
Θέμα: Εφαρμογές αισθητήρων οπτικών ινών στην αεροπορική τεχνολογία.

Εισηγητής: **δρ Αίθων Οδυσσεάς Ναρλής**, δρ ΗΜ, ΕΑΒ.

Εισαγωγή

Όσο κι αν ο κύριος όγκος εφαρμογών των οπτικών ινών παραμένει στον τηλεπικοινωνιακό χώρο, τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες σε συνδυασμό και με τα μειονεκτήματά τους διεύρυναν τον ορίζοντα εφαρμογών και σε συστήματα αισθητήρων, ελέγχου και οργανολογίας. Μπορούμε λοιπόν να εκμεταλλευτούμε πολλές τεχνολογικές ατέλειες ή ευπάθειες των οπτικών ινών που δημιουργούσαν προβλήματα σε τηλεπικοινωνιακές χρήσεις, προκειμένου να πραγματοποιήσουμε αισθητήρες ικανούς να ανιχνεύουν διάφορες φυσικές παραμέτρους. Επί παραδείγματι οι οπτικές ίνες είναι ευαίσθητες σε μικροκάμψεις, οι οποίες εισάγουν πρόσθετη εξασθένηση. Συνεπώς, αυτή η ιδιότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να γίνει ανίχνευση πίεσης.

Οι οπτικές ίνες βρίσκουν τελευταία εφαρμογές στην αεροπορική τεχνολογία με το γνωστό «fly by light» και είναι φυσικό οι αισθητήρες οπτικών ινών να βρουν και εκεί πρόσφορο πεδίο εφαρμογών. Η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία συμμετείχε με άλλους μεγάλους κατασκευαστές αεροπορικού υλικού στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα BRITE-EURAM με αντικείμενο το fly by light και κατά συνέπεια είναι φυσικό να έχει αυξημένο ενδιαφέρον σ' αυτό το χώρο.

Πλεονεκτήματα των αισθητήρων οπτικών ινών

Τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών, που τις κάνουν ιδιαίτερα ελκυστικές ως αισθητήρες για αεροπορικές εφαρμογές, δύνανται να απαριθμηθούν ως κάτω:

α/ Μικρός όγκος και περιορισμένο βάρος: Το βάρος και ο όγκος των συστημάτων, που καλείται να φέρει ένα αεροσκάφος, είναι πράγματι σημαντικός περιοριστικός παράγων, που επιδρά άμεσα στη σχεδίαση και στις επιδόσεις του. Ιδιαίτερα, η εξέλιξη στην ψηφιακή τεχνολογία και στα ηλεκτρονικά αεροσκαφών

(avionics), συνδυαζόμενη με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις για ασφαλέστερες πτήσεις, υποχρεώνει τους σχεδιαστές αεροσκαφών να χρησιμοποιούν ένα μεγάλο αριθμό αισθητήρων. Επομένως, ο περιορισμός του όγκου και του βάρους των οργάνων αυτών θα έχει όλο και μείζονα σημασία.

β/ Αντοχή στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές: Ένα σοβαρό πρόβλημα, που αντιμετωπίζουν τα όργανα των αεροσκαφών, είναι η ευπάθειά τους στο έντονο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον, στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν. Είναι πολλές οι αναφορές βλαβών, οι οποίες έχουν προκληθεί από τη χρήση ηλεκτρονικών παιχνιδιών ή φορητών υπολογιστών εκ μέρους των επιβατών. Οι κλασικοί αισθητήρες, οι οποίοι είναι αναγκασμένοι εκ φύσεως να ανιχνεύουν ασθενέστατα σήματα, είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο, ο οποίος προκαλείται και από τη λειτουργία άλλων οργάνων. Αντίθετα, οι αισθητήρες οπτικών ινών είναι, πρακτικά τουλάχιστον, πιαντελώς αναισθητοί σε αυτά τα φαινόμενα. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι η παθητικότητά τους σε ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές. Οι αισθητήρες οπτικών ινών, λόγω της φύσης τους, δεν εκπέμπουν θόρυβο και κατά συνέπεια δεν υπάρχει κίνδυνος να παρεμβάλλουν τις λειτουργίες άλλων οργάνων.

