

A dark blue vertical bar on the left side of the page. A blue arrow points to the right from the bar, containing the date.

12/22/2018

ΦΩΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

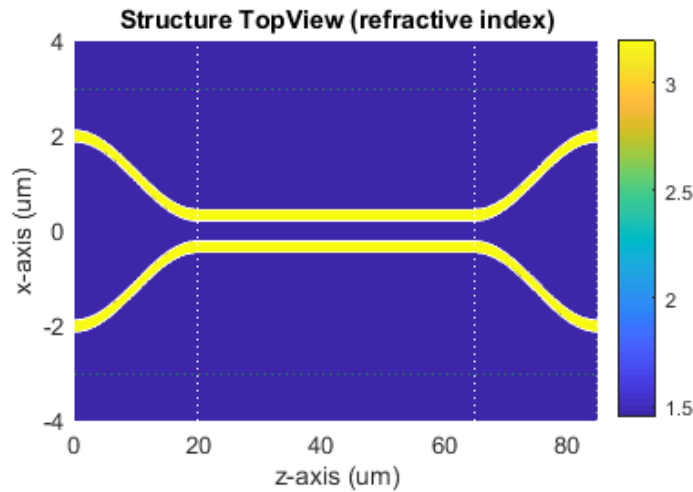
ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ II –
ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ
ΡΥΘΜΩΝ

Several thin, curved lines in dark blue and light grey originate from the bottom left corner and sweep upwards and to the right.

Παλάσκος Μάριος (8492)

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ –
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΗ 2x2 ΑΠΟΣΥΓΧΡΟΝΙΖΟΜΕΝΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΥ ΖΕΥΚΤΗ



----- κώδικες -----

https://www.dropbox.com/sh/3okrz88l9jgj3eh/AABifVMmLIS2xNy7zFoA_OhWa?dl=0

α) Επειδή κυματοδηγός υποστηρίζει ένα συμμετρικό και ένα αντισυμμετρικό ρυθμό, το οδηγούμενο κύμα μπορεί να γραφεί στη μορφή: $E_y = E_{y,e}(x)e^{-j\beta_e z} + E_{y,o}(x)e^{-j\beta_o z}$. Από το σχήμα 1(b) της εκφώνησης συμπεραίνουμε ότι το ένα «μισό» της καμπύλης $E_{y,e}(x)$ (έστω για $x > 0$) του συμμετρικού ρυθμού αλληλοεξουδετερώνεται με το αντίστοιχο «μισό» της $E_{y,o}(x)$, ενώ στο $x < 0$ οι δύο καμπύλες υπερτίθενται. Συνεπώς για μήκος ζεύκτη L_c που εξασφαλίζει διαφορά φάσης των δύο ρυθμών π , εξασφαλίζω κατάσταση Cross, διότι η υπέρθεση του «μισού» των ρυθμών τώρα θα γίνει στο $x > 0$ και άρα θα έχω ισχύ στο άλλο κυματοδηγό. Πιο συγκεκριμένα, το μήκος ζεύκτη L_c υπολογίζεται ως εξής:

$$L_c \Delta\beta = (2k + 1)\pi, k \in \mathbb{Z} \Rightarrow L_c \frac{2\pi}{\lambda} |\Delta n_{eff}| = (2k + 1)\pi \Rightarrow L_c = \frac{(2k + 1)\lambda}{2|\Delta n_{eff}|}$$

Το ελάχιστο μήκος δίνεται για $k = 0$:

$$L_c = \frac{\lambda}{2|\Delta n_{eff}|}, \quad \text{όπου } |\Delta n_{eff}| = |n_{eff,e} - n_{eff,o}|$$

β) (κώδικας b.m)

Σε πρώτο στάδιο, εξετάζουμε το κατευθυντικό ζεύκτη χωρίς S-bends. Για εύρος κυματοδηγών $w = 250 \text{ nm}$ αλλάζουμε το μήκος του διακένου στο διάστημα $d \in [0.02 \text{ } 0.8] \mu\text{m}$ προκειμένου να εξετάσουμε την επίδρασή του στο μήκος σύζευξης με δύο τρόπους:

➤ Μέθοδος « υπεργυθμών »

Σε αυτή την περίπτωση λαμβάνουμε το σύστημα των δύο κυματοδηγών σαν ενιαίο σύστημα, δηλαδή σαν ένα κυματοδηγό που αποτελείται από δύο ρυθμούς, ένα συμμετρικό και ένα αντισυμμετρικό, όπως στο ερώτημα (α) (προσεγγιστική η σχέση του (α) εδώ, διότι η αλλαγή του d μπορεί να οδηγήσει σε πρισσότερους ρυθμούς). Μέσω της MLWG υπολογίζουμε τους ρυθμούς και απο τη σχέση του (α) το απαιτούμενο μήκος.

