

ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ

Symmetrical Planar Dielectric Waveguide – SPDWG

Το πρόγραμμα αυτό υπολογίζει τα χαρακτηριστικά των TE (Transverse Electric) δαδιδόμενων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε έναν ιδανικό επίπεδο συμμετρικό διηλεκτρικό κυματοδηγό. Οι κυματοδηγοί αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις οπτικές επικοινωνίες, δηλαδή σε μήκη κύματος της τάξης του 1μm, για οδήγηση φωτεινών δεσμών πληροφορίας. Παρουσιάζουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης (χωρητικότητα καναλιού) και χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές απώλειες, κυρίως λόγω της παντελούς έλλειψης μεταλλικών τμημάτων.

Περιεχόμενα:

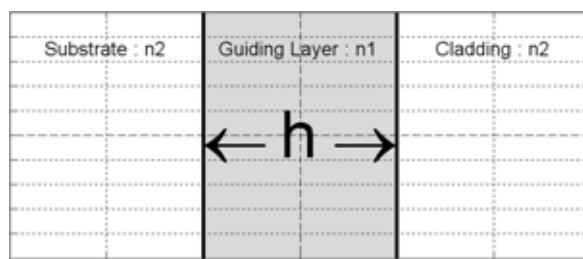
1. Οδηγίες Εγκατάστασης και Εκτέλεσης
2. Δομικά Χαρακτηριστικά του Κυματοδηγού – Structural Inputs
3. Διαγράμματα Διασπορας – Dispersion Graphs
4. Μονοχρωματική Απόκριση – MonoChromatic Response
5. Μηνύματα Λάθους & Παρατηρήσεις – Errors and Remarks
6. Γενικά Σχόλια και Παρατηρήσεις
7. Αρχεία του Προγράμματος
8. Περιγραφή των m-files του Προγράμματος
9. Colormaps
10. Επίλογος
11. Βιβλιογραφία

Οδηγίες Εγκατάστασης και Εκτέλεσης :

Το πρόγραμμα γράφτηκε και εκτελέστηκε σε γλώσσα MATLAB 6.5.0 (Release 13) και δεν ξέρω εάν θα λειτουργεί ομαλά σε παλαιότερες εκδόσεις. Αποσυμπιέστε όλα τα αρχεία στον ίδιο φάκελο (π.χ. στο default work του MATLAB) και εκτελέστε το αρχείο `planar.m` που δημιουργεί το γραφικό περιβάλλον (Graphical User Interface - GUI) του προγράμματος. Καλό θα ήταν να κάνετε maximize το figure που θα εμφανιστεί ώστε να φαίνονται καθαρά τα διαγράμματα. Ήθελα να χωρέσω τα πάντα σε ένα figure και τα διαγράμματα έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερα για καλύτερη εποπτεία, με αποτέλεσμα το GUI τελικά να βγεί ελαφρώς «παραγεμισμένο» με κουμπάκια και νούμερα ...

Δομικά Χαρακτηριστικά του Κυματοδηγού - Structural Inputs :

Στο τμήμα αυτό του γραφικού περιβάλλοντος δίνουμε τα δομικά χαρακτηριστικά του κυματοδηγού, δηλαδή τους δείκτες διάθλασης τα τριών στρωμάτων και το ύψος του στρώματος οδήγησης.



Σχήμα : Διατομή του κυματοδηγού

Substrate : Το υπόστρωμα με δείκτη διαθλάσεως n_2 .

Cladding : Το υπέρστρωμα με δείκτη διαθλάσεως n_2 .

Guiding Layer : Το στρώμα οδήγησης με δείκτη διαθλάσεως n_1 και ύψος h .

Επειδή στο πρόγραμμα αυτό εξετάζουμε μία εξιδανικευμένη δομή και μορφή του συγκεκριμένου κυματοδηγού ισχύουν οι παρακάτω ορισμοί και παραδοχές:

- Ο δείκτης διάθλασης του στρώματος οδήγησης είναι μεγαλύτερος αυτού του υποστρώματος και του υπερεστρώματος.
- Επειδή ο κυματοδηγός είναι συμμετρικός θεωρούμε ότι το υπόστρωμα και το υπέρστρωμα έχουν τον ίδιο δείκτη διάθλασης.
- Τα διηλεκτρικά των τριών στρωμάτων θεωρούνται ιδανικά, δηλαδή δεν παρουσιάζουν καθόλου απώλειες ή μαγνητικές ιδιότητες.
- Η έκταση του υποστρώματος και του υπερεστρώματος θεωρείται άπειρη σε σχέση με το ύψος h του στρώματος οδήγησης.

The screenshot shows the 'Structural Input' window of the MATLAB GUI. It contains two main sections: 'Refractive Indices' and 'Guiding Layer Height'. In the 'Refractive Indices' section, the 'Guiding Layer (n1)' is set to 1.5 and the 'Substrate/Cladding (n2)' is set to 1.4. In the 'Guiding Layer Height' section, the height '(h)' is set to 10 μm. There is also a 'Relative Refractive Index Difference (%)' field set to 6.666.

