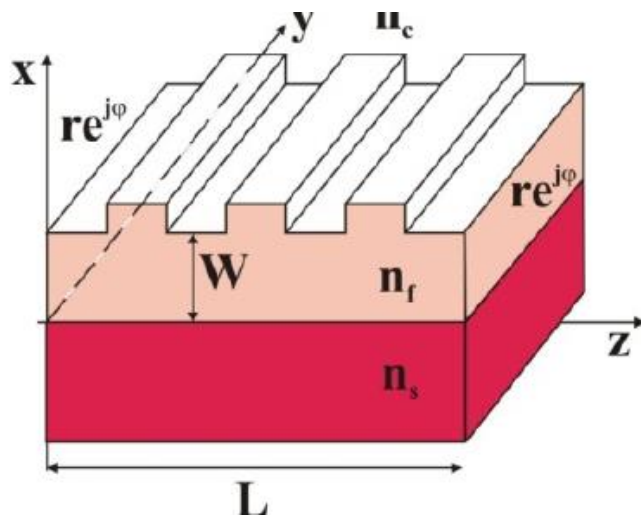


MOBI projekt 9-20Z

Celem projektu było obliczenie współczynnika mało-sygnałowego wzmocnienia w laserze planarnym DFB w funkcji współczynnika odbić końcowych, współczynnika sprzężenia, geometrii struktury – szerokości falowodu, oraz kąta fazowego odbicia, dla różnych rzędów modów q . Poniżej przedstawiono budowę badanej struktury.



Rys.1 - Struktura planarna DFB z odbiciami promieniowania od końców lasera

Warstwa falowodową wykonano z kryształu YAG domieszkowanego Nd^{3+} . Współczynniki załamania struktury to odpowiednio $n_s = 1.808$, $n_f = 1.82$, $n_c = 1$ $L = 1\text{cm}$ natomiast W oznacza grubość falowodu.

W celu wyliczenia grubości odcięcia W , w funkcji stałej propagacji Beta, wykorzystano narzędzie obliczeniowe Matlab. Wyniki wykresów przedstawiono na rysunku 2. Są one wynikiem rozwiązania analitycznego równań dyspersyjnych światłowodu planarnego które pokazano poniżej.

$$\arctg\left(\sqrt{\frac{\beta_{TE_m}^2 - n_s^2 k_0^2}{n_f^2 k_0^2 - \beta_{TE_m}^2}}\right) + \arctg\left(\sqrt{\frac{\beta_{TE_m}^2 - n_c^2 k_0^2}{n_f^2 k_0^2 - \beta_{TE_m}^2}}\right) = W \sqrt{n_f^2 k_0^2 - \beta_{TE_m}^2} - m\pi,$$

Równanie 1 – Zależność dyspersyjna dla modów TE_m .

$$\arctg\left[\sqrt{\frac{\beta_{TM_m}^2 - n_c^2 k_0^2}{n_f^2 k_0^2 - \beta_{TM_m}^2}} \cdot \left(\frac{n_f^2}{n_c^2}\right)\right] + \arctg\left[\sqrt{\frac{\beta_{TM_m}^2 - n_s^2 k_0^2}{n_f^2 k_0^2 - \beta_{TM_m}^2}} \cdot \left(\frac{n_f^2}{n_s^2}\right)\right] = W \sqrt{n_f^2 k_0^2 - \beta_{TM_m}^2} - m\pi.$$