γ/ Μικρή αδράνεια μάζας και θερμότητας: Επωφελούμενοι από αυτές τις ιδιότητες (ταχύτητα απόκρισης κάτω του 1μs), είναι δυνατή η κατασκευή αισθητήρων επιτάχυνσης «g» χρησιμότετο όργανο για αεροσκάφη και πυραύλους, όπως και θερμότητας. Επιπλέον είναι δυνατή η μέτρηση θερμότητας σε όλο το μήκος της ίνας.

δ/ Ευπλαστότητα: Η ιδιότητα της ίνας να πλάθεται σε μορφές, που θέλει ο κατασκευαστής, την κάνει πρόσφορη για κατασκευές πηνίου. Τέτοιες εφαρμογές είναι τα υδρόφωνα και γυροσκόπια.

ε/ Ικανότητα πολυπλεξίας: Προσδίδει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα πολλοί και διαφορετικής χρήσης αισθητήρες.

Ταξινόμηση αισθητήρων οπτικών ινών

Οι αισθητήρες οπτικών ινών, ανάλογα με τη φιλοσοφία λειτουργίας τους, διαχωρίζονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

α/ Οι εξωγενείς (extrinsic) σένσορες: Σε αυτούς τους σένσορες η ίνα χρησιμεύει, ώστε η ακτίνα να μεταφέρεται στο σημείο, όπου θα γίνει η ανίχνευση. Η ακτίνα διαμορφώνεται εξωτερικά από κάποια περιβαλλοντική αλλαγή. Μία τέτοια διαμόρφωση μπορεί να είναι η διακοπή της ακτίνας, ως να είναι ένας διακόπτης, η ανάκλαση από κινούμενο κάτοπτρο σύμφωνα με τη γραμμική ή τη γωνιακή μετόπιση.

β/ Σένσορες διαρροής (evanescent): Είναι σένσορες, οι οποίοι ανιχνεύουν τη μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών, μετρώντας έμμεσα τη μεταβολή της εξασθένησης, που προκαλείται από τις εξωτερικές συνθήκες.

γ/ Εγγενείς σένσορες: Πολλάκις η ίνα η ίδια αντιδρά ως ανιχνευτής. Αυτά τα όργανα βασίζονται στη μέτρηση της συμβολής φάσεων ή στη μεταλλαγή της πόλωσης. Μία άλλη μέθοδος είναι η χρήση OTDR. Σ' αυτά τα πλαίσια έχουν αναπτυχθεί ειδικές επικαλύψεις για τις ίνες που κάνουν πιο έντονα τα φαινόμενα αυτά. Πολλοί σένσορες για αεροπορικές εφαρμογές είναι αυτού του τύπου. Ειδικότερα αυτοί, που ανιχνεύουν σύμφωνα με τη συμβολή φάσεων και έχουν ευρεία αεροπορική χρήση, είναι οι Mach Zehnder και οι Sagnac.

Σένσορες αεροπορικών εφαρμογών

Μπορούμε να ταξινομήσουμε τους σένσορες για αεροπορική χρήση σε τέσσερις κατηγορίες:

1/ Οι σένσορες αεροπλοΐας, οι οποίοι είναι τα γυροσκόπια και οι σένσορες επιταχύνσεως.

Τα γυροσκόπια είναι εγγενείς σένσορες και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο Sagnac, το οποίο εμφανίζεται, όταν το οπτικό κύμα διαδίδεται σε δύο αντίθετες κατευθύνσεις στο ίδιο πηνίο ίνας. Δημιουργείται μία διαφορά φάσης μεταξύ των δύο κυμάτων, η οποία είναι συνάρτηση της μεταβολής της κατεύθυνσης του διανύσματος περιστροφής, εν σχέσει με τον κάθετο άξονα του πηνίου. Μπορούν να επιτευχθούν ευαισθησίες της τάξης 300-600° / δεύτ., ενώ η τυπική ολίσθηση δεν υπερβαίνει τους 1-2°/ώρα. Η ανίχνευση είναι παντελώς αναίσθητη σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ενώ η κατασκευή είναι πολύ ανθεκτική σε μηχανικές καταπονήσεις. Εδώ να σημειώσουμε ότι τα γυροσκόπια οπτικών ινών είναι εξελιγμένες παραλλαγές των γυροσκοπίων laser. Αυτά τα τελευταία έχουν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια, της τάξης των 0.005°/ώρα, όμως παρασιτικές ανακλάσεις, από τα τοιχώματα της συσκευής, δημιουργούν παρεμβολές που απαγορεύουν στο γυροσκόπιο να ανιχνεύσει μικρές περιστροφές. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται προσθέτοντας μία επιπλέον περι-

στροφική κίνηση στο γυροσκόπιο, κάτι που προσ απαιτεί μηχανισμούς ακριβείας και ευπαθείς.