➤ **Θεωρία συζευγμένων ρυθμών**

Εδώ υπολογίζεται πρώτα ο συντελεστής σύζευξης από τη σχέση:

$$\kappa = \frac{k_0^2}{2\beta_0} \frac{< (n_T^2(x) - n_2^2(x)) E_2, E_1 >}{< E_1, E_1 >}$$

Όμως $\beta_0 = \beta_1 = \beta_2$, διότι οι κυματοδηγοί είναι ίδιοι. Άρα, $\beta_0 = k_0 n_{eff,1} = k_0 n_{eff,2} = k_0 n_{eff,wg}$ (δηλαδή λαμβάνουμε τον κάθε κυματοδηγό ξεχωριστά, wg: waveguide)

$$\frac{k_0^2}{2\beta_0} = \frac{2\pi}{2n_{eff,wg}\lambda_0} = \frac{\pi}{n_{eff,wg}\lambda_0}$$

Επίσης, (βλ. σχήμα εκφώνησης)

- Για $x \geq 0$: $n_T = n_2 \Rightarrow \kappa = 0$
- Για $x \leq 0$ και έξω από τον κυματοδηγό 1: $n_T = n_2 = n_s \Rightarrow \kappa = 0$

Συνεπώς, μόνο μέσα στον κυματοδηγό 1 έχουμε μη μηδενικό ολοκλήρωμα καθώς εκεί:

$$n_T^2(x) - n_2^2(x) = n_g^2 - n_s^2$$

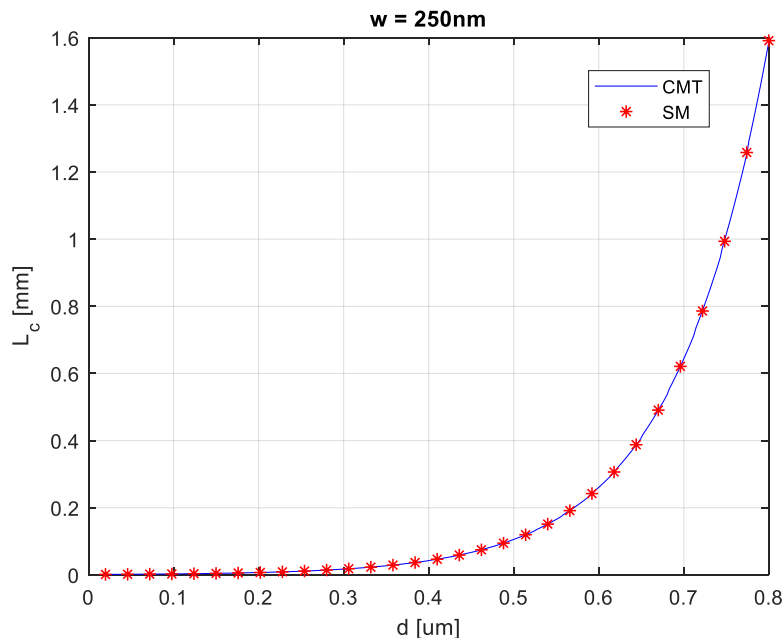
Άρα, ο συντελεστής σύζευξης γράφεται:

$$\kappa = \frac{\pi(n_g^2 - n_s^2)}{n_{eff,wg}\lambda_0} \frac{< E_2, E_1 >}{< E_1, E_1 >} = \frac{\pi(n_g^2 - n_s^2)}{n_{eff,wg}\lambda_0} \frac{P_{21}}{P_{11}}, \quad \text{όπου } P_{11} = < E_1, E_1 > \text{ και } P_{21} = < E_2, E_1 >$$

Τελικά, ο συντελεστής σύζευξης υπολογίζεται από τη σχέση (3.26) των σημειώσεων:

