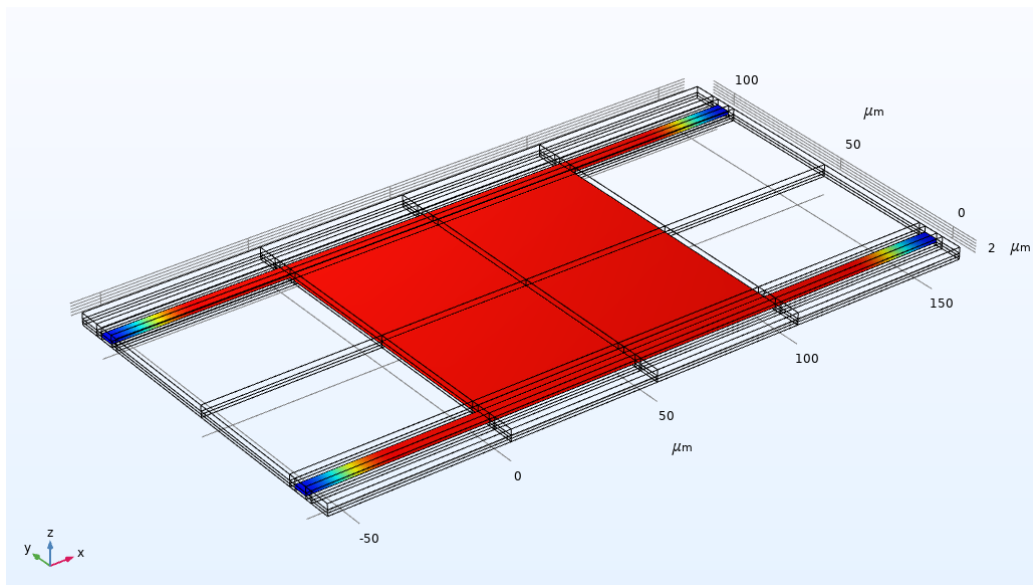


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Βελτιστοποίηση συμπεριφοράς RF-MEMS διακόπτη»



Φοιτητής

Καδόγλου Χρήστος 516037

Επιβλέπων

Δρ. Κυριάκος Τσιακμάκης

Φεβρουάριος 2023

Μελέτη και σύγκριση αλγορίθμων βελτιστοποίησης με εφαρμογές στα MEMS

Κωδικός: 2220

Φοιτητής: Καδόγλου Χρήστος

Εισηγητής: Δρ Κυριάκος Τσιακμάκης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 30-03-2022

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 06-01-2023

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του Καδόγλου Χρήστου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Περίληψη

Η εργασία αφορά τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς ενός χωρητικού RF-MEMS διακόπτη με εφαρμογή αλγορίθμων βελτιστοποίησης με χρήση Matlab. Οι παράμετροι που εισήχθησαν στο πρόγραμμα COMSOL προγραμματιστικά σε κάθε εκτέλεση της συνάρτησης κόστους είναι το πλάτος, το μήκος και η τάση. Η έξοδος και ο τελικός στόχος ήταν να έχει το μικρότερο χρόνο μετάβασης με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα. Αυτή η παράμετρος εξάχθηκε από το πρόγραμμα και είναι η επιστροφή της συνάρτησης κόστους.

« Optimization of RF-MEMS switch behavior »

Abstract

This work concerns the optimization of the behavior of a capacitive RF-MEMS switch by applying optimization algorithms using Matlab. The parameters entered into the COMSOL program programmatically are width, length, and input voltage. The goal is the shortest transit time with the largest capacity. The output parameter was extracted from the program and returned into the cost function.

Ευχαριστίες

Να ευχαριστήσω τους φίλους και τους γονείς μου. Ιδιαίτερο ευχαριστώ στον επιβλέπων αφού με βοήθησε να προχωράω σε κάθε βήμα.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract.....	v
Ευχαριστίες.....	vi
Περιεχόμενα.....	vii
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	10
1.1 Εισαγωγή.....	10
1.2 Δομή της εργασίας	11
Κεφάλαιο 2ο: Εισαγωγή στα Ηλεκτρομηχανικά Στοιχεία MEMS	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Μικροηλεκτρομηχανικοί MEMS ενεργοποιητές.....	12
2.3 Μικροηλεκτρομηχανικοί MEMS αισθητήρες	17
2.4 Μικροηλεκτρομηχανικοί MEMS RF switch	19
Κεφάλαιο 3ο: Εισαγωγή στους αλγόριθμους βελτιστοποίησης.....	21
3.1 Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης	21
3.1.1 Τύποι Αλγορίθμων Βελτιστοποίησης	21
3.1.2 Ευριστικοί Αλγόριθμοι.....	23
3.1.3 Γενετικοί Αλγόριθμοι	23
3.1.4 Particle Swarm Optimization.....	23
Κεφάλαιο 4ο: Βελτιστοποίηση με τη μέθοδο Taguchi	25
4.1 Εισαγωγή στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης Taguchi	25
Κεφάλαιο 5ο: Αποτελέσματα	27
5.1 Αξιολόγηση της μεθόδου Taguchi για διάφορες γνωστές συναρτήσεις	27
5.1.1 Με ένα ελάχιστο.....	27
5.1.2 Με τρία ελάχιστα.....	28
5.1.3 Με πέντε ελάχιστα.....	30
5.2 Εφαρμογή της μεθόδου Taguchi στο RF-MEM	31
5.2.1 Αποτελέσματα με διάφορες τιμές στις παραμέτρους εισόδου	31
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης	49

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	53
Α.1. Κώδικας Taguchi.....	53

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 2.1: Αρχή λειτουργίας του MEMS switch	16
Εικόνα 2.2: MEMS sensor.....	17
Εικόνα 2.3: MEMS RF switch	20
Εικόνα 5.1: Συνάρτηση με ένα ελάχιστο - Γράφημα	28
Εικόνα 5.2: Συνάρτηση με τρία ελάχιστα - Γράφημα.....	29
Εικόνα 5.3: Συνάρτηση με πέντε ελάχιστα - Γράφημα.....	30
Εικόνα 5.4: Ένα απλό capacitive RF MEMS switch	32
Εικόνα 5.5: Χωρητικό RF-MEMS με εφαρμογή	33
Εικόνα 5.6: Το RF-MEMS που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης- 1	34
Εικόνα 5.7: Το RF-MEMS που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης- 2	34
Εικόνα 5.8: Το RF-MEMS που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης- 3	34
Εικόνα 5.9: Το RF-MEMS σε κατάσταση μηδενικής μετατόπισης - OFF.....	35
Εικόνα 5.10: Το RF-MEMS σε κατάσταση μέγιστης μετατόπισης - ON	35
Εικόνα 5.11: Η πίεση που δέχεται το RF-MEM σε διάφορα σημεία του.....	36
Εικόνα 5.12: Μετατόπιση περίπτωσης 1	37
Εικόνα 5.13: Χωρητικότητα περίπτωσης 1.....	38
Εικόνα 5.14: Δύναμη επαφής περίπτωσης 1	38
Εικόνα 5.15: Μετατόπιση περίπτωσης 2	39
Εικόνα 5.16: Χωρητικότητα περίπτωσης 2.....	40
Εικόνα 5.17: Δύναμη επαφής περίπτωσης 2	41
Εικόνα 5.18: Μετατόπιση περίπτωσης 3	42
Εικόνα 5.19: Χωρητικότητα περίπτωσης 3.....	42
Εικόνα 5.20: Δύναμη επαφής περίπτωσης 3	43
Εικόνα 5.21: Μετατόπιση περίπτωσης 4	44
Εικόνα 5.22: Χωρητικότητα περίπτωσης 4.....	44
Εικόνα 5.23: Δύναμη επαφής περίπτωσης 4	45
Εικόνα 5.24: Μετατόπιση περίπτωσης 5	46
Εικόνα 5.13: Χωρητικότητα περίπτωσης 5.....	47
Εικόνα 5.14: Δύναμη επαφής περίπτωσης 5	48

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Το ακρωνύμιο MEMS σημαίνει Micro-Electro-Mechanical-System. Περιγράφει μια μικροσκοπική τεχνολογία που έχει τόσο μηχανικά όσο και ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Το μέγεθος ενός MEMS μπορεί να κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά έως λιγότερο από ένα μικρόμετρο.

Ο όρος MEMS έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια. Το MEMS ορίζει τόσο μια κατηγορία συσκευών όσο και τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή τους. Το κύριο κριτήριο του MEMS είναι η παρουσία μηχανικών στοιχείων. Το αν αυτά τα στοιχεία μπορούν να μετακινηθούν ή όχι είναι δευτερεύον.

Στην Ιαπωνία, τα MEMS είναι γνωστά ως μικρομηχανές. Στην Ευρώπη, αναφέρονται ως τεχνολογία μικροσυστημάτων (MST). Τα MEMS που μετατρέπουν ένα μηχανικό σήμα σε ηλεκτρικό ή οπτικό σήμα ονομάζονται μετατροπείς.

Είναι μικρά σε μέγεθος και μάζα, είναι επεκτάσιμα στην κατασκευή, η μαζική παραγωγή έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό κόστος ανά μονάδα, απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, έχουν καλές θερμικές ιδιότητες, μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε συστήματα.

Οι αισθητήρες MEMS έχουν πολύ υψηλή ευαισθησία και οι διακόπτες και οι ενεργοποιητές MEMS μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλές συχνότητες.

Ένα μικροηλεκτρομηχανικό σύστημα ραδιοσυχνοτήτων (RF MEMS) είναι ένα μικροηλεκτρομηχανικό σύστημα με ηλεκτρονικά εξαρτήματα που περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη μεγέθους κάτω του χιλιοστού που παρέχουν λειτουργικότητα ραδιοσυχνότητας (RF) που παρέχουν διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές συσκευές μικροκυμάτων, όπως βελτιωμένη απομόνωση, χαμηλότερη απαγωγή ισχύος και μειωμένο κόστος, μέγεθος και βάρος.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς ενός χωρητικού RF-MEMS διακόπτη με εφαρμογή αλγορίθμων βελτιστοποίησης με χρήση Matlab. Οι παράμετροι που εισήχθησαν στο πρόγραμμα COMSOL προγραμματιστικά σε κάθε εκτέλεση της συνάρτησης κόστους είναι το πλάτος, το μήκος και η τάση. Η έξοδος και ο τελικός στόχος ήταν να έχει το μικρότερο χρόνο μετάβασης με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα. Αυτή η παράμετρος εξάχθηκε από το πρόγραμμα και είναι η επιστροφή της συνάρτησης κόστους.

1.2 Δομή της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εισαγωγή της εργασίας, οι στόχοι και η δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εισαγωγή στα μικροηλεκτρομηχανικά στοιχεία MEMS και RF-MEMS.

Στο τρίτο κεφάλαιο βρίσκεται η εισαγωγή στους αλγόριθμους βελτιστοποίησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η βελτιστοποίηση με τη μέθοδο Taguchi.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η βελτιστοποίηση με τη μέθοδο Taguchi.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με εφαρμογή Taguchi σε απλές συναρτήσεις και στη συνέχεια εφαρμογή στο RF-MEMS που κατασκευάστηκε.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και θέματα για μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2ο: Εισαγωγή στα Ηλεκτρομηχανικά Στοιχεία MEMS

2.1 Εισαγωγή

Το MEMS είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μικροσκοπικών ολοκληρωμένων συσκευών ή συστημάτων που συνδυάζουν μηχανικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα. Κατασκευάζονται με τη χρήση τεχνικών επεξεργασίας ολοκληρωμένου κυκλώματος (IC) και μπορούν να κυμαίνονται σε μέγεθος από μερικά μικρόμετρα έως χιλιοστά. Αυτές οι συσκευές (ή συστήματα) έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν, να ελέγχουν και να ενεργοποιούν σε μικροκλίμακα. Η διεπιστημονική φύση του MEMS χρησιμοποιεί τεχνογνωσία σχεδιασμού, μηχανικής και κατασκευής από ένα ευρύ και ποικίλο φάσμα τεχνικών τομέων, όπως τεχνολογία κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, μηχανολογία, επιστήμη υλικών, ηλεκτρική μηχανική, χημεία και χημική μηχανική, καθώς και μηχανική ρευστών, οπτική και όργανα. Η πολυπλοκότητα του MEMS φαίνεται επίσης στην εκτεταμένη γκάμα αγορών και εφαρμογών που ενσωματώνουν συσκευές MEMS. Το MEMS μπορεί να βρεθεί σε συστήματα που κυμαίνονται σε εφαρμογές αυτοκινήτων, ιατρικών, ηλεκτρονικών, επικοινωνιών και άμυνας. Οι τρέχουσες συσκευές MEMS περιλαμβάνουν επιταχυνσιόμετρα για αισθητήρες αερόσακου, κεφαλές εκτυπωτών inkjet, κεφαλές ανάγνωσης/εγγραφής μονάδας δίσκου υπολογιστή, αισθητήρες αρτηριακής πίεσης, οπτικούς διακόπτες, μικροβαλβίδες, βιοαισθητήρες και πολλά άλλα προϊόντα.

Το MEMS έχει αναγνωριστεί ως μία από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες για τον 21ο αιώνα και έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση τόσο στα βιομηχανικά όσο και στα καταναλωτικά προϊόντα συνδυάζοντας τη μικροηλεκτρονική με βάση το πυρίτιο με την τεχνολογία μικροκατεργασίας. Οι τεχνικές και οι μικροσυστημικές συσκευές του έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν δραματικά τη ζωή όλων μας και τον τρόπο που ζούμε. Εάν η μικροκατασκευή ημιαγωγών θεωρήθηκε ότι είναι η πρώτη επανάσταση μικροκατασκευής, το MEMS είναι η δεύτερη επανάσταση.

2.2 Μικροηλεκτρομηχανικοί MEMS ενεργοποιητές

Τα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) είναι μια τεχνολογία διεργασίας που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μικροσκοπικών ολοκληρωμένων συσκευών ή συστημάτων που συνδυάζουν μηχανικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα. Κατασκευάζονται με τη χρήση τεχνικών επεξεργασίας παρτίδων ολοκληρωμένου κυκλώματος (IC) και μπορούν να κυμαίνονται σε μέγεθος από μερικά μικρόμετρα έως χιλιοστά. Αυτές οι συσκευές (ή συστήματα) έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν, να ελέγχουν και να ενεργοποιούν σε μικροκλίμακα.

Το MEMS, ένα αρκτικόλεξο που προέρχεται από τις Ηνωμένες Πολιτείες, αναφέρεται επίσης ως Microsystems Technology (MST) στην Ευρώπη και Micromachines στην Ιαπωνία. Ανεξάρτητα από την ορολογία, ο συντελεστής ένωσης μιας συσκευής MEMS είναι ο τρόπος κατασκευής της. Ενώ τα ηλεκτρονικά της συσκευής κατασκευάζονται με χρήση τεχνολογίας IC (τσιπ), τα μικρομηχανικά εξαρτήματα κατασκευάζονται με στρώματα πυριτίου και άλλων υποστρωμάτων με τη χρήση διεργασιών μικροκατεργασίας. Διαδικασίες όπως η μικροκατεργασία επιφανειών, καθώς και η μικροκατεργασία υψηλής αναλογίας (HARM) αφαιρούν επιλεκτικά μέρη του πυριτίου ή προσθέτουν πρόσθετα δομικά στρώματα για να σχηματίσουν τα μηχανικά και ηλεκτρομηχανικά εξαρτήματα. Ενώ τα ολοκληρωμένα κυκλώματα έχουν σχεδιαστεί για να εκμεταλλεύονται τις ηλεκτρικές ιδιότητες του πυριτίου, το MEMS εκμεταλλεύεται είτε τις μηχανικές ιδιότητες του πυριτίου είτε τις ηλεκτρικές και μηχανικές του ιδιότητες.

Στην πιο γενική μορφή, τα MEMS αποτελούνται από μηχανικές μικροδομές, μικροαισθητήρες, μικροενεργοποιητές και μικροηλεκτρονικά, όλα ενσωματωμένα στο ίδιο τσιπ πυριτίου. Οι μικροαισθητήρες ανιχνεύουν αλλαγές στο περιβάλλον του συστήματος μετρώντας μηχανικές, θερμικές, μαγνητικές, χημικές ή ηλεκτρομαγνητικές πληροφορίες ή φαινόμενα. Η μικροηλεκτρονική επεξεργάζεται αυτές τις πληροφορίες και δίνει σήμα στους μικροενεργοποιητές να αντιδράσουν και να δημιουργήσουν κάποια μορφή αλλαγών στο περιβάλλον.

Οι συσκευές MEMS είναι πολύ μικρές. τα συστατικά τους είναι συνήθως μικροσκοπικά. Μοχλοί, γρανάζια, έμβολα, καθώς και κινητήρες, ακόμη και ατμομηχανές έχουν κατασκευαστεί από MEMS. Ωστόσο, το MEMS δεν αφορά μόνο τη σμίκρυνση μηχανικών εξαρτημάτων ή την κατασκευή πραγμάτων από πυρίτιο. Το MEMS είναι μια κατασκευαστική τεχνολογία. ένα παράδειγμα για το σχεδιασμό και τη δημιουργία πολύπλοκων μηχανικών συσκευών και συστημάτων καθώς και των ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών τους με τη χρήση τεχνικών κατασκευής.

Το MEMS εμφανίζεται στα τα ερευνητικά εργαστήρια και στα καθημερινά προϊόντα. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, τα εξαρτήματα MEMS άρχισαν να εμφανίζονται σε πολλά εμπορικά προϊόντα και εφαρμογές, όπως επιταχυνσιόμετρα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ανάπτυξης αερόσακων στα οχήματα, αισθητήρες πίεσης για ιατρικές εφαρμογές και κεφαλές εκτυπωτών inkjet. Σήμερα, οι συσκευές MEMS βρίσκονται επίσης σε οθόνες προβολής και για μικροθέτες σε συστήματα αποθήκευσης δεδομένων. Ωστόσο, το μεγαλύτερο δυναμικό για τις συσκευές MEMS βρίσκεται σε νέες εφαρμογές στους τομείς των τηλεπικοινωνιών, στον βιοϊατρικό τομέα και στον έλεγχο διεργασιών. Το MEMS έχει αρκετά ευδιάκριτα πλεονεκτήματα ως τεχνολογία κατασκευής. Καταρχάς, η διεπιστημονική φύση της τεχνολογίας MEMS και των τεχνικών μικρομηχανικής της, καθώς και η ποικιλία των εφαρμογών της, έχουν οδηγήσει σε ένα άνευ προηγουμένου φάσμα συσκευών και συνέργειες σε προηγούμενα άσχετα πεδία, όπως βιολογία. Το MEMS με τις τεχνικές παραγωγής παρτίδας επιτρέπει την κατασκευή εξαρτημάτων και συσκευών με αυξημένη απόδοση και αξιοπιστία, σε συνδυασμό με τα προφανή πλεονεκτήματα του μειωμένου φυσικού μεγέθους, όγκου, βάρους και

κόστους. Το MEMS παρέχει τη βάση για την κατασκευή προϊόντων που δεν μπορούν να κατασκευαστούν με άλλες μεθόδους. Αυτοί οι παράγοντες καθιστούν το MEMS δυνητικά μια πολύ πιο διάχυτη τεχνολογία από τα μικροσίπ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές προκλήσεις και τεχνολογικά εμπόδια που σχετίζονται με τη σμίκρυνση που πρέπει να αντιμετωπιστούν και να ξεπεραστούν προτού το MEMS μπορέσει να συνειδητοποιήσει τις συντριπτικές δυνατότητές του.

