



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ



Εργαστήριο Ηλεκτρονικής – Τηλεπικοινωνιών και Εφαρμογών
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
στις Τηλεπικοινωνιακές Εφαρμογές

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΗΨΗΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ

Βασίλειος Π. Ράπτης

Φυσικός – ΜΔΕ στις Σύγχρονες Ηλεκτρονικές Τεχνολογίες

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ, 2012

«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα Ν. 5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2»

ΠΡΑΚΤΙΚΟ
ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ, ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Σήμερα Παρασκευή 7/12/2012, ώρα 13 στην αίθουσα **Αίθουσα Σεμιναρίων του Τμήματος Φυσικής** στη Δουρούτη, πραγματοποιείται, σύμφωνα με το άρθρο 36 του Π.Δ. 1268/82, η διαδικασία της δημόσιας παρουσίασης, εξέτασης και αξιολόγησης της διδακτορικής διατριβής του υποψήφιου διδάκτορα **κ. Ράπτη Βασιλείου**.

Την 7μελή Εξεταστική Επιτροπή, που συγκροτήθηκε με απόφαση της Γενικής Συνέλευσης του Τμήματος Φυσικής (συν. 407/8-10-12), αποτελούν οι:

1. Παναγιώτης Κωσταράκης, Καθηγητής, Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης και Φυσικής Υλικών και Επιφανειών, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
2. Αντώνης Αλεξανδρίδης, Δντής Ερευνών / Ερευνητής Α', Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος
3. Γεώργιος Τόμπρας, Καθηγητής, Τομέας Ηλεκτρονικής, Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Αυτοματισμού, Τμήμα Φυσικής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
4. Εμμανουήλ Δρης, Καθηγητής, ΕΜΠ
5. Καμαράτος Ματθαίος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης και Φυσικής Υλικών και Επιφανειών, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
6. Ευαγγελάκης Γεώργιος, Καθηγητής, Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης και Φυσικής Υλικών και Επιφανειών, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
7. Ευαγγέλου Ευάγγελος, Επίκουρος Καθηγητής, Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης και Φυσικής Υλικών και Επιφανειών, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Το θέμα της διατριβής που εκπόνησε ο **κ. Βασίλειος Ράπτης** και που παρουσίασε σήμερα είναι:

“Μελέτη και ανάπτυξη προσαρμοσμένου συστήματος λήψης φέροντος”

Ο Πρόεδρος της Εξεταστικής Επιτροπής Καθηγητής **κ. Π. Κωσταράκης** καλεί τον υποψήφιο να αναπτύξει το θέμα της διατριβής.

Ακολούθησε η ανάπτυξη και παρουσίαση του θέματος από τον υποψήφιο.

Στη συνέχεια, αφού ο υποψήφιος απαντά σε σχετικές ερωτήσεις, αποσύρεται η Εξεταστική Επιτροπή και εισέρχεται στη διαδικασία αξιολόγησης του υποψηφίου και της τελικής κρίσης της διατριβής.



Μετά από συζήτηση, η εξεταστική επιτροπή, κατέληξε στα ακόλουθα:

1. Διαπιστώνει ότι:

- α) Η παρουσίαση και ανάπτυξη του θέματος της διδακτορικής του διατριβής ήταν αρίστη.
- β) Η επιστημονική κατάρτιση του υποψηφίου είναι πλήρης.
- γ) Η συγγραφή της διατριβής έγινε με τρόπο που δείχνει μεθοδικότητα και ενημέρωση του υποψηφίου πάνω στη βιβλιογραφία τη σχετική με το θέμα της διατριβής.

2. Κρίνει ότι:

- α) Η διατριβή είναι προϊόν μακρόχρονης κοπιώδους προσπάθειας και καταλήγει σε σημαντικά αποτελέσματα τα οποία προάγουν την επιστήμη.
- β) Η επάρκεια του υποψηφίου στο γνωστικό αντικείμενο της διατριβής είναι πλήρης.

Με βάση τα ανωτέρω τα 7 παρόντα μέλη της Επιτροπής εγκρίνουν ομόφωνα τη διδακτορική διατριβή του κ. **Βασιλείου Ράπτη** και εισηγούνται ανεπιφύλακτα ομόφωνα την απονομή του τίτλου του διδάκτορα με βαθμό **Άριστα (10)**

Π. Κωσταράκης
Επιβλέπων Καθηγητής



Τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

- 1) Αντώνης Αλεξανδρίδης, Δ/ντής ερευνών



- 2) Γεώργιος Τόμπρας, Καθηγητής



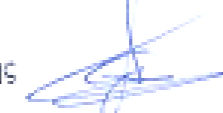
- 3) Εμμανουήλ Δρής, Καθηγητής



- 4) Καμαράτος Ματθαίος Αν Καθηγητής



- 5) Ευαγγελάκης Γεώργιος, καθηγητής



- 6) Ευαγγέλου Ευάγγελος, Επίκουρος καθηγητής



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην εξέλιξη και πρόοδο της έρευνάς μου. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Καθηγητή Παναγιώτη Κωσταράκη, ο οποίος ήταν ο πρώτος καθηγητής που με έβαλε στον χώρο των ηλεκτρονικών και των τηλεπικοινωνιών για την ουσιαστική συνεισφορά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εφταμελούς επιτροπής για τις παρατηρήσεις τους και διορθώσεις που μου υπέδειξαν. Τέλος ευχαριστώ τους συναδέλφους Τάτση Γεώργιο, Χρονόπουλο Σπυρίδων για την για την εποικοδομητική συνεργασία καθώς και τον συνάδελφο και φίλο Μάλλιο Σταύρο για την βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Ιδιαίτερη αναφορά χρειάζεται να κάνω για τις εταιρίες Analog Devices, Maxim, Burr Brown και Texas Instruments για την δωρεάν παραχώρηση των δειγμάτων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του έργου «ΠΙENNEΔ 2003» με χρηματοδότηση από την ΓΓΕΤ (80% από την Ε.Ε. και 20% από το Ελληνικό Δημόσιο).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν στις ασύρματες συσκευές επικοινωνίας να γίνουν μικρότερες σε μέγεθος. Το μέγεθος της κεραίας είναι προφανώς ένας σημαντικός παράγοντας που περιορίζει το τελικό μέγεθος των συσκευών. Στη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχουν αναπτυχθεί νέα σχέδια κεραιών χαμηλού προφίλ για φορητές ασύρματες συσκευές. Το βασικό χαρακτηριστικό των κεραιών χαμηλού προφίλ είναι το περιορισμένο εύρος ζώνης τους.

Τα προβλήματα που πρέπει να λυθούν κατά τη χρήση αυτών των συσκευών σε ότι αφορά το σύστημα των κεραιών είναι:

Η γειννίαση του χειριστή με την συσκευή ή και άλλων εξωτερικών περιβαλλοντικών παραγόντων, (μεταλλικά αντικείμενα, τοίχοι, δένδρα) αλλάζει τον συντονισμό της κεραίας. Προκαλείται αποσυντονισμός με αποτέλεσμα τη χειροτέρευση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος από την κεραία κατά τη λήψη και την ανάγκη αύξησης της ισχύος εκπομπής για τη διατήρηση της επικοινωνίας στην εκπομπή.

Η χρήση μεγάλου εύρους ζώνης κεραιών στην είσοδο του σήματος στους δέκτες καθιστά αναγκαία τη χρήση φίλτρων για την απάλειψη του θορύβου από γειτονικές συχνότητες. Αυτό μεταφράζεται σε επιπλέον μείωση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος και επιπλέον κόστος υλικών, ενώ κατά την εκπομπή σε αντίθεση με τις κεραίες στενής ζώνης δημιουργεί πρόβλημα παρεμβολών σε γειτονικούς σταθμούς.

Αυτά τα προβλήματα καλείται να ανταπεξέλθει η παρούσα διατριβή. Προτείνει τη χρήση στενού εύρους ζώνης κεραίας με συνεχή επανασυντονισμό της συχνότητας λειτουργίας της. Με την ανά τακτά χρονικά διαστήματα δειγματοληψία της συμπεριφοράς της διατηρείται η συχνότητα λειτουργίας της στην επιθυμητή συχνότητα ανεξαρτήτως των εξωτερικών παραγόντων.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη.

Το πρώτο μέρος (κεφάλαια 2 και 3) της εργασίας παρουσιάζει μια εισαγωγή στις κεραίες και μελετά τη συμπεριφορά μιας στενού εύρους ζώνης κεραία, την κεραία PIFA (Planar Inverted-F Antenna). Εξετάζονται τεχνικές επέκτασης του εύρους συντονισμού της και γίνεται η χρησιμοποίηση διόδου μεταβλητής χωρητικότητας (varactor) οδηγούμενη από τάση για την

αλλαγή στη συχνότητα λειτουργίας της. Αν δούμε την κεραία ως ένα ηλεκτρικό κύκλωμα το ισοδύναμο κύκλωμά της αποτελείται από συνδυασμό Χωρητικής και Επαγωγικής αντίστασης μαζί με Ωμική. Η τοποθέτηση σε κατάλληλο σημείο πάνω στην κεραία επιπλέον χωρητικής αντιστάσεως είναι δυνατό να μεταβάλλει αδιαβάθμητα τη συχνότητα συντονισμού της.

Στο δεύτερο μέρος υλοποιείται το σύστημα ελέγχου της κεραίας και επαναφοράς της στη σωστή συχνότητα λειτουργίας. Το σύστημα αυτό-συντονισμού βασίζεται στην μέτρηση των στασίμων κυμάτων της κεραίας και στην απόφαση του συστήματος για την αύξηση ή μείωση της τάσης οδήγησης της συνδεδεμένης πάνω στην κεραία μεταβλητής χωρητικότητας (κεφάλαιο 4).

Τέλος δίνονται τα συμπεράσματα (κεφάλαιο 5) και ακολουθούν τα παραρτήματα (κεφάλαιο 6 και 7) με τα σχηματικά διαγράμματα PCB από τα συστήματα που υλοποιήθηκαν καθώς και το διάγραμμα ροής για τον προγραμματισμό του συστήματος επανασυντονισμού.

ABSTRACT

Recent technological developments provide the fact that wireless communication devices could be smaller in size. Specifically, the size of the antenna is obviously an important factor which limits the overall size of the devices. Over the past few years, new low profile antenna designs have been developed for portable wireless devices. The basic feature of low-profile antennas is their limited bandwidth. The problems that need to be solved when using these devices with regard to the antenna system are reported below:

The proximity of the user towards the device or other external environmental factors (such as metal objects, walls, trees) alter the antenna frequency resonance. This fact deteriorates the received signal quality from the antenna during reception and additional transmitted power is needed in order to maintain the communication link during broadcast.

The use of wide bandwidth antennas during broadcasting, as opposed to narrowband antennas, creates interference problems from neighboring stations. Consequently, the use of filters at the input of the receiving signal is necessary to eliminate noise from neighboring frequencies. This translates into a further reduction in the power of the received signal from these antennas and in the demand of additional material costs.

These problems are confronted in this thesis. An antenna is suggested with narrow bandwidth and with continuous re-tuning of its operating frequency. The methodology that is followed by priority order is modeling, simulation, constructing and measurement of the PIFA antennas and finally the construction of a system which has the capability of changing the resonant frequency using a variable capacitor. The results - conclusions of this dissertation are oriented towards using a variable capacity of a varactor embedded into a PIFA antenna, which this fact gives the capability of changing the resonant frequency for avoiding the unwanted phenomenon at GSM frequencies.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Ασύρματες Επικοινωνίες.....	21
1.1 Εισαγωγή.....	21
2. Γραμμές μεταφοράς – κεραιες - μέθοδοι Μοντελοποίησης.....	25
2.1 Γραμμές Μεταφοράς.....	25
2.2 Στάσιμα κύματα	26
2.2.1 Συντελεστής ανάκλασης (Γ)	26
2.2.2 Λόγος στασίμων κυμάτων (SWR).....	26
2.2.3 Απώλεια επιστροφής (Return Loss).....	27
2.2.4 Συντελεστές σκέδασης – S παράμετροι.....	27
2.3 Κεραίες.....	29
2.3.1 Διάγραμμα Ακτινοβολίας	29
2.3.2 Πυκνότητα Ισχύος Ακτινοβολίας	30
2.3.3 Ένταση Ακτινοβολίας.....	31
2.3.4 Κατευθυντικότητα	31
2.3.5 Απολαβή	32
2.3.6 Απόδοση κεραίας (Efficiency).....	32
2.3.7 Απόδοση Ακτινοβολίας (Radiation Efficiency)	33
2.3.8 Εύρος Δέσμης Μισής Ισχύος (Half – Power Beamwidth)	33
2.3.9 Εύρος Ζώνης (Bandwidth).....	33
2.3.10 Πόλωση (Polarization).....	34
2.3.11 Σύνθετη αντίσταση εισόδου.....	35
2.3.12 Ηλεκτρικό Μήκος κεραίας	35
2.4 Κεραίες για τις ασύρματες επικοινωνίες.....	36
2.5 Σταθερές κεραίες.....	36
2.5.1 Κεραία Δίπολο	37
2.5.2 Μονόπολο	38
2.5.3 Ελικοειδής κεραία.....	38
2.5.4 Κεραία Σχισμοειδούς Ανοίγματος	39
2.5.5 Κεραία Ανεστραμμένου F	39
2.5.6 Κεραία Μικροταινιακού Καλύματος.....	40
2.5.7 Κεραίες ευρείας ζώνης (UWB)	41

2.5.8	Κεραία PIFA	41
2.6	Επαναπροσδιοριζόμενες κεραίες κινητών τηλεφώνων	44
2.6.1	Τύποι επαναπροσδιοριζόμενων κεραιών	44
2.6.2	Τεχνικές ηλεκτρονικού επαναπροσδιορισμού συχνότητας.....	45
2.7	Μέθοδοι μοντελοποίησης	49
3.	Μελέτη και κατασκευή κεραίας PIFA.....	51
3.1	Εισαγωγή	51
3.2	Γεωμετρία της πρώτης κεραίας	51
3.3	Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	53
3.4	Κατασκευή.....	56
3.5	Συμπεράσματα	57
3.6	Γεωμετρία της δεύτερης κεραίας.....	57
3.7	Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	59
3.8	Γεωμετρία της τρίτης κεραίας	67
3.8.1	Κύκλωμα μεταβλητής χωρητικότητας και πυκνωτές απομόνωσης.	69
3.9	Αποτελέσματα Μετρήσεων	69
3.10	Γεωμετρία της τέταρτης κεραίας.....	72
3.11	Αποτελέσματα Μετρήσεων	73
3.12	Συμπεράσματα	74
4.	Σύστημα αυτόματου συντονισμού	75
4.1	Εισαγωγή	75
4.2	Παραγωγή φέροντος κύματος.....	79
4.2.1	Ταλαντωτής	79
4.3	Μετρητής στασίμων κυμάτων	81
4.3.1	Directional Coupler – Κατευθυντικός Συζεύκτης.....	81
4.3.2	Ανίχνευση σήματος	84
4.3.3	Υλοποίηση.....	86
4.4	Συμπεράσματα	89
5.	Συμπεράσματα – Προτάσεις Βελτίωσης.....	91
5.1	Γενικά Συμπεράσματα	91
5.2	Προτάσεις Βελτίωσης – Μελλοντική Έρευνα.....	91
6.	Σχηματικά διαγράμματα PCB.....	93

6.1	Γεννήτρια σημάτων.....	93
6.2	Ανιχνευτής στασίμων κύματος μέρος 1ο.....	94
6.3	Μετρητής στασίμων κυμάτων.....	95
6.4	Ολοκληρωμένο σύστημα	96
7.	Κώδικας.....	97
7.1	Εισαγωγή.....	97
7.2	Διάγραμμα ροής	97
	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Γραμμή μεταφοράς.....	25
Σχήμα 2.2 Συσκευή με δύο πόρτες εισόδου.....	27
Σχήμα 2.3 Περιοχές πεδίου κεραίας	29
Σχήμα 2.4 Διάγραμμα ακτινοβολίας Διπόλου	30
Σχήμα 2.5 Μέτρηση Εύρους Ζώνης.	34
Σχήμα 2.6 Σύνθετη αντίσταση εισόδου κεραίας συνδεδεμένη σε πηγή.	35
Σχήμα 2.7 Ρύθμιση ηλεκτρικού μήκους κεραίας.....	36
Σχήμα 2.8 Η κεραία Δίπολο.....	37
Σχήμα 2.9 Διαφορετικοί τύποι διπόλου για την αλλαγή του διαγράμματος ακτινοβολίας του.	37
Σχήμα 2.10 Το μονόπολο, ο κατοπτρισμός του και πρωτότυπο κεραίας κινητού.....	38
Σχήμα 2.11 Η ελικοειδής κεραία σε ένα κινητό τηλέφωνο.	39
Σχήμα 2.12 Το δίπολο και η Σχισμοειδούς Ανοίγματος.....	39
Σχήμα 2.13 Το μονόπολο, η κεραία L και η κεραία IFA.....	40
Σχήμα 2.14 Η κεραία Μικροταινιακού Καλύμματος.	40
Σχήμα 2.15 Η κεραία μονόπολο κυκλικού δίσκου (Tatsis, Raptis, & Kostarakis, 2010).....	41
Σχήμα 2.16 Η κεραία Μικροταινιακού Καλύμματος και πως από αυτήν προκύπτει η κεραία PIFA.....	42
Σχήμα 2.17 Δημιουργία της PIFA από την κεραία μονόπολο.....	42
Σχήμα 2.18 Η διαδρομή που ακολουθεί το ρεύμα στην κεραία PIFA.....	43
Σχήμα 2.19 Η κεραία PIFA σύμφωνα με τους Chattha, et all, 2009).....	44
Σχήμα 2.20 Απεικόνιση διαγράμματος RF MEMS διακόπτη (Anagnostou et all, 2005).....	46
Σχήμα 2.21 Η δίοδος PIN και τα ισοδύναμα κυκλώματα ορθής και ανάστροφης πόλωσης. (Microsemi, 1998).....	46
Σχήμα 2.22 Ισοδύναμο κύκλωμα της διόδου PIN για την κατάσταση OFF (α) και ON (β). ..	46
Σχήμα 2.23 Εσωτερική δομή διόδων Abrupt και Hyperabrupt Varactor.	47
Σχήμα 2.24 Καμπύλη μεταβολής της χωρητικότητας για τις Abrupt (α) και Hyperabrupt (β) varactor.....	47
Σχήμα 2.25 Η χωρητικότητα σε εξάρτηση με την εφαρμοζόμενη τάση για την SMV1232 (Skyworks Solution, 1998).	48
Σχήμα 2.26 Συμβολισμός και ισοδύναμο κύκλωμα διόδου Varactor.....	49
Σχήμα 3.1 Η γεωμετρία της 1 ^{ης} κεραίας PIFA.....	52
Σχήμα 3.2 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με το ύψος της κεραίας (h).	53
Σχήμα 3.3 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με το πλάτος (W_f) του επιπέδου βραχυκύκλωσης.	54
Σχήμα 3.4 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με την απόσταση (C) του στοιχείου χωρητικότητας από την κορυφή 2.	54
Σχήμα 3.5 Συντελεστής ανάκλασης S_{11} σε σχέση με την τιμή του στοιχείου χωρητικότητας.....	55
Σχήμα 3.6 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με την τιμή (C) του στοιχείου χωρητικότητας.....	55
Σχήμα 3.7 Η απολαβή της κεραίας για $C = 1, 2$ και 3 pF.....	56
Σχήμα 3.8 Διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας για $C = 1, 2$ και 3 pF.....	56
Σχήμα 3.9 Φωτογραφία της 1 ^{ης} κεραίας PIFA.....	57
Σχήμα 3.10 Η γεωμετρία της δεύτερης κεραίας PIFA.....	58
Σχήμα 3.11 Η παράμετρος S_{11} σε σχέση με την συχνότητα.....	60
Σχήμα 3.12 Ο συντελεστής S_{11} σε σχέση με το πλάτος W_f του επιπέδου τροφοδοσίας.....	61
Σχήμα 3.13 Γεωμετρία της PIFA με την προσθήκη μεταβλητής χωρητικότητας.	61
Σχήμα 3.14 Εξάρτηση της συχνότητας συντονισμού από την απόσταση L_{uc} για $L_{bc} = 0$	62

Σχήμα 3.15 Εξάρτηση της συχνότητας συντονισμού από την απόσταση L_u .	63
Σχήμα 3.16 Συχνότητα συντονισμού για τιμές $C = 1 \sim 15$ pF.	64
Σχήμα 3.17 Η γεωμετρία της κεραίας με την προσθήκη παράσιτης χωρητικότητας με την προσθήκη οριζόντιου πλατό.	65
Σχήμα 3.18 Η συχνότητα συντονισμού για διαφορετικές αποστάσεις του επιπέδου παρασιτικής χωρητικότητας.	66
Σχήμα 3.19 Γεωμετρία της τρίτης κεραίας.	67
Σχήμα 3.20 Φωτογραφίες της τρίτης κεραίας.	67
Σχήμα 3.21 Κύκλωμα τροφοδοσίας Varactor.	69
Σχήμα 3.22 Διαγράμματα ακτινοβολίας της κεραίας σε τρεις διαστάσεις.	70
Σχήμα 3.23 Διάγραμμα ακτινοβολίας επιπέδου x-y.	70
Σχήμα 3.24 Η μεταβολή της συχνότητας συντονισμού για διαφορετικές τιμές ανάστροφης τάσης πολώσεως της Varactor.	71
Σχήμα 3.25 Γεωμετρία της τρίτης κεραίας.	72
Σχήμα 3.26 Φωτογραφίες της τέταρτης κεραίας.	72
Σχήμα 3.27 Επίδραση του ύψους στην συχνότητα συντονισμού.	73
Σχήμα 3.28 Μεταβολή της συχνότητας συντονισμού για διαφορετικές τιμές ανάστροφης τάσης πολώσεως της Varactor.	74
Σχήμα 4.1 Διάγραμμα του αυτόματου συντονισμού κεραίας σύμφωνα με τους (Aberle, και συν., 2005).	75
Σχήμα 4.2 Οι ηλεκτρονικές διατάξεις που έχουν κατοχυρωθεί ως άδεια ευρεσιτεχνίας από τους (Song et all, 2012).	76
Σχήμα 4.3 Η πρόταση κυκλώματος αυτόματης προσαρμογής κεραίας από (Litwinczuk, 2005).	76
Σχήμα 4.4 Η κεραία PIFA (α) και το κύκλωμα οδήγησής της (β) από τους (Nguyen et all, 2008).	77
Σχήμα 4.5 Σχηματικό διάγραμμα αυτόματου συντονισμού από τους (Panayi P., 2001).	77
Σχήμα 4.6 Μέτρηση του S_{11} και ανάδραση στην κεραία από (Rostbakken et all, 1995).	78
Σχήμα 4.7 Το διάγραμμα των κυκλωμάτων για τον αυτόματο συντονισμό κεραίας <i>patch</i> από τον (White, 2010).	78
Σχήμα 4.8 Σχηματικό διάγραμμα αυτόματου συντονισμού από (Raptis et all, 2010).	79
Σχήμα 4.9 Η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος για την παραγωγή φέροντος.	80
Σχήμα 4.10 Παραγωγή φέροντος για την συχνότητα των 902.58MHz.	80
Σχήμα 4.11 Παραγωγή φέροντος για την συχνότητα των 906.8MHz.	81
Σχήμα 4.12 Δομή Directional Coupler τεσσάρων (α) και τριών (β) θυρών.	82
Σχήμα 4.13 Δομή διπλού κατευθυντικού συζεύκτη τεσσάρων θυρών.	82
Σχήμα 4.14 Ανιχνευτής με Schottky δίοδο.	84
Σχήμα 4.15 Μετατροπή θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική τάση.	85
Σχήμα 4.16 Η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος με τον ανιχνευτή ισχύος TRUE RMS AD8361.	87
Σχήμα 4.17 Η έξοδος του AD8361 σε σχέση με την είσοδο. Με μπλε η ιδανική και με κόκκινο η πειραματική καμπύλη.	87
Σχήμα 4.18 Φωτογραφία ολοκληρωμένου συστήματος αυτόματης προσαρμογής συχνότητας συντονισμού.	89
Σχήμα 6.1 Η γεννήτρια σημάτων βασισμένη στο ADF4360.	93
Σχήμα 6.2 Ανιχνευτής στασίμου κύματος.	94
Σχήμα 6.3 Μετρητής στασίμων κυμάτων.	95
Σχήμα 6.4 Ολοκληρωμένο σύστημα	96
Σχήμα 7.1 Διάγραμμα ροής κώδικα μικροελεγκτή.	98

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1 Ζώνες Συχνοτήτων για μερικές ασύρματες εφαρμογές.	23
Πίνακας 3-1 Διαστάσεις της πρώτης κεραίας PIFA.	52
Πίνακας 3-2 Διαστάσεις της δεύτερης κεραίας PIFA.....	58
Πίνακας 3-3 Τιμές παρασιτικής χωρητικότητας για διάφορες τιμές του εμβαδού του πλατό. 64	
Πίνακας 3-4 Διαστάσεις της τρίτης κεραίας PIFA.	68
Πίνακας 3-5 Διαστάσεις της τέταρτης κεραίας PIFA.....	72

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

dB	Decibel
DCS	Digital Communication systems
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EM	Electromagnetic
FD	Frequency Domain
FDTD	Finite Different Time Domain
FEM	Finite Element Method
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile communications
HF	High Frequency
HFSS	High Frequency Structure Simulator
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
LHCP	Left Hand Circular Polarization
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
MOM	Moment of Method
PCS	Personal Communication System
PIFA	Planar Inverted-F Antenna
PIN	Positive-Intrinsic-Negative
RF	Radio Frequency
RHCP	Right Hand Circular Polarization
RLC	Resistance, Inductance and Capacitance
SAR	Specific Absorption Rate
TD	Time Domain
UHF	Ultra-High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VNA	Vector Network Analyzer
WAP	Wireless Application Protocol
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1.1 Εισαγωγή

Στις τηλεπικοινωνίες ο όρος ασύρματες επικοινωνίες (wireless communication) (IT-Specific Encyclopedia) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στην μεταφορά πληροφορίας σε μικρές αποστάσεις (μερικά μέτρα όπως το τηλεκοντρόλ τηλεόρασης) ή μεγάλες αποστάσεις (χιλιάδες χιλιόμετρα στις επικοινωνίες βραχέων κυμάτων) χωρίς την χρήση καλωδίων. Κοινά παραδείγματα συσκευών που βασίζονται στην ασύρματη επικοινωνία και που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι: κινητά τηλέφωνα, συστήματα προσδιορισμού θέσης (GPS), δορυφορική τηλεόραση, ραδιόφωνο, τηλεκοντρόλ, τηλεειδοποιητές, κάρτες ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification - RFID), ασύρματα δίκτυα (Wireless Local Area Network - WLAN, Wireless Personal Area Network - WPAN). Η ασύρματη τεχνολογία τα τελευταία χρόνια έχει έναν σημαντικό ρόλο στις ζωές των ανθρώπων είτε έμμεσα είτε άμεσα. Τα πιο πρόσφατα παραδείγματα ασύρματων επικοινωνιών περιλαμβάνουν τις παρακάτω τεχνολογίες - πρότυπα:

- Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global System for Mobile Communication - GSM): ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιείται και σε πολλές άλλες χώρες του κόσμου.
- General Packet Radio Service – GPRS: υπηρεσία μεταφοράς πακέτων δεδομένων που επιτρέπει την αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 115 Kbps.
- Enhanced Data rates for Global Evolution - EDGE: εξέλιξη του GSM με μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τα 384 Kbps. Βασισμένο στις τεχνολογίες μετάδοσης πακέτων και μεταγωγής κυκλώματος δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης πολυμεσικών και άλλων εφαρμογών στους χρήστες κινητών τηλεφώνων και υπολογιστών.

