



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

4^η Εργαστηριακή Αναφορά-Αισθητήρας Ενδοδιαπλεκόμενων Ηλεκτροδίων

στο μάθημα «**Τεχνολογία Αισθητήρων και
Μικροσυστημάτων**»

των φοιτητών

Σκόρδα Στεφανία, Α.Μ: 03118852

Ράτσα Ηλίας, Α.Μ: 03118817

Σερλής Εμμανουήλ-Αναστάσιος, Α.Μ: 03118125

8^ο Εξάμηνο

Ιούνιος 2022

1. Θεωρητικό μέρος

1.1. Ενδοδιαπλεκόμενα ηλεκτρόδια (Interdigitated electrodes)

Ως χημικοί ή βιοχημικοί αισθητήρες ορίζονται οι αισθητήρες, οι οποίοι μετατρέπουν μία χημική ή βιολογική ποσότητα σε ηλεκτρικό σήμα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται ανίχνευση της επιλεγμένης χημικής ουσίας από τον μετατροπέα του αισθητήρα, ο οποίος στην συνέχεια την μετασχηματίζει σε ανιχνεύσιμο φυσικό σήμα. Υποκατηγορία των βιοχημικών αισθητήρων αποτελούν οι βιοαισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα στοιχείο βιολογικής αναγνώρισης που βρίσκεται σε άμεση χωρική επαφή με ένα στοιχείο μεταγωγής, για τον τελικό σχηματισμό του ηλεκτρικού-προς μέτρηση-σήματος.

1.2. Πυκνωτής ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων

Οι πυκνωτές ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων διαθέτουν-πέρα από τις 2 παράλληλες πλάκες που υπάρχουν σε κάθε πυκνωτή-και ένα πλήθος κτενών τα οποία αλληλεπικαλύπτονται. Συγκεκριμένα, κατά την εφαρμογή μιας τάσης μεταξύ των στατικών και των κινούμενων κτενιών, αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις οι οποίες προκαλούν την έλξη μεταξύ τους. 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. Η παραπάνω διάταξη πυκνωτών προτιμάται στους χημικούς αισθητήρες-και κατ'επέκταση στους βιοαισθητήρες- λόγω της επίπεδης διαμόρφωσης των ηλεκτροδίων, αφού τα ηλεκτρόδια δεν εμποδίζουν την διάχυση των αναλυτών. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται γρήγορη απόκριση της διάταξης.

Αναφορικά με τον υπολογισμό της χωρητικότητας, αποτελεί 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 Cf (Fringe Capacitance).

$$C_{\text{tot}}=C+C_f, \text{ με:}$$

$$C = (\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A) / x_0, \text{ όπου}$$

- 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

Αξίζει να αναφερθεί ότι η συμβολή της χωρητικότητας C_f είναι σημαντική. Ωστόσο η χωρητικότητα αυτή είναι εξαιρετικά μη γραμμική και αλλάζει με διαφορετικές αρχικές και οριακές συνθήκες, όπως το μήκος κάθε ηλεκτροδίου καθώς και το μήκος της επικαλυπτόμενης περιοχής L_0 . Συνεπώς, στα πλαίσια του πειραματικού μέρους θα αγνοηθεί η μέτρησή της.

1. Πειραματικό μέρος

Έπειτα από βιβλιογραφική ανασκόπηση, βρέθηκαν οι κάτωθι τιμές για τις σταθερές:

- $\epsilon_0 = 8.85 \cdot (10^{-12}) \text{ F/m}$
- $\epsilon_r = \epsilon_{ra} = 1.0059$ (για αέρα)
- $\epsilon_r = \epsilon_{rw} = 78.57$ (για αποσταγμένο νερό στους 25°C)

Αναφορικά με τον υπολογισμό της επιφάνειας, θεωρούμε ότι η διάταξη του πυκνωτή αποτελεί ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, γεγονός που μας οδηγεί στην προσεγγιστική σχέση:

$$A = H \cdot L, \text{ όπου}$$

- H: ύψος διάταξης
- L: μήκος διάταξης

Στην συνέχεια, για τον υπολογισμό του x_0 και εφόσον έχουμε ότι το πλάτος κάθε ηλεκτροδίου ισούται με την απόσταση μεταξύ 2 ηλεκτροδίων, δηλαδή $w_t = x_0$, προκύπτει ότι:

$$x_0 + w_t = H/N = 2x_0 \Rightarrow x_0 = H/2 \cdot N, \text{ με } N \text{ το πλήθος των κτενιών}$$

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει η κάτωθι σχέση για τον υπολογισμό της χωρητικότητας:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot L \cdot H / (H/2 \cdot N) \text{ ή } C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot L \cdot 2N$$

