
Θέμα: Αισθητήρες οπτικών ινών και βιομηχανικές εφαρμογές τους.

Εισηγητής: Γ. Ν. Μπακαλίδης, Ε.Μ.Υ. Δ.Π. Θράκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εργαστήριο Ηλεκτρονικής.

1.1. Εισαγωγή

Το πέρασμα από τη μηχανοποίηση στην αυτοματοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής συνέβαλε στη βελτίωση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων παράλληλα με τη μείωση του κόστους ανά μονάδα προϊόντος και την επίτευξη μεγαλύτερων ρυθμών παραγωγής μέσα από τη συστηματοποίηση όλης της παραγωγικής διαδικασίας. Με τον όρο αυτοματοποίηση εννοούμε εκείνο το χαρακτηριστικό γνώρισμα κατά το οποίο ο κύκλος παραγωγής ελέγχεται από ηλεκτρονικές διατάξεις.

Η αυτοματοποίηση απαιτεί ροή πληροφοριών από και προς τις μονάδες παραγωγής οι οποίες αποτελούν δεδομένα για περαιτέρω επεξεργασία ή για απευθείας ενέργεια πάνω στα μηχανήματα υπό μορφή «ανάδρασης» για διόρθωση της ποιότητας του προϊόντος, για επανάληψη κάποιας λειτουργίας ή τέλος για αλλαγή διεργασίας παραγωγής. Το τελευταίο, δηλαδή, η αλλαγή της διεργασίας της παραγωγής συνδέεται με ένα νέο σχετικά όρο την προγραμματισμένη αυτοματοποίηση, η οποία με την ανάπτυξη της πληροφορικής εξελίσσεται ταχύτατα.

Τα δεδομένα αναλογικής μορφής ανιχνεύονται από κάποιο αισθητήρα και στη συνέχεια μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή, ώστε να είναι δυνατή και η καλύτερη μεταφορά τους αλλά και η επεξεργασία τους.

1.2. Αισθητήρες, διασυνδέσεις, γραμμές μεταφοράς

Οι αισθητήρες είναι διατάξεις που μετατρέπουν μια φυσική παράμετρο, όπως είναι η πίεση, η θερμοκρασία, η στάθμη υγρών, η ταχύτητα κ.τ.λ. σε χρήσιμα ηλεκτρικά σήματα.

Οι συμβατικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε όλους τους παραδοσιακούς κλά-

δους της ελληνικής βιομηχανίας παρουσιάζουν προβλήματα στην ανίχνευση της ζητούμενης φυσικής παραμέτρου, γιατί επηρεάζονται και από άλλες παραμέτρους του βιομηχανικού περιβάλλοντος. Έτσι τίθεται το πρόβλημα της αξιοπιστίας της ανακτώμενης πληροφορίας. Αναξιόπιστοι αισθητήρες δημιουργούν πολλά προβλήματα στην ποιότητα των παραγομένων προϊόντων, στο ρυθμό παραγωγής και γενικά επιφέρουν απορρύθμιση όλης της αλυσίδας της παραγωγικής διαδικασίας. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να συνοδεύουν οπωσδήποτε έναν αισθητήρα για βιομηχανικές εφαρμογές πρέπει να είναι η σταθερότητα, η αξιοπιστία και η ακρίβεια που τιμές τους πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ του 0.1 έως 1%.

Συμβατικοί αισθητήρες με τέτοια χαρακτηριστικά παρουσιάζουν υψηλό κόστος αγοράς (από 50 έως και 1000 DM) και υψηλό σχετικά κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Το υψηλό κόστος τους συνδέεται με:

1. Την ηλεκτρική μόνωση και θωράκιση που πρέπει να έχουν εξαιτίας του ηλεκτρικού θορύβου και της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής, παράγοντες σημαντικοί και αναπόφευκτοι σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, που μπορεί να προέρχονται από σφάλματα εγκαταστάσεων, βρόγχους γειώσεων, ηλεκτρικές εκκενώσεις και υψηλές τάσεις κοινού ρυθμού στα διάφορα ηλεκτρικά μηχανήματα.
2. Ειδικά κυκλώματα προστασίας από υπερτάσεις κ.τ.λ.
3. Αοφαλή λειτουργία τους σε εύφλεκτο και γενικά εχθρικό περιβάλλον.
4. Πολυπλοκότητα του σχεδιασμού τους.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι σε αρκετές εφαρμο-

γές τα παραπάνω προβλήματα ή συνδυασμοί αυτών είναι τέτοια που οι συμβατικοί αισθητήρες είναι αδύνατο να ανταποκριθούν.

Ίδια προβλήματα παρουσιάζουν και τα μέσα μεταφοράς των πληροφοριών από τους αισθητήρες στη μονάδα επεξεργασίας, όταν είναι κοινά καλώδια λόγω βρόγχων γείωσης, προσαρμογής γραμμής, ηλεκτρομαγνητικής, παρεμβολής βραχυκυκλωμάτων κ.τ.λ.

Στα στοιχεία διασυνδέσεων εισόδου/εξόδου η ανοσία στο θόρυβο των βιομηχανικών συστημάτων είναι ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό, για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες αιχμές σημάτων που μπορούν να προκαλέσουν εσφαλμένη διέγερση κάποιου ολοκληρωμένου ηλεκτρονικού στοιχείου σε ένα κύκλωμα ή σύστημα.

Στο σχήμα 1α παρουσιάζεται το διάγραμμα μιας τυπικής εγκατάστασης ενός ηλεκτρικού συστήματος αίσθησης. Ο ηλεκτρικός αισθητήρας τοποθετείται στο περιβάλλον που εμφανίζεται η ζητούμενη φυσική παράμετρος. Το φυσικό μέγεθος επιδρά και διαμορφώνει τα ηλεκτρικά σήματα που φτάνουν στον αισθητήρα. Η πληροφορία κωδικοποιημένη ως μεταβολή των ηλεκτρικών σημάτων μεταφέρεται μέσω ενός μεταλλικού καλωδίου σε μια βαθμίδα τοπικού ελέγχου. Αυτή συνίσταται σε ένα πομπό/δέκτη ηλεκτρικών σημάτων με ένα ενισχυτή συγκράτησης (HOLD AMPLIFIER) για τη διασύνδεση με την κεντρική μονάδα ελέγχου, για περαιτέρω επεξεργασία. Ένα DISPLAY για την άμεση αντίληψη του μετρούμενου μεγέθους συνήθως χρησιμοποιείται.

Η αδυναμία του συστήματος είναι εμφανής στο να παρακαμφθούν τα προβλήματα παρεμβολής αφού η γραμμή μεταφοράς της πληροφορίας ακόμη και ο αισθητήρας υπόκειται στον ηλεκτρικό θόρυβο που υπάρχει στο περιβάλλον από το οποίο οδεύουν.

1.3. Αισθητήρες οπτικών ινών - οπτικές ίνες ως γραμμές μεταφοράς σημάτων

Η οπτική ίνα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως κυματοδηγός, από γυαλί ή πλαστικό υλικό, μέσα στο οποίο διαδίδεται φως από το ένα άκρο του στο άλλο. Τα φωτόνια παίρνουν τη θέση των ηλεκτρονίων που υπάρχουν αντίστοιχα στους μεταλλικούς αγωγούς. Το φως παράγεται από μια πηγή φωτός LED ή διόδο LASER και εισέρχεται από το ένα άκρο στην ίνα. Η διάδοση επιτυγχάνεται με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματά της. Στο άλλο άκρο βρίσκεται μια διάταξη φωτοανίχνευσης, όπως μια PIN φωτοδίοδος που μετατρέπει τη φωτεινή ροή σε ηλεκτρικό σήμα.

Σήμερα πολλοί τομείς υψηλής τεχνολογίας, όπως είναι η οπτική, οι ημιαγωγοί, το γυαλί, τα πλαστικά (σε μορφή γυάλινης ίνας, λήζερ, διόδων εκπομπής φωτός, φωτοδιόδων) συγκλίνουν στο να δημιουργήσουν ένα οικονομικό οπτικό σύστημα για τη διαβίβαση δεδομένων.

Οι οπτικές ίνες είναι κατάλληλες για τοπικά δίκτυα (LANs) και κατανομή δεδομένων σε αρτηρίες λόγω του ότι παρουσιάζουν μεγάλη χωρητικότητα εύρους ζώνης και ανοσία στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβο-

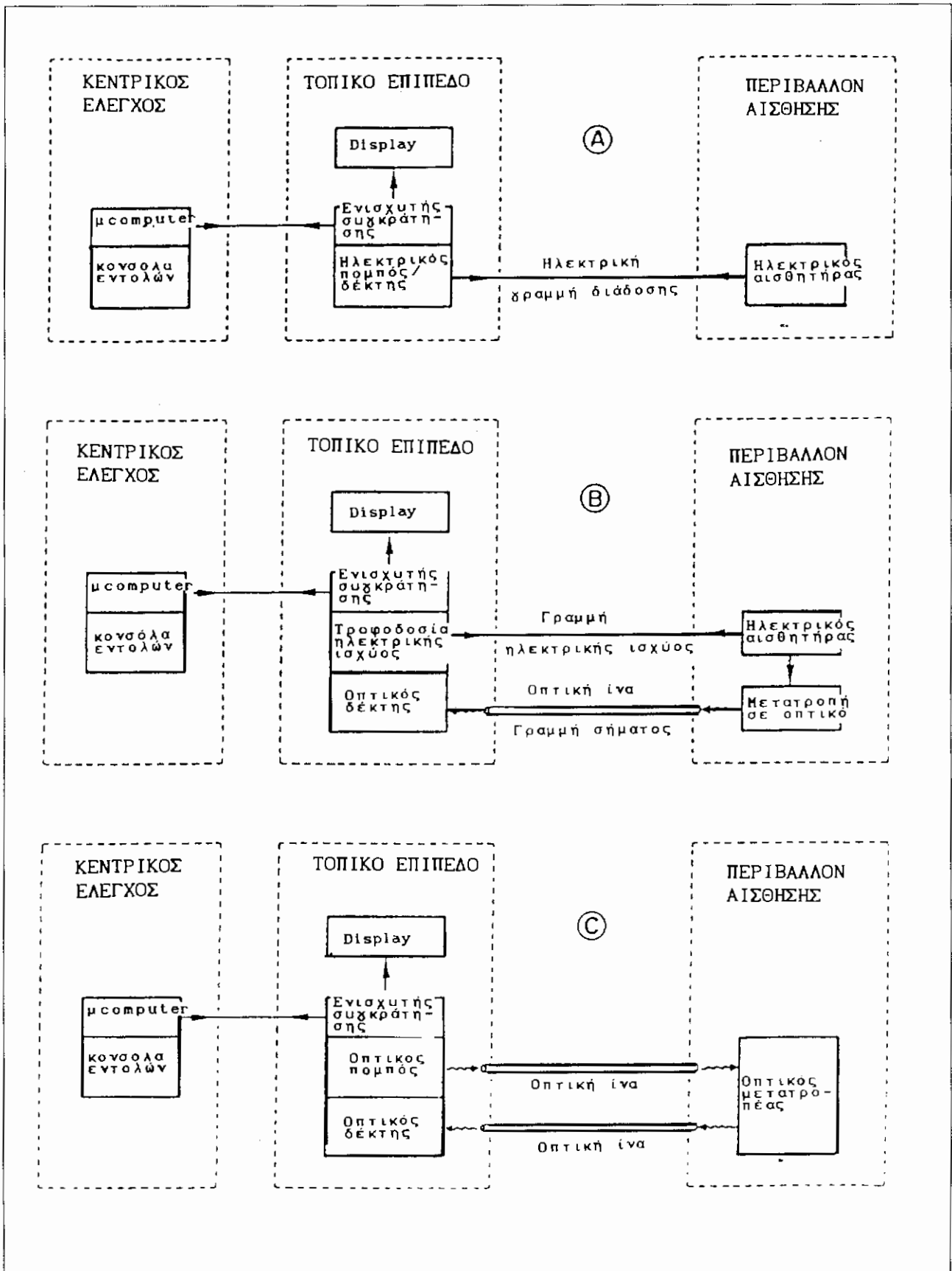
λία απαλείφουν τους βρόγχους γείωσης και τις συνακροάσεις σε γειτονικά καλώδια και δεν υπόκεινται σε βραχυκυκλώματα. Διασυνδέσεις οπτικών ινών για τη διαβίβαση δεδομένων κατασκευάζονται τώρα και προσφέρονται ως έτοιμες και αυτοτελείς συσκευές.

Πολλοί συμβατικοί ηλεκτρικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μετάδοση οπτικής ίνας τοποθετώντας ένα μεταδότη οπτικών ινών (LED) για να κωδικοποιεί το ηλεκτρικό σήμα του αισθητή σε οπτικό, που μπορεί να διαδοθεί πάνω στην ίνα. Στο σχήμα 1β παρουσιάζεται ένα τέτοιο υβριδικό ηλεκτροοπτικό σύστημα αισθητήρα. Η εναλλακτική αυτή λύση αντικαθιστά το ομοαξονικό καλώδιο μεταφοράς των ηλεκτρικών σημάτων από μια οπτική ίνα, η οποία αποφεύγει τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και προστατεύει τα λαμβανόμενα σήματα από τον αισθητήρα. Η διάταξη απαιτεί έναν οπτικό πομπό, γραμμή τροφοδοσίας, έναν οδηγό ισχύος τοποθετημένο στην κεφαλή του αισθητήρα για την τροφοδοσία του αισθητήρα και το μετατροπέα σήματος από ηλεκτρικό σε οπτικό. Η πολυπλοκότητα του συστήματος είναι εμφανής και ακόμα η διπλή μετατροπή του σήματος (παράμετρος «X» - ηλεκτρικό σήμα - οπτικό) μπορεί να υποβαθμίσει την ακρίβεια και τη γραμμικότητα του συστήματος. Οι αισθητήρες οπτικών ινών είναι μετατροπείς και αυτοί για διάφορες φυσικές παραμέτρους. Αυτοί κωδικοποιούν την τιμή της παραμέτρου που μετράται σε μια φωτεινή ροή και μεταδίδεται με οπτικές ίνες προς και από τον αισθητή.

Οι αισθητήρες οπτικών ινών και γενικά οι οπτικές ίνες καταλαμβάνουν ένα ταχέως αυξανόμενο μέρος στις βιομηχανικές εφαρμογές, οφειλόμενο σε μια σειρά πρωτοποριακών ή αποκλειστικών χαρακτηριστικών.

1. Μη προσβολή στην ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, που οφείλεται στο γεγονός ότι οι οπτικές συχνότητες είναι τουλάχιστον τρεις έως τέσσερις τάξεις μεγέθους υψηλότερες από τις μέγιστες ηλεκτρικές συχνότητες που συναντώνται στην πράξη.
2. Ηλεκτρική απομόνωση προερχόμενη από τις διηλεκτρικές ιδιότητες των οπτικών μέσων και από τη δυνατότητα να μετακινείται συνεχώς πολύ εύκολα ένας ευαίσθητος μηχανισμός για παράδειγμα από ένα κύκλωμα υψηλής τάσης.
3. Μεγάλο εύρος ζώνης, ευκολία στην τοποθέτηση, ασφαλής λειτουργία σε εύφλεκτο περιβάλλον, υψηλή αξιοπιστία.
4. Υψηλή ευαισθησία σε ένα εκτεταμένο αριθμό μετρούμενων μεγεθών.
5. Η μιας διάστασης φύση των οπτικών ινών επιτρέπει το συνδυασμό διάδοσης και αίσθησης μεγεθών πάνω από μεγάλες αποστάσεις.
6. Παραγωγίσιες διαμέσου της οπτικής γραμμής μπορούν να δώσουν μια γνώση των χωρικών μεταβολών των μετρήσεων. Αντιστρόφως μια αυξανόμενη ευαισθησία μπορεί να επιτευχθεί κατά την ολοκλήρωση σε όλη τη γραμμή.

Από τα παραπάνω αντιλαμβάνεται κανείς γιατί η έρευνα κατευθύνεται σήμερα στην ανάπτυξη καθαρά



Σχ. 1. Διάγραμμα ενός: α) Ηλεκτρικού συστήματος αίσθησης, β) Υβριδικού ηλεκτρο-οπτικού, γ) ολο-οπτικού.