Μετατροπέας (Transducer):

Ένας μετατροπέας είναι μια συσκευή που μετατρέπει μια μορφή σήματος ή ενέργειας σε άλλη μορφή. Ο όρος μετατροπέας μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί για να περιλαμβάνει αισθητήρες και ενεργοποιητές και είναι ο πιο γενικός και ευρέως χρησιμοποιούμενος όρος στο MEMS.

Αισθητήρας (Sensor):

Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή που μετρά πληροφορίες από ένα περιβάλλον και παρέχει ένα ηλεκτρικό σήμα εξόδου ως απόκριση στην παράμετρο που μετρήσει. Με τα χρόνια, αυτές οι πληροφορίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον τύπο των ενεργειακών τομέων, αλλά οι συσκευές MEMS γενικά επικαλύπτουν πολλούς τομείς ή δεν ανήκουν καν σε καμία κατηγορία.

Αυτοί οι ενεργειακοί τομείς περιλαμβάνουν:

- Μηχανικά - δύναμη, πίεση, ταχύτητα, επιτάχυνση, θέση
- Ηλεκτρικά - τάση, ρεύμα, φορτίο, αντίσταση, χωρητικότητα, πόλωση
- Μαγνητικό - ένταση πεδίου, πυκνότητα ροής, μαγνητική ροπή, διαπερατότητα
- Θερμική - θερμοκρασία, εντροπία, θερμότητα, ροή θερμότητας
- Χημική - συγκέντρωση, σύνθεση, ταχύτητα αντίδρασης
- Ακτινοβολία - ένταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος, φάση, μήκος κύματος, πόλωση

Ενεργοποιητής (Actuator):

Ένας ενεργοποιητής είναι μια συσκευή που μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε δράση. Μπορεί να δημιουργήσει μια δύναμη για να χειριστεί τον εαυτό του, άλλες μηχανικές συσκευές ή το περιβάλλον για να εκτελέσει κάποια χρήσιμη λειτουργία.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε από τις πρώιμες εφαρμογές MEMS το έχει καταστήσει τεχνολογία αιχμής για νέες βιοϊατρικές εφαρμογές (bioMEMS) και ασύρματες επικοινωνίες που αποτελούνται και από οπτικές, που αναφέρονται επίσης ως μικρο-οπτοηλεκτρομηχανικές συστήματα (MOEMS-micro-optoelectromechanical systems) και ραδιοσυχνότητες (RF-radio frequency) MEMS.

Τα τελευταία χρόνια έχουν προκύψει ορισμένα εξαιρετικά καινοτόμα προϊόντα από εταιρείες bioMEMS για επαναστατικές εφαρμογές που υποστηρίζουν σημαντικά κοινωνικά ζητήματα όπως η αλληλουχία DNA, η ανακάλυψη φαρμάκων και η παρακολούθηση του νερού και του περιβάλλοντος. Η τεχνολογία επικεντρώνεται στα μικρορρευστικά συστήματα καθώς και στις χημικές δοκιμές και επεξεργασία και έχει επιτρέψει την παραγωγή συσκευών και εφαρμογών, χημικοί αισθητήρες, ελεγκτές ροής, μικροακροφύσια και μικροβαλβίδες. Αν και πολλές συσκευές βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη, τα μικρορρευστοποιησιμα συστήματα περιέχουν συνήθως μικρομηχανικές αντλίες πυριτίου, αισθητήρες ροής και χημικούς αισθητήρες. Επιτρέπουν γρήγορο και σχετικά βολικό χειρισμό και ανάλυση μικρών όγκων υγρών, μια περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για ιατρικές εφαρμογές που βασίζονται στο σπίτι, όπου οι ασθενείς μπορούν να χρησιμοποιούν συσκευές για να παρακολουθούν τις δικές τους καταστάσεις, όπως ανάλυση αίματος και ούρων.

Από την άλλη οι οπτικές επικοινωνίες έχουν αναδειχθεί ως το μόνο πρακτικό μέσο για την αντιμετώπιση των προβλημάτων κλιμάκωσης του δικτύου που δημιουργούνται από την τεράστια αύξηση της κίνησης δεδομένων που προκαλείται από την ταχεία άνοδο του Διαδικτύου. Η τρέχουσα τεχνολογία δρομολόγησης επιβραδύνει τη ροή πληροφοριών μετατρέποντας τα οπτικά σήματα σε ηλεκτρονικές πληροφορίες και στη συνέχεια ξανά σε φως πριν τα ανακατευθύνει. Όλα τα οπτικά δίκτυα προσφέρουν πολύ ανώτερες δυνατότητες απόδοσης και απόδοση σε σχέση με τα παραδοσιακά ηλεκτρονικά συστήματα. Τα πιο σημαντικά προϊόντα συσκευών MOEMS-micro-optoelectromechanical systems περιλαμβάνουν κυματοδηγούς, οπτικούς διακόπτες, διασταυρούμενες συνδέσεις, πολυπλέκτης, φίλτρα, διαμορφωτές, ανιχνευτές, εξασθενητές και ισοσταθμιστές. Το μικρό τους μέγεθος, το χαμηλό κόστος, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η μηχανική αντοχή, η υψηλή ακρίβεια, η υψηλή πυκνότητα μεταγωγής και η χαμηλού κόστους επεξεργασία παρτίδων αυτών των συσκευών που βασίζονται σε MEMS τις καθιστούν τέλεια λύση στα προβλήματα ελέγχου και μεταγωγής οπτικών σημάτων στα τηλεφωνικά δίκτυα. .

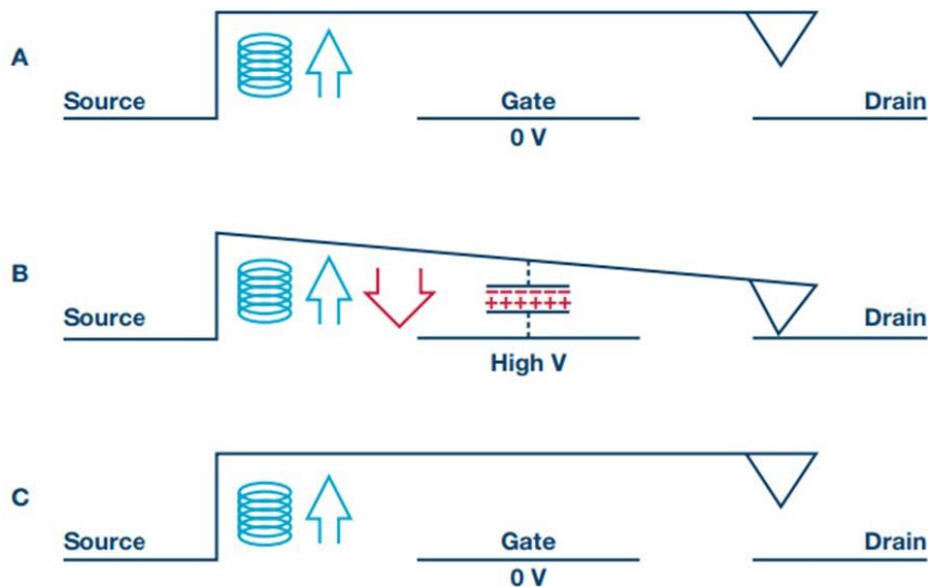
Το RF MEMS είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς στην εμπορική τεχνολογία MEMS. Τα RF MEMS έχουν σχεδιαστεί ειδικά για ηλεκτρονικά σε κινητά τηλέφωνα και άλλες εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας, όπως ραντάρ, δορυφορικά συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης (GPS) και κατευθυνόμενες κεραίες. Το MEMS επέτρεψε την αύξηση της απόδοσης, της αξιοπιστίας και της λειτουργίας αυτών των συσκευών μειώνοντας ταυτόχρονα το μέγεθος και το κόστος τους.

Η τεχνολογία περιλαμβάνει στοιχεία συντονισμού κυκλώματος (πυκνωτές/επαγωγείς, συντονιστές, φίλτρα, μικρόφωνα και διακόπτες). Αυτές οι εξαιρετικά μικροσκοπικές και εξαιρετικά ενσωματωμένες λειτουργίες RF χαμηλών απωλειών μπορούν και θα αντικαταστήσουν τελικά τα κλασικά στοιχεία RF και θα επιτρέψουν μια νέα γενιά συσκευών RF. Όπως φαίνεται σήμερα, εάν τα εξαρτήματα RF MEMS συνεχίσουν να αντικαθιστούν τα παραδοσιακά εξαρτήματα στα σημερινά κινητά τηλέφωνα, τότε τα τηλέφωνα θα μπορούσαν να γίνουν εξαιρετικά και να απαιτούν λίγη ισχύ μπαταρίας και μπορεί ακόμη και να είναι φθηνότερα.

Ηλεκτροστατική ενεργοποίηση:

Η θεμελιώδης αρχή ενεργοποίησης πίσω από τους ηλεκτροστατικούς ενεργοποιητές είναι η έλξη δύο αντίθετα φορισμένων πλακών. Η χρήση τους είναι εκτεταμένη σε συσκευές MEMS, καθώς είναι σχετικά απλή η κατασκευή κενών σε κοντινή απόσταση με αγώγιμες πλάκες σε αντίθετες πλευρές.

Οι ενεργοποιητές τύπου κίνησης χτένας χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό λεπτών διαηλεκτρικών δακτύλων που ενεργοποιούνται εφαρμόζοντας μια τάση μεταξύ τους. Καθώς η χωρητικότητα σχετίζεται με την περιοχή, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δακτύλων, τόσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη που μπορεί να παραχθεί από τον ενεργοποιητή.



Εικόνα 2.1: Αρχή λειτουργίας του MEMS switch

[<https://www.analog.com/-/media/analog/en/landing-pages/technical-articles/fundamentals-adi-revolutionary-mems-switch-technology/figure2.jpg?w=900&la=en&imgver=2>]

Οι ηλεκτροστατικοί περιστροφικοί κινητήρες είναι ένα άλλο καλό παράδειγμα της επιτυχίας των τεχνικών πολυπυριτίου MEMS. Βασίζονται σε έναν κεντρικό ρότορα που κινείται ελεύθερα με περιβάλλουσες χωρητικές πλάκες που μπορούν να οδηγηθούν στη σωστή φάση για να προκαλέσουν την περιστροφή του ρότορα. Με αυτούς τους κινητήρες μπορεί να επιτευχθεί μείωση της τριβής ολίσθησης και αυξημένες ηλεκτροστατικές δυνάμεις.

Πιεζοηλεκτρική ενεργοποίηση:

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε αισθητήρες όσο και σε ενεργοποιητές. Στην πιεζοηλεκτρική ενεργοποίηση, η ηλεκτρικά επαγόμενη μετατόπιση (ή τάση) είναι ανάλογη με την εφαρμοζόμενη διαφορά δυναμικού. Παρά τις μικρές μετατοπίσεις, σχετικά υψηλές δυνάμεις μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας χαμηλότερες τάσεις από αυτές που απαιτούνται για συγκρίσιμη ηλεκτροστατική ενεργοποίηση. Ωστόσο εξαρτάται από τη γεωμετρία των εξαρτημάτων της συσκευής. Τα κύρια μειονεκτήματα της πιεζοηλεκτρικής ενεργοποίησης περιλαμβάνουν την υψηλή πολυπλοκότητα της κατασκευής, καθώς και τις μικρές μετατοπίσεις ενεργοποίησης. Μεγαλύτερες μετατοπίσεις μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας πολλαπλά πιεζοηλεκτρικά στρώματα γνωστά ως πιεζοηλεκτρικά δίμορφα. Οι περισσότερες πιεζοηλεκτρικές ενεργοποιήσεις MEMS χρησιμοποιούνται όπου απαιτούνται μικρές καταπονήσεις.

2.3 Μικροηλεκτρομηχανικοί MEMS αισθητήρες

Υπάρχει μια τεράστια ποικιλία από άμεσους μηχανικούς αισθητήρες που έχουν υποστεί ή θα μπορούσαν να υποβληθούν σε μικρομηχανική επεξεργασία ανάλογα με τον αισθητήριο μηχανισμό τους (συνήθως πιεζοηλεκτρικός, πιεζοηλεκτρικός ή χωρητικός) και τις ανιχνευόμενες παραμέτρους (συνήθως καταπόνηση, δύναμη και μετατόπιση).



Εικόνα 2.2: MEMS sensor

[<https://slideplayer.com/slide/9306645/28/images/9/MEMS+Sensors+++Accelerometer.jpg>]

Αισθητήρες πιεζοαντοχής

Ως αποτέλεσμα του πιεζοαντιστικού φαινομένου (που ορίζεται ως η αλλαγή στην ειδική αντίσταση του υλικού με την εφαρμοζόμενη καταπόνηση), οι αλλαγές στη διάσταση του μετρητή οδηγούν σε αναλογικές αλλαγές στην αντίσταση στον αισθητήρα. Το πιεζοαντιστικό αποτέλεσμα στους ημιαγωγούς είναι σημαντικά υψηλότερο από ό,τι στα παραδοσιακά μέταλλα, καθιστώντας το πυρίτιο έναν εξαιρετικό αισθητήρα καταπόνησης. Οι πιεζοαντιστάσεις MEMS κατασκευάζονται εύκολα με χρήση πυριτίου εμποτισμένο με προσμίξεις τύπου p ή n.

Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο στο οποίο μια εφαρμοζόμενη τάση (ή δύναμη) σε έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο οδηγεί σε διαφορά δυναμικού κατά μήκος του κρυστάλλου. Ομοίως, εάν ο κρύσταλλος υποβληθεί σε διαφορά δυναμικού, παράγεται μετατόπιση ή τάση. Το φαινόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση μηχανικής καταπόνησης (μετατόπιση) και ως μηχανισμός ενεργοποίησης, αν και οι μετατοπίσεις είναι μικρές ακόμη και για μεγάλες τάσεις. Τα κοινά πιεζοηλεκτρικά υλικά που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές MEMS περιλαμβάνουν χαλαζία, PZT, PVDF και ZnO. Το πυρίτιο δεν είναι πιεζοηλεκτρικό. Ως εκ τούτου, μια λεπτή μεμβράνη από κατάλληλο υλικό πρέπει να εναποτίθεται στις συσκευές.

Χωρητικοί αισθητήρες

Η χωρητική-ηλεκτροστατική ανίχνευση είναι ένας από τους πιο σημαντικούς αισθητήρες ακριβείας και περιλαμβάνει μία ή περισσότερες σταθερές αγωγίμες πλάκες με μία ή περισσότερες κινούμενες αγωγίμες πλάκες. Η χωρητική ανίχνευση βασίζεται στη βασική εξίσωση πυκνωτή παράλληλης πλάκας που φαίνεται παρακάτω. Καθώς η χωρητικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση μεταξύ των πλακών, η αίσθηση πολύ μικρών μετατοπίσεων είναι εξαιρετικά ακριβής.

Αισθητήρες συντονισμού

Οι αισθητήρες συντονισμού MEMS αποτελούνται από μικρομηχανικές δέσμες ή γέφυρες που οδηγούνται σε δόνηση στη συχνότητα συντονισμού τους. Μπορούν να προσκολληθούν σε μεμβράνες ή να σχεδιαστούν για να προσκολλώνται σε μια συγκεκριμένη ουσία (όπως στον βιοαισθητήρα). Η κίνηση της μεμβράνης ή η αυξημένη συσσώρευση της συνδετικής ουσίας θα επηρεάσει τη συχνότητα συντονισμού και μπορεί να παρακολουθηθεί με τη χρήση εμφυτευμένων πιεζοαντιστάσεων.

Μερικοί τύποι μηχανικών αισθητήρων περιλαμβάνουν:

Μετρητής τάσης

Ένας μετρητής τάσης είναι ένας αγωγός ή ημιαγωγός που κατασκευάζεται ή συνδέεται απευθείας στην επιφάνεια που πρόκειται να μετρηθεί.

Επιταχυνσιόμετρο

Τα επιταχυνσιόμετρα ανιχνεύουν την επιτάχυνση χρησιμοποιώντας μια αιωρούμενη αδιάβροχη μάζα στην οποία μπορεί να δράσει η εξωτερική επιτάχυνση. Κατά την επιτάχυνση (ή την επιβράδυνση), μια δύναμη ($F=ma$) δημιουργείται στη μάζα απόδειξης με αποτέλεσμα τη μετατόπιση. Η δύναμη ή η μετατόπιση συνήθως μετρείται με πιεζοαντιστικές και χωρητικές μεθόδους.

Γυροσκόπιο

Το γυροσκόπιο είναι μια συσκευή που μετρά τον ρυθμό περιστροφής και ανιχνεύει την αδράνεια γωνιακή κίνηση.

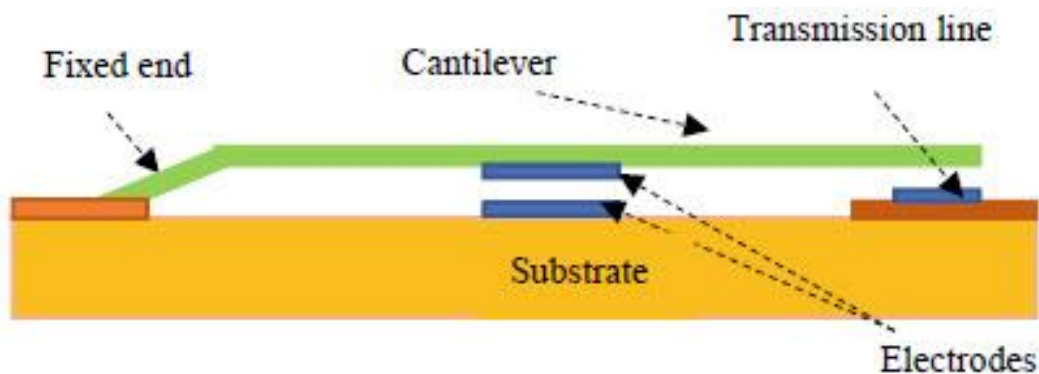
Αισθητήρας πίεσης

Οι αισθητήρες πίεσης MEMS βασίζονται συνήθως γύρω από λεπτές μεμβράνες με σφραγισμένες κοιλότητες αερίου ή γεμισμένες με κενό στη μία πλευρά της μεμβράνης και η πίεση που πρέπει να είναι μετρημένο από την άλλη πλευρά. Οι τεχνικές μέτρησης πιεζοαντίστασης και χωρητικής παραμόρφωσης μεμβράνης χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε εμπορικούς αισθητήρες πίεσης.