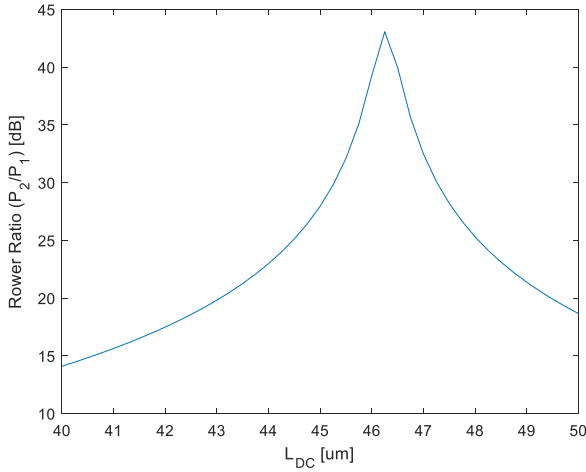
$$L_c = \frac{\pi}{2\kappa} = \frac{n_{eff,wg}\lambda_0}{2(n_g^2 - n_s^2)} \frac{P_{11}}{P_{21}}$$

Το επόμενο γράφημα παρουσιάζει τις δύο μεθόδους, οι οποίες όπως είναι εμφανές ταυτίζονται



Για τα ερωτήματα (γ), (δ), (στ) και (ζ): κώδικας c-d-f-g.m

γ) Στη γραμμή 34 του κώδικα υπολογίζεται με βάση το ερώτημα (α): $L_c = L_{DC} = 50.02 \mu m$.

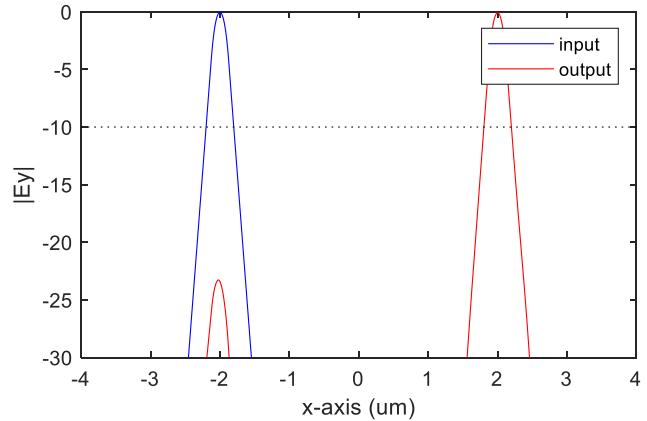
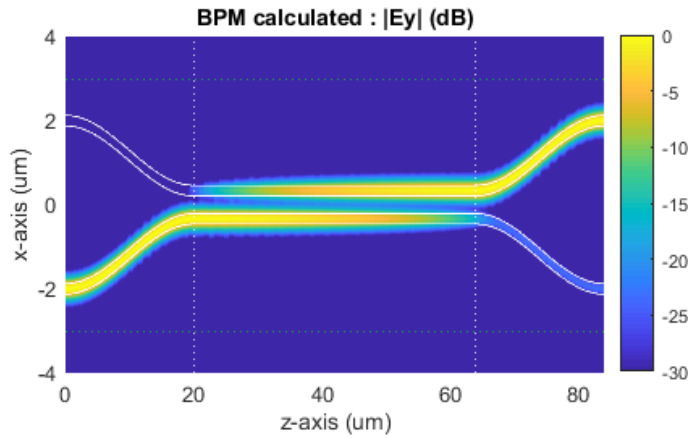


Για το μήκος αυτό, ο λόγος ισχύων στην έξοδο είναι $dP = P_2 - P_1 = 16.2 \text{ dB} < 20 \text{ dB}$. Υποπευόμαστε ότι μάλλον τα S-bends προσφέρουν επιπλέον (ανεπιθύμητη) σύζευξη, οπότε δοκιμάζουμε για μήκη L'_{DC} στο διάστημα $[40 \text{ } 50]$ μm (πρέπει να μειώσουμε το μήκο σύζευξης). Η διαίσθηση επιβεβαιώνεται με το παρακάτω διάγραμμα, όπου φαίνεται ο λόγος ισχύος να μειώνεται για μήκη ζεύκτη μεγαλύτερα των $50 \mu m$.