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέτρηση της επιτάχυνσης, αυτή θα πρέπει να μετατραπεί σε μία μονάδα, της οποίας η μέτρηση να είναι εφικτή. Ένας τρόπος είναι η μέτρηση της πίεσης η οποία προσ απαιτεί ιντερφερομετρικό ανιχνευτή. Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρήση εξωγενούς αισθητήρα με δονούμενο έλασμα και με τιμές της τάξης 1-10g έχοντας ακρίβεια 0.5g.

2/ Οι αισθητήρες μετακίνησης είναι εξωγενείς αισθητήρες. Ένα αεροσκάφος διαθέτει περίπου εκατό τέτοια όργανα, προκειμένου να μετρηθούν οι ευθύγραμμες και γωνιακές μετακινήσεις. Η βασική προσέγγιση του προβλήματος επιτυγχάνεται με τον κλασικό κώδικα Gray, ο οποίος είναι χαραγμένος σε έλασμα ή δίσκο. Ανάλογα με την προκαθορισμένη οπτική ψηφιακή αναλογία (διαφανής περιοχή = 1, αδιαφανής περιοχή = 0) και με ικανό αριθμό οπτικών διαύλων (αριθμός των ψηφίων), η θέση της κινούμενης επιφάνειας καθορίζεται με την απαιτούμενη ακρίβεια.

3/ Οι ανιχνευτές, που καταγράφουν τις παραμέτρους λειτουργίας του αεροσκάφους, ανιχνεύουν πιέσεις, θερμοκρασίες, ποσότητα καυσίμων και δονήσεις στον κινητήρα.

Προκειμένου να ανιχνευτεί η πίεση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν δύο βασικοί ανιχνευτές: ο ένας είναι ο Mach Zehnder, στον οποίο η μία ίνα δρα ως ανιχνευτής, ενώ η δεύτερη σαν ίνα αναφοράς, ο δε άλλος τρόπος βασίζεται στην ευπάθεια της μονορρυθμικής ίνας στη πίεση. Επί παραδείγματι, ένας τέτοιος αισθητήρας μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη διαμόρφωση του εσωτερικού μίας μονορρυθμικής ίνας με σταθερή πόλωση, δημιουργώντας κανάλια στο εσωτερικό του περιβλήματος. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να γίνει και ανίχνευση θερμοκρασίας με ευαισθησία grad/° C ανά μέτρο ίνας.

Ανιχνευτές, που ανιχνεύουν το επίπεδο καυσίμων, βασίζονται στους κανόνες ανάκλασης και διάθλασης της οπτικής ακτίνας. Ένας εκπομπός δίδει φως στην ίνα, η οποία είναι τερματισμένη από ένα πρίσμα, ολικής ανάκλασης. Όταν τα καύσιμα βρίσκονται κάτω από το πρίσμα όλη η ακτίνα επιστρέφει στην ίνα επιστροφής, ενώ όταν τα καύσιμα έρθουν σε επαφή με το πρίσμα, μέρος της ακτίνας βυθίζεται στο ρευστό.

4/ Οι ανιχνευτές οπτικών ινών σε σύνθετα υλικά αποτελούν το κορυφαίο σημείο της σημερινής τεχνολογίας. Η τεχνολογία κατασκευής σύνθετων υλικών επιτρέπει την ενσωμάτωση σε αυτά αισθητήρων οπτικών ινών, χωρίς να διαταράσσεται η δομή του υλικού. Αυτοί οι ανιχνευτές έχουν τρεις στόχους: την καταγραφή της διαδικασίας κατασκευής του υλικού μετρώντας παραμέτρους, όπως θερμοκρασία και καταπόνηση, την καταγραφή της λειτουργικής κατάστασης του αεροσκάφους ή του πυραύλου συνεργαζόμενοι με το δίκτυο οπτικών ινών fly by light και τρίτον τον έλεγχο των επιδόσεων της εν λόγω πλατφόρμας.