2.4 Μικροηλεκτρομηχανικοί MEMS RF switch

Η εκθετική ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών αύξησε την ανάγκη για πιο εξελιγμένο σχεδιασμό συστήματος, για να επιτευχθεί υψηλότερη ενοποίηση και εξοικονόμηση ενέργειας. Καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη σχεδίων υψηλής συχνότητας - χαμηλής κλίμακας για να ακολουθηθούν οι τάσεις της αγοράς για μικρότερες, τεχνολογικά πιο προηγμένες εφαρμογές. Οι τεχνολογικές πρόοδοι στα άκρα ραδιοσυχνοτήτων (RF), όπως επαναδιαμορφώσιμες συστοιχίες κεραιών, απαιτούν σχεδιασμό συστήματος τελευταίας τεχνολογίας για να επιτρέπεται η λειτουργία σε γνωστικά ασύρματα δίκτυα. Γενικά, μια αναδιαμορφώσιμη κεραία θα πρέπει να μπορεί να μεταβάλλει τη συχνότητα λειτουργίας, την πόλωση, διαμόρφωση δέσμης, εύρος ζώνης σύνθετης αντίστασης και

μοτίβο ακτινοβολίας για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της εφαρμογής. Ωστόσο, το κόστος του συστήματος συχνά καθορίζεται όχι από την πραγματική κεραία, αλλά από τις περιβάλλουσες τεχνολογίες που παρέχουν δυνατότητα επαναδιαμόρφωσης και απαιτεί τη χρήση διαμόρφωσης μεταβλητής γεωμετρίας, η οποία θα πρέπει να ελέγχεται με ακρίβεια μέσω διακοπών υψηλής ποιότητας.



Εικόνα 2.3: MEMS RF switch

[<https://www.coventor.com/wp-content/uploads/2021/05/Figure-1-Cantilever-type-RF-MEMS-switch.jpg>]

Ο διακόπτης RF MEMS είναι ένα μικροσκοπικό ρελέ RF με ηλεκτροστατικό με ερμητική ενθυλάκωση για την εφαρμογή του σε συστήματα μικροκυμάτων και κυμάτων mm. Είναι ένα τσιπ πυριτίου (3 mm x 1,5 mm μέγεθος και 0,5 mm πάχος) με ένα ερμητικά κλειστό μέρος που περιέχει τα κινητά μέρη του ενεργοποιητή και τις επαφές. Χρησιμοποιείται ένας σχεδιασμός της περιοχής επαφής και των καλωδίων RF για την επίτευξη ενός εύρους συχνότητας των σημάτων RF μεταξύ DC και 50 GHz με απώλεια εισαγωγής μικρότερη από 0,6 dB έως 20 GHz και περίπου 1 dB έως 50 GHz. Δεδομένου ότι ο διακόπτης είναι ένα εξάρτημα MEMS με επαφές μετάλλου-μέταλλου, η συσκευή παρέχει πολύ υψηλή γραμμικότητα. Σε σύγκριση με τους διακόπτες ραδιοσυχνοτήτων στην αγορά, αυτός ο τύπος εξαρτήματος χρειάζεται χαμηλότερη τάση ενεργοποίησης (5 Volt χωρίς να απαιτείται μετατροπέας ανύψωσης) και εξαιρετικά χαμηλό ρεύμα ενεργοποίησης (< 10 μ A). Τα ηλεκτρόδια ενεργοποίησης και η διαδρομή σήματος RF είναι ξεχωριστά μεταξύ τους, γεγονός που εισάγει χαμηλότερο θόρυβο από τα ηλεκτρονικά ψηφιακού ελέγχου σε σύγκριση με πολλούς άλλους διακόπτες RF MEMS.

Τα πεδία εφαρμογών τους κυμαίνονται από αυτοματοποιημένο εξοπλισμό δοκιμών πάνω από το σύστημα διεύθυνσης δέσμης κεραίας και τις ευέλικτες κεραίες (έλεγχος του σχεδίου της κεραίας με μετατόπιση φάσης των σημάτων γραμμής τροφοδοσίας) έως την αναδιαμόρφωση του μπροστινού τερματικά κυκλώματα ραδιοφωνικών συστημάτων (διακόπτες κεραίας, αναδιαμόρφωση φίλτρων).

Κεφάλαιο 3ο: Εισαγωγή στους αλγόριθμους βελτιστοποίησης

3.1 Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης

Η βελτιστοποίηση είναι η διαδικασία εύρεσης του καλύτερου αποτελέσματος για κάθε δεδομένο πρόβλημα. Από την πρόβλεψη του χρηματιστηρίου μέχρι την εύρεση του καλύτερου μονοπατιού για ένα drone, από τη μηχανική κινούμενων σχεδίων έως την αποτελεσματική λειτουργία ρομπότ σειράς, είναι πολύ σημαντικό για μηχανικούς, επιστήμονες, οικονομολόγους και ερευνητές. Σε αυτή τη διαδικασία, επεξεργάζονται πολλές λύσεις για τους δεδομένους περιορισμούς και περιορίζονται οι λύσεις που ταιριάζουν καλύτερα στο πρόβλημα. Δεδομένου ότι πρόκειται για μια ευρετική διαδικασία, η ακρίβεια καθορίζεται με βάση τον αριθμό των επαναλήψεων, επομένως ένας υπολογιστής είναι ένα τέλειο εργαλείο για την εκτέλεση βελτιστοποίησης.

Η λύση ενός τυπικού προβλήματος βελτιστοποίησης καθορίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες: περιορισμούς σχεδιασμού, μεταβλητές και αντικειμενικές συναρτήσεις. Εάν το πρόβλημα είναι πείραμα, τότε οι μεταβλητές σχεδιασμού είναι φυσικές εισροές. Οι περιορισμοί σχεδιασμού παρέχουν οριακές συνθήκες για να λειτουργήσουν οι μεταβλητές εντός. Οι αντικειμενικές συναρτήσεις καθορίζονται με βάση την εφαρμογή για την οποία βελτιστοποιείται το πρόβλημα. Η ταχύτητα και η ακρίβεια με την οποία βρίσκεται μια λύση υπαγορεύονται από τον αλγόριθμο που εφαρμόζεται.

Δεδομένου ότι στις εφαρμογές μηχανικής, συνήθως αναζητούμε τις ελάχιστες τιμές όπως η ελάχιστη τάση, το βάρος και το κόστος, το αποτέλεσμα από τη διαδικασία ή τη λειτουργία ορίζεται ως η συνάρτηση κόστους και είναι κάτι που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Για να μεγιστοποιήσετε μια συνάρτηση, χρησιμοποιείται απλώς ένα αρνητικό πρόσημο μπροστά από την έξοδο και ελαχιστοποίηση της.

3.1.1 Τύποι Αλγορίθμων Βελτιστοποίησης

Βασιζόμενος στη Συνέχεια

1. Συνεχής Βελτιστοποίηση
2. Διακεκριμένη Βελτιστοποίηση

Ορισμένοι αλγόριθμοι λειτουργούν αποτελεσματικά μόνο όταν οι μεταβλητές προέρχονται από ένα διακριτό σύνολο, συνήθως ακέραιοι, ενώ άλλοι αλγόριθμοι μπορούν να λειτουργήσουν με

οποιοσδήποτε μεταβλητές: όλες τις πραγματικές τιμές. Το πλεονέκτημα της χρήσης συνεχούς βελτιστοποίησης είναι ότι οι καμπύλες που λαμβάνονται από τη συνάρτηση ελαχιστοποίησης είναι ομαλές και οι τιμές γειτονιάς για κάθε δεδομένη αντικειμενική συνάρτηση και συνάρτηση περιορισμού μπορούν εύκολα να βρεθούν. Αν και ασυνεχής, η διακριτή βελτιστοποίηση δημιουργεί επίσης μια ακολουθία συνεχών υποπροβλημάτων.

Βασιζόμενος στους Περιορισμούς

1. Μη περιορισμένη βελτιστοποίηση
2. Περιορισμένη βελτιστοποίηση

Σχεδόν όλες οι πρακτικές εφαρμογές υπόκεινται σε μη περιορισμένη βελτιστοποίηση και επειδή δεν μπορούν να καθοριστούν όλοι οι περιορισμοί, οι περιορισμοί αντικαθίστανται από έναν όρο ποινής στη συνάρτηση αντικειμενικού. Η Περιορισμένη Βελτιστοποίηση έχει σαφώς καθορισμένους περιορισμούς είτε από ισότητες είτε από ανισότητες.

Βασιζόμενος στο πλήθος αντικειμενικών συναρτήσεων

1. Single-Objective
2. Multi-Objective

Γενικά, τα προβλήματα βελτιστοποίησης έχουν μόνο μία μόνο αντικειμενική συνάρτηση. Η μηχανική, τα οικονομικά και τα logistics είναι μερικοί από τους πολλούς τομείς όπου υπάρχουν δύο ή περισσότεροι στόχοι. Για παράδειγμα, στα logistics, οι στόχοι μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου και η μεγιστοποίηση της ασφάλειας. Ωστόσο, οι συναρτήσεις πολλαπλών αντικειμένων μετατρέπονται σε συναρτήσεις ενός αντικειμένου αλλάζοντας τους περιορισμούς που εμπλέκονται.

Με βάση την ακρίβεια δεδομένων

1. ντετερμινιστική βελτιστοποίηση
2. στοχαστική βελτιστοποίηση

Η ντετερμινιστική βελτιστοποίηση χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα εισόδου για μια δεδομένη ερώτηση ορίζονται με ακρίβεια, κάτι που σπάνια συμβαίνει σε πραγματικά προβλήματα για λόγους όπως το σφάλμα μέτρησης και οι εσφαλμένοι υπολογισμοί στην πρόβλεψη δεδομένων για τα προβλήματα. Η στοχαστική βελτιστοποίηση, ωστόσο, εξηγεί αυτές τις αβεβαιότητες στο πρόβλημα.

3.1.2 Ευριστικοί Αλγόριθμοι

Μελέτες βελτιστοποίησης εφάρμοσαν εξελιγμένες μαθηματικές μεθόδους για την εύρεση ακριβών λύσεων για προβλήματα βελτιστοποίησης. Αλλά αυτές οι ακριβείς λύσεις είχαν μόνο περιορισμένο εύρος εφαρμογών. Αυτό είναι όταν ο ευρετικός αλγόριθμος κέρδισε εξέχουσα θέση λόγω του απλού μαθηματικού τους υπόβαθρου με βασικές διατυπώσεις. Το κύριο πλεονέκτημα των αλγορίθμων ευρετικής βελτιστοποίησης είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά τόσο σε περιορισμένα όσο και σε προβλήματα χωρίς περιορισμούς. Όταν οι περιορισμοί δεν βρίσκονται στην εφικτή περιοχή, προκειμένου να ληφθούν ελαχιστοποιημένες λύσεις που ικανοποιούν τους περιορισμούς, προστίθεται μια συνάρτηση ποινής στην αντικειμενική συνάρτηση. Η συνάρτηση που σχηματίζεται από το συνδυασμό αυτών των δύο συναρτήσεων ονομάζεται συνάρτηση καταλληλότητας. Όταν οι περιορισμοί βρίσκονται στην εφικτή περιοχή, η συνάρτηση ποινής μηδενίζεται.

3.1.3 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Ο γενετικός αλγόριθμος (GA) είναι ένας ευρετικός αλγόριθμος εμπνευσμένος από τη φύση που χρησιμοποιείται στην τεχνητή νοημοσύνη και στους υπολογιστές που εισήχθη από τον John Holland το 1960. Μιμείται τη θεωρία του Δαρβίνου για τη φυσική επιλογή και την εξελικτική βιολογία για την εύρεση βελτιστοποιημένων λύσεων. Αυτός ο αλγόριθμος δημιουργεί μια ομάδα μεμονωμένων λύσεων από έναν δεδομένο πληθυσμό και αυτές αξιολογούνται με τους περιορισμούς αξιολόγησης για την εξάλειψη των ανεπιθύμητων λύσεων. Οι λύσεις αναπτύσσονται περαιτέρω από τα υπόλοιπα άτομα που ακολουθούν την επιβίωση της πιο κατάλληλης αρχής της φυσικής εξέλιξης.

Ο GA είναι ένας από τους πιο αγαπητούς αλγόριθμους λόγω της ικανότητάς του να επιλύει ικανοποιητικά μεγάλο εύρος προβλημάτων και έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλούς κλάδους όπως τα οικονομικά, η επιστήμη των υλικών, η βελτιστοποίηση αντίστροφης κινηματικής, η πληροφορική, η τεχνητή νοημοσύνη, η ηλεκτρονική και η δικτύωση. Είναι ένα διακριτό σύστημα που είναι επίσης κατάλληλο για συνδυαστικά προβλήματα.

3.1.4 Particle Swarm Optimization

Το Particle Swarm Optimization (PSO) είναι μια ευρετική μέθοδος βελτίωσης βασισμένη σε σμήνος πληθυσμού που δημιουργήθηκε από τον Δρ. Eberhart και τον Dr. Kennedy το 1995. Πήγασε από τις αντιλήψεις τους για την κοινωνική συμπεριφορά μερικών πλασμάτων, για παράδειγμα, τρέξιμο πουλερικών. Υποδύεται την κοινωνική συμπεριφορά μιας συγκέντρωσης όπου τα άτομα από το σμήνος πετούν μέσα από έναν τομέα για να κυνηγήσουν τα καλύτερα άτομα από το σμήνος λόγω της προκατάληψης προς τα καλύτερα άτομα από τη γη. Σε αυτόν τον αλγόριθμο, οι εκτιμήσεις των παραγόντων συγκέντρωσης εξισορροπούνται προς την εκτίμηση που είναι πλησιέστερη στον στόχο σε κάποιο τυχαίο λεπτό. Αυτό το σχέδιο στερέωσης προχωρά μέχρι το σημείο όπου επιτυγχάνεται η επιθυμητή διάταξη. Το PSO έχει ευνοϊκή θέση έναντι της GA καθώς δεν έχει διαχειριστές ανάπτυξης. Σε κάθε περίπτωση, το PSO είναι μια επίμονη διαδικασία που δεν είναι επαρκώς κατάλληλη για συνδυαστικά ζητήματα. Αυτός ο αλγόριθμος αρχικοποιεί στοχαστικές θέσεις και θέσεις σε κάθε σωματίδιο του και η διάσταση αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σωματιδίων. Όλα τα σωματίδια ξεκινούν με τυχαίες τοπικές και παγκόσμιες καλύτερες τιμές. Κάθε αριθμός κινείται κατά μήκος των παγκόσμιων και τοπικών βέλτιστων τιμών ανάλογα με την τυχαία ζυγισμένη ποσότητα από το σύστημα παραμέτρων. Η τοπική βέλτιστη τιμή είναι η καλύτερη τιμή που έχει βρει ένα σωματίδιο κατά τη διάρκεια αυτής της επανάληψης και η συνολική καλύτερη τιμή είναι η καλύτερη τιμή όλων των τοπικών βέλτιστων τιμών που βρέθηκαν σε αυτήν την επανάληψη. Μετά από κάθε επανάληψη, οι παγκόσμιες και οι τοπικές καλύτερες τιμές ενημερώνονται. Κάθε επόμενη επανάληψη πραγματοποιείται μαζί με τις νέες ενημερωμένες τοπικές και παγκόσμιες καλύτερες τιμές. Μετά από πολλές επαναλήψεις, όλα τα σωματίδια συγκλίνουν στην παγκόσμια καλύτερη τιμή.

Κεφάλαιο 4ο: Βελτιστοποίηση με τη μέθοδο Taguchi

4.1 Εισαγωγή στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης Taguchi

Κάθε ερευνητής πρέπει να σχεδιάζει και να διεξάγει πειράματα για να αποκτήσει αρκετά και σχετικά δεδομένα ώστε να μπορεί να συμπεράνει την επιστήμη πίσω από το παρατηρούμενο φαινόμενο. Μπορεί να το κάνει με:

Προσέγγιση δοκιμής και λάθους (try and error):

εκτελώντας μια σειρά από πειράματα καθένα από τα οποία δίνει κάποια κατανόηση. Αυτό απαιτεί τη διενέργεια μετρήσεων μετά από κάθε πείραμα, έτσι ώστε η ανάλυση των παρατηρούμενων δεδομένων να του επιτρέπει να αποφασίσει τι θα κάνει στη συνέχεια δηλαδή ποιες παράμετροι πρέπει να ποικίλλουν και κατά πόσο. Πολλές φορές τέτοιες σειρές δεν προχωρούν πολύ καθώς τα αρνητικά αποτελέσματα μπορεί να αποθαρρύνουν ή να μην επιτρέψουν μια επιλογή παραμέτρων που θα πρέπει να αλλάξουν στο επόμενο πείραμα. Επομένως, τέτοιοι πειραματισμοί συνήθως τελειώνουν πολύ πριν ο αριθμός των πειραμάτων φτάσει σε διψήφιο αριθμό. Τα δεδομένα είναι ανεπαρκή για την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων.

Καλή Σχεδίαση Πειραμάτων

Ένα καλά σχεδιασμένο σύνολο πειραμάτων, στο οποίο όλες οι παράμετροι ενδιαφέροντος ποικίλλουν σε ένα καθορισμένο εύρος, είναι μια πολύ καλύτερη προσέγγιση για τη λήψη συστηματικών δεδομένων. Από μαθηματική άποψη, ένα τέτοιο πλήρες σύνολο πειραμάτων θα έπρεπε να δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Συνήθως ο αριθμός των πειραμάτων και των πόρων (υλικά και χρόνος) που απαιτούνται είναι απαγορευτικά μεγάλος. Συχνά ο ερευνητής αποφασίζει να εκτελέσει ένα υποσύνολο του πλήρους συνόλου των πειραμάτων για να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα. Ωστόσο, δεν προσφέρεται εύκολα για την κατανόηση της επιστήμης πίσω από το φαινόμενο. Η ανάλυση δεν είναι πολύ εύκολη και έτσι οι επιπτώσεις διαφόρων παραμέτρων στα παρατηρούμενα δεδομένα δεν είναι άμεσα εμφανείς. Σε πολλές περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε εκείνες στις οποίες απαιτείται κάποια βελτιστοποίηση, η μέθοδος δεν υποδεικνύει τις καλύτερες ρυθμίσεις των παραμέτρων.