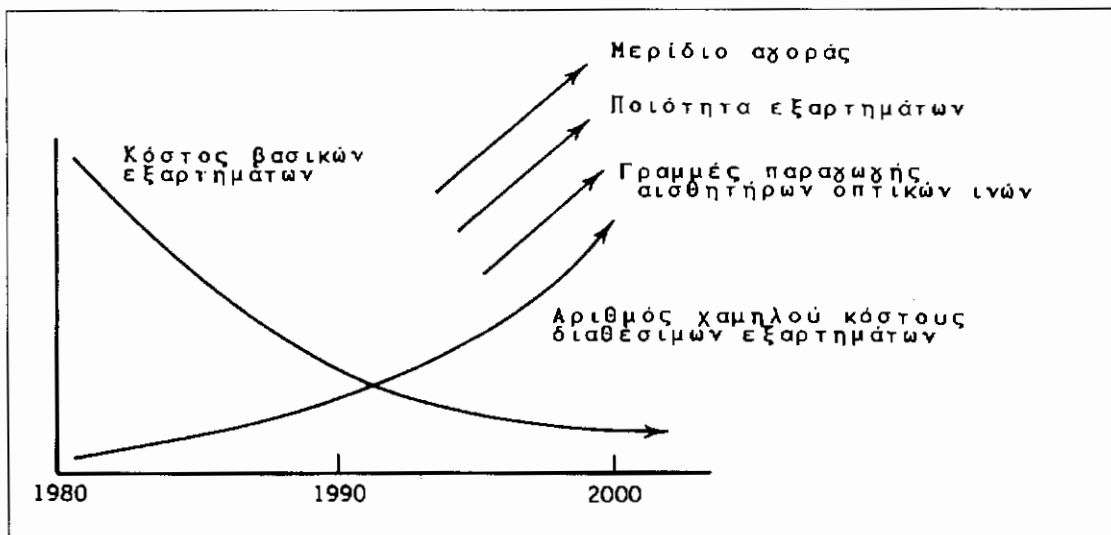
οπτικών αισθητήρων που συνδέονται απευθείας με την ίνα του οπτικού σήματος. Στο σχήμα 1γ παρουσιάζεται ένα ολο-οπτικό σύστημα αίσθησης. Κατ' αναλογία με την τροφοδότηση των ηλεκτρικών αισθητήρων με ηλεκτρική ισχύ, τροφοδοτούνται μέσω μιας ίνας με οπτική ισχύ π.χ. φως από μια δίοδο LED ή από LASER.

Η έρευνα στους αισθητήρες οπτικών ινών χωρίζεται σε δύο διακριτά επίπεδα. Σχετικά απλοί αισθητήρες αναπτύχθηκαν γρήγορα σε εμπορική μορφή, συχνά από μικρές εταιρείες για την εκτέλεση μετρήσεων σε εξειδικευμένες αγορές. Μια αρχική εφαρμογή ήταν η μέτρηση θερμοκρασίας σε περιβάλλον υψηλών τάσεων.

Περισσότερο σύνθετοι οπτικοί αισθητήρες, όπως γυροσκόπια οπτικών ινών και ακουστικά υδρόφωνα, ε-

πιδιώχθηκε να αναπτυχθούν από μεγάλες βιομηχανίες υποστηριζόμενες και από κυβερνητικά προγράμματα σε μια προσπάθεια να πλησιάσουν αγορές με υψηλά κέρδη.

Η αρχική διείσδυση των αισθητήρων οπτικών ινών στην αγορά κατευθείαν ανταγωνιστικοί με την τεχνολογία συμβατικών αισθητήρων από το 1980 έως το 1990 επιβραδύνθηκε σε μεγάλο βαθμό εξαιτίας του υψηλού κόστους ενός περιορισμένου αριθμού κατάλληλων οπτικών συνιστωσών. Αυτή η κατάσταση αλλάζει γρήγορα και η γενική τάση για το μέλλον είναι εξαιρετικά θετική. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα του σχήματος 2, το κόστος των βασικών οπτικών στοιχείων πέφτει γρήγορα, ενώ ο αριθμός και η δυνατότητα των επιλογών αυξάνεται. Αυτοί οι παράγοντες συμπληρώνονται με την αύξηση της αξιοπιστίας και της ποιότητας των εξαρτημάτων.



Σχ.2. Τάση για τους αισθητήρες οπτικών ινών.

Πίνακας 1. Οι κρίσιμες συνιστώσες για τους αισθητήρες οπτικών παρουσιάζουν μια γρήγορη πτώση των τιμών τους.

	1980	1990	2000
Laser diodes	\$ 3000 καθένα (πρωτότυποι)	\$ 3 καθένα (compact disk)	—
Ίνα απλού τρόπου (SM)	\$ 5-10/m (περιορισμένη διαθεσιμότητα)	\$ 0.10/m (τηλεπικοινωνίες)	—
Διαμορφωτές ολοκληρωμένης οπτικής	Εργαστηριακές διατάξεις	\$ 7000 καθένα (πρωτότυποι)	\$ 50 καθένα (γυροσκόπια οπτικών ινών)
Γυροσκόπια οπτικών ινών	Εργαστηριακές διατάξεις	\$ 20.000 καθένα (πρωτότυπα)	\$ 500 - 1000 (ναυσιπλοΐα)

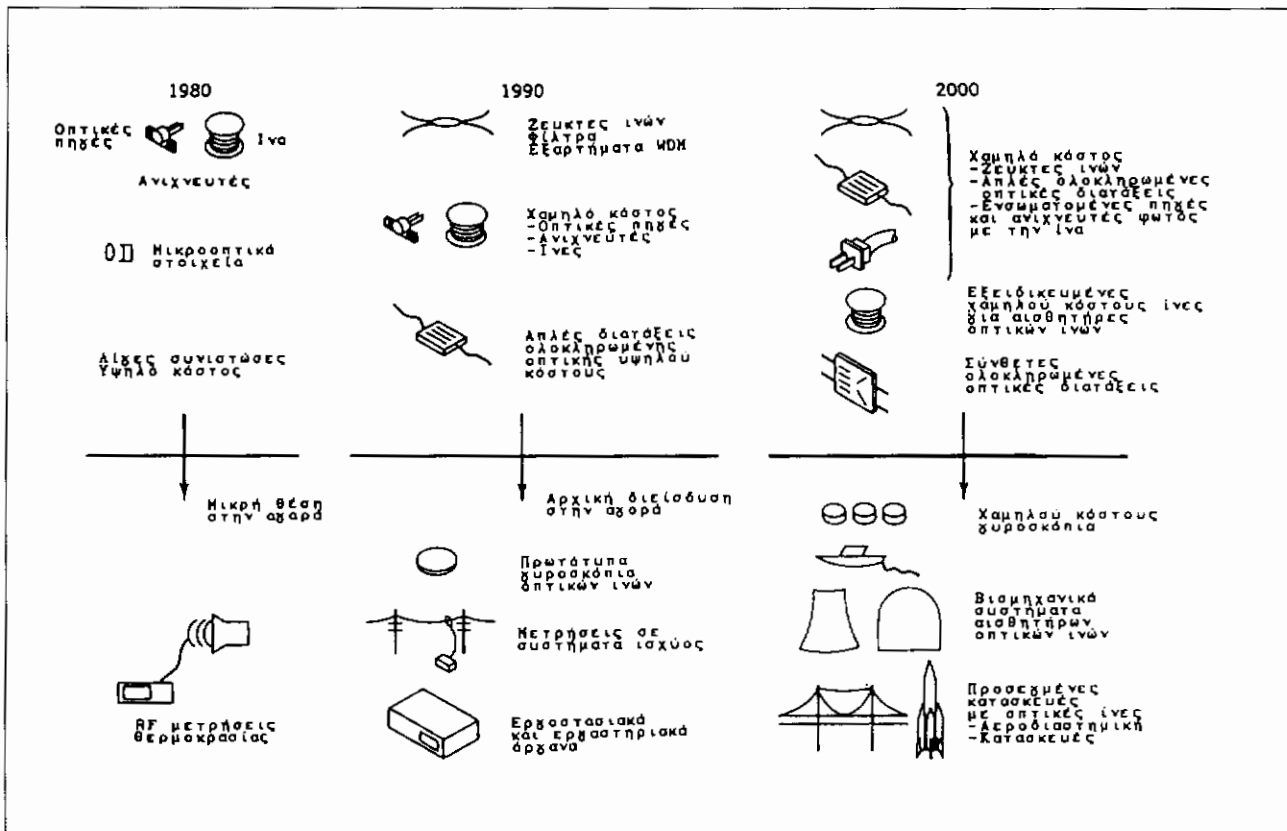
Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια γρήγορη επέκταση προϊόντων αισθητήρων οπτικών ινών και η αρχή της διείσδυσής τους στην αγορά. Ο πίνακας 1 δείχνει τη γενική τάση για ορισμένα οπτικά στοιχεία. Τα laser diodes στο τέλος της δεκαετίας του 1970 είχαν τιμές μερικών χιλιάδων δολαρίων το καθένα και συχνά είχαν περιορισμένη διάρκεια ζωής της τάξης λίγων ωρών. Από το 1990 τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται κατά εκατομμύρια στα CD, στους εκτυπωτές laser και με το κόστος τους να πέφτει σε λίγα δολάρια ανά προϊόν και η διάρκεια ζωής τους να φτάνει τις 10 χιλιάδες ώρες λειτουργίας. Το κόστος των οπτικών ινών μονού τρόπου στο τέλος της δεκαετίας του 1970 ήταν της τάξης των 10\$ ανά μέτρο και περιορισμένης διάθεσης. Το 1990 η οπτική ίνα γίνεται standard στις βιομηχανίες τηλεπικοινωνιακών υλικών με χιλιάδες χιλιόμετρων εγκαταστάσεις το χρόνο και το κόστος τους μικρότερο από 0.10\$ ανά μέτρο.

Πίσω απ' αυτά τα βασικά στοιχεία ακολουθούν περισσότερο σύνθετες διατάξεις, τέτοιες όπως ολοκληρωμένοι οπτικοί διαμορφωτές, οι οποίες ήταν σπάνιες εργαστηριακά στο τέλος της δεκαετίας του '70 και πολύ μακριά από το να γίνουν εμπορικά προϊόντα. Το 1990, αυτά τα στοιχεία είναι διαθέσιμα σε μικρές ποσότητες για μερικές χιλιάδες δολάρια το καθένα.

Με το κάθε νέο επιτυχημένο προϊόν το κόστος των υ-

παρχόντων αλλά και νέων εισαγομένων στην αγορά εξαρτημάτων συνεχίζει να πέφτει ανοίγοντας την πόρτα για νέα προϊόντα αισθητήρων οπτικών ινών. Αυτή η κατάσταση παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Το 1980 υπήρχαν πολύ λίγα εξαρτήματα διαθέσιμα και το κόστος τους ήταν σχετικά υψηλό. Αυτό είχε ως συνέπεια την περιορισμένη εφαρμογή των αισθητήρων οπτικών ινών και η παραγωγή τους έφτανε σε λίγα κομμάτια. Από το 1990, οι τιμές των εξαρτημάτων ινών, οπτικών πηγών, οπτικών ζευκτών, πέφτουν σημαντικά και το κόστος των στοιχείων πολύπλεξης που είναι διαθέσιμη είναι σχετικά λογικό.

Διάφορα νέα στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων και ολοκληρωμένων οπτικών διατάξεων, εισάγονται στην αγορά με σχετικά υψηλές τιμές. Αυτή η ανάπτυξη επιτρέπει την εισαγωγή των αισθητήρων οπτικών ινών στην οργανολογία, στη βιομηχανία, σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος κ.τ.λ. Κατά το 2000 εκτιμάται ότι ο αριθμός διαθέσιμων οπτικών διατάξεων χαμηλού κόστους θα αυξηθεί σημαντικά, επιτρέποντας έτσι στους σχεδιαστές αισθητήρων οπτικών ινών να παράγουν μια μεγάλη ποικιλία διατάξεων, οι οποίες θα παρέχουν πολύ καλύτερη λειτουργία και χαμηλότερου κόστους από την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία, ενώ παράλληλα θα επιτρέψουν τη χρήση των αισθητήρων και σε νέα πεδία εφαρμογών.



Σχ. 3. Καθώς ο αριθμός των εξαρτημάτων αυξάνει και το κόστος τους πέφτει οι επιλογές των σχεδιαστών αισθητήρων οπτικών ινών πολλαπλασιάζεται.

1.4. Πλεονεκτήματα των αισθητών οπτικών ινών

Με βάση τα παραπάνω προβλήματα (στα οποία θα μπορούσε κανείς να προσθέσει κι άλλα λιγότερο σημαντικά) και τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τις οπτικές ίνες γίνονται φανερά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση Ο.Ι σε συστήματα αίσθησης. Πιο συγκεκριμένα κι αναλυτικά είναι τα παρακάτω:

1. **Υψηλή ηλεκτρική μόνωση** που τα καταστεί ικανά για χρήση σε:
 - **Πεδία υψηλών τάσεων** (μέσα σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό με υψηλές τάσεις, όπως εναλλακτήρες και Μ/Σ, όπου απαιτούνται μετρήσεις θερμοκρασίας, μετρήσεις ρεύματος ή τάσης σε εγκαταστάσεις υψηλής τάσης, όπως το δίκτυο διανομής και σταθμούς ισχύος).
 - **Ιατρικές και βιολογικές εφαρμογές** σε θέσεις δύσκολα προσπελάσιμες. Ειδικά σ' αυτές τις εφαρμογές σημασία έχει η απομάκρυνση πιθανότητας ηλεκτρικού σοκ με τη χρήση Ο.Ι
 - **Γρήγορες μετρήσεις** θερμοκρασίας σε μικρές επιφάνειες που έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα και μεταβαλλόμενη ακτινοβολία.
 - **Συλλογή δεδομένων** από σημεία με διαφορετικό ηλεκτρικό δυναμικό.
2. **Εξωτερική οσφάλεια από την Η-Μ αλληλεπίδραση** που δημιουργούν τα ρεύματα υψηλής συχνότητας καθώς και τα ρεύματα της γης. Παρέχεται ασφάλεια στη διάδοση του σήματος και στην παροχή πληροφοριών.
3. **Ασφάλεια** στο αντίξοο κι επικίνδυνο περιβάλλον. Η απουσία ηλεκτρικής ισχύος από τον αισθητή κι η αντικατάσταση με οπτική ενέργεια σε επίπεδα που δεν υπερβαίνουν γενικά το 1mW είναι σχεδόν σίγουρο ότι εξασφαλίζουν ασφάλεια στη λειτουργία των αισθητών στο πιο επικίνδυνο περιβάλλον (π.χ. εύφλεκτα αέρια κι εφαρμογές στη βιοϊατρική).
4. **Παθητική λειτουργία.** Γι' αυτό και δεν απαιτούνται ούτε ηλεκτρονικά ούτε ισχύς για αίσθηση σε απομακρυσμένη λειτουργία.
5. **Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.** Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες περιοχές υψηλής θερμοκρασίας, όπου τα ηλεκτρονικά συστήματα δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν.
6. Ένα μοναδικό πλεονέκτημα των εσωτερικών αισθητών σε σχέση με τον ηλεκτρονικό τύπο είναι η ικανότητα να αναπτύσσουν κατανεμημένη αίσθηση με αίσθηση σε αποστάσεις της τάξης του 1km ή και παραπάνω χρησιμοποιώντας μια απλή οπτική ίνα, όπως σε μεγάλα τάνκερ σε αντιδραστήρες κ.λπ. Αυτό λόγω του χαμηλού επιπέδου απωλειών που υπάρχουν στις Ο.Ι
7. **Ακρίβεια μετρήσεων,** αφού ειδικά σε ορισμένες εφαρμογές, οι αισθητές Ο.Ι μπορούν να υπερκεράσουν σε ακρίβεια τους αντίστοιχους ηλεκτρονικούς τύπους για παράδειγμα: υδρόφωνα, γυροσκόπια.

Κι αυτό με την ως τώρα δεδομένη ανάπτυξη που βρίσκεται σε αρχικό στάδιο. Στο μέλλον προβλέπεται ν' ανέβει το επίπεδο ακρίβειας των μετρήσεων σ' όλους τους αισθητές.

8. Υπάρχει δυνατότητα για μεταφορά δεδομένων μεγάλης τάξης.
9. Υπάρχουν εφαρμογές, όπου, ενώ η αίσθηση γίνεται με ηλεκτρονικό τράπο, η μεταφορά δεδομένων γίνεται με οπτικό τρόπο αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα μεταφοράς με οπτικές ίνες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι εύκολη πλέον η τοποθέτηση και διασύνδεση αισθητών με οπτικές ίνες.
10. Πολύ πρακτικά και οικονομικά μερικοί αισθητές οπτικών ινών μπορούν και είναι φθηνοί, απλοί και αξιόπιστοι, π.χ. μικροδιακόπτες, αισθητές ανάκλασης με διαμόρφωση έντασης, διακόπτες καθορισμού επιπέδου υγρού και αισθητές μετατόπισης ή μικροκάμψεων.

