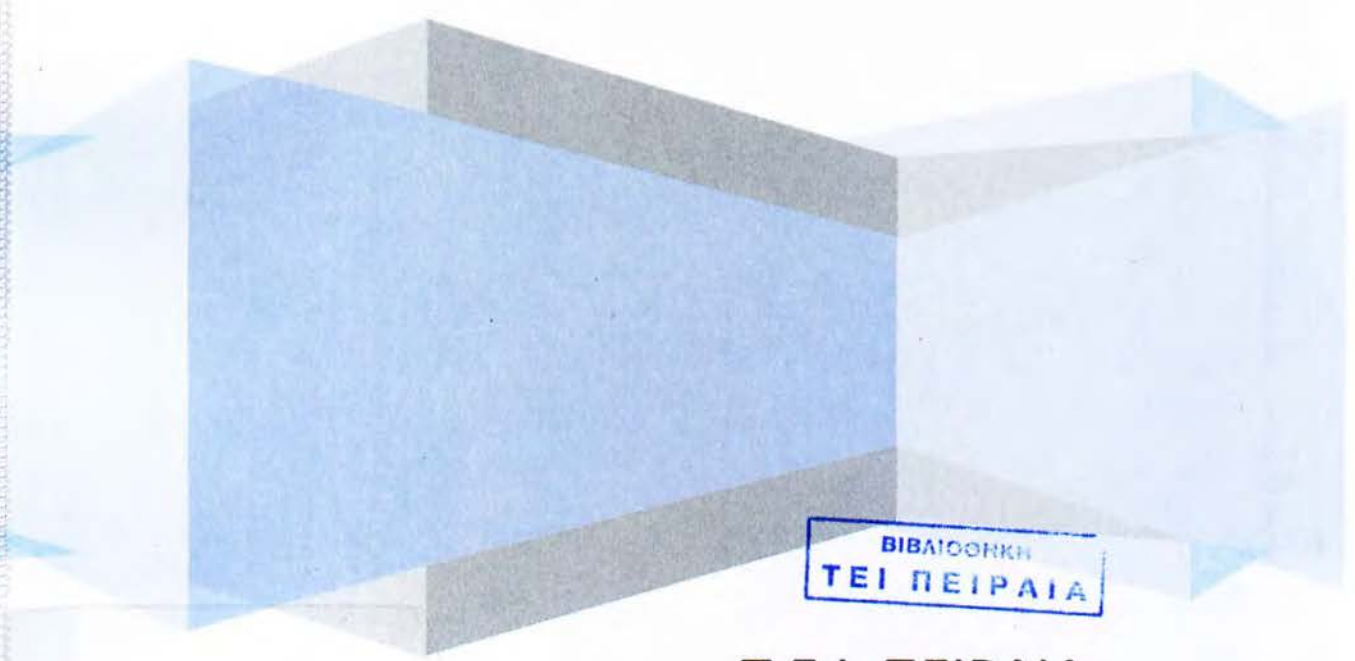


#1
488
A4T

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ
ΜΕΣΩ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2012

The background of the entire page is a close-up photograph of a bundle of optical fibers. The fibers are illuminated from below, creating a warm, golden-yellow glow. The tips of the fibers are out of focus, appearing as soft, glowing points of light. In the upper right corner, a portion of a globe is visible, showing the Earth's continents and oceans in shades of blue and green. The overall composition is dynamic and modern, emphasizing the theme of optical technology.

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ
ΠΟΜΠΟΥ – ΔΕΚΤΗ
ΜΕΣΩ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: DR. ΚΑΡΑΪΣΚΟΣ ΧΡ.
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΕΩΡ.**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

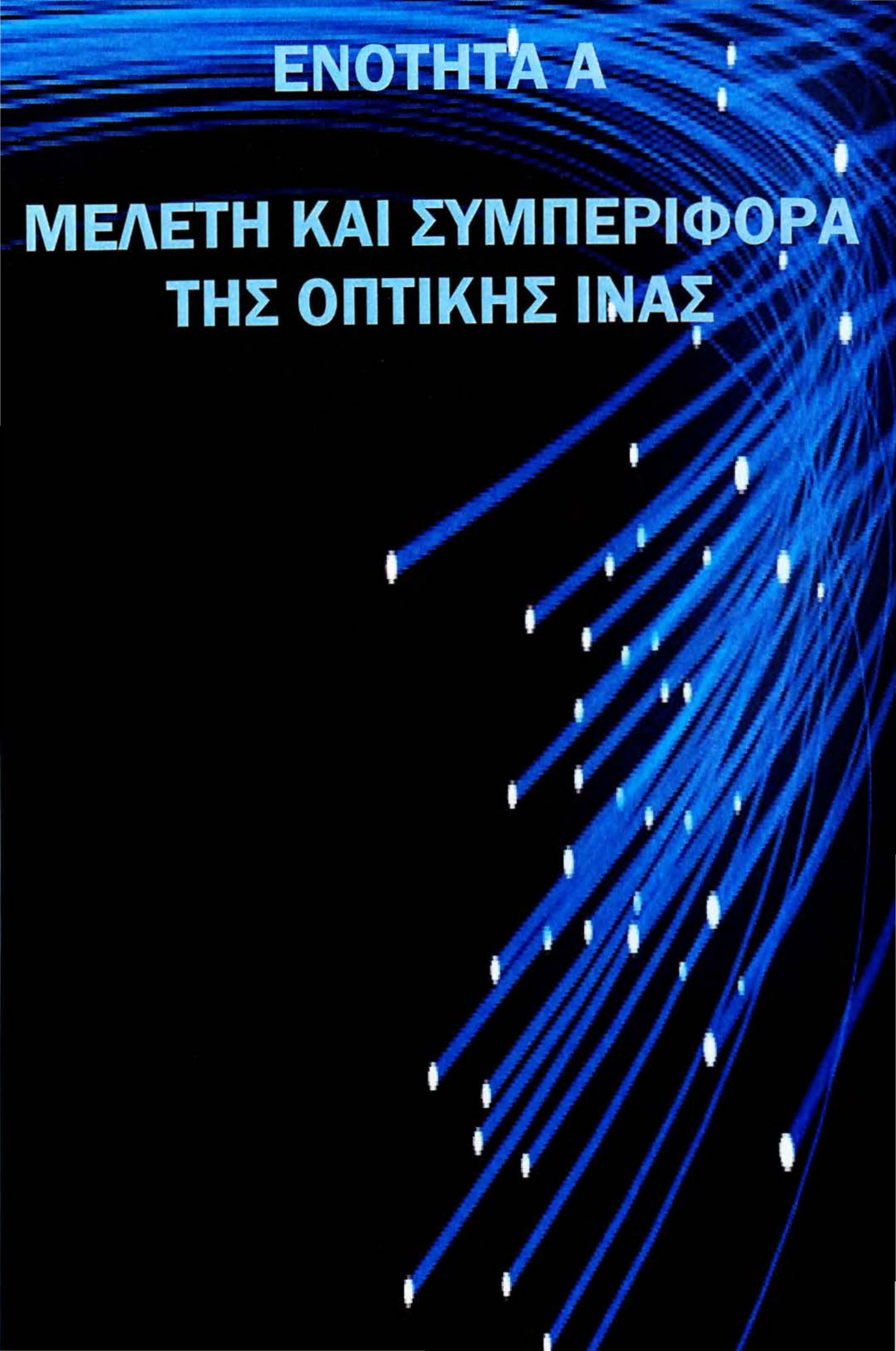
1.	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
1.1.1	ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ (Refractive Index)	7
1.1.2	ΟΛΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ (Total Internal Reflection)	8
1.1.3	ΓΩΝΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ (Acceptance Angle)	9
1.1.4	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ (Numerical Aperture)	10
1.1.5	ΔΙΑΔΟΣΗ ΜΗ ΜΕΣΗΜΒΡΙΝΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ ΣΕ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ	12
1.1.6	ΡΥΘΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	14
1.2	ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
1.2.1	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΛΙΜΑΚΩΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ (Step Index Fibers)	16
1.2.2	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΒΑΘΜΙΑΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ (Graded Index Fibers)	17
1.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (Transmission Characteristics of Optical Fibers)	
1.3.1	ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ (Attenuation)	19
1.3.2	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (Absorption Losses)	20
1.3.3	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΣΚΕΔΑΣΗΣ (Linear Scattering Losses)	22
1.3.4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΚΑΜΨΗΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ (Fiber Bend Losses)	23
1.3.5	ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (Dispersion)	24
1.4	ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	26
1.4.1	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΛΙΜΑΚΩΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΠΟΛΛΩΝ ΡΥΘΜΩΝ	
1.4.2	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΒΑΘΜΙΑΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΠΟΛΛΩΝ ΡΥΘΜΩΝ	27
1.4.3	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΑΠΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ	28

1.4.4	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΜΑΝΔΥΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΚΩΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	29
1.4.5	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΜΑΝΔΥΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΙΑΙΟ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	
1.4.6	ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	30
1.5	ΚΑΛΩΔΙΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
1.5.1	ΤΥΠΟΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	31
1.5.2	ΚΑΛΩΔΙΑΚΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ	
1.5.3	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	32
1.5.4	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	34
1.6	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
1.6.1	ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	35
1.6.2	ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΗΜΑΤΩΝ	
1.6.3	ΜΙΚΡΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	36
1.6.4	ΜΙΚΡΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ	
1.7	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	37
2.	ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	
2.1	ΓΕΝΙΚΑ	40
2.2	ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
2.2.1	ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	41
2.2.2	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	42
2.3	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	45
2.3.1	ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	46
2.3.2	ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	47
2.4	ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΗΓΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ	48
2.4.1	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	49
2.5	ΔΕΚΤΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	50

2.5.1	ΓΕΝΙΚΑ	
2.5.2	ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	52
2.5.3	ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
2.5.4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΖΕΥΞΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ ΚΑΙ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥ	53
2.6	ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ (Τ.Ε..741)	54
2.7	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ	
2.7.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΜΠΟΥ	57
2.7.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΚΤΗ	60
2.7.3	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	
2.7.3.1	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΟΜΠΟΥ	
2.7.3.2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΕΚΤΗ	63
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64

ΕΝΟΤΗΤΑ Α

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ
ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ**



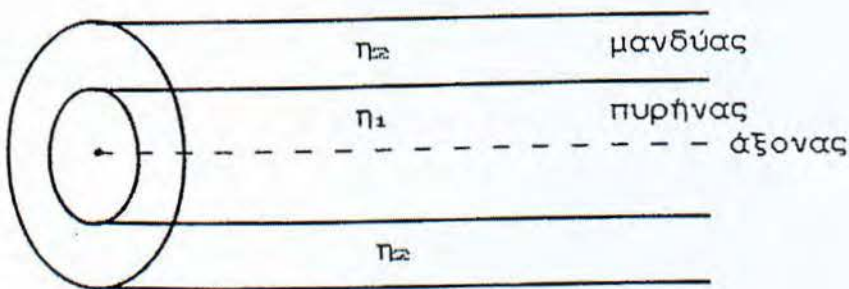
1. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιδέα της διέλευσης του φωτός μέσα από διηλεκτρικούς κυματοδηγούς ήταν γνωστή από τις αρχές του 20ου αιώνα. Πρωτοπόρος της ιδέας αυτής μπορεί να θεωρηθεί ο φυσικός Debye ο οποίος με την επιστημονική του εργασία «ηλεκτρομαγνητικά κύματα κατά μήκος κυλινδρικών διηλεκτρικών» (το έτος 1910), απέδειξε θεωρητικά ότι ένα κυλινδρικό διηλεκτρικό μπορεί να παγιδεύσει μέσα του ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την οποία εξαναγκάζει να οδεύει κατά μήκος του άξονά του. Το φαινόμενο αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν φωτίσουμε το ένα άκρο μιας γυάλινης κυλινδρικής ράβδου με τυχούσα φωτεινή πηγή. Θα παρατηρήσουμε τότε ότι από το άλλο άκρο θα εξέλθει φως το οποίο, κάτω από τις τυχαίες συνθήκες που επικρατούν, θα έχει μικρότερη ένταση από την ένταση που παρέχει απευθείας η φωτεινή πηγή.

Οι συνθήκες που καθορίζουν τη διέλευση του φωτός μέσα από τη γυάλινη ράβδο, και γενικά μέσα από ένα κυλινδρικό οπτικό κυματοδηγό έχουν σχεδόν εντοπισθεί και έχουν σχέση τόσο με τη φύση και τη δομή του κυματοδηγού όσο και με τη γεωμετρία αυτού. Έτσι, από τα μέσα της δεκαετίας του 50' άρχισε να αναπτύσσεται συστηματικά η τεχνολογία των διηλεκτρικών οπτικών κυματοδηγών, οι οποίοι πλέον έχουν αποκτήσει συγκεκριμένη μορφή.

Με τον όρο «**οπτικός κυματοδηγός**» εννοούμε σήμερα ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από μια διαφανή κυλινδρική ράβδο, (πυρήνας), με δείκτη διάθλασης n_1 της οποίας η κυλινδρική επιφάνεια περιβάλλεται από άλλο διαφανές υλικό, (μανδύας), που έχει δείκτη διάθλασης n_2 και γενικά ισχύει ότι $n_1 > n_2$. Η δομή ενός τέτοιου κυματοδηγού φαίνεται στο ΣΧΗΜΑ 1.1.



ΣΧΗΜΑ 1.1

Στις πρακτικές όμως εφαρμογές η διάμετρος της κυκλικής βάσης ενός οπτικού κυματοδηγού είναι συνήθως μικρότερη από 1 mm το δε μήκος του μπορεί να φθάσει τα μερικά χιλιόμετρα. Έτσι έχουμε πλέον ένα οπτικό κυματοδηγό με μορφή ίνας ο οποίος από εδώ και πέρα θα αναφέρεται σαν «**οπτική ίνα**».

Η χρήση των οπτικών ινών στις επικοινωνίες άρχισε το 1966 όταν ακόμη οι επιδόσεις τους ήταν πολύ χαμηλές και συγκεκριμένα η εξασθένιση της ακτινοβολίας μέσα σε αυτές ξεπερνούσε τα 1000 db/Km. Ενδεικτικά αναφέρουμε εδώ ότι οι οπτικές ίνες που κατασκευάζονται σήμερα παρουσιάζουν εξασθένιση σήματος κάτω από 1 db/km για ακτινοβλίες με μήκη κύματος από 800-900nm. Η εξασθένιση αυτή μπορεί να φθάσει τα 0.2db/Km όταν πλέον κατασκευασθούν φωτοεκπομποί με μήκη κύματος περίπου 1.3μm.

1.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

1.1.1 Δείκτης Διάθλασης, (Refractive Index).

Για να μελετήσουμε τη διάδοση της οπτικής ακτινοβολίας μέσα σε μια οπτική ίνα είναι απαραίτητο να αναφερθούμε πρώτα στο δείκτη διάθλασης n του διηλεκτρικού μέσου ο οποίος ορίζεται με το πηλίκο της ταχύτητας C_0 της ακτινοβολίας στο κενό, (ή και στον αέρα), διά την ταχύτητα C με την οποία διαδίδεται μέσα στο διηλεκτρικό, δηλαδή:

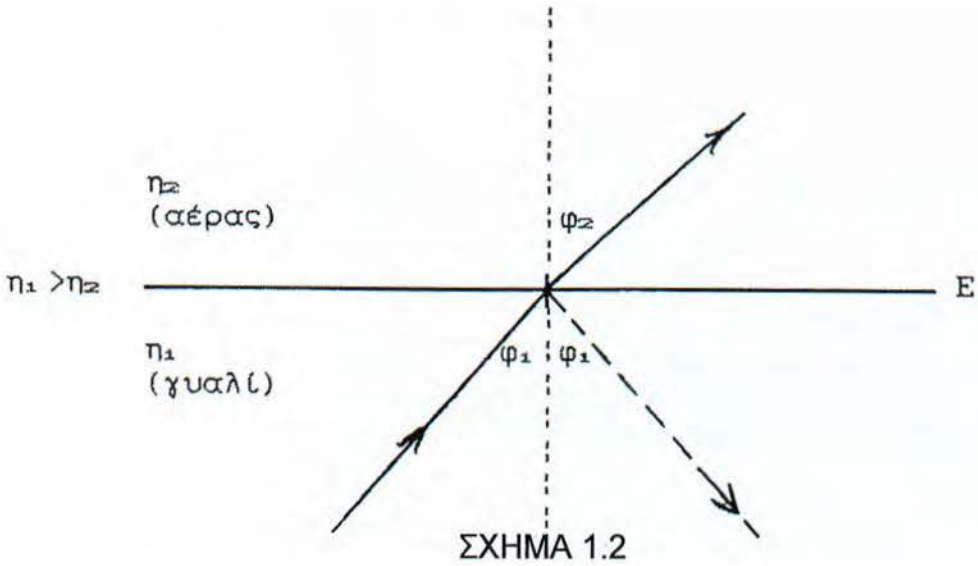
$$n = \frac{C_0}{C} \quad (1.1)$$

Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα μέτρο της οπτικής πυκνότητας των διηλεκτρικών. Συγκεκριμένα, αν n_1 και n_2 είναι οι δείκτες διάθλασης δύο διηλεκτρικών και $n_1 > n_2$, τότε το πρώτο υλικό είναι οπτικά πυκνότερο από το δεύτερο και σύμφωνα με τη σχέση (1.1), η ταχύτητα διάδοσης της ακτινοβολίας στο πρώτο μέσο θα είναι μικρότερη απ' ότι στο δεύτερο. Από τη σχέση (1.1) προκύπτει επίσης, ότι μια οπτική ακτινοβολία αλλάζει εν γένει διεύθυνση όταν αυτή μεταβαίνει από ένα διηλεκτρικό σε άλλο, π.χ από αέρα σε γυαλί ή από νερό σε γυαλί κ.λ.π.

Για τη μαθηματική περιγραφή του φαινομένου αυτού θεωρούμε δύο διηλεκτρικά με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 , με $n_1 > n_2$ τα οποία βρίσκονται σε επαφή, (ΣΧΗΜΑ 1.2).

Όταν μια οπτική ακτίνα διαδίδεται στο πρώτο μέσο (n_1), και προσπίπτει στη διαχωριστική τους επιφάνεια E με γωνία φ_1 ως προς την κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης, θα παρατηρήσουμε ότι ένα μέρος της ακτίνας αυτής θα ανακλαστεί και θα επιστρέψει στο ίδιο μέσο ενώ το υπόλοιπο μέρος θα διέλθει στο άλλο μέσο (n_2), με διαφορετική διεύθυνση που σχηματίζει γωνιά φ_2 με την κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης.

Τότε σύμφωνα με το νόμο του **Snell** θα έχουμε:



$$n_1 \cdot \sin\phi_1 = n_2 \cdot \sin\phi_2$$

ή

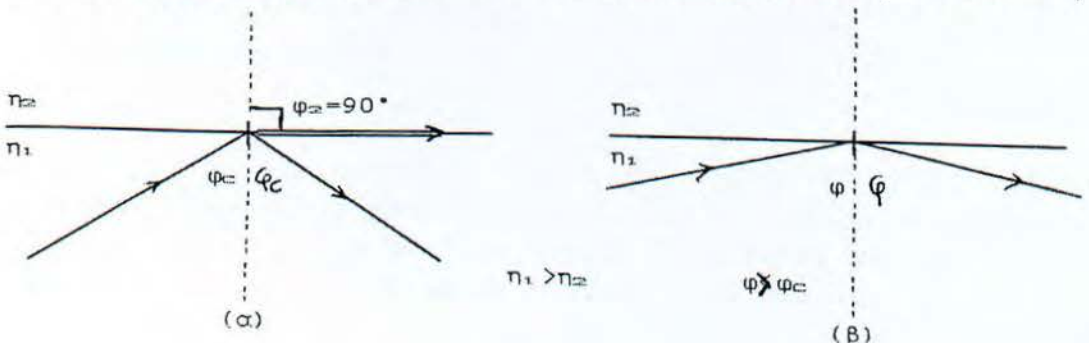
(1.2)

$$\frac{\sin\phi_1}{\sin\phi_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι στην περίπτωση που $n_1 > n_2$ τότε η γωνία ϕ_2 , που αναφέρεται και σαν γωνία διάθλασης, θα είναι πάντοτε μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης ϕ_1 . Πάνω στην παρατήρηση αυτή στηρίζεται και το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης το οποίο αποτελεί τη βασική αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών.

1.1.2 Ολική Εσωτερική Ανάκλαση. (Total Internal Reflection)

Διερευνώντας τη ΣΧΕΣΗ(1.2) συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μια κρίσιμη γωνία ϕ_c για την οποία η γωνία διάθλασης ϕ_2 γίνεται 90° και η οπτική ακτίνα διαδίδεται πλέον παράλληλα με τη διαχωριστική επιφάνεια των δυο διηλεκτρικών μέσων, (ΣΧΗΜΑ 1.3α):



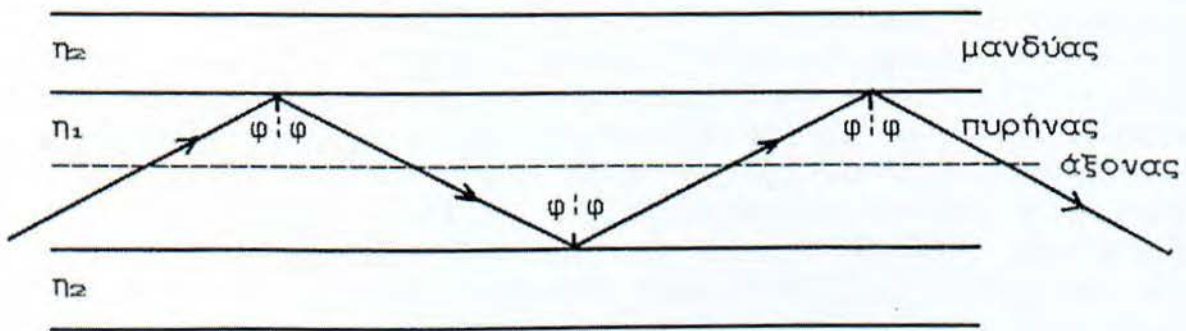
ΣΧΗΜΑ 1.3

Η κρίσιμη αυτή γωνία φ_c ονομάζεται οριακή γωνία ολικής ανάκλασης και υπολογίζεται από τη ΣΧΕΣΗ (1.2) αν θέσουμε $\varphi_1 = \varphi_c$ και $\varphi_2 = 90^\circ$. Έτσι έχουμε:

$$\sin \varphi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.3)$$

Για γωνίες πρόσπτωσης φ_1 μεγαλύτερες από την οριακή γωνία φ_c η οπτική ακτινοβολία ανακλάται πίσω στο αρχικό διηλεκτρικό μέσο, (ολική εσωτερική ανάκλαση), με πολύ μεγάλη απόδοση, (περίπου 99.9%), (ΣΧΗΜΑ 1.3β).

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η ολική εσωτερική ανάκλαση συμβαίνει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δυο διηλεκτρικών με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης όταν η οπτική ακτινοβολία που διαδίδεται στο οπτικά πυκνότερο μέσο προσπέσει στην επιφάνεια αυτή με γωνία πρόσπτωσης μεγαλύτερη από την οριακή γωνία φ_c .