Μπορούμε να επιλέξουμε και την τάξη μεγέθους του h σε milli- , micro- , nano- ή απλά μέτρα από το pop-up menu. Μεταβάλλοντας τους δείκτες διάθλασης και πατώντας το return (ή κάνοντας click εκτός του εν λόγω edit-box) βλέπουμε στο γκρίζο edit-box την σχετική διαφορά των δεικτών διάθλασης των στρωμάτων σε ποσοστό επί τοις εκατό :

$$\text{Relative Refractive Index Difference (\%)} = 100 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Όταν η σχετική διαφορά είναι μικρότερη του 1% έχουμε την περίπτωση της ασθενούς κυματοδηγησης

- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Δίνοντας στο n_2 μεγαλύτερη ή ίση τιμή με του n_1 θα προκύψει παράβαση του ορισμού του κυματοδηγού και δεν θα προχωρήσει το πρόγραμμα (εμφανίζοντας μήνυμα λάθους) .

Διαγράμματα Διασποράς – Dispersion Graphs :

Από το τμήμα αυτό του γραφικού περιβάλλοντος έχουμε την δυνατότητα να δούμε τα διαγράμματα διασποράς του κυματοδηγού που περιγράφεται από τα παραπάνω δομικά χαρακτηριστικά (n_1 , n_2 και h) για κάποιο εύρος συχνοτήτων.

Συγκεκριμένα το κανονικοποιημένο διάγραμμα διασποράς (Normalized Dispersion Graph) παριστά την κανονικοποιημένη σταθερά διάδοσης (b) σε σχέση με την κανονικοποιημένη συχνότητα (V).

Ως γνωστόν ισχύει :

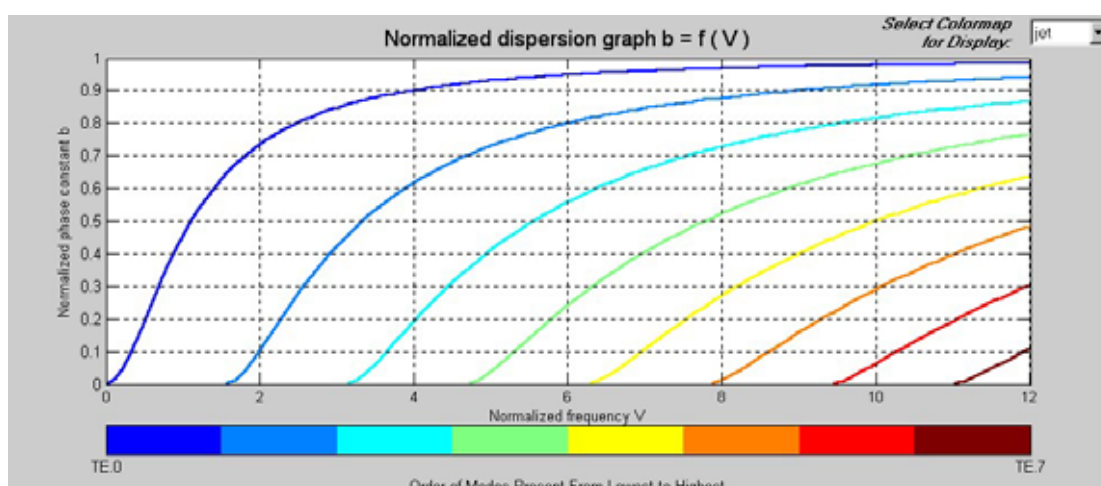
$$V = \frac{1}{2} \cdot h \cdot k_0 \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{h}{2} \cdot \frac{\omega}{C_0} \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad V \in [0, +\infty]$$

$$b = \frac{n_{\text{eff},V}^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2}, \quad b \in [0,1]$$

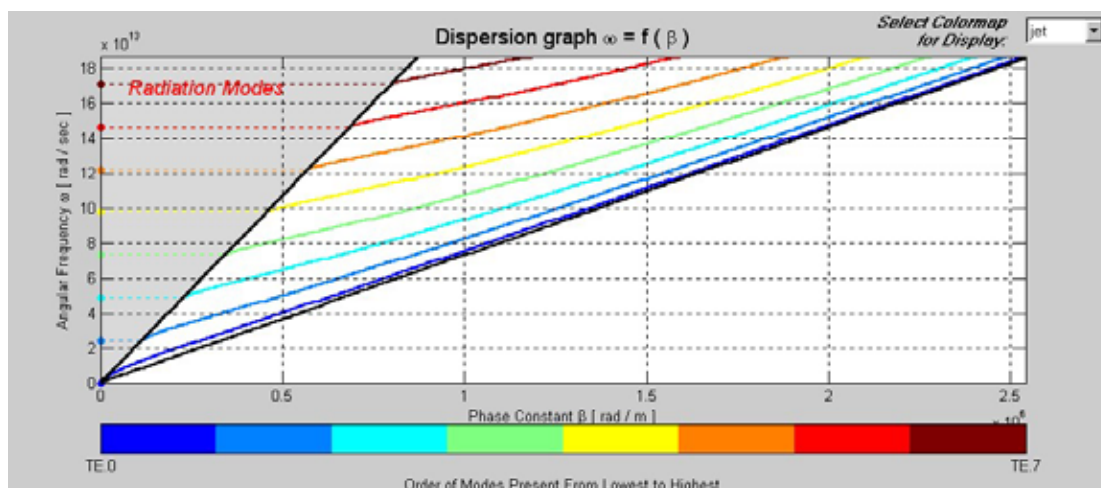
Όπου $n_{\text{eff},V}$: ο ενεργός δείκτης διάθλασης του συγκεκριμένου ρυθμού σε μια συγκεκριμένη συχνότητα , ο οποίος είναι πάντα μεταξύ των n_1 και n_2 και συνδέει την φασική σταθερά διάδοσης του εν λόγω ρυθμού και τον κυματάρημο του κενού χώρου με τη σχέση : $\beta_V = n_{\text{eff},V} k_0$.