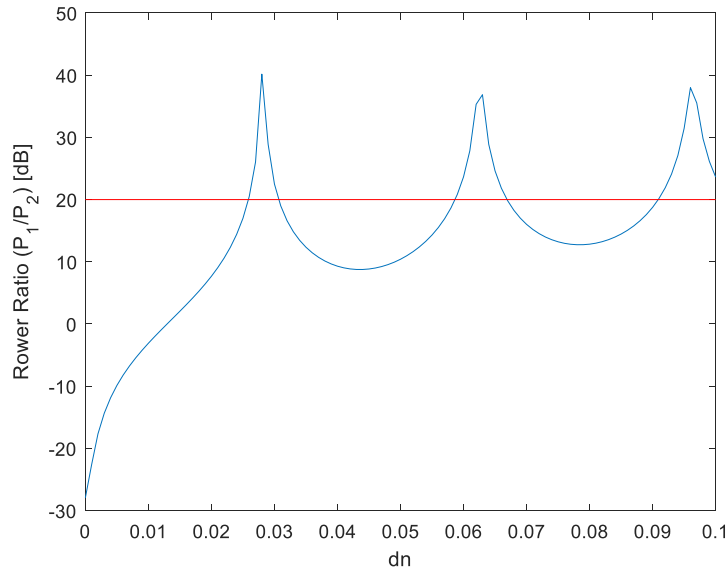
Παρόλο που το μέγιστο επιτυγχάνεται για $L'_{DC} \cong 46 \mu m$, αρκούμαστε σε μία σχεδίαση που επιτυγχάνει $dP > 20 \text{ dB}$. Έτσι, μπορούμε να αποφύγουμε μεγάλα μήκη επιλέγοντας:

$$L'_{DC} = 44 \mu m \quad \rightarrow \quad dP = 22.76 \text{ dB}$$

Για το μήκος αυτό βλέπουμε στα παρακάτω δύο διαγράμματα την ανταλλαγή και το λόγο ισχύος αντίστοιχα

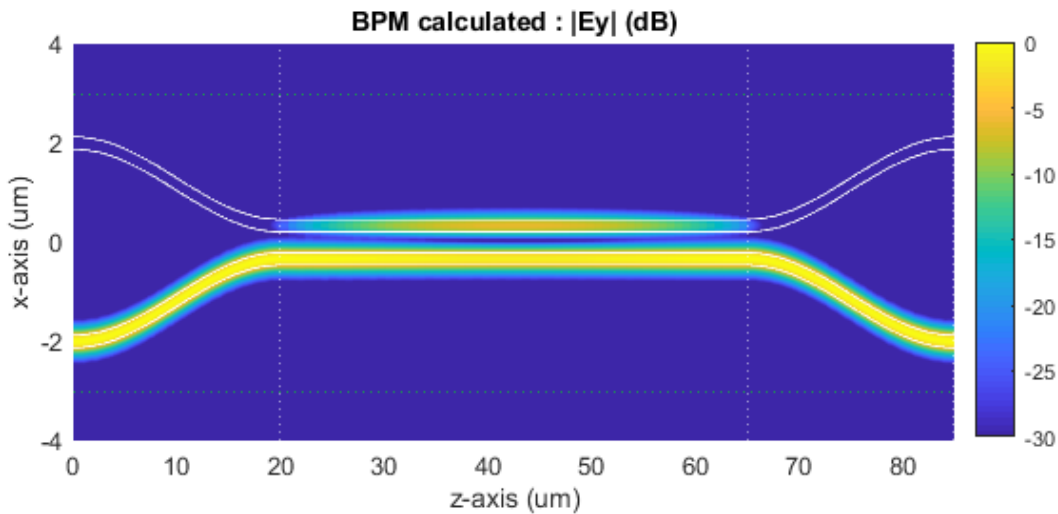


δ) Προκειμένου να αλλάξουμε την κατάσταση του ζεύκτη, από Cross σε Bar, μεταβάλλουμε τον δείκτη διάθλασης στον κυματοδηγό 2 (πάνω). Οι επιτρεπτές τιμές του dn είναι $0 < dn < 0.1$. Η μεταβολή του λόγου $10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$ συναρτήσει του dn δίνεται παρακάτω