- Universal Mobile Telecommunications System - UMTS: 3ης γενιάς (3G) τεχνολογία, βασισμένη στη μετάδοση πακέτων με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 84 Mbps.
- Wireless Application Protocol – WAP: ένα σύνολο πρωτοκόλλων για την είσοδο στο διαδίκτυο κινητών τηλεφώνων.

Οι ασύρματες επικοινωνίες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: σταθερών, κινητών και φορητών. Οι σταθερές εφαρμογές αναφέρονται στη λειτουργία των ασύρματων συσκευών ή συστημάτων σε σταθερές θέσεις, όπως σπίτια και γραφεία. Οι κινητές ασύρματες εφαρμογές αφορούν διατάξεις ή συστήματα επί κινούμενων οχημάτων (κινητό τηλέφωνο ενσωματωμένο σε όχημα, σύστημα GPS). Οι φορητές ασύρματες εφαρμογές αφορούν φορητές ασύρματες συσκευές που τροφοδοτούνται από μπαταρία, συσκευές ή συστήματα έξω από το γραφείο, το σπίτι ή το όχημα (κινητό τηλέφωνο, PDA).

Οι πρόσφατες τεχνολογίες επιτρέπουν στις ασύρματες συσκευές επικοινωνίας να γίνουν μικρότερες σε μέγεθος. Το μέγεθος της κεραίας είναι προφανώς ένας σημαντικός παράγοντας που περιορίζει το μέγεθος της συσκευής. Το φυσικό μέγεθος της κεραίας είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τη συχνότητα λειτουργίας της. Ωστόσο, η μείωση του φυσικού μεγέθους της κεραίας σημαίνει επίσης μείωση του ηλεκτρικού μεγέθους της, δεδομένου ότι η συχνότητα λειτουργίας των εν λόγω συσκευών δεν αλλάζει. Το ενεργό μήκος της κεραίας εκφράζεται ως κλάσμα του μήκους κύματος, λ . Ως παράδειγμα του ενεργού μήκους, μια κεραία δίπολο $\lambda/2$ στα 1800 MHz ($\lambda = c/f = 16,6$ εκατοστά), είναι 8,3 εκατοστά, επειδή το ενεργό μήκος της είναι $\lambda/2$. Πολλές συσκευές απαιτούν κεραίες της τάξης των $\lambda/4$ ή λιγότερο. Παραδείγματα κεραίων ενεργού μήκους $\lambda/4$ που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν μονόπολα, ελικοειδείς κεραίες, και PIFA (Planar Inverted-F antenna).

Τα προηγούμενα χρόνια έχουν κατασκευαστεί αρκετές κεραίες χαμηλού προφίλ (low profile antenna) για τις φορητές συσκευές. Με κύριο χαρακτηριστικό αυτών το στενό εύρος ζώνης λειτουργίας τους (narrow bandwidth). Μερικά σχέδια μπορούν μόλις να καλύψουν τις απαιτήσεις εύρους ζώνης και ως εκ τούτου, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, διότι δεν υπάρχει περιθώριο στο εύρος ζώνης για τις πιθανές επιδράσεις αποσυντονισμούς που οφείλονται, για παράδειγμα, στην παρουσία του χειριστή.

Επιπλέον, η τάση της αγοράς των προσωπικών ασύρματων συσκευών στρέφεται προς ένα παγκόσμιο σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε. Αυτό απαιτεί ως εκ τούτου λειτουργία πολλαπλής ζώνης συχνοτήτων. Ένας κατάλογος μερικών χρήσιμων ασύρματων εφαρμογών και συχνοτήτων λειτουργίας τους φαίνεται στον Πίνακα 1-1.

Πίνακας 1-1 Ζώνες Συχνοτήτων για μερικές ασύρματες εφαρμογές.

Ασύρματη τεχνολογία	Συχνότητα (MHz)	Bandwidth, MHz (%)
GPS	1570.42-1580.42	10 (07%)
DCS-1800	1710-1880	170 (10.6%)
PCS-1900	1850-1990	140 (7.3%)
IMT-2000/UMTS	1885-2200	315 (15.5%)
ISM (συμπερ. WLAN)	2400-2483	83 (3.4%)
Bluetooth	2400-2500	100 (4.1%)
U-NII	5150-5350 / 5725-5825	200 (3.8%) / 100 (1.7%)

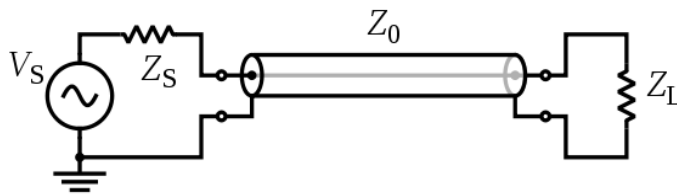
Εν ολίγοις, φυσικά μικρό μέγεθος και υψηλή αποδοτικότητα είναι τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των κεραιών στα κινητά συστήματα.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά σε θεωρητικές έννοιες πάνω στις γραμμές μεταφοράς, τις κεραίες που είναι η τελευταία βαθμίδα στους πομπούς (και πρώτη στους δέκτες) για την μετάδοση ή λήψη της πληροφορίας και τις μεθόδους μοντελοποίησης των για την προσομοίωση των χαρακτηριστικών τους.

2. ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ – ΚΕΡΑΙΕΣ - ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.1 Γραμμές Μεταφοράς

Για τη μετάδοση της πληροφορίας από και προς την κεραία χρησιμοποιούνται γραμμές μεταφοράς. Οι γραμμές μεταφοράς στις χαμηλές συχνότητες χρησιμοποιούνται συνήθως για διανομή ενέργειας ενώ στις υψηλές για την μετάδοση πληροφοριών. Αποτελούνται από δύο αγωγούς που χρησιμοποιούνται για να ενώσουν την πηγή με το φορτίο. Βασικές παράμετροι μιας γραμμής μεταφοράς είναι η αντίσταση R , η επαγωγή L , η χωρητικότητα C και η αγωγιμότητα G και είναι εκφρασμένες ανά μονάδα μήκους.



Σχήμα 2.1 Γραμμή μεταφοράς.

Χαρακτηριστική αντίσταση Z_o της γραμμής μεταφοράς ορίζεται ως ο λόγος του οδεύοντος κύματος τάσης προς το κύμα ρεύματος σε κάθε σημείο στη γραμμή.

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{V_o^+}{I_o^+} = -\frac{V_o^-}{I_o^-} \\ \text{ή} \\ Z_o &= \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = R_o + jX_o \end{aligned} \tag{2.1}$$

όπου R_o το πραγματικό μέρος της αντίστασης και X_o το φανταστικό της μέρος. Όταν η γραμμή μεταφοράς έχει διαφορετική τιμή σύνθετης αντίστασης από το φορτίο (ή την πηγή) που οδηγεί τότε δημιουργούνται στάσιμα κύματα.

2.2 Στάσιμα κύματα

Οι γραμμές μεταφοράς ως μέσο σύνδεσης πηγής και φορτίου παρουσιάζουν φαινόμενα επιστροφής εκπεμπόμενων κυμάτων σε περιπτώσεις μη τέλει προσαρμογής των αντιστάσεών τους. Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να μελετηθούν καλύτερα εισάγοντας τις έννοιες συντελεστής ανάκλασης, λόγος στασίμων κυμάτων, απώλεια επιστροφής, συντελεστές σκεδάσεως.

2.2.1 Συντελεστής ανάκλασης (Γ)

Καθώς το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται από μέσο σε μέσο, από την πηγή, στη γραμμή μεταφοράς και τελικά στην κεραία, μπορεί να συναντήσει διαφορετικές τιμές σύνθετης αντίστασης στο καθένα. Έτσι αναλόγως με το ποσοστό της προσαρμογής ένα μέρος της ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος επιστρέφει πίσω στην πηγή. Το ποσό του επιστρεφόμενου κύματος εκφράζεται με τον λόγο στασίμων κυμάτων $VSWR$. Ο λόγος των πλατών του ηλεκτρικού πεδίου του ανακλώμενου προς το προσπίπτον κύμα ονομάζεται συντελεστής ανάκλασης (*Reflection coefficient*) (Milligan, 2005). Το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης συμβολίζεται με ρ .

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \quad (2.2)$$

Εναλλακτικά μπορεί να υπολογιστεί από τη σύνθετη αντίσταση εισόδου της κεραίας Z_{in} και της γραμμής μεταφοράς Z_o που τροφοδοτεί την κεραία, σύμφωνα με την Εξίσωση (2.3).

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (2.3)$$

2.2.2 Λόγος στασίμων κυμάτων (SWR)

Για την εκτίμηση του ποσοστού του επιστρεφόμενου κύματος σε σχέση με το προσπίπτον, εισάγεται η έννοια του λόγου στασίμων κυμάτων. Ορίζεται ως ο λόγος του μέγιστου πλάτους της τιμής της τάσης V_{max} (ή του ρεύματος) του στάσιμου κύματος που δημιουργείται προς την τιμή του ελάχιστου πλάτους V_{min} . Αν αναφερόμαστε σε μεγέθη τάσεων, ονομάζεται συμβολίζεται με $VSWR$ και αν αναφερόμαστε σε μεγέθη ρευμάτων συμβολίζεται με $ISWR$.

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (2.4)$$

Ο λόγος $VSWR$ συνδέεται με τον συντελεστή ανάκλασης Γ με την Εξίσωση (2.5).

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+\rho}{1-\rho} \quad (2.5)$$

όπου ρ , το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης.

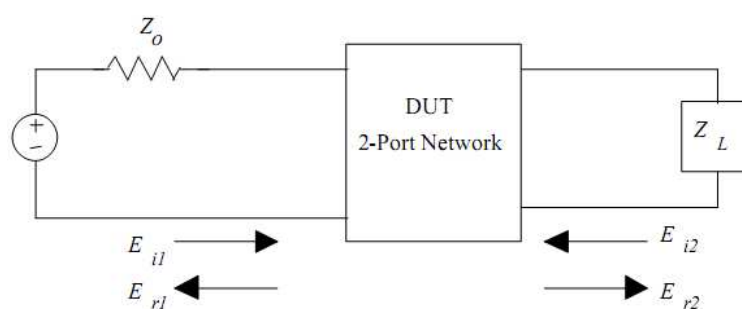
2.2.3 Απώλεια επιστροφής (Return Loss)

Οι απώλειες στην ισχύ λόγω ανάκλασης (*return loss*) υπολογίζονται μέσω της σχέσης:

$$RL = -20 \log \rho \quad (2.6)$$

2.2.4 Συντελεστές σκέδασης – S παράμετροι

Για τη μελέτη των υπο-εξέταση συσκευών ως προς τους παραπάνω συντελεστές χρησιμοποιούμε τον Αναλυτή Δικτυωμάτων (Network Analyzer) όπου μας δίνει πληθώρα μεγεθών. Αν θεωρήσουμε μια συσκευή με δύο πόρτες (εισόδου - εξόδου), όπως το παρακάτω σχήμα μπορούμε να ορίσουμε τις παρακάτω μεταβλητές:



Σχήμα 2.2 Συσκευή με δύο πόρτες εισόδου.

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{E_{i1}}{\sqrt{Z_o}}, a_2 = \frac{E_{i2}}{\sqrt{Z_o}} \\
 b_1 &= \frac{E_{r1}}{\sqrt{Z_o}}, b_2 = \frac{E_{r2}}{\sqrt{Z_o}}
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Οι παράμετροι σκέδασης, σχετίζονται με τις παραπάνω μεταβλητές με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}
 \tag{2.8}$$

ή

$$\begin{aligned}
 b_1 &= S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \\
 b_2 &= S_{21}a_1 + S_{22}a_2
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

Και οι συντελεστές σκέδασης: S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22} , γράφονται ως εξής:

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0}
 \tag{2.10}$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}
 \tag{2.11}$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}
 \tag{2.12}$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}
 \tag{2.13}$$

Ερμηνεύοντας την εξίσωση (2.10) παρατηρούμε ότι ο συντελεστής S_{11} μας δίνει τον λόγο του επιστρεφόμενου κύματος προς το προσπίπτον, μας δίνει δηλαδή τον συντελεστή ανάκλασης.

Για την μέτρηση των στασίμων κυμάτων σε γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται διατάξεις συλλογής μέρους του εκπεμπόμενου και του ανακλώμενου σήματος οι οποίες ονομάζονται κατευθυντικοί συζεύκτες.

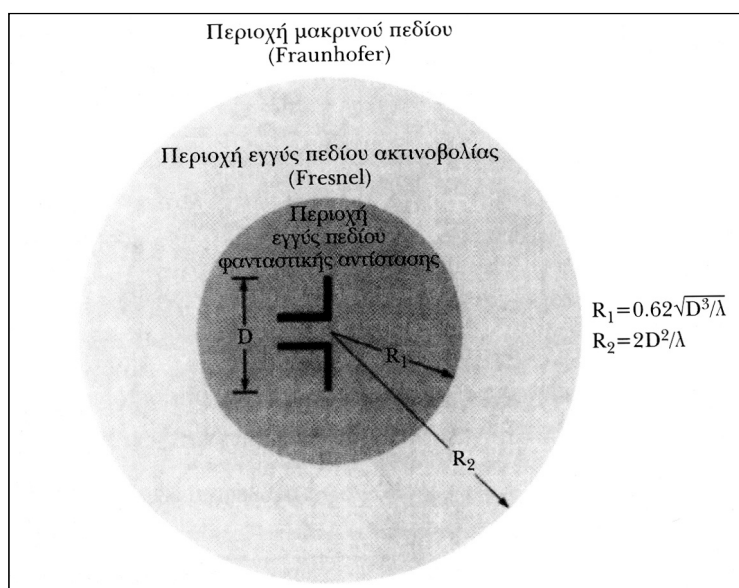
2.3 Κεραίες

Για την περιγραφή των επιδόσεων μιας κεραίας, είναι αναγκαίος ο ορισμός διαφόρων παραμέτρων (Balanis, 2005).

2.3.1 Διάγραμμα Ακτινοβολίας

Ο χώρος γύρω από μια κεραία υποδιαιρείται σε τρεις περιοχές: (α) εγγύς πεδίου φανταστικής αντίστασης, (β) εγγύς πεδίου ακτινοβολίας (Fresnel) και (γ) μακρινού πεδίου (Fraunhofer).

Στην πρώτη περιοχή, η οποία φτάνει έως την απόσταση $0.62\sqrt{D^3/\lambda}$, με D τη μεγαλύτερη διάσταση της κεραίας και λ το μήκος κύματος, το ηλεκτρικό E και το μαγνητικό H πεδίο είναι δύσκολο να διαχωριστούν. Στη δεύτερη περιοχή, η οποία εκτείνεται έως την απόσταση $2D^2/\lambda$, υπάρχει μερικώς διαχωρισμός των δύο πεδίων. Στην τρίτη περιοχή τα δύο πεδία είναι κάθετα το ένα στο άλλο και η γωνιακή κατανομή του πεδίου είναι ανεξάρτητη της απόστασης από την κεραία. Στο Σχήμα 2.3 εμφανίζονται οι περιοχές του πεδίου ακτινοβολίας. Ο σχεδιασμός των πεδίων στο χώρο μας δίνει τα διαγράμματα ακτινοβολίας.



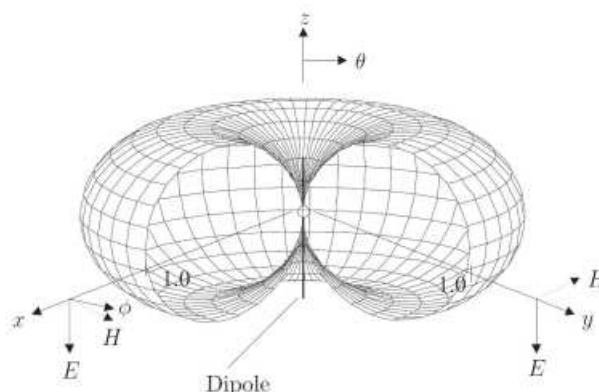
Σχήμα 2.3 Περιοχές πεδίου κεραίας

Διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας, ορίζεται ως η μαθηματική συνάρτηση ή η γραφική παράσταση των ιδιοτήτων ακτινοβολίας της κεραίας συναρτήσει των χωρικών συντεταγμένων. Οι ιδιότητες τις ακτινοβολίας που αναπαρίστανται γραφικά είναι η

πυκνότητα ισχύος, η ένταση ακτινοβολίας, η ένταση του πεδίου, η φάση της κατευθυντικότητας ή η πόλωση. Το διάγραμμα ακτινοβολίας ισχύος σε σημεία σταθερής ακτίνας, λέγεται διάγραμμα ισχύος, ενώ το διάγραμμα της χωρικής μεταβολής του ηλεκτρικού (ή του μαγνητικού πεδίου) λέγεται διάγραμμα πλάτους του πεδίου.

Ανάλογα με το διάγραμμα ακτινοβολίας τους οι κεραίες διαχωρίζονται σε κατευθυντικές και ομοιοκατευθυντικές. Κατευθυντική ονομάζεται η κεραία που εκπέμπει ή λαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα με περισσότερη αποτελεσματικότητα προς ορισμένες διευθύνσεις. Ομοιοκατευθυντική ονομάζεται η κεραία που είναι μη κατευθυντική σε ένα ορισμένο επίπεδο και κατευθυντική σε οποιοδήποτε κάθετο επίπεδο. Η κεραία που είναι μη κατευθυντική σε όλα τα επίπεδα ονομάζεται ισοτροπική. Αποτελεί μια μη υλοποιήσιμη υποθετική κεραία.

Στο διάγραμμα ακτινοβολίας διακρίνονται τμήματα που εμφανίζονται με μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας σε σχέση με άλλα και ονομάζονται λοβοί. Διακρίνονται σε κύριους ή μέγιστους, σε μικρότερους, σε πλευρικούς και σε οπίσθιους λοβούς. Ο μέγιστος λοβός ακτινοβολίας περιέχει τη διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας. Ο πλευρικός λοβός προσανατολίζεται κατά μια κατεύθυνση διαφορετική από την επιθυμητή και συνήθως γειτνιάζει με τον κύριο λοβό. Ο οπίσθιος λοβός είναι ο λοβός που ο άξονάς του σχηματίζει γωνία περίπου 180° ως προς τη διεύθυνση της ακτινοβολίας. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας συνήθως σχεδιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα (dB). Στο Σχήμα 2.4 παρίσταται το διάγραμμα ακτινοβολίας ενός διπόλου.



Σχήμα 2.4 Διάγραμμα ακτινοβολίας Διπόλου

2.3.2 Πυκνότητα Ισχύος Ακτινοβολίας

Η ισχύς των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων περιγράφεται με το διάνυσμα Poynting.

$$W = E \times H \quad (2.1)$$

Όπου W το στιγμιαίο διάνυσμα Poynting (W/m^2), E και H η στιγμιαία ένταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα σε (V/m) και (A/m).

Το διάνυσμα Poynting εκφράζει πυκνότητα ισχύος και στο μακρινό πεδίο ονομάζεται πυκνότητα ακτινοβολίας.

2.3.3 Ένταση Ακτινοβολίας

Η ένταση ακτινοβολίας σε μια ορισμένη διεύθυνση, ορίζεται ως η ισχύς που ακτινοβολείται από μια κεραία ανά μονάδα στερεάς γωνίας. Υπολογίζεται από το γινόμενο της πυκνότητας ακτινοβολίας επί του τετραγώνου της απόστασης.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.14)$$

Όπου U η ένταση της ακτινοβολίας ($W/μονάδα\ στερεάς\ γωνίας$), W_{rad} η πυκνότητα ακτινοβολίας (W/m^2).

2.3.4 Κατευθυντικότητα

Η κατευθυντικότητα (directivity) μιας κεραίας ορίζεται ως ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια κεραία σε μια δεδομένη διεύθυνση προς την μέση ακτινοβολία που εκπέμπει συνολικά σε όλες τις κατευθύνσεις. Αν δεν προσδιορίζεται η διεύθυνση, τότε λαμβάνεται η διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας. Η μέση ένταση προκύπτει από το πηλίκο της ολικής ακτινοβολούμενης ισχύος προς το 4π .

$$D = \frac{U}{U_o} = \frac{U}{P_{rad} / 4\pi} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.15)$$

Όπου D η κατευθυντικότητα, U η ένταση ακτινοβολίας (W/sr), U_o η ένταση ακτινοβολίας ισοτροπικής πηγής (W/sr) και P_{rad} η ολική ακτινοβολούμενη ισχύς (W).

2.3.5 Απολαβή

Η απόλυτη απολαβή (absolute gain) μιας κεραίας σε μια ορισμένη διεύθυνση ορίζεται ως ο λόγος της έντασης σε μια δεδομένη διεύθυνση προς την ένταση που θα προέκυπτε αν η κεραία ακτινοβολούσε ισοτροπικά την ισχύ που δέχεται. Η ένταση της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην ισοτροπική ακτινοβολή της ισχύος ισούται με την ισχύ που δέχεται η κεραία στην είσοδό της διαιρούμενη δια του 4π .

$$G = \frac{U}{U_{yp.iss}} = \frac{U}{P_{in} / 4\pi} = \frac{4\pi U}{P_{in}} \quad (2.16)$$

Όπου G η απολαβή, U η ένταση ακτινοβολίας (W/sr), $U_{yp.iss}$ η ένταση που θα προέκυπτε αν η κεραία ακτινοβολούσε ισοτροπικά την ισχύ που δέχεται (W/sr), P_{in} η ολική ισχύς εισόδου (W).

Η σχετική απολαβή ορίζεται ως ο λόγος της έντασης της απολαβής ισχύος σε μια ορισμένη διεύθυνση προς την απολαβή ισχύος μιας κεραίας αναφοράς στην αναφερόμενη διεύθυνση. Με την προϋπόθεση η κεραία αναφοράς να έχει την ίδια ισχύ εισόδου με την υπό εξέταση κεραία.

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in(αναφοράς)}} \quad (2.17)$$

Η απολαβή συνδέεται με την κατευθυντικότητα με τη σχέση:

$$G = e_{cd} D \quad (2.18)$$

Όπου e_{cd} η απόδοση ακτινοβολίας της κεραίας.

2.3.6 Απόδοση κεραίας (Efficiency)

Ο λόγος της ισχύος που ακτινοβολείται P_r από μια κεραία, προς την ισχύ που καταναλώνεται από αυτή P_{in} , ονομάζεται απόδοση κεραίας.

$$e_o = \frac{P_r}{P_{in}} \quad (2.19)$$

Αν συμπεριλάβουμε τις απώλειες από τους ακροδέκτες εισόδου, τις απώλειες λόγω ανακλάσεων και της αποπροσαρμογής της κεραίας και της γραμμής μεταφοράς, η συνολική απόδοση μιας κεραίας, μπορεί να γραφτεί:

$$e_o = e_r e_c e_d \quad (2.20)$$

όπου e_o η ολική απόδοση, e_r η απόδοση ανακλάσεων, e_c η απόδοση αγωγιμότητας και e_d η διηλεκτρική απόδοση. Το γινόμενο της απόδοσης αγωγιμότητας με τη διηλεκτρική απόδοση συμβολίζεται ως e_{cd} και ονομάζεται απόδοση ακτινοβολίας.