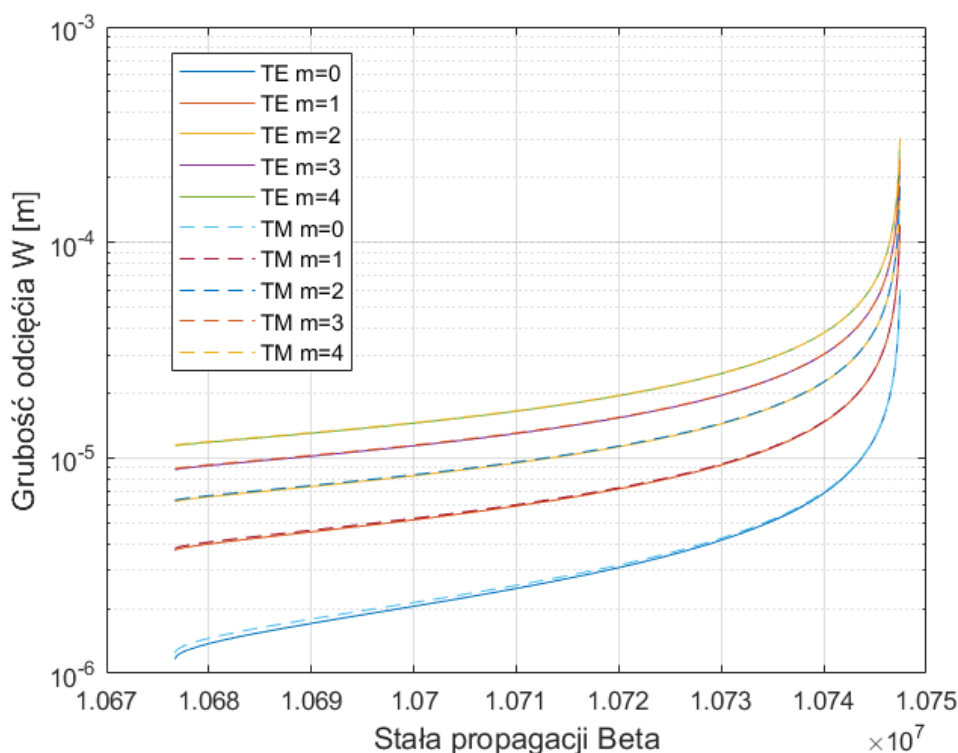
Równanie 2 – Zależność dyspersyjna dla modów TM_m

Aby rozwiązać powyższe równania przyrównano każdy ze wzorów do zera, a następnie podstawiając kolejne wartości bety z przedziału $[k_0 \cdot n_s, k_0 \cdot n_f]$ użyto wbudowanej funkcji

„fsolve” którą stosuje się do znajdowania rozwiązania liniowych oraz nieliniowych funkcji poszukując miejsc zerowych równań poprzez metodę najmniejszych kwadratów komponentów funkcji. Algorytmem który wykorzystuje funkcja do poszukiwania szerokości odcięcia, jest algorytm „Levenberga-Marquardta” i jest połączeniem metody Gaussa – Newtona (stycznych) oraz metody największego spadku. Iteracyjna Metoda Gaussa - Newtona polega na znajdowaniu punktu przecięcia z osią x stycznej do wykresu funkcji z uprzednią definicją punktu startowego rozwiązania który jest obszarem „zaufania”- w tym wypadku przyjęto punkt startowy w postaci iloczynu wektora falowego w próżni oraz współczynnika załamania powietrza.

Punkt przecięcia wyznacza przybliżenie pierwiastka funkcji. Jeśli pierwiastek nie spełnia wymagań dokładności to obliczony punkt podstawia się za nowy punkt startowy i obliczenia powtarza aż do otrzymania rezultatu. Jeśli funkcja trafi na minimum/maksimum lokalne otrzymujemy wynik, jednak metoda ta może dać niepożądane rezultaty jeśli funkcja posiada wiele minimów wokół szukanego rozwiązania – oznacza to że trzeba znać przedział w którym będzie mieścił się wynik.

Modyfikacja polega na dodanie Metody Najszybszego Spadku który ma na celu znalezienie minimum zadanej funkcji celu poprzez obliczanie antygradientu funkcji celu nadającego kierunek poszukiwań. Po każdej minimalizacji kierunkowej funkcja znajduje rozwiązanie dla zadanej dokładności, lub zwraca NaN jeśli jest rozbieżna. Na rysunku 2 przedstawiono wynik rozwiązania dla różnych grubości falowodu i odpowiadających im stałych propagacji w zależności od prowadzonego modu.

