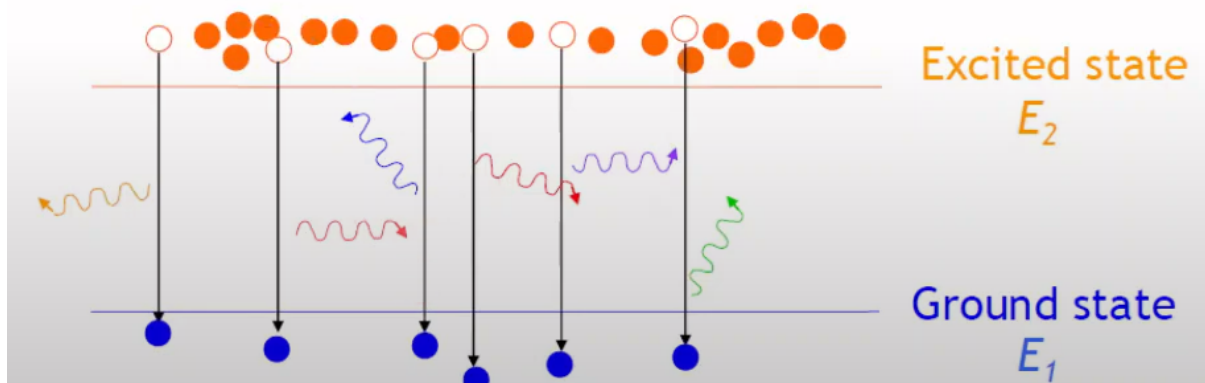
Wewnątrz złącza PN z jednej strony wstrzykujemy elektrony, natomiast z drugiej dziury. W wyniku rekombinacji elektronu o wysokiej energii z dziurą o niskiej energii wyzwala się energia w postaci fotonu.



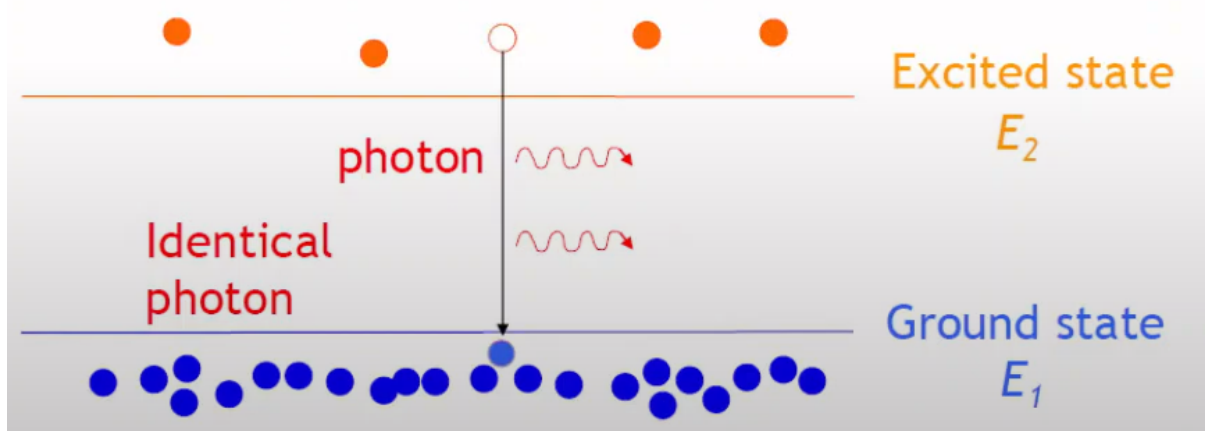
Absorpcja - tłumienie sygnału optycznego. Energia fotonu jest absorbowana przez elektrony z pasma walencyjnego w wyniku czego wzbudzone są elektrony do pasma przewodnictwa. Absorpcji towarzyszy spadek liczby fotonów i wzrost elektronów w paśmie przewodnictwa. Aby absorpcja nastąpiła foton musi mieć odpowiednią energię, aby pokonać pasmo zabronione materiału półprzewodnikowego.



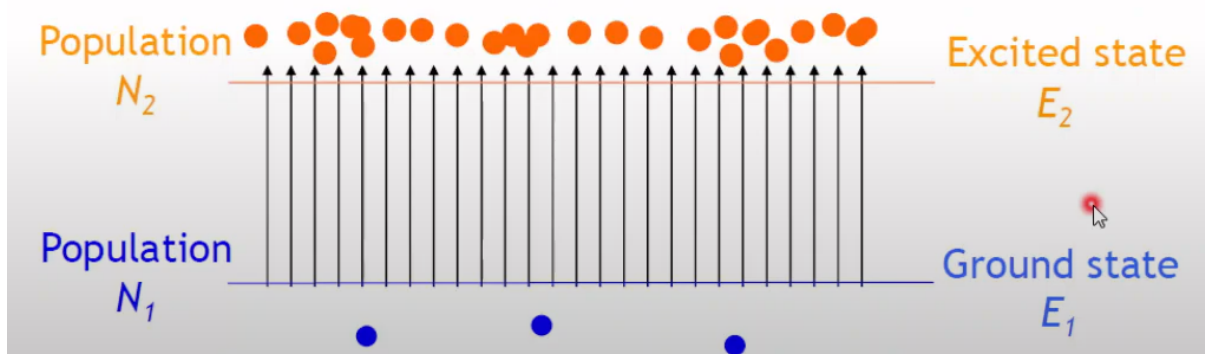
Emisja spontaniczna - samoistna emisja fotonu. Samoistny spadek energii elektronu w paśmie przewodnictwa z wysokiej do niskiej, skutkujący pojawieniem się fotonu. Nie jest wymuszona zewnętrznymi czynnikami. Fotony emitowane spontanicznie mają dowolne fazy i częstotliwości, oraz losowy kierunek. Źródło jest niekoherentne (duża szerokość widma). Wykorzystywane w świeceniu LEDów



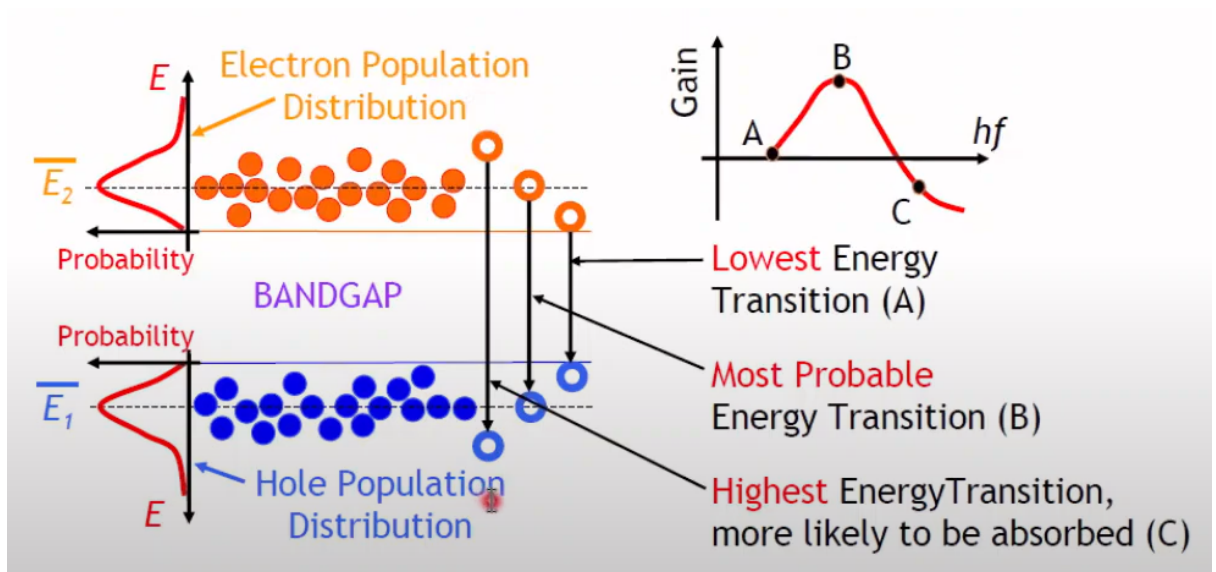
Emisja wymuszona - Foton o odpowiedniej energii wymusza nowy foton. Nowy foton ma tą samą fazę, energię i kierunek. Fotony są spójne.



Inwersja obsadzeń - Aby zwiększyć szansę emisji wymuszonej nad absorpcją musimy zwiększyć liczbę elektronów w paśmie przewodnictwa, tak, żeby była większa, niż w niskim stanie energetycznym. Jest to stan nienaturalny. W stanie inwersji obsadzeń następuje wzmocnienie (dzięki emisji wymuszonej). Stan ten otrzymujemy poprzez przepływ prądu. Inwersja obsadzeń jest niezbędna we wzmacniaczu.