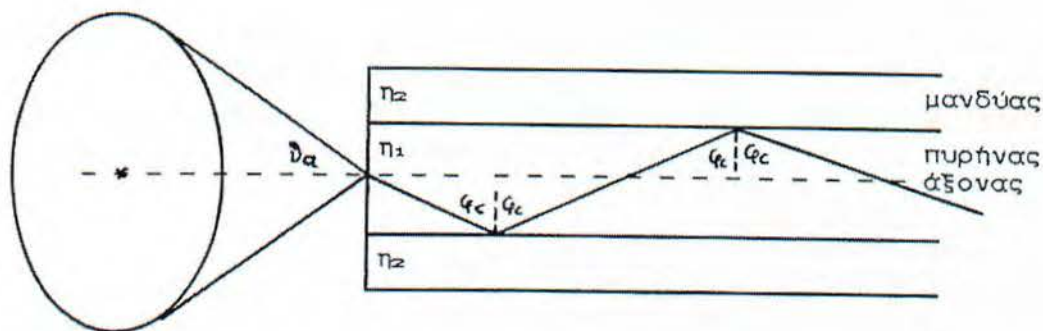


ΣΧΗΜΑ 1.4

Αυτός είναι και ο μηχανισμός με τον οποίο η οπτική ακτινοβολία διαδίδεται μέσα στην οπτική ίνα με χαμηλές απώλειες. Το ΣΧΗΜΑ 1.4 απεικονίζει τη διέλευση μιας μεσημβρινής οπτικής ακτίνας μέσα σε ένα οπτικό κυματοδηγό με συνεχείς ολικές εσωτερικές ανακλάσεις στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ πυρήνα και μανδύα. Η ακτίνα αυτή λέγεται μεσημβρινή γιατί η τροχιά που διαγράφει βρίσκεται πάντοτε πάνω σε επίπεδο που περιέχει τον άξονα του οπτικού κυματοδηγού. Αυτός ο τύπος ακτινών είναι ο απλούστερος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να περιγράψουμε αλλά και για να μελετήσουμε τις βασικές ιδιότητες μεταφοράς στις οπτικές ίνες.

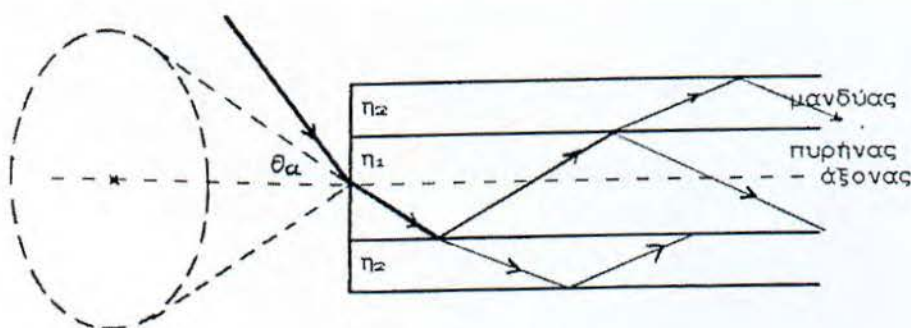
1.1.3 Γωνία Αποδοχής Οπτικής Ίνας. (Acceptance Angle)

Θεωρούμε μια οπτική ακτίνα η οποία προέρχεται από μια οπτική πηγή, (π.χ. **LASER** ή **LED**), και την οποία θέλουμε να μεταφέρουμε διά μέσου οπτικής ίνας. Η ακτίνα αυτή μπορεί να εισέλθει στον πυρήνα της οπτικής ίνας με πολλούς τρόπους από τους οποίους, σε πρώτη φάση, επιλέγουμε εκείνους που αντιστοιχούν σε μεσημβρινές ακτίνες, σε ακτίνες δηλαδή που τέμνονται με τον άξονα του συστήματος. Όταν η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας στην είσοδο της οπτικής ίνας είναι μηδέν μοίρες, τότε η ακτίνα εισέρχεται στο πυρήνα χωρίς εκτροπή και διαδίδεται παράλληλα με τον άξονα αυτού.



ΣΧΗΜΑ 1.5

Αν τώρα με κάποιο τρόπο εξαναγκάσουμε την ακτίνα να εισέλθει στο πυρήνα με γωνία πρόσπτωσης θ διαφορετική από το μηδέν θα παρατηρήσουμε τότε ότι η εισερχόμενη ακτίνα θα εκτραπεί και θα προσπέσει στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ πυρήνα και μανδύα υπό γωνία ϕ , (ΣΧΗΜΑ 1.5), η οποία εξαρτάται άμεσα από την τιμή της γωνίας θ . Πράγματι, σύμφωνα με τον νόμο του **SNELL**, όσο μεγαλώνει η γωνία θ τόσο θα μεγαλώνει και η γωνία διάθλασης θ_1 και κατά συνέπεια η γωνία ϕ θα μικραίνει. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει κάποια μέγιστη κρίσιμη γωνία θ για την οποία η γωνία ϕ γίνεται ίση με την οριακή γωνία ϕ_c ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Η κρίσιμη αυτή γωνία ονομάζεται γωνία αποδοχής της οπτικής ίνας και συμβολίζεται με θ_a . Η γωνία αυτή θα έχει την ίδια τιμή για όλες τις μεσημβρινές οπτικές ακτίνες, οπότε πλέον μπορούμε να μιλάμε για κώνο αποδοχής της οπτικής ίνας. Έτσι, οποιαδήποτε μεσημβρινή ακτίνα που βρίσκεται μέσα στον κώνο αποδοχής διαδίδεται μέσα στο πυρήνα της οπτικής ίνας με συνεχείς ολικές εσωτερικές ανακλάσεις. Κάθε οπτική ακτίνα που εισέρχεται στην οπτική ίνα με γωνία πρόσπτωσης μεγαλύτερη από την γωνία αποδοχής θ_a , κατά την πρόσπτωσή της στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ πυρήνα και μανδύα, θα διαθλαστεί μερικώς στο μανδύα και θα ανακλασθεί μερικώς στον πυρήνα. Αυτή η μερική διάθλαση και ανάκλαση θα συνεχισθεί μέχρις ότου η ακτίνα αυτή εξασθενίσει και χαθεί από το πυρήνα (ΣΧΗΜΑ 1.6).

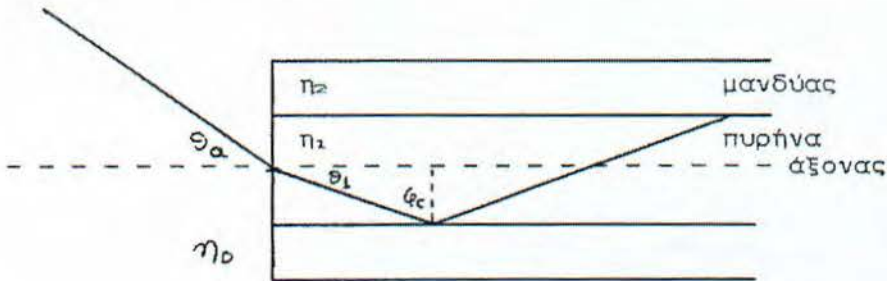


ΣΧΗΜΑ 1.6

1.1.4 Αριθμητικό Άνοιγμα Οπτικής Ίνας (Numerical Aperture)

Με βάση τον ορισμό της γωνίας αποδοχής θα μπορούμε τώρα να βρούμε μια σχέση που να συνδέει τη γωνία αυτή με τους δείκτες διάθλασης του αέρα n_0 , του πυρήνα n_1 και του μανδύα n_2 . Η σχέση αυτή οδηγεί στον προσδιορισμό του

Αριθμητικού Ανοίγματος NA της οπτικής ίνας που αποτελεί την σημαντικότερη ίσως χαρακτηριστική παράμετρο στις οπτικές ίνες. Με άλλα λόγια, η παράμετρος NA της αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας της οπτικής ίνας να αποδέχεται στην είσοδο της την οπτική ακτινοβολία που προέρχεται από μια οπτική πηγή, (π.χ **LED** ή **laser**) ή ακόμη και από άλλη οπτική ίνα. Για τον υπολογισμό του αριθμητικού ανοίγματος NA θεωρούμε μια οπτική ίνα και μια μεσημβρινή οπτική ακτίνα που εισέρχεται στον πυρήνα με γωνία θ_α (= γωνία αποδοχής), (ΣΧΗΜΑ 1.7).



ΣΧΗΜΑ 1.7

Παρατηρούμε ότι η ακτίνα διαθλάται στον πυρήνα με γωνία θ_1 και προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα–μανδύα υπό γωνία φ_c όπου υφίσταται ολική εσωτερική ανάκλαση. Οπότε από το νόμο του **Snell**, κατά την είσοδο της ακτίνας στον πυρήνα της οπτικής ίνας έχουμε ότι:

$$n_0 \cdot \sin\theta_\alpha = n_1 \cdot \sin\theta_1 \quad (1.4)$$

Όπου η γωνία θ_1 είναι συμπληρωματική της γωνίας φ_c , δηλαδή:

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - \varphi_c$$

$$\text{ή } \sin\theta_1 = \cos\varphi_c \quad (1.5)$$

οπότε η ΣΧΕΣΗ (1.4) γίνεται :

$$n_0 \cdot \sin\theta_\alpha = n_1 \cdot \cos\varphi_c \quad (1.6)$$

Χρησιμοποιώντας τώρα την τριγωνομετρική ταυτότητα :

$$\sin^2\varphi_c + \cos^2\varphi_c = 1$$

καθώς και τον ορισμό της οριακής γωνίας ολικής εσωτερικής ανάκλασης, (ΣΧΕΣΗ 1.3), η ΣΧΕΣΗ (1.6) γίνεται:

$$n_0 \cdot \sin\theta_\alpha = n_1 \cdot \sqrt{1 - \sin^2\varphi_c}$$

ή

$$n_0 \cdot \sin\theta_\alpha = n_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} \quad (1.7)$$

ή

$$n_0 \cdot \sin\theta_\alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Παρατηρούμε ότι η τελευταία εξίσωση δίνει μια σχέση μεταξύ της γωνίας αποδοχής και των δεικτών διάθλασης του πυρήνα και του μανδύα της οπτικής ίνας. Η σχέση αυτή αποτελεί και τον ορισμό του αριθμητικού ανοίγματος NA της οπτικής ίνας. Έτσι έχουμε:

$$NA = n_o \cdot \sin\theta_{\alpha} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.8)$$

ή

$$NA = \sin\theta_{\alpha} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.9)$$

δεδομένου ότι ο δείκτης διάθλασης n_o του αέρα είναι ίσος με τη μονάδα, ($n_o = 1$). Υπενθυμίζουμε εδώ για να διαδοθεί μια μεσημβρινή οπτική ακτίνα μέσα σε οπτική ίνα πρέπει, η γωνία πρόσπτωσης θ της ακτίνας στον πυρήνα να είναι τέτοια ώστε:

$$0 \leq \theta \leq \theta_{\alpha}$$

Μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρος που χρησιμοποιείται, συνήθως στις περιπτώσεις όπου δυο διηλεκτρικά βρίσκονται σε επαφή, είναι η σχετική διαφορά Δ των δεικτών διάθλασης των δυο διηλεκτρικών. Στην περίπτωση των οπτικών ινών η παράμετρος Δ δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (1.10)$$

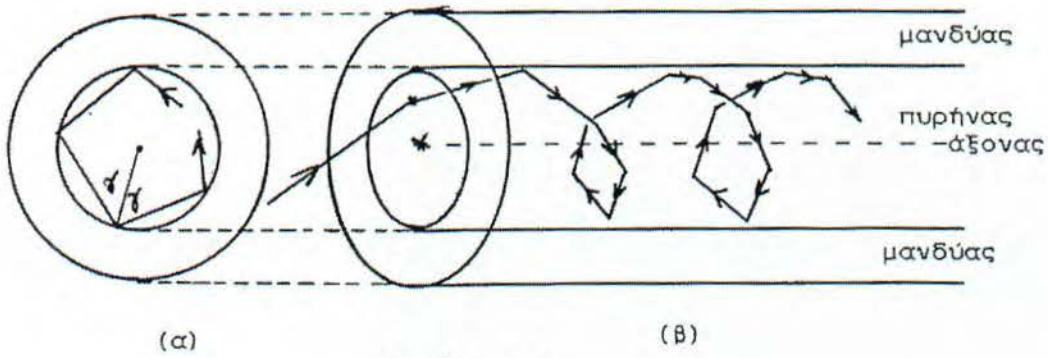
οπότε το αριθμητικό άνοιγμα της οπτικής ίνας μπορεί να δοθεί και σαν συνάρτηση της παραμέτρου Δ . Συγκεκριμένα, συνδυάζοντας τις ΣΧΕΣΕΙΣ (1.9) και (1.10) έχουμε:

$$NA = n_1 \cdot \sqrt{2\Delta} \quad (1.11)$$

Όπως προκύπτει από τις σχέσεις (1.9) και (1.11), το αριθμητικό άνοιγμα NA μιας οπτικής ίνας είναι ανεξάρτητο από τη διάμετρο του πυρήνα.

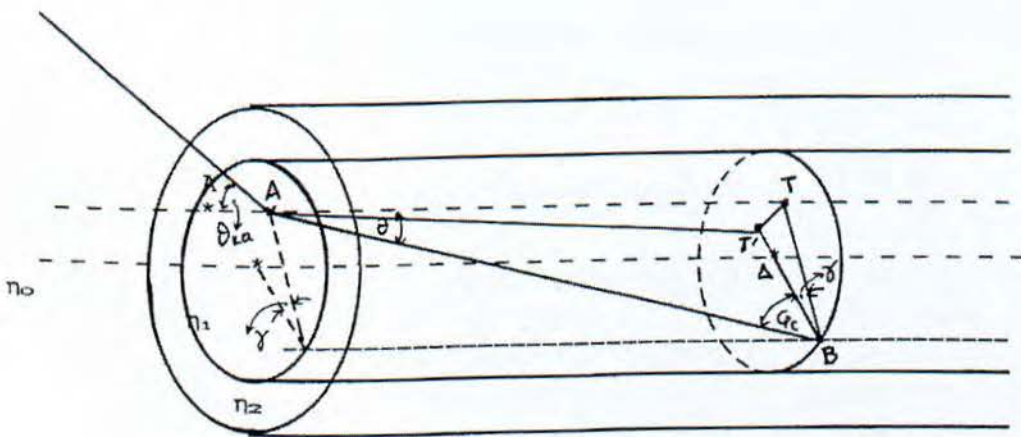
1.1.5 Διάδοση μη Μεσημβρινών Ακτίνων σε Οπτική Ίνα

Θεωρούμε τώρα την περίπτωση που στην οπτική ίνα εισέρχεται μια οπτική ακτίνα ασυμπτωτικά με τον άξονα του πυρήνα και με γωνία πρόσπτωσης θ_k τέτοια ώστε να επακολουθήσουν στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-μανδύα συνεχείς ολικές εσωτερικές ανακλάσεις. Κύριο χαρακτηριστικό της ακτίνας αυτής είναι ότι μετά από κάθε ανάκλαση αλλάζει και το επίπεδο διάδοσης της με αποτέλεσμα η πορεία της ακτίνας μέσα στο πυρήνα της οπτικής ίνας να ομοιάζει με τεθλασμένη έλικα, (ΣΧΗΜΑ 1.8β). Σε αντιδιαστολή με τις μεσημβρινές ακτίνες, οι οπτικές ακτίνες που διαδίδονται στην οπτική ίνα όπως δείχνει το ΣΧΗΜΑ 1.8β ονομάζονται **SKEW RAYS**. Η προβολή της τεθλασμένης ελικοειδούς τροχιάς πάνω σε επίπεδο που είναι κάθετο στον άξονα της οπτικής ίνας μας δίνει ακριβώς τη γωνία στροφής Γ του επιπέδου διάδοσης μετά από κάθε ολική εσωτερική ανάκλαση, (ΣΧΗΜΑ 1.8α). Για την οπτική ακτίνα που περιγράφεται στο (ΣΧΗΜΑ 1.8β) προκύπτει ότι, $\Gamma = 2\gamma$, (ΣΧΗΜΑ 1.8α)



ΣΧΗΜΑ 1.8

Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι και για τις **SKEW RAYS** θα υπάρχει μια μέγιστη γωνία πρόσπτωσης, έστω η $\theta_{κα}$, της οπτικής ακτίνας στην είσοδο του πυρήνα για την οποία η εισερχόμενη ακτίνα να προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-μανδύα με γωνία που να είναι ίση με την οριακή γωνία ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Έστω λοιπόν μια οπτική γωνία η οποία προσπίπτει στο σημείο A του πυρήνα υπό γωνία $\theta_{κα}$ (βλέπε ΣΧΗΜΑ 1.9), διαθλάται στον πυρήνα υπό γωνία $\theta_{κα}$ και προσπίπτει στο σημείο β της διαχωριστικής επιφάνειας πυρήνα – μανδύα υπό γωνία φ_c . Για τη μελέτη της ακτίνας αυτής θεωρούμε την προβολή BT του τμήματος AB της ακτίνας πάνω σε εγκάρσια τομή της οπτικής ίνας στο σημείο B. Σύμφωνα με το ΣΧΗΜΑ 1.8α η γωνία γ θα είναι ίση με τη γωνία που σχηματίζουν η προβολή BT και η ακτίνα ΒΔ του πυρήνα στο σημείο B. Αν T' είναι η προβολή του σημείου T πάνω στην ακτίνα ΒΔ, τότε έχουμε:



ΣΧΗΜΑ 1.9

Από τα ορθογώνια τρίγωνα ABT' , BTT' και ABT έχουμε αντίστοιχα:

$$BT' = AB \cdot \cos\varphi_c$$

$$BT' = AT \cdot \cos\gamma$$

και (1.12)

$$BT = AB \cdot \sin\theta$$

από τις σχέσεις (1.12) προκύπτει τελικά ότι:

$$\cos\varphi_c = \cos\gamma \cdot \sin\theta \quad (1.13)$$

Στην τελευταία σχέση ο παράγοντας $\cos\phi_c$ προσδιορίστηκε στην προηγούμενη παράγραφο και ισούται με :

$$\cos\phi_c = \frac{\sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}}{\eta_1} \quad (1.14)$$

Επίσης ο παράγοντας $\sin\theta$ προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου του **Snell** για την οπτική ίνα που εισέρχεται στον πυρήνα την οπτικής ίνας από το σημείο A. Συγκεκριμένα:

$$n_0 \cdot \sin\theta_{κα} = n_1 \cdot \sin\theta \quad (1.15)$$

Έτσι, από τις σχέσεις (1.13), (1.14) και (1.15) έχουμε τελικά:

$$n_0 \cdot \sin\theta_{κα} \cdot \cos\gamma = \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} = NA \quad (1.16)$$

Στην περίπτωση βέβαια που η οπτική ακτίνα εισέρχεται στον πυρήνα από τον αέρα, τότε $n_0=1$ και η σχέση (1.16) γίνεται:

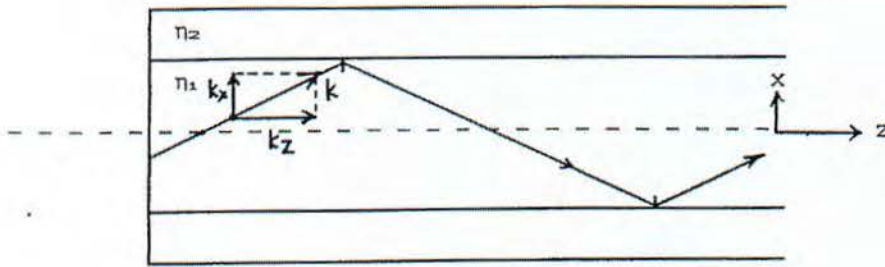
$$\sin\theta_{κα} \cdot \cos\gamma = NA \quad (1.17)$$

Συγκρίνοντας τη σχέση (1.17) με τη σχέση (1.9) προκύπτει ότι η γωνία αποδοχής $\theta_{κα}$ για τις **skew rays** είναι μεγαλύτερη από τη γωνία αποδοχής θ_a των μεσημβρινών ακτίνων.

1.1.6 Ρυθμοί Διάδοσης Στις Οπτικές Ίνες

Από τη μελέτη των προηγούμενων παραγράφων προκύπτει ότι η διαδρομή που ακολουθεί μια οπτική ακτίνα μέσα σε οπτική ίνα εξαρτάται από την τιμή της γωνίας πρόσπτωσης θ της ακτίνας στην είσοδο του πυρήνα. Συγκεκριμένα, αν μεταβάλλουμε τη γωνία θ από την τιμή μηδέν μέχρι την τιμή της γωνίας αποδοχής θ_a , θα παρατηρήσουμε ότι ο αριθμός των ολικών εσωτερικών ανακλάσεων ανά μονάδα μήκους της οπτικής ίνας γίνεται μεγαλύτερος, ή με άλλα λόγια, όσο πιο μεγάλη είναι η γωνία θ_a τόσο πιο μικρό είναι το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δυο διαδοχικών ολικών εσωτερικών ανακλάσεων. Αυτό σημαίνει ότι η ολική μεταβολή της φάσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, που αντιστοιχεί στην οπτική ακτίνα, μετά από δυο διαδοχικές ανακλάσεις θα εξαρτάται από τη γωνία θ . Από την παρατήρηση αυτή προκύπτει ότι θα υπάρχουν διάκριτες γωνίες πρόσπτωσης θ_N της οπτικής ακτίνας στην είσοδο του πυρήνα, για τις οποίες η ολική μεταβολή της φάσης θα είναι ίση με $2N\pi$ ακίνια, όπου N είναι ένας ακέραιος αριθμός, ($N=0,1,2,3,\dots$)

Για τη μελέτη αλλά και για την κατανόηση της παρατήρησης αυτής εξετάζουμε την περίπτωση όπου μια μεσημβρινή οπτική ακτίνα διαδίδεται μέσα σε οπτική ίνα.

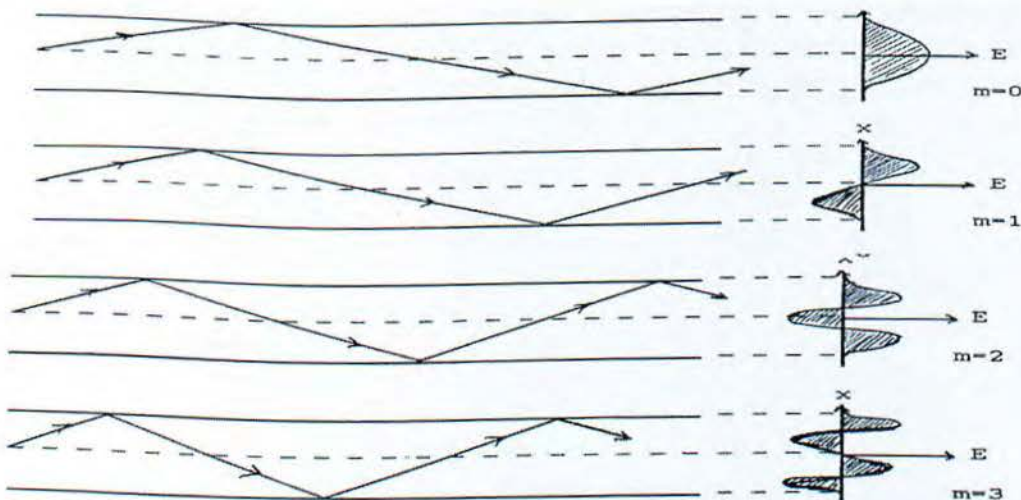


ΣΧΗΜΑ 1.10

Από την κυματική προκύπτει ότι κάθε οπτική ακτίνα μπορεί να αντιπροσωπευθεί από ένα διάνυσμα, (το κυματόνυσμα K) το οποίο συμπίπτει με τη διεύθυνση διάδοσης της ακτίνας και επιπλέον το διάνυσμα του ηλεκτρικού, αλλά και του μαγνητικού, πεδίου είναι κάθετο στο διάνυσμα K . Μπορούμε λοιπόν να αναλύσουμε το κυματόνυσμα K , (δηλαδή την οπτική ίνα), στις συνιστώσες K_z κυματόνυσμα K_x από τις οποίες η K_x αντιστοιχεί σε κύμα που διαδίδεται παράλληλα με τον άξονα ενώ η δεύτερη σε κύμα που διαδίδεται κάθετα προς τη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα – μανδύα.

Είναι προφανές ότι, τόσο οι ανακλάσεις στον μανδύα όσο και η ολική μεταβολή της φάσης της οπτικής ακτίνας εξαρτώνται από την κάθετη συνιστώσα K_x . Επίσης όπως προκύπτει και από την κυματική, αν η ολική μεταβολή μεταβολή της φάσης είναι $2m\pi$ ακτίνια, τότε στη διεύθυνση x έχουμε την δημιουργία στάσιμου κύματος του οποίου η μορφή θα εξαρτάται από την τιμή του ακέραιου m . Η σταθερή αυτή κατάσταση διάδοσης μέσα στην οπτική ίνα ισοδυναμεί με ένα ρυθμό (**mode**), η δε παράμετρος m αποτελεί την τάξη του ρυθμού αυτού.