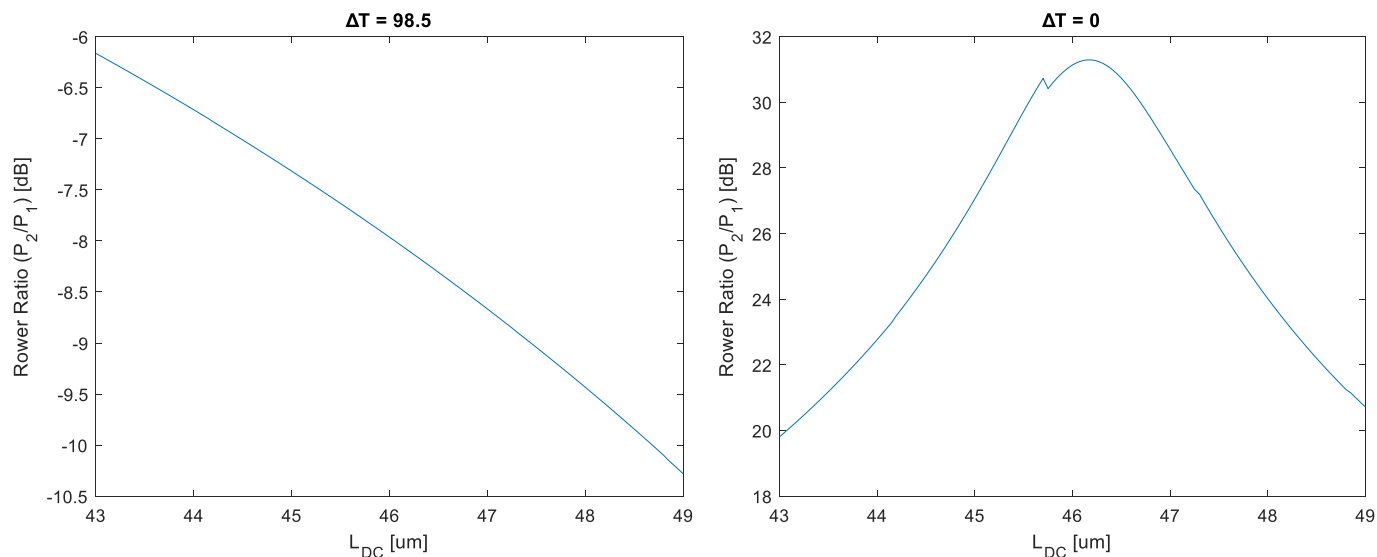


Στις γραμμές 188-190 του κώδικα υπολογίζω το ελάχιστο dn για το οποίο ο παραπάνω λόγος είναι μεγαλύτερος των 20 dB. Βρίσκουμε ότι: $dn_{min} = 0.026$

Επιλέγω $dn = 0.028$ και παρατηρώ ότι το $P1-P2 > 30dB$ στην εξοδο. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω απεικόνιση, ο ζεύκτης βρίσκεται στην κατάσταση BAR.



στ) Σε αντίθεση με το (δ), στο συγκεκριμένο ερώτημα, η μεταβολή του συντελεστή διάθλασης προέρχεται από το θέρμο-οπτικό φαινόμενο, το οποίο στην πράξη θέτει περιορισμούς στη μεταβολή του. Επειδή, για κατασκευαστικούς λόγους, η μεταβολή στη θερμοκρασία δεν μπορεί να ξεπεράσει τους 100K, η μέγιστη μεταβολή που μπορούμε να πετύχουμε στο δείκτη διάθλασης είναι $dn_{max} = 0.02$. Από τα δύο επόμενα διαγράμματα, παρατηρώ ότι στην περιοχή του L_c του ερωτήματος (α), δηλαδή στο διάστημα $[40 \ 50] \mu m$, ενώ έχω μεγάλο εύρος επιλογών για μήκος L_{DC} (για την κατάσταση Cross, διάγραμμα με $\Delta T=0$), δεν υπάρχει μήκος που να μου δίνει κατάσταση Bar (διάγραμμα με $\Delta T=98.5$, δηλαδή έχοντας επιλέξει ένα μεγάλο dn). Παρατηρώ, όμως, από το πρώτο διάγραμμα ότι στην περιοχή του L_c , όσο αυξάνω το μήκος L_{DC} και τη θερμοκρασία, τόσο συγλίνω σε κατάσταση Cross.