Ο αριθμός V είναι ένα μέτρο εκτίμησης του πλήθους των ρυθμών που θα αναπτυχθούν σε έναν κυματοδηγό σε δεδομένη κυκλική συχνότητα ω . Ο v -στος TE ρυθμός σε έναν τέτοιο κυματοδηγό έχει συνθήκη αποκοπής $V = v (\pi/2)$. Για παράδειγμα όταν ο V αριθμός είναι 7 θα έχουμε 5 ρυθμούς (TE-0 έως TE-4). Ο βασικός TE-0 ρυθμός έχει μηδενική συχνότητα αποκοπής, δηλαδή εμφανίζεται σε κάθε συχνότητα.

Επιλέγοντας λοιπόν το εύρος τιμών του V (0 έως 12 στο παράδειγμα) και κάνοντας click στο push-button 'Normalized' εμφανίζεται το κανονικοποιημένο διάγραμμα διασποράς που εικονίζεται παρακάτω. Όπως περιμέναμε εμφανίστηκαν 8 ρυθμοί (TE-0 έως TE-7) που ζωγραφίστηκαν με διαφορετικά χρώματα που φαίνονται και στο colorbar κάτω από το διάγραμμα. Φαίνεται ακόμα ότι κάθε φορά που ο αριθμός V γίνεται ίσος με κάποιο ακέραιο πολλαπλάσιο του $\pi/2$ εμφανίζεται και ένας νέος ρυθμός.



Με αντίστοιχη διαδικασία μπορούμε να επιλέξουμε το εύρος τιμών της γωνιακής ταχύτητας ω που μας ενδιαφέρει και κάνοντας click στο push-button 'Specialized' να δούμε το απο-κανονικοποιημένο διάγραμμα διασποράς, που συνδέει την φασική σταθερά διάδοσης (β) κάθε ρυθμού με την κυκλική συχνότητα (ω) για δεδομένα δομικά χαρακτηριστικά του κυματοδηγού. Στο απο-κανονικοποιημένο διάγραμμα διασποράς του σχήματος που ακολουθεί έχουμε επιλέξει μεγάλη διαφορά δεικτών διάθλασης για να φανούν καλύτερα οι ρυθμοί.



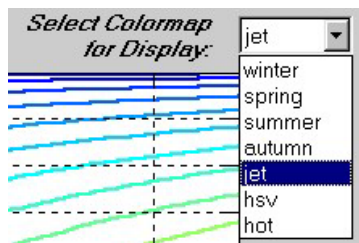
Στο διάγραμμα αυτό φαίνονται καθαρά οι οκτώ ρυθμοί που εμφανίζονται, η περιοχή των ακτινοβολούμενων ρυθμών (σκιασμένη γκρι περιοχή), οι ευθείες γραμμές $\beta=(C_0/n_1)\omega$ και $\beta=(C_0/n_2)\omega$ που οριοθετούν την περιοχή των οδηγούμενων ρυθμών και οι κυκλικές συχνότητες αποκοπής των ρυθμών (με διακεκομμένες γραμμές και τελείες στον άξονα ω) που όπως περιμένουμε ισαπέχουν μεταξύ τους.

Βλέπουμε ότι κάθε ρυθμός μόλις εμφανιστεί (βγεί από την αποκοπή) βρίσκεται κοντά στην ευθεία $\beta=(C_0/n_2)\omega$, δηλαδή έχει n_{eff} περίπου ίσο με n_2 (ή ισοδύναμα $b=0$) και με αύξηση της συχνότητας αρχίζει να πλησιάζει την ευθεία $\beta=(C_0/n_1)\omega$, δηλαδή το n_{eff} του τείνει στο n_1 (ή $b=1$).

Υπάρχει ακόμα δυνατότητα «σγχρονισμού» της εφαρμογής αυτής με την μονοχρωματική εφαρμογή. Συγκεκριμένα με πίεση του push-button 'Synchronize' μπορούμε να βάλουμε στις τελικές τιμές των V και ω αυτές που αντιστοιχούν στην συχνότητα / μήκος κύματος εισόδου της μονοχρωματικής εφαρμογής.



Τέλος έχουμε την δυνατότητα επιλογής επτά διαφορετικών χρωματισμών (Colormaps) για τα διαγράμματα αυτά από το πακέτο του MATLAB (winter, spring, summer, autumn, jet, hsv, hot), επιλεγόμενα από το παρακάτω εικονιζόμενο pop-up menu (το default colormap είναι το jet). Για να αλλάξει το χρώμα πρέπει να πατήσουμε ξανά το push-button που ζωγραφίζει το διάγραμμα.