Στο ΣΧΗΜΑ 1.11 δίνουμε την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου μιας συγκεκριμένης μεσημβρινής ακτίνας στη διεύθυνση x και στις περιπτώσεις όπου η ολική μεταβολή της φάσης μετά από δυο διαδοχικές ολικές εσωτερικές ανακλάσεις είναι $\Delta\Phi=0, 2\pi, 4\pi$ και 6π ακτίνια. Οι περιπτώσεις αυτές αντιστοιχούν στους ρυθμούς $m=0, 1, 2$, και 3 τάξης.



ΣΧΗΜΑ 1.11

Η μελέτη αλλά και η παρουσίαση των ρυθμών N για όλες τις οπτικές ακτίνες, (μεσημβρινές και μη) που διαδίδονται μέσα στην οπτική ίνα είναι αρκετά πολύπλοκη και ξεφεύγει από το σκοπό αυτού του κειμένου. Πάντως από τη μελέτη αυτή προκύπτει τελικά μια πολύ χρήσιμη ποσότητα για τις οπτικές ίνες και η οποία αναφέρεται σαν κανονικοποιημένη συχνότητα V , ή και σαν αριθμός ή τιμή V της οπτικής ίνας. Η παράμετρος αυτή δίδεται από τη σχέση:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \alpha \cdot (NA) \quad (1.18)$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \alpha \cdot n_1 \cdot \sqrt{2\Delta} \quad (1.19)$$

όπου α και n_1 είναι η ακτίνα και ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα αντίστοιχα, λ είναι τομήκος κύματος της ακτινοβολίας, NA είναι το αριθμητικό άνοιγμα της οπτικής ίνας και Δ είναι η σχετική διαφορά των δεικτών διάθλασης πυρήνα και μανδύα. Βλέπε σχέση (1.10). Όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους ο αριθμός V καθορίζει και το πλήθος των ρυθμών που μπορούν να διαδοθούν σε συγκεκριμένη οπτική ίνα.

Επίσης σε κάθε ρυθμό N αντιστοιχεί και μια γωνία πρόσπτωσης θ_N της οπτικής ακτίνας στον πυρήνα τέτοια ώστε:

$$\theta_N = \lambda \cdot \left[\frac{N + 1}{4 \cdot \alpha \cdot n_1} \right] \quad (1.20)$$

1.2 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

1.2.1 Οπτικές Ίνες Κλιμακωτού Δείκτη Διάθλασης (Step Index Fibers)

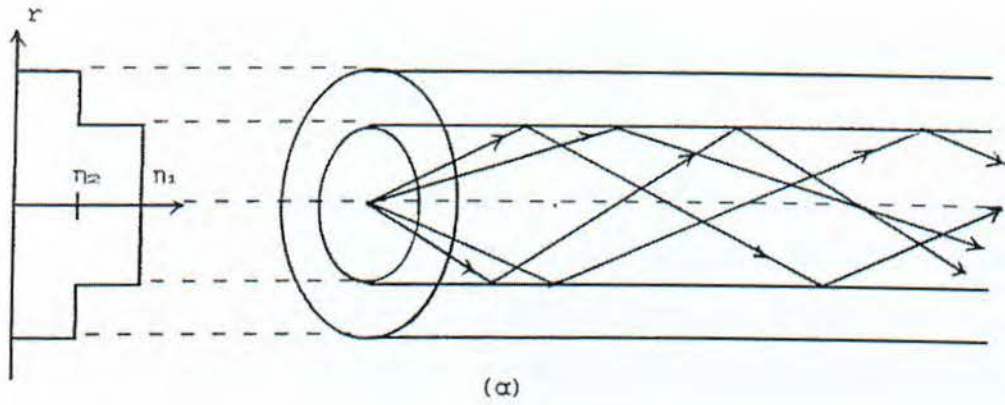
Οι οπτικές ίνες με κλιμακωτό δείκτη διάθλασης αποτελούνται από έναν πυρήνα ο οποίος σε όλη του την έκταση έχει τον ίδιο δείκτη διάθλασης n_1 και την ίδια ακτίνα α και από έναν μανδύα του οποίου ο δείκτης διάθλασης n_2 είναι μικρότερος από τον n_1 . Ο χαρακτηρισμός αυτών των ινών προήλθε από το γεγονός ότι η ακτινική κατανομή του δείκτη διάθλασης είναι μια κλιμακωτή συνάρτηση. Συγκεκριμένα:



The diagram shows a graph of refractive index $n(r)$ versus radius r . The refractive index is constant at n_1 for $r \leq \alpha$ and drops to n_2 for $r > \alpha$. The transition occurs at $r = \alpha$.

$$(1.21)$$

Ανάλογα με την ακτίνα α του πυρήνα διακρίνουμε δυο κατηγορίες οπτικών ινών με κλιμακωτό δείκτη διάθλασης. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι οπτικές ίνες πολλαπλού ρυθμού οι οποίες επιτρέπουν την διάδοση πολλών ρυθμών. (ΣΧΗΜΑ 1.12.A)



ΣΧΗΜΑ 1.12

Η ακτίνα του πυρήνα των οπτικών ινών της κατηγορίας αυτής είναι μεγαλύτερη από 25 μικρόμετρα ($a > 25 \mu\text{m}$), το δε πλήθος N των ρυθμών που διαδίδονται εξαρτάται από την παράμετρο V σύμφωνα με την προσεγγιστική σχέση:

$$N_{\text{m}} = \frac{V^2}{2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^2 \cdot (NA)^2}{2 \lambda^2} \quad (1.22)$$

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι οπτικές ίνες με κλιμακωτό δείκτη διάθλασης απλού ρυθμού οι οποίες επιτρέπουν τη διάδοση ενός μόνο ρυθμού. ΣΧΗΜΑ 1.12.B. Ο ρυθμός αυτός αντιστοιχεί σε οπτική ακτίνα που διαδίδεται παράλληλα με τον άξονα της οπτικής ίνας. Η ακτίνα του πυρήνα των οπτικών ινών της κατηγορίας αυτής είναι της τάξης 3 μm έως 5 μm ($2 \mu\text{m} < a < 5 \mu\text{m}$), το δε κριτήριο για τη διάδοση ενός μόνο ρυθμού προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$0 < V < 2.405 \quad (1.23)$$

1.2.2. Οπτικές Ίνες Βαθμιαίου Δείκτη Διάθλασης

(Graded Index Fibers)

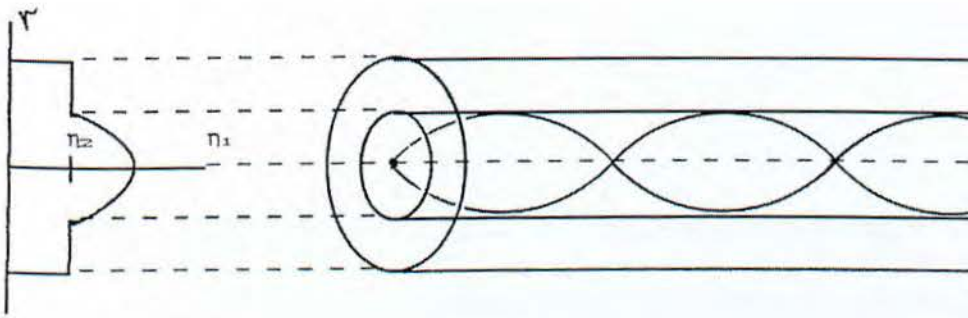
Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα των οπτικών ινών βαθμιαίου δείκτη διάθλασης είναι ότι ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα δεν είναι σταθερός, αλλά ελαττώνεται από τον άξονα προς το μανδύα. Συνήθως, η ακτινική κατανομή του δείκτη διάθλασης στους τύπους αυτούς οπτικών ινών δίνεται από τη συνάρτηση:

$$(1.24) \quad \eta(r) = \begin{cases} \eta_1 \left[1 - 2\Delta \left[\frac{r}{a} \right]^2 \right] & r \leq a \quad (\text{πυρήνας}) \\ \eta_2 = \eta_1 \left[1 - 2\Delta \right]^2 & r > a \quad (\text{μανδύας}) \end{cases}$$

όπου a είναι η ακτίνα του πυρήνα, n_1 και n_2 είναι οι δείκτες διάθλασης στον άξονα του πυρήνα και στο μανδύα, αντίστοιχα, και

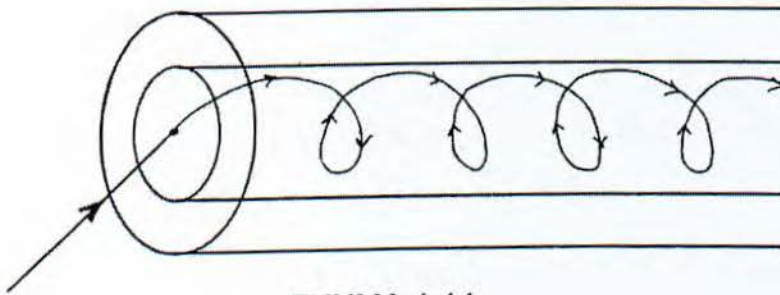
$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}.$$

Από το γεγονός ότι αλλάζει ακτινικά ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα, και δεδομένου ότι η οπτική ακτινοβολία διαδίδεται ευθύγραμμα μόνο μέσα σε ισότροπα υλικά, προκύπτει ότι η πορεία των μεσημβρινών ακτίνων μεταξύ δυο διαδοχικών ολικών εσωτερικών ανακλάσεων δεν είναι ευθύγραμμη αλλά καμπυλόγραμμη. Για την εποπτεία αυτών που ήδη αναφέραμε, δίνουμε στο ΣΧΗΜΑ 1.13 την ακτινική κατανομή του δείκτη διάθλασης του πυρήνα καθώς και την πορεία κάποιων μεσημβρινών οπτικών ακτίνων μέσα σε οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.



ΣΧΗΜΑ 1.13

Επίσης, σε αντίθεση με τις οπτικές ίνες κλιμακωτού δείκτη διάθλασης, εδώ η πορεία των μη μεσημβρινών οπτικών ακτίνων μέσα στον πυρήνα δεν είναι τεθλασμένη έλικα αλλά κανονική έλικα, (ΣΧΗΜΑ 1.14).



ΣΧΗΜΑ 1.14

Οι οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης συνήθως επιτρέπουν τη διάδοση πολλών ρυθμών των οποίων το πλήθος N_s μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$N_s = V^2/4 \quad (1.25)$$

1.3 Χαρακτηριστικές Μεταφοράς Στις Οπτικές Ίνες

(Transmission Characteristics Of Optical Fibers)

Στις παραγράφους που προηγήθηκαν αναφερθήκαμε απλά στους μηχανισμούς μεταφοράς της οπτικής ακτινοβολίας μέσα στις οπτικές ίνες. Εδώ, πρέπει να επισημάνουμε ότι η απόδοση των μηχανισμών αυτών δεν είναι 100% εξαιτίας των διαφόρων φαινομένων που αναπτύσσονται από την αλληλεπίδραση της οπτικής ακτινοβολίας με αυτή καθεαυτή την οπτική ίνα. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να είναι η απορρόφηση και η σκέδαση της ακτινοβολίας από τον πυρήνα καθώς και η διασπορά, (αλλοίωση), των σημάτων που διαδίδονται μέσα στην οπτική ίνα. Επίσης, η κάμψη της οπτικής ίνας συνοδεύεται πάντοτε με απώλειες οπτικής ισχύος. Τα φαινόμενα αυτά έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την εξασθένηση της οπτικής ακτινοβολίας.

1.3.1 Εξασθένηση

(Attenuation)

Οι ολικές απώλειες ισχύος μέσα σε μια οπτική ίνα εκφράζονται συνήθως με τον όρο εξασθένηση ανά μονάδα μήκους και μετρώνται σε decibel ανά km. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι ο όρος decibel χρησιμοποιείται για τη σύγκριση επιπέδων ισχύος. Στην περίπτωση μας, η μια ισχύς είναι η ισχύς P_1 με την οποία η οπτική ακτινοβολία εισέρχεται στην οπτική ίνα, ενώ η άλλη είναι η ισχύς P_0 της ακτινοβολίας που εξέρχεται, το δε μέτρο της σύγκρισης εισέρχεται διά την ισχύ που εξέρχεται. Συγκεκριμένα, το μέτρο A της εξασθένησης δίνεται από τη σχέση :

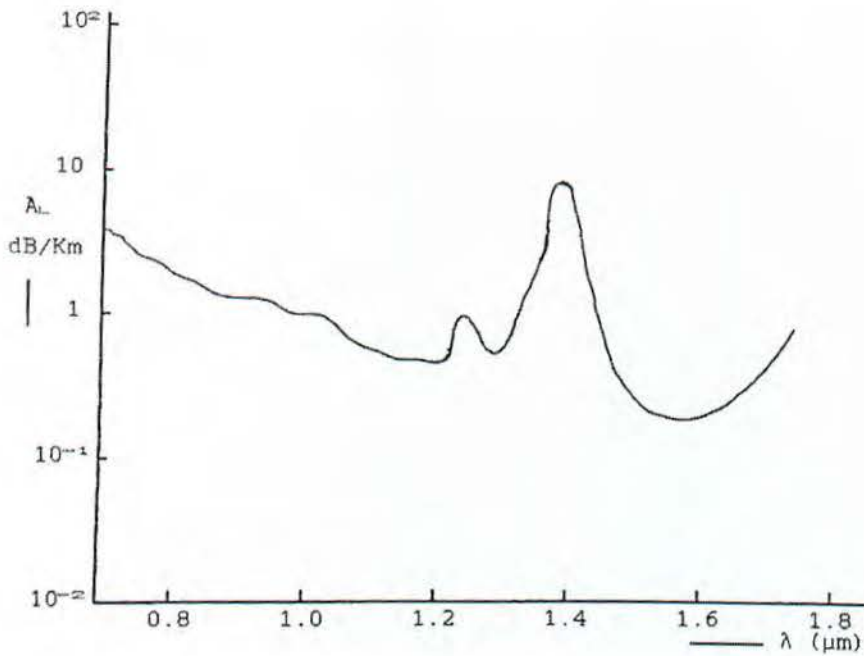
$$A = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{P_1}{P_0} \right] \quad (\text{dB}) \quad (1.26)$$

Αν η εξασθένηση αυτή προήλθε σε μήκος L της οπτικής ίνας, τότε το μέτρο A_L της εξασθένησης ανά μονάδα μήκους οπτικής ίνας θα δίνεται από τη σχέση:

$$A_L = \frac{10}{L} \cdot \log_{10} \left[\frac{P_1}{P_0} \right] \quad (\text{dB/Km}) \quad (1.27)$$

Έτσι, αν μετά από 1 km οπτικής ίνας η εξερχόμενη ισχύς είναι το ένα χιλιοστό της εισερχόμενης οπτικής ισχύος, ($P_0=0.001P_1$), τότε οι απώλειες που έχει υποστεί το διαδιδόμενο σήμα θα είναι 30 Db.

Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι η εξασθένηση ενός σήματος μέσα σε οπτική ίνα εξαρτάται δραστικά από το μήκος κύματος της οπτικής ακτινοβολίας που μεταφέρει το σήμα, (ΣΧΗΜΑ 1.15). Την εξάρτηση αυτή θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε στις παραγράφους που ακολουθούν. ΣΧΗΜΑ(1.15).



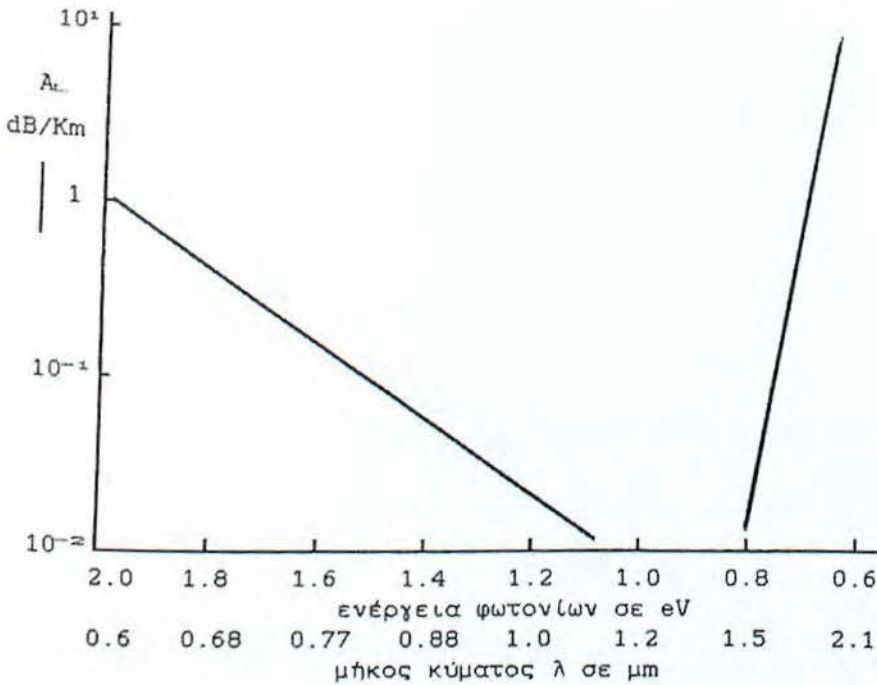
ΣΧΗΜΑ 1.15

1.3.2 Απώλειες λόγω Απορρόφησης. (Absorption losses)

Η απορρόφηση είναι ένας μηχανισμός απωλειών που σχετίζεται με το υλικό σύνθεσης και τη διαδικασία κατασκευής της οπτικής ίνας και η οποία συντελεί στο διασκορπισμό ενός μέρους της οπτικής ισχύος που μεταφέρεται. Η απορρόφηση αυτή μπορεί να οφείλεται σε αυτό καθαυτό το υλικό της οπτικής ίνας, (ενδογενής απορρόφηση), αλλά και σε ανεπιθύμητες προσμίξεις οι οποίες υπάρχουν σε πολύ μικρή συγκέντρωση μέσα στο υλικό κατασκευής της οπτικής ίνας, (εξωγενής απορρόφηση).

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, σε μια ιδανική οπτική ίνα θα συμβαίνει μόνο ενδογενής απορρόφηση της ακτινοβολίας, και μάλιστα, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε μια πολύ μεγάλη περιοχή του οπτικού φάσματος, που αρχίζει από το υπεριώδες και φθάνει μέχρι το μακρουπέρυθρο, το μέτρο της απορρόφησης αυτής εξαρτάται μόνο από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα, στη περιοχή αυτή του φάσματος έχουμε δύο κύριους μηχανισμούς ενδογενούς απορρόφησης, από τους οποίους ο ένας συμβαίνει στην περιοχή του υπεριώδους και οφείλεται κυρίως στις εξαναγκασμένες διεγέρσεις και μετακινήσεις των ηλεκτρονίων μέσα στο υλικό της οπτικής ίνας, ενώ ο άλλος μηχανισμός συμβαίνει στη περιοχή του υπέρυθρου και οφείλεται στην αλληλεπίδραση των φωτονίων με τα μόρια του υλικού της οπτικής ίνας. Για παράδειγμα, οι ενδόγενεις δομές B-O, P-O, Si-O και Ge-O απορροφούν επιλεκτικά τις ακτινοβολίες με μήκη κύματος 7.2 μm , 8.1 μm , 9.2 μm και 11 μm αντίστοιχα. Στο ΣΧΗΜΑ (1.16) δίνουμε την εξάρτηση της ενδογενούς απορρόφησης από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Παρατηρούμε ότι, στη λειτουργική φασματική περιοχή των οπτικών ίνων, (0.8 μm -1.7 μm), η απορρόφηση αυτή παρουσιάζει ελάχιστο.



ΣΧΗΜΑ 1.16

Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει στη περίπτωση της εξωγενούς απορρόφησης της οπτικής ακτινοβολίας, η οποία είναι αναπόφευκτη στις οπτικές ίνες του εμπορίου. Από την κατασκευή τους, οι ίνες αυτές περιέχουν προσμίξεις άλλων στοιχείων, κυρίως μετάλλων, οι οποίες αν και έχουν πολύ μικρή συγκέντρωση προκαλούν σχετικά μεγάλη εξωγενή απορρόφηση.

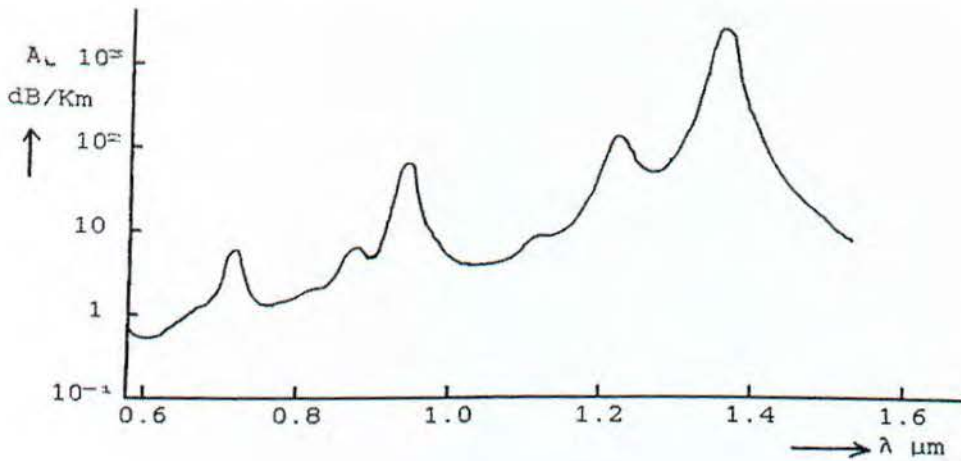
Στον πίνακα 1.1 δίνουμε τη μέγιστη εξασθένηση, (μαζί με τα αντίστοιχα μήκη κύματος), που προκαλούν τα ιόντα Cr^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} και V^{4+} όταν αυτά βρίσκονται σε συγκέντρωση 1 ιόν ανά 10^9 άτομα ή μόρια του υλικού της οπτικής ίνας.

Ιόν	λ μm	Εξασθένηση dB/Km
Cr^{3+}	0.625	1.6
Cu^{2+}	0.850	1.1
Fe^{2+}	1.1	0.68
V^{4+}	0.725	2.7

Συγκέντρωση ιόντων:
1 ιόν ανά 10^9 μόρια

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Πέρα όμως από την ύπαρξη των μεταλλικών ιόντων, μέσα στη δομή της οπτικής ίνας υπάρχουν και ιόντα OH^- τα οποία προκαλούν τοπικά μέγιστη απορρόφηση στα μήκη κύματος 0.72 μm , 0.95 μm και 1.38 μm , (ΣΧΗΜΑ 1.17).



ΣΧΗΜΑ 1.17

1.3.3 Απώλειες Λόγω Σκέδασης. (Linear Scattering Losses)

Η θεωρητική μελέτη που κάναμε στην παράγραφο 1.1.4 απέδειξε ότι το αριθμητικό άνοιγμα NA μιας οπτικής ίνας εξαρτάται μόνο από τους δείκτες διάθλασης του πυρήνα και του μανδύα. Στη πραγματικότητα όμως, πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι η παράμετρος NA σε οπτική ίνα πολλαπλού ρυθμού επηρεάζεται και από το μήκος αυτής. Έτσι, μια οπτική ίνα με μήκος 2m μπορεί να έχει $NA = 0,37$ ενώ όταν το μήκος της είναι 1Km τότε $NA = 0.3$. Το παράξενο αυτό φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι ένα μέρος της οπτικής ισχύος, η όλη η οπτική ισχύς που διαδίδεται με κάποιο ρυθμό μεταφέρεται γραμμικά σε άλλο ρυθμό διάδοσης μεγαλύτερης τάξης. Αυτό έχει σαν συνέπεια η οπτική ισχύς που διαδίδεται με το μέγιστο ρυθμό να μεταφέρεται σταδιακά στο μανδύα και όσο μεγαλώνει το μήκος της οπτικής ίνας να χάνεται από τον πυρήνα. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται γραμμική σκέδαση και έχει σαν τελικό αποτέλεσμα την εξασθένηση της οπτικής ακτινοβολίας.