2.3.7 Απόδοση Ακτινοβολίας (Radiation Efficiency)

Η απόδοση ακτινοβολίας e_{cd} εκφράζεται ως ο λόγος της ισχύος που καταναλώνεται στην αντίσταση ακτινοβολίας R_r προς την ισχύ που καταναλώνεται στις R_r και R_L και μπορεί να γραφτεί σύμφωνα με την Εξίσωση (2.21).

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_L + R_r} \quad (2.21)$$

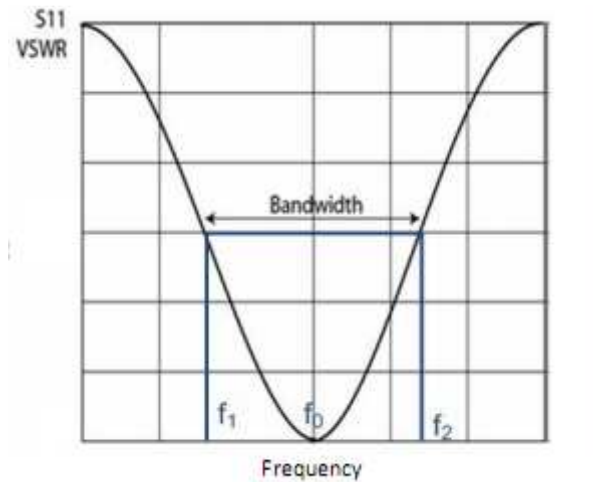
2.3.8 Εύρος Δέσμης Μισής Ισχύος (Half – Power Beamwidth)

Το εύρος δέσμης μισής ισχύος ορίζεται ως η γωνία, στο επίπεδο που περιέχει τη διεύθυνση του μεγίστου της δέσμης, μεταξύ των δύο διευθύνσεων όπου η ένταση της ακτινοβολίας είναι η μισή της μέγιστης.

2.3.9 Εύρος Ζώνης (Bandwidth)

Το εύρος ζώνης κεραίας ορίζεται ως η περιοχή εκείνη των συχνοτήτων όπου οι επιδόσεις της κεραίας, ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά, ικανοποιούν κάποιες ειδικές προδιαγραφές. Συνήθως λαμβάνεται ως η περιοχή λειτουργίας όπου ο λόγος στασίμων κυμάτων είναι μικρότερος από 2:1. Σε κεραίες στενής ζώνης, το εύρος ζώνης ορίζεται και ως το ποσοστό της διαφοράς της μεγαλύτερης συχνότητας λειτουργίας f_2 από την μικρότερη f_1 , ως προς την

κεντρική συχνότητα της f_0 (Σχήμα 2.5) με f_1 και f_2 να ικανοποιούν τις προδιαγραφές του λόγου στασίμων κυμάτων που επιθυμούμε.



Σχήμα 2.5 Μέτρηση Εύρους Ζώνης.

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (2.22)$$

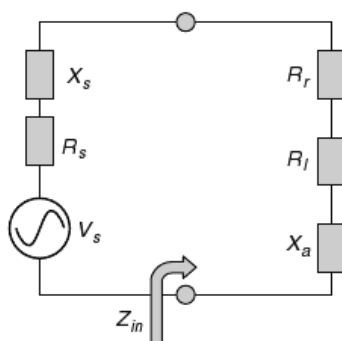
όπου f_2 η ανώτατη συχνότητα λειτουργίας, f_1 η κατώτατη και f_0 η κεντρική.

2.3.10 Πόλωση (Polarization)

Η πόλωση μιας κεραίας σε δεδομένη διεύθυνση ορίζεται ως η πόλωση του κύματος που ακτινοβολείται από την κεραία. Αν δεν ορίζεται η διεύθυνση, τότε θεωρείται η διεύθυνση της μέγιστης απολαβής. Ταξινομείται ως γραμμική, κυκλική ή ελλειπτική ανάλογα αν το διάνυσμα που περιγράφει το ηλεκτρικό πεδίο συναρτήσει του χρόνου κινείται κατά μήκος μιας γραμμής, αν διαγράφει σχήμα κύκλου ή αν διαγράφει έλλειψη. Οι περιπτώσεις της κυκλικής και ελλειπτικής πόλωσης διακρίνονται ανάλογα με την φορά περιστροφής του ηλεκτρικού πεδίου, σε δεξιόστροφη (αν κινείται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού) και σε αριστερόστροφη (αν κινείται αντίθετα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού).

2.3.11 Σύνθετη αντίσταση εισόδου

Η σύνθετη αντίσταση εισόδου ορίζεται ως η σύνθετη αντίσταση που εμφανίζει μια κεραία στους ακροδέκτες της και υπολογίζεται από τον λόγο της τάσης προς το ρεύμα στους ακροδέκτες της. Αναλύεται δε από το άθροισμα της ωμικής R_A και φανταστικής αντίστασης X_A στους ακροδέκτες της. Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζεται η παραπάνω ανάλυση μιας κεραίας συνδεδεμένη με μια πηγή τάσης V_s και αντίστασης R_s και X_s .



Σχήμα 2.6 Σύνθετη αντίσταση εισόδου κεραίας συνδεδεμένη σε πηγή.

$$Z_A = R_A + j X_A \quad (2.23)$$

Το ωμικό μέρος της αντίστασης αποτελείται από δυο συνιστώσες. Την ωμική αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας (R_r) και την ωμική αντίσταση απωλειών R_L της κεραίας.

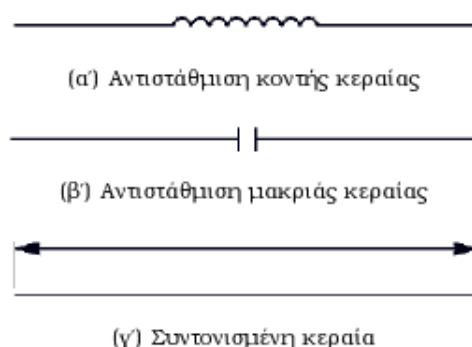
$$R_A = R_r + R_L \quad (2.24)$$

Η σύνθετη αντίσταση εισόδου μιας κεραίας είναι συνάρτηση της συχνότητας και εξαρτάται μεταξύ άλλων από τη γεωμετρία της, τον τρόπο διέγερσης της και την παρουσία γύρω αντικειμένων.

2.3.12 Ηλεκτρικό Μήκος κεραίας

Εάν μια κεραία είναι πολύ μικρή για το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται, συντονίζεται σε υψηλότερη συχνότητα από εκείνη που διεγείρεται. Εμφανίζει συνεπώς μια χωρητική αντίσταση στη συχνότητα διέγερσης που μπορεί να αντισταθμιστεί με την εισαγωγή επαγωγικής αντίστασης. Παρόμοια, εάν η κεραία είναι πολύ μεγάλη για τη συχνότητα

λειτουργίας, τότε εμφανίζει επαγωγική αντίσταση που μπορεί να αντισταθμιστεί με χωρητική αντίσταση [Σχήμα 2.7]



Σχήμα 2.7 Ρύθμιση ηλεκτρικού μήκους κεραίας.

2.4 Κεραίες για τις ασύρματες επικοινωνίες

Κατά καιρούς έχουν κατασκευαστεί πολλοί τύποι κεραιών που καλύπτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Μπορούν να ταξινομηθούν σε αυτές που κατασκευάζονται από σύρμα (δίπολο, ελικοειδής, Yagi-Uda), σε αυτές που κατασκευάζονται σε επιφάνειες διηλεκτρικών (patch antennas, U-shape, Slot) και παραλλαγές αυτών (PIFA) και σε αυτές που έχουν τρεις διαστάσεις (horn, κωνοειδής, κάτοπτρα). Στα κινητά τηλέφωνα, η ανάγκη προφύλαξης της κεραίας από τα χτυπήματα, ανάγκασε τους ερευνητές να κατασκευάσουν κεραίες οι οποίες θα κρύβονται στο σώμα της συσκευής.

Ανάλογα αν μπορούν να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά εκπομπής τους ή όχι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις σταθερές και τις επαναπροσδιοριζόμενες κεραίες.

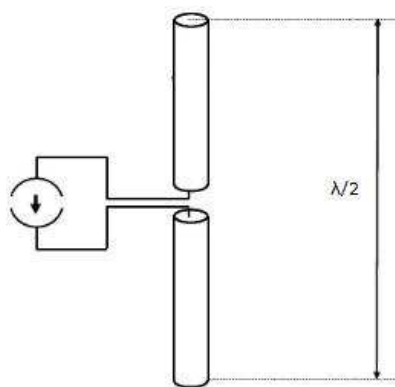
2.5 Σταθερές κεραίες

Οι σταθερές κεραίες χαρακτηρίζονται από σταθερά χαρακτηριστικά εκπομπής. Συχνότητα, διαγράμματα ακτινοβολίας, πόλωση παραμένουν αμετάβλητα. Εάν είναι επιθυμητή η χρήση μιας σταθερής κεραίας σε περισσότερες από μια συχνότητες, τεχνικές όπως η δημιουργία εσοχών (για τη δημιουργία μεγαλύτερων διαδρομών στο ρεύμα) (Nnshnal et all, 2003), (Nashaat et all, 2005), η δημιουργία κενών περιοχών στην ακτινοβολούσα επιφάνεια (Aziz et all 2011), η δημιουργία προεξοχών, η τοποθέτηση βραχυκυκλωτικών επιφανειών ή ακίδων

για την αύξηση του εύρους ζώνης (Jung et all 2007) και την κάλυψη περισσότερων από μιας συχνότητας εκπομπής χρησιμοποιούνται ευρέως.

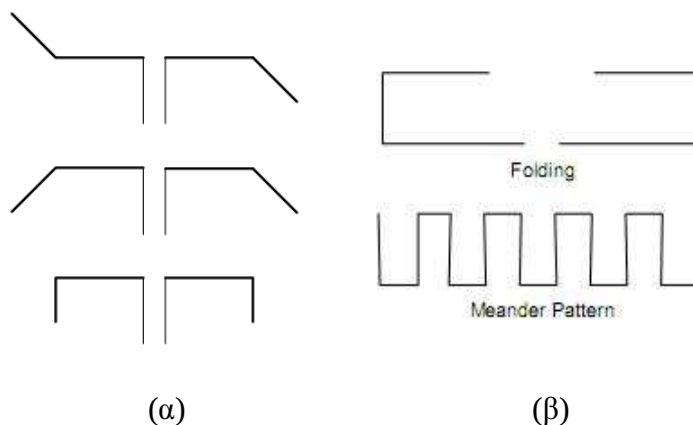
2.5.1 Κεραία Δίπολο

Η κεραία δίπολο είναι η βασικότερη κεραία. Αναπτύχθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα από τον Heinrich R. Hertz. Αποτελείται από δύο ίδιου μήκους ευθύγραμμα σύρματα ενωμένα στη μέση με μία προσαρμοσμένη πηγή τροφοδοσίας [Σχήμα 2.8]. Το μήκος του διπόλου πρέπει να είναι $1/2$ του μήκους κύματος ($\lambda/2$) που χρησιμοποιείται η κεραία.



Σχήμα 2.8 Η κεραία Δίπολο

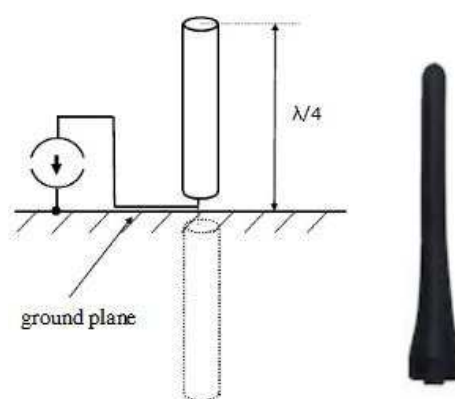
Διαφοροποιήσεις από την παραπάνω μορφή έχουν γίνει για την βελτίωση του διαγράμματος ακτινοβολίας του ως προς την διεύθυνση των συρμάτων [Σχήμα 2.9.α]. Για τη μείωση των διαστάσεων του πολλές τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί. Η αναδίπλωση και η τεχνική μαιάνδρου εμφανίζονται στο Σχήμα 2.9.β.



Σχήμα 2.9 Διαφορετικοί τύποι διπόλου για την αλλαγή του διαγράμματος ακτινοβολίας του.

2.5.2 Μονόπολο

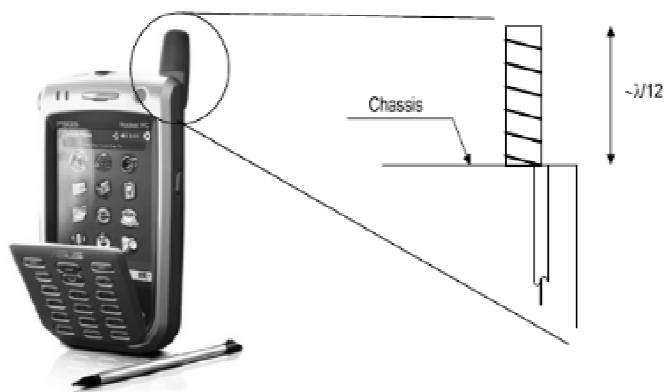
Εάν στο δίπολο αντικαταστήσουμε το ένα μέρος του με ένα επίπεδο γείωσης τότε το εναπομένειν μισό δίπολο, αντικατοπτρίζει τον εαυτό του στο επίπεδο γείωσης [Σχήμα 2.10]. Η συμπεριφορά του μονόπολου είναι σαν του διπόλου με παρόμοιο διάγραμμα ακτινοβολίας. Μπορεί να διπλωθεί, να πάρει το σχήμα μαιάνδρου ή οποιαδήποτε άλλο σχήμα. Χρησιμοποιείται συνήθως στις συσκευές κινητής τηλεφωνίας σε χώρες με περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη. (Huang & Boyle, 2008). Τα πλεονεκτήματα αυτής της κεραίας στις συσκευές κινητής τηλεφωνίας είναι η υψηλή απόδοσή της.



Σχήμα 2.10 Το μονόπολο, ο κατοπτρισμός του και πρωτότυπο κεραίας κινητού.

2.5.3 Ελικοειδής κεραία

Η ελικοειδής κεραία πρωτοπαρουσιάστηκε το 1950. Αποτελείται από μια περιστρεφόμενη περί τον άξονά της έλικα και ένα επίπεδο γείωσης [Σχήμα 2.11] (Kraus, 1998). Με την ελικοειδή κεραία πετυχαίνεται μια δραστική μείωση του μήκους της κεραίας και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνταν κατά κόρον στις πρώτες συσκευές κινητής τηλεφωνίας και στους τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους. Έχει το πλεονέκτημα της ευρυζωνικής εμπέδισης, είναι κυκλικά πολωμένη και έχει μικρό μήκος (Volakis, 2007). Το βασικό της μειονέκτημα όμως είναι ότι τοποθετείται εξωτερικά της συσκευής κινητής τηλεφωνίας και μπορεί εύκολα να σπάσει. Αυτός είναι και ο λόγος που οι κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων αναγκάστηκαν να τις αντικαταστήσουν με άλλες, στο εσωτερικό των συσκευών.



Σχήμα 2.11 Η ελικοειδής κεραία σε ένα κινητό τηλέφωνο.

2.5.4 Κεραία Σχισμοειδούς Ανοίγματος

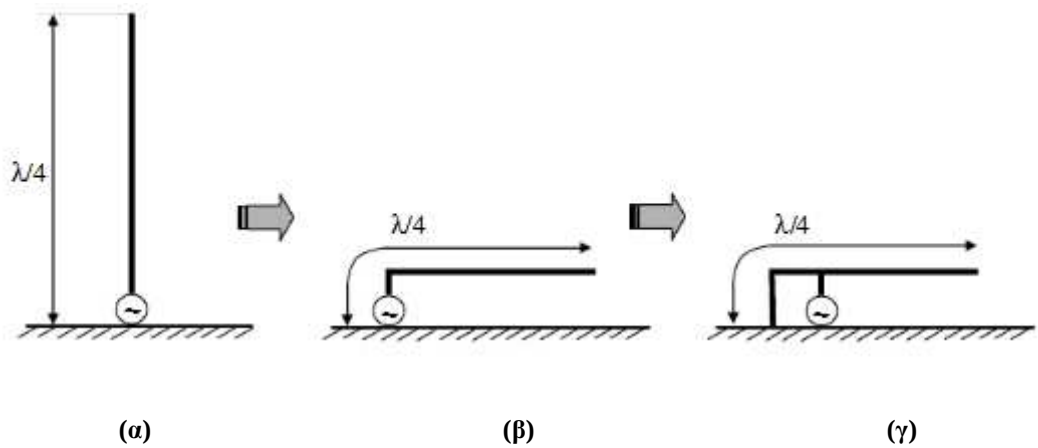
Η κεραία Σχισμοειδούς Ανοίγματος (Slot Antenna) μπορεί να κατασκευαστεί από την κεραία δίπολο [Σχήμα 2.12], με την απαίτηση πως όπου στο δίπολο έχουμε κενό χώρο, στην κεραία slot θα έχουμε αγωγίμη επιφάνεια.



Σχήμα 2.12 Το δίπολο και η Σχισμοειδούς Ανοίγματος.

2.5.5 Κεραία Ανεστραμμένου F

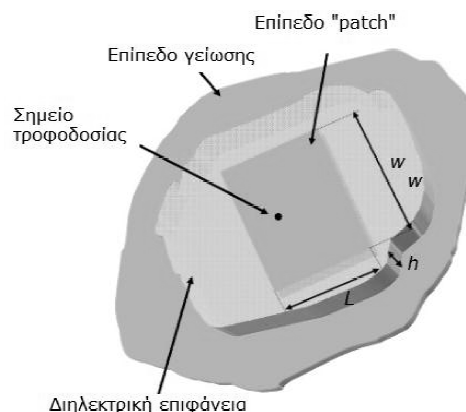
Εάν το μονόπολο καμφθεί και έτσι ώστε να είναι παράλληλο με την επιφάνεια γείωσης, έχουμε την κεραία τύπου ανεστραμμένου L (Inverted L) [Σχήμα 2.13.β] (Soras et all 2002). Προσθέτοντας ένα στοιχείο βραχυκυκλώματος προς το επίπεδο γείωσης έχουμε την κεραία τύπου ανεστραμμένου F (IFA - Inverted F Antenna) [Σχήμα 2.13.γ]. Ενώ στις κεραίες δίπολο και μονόπολο η αντίσταση εισόδου είναι σταθερή, στην κεραία IFA είναι δυνατή η αλλαγή της αλλάζοντας το σημείο τροφοδοσίας. Το πλεονέκτημά της είναι οι μικρές διαστάσεις.



Σχήμα 2.13 Το μονόπολο, η κεραία L και η κεραία IFA.

2.5.6 Κεραία Μικροταινιακού Καλύμματος

Η κεραία τύπου Μικροταινιακού Καλύμματος (Patch Antenna), αποτελείται από δύο οριζόντιες επιφάνειες η μία μικρότερη της άλλης. Ανάμεσα από τις επιφάνειες μπορεί να υπάρχει αέρας ή κάποιος διηλεκτρικός μονωτής. Η μεγαλύτερη επιφάνεια είναι η επιφάνεια γείωσης [Σχήμα 2.14]. Η μικρότερη επιφάνεια που βρίσκεται άνωθεν του επιπέδου της γείωσης (patch), τροφοδοτείται μέσω ενός αγωγού οριζόντιου ή κάθετου στις επιφάνειες. Αξίζει να σημειωθεί πως η θέση του σημείου τροφοδοσίας αλλάζει την αντίσταση εισόδου της κεραίας (Panayi P., 2001).



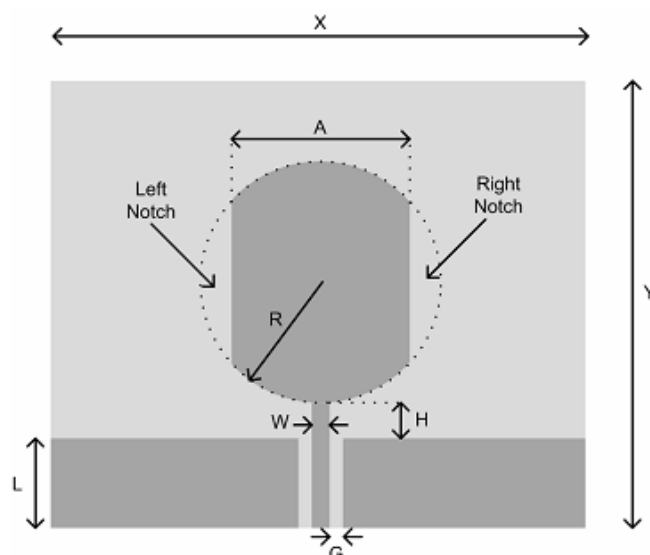
Σχήμα 2.14 Η κεραία Μικροταινιακού Καλύμματος.

Για να επιτύχουμε διαφορετικές απαιτήσεις υλοποίησης κάθε φορά, η μορφή της κεραίας μπορεί να πάρει διαφορετικά σχήματα (Chen, 2007), (James & Hall, 1989). Κάνοντας σχισμές, μαιάνδρους ή προσθέτοντας αγωγίμες επιφάνειες πάνω από το patch μπορούμε να

επιτύχουμε περισσότερες από μια συχνότητες συντονισμού (Wong, 2003). Τα πλεονεκτήματα της κεραίας Μικροταινιακού Καλύματος είναι το μικρό κόστος κατασκευής, η ευκολία κατασκευής, το χαμηλό κόστος και οι μικρές διαστάσεις. Μειονεκτήματά της η χαμηλή απόδοση και το στενό εύρος ζώνης.

2.5.7 Κεραίες ευρείας ζώνης (UWB)

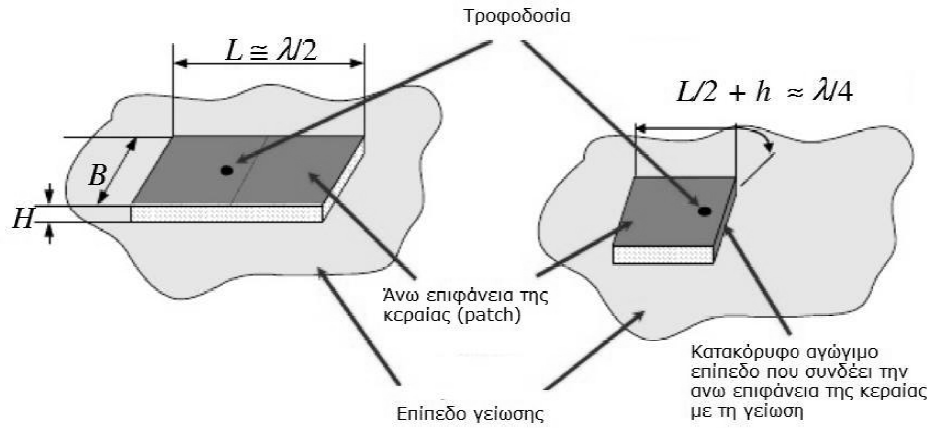
Μια μεγάλη κατηγορία κεραιών με εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης εκπομπής είναι και οι κεραίες τύπου μονόπολο κυκλικού δίσκου (Tatsis, Raptis & Kostarakis, 2010) και οι τύπου Επίπεδου Αντίποδα Vivaldi (Chen, 2007, σ. 257). Υλοποιούνται και οι δύο πάνω σε πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος.



Σχήμα 2.15 Η κεραία μονόπολο κυκλικού δίσκου (Tatsis, Raptis, & Kostarakis, 2010)

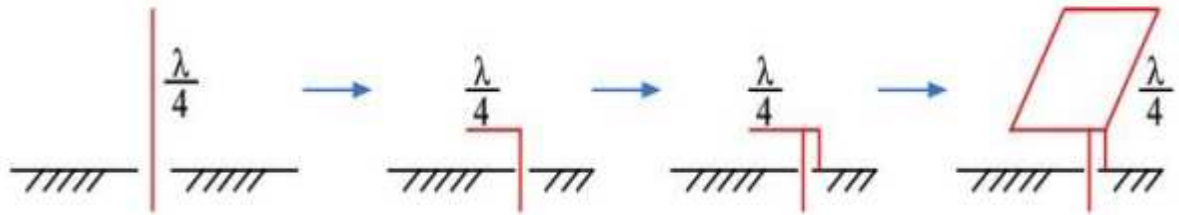
2.5.8 Κεραία PIFA

Κάμπτοντας την άνω επιφάνεια της κεραίας Μικροταινιακού Καλύματος σε μήκος περίπου ίσο με το μισό του μήκους του και ενώνοντάς το με το επίπεδο γείωσης, έχουμε την κεραία PIFA (Planar Inverted F Antenna) [Σχήμα 2.16]. Παρατηρούμε με αυτόν τον τρόπο τον υποδιπλασιασμό της μεγαλύτερης διάστασης της κεραίας. Οι μικρές τις διαστάσεις, η ευκολία κατασκευής της και το μικρό της κόστος την έχουν αναδείξει ως την πιο δημοφιλή κεραία κινητών τηλεφώνων από την δεκαετία του 1990.



Σχήμα 2.16 Η κεραία Μικροταινιακού Καλύμματος και πως από αυτήν προκύπτει η κεραία PIFA.

Σε άλλες μελέτες (Volakis, 2007), βλέπουμε πως μπορούμε να κατασκευάσουμε μια κεραία PIFA προσθέτοντας μία διάσταση στην κεραία IFA, κάνοντας την τριών διαστάσεων.