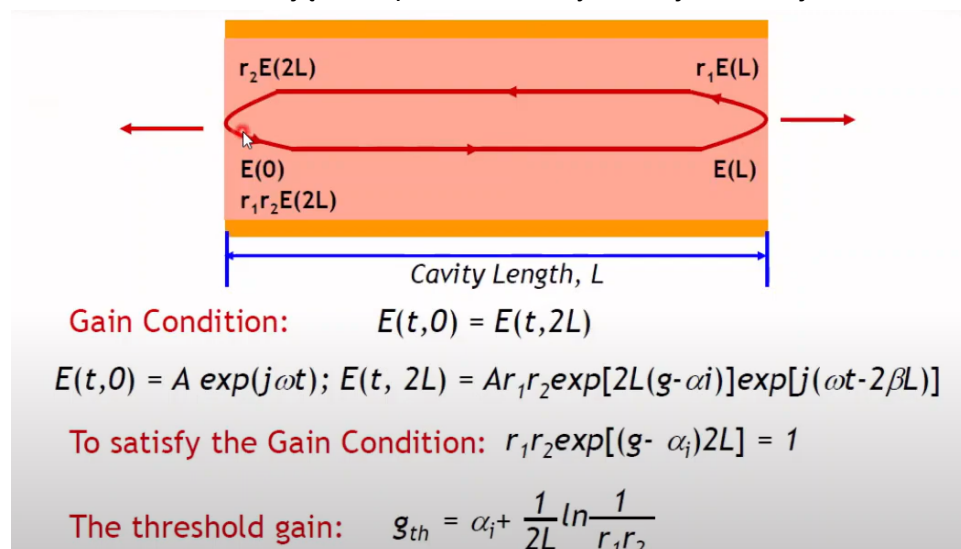


Spektralna charakterystyka wzmocnienia -



Warunki akcji laserowej:

1. Warunek amplitudy (wzmocnienia) - Wzmocnienie musi równoważyć straty w rezonatorze. Powracająca amplituda musi być taka jak na wejściu.



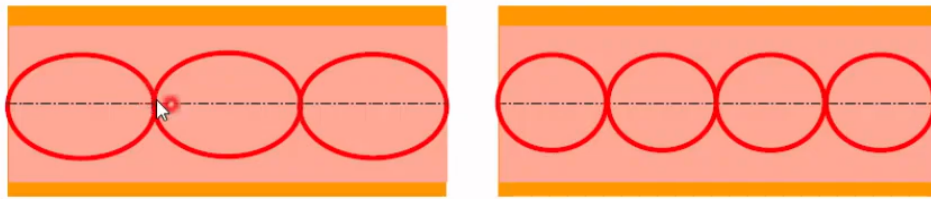
($E(0)$ - punkt startowy, $E(2)$ - po przebyciu 2 długości L , czyli powrót do tego samego punktu, uwzględnia to wzmocnienie i straty)

$$r_1 r_2 \exp[(g - \alpha_i) 2L] = 1 \quad (\exp[(g - \alpha_i) 2L] - \text{wzmocnienie z uwzględnieniem tłumienia ośrodka})$$

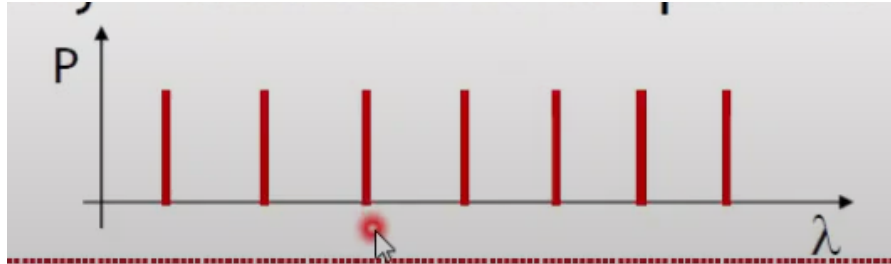
ostatni wzór umożliwia obliczenie progowego wzmocnienia, dla którego spełniony jest warunek amplitudy. Dopiero po jego przekroczeniu następuje akcja laserowa. Powyżej tego progu następuje wzmocnienie, poniżej tłumienie.

2. Warunek fazy - Pomiędzy zwierciadłami musi powstawać fala stojąca. Aby powstała fala stojąca, we wnęce o długości L musi pojawić się całkowita

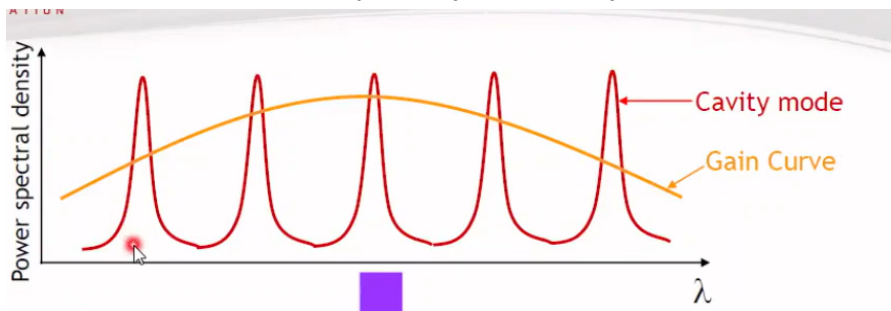
krotność połowy długości fali.



Wraz ze wzrostem długości fali trafiamy, na kolejne wartości rezonansowe, czyli takie na których pojawiają się całkowite krotności połowy długości fali.
=> mamy wiele długości fali dla których spełniony jest ten warunek.

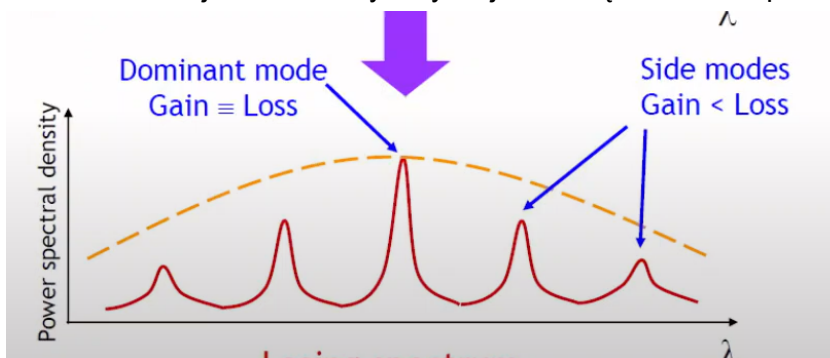


Akcja laserowa pojawi się w momencie spełnienia obu warunków jednocześnie
W przypadku laserów wielomodowych akcja laserowa jest spełniana dla wielu częstotliwości.



(na tym rysunku "możliwe, że" 3 środkowe piki trafiają na wystarczające wzmocnienie)

Natomiast dla laserów jednomodowych tylko jedna częstotliwość spełnia te warunki.



10. Detekcja sygnałów optycznych - odbiorniki optyczne – właściwości spektralne, czułość fotodiod, czas odpowiedzi fotodiody, diody PIN, APD, szum konwersji optoelektrycznej

Czułość fotodiody zależy od prawdopodobieństwa tego, że foton zostanie zaabsorbowany.
zależy to od:

- szerokości obszaru samoistnego
- współczynnika absorpcji
- długości fali
- strat fotonów zanim dotrą do obszaru aktywnego
- współczynnika odbicia powierzchni (typowe odbicie na powierzchni typowy półprzewodnik - powietrze wynosi ok 30%)

Na wyjściu część fotonów jest absorbowana a część pojawia się na wyjściu

Czułość fotodiody jest ilorazem prądu na wyjściu elektrycznym i mocy optycznej

$$R_0 = I_p / P_i = q\eta / hf \quad [\text{A/W}]$$

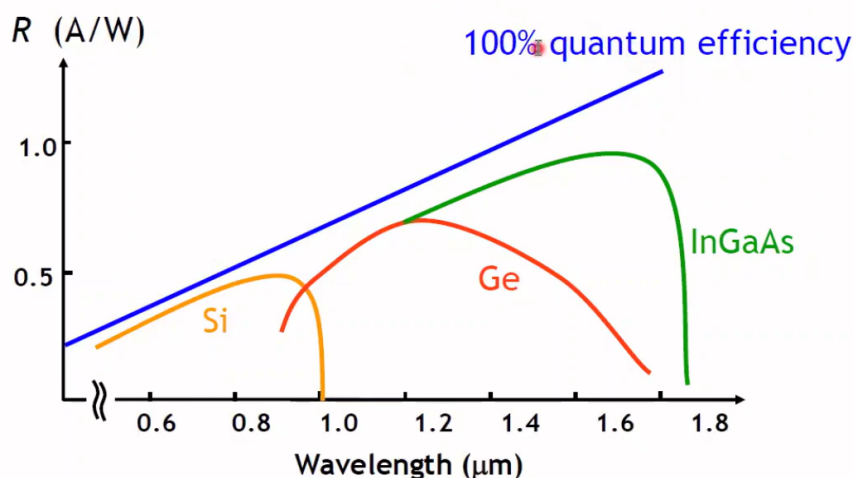
$$\text{with } I_p = (\text{electron flux}) \cdot q \quad [\text{A}]$$

$$P_i = (\text{photon flux}) \cdot hf \quad [\text{W}]$$

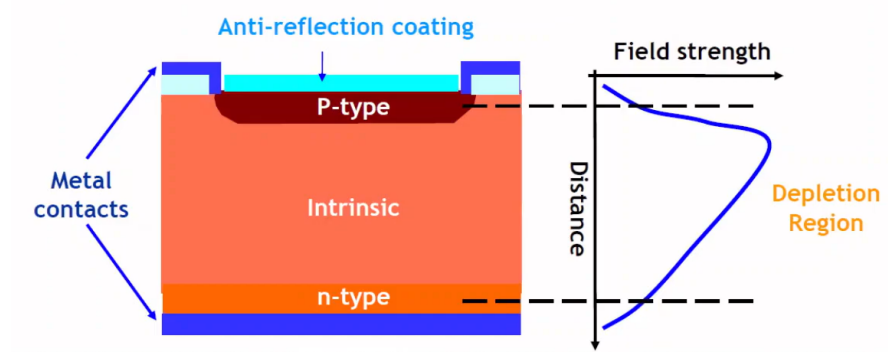
$$R = (1 - r) \exp(-D\alpha_c) [1 - \exp(-d\alpha)] (q\lambda/hc)$$