Η γραμμική σκέδαση μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο τύπους. Στον πρώτο τύπο ανήκει η σκέδαση **Rayleigh** η οποία οφείλεται κυρίως σε μικρής έκτασης ανομοιογένειες του δείκτη διάθλασης και της πυκνότητας του πυρήνα της οπτικής ίνας. Η σκέδαση αυτή εκτείνεται προς όλες τις διευθύνσεις η δε παράμετρος γ_R που την εκφράζει είναι ανάλογη με το αντίστροφο της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος, δηλαδή:

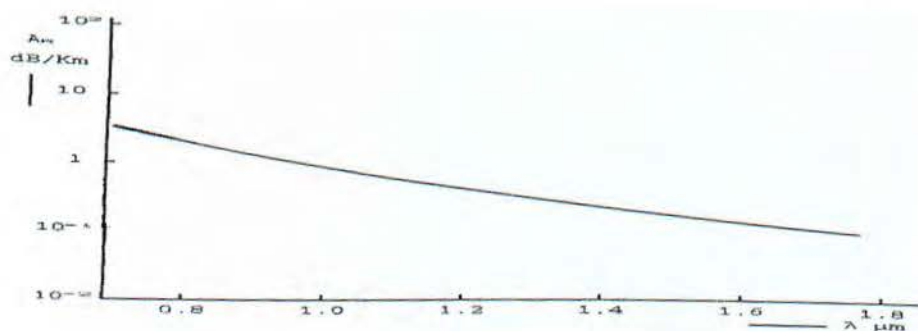
$$\gamma_R = R \cdot \frac{1}{\lambda^4} \quad (1.28)$$

όπου R είναι μια σταθερή που εξαρτάται από τη φύση του υλικού της οπτικής ίνας. Η απώλειες ανά μονάδα μήκους A_R που οφείλονται στη σκέδαση **Rayleigh** θα δίνεται από τη σχέση:

$$A_R = \frac{1}{L} \cdot \exp(-\gamma_R L) \quad (1.29)$$

Όπου L είναι το μήκος της οπτικής ίνας, (ΣΧΗΜΑ 1.18)

Ο δεύτερος τύπος σκέδασης οφείλεται κυρίως σε γεωμετρικές ανομοιογένειες στη δομή της οπτικής ίνας των οποίων οι διαστάσεις είναι της τάξης του μήκους



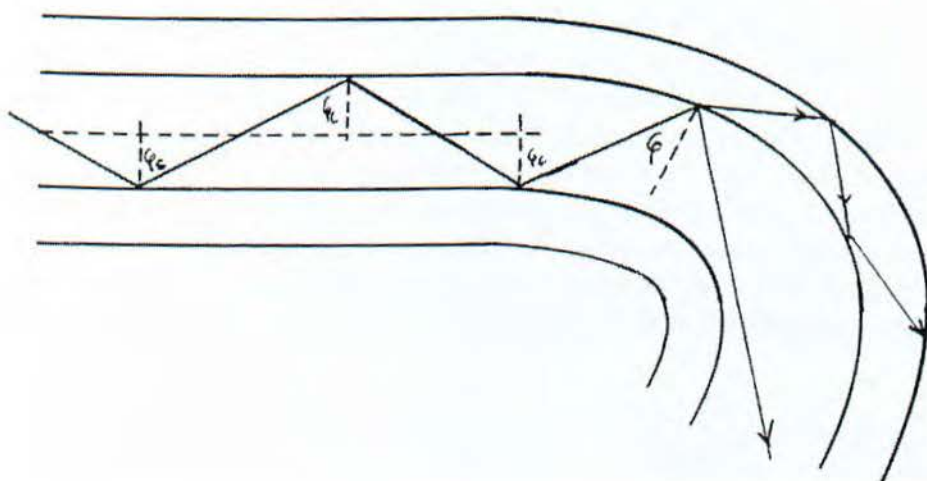
ΣΧΗΜΑ 1.18

κύματος της ακτινοβολίας που διαδίδεται. Οι ανομοιογένειες αυτές εμφανίζονται κατά μήκος της οπτικής ίνας και μπορεί να είναι διαταραχές στη διάμετρο του πυρήνα καθώς και ανωμαλίες στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα – μανδύα. Η σκέδαση που δημιουργείται κάτω από τις συνθήκες αυτές καλείται σκέδαση **Mie**.

1.3.4 Απώλειες λόγω Κάμψης της Οπτικής Ίνας (Fiber Bend Losses)

Οι απώλειες αυτές εμφανίζονται στις περιπτώσεις εκείνες όπου η οπτική ίνα εξαναγκάζεται σε κάμψη. Για την περιγραφή των απωλειών αυτών θεωρούμε μια οπτική ίνα της οποίας ένα μέρος είναι ευθύγραμμο ενώ το υπόλοιπο είναι σε κάμψη και μια μεσημβρινή οπτική ακτίνα η οποία διαδίδεται μέσα σε αυτή, (ΣΧΗΜΑ 1.19)

Παρατηρούμε ότι αν στο ευθύγραμμο τμήμα της ίνας οι γωνίες εσωτερικής ανάκλασης είναι φ_1 τότε οι γωνίες ανάκλασης στην περιοχή της κάμψης θα είναι φ_2 και μάλιστα θα ισχύει $\varphi_2 > \varphi_1$. Από την παρατήρηση αυτή προκύπτει ότι αν η γωνία φ_1 είναι πλησίον της οριακής γωνίας ολικής εσωτερικής ανάκλασης φ_c τότε στην περιοχή της κάμψης η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-μανδύα θα είναι μικρότερη από τη γωνία φ_c και ως εκ τούτου ένα μέρος της θα διαθλασθεί στο μανδύα και θα χαθεί. Με άλλα λόγια, οι μέγιστοι ρυθμοί διάδοσης σε μια οπτική ίνα πολλαπλού ρυθμού θα υφίστανται εξασθένηση στις περιοχές όπου αυτή έχει υποστεί κάμψη, και μάλιστα όσο πιο μικρή είναι η ακτίνα καμπυλότητας της ίνας τόσο πιο πολλοί ρυθμοί θα υφίστανται εξασθένηση.



ΣΧΗΜΑ 1.19

Οι ολικές απώλειες A_b λόγω κάμψης θα δίνονται από τη σχέση:

$$A_b = a \cdot \exp(-bR) \quad (1.30)$$

όπου R είναι η ακτίνα καμπυλότητας της κάμψης και a, b είναι σταθερές ανεξάρτητες του R . Οι απώλειες λόγω κάμψης γίνονται πολύ μεγάλες όταν η ακτίνα καμπυλότητα της ίνας πάρει τιμές μικρότερες από μια κρίσιμη ακτίνα R_c η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

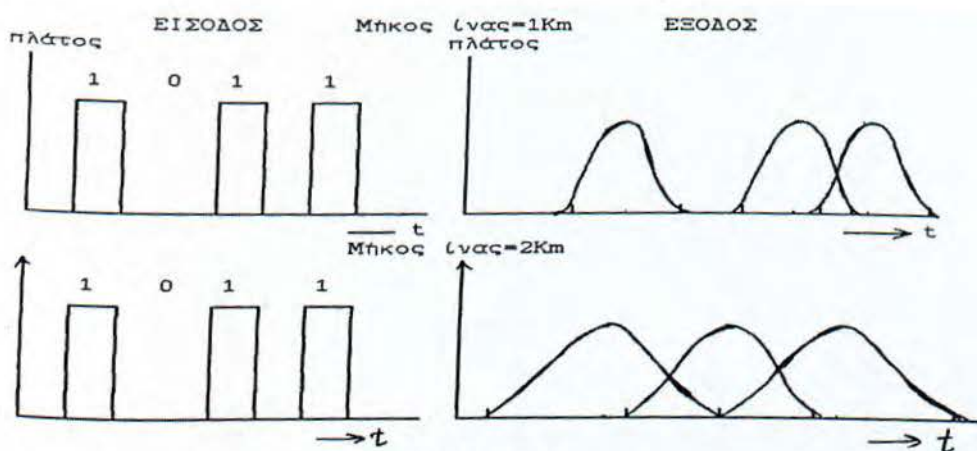
$$R_c = \frac{3n_1 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{3/2}} \quad (1.31)$$

Παρατηρούμε ότι για να ελαχιστοποιήσουμε τις απώλειες αυτής της κατηγορίας πρέπει το μήκος κύματος της ακτινοβολίας να είναι μικρό ενώ το αριθμητικό άνοιγμα $NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ να είναι μεγάλο.

1.3.5 Διασπορά Σήματος Μέσα Στις Οπτικές Ίνες (Dispersion)

Για την κατανόηση του φαινομένου της διασποράς εξετάζουμε το παρακάτω παράδειγμα. Θεωρούμε μια γυάλινη οπτική ίνα που έχει διάμετρο πυρήνα $100\mu\text{m}$ και μια οπτική ακτινοβολία που διαδίδεται μέσα σ' αυτή. Όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας σε σχέση με τη διάμετρο του πυρήνα τόσο πιο πολλοί ρυθμοί διαδίδονται μέσα στην οπτική ίνα, και μάλιστα τα μήκη των διαδρομών που διανύουν μέχρι να εξέλθουν, είναι διαφορετικά μεταξύ τους.

Πράγματι αν το μήκος της οπτικής ίνας είναι 1Km η οπτική ακτίνα που διαδίδεται παράλληλα με τον άξονα θα διανύσει διάστημα 1 Km, ενώ η οπτική ακτίνα που διαδίδεται με διαδοχικές ανακλάσεις στις οποίες η γωνία πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια είναι π,χ 85° , το συνολικό διάστημα που διανύει μέχρι να εξέλθει από την οπτική ίνα θα είναι κατά 3,8 μέτρα μεγαλύτερο. Έτσι αν στην οπτική ίνα που μελετάμε εισέλθει ένας στιγμιαίος παλμός (εύρος παλμού μηδέν sec), αυτός θα εξέλθει με εύρος 20n sec. Αν το μήκος της οπτικής ίνας είναι 2 Km το εύρος του εξερχόμενου σήματος θα είναι 40nsec. Το φαινόμενο αυτό καλείται διασπορά παλμών και είναι πολύ σημαντικό γιατί είναι δυνατό, κατά τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων να έχουμε φαινόμενα επικάλυψης ή και συμβολής δύο διαδοχικών σημάτων, (ΣΧΗΜΑ 1.20).



ΣΧΗΜΑ 1.20

Έτσι σε κάθε οπτική ίνα, ανάλογα με το μήκος της πρέπει να ορίζουμε και ένα όριο στην ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων. Στο παράδειγμα που αναφέραμε για να μην έχουμε επικάλυψη δύο διαδοχικών παλμών στην έξοδο της οπτικής ίνας πρέπει οι στιγμιαίοι παλμοί στην είσοδο να απέχουν χρονικά μεταξύ τους περισσότερο από 20n sec, όταν το μήκος της ίνας είναι 1 Km, ή περισσότερο από 40 nsec όταν το αντίστοιχο μήκος είναι 2Km. Οι χρόνοι αυτοί αντιστοιχούν σε ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων 50 Mbits/sec και 25Mbits/sec. Βέβαια πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι, επειδή οι παλμοί που εισάγονται δεν είναι ακαριαίοι, αλλά έχουν κάποιο εύρος, οι παραπάνω ρυθμοί θα είναι μικρότεροι.

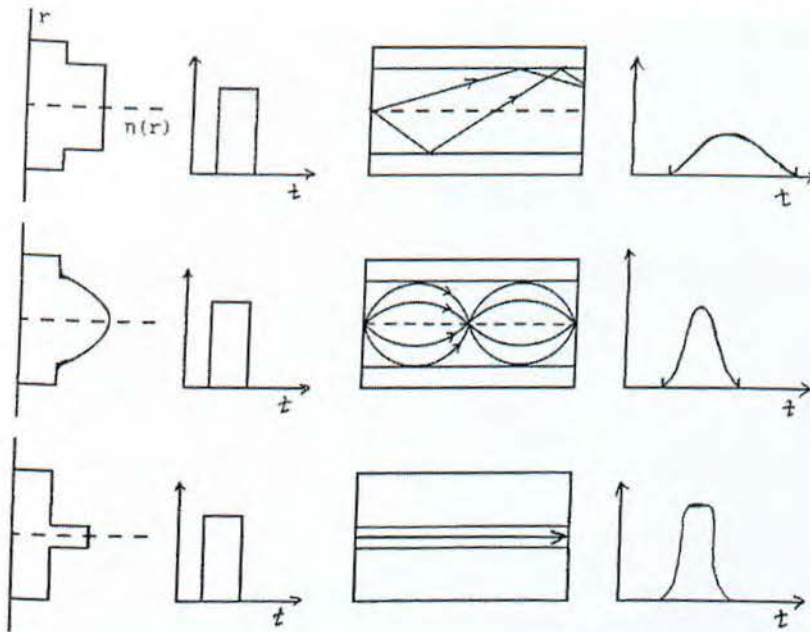
Από το παράδειγμα προκύπτει ότι το πρόβλημα της διασποράς των παλμών θα περιορίζεται στο ελάχιστο στις οπτικές ίνες με ένα μόνο ρυθμό. Στο ΣΧΗΜΑ 1.21 δίνουμε παραστατικά την έξοδο ενός συγκεκριμένου παλμικού σήματος στις περιπτώσεις όπου έχουμε οπτική ίνα κλιμακωτού δείκτη διάθλασης πολλαπλού ρυθμού, οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης πολλών ρυθμών και οπτική ίνα κλιμακωτού δείκτη διάθλασης απλού ρυθμού.

Κατανομή
Δείκτη
Διάθλασης

Είσοδος

Οπτική ίνα

Έξοδος



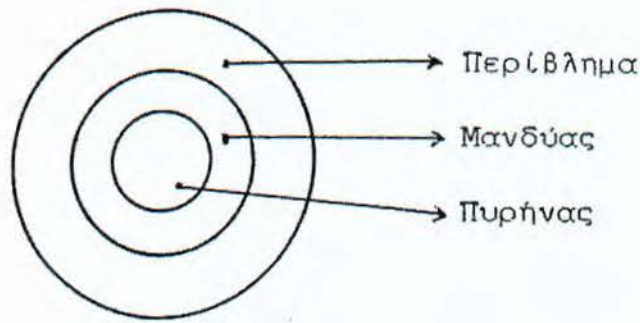
ΣΧΗΜΑ 1.21

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που κάνει τις οπτικές ίνες να διαφέρουν δραστικά από τα συμβατικά ομοαξονικά καλώδια είναι η εξασθένηση του σήματος σε σχέση με την συχνότητα του σήματος. Παρατηρούμε ότι η εξασθένηση αυτή στις οπτικές ίνες είναι και μικρή και σταθερή σε αντίθεση με τα ομοαξονικά καλώδια όπου αυτή αυξάνει απότομα.

1.4 Τεχνικά Και Λειτουργικά Στοιχεία Οπτικών Ινών

Η κατασκευή των οπτικών είναι είναι μια ακριβή και υψηλά εξιδεικευμένη διαδικασία που απαιτεί ειδικές συνιστώσεις. Το πρώτο βήμα για την κατασκευή γυάλινων οπτικών ινών είναι να κατασκευαστεί μια ράβδος από γυαλί με υψηλή καθαρότητα. Στη συνέχεια η ράβδος αυτή θερμαίνεται και έλκεται σε πολύ λεπτή ίνα ενώ παράλληλα καλύπτεται εξωτερικά με πλαστικό. Το πάχος και η σύνθεση του περιβλήματος αυτού εξαρτάται από τον τύπο της οπτικής ίνας και την εφαρμογή για την οποία προορίζεται. Πάντως το περίβλημα αυτό χρειάζεται για να προστατεύσει την οπτική ίνα από φυσικές και περιβαλλοντικές καταστροφές.

Στο ΣΧΗΜΑ 1.22 έχουμε την εγκάρσια τομή μιας οπτικής ίνας όπου φαίνονται από τα μέσα προς τα έξω ο πυρήνας, ο μανδύας και το πλαστικό προστατευτικό περίβλημα.



ΣΧΗΜΑ 1.22

1.4.1 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΛΙΜΑΚΩΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΠΟΛΛΩΝ ΡΥΘΜΩΝ.

1. ΔΟΜΗ

Διάμετρος πυρήνα	5-400 μm
Διάμετρος μανδύα	125-500 μm
Διάμετρος περιβλήματος	250-100 μm

2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οπτική πηγή	LED
Αριθμητικό άνοιγμα	0,16-0,5
Εύρος ζώνης	6-25MHz.KM
Εξασθένιση	4-40 Db/Km, (απορρόφηση)

1.4.2 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΒΑΘΜΙΑΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΠΟΛΛΩΝ ΡΥΘΜΩΝ

1. ΔΟΜΗ

Διάμετρος πυρήνα	30-100 μm (50 μm για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές)
Διάμετρος μανδύα	100-150 μm (150 μm για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές)
Διάμετρος περιβλήματος	250-1000 μm

Διάμετρος πυρήνα (μm)	Διάμετρος μανδύα (μm)	Μήκος κύματος (μm)	Απόσβεση σήματος (Db/km)	Εύρος ζώνης MHz-km	Αριθμ. Άνοιγμα (NA)	Βάρος kg/km
50	125	0,85	2,5	1000	0,2	0,7
50	125	0,85	3,0	1000	0,2	
50	125	0,85	3,0	800	0,2	
50	125	0,85	3,0	500	0,2	
50	125	0,85	3,0	200	0,2	
50	125	1,3	0,7	1000	0,2	
50	125	1,3	1,0	1000	0,2	
50	125	1,3	1,0	500	0,2	
50	125	1,3	1,0	200	0,2	
80	125	0,85	4,5	100	0,25	
100	140	0,85	4,5	100	0,25	
100	140	0,85	7,0	40	0,29	
6	125	0,85	3,0			
10	125	1,3	0,4			
10	125	1,3	0,5			

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

1.4.4 Οπτικές ίνες με πλαστικό μανδύα και κλιμακωτό δείκτη διάθλασης.

1. ΔΟΜΗ

Διάμετρος Πυρήνα	100-500μm
Διάμετρος Μανδύα	300-800μm
Διάμετρος Περιβλήματος	500-1000μm

2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οπτική Πηγή	Συνήθως LED
Αριθμητικό Άνοιγμα	0,2-0,5
Εύρος ζώνης	5-25 MHz.Km
Εξασθένιση	5-50 Db/Km

1.4.5 Οπτικές Ίνες Με Πλαστικό Μανδύα Και Βαθμιαίο Δείκτη Διάθλασης.

1. ΔΟΜΗ

Διάμετρος Πυρήνα	50-100 μm
Διάμετρος Μανδύα	125-1500 μm
Διάμετρος Περιβλήματος	250-1000 μm

2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οπτική Πηγή	Συνήθως LED
Αριθμητικό Άνοιγμα	0,2-0,3
Εύρος ζώνης	200-400 MHz.Km
Εξασθένιση	4-15 Db/Km

1.4.6 Πλαστικές Οπτικές Ίνες

1.ΔΟΜΗ

Διάμετρος Πυρήνα	200-600 μm
Διάμετρος Μανδύα	450-1000 μm

2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

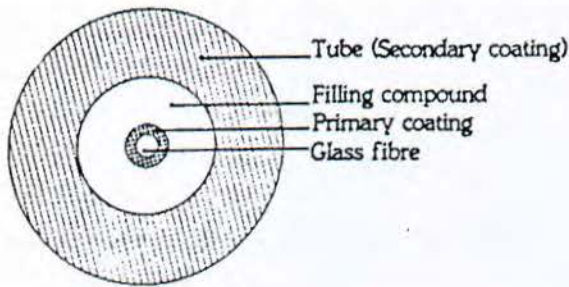
Οπτική Πηγή	Συνήθως LED	
Αριθμητικό Άνοιγμα	0,5-0,6	
Εύρος ζώνης	Δεν μπορεί να ορισθεί αφού η διάδοση μέσα στις πλαστικές ίνες περιορίζεται στις μερικές δεκάδες μέτρα.	
Εξασθένιση	150-1000 (=650nm)	Db/Km,

1.5 Καλώδια οπτικών ινών

1.5.1. Τύποι καλωδίων Οπτικών Ινών.

A. Καλώδια με Σωληνίσκο Χαλαρής Δομής

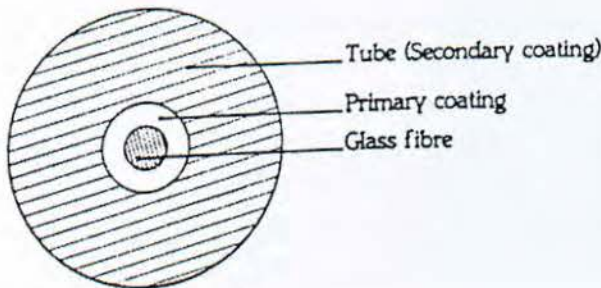
Μια ή περισσότερες οπτικές ίνες τοποθετούνται μέσα σε ένα σωληνίσκο του οποίου η εσωτερική διάμετρος είναι κατά 3 έως και 5 φορές μεγαλύτερη από την εξωτερική διάμετρο της ίνας. Ο σωληνίσκος είναι κατασκευασμένο από κατάλληλο πλαστικό υλικό ικανό να αντέχει σε δυνάμεις εφελκυσμού. Το διάκενο μεταξύ οπτικών ινών και σωληνίσκου πληρούται με ειδικό ζελλέ (jelly), για προστασία από την υγρασία. (ΣΧΗΜΑ 1.23).



ΣΧΗΜΑ 1.23

B. Καλώδιο Με Σωληνίσκο Σφικτής Δομής

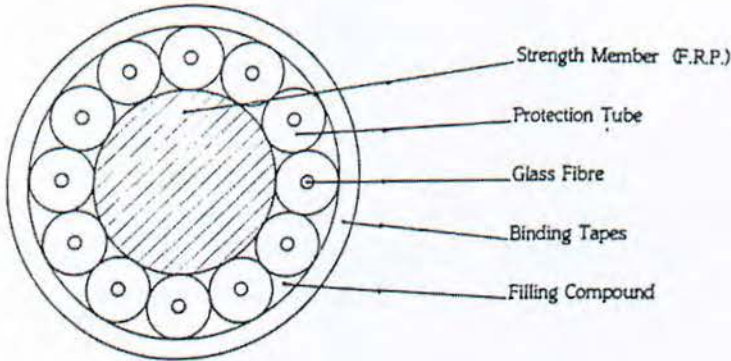
Η ίνα προστατεύεται με κατάλληλο πλαστικό υλικό το οποίο ευρίσκεται σε απ' ευθείας επαφή με την πρωτεύουσα επικάλυψη της ίνας, (ΣΧΗΜΑ 1.24)



ΣΧΗΜΑ 1.24

1.5.2 Καλωδιακός Πυρήνας

Για να σχηματισθεί ο καλωδιακός πυρήνας, οι σωληνίσκοι χαλαρής ή σφικτής δομής συστρέφονται γύρω από ένα στοιχείο μηχανικής ενίσχυσης το οποίο μπορεί να είναι χαλύβδινο σύρμα ή πλαστική ύλη ενισχυμένη με κατάλληλες ίνες, (βλέπε σχήμα 1.25). Τα διάκενα γεμίζονται με πληρωτικό μέσο, (jelly) και ο καλωδιακός πυρήνας επικαλύπτεται με κατάλληλες ταινίες για τη συγκράτησή του.



ΣΧΗΜΑ 1.25

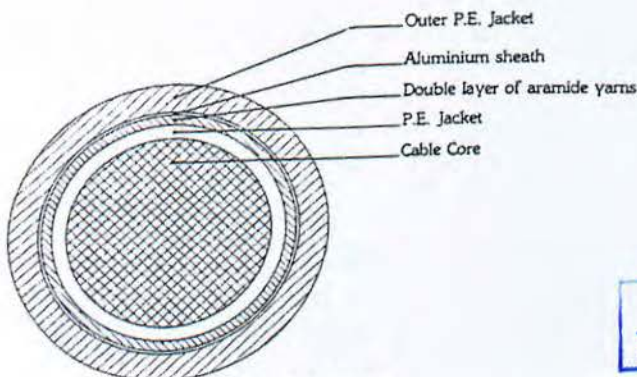
1.5.3 Προστασία Καλωδίων Οπτικών Ινών

Τα καλώδια των οπτικών ινών τοποθετούνται με διάφορους τρόπους και κατατάσσονται σε κατηγορίες όπως παρακάτω:

1. Καλώδια Σωληνώσεως.