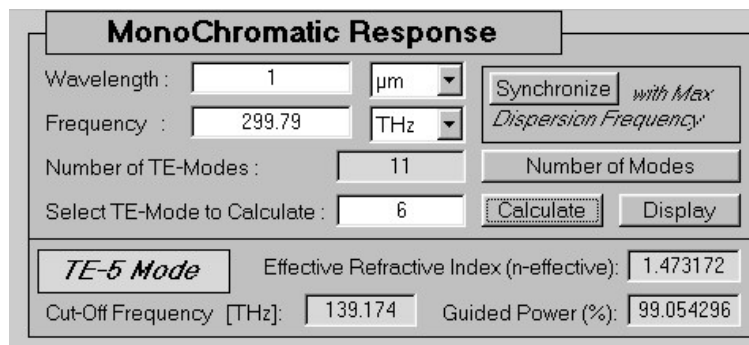
- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Οι ομόλογες τιμές (αρχικές και τελικές) των V και ω στο εύρος τιμών του διαγράμματος διασποράς είναι «κλειδωμένες» μεταξύ τους, δηλαδή αλλάζοντας μία τιμή του V και πατώντας το return (ή κάνοντας click εκτός του εν λόγω edit-box) θα υπολογιστεί αμέσως η αντίστοιχη μεταβολή του ω (συνατρήσει των n_1 , n_2 και h του structural input) και αντίστροφα. Καλό είναι, εάν θέλουμε να ζωγραφίσουμε το απο-κανονικοποιημένο διάγραμμα διασποράς, να δίνουμε μία τιμή στο V ενδεικτική του πλήθους των ρυθμών που θέλουμε να μελετήσουμε, και κατόπιν να αφήνουμε το πρόγραμμα να υπολογίσει το απαιτούμενο ω για να εμφανιστούν οι ρυθμοί αυτοί.
- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Όταν το πλήθος των ρυθμών (ή καλύτερα ο αριθμός V) υπερβεί ένα κατώφλι, τα αποτελέσματα αρχίζουν να γίνονται αναξιόπιστα, διότι η ρουτίνα που επιλύει την χαρακτηριστική εξίσωση αδυνατεί να εντοπίσει κάποιες ρίζες με αποτέλεσμα να εμφανιστούν «πετάγματα» στο διάγραμμα διασποράς. Όσο αυξάνει το V τα αποτελέσματα θα γίνονται όλο και χειρότερα μέχρι που το πρόγραμμα θα σταματήσει εμφανίζοντας μήνυμα λάθος λόγω του πολύ μεγάλου απαιτούμενου χρόνου επεξεργασίας (για πλήθος ρυθμών >

99). Ανωμαλίες ενδέχεται να εμφανιστούν και σε μικρότερα V – της τάξης του 26-27 – αλλά μπορούν να απαλειφθούν εύκολα με μικρή μεταβολή του (π.χ. από 26.7 σε 26.8).

- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Για τον σχεδιασμό του κανονικοποιημένου διαγράμματος διασποράς είναι απαραίτητος μόνον ο προσδιορισμός του εύρους των τιμών της V παραμέτρου , δηλαδή δεν υπάρχει εξάρτηση από τα structural inputs. ΟΜΩΣ αυτά πρέπει να είναι σωστά δοσμένα (π.χ. πρέπει $n_1 > n_2$) αλλιώς θα προκύψει λάθος.

Μονοχρωματική Απόκριση – Monochromatic Response :

Μονοχρωματική απόκριση είναι η ανάλυση της συμπεριφοράς του κυματοδηγού (πλήθος και χαρακτηριστικά εμφανιζόμενων ρυθμών) για μία μοναδική συχνότητα και για δεδομένα δομικά χαρακτηριστικά n_1 , n_2 και h .



Αρχικά έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε το μήκος κύματος ή την συχνότητα της ακτινοβολίας εισόδου, μεγέθη τα οποία είναι «κλειδωμένα» μεταξύ τους. Μπορούμε ακόμα να επιλέξουμε και την τάξη μεγέθους του μήκους κύματος (σε milli- , micro- , nano- ή απλά μέτρα) και της συχνότητας (σε Giga- , Tera- , Peta- ή απλά Hertz) από τα pop-up menus.

Υπάρχει και εδώ η δυνατότητα «συχρονισμού» με την πολυχρωματική εφαρμογή. Συγκεκριμένα πιέζοντας το push-button ‘Synchronize’ υπολογίζεται το μήκος κύματος και η συχνότητα που αντιστοιχεί στο μέγιστο του εύρους τιμών της γωνιακής ταχύτητας ω της πολυχρωματικής εφαρμογής.