Οι σένσορες οπτικών ινών, οι οποίοι είναι ενσωματω-

μένοι σε δομές από σύνθετα υλικά, καταγράφουν τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών γύρω από την κατασκευή και τα φαινόμενα που δημιουργούνται μέσα στο υλικό. Τα σήματα εξόδου αυτών των ανιχνευτών πολυπλέκονται και μεταφέρονται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, προκειμένου να υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία. Με τον ίδιο τρόπο το δίκτυο fly by light μπορεί να μεταφέρει και οπτικό σήμα, προκειμένου να ενεργοποιηθούν διάφοροι σερβομηχανισμοί.

Η σχεδίαση αυτών των κατασκευών προσ απαιτεί συνεργασία μηχανικού ειδικού σε σύνθετα υλικά και μηχανικού ειδικού σε οπτικές ίνες. Η διαδικασία σχεδίασης συμπεριλαμβάνει την επιλογή του υλικού, που

καλείται να δημιουργήσει τη σύνθετη δομή και την επιλογή των υλικών επιστρώσεων των ινών, που πρέπει να είναι συμβατά με το σύνθετο υλικό και παράλληλα να προσφέρει τις κατάλληλες συνθήκες για ανίχνευση και πολυπλεξία.

Τα υλικά που είναι ικανά να ενσωματώσουν οπτικές ίνες διακυμαίνονται ανάμεσα στα ανθρακικά - εποξικά που σταθεροποιούνται στους 200° C και τα ανθρακικά - ανθρακικά των οποίων η επεξεργασία μπορεί να φθάσει σε θερμοκρασίες άνω των 2000° C. Οι υψηλές θερμοκρασίες είναι απαγορευτικές για ενσωμάτωση ηλεκτρονικών αισθητήρων, ενώ, όταν ξεπεράσουν το σημείο ρευστοποίησης της υάλου, απαιτείται χρήση ειδικών υλικών για ίνες, όπως το σάφειρο.

Αρχιτεκτονική Συστήματος

- *Καταγραφή επιχειρησιακής ικανότητας
- *Καταγραφή επιδόσεων
- *Έλεγχος βλάβης
- *Έλεγχος πτήσης

Πολυπλεξία

- *TDM
- *WDM

Επεξεργασία Σήματος

- *Ηλεκτρονική
- *Οπτική

Αισθητήρες

- *Καταπόνησης
- *Θερμοκρασίας
- *Δονήσεων
- *Ακουστική
- *Μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου
- *Περιστροφής
- *Επιτάχυνσης
- *Διαμόρφωσης
- *Συμβατότητα

Σύνθετο ινών

- *Επιστρώσεις
- *Βύσματα
- *Κατεύθυνση
- *Υποβάθμιση υλικού
- *Εποξικά γραφίτη
- *Πολυαμίδια
- *Τιτάνιο
- *Αλουμίνιο
- *Κεραμικά
- *Άνθραξ-άνθραξ

Προκειμένου να σχεδιαστεί η δομή που θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής, πρέπει να γίνει επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού των συστημάτων που συγκροτούν το σύνολο.

Η επιτυχία της διαδικασίας ενσωμάτωσης εξαρτάται από την επιλογή του υλικού επικάλυψης που χρησιμοποιείται. Επί παραδείγματι, οι επιστρώσεις πολυαμιδίου, οι οποίες έχουν σύνθεση όμοια με το υλικό που σταθεροποιεί τη δομή του σύνθετου ανθρακικού εποξικού, έχουν χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα σε αντίθεση με το εποξικό ακριλικό.

Ο μηχανικός οπτικών ινών πρέπει να επιλέξει τον κατάλληλο αισθητήρα, ο οποίος εξαρτάται από την επίστροψη, την ίνα και την παράμετρο, την οποία καλείται να καταγράψει. Στην επιλογή πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλες ικανότητες, όπως η ικανότητα πολυπλεξίας και η κατάλληλη μορφή πολυπλεξίας.