Αυτά αποτελούν τα πλεονεκτήματα των αισθητών οπτικών ινών σε σχέση με τους συμβατικούς. Είναι, όμως, σίγουρο και προφανές ότι όπου γίνει π.ο συχνή και συνηθισμένη η χρήση οπτικών καλωδίων, οι οπτικοί μετατροπείς (TRANSDUCERS) θα βρουν περισσότερες γενικές εφαρμογές ακόμα και σε περιοχές που τα παραπάνω πλεονεκτήματα δεν θα είναι τα κύρια χαρακτηριστικά.

Εξετάζοντας από την άλλη μεριά τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται στην προσπάθεια να εφαρμόσουμε την τεχνολογία των οπτικών ινών πρέπει να τονιστεί ότι τα σοβαρότερα προέρχονται από την κατάσταση που ισχύει σήμερα στη βιομηχανία καθώς και στα προβλήματα που αντιμετωπίζει λίγο πολύ κάθε νέα τεχνολογία, παρά αυτά που οφείλονται στη φύση της τεχνολογίας των οπτικών ινών. Γι' αυτούς τους λόγους, παρ' όλο τον όγκο εργασιών και έρευνας που έχει αφιερωθεί στους αισθητές οπτικής ίνας, λίγοι είναι διαθέσιμοι εμπορικά. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται παρακάτω τα προβλήματα εφαρμογής της αίσθησης με οπτικές ίνες:

1. Ο συντηρητισμός της βιομηχανίας και η αντίσταση σε ενδεχόμενες αλλαγές.
2. Έλλειψη τυποποίησης (σε σύγκριση με το επίπεδο τυποποίησης των ηλεκτρικών αισθητών).
3. Οι δαπάνες για έρευνα και ανάπτυξη στα οπτικά είναι πολύ μικρότερες απ' ό,τι στα αντίστοιχα ηλεκτρονικά.
4. Οι παθητικοί αισθητές υστερούν στη δημιουργία «ευφών συστημάτων» αισθητών (αφορά ουσιαστικά στην επεξεργασία του σήματος) σε σύγκριση με την ολοκληρωμένη ηλεκτρονική. Στο βαθμό που μελλοντικά προχωρά η έρευνα στην ολοκληρωμένη οπτική (σε μορφή chips) θα δίνεται αντίληψη και σ' αυτό το πρόβλημα.
5. Το γεγονός ότι ήδη έχουν δαπανηθεί τεράστια ποσά για έρευνα, σχεδιασμό, ανάπτυξη, δημοσιοποίηση, παραγωγή, εφαρμογή των ηλεκτρονικών συστημάτων δημιουργεί δυσπιστία στο να προχωρή-

σουν οι κατασκευαστές σε μια νέα τεχνική, όταν αυτή δεν έχει ολοκληρωμένη μορφή - πρόταση - προοπτική, ώστε να είναι εξασφαλισμένη και η οικονομική επιτυχία με την εφαρμογή αυτής της νέας τεχνικής. Έτσι, δεν θα ήταν αποδεκτός για ανάπτυξη ένας συνδυασμός οπτικού - ηλεκτρονικού (υβριδικά στοιχεία) με προβλήματα συμβατότητας μεταξύ τους.

6. Σε σχέση με το παραπάνω κι όσον αφορά στις συνδέσεις εξαρτημάτων στα οπτικά ή οπτικοηλεκτρικά συστήματα, ο ανταγωνισμός με τις απλές συνδέσεις των ηλεκτρονικών δίνει μειονέκτημα στην εφαρμογή οπτικών ινών, οι συνδέσεις των οποίων είναι συγκριτικά πιο σύνθετες.

Είναι φανερό ότι τα παραπάνω μειονεκτήματα των οπτικών ινών αποτελούν και το αντικείμενο έρευνας, προκειμένου να λυθούν αυτά τα προβλήματα. Αυτό που είναι σίγουρο είναι ότι ήδη τα συστήματα αισθητών με 0.1 κερδίζουν έδαφος εκεί όπου η εφαρμογή των συμβατικών είναι δύσκολη ως αδύνατη (επικίνδυνο περιβάλλον) και εκεί που οι αισθητές οπτικών ινών είναι απλοί και φθηνοί (διακόπτες). Η πρόοδος στην ολοκληρωμένη οπτική θα συμβάλει σημαντικότερα στη συνολική προσπάθεια της τεχνολογίας των οπτικών ινών και στο πεδίο της αίσθησης.

2.1. Ταξινόμηση των αισθητών οπτικών ινών

Προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι τεχνικές, με τις οποίες λειτουργούν οι οπτικές ίνες ως αισθητές μετατροπείς φυσικών παραμέτρων και να γίνει δυνατή η παρουσίασή τους παρακάτω, θα χωριστούν οι αισθητές παρακάτω σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που συντελείται η αίσθηση.

Υπάρχουν αρκετά στοιχεία που πρέπει να εξετάσουμε στους αισθητές οπτικών ινών. Αυτά είναι:

1. Η ίδια η οπτική ίνα λειτουργεί ως μετατροπέας ή συνδέεται με διατάξεις που είναι υπεύθυνες για την αίσθηση;
2. Ποια παράμετρος του φωτός διαμορφώνεται (ένταση, φάση, πόλωση);
3. Με ποιον μηχανισμό γίνεται η διαμόρφωση αυτής της παραμέτρου;

Η παραπάνω ταξινόμηση δεν σημαίνει ότι δεν θα μπορούσαν να υπάρχουν κι άλλοι τρόποι διαχωρισμού των αισθητών οπτικών ινών. Συνήθως, όμως, χρησιμοποιούνται οι παραπάνω. Πιο αναλυτικά έχουμε:

A. Απαντώντας στο πρώτο ερώτημα οι αισθητές χωρίζονται στους:

- 1) **Ενδογενείς (Intrinsic)**. Αυτούς δηλαδή, όπου η διαμόρφωση του οπτικού σήματος συμβαίνει, καθ' όσον το φως οδηγείται μέσα στην ίνα. Στον ενδογενή αισθητή η ίδια η ίνα ανταποκρίνεται στο μετρούμενο πεδίο και διαμορφώνει το διαδιδόμενο φως. Αυτοί οι αισθητές δεν έχουν περιορισμούς σχήματος και μπορεί να είναι ακανόνιστοι. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που αποτελούν τη βάση αυτών των αισθητών και θα αναφερθούν διεξοδικά παρακάτω. Στηρίζονται βασικά όμως στο γεγονός ότι απο σημείο της αίσθησης

προκαλούνται στην ίνα μεγάλες απώλειες. Επίσης, τεχνικές βασισμένες στη σκέδαση, φθορισμό, διαφορετικό τρόπο διάδοσης, διαφορετικό μήκος οπτικής διαδρομής συμπεριλαμβάνονται στους ενδογενείς αισθητές. Το σχ. 4 δείχνει την αρχή λειτουργίας του ενδογενούς αισθητή.

Εξωγενείς (extrinsic). Το φως δεν διαμορφώνεται μέσα στην ίνα αλλά αφήνει την ίνα, περνάει μέσω ενός εξωτερικού μετατροπέα και στη συνέχεια επανασυζεύγεται πίσω στην ίνα. Σ' αυτή την περίπτωση υπεύθυνο για την αίσθηση είναι το εξωτερικό στοιχείο - μετατροπέας. Το σχ. 5 δείχνει μερικούς τέτοιους εξωγενείς διακόπτες - αισθητές.

B. Μια άλλη γενική ταξινόμηση των αισθητών οπτικής ίνας γίνεται με βάση το ποιο μέγεθος του φωτός διαμορφώνεται. Γενικά ξεχωρίζουμε τις εξής κατηγορίες:

i) **Αισθητές διαμόρφωσης έντασης (Intensity Modulation)**, όπου με διάφορους τρόπους διαμορφώνεται από τη φυσική παράμετρο η ένταση του διαδιδόμενου φωτός.

ii) **Αισθητές διαμόρφωσης φάσης (Phase Modulation)**, όπου το φυσικό μέγεθος προκαλεί μια μετατόπιση στη φάση του διαδιδόμενου φωτός. Για να γίνει, μάλιστα, δυνατή η μέτρηση το φως διακλαδίζεται αρχικά σε ίνες, εκ των οποίων η μία υπόκειται στην επίδραση του φυσικού μεγέθους που θέλουμε να μετρήσουμε και η άλλη παραμένει ως ίνα αναφοράς. Οι δύο (2) ίνες συζευγνύονται και συγκρίνεται η διαφορά φάσης που υπάρχει μεταξύ των δύο οπτικών σημάτων (συμβολομετρική διάταξη). Χαρακτηριστικό γι' αυτή τη περίπτωση είναι το παράδειγμα του γυροσκοπίου (σχ. 7). Η παραπάνω αρχή λειτουργίας φαίνεται εποπτικά στο σχ. 6.

iii) **Αισθητές διαμόρφωσης επιπέδου πόλωσης (Polarization Plane Modulation)**. Σ' αυτή την περίπτωση αξιοποιώντας φαινόμενα (μαγνητοοπτικό - Faraday, ηλεκτροοπτικό - Kerr ελαστοοπτικό) μεταβάλλεται το επίπεδο πόλωσης του διαδιδόμενου φωτός δίνοντας έτσι τη δυνατότητα με έναν πολωτή στην αρχή της ίνας και έναν αναλυτή στο τέλος να έχουμε αισθητές των αντίστοιχων φυσικών μεγεθών.

Γ. Η πιο διεξοδική τελικά ταξινόμηση των αισθητών οπτικών ινών μπορεί να γίνει με βάση τους τρόπους, τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται, για να διαμορφωθεί σε κάθε περίπτωση κάποια από τις παραμέτρους του διαδιδόμενου φωτός που προαναφέραμε. Μια τέτοια ταξινόμηση είναι η παρακάτω:

Αισθητές οπτικών ινών που χρησιμοποιούν την ίνα ως αισθητήριο στοιχείο

1. **Αισθητές «χρόνου διάδοσης»**, όπου πρακτικά μεταβάλλεται η φάση του διαδιδόμενου φωτός. Προκειμένου ν' ανιχνεύσουμε και τις πιο μικρές αλλαγές στο χρόνο διάδοσης του φωτός μέσα στην ίνα, χρησιμοποιείται συμβολομετρική διάταξη που παρέχει την απαραίτητη ευαισθησία. Η σύγκριση του διαμορφωμένου φωτός μπορεί να γίνει με:

- α) Ένα απευθείας από την πηγή οπτικό σήμα.
 β) Ένα σήμα που διαδίδεται μέσω μιας ίνας αναφοράς.
 γ) Ένα σήμα που διαδίδεται μέσω της ίδιας ίνας είτε σε ένα διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης είτε σε διαφορετική κατεύθυνση (γυροσκόπιο).

2. Αισθητές «μεταφοράς ισχύος», όπου μετράται η μεταβολή της ισχύος του οπτικού σήματος που διαδίδεται μέσα στην ίνα και η οποία μεταβολή οφείλεται σε κάποιο φυσικό μέγεθος. Οι μεταβολές στην ισχύ μπορεί να οφείλονται π.χ. στη λέπτυνση του υλικού του πυρήνα ή του περιβλήματος και τη μεταβολή του δείκτη διάθλασης λόγω της θερμοκρασίας ή στη μεταβολή του αριθμητικού ανοίγματος της ίνας. Επιπλέον, μπορούν να προκληθούν απώλειες λόγω μικροκάμψεων, έτσι ώστε να καταστήσουν την ίνα ικανή να λειτουργήσει ως αισθητής πίεσης ή δυναμικής τάσης (καταπόνησης).

Τέτοιου είδους αισθητές μπορούν να σχεδιαστούν επίσης, με τη χρήση οπτικού ανακλασίμετρου περιοχής χρόνου (OTDR), έτσι ώστε να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν για κατανεμημένη αίσθηση.

3. Αισθητής πόλωσης. Αυτοί οι αισθητές της κατάστασης πόλωσης κατά τη διάδοση του φωτός μέσα από την ίνα παρέχουν μεγάλη ευαισθησία στην ανίχνευση μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων. Βασίζονται στη στροφή του επιπέδου πόλωσης του πολωμένου φωτός που οφείλεται στην αλληλεπίδραση με τα πεδία λόγω:

- φαινομένου Faraday όσον αφορά το μαγνητικό πεδίο,
- φαινομένου Kerr όσον αφορά το ηλεκτρικό πεδίο.

Πρέπει να σημειωθεί επίσης και η επίδραση στο επίπεδο πόλωσης που δημιουργούν οι καταπονήσεις της ίνας (ελαστοοπτικό φαινόμενο) τόσο από την άποψη των δυνατοτήτων για τη δημιουργία ενός αισθητή καταπονήσεων, όσο και σαν έναν παράγοντα που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα παρεμβολών από τυχόν ανεπιθύμητες καταπονήσεις της ίνας.

4. Αισθητές σκέδασης φωτός. Εξαιτίας της επίδρασης φυσικών παραμέτρων (θερμοκρασία για παράδειγμα) διαφεύγει από τον πυρήνα της ίνας φως (σκέδαση). Ο βαθμός σκέδασης αποτελεί ένα σαφή δείκτη μέτρησης του αντίστοιχου φυσικού μεγέθους. Είναι δηλαδή, αισθητές έντασης.

Οπτικοί αισθητές συμβατοί με οπτική ίνα

Ουσιαστικά εννοούμε τους εξωγενείς (extrinsic) αισθητές όπου δεν διαμορφώνονται τα χαρακτηριστικά του φωτός μέσα σ' αυτή καθ' αυτή την ίνα, αλλά το φυσικό μέγεθος μπορεί να επιδράσει με δύο τρόπους:

- α) Να διαμορφώσει το φως εκπομπής που κατόπιν εισέρχεται στην ίνα υποδοχής δηλαδή:
- διαμόρφωση του φωτός από το φυσικό μέγεθος —
 - ίνα υποδοχής.
- β) Να διαμορφώσει το φως που συζεύγεται μεταξύ

δύο ινών δηλαδή διαδρομή:

ίνα εκπομπής — διαμόρφωση από το φυσικό μέγεθος — συλλογή διαμορφωμένου φωτός από 2η ίνα.

1) Αισθητές «συλλογής φωτός». Αυτή η τάξη αισθητών έχει να κάνει με την παρακολούθηση της εκπομπής φωτός λόγω κάποιας φυσικής παραμέτρου. Η ίνα ενεργεί με ένα ρόλο συλλογής και κυματοδηγησης του φωτός. Συλλέγοντας ένα τμήμα του εκπεμπόμενου φωτός και κατευθύνοντάς το σε ένα απομακρυσμένο σύστημα φωτοανιχνευτή. Η πιο χαρακτηριστική εφαρμογή του αισθητή είναι η απομακρυσμένη μέτρηση θερμοκρασίας από θερμικά ακτινοβολούντα σώματα που συμβαίνει συνήθως καθιστώντας αναγκαία τη χρήση περισσότερο ευαίσθητων οπτικών δεκτών.

2) Αισθητές βασισμένοι στη διαμόρφωση της σύζευξης μεταξύ ινών.

Είναι οι αισθητές, όπου διαμορφώνεται το ποσοστό του φωτός που συζεύγνυται μεταξύ δύο ινών. Το κύριο μειονέκτημα είναι η αναπόφευκτη απώλεια φωτός.

Οι κυριότεροι τύποι διαμόρφωσης σύζευξης αισθητών περιγράφονται παρακάτω:

I) Αισθητές «διακοπής οπτικής ακτίνας». Αυτή η κατηγορία αισθητών βασίζεται στη διακοπή μιας ακτίνας μεταξύ δύο ινών είτε εμποδίζοντας την ακτίνα είτε αποκλίνοντας την μία ίνα. Στην πιο απλή της μορφή αυτό συνιστά ένα οπτικό διακόπτη, ο οποίος όχι μόνο είναι εσωτερικά ασφαλής σε επικίνδυνα περιβάλλοντα, αλλά είναι και πιο αποτελεσματικός σε σχέση με τους ηλεκτρικούς κατά τη λειτουργία του.