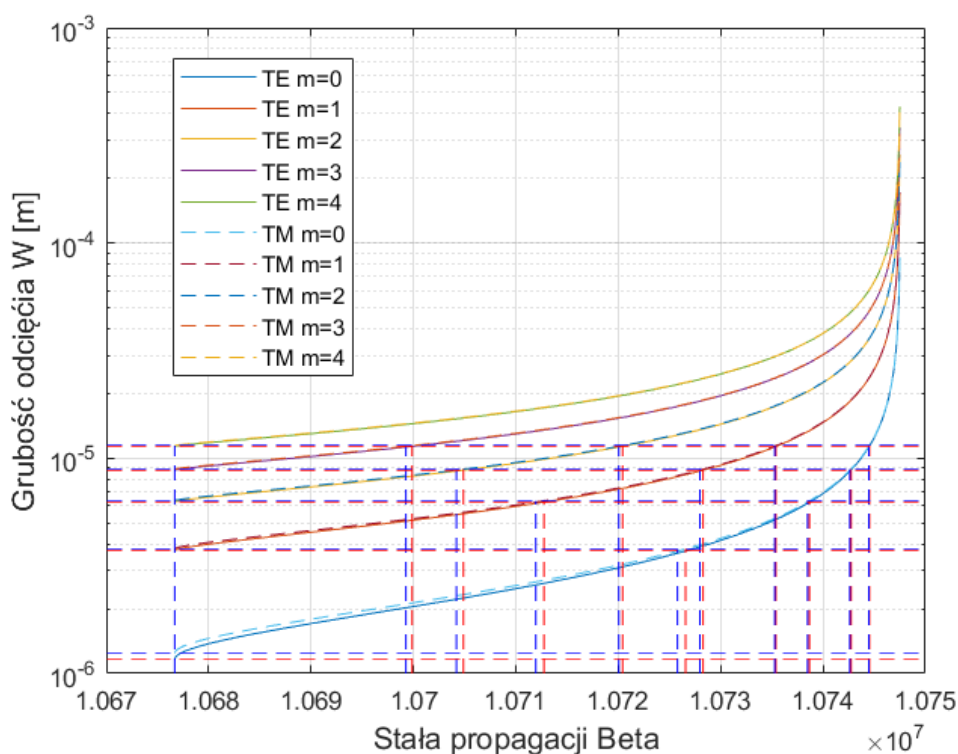


Rys. 2 – Wykres grubości odcięcia w funkcji stałej propagacji Beta.

Tabela 1 – Grubości odcięcia poszczególnych modów

Grubość odcięcia falowodu [m]	Mody TEm	Stała propagacji β_{TEm} [1/m]	Mody TMm	Stała propagacji β_{TMm} [1/m]
1.1631e-06	TE0	10.67475428e+06	TM0	-
1.2409e-06	TE0	10.67749026e+06	TM0	10.67669082e+06
3.7128e-06	TE0	10.72657685e+06	TM0	10.72578308e+06
3.7128e-06	TE1	10.67667876e+06	TM1	-
3.7906e-06	TE1	10.67712441e+06	TM1	10.67667135e+06
6.2625e-06	TE0	10.73867141e+06	TM0	10.73848797e+06
6.2625e-06	TE1	10.71275140e+06	TM1	10.71197672e+06
6.2625e-06	TE2	10.67668691e+06	TM2	-
6.3403e-06	TE2	10.67705044e+06	TM2	10.67669208e+06
8.8122e-06	TE0	10.74274326e+06	TM0	10.74261992e+06
8.8122e-06	TE1	10.72829070e+06	TM1	10.72800327e+06
8.8122e-06	TE2	10.70487634e+06	TM2	10.70419731e+06
8.8122e-06	TE3	10.67669110e+06	TM3	-
8.8899e-06	TE3	10.677060176e+06	TM3	10.67668903e+06

