

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.

11/4/2018

ΦΩΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Ι -
ΟΠΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ
ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Several thin, curved lines in shades of blue and 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

Οι κώδικες βρίσκονται στον παρακάτω σύνδεσμο

<https://www.dropbox.com/sh/vuorw099p11tth8/AABwNXuj45a3VKZ2N2h04ZyLa?dl=0>

ΕΡΩΤΗΜΑ Α

Αρχικά υλοποιούμε τη συνάρτηση **Bragg(wl,wlo,na,nH,nL,M,r_start)**

α) ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

- wl: διάνυσμα με τα μήκη κύματος 1000–2000 nm
- wlo: το κεντρικό μήκος κύματος 1550 nm
- nH, nL: ο υψηλός και ο χαμηλός δείκτης αντίστοιχα
- M: το πλήθος των στρωμάτων
- na: ο δείκτης διάθλασης του μέσου από το οποίο πέφτει το προσπίπτον κύμα
- r_start: αντί για την ειδική περίπτωση των σημειώσεων όπου η έξοδος του Bragg είναι ένα μέσο με δείκτη nb, εδώ υποθέτουμε, ότι οτιδήποτε υπάρχει μετά το Bragg μπορεί να θεωρηθεί σα μια δομή που μπορεί να περιγραφεί από ένα συντελεστή ανάκλασης, ο οποίος χρησιμοποιείται ως αρχική συνθήκη στην επαναληπτική διαδικασία του Bragg:

β) ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΕΞΟΔΟΥ: Τρόπος υπολογισμού

- Αρχικά υπολογίζεται η φάση που εισάγεται στα εκθετικά της επαναληπτικής διαδικασίας:

$$b = k_i d_i = \frac{2\pi}{\lambda} n_i d_i = \frac{2\pi \lambda_0}{\lambda} \frac{1}{4} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right), \quad \text{διότι } n_i d_i = \frac{\lambda_0}{4} \text{ σε ανακλαστήρα Bragg}$$

- Στη συνέχεια υπολογίζονται οι πρωτογενείς συντελεστές ανάκλασης:

$$\rho_1 = \frac{n_a - n_H}{n_a + n_H} \quad \text{ενώ οι υπόλοιποι εναλλάσσονται σε πρόσημο } \rho_{rest} = \pm \frac{n_H - n_L}{n_H + n_L}$$

Οι συντελεστές είναι M σε πλήθος

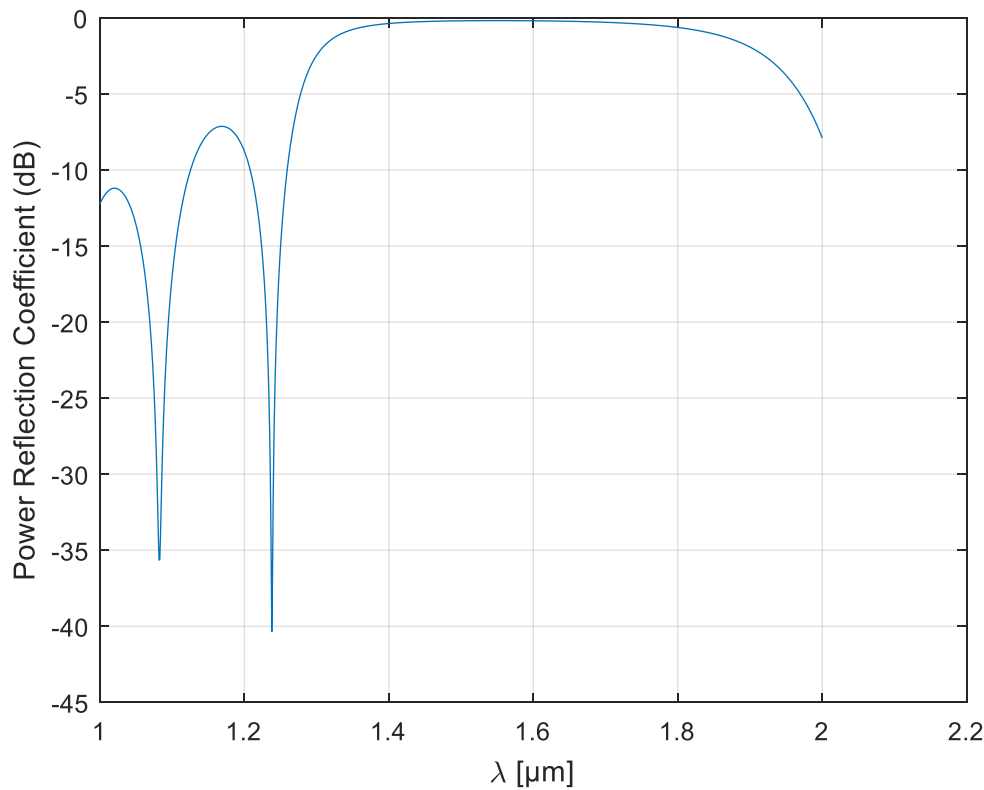
- Με το r_start αρχίζει η επαναληπτική διαδικασία η οποία δίνει το συντελεστή ανάκλασης rB στην είσοδο