Τα σύνθετα υλικά, ως γνωστόν, είναι ελκυστικά, διότι έχουν πολύ μεγάλη αντοχή σε σχέση με τη μάζα τους, κάτι που είναι αδύνατον να επιτευχθεί με κλασικά μεταλλικά κράματα. Αυτά τα υλικά συνήθως είναι πολύ εύκαμπτα. Οι οπτικές ίνες από πυρίτιο έχουν όμοια μηχανικά χαρακτηριστικά με αυτά των σύνθετων από ανθρακικές ίνες και ανθίστανται σε μεγάλες δυναμικές καταπονήσεις χωρίς να υποστούν παραμόρφωση. Η κατασκευή αεροπορικών δομικών στοι-

χείων προσ απαιτεί φούρνισμα και πίεση της συγκολλητικής ουσίας των ινών, σε κλίμακα των 150 έως 400°C. Σε περιοχές με μεγάλη διατομή είναι πολύ σημαντικό να ελεγχθεί αν η θερμοκρασιακή επεξεργασία έχει εφαρμοστεί κατάλληλα σε όλη τη δομή. Γι' αυτό το λόγο γίνεται εκμετάλλευση των οπτικών ινών, προκειμένου να ελεγχθεί το προφίλ της πίεσης και της θερμικής επεξεργασίας.

Κατά την επιχειρησιακή τους ζωή οι αεροπορικές δομές από σύνθετα υλικά υφίστανται καταπονήσεις και μικροατυχήματα, όπως από πτώση εργαλείου την ώρα της συντήρησης ή από πρόσκρουση πτηνού εν ώρα πτήσης. Αυτά προκαλούν ξεφλούδισμα (delamination) του υλικού στο σημείο της κρούσης. Οι οπτικές ίνες μπορεί να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να καταγραφούν αυτά τα συμβάντα και να προληφθεί πρόωρη γήρανση στην άτρακτο.

Στις ευφυείς δομές (smart structures) οι αισθητήρες οπτικών ινών μπορούν να καταγράψουν αβιρίες και καταπονήσεις από συσσώρευση πάγου ή θραύσματα όπλου κ.ά. και συνεπώς ο υπολογιστής του αεροσκάφους θα είναι σε θέση να υπολογίσει σε πραγματικό

Οπτικές Ίνες για καταπόνηση και θερμοκρασία

Τύπος	Χρήση	Θερμοκρασία	Πολυπλεξιμότητα	Ευκολία Ενσωμ.
Sagnac	καταπ. θερμ.	> 1000° C	Υψηλή	Μεγάλη
Mach Zehnder	καταπ. θερμ.	> 1000°C	Πολύ Υψηλή	Μεγάλη
Διαρροής	καταπ. θερμ.	> 2000°C	Χαμηλή	Μέτρια
Πολαριμ.	καταπ. θερμ.	> 700°C	Χαμηλή	Μεγάλη
Michels	καταπ. θερμ.	> 1000°C	Υψηλή	Μεγάλη
OTDR	καταπ.	> 1000°C	Μέτρια	Μέτρια

χρόνο το ποσοστό που το μαχητικό είναι ικανό να φέρει σε πέρας την αποστολή του. Ο χειριστής προειδοποιείται και για τη μείωση των επιχειρησιακών ορίων του αεροσκάφους, όπως είναι επί παραδείγματι το νέο όριο επιτάχυνσης g. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επιπλέον εξασθένιση, που προσθέτει η καταπόνηση σε μία πολυρρυθμική ίνα. Μία άλλη μέθοδος είναι η μέτρηση της διαφοράς φάσης, που θα προκύψει μεταξύ δύο κάθετων πολωμένων κυμάτων σε μονορρυθμική ίνα, κατάλληλη να συγκρατήσει την πόλωση.

Η εξωτερική επιφάνεια του αεροσκάφους ενέχει κεραιές τηλεπικοινωνιακές ή ηλεκτρονικού πολέμου. Όταν η επιφάνεια είναι κατασκευασμένη από πολυμερή σύνθετα υλικά, η ενσωμάτωση οπτικών ινών (ευφυείς επιφάνειες ή smart skins) δίνει τη δυνατότητα καταγραφής των περιβαλλοντικών συνθηκών που περιβάλλουν την επιφάνεια αυτή. Μία άλλη δυνατότητα είναι η ανίχνευση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας laser στο αεροσκάφος με την καταγραφή του κρουστικού κύματος, που δημιουργείται λόγω του πλάσματος το οποίο γεννιέται από την κρούση της ακτίνας laser.