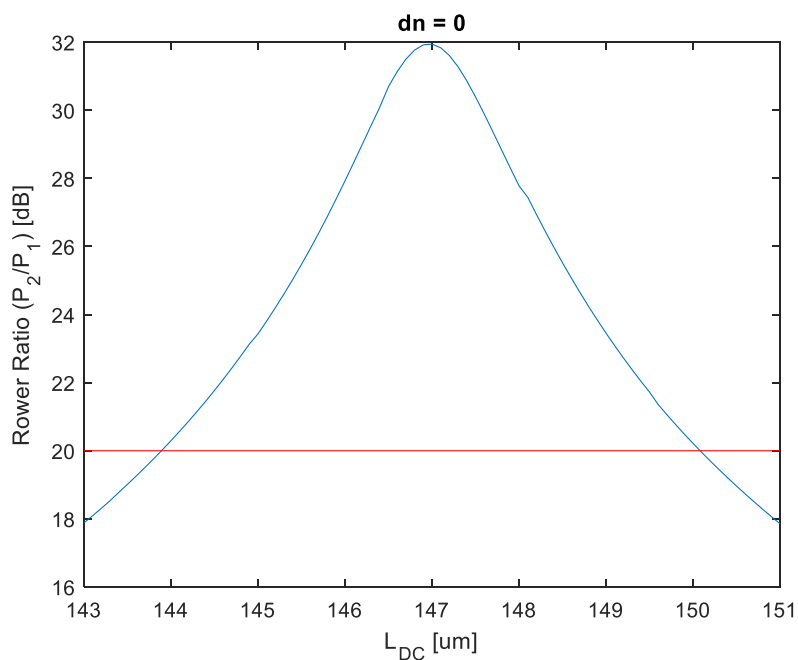


Αυτο με παραπέμπει στην τριπλάσια απόσταση, διότι ο ζεύκτης έχει περιοδική ανταλλαγή ισχύος ανά μήκος που είναι περιττό πολλαπλάσιο του $\pi/2\kappa$: $L = \frac{(2m+1)\pi}{2\kappa}$, όπου κ : συντελεστής σύζευξης

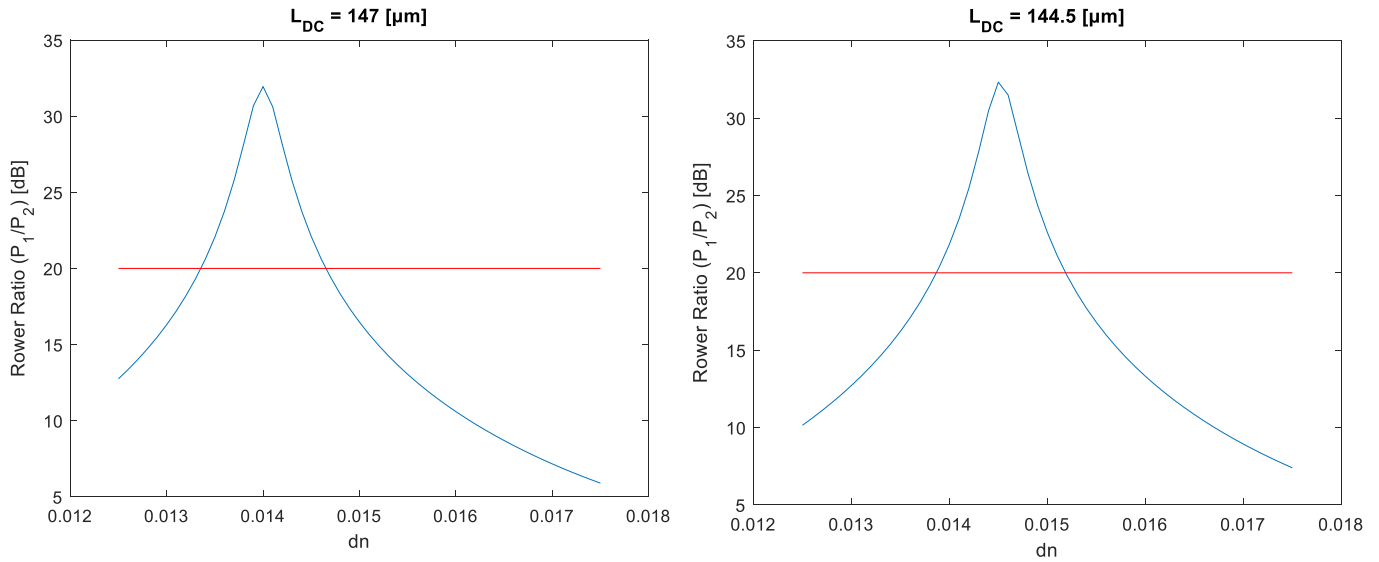
- Για $m = 0$: $L_0 = L_c = \frac{\pi}{2\kappa}$ (δεν επιτυγχάνει επιθυμητά αποτελέσματα)
- Για $m = 1$: $L_1 = 3L_c = \frac{3\pi}{2\kappa}$

Άρα εξετάζω την περιοχή των 150 μm .