Τα πρώτα 3 ερωτήματα χρησιμοποιούν την προηγούμενη συνάρτηση και το αρχείο

Exc_A

(i) Εδώ το κύμα μπαίνει από το στρώμα υγρού κρυστάλλου (άρα $n_a = n_{av}$) και βγαίνει από το στρώμα γυαλιού (άρα $n_b = n_{glass}$). Άρα το διάνυσμα με το οποίο αρχίζει η επαναληπτική διαδικασία είναι, σε αυτή την περίπτωση, σταθερό για κάθε μήκος κύματος:

$$r_{start} = \frac{n_H - n_b}{n_H + n_b}, \forall \lambda \quad (\text{στο matlab απλως το πολλαπλασιάζουμε με διάνυσμα που περιέχει μονάδες})$$



(ii) Στο συγκεκριμένο ερώτημα στον κλειστό τύπο των σημειώσεων (1.13) πρέπει να γίνουν οι εξής αλλαγές:

- Το R έχει προκύψει ως rr' (αρχική εξ. (1.5)), δηλαδή από το γινόμενο των πρωτογενών συντελεστών ανάκλασης ($n' \rightarrow n$ και $n \rightarrow n'$ αντίστοιχα). Στην περιπτωσή μας, το «μέσο- n » έχει δείκτη $n_{av} = 1.5$ (LC) και το «μέσο- n' » δείκτη $n_{glass} = 1.5$. Όμως η πολυστρωματική δομή εισάγει μια φάση στον «πρωτογενή συντελεστή ανάκλασης» μεταξύ n, n' . Η αντιστοίχιση μπορεί να γίνει όπως στις σημειώσεις, με τη διαφορά ότι η δομή «αντικαθίσταται» με ένα υποθετικό υλικό με δείκτη \tilde{n} , τέτοιο ώστε να δίνει το μιγαδικό πρωτογενή συντελεστή ανάκλασης (ΣΑ) του προηγούμενου ερωτήματος.
- Λόγω μιγαδικού ΣΑ, τα r και r' ($r1$: glass- \rightarrow LC & $r2$: LC- \rightarrow glass στο matlab) έχουν ίδιο μέτρο, αλλά διαφορετική φάση. Επομένως, το ερώτημα (i) υλοποιείται δύο φορές αλλάζοντας κατάλληλα τα n_a, n_b . Άρα $\mathbf{R} = \mathbf{r}_1 \mathbf{r}_2$

- Η φάση δ είναι:

$$\delta = \frac{4\pi d n \cos\theta}{\lambda} = \frac{4\pi d n_{av}}{\lambda} = 8\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right), \quad \text{διότι έχω κάθετη πρόσπτωση και } d n_{av} = 2 \lambda_0$$