Χρήση Αλγορίθμων Βελτιστοποίησης

Ο Δρ Taguchi έχει αναπτύξει μια μέθοδος που βασίζεται σε πειράματα Ορθογωνικής αναπαράστασης τα οποία δίνουν πολύ μειωμένη διακύμανση για το πείραμα με βέλτιστες ρυθμίσεις παραμέτρων ελέγχου. Έτσι ο συνδυασμός σχεδιασμού πειραμάτων με βελτιστοποίηση παραμέτρων ελέγχου για την απόκτηση καλύτερων αποτελεσμάτων επιτυγχάνονται με τη μέθοδο Taguchi. Οι Ορθογώνιοι Πίνακες (OA) παρέχουν ένα σύνολο καλά ισορροπημένων (ελάχιστων) πειραμάτων και των αναλογιών σήματος προς θόρυβο (S/N) οι οποίες είναι συναρτήσεις καταγραφής της επιθυμητής εξόδου και χρησιμεύουν ως αντικειμενικές συναρτήσεις για βελτιστοποίηση που βοηθούν στην ανάλυση δεδομένων και στην πρόβλεψη των βέλτιστων αποτελεσμάτων.

Αρχικά γίνεται επιλογή του κατάλληλου ορθογώνιου πίνακα για τη συνάρτηση που εμείς θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε. Η επιλογή του ορθογώνιου πίνακα εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως ο αριθμός των πειραμάτων που θα υποδεικνύεται με N , ο αριθμός των παραγόντων που επηρεάζουν το πείραμα (k), τον αριθμό των επιπέδων για τους παράγοντες. Συνήθως, επιλέγουμε $s=3$ για να χαρακτηρίσουμε το μη γραμμικό φαινόμενο που είναι αποτελεσματικό για τα περισσότερα προβλήματα.

Κεφάλαιο 5ο: Αποτελέσματα

5.1 Αξιολόγηση της μεθόδου Taguchi για διάφορες γνωστές συναρτήσεις

Χρησιμοποιώντας την Matlab εφαρμόσαμε ειδικά διαμορφωμένες συναρτήσεις με διαφορετικά τοπικά ελάχιστα για να διαπιστώσουμε αν η μέθοδος βελτιστοποίησης Taguchi βρίσκει το ολικό μέγιστο με επιτυχία και με τι ακρίβεια.

5.1.1 Με ένα ελάχιστο

Για τη συνάρτηση

$$f(x, y) = (7e2 ./ ((x.*2.0+2e1).^2 + (y.*2.0+4.0).^2 + 3e1));$$

Που παρουσιάζει ένα ελάχιστο

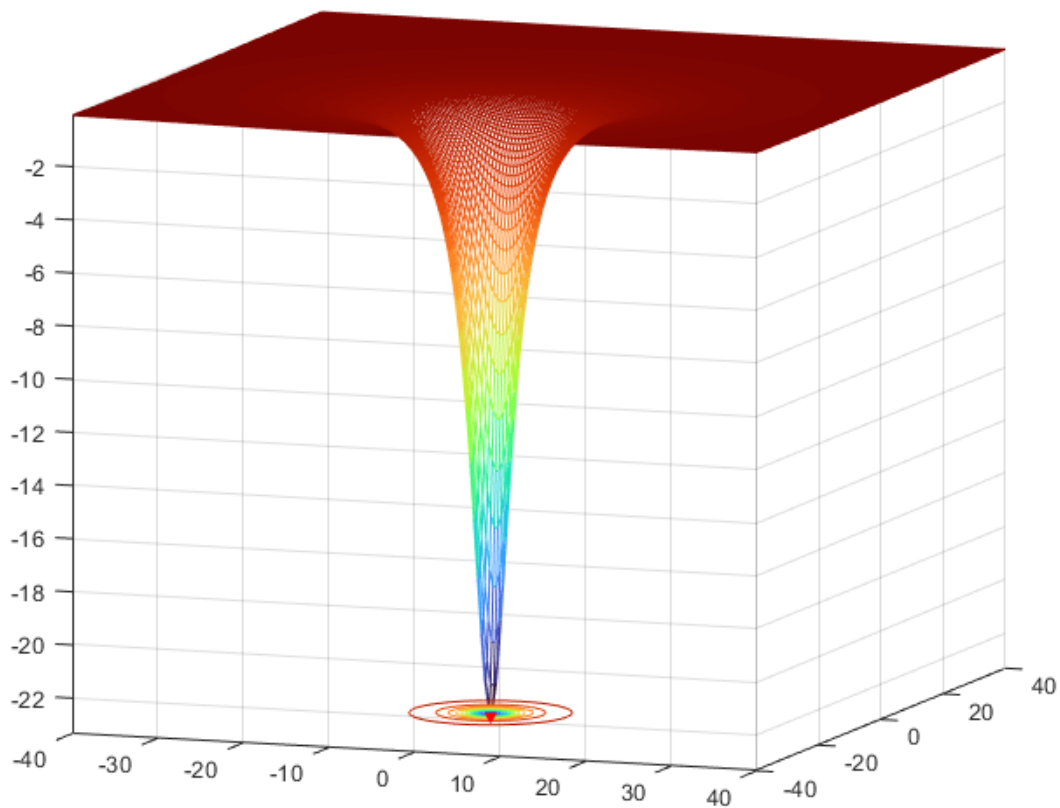
Στην περιοχή:

X	-40	40
Y	-40	40

Με αναζήτηση και ακρίβεια 0.001 βρέθηκε ελάχιστο στο

$$f(-10,-2) = -23.333$$

μετά από 6.400.000.000 φορές εκτέλεσης



Εικόνα 5.1: Συνάρτηση με ένα ελάχιστο - Γράφημα

Με Taguchi παρουσιάζει

$$f(-9.999, -1.999) = -23.333$$

σε χρόνο 0.007244s

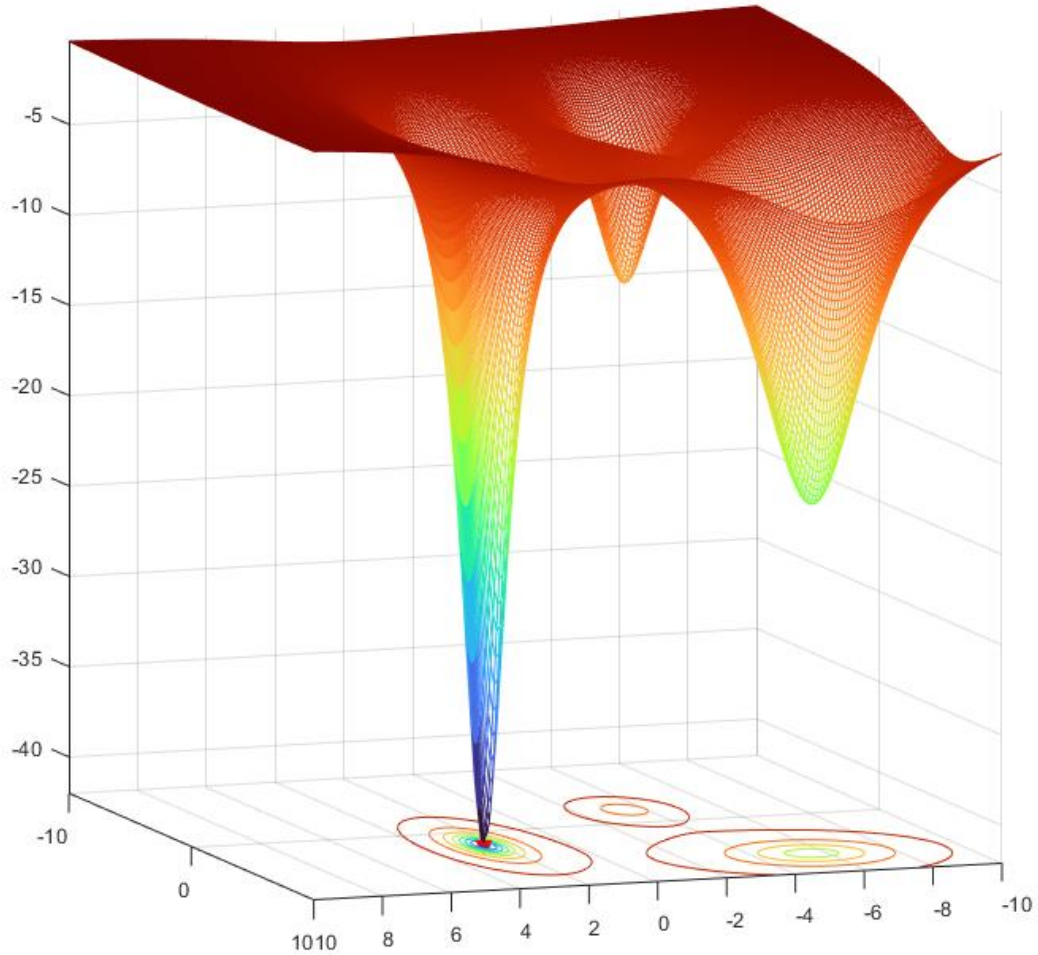
και χρειάστηκε να τρέξει η συνάρτηση 370 φορές.

5.1.2 Με τρία ελάχιστα

Για τη συνάρτηση

$$\begin{aligned} \text{func} = & @(x, y) \dots \\ & -(3e2 ./ ((x.*5.0+1.7e1).^2+(y.*3.0+7.0).^2+2.6e1)) \dots \\ & +1.1e3 ./ ((x.*9.0-2.1e1).^2+(y.*3.0-7.0).^2+2.7e1) \dots \\ &)+(-8e2 ./ ((x.*3.0+1.7e1).^2+(y.*3.0-2e1).^2+3.6e1)); \end{aligned}$$

που παρουσιάζει τρία ελάχιστα



Εικόνα 5.2: Συνάρτηση με τρία ελάχιστα - Γράφημα

Στην περιοχή:

X	-10	10
Y	-10	10

Με αναζήτηση και ακρίβεια 0.001 βρέθηκε ελάχιστο στο

$$f(2.3322, 2.3362) = -42.0527$$

μετά από 6.400.000.000 φορές εκτέλεσης

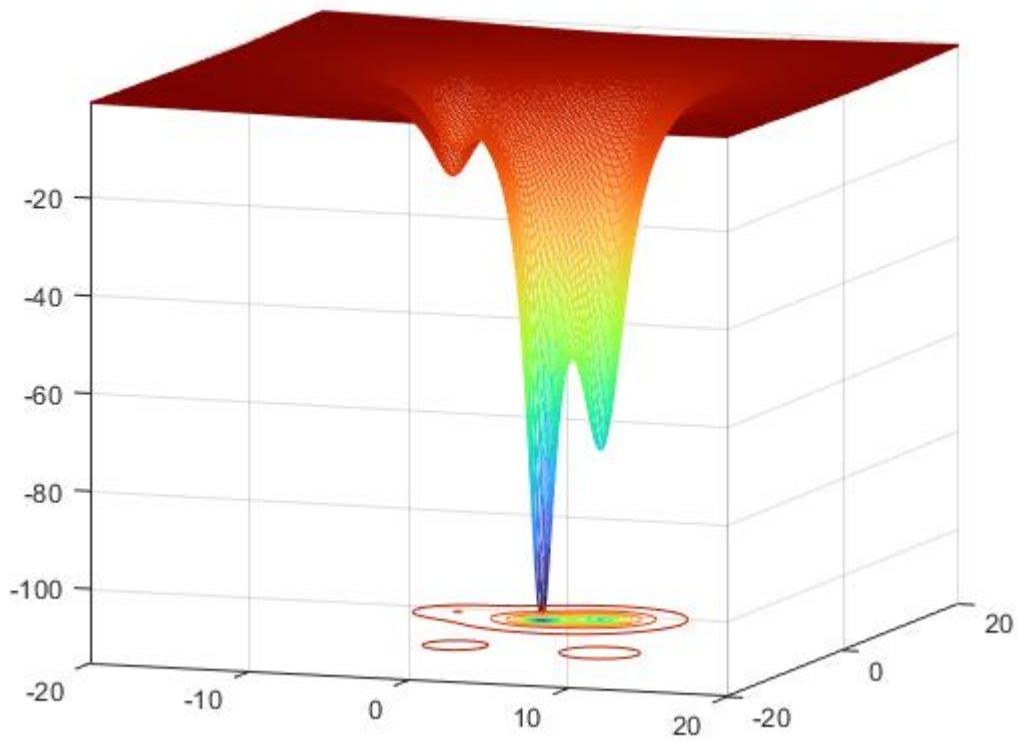
Με Taguchi παρουσιάζει

$$f(2.3322, 2.3362) = -42.0527$$

σε χρόνο 0.007997s

και χρειάστηκε να τρέξει η συνάρτηση 370 φορές.

5.1.3 Με πέντε ελάχιστα



Εικόνα 5.3: Συνάρτηση με πέντε ελάχιστα - Γράφημα

Στην περιοχή:

X	-10	10
Y	-10	10

Με αναζήτηση και ακρίβεια 0.001 βρέθηκε ελάχιστο στο

$$f(2.5, 2.5) = -116.151$$

μετά από 400.000.000 φορές εκτέλεσης

Με Taguchi παρουσιάζει

$f(2.5, 2.5) = -116.151$

σε χρόνο 0.009968s

και χρειάστηκε να τρέξει η συνάρτηση 370 φορές.

5.2 Εφαρμογή της μεθόδου Taguchi στο RF-MEM

Οι παράμετροι που εισήχθησαν στο πρόγραμμα COMSOL προγραμματιστικά σε κάθε εκτέλεση της συνάρτησης κόστους είναι:

Πλάτος

Μήκος

Τάση

Η έξοδος και ο τελικός στόχος ήταν να

έχει το μικρότερο χρόνο μετάβασης με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα.

Αυτή η παράμετρος εξάχθηκε από το πρόγραμμα και είναι η επιστροφή της συνάρτησης κόστους.

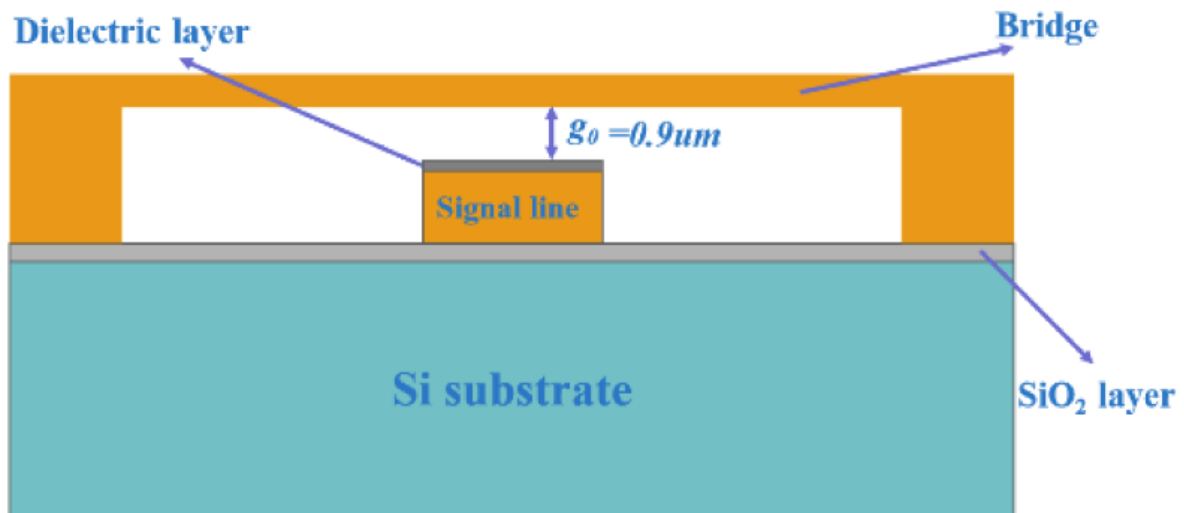
5.2.1 Αποτελέσματα με διάφορες τιμές στις παραμέτρους εισόδου

Η απλοποιημένη χωρητική δομή διακόπτη RF MEMS φαίνεται στο Σχήμα XX. Η χωρητική δέσμη διακόπτη RF MEMS διακλάδωσης είναι αναρτημένη πάνω από τη γραμμή σήματος στο g0 και συνδέεται στην αριστερή και δεξιά πλευρά της γραμμής γείωσης μέσω σημείων αγκύρωσης. Όταν δεν εφαρμόζεται τάση οδήγησης στον διακόπτη, η χωρητικότητα μεταξύ της γέφυρας και της γραμμής σήματος είναι μικρή, η οποία μπορεί να περιγραφεί όπως σημειώνεται στην Εξίσωση (1). Το σήμα

μικροκυμάτων δύσκολα μπορεί να συνδεθεί με τη γείωση μέσω τέτοιας χωρητικότητας και έτσι διαδίδεται φυσικά στον κυματοδηγό και ο διακόπτης είναι ενεργοποιημένος.

$$C_{up} = \frac{\epsilon_0 A}{g_0 + t_d/\epsilon_r} \quad (\text{Εξ. 1})$$

όπου g_0 είναι η αρχική απόσταση του διακένου αέρα μεταξύ του άνω ηλεκτροδίου και του μονωτικού μέσου. A είναι η περιοχή του ηλεκτροδίου οδήγησης. t_d είναι το πάχος του μονωτικού μέσου φιλμ. ϵ_0 είναι η διηλεκτρική σταθερά του αέρα. και ϵ_r είναι η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού μεμβράνης μονωτικού μέσου.



Εικόνα 5.4: Ένα απλό capacitive RF MEMS switch

[<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/22/8864>]

Ένα παράδειγμα της λειτουργία φαίνεται στην Εικόνα 5.4.

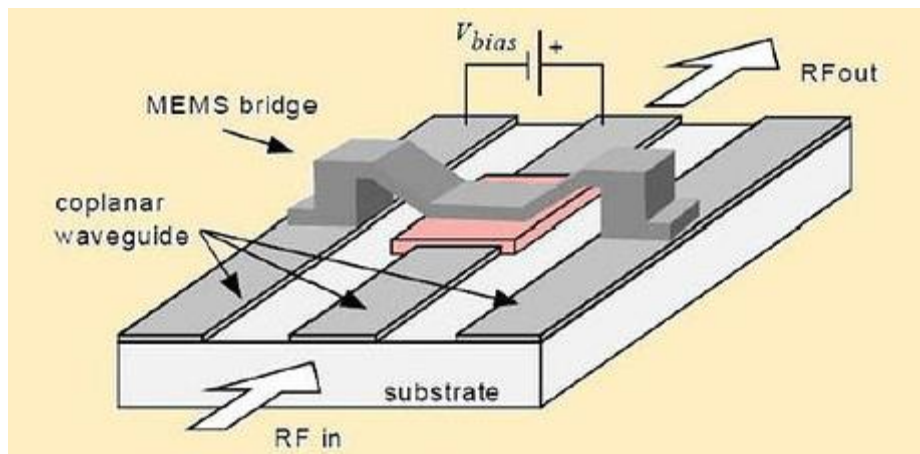
Όταν εφαρμόζεται μια τάση οδήγησης μεταξύ της δέσμης και του κάτω ηλεκτροδίου, η γέφυρα έλκεται προς τα κάτω από την ηλεκτροστατική δύναμη. Η χωρητικότητα μεταξύ της γέφυρας και της γραμμής σήματος αυξάνεται σημαντικά. Όταν η εφαρμοζόμενη κινητήρια τάση είναι μεγαλύτερη από μια ορισμένη κρίσιμη οριακή τάση, η ηλεκτροστατική δύναμη υπερνικά το όριο μηχανικής καταπόνησης της δέσμης, προκαλώντας την ταχεία κατάρρευση της γέφυρας σε επαφή με το διηλεκτρικό στρώμα. Εδώ, το σήμα μικροκυμάτων συνδέεται με τη γείωση μέσω μιας τέτοιας χωρητικότητας, η οποία μπορεί να περιγραφεί όπως σημειώνεται στην Εξίσωση (2). Το σήμα δεν μπορεί να μεταδοθεί εδώ και ο διακόπτης είναι απενεργοποιημένος, οπότε η κρίσιμη τάση αναφέρεται ως τάση έλξης (V_p). Ορίζουμε τον χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει το πάνω ηλεκτρόδιο στο διηλεκτρικό από την επάνω θέση του

ως χρόνος έλξης και την ταχύτητα με την οποία το πάνω ηλεκτρόδιο προσγειώνεται στο διηλεκτρικό ως ταχύτητα κρούσης.

$$C_{down} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{t_d}$$

(Εξ. 2)

Ένα παράδειγμα του χωρητικού RF-MEMS με εφαρμογή παρουσιάζει στην Εικόνα 5.5.