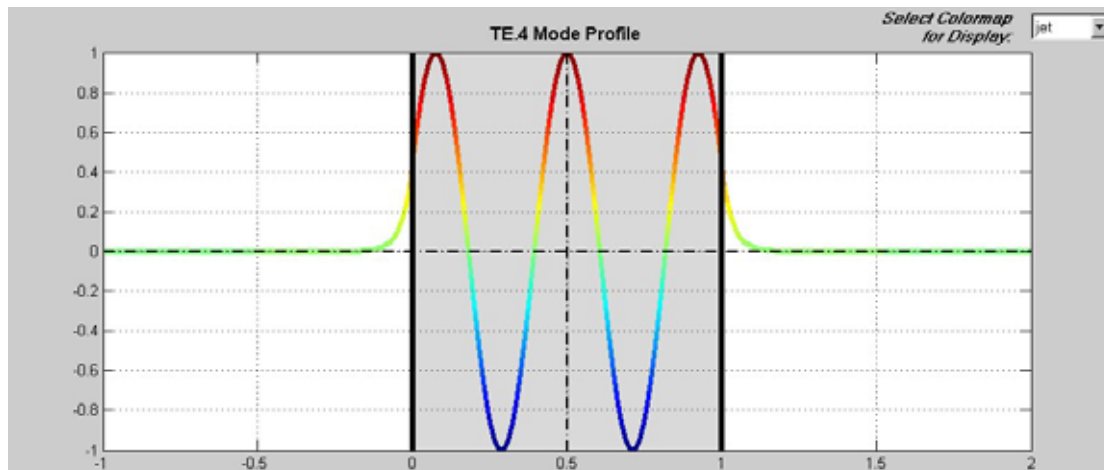


Πιέζοντας στην συνέχεια το push-button ‘Number Of Modes’ υπολογίζεται το πλήθος των TE ρυθμών που θα εμφανιστούν στον κυματοδηγό συναρτήσει του μήκους κύματος (ή της συχνότητας) εισόδου και των δομικών χαρακτηριστικών n_1 , n_2 και h . Έπειτα διαλέγουμε τον TE ρυθμό που θέλουμε να υπολογίσουμε και/ή να απεικονίσουμε και επιλέγουμε αντίστοιχα το push-button ‘Calculate’ ή ‘Display’.

- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Όταν επιλέγουμε ρυθμό προς απεικόνιση το 1 αντιστοιχεί στον πρώτο ρυθμό (τον βασικό TE-0 δηλαδή που υπάρχει σε κάθε συχνότητα), το 2 στον επόμενο (TE-1) κ.ο.κ.

Εάν επιλέξουμε το ‘Calculate’ εμφανίζονται ακριβώς από κάτω το όνομα του ρυθμού , ο ενεργός δείκτης διάθλασης , η συχνότητα αποκοπής του ρυθμού (σε Hz) και το ποσοστό επί τοις εκατό της οδηγούμενης ισχύος ανα μονάδα μήκους του κυματοδηγού σε σχέση με την ισχύ εισόδου του συγκεκριμένου ρυθμού. Όσο χαμηλότερης τάξης είναι ένας TE ρυθμός τόσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση του στο στρώμμα οδήγησης , άρα τόσο πιο κοντά στον δείκτη n_1 βρίσκεται ο n_{eff} , και τόσο μεγαλύτερο το ποσοστό της οδηγούμενης από αυτόν ισχύος

Εάν επιλέξουμε το push-button ‘Display’ εκτελούνται οι παραπάνω υπολογισμοί και ζωγραφίζεται το προφίλ του ρυθμού (το ηλεκτρικό πεδίο του ρυθμού στα τρία στρώματα , κανονικοποιημένο ως προς το μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο) όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Οι άρτιοι ρυθμοί (TE-0,2,4,6...) είναι άρτια συμμετρικοί ως προς τον άξονα του κυματοδηγού ενώ οι περιττοί (TE-1,3,5,7...) είναι περιττά συμμετρικοί.



Όπως και στα διαγράμματα διασποράς μπορούμε και εδώ να διαλέξουμε μία παλέτα χρωματισμού (Colormap) από το pop-up menu. Για να αλλάξει το χρώμα πρέπει να πατήσουμε ξανά το push-button που ζωγραφίζει το διάγραμμα.

- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Σε «ακραίες» τιμές των h, f (ή λ), δηλαδή σε ακραίες τιμές του αριθμού V , ο αλγόριθμος επίλυσης της χαρακτηριστικής εξίσωσης καθίσταται αναποτελεσματικός , δηλαδή δεν μπορεί να διακρίνει όλες τις ρίζες , με συνέπεια να εμφανιστεί μήνυμα λάθους. Το εύρος καλής λειτουργίας του αλγορίθμου είναι για τιμές του $V \in [10^{-8}, 10^3]$

Μηνύματα Λάθους και Παρατηρήσεις – Errors & Remarks :

Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται με κόκκινα γράμματα τα μηνύματα λάθους και οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση του χρήστη με το γραφικό περιβάλλον. Εάν δεν υπάρχουν λάθη εμφανίζεται το μήνυμα ‘None So Far’.

Errors and Remarks

None So Far

Το παρακάτω μήνυμα λάθους εμφανίστηκε επειδή δώσαμε για τιμή του δείκτη διάθλασης το ' 1,4 ' αντί του ' 1.4 ' (λάθος σύμβολο για την υποδιαστολή).

