

ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Προαιρετικό Θέμα 4^ο Κεφαλαίου

ΟΠΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ Ι: LASER ΚΑΙ LASER ΔΙΟΔΟΙ

Απευθείας διαμόρφωση laser διόδου

Η εκπομπή φωτός από μία laser διόδο μπορεί να περιγραφεί από τις ακόλουθες εξισώσεις ρυθμού μεταβολής, οι οποίες είναι αντίστοιχες, αλλά όχι ταυτόσημες, με τις Εξ. (4.20) και (4.21) των Σημειώσεων και τις Εξ. (3.5.1) και (3.5.2) του συγγράμματος Fiber-Optic Communication Systems του G.P. Agrawal.

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I}{e} - \frac{N}{\tau_c} - \frac{g_0}{V} (N - N_0) \frac{1}{1 + \epsilon_{NL} P} P$$

$$\frac{dP}{dt} = \Gamma \frac{g_0}{V} (N - N_0) \frac{1}{1 + \epsilon_{NL} P} P - \frac{P}{\tau_p} + \Gamma \frac{\beta}{\tau_c} N$$

Τα άγνωστα μεγέθη είναι ο συνολικός αριθμός των φορέων $N(t)$ και ο συνολικός αριθμός των φωτονίων $P(t)$. Σημειώνεται ότι τα παραπάνω μεγέθη είναι καθαροί αριθμοί και όχι πυκνότητες φορέων ή φωτονίων. Τα διάφορα μεγέθη που εμφανίζονται στις εξισώσεις ορίζονται στον ακόλουθο πίνακα, όπου επίσης δίνονται οι σχετικές τιμές. Σε όλους τους υπολογισμούς και εφόσον δεν αναφέρεται ρητά κάποια διαφορετική τιμή θα γίνεται χρήση των τιμών του πίνακα.

| Σύμβολο | Επεξήγηση | Τιμή |
|-----------------|--|------------------------------------|
| V | Ενεργός όγκος laser διόδου | $1.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^3$ |
| N_0 | Αριθμός φορέων όταν το μέσο είναι διάφανο | 1.5×10^8 |
| Γ | Συντελεστής οπτικής συγκέντρωσης | 0.4 |
| β | Συντελεστής συμμετοχής αυθόρμητης εκπομπής | 0.01 |
| τ_c | Χρόνος ζωής φορέων | 1 ns |
| τ_p | Χρόνος ζωής φωτονίων | 3 ps |
| ϵ_{NL} | Συντελεστής συμπίεσης κέρδους | 3.33×10^{-7} |
| σ_0 | Διατομή κέρδους | $2.5 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ |
| L | Μήκος οπτικής κοιλότητας | 300 μm |
| v_a | Ταχύτητα ομάδας | $c / 3.527$ |
| R_1, R_2 | Συντελεστές ανάκλασης ισχύος κατόπτρων | 0.3 |
| g_0 | $g_0 = v_a \sigma_0$ | |
| λ_0 | Μήκος κύματος εκπομπής | 1550 nm |

Σε όσα μεγέθη δεν σημειώνονται μονάδες είναι αδιάστατα.

Η εξωτερικά εκπεμπόμενη ισχύς συναρτήσει του συνολικού αριθμού φωτονίων δίνεται από τη σχέση

$$P_e(t) = \frac{1}{2} v_g a_{\text{mir}} h f P(t), \quad a_{\text{mir}} = \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right).$$

Στην απευθείας διαμόρφωση της laser διόδου το ρεύμα οδήγησης $I(t)$ διαμορφώνεται από τα δεδομένα και έχει μία DC συνιστώσα πόλωσης I_b στην οποία υπερτίθεται το σήμα διαμόρφωσης:

$$I(t) = I_b + I_m p(t),$$

Η συνάρτηση $p(t)$ περιγράφει την εφαρμοζόμενη ακολουθία παλμών και έχει μοναδιαίο πλάτος.

(α) DC χαρακτηριστική της laser διόδου

(i) Ακολουθείστε μία ανάλυση αντίστοιχη της ενότητας 4.3.4 των Σημειώσεων και προσδιορίστε κλειστές σχέσεις για το ρεύμα κατωφλίου I_{th} , τον αριθμό φορέων κατωφλίου N_{th} και την DC χαρακτηριστική της εκπεμπόμενης CW οπτικής ισχύος συναρτήσει του εφαρμοζόμενου ρεύματος. Απεικονίστε τη χαρακτηριστική $P_e(I)$ στο εύρος $0 - 5I_{th}$. Μπορείτε να αγνοήσετε στην ανάλυση τα φαινόμενα κορεσμού ($\varepsilon_{NL} = 0$) και τη συμμετοχή της αυθόρμητης εκπομπής ($\beta = 0$).

