

Αισθητήρας βασισμένος σε ενδοδιαπλεκόμενα ηλεκτρόδια (Interdigitated Electrodes)

Αισθητήρες

Ένας αισθητήρας είναι μία συσκευή, η οποία μετατρέπει ένα μακροσκοπικό μέγεθος, όπως το φως, η θερμοκρασία κ.λ.π, σε ηλεκτρικά μετρήσιμο μέγεθος και έπειτα το ηλεκτρικό σήμα αυτό μετατρέπεται σε κάποιο τυποποιημένο σήμα με ορισμένα χαρακτηριστικά. Το τμήμα που μετατρέπει το μακροσκοπικό μέγεθος σε ηλεκτρικά μετρήσιμο σήμα ονομάζεται μετατροπέας, ενώ το τμήμα που μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα του μετατροπέα σε κάποιο τυποποιημένης μορφής ονομάζεται κύκλωμα Οδήγησης (Driving Circuit).

Ο μετατροπέας είναι το βασικότερο τμήμα ενός αισθητήρα, καθώς από αυτόν καθορίζονται τα χαρακτηριστικά του. Ο μετατροπέας κατασκευάζεται με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι δυνατόν οι μεταβολές του μακροσκοπικού μεγέθους να επιφέρουν μεταβολή σε ένα ηλεκτρικά μετρήσιμο μέγεθος. Ο μετατροπέας από μόνος του δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα αξιόπιστη λύση σαν αισθητήρας καθώς συνήθως τα ηλεκτρικά σήματα που δίνει είναι πολύ μικρής έντασης. Για τον λόγο αυτόν ένας αισθητήρας αποτελείται συνήθως και από έναν μεταλλάκτη, ώστε να υπάρχει ένα πιο σταθερό σήμα. Το υποκύκλωμα σταθεροποίησης είναι μέρος του κυκλώματος οδήγησης του αισθητήρα.

Ταξινόμηση των αισθητήρων

Οι αισθητήρες κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την λειτουργία που επιτελούν (για παράδειγμα ένας αισθητήρας μέτρησης της θερμοκρασίας κ.α.) ή την φυσική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους (για παράδειγμα η μαγνητική αντίσταση κ.α.). Οι βασικότερες κατηγορίες αισθητήρων ταξινομούνται, ανάλογα με την κύρια μορφή ενέργειας που μεταφέρει το σήμα τους, στους παρακάτω τύπους:

- Μηχανικοί
- Ηλεκτρικοί
- Μαγνητικοί

- Θερμικοί
- Ακτινοβολίας
- Χημικοί

Χημικοί-βιοχημικοί αισθητήρες

Οι χημικοί ή βιοχημικοί αισθητήρες είναι συσκευές οι οποίες μετατρέπουν μία χημική ή βιολογική ποσότητα σε ηλεκτρικό σήμα. Η δομή ενός τέτοιου αισθητήρα αποτελείται από μία θέση επιλεκτικής αναγνώρισης μια ατομικής, μοριακής ή ιοντικής ουσίας συνδυαζόμενη με έναν τύπο μετατροπέα. Ο αισθητήρας αυτός έχει ως στόχο την αναγνώριση και την ανάλυση μιας ουσίας, η οποία βρίσκεται σε αέρια ή σε υγρή μορφή, καθώς πιθανόν να είναι σε συνδυασμό με πολλές άλλες ουσίες. Ο μετατροπέας στους χημικούς αισθητήρες μεταφράζει την παρουσία της επιλεγμένης αναλυόμενης ουσίας σε ένα ανιχνεύσιμο φυσικό σήμα, το οποίο στην συνέχεια μπορεί να συλλεχθεί και να ερμηνευθεί. Η δομή τους συνήθως περιλαμβάνει την απευθείας αλληλεπίδραση τμήματος της αναλυόμενης ουσίας με κάποιο πραγματικό συστατικό του ίδιου του μετατροπέα.

Βιο-αισθητήρες

Ο βιοαισθητήρας είναι μια αυτόνομη ολοκληρωμένη συσκευή που είναι ικανή να παρέχει συγκεκριμένες ποσοτικές ή ημι-ποσοτικές αναλυτικές πληροφορίες χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο βιολογικής αναγνώρισης που βρίσκεται σε άμεση χωρική επαφή με ένα στοιχείο μεταγωγής.