Σχήμα 2.17 Δημιουργία της PIFA από την κεραία μονόπολο.

Στο Σχήμα 2.18 με διακεκομμένη γραμμή εμφανίζεται η διαδρομή που κάνει το σήμα στην κεραία. Η διαδρομή του ρεύματος είναι (Mishra et al):

$$L = l_1 + l_2 - w + h \approx \frac{\lambda}{4} \quad (2.25)$$

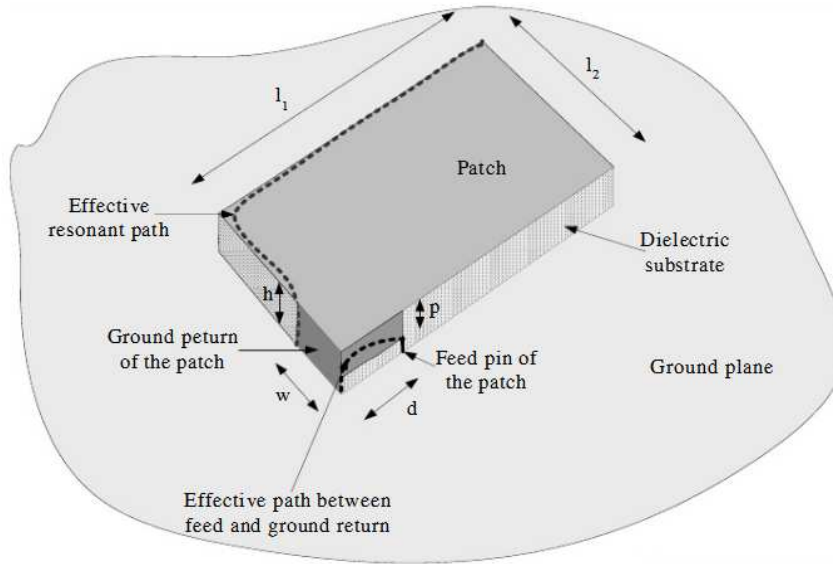
όπου l_1 και l_2 οι διαστάσεις μήκος και πλάτος του άνω επιπέδου (patch), h η απόσταση του patch από το επίπεδο γείωσης και w το πλάτος του κάθετου επιπέδου ένωσης των δύο επιπέδων, όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.18.

Συνεπώς η πρώτη συχνότητα συντονισμού μπορεί να βρεθεί από την 2.26 (Taga, 1992):

$$f = \frac{c_0}{4\sqrt{\epsilon_{r,eff}} \cdot (l_1 + l_2 - w + h)} \quad (2.26)$$

όπου c_0 η ταχύτητα του φωτός στο κενό και $\epsilon_{r,eff}$ η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υποστρώματος που βρίσκεται ανάμεσα από τις δύο επιφάνειες.

Στη μελέτη των (Taga & Tsunekawa, 1987) διαπιστώνεται για την μορφή του Σχήματος 2.18 ότι το εύρος ζώνης της κεραίας αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης του patch από το επίπεδο γείωσης.

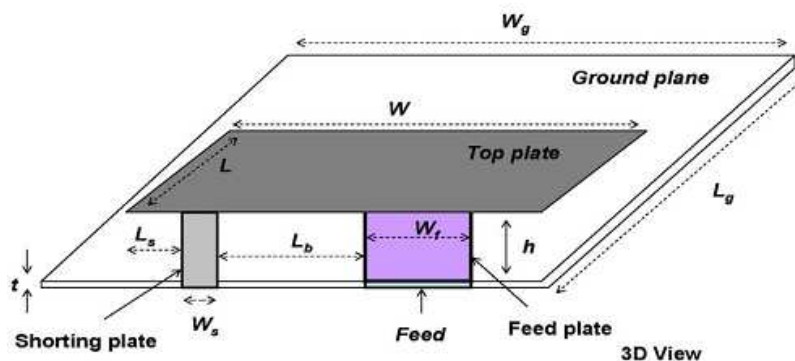


Σχήμα 2.18 Η διαδρομή που ακολουθεί το ρεύμα στην κεραία PIFA.

Άλλες μελέτες (Chattha et al 2009), δίνουν την συχνότητα συντονισμού με μεγαλύτερη ακρίβεια, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες διαστάσεις της κεραίας [Σχήμα 2.19].

$$f_o = \frac{c}{3W + 5.6L + 3.7h - 3W_f - 3.7W_s - 4.3L_b - 2.5L_s} \quad (2.27)$$

όπου W το πλάτος, L το μήκος του άνω επιπέδου, h το ύψος της κεραίας, W_f το πλάτος του στοιχείου τροφοδοσίας, W_s το πλάτος της λωρίδας βραχυκύκλωσης των δύο επιπέδων, L_b η απόσταση του στοιχείου τροφοδοσίας από την λωρίδα βραχυκύκλωσης, L_s η απόσταση της λωρίδας βραχυκύκλωσης από την κορυφή της κεραίας.



Σχήμα 2.19 Η κεραία PIFA σύμφωνα με τους Chattha, et all, 2009).

Η τάση των κατασκευαστών κινητών τηλεφώνων για όλο και πιο μικρά σε μέγεθος κινητά τηλέφωνα, οδήγησε τους ερευνητές στην υλοποίηση όσο το δυνατόν μικρότερων κεραιών κατασκευασμένες πάνω σε επιφάνειες (Planar Antennas) για περισσότερη μηχανική αντοχή. Έτσι ο ποιο διαδομένος τύπος κεραιών είναι η κεραία τύπου PIFA.

2.6 Επαναπροσδιοριζόμενες κεραίες κινητών τηλεφώνων

Η επίδραση του ανθρώπινου σώματος στα χαρακτηριστικά των κεραιών των κινητών τηλεφώνων ανάγκασε τους κατασκευαστές να δημιουργήσουν κεραίες που αλλάζουν τα χαρακτηριστικά τους λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση του ανθρώπινου σώματος. Όταν ο χρήστης κρατά το κινητό τηλέφωνο ή το πλησιάζει στο κεφάλι του, δεν αλλάζει μόνο ο λοβός ακτινοβολίας και η απόδοσή της (Zervos, et al., 2005), αλλά χάνει και τον συντονισμό της (Su, et all, 2006), (Chan et all, 2005). Σε αντίθεση με τις σταθερές κεραίες οι επαναπροσδιοριζόμενες κεραίες αλλάζουν τα χαρακτηριστικά εκπομπής τους για την εκπλήρωση των εκάστοτε απαιτήσεων.

2.6.1 Τύποι επαναπροσδιοριζόμενων κεραιών

Οι επαναπροσδιοριζόμενες κεραίες είναι δυνατόν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το ποιο χαρακτηριστικό εκπομπής τους αλλάζουν (Abutarboush, 2011):

- Κεραίες με επαναπροσδιορισμό συχνότητας. Οι τεχνικές αλλαγής της συχνότητας συντονισμού μιας κεραίας βασίζονται στην αλλαγή της γεωμετρίας της. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μηχανικά είτε ηλεκτρονικά. Στον μηχανικό τρόπο αλλαγής της

γεωμετρίας της κεραίας συνηθισμένη είναι η χρήση κοχλίων (Chiu et all, 2007), όπου αλλάζει μία ή περισσότερες διαστάσεις της κεραίας. Στον ηλεκτρονικό τρόπο η αλλαγή συχνότητας επιτυγχάνεται είτε διακριτά είτε συνεχόμενα. Στην πρώτη περίπτωση πραγματοποιείται μεταπήδηση της συχνότητας λειτουργίας σε διαφορετικές ζώνες λειτουργίας με τη χρήση ηλεκτρικά οδηγούμενων μικρο-διακοπών όπου γίνεται η αποκοπή τμημάτων της κεραίας MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) (Karmakar, 2003) (Pan et all, 2008), (Kingsley et all, 2007), (Anagnostou et all, 2005), (Christodoulou et all, 2006), PIN διόδων (Yeu et all, 2010), (Komulainen et all, 2008) ή διόδων σήραγγος (Srivastava et all, 2003). Ο συνεχόμενος επαναπροσδιορισμός της συχνότητας επιτυγχάνεται με τη χρήση μεταβλητών στοιχείων χωρητικότητας (varactor) (Panayi P., 2001), (Liang & Yang, 2009), (Nguyen et all, 2008), (Holland et all, 2006) και (Chiu et all, 2007), (Quevedo-Teruel et all, 2010). Συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συνεχή αλλαγή της συχνότητας λειτουργίας της κεραίας σε περισσότερες από μια ζώνες λειτουργίας (Yang et all, 2009).

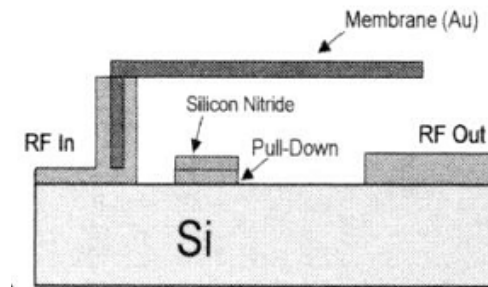
- Κεραίες με επαναπροσδιορισμό του λοβού ακτινοβολίας. Σε αυτή την περίπτωση είναι επιθυμητή η αλλαγή του λοβού ακτινοβολίας της κεραίας. (Kountouriotis et all, 2011), (Nikolaou, et al., 2006), (Lia et all, 2010)
- Κεραίες με επαναπροσδιορισμό πόλωσης. Σε αυτήν την κατηγορία, επιτυγχάνεται η αλλαγή της πόλωσης της κεραίας είτε από γραμμική σε κυκλική είτε από δεξιόστροφη σε αριστερόστροφη και (Kim et all, 2008)

2.6.2 Τεχνικές ηλεκτρονικού επαναπροσδιορισμού συχνότητας

Διακόπτες RF-MEMS

Οι διακόπτες RF MEMS (Radio Frequency Microelectromechanical System) είναι ηλεκτρονικά εξαρτήματα με μηχανικά μετακινούμενα μέρη τα οποία χρησιμοποιούνται ως ανοιχτά ή κλειστά κυκλώματα σε RF συχνότητες. Χρησιμοποιούνται συχνά σε περιπτώσεις που χρειάζονται να αποκόπτονται ηλεκτρονικά τμήματα μιας κεραίας (Yang et all, 2006), για την αλλαγή του ηλεκτρικού της μήκους και σε συστάδες κεραιών για την στροφή του λοβού ακτινοβολίας τους. Έχουν τα πλεονεκτήματα της σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ισχύος, της

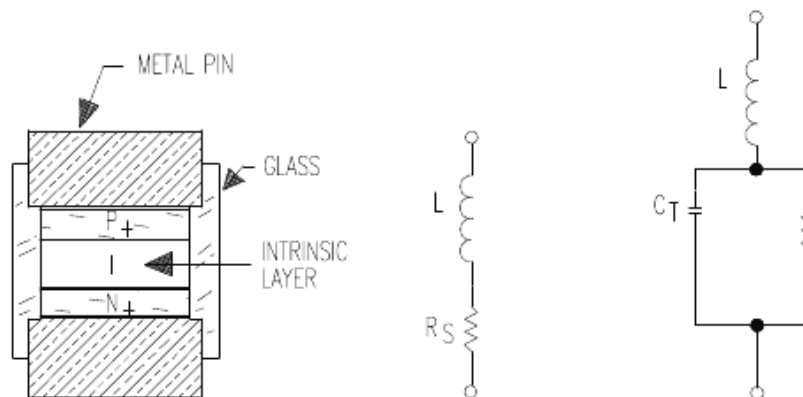
υψηλής ηλεκτρικής απομόνωσης και του πολύ μεγάλου εύρους λειτουργίας, αλλά μειονέκτημα την υψηλή τάσης οδήγησης (Yang et al, 2009).



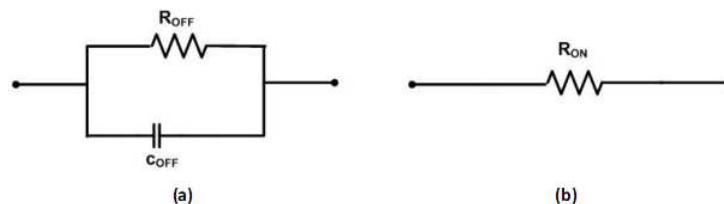
Σχήμα 2.20 Απεικόνιση διαγράμματος RF MEMS διακόπτη (Anagnostou et al, 2005)

Διακόπτες PIN Δίοδοι

Οι PIN δίοδοι λειτουργούν ως διακόπτες στα RF κυκλώματα. Έχουν το πλεονέκτημα της πολύ μικρής τάσης οδήγησης το πολύ μικρό κόστος κτήσης και της υψηλής αξιοπιστίας μιας που δεν έχουν κανένα μηχανικά κινούμενο μέρος (Yang et al, 2009).



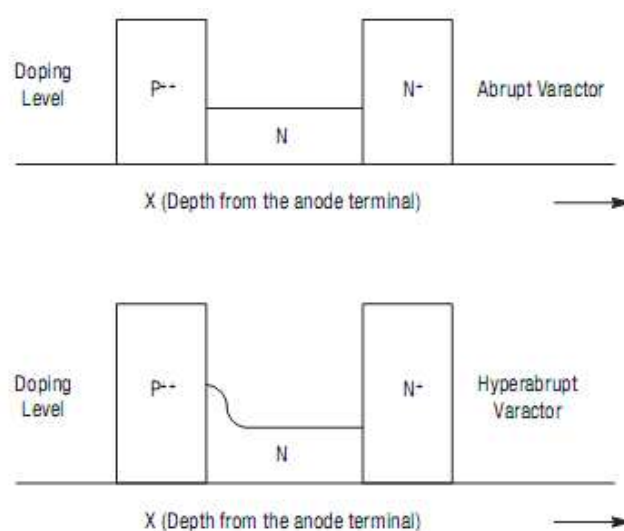
Σχήμα 2.21 Η δίοδος PIN και τα ισοδύναμα κυκλώματα ορθής και ανάστροφης πόλωσης. (Microsemi, 1998)



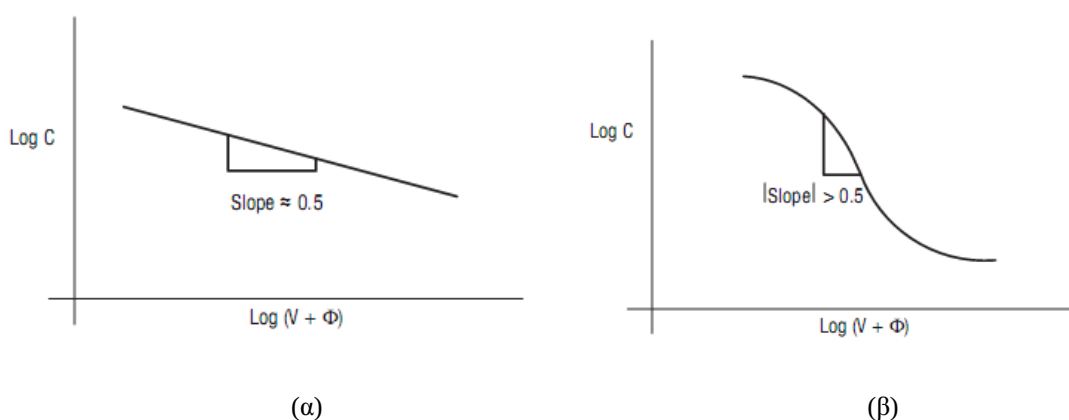
Σχήμα 2.22 Ισοδύναμο κύκλωμα της διόδου PIN για την κατάσταση OFF (α) και ON (β).

Δίοδος VARACTOR - Δίοδος μεταβλητής χωρητικότητας

Η δίοδος μεταβλητής χωρητικότητας (ή δίοδος Varactor ή Varicap) είναι μια ανάστροφα πολωμένη δίοδος P-N, της οποίας η περιοχή απογύμνωσης αντιστοιχεί σε μεταβλητό πυκνωτή. Ανάλογα με την κατασκευή της περιοχής εμπλουτισμού διακρίνονται στις *Abrupt* και τις *Hyperabrupt Varactor* [Σχήμα 2.23] και αντίστοιχα έχουν διαφορετική συμπεριφορά στην μεταβολή της χωρητικότητας τους ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τάση στα άκρα τους όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.24.



Σχήμα 2.23 Εσωτερική δομή διόδων Abrupt και Hyperabrupt Varactor.



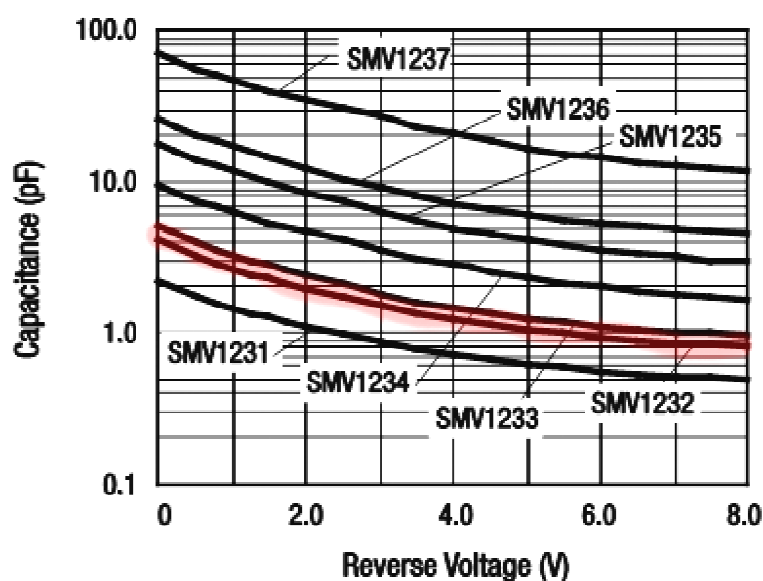
Σχήμα 2.24 Καμπύλη μεταβολής της χωρητικότητας για τις Abrupt (α) και Hyperabrupt (β) varactor.

Η χωρητικότητά της είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την επιβαλλόμενη εξωτερική τάση, σύμφωνα με την Εξ. 3.4.

$$C = \frac{C_o}{(1+V/\Phi)^\gamma} \quad (2.28)$$

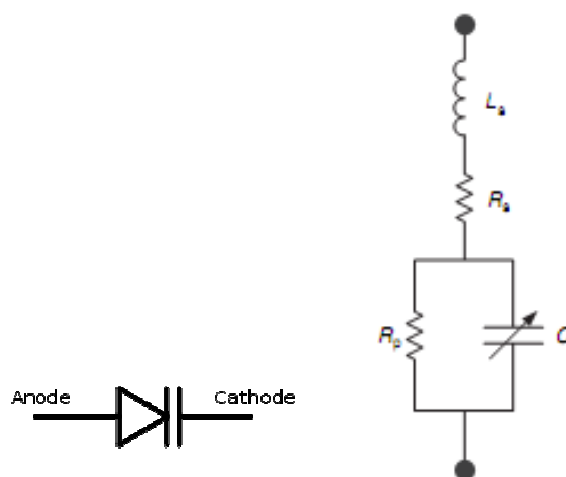
όπου C_o η χωρητικότητα μηδενικής τάσης, V η επιβαλλόμενη τάση, Φ το δυναμικό φραγμού και γ η κλίση της καμπύλης $\text{Log}C - \text{Log}(V+\Phi)$ (Antognetti, Dec, 1998), (Skyworks Solutions, 2008).

Στο Σχήμα 2.25 απεικονίζεται ένα τυπικό διάγραμμα της εξάρτησης της χωρητικότητας με την εφαρμοζόμενη τάση για την varactor SMV1232 της εταιρίας Skyworks Solution που χρησιμοποιήσαμε.



Σχήμα 2.25 Η χωρητικότητα σε εξάρτηση με την εφαρμοζόμενη τάση για την SMV1232 (Skyworks Solution, 1998).

Διαφορετικές προσεγγίσεις κατασκευής (PN, MOS) δίνουν διαφορετικές καμπύλες C - V (Inigo Gutierrez, 2006). Η χωρητικότητα ανάλογα με την διόδο, λαμβάνει τιμές μεταξύ 1-200 pF. Στο Σχήμα 2.26 παρουσιάζονται ο συμβολισμός και το ισοδύναμο κύκλωμα της διόδου. Η αντίσταση ορθής πόλωσης είναι πολύ μικρή (μερικά Ω), ενώ αντίθετα η αντίσταση ανάστροφης πόλωσης πολύ μεγάλη (τάξης $M\Omega$).



Σχήμα 2.26 Συμβολισμός και ισοδύναμο κύκλωμα διόδου Varactor.

2.7 Μέθοδοι μοντελοποίησης

Για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των κεραιών έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές. Κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: στο πεδίο του χρόνου (TD) και στο πεδίο των συχνοτήτων (FD).

- FDTD (Finite-Difference Time-Domain) - Πεπερασμένες Διαφορές στο Πεδίο του Χρόνου

Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Διαφορών στο Πεδίο του Χρόνου, FDTD δεν χρησιμοποιείται για επίλυση προβλημάτων μεγάλων διαστάσεων αλλά περισσότερο για επίλυση συστημάτων με παλμούς. Σε αυτή την τεχνική το μοντέλο χωρίζεται σε κελιά όπου και ο χρόνος σε χρονικές στιγμές. Σε αυτή τη μέθοδο πρέπει να ληφθεί υπόψη η πλευρά των κελιών να είναι μικρότερη από το $1/10$ του μήκους κύματος της υψηλότερης συχνότητας που χρησιμοποιείται στη μοντελοποίηση καθώς και η διάρκεια του χρονικού βήματος η οποία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε κανένα σημείο του κύματος να μην διαπεράσει περισσότερα από ένα κελιά σε αυτό το χρονικό διάστημα.

- MOM (Method of Moment) - Μέθοδος των Ροπών

Προσεγγιστική υπολογιστική μέθοδος μέσω ολοκληρωτικών εξισώσεων στο πεδίο των συχνοτήτων, των οποίων η προσέγγιση γίνεται με τη μέθοδο των ροπών (Κουγιουμτζής, 2010). Στη μέθοδο αυτή ο άγνωστος είναι τα ρεύματα στις μεταλλικές επιφάνειες, οι οποίες

χωρίζονται σε τμήματα (segments), στα οποία το ρεύμα μπορεί να είναι σταθερό ή γραμμικό και η ανάλυση καταλήγει σε ένα πυκνό σύστημα εξισώσεων ως προς τα άγνωστα ρεύματα των τμημάτων αυτών.

- FEM (Finite Element Method) - Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων

Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, υπήρχε η ανάγκη να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι. Μία τέτοια μέθοδος είναι και η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων. Η Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων είναι μια μαθηματική τεχνική εύρεσης προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων και ολοκληρωτικών εξισώσεων στο πεδίο των συχνοτήτων.

Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα.

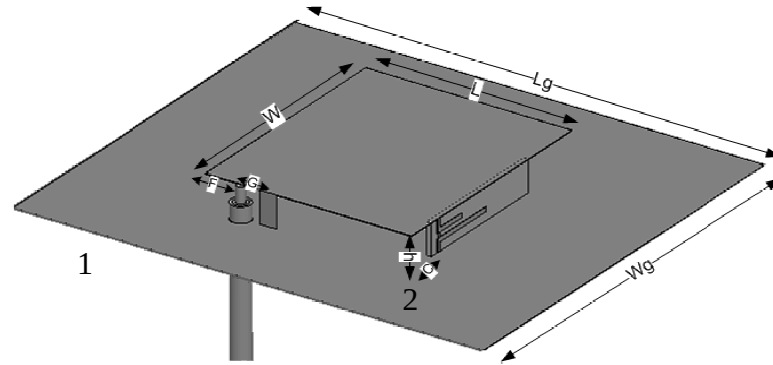
3. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΑΣ PIFA

3.1 Εισαγωγή

Η ανάγκη εύρεσης μιας κεραίας για τις κινητές συσκευές στενού εύρους ζώνης και χαμηλού προφίλ μας οδήγησε στην χρήση της κεραίας PIFA. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη της αλλαγής της συχνότητας συντονισμού τεσσάρων κεραιών PIFA και κατασκευή με προσθήκη στοιχείου χωρητικότητας, για τη συχνότητα των GSM-900. Η μελέτη περιλαμβάνει την προσομοίωση των μοντέλων ως προς πως επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά εκπομπής τους με τη μεταβολή στις διαστάσεις τους και τη μεταβολή της τιμής της χωρητικότητας. Τα συμπεράσματα των προσομοιώσεων θα μας βοηθήσουν στην επιλογή της κατασκευής τους και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

3.2 Γεωμετρία της πρώτης κεραίας

Η γεωμετρία της πρώτης κεραίας που μελετήθηκε εμφανίζεται στο Σχήμα 3.1 (Raptis etall, 2010). Αποτελείται από ένα επίπεδο γείωσης διαστάσεων $W_g \times L_g$ και πάνω σ' αυτό σε απόσταση h (ύψος κεραίας) βρίσκεται το επίπεδο που ακτινοβολεί, διαστάσεων $W \times L$. Το άνω επίπεδο τροφοδοτείται μέσω ενός ομοαξονικού καλωδίου (semi-ridged) σε απόσταση F από την γωνία με την ένδειξη 1 και ενώνεται με το κάτω επίπεδο μέσω ενός αγωγίμου επιπέδου σε απόσταση G από το σημείο τροφοδοσίας. Στην μία προσκείμενη πλευρά με την πλευρά που βρίσκεται η τροφοδοσία, βρίσκεται ένα στοιχείο χωρητικότητας. Το στοιχείο αυτό απέχει από την πλευρά του επιπέδου ακτινοβολίας απόσταση C .