- a) Στο πρώτο διάγραμμα ελέγγω σε ποιά μήκη L_{DC} έχω (για $dn = 0$) κατάσταση Cross
- i) $L_{DC} = 147\mu m$, που στην κατάσταση Cross δίνει διαφορά ισχύος $\sim 31dB$
 - ii) $L_{DC} = 144.5 \mu m < 147 \mu m$, αλλά στην κατάσταση Cross δίνει διαφορά ισχύος $\sim 22dB < 31dB$



b) Στο επόμενο δυο διαγράμματα ελέγγω τη μεταβολή, ως προς dn , για τα δύο διαφορετικά μήκη



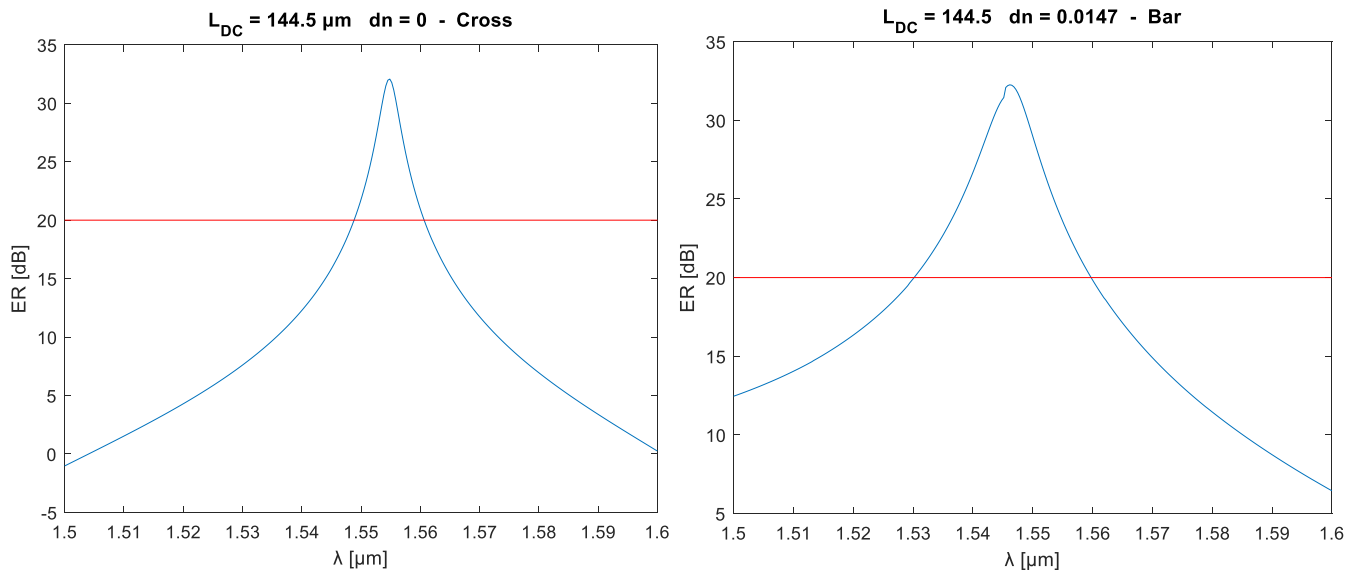
Σημείωση: Τα διαγράμματα έγιναν για $dn < 0.018 < 0.02 = dn_{\max}$, ώστε να μπορεί η θεωρητική σχεδίαση να υλοποιηθεί, δηλαδή να υπάρχει $\Delta T < 100$ που να δίνει το επιθυμητό dn .

Παρατηρούμε ότι η μείωση του μήκους L_{DC} επιβάλει μεγαλύτερο dn , προκειμένου να πετύχουμε « την ίδια κατάσταση Bar », δηλαδή ίδιο λόγο ισχύων εξόδου που θα πετυχαίναμε με κάποιο μεγαλύτερο μήκος.

Για τη σχεδίαση επιλέγω $L_{DC} = 144.5 \text{ } \mu\text{m}$ και $dn = 0.0147$, που αντιστοιχεί σε $\Delta T = 73.5 \text{ K}$ και σε λόγο ισχύος περί τα 30dB

ζ) Παρακάτω παρουσιάζεται ο λόγος εξάλειψης στο φασματικό παράθυρο $\lambda \in [1.5 \text{ } 1.6]$.

Ισχύει ότι $BW_{BAR} \cong 2.4 BW_{CROSS}$, (BW : bandwidth)



$BW = 12.47 \text{ nm}$

$BW = 29.76 \text{ nm}$

ε) Για δεδομένο $L = L_c \cong 50.02 \mu m$ (δηλαδή αγνοώντας την επίδραση των S-bends) θέλουμε να υπολογίσουμε το απαιτούμενο dn προκειμένου να έχουμε κατάσταση Bar μέσω της θεωρίας συζευγμένων ρυθμών και μέσω των « υπερρυθμών ».