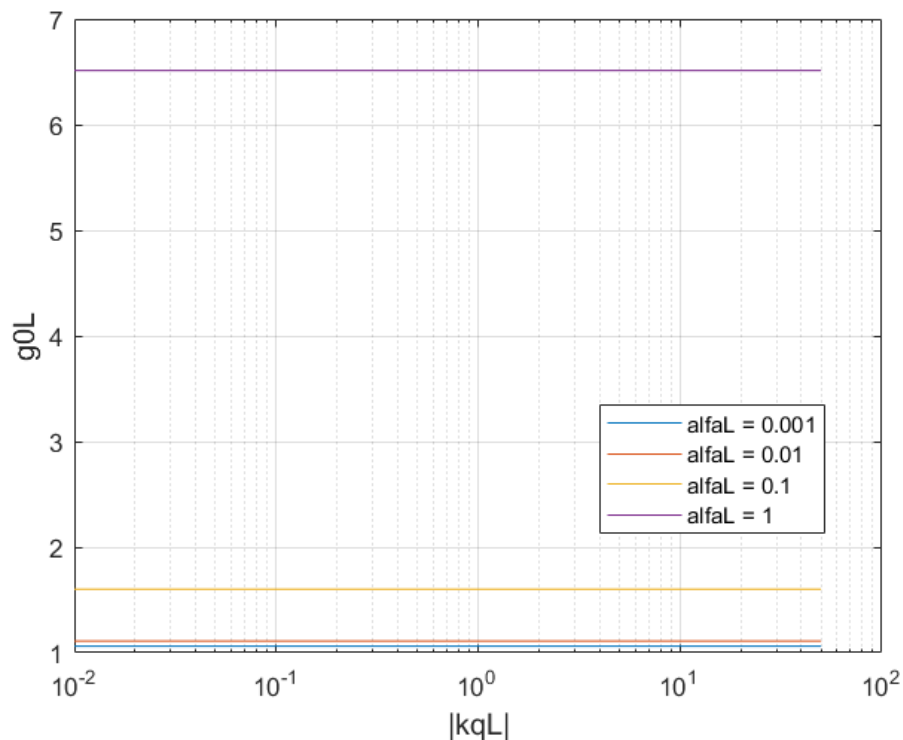
W Tabeli 1 zebrano grubości odcięcia poszczególnych modów – pogrubione wartości są odcięciem związanym z ocięciem modu TMm. Na rysunku 3 przedstawiono graficzną reprezentację punktów odcięcia modów oraz korespondujących z nimi wartości stałej propagacji Beta.



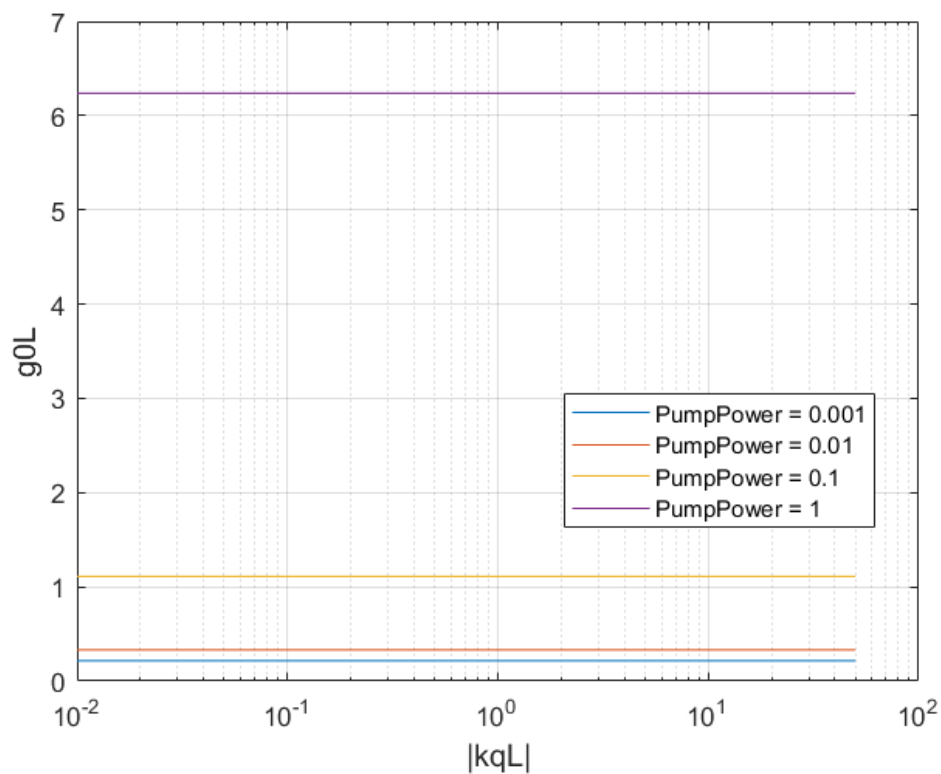
Rys. 3 – Wykres grubości odcięcia w funkcji stałej propagacji Beta z zaznaczonymi punktami przecięcia z modami TEm oraz TMm.