(ii) Επαναλάβετε το ερώτημα (i) με απευθείας αριθμητική επίλυση των εξισώσεων της laser διόδου έχοντας μηδενίσει τις χρονικές παραγώγους. Απεικονίστε τη χαρακτηριστική στο $P_e(I)$ σε κοινό σχήμα με την κλειστή σχέση του ερωτήματος (i) και σχολιάστε το επίπεδο της διαφοράς των δύο.

(β) Απόκριση σε μεμονωμένο παλμό ρεύματος

Εξετάστε την οπτική έξοδο της πηγής στο χρόνο όταν αυτή οδηγείται από έναν μεμονωμένο τετραγωνικό παλμό ρεύματος χρονικής διάρκειας 2 ns όπως παρακάτω:

(i) Η LD έχει αμελητέο κορεσμό ($\varepsilon_{NL} = 3.33 \times 10^{-8}$), το ρεύμα κορυφής είναι ίσο με $2I_{th}$ και η δίοδος στην πρώτη περίπτωση δεν είναι πολωμένη ($I_b = 0$, $I_m = 2I_{th}$) ενώ στη δεύτερη είναι πολωμένη στο κατώφλι ($I_b = I_{th}$, $I_m = I_{th}$).

(ii) Η συμμετοχή της αυθόρμητης εκπομπής είναι τώρα αμελητέα ($\beta = 0$), η δίοδος πολώνεται με $I_b = 1.1I_{th}$ το ρεύμα κορυφής είναι ίσο με $2.5I_{th}$ (επιλέγεται δηλαδή $I_m = 1.4I_{th}$) και στην πρώτη περίπτωση ο κορεσμός είναι αμελητέος $\varepsilon_{NL} = 3.33 \times 10^{-8}$ ενώ στη δεύτερη λαμβάνει την ονομαστική τιμή $\varepsilon_{NL} = 3.33 \times 10^{-7}$.

Κατά την επίλυση (χρονική ολοκλήρωση) των εξισώσεων ρυθμού μεταβολής χρησιμοποιείτε επαρκώς μεγάλο χρονικό παράθυρο για να συμπεριλάβετε πλήρως το μεταβατικό φαινόμενο.

(γ) Απόκριση σε ψευδοτυχαία ακολουθία δεδομένων (PRBS)

Η συμμετοχή της αυθόρμητης εκπομπής είναι αμελητέα ($\beta = 0$), η δίοδος πολώνεται στο ρεύμα $I_b = 1.1I_{th}$ και το πλάτος I_m είναι $1.4I_{th}$.

(i) Απεικονίστε την εκπεμπόμενη οπτική ισχύ $P_e(t)$ και τον αριθμό των φορέων $N(t)$ όταν τα δεδομένα που διαμορφώνουν τη LD είναι η PRBS ακολουθία ορθογωνικών παλμών NRZ τάξης 5 και ο ρυθμός μετάδοσης είναι $B_T = 2.5$ Gbps. Ο αριθμός των φορέων να κανονικοποιηθεί ως προς τον αριθμό φορέων κατωφλίου N_{th} ενώ σε όλες τις γραφικές παραστάσεις απεικονίστε ταυτόχρονα και την ακολουθία των παλμών για εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, παρουσιάστε την εκπεμπόμενη ισχύ σε διάγραμμα οφθαλμού (eye diagram).

(ii) Όπως στο ερώτημα (i) αλλά για ρυθμό μετάδοσης $B_T = 5$ Gbps.

(iii) Όπως στο ερώτημα (i) αλλά για ρυθμό μετάδοσης $B_T = 10$ Gbps.

Σχολιάστε με βάση τα αποτελέσματα που λάβατε την ικανότητα της LD να ανταποκριθεί σε ρυθμούς μετάδοσης την περιοχή των 10 Gbps με τη χρήση απευθείας διαμόρφωσης.

Σημείωση 1:

Για την επίλυση των εξισώσεων ρυθμού μεταβολής προτείνεται η χρήση της ode45() του MATLAB. Επιλέξτε με προσοχή τις αρχικές συνθήκες λαμβάνοντας υπόψη την πρόβλεψη σε συνθήκες CW του ερωτήματος (α).

Σημείωση 2:

PRBS τάξης 5: 11111000110111010100001001011100

PRBS τάξης 6: 111111000001000011000101001111010001110010010110111011001101010

Σημείωση 3: Για την κατασκευή της παλμοσειράς από την PRBS ακολουθία θα σας φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη η συνάρτηση `pulstran` του MATLAB. Για την ταυτόχρονη απεικόνιση διαφορετικών μεγεθών στο ίδιο διάγραμμα χρήσιμη είναι η συνάρτηση `plotyy`.