Errors and Remarks

Invalid Input(s) => Expression is not a number

- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Κάθε φορά που ο χρήστης ενεργοποιεί μια λειτουργία του προγράμματος, εκτελείται μια βασική ρουτίνα ελέγχου που ελέγχει όλα τα inputs για αποδεκτές τιμές, οπότε ενδέχεται να εμφανιστεί λάθος σε κάποιο κομμάτι του module άσχετο με το αυτό που εκτέλεσε ο χρήστης. Για να αποφύγουμε το φαινόμενο αυτό πρέπει κάθε φορά που αλλάζουμε κάποιο μέγεθος να πατάμε return ώστε να γίνονται τα απαραίτητα κλειδώματα τιμών , και έπειτα να ακολουθούμε όλη την πορεία εκτέλεσης από την αρχή. Για παράδειγμα εάν βλέπουμε το προφίλ ενός ρυθμού (έχοντας πατήσει 'Display') και θέλουμε να δούμε πως θα αλλάξει με μεταβολή του δείκτη n_2 , πρέπει αφού αλλάξουμε το n_2 να ξαναυπολογίσουμε το πλήθος ρυθμών, να ξαναεπιλέξουμε τον ρυθμό που θέλουμε και στο ΤΕΛΟΣ να ξαναπατήσουμε 'Display'.

Γενικά Σχόλια και Παρατηρήσεις :

- Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται σε μορφή ακεραίων , δεκαδικών με υποδιαστολή την τελεία (.) ή τα παραπάνω πολλαπλασιασμένα με μία δύναμη του 10. Π.χ. το 123,45 μπορεί γραφτεί ' 1.2345e+02 ' ή ' 12345e-2 '. Τελεστικές εκφράσεις (όπως $3*5 + 2/\pi$) δεν γίνονται δεκτές διότι έχει χρησιμοποιηθεί η ρουτίνα str2num του MATLAB (και όχι η eval) για μεταφορά δεδομένων από το GUI (strings) στις υπορουτίνες του προγράμματος.
- Το πρόγραμμα είναι αρκετά καλά αποσφαλματομένο , αλλά καλό θα ήταν ο χρήστης να αποφεύγει ακραίες τιμές για ομαλότερη λειτουργία. Το πρόγραμμα έχει γραφτεί για επεξεργασία λίγων σχετικά ρυθμών (<20) σε οπτικές συχνότητες και με λογικούς συμβιβασμούς μεταξύ χρόνου επεξεργασίας και εύληπτων αποτελεσμάτων. Ο πηγαίος κώδικας είναι αρκετά προσπελάσιμος εάν θέλει κανείς να ανεβάσει το resolution. Π.χ. τα βήματα συχνότητας (από το ωμέγα minimum μέχρι το ωμέγα maximum) είναι 100 για το διάγραμμα διασποράς και ο χώρος των b διακριτοποιείται σε 20000 σημεία. Κάλυπτα εάν κανείς «νιώθει τυχερός» μπορεί να ανεβάσει τις τιμές αυτές και να δει καλύτερα αποτελέσματα.

- Συγκεκριμένα για το πλήθος των ρυθμών η εκμετάλλευση των ρουτίνων «συγχρονισμού» και «κλειδώματος» σε συνδυασμό με τον έλεγχο της παραμέτρου V από το πολυχρωματικό module κρίνεται πολύ χρήσιμη. Για παράδειγμα στο διάγραμμα διασποράς (από-κανονικοποιημένο), δίνουμε μια τιμή στο V και ξέρουμε ότι θα εμφανιστούν χοντρικά $0.64*V$ ρυθμοί. Το μέγιστο ωμέγα κλειδώνει πάνω στην τιμή αυτή και έπειτα επιλέγουμε το 'Specialized' για το διάγραμμα διασποράς. Ομοίως στο μονοχρωματικό module για να ξέρουμε περίπου πόσοι ρυθμοί θα εμφανιστούν δίνουμε μία τιμή στο V του πολυχρωματικού και συγχρονίζουμε το μονοχρωματικό πάνω στην τιμή αυτή.
- Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν αλλάζουμε κάποιο μέγεθος, κυρίως τα structural inputs, γιατί συχνά ξεχνάμε να «περάσουμε» τις αλλαγές αυτές στις επόμενες ρουτίνες του προγράμματος με αποτέλεσμα να εμφανίζονται περίεργα αποτελέσματα.
- Σκόπιμα στο μονοχρωματικό module το πλήκτρο 'Calculate' έχει διαχωριστεί από το 'Display' ώστε σε συνδυασμό με τον συγχρονισμό να μπορούμε βλέπουμε το διάγραμμα διασποράς και παράλληλα να υπολογίζουμε τα χαρακτηριστικά των ρυθμών που εμφανίζονται (συχνότητες αποκοπής, n_{eff} κλπ).

Αρχεία του Προγράμματος

Παραθέτω μία λίστα με τα αρχεία του προγράμματος και τις λειτουργίες που εκτελούν. Περισσότερες πληροφορίες για τις `disper.m` και `disper0.m`, που είναι τα βασικά αρχεία του προγράμματος, θα βρείτε στο σχετικό αρχείο.