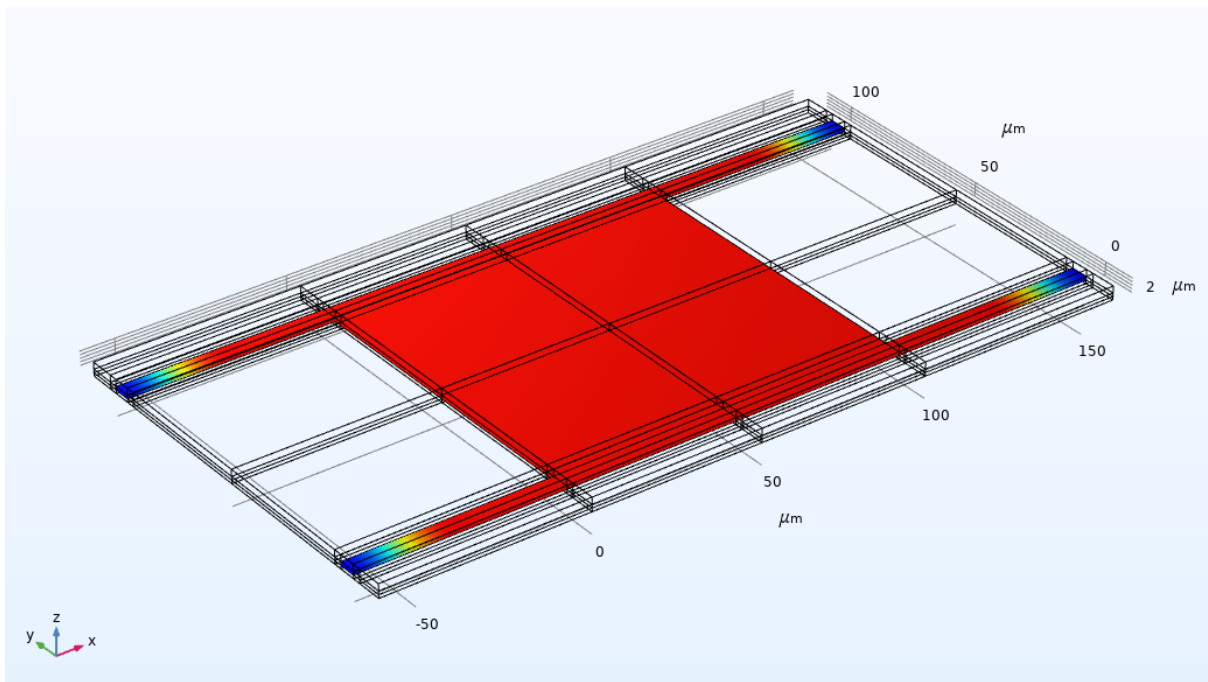


Εικόνα 5.5: Χωρητικό RF-MEMS με εφαρμογή

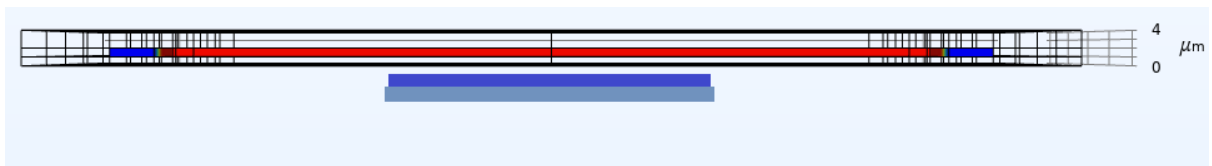
[<https://forumautomation.com/t/mems-rf-switch-working-types-and-advantages/5176>]

Σε αυτή την περίπτωση, το σήμα RF βραχυκυκλώνεται στη γείωση από έναν μεταβλητό πυκνωτή. Συγκεκριμένα, για τους χωρητικούς διακόπτες διακλάδωσης RF MEMS, μια γειωμένη δέσμη αναρτάται πάνω από ένα διηλεκτρικό μαξιλάρι στη γραμμή μεταφοράς.

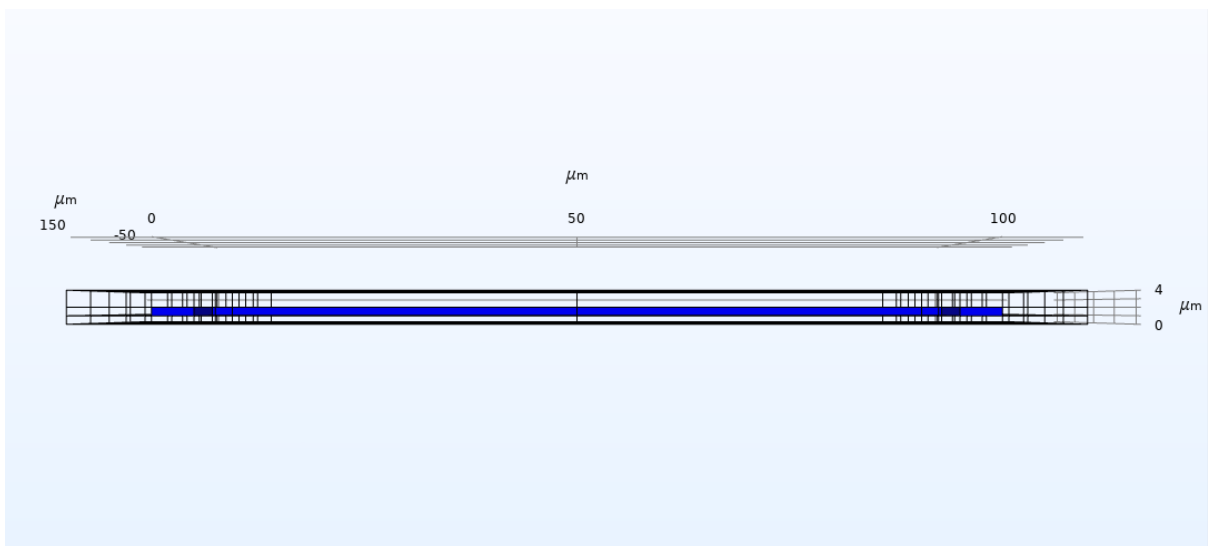
Υπάρχει ένα λεπτό στρώμα διηλεκτρικού που χωρίζει δύο αγώγιμα ηλεκτρόδια. Δεν υπάρχει άμεση επαφή μετάλλου με μέταλλο. Ο χωρητικός διακόπτης χρησιμοποιείται κυρίως σε μια διαμόρφωση διακόπτη διακλάδωσης όπου το σήμα RF βραχυκυκλώνεται στη γείωση από έναν μεταβλητό πυκνωτή.



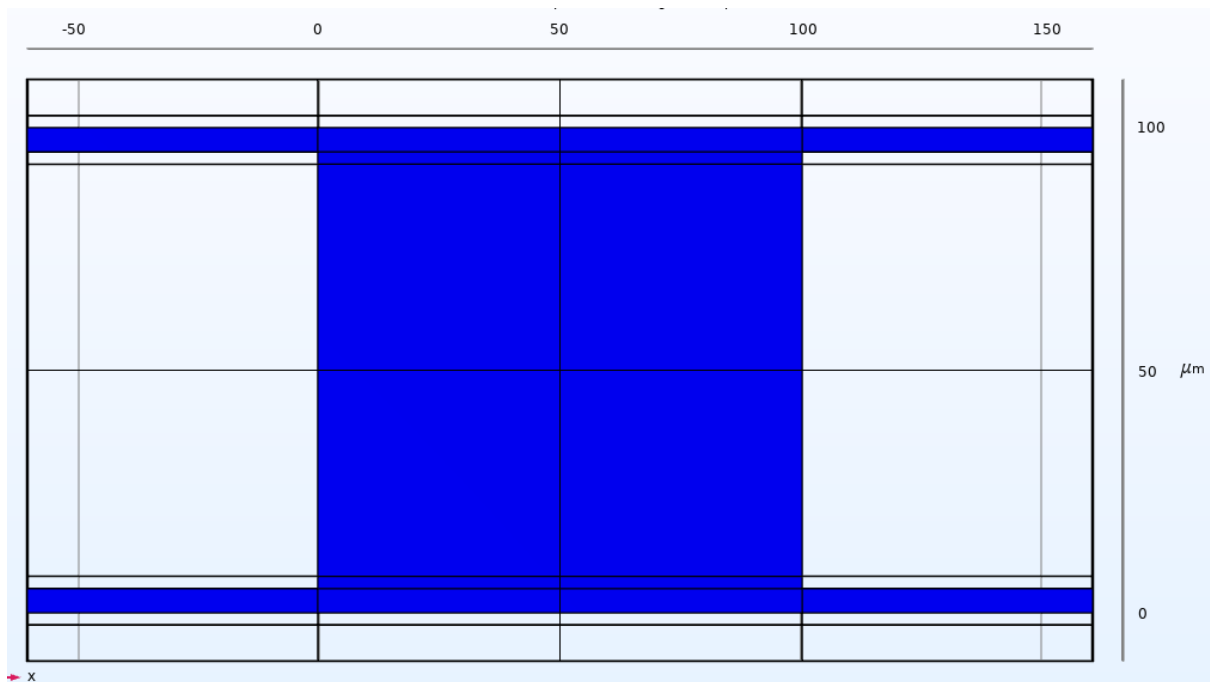
Εικόνα 5.6: Το RF-MEMS που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης- 1



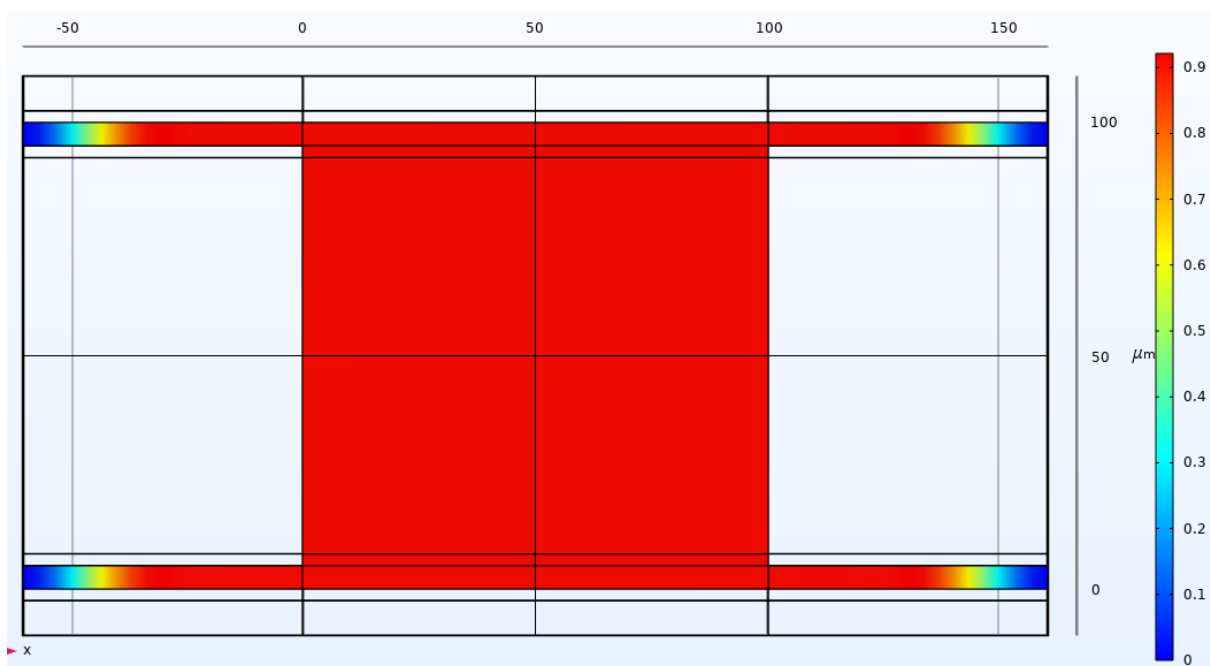
Εικόνα 5.7: Το RF-MEMS που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης- 2



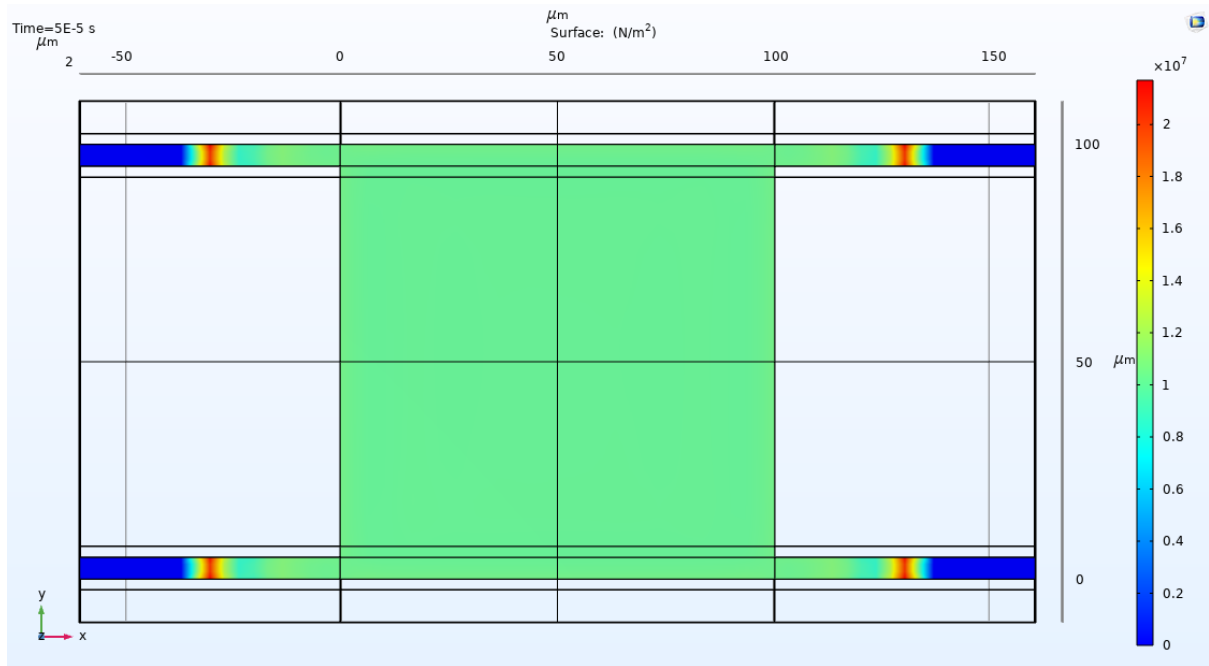
Εικόνα 5.8: Το RF-MEMS που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης- 3



Εικόνα 5.9: Το RF-MEMS σε κατάσταση μηδενικής μετατόπισης - OFF



Εικόνα 5.10: Το RF-MEMS σε κατάσταση μέγιστης μετατόπισης - ON



Εικόνα 5.11: Η πίεση που δέχεται το RF-MEM σε διάφορα σημεία του

Όρια:

	Min	Max
Μήκος Γέφυρας	20	200
Πλάτος Γέφυρας	20	200
Μήκος Κάτω Υλικού	20	200
Τάση Οδήγησης	0	5

Επιπλέον Προδιαγραφές:

Πλάτος Γέφυρας = Κάτω Υλικού

Σταθερές βάσεις

Σταθερή τάση οδήγησης στα 5s ίση με 5V.

Στόχοι:

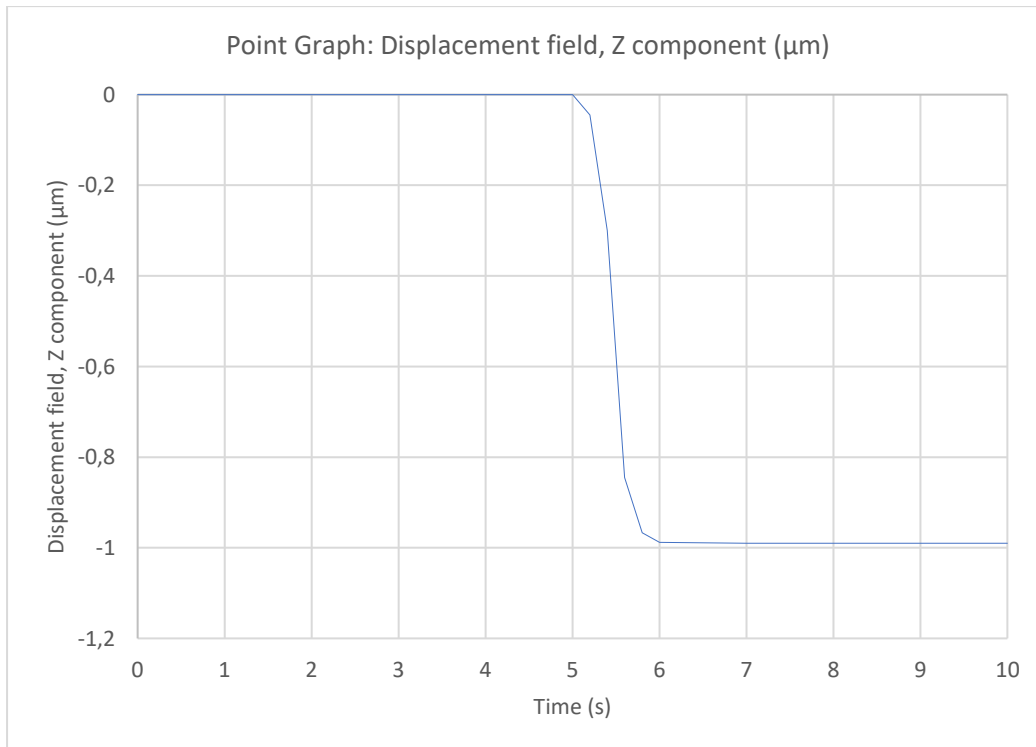
Γρήγορη μετάβαση όταν εφαρμόζεται η ίδια τάση οδήγησης.