Μια επέκταση αυτού του διακόπτη αποτελεί η μέτρηση τάξης στροφών ενός περιοδικού ιπερυγίου που περιοδικά διακόπτει την ακτίνα. Επίσης, η χρήση κωδικοποιημένου δίσκου που φωτίζεται με φως αποτελούμενο από διάφορα μήκη κύματος και με WDM πολύπλεξη και ανάλογη διάταξη στοιχείων φωτοανιχνευτή αξιοποιείται για τη μέτρηση τόσο της θέσης όσο και των στροφών. Σχετική αναφορά γίνεται παρακάτω.

II) Αισθητές «ανάκλασης και διασκόρπισης» του εκπεμπόμενου φωτός από το φωτιζόμενο στόχο. Αυτοί οι αισθητές είναι βασικά παρόμοιοι στις αρχές τους με τους αισθητές διακοπής ακτίνας. Η κύρια διαφορά είναι ότι αντί ν' ανιχνεύσουμε το «μπλοκάρισμα» μιας ακτίνας ανιχνεύεται η επιφάνεια ανάκλασης ενός υλικού.

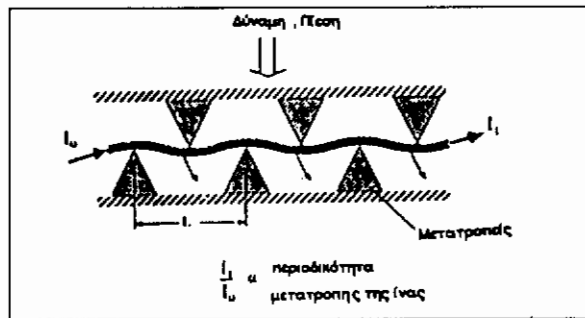
III) Αισθητές «επιλογής μήκους κύματος». Αισθητές μπορούν να σχεδιαστούν με χρήση κατανεμημένων στοιχείων μεταξύ της ίνας εισόδου και της ίνας εξόδου, προκειμένου να διαμορφωθεί το διαδιδόμενο φάσμα φωτός (όπως το παράδειγμα του κωδικοποιημένου δίσκου που αναφέρθηκε στην κατηγορία των αισθητών διακοπής ακτίνας).

Πολύ πρακτικό παράδειγμα είναι οι χημικοί αισθητές (ανίχνευση δηλαδή διαφόρων στοιχείων) σε απομακρυσμένα σημεία, όπου ανιχνεύουμε το μή-

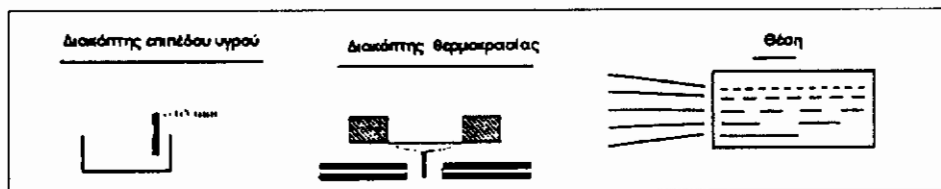
κος κύματος του συλλεγόμενου απ' αυτά τα στοιχεία φως (φασματοφωτομετρική τεχνική).

iv) Αισθητές οπτικής ενεργειακής στάθμης. Είναι αισθητές βασισμένοι στην ανίχνευση αλλαγών στο επίπεδο της ηλεκτρονιακής δονητικής ενέργειας. Μπορούν ν' ανιχνεύσουν αλλαγές στη θερμοκρασία ή στη συγκέντρωση διαφόρων χημικών στοιχείων, μηχανισμών δηλαδή που επηρεάζουν την ενεργειακή κατάσταση των μορίων σε κάποιο στοιχείο. Ειδικά χρησιμοποιείται η μέθοδος διέγερσης ενός υλικού με φως μιας συγκεκριμένης ενέργειας

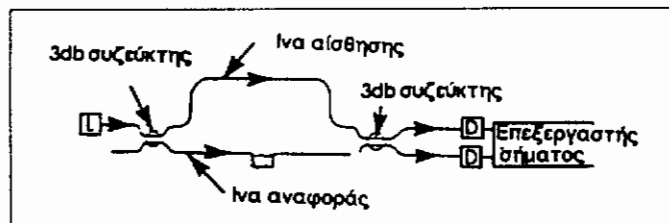
(δηλ. συγκεκριμένου μήκους κύματος) και η συλλογή του επανεκπεμπόμενου σε διαφορετικά μήκη κύματος φως. Αυτή η αρχή χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις θερμοκρασίας σε απομακρυσμένα σημεία με τοποθέτηση στο άκρο της ίνας ειδικού φωσφόρου που το φασματικό περιεχόμενο του φθορισμού ή φωσφορισμού του εξαρτάται από τη θερμοκρασία δίνοντας έτσι ένα δείκτη θερμοκρασίας μέσω της σχέσης Μακνέι-Βολτμαν (για την ενεργειακή κατανομή των ηλεκτρονίων). Εναλλακτικά μπορεί να παρατηρηθεί η διάρκεια ζωής του φθορισμού που επίσης εξαρτάται από τη



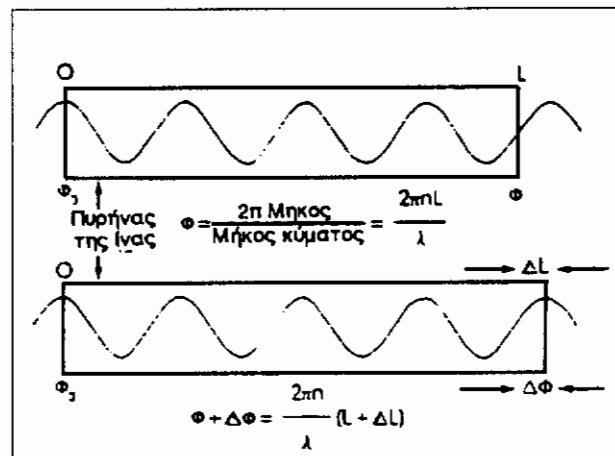
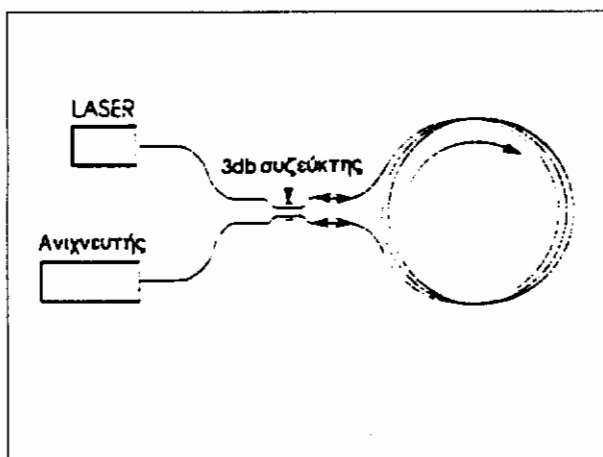
Σχ. 4. Ενδογενής αισθητής O.I «μικροκάμψης» με διαμόρφωση έντασης.



Σχ. 5. Εξωγενείς, διαμόρφωσης έντασης αισθητές - «διακόπτες» O.I



Σχ. 6. Ένα συμβολόμετρο Mach - Zehnder.



Σχ. 7. Ένα συμβολόμετρο Sagnac. Αλλαγή φάσης ενός κύματος φως διαμέσου μιας ίνας που έχει τεντωθεί.

θερμοκρασία. Με τέτοιες μεθόδους ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων τάξης 10^{-10} κατά βάρος μέσω οπτικών ινών μήκους 600 m.

3. Λειτουργία συγκεκριμένων οπτικών ινών

3.1. Αισθητές μετατόπισης, θέσης (γραμμικής-γωνιακής)

Αυτοί οι αισθητές μπορούν να λειτουργήσουν είτε με μεταβολή της έντασης είτε με μεταβολή του μήκους κύματος του φωτός που διαδίδεται μέσα από την ίνα.

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι αισθητές μετατόπισης αποτελούν ουσιαστικά τη βάση για το σχεδιασμό και άλλων τύπων αισθητών όπως π.χ. ταλαντώσεων (δονήσεων).

Μπορούμε να διακρίνουμε την περίπτωση όπου μετράμε απευθείας τη μετατόπιση του συγκεκριμένου στόχου - αντικείμενου και αυτή όπου κωδικοποιούμε το προς μέτρηση αντικείμενο π.χ. την επιφάνειά του κατάλληλα και κατόπιν διενεργούμε τη μέτρηση. Αυτό γίνεται πιο εμφανές από τα παρακάτω σχήματα. Έτσι έχουμε ενδεικτικά τις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Ένας πιθανός σχεδιασμός για αισθητή θέσης είναι αυτός που φαίνεται το σχ. 8. Όπως φαίνεται και από το σχήμα, μια διάταξη 9 οπτικών ινών χρησιμοποιείται ως είσοδος, για να φωτίσει τις οπτικές ίνες εξόδου (διάταξη 10 οπτικών ινών). Οι δύο διατάξεις μπορούν να εκτελούν ελεύθερες κινήσεις η μια παράλληλα προς την άλλη.

Με την απαραίτητη προσοχή στα διαστήματα μεταξύ των ινών εισόδου και εξόδου, μπορεί να παρακολουθείται με κατάλληλη επεξεργασία της έντασης εξόδου μετατόπιση με ακρίβεια περίπου 0.05% της διαμέτρου της ίνας.

2. Μια κατασκευή που αξιοποιεί κωδικοποίηση του προς μέτρηση αντικείμενου για μέτρηση γωνίας με ειδική εφαρμογή στα αεροπλάνα, είναι η παρακάτω, όπως φαίνεται στο σχ. 9.

Ένας ζεύκτης διαχωρίζει το οδηγούμενο φως σε έναν αριθμό ίσων έντασης συνιστωσών. Κάθε συνιστώσα φωτός διατρέχει καλώδια ινών διαφορετικού μήκους πριν φτάσει στο τέλος της ίνας.

Οι καταλήξεις των ινών τοποθετούνται κατά μήκος της ακτίνας ενός δίσκου κωδικοποιημένου κατά

κώδικα Gray έτσι ώστε να υπάρχουν κυκλικά κανάλια υψηλής και χαμηλής οπτικής ανάκλασης που αντιπροσωπεύει τις θέσεις του πτερυγίου. Αυτά ανακλούν είτε μεγάλη είτε μικρή ένταση φωτός πίσω στις ανεξάρτητες ίνες. Τα ανακλώμενα σήματα διαδίδονται στην κατεύθυνση επιστροφής μέσω των ινών του συζεύκτη και προς τα εμπρός ως τον ανιχνευτή φωτός. Εξαιτίας του διαφορετικού μήκους του οπτικού δρόμου των καλωδίων των ινών, κάθε παλμός που εκπέμπεται από τη φωτεινή πηγή παράγει μια ακολουθία διακριτών παλμών επιστροφής από τον αισθητή, ο οποίος παρουσιάζει ψηφιακά το γωνιακό προσανατολισμό του δίσκου και έτσι το γωνιακό προσανατολισμό του πτερυγίου, στο οποίο ο δίσκος είναι προσαρμοσμένος.

Παρακάτω δίνονται, επίσης, μερικές άλλες μορφές αναλογικών αισθητών θέσης με κωδικοποιημένα τα αντικείμενα αναφοράς για τη μετατόπιση.

Σ' αυτή την περίπτωση (σχήμα 10) πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι έχουμε συνεχή αλλαγή του σήματος, λόγω της μετατόπισης, πράγμα που συνεπάγεται το μειονέκτημα του να παρουσιαστεί κάποιο λάθος στις ενδείξεις λόγω αλλαγής του σήματος από τυχόν απώλειες.

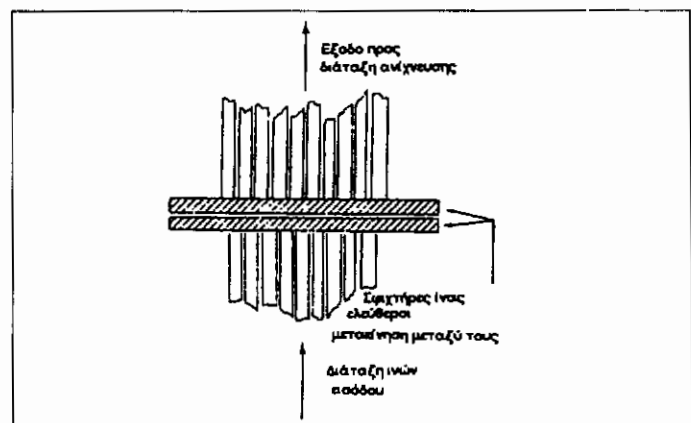
3. Μια άλλη μορφή αίσθησης μετατόπισης είναι αυτή, κατά την οποία έχουμε «φασματική επιλογή». Μ' αυτή την τεχνική, φως ευρέως φάσματος (λευκό) οδηγείται στην κεφαλή της ίνας από την οπτική ίνα, το φως φιλτράρεται φασματικά και φως στενού εύρους (μονοχρωματικό) μεταδίδεται πίσω για ανίχνευση διά μέσου μιας δεύτερης 0.1 χρησιμοποιώντας και κατάλληλους φακούς.

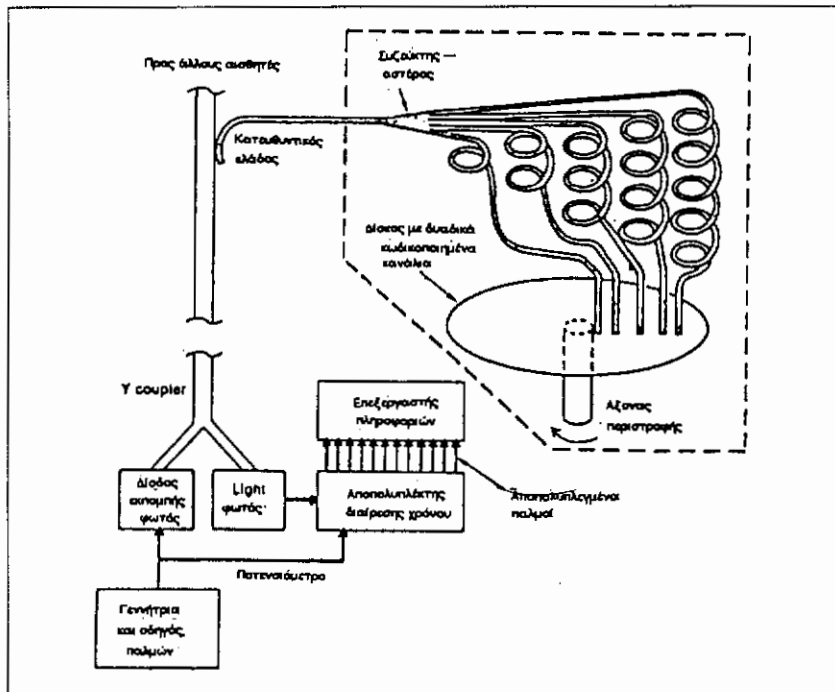
Όσο μεταβάλλεται η μετρούμενη παράμετρος, το κεντρικό μήκος κύματος ή χρώμα του φιλτραρισμένου φωτός μεταβάλλεται αντίστοιχα, επιτρέποντας σε έναν ανιχνευτή οπτικού μήκους κύματος να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την τιμή του μετρούμενου μεγέθους.

Αυτή η μέθοδος προσφέρει πλεονεκτήματα απλότητας και μεγάλης ανοχής στις μεταβολές απωλειών του συνδετήρα, στις μεταβολές φασματικής απώλειας από τη διασύνδεση οπτικών καλωδίων και από κάθε αλλαγή της θερμοκρασίας.

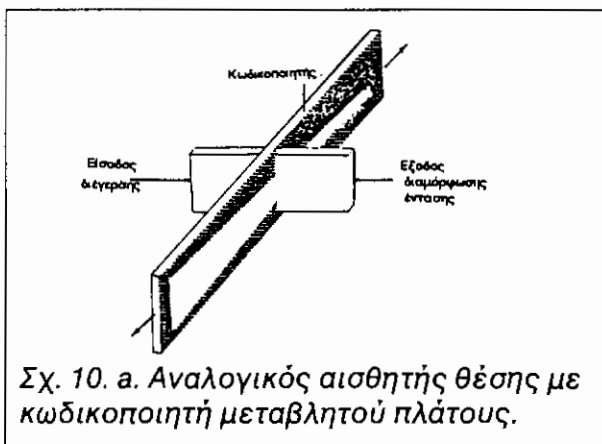
Παρακάτω φαίνονται τρία σχήματα που μετρούν

Σχ. 8. Ένα προτεινόμενο μόνιτορ 0.1 για παρακολούθηση σχετικής θέσης. Οι εννέα ίνες εισόδου φωτίζουν 10 ίνες εξόδου και με κατάλληλη επεξεργασία σήματος επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξης του 0,05 τοις εκατό της διαμέτρου της ίνας.