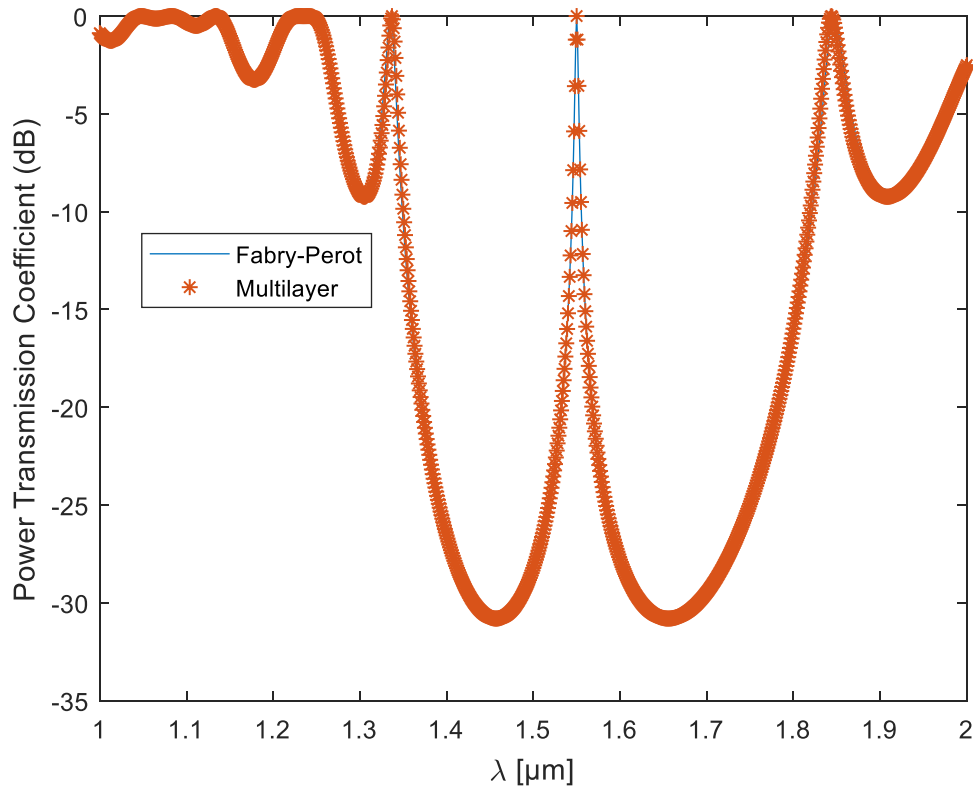
- Ο συνολικός συντελεστής μετάδοσης δίνεται λοιπόν από τη σχέση:

$$T_{1,dB} = \frac{|T|^2}{|1 - R e^{-j\delta}|^2} = \frac{(1 - |r_1 r_2|)^2}{\left| 1 - r_1 r_2 e^{-j8\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)} \right|^2}$$

(iii) Μελετώντας τη συνολική διάταξη ως μία πολυστρωματική δομή, ξεκινάμε από την έξοδο προς την είσοδο υπολογίζοντας του εκάστοτε συντελεστές ανάκλασης. Για τους ανακλαστήρες Bragg χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση που δημιουργήσαμε, ενώ για το ενδιάμεσο στρώμα (LC) εφαρμόζουμε απευθείας την επαναληπτική σχέση χρησιμοποιώντας ως:

- $\rho_i = (n_H - n_{av}) / (n_H + n_{av})$
- Γ_{i+1} το ΣΑ μετά το πρώτο Bragg

Ομοίως ο ΣΑ στο LC χρησιμοποιείται ως r_{start} για το δεύτερο Bragg

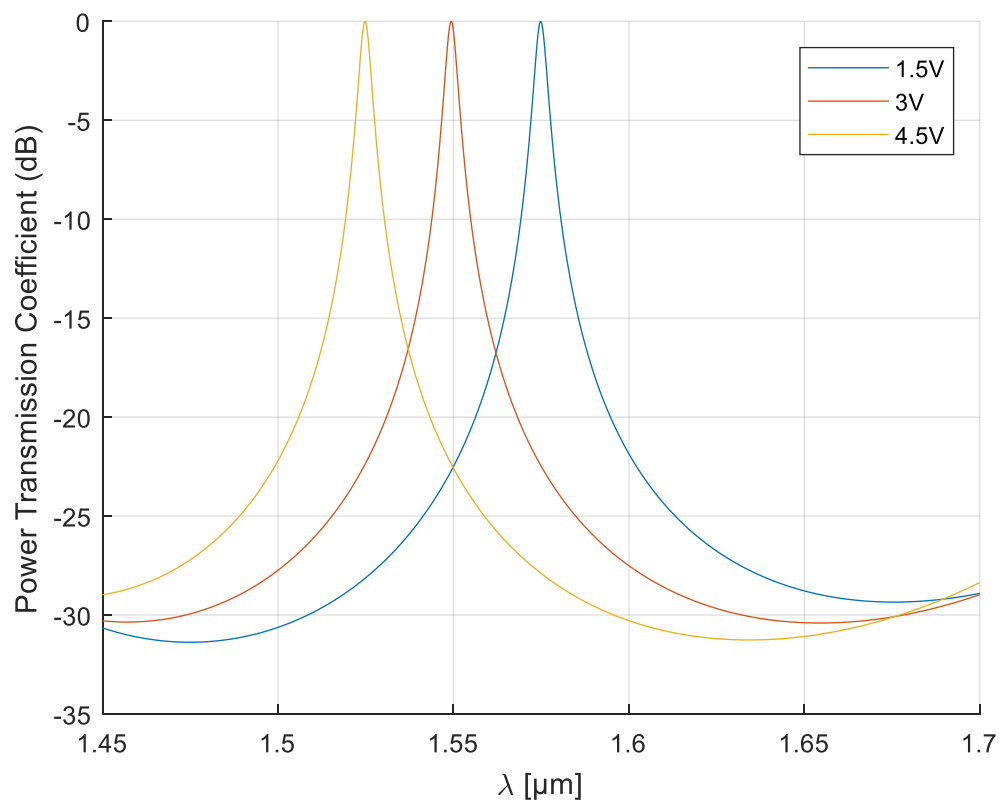
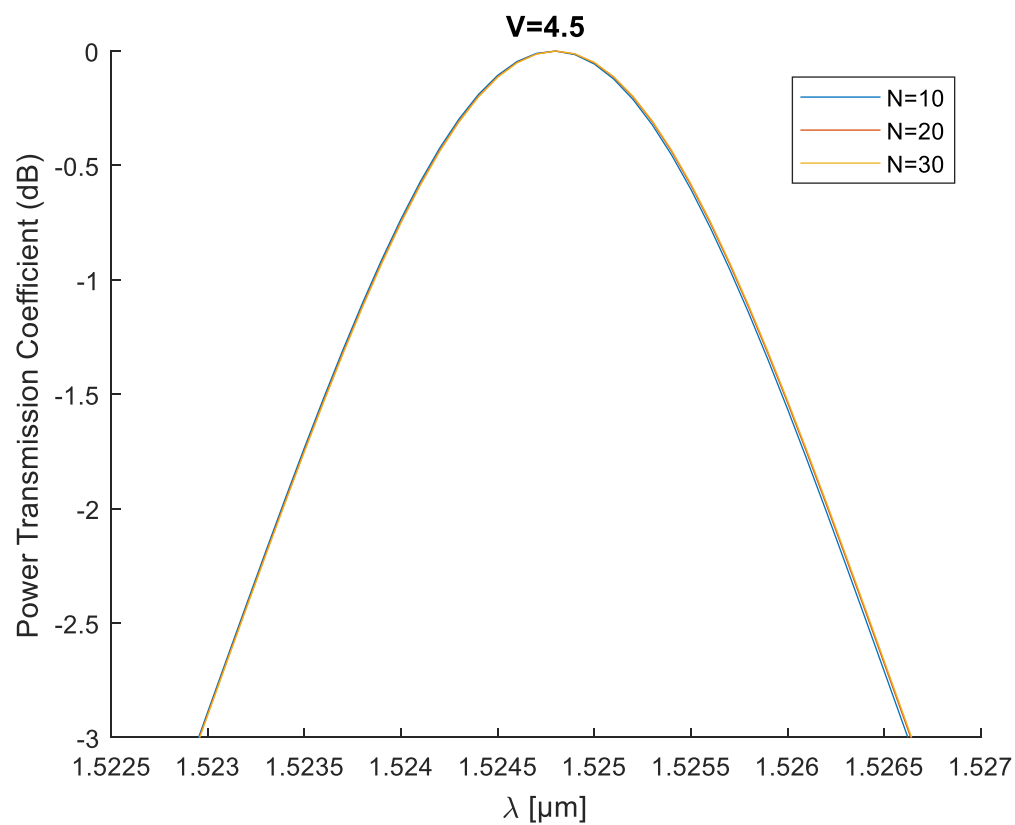