Σχήμα 3.1 Η γεωμετρία της 1^{ης} κεραίας PIFA.

Το επίπεδο γείωσης καθώς και το επίπεδο που ακτινοβολεί είναι κατασκευασμένα σε δύο διαφορετικές πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος (*PCB FR-4*) πάχους τ . Το επίπεδο της γείωσης έχει την χάλκινη πλευρά της πλακέτας προς τα πάνω και το επίπεδο ακτινοβολίας έχει την χάλκινη πλευρά προς τα κάτω. Στον Πίνακα 3-1 εμφανίζονται οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της.

Πίνακας 3-1 Διαστάσεις της πρώτης κεραίας PIFA.

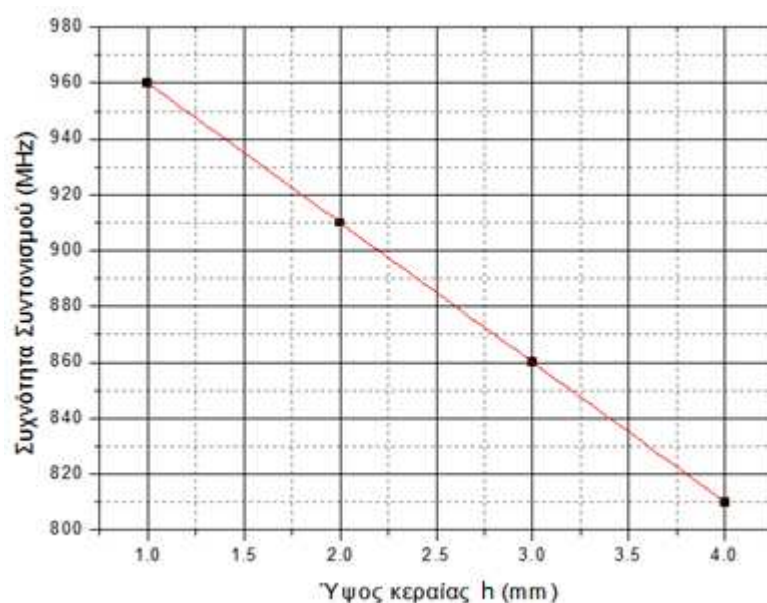
Παράμετρος	Επεξήγηση	Τιμή
W_g	Πλάτος επιπέδου γείωσης	46.4 mm
L_g	Μήκος επιπέδου γείωσης	52.8 mm
W	Πλάτος επιπέδου ακτινοβολίας	23.1 mm
L	Μήκος επιπέδου ακτινοβολίας	26.4 mm
h	Ύψος κεραίας	3.6 mm
W_f	Πλάτος κατακόρυφου επιπέδου βραχυκύκλωσης	1.9 mm
F	Απόσταση τροφοδοσίας από την κορυφή 1	3.0 mm
G	Απόσταση τροφοδοσίας από κατακόρυφο επίπεδο	1.0 mm
C	Απόσταση χωρητικότητας από την κορυφή 2	4.4 mm
ϵ_r	Διηλεκτρική σταθερά της πλακέτας PCB	4.4
τ	Πάχος πλακέτας PCB	1.5 mm

3.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

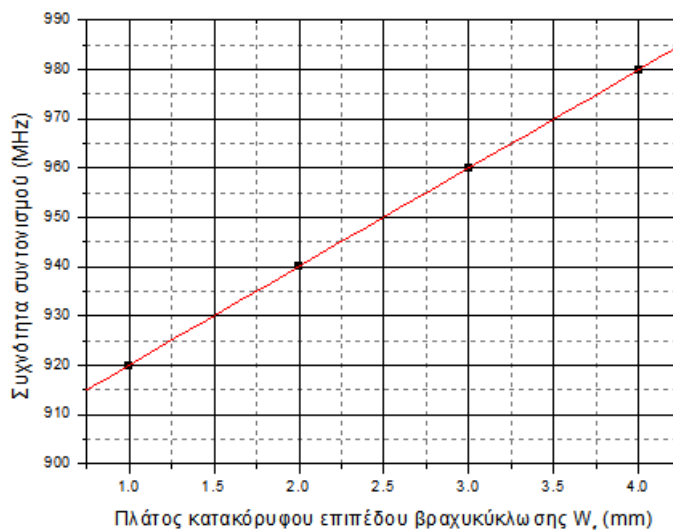
Με την παραπάνω γεωμετρία της κεραίας πραγματοποιήθηκαν τέσσερα πειράματα. Στα τρία πρώτα εξετάζεται η συμπεριφορά της συχνότητας συντονισμού σε σχέση με την εκάστοτε παράμετρο που εξετάζεται.

Πείραμα 1^ο: Διατηρούμε όλες τις διαστάσεις της κεραίας σταθερές και μεταβάλλουμε το ύψος της. Το ύψος παίρνει τιμές από 1 mm έως 4 mm. Τα αποτελέσματα παρίστανται γραφικά στο Σχήμα 3.2.

Πείραμα 2^ο: Διατηρούμε όλες τις διαστάσεις της κεραίας σταθερές και μεταβάλλουμε το πλάτος του επιπέδου που βραχυκυκλώνει το επίπεδο ακτινοβολίας με το επίπεδο γείωσης. Οι τιμές του πλάτους είναι από 1 mm έως 4 mm. Τα αποτελέσματα παρίστανται γραφικά στο Σχήμα 3.3.



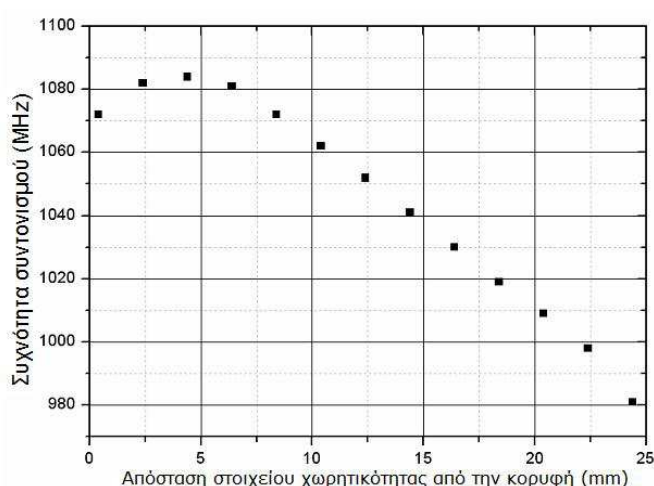
Σχήμα 3.2 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με το ύψος της κεραίας (h).



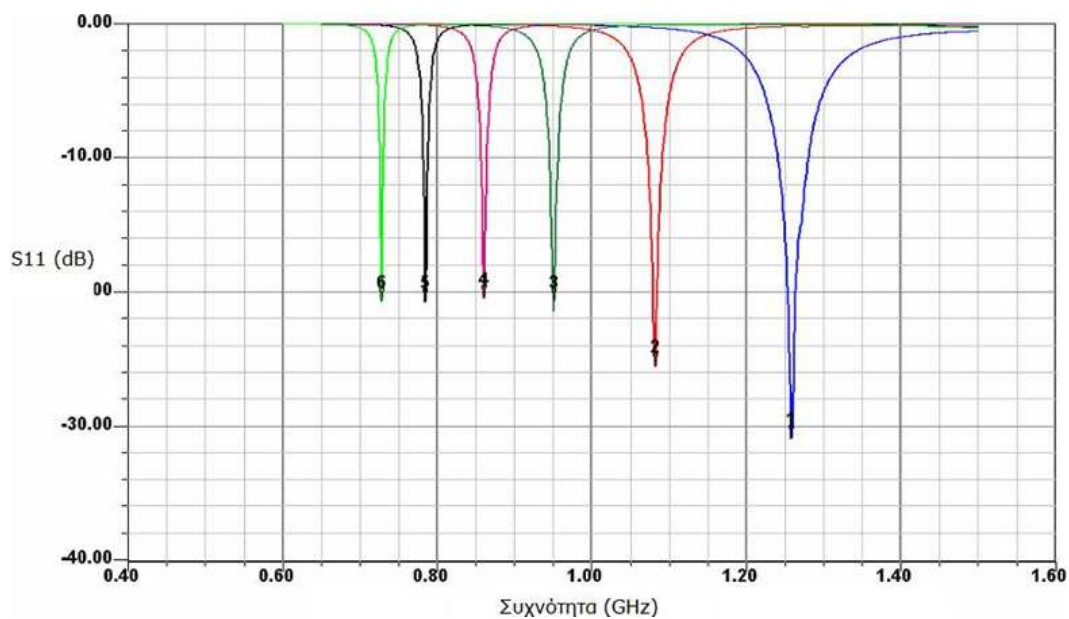
Σχήμα 3.3 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με το πλάτος (W_t) του επιπέδου βραχυκύκλωσης.

Πείραμα 3^ο: Διατηρούμε όλες τις διαστάσεις της κεραίας σταθερές και μεταβάλλουμε την απόσταση του στοιχείου χωρητικότητας από την κορυφή 2. Οι τιμές της απόστασης κυμαίνονται C από 0 mm έως 25 mm. Τα αποτελέσματα παρίστανται γραφικά στο Σχήμα 3.4.

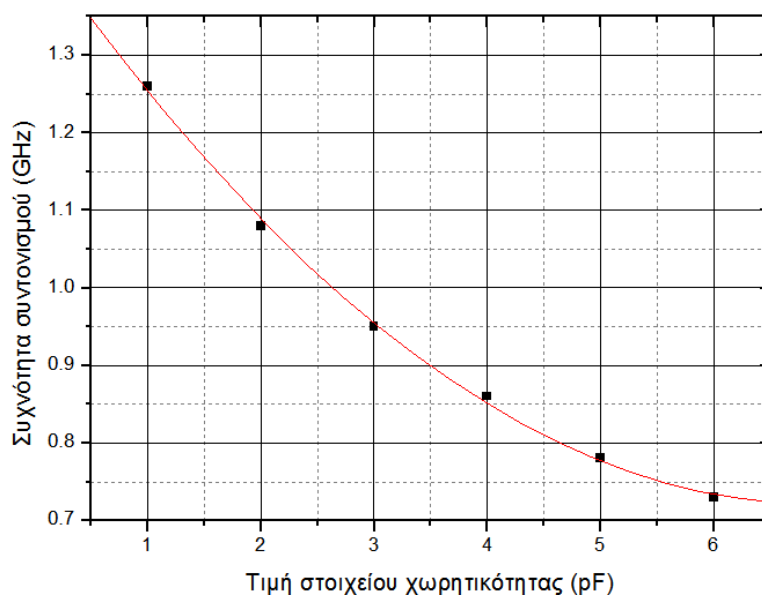
Πείραμα 4^ο: Διατηρούμε όλες τις διαστάσεις της κεραίας σταθερές και μεταβάλλουμε την τιμή του στοιχείου χωρητικότητας από 1 pF έως 6 pF. Τα αποτελέσματα παρίστανται γραφικά στο Σχήμα 3.5. Στο Σχήμα 3.6 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με την τιμή (C) του στοιχείου χωρητικότητας. Σχήμα 3.6 απεικονίζεται η εξάρτηση της συχνότητας συντονισμού σε σχέση με την χωρητικότητα του στοιχείου μεταβλητής χωρητικότητας.



Σχήμα 3.4 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με την απόσταση (C) του στοιχείου χωρητικότητας από την κορυφή 2.



Σχήμα 3.5 Συντελεστής ανάκλασης S_{11} σε σχέση με την τιμή του στοιχείου χωρητικότητας.



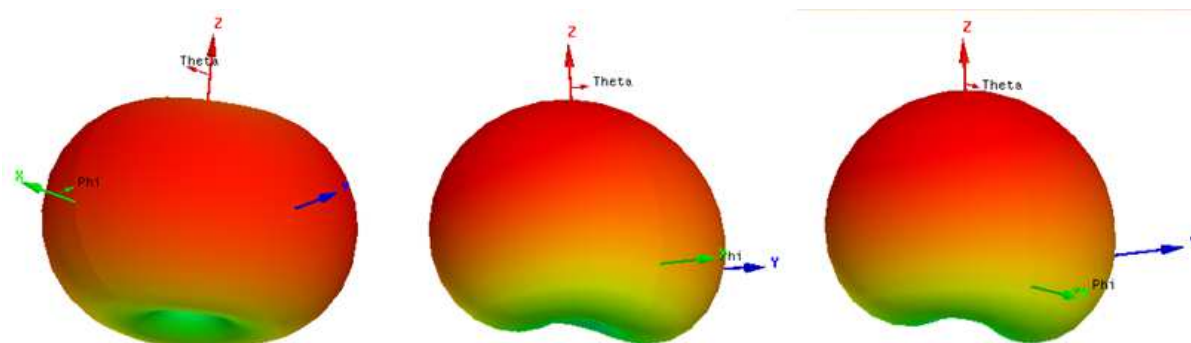
Σχήμα 3.6 Συχνότητα συντονισμού σε σχέση με την τιμή (C) του στοιχείου χωρητικότητας.

Στο Σχήμα 3.7 απεικονίζεται η απολαβή της κεραίας για τιμές χωρητικότητας 1, 2 και 3 pF.



Σχήμα 3.7 Η απολαβή της κεραίας για $C = 1, 2$ και 3 pF.

Και στο Σχήμα 3.8 απεικονίζεται το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας για αυτές τις τιμές χωρητικότητας.

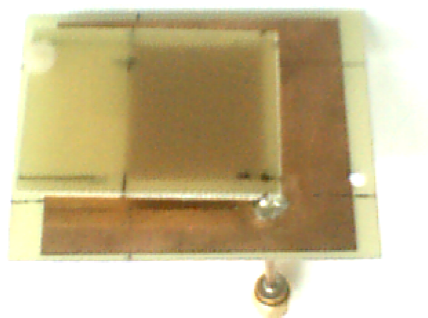


Σχήμα 3.8 Διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας για $C = 1, 2$ και 3 pF.

Παρατηρούμε πως δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή στο διάγραμμα ακτινοβολίας με την αλλαγή της χωρητικότητας.

3.4 Κατασκευή

Η κατασκευή της πρώτης κεραίας έγινε με τη φωτολιθογραφική μέθοδο και η τροφοδοσία της έγινε μέσω ενός Semi ridged καλωδίου διαμέτρου 1 cm.



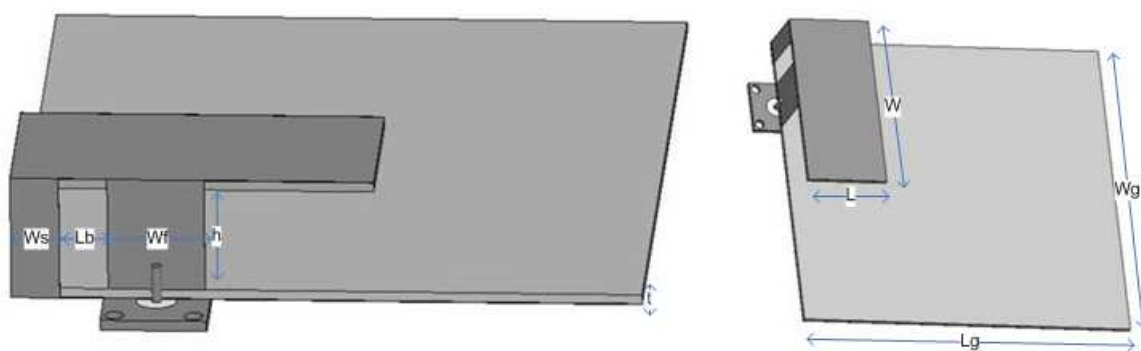
Σχήμα 3.9 Φωτογραφία της 1^{ης} κεραίας PIFA.

3.5 Συμπεράσματα

Παρατηρούμε πως αλλάζοντας την τιμή του στοιχείου χωρητικότητας μπορούμε να μεταβάλλουμε τη συχνότητα συντονισμού της κεραίας. Συγκεκριμένα αυξάνοντας την τιμή της χωρητικότητας, η συχνότητα συντονισμού μικραίνει κάτι το οποίο συμφωνεί με την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Αντικαθιστώντας το στοιχείο χωρητικότητας με μια μεταβλητή χωρητικότητα μπορούμε να πετύχουμε μεταβολή στη συχνότητα συντονισμού. Η κατασκευή της 1^{ης} κεραίας μας εμφάνισε τις δυσκολίες που μπορεί να προκύψουν στην κόλληση των εξαρτημάτων του κυκλώματος μεταβλητής χωρητικότητας λόγω του μικρού ύψους της και για τον λόγο αυτό προσομοιώθηκαν και άλλοι τύποι PIFA.

3.6 Γεωμετρία της δεύτερης κεραίας

Η γεωμετρία της δεύτερης κεραίας βασίστηκε στην έρευνα των (Chattha et al, 2009) και αναπαρίσταται στο Σχήμα 3.10. Αποτελείται από ένα επίπεδο γείωσης διαστάσεων $W_g \times L_g$ και πάνω σ' αυτό σε απόσταση h (ύψος κεραίας) βρίσκεται το επίπεδο που ακτινοβολεί, διαστάσεων $W \times L$. Το άνω επίπεδο ενώνεται με το κάτω επίπεδο μέσω ενός κατακόρυφου αγωγίμου επιπέδου πάχους W_s . Η κεραία τροφοδοτείται από έναν SMA σύνδεσμο ο οποίος βρίσκεται συγκολλημένος στο κέντρο ενός αγωγίμου επιπέδου πλάτους W_f . Το επίπεδο τροφοδοσίας και το επίπεδο που ενώνει τα δύο οριζόντια επίπεδα απέχουν απόσταση L_b .



Σχήμα 3.10 Η γεωμετρία της δεύτερης κεραίας PIFA.

Το επίπεδο γείωσης και το επίπεδο που ακτινοβολεί είναι κατασκευασμένα σε δύο πλακέτες *PCB FR-4* πάχους t η καθεμία. Στον Πίνακα 3-2 εμφανίζονται οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της.

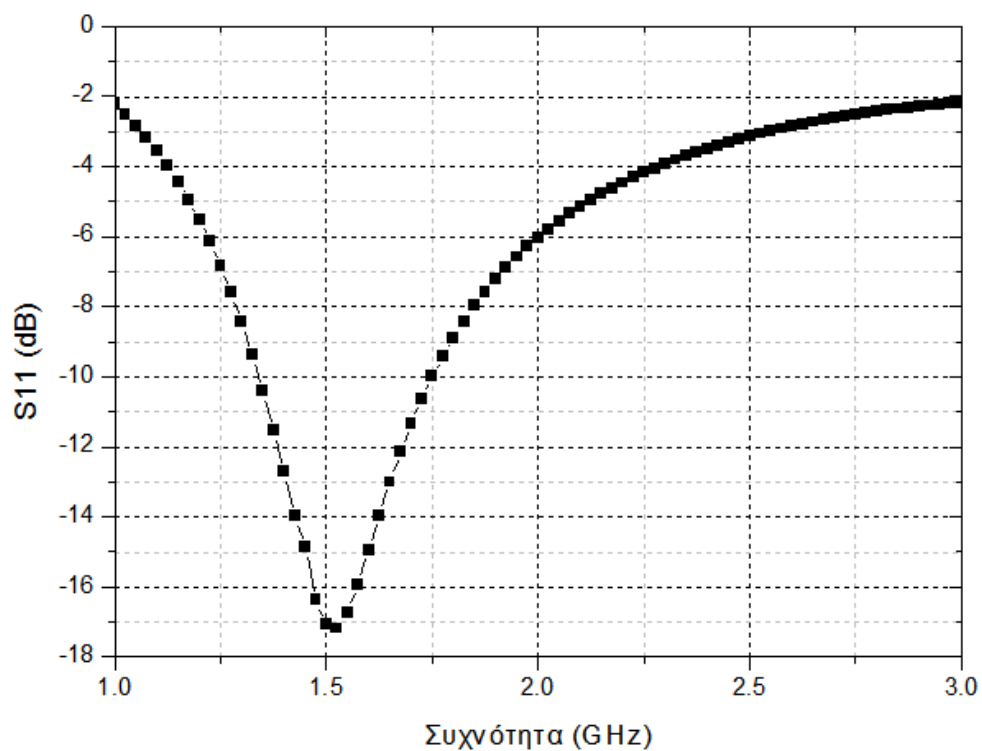
Πίνακας 3-2 Διαστάσεις της δεύτερης κεραίας PIFA.

Παράμετρος	Επεξήγηση	Τιμή
Lg	Μήκος επιπέδου γείωσης	75.0 mm
Wg	Πλάτος επιπέδου γείωσης	65.0 mm
W	Πλάτος Patch	37.5 mm
L	Μήκος Patch	18.0 mm
h	Ύψος κεραίας	12.0 mm
Ws	Πλάτος στοιχείου βραχυκύκλωσης	5.0 mm
Ls	Απόσταση στοιχείου βραχυκύκλωσης από την κορυφή	0 mm
t	Πάχος πλακέτας FR-4	1.0 mm
Lb	Απόσταση επιπέδου τροφοδοσίας από το στοιχείο βραχ/σης	5.0 mm
Lu	Απόσταση επιπέδου τροφοδοσίας από την άνω πλευρά	0 mm
Wf	Πλάτος επιπέδου τροφοδοσίας	10.0 mm
tc	Πάχος επιπέδου γείωσης	70 μ m
Sa	Πλευρά οριζόντιου πλατώ του SMA connector	1.1 cm
St	Πάχος οριζόντιου πλατώ του SMA connector	1.1 mm
Sh	Ύψος διεγέρτη SMA connector	5.0 mm

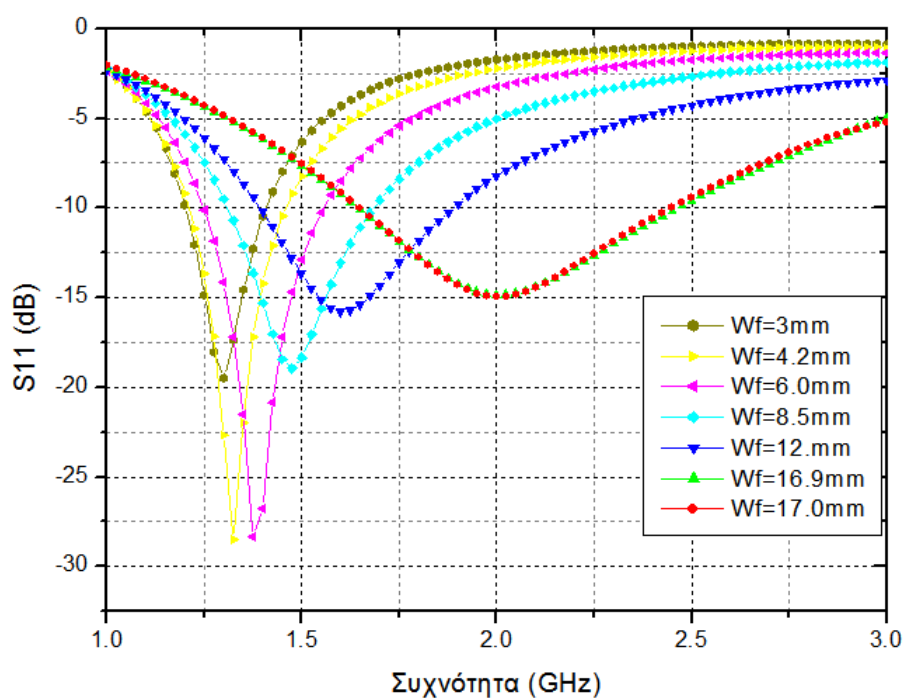
Παράμετρος	Επεξήγηση	Τιμή
Sri	Διάμετρος διεγέρτη SMA connector	0.5 mm
Srtu	Διάμετρος Teflon στον SMA connector	2.1 mm
Srhole	Διάμετρος οπών του SMA connector	1.0 mm
Sdhole	Απόσταση οπών του SMA connector από τις πλευρές του	0.4 mm
Wc	Πλάτος χαλκού που φέρει την varactor	2.0 mm
Lc	Μήκος πλακέτας (FR-4) στήριξης varactor	18.0 mm
tv	Μήκος varactor	1.0 mm
Lbc	Απόσταση varactor από τη μικρότερη πλευρά του patch	0.0 mm
C	Τιμή παράλληλης χωρητικότητας	2.0 pF
Luc	Απόσταση varactor από την μεγαλύτερη πλευρά του patch	2.0 mm

3.7 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

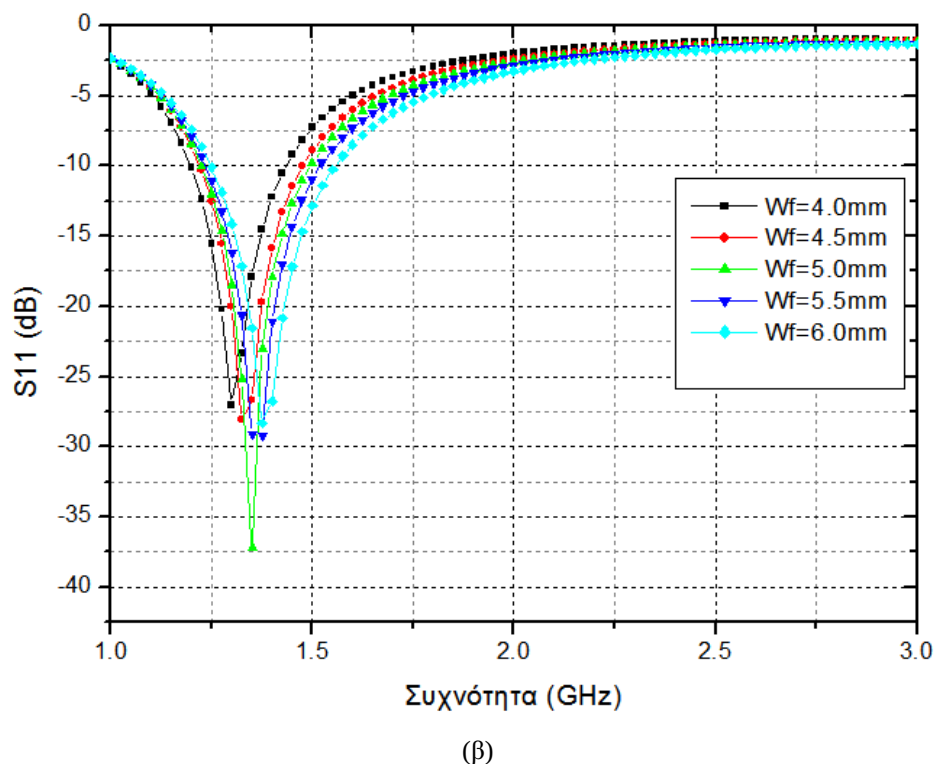
Αρχικά μελετήθηκε η συμπεριφορά της με βάση τις διαστάσεις του Πίνακα 3-2 και χωρίς την μεταβλητή χωρητικότητα. Στο Σχήμα 3.11 παρίσταται η παράμετρος S11 σε σχέση με την συχνότητα για τις παραπάνω διαστάσεις. Αλλάζοντας το πλάτος του επιπέδου τροφοδοσίας καταφέραμε την μείωση του εύρους ζώνης της κεραίας με ταυτόχρονη όξυνση του συντονισμού. Στο Σχήμα 3.12 (α) εμφανίζεται η συμπεριφορά της κεραίας για πλάτη W_f : από 3.0 έως 17.0 mm και στο Σχήμα 3.12 (β) από 4.0 έως 6.0 mm. Παρατηρούμε τον μεγαλύτερο συντονισμό όταν το πλάτος του επιπέδου τροφοδοσίας γίνει 5 mm.