Τέλος, η ίνα μπορεί να μεταφέρει οπτική ισχύ σε φωτοβολταϊκό κύτταρο, το οποίο θα παράγει τοπικά ηλεκτρική ενέργεια, η οποία και θα τροφοδοτήσει ηλεκτρονικά όργανα τοποθετημένα σε διάφορα σημεία του αεροσκάφους ή και θα δώσουν ισχύ σε σερβομηχανισμούς.

Φωτοβολταϊκά κύτταρα, AlGaAs/GaAs δεχόμενα ακτίνα 840nm από διόδους laser, μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ισχύ των 4V και 0.25A. Ένας ομοιόμορφος φωτισμός των 7W/cm² μπορεί να έχει απόδοση της τάξης των 55-60%.

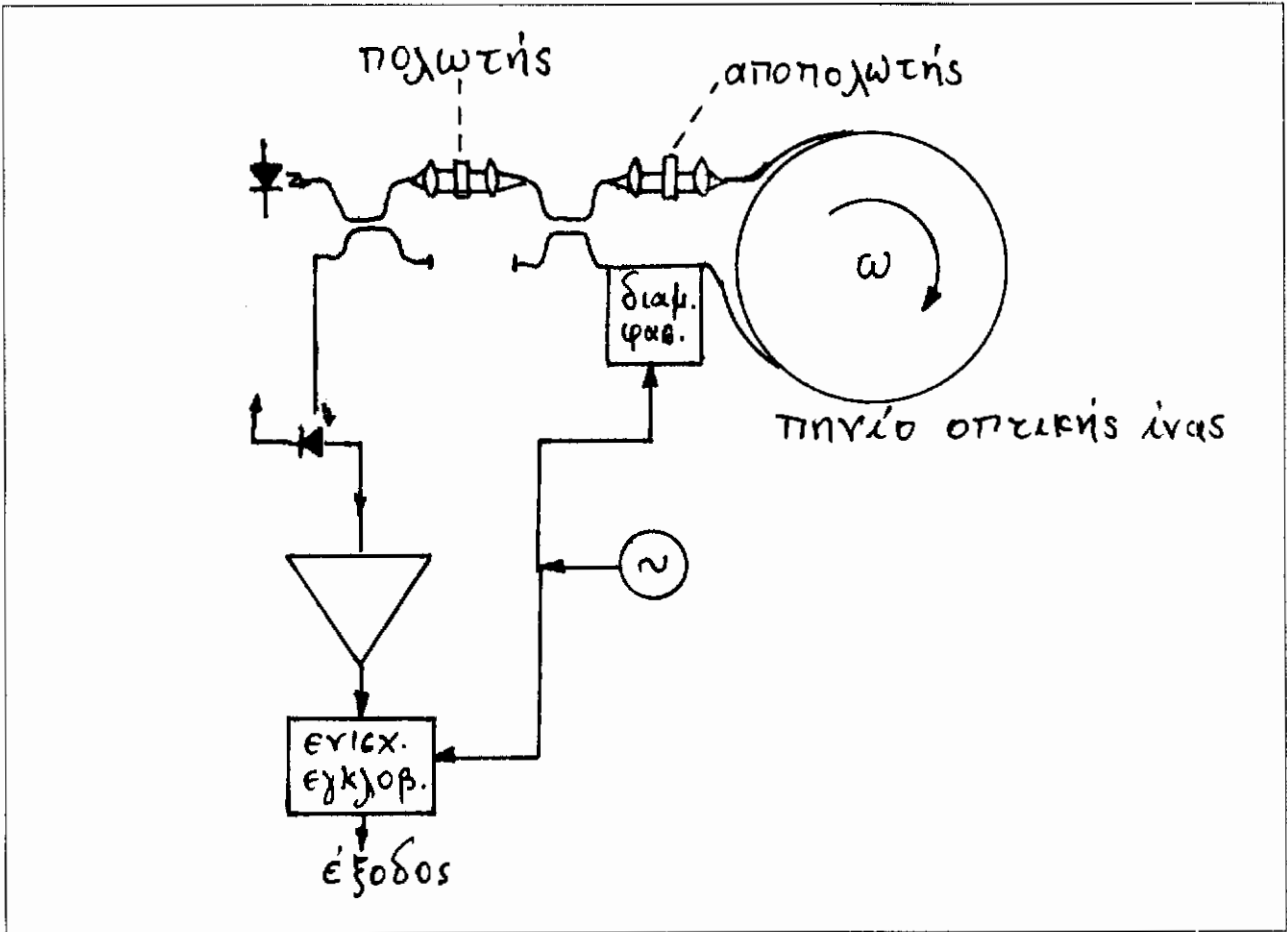
Συμπεράσματα

Τα πλεονεκτήματα των αισθητήρων οπτικών ινών και ειδικά οι ευκολίες που παρουσιάζουν ως προς την ενσωμάτωσή τους σε δομές από σύνθετα υλικά και σε συνδυασμό με το σύστημα fly by light, ανοίγουν ευρείς ορίζοντες για την ασφάλεια και τη βέλτιστη αξιοποίηση των αεροσκαφών. Η