Wyznaczenie współczynnika mało-sygnałowego wzmocnienia wymagało obliczenia pojedynczej oraz podwójnej całki zawartej we wzorze. Całki te obliczono stosując wbudowane funkcje programu MATLAB „integral” oraz „integral2”.

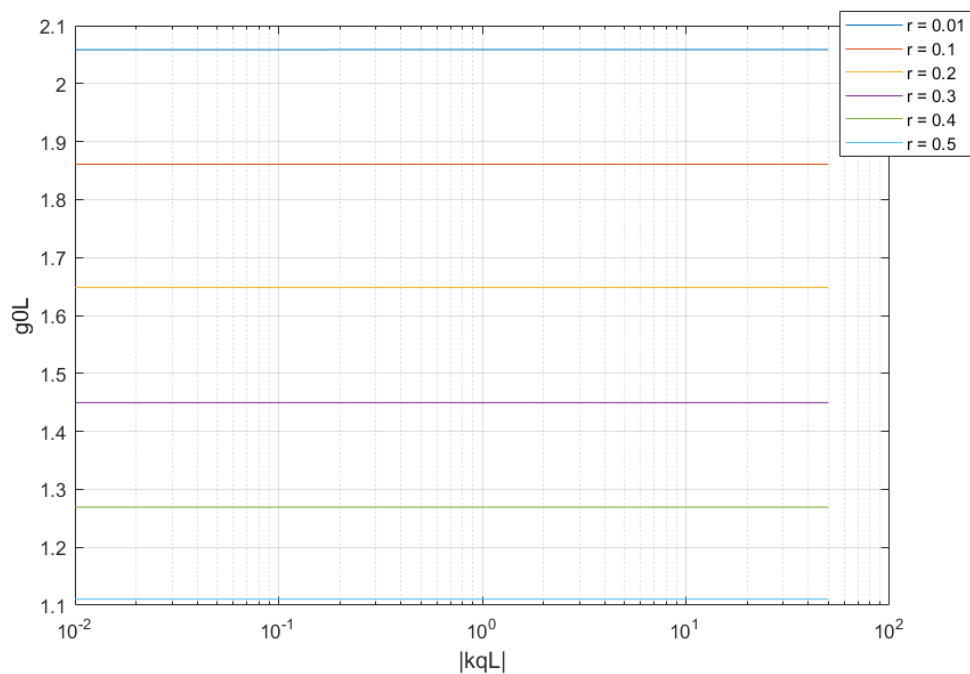
Funkcje te wykorzystują Metody kwadratur adaptacyjnych która polega na podzieleniu obszaru całkowanego na równe, pod obszary, na których stosuje się trapezoidalną aproksymację liniową, po czym aproksymowane przedziały są sumowane. Wraz z większą ilością podziałów na pod obszary funkcji całkowanej, zwiększa się dokładność oraz zmniejsza błąd całkowania. Algorytm adaptacyjny tworzy pod obszary pod obszarów, póki nie uzyska zadanej dokładności. W obliczeniach przyjęto dokładność rzędu $1e-10$. Zaletą tej funkcji jest prostota użycia, oraz gotowa implementacja w programie MATLAB.