ΕΡΩΤΗΜΑ Β

- Η συνάρτηση **nLS(V,d,z)** υπολογίζει το ενεργό δείκτη διάθλασης του υγρού κρυστάλλου δεδομένης τάσης V και του πάχους d σε ύψος z, όπως ορίζεται στο δοθέν σχήμα. Να σημειωθεί ότι η δοθείσα σχέση μεταξύ $V - \theta_{max}$ είναι γραμμική, γεγονός που χρησιμοποιήσα στη συνάρτηση για τον υπολογισμό του θ_{max} δεδομένης της τάσης V.
- Η συνάρτηση **LC(wl,na,d,V,N,r_start)** υπολογίζει τα εξής:
 - Δεδομένου του αριθμού N των τεχνητών υπο-στρωμάτων του υγρού κρυστάλλου αποδίδει έναν ενεργό δείκτη διάθλασης-n σε κάθε υπόστρωμα ανάλογα με το ύψος του από το $z=0$. Πιο συγκεκριμένα, το n_i θα δίνεται από την nLC για ύψος $z_i = id/N$, δηλαδή το i-οστό στρώμα παίρνει το n_{eff} από το ύψος της διαχωριστικής γραμμής με το (i+1)-στρώμα, βάσει της συνάρτησης nLC. Οι ενεργοί δείκτες διάθλασης δίνονται ως έξοδοι της συνάρτησης.
 - Στη συνέχεια υπολογίζει τους πρωτογενείς συντελεστές ανάκλασης των υποστρωμάτων $\rho_i = (n_{i-1} - n_i)/(n_{i-1} + n_i)$ σε διάνυσμα 1xN. Να σημειωθεί, ότι $n_1 = n_a = n_H$ (δλδ για i=1 στην παραπάνω σχέση). Επίσης, όπως και στη συνάρτηση Bragg, χρησιμοποιώ ως είσοδο διάνυσμα r_start (συναρτήσει των μηκών κύματος) του συντελεστή ανάκλασης της προηγούμενης βαθμίδας.
 - Τέλος, επειδή υποθέσαμε σταθερές αποστάσεις των N τεχνητών υποστρωμάτων, έπεται ότι $d_i = \frac{d}{N}, \forall i$. Ο υπολογισμός της φάσης γίνεται εύκολα μέσω της σχέσης $ph_i = \frac{2\pi d n_i}{N\lambda}$ και άρα μέσω της επανληπτικής διαδικασίας ο συντελεστής ανάκλασης στην είσοδο του LC.
- Το αρχείο **Exc_B** υπολογίζει σταδιακά τους επιμέρους συντελεστές ανάκλασης BraggOUT -> LC -> BraggIN, περνώντας το Γ της προηγούμενης βαθμίδας ως είσοδο στη συνάρτηση της επόμενης.

(iv) Αυξάνοντας τον αριθμό των στρωμάτων N μέχρι η φασματική απόκριση εξόδου να σταθεροποιηθεί (να μην αλλάζει με περαιτέρω αύξηση του N). Επιλέξαμε την ανάλυση στο εύρος ζώνης των 3dB, ώστε οι διαφορές να πιο εμφανείς. Παρατηρούμε ότι για $N \geq 20$ η φασματική απόκριση (στο αρχείο Exc_B η μεταβλητή TdB) παραμένει σταθερή. Να σημειωθεί ότι η επιλογή του N έγινε για τάση 4.5V, διότι για μικρότερες τάσεις η φασματική απόκριση σταθεροποιείται για μικρότερο αριθμό στρωμάτων N. Οι ενεργοί δείκτες διάθλασης δίνονται από τη μεταβλητή n_{eff} του αρχείου Exc_B. Στο παρακάτω διάγραμμα είναι εμφανής η σταθεροποίηση του TdB. Στο δεύτερο διάγραμμα απεικονίζεται ο συντελεστής μετάδοσης ολόκληρης της διάταξης για τις τρεις τιμές τάσης.