Σχήμα 3.11 Η παράμετρος S_{11} σε σχέση με την συχνότητα.

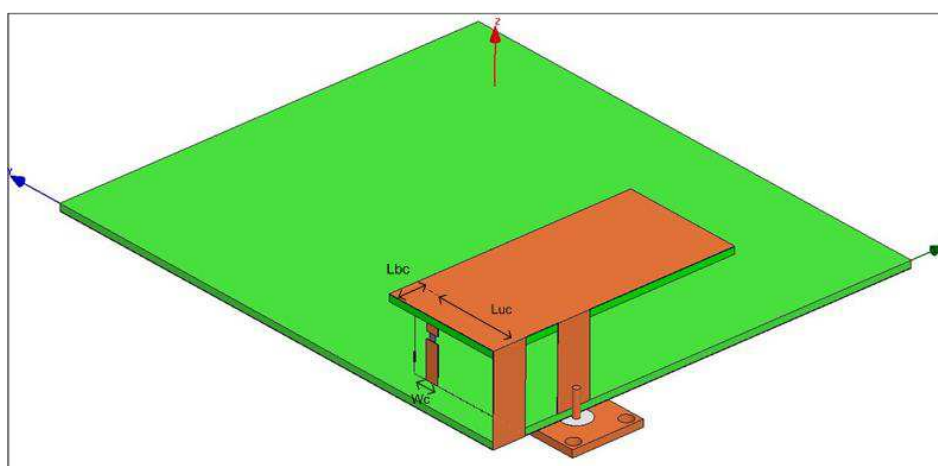


(α)



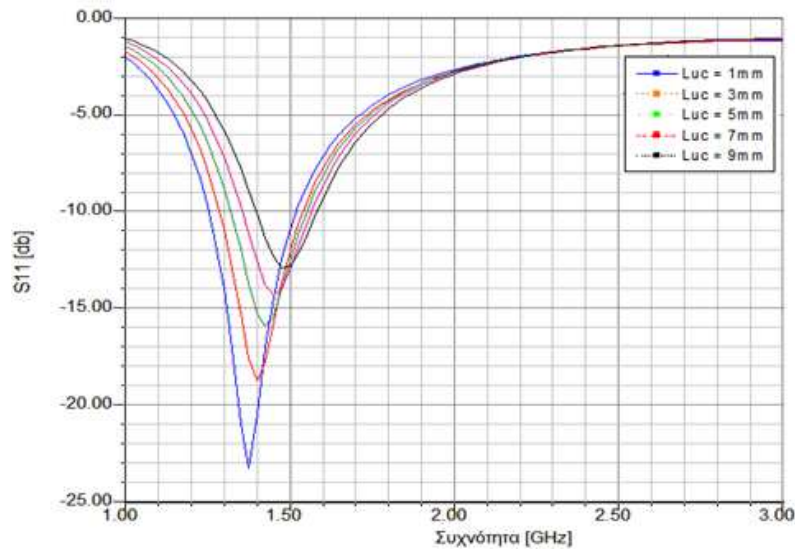
Σχήμα 3.12 Ο συντελεστής S_{11} σε σχέση με το πλάτος W_f του επιπέδου τροφοδοσίας.

Με το νέο πλάτος $W_f = 5 \text{ mm}$ προστέθηκε στην κεραία, ένα κατακόρυφο τμήμα χαλκού που ενώνει το πάνω οριζόντιο επίπεδο με το επίπεδο της γείωσης. Το επίπεδο αυτό έχει πλάτος W_c . Στο μέσω του τοποθετήθηκε ένα στοιχείο χωρητικότητας. Η απόστασή του από την άνω πλευρά του patch είναι L_{bc} και από η απόστασή του από την πλευρά που τροφοδοτείται το patch είναι L_{uc} [Σχήμα 3.13].

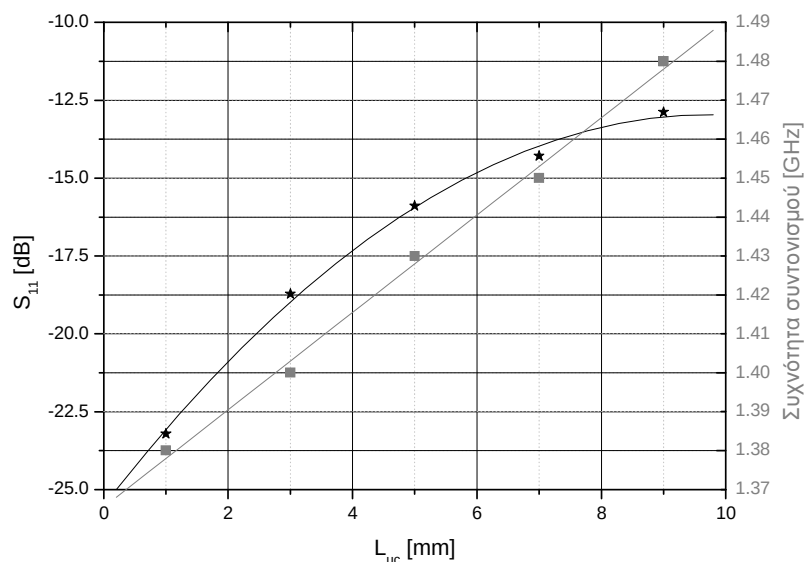


Σχήμα 3.13 Γεωμετρία της PIFA με την προσθήκη μεταβλητής χωρητικότητας.

Μεταβάλλοντας την απόσταση L_{uc} παρατηρούμε μεταβολή στην συχνότητα συντονισμού. Στα Σχήμα 3.14 (α) και (β) εμφανίζεται η παράμετρος S_{11} σε σχέση με την συχνότητα για τιμές L_{uc} : {1, 3, 5, 7, 9} mm όπου παρατηρείται μια αύξηση στην συχνότητα συντονισμού αυξανόμενης της απόστασης L_{uc} . Στο Σχήμα 3.15 απεικονίζεται η εξάρτηση της συχνότητας συντονισμού με την απόσταση L_u . Παρατηρούμε την μείωση της συχνότητας συντονισμού με την μείωση της L_u .

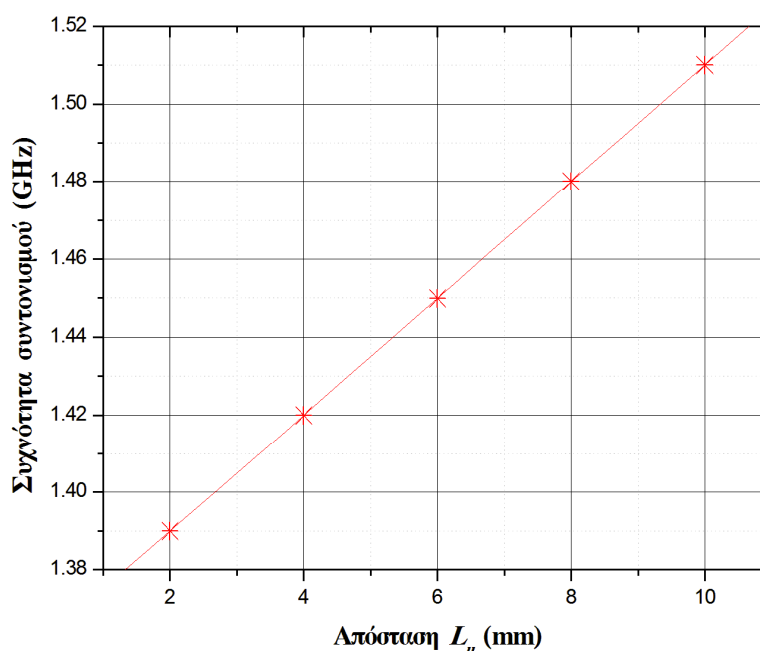


(α)



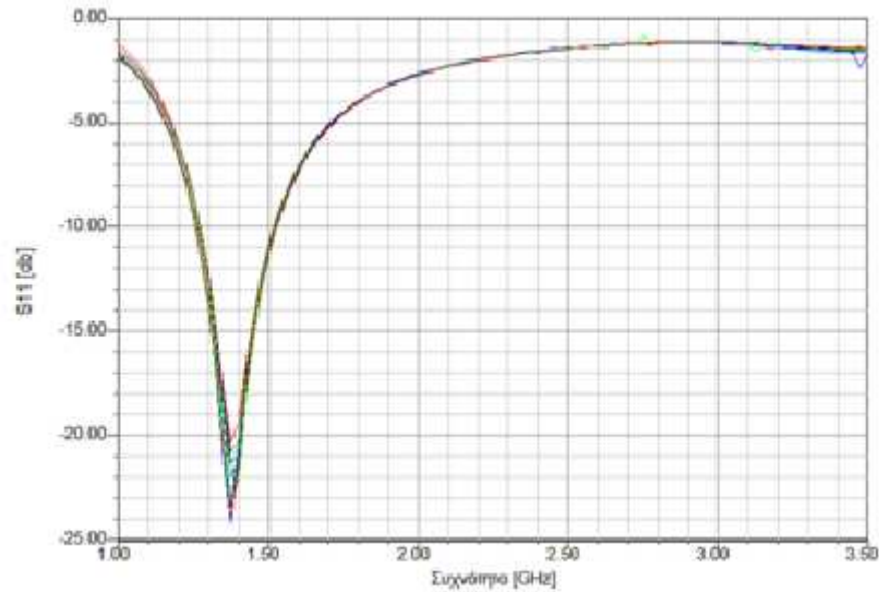
(β)

Σχήμα 3.14 Εξάρτηση της συχνότητας συντονισμού από την απόσταση L_{uc} για $L_{bc} = 0$.



Σχήμα 3.15 Εξάρτηση της συχνότητας συντονισμού από την απόσταση L_u .

Έχοντας τις αποστάσεις $L_{bc} = 0$ και $L_{bu} = 1$ mm μεταβάλλουμε την τιμή της χωρητικότητας από 5 έως 11 pF [Σχήμα 3.16]. Δεν παρατηρείται μεταβολή στη συχνότητα συντονισμού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χωρητικότητα, που εισάγεται με την χωρητικότητα της κεραίας PIFA, είναι σε παράλληλη σύνδεση και η τιμές που παίρνει είναι αρκετά μεγάλες. Εν αντιθέτως για μικρές τιμές της χωρητικότητας, της τάξης των ~ 0.10 pF παρατηρείται αλλαγή στη συχνότητα συντονισμού. Εξαιτίας του ότι εμπορικά δεν είναι διαθέσιμες τέτοιες τιμές μεταβλητής χωρητικότητας (varactor) παρά μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς δοκιμάστηκε μια αλλαγή στο σχέδιο ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει αλλαγή στη συχνότητα συντονισμού για αυτές τις τιμές χωρητικότητας.



Σχήμα 3.16 Συχνότητα συντονισμού για τιμές $C = 1 \sim 15$ pF.

Αντί μεταβλητής χωρητικότητας δημιουργούμε πυκνωτή με την προσθήκη παράλληλου επιπέδου με το patch της PIFA [Σχήμα 3.17] όπως στην μελέτη των (Ibnyaich et al, 2011). Το παράλληλο επίπεδο απέχει απόσταση 0.57mm από το patch και έχει διαστάσεις 4mm x W_t . Σύμφωνα με την σχέση υπολογισμού της χωρητικότητας πυκνωτή:

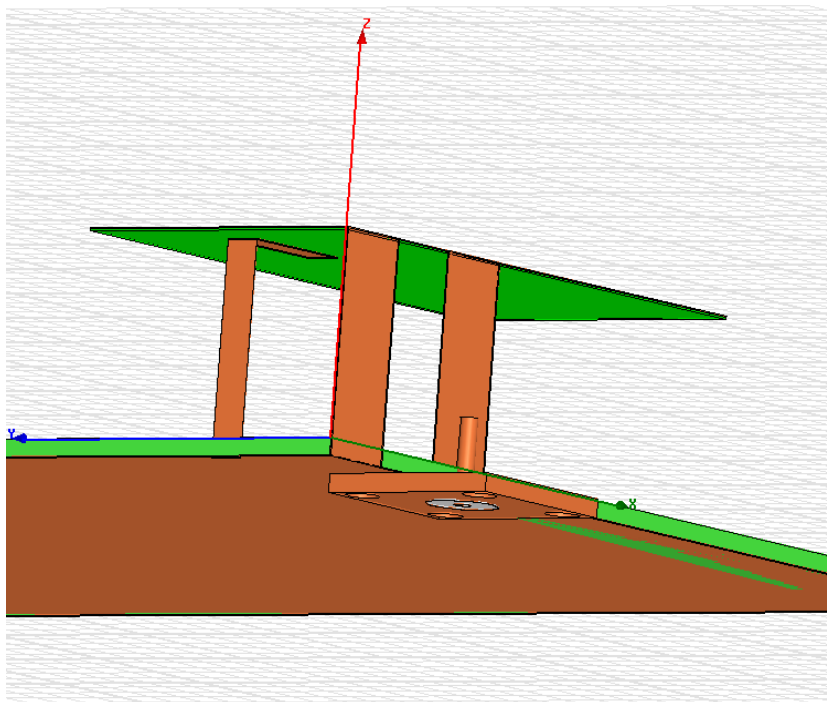
$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d} = \frac{k \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{d} \quad (3.1)$$

όπου ε_0 η διηλεκτρική σταθερά του κενού, k η σχετική διηλεκτρική σταθερά, A το εμβαδό των παράλληλων πλακών και d η απόσταση μεταξύ τους,

η χωρητικότητα που αναπτύσσεται μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή που αποτελείται από την επιφάνεια του patch και την οριζόντια παράλληλη επιφάνεια κυμαίνεται από 0.24 έως 0.81 pF για τιμές πλάτους της παρασιτικής πλάκας από 4 έως 13 mm.

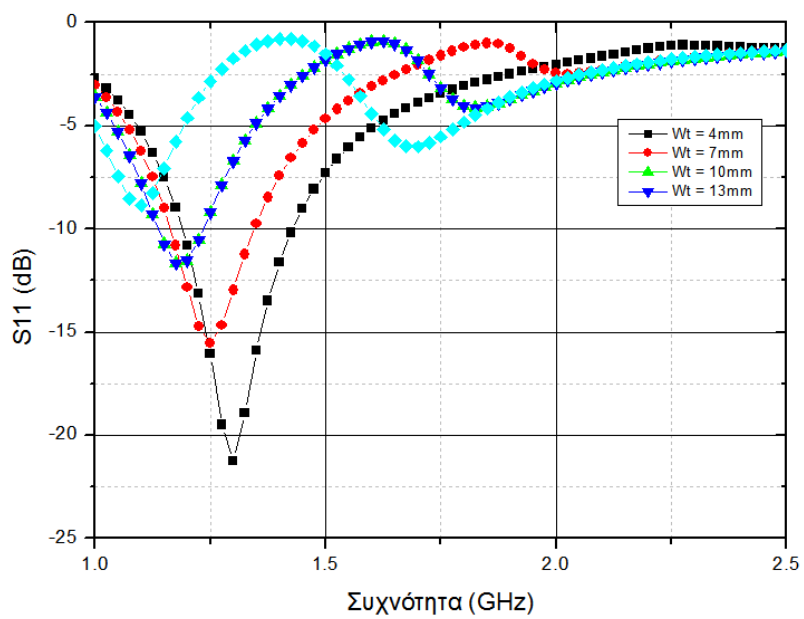
Πίνακας 3-3 Τιμές παρασιτικής χωρητικότητας για διάφορες τιμές του εμβαδού του πλατό.

Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Χωρητικότητα (pF)
4.0	4.0	0.24
7.0	4.0	0.43
10.0	4.0	0.62
13.0	4.0	0.81



Σχήμα 3.17 Η γεωμετρία της κεραίας με την προσθήκη παράσιτης χωρητικότητας με την προσθήκη οριζόντιου πλατό.

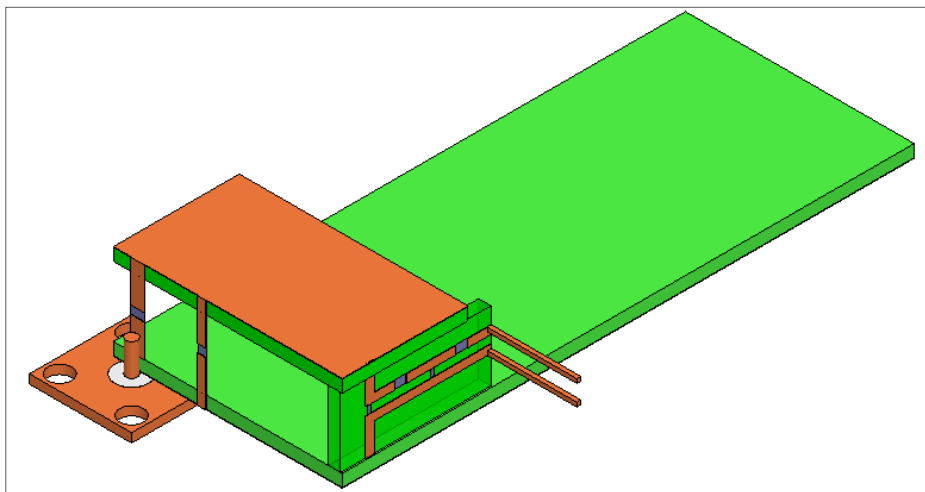
Στο Σχήμα 3.18 απεικονίζεται η διαφορά στην συχνότητα συντονισμού για διαφορετικές τιμές του πλάτους W_i του οριζόντιου παρασιτικού επιπέδου όπου και εμφανίζεται η αλλαγή στη συχνότητα συντονισμού. Αυτή η αλλαγή όμως επιφέρει αλλοίωση της ποιότητας του συντονισμού για διαφορετικές τιμές της χωρητικότητας (παράλληλο πλατό) και για τον λόγο αυτό υλοποιήθηκε τρίτη κεραία με διαφορετικές διαστάσεις.



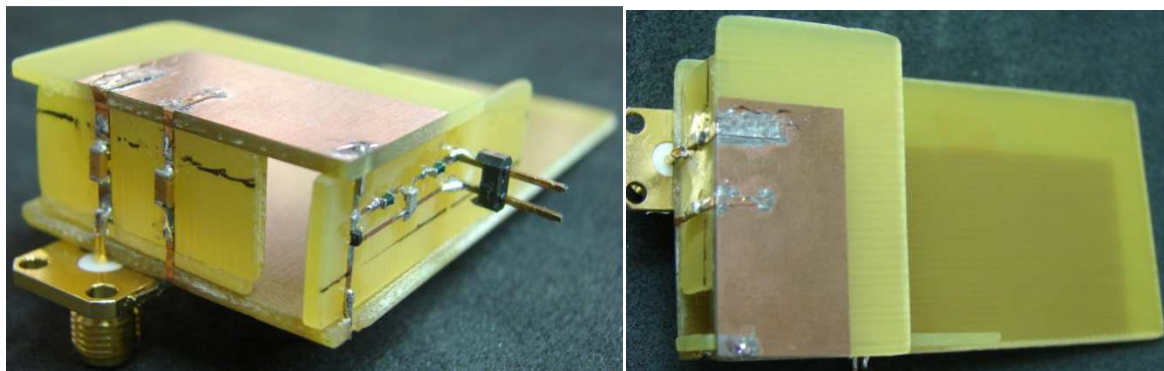
Σχήμα 3.18 Η συχνότητα συντονισμού για διαφορετικές αποστάσεις του επιπέδου παρασιτικής χωρητικότητας.

3.8 Γεωμετρία της τρίτης κεραίας

Η γεωμετρία της τρίτης κεραίας βασίστηκε στη μελέτη των (Boyle & Lighthart, 2006) και αναπαρίσταται στα Σχήμα 3.19 και Σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.19 Γεωμετρία της τρίτης κεραίας.



Σχήμα 3.20 Φωτογραφίες της τρίτης κεραίας.

Αποτελείται από ένα επίπεδο γείωσης διαστάσεων $Wg \times Lg$ και πάνω σ' αυτό σε απόσταση h (ύψος κεραίας) βρίσκεται το επίπεδο που ακτινοβολεί, διαστάσεων $W \times L$. Το άνω επίπεδο ενώνεται με το κάτω επίπεδο μέσω ενός κατακόρυφου αγωγίμου επιπέδου πάχους W_s . Η κεραία τροφοδοτείται από έναν SMA σύνδεσμο ο οποίος βρίσκεται συγκολλημένος στο κέντρο ενός αγωγίμου επιπέδου πλάτους W_f . Το επίπεδο τροφοδοσίας και το επίπεδο που ενώνει τα δύο οριζόντια επίπεδα απέχουν απόσταση L_b . Η μεταβλητή χωρητικότητα είναι τοποθετημένη σε επίπεδο κάθετο στο επίπεδο της γείωσης. Η απόσταση της από την μεγαλύτερη πλευρά του patch είναι L_{bc} . Οι διαστάσεις της κεραίας εμφανίζονται στον Πίνακα 3-4. Σε αυτό το σχέδιο προστέθηκε και ένα κύκλωμα προστασίας του οργάνου μέτρησης

στασίμων κυμάτων καθώς και δύο χωρητικότητες στην τροφοδοσία της κεραίας και στο επίπεδο βραχυκύκλωσης του patch με το επίπεδο γείωσης.

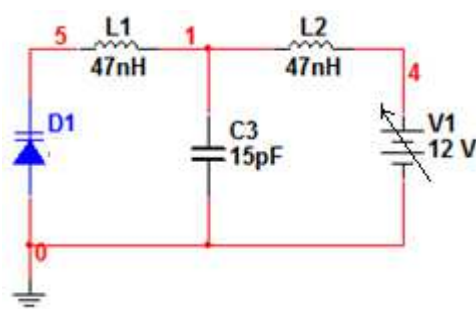
Πίνακας 3-4 Διαστάσεις της τρίτης κεραίας PIFA.

Παράμετρος	Επεξήγηση	Τιμή
Lg	Μήκος επιπέδου γείωσης	70.0 mm
Wg	Πλάτος επιπέδου γείωσης	28.0 mm
W	Πλάτος Patch	28.0 mm
L	Μήκος Patch	15.4 mm
h	Ύψος κεραίας	11.5 mm
Ws	Πλάτος στοιχείου βραχυκύκλωσης	1.0 mm
Ls	Απόσταση στοιχείου βραχυκύκλωσης από την κορυφή	10.4 mm
t	Πάχος πλακέτας FR-4	1.5 mm
Lx	Απόσταση patch από την άνω πλευρά της γείωσης	0 mm
Lb	Απόσταση επιπέδου τροφοδοσίας από το στοιχείο βραχ/σης	6.5 mm
Lu	Απόσταση επιπέδου τροφοδοσίας από την άνω πλευρά	2.1 mm
Wf	Πλάτος επιπέδου τροφοδοσίας	1.8 mm
tc	Πάχος επιπέδου γείωσης	70 μ m
Ly	Απόσταση patch από την άνω πλευρά της γείωσης	0 mm
Sa	Πλευρά οριζόντιου πλατώ του SMA connector	1.2 cm
St	Πάχος οριζόντιου πλατώ του SMA connector	1.1 mm
Sh	Ύψος διεγέρτη SMA connector	5.0 mm
Sri	Διάμετρος διεγέρτη SMA connector	0.5 mm
Srtu	Διάμετρος Teflon στον SMA connector	2.1 mm
Srhole	Διάμετρος οπών του SMA connector	1 mm
Sdhole	Απόσταση οπών του SMA connector από τις πλευρές του	0.4 mm
Wc	Πλάτος χαλκού που φέρει την varactor	1.0 mm
Lc	Μήκος πλακέτας (FR-4) στήριξης varactor	18.4 mm
tv	Μήκος varactor	1.0 mm
Lbc	Απόσταση varactor από τη μεγαλύτερη πλευρά του patch	3.0 mm
C	Τιμή παράλληλης χωρητικότητας	2.0 μ F
Luc	Απόσταση varactor από την μεγαλύτερη πλευρά του patch	2.0 mm

3.8.1 Κύκλωμα μεταβλητής χωρητικότητας και πυκνωτές απομόνωσης.