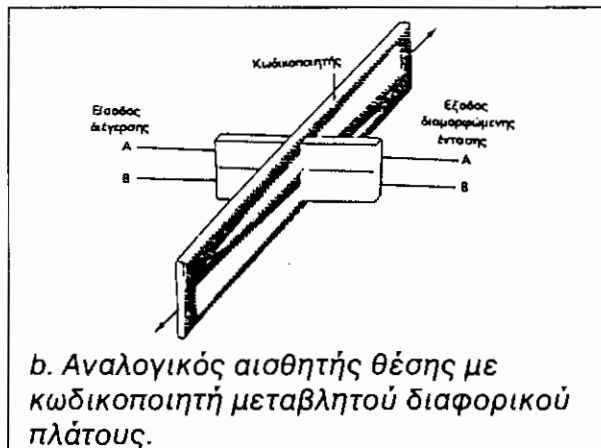




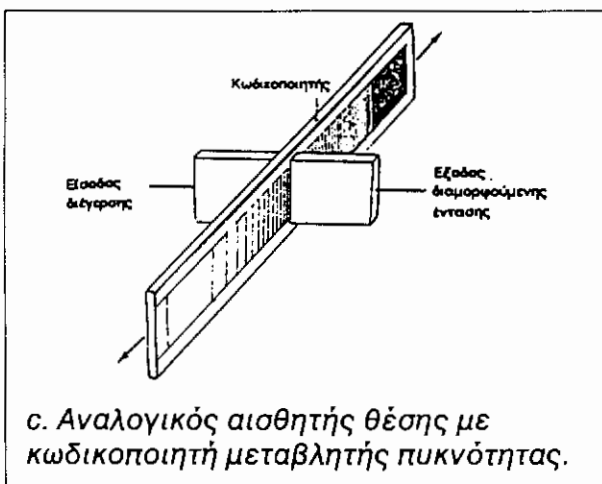
Σχ. 9. Μετατροπέας ψηφιακής θέσης συλλέγει κωδικοποιημένες ανακλάσεις από ένα δίσκο. Ο κώδικας - ουσιαστικά πρόκειται για κώδικα Gray - μεταβάλλεται με τη γωνιακή θέση του δίσκου. Έτσι η κατανομή της έντασης του φωτός μεταξύ των ινών αίσθησης μπορεί να αποκωδικοποιηθεί ανάλογα με τη θέση του δίσκου.



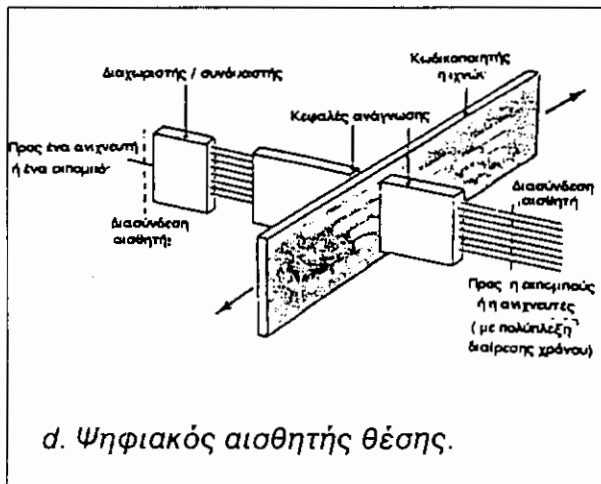
Σχ. 10. a. Αναλογικός αισθητής θέσης με κωδικοποιητή μεταβλητού πλάτους.



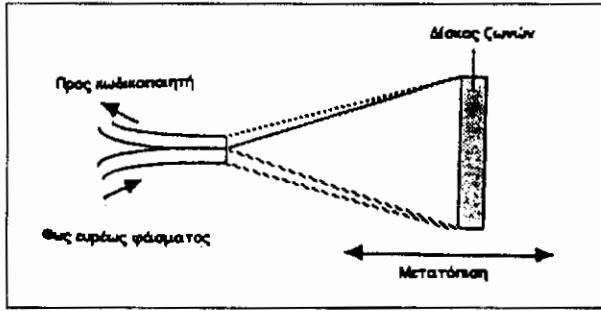
b. Αναλογικός αισθητής θέσης με κωδικοποιητή μεταβλητού διαφορικού πλάτους.



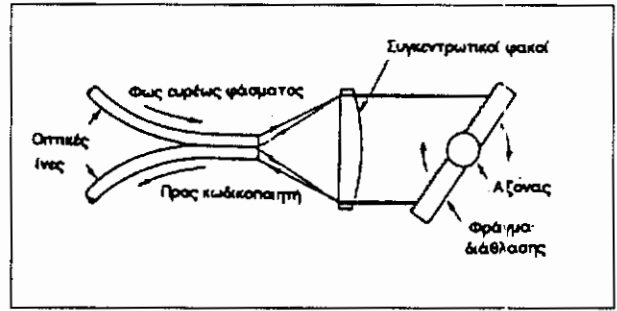
c. Αναλογικός αισθητής θέσης με κωδικοποιητή μεταβλητής πυκνότητας.



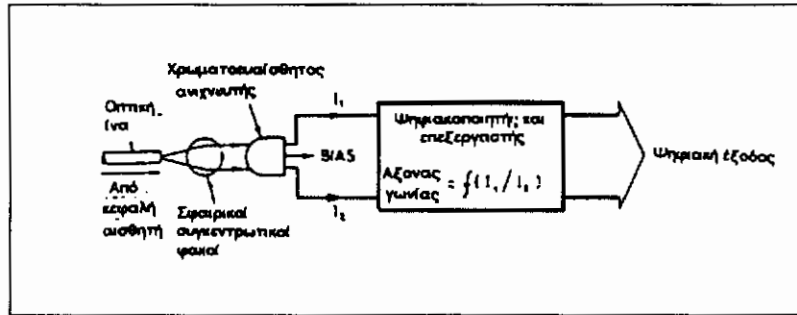
d. Ψηφιακός αισθητής θέσης.



Σχ. 11. Η κεφαλή αισθητή γραμμικής μετατόπισης.



Σχ. 12. Η κεφαλή αισθητή άξονα γωνίας.



Σχ. 13. Η μονάδα αποκωδικοποίησης.

γραμμική και γωνιακή μετατόπιση χρησιμοποιώντας φράγμα περίθλασης καθώς και μονάδα του αποκωδικοποιητή που εφαρμόζεται σ' αυτές τις περιπτώσεις (σχ. 11, 12, 13).

3.2. Αισθητές μικροκάμψεων

Μια άλλη εξωτερική διάταξη αισθητή 0.1 είναι αυτή των μικροκάμψεων.

Εάν μία ίνα κάμπτεται, μικρά ποσά φωτός χάνονται, διαφεύγοντας μέσω των τοιχωμάτων της ίνας. Εάν κάποιος μετατροπέας κάμψει την ίνα εξαιτίας μιας μεταβολής σε κάποια φυσική παράμετρο, όπως φαίνεται στο σχήμα 14α, τότε το ποσό του λαμβανόμενου φωτός σχετίζεται με την τιμή αυτής της φυσικής παραμέτρου.

Το σχήμα 14β δείχνει ότι όσο η πίεση αναγκάζει το μετατροπέα να σφίξει και ταυτόχρονα να κάμψει την ίνα, τόσο το ποσό του διαδιδόμενου φωτός μειώνεται

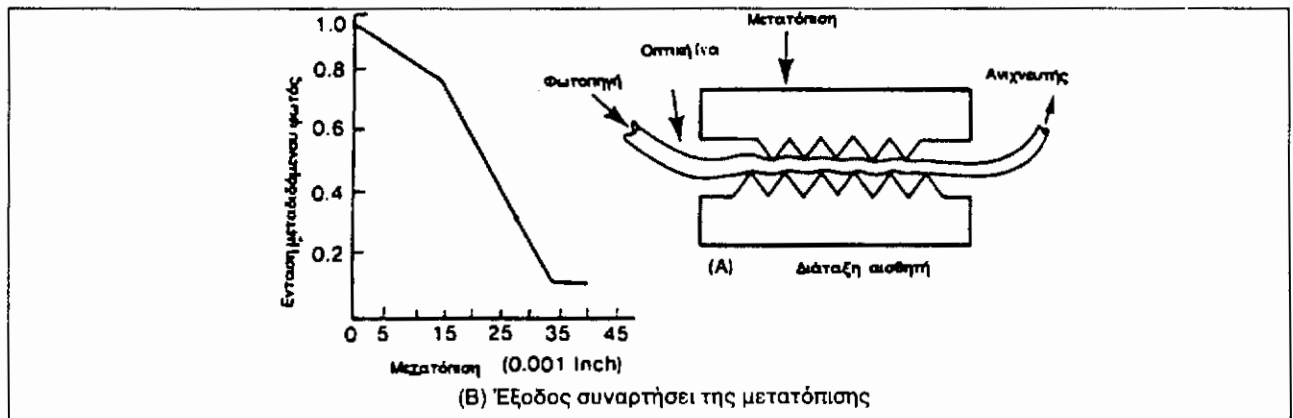
με τη μετατόπιση. Και αυτοί οι αισθητές είναι χαμηλού κόστους και ακριβείς. Πρέπει επίσης να σημειώσουμε ότι οι αισθητές μικροκάμψεων έχουν ένα κλειστό οπτικό δρόμο και γι' αυτό είναι αποκλεισμένοι - προστατευόμενοι από βρώμικο περιβάλλον.

Στην καμπύλη απόκρισης η αρχική - μη γραμμική - συμπεριφορά οφείλεται τουλάχιστον κατά ένα μέρος στη φύση του πολυμερικού προστατευτικού καλύμματος (jacket). Η αλλαγή της κλίσης στις υψηλές τιμές μετατόπισης οφείλεται στη μείωση - εξάντληση του φωτός. Το γραμμικό κεντρικό τμήμα της καμπύλης είναι η ενεργός περιοχή αίσθησης.

Γενικά, όσο αυξάνει ο αριθμός των σημείων κάμψης και τα διαστήματα μειώνονται, τόσο η ευαισθησία αυξάνει.

3.3. Αισθητές πίεσης

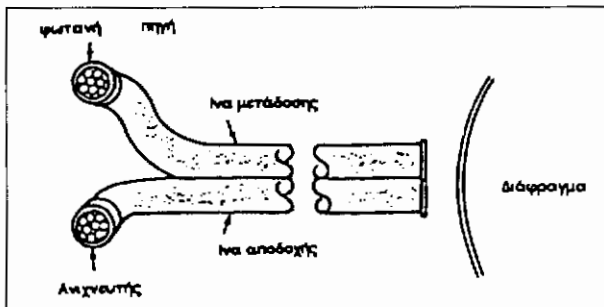
• Η αίσθηση πίεσης διά μέσου οπτικής ίνας χρησιμο-



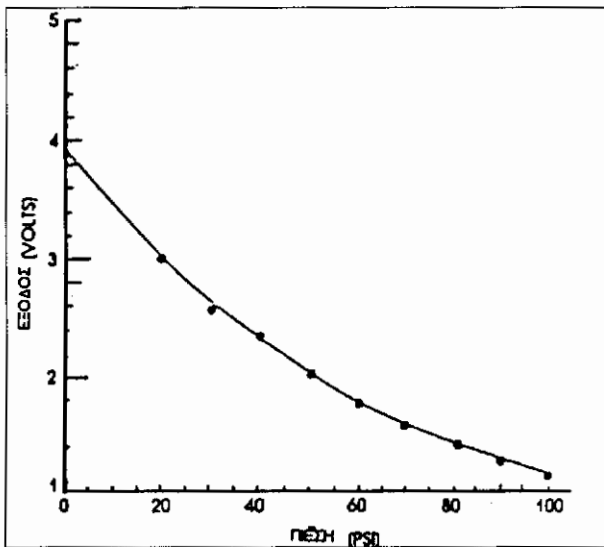
Σχ. 14. Αισθητής μικροκάμψης.

ποιεί ένα διάφραγμα (μεμβράνη), η οποία υπόκειται άμεσα ή έμμεσα στην πίεση που θέλουμε να μετρήσουμε.

Το ευκίνητο - ευαίσθητο στην πίεση διάφραγμα με μια ανακλαστική εσωτερική επιφάνεια μεταβάλλει την απόστασή του από την κεφαλή της οπτικής ίνας αποκρινόμενο στην πίεση που εξασκείται σ' αυτό. Έτσι



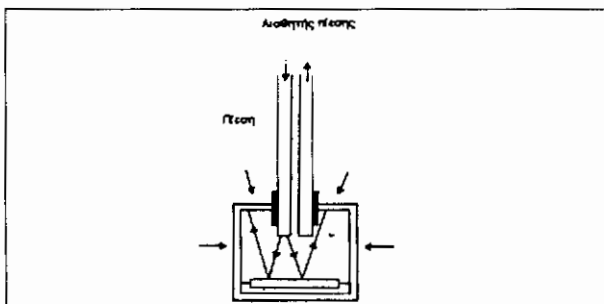
Σχ. 15. Αισθητής πίεσης με οπτική ίνα.



Σχ. 16. Καμπύλη απόκρισης για ένα αισθητή πίεσης.

με τη χρήση ενός απλού σταθμισμένου διαφράγματος μια κατασκευή πίεσης έχει γίνει (σχήμα 15). Στο σχήμα 16 φαίνεται η καμπύλη απόκρισης για έναν αισθητή πίεσης με 0.1.

• Μια άλλη διάταξη αισθητή πίεσης, είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 17. Εδώ το φως από την ίνα εισό-



Σχ. 17. Ανακλαστικό διάφραγμα.

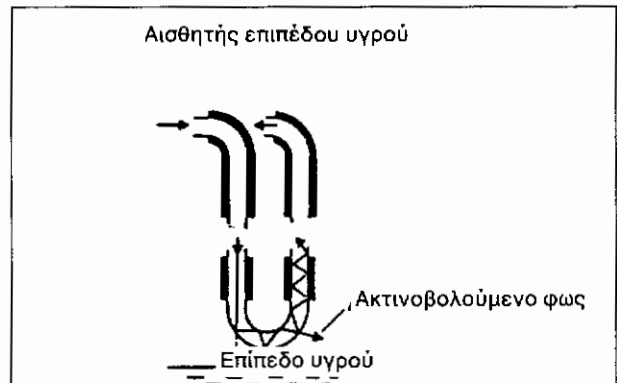
δου ανακλάται σε ένα επαργυρωμένο διάφραγμα. Το κλάσμα του ανακλώμενου φωτός που συλλέγεται από την ίνα εξόδου εξαρτάται από τη θέση του διαφράγματος, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την περιβάλλουσα πίεση.

Πρέπει να σημειώσουμε όμως ότι οι αισθητές πίεσης δεν χρησιμοποιούνται ευρέως για δύο λόγους:

- α) Γιατί ήδη υπάρχουν χαμηλού κόστους συμβατικοί αισθητές και
- β) Γιατί οι απαιτούμενοι αισθητές πίεσης στα διάφορα μηχανήματα - κατασκευές είναι πολύ λιγότεροι, συγκριτικά με τον αριθμό αισθητών για θερμοκρασία, επιπέδου υγρού, ροής κ.ά. Στην ίδια κατηγορία των αισθητών πίεσης συγκαταλέγονται και οι ακουστικοί αισθητές (υδρόφωνο, μικρόφωνο), όπου η τάξη των πιέσεων είναι μικρότερη και εισέρχεται και η παράμετρος συχνότητα. Πάντως στηρίζονται ουσιαστικά στις ίδιες αρχές με τους αισθητές πίεσης και κατά ένα μέρος τεχνικών με τους αισθητές μετατόπισης και μικροκάμψης.

3.4. Αισθητής στάθμης υγρού

Προκειμένου να ανιχνεύσουμε τη στάθμη κάποιου υ-



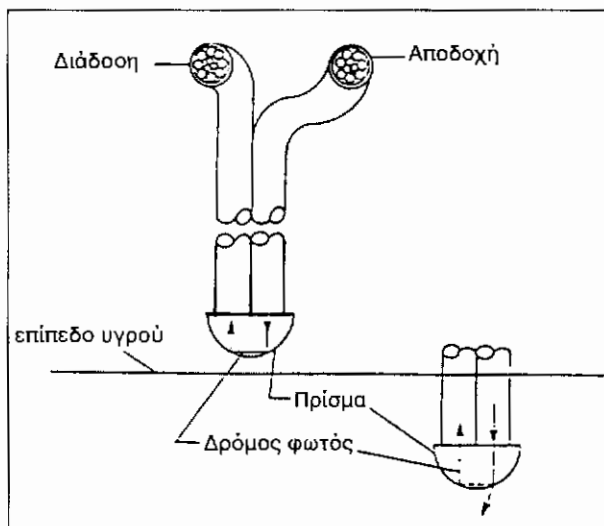
Σχ. 18.

