

# ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

## Προαιρετικά Θέματα 3<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

### ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΙ II: ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ

#### 1. Υπολογισμός των παραμέτρων διασποράς της μονόρρυθμης ίνας SMF-28

Η μονόρρυθμη οπτική ίνα για μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις SMF-28 έχει διάμετρο  $8.2 \mu\text{m}$  και σχετική διαφορά δεικτών διάθλασης πυρήνα και περιβλήματος  $0.3\%$ . Η ίνα είναι κατασκευασμένη από silica glass ( $\text{SiO}_2$ ). Ο δείκτης διάθλασης του καθαρού γυαλιού  $\text{SiO}_2$  προσεγγίζεται πολύ ικανοποιητικά από τη σχέση του Sellmeier

$$n^2 = 1 + \sum_{i=1}^3 \frac{a_i \lambda^2}{\lambda^2 - b_i},$$

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6961663 & 0.4079426 & 0.8974994 \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.004629148 & 0.01351206 & 97.934062 \end{bmatrix} \mu\text{m}^2,$$

και το μήκος κύματος εκφράζεται σε μικρόμετρα. Μπορείτε να θεωρήσετε ότι η σχετική διαφορά των δεικτών πυρήνα και περιβλήματος δεν εξαρτάται από το μήκος κύματος. Επίσης, η ίνα ικανοποιεί τις προϋποθέσεις της ασθενούς κυματοδηγησης και συνεπώς η κυματοδηγηση μέσα σε αυτήν μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά από το πλαίσιο της βαθμωτής προσέγγισης του θέματος 2.2.

**(α)** Με βάση τα παραπάνω υπολογίστε και δώστε σε γραφική παράσταση τη μεταβολή της παραμέτρου διασποράς υλικού  $D_M$  του  $\text{SiO}_2$  (εκφρασμένης σε  $\text{ps nm}^{-1}\text{km}^{-1}$ ) στην περιοχή μηκών κύματος  $1200 - 1700 \text{ nm}$ . Προσδιορίστε το σημείο στο οποίο η παράμετρος διασποράς υλικού γίνεται μηδέν.

**(β)** Αγνοώντας τη διασπορά υλικού υπολογίστε και δώστε σε γραφική παράσταση τη μεταβολή της παραμέτρου διασποράς κυματοδηγού  $D_W$  (εκφρασμένης σε  $\text{ps nm}^{-1}\text{km}^{-1}$ ) στην περιοχή μηκών κύματος  $1200 - 1700 \text{ nm}$ .

**(γ)** Από τα ερωτήματα (α) και (β) προσδιορίστε σε γραφική παράσταση τη μεταβολή της συνολικής παραμέτρου διασποράς πρώτης τάξης  $D_T$  στο ίδιο εύρος μηκών κύματος. Σε ποιο μήκος κύματος μηδενίζεται αυτή;

**(δ)** Υπολογίστε εναλλακτικά την παράμετρο διασποράς  $D_T$  στην περιοχή μηκών κύματος  $1200 - 1700 \text{ nm}$  με απευθείας εφαρμογή της σχέσης

$$D_T = -\frac{\omega}{\lambda} \frac{d^2 \beta}{d\omega^2},$$

χωρίς δηλαδή τη διάκριση στους μηχανισμούς διασποράς υλικού και κυματοδηγού. Απεικονίστε σε κοινό διάγραμμα (πάντα σε  $\text{ps nm}^{-1}\text{km}^{-1}$ ) την παράμετρο διασποράς με βάση την παραπάνω σχέση και αυτήν που προέκυψε στο ερώτημα (γ). Διαφοροποιούνται σημαντικά; Επιπλέον, εκτιμήστε και εδώ το μήκος κύματος στο οποίο η  $D_T$  μηδενίζεται και συγκρίνετε την τιμή που βρήκατε με αυτή του ερωτήματος (γ).

**(ε)** Υπολογίστε την κλίση διασποράς  $S = \partial D_T / \partial \lambda$  σε  $\text{ps nm}^{-2}\text{km}^{-1}$  στην περιοχή μηκών κύματος  $1200 - 1700 \text{ nm}$ . Συγκρίνετε τις δύο καμπύλες που προκύπτουν εάν για τον υπολογισμό του  $S$  χρησιμοποιηθεί το συνολικό  $D_T$  (ή ισοδύναμα το  $\beta_2$ ) από τα ερωτήματα (γ) και (δ).

## 2. Διάδοση ψευδοτυχαίας ακολουθίας (PRBS) μέσα σε μονόρρυθμες οπτικές ίνες

Μία μονόρρυθμη οπτική ίνα έχει στο μήκος κύματος των 1550 nm παραμέτρους διασποράς  $\beta_2 = -2.1 \cdot 10^{-26} \text{ s}^2/\text{m}$  και  $\beta_3 = +1.3 \cdot 10^{-40} \text{ s}^3/\text{m}$ . Στο ίδιο μήκος κύματος οι απώλειες είναι 0.18 dB / km. Στην παραπάνω ίνα μεταδίδονται δεδομένα με ρυθμό  $B_T = 10 \text{ Gbps}$ . Για την ρεαλιστική προσομοίωσης της μετάδοσης εντός της ίνας θα χρησιμοποιηθούν ψευδοτυχαίες ακολουθίες (Pseudo-Random Bit Streams, PRBS) κατάλληλου μήκους. Μπορείτε να κατασκευάσετε PRBS ακολουθίες διαφορετικής τάξης (διαφορετικού μήκους) με χρήση της συνάρτησης PRBS.m που δίνεται ή να κάνετε απευθείας χρήση των ακολουθιών που παρατίθενται στο τέλος της εκφώνησης.

