



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Εργαστηριακή Άσκηση

Αισθητήρας Ενδοδιαπλεκόμενων Ηλεκτροδίων

Αντώνιος Γεωργάς

Αθήνα
2022

1. Θεωρητικό μέρος

1.1. Ενδοδιαπλεκόμενα ηλεκτρόδια (Interdigitated electrodes)

1.1.1. Αισθητήρες

Ένας αισθητήρας είναι μία συσκευή, η οποία μετατρέπει ένα μακροσκοπικό μέγεθος, όπως το φως, η θερμοκρασία κ.λπ., 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 τέτοιο 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.

1.1.2. Ταξινόμηση των αισθητήρων

Οι αισθητήρες κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την λειτουργία που επιτελούν (για παράδειγμα, 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

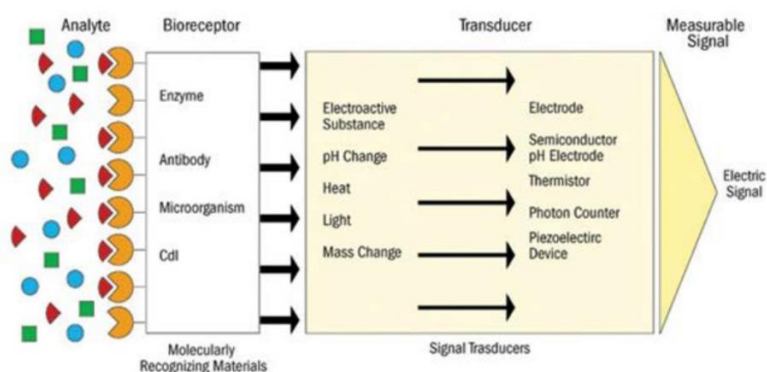
1.1.3. Χημικοί-βιοχημικοί αισθητήρες

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 είναι 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.

1.1.4. 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.

International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), 1996



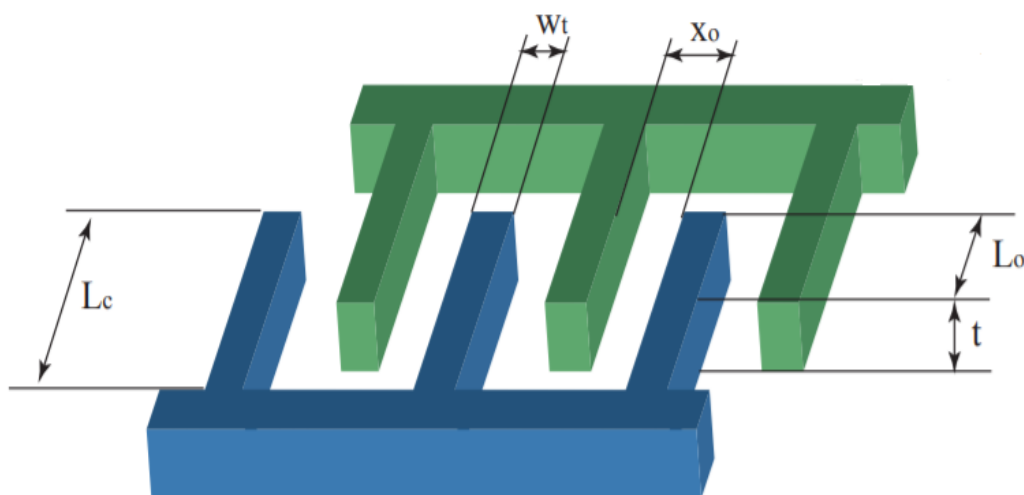
Σχήμα 1: Δομή Βιο-αισθητήρα

1.2. Πυκνωτής ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων

1.2.1. 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 κτενών τα οποία αλληλεπικαλύπτονται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 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 μικρο 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.



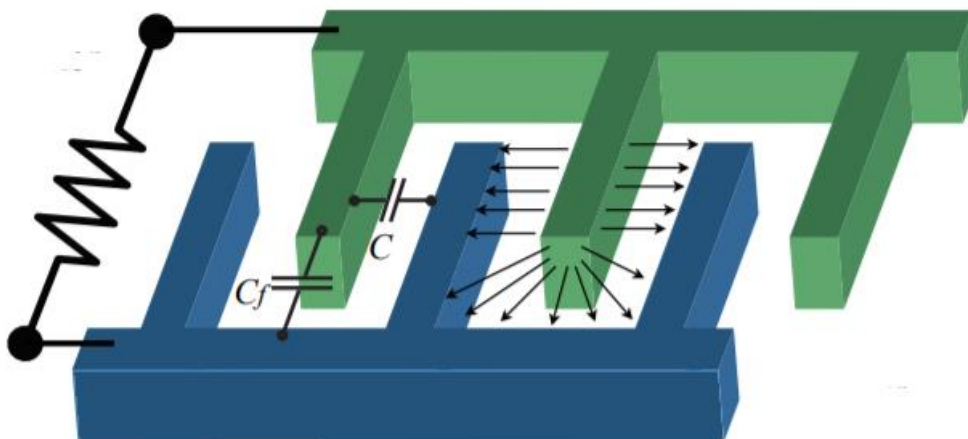
Σχήμα 2: Αναπαράσταση πυκνωτή ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων.