IUPAC 1996

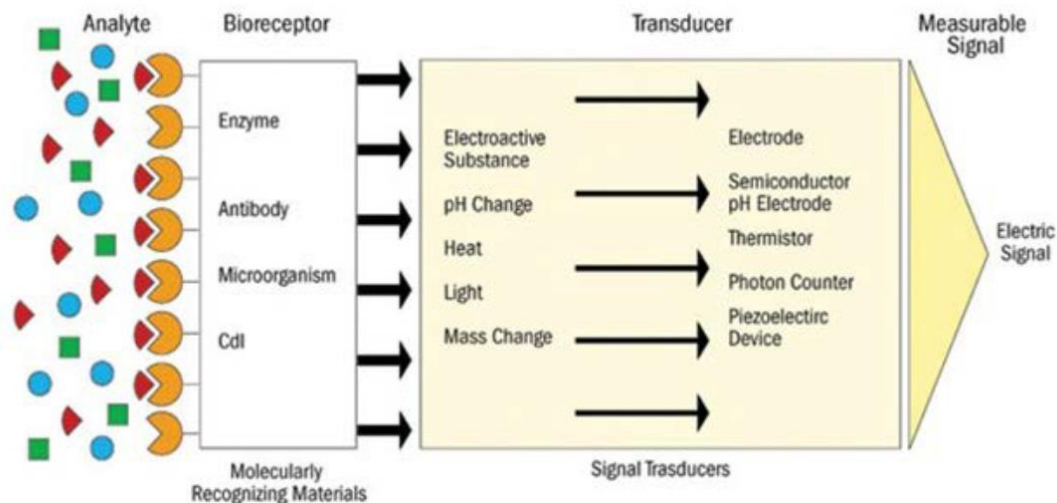


Figure 1. Δομή Βιο-αισθητήρα

Πυκνωτής ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων

Περιγραφή πυκνωτή ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων

Οι πυκνωτές με δομή ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων έχουν μελετηθεί σε βάθος από την δεκαετία του '70. Πρόκειται για πυκνωτές οι οποίοι αποτελούνται, πέρα από τις δύο παράλληλες πλάκες, από ένα πλήθος κτενιών τα οποία αλληλεπικαλύπτονται, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Έχουν μεγάλη χρήση σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν ολοκληρωμένα κυκλώματα μικροκυμάτων, διατάξεις ακουστικών κυμάτων και διηλεκτρικές μελέτες λεπτών υμενίων. Επίσης τα τελευταία χρόνια έχουν μεγάλη χρήση και στους χημικούς αισθητήρες. Οι διαστάσεις των πυκνωτών αυτού του είδους συνήθως αναφέρονται σε μικρό ή νάνο κλίμακα.

Κατά την εφαρμογή μιας τάσης μεταξύ των στατικών και των κινούμενων κτενιών, αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις οι οποίες προκαλούν την έλξη μεταξύ τους. Τα κτένια διατάσσονται έτσι ώστε να μην ακουμπάνε ποτέ μεταξύ τους, καθώς τότε δεν θα υπήρχε διαφορά δυναμικού. Η δύναμη που αναπτύσσεται είναι ανάλογη με την μεταβολή της χωρητικότητας μεταξύ των δύο κτενών και αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των κτενών, το κενό μεταξύ των δοντιών καθώς και με την αύξηση της τάσης.

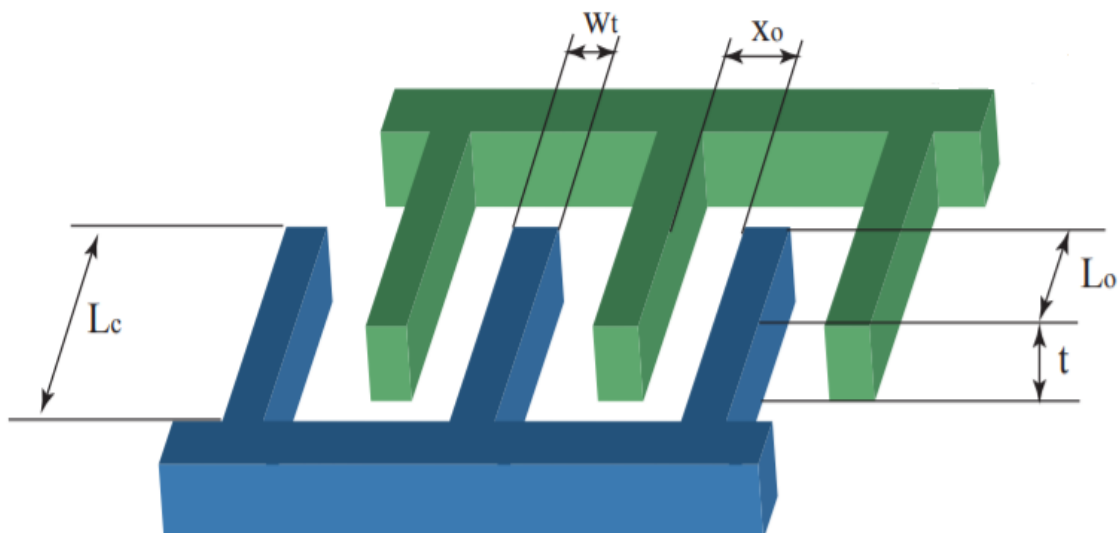


Figure 2. Αναπαράσταση πυκνωτή ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων.