1.1 Με βάση τα άνωθι έχουμε τις εξής τιμές χωρητικότητας για τους 2 δοθέντες πυκνωτές (σε αέρα και νερό αντίστοιχα):

a) **Για αέρα:** $\epsilon_r = \epsilon_{ra} = 1.0059$

	L(cm)	H(cm)	N	C(pF)
CA	2.4	1	10	0.102
CB	4.3	4.2	50	38.1

b) **Για νερό:** $\epsilon_r = \epsilon_{rw} = 78.57$

	L(cm)	H(cm)	N	C(pF)
CA	2.4	1	10	334
CB	4.3	4.2	50	2291

Παρατηρούμε ότι και στις 2 περιπτώσεις, η χωρητικότητα του πυκνωτή B αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από αυτή του A, λόγω της διαφοράς στις διαστάσεις. Επιπλέον, η προσθήκη νερού σε κάθε πυκνωτή επίσης επηρεάζει ανάλογα την χωρητικότητα του πυκνωτή. Εξού και η προσδωκόμενη μέγιστη τιμή υπολογίζεται στον πυκνωτή B, όταν αυτός έχει βυθιστεί στο νερό.

1.2 Για την σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές, έγινε πειραματική μέτρηση της χωρητικότητας των 2 πυκνωτών, τόσο στον αέρα όσο και έπειτα από την χορήγηση μίας σταγόνας νερού($n=1$) στην επιφάνειά του. Λάβαμε τα κάτωθι αποτελέσματα:

	Αέρας	Νερό($n=1$)
CA	4.1pF	52.1pF
CB	3300pF	6059pF

,ενώ παρακάτω παρουσιάζονται οι αντίστοιχες θεωρητικές εκτιμήσεις του ερωτήματος 1.1 (σε συνοπτική μορφή):

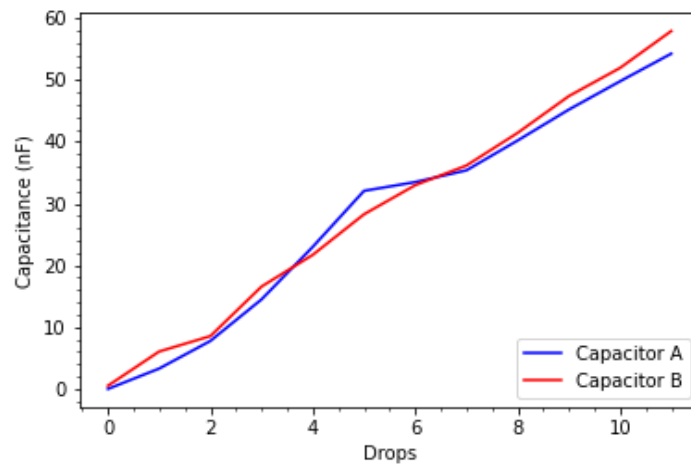
	Αέρας	Νερό(n=1)
CA	0.102pF	38.1pF
CB	334pF	2291pF

Παρατηρούμε ότι οι πειραματικά μετρούμενες τιμές είναι αισθητά μεγαλύτερες από τις θεωρητικές του προηγούμενου ερωτήματος. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι δεν λαμβάνουμε υπόψιν την χωρητικότητα C_f η οποία-ειδικά στην περίπτωση ύπαρξης νερού στην επιφάνεια του πυκνωτή-συμβάλει σε ποσοστό >50% στην συνολική χωρητικότητα C_{tot} .

1.2 + 1.3

Ακολουθήθηκαν τα βήματα που περιγράφονται στην εκφώνηση για την τοποθέτηση σταγόνων νερού για καθέναν από τους 2 πυκνωτές CA και CB. Συνολικά τοποθετήθηκαν μέχρι και 11 σταγόνες νερού Λάβαμε τα εξής αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται τόσο σε μορφή πίνακα όσο και σε γραφική παράσταση

n	CA(nF)	CB(nF)
0	0.0041	0.0521
1	3.3	6.059
2	7.79	8.551
3	14.5	16.571
4	23	21.7
5	32.05	28.26
6	33.47	32.97
7	35.37	36.15
8	40.2	41.43
9	45.2	47.38
10	49.78	51.94
11	54.25	57.91



Παρατηρούμε την αναμενόμενη γραμμική αύξηση της χωρητικότητας των πυκνωτών, όσο αυξάνονταν οι σταγόνες που προσθέταμε στην επιφάνεια του πυκνωτή. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές της προκύπτουσας συνάρτησης $C(n)$ μεταβάλλονταν αρκετά στην ένδειξη του πολύμετρου με αποτέλεσμα να ήταν αναγκαστική η αναμονή ορισμένων δευτερολέπτων, πρώτου καταγράψουμε μία-σχετικά-σταθερή τιμή χωρητικότητας.