Facet factor Contact absorption Intrinsic absorption Wavelength factor

(wsp. odbicia, wsp. absorpcji, absorpcja właściwa, wsp. zależny od długości fali)



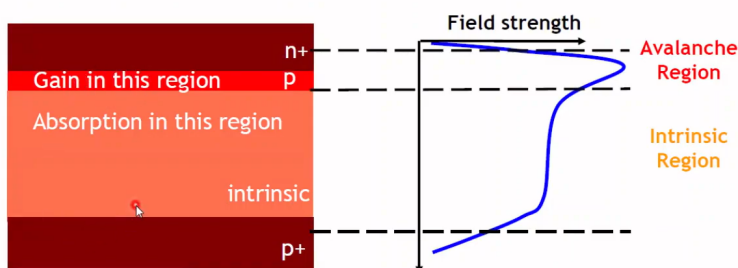
Dioda PIN — w odróżnieniu od złącza PN, między złączem P (przeważają dziury) i złączem N (przewaga elektronów) występuje materiał samoistny o niewyrażonym typie przewodnictwa (mniej więcej równowaga dziur i elektronów). W obszarze samoistnym pochłaniane są elektrony. Rozszerzamy warstwę zubożoną poprzez dodanie fragmentu o niewyrażonym obszarze przewodnictwa. Zwiększamy w ten sposób współczynnik absorpcji i efektywność kwantową.



Szybkość działania fotodiody zależy od

- ruchliwości nośników - prędkość uzyskiwana przez elektrony i dziury po przejściu różnicy potencjałów 1V. Szybkie układy są z arsenku galu, albo arsenku fosforu.
- czas dyfuzji nośników w obszarze zubożonym
- pojemność złączowa
- rezystancja wewnętrzna fotodiody i jej obciążenia

ADP - dioda lawinowa



n+ oznacza bardzo silne domieszkowanie (bardzo wiele elektronów swobodnych)

p oznacza podstawowy obszar złącza PN

obszar samoistny

p+ oznacza bardzo silne domieszkowanie powodujące bardzo dużą koncentrację dziur

napięcie odkłada się głównie pomiędzy n+ i p w tamtym miejscu następuje silne przyspieszanie elektronów (proces powielania elektronów a w efekcie wzmocnienia prądu). w dobrych diodach wykonanych z krzemy powielanie może być nawet 100-krotne.

Diody APT vs PIN

- APT mają wzmocnienie w PIN taki proces nie zachodzi
- APT mogą odbierać słabszy sygnał
- APT wymagają większego napięcia (kilkadzieśat V)
- wprowadzają większy szum
- bardziej czułe na zmiany temperatury
- droższe niż PIN

Szumy procesu detekcji

- śrutowy - związany z kwantową naturą wiązki na styku fala świetlna - półprzewodnik

$$\langle i_{shot}^2 \rangle = 2qIB$$

Electron charge
observation bandwidth

- termiczny związany z ekwiwalentną rezystancją obciążenia fotodiody i wewnętrzną rezystancją fotodiody

$$\langle i_{ther}^2 \rangle = \frac{4kTB}{R}$$

Boltzmann's constant
temperature
bandwidth
resistance

- śrutowy związany z prądem ciemnym - spowodowany przez ścieżki upływu prądu w fotodiodzie i wzbudzeniem termicznym nośników przez złącze p-n

$$\langle i_{dark}^2 \rangle = 2qI_d B$$

- w diodach ADP występuje większy szum zależny od współczynnika powielania lawinowego

$$\text{Noise Multiplication factor} = M^{2+x}$$

$$(0.1 < x < 1.0)$$

- Nadmiarowe szumy związane z szumem intensywności lasera, szumem modowym (przy transmisji wielomod.), szumem wzmocnionej emisji spontanicznej

11. Właściwości włókien światłowodowych - w materiałach lamusa tego nie znalazłem _(ツ)_/

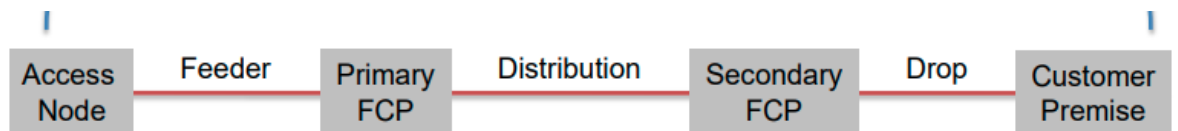
Włókna światłowodowe charakteryzują się następującymi parametrami:

- tłumienie - utrata mocy optycznej w miarę przemieszczania się światła wzdłuż światłowodu. Definiowane jest jako stosunek wejściowej mocy optycznej (P_i) do wyjściowej mocy optycznej (P_o). jednostka [db/km]
- absorpcja - jedna z głównych przyczyn strat sygnału. Absorpcja jest definiowana jako część tłumienia wynikająca z zamiany mocy optycznej na inną formę energii, np. ciepło. Absorpcję w światłowodach tłumaczy się trzema czynnikami:
 - Absorpcja wewnętrzna - absorpcja wewnętrzna jest spowodowana podstawowymi właściwościami włókna i materiału. Gdyby światłowód był absolutnie czysty, bez żadnych niedoskonałości i zanieczyszczeń, wówczas cała absorpcja byłaby wewnętrzna. Absorpcja wewnętrzna wyznacza minimalny poziom absorpcji. W optyce światłowodowej

stosuje się głównie włókna krzemionkowe (czyste szkło). Włókna krzemionkowe są stosowane ze względu na niską absorpcję wewnętrzną materiału przy długościach fal, na których pracują.

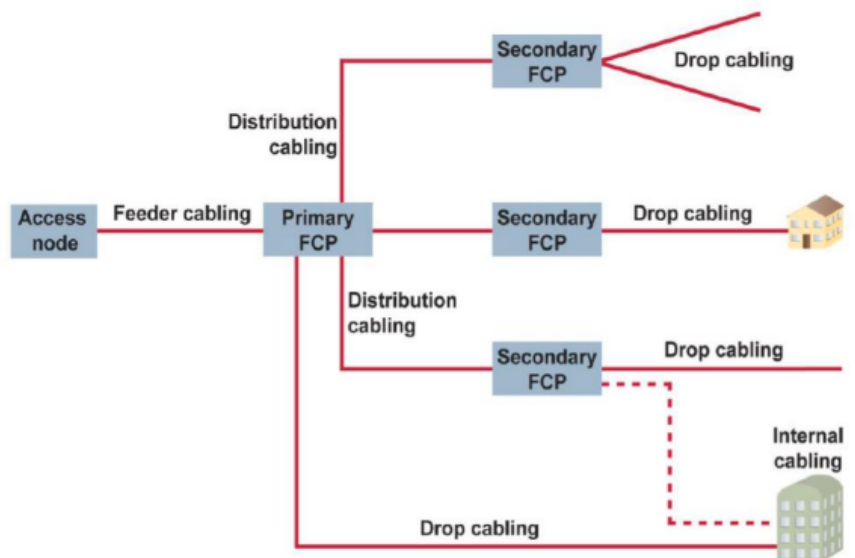
- Absorpcja zewnętrzna - jest spowodowana zanieczyszczeniami wprowadzonymi do materiału włókien. Zanieczyszczenia metalami śladowymi, takimi jak żelazo, nikiel i chrom, są wprowadzane do włókna podczas jego produkcji. Absorpcja zewnętrzna jest spowodowana przejściem elektronowym jonów tych metali z jednego poziomu energetycznego na inny.
- Rozpraszanie - straty wynikające z rozpraszania są spowodowane oddziaływaniem światła ze zmianami gęstości w światłowodzie
- Straty zginania - wynikają z sił zewnętrznych powodujących wygięcie włókna. Strata wynikająca z tego jest zależna od promienia gięcia światłowodu.