Οι δομές των πυκνωτών αυτών προτιμώνται στους χημικούς αισθητήρες λόγω της επίπεδης διαμόρφωσης των ηλεκτροδίων, αφού τα ηλεκτρόδια δεν εμποδίζουν την διάχυση των αναλυτών. Με τον τρόπο αυτόν πραγματοποιείται η γρήγορη απόκριση της διάταξης. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούν αυτούς τους πυκνωτές συνήθως κατασκευάζονται σε αδρανές υπόστρωμα, πάνω στο οποίο σχηματίζονται τα δύο ηλεκτρόδια σχήματος κτενιών. Στην συνέχεια τα ηλεκτρόδια καλύπτονται από πάνω με ένα ευαίσθητο στρώμα, το οποίο είναι συνήθως πολυμερές.

Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτή ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων

Σημαντικό για την κατασκευή ενός αισθητήρα, ο οποίος διαθέτει έναν τέτοιο πυκνωτή είναι ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του πυκνωτή. Η χωρητικότητα του συγκεκριμένου πυκνωτή είναι ένα πολύπλοκο μέγεθος και είναι το άθροισμα δύο υποχωρητικοτήτων, της χωρητικότητας που δημιουργείται ενδιάμεσα από τα ηλεκτρόδια C (Normal Capacitance Between Beams) και από την χωρητικότητα που δημιουργείται από το τέλος του κάθε ηλεκτροδίου με την τοίχωμα C_f (Fringe Capacitance). Στην εικόνα 3 φαίνεται η δημιουργία και η συνεισφορά της κάθε χωρητικότητας στο σύστημα:

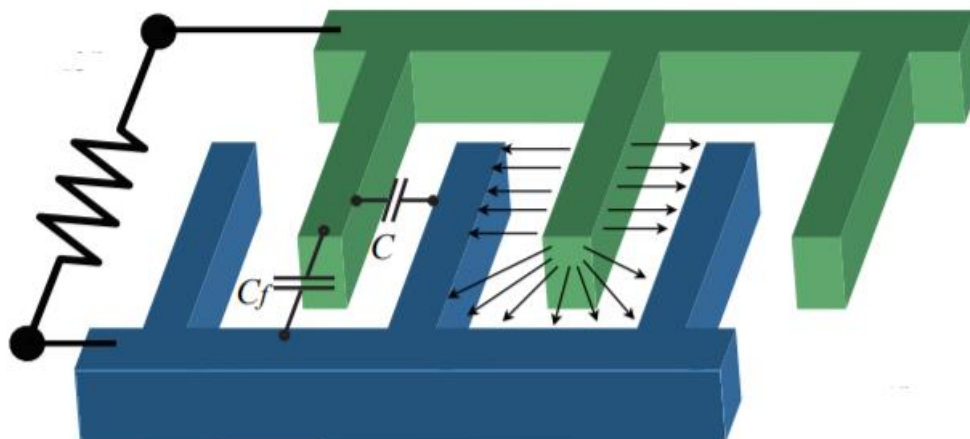


Figure 3. Αναπαράσταση πυκνωτή ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων κατά την εφαρμογή τάσης στα άκρα του

Συνεπώς η χωρητικότητα ενός τέτοιου πυκνωτή δίνεται από την σχέση:

$$C_{\text{tot}} = C + C_f \quad (1.1)$$

Όπου η χωρητικότητα C θα δίνεται από την βασική σχέση χωρητικότητας ενός πυκνωτή:

$$C = \frac{\epsilon A}{x_0} = N \epsilon_r \epsilon_0 L_0 t / x_0 \quad (1.2)$$

Όπου ϵ_0 η διηλεκτρική σταθερά του αέρα

ϵ_r σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού ενδιάμεσα στο ηλεκτρόδια

A η συνολική επιφάνεια

t το πάχος των ηλεκτροδίων

x_0 η απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους

L_0 το βάθος των επικαλυπτόμενων ηλεκτροδίων

N ο αριθμός των ηλεκτροδίων

Η χωρητικότητα C_f ονομάζεται fringe capacitance και η συμβολή της είναι σημαντική. Ωστόσο η χωρητικότητα αυτή είναι εξαιρετικά μη γραμμική και αλλάζει με διαφορετικές αρχικές και οριακές συνθήκες. Για παράδειγμα εξαρτάται από το μήκος κάθε ηλεκτροδίου, καθώς και από το μήκος της επικαλυπτόμενης περιοχής L_0 , όπως φαίνεται στην εικόνα 4. Όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ του ηλεκτροδίου

από την άκρη, τόσο μειώνεται η χωρητικότητα C_f , διότι η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης των δύο πλακών.