γρού χρησιμοποιούμε μια απλή τεχνική, όπως φαίνεται στο σχήμα 18, όπου το φως λόγω της κάμψης έχει ορισμένες απώλειες στη διαδιδόμενη ισχύ (διαφεύγουν κάποιοι ρυθμοί). Οι απώλειες αυτές είναι συνάρτηση του περιβάλλοντος μέσου και μεταβάλλονται, όταν από αέρα έχουμε πλέον κάποιο υγρό.

Μια παρόμοια μέθοδος χρησιμοποιείται σε μια διάταξη με τη βοήθεια ενός πρίσματος: Το φως διαδιδόμενο προς τα κάτω από την ίνα διάδοσης ανακλάται ολικά εσωτερικά στην επαφή πρίσματος - αέρα με γωνία 90° και εισέρχεται χωρίς αποκλίσεις στην οπτική ίνα υποδοχής.

Σημειώνουμε ότι ο δείκτης διάθλασης του αέρα είναι 1 και ότι ο αέρας λειτουργεί γύρω από το πρίσμα σαν κάποιο υλικό περιβλήματος.

Όταν το πρίσμα εισέρχεται σε επαφή με την επιφάνεια κάποιου υγρού, το φως διαφεύγει από το πρίσμα έχοντας σαν αποτέλεσμα μια απώλεια ισχύος στον αιχνευτή (έχουμε αλλαγή της κρίσιμης γωνίας που δίνεται σύμφωνα με το νόμο του Snell και η οποία επη-



Σχ. 19. Αισθητής επιπέδου υγρού.

ρεάζεται από το δείκτη διάθλασης και την επιφάνεια επαφής). Αν το πρίσμα βυθιστεί σε ένα υγρό ή κάποιο άλλο μέσο με δείκτη διάθλασης μεγαλύτερο του αέρα, η κρίσιμη γωνία και το ποσό του φωτός που φτάνει στην οπτική ίνα επιστροφής θα μεταβληθεί αναλόγως (σχήμα 19).

Με την κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη μπορούμε να πετύχουμε διάκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων υγρών, όπως η βενζίνη και νερό, από το ποσό των απωλειών φωτός στο σύστημα ως συνάρτηση του δείκτη διάθλασης του υγρού.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι ανάλογα με τον τύπο του γυαλιού, που χρησιμοποιείται τόσο για το πρίσμα, όσο και για τις ίνες ο αισθητής μπορεί να λειτουργήσει και σε κρουγονική αλλά και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Ο αισθητής μπορεί να δώσει πολύ καλές ενδείξεις στην αλλαγή του επιπέδου του υγρού. Πάντως πρέπει να συνεκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά του πρίσματος, μιας και κάθε παραμένον υγρό (σταγόνες) που προσκολλάται στο γυαλί του πρίσματος μπορεί να οδηγήσει σε λάθος αποτέλεσμα.

3.5. Αισθητές Ροής

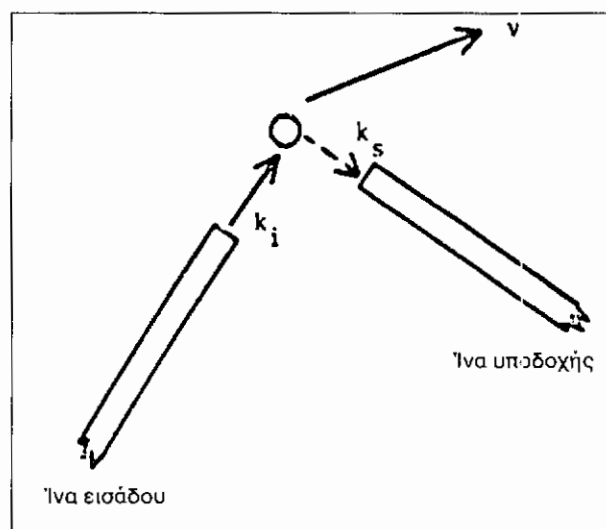
Οι τεχνικές μέτρησης με 0.1 για την παρακολούθηση ροής ρευστών δεν έχει εφαρμοστεί πλατιά. Η χρήση τους περιορίζεται κύρια στα περιβάλλοντα, όπου οι συμβατικές τεχνικές δεν είναι εφαρμόσιμες λόγω της παρουσίας επικίνδυνων στοιχείων. Μια τέτοια περίπτωση είναι η μέτρηση ροής εύφλεκτων υγρών.

Οπτοηλεκτρονικές τεχνικές έχουν εφαρμοστεί στη μέτρηση της συχνότητας στροβιλισμού στα ρευστά χρησιμοποιώντας τις μεταβολές της εσωτερικής ανάκλασης ενός πρίσματος τοποθετημένου μέσα στο υγρό. Κύρια όμως 0.1 συνδεδεμένες με πηγές Laser έχουν ιδιαίτερη εφαρμογή σε ένα άλλο περιβάλλον, όπου οι συμβατικές τεχνικές είναι δύσκολες ή αδύνατες.

Η χρήση τεχνικών Laser έχει καταστήσει σχετικά εύ-

κολες τις μετρήσεις της ταχύτητας ροής σωματιδίων μέσα σε υγρά. Η επιπρόσθετη ευκολία που δίνουν οι 0.1 για τη μεταφορά και συλλογή του φωτός έχει δώσει τη δυνατότητα να γίνονται εύκολα μετρήσεις σε περιπτώσεις όπου διαφορετικά ήταν δύσκολο να προσανατολιστεί η δέσμη του Laser ακριβώς κατευθείαν στα προς μελέτη σωματίδια. Μια τέτοια πολύ χρήσιμη και χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι αυτή που βασίζεται στο φαινόμενο Doppler.

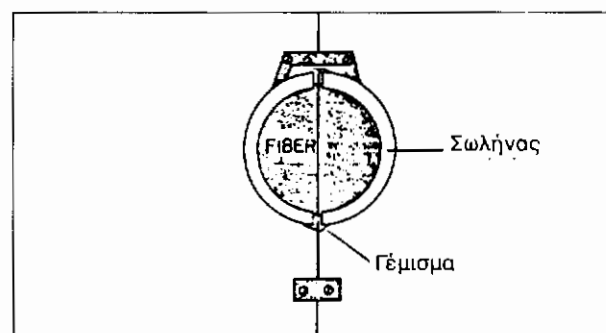
Σ' αυτή την περίπτωση εκπέμπεται φως σε μια συγκεκριμένη συχνότητα με στόχο το κινούμενο σωματίδιο. Ανακλώμενο το φως συλλέγεται από την 0.1 αλλά με μετατόπιση της συχνότητάς του και εξαρτημένης από την ταχύτητα του κινούμενου σωματιδίου. Στο



Σχ. 20. Σχηματική παράσταση της ανάκλασης - διαφυγής Laser φωτός.

σχήμα 20 πολύ απλά περιγράφεται η μέθοδος. Πρακτικά σ' αυτή τη μέθοδο το ανακλώμενο (δισκοσκοπιόμενο) φως φτάνει στην επιφάνεια του φωτοανιχνευτή συνοδευόμενο με μια ακτίνα αναφοράς από το αρχικό σήμα. Ο φωτοανιχνευτής συγκρίνει τα δύο σήματα και δίνει στην έξοδο ένα σήμα που ταλαντώνεται στη συχνότητα διαφοράς.

Μια άλλη τεχνική που βρήκε πρακτική εφαρμογή παρουσιάζεται στο σχήμα 21. Μέσα σε ένα σωλήνα έχει τοποθετηθεί κατακόρυφα και διαμετρικά μία 0.1. Η 0.1

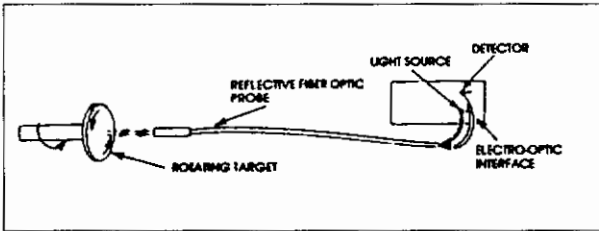


Σχ. 21. Ένα ροόμετρο 0.1 (κατασκευασμένο στο University College London) στο οποίο η κατακόρυφη ίνα δονείται.

δονείται και προκαλεί διαμόρφωση φάσης του οπτικού φέροντος σήματος μέσα στην 0.1. Η διαμόρφωση ανιχνεύεται και η τάξη της ροής καθορίζεται από τη συχνότητα δόνησης - ταλάντωσης. Αυτή η μέθοδος έχει συγκριθεί με άλλους μετρητές ροής με επιτυχία χρησιμοποιώντας ίνες πολλαπλού ρυθμού διαμέτρου πυρήνα 200-300 μm και σε τάξη ροής περίπου 0.3-3 m/sec.

3.6. Ταχύμετρο

Μια διάταξη ταχύμετρου χρησιμοποιεί τη μέθοδο του



Σχ. 22.

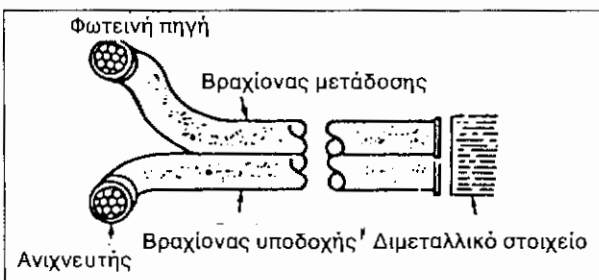
κωδικοποιημένου δίσκου (αισθητής μετατόπισης). Όπως φαίνεται στο σχήμα 22 φως διαδίδεται από μια ίνα, ανακλάται σε έναν περιστρεφόμενο δίσκο ή ράβδο, ο οποίος είναι κωδικοποιημένος με συγκεκριμένους στόχους για ανάκλαση. Η τάξη ανίχνευσης είναι ανάλογη της ταχύτητας.

Μια άλλη τεχνική για τη μέτρηση της ταχύτητας είναι η προαναφερθείσα μέθοδος Doppler.

3.7. Αισθητές θερμοκρασίας

Πολλές και διαφορετικές τεχνικές για τη μέτρηση θερμοκρασίας με 0.1 έχουν αναπτυχθεί ως τώρα και αυτό γιατί η απαίτηση για μέτρηση θερμοκρασίας σε κάποιο χώρο-σημείο είναι πολύ συχνή αλλά και γιατί υπάρχουν πολλές περιπτώσεις, όπου το περιβάλλον είναι τέτοιο, ώστε να μην επιτρέπει τις συμβατικές μεθόδους (μετασχηματιστές, jet μηχανές, τάνκερ, πυρηνικοί σταθμοί). Επιπλέον υπάρχουν τεχνικές με τις 0.1 που προσφέρουν πολύ μεγάλη ακρίβεια και έτσι ακόμα και σε περιπτώσεις που δεν συντρέχει κάποιος από τους ιδιαίτερους λόγους, για τους οποίους η 0.1 είναι μοναδική λύση, προτιμούνται και πάλι.

Μια απλή διάταξη που μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως διακόπτης, όπως και ως αναλογικός μετρητής θερμοκρασίας, είναι αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 23. Θεωρούμε ένα διμεταλλικό στοιχείο σαν στόχο, όπου ανακλάται το φως. Το διμεταλλικό έλασμα ανάλογα με τη θερμοκρασία αποκλίνει λόγω των διαφο-



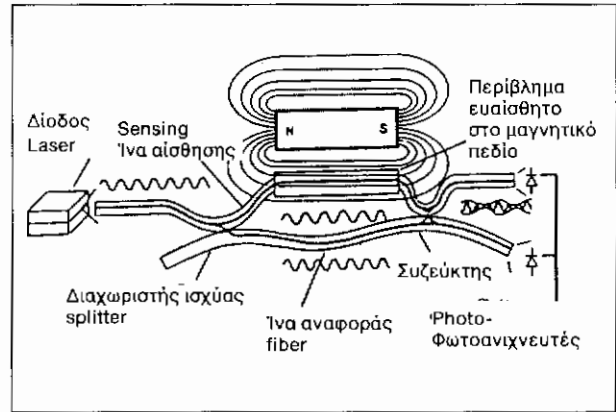
Σχ. 23. Αισθητής θερμοκρασίας.

ρετικών βαθμών διαστολής των δύο μετάλλων. Ανάλογα μεταβάλλεται η ποσότητα του φωτός που λόγω της ανάκλασης στο έλασμα εισέρχεται στην ίνα συλλογής και ανιχνεύεται στο φωτοανιχνευτή.

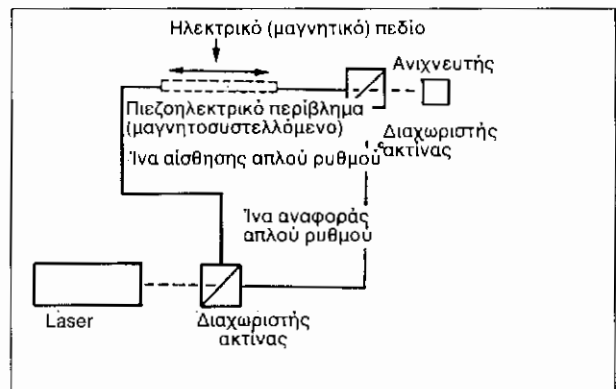
3.8. Αισθητής μαγνητικού πεδίου.

Εφαρμόζονται δύο τεχνικές:

α) Έμμεση αίσθηση. Σ' αυτή την περίπτωση εκμεταλ-



Σχ. 24.



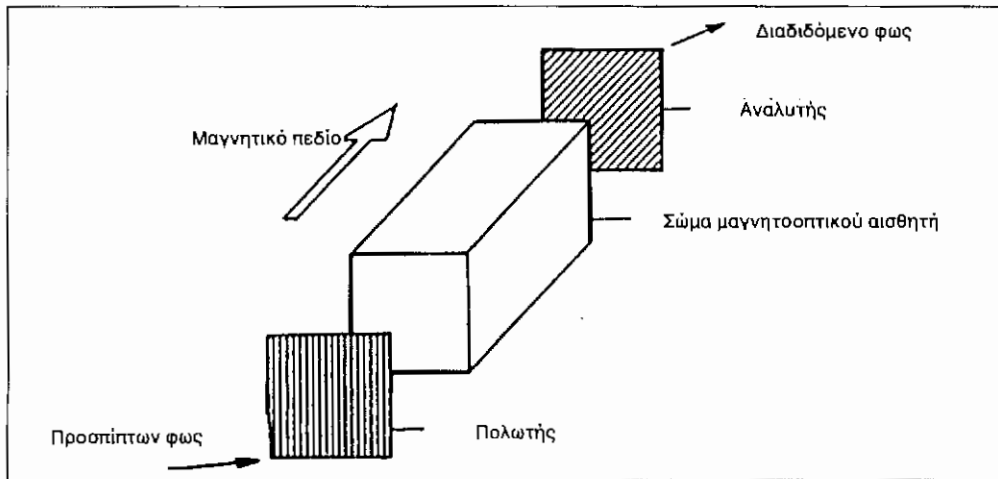
Σχ. 25. Σχεδιάγραμμα για αίσθηση ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου.

λευόμαστε το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής διαφόρων υλικών. Έτσι η ίνα καλύπτεται με ένα εμπορικά διαθέσιμο - κάλυμμα νικελίου ή ένα κάλυμμα μετάλλου - γυαλιού. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα στο προς μέτρηση μαγνητικό πεδίο. Η πίεση μαγνητοσυστολής στο κάλυμμα δημιουργούμενη από την αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο προκαλεί αλλαγές στο μήκος της ίνας, πράγμα το οποίο ανιχνεύεται σαν μεταβολή φάσης στην έξοδο ενός συμβολομέτρου (σχ. 24, 25).