12. Schemat blokowy sieci FTTH



Punkt dostępowy -> kable magistralowe -> Elementy rozgałęziające -> kable dystrybucyjne -> Kolejny stopień rozgałęzienia -> połączenia konsumenckie

- Access Node
- Feeder
- Primary FCP
- Distribution
- Secondary FCP
- Drop
- In-House



13. Budżet mocy systemu PON

Bilans mocy to zestawienie wartości mocy na wejściu toru optycznego, strat i wzmocnień sygnału w linii światłowodowej

W przypadku sieci PON w skład budżetu mocy wchodzi:

Margines mocy (M)

Moc nadajnika (PN)
Czułość odbiornika (Co)
Straty włókna (SW)
Straty rozgałęźnika (SR)
Straty na spawach

Aby obliczyć margines mocy, należy zsumować moc nadajnika i czułość odbiornika i odjąć od tej wartości wszystkie straty.

14. Ekwiwalentne straty (power penalties) łączy optycznych

- Ekwiwalentne straty dyspersji chromatycznej
 - dyspersja powoduje poszerzenie impulsów w dziedzinie czasu i tym samym zmniejszenie ich amplitudy na wejściu odbiornika. Efekt ten można uwzględnić w budżecie mocy wprowadzając ekwiwalentne straty (Power penalty)
 - prowadzą do zmniejszenia różnicy pomiędzy poziomami mocy logicznego 0 i 1

$$P_{CD} = -5 \log \left[1 - (4BLD_{CD} \Delta \lambda)^2 \right]$$

$$P_{cd} < 0.5 \text{ dB} \leftrightarrow B * L * D_{CD} * \Delta \lambda < 0.1$$

- Ekwiwalentne straty dyspersji modowej

$$P_{MM} = \left(\frac{\tau_c}{\tau} \right)^4 [dB]; \tau_c = 2\sigma\sqrt{2}$$

$$P_{MM} = 2(2\sigma B_T \sqrt{2})^4 [dB]$$

$t = 1/B_T$; τ_c – poszerz. imp. (1/e); σ – szerokość rms

- Ekwiwalentne straty PMD

$$P_{PMD} < 1dB/30min/rok \leftrightarrow \Delta T_{OtsOP} < 0.14\tau$$

- Ekwiwalentne straty ER

$$P_{ER} = -10 \log \frac{ER - 1}{ER + 1}$$

$$P_{ER} < 0.5 \text{ dB} \leftrightarrow ER > 18$$

- Ekwiwalentne straty chirpu
- Ekwiwalentne straty nieliniowego rozpraszania

$$\text{nasycenie gdy } P_{\text{sygn}} > 17 \text{ dBm}$$

15. Dynamika systemu: składowe dynamiki sieci PON

- Związek przepływność - poszerzona szerokość impulsu

$$B_T [bps] \leq \frac{1}{2\tau}$$

poszerzenie : τ

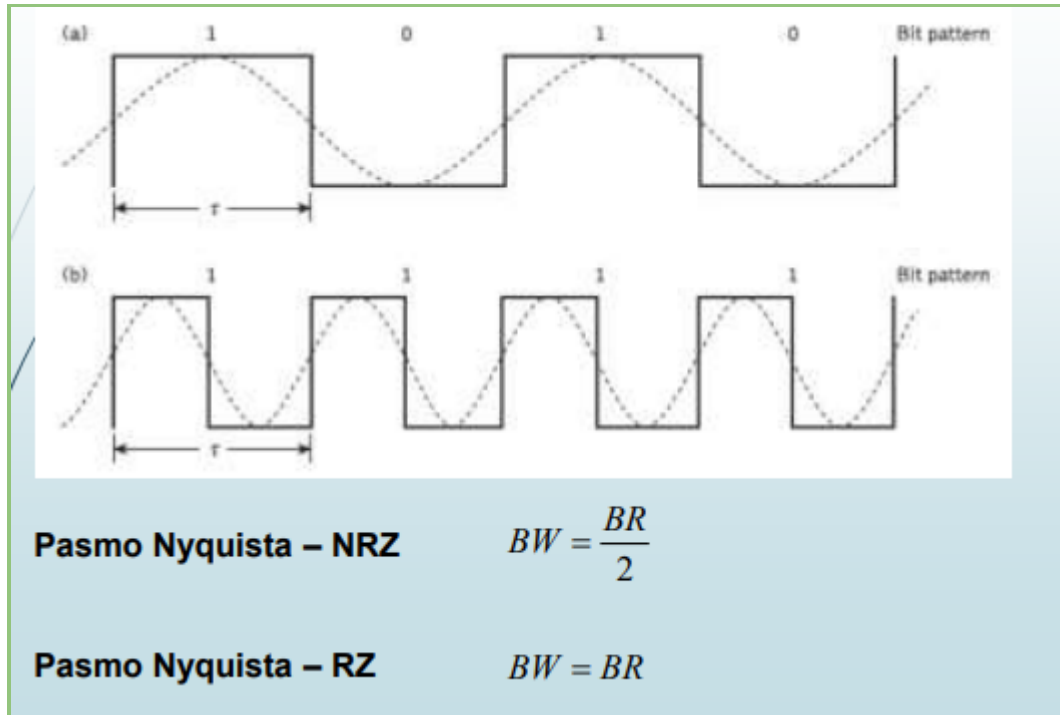
- Związek przepływność \leftrightarrow poszerzona szerokość impulsu Gaussa

$$B_{T,\max} = \frac{0,2}{\sigma} [bps]$$

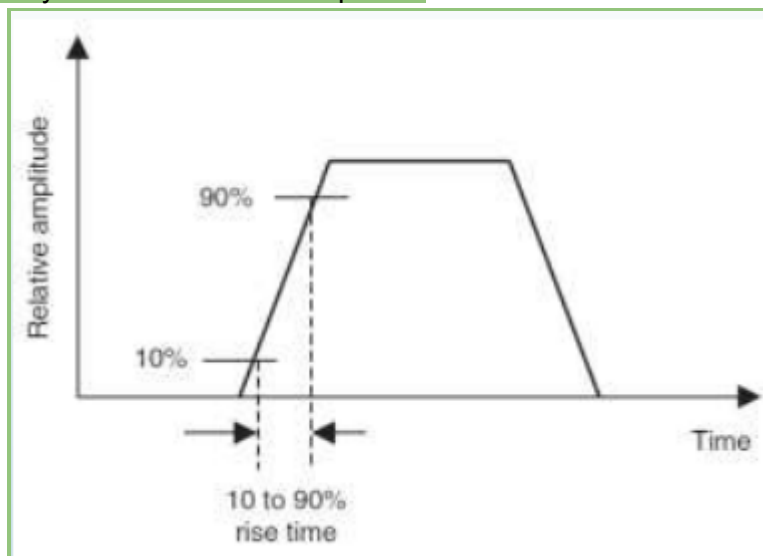
lub :

$$B_{T,\max} = \frac{0,25}{\sigma} [bps]$$

- Przepływność <-> częstotliwość



- Szybkość narastania <-> pasmo



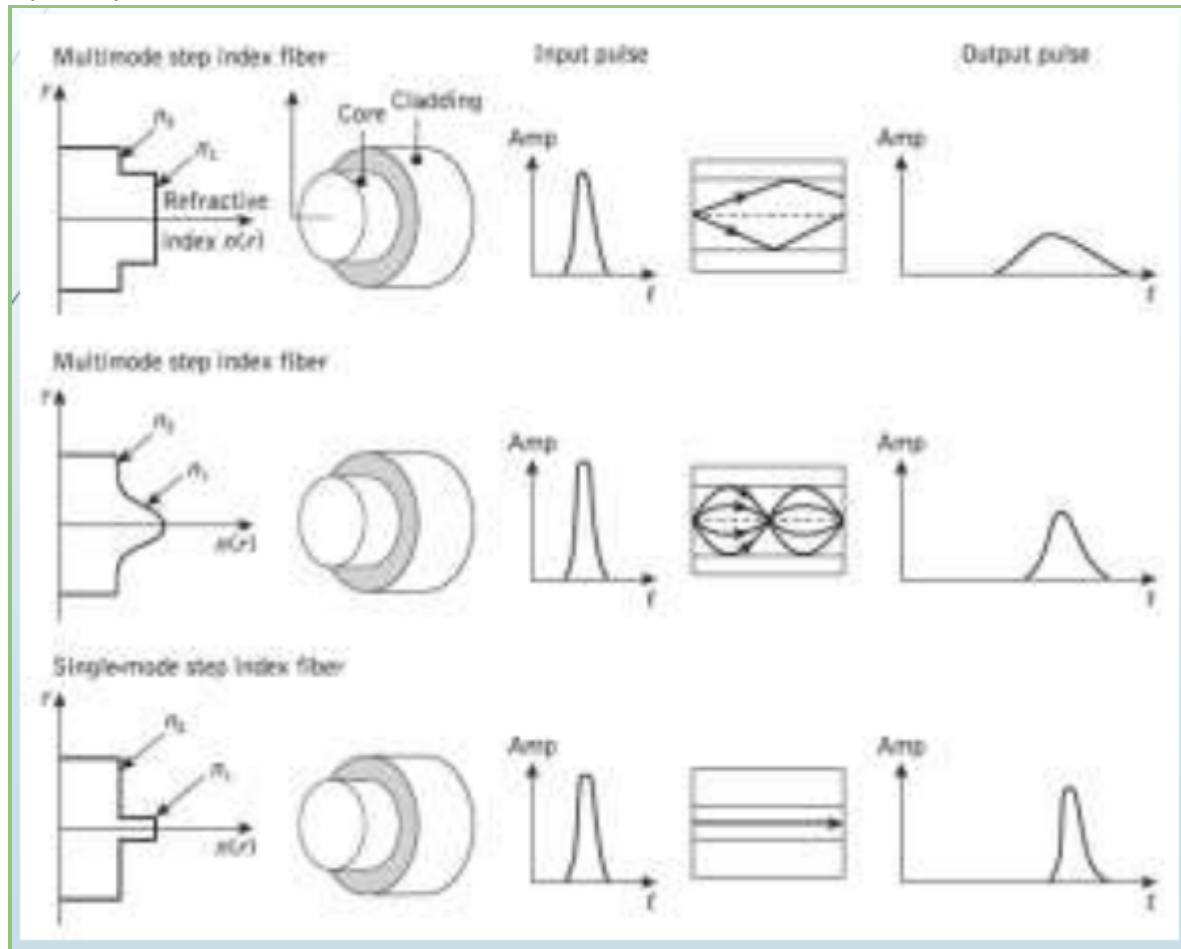
- Wymagany czas narastania \leftrightarrow BR \leftrightarrow BW przebieg prostokątny