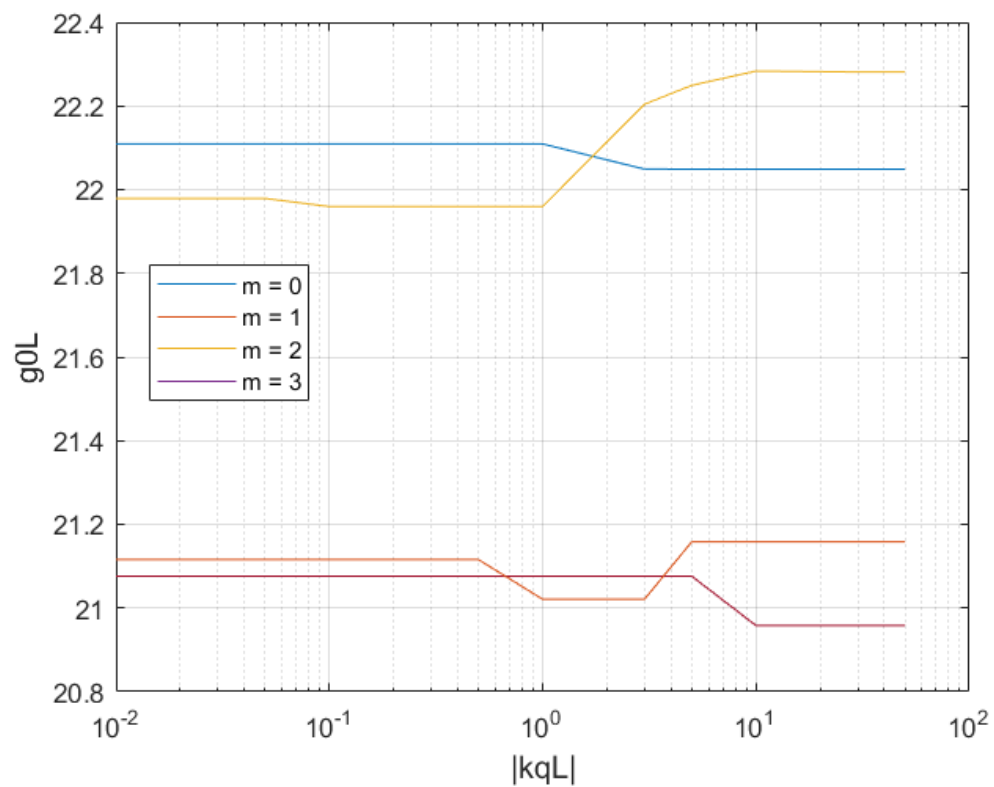
Wykres 1 - Współczynnik goL w funkcji $|kqL|$ - zmiana parametru αL dla struktury dwu-modowej TE_{01} $m=0$ i $q=1$, W najmniejsze ($\sim 1.2409e-06$ [m]), dla $\varphi=0$, $r=0.5$, przy $P_{out}/P_s=0.1$



Wykres 2 - Współczynnik g_0L w funkcji κ_qL - zmiana parametru P_{out}/P_s dla struktury dwumodowej TE_{01} $m=0$ i $q=1$, W najmniejsze($\sim 1.2409e-06$ [m]), dla $\varphi=0$, $r=0.5$, przy $\alpha_L L=0.01$



Wykres 3 - Współczynnik g_0L w funkcji κ_qL dla 4 wartości amplitudowego współczynnika odbić końcowych r dla struktury dwu-modowej TE_{mq} $m=0$, $q=1$, W najmniejsze($\sim 1.2409e-06$ [m]), dla $\varphi=0$, przy $P_{out}/P_s=0.1$ i $\alpha_L L=0.01$.



Wykres 4 - Współczynnik goL w funkcji κqL - zmiana rzędu modu $m=0,1,2,3$ TE_{mq} dla $q=1$, najgrubszego falowodu ($\sim 8.8899e-06$ [m]) - dla struktury ośmio-modowej (licząc mody TE i TM) przy $P_{out}/P_s=0.1$, dla $\varphi=3\pi/2$, $r=0.5$ i $\alpha_L=0.01$