Τα καλώδια αυτά τοποθετούνται σε σωλήνες και ο καλωδιακός τους πυρήνας έχει τις παρακάτω προστασίες (βλέπε σχήμα 1.26):

- A. Ένα πρώτο μανδύα από πολυαιθυλένιο, (PE)
- B. Μια διπλή στρώση από ίνες αραμιδής
- Γ. Ένα μανδύα από αλουμίνιο για προστασία από την υγρασία, και
- Δ. Ένα εξωτερικό μανδύα από πολυαιθυλένιο.



Σχήμα 1.26

2. Καλώδια μη μεταλλικά, (εξ ολοκλήρου διηλεκτρικά).

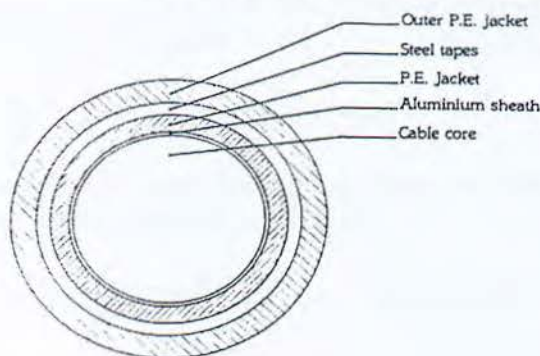
Τα καλώδια αυτά δεν έχουν μεταλλικά μέρη και χρησιμοποιούνται στις περιοχές όπου υπάρχει έντονη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, (π.χ κοντά σε γραμμές υψηλής τάσης. Ο καλωδιακός τους πυρήνας έχει τις παρακάτω προστασίες.

- A. Ενα πρώτο μανδύα από πολυαιθυλένιο
- B. Μια διπλή στρώση από ίνες αραμιδής και
- Γ. Εαν δεύτερο μανδύα από πολυαιθυλένιο.

3. Υπόγεια Καλώδια

Τα καλώδια αυτά τοποθετούνται απ' ευθείας μέσα στο έδαφος και συνήθως εγκαθίστανται στην ύπαιθρο. Ο καλωδιακός πυρήνας των υπογείων καλωδίων περιλαμβάνει τις παρακάτω προστασίες. (βλέπε σχήμα 1.27)

Σχήμα 1.27



- A. Ενα μανδύα από αλουμίνιο
- B. Ενα μανδύα από πολυαιθυλένιο
- Γ. Ίνες οι οποίες είναι εμποτισμένες με ασφαλικό υλικό
- Δ. Ενα στρώμα από χημικά με ουδέτερη ασφαλική σύνθεση
- Ε. Ταινίες από μαλακό χάλυβα, και
- Ζ. Ενα εξωτερικό μανδύα από πολυαιθυλένιο.

4. Εναέρια καλώδια

Τα καλώδια αυτά τοποθετούνται εναέρια σε κολώνες ή πύργους. Η δομή των καλωδίων αυτών είναι πορόμοια με τη δομή των καλωδίων σωλήνωσης, (βλέπε σχήμα 1.26) και περιλαμβάνουν επίσης ένα χαλύβδινο επιψευδαργυρωμένο πολύκλωνο αγωγό αυτοστήριξης ο οποίος περιβάλλεται από τον εξωτερικό μανδύα.

5.Υποβρύχια καλώδια

Τα καλώδια οπτικών ινών προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες στην ποσότητα και στην ταχύτητα μετάδοσης των πληροφοριών και επιτυγχάνουν μετάδοση του σήματος χωρίς απώλειες σε αποστάσεις 200 km περίπου χωρίς αναγεννητή, (αναμεταδότη). Για το λόγο αυτό, τα υποβρύχια καλώδια οπτικών ινών αντικαθιστούν τα καλώδια τηλεπικοινωνιών παλαιάς τεχνολογίας. Τα καλώδια αυτά κατασκευάζονται με τον παρακάτω τρόπο:

α. Μέχρι 12 οπτικές ίνες τοποθετούνται γύρω από ένα κεντρικό στέλεχος, (π.χ ατσάλινο σύρμα με επίστρωση από χαλκό), το οποίο έχει μια επένδυση από θερμοπλαστικό υλικό. Όλες οι ίνες χρωματίζονται με διαφορετικά χρώματα για την εύκολη αναγνώρισή τους.

β. Μετά, μια επένδυση από θερμοπλαστικό υλικό τοποθετείται πάνω από τις ίνες και το κεντρικό στέλεχος, έτσι ώστε να σχηματίζεται μια συμπαγή δομή η οποία αποτελεί και το καλωδιακό πυρήνα.

γ. Ο καλωδιακός σωλήνας τοποθετείται μέσα σε σωλήνα από χαλκό. Ο μανδύας αυτός χρησιμοποιείται για την προστασία του καλωδιακού πυρήνα από την υγρασία.

δ. Ο χάλκινος σωλήνας περιελύσσεται με χάλκινη ταινία.

ε. Για τη μηχανική αντοχή του καλωδιακού πυρήνα, μετά από τη χάλκινη ταινία τοποθετούνται δύο στρώσεις από ατσάλινα σύρματα.

ζ. Το προκύπτον σύστημα επενδύεται με πολυαιθυλένιο και από νήματα πολυπροπυλενίου.

η. Για περισσότερη μηχανική αντοχή του οπτικού καλωδίου, το στρώμα από πολυαιθυλένιο και πολυπροπυλένιο περιβάλλεται από ένα ή δύο στρώματα οπλισμού από γαλβανισμένα ατσάλινα σύρματα.

θ. Εξωτερικά, το υποβρύχιο οπτικό καλώδιο περιβάλλεται από νήματα πολυπροπυλενίου.

1.5.4 Κωδικοποίηση Καλωδίων Οπτικών Ινών.

Όλα τα οπτικά καλώδια που κατασκευάζονται έχουν τον ιδιαίτερο τους κωδικό αριθμό ο οποίος τυπώνεται ανά τακτά διαστήματα πάνω στο εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου. Ο κωδικός αυτός αριθμός έχει την παρακάτω μορφή:



Σχημα 1.28

Για παράδειγμα, το οπτικό καλώδιο FU6LS αντιπροσωπεύει:

- F= εταιρεία καλωδίων FULGOR
 U= υπόγειο καλώδιο
 6= 6 οπτικές ίνες
 L= σωληνίσκος χαλαρής δομής
 S= μονότροπες οπτικές ίνες

1.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους προκύπτει ότι οι οπτικές ίνες, ακόμη και σήμερα, είναι δυνατό να αποτελέσουν ένα σημαντικό ανταγωνιστή των συμβατικών καλωδίων στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται κατά πολύ παραθέτοντας σε περίληψη τα κυριότερα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών στις τηλεπικοινωνίες.

1.6.1 Μεγάλο Εύρος Ζώνης Διαμόρφωσης

Οι οπτικές ίνες είναι κυματοδηγοί της οπτικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται στην περιοχή του υπέρυθρου και με συχνότητες γύρω από τα 10^{14} Hz, (ή 10^5 GHz). Στις υψηλές αυτές συχνότητες είναι δυνατό να μεταφερθούν σήματα με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης διαμόρφωσης, (modulation bandwidth).

Συγκριτικά αναφέρουμε ότι στα συμβατικά χάλκινα καλώδια το εύρος αυτό περιορίζεται στα 100 MHz για αποστάσεις μετάδοσης μέχρι μερικά χιλιόμετρα ενώ στα συστήματα με οπτική ίνα το εύρος αυτό μπορεί να φτάσει τα 5 GHz για αποστάσεις μετάδοσης μέχρι 10 Km και σε μερικές εκατοντάδες MHz για αποστάσεις πάνω από 10 Km χωρίς ενδιάμεσους ενισχυτές σήματος.

1.6.2 Ασφάλεια Στην Μεταφορά Σημάτων

Από την φύση των οπτικών ινών αλλά και από την κατασκευή των καλωδίων οπτικών ινών προκύπτει ότι είναι αδύνατη η παρεμβολή του μεταφερόμενου οπτικού σήματος από εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς. Έτσι, σε αντίθεση με τα συμβατικά χάλκινα κλώδια η επικοινωνία με οπτικές ίνες δεν επηρεάζονται από ένα ηλεκτρικά θορυβώδες περιβάλλον. Επίσης από το γεγονός ότι η οπτική ακτινοβολία δεν εξέχεται από τον μανδύα της οπτικής ίνας προκύπτουν τα παρακάτω ενδιαφέροντα στοιχεία:

A. Σε δέσμη οπτικών ινών, το οπτικό σήμα που μεταφέρεται σε κάθε οπτική ίνα δεν επηρεάζεται από τις άλλες οπτικές ίνες.

B. Δεν υπάρχει δυνατότητα συνακρόασης

Γ. Ένα σήμα που μεταφέρεται με οπτική ίνα δεν είναι δυνατό να ανιχνευθεί από ανεπιθύμητο αποδέκτη χωρίς την απόσυρση οπτικής ενέργειας από την ίνα. Όμως, κάθε τέτοια προσπάθεια γίνεται αμέσως αντιληπτή.

Προκύπτει λοιπόν ότι οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια στην μεταφορά πληροφοριών και δεδομένων σε σχέση με τα συμβατικά χάλκινα καλώδια. Για το λόγο αυτό οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και για στρατιωτικές αλλά και τραπεζικές εφαρμογές.

1.6.3 Μικρές Απώλειες Εκπομπής Και Αξιοπιστίας Συστήματος

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν πολύ μικρή εξασθένιση στα μεταφερόμενα σήματα σε σχέση με τα καλύτερα χάλκινα καλώδια. Πράγματι σήμερα οι οπτικές ίνες που μπορούν να κατασκευαστούν παρουσιάζουν εξασθένιση μέχρι και $0,2\text{DB/Km}$. Έτσι κατά την σύνδεση με οπτικές ίνες δύο περιοχών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους απαιτούνται λιγότεροι ενδιάμεσοι ενισχυτές σήματος σε σχέση με μια συμβατική καλωδιακή σύνδεση.

Η δυνατότητα αυτή προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

A. Δεν αλλοιώνεται πολύ το μεταφερόμενο σήμα από τις συνεχείς ενδιάμεσες ενισχύσεις. Με τους λιγότερους ενδιάμεσους ενισχυτές, η αξιοπιστία του σήματος αυξάνεται σε σχέση με τα συμβατικά χάλκινα καλώδια.

B. Ελαττώνεται το κόστος και η πολυπλοκότητα του συστήματος.

Οι δυνατότητες αυτές σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η αξιοπιστία των οπτικών εξαρτημάτων παραμένει ίδια για χρονική διάρκεια 20-30 χρόνων κάνουν τα συστήματα οπτικών ινών ένα προσιτό και αξιόπιστο τηλεπικοινωνιακό σύστημα.

1.6.4 Μικρό Μέγεθος Και Βάρος

Η διάμετρος των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται συνήθως στις τηλεπικοινωνίες δεν είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Γι' αυτό ακόμα και όταν οι ίνες αυτές καλύπτονται από τα προστατευτικά πλαστικά ή άλλα περιβλήματα, το καλώδιο που προκύπτει έχει μικρότερη διάμετρο αλλά και βάρος από τα αντίστοιχα χάλκινα καλώδια.

Επίσης τα καλώδια οπτικών ινών είναι ευλύγιστα, συμπαγή και ανθεκτικά. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω πλεονεκτήματα τα καλώδια οπτικών ινών είναι γενικά περισσότερο προσιτά σε συνθήκες αποθήκευσης μεταφοράς χειρισμού και εγκατάστασης από ότι τα συμβατικά χάλκινα καλώδια.

Για να γίνει αντιληπτό το πλεονέκτημα αυτό αναφέρουμε το εξής χαρακτηριστικό παράδειγμα:

Ένα ζεύγος οπτικών ινών εξυπηρετεί 1920 κυκλώματα. Κατά συνεπεία ένα καλώδιο με 12 ζεύγη οπτικών ινών εξυπηρετεί 23040 κυκλώματα. Το καλώδιο αυτό έχει διάμετρο 22mm. Ζυγίζει 0,5 kg/m και κοστίζει περίπου 1500 δρχ/m.

Αντίθετα, ένα χάλκινο καλώδιο με τις ίδιες ακριβώς απαιτήσεις έχει πολύ μεγαλύτερη διάμετρο, ζυγίζει περίπου 90 KGR/M και κοστίζει 76000 δραχμές /m.

1.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Σήμερα, οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας. Στην παράγραφο αυτή αναφέρουμε μερικές γενικές και ειδικές χρήσεις των οπτικών ινών:

1. ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Το μεγάλο εύρος ζώνης και η χαμηλή απόσβεση σήματος που παρέχουν οι οπτικές ίνες δίνουν σε αυτές μεγάλη ευελιξία στη μετάδοση σημάτων καθώς επίσης και τη δυνατότητα χρήσης μεγάλων μηκών καλωδίων οπτικών ινών, (περίπου 200km) χωρίς ενδιάμεσες αναγεννητικές βαθμίδες σήματος. Επίσης, το μικρό μέγεθος των καλωδίων αυτών διευκολύνει σε περιπτώσεις όπου υπάρχει πρόβλημα χώρου.

2. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην εφαρμογή αυτή, απαιτούνται ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και λιγότεροι περιορισμοί στην απόσταση που μπορούν να τοποθετηθούν οι υπολογιστές και οι περιφερειακές τους συσκευές. Οι οπτικές ίνες με το μεγάλο εύρος ζώνης και τις χαμηλές αποσβέσεις ικανοποιούν πλήρως αυτές τις απαιτήσεις.

3. ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Η αυξημένη ασφάλεια που παρέχουν τα καλώδια οπτικών ινών σε περίπτωση υποκλοπής αποτελεί και το κύριο προσόν για τις στρατιωτικές εφαρμογές. Επίσης, το μικρό βάρος, το μεγάλο εύρος ζώνης, η χαμηλή απόσβεση και η δυνατότητα των οπτικών ινών να λειτουργούν σε δύσκολες συνθήκες καθιστούν αυτές ιδανικές για να χρησιμοποιούνται σε αεροπλάνα, στρατιωτικά οχήματα, πολεμικά πλοία, πυραύλους κ.λ.π.

4.ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ, (I.S.D.N)

Η μεγάλη δυνατότητα μετάδοσης σημάτων μέσα από οπτικές ίνες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση οπτικών δικτύων ευρείας ζώνης ικανών να μεταδίδουν τα σήματα όλων των υπάρχοντων και των μελλοντικών υπηρεσιών επικοινωνιών διαμέσου μιας μόνο οπτικής συνδρομητικής γραμμής. Οι υπηρεσίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν:

- I. Τηλεφωνικές υπηρεσίες
- II. Οπτικές απεικονίσεις
- III. Καταγραφή στοιχείων
- IV. Τλεφωνική συνδιάλεξη με έγχρωμη εικόνα
- V. Καλωδιακή τηλεόραση
- VI. Στερεοφωνικά προγράμματα
- VII. Τέλεξ και FAX
- VIII. Μετάδοση δεδομένων

5.ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται στην ιατρική με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η χρήση ινών με μεγάλη διάμετρο πυρήνα για ενδοσκοπήσεις στο ανθρώπινο σώμα με την μετάδοση οπτικών σημάτων.

6. ΑΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Εκτός από τις εφαρμογές που αναφέραμε παραπάνω, οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε:

- I. Συστήματα ελέγχου, διεύθυνσης δικτύων παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
- II. Κτίρια, οικίες για συστήματα ασφαλείας με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης
- III. Συσκευές και όργανα σαν ειδικά αισθητήρια (π.χ πίεσης, θερμοκρασίας, μαγνητικού πεδίου, ηλεκτρικού ρεύματος, ραδιενέργειας κ.τ.λ)
- IV. Συσκευές μετάδοσης σημάτων ηλεκτρονικών οργάνων
- V. Συστήματα ελέγχου αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρόμων, αεροπλάνα, πλοία, αυτοκίνητα, σιδηροδρόμους και άλλα οχήματα.



2. ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Συνηθισμένες πηγές φωτός, όπως π.χ. νηματικοί λαμπτήρες ή λαμπτήρες εκφόρτισης αερίου είναι ακατάλληλοι για οπτικές επικοινωνίες. Αυτές είναι πολύ μεγάλες, όχι αρκετά φωτεινές, και το φως τους δεν μπορεί να ζευχθεί ικανοποιητικά μέσα στο λεπτό γυαλί των οπτικών ινών. Ένα άλλο γεγονός εξ ίσου σπουδαίο είναι ότι οι συνηθισμένες φωτεινές πηγές δεν μπορούν να διαμορφωθούν σε ένα αρκετά γρήγορο ρυθμό. Είναι γενικά συνάρτηση της πηγής ακτινοβολίας σ' ένα οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα να εκπέμπει ένα ισχυρό μονοχρωματικό φως με την, μεγαλύτερη δυνατή αποδοτικότητα. Επιπλέον η πηγή πρέπει να είναι στην τάξη μεγέθους των διαστάσεων της οπτικής ίνας και το μήκος κύματος πρέπει να αντιστοιχεί σε περιοχές εκπομπής χαμηλής εξασθένησης της γυάλινης οπτικής ίνας. Από την άποψη αυτών των απαιτήσεων οι μοναδικές πηγές οπτικής ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται είναι ημιαγωγοί, η φωτοδίοδος εκπομπός (**LED**) και η δίοδος **LASER (LD)**.

Τα **LEDS** γενικά χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα με εύρος ζώνης μέχρι 30 MHz το ανώτερο. Οι δίοδοι **LASER** χρησιμοποιούνται για τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων ή ζεύξεις με μεγάλα εύρη ζώνης.

Ρυθμοί διαμόρφωσης που μπορούν να επιτευχθούν είναι πάνω από 1Gbit/sec. Με οπτικές πηγές ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι η δημιουργούμενη ακτινική ισχύς μέσα στην πηγή θα πρέπει να ζευχθεί μέσα στο γυαλίτης οπτικής ίνας με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες. Υπάρχουν σ' αυτό το σημείο διαφορές μεταξύ **LEDS** και **LDS**.

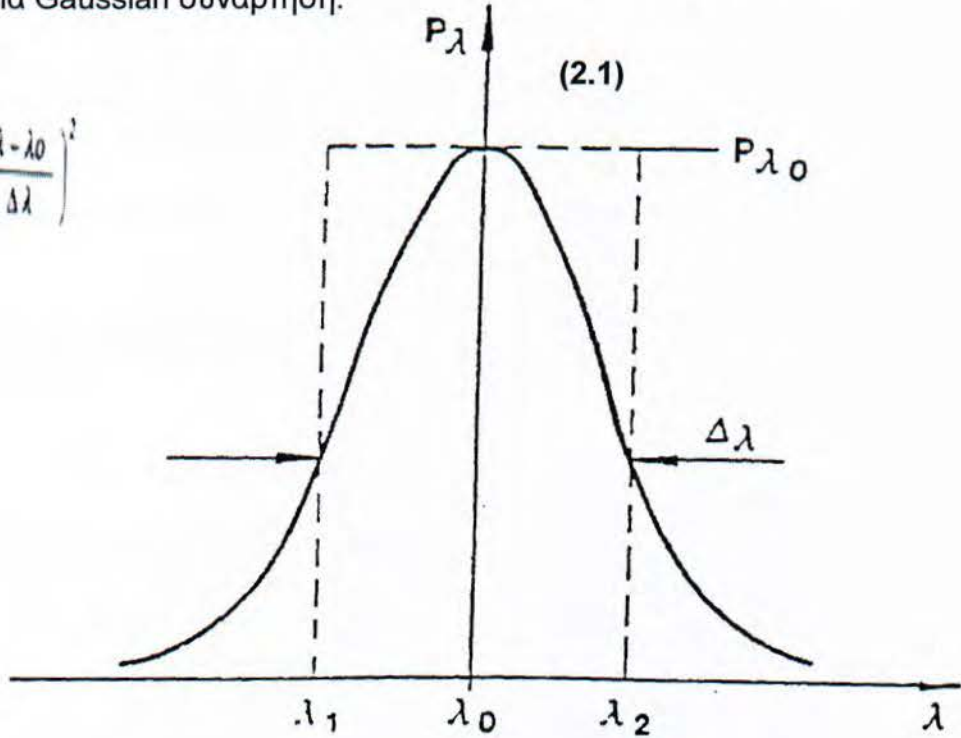
Όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, οι ιδιότητες της πηγής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με εκείνες των οπτικών ινών έχουν μία σημαντική επίδραση στην εκπομπή του σήματος. Οι διαφορές βρίσκονται στις στατικές παραμέτρους (φασματική ακτινική ροή, γεωμετρική κατανομή ακτινοβολίας) και στις δυναμικές ιδιότητες (ικανότητα να διαμορφωθεί).

2.2 ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

2.2.1 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Μία LED έχει μία συνεχή κατανομή ισχύος που μπορεί να καθορισθεί προσεγγιστικά από μία Gaussian συνάρτηση.

$$P_{\lambda} = P_{\lambda_0} \cdot e^{-\pi \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\Delta\lambda} \right)^2}$$



ΣΧΗΜΑ 2.1

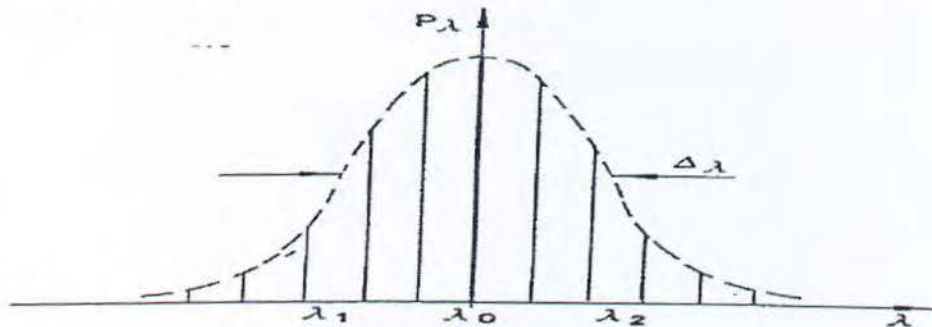
Αυτή η κατανομή ισχύος, η οποία έχει ένα μέγιστο στο μήκος κύματος λ_0 (μήκος κύματος λειτουργίας), χαρακτηρίζεται από ένα εύρος ζώνης $\Delta\lambda$. Που αντιστοιχεί σ' ένα εύρος ορθογωνίου ίσου εμβαδού (ΣΧΗΜΑ 2.1).

Τυπικές τιμές για LED είναι της τάξεως $\Delta\lambda = 30 - 40$ nm.

Η φασματική ακτινική ροή των διόδων laser είναι βασικά διαφορετική.

Οι δίοδοι lasers έχουν οξυτάτες δέσμες περιοχών σε μήκη κύματος στις οποίες αφήνουν την ισχύ τους (ΣΧΗΜΑ 2.2).

ΣΧΗΜΑ 2.2



Η ένταση των ξεχωριστών περιοχών συγκέντρωσης της ακτινοβολίας φράσσεται από ένα περίβλημα, που μπορεί ξανά να περιγραφεί από την εξίσωση 2.1. Εν τούτοις, το εύρος ζώνης $\Delta\lambda$ αυτού του περιβλήματος είναι πάρα πολύ μικρό για ένα laser απ' ό,τι για μία LED. Αυτό είναι της τάξεως $\Delta\lambda = 1-3$ nm και εξαρτάται από την ακτινική ισχύ.