- | | |
|-----------------------------|--|
| • Wymagany czas narastania: | $t_r = \frac{0.35}{BW_{e,3dB}}$ |
| • NRZ | $BW_{e,3dB} = \frac{BR}{2} = \frac{1}{2T}$
$t_r = \frac{0.7}{BR}$ |
| • RZ | $BW_{e,3dB} = BR = \frac{1}{T}$
$t_r = \frac{0.35}{BR}$ |

- Zniekształcenia dyspersyjne - odpowiedź włókna

$$T_{fib}^2 = T_m^2 + T_{GVD}^2 + T_{pol}^2$$

- Dyspersja MM-SI, MM-GI, SM



- WŁÓKNO WIELOMODOWE SI

$$T_m = D_m L \approx \left(\frac{n_1 \Delta}{c} \right) L$$

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

- WŁÓKNO WIELOMODOWE GI

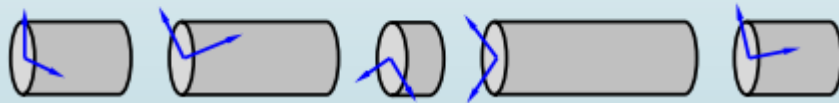
$$BL < \frac{8c}{n_1 \Delta^2}$$

- WŁÓKNO JEDNOMODOWE DYSPERSJA CHROMATYCZNA

$$T_{GVD} \approx |D_{ch}| \Delta\lambda * L$$

- WŁÓKNO JEDNOMODOWE DYSPERSJA POLARYZACYJNA

$$T_{pol} = D_{pol} \sqrt{L}$$



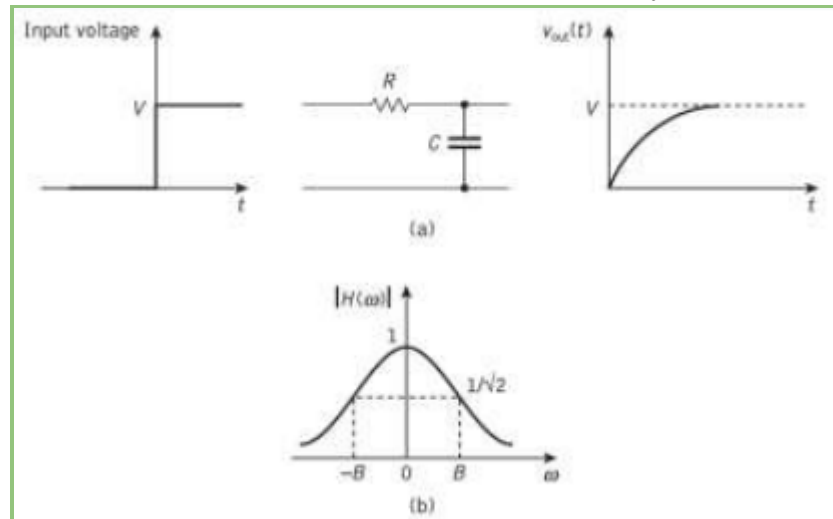
- Pasmo włókna

$$B_{fib} \approx \frac{0.44}{T_{fib}} = \frac{0.44}{\sqrt{(D_m L)^2 + (D_{chr} \Delta\lambda L)^2 + D_{pol}^2 L}}$$

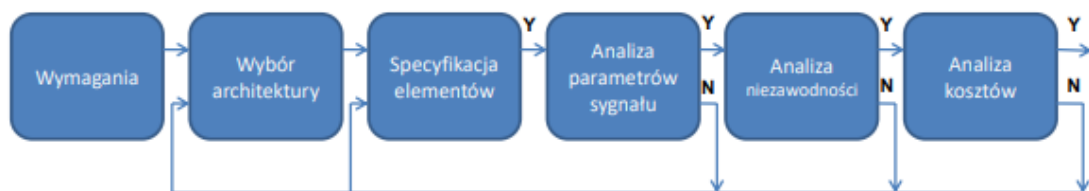
- Odpowiedź systemu:

$$T_{sys} = \sqrt{T_{TX}^2 + T_{mod}^2 + T_{CD}^2 + T_{PMD}^2 + T_{RX}^2}$$

- Filtr RC, odpowiedź w dziedzinie (a) czasu (b) częstotliwości



16. Metodyka projektowania sieci optycznych,



Wymagania:

- funkcjonalne:
 - Konfiguracja systemu - Liczba terminali, liczba węzłów transferowych, topologia
 - Odcinki transmisyjne - Pomiędzy terminalami, repeaterami, end-to-end
 - Specyfikacja układów - Interfejs analogowy / cyfrowy, audio / video / dane, standard interfejsu
 - Pojemność projektowa systemu - Wymagania instalacyjne, pojemność instalacyjna, graniczna pojemność
 - Fizyczne - Budynki, lokalizacja węzłów, trasa kablowa
 - Zarządzanie siecią - Centralne / lokalne, raportowanie alarmów / ostrzeżeń, bezpieczeństwo, system rozliczeń, zarządzanie zasobami, raportowanie
- parametry sygnału:
 - sygnał cyfrowy
 - Protokół
 - Standardy jakości
 - RZ, NRZ, BER, BR, jitter, zniekształcenia przebiegów

- inne
 - sygnał analogowy
 - Audio / video
 - Standardy jakości
 - SNR
 - BW
 - Zniekształcenia intermodulacyjne ...Ine
 - Dane, analogowy enkodowany
- środowiskowe
 - temperatura - Długookresowy, krótkookresowy, zmiany okresowe, udar termiczny, temp. przechowywania
 - wilgotność - Dopuszczalna wilgotność, odporność na okresowe zmiany temperatury i wilgotności, kondensacja wilgoci, zabezpieczenia przed wilgocią
 - wibracje i udary,
 - ekspozycja / promieniowanie - Zasolenie, piasek, kurz, błysk, trwałe uszkodzenie, odwracalne uszkodzenie
 - kable/złącza mechaniczne - Naprężenia, skręcenia, zagięcia, blokowanie wody, gazów, ścieranie, gryzonie, odporność na ogień
 - EMI/RFI - wrażliwość na wyładowania
- dostępność/niezawodność
 - definicje awarii
 - katastroficzne,
 - max BER,
 - czas trwania awarii,
 - okres pomiędzy awariami
 - dostępność systemu
 - %dostępność / rok lub miesiąc
 - średni czas przywrócenia sprawności
 - niezawodność sprzętu
 - odstępy pomiędzy przeglądami
 - średni czas pomiędzy awariami
 - średnia czasochłonność naprawy
- fizyczne:
 - stacje końcowe:
 - rozmiary, konfiguracja, umiejscowienie wejść/wyjść
 - instalacje kablowe:
 - Liczba włókien, średnica osłony, typ kabla (tuba centralna, linka nośna ...)
 - włókno - bufor typ, rozmiar
 - zakończenia / złącza
 - Złącza, patch panele, kasety, organizery, mufy, krosownice
 - spawy
 - mufy, kasety, organizery
- zarządzanie siecią
 - alarmy i ostrzeżenia
 - Filozofia utrzymania / konserwacji, centrum zarządzania, poziomy alarmów, raporty: bieżące, historie