Για την προστασία από την συνεχή τάση (έως 15 Volt ανάλογα την Varactor) του οργάνου μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις των κεραιών (Anritsu Network Analyzer MS4524B) αλλά και την αποφυγή βραχυκυκλώματος της DC τάσης που εφαρμόζεται στην varactor, είναι απαραίτητη η αποκοπή της από την κεραία. Αυτό εξασφαλίστηκε με την τοποθέτηση δύο ίδιων πυκνωτών τιμής 100 nF αμέσως μετά τον σύνδεσμο SMA καθώς και στο επίπεδο της βραχυκύκλωσης της γείωσης με το patch.

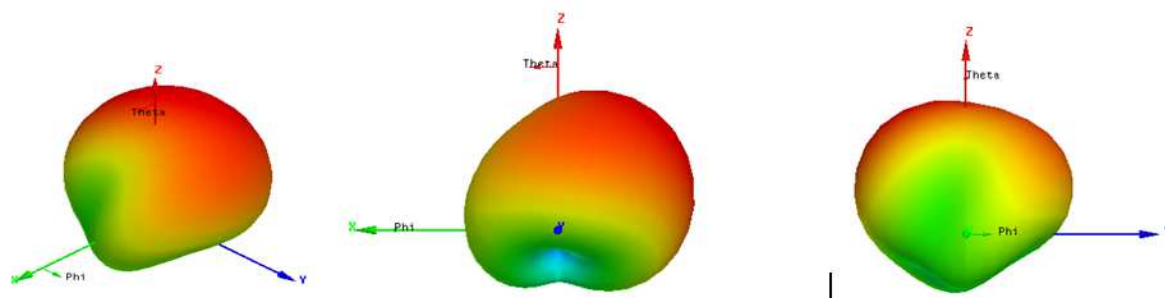
Για την τροφοδοσία της Varactor κατασκευάστηκε ένα κύκλωμα με παθητικά στοιχεία L και C όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.21 για την AC απομόνωση στην DC τάση τροφοδοσίας. Η Varactor που χρησιμοποιήθηκε ήταν η SMV1232 της εταιρίας Skyworks (Skyworks, 2012).



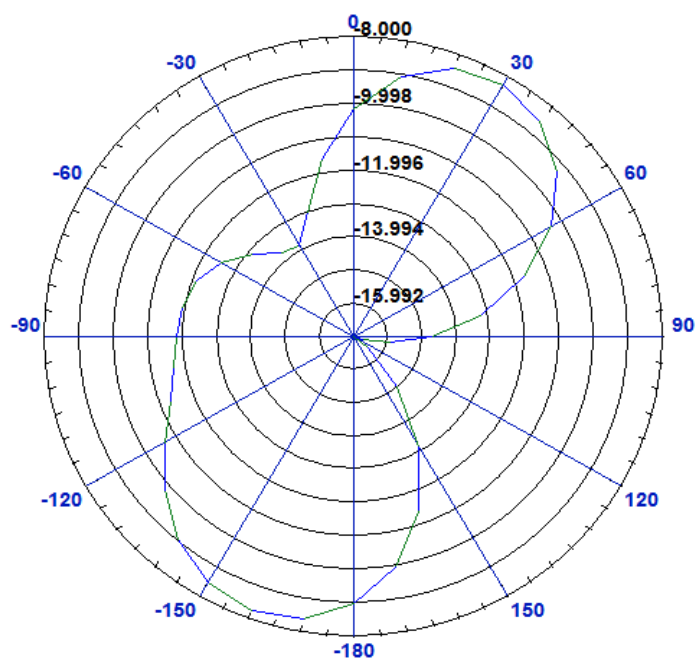
Σχήμα 3.21 Κύκλωμα τροφοδοσίας Varactor.

3.9 Αποτελέσματα Μετρήσεων

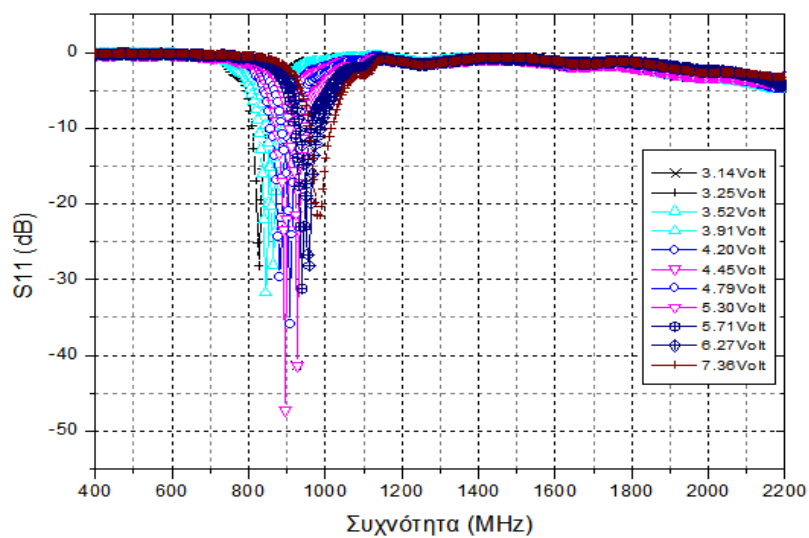
Αρχικά το μελετήθηκε η κεραία ως προς το διάγραμμα ακτινοβολίας της (Σχήμα 3.22 - Σχήμα 3.23) για διαφορετικές τιμές χωρητικότητας όπου και πάλι δεν διαπιστώθηκε σημαντική αλλαγή στο διάγραμμα ακτινοβολίας. Στο Σχήμα 3.24 (α) απεικονίζεται η μεταβολή της συχνότητας συντονισμού για διαφορετικές τιμές της τάσης πόλωσης της χωρητικότητας από 3.14 έως 7.36 Volt δηλαδή από 1.4 έως 0.85 pF και στο (β) για τις τιμές 3.14 και 7.36 Volt δηλαδή 1.4 και 0.85 pF. Παρατηρείται η αλλαγή στη συχνότητα συντονισμού από τη συχνότητα 800 έως 1021 MHz για επίπεδα συντελεστή ανάκλασης κάτω από -10 dB. Οι μέγιστοι συντονισμοί τις κεραίας ήταν από 824 έως 1004 MHz.



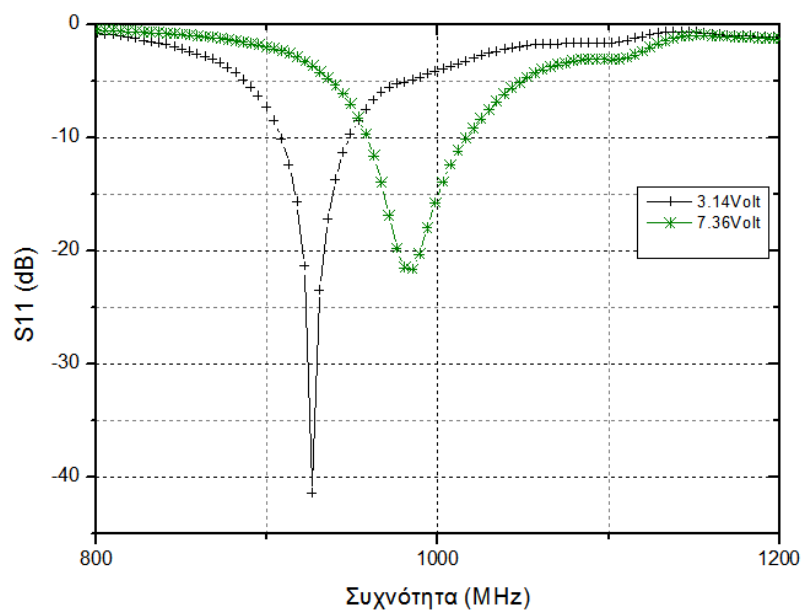
Σχήμα 3.22 Διαγράμματα ακτινοβολίας της κεραίας σε τρεις διαστάσεις.



Σχήμα 3.23 Διάγραμμα ακτινοβολίας επιπέδου x-y.



(α)



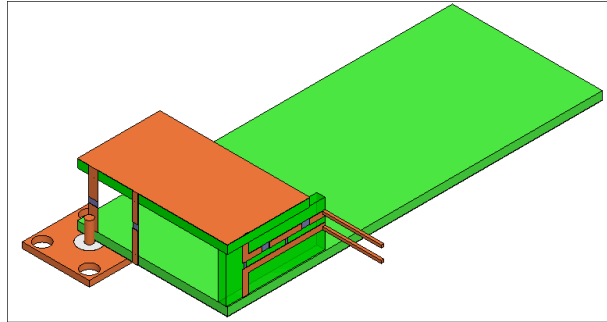
(β)

Σχήμα 3.24 Η μεταβολή της συχνότητας συντονισμού για διαφορετικές τιμές ανάστροφης τάσης πολώσεως της Varactor.

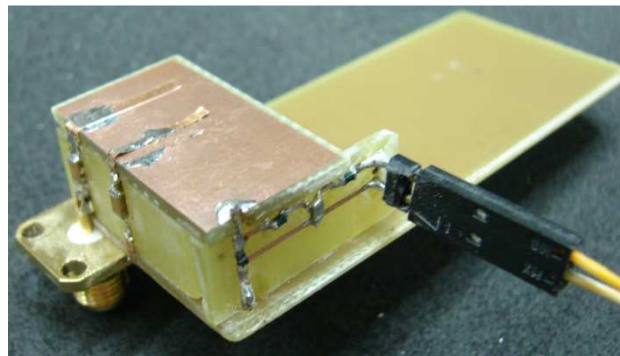
Για την επίδραση της μείωσης των διαστάσεων της κεραίας στη δυνατότητα αλλαγής της συχνότητας συντονισμού μελετήθηκε η τέταρτη κεραία.

3.10 Γεωμετρία της τέταρτης κεραίας

Η γεωμετρία της τέταρτης κεραίας βασίστηκε στην τρίτη και αναπαρίσταται στο Σχήμα 3.25 και Σχήμα 3.26.



Σχήμα 3.25 Γεωμετρία της τρίτης κεραίας.



Σχήμα 3.26 Φωτογραφίες της τέταρτης κεραίας.

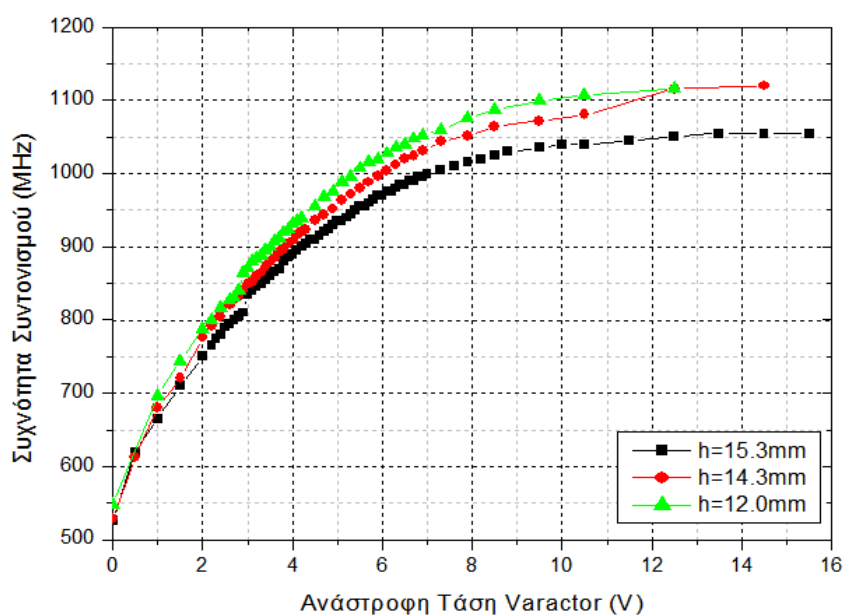
Οι διαστάσεις του επιπέδου γείωσης, του patch και του ύψους της κεραίας μειώθηκαν κατά έναν συντελεστή 0.94 και απεικονίζονται στον Πίνακα 3-4. Το κύκλωμα για την τροφοδοσία της Varactor παρέμεινε το ίδιο.

Πίνακας 3-5 Διαστάσεις της τέταρτης κεραίας PIFA.

Παράμετρος	Επεξήγηση	Τιμή
Lg	Μήκος επιπέδου γείωσης	66.0 mm
Wg	Πλάτος επιπέδου γείωσης	26.4 mm
W	Πλάτος Patch	26.4 mm
L	Μήκος Patch	14.5 mm
h	Ύψος κεραίας	12.0 mm

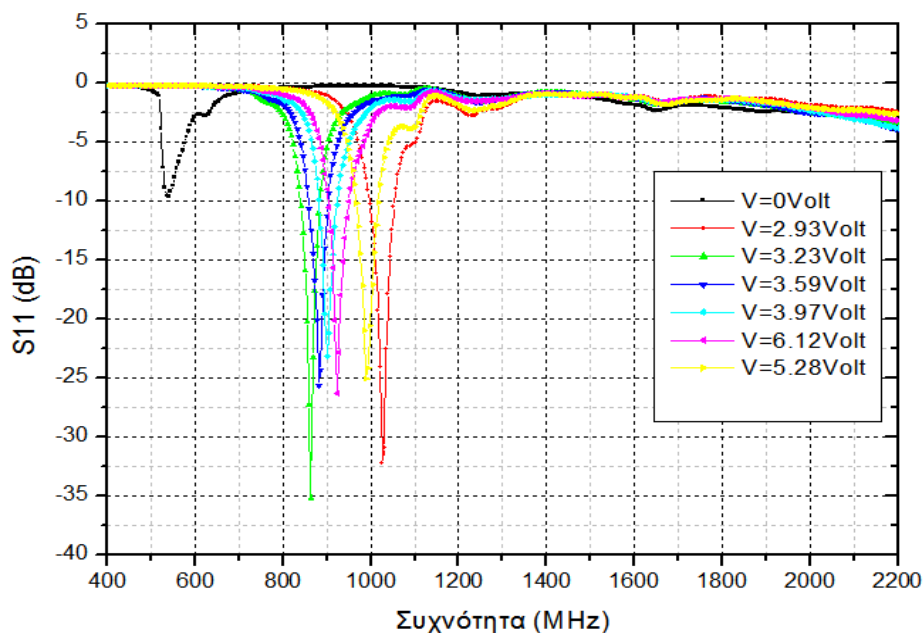
3.11 Αποτελέσματα Μετρήσεων

Αρχικά το μελετήθηκε η κεραία ως προς το ύψος της (μεταβλητή h). Κατασκευάστηκαν και μετρήθηκαν οι συχνότητες συντονισμού τριών κεραιών για τιμές υψών $h=15.3$, 14.3 και 12.0 mm για τις τάσεις $0 \sim 15.8$ Volt που μπορεί να πολωθεί η SMV1232. Στο Σχήμα 3.27 Σχήμα 3.24 απεικονίζεται η μεταβολή της συχνότητας συντονισμού για διαφορετικές τιμές της τάσεις πόλωσης της Varactor. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ανάστροφη τάση πόλωσης της Varactor (μειώνεται η χωρητικότητά της) τόσο αυξάνεται η συχνότητα συντονισμού κάτι που είναι σύμφωνο με την βιβλιογραφία. Στο Σχήμα 3.28 εμφανίζεται η μεταβολή της συχνότητας συντονισμού για τις τιμές V : {0 έως 5.28 Volt} της ανάστροφης τάσης πόλωσης της Varactor.



Σχήμα 3.27 Επίδραση του ύψους στην συχνότητα συντονισμού.

Παρατηρούμε ότι η μείωση του ύψους της κεραίας μπορεί να αντισταθμιστεί από την αλλαγή της τιμής της varactor ώστε να διατηρείται ο συντονισμός της στην επιθυμητή συχνότητα.



Σχήμα 3.28 Μεταβολή της συχνότητας συντονισμού για διαφορετικές τιμές ανάστροφης τάσης πολώσεως της Varactor.

3.12 Συμπεράσματα

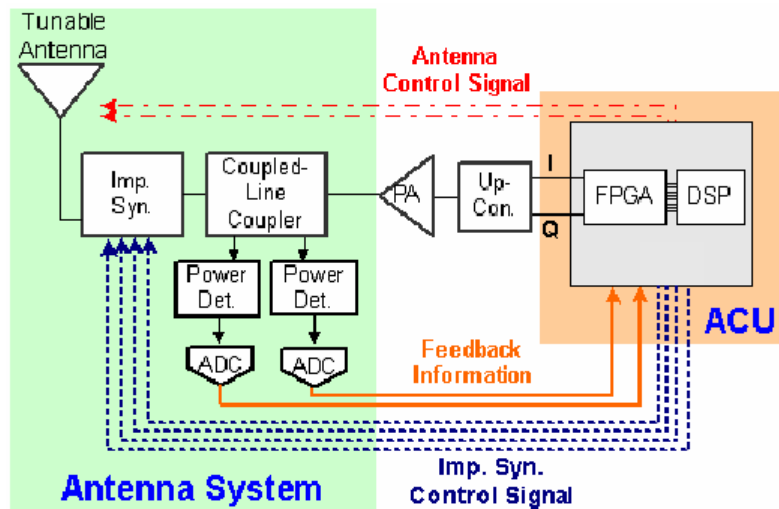
Με τη χρήση των κεραιών που υλοποιήσαμε διαπιστώσαμε πως η χρήση κεραιών τύπου PIFA με την προσθήκη του κατάλληλου κυκλώματος πόλωσης της varactor μπορεί να επιφέρει αλλαγή στη συχνότητα συντονισμού. Αυτή η αλλαγή της τιμής της μεταβλητής χωρητικότητας αντισταθμίζει την οποιαδήποτε μείωση του ύψους της κεραίας, συνεπώς μπορεί να μειωθεί το ύψος της χωρίς να μειώσουμε την ικανότητά της για επανασυντονισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

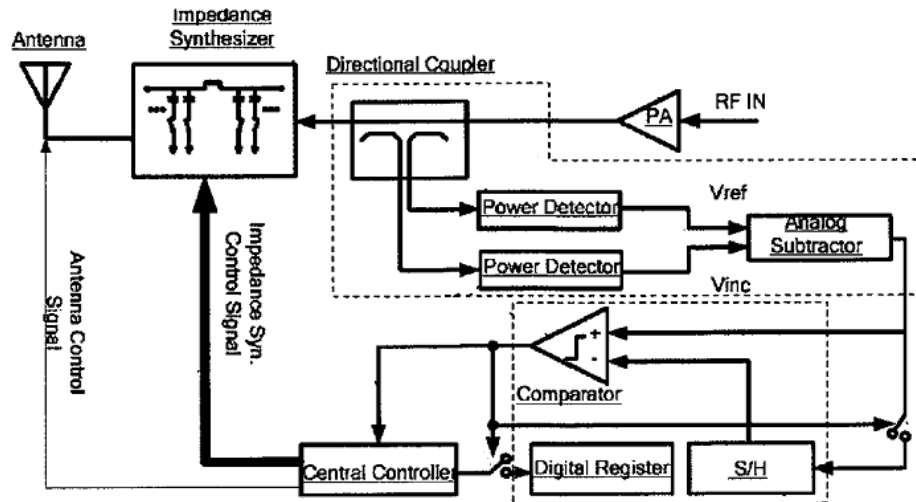
4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη και κατασκευή του συστήματος αυτόματης ρύθμισης της συχνότητας συντονισμού της κεραίας PIFA. Σε μελέτη των (Aberle et al., 2005), (Song et al., 2007) έχει γίνει η χρήση FPGA και H/Y για τον επαναπροσδιορισμό μιας κεραίας τύπου Patch (SPA) με την χρήση *PIN* διόδου [Σχήμα 4.1]. Σε αυτήν την μελέτη, η αλλαγή συχνότητας της κεραίας εκπομπής γίνεται σε δύο διακριτές συχνότητες μέσω της αλλαγής της κατάστασης *ON-OFF* της *PIN* διόδου. Η προτεινόμενη από τους (Song et al., 2012) άδεια ευρεσιτεχνίας περιγράφει τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που χρησιμοποίησαν για τον αυτόματο συντονισμό της κεραίας τους με διακόπτες καθώς και τον αλγόριθμο της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας [Σχήμα 4.2].

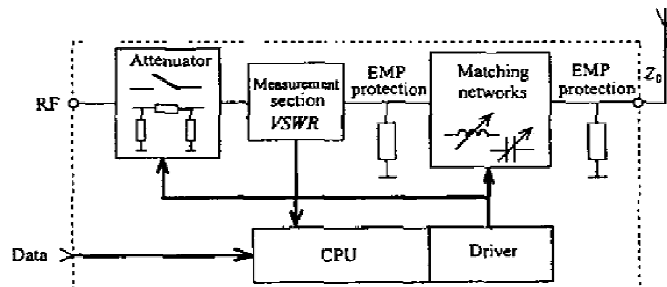


Σχήμα 4.1 Διάγραμμα του αυτόματου συντονισμού κεραίας σύμφωνα με τους (Aberle, και συν., 2005).



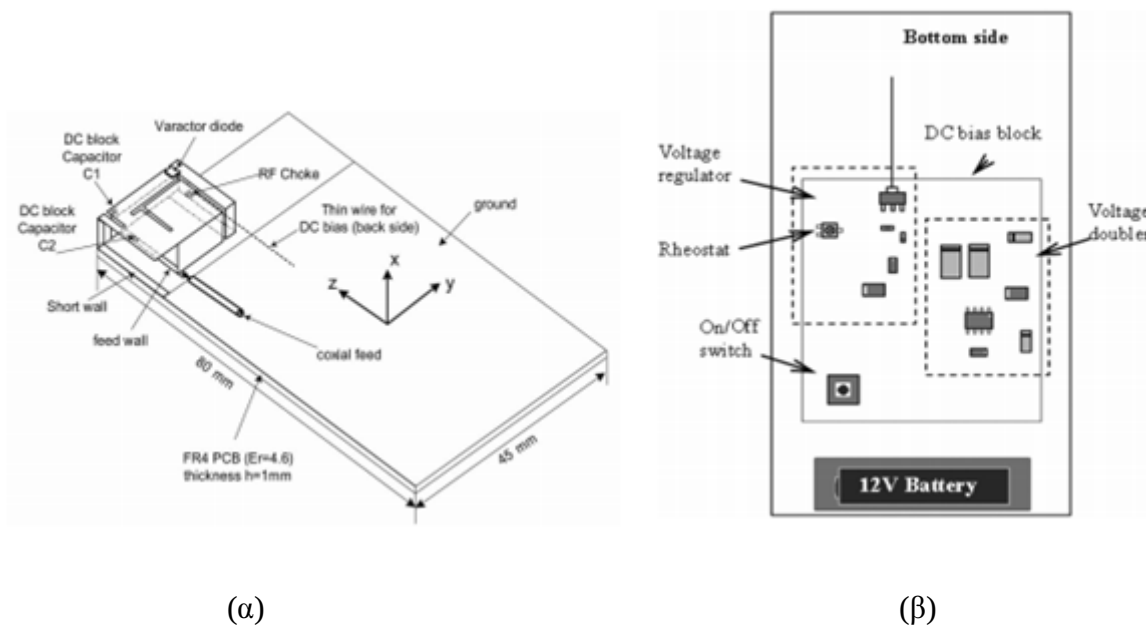
Σχήμα 4.2 Οι ηλεκτρονικές διατάξεις που έχουν κατοχυρωθεί ως άδεια ευρεσιτεχνίας από τους (Song et all, 2012).

Ο (Litwinczuk, 2005) πρότείνει την χρήση διακριτών κυκλωμάτων L και C για την προσαρμογή της αντίστασης της κεραίας. Η διάταξη έχει διακόπτες ελεγχόμενους από CPU η οποία αναλαμβάνει και τον υπολογισμό του VSWR μέσω κατευθυντικών συζευκτών [Σχήμα 4.3].



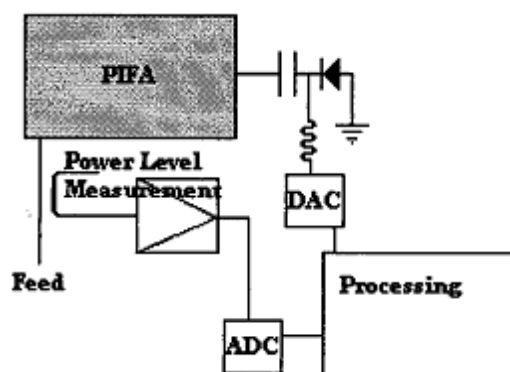
Σχήμα 4.3 Η πρόταση κυκλώματος αυτόματης προσαρμογής κεραίας από (Litwinczuk, 2005).

Για τον έλεγχο του συντονισμού κεραίας PIFA οι (Nguyen et all, 2008), (Nguyen et all, 2008) χρησιμοποίησαν μία δίοδο *varactor* τοποθετημένη πάνω στην κεραία και την ενσωμάτωσαν σε μία πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος μαζί με το κύκλωμα για την οδήγηση της διόδου. Ο χρήστης με την επέμβασή του στον ρεοστάτη μεταβάλλει την τάση πόλωσης της διόδου *varactor* με αποτέλεσμα την μεταβολή της συχνότητας συντονισμού της προτεινόμενης κεραίας PIFA [Σχήμα 4.4 (β)].