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| <code>planar.m</code> | <code>wavtofreq.m</code> |
| <code>error_check.m</code> | <code>sync.m</code> |
| <code>disper.m</code> | <code>sync2.m</code> |
| <code>disper0.m</code> | <code>calculate_nom.m</code> |
| <code>equation.m</code> | <code>plotmode.m</code> |
| <code>omegatov.m</code> | <code>plotspec.m</code> |
| <code>vtoomega.m</code> | <code>plotnorm.m</code> |

Περιγραφή των m-files του Προγράμματος

- **planar.m**: Το αρχείο αυτό δημιουργεί το Graphical User Interface (GUI) και «δρομολογεί» τα διάφορα Callbacks, τις εντολές δηλαδή που εκτελούνται όταν ο χρήστης αλληλεπιδράσει κάπως με το GUI (όταν αλλάξει το περιεχόμενο κάποιου edit-box, ενεργοποιήσει κάποιο Push-button κλπ). Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί καταχώρηση τύπου `global` για τις μεταβλητές που αναφέρονται στα handles των διαφόρων μεταβλητών τμημάτων του GUI, γι' αυτό και θα πρέπει να αποφευχθούν εντολές του τύπου `clear global` ή `clear all` στο command window όσο τρέχει το πρόγραμμα.

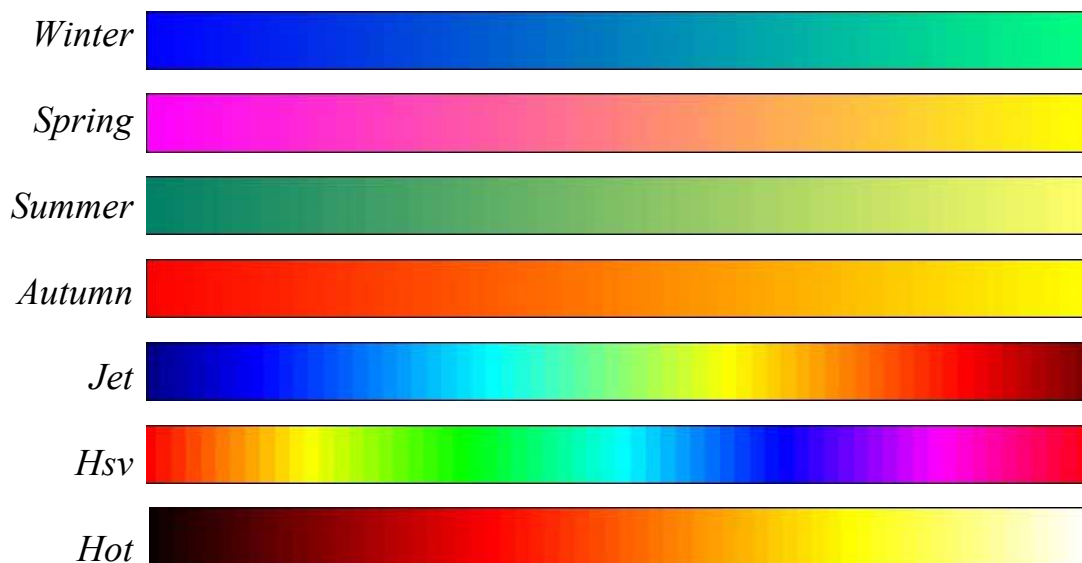
- **error_check.m**: Αυτή είναι η βασική ρουτίνα ελέγχου σφαλμάτων εισόδου δεδομένων (λανθασμένες αριθμητικές εκφράσεις, θεμελιώδεις παραβάσεις του μοντέλου του SPDWG κλπ). Εκτελείται από την `planar.m` πριν την κλήση οποιασδήποτε άλλης ρουτίνας, γι' αυτό είναι καλό να έχουμε σε όλα τα τμήματα του GUI αποδεκτές εκφράσεις έστω και αν δεν εκτελούμε άμεσα τις σχετικές λειτουργίες.
- **disper.m & disper0.m**: Οι ρουτίνες αυτές είναι η ψυχή του προγράμματος. Υπολογίζουν την διασπορά (dispersion) των διαδιδόμενων κυμάτων στον κυματοδηγό για τα δομικά και συχνοτικά χαρακτηριστικά εισόδου. Με τον όρο διασπορά εννοούμε την εξάρτηση των χαρακτηριστικών των διαφόρων ρυθμών (σταθερά διάδοσης, φασική ταχύτητα κλπ) από την συχνότητα εισόδου. Οι δύο ρουτίνες κάνουν την ίδια ακριβώς δουλειά - επίλυση της κανονικοποιημένης χαρακτηριστικής εξίσωσης των TE ρυθμών - αλλά με αρκετά διαφορετικό τρόπο. Η `disper0.m` χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό των διαγραμμάτων διασποράς γιατί, εάν και πίο «πρωτόγονη» στον σχεδιασμό της, εν τέλει λειτουργεί σημαντικά πίο γρήγορα από την `disper.m` για επεξεργασία πολλών συχνοτήτων. Παρ' όλα αυτά όμως όταν το πλήθος των ρυθμών ξεπεράσει ένα κατώφλι η ρουτίνα αυτή αρχίζει να χάνει ρυθμούς και να δίνει αναξιόπιστα αποτελέσματα και «πετάγματα» στο διάγραμμα διασποράς. Η `disper.m` είναι πίο εξειδικευμένη και βασίζεται σε σχολαστική παρατήρηση της συμπεριφοράς της χαρακτηριστικής εξίσωσης κοντά στα σημεία απειρισμού της. Είναι πίο ακριβής σε μεγαλύτερο εύρος ρυθμών αλλά και πίο αργή από την `disper0.m`. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται μόνο στον υπολογισμό της μονοχρωματικής απόκρισης.
- **equation.m**: Περιέχει την κανονικοποιημένη χαρακτηριστική εξίσωση των TE ρυθμών σε έναν SPDWG και καλείται μόνο από την `disper.m` για χρήση της ρουτίνας εύρεσης ριζών `fzero` του MATLAB.
- **omegatov.m & vtoomega.m & wavtofreq.m**: Οι ρουτίνες αυτές καλούνται κάθε φορά που αλλάζουμε το περιεχόμενο κάποιου edit-box που αναφέρεται σε συχνοτικό μέγεθος, και «κλειδώνουν» τα περιεχόμενα των σχετικών edit-boxes μεταξύ τους. Έτσι όταν αλλάζουμε κάποιο νούμερο βλέπουμε αμέσως και την αντίστοιχη μεταβολή στο ομόλογο του (π.χ. συχνότητα \Leftrightarrow μήκος κύματος για το μονοχρωματικό module ή $V \Leftrightarrow \omega$ για τα διαγράμματα διασποράς)
- **sync.m & sync2.m**: Οι συναρτήσεις αυτές καλούνται όταν ενεργοποιήσουμε τα push-buttons «συγχρονισμού» και συνδέουν τα δύο κατά τα άλλα ανεξάρτητα modules - μονοχρωματική και χρωματική απόκριση. Συγκεκριμένα η `sync.m` υπολογίζει την συχνότητα και το μήκος κύματος εισόδου του μονοχρωματικού module του αντιστοιχεί στο μέγιστο του εύρους γωνιακών ταχυτήτων ω του χρωματικού module, και η `sync2.m` υπολογίζει το ω_{max} και το V_{max} του χρωματικού module που αντιστοιχεί στη μονοχρωματική συχνότητα εισόδου.
- **calculate_nom.m**: Η ρουτίνα αυτή καλείται όταν πιάσουμε το push-button 'Number of Modes' του μονοχρωματικού module και κάνει ένα απλό υπολογισμό του αριθμού των εμφανιζόμενων TE ρυθμών στην συχνότητα