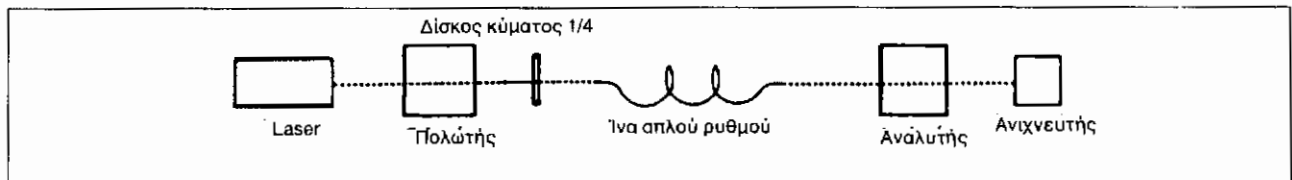
β) Αξιοποιώντας το φαινόμενο Faraday, όπου διοχετεύοντας πολωμένο φως (με χρήση πολωτή στην αρχή της διάταξης) μετρούμε τη στροφή του επιπέδου πόλωσης που παρατηρείται (με έναν αναλυτή στην έξοδο) και η οποία στροφή ανταποκρίνεται στην ένταση του μαγνητικού πεδίου. Μια ανάλογη διάταξη φαίνεται στα σχήματα 26, 27.

3.9. Αισθητής ρεύματος

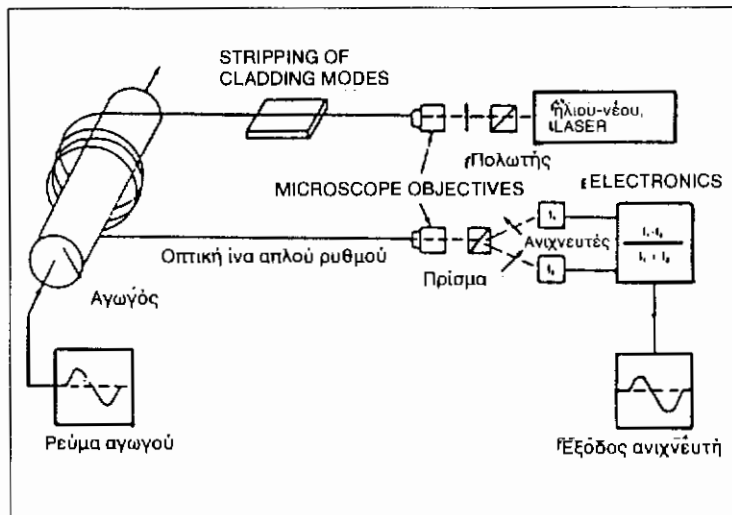
Αξιοποιείται η μέτρηση του μαγνητικού πεδίου που



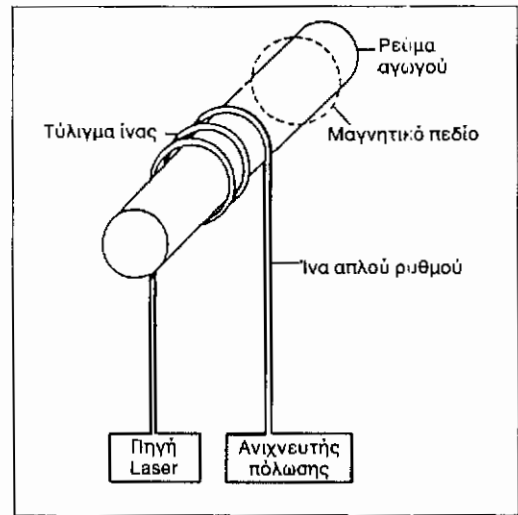
Σχ. 26. Βασική κατασκευή για ένα αισθητή στροφής Faraday μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αίσθηση μαγνητικού πεδίου και ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχ. 27. Ένας αισθητής στροφής Faraday.



Σχ. 28. Μια διάταξη για μέτρηση ρεύματος με χρήση 0.1 απλού ρυθμού και εφαρμογή φαινομένου Faraday.



Σχ. 29. Ενδογενής αισθητής ρεύματος.

δημιουργεί το ρεύμα που θέλουμε να μετρήσουμε. Η ανάλογη διάταξη φαίνεται στα σχήματα 28, 29. Πρέπει να τονίσουμε ότι η στροφή που προκαλείται στο επίπεδο πόλωσης του πολωμένου φωτός που διαδίδεται στην ίνα είναι ανάλογη στο επικαμπύλιο ολοκλήρωμα του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος του δρόμου διάδοσης h.

$$d\psi = Vh dh$$

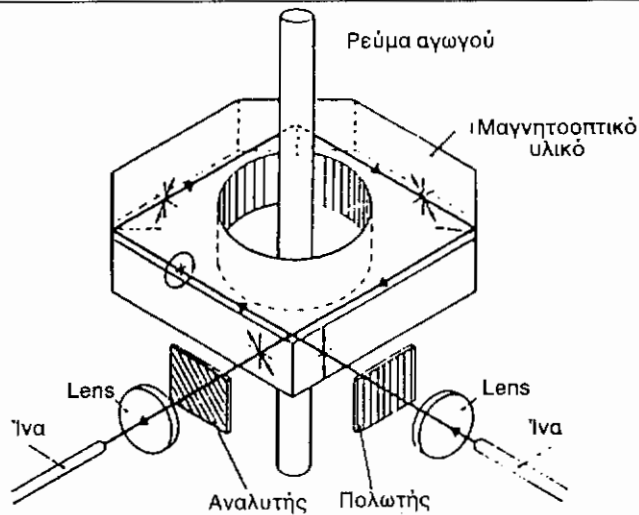
όπου V είναι η σταθερά Verdet του υλικού

Ένας περιορισμός σ' αυτή τη διάταξη είναι οι ανεπιθύμητες μεταβολές του επιπέδου πόλωσης λόγω δια-

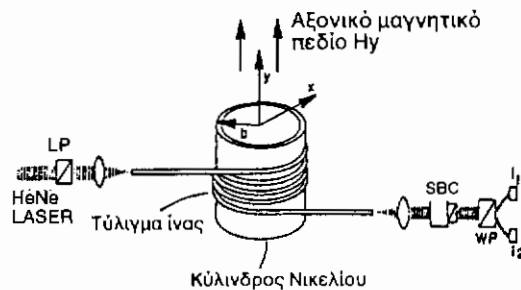
φόρων ατελειών στην ίνα μαζί με μεταβολές λόγω θερμοκρασίας. Αυτά μπορούν να μειωθούν με πολύ προσεκτικό έλεγχο στην κατασκευή της ίνας.

Η παραπάνω μέθοδος είναι ενδογενής (intrinsic).

Στο σχήμα 30 βλέπουμε την εξωτερική εκδοχή αυτής της μεθόδου. Σ' αυτή την περίπτωση απαιτείται ένα σχετικά μεγάλο και ακριβό σώμα αισθητή. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτού του τύπου σχετίζεται με τις ανακλάσεις που απαιτούνται, ώστε να οδηγηθεί η φωτεινή δέσμη γύρω από τον αγωγό. Γενικά πίντως μετά την ανάκλαση το γραμμικά πολωμένο φως γίνεται ελλειπτικά πολωμένο. Πρέπει να παίρνονται ειδικά μέ-



Σχ. 30. Κυκλικό σχέδιο αισθητή ρεύματος.



Σχ. 31. Το τύλιγμα ίνας υπό τάση ανιχνεύει αλλαγές του περιβάλλοντος μαγνητικού πεδίου διά μέσου του φαινομένου μαγνητοσυστολής που αλλάζει την κατάσταση πόλωσης του φωτός Laser.

τρα, για να προφυλάξουμε τον αισθητή απ' αυτή την παρενόχληση σε διάφορα τμήματα του δρόμου διάδοσης. Μια λύση είναι να εφαρμοστεί περιτύλιγμα διατήρησης της πόλωσης στις επιφάνειες ανάκλασης.

Πιο σπάνια αξιοποιούνται αισθητές οπτικής ίνας με τη βοήθεια καλύμματος στρώματος αλουμινίου πάχους 2μm σε ένα μήκος 10 cm και με αντίσταση 3 Ohm, διά μέσου του οποίου περνά το προς ανίχνευση ρεύμα. Αξιοποιώντας τη μαγνητοδιαστολή παίρνουμε διαφορά μήκους και τελικά διαφορά φάσης (σχ. 31).

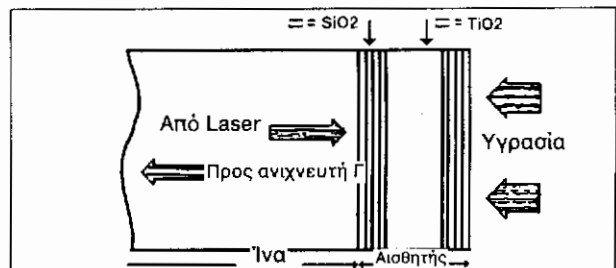
3.10. Αισθητής 0.1 για την υγρασία

Αν και η αίσθηση με 0.1 είναι συνεχώς εκτεινόμενο πεδίο, λίγη έρευνα έχει γίνει πάνω στην αίσθηση υγρασίας. Παρόλο που είναι απαραίτητες τέτοιες μετρήσεις υγρασίας σε σχέση και με τη θερμοκρασία για τον καθορισμό του αέρα τόσο σε σπίτια, γραφεία όσο και για διάφορες άλλες περιπτώσεις στη βιομηχανική παραγωγική διαδικασία. Η διάταξη που παρουσιάζεται εδώ είναι εξαιρετικά μικρή (μm) απρόσβλητη στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και αντέχει σε επικίνδυνα χημικά.

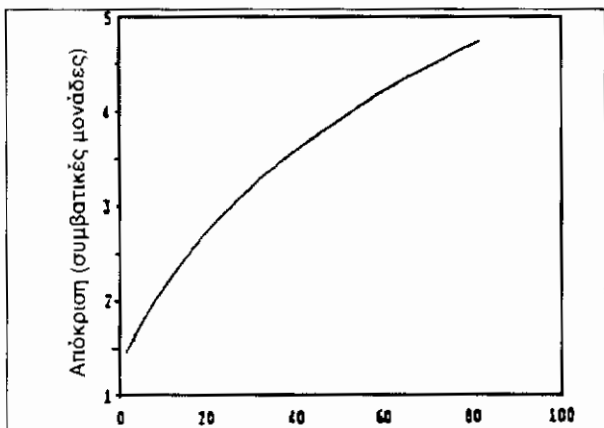
Η λειτουργία του αισθητή βασίζεται στο γεγονός ότι λεπτά απορροφητικά φιλμ, τα οποία χρησιμοποιούνται για όλα τα είδη καθρεπτών και αντανάκλαστικών

καλυμμάτων έχουν κάποιο συγκεκριμένο βαθμό «πορώδους». Τέτοια φιλμ είναι στην ουσία περισσότερο σπογγοειδή παρά ένα συμπαγές στρώμα. Το κλάσμα κενού που εξαρτάται από τις λεπτομέρειες της διαδικασίας κατασκευής μπορεί να είναι 10%-20%.

Έχει αποδειχθεί τελευταία ότι η υγρασία από την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα μπορεί να διαχυθεί στους πόρους. Όσο το νερό γεμίζει τα κενά, ο δείκτης διάθλασης του φιλμ αυξάνεται. Και είναι ακριβώς αυτή η μεταβολή στο δείκτη διάθλασης που αξιοποιείται τελικά για τη μέτρηση της υγρασίας. Ας σημειώσουμε σ' αυτό το σημείο ότι οι συμβατικοί αισθητές χρησιμο-



Σχ. 32. Τομή ενός λεπτού φιλμ Fabry Perot ταλαντωτή. Η παραπάνω πυκνότητα των καλυμμένων φιλμς είναι προσεγγιστική 2 μm.



Σχ. 33. Εκατοστιαία σχετική υγρασία.

ποιούν τη μεταβολή της χωρητικότητας κάποιου στοιχείου λόγω της παρουσίας υγρασίας.

Στο σχ. 32 φαίνεται ο αισθητής που προτείνεται, ένα λεπτό φιλμ Fabry-Perot συμβολόμετρο. Ένα στρώμα με υλικό υψηλού δείκτη βρίσκεται ανάμεσα σε 2 τμηματικά ανακλαστικούς καθρέπτες, καθένας από τους οποίους περιέχει καλυμμένα στρώματα εναλλάξ από υλικά υψηλού και χαμηλού δείκτη. Γνωστό είναι ότι ο ταλαντωτής Fabry-Perot έχει πολλές αντηχήσεις που διαχωρίζονται κατά συχνότητα με ελεύθερη φασματική τάξη.

$$FSR = c/2nd \text{ (Free Spectral Range)}$$

όπου: c : είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό

n : είναι ο δείκτης διάθλασης

d : η γεωμετρική πυκνότητα του ενδιάμεσου στρώματος

Έτσι για ένα ακτινοβολούμενο φως οι μεταβολές στο δείκτη του ενδιάμεσου στρώματος μεταφράζεται σε μεταβολές της μεταδιδόμενης ή ανακλώμενης έντασης. Με το δείκτη του ενδιάμεσου στρώματος εξαρτώμενο από την υγρασία μπορούμε να προσεγγίσουμε την υγρασία με μια απλή μέτρηση της έντασης του ανακλώμενου φωτός (σχ. 33).

Δίνουμε έμφαση στο ότι ο μονολιθικός αισθητής είναι εξ ολοκλήρου διηλεκτρικός, έτσι ώστε να είναι κατάλληλος για μετρήσεις σε Η-Μ πεδία. Επίσης είναι κατάλληλος για αντίξοο και εκρηκτικό περιβάλλον εξαιτίας των μικροποσών ενέργειας που μεταφέρει. Ακόμη ο αισθητήρας κατασκευασμένος μόνο από SiO_2 και TiO_2 μπορεί να είναι χημικά σταθερός.

Η διάταξη είναι επίσης τόσο μικρών διαστάσεων, ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί σε δυσπρόσιτα μέρη. Δεν αναμένεται ουσιαστικά κάποιος άλλος αισθητής υγρασίας που θα χρειάζεται τόσο λίγο χώρο, τόσο λίγο αέριο, για να μετρηθεί και να παγιδεύει τόσο λίγο νερό (0.1ng), όπως αυτός που περιγράφηκε. Έτσι ειδικά για ορισμένες εφαρμογές θα είναι ασυναγώνιστος, όπως για παράδειγμα για μετρήσεις σε πολύ μικρούς κοίλους χώρους, όπως σε ζωντανούς οργανισμούς ή σε απομονωμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στα κτίρια. Επίσης η ανοσία στις Η-Μ επιδράσεις τον συνι-

στούν για χρήση σε μονάδες υψηλής τάσης, όταν είναι σπουδαίο να παρακολουθηθεί η υγρασία.

Με αυτά αλλά και άλλα πλεονεκτήματα (μπορεί και είναι σε μορφή ολοκληρωμένου οπτικού αισθητή κ.λπ.) που είναι μοναδικά στον αισθητή αυτόν είναι λογικό ότι είναι εύκολο να κατασκευαστεί και να είναι φθηνός, όταν παραχθεί σε ένα σημαντικό αριθμό. Επίσης τα συστήματα 0.1 έχουν την προοπτική της πολυπλέξης και έτσι για παράδειγμα θα μπορούσαν συνδεμένα με ένα καλώδιο να τοποθετηθούν αισθητές σε πάρα πολλά σημεία μιας γραμμής παραγωγής.

3.11. Γενική αναφορά αισθητών αερίων (χημικοί) 0.1

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές εφαρμογές των χημικών αισθητών (δηλ. αναγνώρισης ύπαρξης κάποιου στοιχείου. Από απλές βιομηχανικές εφαρμογές, εφαρμογές σε «δύσκολες» περιπτώσεις, όπως αυτές σε πυρηνικό ή εκρηκτικό περιβάλλον). Προκειμένου να ανιχνευτεί κάποιο συγκεκριμένο στοιχείο, υπάρχει μια αντίστοιχη μέθοδος κατάλληλα επεξεργασμένη ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Οι βασικές μέθοδοι όμως, είναι λίγες και τις φυσικές αρχές λειτουργίας τους θα δώσουμε παρακάτω.

Βασικές μέθοδοι

Η ανίχνευση χημικών στοιχείων, με φασματοσκοπικές μεθόδους δεν είναι καινούργια. Ένα φασματοσκόπιο αποτελεί συνήθως ζωτικό τμήμα του αναλυτικού εξοπλισμού πολλών χημικών βιομηχανιών και είναι ένα απλό εργαλείο για την αναγνώριση ενός μεγάλου αριθμού χημικών στοιχείων από τα χαρακτηριστικά τους, απορρόφησης, φθορισμού και Raman - διάχυσης, φάσματα.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση αερίων βασίστηκε αρχικά στην απορρόφηση. Αν και περιστασιακά η χρήση μηχανισμού Raman έχει προταθεί και σε μερικές περιπτώσεις έχει χρησιμοποιηθεί ο φθορισμός.