Χωρητικότητα σε κατάσταση ON > 6pF

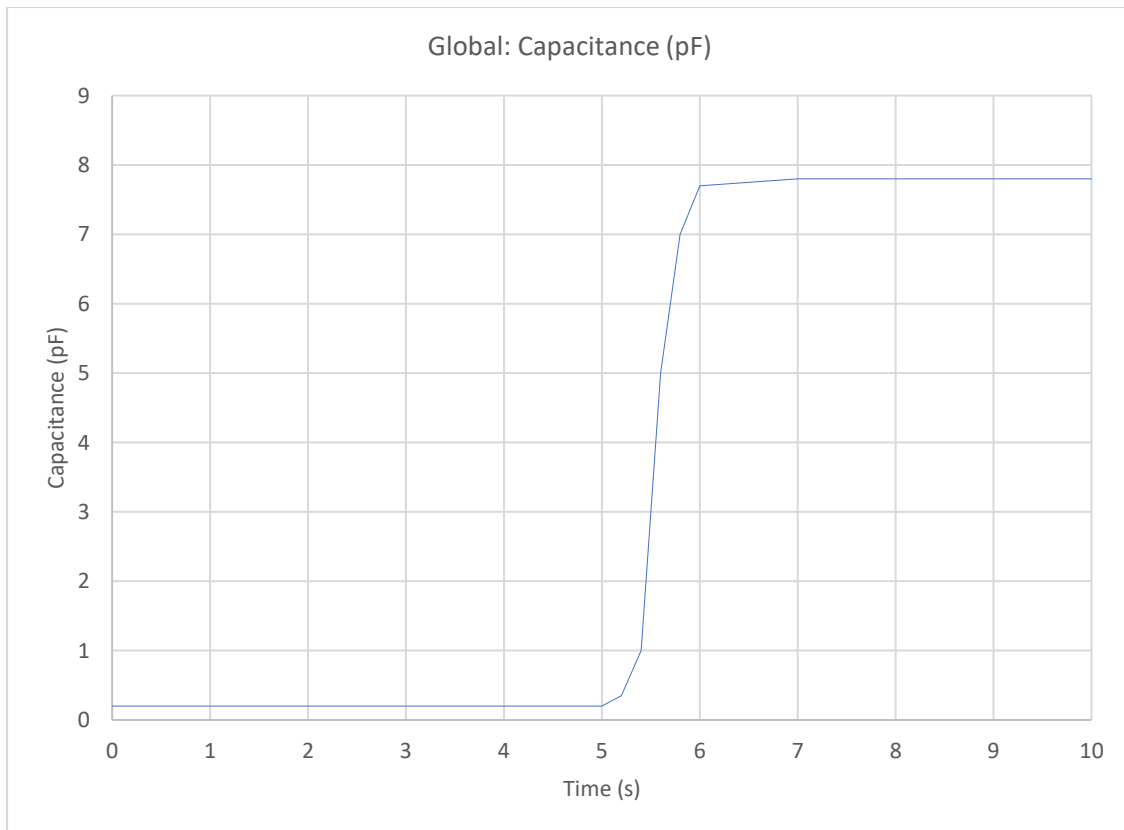
Δύναμη επαφής χωρίς να εμφανίζει διαταραχές(ταλαντώσεις κατά την επαφή)

5.2.1.1 Περίπτωση 1^η

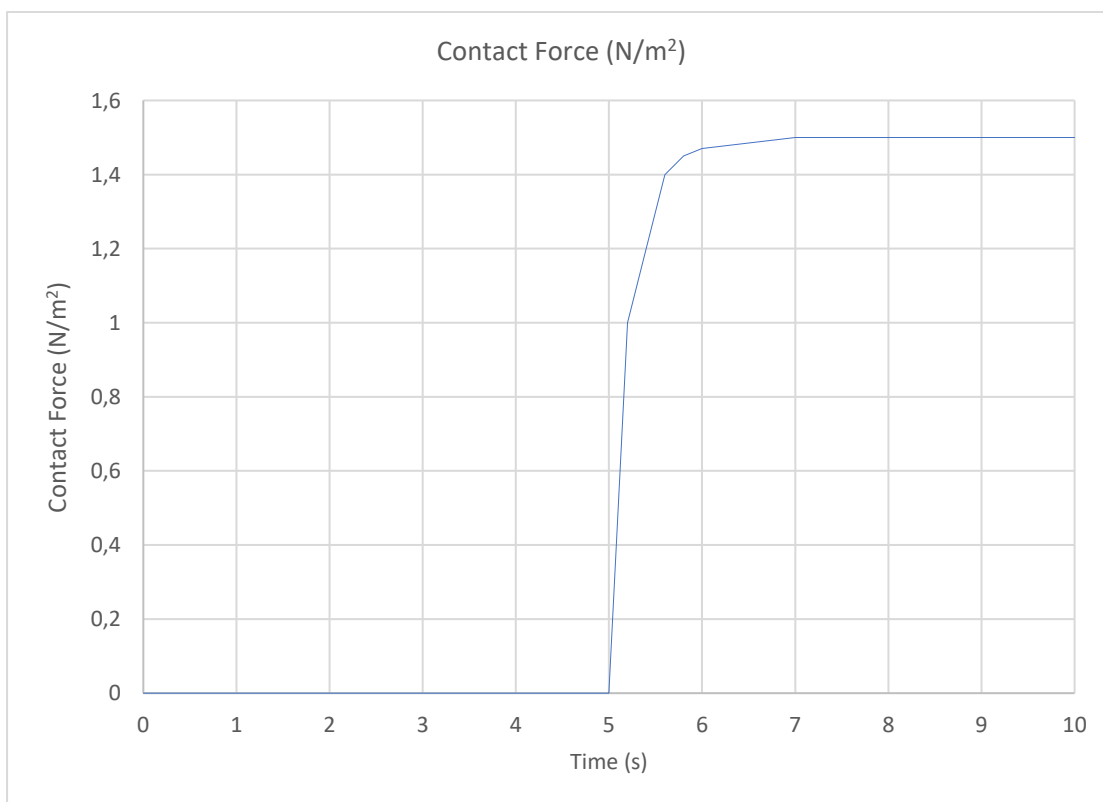
Μήκος Γέφυρας	100
Πλάτος Γέφυρας	100
Μήκος Κάτω Υλικού	100



Εικόνα 5.12: Μετατόπιση περίπτωσης 1



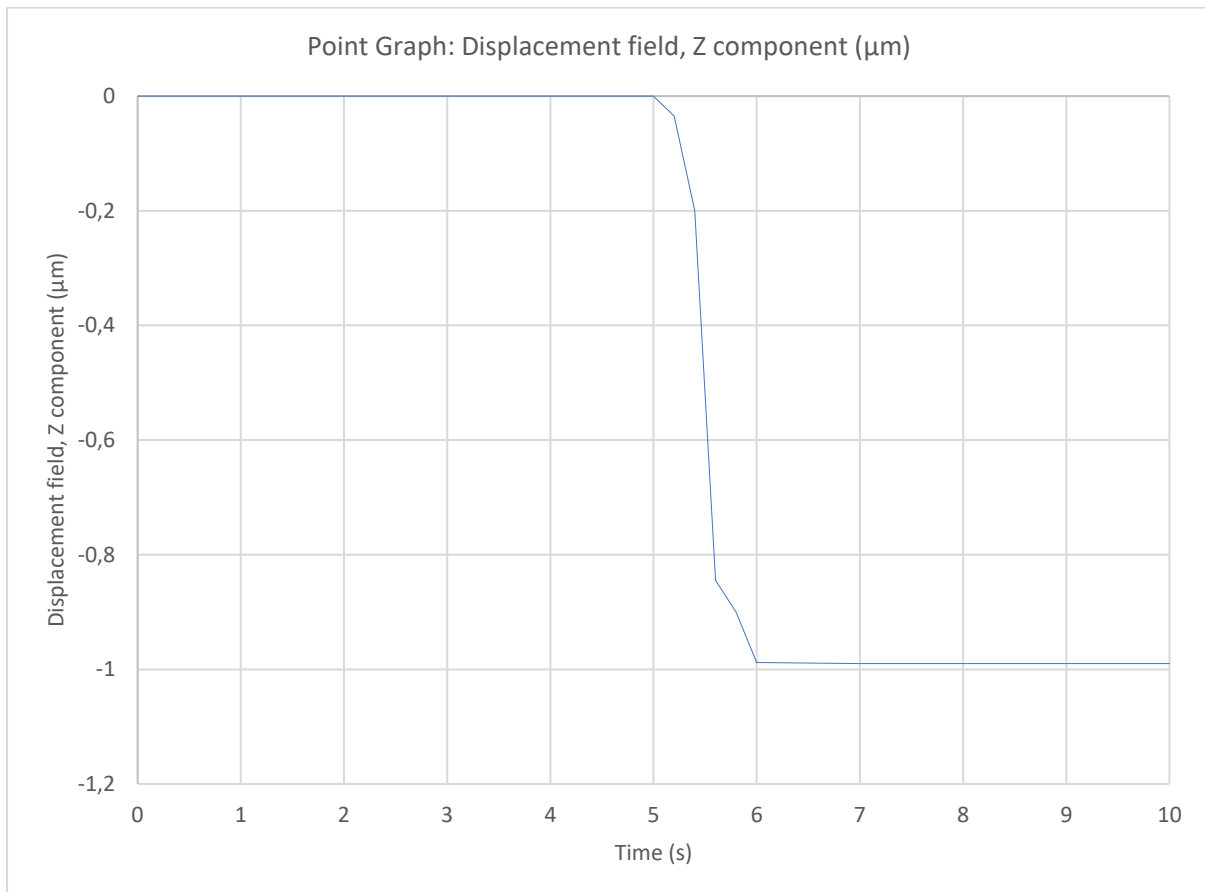
Εικόνα 5.13: Χωρητικότητα περίπτωσης 1



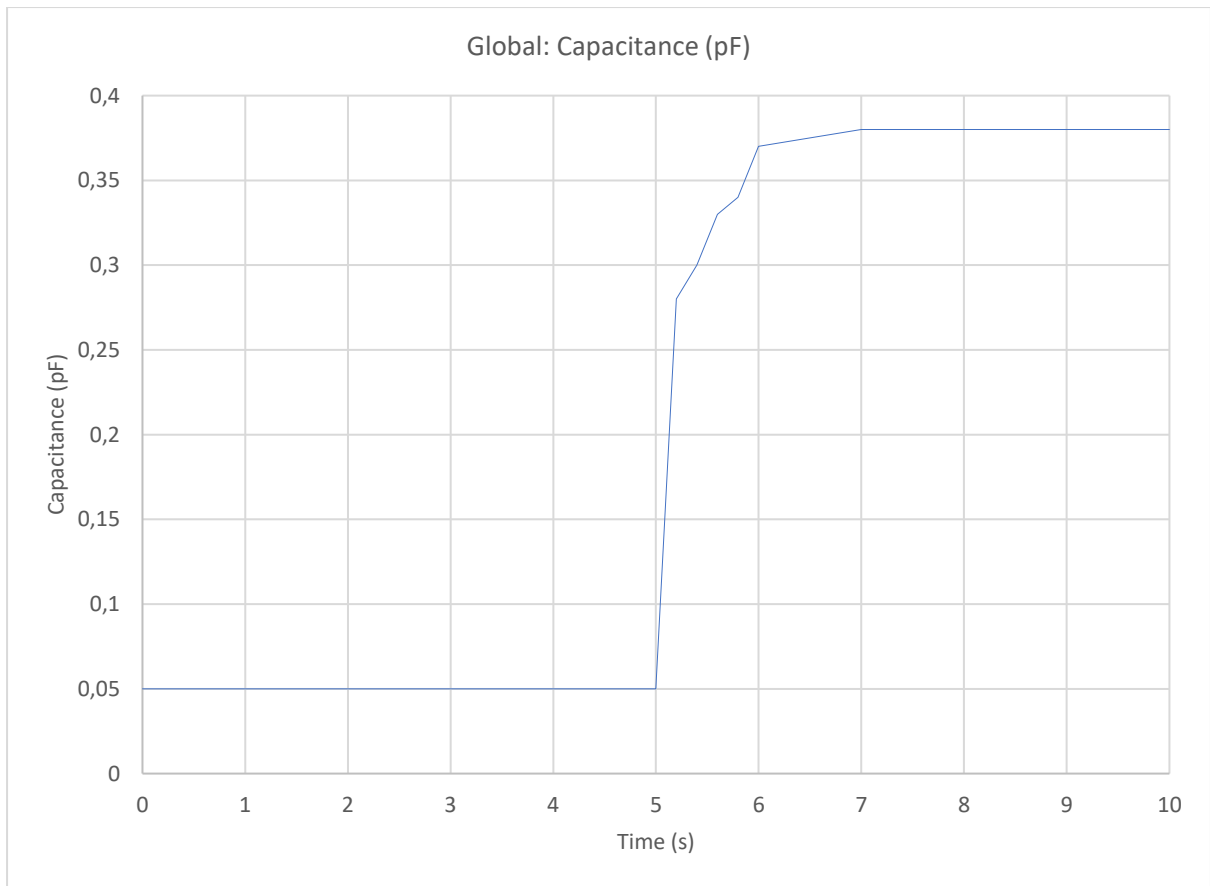
Εικόνα 5.14: Δύναμη επαφής περίπτωσης 1

5.2.1.2 Περίπτωση 2^η

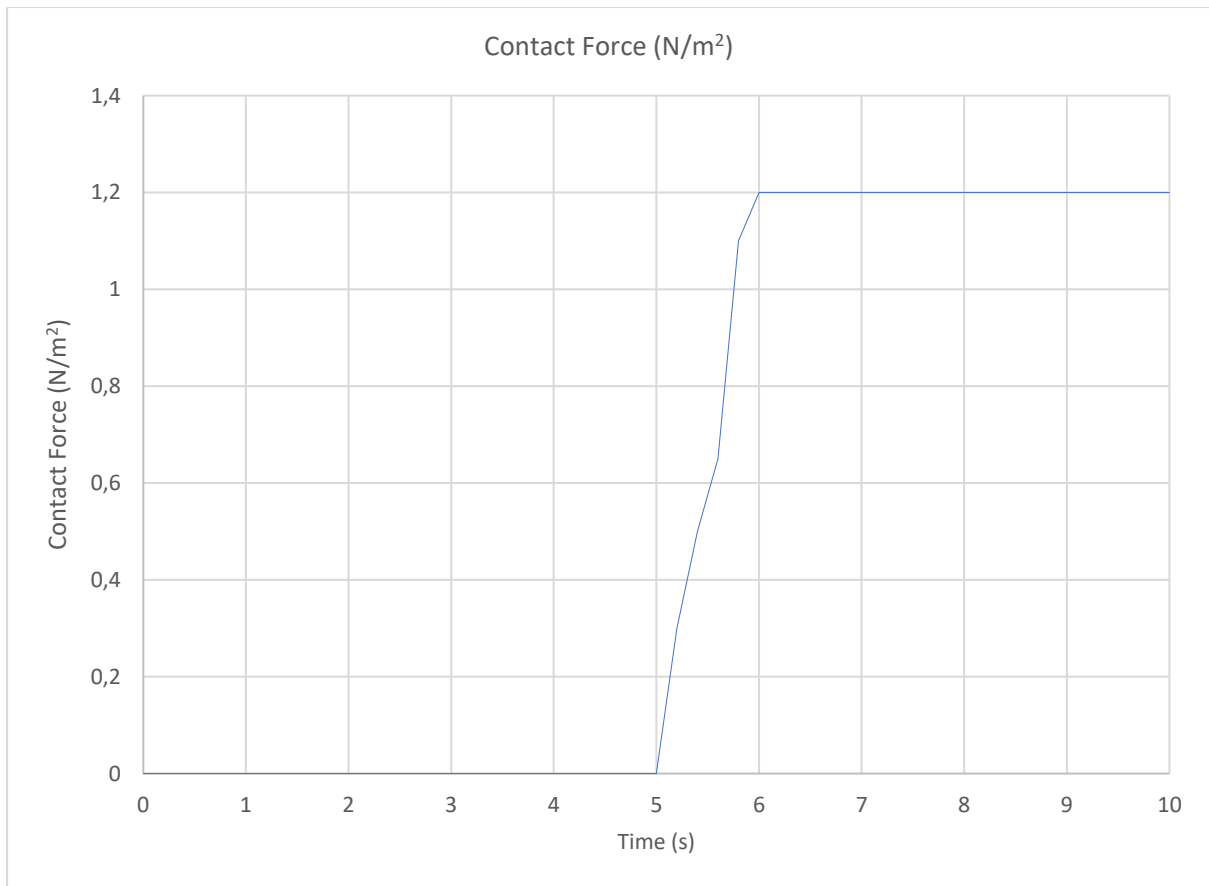
Μήκος Γέφυρας	20
Πλάτος Γέφυρας	20
Μήκος Κάτω Υλικού	20