➤ Super-Modes (SM)

Επειδή και στον αποσυγχρονισμό, για $dn \in [0, 0.1]$, υποστηρίζονται δύο υπερρυθμοί, ένας άρτιος και περιττός (προσεγγιστικά, διαπιστώθηκε με δοκιμή για κάποια dn), η ανάλυση θα γίνει όπως και στο ερώτημα (α), απλά για την κατάσταση Bar:

$$L_c \Delta\beta = 2k\pi, k \in \mathbb{Z} \Rightarrow L_c \frac{2\pi}{\lambda} |\Delta n_{eff}| = 2k\pi \Rightarrow \frac{2\pi L_c}{L_b} = 2k\pi \xrightarrow{k=1} \boxed{L_b^{SM} = L_c}$$

όπου $|\Delta n_{eff}|$ η διαφορά των n_{eff} δύο υπερρυθμών.

Συνεπώς αλλάζοντας το dn μεταβάλλουμε το $|\Delta n_{eff}|$ και άρα το $L_b^{SM} \rightarrow L_c$

Από την προσομοίωση: $dn^{SM} = 0.027$ και $L_c^{SM} = 50.9399 \mu m$

Σφάλμα: $L_c - L_c^{SM} = 0.0805 \mu m$

➤ Coupled Modes Theory (CMT)

Εφόσον $L = L_c$, από τη θεωρία έχουμε ότι $v = \frac{\pi}{2}$ (διότι στο συγχρονισμό θέλω να έχω κατάσταση Cross).

Επομένως για κατάσταση Bar απαιτούμε:

$$\sqrt{v^2 - \xi^2} = \pi \Rightarrow \xi = \sqrt{\pi^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \Rightarrow \Delta\beta = \frac{\pi\sqrt{3}}{L_c}$$

Όμως εδώ μελετώνται ξεχωριστά στον κάθε κυματοδηγό $n_{eff,1}$ και $n_{eff,2}$ αντίστοιχα, άρα:

$$\Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda} |\Delta n_{eff,12}| = \frac{2\pi}{L_b^{CMT}}, \quad \text{όπου } |\Delta n_{eff,12}| = |n_{eff,1} - n_{eff,2}|$$

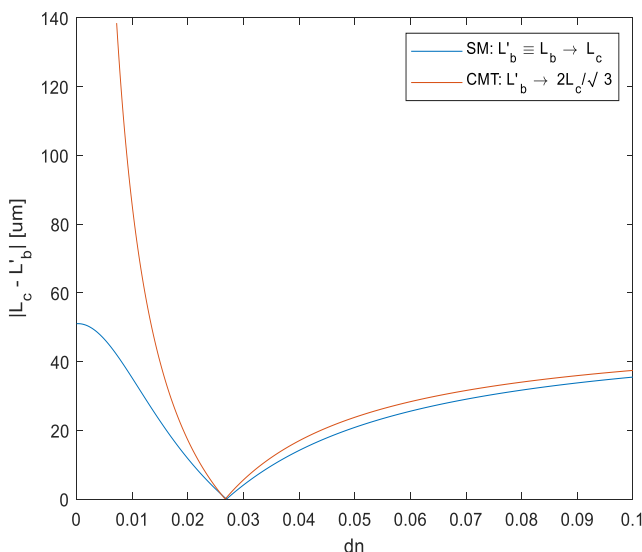
Επομένως έχουμε:

$$\frac{2\pi}{L_b^{CMT}} = \frac{\pi\sqrt{3}}{L_c} \Rightarrow \boxed{\frac{\sqrt{3}}{2} L_b^{CMT} = L_c}$$

Συνεπώς, αλλάζοντας το dn , μεταβάλλουμε το $|\Delta n_{eff}|$ (πιο συγκεκριμένα το $n_{eff,2}$ διότι το $n_{eff,1}$ παραμένει σταθερό) και άρα το $L_b^{CMT} \rightarrow 2L_c/\sqrt{3}$

Από την προσομοίωση: $dn^{CMT} = 0.0268$ και $L_c^{CMT} = 50.8597 \mu m$

Σφάλμα: $L_c - L_c^{CMT} = 0.1607 \mu m$, σχεδόν διπλάσιο από την προηγούμενη περίπτωση



Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται η σύγκλιση του L_b της καθεμιάς περίπτωσης στην αντίστοιχη τιμή