Ο κύριος περιορισμός επιβάλλεται από τη χρήση των 0.1 που χρησιμοποιούνται. Αρχικά οι περιορισμοί επιβάλλονταν από τα «παράθυρα μετάδοσης» της ίνας και κατά δεύτερο λόγο από το πολύ μικρό άνοιγμα αποδοχής που προσφέρει η 0.1 σε σύγκριση με ένα συμβατικό οπτικό όργανο μέτρησης. Τα παράθυρα μετάδοσης της ίνας είναι σε 3 κύριες περιοχές για τη συνήθως χρησιμοποιούμενη ίναipuritίου:

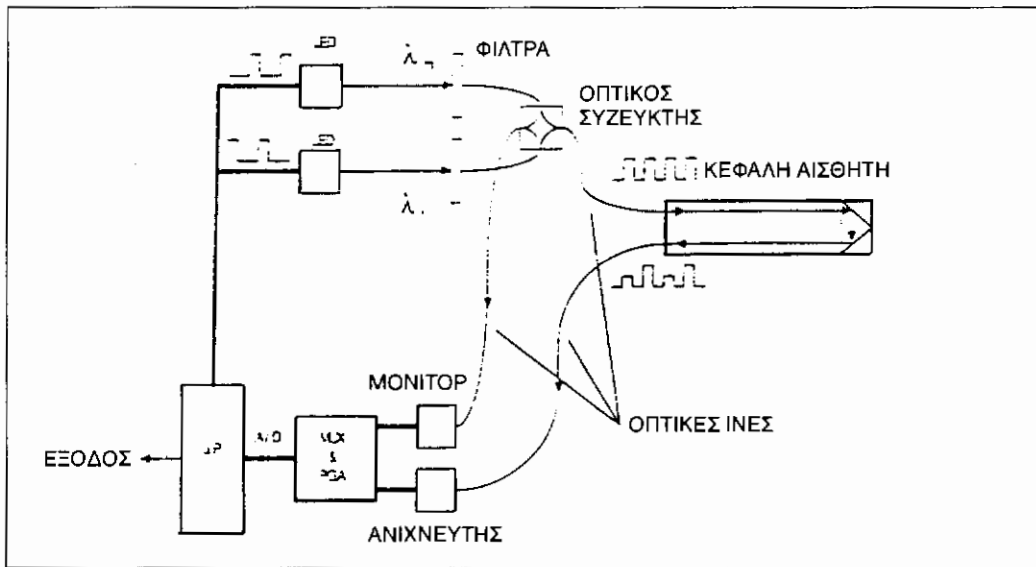
- Το πρώτο παράθυρο καλύπτει την περιοχή 700 nm-900 nm (τυπικές απώλειες 3-5db/km)
- Το δεύτερο 1050-1350 nm (τυπικές απώλειες 0,5 - 2 db/km)
- Το τρίτο 1450-1750 nm (τυπικές απώλειες 0,2-3db/km)

Δυστυχώς, κανένα απ' αυτά τα παράθυρα δεν ανταποκρίνονται στις περιοχές του φάσματος, όπου η απορρόφηση του αερίου είναι υψηλή, μιας και οι ηλεκτρονικές απορροφήσεις συμβαίνουν συνήθως στην υπεριώδη και ώδη-μπλε περιοχή του φάσματος, όπου οι θεμελιώδεις δονητικές απορροφήσεις συμβαίνουν στα 2.7 μm ή μακρύτερα. Έτσι χρησιμοποιούνται διά-

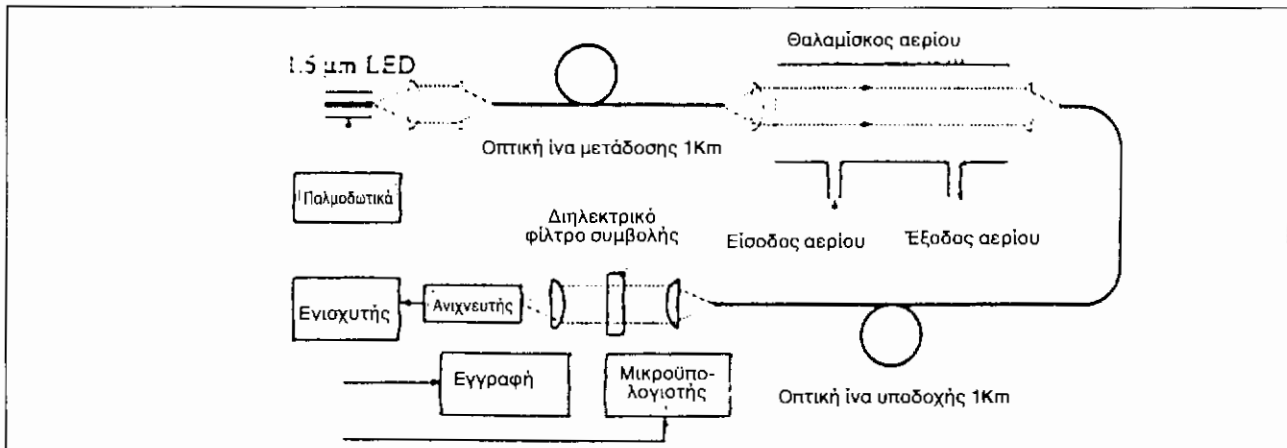
φορες διορθωτικές τεχνικές, για να έχουμε τελικά αξιόπιστες μετρήσεις.

Το άλλο πρόβλημα που αναφέρθηκε είναι το μικρό άνοιγμα αποδοχής στην ίνα. Παρόλο το μικρό μέγεθος

της ίνας, μπορεί να μεγαλώσει αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας φακούς εστίασης. Αυτό επιδρά σε στένεμα της γωνίας αποδοχής. Η απόδοση μιας ίνας βηματού δείκτη δίνεται από τη σχέση:



Σχ. 34α. Σχηματικό διάγραμμα ανιχνευτή αερίου.



Σχ. 34β. Block διάγραμμα πειραματικής διάταξης απομακρυσμένης μέτρησης απορρόφησης χαμηλών απωλειών CH4 σε θάλαμο απορρόφησης με χρήση 2 Km μήκους (και πολύ χαμηλών απωλειών) σύνδεσης οπτικής ίνας και ενός διηλεκτρικών φίλτρου συμβολής.

$$\sigma = A \cdot \pi \cdot (NA)^2$$

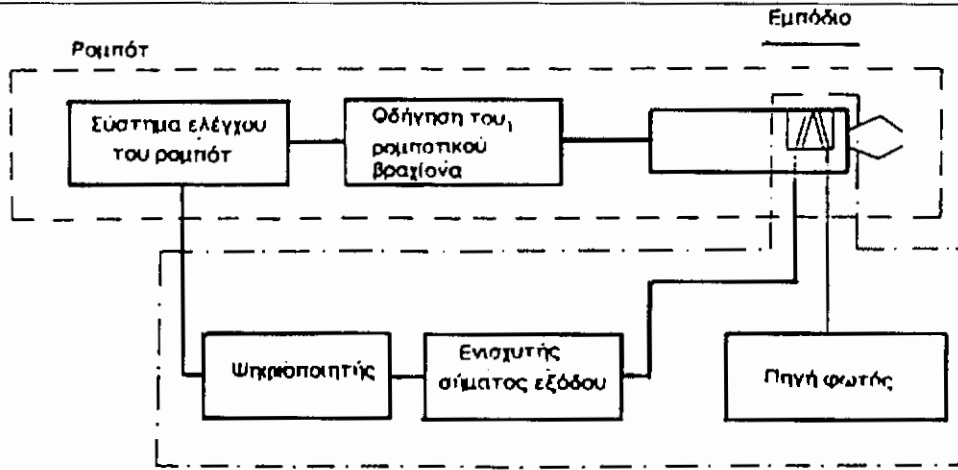
όπου A: το εμβαδόν του πυρήνα της ίνας

NA: το αριθμητικό άνοιγμα

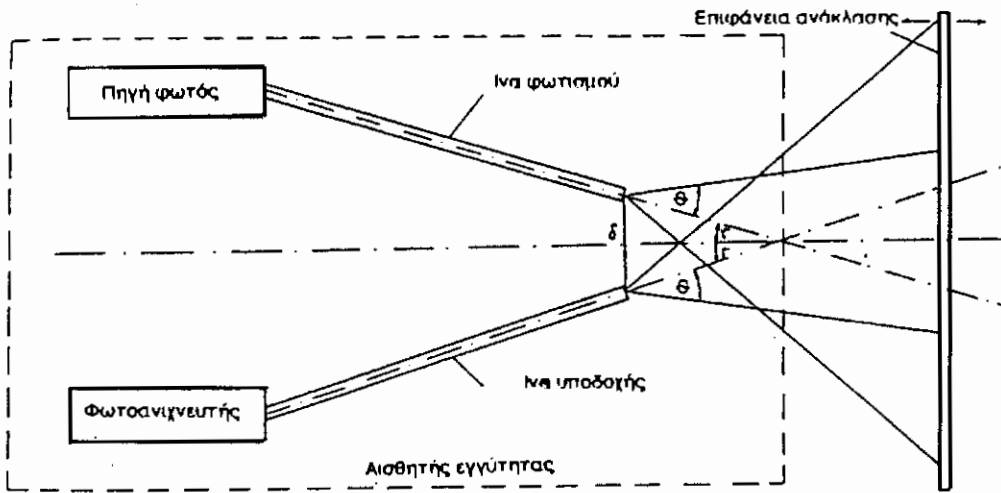
Η απόδοση «σ» παριστάνει την αναλογία της ισχύος που τελικά εισέρχεται μέσα στην ίνα από μια πηγή περιορισμένης ακτινοβολίας προς την ακτινοβολία αυτή της πηγής. Για τις ίνες βαθμιαίου δείκτη έχει τη μισή τιμή και σε κάθε περίπτωση δεν μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση ίνας, αφού το εκμεταλλεζόμενο αριθμητικό άνοιγμα μειώνεται όσο αυξάνεται η περιοχή εφαρμογής. Παρακάτω δείχνονται διάφορες διατάξεις που εφαρμόζουν τις παρακάτω φυσικές αρχές για ανίχνευση διαφόρων αερίων (σχήμα 34α,β).

3.12. Αισθητής εγγύτητας - εφαρμογή στα ρομπότ

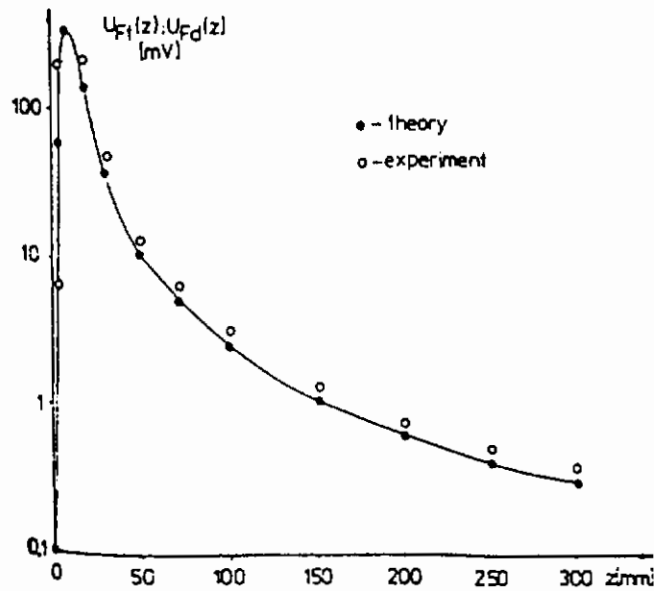
Ο αισθητής εγγύτητας είναι ένας ανακλαστικός αισθητής. Αξιοποιεί την αρχή της ανάκλασης του φωτός, (που εκπέμπεται από μια πηγή), από την επιφάνεια ενός αντικειμένου και ανίχνευσης του ανακλώμενου φωτός από ένα φωτοανιχνευτή. Ο αισθητής μετρά την αλλαγή στο πλάτος του διαδιδόμενου φωτός στο σύστημα αισθητή - ανακλαστική επιφάνεια. Ένα μπλοκ διάγραμμα του αισθητή φαίνεται στο σχ. 35. Ο φωτιζών βραχίονας του αισθητή είναι μια πηγή φωτός ισχύος και ίνα φωτισμού διαμέτρου d1 με γωνία αριθμητικού ανοίγματος Θ1. Ο βραχίονας αποδοχής αποτελείται από οπτική ίνα διαμέτρου d2 γωνίας αριθμητικού ανοίγματος Θ2, και φωτοανιχνευτή ευαι-



Σχ. 35.



Σχ. 36. Διάγραμμα αισθητή εγγύτητας με οπτική ίνα.



Σχ. 37. Θεωρητική πειραματική παράσταση του σήματος εξόδου συνάρτησε της απόστασης. Η ανακλαστική επιφάνεια είναι χαρτί με $Q=34$, $\delta=7,5$, $\delta=5$ mm, $d=3$ mm.

σθησίας η. Εκτός αυτών η κεφαλή του αισθητή χαρακτηρίζεται επίσης από τις παραμέτρους Γ και δ. Η παράμετρος Γ δείχνει τη γωνία μεταξύ του κατά μήκος άξονα της ίνας φωτισμού ή υποδοχής του φωτός και το συμμετρικό άξονα της κεφαλής του αισθητή, ενώ η παράμετρος δ δείχνει την απόσταση μεταξύ των κέντρων των άκρων των ινών φωτισμού και υποδοχής του φωτός τοποθετημένες στην κεφαλή.

Στο παρακάτω μοντέλο περιγράψουμε τις απώλειες σύμφωνα και με το σχήμα 36.

$P_N = H$ ισχύς που φεύγει από την πηγή φωτός.

$\alpha_1 =$ Απώλειες στη ζεύξη πηγή φωτός (δίοδος εκπομπής) με την ίνα φωτισμού.

$\alpha_2 =$ Απώλειες στην ίνα φωτισμού.

$\alpha_3 =$ Απώλειες στο χώρο αίσθησης.

$\alpha_4 =$ Απώλειες στην ίνα υποδοχής.

$\alpha_5 =$ Απώλειες στη ζεύξη της ίνας υποδοχής με το φωτοανιχνευτή.

$P_{Fo} = H$ οπτική ισχύς που πέφτει στο φωτοανιχνευτή.

Επίσης ορίζονται οι συντελεστές:

$T_1 = H$ μετάδοση ανάμεσα στην πηγή και την ίνα φωτισμού.

$T_2 = H$ μετάδοση της ίνας φωτισμού.

$T_3 = H$ μετάδοση του χώρου αίσθησης συμπεριλαμβανομένης και της ανακλαστικής επιφάνειας.

$T_4 = H$ μετάδοση της ίνας υποδοχής..

$T_5 = H$ μετάδοση μεταξύ της ίνας υποδοχής και της φωτοδιόδου.

$\eta = H$ ευαισθησία της φωτοδιόδου.

$r_1 = H$ αντίσταση φορτίου.

Οι παραπάνω συντελεστές είναι συναρτήσεις των γεωμετρικών μεγεθών της διάταξης και των φυσικών χαρακτηριστικών των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Τελικά το σήμα εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$UFT = T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 \eta r_1 P_N$$

Οι παραπάνω καμπύλες δείχνουν σχηματικά τα πειραματικά αποτελέσματα (σχ. 37). Ο αισθητής τοποθετείται στον περιστρεφόμενο βραχίονα του ρομπότ. Το ρομπότ γνωρίζει με τη μέθοδο της «διδασκαλίας» τα εμπόδια που μπορεί να εμφανιστούν μπροστά του. Κατά τη διάρκεια αυτής της μεθόδου το σύστημα ελέγχου του ρομπότ κωδικοποιεί τα επίπεδα του σήματος εξόδου από διάφορα εμπόδια. Κατά την εκτέλεση ενός κύκλου εργασίας ο περιστρεφόμενος βραχίονας πλησιάζει το εμπόδιο, ο αισθητής το ανιχνεύει, το ρομπότ διακόπτει τον κύκλο και ο βραχίονας του επιστρέφει στην αρχική του θέση. Όπως είναι προφανές, το παραπάνω σύστημα αποτελεί μια αξιολογη βιομηχανική εφαρμογή.

Πρόεδρος: Ο κ. Μπαλτάς θα μας μιλήσει για τις κάμερες στερεάς κατάστασης στη βιομηχανική τεχνητή όραση.