υποδομή που απαιτείται για ερευνητικές, αναπτυξιακές και κατασκευαστικές ενέργειες δεν είναι απαγορευτικές, ειδικά δε από το γεγονός ότι η EAB έχει πλήρες εξοπλισμό κατασκευής σύνθετων υλικών, η Ελλάδα θα μπορούσε δυναμικά πλέον να συμμετάσχει σε παρόμοιες προσπάθειες. Ήδη μία αρχική εμπειρία υπάρχει με τη συμμετοχή της EAB και του ΕΜΠ στο πρόγραμμα BRITE/EURAM ως προς το σύστημα fly by light του μελλοντικού ευρωπαϊκού αεροσκάφους.

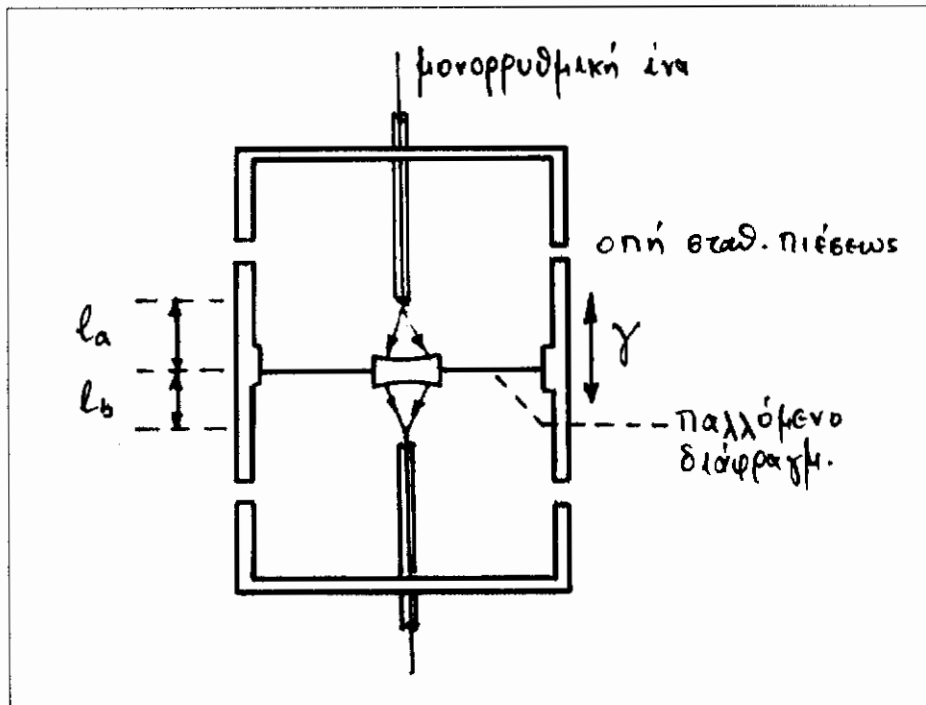
Βιβλιογραφία

- [1] UUD Eric «Embedded Sensors Make Structures Smart», Laser Focus, May 88, pp 135-139.
- [2] LE PESANT J.P., TURPIN Marc «Special Optical Fibres and Sensors for Aeronautics», AGARD-CP-482.
- [3] BATCHELLOR, EDGE «Some Recent Advances in Fibre Optic Sensors», Electronics & Communication Engineering Jour. Oct. 90, pp 175-184.