Εικόνα 5.15: Μετατόπιση περίπτωσης 2



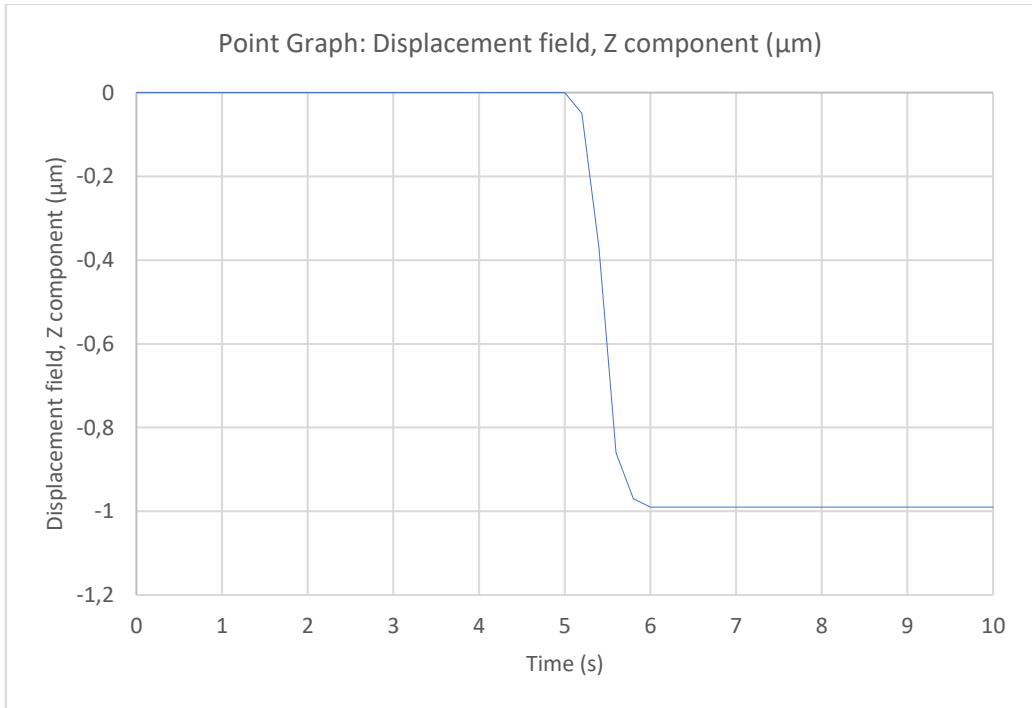
Εικόνα 5.16: Χωρητικότητα περίπτωσης 2



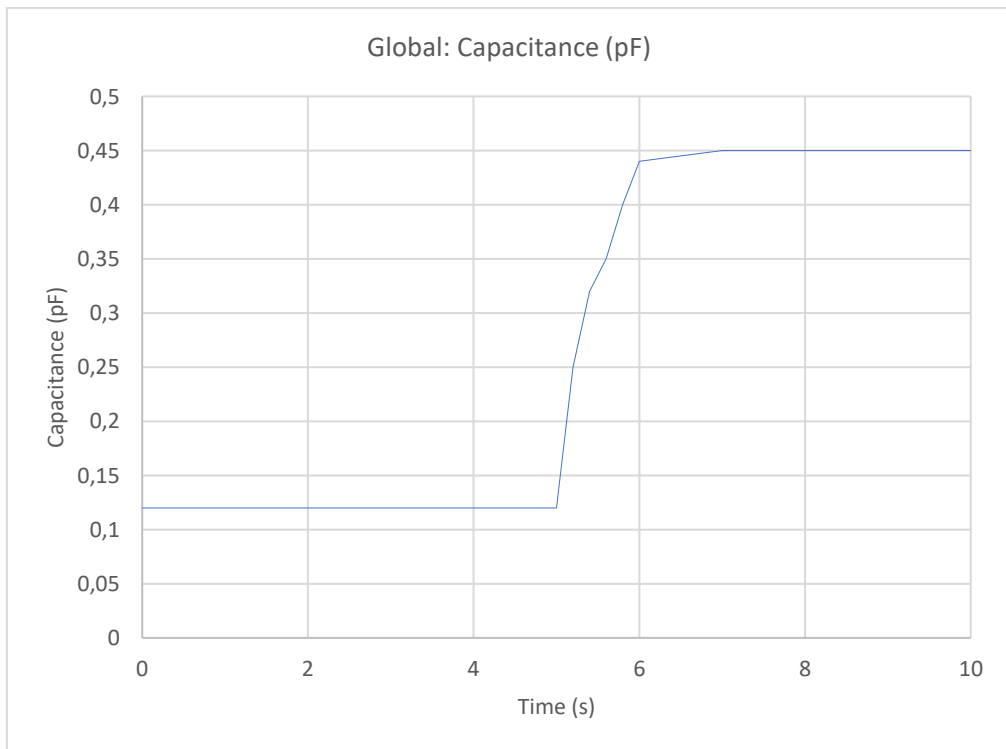
Εικόνα 5.17: Δύναμη επαφής περίπτωσης 2

5.2.1.3 Περίπτωση 3^η

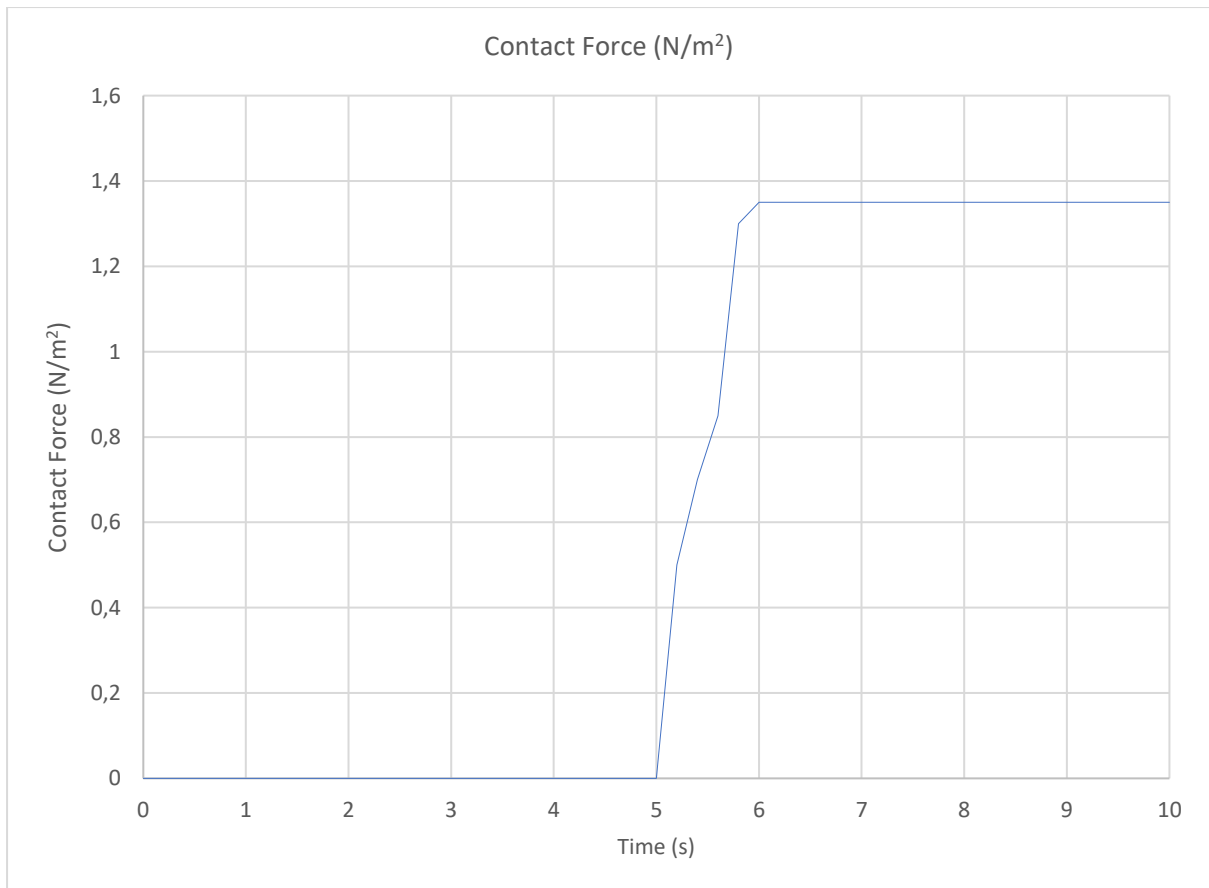
Μήκος Γέφυρας	100
Πλάτος Γέφυρας	50
Μήκος Κάτω Υλικού	100



Εικόνα 5.18: Μετατόπιση περίπτωσης 3



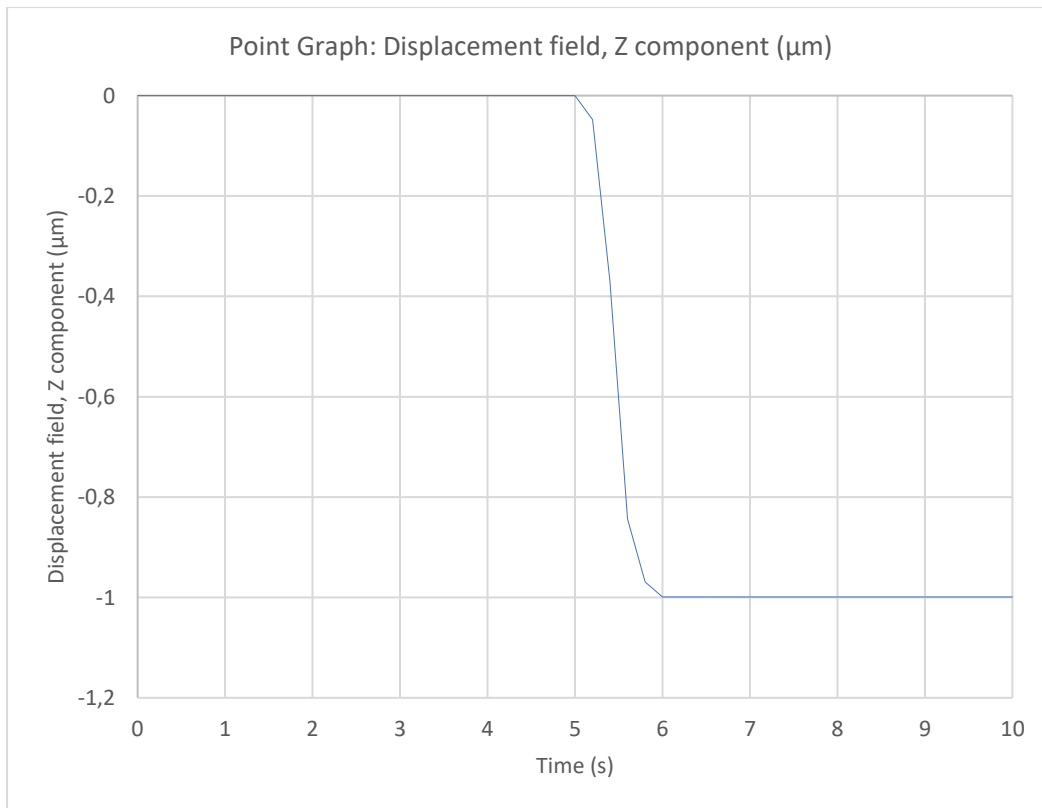
Εικόνα 5.19: Χωρητικότητα περίπτωσης 3



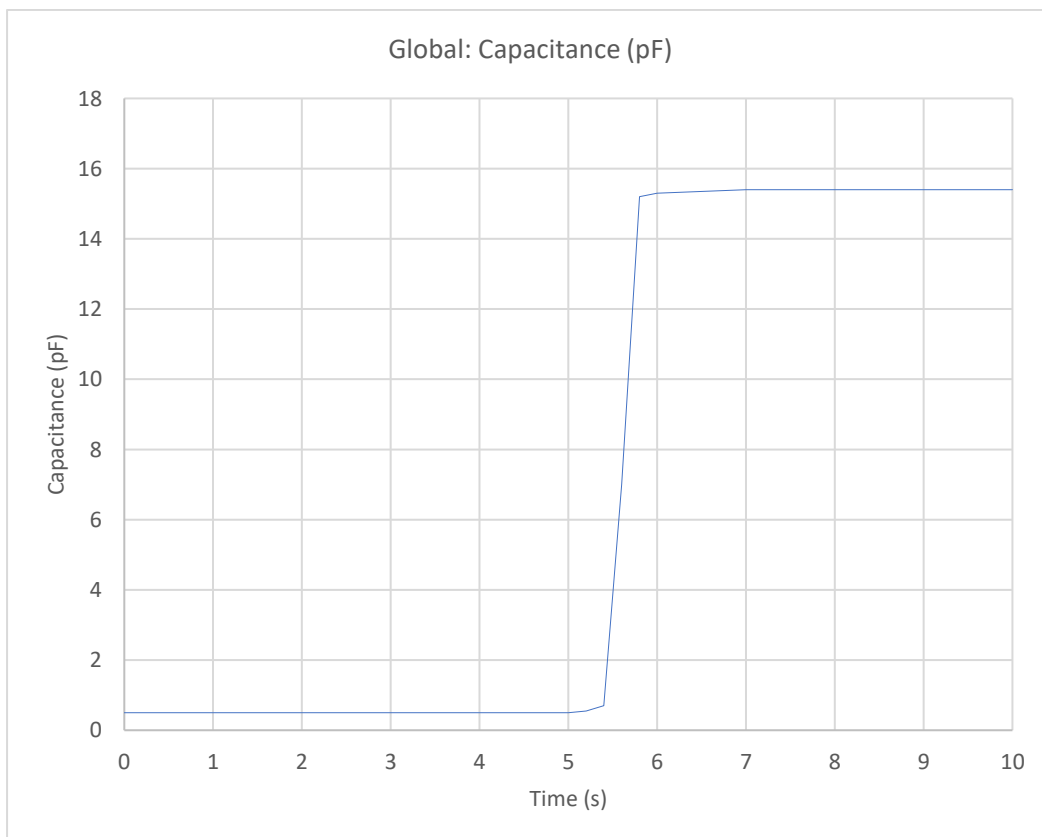
Εικόνα 5.20: Δύναμη επαφής περίπτωσης 3

5.2.1.4 Περίπτωση 4^η

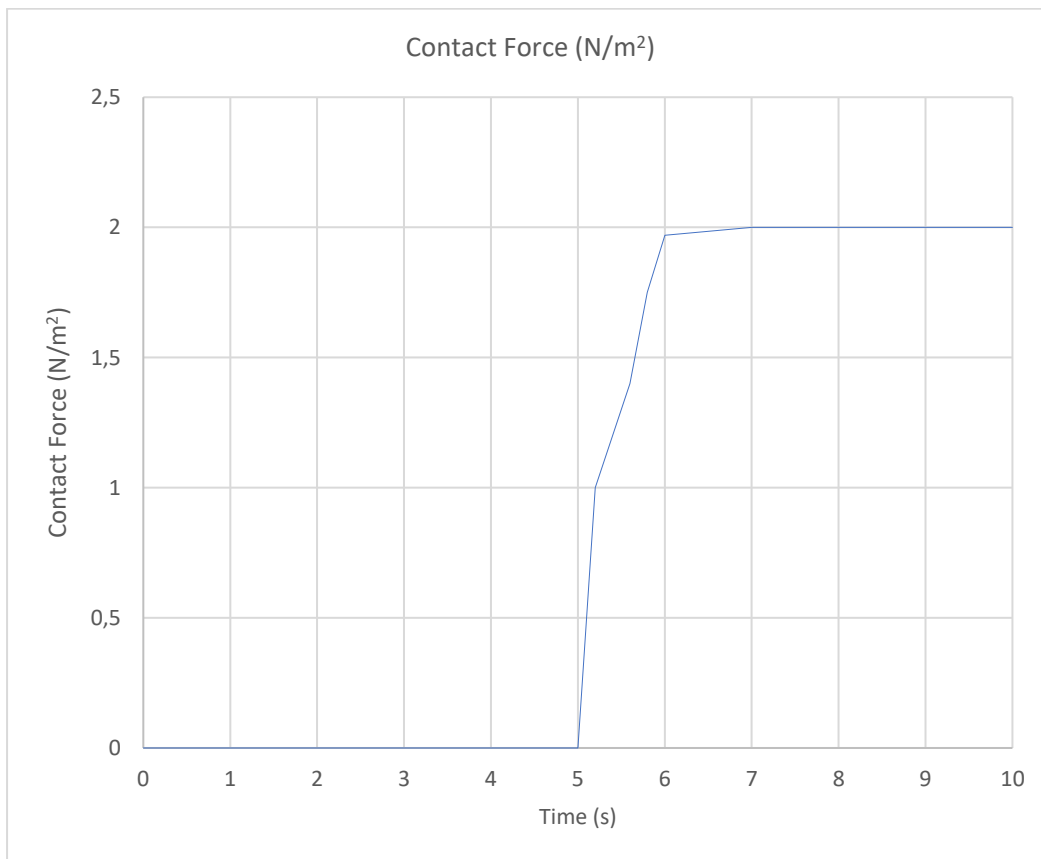
Μήκος Γέφυρας	180
Πλάτος Γέφυρας	180
Μήκος Κάτω Υλικού	180