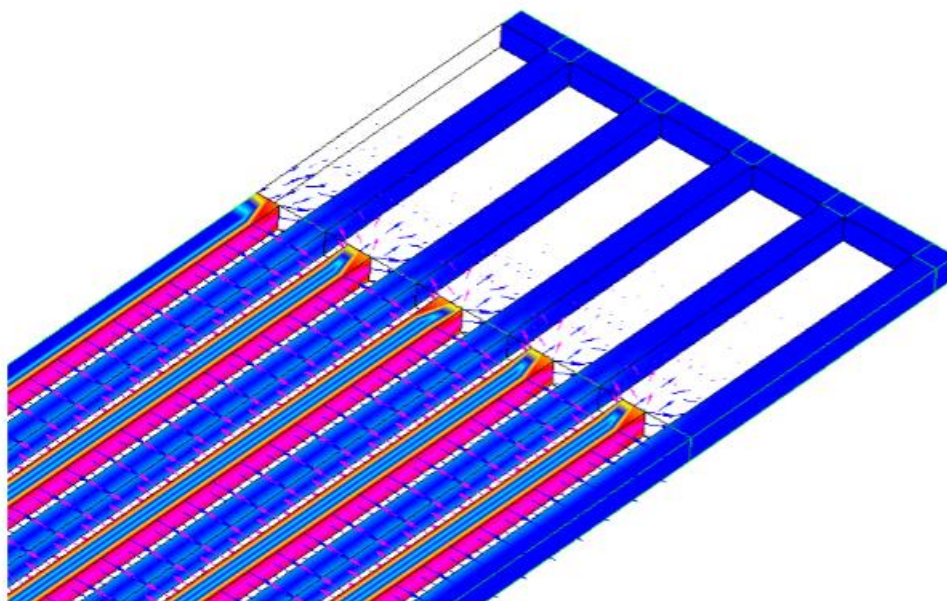


Figure 4. Αναπαράσταση ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στο εσωτερικό ενός πυκνωτή ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων.

Πειραματικό

1. Δίνονται 3 πυκνωτές ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων με διαστάσεις:
Πυκνωτής A: 1,8cm X 0,8 cm, N = 8
Πυκνωτής B: 2,4cm X 1cm, N = 10
Πυκνωτής Γ: 4,3cm X 4,3cm, N = 50
Θεωρήστε ότι το πλάτος κάθε ηλεκτροδίου ισούται με την απόσταση μεταξύ 2 ηλεκτροδίων.
- 1.1 Χρησιμοποιήστε τα δεδομένα που δίνονται και τον απλοποιημένο τύπο της χωρητικότητας του πυκνωτή (αγνοώντας την fringe capacitance) για να υπολογίσετε μια προσέγγιση της θεωρητικής τιμής της χωρητικότητάς των τριών πυκνωτών α) όταν τον περιβάλλει αέρας, β) όταν βυθιστεί σε απεσταγμένο νερό.
- 1.2 Υπολογίστε την πειραματική τιμή της χωρητικότητας των πυκνωτών σε κάθε περίπτωση, με χρήση του LCR meter.
Στον αέρα: $C_A = 0,1\text{pF}$, $C_B = 3,7\text{pF}$, $C_\Gamma = 58\text{pF}$
Στο νερό: $C_A = 80\text{nF}$, $C_B = 140\text{nF}$, $C_\Gamma = 2,2\mu\text{F}$
- 1.3 Συγκρίνετε τις θεωρητικές με τις πειραματικές τιμές. Τί παρατηρείτε και γιατί;

2. Χρησιμοποιήστε το 3d pen για να σχηματίσετε ένα πηγάδι στην επιφάνεια του πυκνωτή A. Χρησιμοποιήστε μια πιπέτα για να τοποθετήσετε α) 5μL, β) 10μL, γ) 20μL απεσταγμένου νερού εντός του πηγαδιού. Μετρήστε την χωρητικότητα του πυκνωτή σε κάθε περίπτωση. Τί παρατηρείτε; Τί επιτυγχάνουμε με αυτό τον τρόπο;

$$C_{5\mu L} = 27\text{nF}$$

$$C_{10\mu L} = 37\text{nF}$$

$$C_{20\mu L} = 37\text{nF}$$