- rozliczenia
 - system bilingu, konfiguracja zarządzania i śledzenia,
 - dostęp
 - Bezpieczeństwo: dane, budynki..., poziomy dostępu
- obiekty:
 - opis
 - Obiekty terminali, lokalizacja repeaterów, kierowanie siecią
 - specyfikacja
 - Rozkłady pomieszczeń, klimatyzacja, zasilanie (główne, awaryjne, systemy backup), dostęp i zabezpieczenia, oświetlenie, zabezpieczenia przeciwpożarowe, przestrzeń dla personelu
- instalacja
 - sprzęt końcowy
 - Montaż, okablowanie zasilające, sygnałowe, uziemienia, zakończenia optyczne
 - okablowanie
 - konstrukcja: kanalizacja, przeciski, naprężenia, krzywizny, procedury instalacyjne
 - spawy:
 - technologia połączeń, sprzęt, transport
 - straty, pomiary, mufy i organizery, zabezpieczenia
- odbiór
 - stacje końcowe, sprzęt, systemy zarządzania
 - Testy jakości, procedury testów, testy uruchomieniowe, ustawienia, sezonowanie, raporty pracy
 - okablowanie
 - Testy producenta, parametry łączy, Tłumienie, dyspersja
 - dokumentacja
 - Raporty testów, schematy powykonawcze, oprogramowanie, instrukcje obsługi
- utrzymanie
 - wsparcie konserwacji
 - sprzęt, oprogramowanie, okablowanie
 - części zamienne - filozofia
 - podręczne, magazynowe, 24h
 - helpdesk
 - prewencja, żądanie konserwacji
 - dostęp do budynków, sekcji
 - poziomy dostępu, napraw, sekcje
 - diagnostyka
 - scentralizowana, lokalna, zdalna
- wdrożenie
 - krytyczne etapy
 - projekt, zamówienia, produkcja pomieszczenia, instalacja, odbiory, przekierowanie ruchu
 - zarządzanie czasem
 - bieżące, krótkoterminowe, perspektywistyczne

- personel
 - projekt, instalacja, obsługa
- koszty
 - początkowe
 - B&R
 - koszty stałe, zamówienia, koszty uruchomienia produkcji, sprzętu i softwar'u, pomieszczenia, instalacja, uruchomienie
 - koszty bieżące
 - Produkcja bieżąca, kontrola działania i jakości, konserwacji, lizingu, narzędzia
 - zwrot kosztów
 - zwrot inwestycji, okres zwrotu

Wybór architektury:

- fizyczne,
 - topologia fizyczna
 - połączenia węzłów,
 - redundancja ścieżek, linii, łączy
 - redundancja dróg
- interfejsy sygnałowe,
 - sygnały w paśmie podstawowym
 - Punkty sprzętu końcowego ścieżki, standardy, parametry
 - kanały pośrednie,
 - Punkty sprzętu końcowego linii, format, standardy kanału
 - kanał transmisyjny
 - Format sygnału, standardy,
 - kanał optyczny
 - Punkt interfejsu optycznego, format / standard sygnału
 - kanały nagłówek
 - Standardy, zawartość sygnału
- przetwarzanie sygnałów
 - Modulacja / kodowanie: ścieżka, linia
 - Analog: Baseband, kod impulsowe, częstotliwość, faza, amplituda
 - Cyfrowy: Baseband, NRZ, RZ, format ramki, protokół
 - Multipleksacja: ścieżka, linia, warstwa optyczna
 - A: Mux podz częstotl, dł. fali
 - C: Mux podz czasu, dł. Fali
 - Moduł nośnej, kodowanie (span layer)
 - A: AM, FM, PM; C: NRZ, RZ, Manchester, PSK, FSK
- przetwarzanie nagłówków
 - Architektura zarządzania siecią
 - Interfejsy, punkty kontrolne, dodatkowe okablowanie, zapasowe kanały,
 - Sygnalizacja nagłówków
 - format / protokół
- funkcjonalne elementy
 - Sprzęt transmisyjny

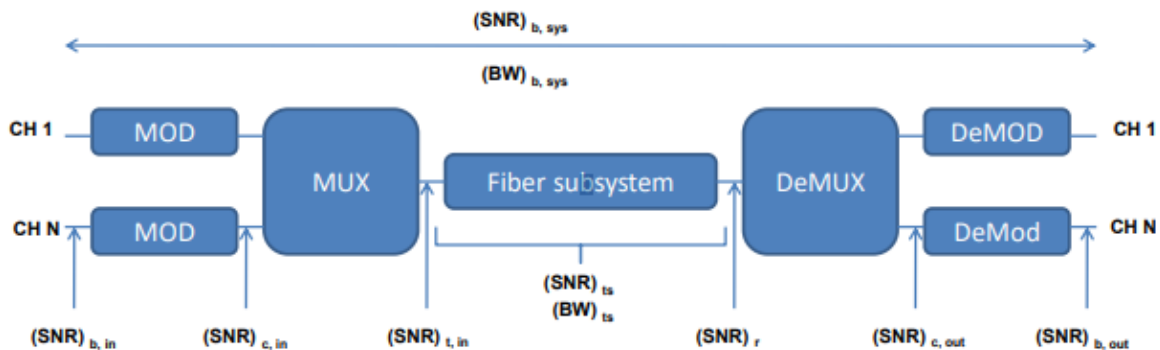
- Ścieżka, linia, optyczna
- Linie dzierżawione
 - Czujniki alarmów, monitoring, sprzęt zapasowych kanałów
- Optyczny sprzęt transmisyjny
 - Tx, Rx, źródła, detektory, WO, złącza, Mux, spawy, włókna

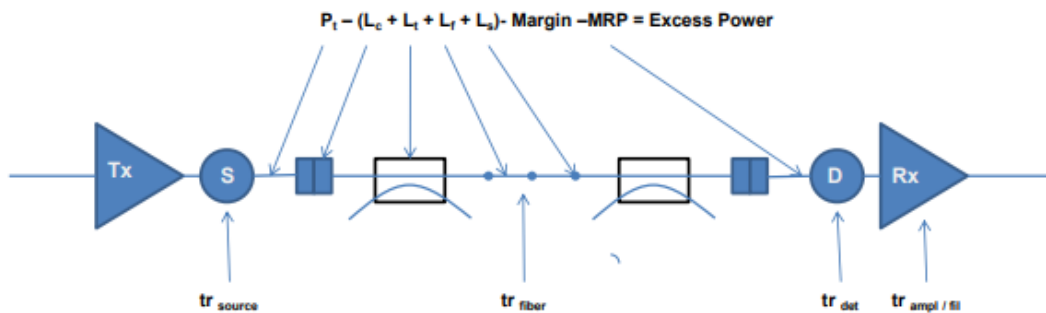
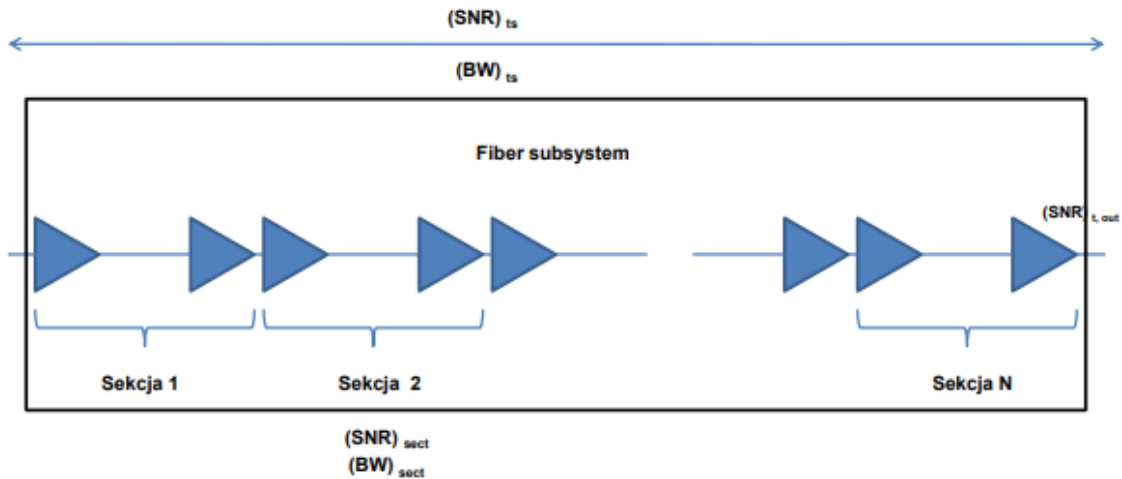
Specyfikacja elementów:

- Właściwości wszystkich funkcjonalnych modułów i interfejsów
- Właściwości wszystkich funkcjonalnych elementów
- Proces wyboru - iteracyjny
- W rezultacie każdy funkcjonalny moduł scharakteryzowany pod kątem :
 - Interfejsów we /wy
 - Funkcji transmitancji / lub właściwości
 - Innych parametrów

Analiza parametrów sygnału:

1. Warstwa usług, ścieżki, linii (sprzęt końcowy – parametry umożliwiające uzyskanie założonych parametrów end-to-end w paśmie podstawowym)
2. Warstwa sekcji – definicja formatu sygnału, nagłówek, wybór technologii optycznej,
3. Projektowanie warstwy fotonicznej: analiza budżetu mocy, dynamiki systemu





Analiza niezawodności:

- Niezawodność jest funkcją właściwości komponentów i funkcjonalnych modułów systemu, a także warunków pracy systemu, architektury.