2.2.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Οι τύποι των χρησιμοποιούμενων LEDS είναι εκπομποί – επιφάνειας και εκπομποί – παρυφής (άκρης). Η διαφορά τους βρίσκεται στην δομική κατασκευή και τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας. Οι απλούστερες γεωμετρικές κατανομές της ακτινικής ισχύος, που καθορίζονται από τις παραμέτρους μακρινού πεδίου, κοντινού πεδίου και πυκνότητα ακτινοβολίας, λαμβάνονται με ένα LED με επιφανειακή εκπομπή. Αυτό το LED αντιστοιχεί σε ένα ακτινοβολητή **Labert**, με άλλα λόγια η ακτινική ένταση είναι σταθερή και έτσι ανεξάρτητη της στερεάς γωνίας και του εμβαδού.

$$L(\Omega, A) = L_0 = \text{σταθ.} \quad (2.2)$$

Υποθέτοντας μία κυκλική επιφάνεια ακτινοβολίας με μία ακτίνα r_s , η κατανομή του μακρινού πεδίου μπορεί να υπολογισθεί ως ακολούθως:

$$I = \int L_0 \cdot \cos\gamma \cdot dA = L_0 \cdot \cos\gamma \int dA = L_0 \cdot \pi r_s^2 \cdot \cos\gamma \quad (2.3)$$

Με ένα σύντομο τύπο αυτή μπορεί να γραφεί:

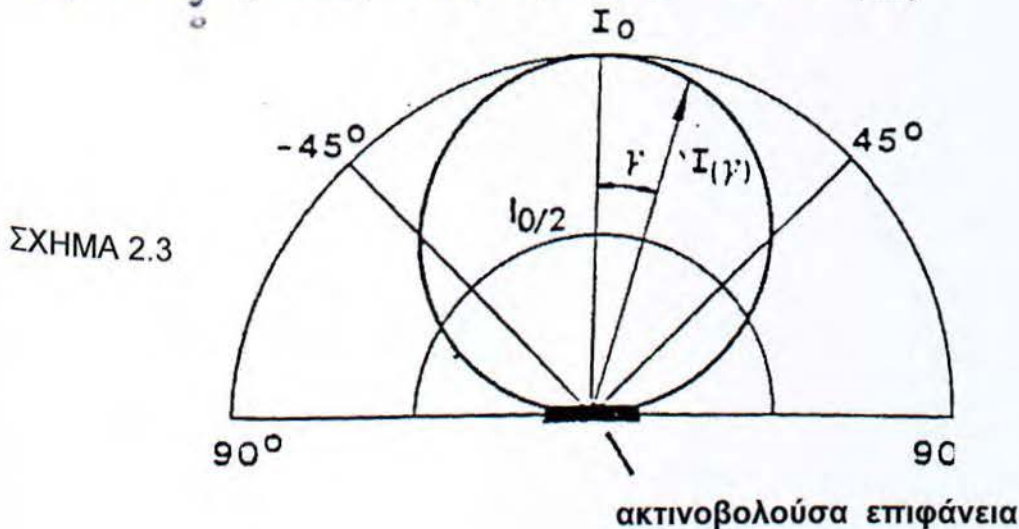
$$\text{όπου} \quad I = I_0 \cdot \cos\gamma \quad (2.4)$$

$$I_0 = L_0 \cdot \pi r_s^2 \quad (2.5)$$

Συχνά χρησιμοποιείται ένα πολικό σύστημα συντεταγμένων για την γραφική παράσταση της ανωτέρω σχέσης 4.4 μεταξύ της ακτινικής έντασης I και της γωνίας γ μεταξύ διεύθυνσης ακτινοβολίας και καθέτου στην επιφάνεια. Αυτή η παράσταση λέγεται διάγραμμα ακτινοβολίας (ΣΧΗΜΑ 1.3).

Είναι γνωστή η εξίσωση, απ' όπου η κατανομή του κοντινού πεδίου εξασφαλίζεται με ολοκλήρωμα πάνω στην στερεά γωνία του ημισφαιρίου σαν :

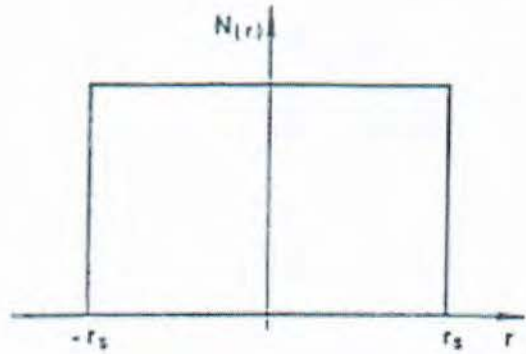
$$N_{(A)} = 2\pi \int_0^{\pi/2} L_0 \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma \cdot d\gamma = \pi L_0 = \text{σταθ} \quad (4.6)$$



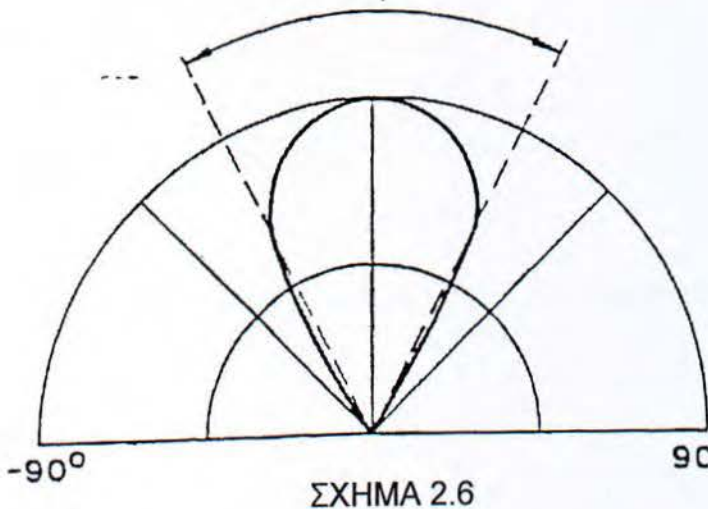
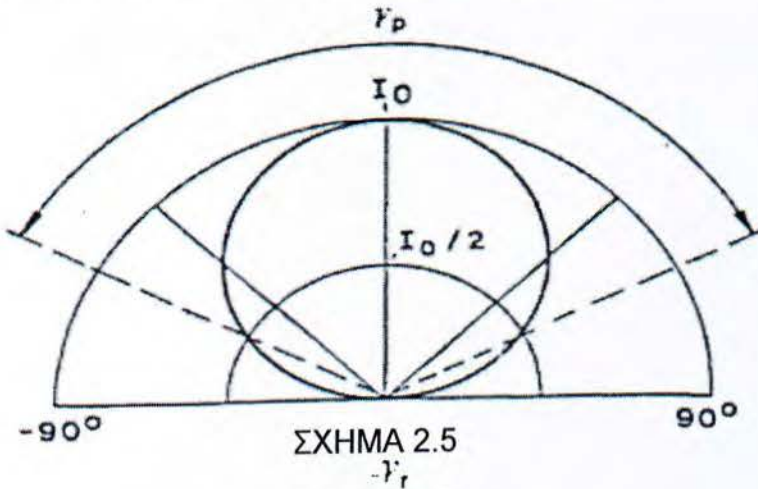
Αν θέλουμε να δούμε την κατανομή κοντινού πεδίου σε απόσταση μιας ακτίνας r_s , δηλαδή στην επιφάνεια του **LED**, η καμπύλη φαίνεται στο παρακάτω (ΣΧΗΜΑ 2.4) Ένα μειονέκτημα των **LEDs** εκπομπών – επιφάνειας είναι η πλατειά κλίμακα γωνιών πάνω από τις οποίες η ισχύς ακτινοβολείται.

Αποτέλεσμα αυτού είναι, όταν η ακτινοβολία εισέρχεται μέσα στην οπτική ίνα, το μεγαλύτερο μέρος της ακτινικής ισχύος του **LED** χάνεται. Για να υπερνικήσουμε αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιούμε φακούς για να συγκεντρώσουμε την ακτινοβολία και έτσι μειώνουμε τις απώλειες λόγω ζεύξης.

ΣΧΗΜΑ 2.4



Λόγω της διαφορετικής κατασκευαστικής δομής των **LEDs** που εκπέμπουν από την παρυφή (κορυφή) και των διόδων, οι κατανομές ακτινοβολίας δεν έχουν περιστροφική συμμετρία. Με αυτές τις πηγές ακτινοβολίας οι κατανομές σε επίπεδα παράλληλα και κάθετα με το p-n στρώμα διαφέρουν ριζικά.

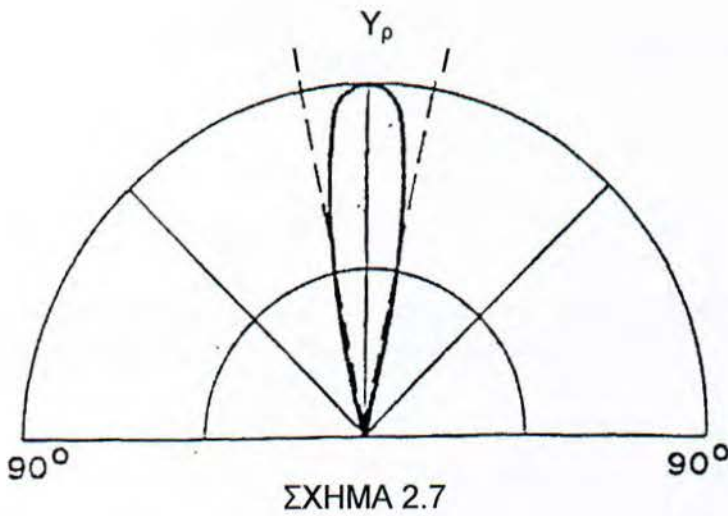


Το (ΣΧΗΜΑ 2.5) δείχνει την κατανομή ακτινοβολίας παράλληλα με το p-n στρώμα και το (ΣΧΗΜΑ 2.6) κάθετα προς το p-n στρώμα.

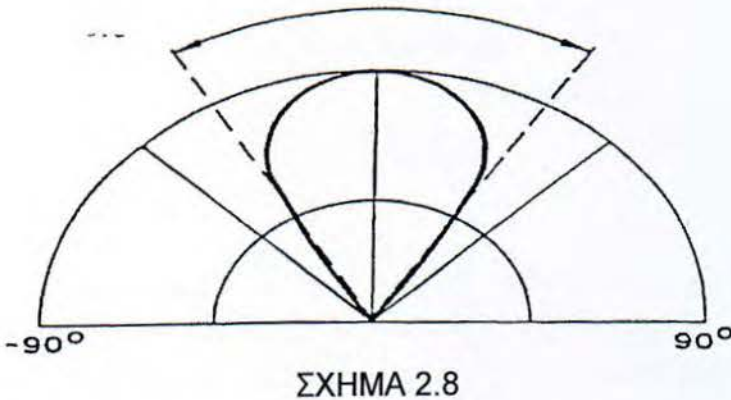
Τα διαγράμματα μπορούν να χαρακτηρισθούν από τις γωνίες του ανοίγματος γ_p και γ_r , σε κάθε μία από τις οποίες η ακτινική ένταση έχει πέσει στο μισό της τιμής της. Οι τιμές για εκπομπους – κορυφης LEDS είναι:

$\gamma_p=120^\circ$ και $\gamma_r=30^\circ$

Τα σχήματα 2.7 και 2.8 δείχνουν τα διαγράμματα ακτινοβολίας των δύο επιπέδων για μία δίοδο Laser αντιστοίχως παράλληλα και κάθετα προς το ενεργό στρώμα p-n.



γ_r



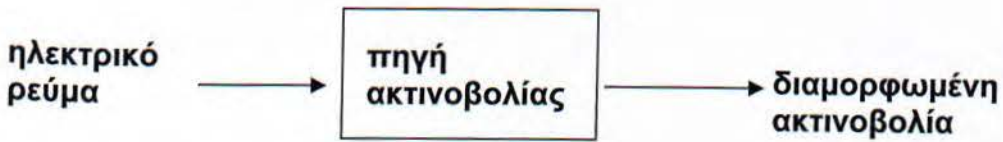
Τυπικές τιμές ημίσειας γωνίας για διοδικό Laser είναι:

$\gamma_p= 10-25^\circ$ και $\gamma_r=30-5$

2.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Υπάρχουν δύο διακριτοί τύποι οπτικής διαμόρφωσης :

- 1) Κατευθείαν διαμόρφωση από το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από την ακτινοβολία (2.9).



ΣΧΗΜΑ 2.9

- 2) Έμμεση διαμόρφωση με την επίδραση ενός εξωτερικού οπτικού διαμορφωτή που ελέγχεται από ένα ηλεκτρικό σήμα



ΣΧΗΜΑ 2.10

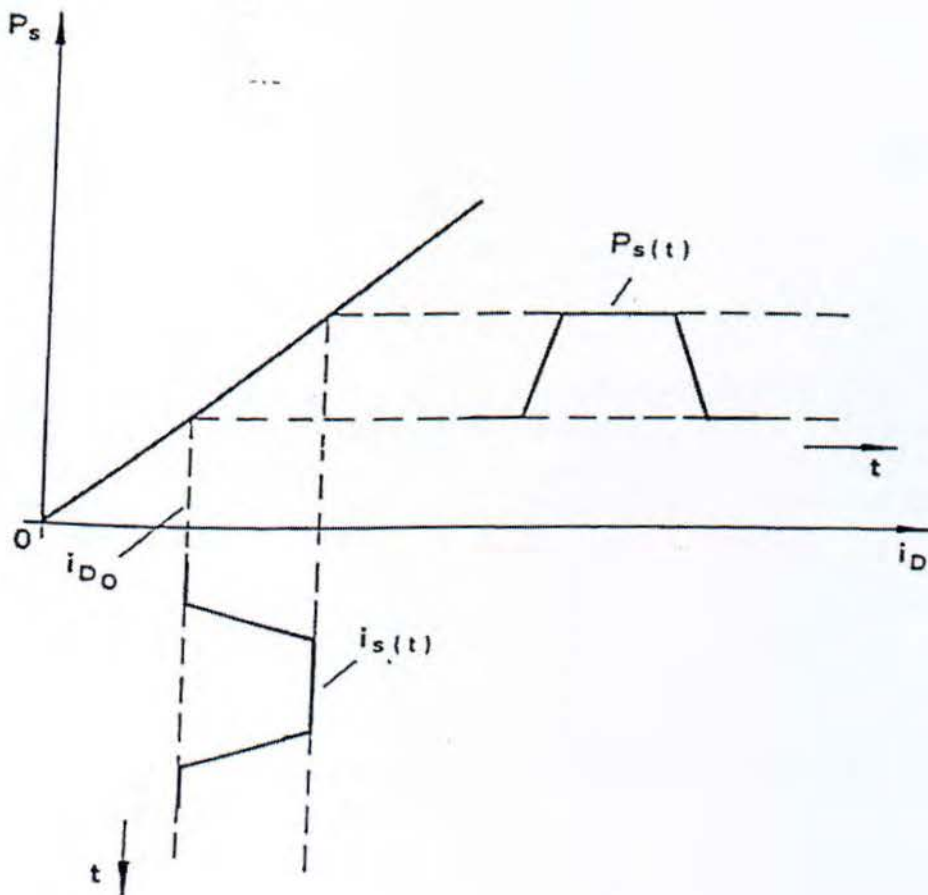
Για έμμεση διαμόρφωση χρησιμοποιούνται κρύσταλοι που εκμεταλλεύονται το ηλεκτροοπτικό φαινόμενο. Για κατευθείαν διαμόρφωση χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί δίοδοι στις οποίες ρεύμα ελέγχει την ακτινική ισχύ. Η κατευθείαν διαμόρφωση ισχύος είναι επίσης γνωστή σαν διαμόρφωση έντασης (IM), και είναι η πλέον γνωστή τεχνική που χρησιμοποιείται και θα εμβαθύνουμε σ' αυτή παρακάτω. Αφού οι ιδιότητες διαμόρφωσης της πηγής ακτινοβολίας εξαρτώνται από συχνότητα, θα εμβαθύνουμε πρώτα με τις ιδιότητες στις χαμηλές συχνότητες, που περιγράφονται από τις στατικές χαρακτηριστικές διαμόρφωση.

2.3.1 ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η στατική χαρακτηριστική διαμόρφωσης μιας διαμορφωμένης ισχύος ακτινοβολίας ενός ημιαγωγού περιγράφεται από την σχέση μεταξύ της εκπεμπόμενης ακτινικής ισχύος P_s και του ρεύματος I_D . Αυτό το ρεύμα δημιουργείται από δύο άλλα ρεύματα, ένα ρεύμα βάσης I_{D0} ανεξάρτητο του χρόνου και μία συνιστώσα εναλλασσόμενου ρεύματος $I_s(t)$. Το ΣΧΗΜΑ 4.11 δείχνει αυτή την σχέση για μία LED και απεικονίζει το φαινόμενο της διαμόρφωσης στις χαμηλότερες συχνότητες σημάτων.

Η χαρακτηριστική ακολουθεί λίγο ή πολύ γραμμική συμπεριφορά από μηδενικό σημείο και εξακολουθεί να είναι γραμμική ακόμη και για υψηλότερα ρεύματα που φθάνουν.

Αν το ρεύμα ελέγχου πάνω από το ρεύμα βάσης I_{D0} διαμορφώνεται από ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, η ακτινική ισχύς P_s της διόδου, μεταβάλλεται ανάλογα με το σήμα ελέγχου. Η ευαισθησία διαμόρφωσης δίνεται από την σχέση (2.7)



ΣΧΗΜΑ 2.11

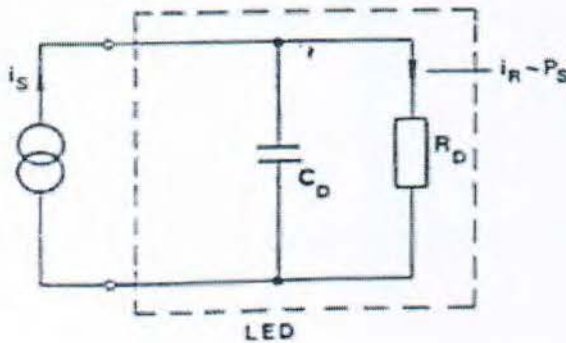
$$S_s = \left(\frac{dP_s}{di_s} \right)_{i_{s0}} \quad (2.7)$$

Η μεταβολή της ακτινικής ισχύος με τον χρόνο μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$P_s(t) = S_s \cdot i_s(t) \quad (2.8)$$

2.3.2 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Όταν η πηγή ακτινοβολίας οδηγείται με ρεύματα υψηλότερης συχνότητας, η στατική χαρακτηριστική της διαμόρφωσης συνεχίζεται η ίδια. Η ευαισθησία της διαμόρφωσης S_s αντικαθίσταται με μία συνάρτηση εξαρτώμενη από την συχνότητα $S_s(f)$. Το ισοδύναμο κύκλωμα μικρών σημάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και χρησιμοποιείται για να καθορίσουμε την συνάρτηση αυτή.



ΣΧΗΜΑ 2.12

Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας **LED** φτιάχθηκε προφανώς από μία χωρητικότητα διάχυσης C_D και μία αντίσταση R_D παράλληλα. Αυτό το δίκτυωμα οδηγείται από το σήμα του ρεύματος i_s . Η ευαισθησία της διαμόρφωσης εξαρτώμενη από την συχνότητα λαμβάνεται από την συνάρτηση συχνότητας ανάλογη με την εξίσωση (2.8).

$$P_s(f) = S_s(f) \cdot i_s(f) \quad (2.9)$$

Αφού η ακτινική ισχύς καθορίζεται μόνο από την ροή ρεύματος στην αντίσταση R_D , μπορούμε επίσης να γράψουμε:

$$P_s(f) = S_s \cdot i_R(f) \quad (2.10)$$

Για το $i_R(f)$ έχουμε :

$$i_{R(f)} = \frac{i_{S(f)}}{1 + jf \cdot 2\pi R_D C_D} = \frac{i_{S(f)}}{1 + j\left(\frac{f}{f_c}\right)} \quad (2.11)$$

όπου

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_D C_D}$$

Από τις εξισώσεις (2.10), (2.11) και (2.11) παίρνουμε:

$$S_{s(f)} = \frac{S_S}{1 + j\left(\frac{f}{f_c}\right)} \quad (2.12)$$

στην οποία το S_S εισάγεται από την εξίσωση (2.7).

Η κανονικοποιημένη συνάρτηση λαμβάνεται διαιρώντας την $S_{s(f)}$ με S_S οπότε:

$$S_c = \left| \frac{S_{s(f)}}{S_S} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}} \quad (2.13)$$

Η χαρακτηριστική καμπύλη φαίνεται στο (ΣΧΗΜΑ 2.13)



ΣΧΗΜΑ 2.13

2.4 ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΗΓΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

Αν η πηγή ακτινοβολίας συνδέεται με μία οπτική ίνα, συνήθως μόνο μέρος της εκπεμπόμενης ακτινικής ισχύος θα εισέλθει στην οπτική ίνα,

Όταν εγκαθιστούμε ένα οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα, είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε την ακτινική ισχύ που εισέρχεται στην οπτική ίνα, αρκετά αξιόπιστα, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις που μπορούν να καλυφθούν. Προσθετικές διαδικασίες επίσης γίνονται, όπως με την χρήση φακών για να αυξήσουμε το κλάσμα της ακτινικής ισχύος που εισέρχεται στην οπτική ίνα.

Μία χρήσιμη παράμετρος σ' αυτή την σύνδεση είναι ο βαθμός ζεύξης που ήδη έχει εισαχθεί και που καθορίζεται σαν η σχέση μεταξύ της ακτινικής ισχύος P_1 που εισέρχεται στην οπτική ίνα και της ολικής ακτινικής ισχύος P_s :

$$n = \frac{P_1}{P_s} \quad (2.14)$$

Μία παράμετρος που συχνά χρησιμοποιείται αντί του βαθμού ζεύξης είναι η εξασθένιση ζεύξης, που καθορίζεται ως ακολούθως:

$$\alpha_{KS} = 10 \log \frac{1}{n} \text{ (db)} \quad (2.15)$$

Ακριβής υπολογισμός του βαθμού ζεύξης γίνεται με πολύπλοκα μαθηματικά ιδιαίτερα για πηγές με πολύπλοκες χαρακτηριστικές ακτινοβολίας. Στην πράξη, όργανα μέτρησης της οπτικής ισχύος χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την εισερχόμενη ισχύ.

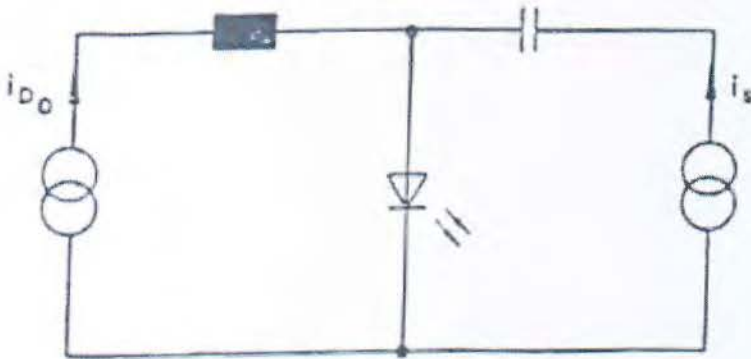
Αυτά συνδέονται με την πηγή ακτινοβολίας και με την οπτική ίνα κάτω υπό διερεύνηση, με την έννοια ενός εξαρτήματος ελέγχου.

2.4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Η δομή ενός κυκλώματος για να λειτουργήσει μία οπτική διαμόρφωση εξαρτάται από την εφαρμογή» ιδιαίτερος δε από το εύρος ζώνης του ηλεκτρικού σήματος. Γι αυτό τον λόγο μόνο βασικές αρχές θα καλυφθούν εδώ.