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.

1.2.2. 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 που αποτελείται κυρίως από το άθροισμα δύο υποχωρητικοτήτων, της χωρητικότητας που δημιουργείται ενδιάμεσα από τα ηλεκτρόδια C (Normal Capacitance Between Beams) και από την χωρητικότητα που δημιουργείται ανάμεσα στο τέλος του κάθε ηλεκτροδίου και το τοίχωμα C_f (Fringe Capacitance). Στο Σχήμα 3 φαίνεται η δημιουργία και η συνεισφορά της κάθε χωρητικότητας στο σύστημα:



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

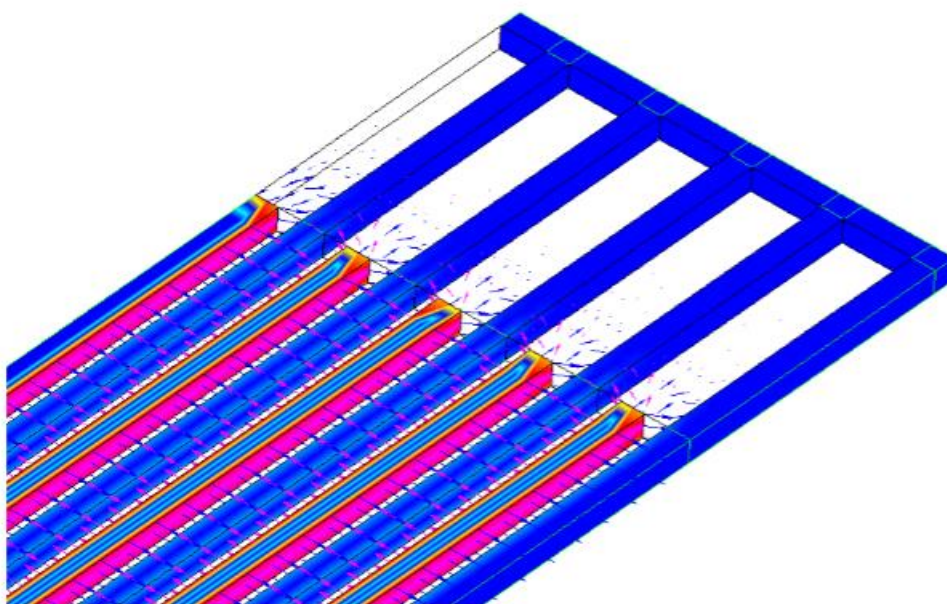
Μια προσέγγιση της χωρητικότητας C δίνεται από την βασική σχέση χωρητικότητας ενός πυκνωτή:

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{x_0} \quad (1.1)$$

Όπου:

- ϵ_0 η διηλεκτρική σταθερά του κενού
- ϵ_r η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού ενδιάμεσα στο ηλεκτρόδια
- A η συνολική επιφάνεια
- x_0 η απόσταση μεταξύ 2 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 στο Σχήμα 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.



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

2. Πειραματικό μέρος

1. Δίνονται 2 πυκνωτές ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων με διαφορετικές διαστάσεις. Θεωρήστε ότι το πλάτος κάθε ηλεκτροδίου ισούται με την απόσταση μεταξύ 2 ηλεκτροδίων.

1.1. Μετρήστε τις διαστάσεις των πυκνωτών. Χρησιμοποιήστε τα δεδομένα που υπολογίσατε και τον απλοποιημένο τύπο της χωρητικότητας του πυκνωτή (αγνοώντας την fringe capacitance) για να υπολογίσετε μια προσέγγιση της θεωρητικής τιμής της χωρητικότητας των τριών πυκνωτών α) όταν τους περιβάλλει αέρας, β) όταν βυθιστούν σε απεσταγμένο νερό.

1.2. Υπολογίστε την πειραματική τιμή της χωρητικότητας των πυκνωτών σε κάθε περίπτωση, με χρήση του πολυμέτρου:

- Στον αέρα.
- Με 1 σταγόνα νερό, την οποία τοποθετείτε με χρήση της πιπέτας.

Συγκρίνετε τις θεωρητικές με τις πειραματικές τιμές. Τί παρατηρείτε και γιατί;

2. Με χρήση της πιπέτας τοποθετήστε σταγόνες νερού στην επιφάνεια του πυκνωτή A, μέχρι να καλυφθεί πλήρως η επιφάνειά του από νερό. Για κάθε σταγόνα που τοποθετείτε μετρήστε την χωρητικότητα με το πολύμετρο. Από τις μετρήσεις της χωρητικότητας σχεδιάστε την γραφική παράσταση $C(n)$, όπου C η χωρητικότητα που μετράτε και n οι σταγόνες νερού. Σχολιάστε την γραφική παράσταση.
3. Χρησιμοποιήστε το 3d pen για να σχηματίσετε ένα πηγάδι στην επιφάνεια του πυκνωτή B. Χρησιμοποιήστε μια πιπέτα για να τοποθετήσετε μικρές σταγόνες νερού εντός του πηγαδιού. Μετρήστε την χωρητικότητα του πυκνωτή σε κάθε περίπτωση. Τι παρατηρείτε; Τι επιτυγχάνουμε με αυτό τον τρόπο;