εισόδου. Εξασφαλίζει ακόμα την μή-κλήση της `disper.m` με εμφάνιση μηνύματος λάθους στην περίπτωση που έχουμε πολλούς ρυθμούς , ώστε να μην οδηγηθεί το πρόγραμμα σε «κορεσμό»

- **plotmode.m:** Ενεργοποιείται όταν πατήσουμε τα push-buttons ‘Calculate’ ή ‘Display’, υπολογίζει με κλήση της `disper.m` τα χαρακτηριστικά του ζητούμενου ρυθμού και ζωγραφίζει το προφίλ του στους άξονες του κάτω μέρους του GUI.
- **plotnorm.m & plotspec.m:** Οι συναρτήσεις αυτές ζωγραφίζουν το κανονικοποιημένο και απο-κανονικοποιημένο αντίστοιχα διάγραμμα διασποράς του SPDWG για το δεδομένο εύρος συχνοτήτων, όταν πατήσουμε τα push-buttons ‘Nomalized’ και ‘Specialized’ . Χρησιμοποιούν την συνάρτηση `disper0.m`.

Colormaps :

Παρακάτω φαίνονται οι διαθέσιμες χρωματικές αποχρώσεις (colormaps) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις γραφικές απεικονίσεις των διαφόρων καμπύλων:



Επίλογος

Κάθε παρατήρηση, διόρθωση, σχόλιο, παρέμβαση στον κώδικα κ.ο.κ. είναι πλήρως αποδεκτή, ευπρόσδεκτη και θέμιτη – για τον λόγο αυτό εξάλλου παραθέτω και τα «προγραμματιστικά» του όλου ζητήματος. Εάν εντοπίσετε οτιδήποτε περίεργο ή ενοχλητικό στη συμπεριφορά του προγράμματος θα το εκτιμούσα εάν μου το επισημαίνατε.

*Αλέξανδρος Κ. Πιτιλάκης
apitilak@auth.gr
Μάιος 2004*

Βιβλιογραφία

Σκόπιμα στο κείμενο αυτό δεν παρατίθενται εξειδικευμένες αναλύσεις και δεν δίνεται ιδιέταιρη έμφαση στην επεξήγηση των χαρακτηριστικών του εν λόγω κυματοδηγού ή του προγράμματος καθώς θεωρείται ότι το ακροατήριο έχει κάποια οικειότητα με το αντικείμενο. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν εύκολα να βρεθούν στην βιβλιογραφία.

1. Ε.Ε. Κριεζής , *Οπτικές Επικοινωνίες* , Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο ΑΠΘ , Θεσσαλονίκη , 2003-2004.
2. Ε.Ε Κριεζής , D.P. Chrissoulidis and A.G. Papagiannakis , *Electromagnetics and Optics* , World Scientific , Singapore , 1992 .
3. P. Marchand , *Graphics and GUIs with MATLAB - Second Edition* , CRC Press , Florida , 1999 .