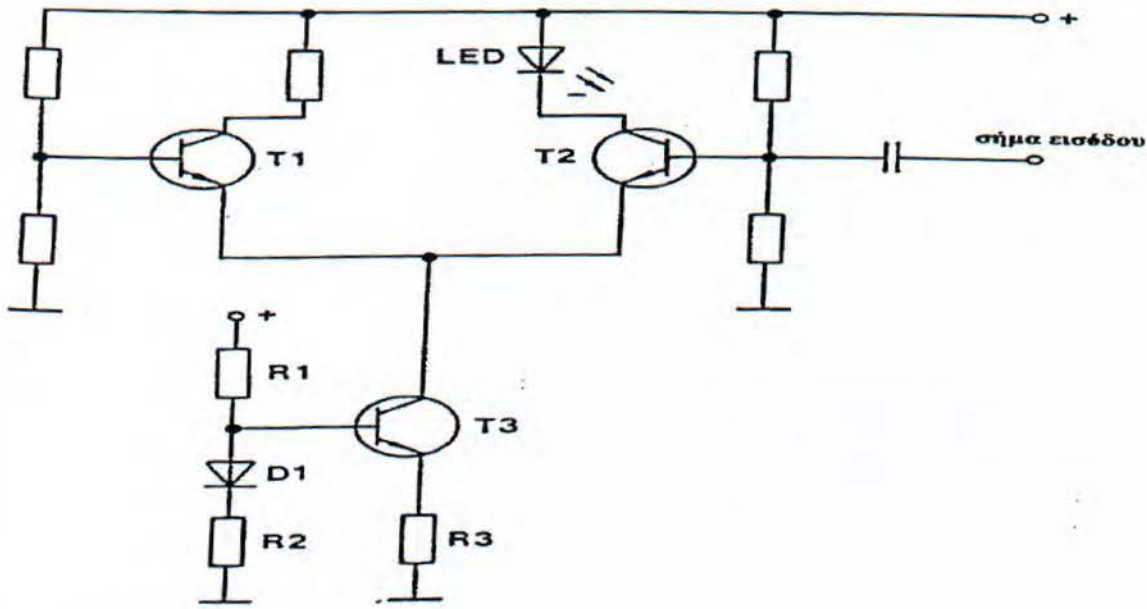
Όταν μια **LED** ή δίοδος **laser** είναι να οδηγηθεί, ένα ρεύμα βάσης I_{D_0} και ένα ρεύμα του σήματος $i_s(t)$ πρέπει να συνδυασθούν στην δίοδο σε συμφωνία με την χαρακτηριστική που φαίνεται στο (ΣΧΗΜΑ 2.11)

Ένα πρακτικό πρόβλημα υπάρχει, πως να οπτοζεύξουμε το κατευθείαν ρεύμα και το ρεύμα σήματος. Αυτό μπορεί να γίνει με μια επαγωγή και μία χωρητικότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.14.



ΣΧΗΜΑ 2.14

Μία άλλη προσέγγιση είναι να οδηγήσουμε την φωτεινή πηγή μέσω ενός διαφορικού ενισχυτή (Σχήμα 1.15). Το ρεύμα βάσης δημιουργείται με το τρανζίστορ T3, το οποίο, μαζί με τις R_1, R_2, R_3 και D_1 σχηματίζει μία σταθερά πηγής ρεύματος.



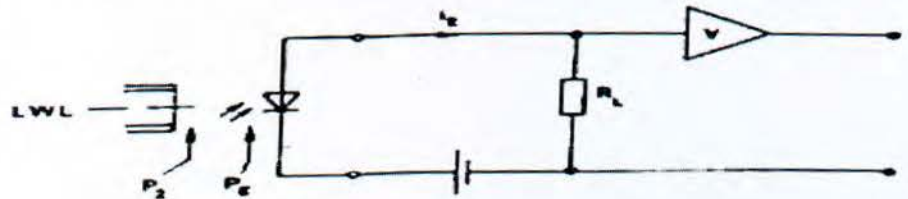
ΣΧΗΜΑ 2.15

2.5 ΔΕΚΤΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

2.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η δουλειά ενός δέκτη ακτινοβολίας είναι να μετατρέψει την συγχωνευμένη ακτινοβολία από την οπτική ίνα σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Σε όρους τηλεπικοινωνιακούς ο δέκτης ακτινοβολίας κάνει την δουλειά ενός αποδιαμορφωτή. Όπως και με την διαμόρφωση, υπάρχουν και εδώ δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις για την αποδιαμόρφωση:

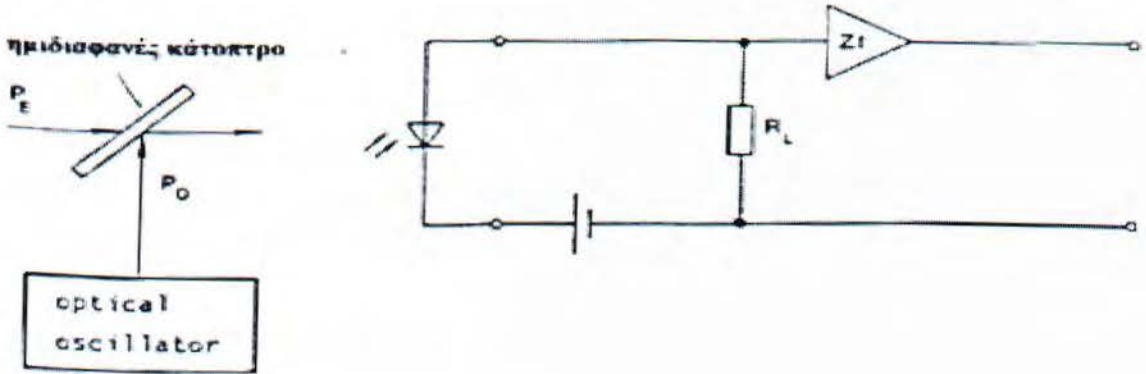
- 1) Κατευθείαν αποδιαμόρφωση της ακτινικής ισχύος (ΣΧΗΜΑ 2.16).
- 2)



ΣΧΗΜΑ 2.16

Ο δέκτης ακτινοβολίας σχηματίζεται από μία ημιαγωγό φωτοδίοδο και μία αντίσταση (φορτίο) ακολουθούμενη από ένα ενισχυτή τάσης.

- 2) Έμμεση αποδιαμόρφωση με υπερετερόδυνη λήψη με μία διακριτή πηγή ακτινοβολίας. Εδώ η μονοχρωματική λαμβανόμενη ακτινοβολία «μιξάζεται» στην φωτοδίοδο και οδηγείται σε ένα ενδιάμεσο ενισχυτή. Αφού αυτός ο τύπος διαμόρφωσης δεν είναι κοινός μόνο η κατευθείαν αποδιαμόρφωση θα περιγραφεί.



ΣΧΗΜΑ 2.17

Με δύο λόγια για την λήψη, η δουλειά του αποδιαμορφωτή γίνεται με μία ημιαγωγό δίοδο, η οποία μετατρέπει την ακτινική ισχύ σε ένα ανάλογο ηλεκτρικό ρεύμα. Η ακτινική ισχύς P_E που πέφτει στην δίοδο είναι γενικά ελαφρώς μικρότερη από την ισχύ P_S που εκπέμπεται από την οπτική ίνα. Υπάρχουν δύο τύποι φωτοδίοδων:

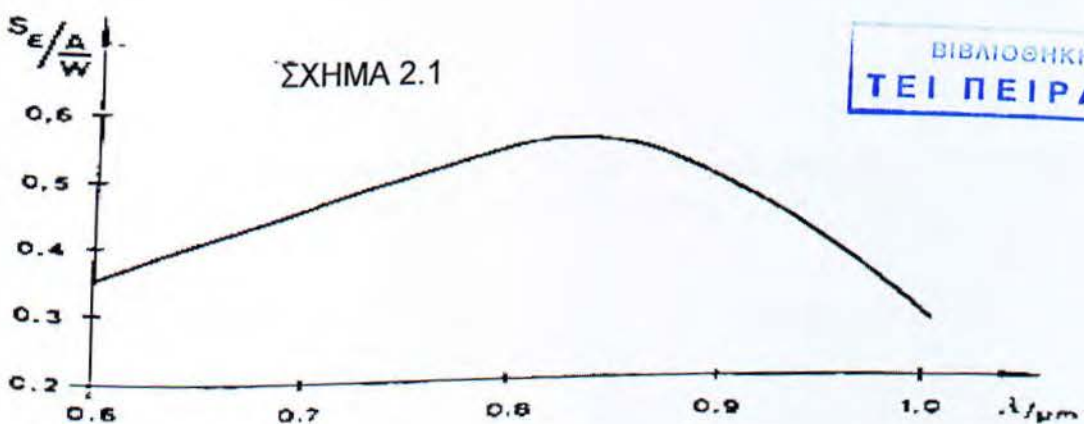
- 1) Δίοδοι PIN.
- 2) Φωτοδίοδοι Χιονοστιβάδας (APD).

Το ποιος τύπος δίοδου χρησιμοποιείται εξαρτάται από τις απαιτήσεις που οφείλονται στη γραμμή εκπομπής.

Αν οι δίοδοι λειτουργούν στην ανάστροφη πόλωση, αυτές παράγουν ένα φωτόρρευμα ανάλογο της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω τους.

Σε δίοδους χιονοστιβάδας, οι συγκρούσεις των ιόντων ελευθερώνουν επί πλέον φορείς φορτίων, έτσι που το φωτόρρευμα που δημιουργείται είναι πολύ μεγαλύτερο για μία δεδομένη ακτινική ισχύ από ότι με τις δίοδους PIN.

Μία καθοριστική παράμετρος για τις φωτοδίοδους είναι η φωτοευαισθησία τους S_E , μέσω της οποίας μπορεί να περιγραφεί η μετατροπή της ακτινικής ισχύος σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Η μονάδα της φωτοευαισθησίας είναι το A/W . Όπως δείχνει το (ΣΧΗΜΑ 2.18) χρησιμοποιώντας μία δίοδο PIN, σαν παράδειγμα, η φωτοευαισθησία εξαρτάται από το μήκος κύματος.



Χρησιμοποιώντας την S_E , το φωτόρρευμα μπορεί να υπολογισθεί ως ακολούθως:

$$i_P = M \cdot S_E \cdot P_E \quad (2.16)$$

Εδώ το M είναι ο παράγοντας ενίσχυσης του εσωτερικού ρεύματος της διόδου χιονοστιβάδας. Για μία διόδο PIN είναι $M=1$.

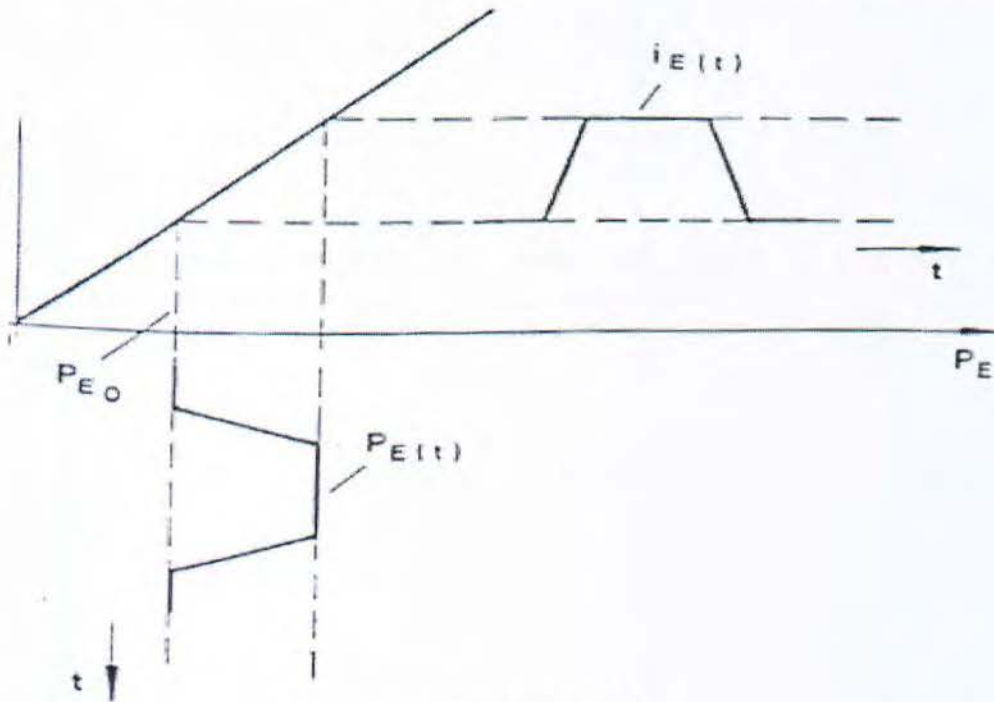
2.5.2 ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το φαινόμενο της αποδιαμόρφωσης της φωτοδίοδου δηλ. η μετατροπή της ακτινικής ισχύος σε ηλεκτρικό ρεύμα περιγράφεται στην εξίσωση (2.16).

Αν η λαμβανόμενη ακτινική ισχύς αλλάζει σχετικά αργά, το λαμβανόμενο ρεύμα i_E που διατίθεται ισούται με το φωτόρρευμα και είναι:

$$i_E(t) = M \cdot S_E \cdot P_E(t) \quad (2.17)$$

Σ'αυτή την περίπτωση το φαινόμενο αποδιαμόρφωσης της φωτοδίοδου μπορεί να απεικονισθεί με την γνωστή στατική χαρακτηριστική αποδιαμόρφωσης (ΣΧΗΜΑ 2.19).



ΣΧΗΜΑ 2.19

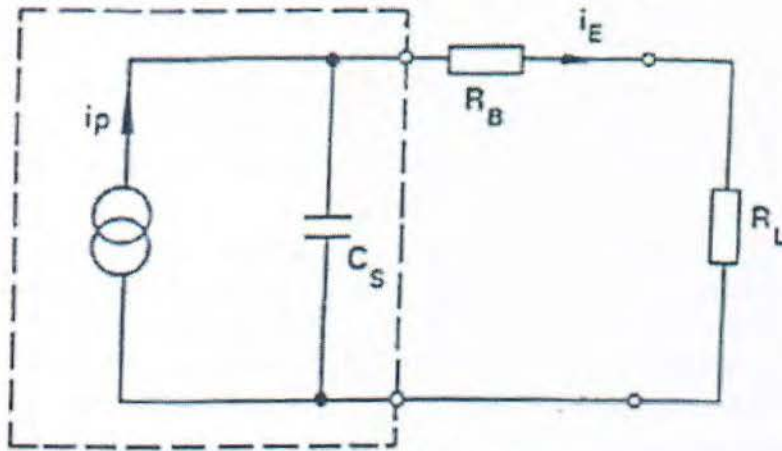
Η άνοδος της χαρακτηριστικής σε ένα σημείο εργασίας P_{E0} αντιστοιχεί στο γινόμενο της φωτοευαισθησίας επί το «gain» του ρεύματος.

Ως εκ τούτου έχουμε:

$$M \cdot S_E = \left(\frac{di_E}{dP_E} \right)_{P_{E0}} \quad (2.18)$$

2.5.3 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Καθώς η συχνότητα του οπτικού σήματος $P_E(t)$ αυξάνει, τότε μέσα στην δίοδο λαμβάνουν χώρα δυναμικές διαδικασίες, με αποτέλεσμα δημιουργούμενο φωτόρρευμα να μην είναι ίσο με το τελικό ρεύμα. Ο κύριος λόγος γι' αυτό είναι το ανεβασμένης χωρητικότητας στρώμα της φωτοδίοδου. Το φαινόμενο μπορεί να απεικονισθεί με το παρακάτω απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα (ΣΧΗΜΑ 2.20).



ΣΧΗΜΑ 2.20

Το ισοδύναμο κύκλωμα δημιουργήθηκε από την πηγή φωτορρεύματος I_p , σε σύνδεση με την χωρητικότητα C_s και την αντίσταση R_B .

Τότε παίρνουμε την παρακάτω εξίσωση για το τελικό ρεύμα εξαρτώμενο από την συχνότητα που τροφοδοτεί την αντίσταση φόρτου R_L :

$$i_E(f) = \frac{M \cdot S_E \cdot P_E(f)}{1 + j2\pi \cdot f(R_B + R_L) \cdot C_s} \quad (2.19)$$

Με τακτοποίηση της εξίσωσης (2.19) παίρνουμε την παρακάτω εξίσωση για την απόκριση συχνότητας της φαινομενικής φωτοευαισθησίας:

$$S_E(f) = \frac{i_E(f)}{M \cdot P_{E(f)}} = \frac{S_E}{1 + j\left(\frac{f}{f_g}\right)} \quad (2.20)$$

$$\text{όπου: } f_g = \frac{1}{2\pi \cdot (R_B + R_L) \cdot C_s}$$

2.5.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΖΕΥΞΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ ΚΑΙ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥ

Οι φωτοδίοδοι έχουν γωνίες εισδοχής της ακτινοβολίας παρόμοιες με εκείνες των LED. Η γωνιακή περιοχή της φωτοδίοδου που λαμβάνει την ακτινική ισχύ της οπτικής ίνας είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με την ακτινική περιοχή της οπτικής ίνας. Η ακτινική περιοχή της οπτικής ίνας καθορίζεται μόνο από το αριθμητικό άνοιγμα, για το οποίο δεν υπάρχει απώλεια ακτινικής ισχύος για την αποδιαμόρφωση. Είναι προφανές ότι η επιφάνεια λήψης της φωτοδίοδου είναι μεγαλύτερη από την ενεργό επιφάνεια του πυρήνα της οπτικής ίνας.

Ακριβώς στην είσοδο της οπτικής ίνας, η εξασθένηση ζεύξης μπορεί να καθορισθεί ως ακολούθως

$$a_{KE} \approx 10 \log \frac{P_2}{P_E} (db) \quad (2.21)$$

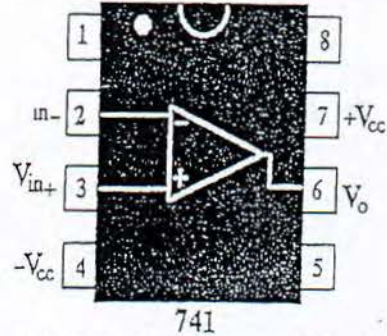
Η τιμή της εξασθένησης ζεύξης είναι συνήθως μικρότερη από 1db.

2.6 ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ (Τ.Ε 741)

Οι τελεστικοί ενισχυτές (operational amplifiers) είναι ενεργά κυκλώματα με τεράστιο πεδίο εφαρμογής. Αν και ένας τελεστικός ενισχυτής μπορεί εύκολα να κατασκευαστεί με μερικά διακριτά τρανζίστορ, όταν λέμε τελεστικός ενισχυτής, εννοούμε συνήθως το κύκλωμα στην ολοκληρωμένη του μορφή. Υπάρχουν πάρα πολλά ολοκληρωμένα κυκλώματα τελεστικού ενισχυτή με διάφορα χαρακτηριστικά και προδιαγραφές.

Θα χρησιμοποιήσουμε κυρίως τον τύπο 741 που είναι ο πιο διαδεδομένος και διαφέρει από άλλους τύπους μόνον στους ακροδέκτες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Ο 741 όπως και οι παρεμφερείς τύποι 301,709,CA3130,CA3140,LF356 και LF357, κυκλοφορεί σε διάφορες συσκευασίες αλλά κυρίως στην πλαστική τετράγωνη DIL8 (DUAL-IN-LINE) μορφή του σχήματος, με 8 ακροδέκτες (pins), που αριθμούνται όπως φαίνεται στο (σχήμα 2.21).

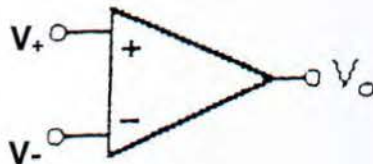
ΣΧΗΜΑ 2.21



Αν και οι τελεστικοί ενισχυτές σε ολοκληρωμένη μορφή διαθέτουν 8 ή και περισσότερους ακροδέκτες, ο τελεστικός ενισχυτής σαν στοιχείο κυκλωμάτων χρησιμοποιεί μόνον τους τρεις, ενώ οι άλλοι είναι βοηθητικοί και αφορούν την πόλωση, την διόρθωση και την ισοστάθμιση του κυκλώματος. Στο σχήμα 2.21 φαίνεται και το σύμβολο του τελεστικού ενισχυτή καθώς και το ποιοι ακροδέκτες αντιστοιχούν στο σύμβολο αυτό.

Σαν ενεργά κυκλώματα οι τελεστικοί ενισχυτές χρειάζονται για να λειτουργήσουν τροφοδοσία από πηγή συνεχούς τάσης. Ο 741 μπορεί να λειτουργήσει με συμμετρική τροφοδοσία από ± 2V μέχρι ± 18V καθώς και με ανάλογη ασυμμετρική τροφοδοσία. Στο κύκλωμα μας, χρησιμοποιούμε συμμετρική τροφοδοσία ±9V με τα 9V στο pin 7 και τα -9V στο pin 4. Φυσικά η συμμετρία της τροφοδοσίας είναι ως προς την γη, η οποία λαμβάνεται σαν σημείο αναφοράς όλων των τάσεων.

Οι τελεστικοί ενισχυτές, σαν στοιχεία κυκλωμάτων, έχουν δυο εισόδους και μια έξοδο. Η μια είσοδος ονομάζεται αντιστρεπτική (ή αναστρέφουσα) και η άλλη μη αντιστρεπτική. Στο 741 οι δυο αυτές εισόδους είναι αντίστοιχα στα pin 2 και 3. Η έξοδος είναι στο pin 6. Το χαρακτηριστικό κάθε τελεστικού ενισχυτή είναι το μεγάλο κέρδος ανοιχτού βρόχου A. Σε κατάσταση ανοιχτού βρόχου, χωρίς δηλ. Ανάδραση (feedback), η τάση εξόδου του ενισχυτή είναι: $V_o = A (V_+ - V_-)$



ΣΧΗΜΑ 2.22

όπου το $V+$ είναι η τάση της μη αντιστρεπτικής και V της αντιστρεπτικής εισόδου.

Για να είναι η έξοδος πεπερασμένη και χρήσιμη, αφού το A στον ιδανικό ενισχυτή είναι άπειρο, θα πρέπει διαφορά των εισόδων να είναι πολύ μικρή. Για το λόγο αυτό ο τελεστικός ενισχυτής δεν χρησιμοποιείται συνήθως σε ανοιχτό βρόχο αλλά σε κυκλώματα με ανατροφοδότηση (**ανάδραση, feedback**), που του δίνουν την δυνατότητα να φροντίσει μόνος του ώστε η διαφορά τάσεως των εισόδων να τείνει στο μηδέν. Αυτό είναι δυνατόν ακόμα και στους τελεστικούς ενισχυτές του εμπορίου, που έχουν κέρδος ανοιχτού βρόχου της τάξεως του 10.000 για συχνότητες κάτω από τα 20 KHz. Ο 741 για παράδειγμα έχει $A=200.000$ για χαμηλές συχνότητες.

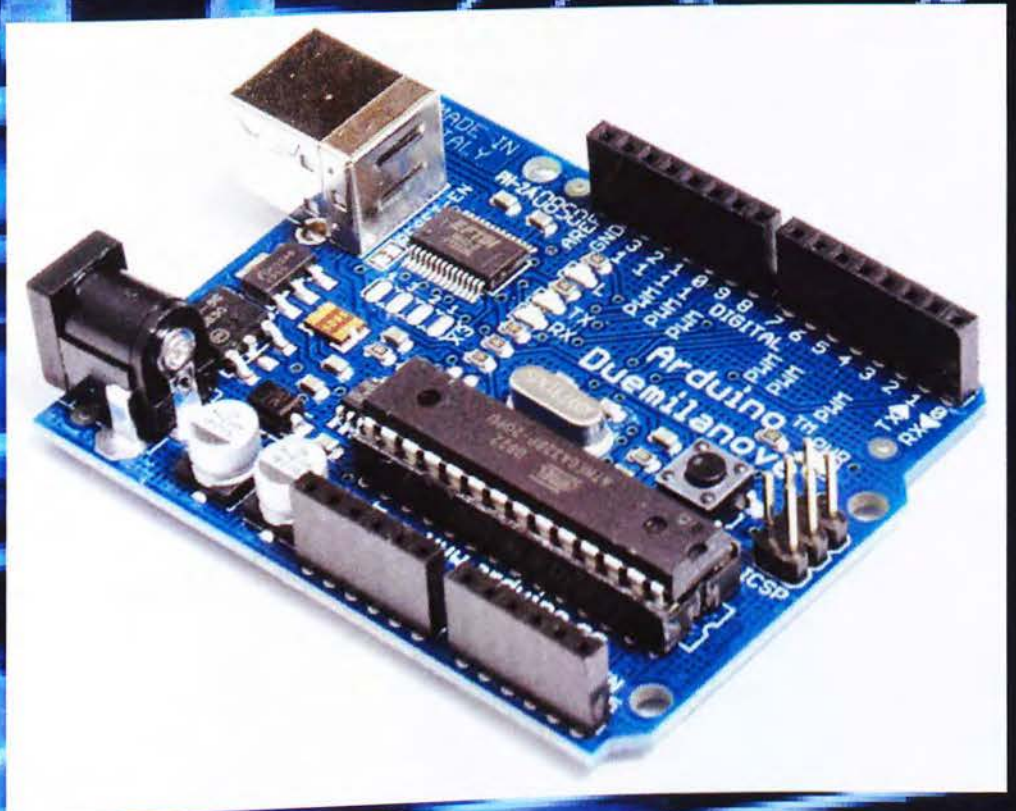
Στους ιδανικούς τελεστικούς ενισχυτές το κέρδος ανοιχτού βρόχου είναι πολύ υψηλό και ανεξάρτητο της συχνότητας. Στην πράξη το κέρδος μειώνεται με την συχνότητα και αυτός είναι ο κύριος λόγος της αδυναμίας των ενεργών κυκλωμάτων με κοινούς τελεστικούς να λειτουργήσουν σε συχνότητες πάνω από 100 KHz.