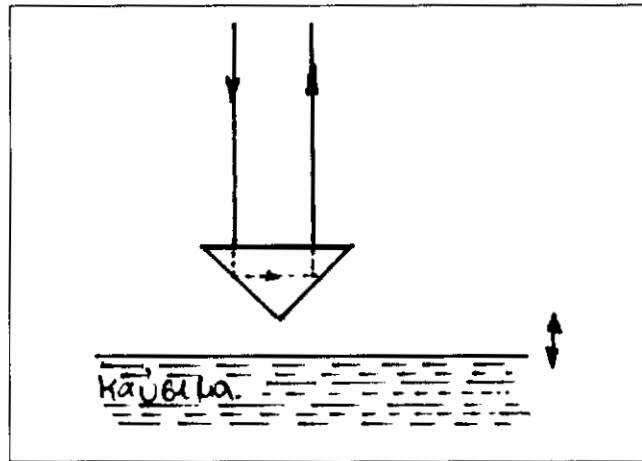
Πρόεδρος: Ευχαριστούμε πολύ. Ο κ. Μπαουστάνος θα μας μιλήσει για τους «Φωτοηλεκτρικούς αισθητήρες».



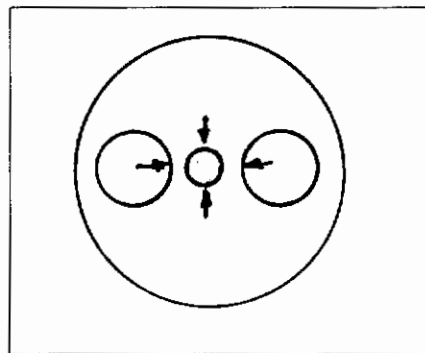
Σχεδ. 1. Διάταξη γυροσκοπίου οπτικών ινών.



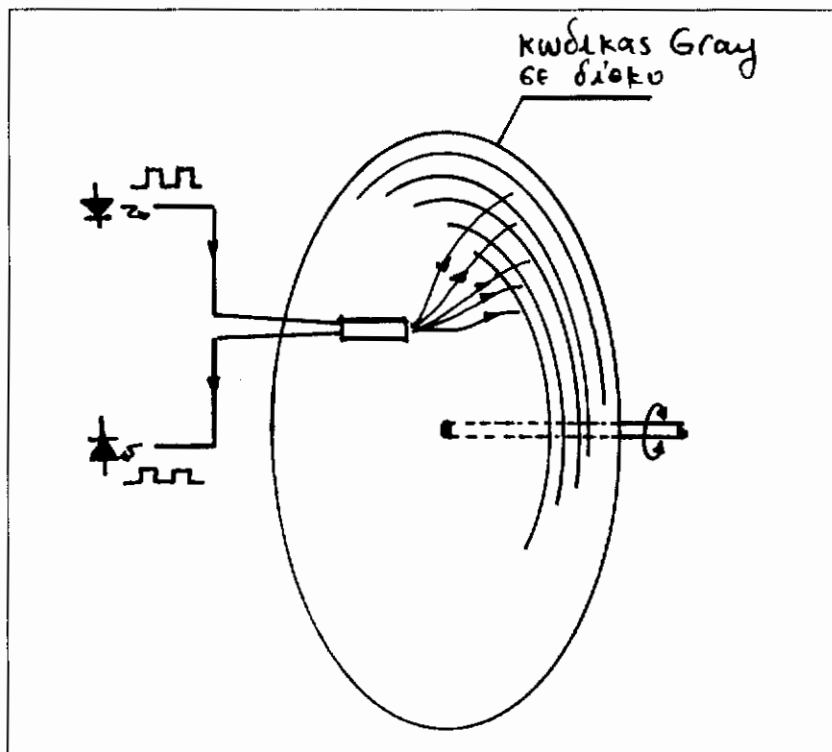
Σχεδ. 2. Επιταχυνσιόμετρο οπτικών ινών.



Σχεδ. 3. Ανιχνευτής επίπεδου καυσίμου.



Σχεδ. 4. Ίνα με πλάγιους διαύλους για μέτρηση πίεσης.



Σχεδ. 5. Ανιχνευτής γωνιακής μετατόπισης.