Εικόνα 5.21: Μετατόπιση περίπτωσης 4



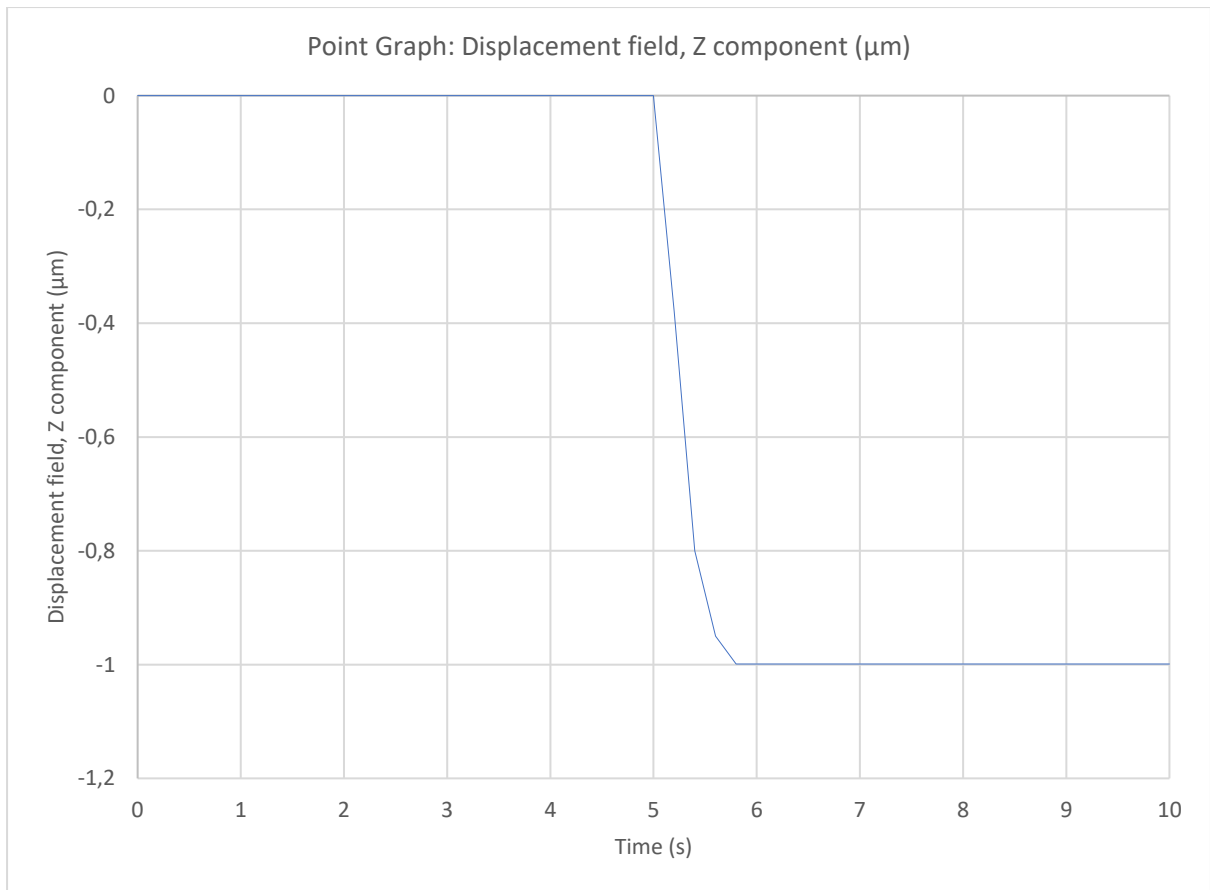
Εικόνα 5.22: Χωρητικότητα περίπτωσης 4



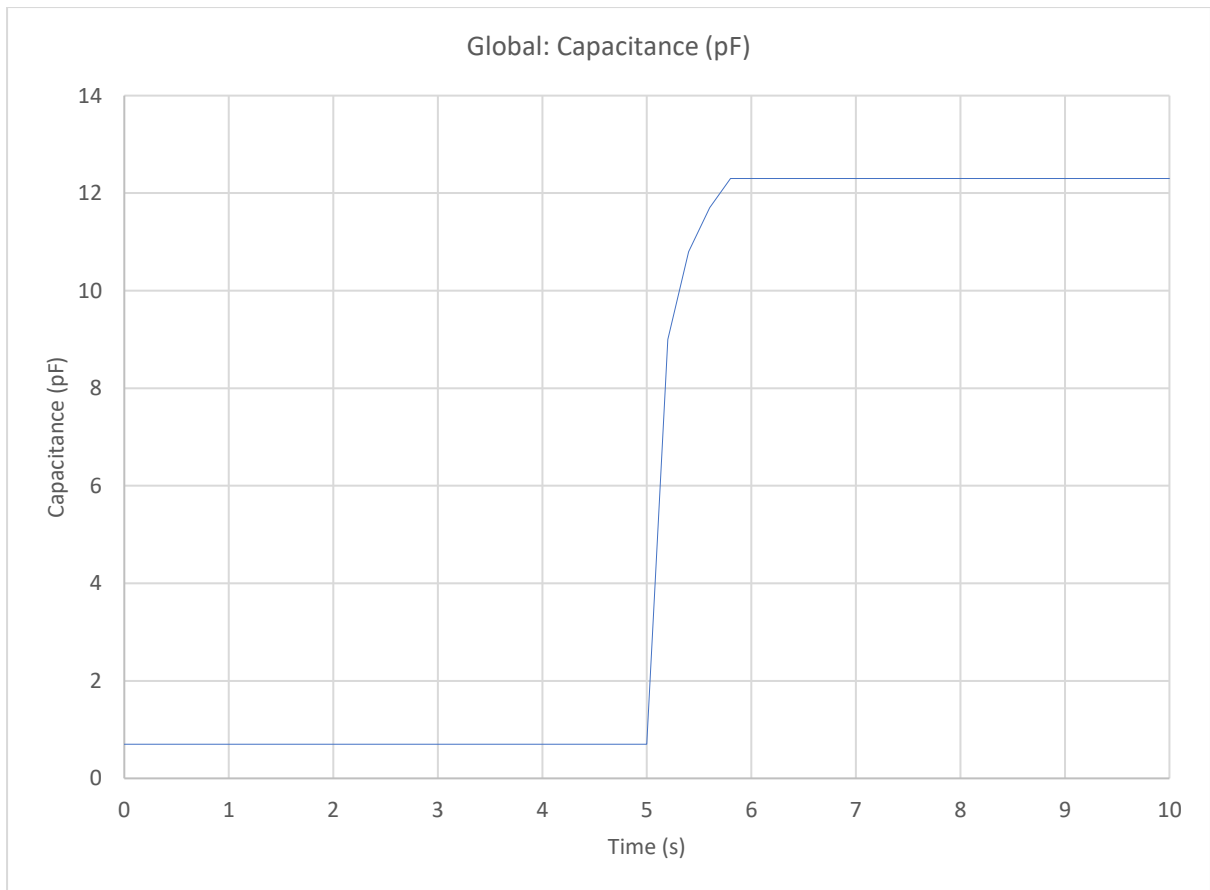
Εικόνα 5.23: Δύναμη επαφής περίπτωσης 4

5.2.1.5 Περίπτωση 5^η - Βέλτιστο αποτέλεσμα

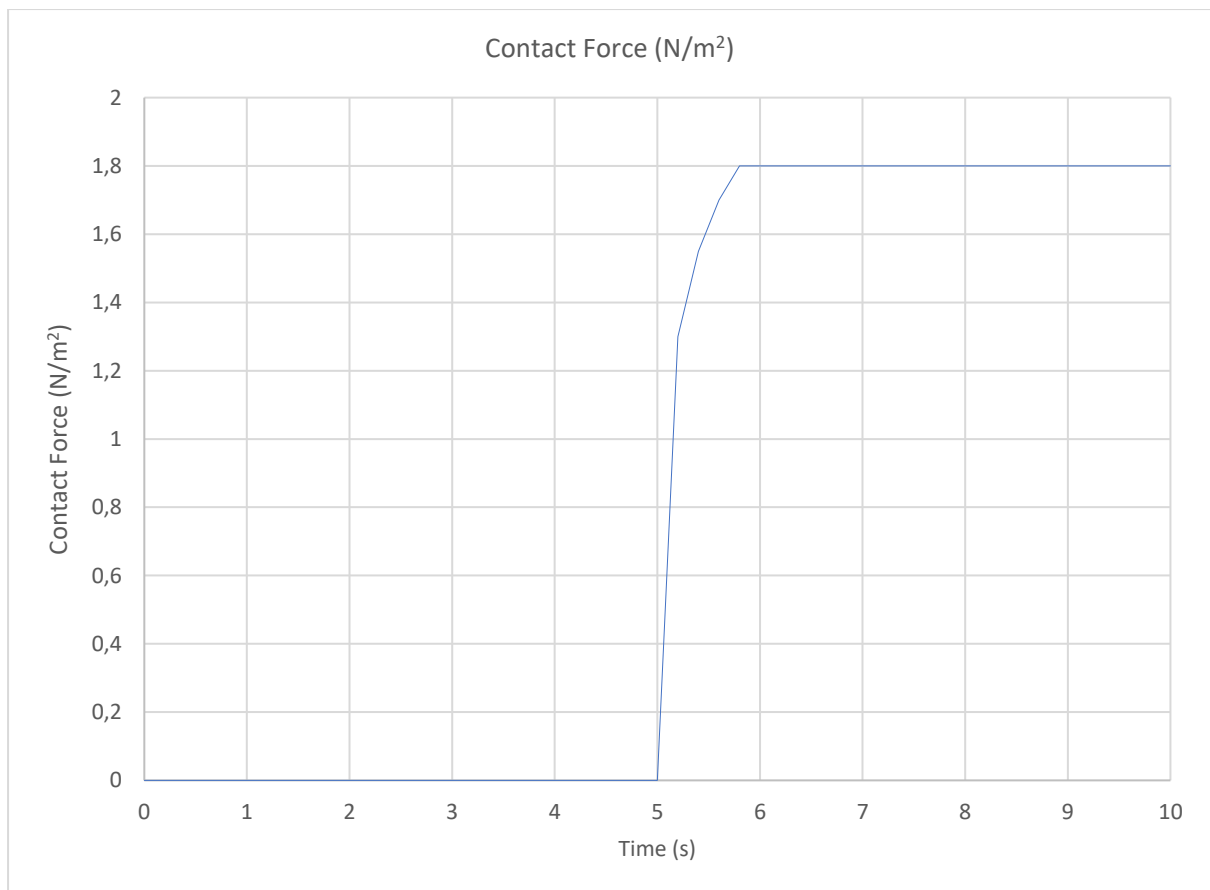
Μήκος Γέφυρας	140
Πλάτος Γέφυρας	130
Μήκος Κάτω Υλικού	140



Εικόνα 5.24: Μετατόπιση περίπτωσης 5



Εικόνα 5.25: Χωρητικότητα περίπτωσης 5



Εικόνα 5.26: Δύναμη επαφής περίπτωσης 5

Με χρόνο μετάβασης 0,8s και

Χωρητικότητα 12,3pf

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς ενός χωρητικού RF-MEMS διακόπτη με εφαρμογή αλγορίθμων βελτιστοποίησης με χρήση Matlab. Οι παράμετροι που εισήχθησαν στο πρόγραμμα COMSOL προγραμματιστικά σε κάθε εκτέλεση της συνάρτησης κόστους είναι το πλάτος, το μήκος και η τάση. Η έξοδος και ο τελικός στόχος ήταν να έχει το μικρότερο χρόνο μετάβασης με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα. Αυτή η παράμετρος εξάχθηκε από το πρόγραμμα και είναι η επιστροφή της συνάρτησης κόστους.

Διαπιστώθηκε ότι στο χωρητικό RF-MEMS όταν εισήγαμε παραμέτρους

Μήκος Γέφυρας	140
Πλάτος Γέφυρας	130
Μήκος Κάτω Υλικού	140

Διαπιστώθηκε βέλτιστες τιμές

χρόνος μετάβασης 0,8s και χωρητικότητα 12,3pf

Μια βελτίωση που θα μπορούσε να γίνει είναι η αλλαγή στο σχήμα-μορφή του MEMS διακόπτη και να αλλάξει η γεωμετρία του ώστε να εξεταστεί αν παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά.

Επίσης, θα μπορούσε να γίνει αλλαγή στις διαστάσεις των 'ποδαριών'.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Yao, J.J., 2000. RF MEMS from a device perspective. *Journal of micromechanics and microengineering*, 10(4), p.R9.
- Rebeiz, G.M., 2004. *RF MEMS: theory, design, and technology*. John Wiley & Sons.
- Lucyszyn, S. and Pranonsatit, S., 2013, April. RF MEMS for antenna applications. In *2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* (pp. 1988-1992). IEEE.
- Rebeiz, G.M. and Muldavin, J.B., 2001. RF MEMS switches and switch circuits. *IEEE Microwave magazine*, 2(4), pp.59-71.
- Varadan, V.K., Vinoy, K.J. and Jose, K.A., 2003. *RF MEMS and their applications*. John Wiley & Sons.
- Tilmans, H.A., De Raedt, W. and Beyne, E., 2003. MEMS for wireless communications: 'from RF-MEMS components to RF-MEMS-SiP'. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 13(4), p.S139.
- Lucyszyn, S., Pranonsatit, S., Choi, J.Y., Moseley, R.W., Yeatman, E.M. and Holmes, A.S., 2007, December. Novel rf mems switches. In *2007 Asia-Pacific Microwave Conference* (pp. 1-4). IEEE.
- Lucyszyn, S. ed., 2010. *Advanced RF Mems*. Cambridge University Press.
- Rebeiz, G.M., 2003, June. RF MEMS switches: status of the technology. In *TRANSDUCERS'03. 12th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems. Digest of Technical Papers (Cat. No. 03TH8664)* (Vol. 2, pp. 1726-1729). IEEE.
- De Los Santos, H., 2002. *RF MEMS circuit design for wireless communications*. Artech.
- Iannacci, J., 2013. *Practical guide to RF-MEMS*. John Wiley & Sons.
- Brown, E.R., 1998. RF-MEMS switches for reconfigurable integrated circuits. *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, 46(11), pp.1868-1880.
- Peroulis, D., Pacheco, S.P., Sarabandi, K. and Katehi, L.P., 2003. Electromechanical considerations in developing low-voltage RF MEMS switches. *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, 51(1), pp.259-270.
- Jaafar, H., Beh, K.S., Yunus, N.A.M., Hasan, W.Z.W., Shafie, S. and Sidek, O., 2014. A comprehensive study on RF MEMS switch. *Microsystem Technologies*, 20(12), pp.2109-2121.
- Goldsmith, C.L., Yao, Z., Eshelman, S. and Denniston, D., 1998. Performance of low-loss RF MEMS capacitive switches. *IEEE Microwave and guided wave letters*, 8(8), pp.269-271.
- Lucyszyn, S., 2004. Review of radio frequency microelectromechanical systems technology. *IEE Proceedings-Science, Measurement and Technology*, 151(2), pp.93-103.

- Zhang, L.X. and Zhao, Y.P., 2003. Electromechanical model of RF MEMS switches. *Microsystem Technologies*, 9(6), pp.420-426.
- Peroulis, D., Pacheco, S.P. and Katehi, L.P., 2004. RF MEMS switches with enhanced power-handling capabilities. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52(1), pp.59-68.
- Anagnostou, D.E., Zheng, G., Chryssomallis, M.T., Lyke, J.C., Ponchak, G.E., Papapolymerou, J. and Christodoulou, C.G., 2006. Design, fabrication, and measurements of an RF-MEMS-based self-similar reconfigurable antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 54(2), pp.422-432.
- Newman, H.S., 2002, April. RF MEMS switches and applications. In *2002 IEEE International Reliability Physics Symposium. Proceedings. 40th Annual (Cat. No. 02CH37320)* (pp. 111-115). IEEE.
- Pillans, B., Kleber, J., Goldsmith, C. and Eberly, M., 2002, June. RF power handling of capacitive RF MEMS devices. In *2002 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (Cat. No. 02CH37278)* (Vol. 1, pp. 329-332). IEEE.
- Lysenko, I.E., Tkachenko, A.V., Sherova, E.V. and Nikitin, A.V., 2018. Analytical approach in the development of RF MEMS switches. *Electronics*, 7(12), p.415.
- Zohur, A., Mopidevi, H., Rodrigo, D., Unlu, M., Jofre, L. and Cetiner, B.A., 2013. RF MEMS reconfigurable two-band antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, pp.72-75.
- Newman, H.S., Ebel, J.L., Judy, D. and Maciel, J., 2008. Lifetime measurements on a high-reliability RF-MEMS contact switch. *IEEE microwave and wireless components letters*, 18(2), pp.100-102.
- Van Caekenberghe, K., 2012. Modeling rf mems devices. *IEEE Microwave Magazine*, 13(1), pp.83-110.
- Van Caekenberghe, K., 2012. Modeling rf mems devices. *IEEE Microwave Magazine*, 13(1), pp.83-110.
- Yang, W.P. and Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of materials processing technology*, 84(1-3), pp.122-129.
- Unal, R. and Dean, E.B., 1990, January. Taguchi approach to design optimization for quality and cost: an overview. In *1991 Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts*.
- Pull-In of an RF MEMS Switch, <https://www.comsol.com/model/pull-in-of-an-rf-mems-switch-16379>

- G. Langfelder and A. Tocchio, “MEMS integrating motion and displacement sensors,,” Woodhead Publ. Ser. Electron. Opt. Mater.,2014.
- R. Legtenberg, a W. Groeneveld, and M. Elwenspoek, “Comb-drive actuators for large displacements,” J. Micromechanics Microengineering, vol. 6, no. 3, pp. 320–329, 1999.
- N. Yazdi, F. Ayazi, and K. Najafi, “Micromachined inertial sensors,” Proc. IEEE, vol. 86, no. 8, pp. 1640–1658, 1998.
- H. Fujita, “Microactuators and micromachines,” Proc. IEEE, vol. 86, no. 8, pp. 1721–1732, 1998.
- M. Kraft and N M White, “MEMS for automotive and aerospace applications,” Woodhead Publishing Limited, 2013.
- E. M. Yeatman, “Applications of MEMS in power sources and circuits,” J. Micromechanics Microengineering, vol. 17, no. 7, pp. S184–S188, 2007.
- H.A.C. Tilmans, W.D. Raedt, E. Beyne, MEMS for wireless communications from RF-MEMS components to RF-MEMS SiP, J. Micromech. Microeng. 13 (2003) 139–163.
- G.M. Rebeiz, RF MEMS Theory, Design and Technology, Wiley, New Jersey, 2003.
- K. Rangra, B. Margesin, L. Lorenzelli, F. Giacomozzi, C. Collinni, M. Zen, et al., Symmetric toggle switch – a new type of rf MEMS switch for telecommunication applications: design and fabrication, Sens. Actuators A: Phys 123–124 (2005) 505–514.
- M. Angira, K. Rangra, Design and investigation of a low insertion loss, broadband, enhanced self and hold down power RF-MEMS switch, Microsyst. Technol. 21 (2015) 1173–1178
- Addington, M., Schodek, D.L. (eds.): Smart Materials and Technologies in Architecture. Architectural Press, Oxford (2004)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται ενδεικτικά οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν.

A.1. Κώδικας Taguchi

```
clc;
clear all;
reducedby = 0.8;

protipo_OA = [1 1;1 2;1 3;2 1;2 2;2 3;3 1;3 2;3 3];
SizeOA = length(protipo_OA);
Levels= max(protipo_OA(:));

Par = 2;
Fores = 100;
xmin(1) = -10; xmax(1) = 10;
xmin(2) = -10; xmax(2) = 10;
sum= zeros(Par,Levels);

tstart = tic;
counter=1;

for fora = 1:Fores

if fora==1
for i = 1:Par
LD(i) = (xmax(i) - xmin(i)) / (Levels + 1);
arxikoLD(i) = LD(i);
for j = 1:Levels
lev(i,j) = xmin(i) + (j) * LD(i);
end
end
end
```

```

for i = 1:SizeOA
  for j = 1:Par
    for k = 1:Levels
      if protipo_OA(i,j) == k
        OA(i,j) = lev(j,k);
      end
    end
  end
end

for i = 1:SizeOA
  counter=counter+1;

  f(i) = ...
  -(3e2./((OA(i,1).*5.0+1.7e1).^2+(OA(i,2).*3.0+7.0).^2+2.6e1)...
  +1.1e3./((OA(i,1).*9.0-2.1e1).^2+(OA(i,2).*3.0-7.0).^2+2.7e1)...
  )+(-8e2./((OA(i,1).*3.0+1.7e1).^2+(OA(i,2).*3.0-2e1).^2+3.6e1));
  %--- Two different min ---
  f(i) = ...
  -(4e2./((OA(i,1).*3.0+1.8e1).^2+(OA(i,2).*3.0+7.0).^2+2.5e1)...
  +2e3./((OA(i,1).*3.0-2.1e1).^2+(OA(i,2).*3.0-7.0).^2+2.8e1)...
  )...
  +(-7e2./((OA(i,1).*3.0+1.8e1).^2+(OA(i,2).*3.0-2.1e1).^2+4e1)...
  -6e2./((OA(i,1).*3.0-2.1e1).^2+(OA(i,2).*3.0+2.1e1).^2+4.2e1)...
  )...
  -(10e2./((OA(i,1).*3.2-1.8e1).^2+(OA(i,2).*3.0+3.0).^2+1e1)...
  )...
  ;

end

[Min,posn] = min(f.);

```

```

pos = protipo_OA(posn,:);

for i = 1:Par
    for j = 1:Levels
        if (pos(i) == j)
            centre(i) = lev(i,j);
        end
    end
end

for i = 1:Par
    LD(i) = LD(i) * reducedby;
    startOfLev = centre(i) - (0.5*Levels-0.5)*LD(i);
    for j = 1:Levels
        lev(i,j) = startOfLev + (j-1)*LD(i);
    end
end

if LD(1) / arxikoLD(1) < 0.00001
    break;
end

end

toc(tstart);
Loops = fora*SizeOA;

```