Το δεύτερο χαρακτηριστικό των τελεστικών είναι η άπειρη αντίσταση των εισόδων του και η μηδενική αντίσταση της εξόδου. Στην πράξη η αντίσταση εισόδου είναι της τάξεως του $1M\Omega$ και η αντίσταση εξόδου της τάξεως των 100Ω . Η μεγάλη αντίσταση εισόδου επιτρέπει να θεωρούμε ότι ο τελεστικός δεν τραβάει καθόλου ρεύμα από τις εισόδους του. Τα χαρακτηριστικά αυτά των τελεστικών ενισχυτών μαζί με το γεγονός ότι μέσα σε κυκλώματα με ανατροφοδότηση εξασφαλίζεται η ισότητα των τάσεων των εισόδων του, αποτελούν και την μέθοδο ανάλυσης με τελεστικούς.



ΕΝΟΤΗΤΑ Β

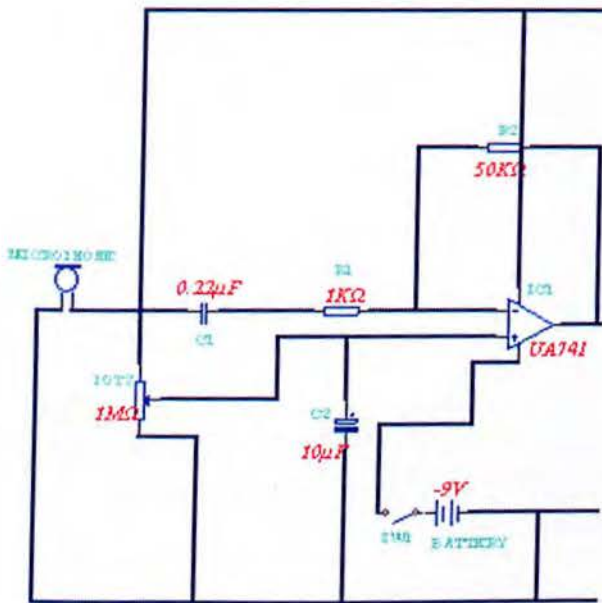
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΠΟΜΠΟΥ - ΔΕΚΤΗ



2.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

2.7.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΜΠΟΥ

Στο σημείο αυτό θα αναλύσουμε το κύκλωμα του πομπού που φαίνεται στα σχήματα 2.23 και 2.24. Το κύκλωμα του πομπού αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα όπως: το ολοκληρωμένο 741, ένα τρανζίστορ, ένα λαμπάκι LED, τις πηγές τροφοδοσίας (BATTERY), ένα ποτενσιόμετρο, ένα μικρόφωνο, αντιστάσεις και πυκνωτές.



ΣΧΗΜΑ 2.23

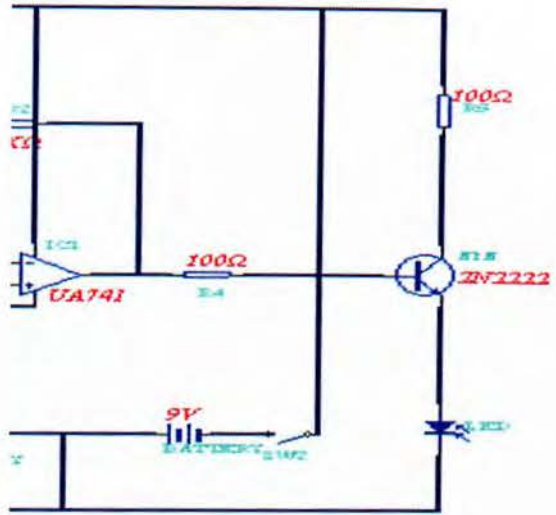
Στην περιοχή του μικροφώνου εφαρμόζουμε ένα ακουστικό σήμα είτε με μορφή ομιλίας, είτε μέσω γεννήτριας συχνοτήτων. Το σήμα κατά τη μεταφορά του περνάει μέσα από τον πυκνωτή C1 που σκοπό έχει να κόψει οποιαδήποτε dc συνιστώσα υπάρχει και να αφήσει στον ενισχυτή (IC1 – 741) να φτάσει μόνο ακουστική πληροφορία. Το σήμα αυτό λόγω της χωρητικής C1 και ωμικής αντίστασης R1 που συναντά εμφανίζεται εξασθετισμένο αρκετά. Δουλειά του ενισχυτή 741 είναι να ενισχύσει το σήμα. Στην αντιστρεπτική είσοδο (-) του ενισχυτή εφαρμόζεται η πληροφορία και στη μη αντιστρεπτική είσοδο (+) εφαρμόζουμε μια dc συνιστώσα, η οποία είναι μεταβλητή (ποτενσιόμετρο POT 2).

Το ποτενσιόμετρο (POT 2) έχει σκοπό να μεταβάλλει το ρυθμό ενίσχυσης του 741. Ο πυκνωτής C2 έχει σκοπό να απαγορεύσει στη dc συνιστώσα - που πηγαιίνει στην αντιστρεπτική είσοδο (+) - να περάσει στο σημείο αναφοράς 0V (Γείωση).

Ο ενισχυτής 741 τροφοδοτείται με συμμετρική τάση +/- 9V και εμφανίζει ανάδραση (feedback) που του δίνει τη δυνατότητα, η διαφορά τάσεων στις δύο εισόδους του, να είναι μηδέν. Χωρίς την ανάδραση το A (κέρδος) στον τελεστικό ενισχυτή θα ήταν άπειρο, άρα μη εκμεταλλεύσιμο.

Η αντίσταση R2 τοποθετείται για να μην έχουμε ανεπιθύμητη μεταφορά του σήματος στην έξοδο του T.E.

ΣΧΗΜΑ 2.24

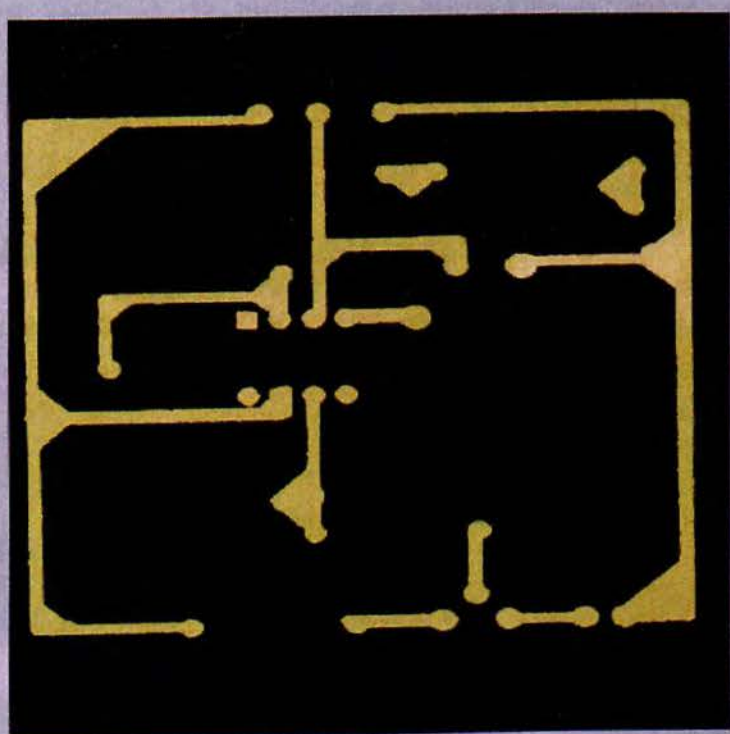
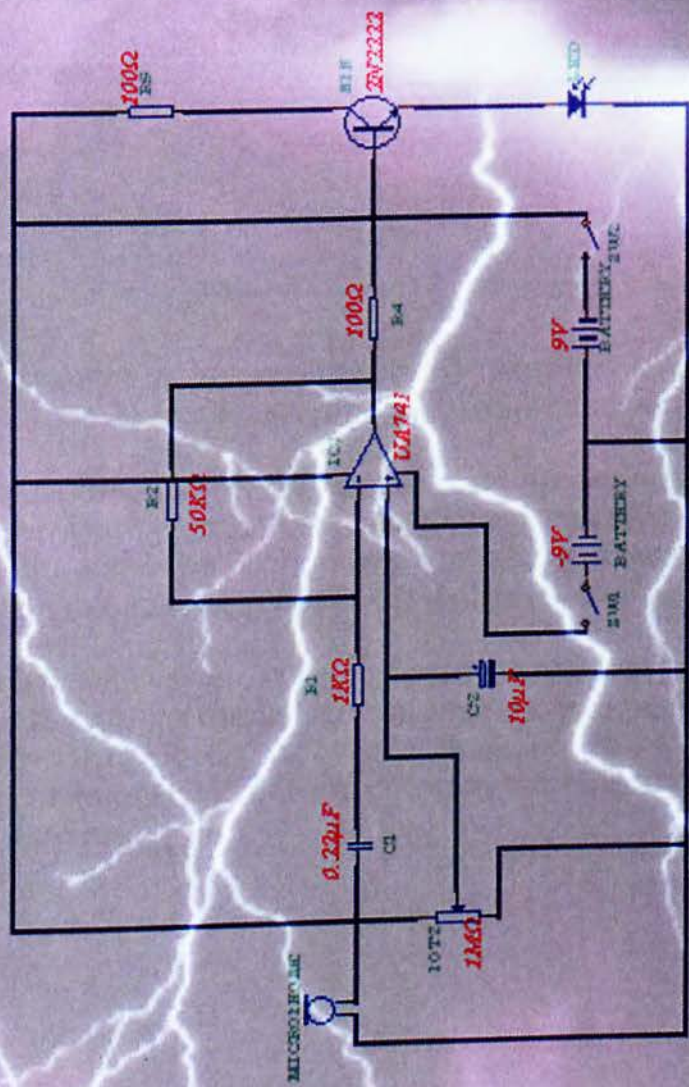


Εφόσον περάσει το σήμα μας από το Τ.Ε. (741), στην έξοδό του παίρνουμε ένα αντεστραμμένο σήμα με $\Delta\Phi=180^\circ$ και ενισχυμένο. Η απόδοση A (κέρδος) είναι μεταβλητό στοιχείο, όπως προείπαμε. Το σήμα αυτό οδηγείται στη βάση του τρανζίστορ και ανάλογα με την τιμή της έντασής του το διεγείρει, μεταπηδώντας από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας.

Όταν δεν έχουμε εφαρμογή σήματος το τρανζίστορ δίνει μια σταθερή τιμή ρεύματος και το Led μένει αναμμένο. Την ένταση του φωτός την καθορίζει πάλι το POT2 όπου δίνει τιμές από 0V έως και 5V. Ανάλογα με την τάση αυτή έχουμε σβήσιμο του LED καθώς και πλήρη ένταση του ακτινοβολούμενου φωτός. Αυτό μας εξυπηρετεί και στις δυο καταστάσεις. Όταν το σήμα μας είναι πολύ μικρό το LED δεν μπορεί να αντιληφθεί της αυξομειώσεις του σήματος ικανοποιητικά. Αν πάλι τις αντιληφθεί η αυξομείωση του φωτός του είναι τόσο εξασθενημένη που ο δέκτης ούτε καν την αντιλαμβάνεται. Για να εξαλείψουμε αυτό το πρόβλημα εφαρμόζουμε το σήμα μας σε μια ήδη υπάρχουσα τάση που έχει διεγείρει το LED. (Απλά φανταστείται το σήμα μας πάνω σε μια dc συνιστώσα). Μεταβάλλοντας το POT2 σε μια θέση επιτυγχάνουμε την σωστή διέγερση του LED την σωστή αυξομείωση του φωτός άρα και την σωστή λήψη από το φωτοτρανζίστορ αργότερα. Βάζοντας τώρα ένα μεγάλο πλάτους σήμα για την αποφυγή όσο μπορούμε περισσότερο της παραμόρφωσης μηδενίζουμε την dc αυτή και τώρα το LED διεγείρεται μόνο από την πληροφορία.

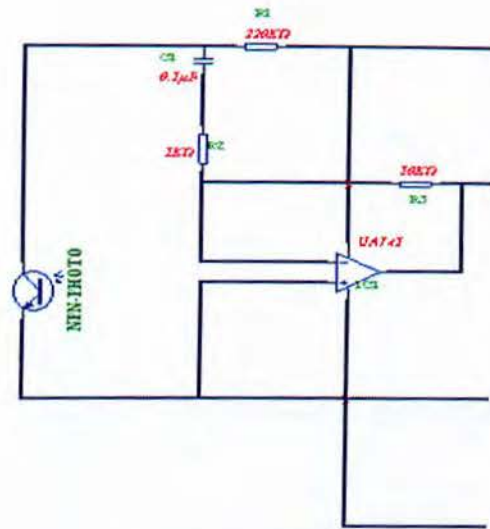
Στην ουσία το τρανζίστορ δουλεύει ως εξής: Ο ρυθμός εναλλαγής του σήματος και η διαφορά πλάτους του δημιουργεί αυξομείωση του ρεύματος που θα περάσει από τον συλλέκτη στον εκπομπό του τρανζίστορ. Στην ουσία μιλάμε για διαμόρφωση φωτός του LED (IM) ρεύματος, δηλαδή για κατευθείαν διαμόρφωση. Η διαμόρφωση αυτή είναι αποτέλεσμα της σωστής συνεργασίας του τρανζίστορ και του IC1.

Πομπός



2.7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΚΤΗ

Το κύκλωμα του δέκτη που φαίνεται στα σχήματα 2.25 και 2.26 αποτελείται από τα παρακάτω εξαρτήματα όπως: ένα φωτοτρανζίστορ, το ολοκληρωμένο 741, πυκνωτές, αντιστάσεις, δύο μπαταρίες 9V, ένα ποτενσιόμετρο, το ολοκληρωμένο IC386 και ένα μεγάφωνο.

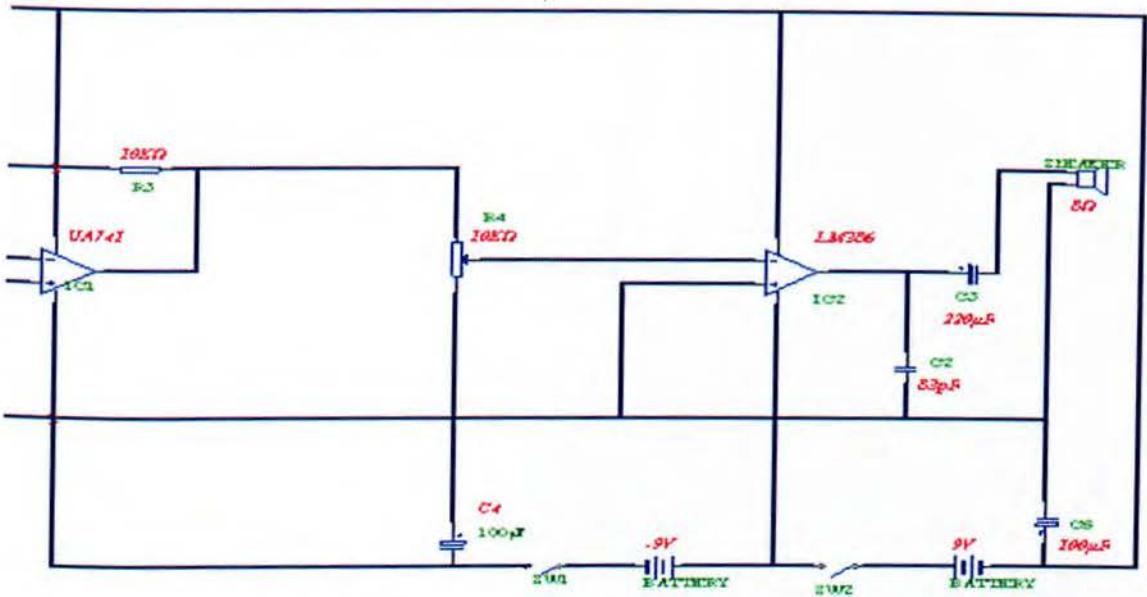


ΣΧΗΜΑ 2.25

Το σήμα αφού έχει μετατραπεί σε φωτεινή ακτινοβολία στον πομπό, μεταφέρεται τώρα μέσα στην οπτική ίνα και προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του φωτοτρανζίστορ.

Το φωτοτρανζίστορ σκοπό έχει να μετατρέψει την διαμορφωμένη ακτινοβολία, που δέχεται σε ανάλογο πλάτος (ρεύμα) έτσι ώστε να αναπαραχθεί το αρχικό σήμα μας. Το τρανζίστορ οδηγείται λοιπόν με βάση το φως που πέφτει πάνω στη βάση του. Εδώ αξίζει να σημειώσουμε ότι το σήμα μας εξακολουθεί να έχει την ίδια διαφορά φάσης (180°).

Το σήμα μας είναι πάνω σε μια dc συνιστώσα όπου στην συνέχεια βρίσκοντας στο δρόμο του τον πυκνωτή την αποβάλλει και λόγω της χωρητικής και ωμικής αντίστασης που συναντά φθάνει στην είσοδο του 741 εξασθενημένο. Το 741 σκοπο έχει να κάνει μια προενίσχυση του σήματος αλλά και να το επαναφέρει σε συμφασικότητα με το σήμα που έχουμε δώσει στο πομπό.



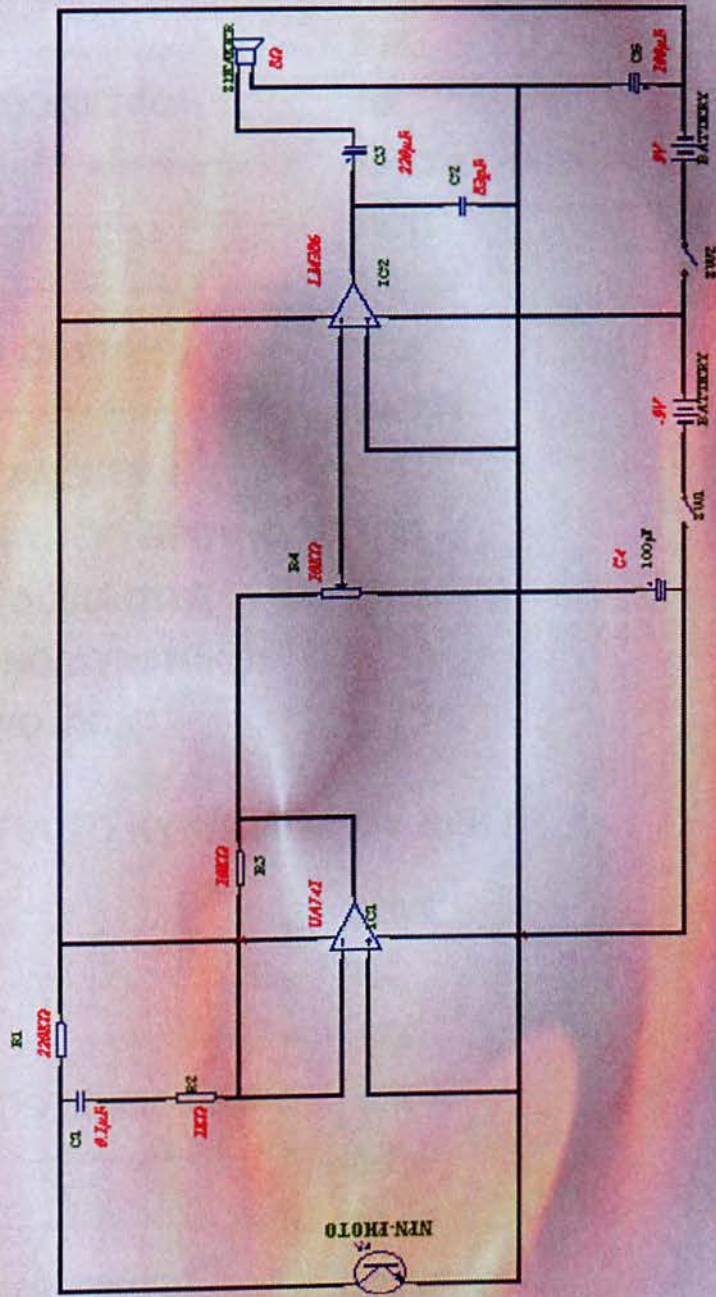
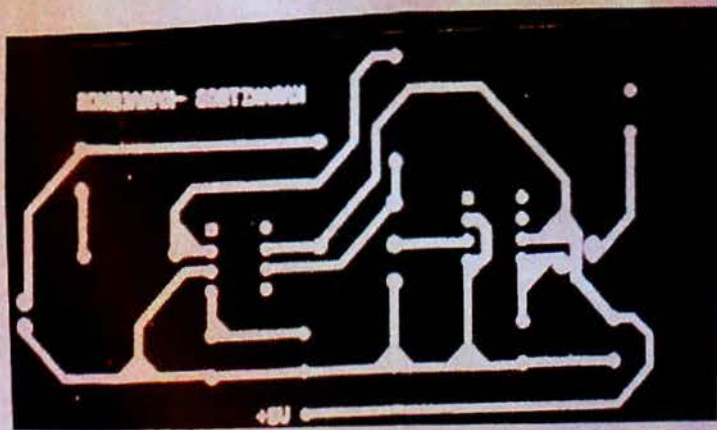
ΣΧΗΜΑ 2.26

Το προενισχυμένο τώρα σήμα περνά μέσα από τον τελικό ενισχυτή όπου είναι ικανό πλέον να επιρεάσει ένα μεγαφωνάκι $8\Omega \frac{1}{4}$ του Watt .

Το IC386 είναι ένα ολοκληρωμένο που δουλεύει σαν ενισχυτής AUDIO. Χρησιμοποιείται κυρίως σαν ενισχυτικό τμήμα στον ήχο της τηλεόρασης και του ραδιοφώνου. Ενισχύει την ακουστική περιοχή και τροφοδοτείται στο 6 pin.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το ποτενσιόμετρο λειτουργεί σαν ένα (VOLUME CONTROL) δηλαδή λειτουργεί ως αυξομειωτής της έντασης του ήχου στο μεγαφωνάκι ή αλλιώς σαν ρυθμιστής ενίσχυσης του σήματος .

Δέκτης



7.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

2.7.3.1 ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΠΟΜΠΟΥ

R_1	→	1K
R_2	→	50K
R_3	ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟ	1M
R_4	→	100Ω
R_5	→	100Ω
C_1	→	0.22μF
C_2	ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΣ	10μF
IC_1	→	UA 741
Q_1	2N2222 ή 2N3904	
L_1	LED ΟΡΑΤΟΥ ή ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ	
S_1	ΔΙΠΛΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ	
M_1	ΜΙΚΡΟΦΩΝΟ(ΔΥΝΑΜΙΚΟ)	
J_1	ΡΗΟΝΟJACK	

2.7.3.2 ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ

R_1	→	220K
R_2	→	1K
R_3	→	10K
R_4	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟ	10K
C_1	→	0.1μF
C_2	→	83 pF
C_3	ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΣ	220μF
C_4	“	100μF
C_5	“	100μF
$C1$	8 PIN	UA741
$C2$	“	LM386
S_1	ΔΙΠΛΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ	
$Q1$	PHOTOTRANSISTOR MFOD 202	
$J1$	ΡΗΟΝΟJACK	
	ΜΙΚΡΟ ΜΕΓΑΦΩΝΟ ¼ WATT	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΟΠΤΙΚΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΚΑΙ LASER
ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ
ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ II

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΣΙΔΕΡΗΣ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΟΤΣΟΣ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΓΙΑΝΝΑΚΑΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