Τελικά επέλεξα: **N=20**



(v) Ο υπολογισμός γίνεται στα σημεία του κώδικα: "wavelength-resonance" και "bandwidth" (μέσα στο for-loop)

	Μήκος κύματος συντονισμού [μm]	BW-3dB [nm]	BW-10dB [nm]
V = 1.5 Volt	1.5749	3.9	11.5
V = 3 Volt	1.5493	3.7	11.2
V = 4.5	1.5248	3.8	11.2

(vi) Τα μήκη κύματος στα οποία ζητείται η απαιτούμενη τάση για συντονισμό ανήκουν στο διάστημα 1450-1700[nm]. Οπότε αρχικά κάνουμε μία πολυωνυμική παρεμβολή (2^{ου} βαθμού είναι πολύ ικανοποιητική) μεταξύ των τριών τάσεων και των αντίστοιχων μηκών συντονισμού (% Voltage Approximation @ 1530, 1560 nm). Η προσέγγιση δίνει κάποιες τιμές τάσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται εκ νέου στον κώδικα (αντί για το for-loop στις γνωστές τάσεις) και με μικρές αλλαγές στις τιμές τους παίρνουμε την ακριβή τιμή, ώστε να έχουμε συντονισμό ακριβώς στα ζητούμενα μήκη κύματος.

	Τιμή τάσης από πολυωνυμική προσέγγιση	Διορθωμένη τιμή τάσης
λ = 1530 nm	v1 = 4.1764 Volt	v1 = 4.15 Volt
λ = 1560 nm	v2 = 2.3647 Volt	v2 = 2.395 Volt

(vii) Από το ερώτημα (v) παρατηρούμε ότι το εύρος ζώνης 3dB είναι περίπου 4 nm. Προκειμένου να το ρίξουμε κάτω από το 1nm μπορούμε (για τάση V=1.5V που δίνει το μεγαλύτερο BW):

1. Αν δεν υπάρχει κάποιος σημαντικός περιορισμός στο μήκος της συνολικής διάταξης, μπορούμε να αυξήσουμε το πλήθος των στρωμάτων των δύο ανακλαστήρων Bragg (ή και του ενός εκ των δύο, αλλά στον κώδικα χρησιμοποίησα ίδιο M και για τους δύο). Από αρχικό M=9 σε **M=15** δίνει **BW=0.3nm**. Το νέο μήκος κύματος συντονισμού αλλάζει λίγο (1.5747μm)
2. Αυξάνοντας τη διαφορά δεικτών διάθλασης nH-nL του Bragg (για M=9) επίσης βελτιώνεται το εύρος ζώνης. Κρατώντας σταθερό το χαμηλό δείκτη, ψάχνουμε υλικό που να δίνει n>2.32. Ένα τέτοιο υλικό είναι το GaAs, ο δείκτης διάθλασης του οποίου υπολογίστηκε από το calculator της παρακάτω ιστοσελίδας στο κεντρικό μήκος κύματος των 1550nm:
(https://www.batop.de/information/n_GaAs.html#)

Παρότι υπάρχει εξάρτηση από το μήκος κύματος, θα το θεωρήσουμε σταθερό στα 1550nm, όπως έγινε και με του υπόλοιπους δείκτες. Είναι

$$n_{GaAs}(1.55\mu m) = 3.37$$

Μας δίνει **BW=0.2nm**

Αλλά στη συχνότητα συντονισμού (που γίνεται 1.58μm) πλέον δεν έχω συντελεστή μετάδοσης ίσο με 1, αλλά λίγο μικρότερο

3. Συνδυασμός των 1 και 2: **$n_H = 3.7$** και **$M = 15$** δίνουν **$BW = 0.2nm$** . Αλλά δεν αποτελεί λύση, καθώς η διάταξη παύει ποια να συντονίζεται σε μία μόνο συχνότητα

Συνολικά η πρώτη λύση φαίνεται να είναι η καλύτερη