(α) Ως προπαρασκευαστικό βήμα μελετήστε τη διάδοση ενός μεμονωμένου Gaussian παλμού σε ίνα χωρίς απώλειες με  $\beta_2 = -21 \cdot 10^{-27} \text{ s}^2/\text{m}$  και  $\beta_3 = 0$ . Μετασχηματίστε με τη χρήση του FFT τον παλμό στην είσοδο της ίνας, επιβάλλετε την αλλαγή στο φάσμα ως αποτέλεσμα της διάδοσης και ακολουθώντας με IFFT επιστρέψτε στο πεδίο του χρόνου. Επιβεβαιώστε για μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις ότι ο υπολογισμός με τη χρήση FFT ταυτίζεται πλήρως με την αναλυτική λύση της Εξ. (3.56), όπως επίσης και το φάσμα εισόδου είναι ακριβώς αυτό που προβλέπει η Εξ. (3.53). Μην προχωρήσετε εάν δεν έχετε απόλυτη συμφωνία.

(β) Η PRBS ακολουθία είναι NRZ με ιδανικούς τετραγωνικούς παλμούς και τάξης 6, δηλαδή αποτελείται από  $2^6 - 1 = 63$  παλμούς.

(i) Απεικονίστε την παλμοσειρά που αντιστοιχεί στην ακολουθία στην είσοδο της ίνας όπως και το μονόπλευρο φάσμα της στο εύρος συχνοτήτων 0 – 30 GHz.

(ii) Απεικονίστε την οπτική ένταση (οπτική ισχύ) της παλμοσειράς μετά από διάδοση σε μήκος 40 και 80 km.

(iii) Κατασκευάστε τα αντίστοιχα διαγράμματα οφθαλμού (eye diagrams) στις θέσεις 40 & 80 km.

(γ) Επαναλάβετε το ερώτημα (β) με τα αντίστοιχα υποερωτήματα (i)-(iii) για RZ PRBS ακολουθία τάξης 6 που αποτελείται από Gaussian παλμούς με χρονική έκταση  $T_0 = 20 \text{ ps}$  χωρίς chirp. Σχολιάστε τις διαφορές που παρατηρείτε στο φάσμα της εισόδου. Πως αξιολογείτε την επίδραση της διασποράς στη μεταδιδόμενη παλμοσειρά;

(δ) Επαναλάβετε το ερώτημα (β) με τα αντίστοιχα υποερωτήματα (i)-(iii) για PRBS ακολουθία τάξης 6 που αποτελείται από Gaussian παλμούς αλλά με τη βέλτιστη επιλογή αρχικής χρονικής έκτασης που προβλέπεται από την κλειστή σχέση για οπτική ίνα μόνο με GVD. Υπάρχει βελτίωση και αν ναι που θα την αποδίδετε;

(ε) Εκτιμήστε τη συμμετοχή της διασποράς τρίτης τάξης επαναλαμβάνοντας κάποιες από τις παραπάνω προσομοιώσεις έχοντας θέσει  $\beta_3 = 0$ . Υπάρχει κάποια αξιοσημείωτη αλλαγή σε αυτά τα μήκη διάδοσης; Εκτιμήστε μέσω προσομοιώσεων την τάξη μεγέθους που θα έπρεπε να έχει το  $\beta_3$  ώστε η επίδραση του να είμαι εμφανής στο διάγραμμα οφθαλμού των Gaussian παλμών του ερωτήματος (γ) στο μήκος των 80 km.

### Σημείωση 1:

PRBS τάξης 3: 1110010

PRBS τάξης 4: 111100010011010

PRBS τάξης 5: 1111100011011101010000100101100

PRBS τάξης 6: 111111000001000011000101001111010001110010010110111011001101010

**Σημείωση 2:** Για την κατασκευή της παλμοσειράς από την PRBS ακολουθία θα σας φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη η συνάρτηση `pulstran` του MATLAB.

**Σημείωση 3:** Μελετήστε προσεκτικά το Help του MATLAB για τις συναρτήσεις `fft`, `ifft` και `fftshift`. Χρησιμοποιείτε ικανοποιητικό αριθμό σημείων, για παράδειγμα 2048, 4096, 8192.

**Σημείωση 4:** Χρησιμοποιείτε στις αρχικές δοκιμές σας ακολουθίες μικρότερης τάξης (για παράδειγμα 3 ή 4 ή 5) για να βεβαιωθείτε ότι οι υπολογισμοί εκτελούνται σωστά.

**Σημείωση 5:** Το διάγραμμα οφθαλμού μπορεί να κατασκευασθεί «διπλώνοντας» την παλμοσειρά εξόδου σύμφωνα με το ρυθμό μετάδοσης.