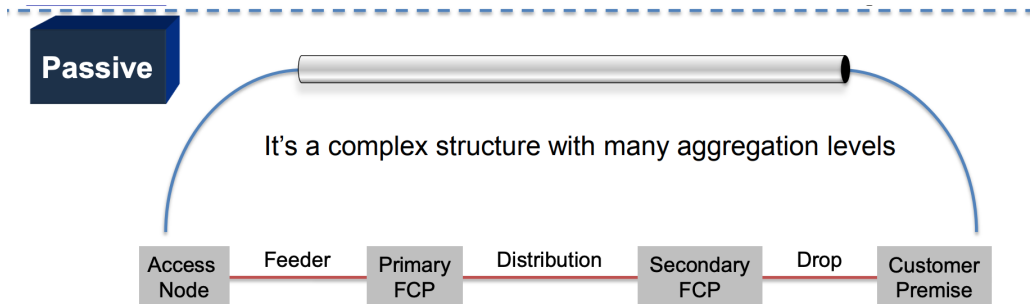
Analiza kosztów:

- Końcowym etapem projektowania jest analiza kosztów.
- Analiza kosztów może wpłynąć na ostateczną architekturę systemu, zastosowane komponenty, funkcjonalne moduły, technologię instalacji
- Może także wpłynąć na przededefiniowanie parametrów systemu.

17. Architektura sieci PON

- pasywna sieć optyczna to rodzaj sieci, w której jako medium wykorzystuje się światłowód jednomodowy
- przepustowość takiej sieci zależy od strat podziału sygnału (najczęściej 1:32, ale istnieją 1:16 i 1:128)
- sygnał w PON dzielony jest przez pasywne splittery optyczne, które rozłożone są na całej trasie sygnału
- topologia sieci PON to najczęściej drzewo, magistrała, punkt-punkt, punkt-wielopunkt oparte o system TDMA lub WDM
- aktywne elementy sieci PON zastosowane są na końcowych węzłach sieci
- elementy sieci PON:

- o urządzenia dystrybucyjne OLT, które pełnią funkcje centrali
 - o urządzenia będące węzłami końcowymi u odbiorców ONT, które nazywa się optycznymi terminalami odbiorczymi
 - o ONU - elementy zakańczające lokalne punkty dystrybucyjne
- Na wykładzie opieraliśmy się o BPON i GPON. BPON to standard oferujący rozgałęzienie 1:32 na jedno łącze czyli jeden OLT obsłuży 32 ONT/ONU
- PON wykorzystuje następujące długości fal:
 - o 1310 nm w upstreamie (ONU/ONT => OLT)
 - o 1490 nm w downstreamie (OLT -> ONU/ONT)
 - o 1550 nm dla transmisji rozgłoszeniowej
- Maksymalny zasięg PON definiowany jest przez budżet mocy optycznej OLT i ONU - wg dokumentacji jest to 20km
- część pasywna:



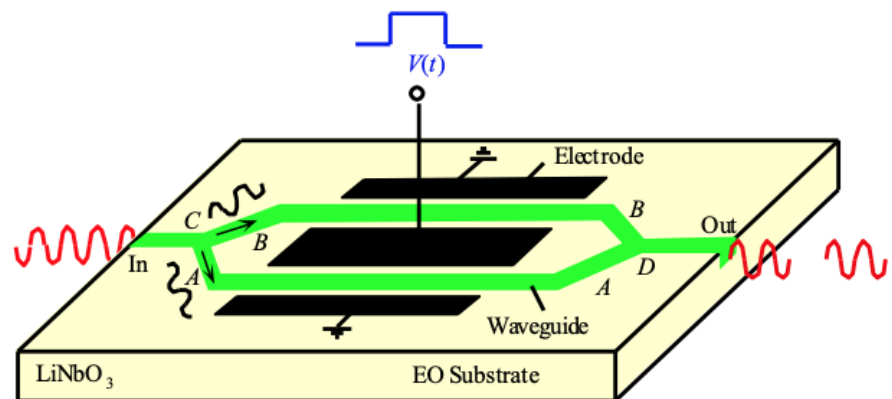
- sieci PON charakteryzują się niskimi kosztami eksploatacji z uwagi na brak urządzeń aktywnych w całym szkielecie sieci - np. sieć FTTH zasilana jest tylko po stronie OLT - serwerownia i u klienta końcowego ONU
- struktura:

zastosowań krótkodystansowych oraz o średniej i dużej przepustowości. Aplikacje do małych przewozów wymagają diod LED i laserów o niskiej dokładności. W związku z tym stosuje się niekoherentne lub niespójne źródła, takie jak diody LED lub laserowa dioda wtryskowa.

- We włóknach jednomodowych profil stopniowanego indeksu jest korzystniejszy w porównaniu z indeksem schodkowym. Dzieje się tak, ponieważ profil stopniowanego indeksu zapewnia włókna jednomodowe o zmodyfikowanej charakterystyce dyspersyjnej.
- Standardowe światłowód jednomodowy o profilu indeksu skoku jest znany jako włókno bez przesuniętej dyspersji. Ponieważ włókna te mają długość fali zerowej dyspersji $1,31\mu\text{m}$ i dlatego są preferowane do transmisji na jednej długości fali w paśmie O. Może być wykorzystane w dwóch oknach transmisyjnych.
- wybór źródła światła:
 - preferowane lasery półprzewodnikowe:
 - bezpośrednio konwertują energię elektryczną w optyczną
 - zasilane energią elektryczną
 - generowane jest spójne źródło światła w przeciwieństwie do lasera LED.
 - wysokie pasmo modulacji
 - małe rozmiary
 - wydajność energetyczna
 - wąska charakterystyka spektralna
 - niezawodne działanie
 - laser (Light Amplification Stimulated Emission Radiation):
 - musi spełniać warunek amplitudy - układ musi mieć takie wzmocnienie aby skompensować straty
 - musi spełniać warunek fazy - sprzężenie musi być dodatnie czyli powracająca wiązka musi mieć taką samą fazę jak na wejściu
 - nie może dawać 100% odbicia, ponieważ część sygnału musi wychodzić na wyjście
 - emitowanie promieni na skutek emisji wymuszonej - foton musi mieć odpowiednią energię i może zostać zaaabsorbowany, ale może też generować niwy foton. Absorpcja jest bardziej prawdopodobna bo jest więcej elektronów oczekujących, więc sygnał będzie słabszy na wyjściu. Aby zmienić sytuację trzeba dokonać inwersji obsadzeń aby było więcej elektronów w paśmie przewodnictwa i nastąpiło wymuszenie ośrodka i emisja wymuszona => konieczne uzyskanie i podtrzymanie inwersji poprzez przewodzenie prądu. jeżeli na wejściu kilka fotonów to na wyjściu wielokrotnie więcej. Inwersja jest warunkiem koniecznym do wzmocnienia.
 - WDM MUX - wydziela kanały o różnych długościach fal dla dwóch kierunków propagacji
 - splitter - dzieli sygnał optyczny na wielu abonentów - powoduje duże straty mocy, rozgałęźnik dzieli moc nadawczą w stosunku np. 1:16 - wprowadza to największe straty i zmniejsza zasięg - może zabrać 2

razy więcej mocy niż tłumienie włókna. Splitter najbardziej określa zasięgi - typowo kilkanaście do kilkudziesięciu kilometrów.

- sprzęgacz kierunkowy - element wyposażony w CPU - jest nim szklana płytka, służy do rozdziału promieniowania w sieci między kolejnymi użytkownikami
 - współczynnik sprzężenia:
 - rośnie jeśli spada odległość między włókna
 - rośnie dla malejącego współczynnika załamania (pole zachodzenia jest większe)
 - gdy wzrasta długość fali to maleje udział dyspersji falowodowej (poszerza się rozkład modowy)
- modulator elektrooptyczny:
 - materiał musi charakteryzować się silnym efektem elektrooptycznym, wpływanie polem elektrycznym na właściwości optyczne - zmiana współczynnika załamania pod wpływem pola elektrycznego (napięcie sterujące). Pole elektryczne jest wytwarzane między elektrodami. Zmieniony jest współczynnik między rdzeniami.
 - Brak sygnału elektrycznego powoduje 100% sprzężenie i wyjście przeciwnym falowodem.
 - Istnieje napięcie które odwraca sytuację, przesuwa sygnał na wyjście tego samego falowodu - funkcja komutatora
 - projektowane tak aby uzyskać 100% odbicia energii.
 - Dla niezerowego napięcia szukamy takich warunków, aby przejście nastąpiło tym samym falowodem.
- Interferometr Macha - Zendera:

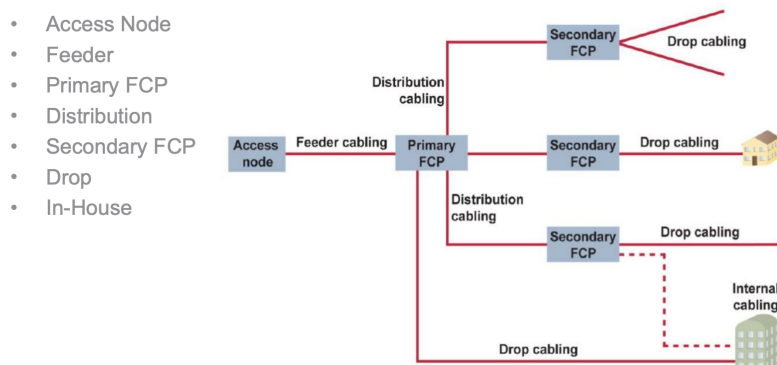


- działa jak modulator intensywności
- można uzyskać nim interferencje fazy
- rodzaj filtru
- wiązkę światła rozdziela się na dwie części, które rozdzielają się i spotykają się w punkcie d (sumują się) - interferencja zachodzi przy uwzględnieniu zależności falowych. Jeżeli przesunięcie w punkcie d jest w przeciwfazie to następuje wygaszenie sygnału w przeciwnym wypadku, sygnały dodadzą się i uzyskuje się maksymalny sygnał optyczny.

- Elektrodamy steruje się fazą falowodów i współczynnikiem załamania
- w jednym falowodzie współczynnik maleje, a prędkość wzrasta, a w drugim współczynnik wzrasta, a prędkość maleje.
- Dla niezerowego napięcia pojawia się niezerowe przesunięcie fazowe.
- Podział wiązki następuje przez sprzęgacz kierunkowy, w którym są dwa wyjścia - dla komutatora i modulatora.
- Siatka Bragga - używana w rezonatorach laserów półprzewodnikowych:
 - struktura wytworzona w rdzeniu włókna optycznego jako siatka okresowo zmieniająca współczynnik załamania.
 - Filtr zachowuje się jak filtr pasmowozaporowy - pewne długości fal przepuszczane, a pewne nie.
 - Cechują się niskimi stratami w paśmie przepuszczalnym

19. Wybrane problemy praktycznej realizacji sieci FTTH, wielowariantowość sieci dostępowych

- Różne topologie:
 - punkt - punkt:
 - każdy klient ma dedykowane łącze bez podziału sygnału
 - konieczność instalacji aktywnego kontrolera ze strony dostawcy - wzrost kosztów po stronie centrali
 - punkt - wielopunkt:
 - jedno włókno rozdzielane przez splitter na wiele => strata przepływności
 - obszary rozgałęzienia są podzielone na różne stopnie
 - straty sygnału przy rozgałęzieniu
 - przepływność dzielona symetrycznie
 - ilość wyjściowych włókien dzielona w zależności od współczynnika podziału
 - splitter może być umieszczony w kaskadzie lub szeregu => niższa przepustowość u klienta
- Różny poziom agregacji włókien:



-
- Koncentracja włókien:

- punkt w sieci gdzie wiele kabli różnych typów i rozmiarów jest zbieranych w taki sposób aby zapewnić elastyczność oraz funkcjonalność podziału
 - typowo sieci używają koncentracji włókien na wielu poziomach agregacji
 - węzeł dostępowy rozprowadza kable zasilające do pierwszego poziomu koncentracji (feeder cabling)
 - główny poziom rozprowadza kable dystrybucyjne do drugiego poziomu koncentracji
 - drugi poziom rozprowadza okablowanie końcowe (drop cabling)
 - koncentracje można zrealizować w formie szafki ulicznej lub włazów albo małych włazów
- Różne komponenty optyczne - dostarczają różne rozwiązania, które pozwalają na skalowalność, inne nie a inne są tańsze od pozostałych albo pozwalają na wykorzystanie istniejącej już infrastruktury. Niektóre z elementów są zbyt kosztowne przy starej infrastrukturze, która wymaga skomplikowanych działań w celu poprawnego (bez tłumienia) włókien do użytkownika końcowego. Są to:
 - ramy (Optical Distribution Frame) i stojak (Optical Distribution Rack)i: pozwalają na uporządkowanie okablowania oraz przejrzystość połączeń. Ramki pozwalają na uporządkowanie okablowania na zewnątrz
- Włókna i kable - stosowane różne typy:
 - kable odpowiedzialne są za protekcję kolejnych włókien odpowiednią techniką instalacji łączy
 -
 - abonenckie - są bardziej elastyczne i odporne na wyginanie, ale mają małą ilość włókien (np. sieć antenowa wymaga aby kable mogły wytrzymać pewne obciążenie rozciągające)
 - dostawcze - są mniej elastyczne ale grupują wiele włókien w sobie
 - wiele typów jest zróżnicowanych z punktu widzenia zabezpieczeń okablowania, kształtu samego włókna, materiału z którego włókna oraz wyróżniamy również typ kabli ze względu na sposób montowania
 - wyróżniamy typ okablowania ze względu na materiał włókna, który decyduje o poziomie tłumienia a co za tym idzie zasięgu sieci
 - podział kabli ze względu na ilość przechodzących modów przez rdzeń
 - kable mogą być różnie ze sobą upakowane co przyczynia się do poziomu łatwości identyfikacji poszczególnych włókien
- Splittery - wykonywane w technice zintegrowanej
 - pozwalają zasilić wiele wyjść przez jedno wejście
 - to ile będzie wyjść decydowane jest przez współczynnik podziału: 2, 1:4 1:8, 1:16, 1:32 or 1:64, a nawet 1:128 czy 1:256
 - mogą być instalowane w centrali, w punkcie koncentracji łączy w budynku u klienta albo w kombinacji tych lokacji co nazywane jest kaskadowym rozgałęźnikiem
 - mogą być wplecione w punkt koncentracji łączy lub w infrastrukturę kablową

- splitterzy dzielą symetrycznie lub asymetrycznie
- w zależności od współczynnika podziału splitterzy wprowadzają straty wtrąceniowe, straty mogą być dwukierunkowe
- połączenia i spawy - przy pomocy termicznej lub mechanicznej
- złącza - stałe i rozłączalne
- mufy optyczne - do zabezpieczenia spawów
- studzienki - możliwe do wejścia lub obsługi ręcznej
- kanalizacja - różne rozmiary duktów, musi być termicznie zabezpieczona i przed wodą, budowane z betonu, istnieją jeszcze mikrokanalizacje do prowadzenia pojedynczych włókien
- rury gazowe, wodne i ściekowe jako gotowa infrastruktura
- Problemy do rozwiązania:
- miejsce instalacji:
-

Instalacja powietrzna	Instalacja podziemna
<ul style="list-style-type: none"> ● wynajmowanie słupów lub ich budowa - zwiększony koszt operacji ● łatwiejsze utrzymanie ● krótsza żywotność ● problemy społeczne - regulacje prawne ● łatwiejsze połączenia i tańsze naprawy 	<ul style="list-style-type: none"> ● obniżenie kosztów przy użyciu istniejącej infrastruktury ● wyższy nakład kapitałowy na początku ● dużo większa żywotność ● bardziej uciążliwa instalacja ● redukcja kosztów przez użycie istniejących duktów, użycie mikrokanalizacji albo użycie kanałów przenoszących inne zasoby

- Poziom dostępności elastyczności w punkcie koncentracji kabli:
-

wysoka elastyczność (węzły dostępowe z ulicznymi szafkami)	niska elastyczność (włazy)
<ul style="list-style-type: none"> ● większa oszczędność na kablach zasilających splitterzy ● aktywacja użytkownika wymaga dostępu do konfiguracji punktu koncentracji ● problem z utrzymaniem aktualnej dokumentacji przyłączonych abonentów ● może być opcją do zaoszczędzenia kosztów wstępnych 	<ul style="list-style-type: none"> ● konieczność instalacji wszystkich splitterów i włókien w momencie instalacji całej infrastruktury ● instalacja kolejnych użytkowników nie wymaga ingerencji w punkt koncentracji łączy

	<ul style="list-style-type: none"> • nie potrzeba wprowadzać ciągłych zmian w dokumentacji • może być łatwiejszą instalacją i bardziej wytrzymałą, przy czym duże koszty przy ograniczonym odbiorze
--	---

- Optymalizacja lokalizacji splitterów:

○

splitter scentralizowany w punkcie dostępowym	splittery umieszczone na kilku poziomach punktów koncentracji łączy
<ul style="list-style-type: none"> • duża liczba włókien w sieci szkieletowej • niewiele potrzebnych elementów pasywnych • łatwość upgrade'ów - łatwa zmiana współczynnika podziału • mniejsza liczba pasywnych splitterów 	<ul style="list-style-type: none"> • oszczędność na włóknach w sieci szkieletowej • więcej elementów pasywnych takich jak splittery wymagana • zmiana splitterów wymaga odwiedzenia i kontroli wielu miejsc w sieci

○