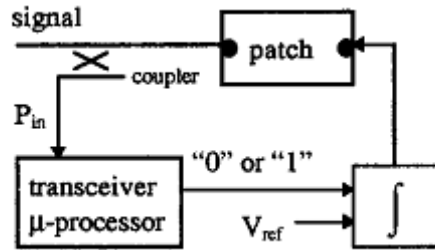
Σχήμα 4.4 Η κεραία PIFA (α) και το κύκλωμα οδήγησής της (β) από τους (Nguyen et al, 2008).

Οι (Panayi P. et al, 2001) προτείνουν την διάταξη του Σχήμα 4.5 για τον αυτόματο συντονισμό κεραίας PIFA.



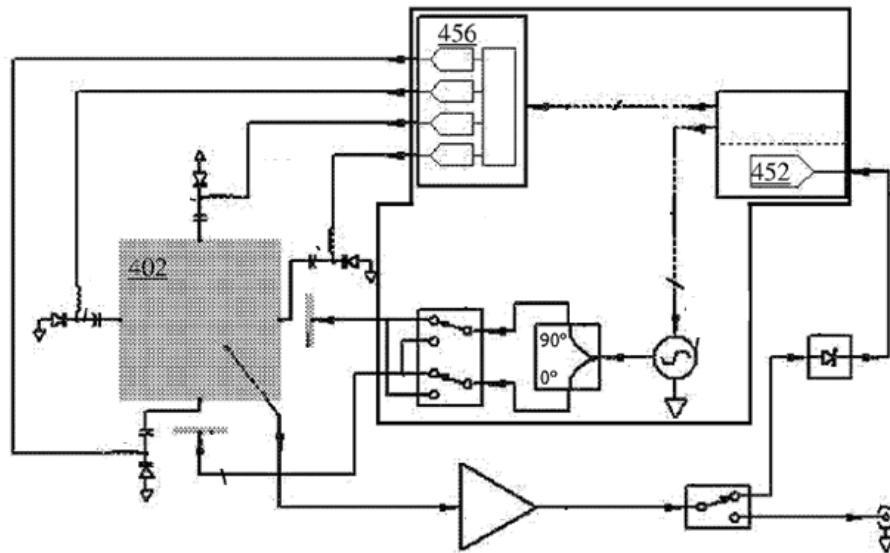
Σχήμα 4.5 Σχηματικό διάγραμμα αυτόματου συντονισμού από τους (Panayi P., 2001).

Οι (Rostbakken et al, 1995) προτείνουν έναν αλγόριθμο για την αλλαγή της σύνθετης αντίστασης μιας κεραίας PIFA με την χρήση διόδου varactor και τελική υλοποίηση μέσω Η/Υ.



Σχήμα 4.6 Μέτρηση του S_{11} και ανάδραση στην κεραία από (Rostbakken et al, 1995).

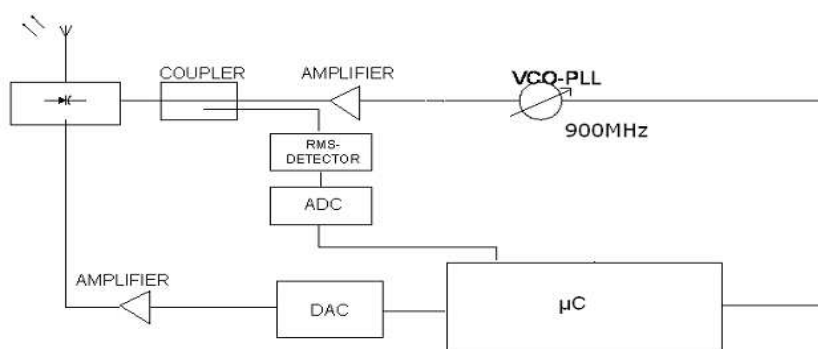
Μια ακόμη άδεια ευρεσιτεχνίας έχει κατατεθεί από τον (White, 2010) όπου περιγράφει τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που χρειάζονται για τον αυτόματο συντονισμό μιας κεραίας τύπου *patch* με τη χρήση διόδων varactor.



Σχήμα 4.7 Το διάγραμμα των κυκλωμάτων για τον αυτόματο συντονισμό κεραίας *patch* από τον (White, 2010).

Με βάση ότι έπρεπε να είμαστε σε θέση να αλλάξουμε τον συντονισμό μιας κεραίας PIFA χωρίς τη χρήση Υ/Η επιλέχθηκε η χρήση μικροελεγκτή για τον έλεγχο του κυκλώματος συντονισμού. Σε προηγούμενη εργασία μας (Raptis et al, 2010) είχαμε προτείνει την υλοποίηση του Σχήμα 4.8. Σύμφωνα με την οποία, για την ανίχνευση του ανακλώμενου και του προσπίπτοντος κύματος χρησιμοποιήθηκαν κατευθυντικοί συζεύκτες. Το εκπεμπόμενο σήμα το δημιουργεί ένα VCO-PLL για την κατάλληλη συχνότητα και ενισχύεται από έναν ενισχυτή. Το σήμα σύζευξης από τους δύο συζεύκτες οδηγείται σε έναν αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα και επεξεργάζεται από έναν μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής δίνει

εντολή για την σάρωση του φάσματος στην ζώνη εκπομπής και μετράει το λόγο στασίμων κυμάτων για το φάσμα εκπομπής. Με κατάλληλο αλγόριθμο επιλέγει να στείλει σήμα στον ψηφιακό σε αναλογικό μετατροπέα για την οδήγηση της *varactor* που είναι τοποθετημένη πάνω στην κεραία PIFA.



Σχήμα 4.8 Σχηματικό διάγραμμα αυτόματου συντονισμού από (Raptis et all, 2010).

Παρακάτω αναλύονται τα επιμέρους συστήματα που χρησιμοποιούνται για το σύστημα αυτόματου συντονισμού.

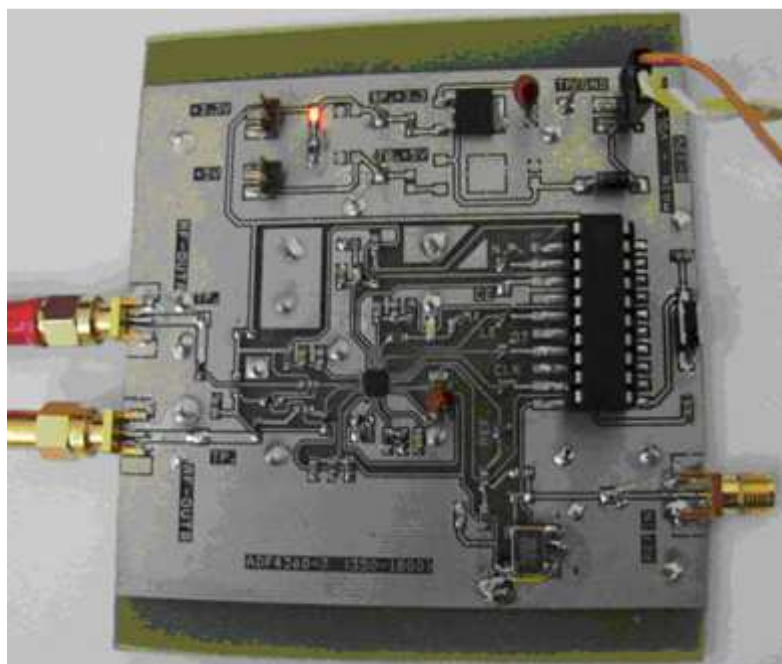
4.2 Παραγωγή φέροντος κύματος

Δεδομένου της ίδιας συμπεριφοράς της κεραίας όταν χρησιμοποιείται ως κεραία λήψης και ως κεραία εκπομπής υλοποιήθηκε ένα σύστημα παραγωγής φέροντος κύματος με τη δυνατότητα αλλαγής της συχνότητας εκπομπής για την ζώνη GSM-900.

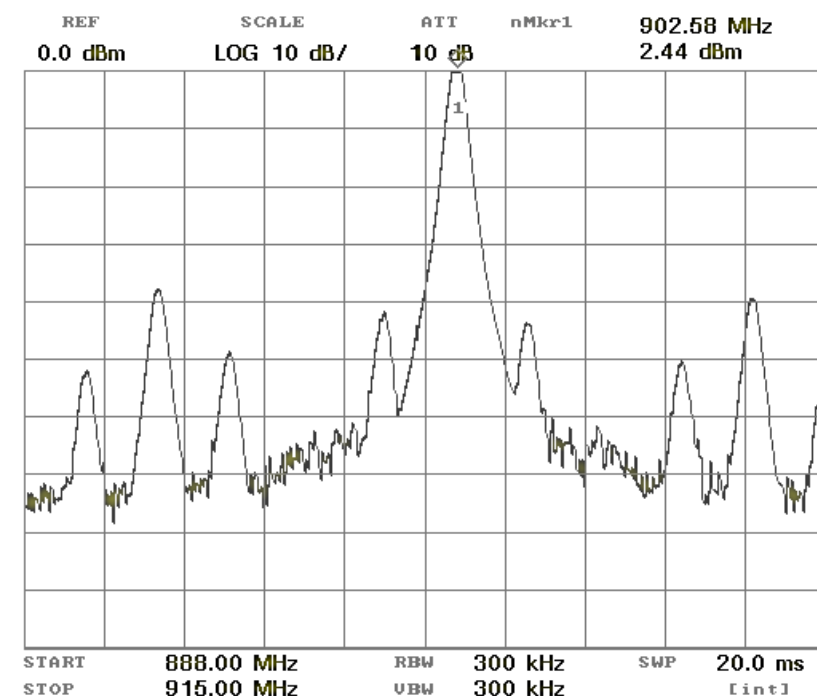
4.2.1 Ταλαντωτής

Για την παραγωγή των σημάτων στις συχνότητες των GSM-900 χρησιμοποιήθηκε ο ταλαντωτής AD4360-7 (Analog, Data sheet AD4360-7, 2004) της Analog Devices. Με τον συγκεκριμένο ταλαντωτή είναι δυνατή η παραγωγή φέροντος από τους 350 MHz έως τους 1800 MHz. Για τον προγραμματισμό της συχνότητας εκπομπής απαιτείται η σύνδεση του με μικροελεγκτή. Για αυτόν τον σκοπό επιλέχθηκε ο μικροελεγκτής της ATMEL, ο ATMEGA-8535. Στο Σχήμα 4.9 εμφανίζεται η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος με τα εξαρτήματα της και στο Σχήμα 4.10 απεικονίζεται ένα στιγμιότυπο μέτρησης από τον Vector Network Analyzer MS4623B που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του συστήματος στο εργαστήριο

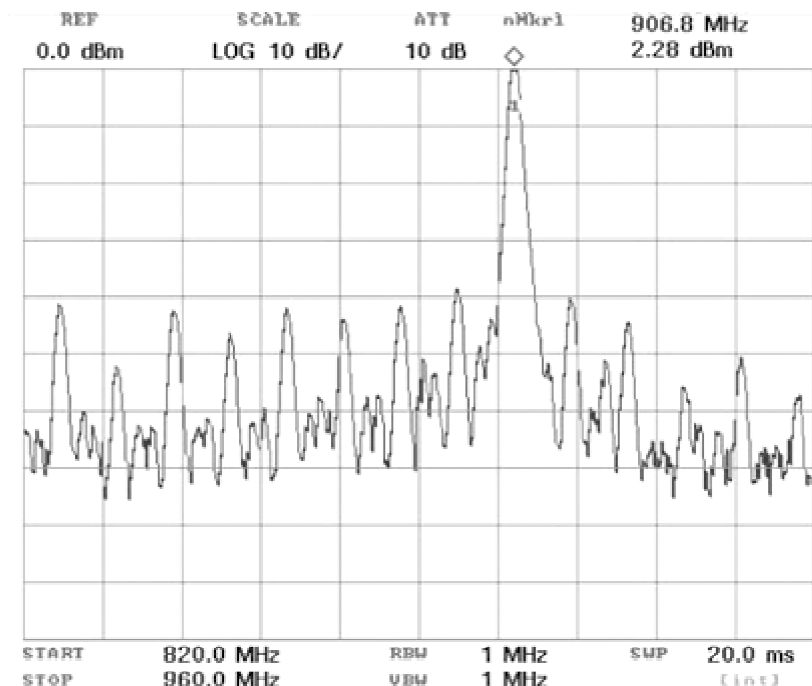
Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Η ισχύς του παραγόμενου σήματος ήταν από 2.4 dBm έως 2.2 dBm για όλη τη ζώνη των GSM-900.



Σχήμα 4.9 Η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος για την παραγωγή φέροντος.



Σχήμα 4.10 Παραγωγή φέροντος για την συχνότητα των 902.58MHz.



Σχήμα 4.11 Παραγωγή φέροντος για την συχνότητα των 906.8MHz.

Παρατηρούμε ότι το φέρον σήμα που παράγεται είναι αρκετά στενό με εύρος 0.3 MHz στα -10dB και μέγιστης ισχύος 2.4 dBm για την κύρια συχνότητα συντονισμού. Οι πλευρικές συχνότητες συντονισμού είναι κατά 40 dB μικρότερες σε ισχύ από την κύρια.

4.3 Μετρητής στασίμων κυμάτων

Για την υλοποίηση του μετρητή στασίμων κυμάτων χρησιμοποιήθηκαν κατευθυντικοί συζεύκτες, ανιχνευτές ισχύος σημάτων, αναλογικοί σε ψηφιακό μετατροπείς και τη λειτουργία του επεξεργαστή τον ανέλαβε ένας μικροελεγκτής της ATMEL.

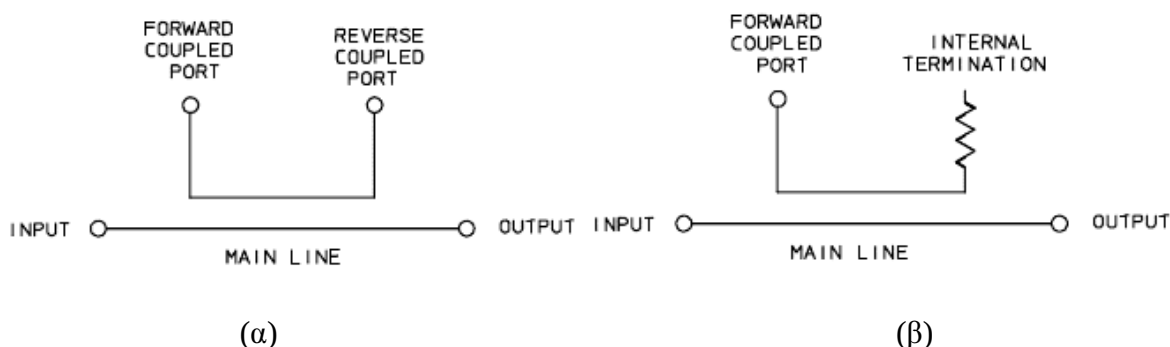
4.3.1 Directional Coupler – Κατευθυντικός Συζεύκτης

Στις σύγχρονες ηλεκτρονικές εφαρμογές στην περιοχή των μικροκυμάτων, οι κατευθυντικοί συζεύκτες (directional couplers) κατέχουν ίσως την σημαντικότερη θέση στο χώρο των εργαλείων μέτρησης. Παρέχουν έναν απλό, εύκολο και ακριβή τρόπο μέτρησης της μικροκυματικής ενέργειας χωρίς μετακινούμενα μέρη και τον έλεγχο βαθμονόμησης κάθε φορά. Οι κατευθυντικοί συζεύκτες παρέχουν τη δυνατότητα του διαχωρισμού της

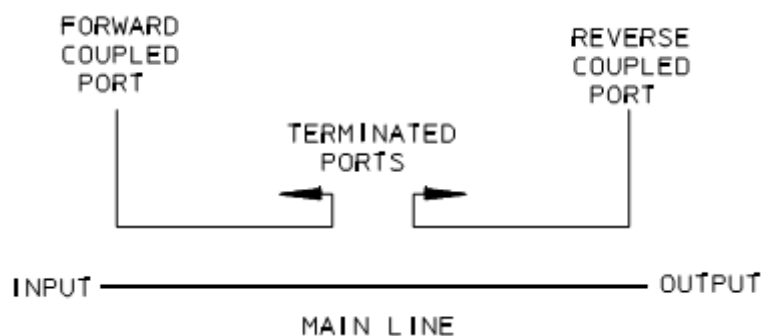
προσπίπτουσας από την ανακλώμενη ισχύ. Επιλέγοντας την κατεύθυνση της συλλογής ισχύος κάθε φορά, μπορούν να πραγματοποιηθούν ακριβείς μετρήσεις του VSWR. Οι κατευθυντικοί συζεύκτες είναι διατάξεις τριών ή τεσσάρων θυρών εισόδου-εξόδου όπου η κάθε θύρα εξόδου είναι απομονωμένη από την θύρα εισόδου.

Στο Σχήμα 4.12 (α) εμφανίζεται η αρχή λειτουργίας ενός κατευθυντικού συζεύκτη. Στης είσοδο *INPUT* εφαρμόζεται το σήμα και λαμβάνεται από την έξοδο *OUTPUT*. Η θύρα *FORWARD COUPLED* ονομάζεται θύρα σύζευξης στην οποία εμφανίζεται μέρος του σήματος εισόδου. Στην άλλη άκρη της ίδιας γραμμής *REVERSE COUPLED* εμφανίζεται μέρος του ανακλώμενου σήματος. Τερματίζεται συνήθως εσωτερικά με φορτίο ίδιο με το φορτίο της γραμμής μεταφοράς και ονομάζεται θύρα προσαρμογής (β). Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε τριών θυρών κατευθυντικό συζεύκτη (Merrimac, 1996).

Στο Σχήμα 4.13 εμφανίζεται η περίπτωση τεσσάρων θυρών διπλού κατευθυντικού συζεύκτη τερματισμένων εσωτερικά στην αντίσταση της γραμμής μεταφοράς.



Σχήμα 4.12 Δομή Directional Coupler τεσσάρων (α) και τριών (β) θυρών.



Σχήμα 4.13 Δομή διπλού κατευθυντικού συζεύκτη τεσσάρων θυρών.

Παρακάτω αναφέρονται κάποιες ορολογίες που χρησιμοποιούνται στους κατευθυντικούς συζεύκτες.

4.3.1.1 Συντελεστής Σύζευξης – Coupling Factor

Ορίζεται ως ο λόγος σε dB, της ισχύος (P_{coup}) σύζευξης, προς τον λόγο της ισχύος (P_{in}) εισόδου, όταν όλες οι άλλες θύρες είναι κατάλληλα τερματισμένες:

$$Coupling.Factor(dB) = -10 \log \frac{P_{coupling}}{P_{incident}} \quad (4.1)$$

4.3.1.2 Συντελεστής Απομόνωσης – Isolation Factor

Ουσιαστικά είναι το αντίθετο μέγεθος του συντελεστή σύζευξης. Ορίζεται ως ο λόγος, σε dB, της ισχύος ($P_{coup-reverse}$) σύζευξης του επιστρεφόμενου σήματος, προς τον λόγο της ισχύος (P_{in}) εισόδου, όταν όλες οι άλλες θύρες είναι κατάλληλα τερματισμένες:.

$$Isolation(dB) = -10 \log \frac{P_{coupled-reverse}}{P_{incident}} \quad (4.2)$$

Ο συντελεστής απομόνωσης είναι ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει την ικανότητα του κατευθυντικού συζεύκτη για σύζευξη της ανακλώμενης ισχύος. Η τιμή της για μια καλή προσαρμογή είναι μηδέν.

4.3.1.3 Απώλεια παρεμβολής – Insertion Loss

Ορίζεται ως η απώλεια που παρατηρείται στην ισχύ εξόδου του κατευθυντικού συζεύκτη, εξαιτίας της εισαγωγής του, στο σύστημα εκπομπής προς την φορά διάδοσης. Έχει την ίδια σημασία όπως και στις άλλες μικροκυματικές συσκευές. Περιγράφει τις απώλειες που προστίθενται στο σύστημα από την εισαγωγή μιας συσκευής σε ένα σύστημα εκπομπής και λήψης.

$$Insertion.Loss(dB) = -10 \log \frac{P_{forward}}{P_{incident}} \quad (4.3)$$

4.3.1.4 Κατευθυντικότητα - Directivity

Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που εμφανίζεται στην έξοδο της δευτερεύουσας γραμμής όταν το σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο του συζεύκτη, προς την ισχύ που εμφανίζεται στην δευτερεύουσα γραμμή όταν το ίδιο σήμα εφαρμόζεται στην έξοδο του συζεύκτη (αντίθετη κατεύθυνση).

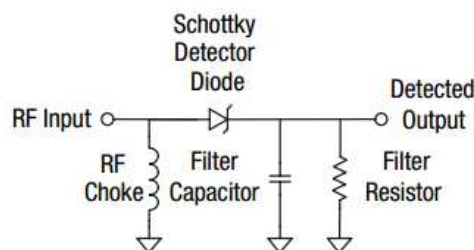
$$Directivity(dB) = -10 \log \frac{P_{coupled-reverse}}{P_{coupled}} \quad (4.4)$$

4.3.2 Ανίχνευση σήματος

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ανιχνευτών ισχύος: Ανιχνευτές κορυφής (peak) και ανιχνευτές ενεργούς τιμής (RMS). Οι ανιχνευτές κορυφής δίνουν πληροφορία για την μέγιστη ισχύ του σήματος και οι RMS για την μέση τιμή της με άμεση συνέπεια να χρησιμοποιούνται οι πρώτοι σε κυκλώματα αποφυγής υπερφόρτωσης και οι δεύτεροι σε κυκλώματα αυτόματου ελέγχου προσαρμογής (AGC) και μέτρησης στασίμων κυμάτων.

4.3.2.1 Ανίχνευση με τη χρήση διόδων

Η ανίχνευση με τη χρήση διόδων επιτυγχάνεται με ένα κύκλωμα ανόρθωσης. Το κύκλωμα ανόρθωσης περιλαμβάνει μια δίοδο, ένα πυκνωτή που θα δρα ως φίλτρο, αντιστάσεις και πιθανόν ένα στραγγαλιστικό πηνίο (RF choke)[Σχήμα 4.14] (Skyworks, 2011). Τα κυκλώματα ανίχνευσης ισχύος με δίοδο δεν μετρούν την RMS τιμή του σήματος. Η τάση εξόδου τους μεταβάλλεται σε συνάρτηση του παράγοντα κορυφής (*crest factor*).



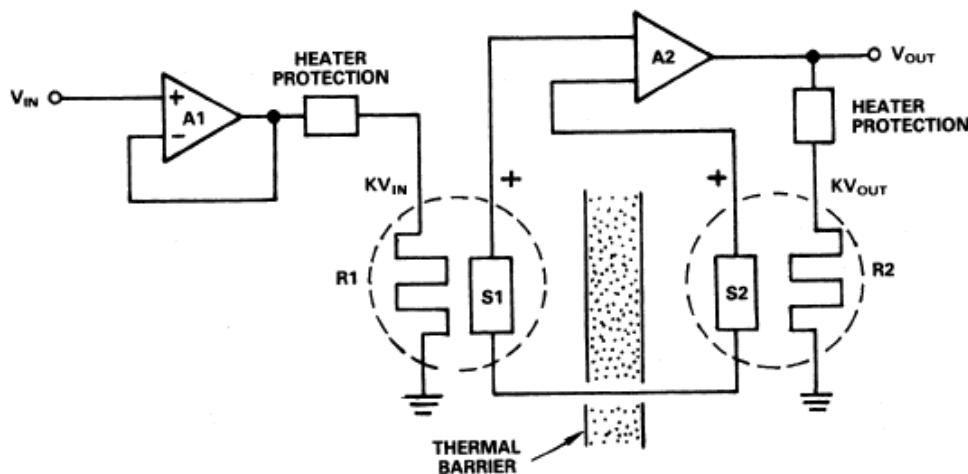
Σχήμα 4.14 Ανιχνευτής με Schottky δίοδο.

4.3.2.2 Θερμικοί ανιχνευτές

Η θερμική ανίχνευση βασίζεται στον πρακτικό ορισμό του RMS (Εξ. 4.5). Περιλαμβάνει την σύγκριση του ποσού θερμότητας που εκλύεται από μια αντίσταση όταν διέρχεται από αυτήν ένα άγνωστο AC-σήμα με το ποσό θερμότητας που εκλύεται από μια αντίσταση στην οποία διέρχεται DC-τάση αναφοράς [Σχήμα 4.15]..

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \quad (4.5)$$

Όταν η βαθμονομημένη τάση αναφοράς που ισοδυναμεί με την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην αντίσταση αναφοράς και στην αντίσταση σήματος, προσαρμόζεται στο μηδέν, η ισχύς που καταναλώνεται στις δύο αντιστάσεις είναι η ίδια. Έτσι από τον βασικό ορισμό του RMS η τιμή της DC-τάσης αναφοράς θα είναι ίση με την τιμή RMS του σήματος. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι το πολύ μεγάλο εύρος ζώνης και η καλή ακρίβεια μετρούμενης και πραγματικής ισχύος. Το μειονέκτημα της είναι η χρήση επιπλέον κυκλωμάτων ρυθμίσεων (Gorisse et al, 2008). Χρησιμοποιούνται ως ανιχνευτές τα θερμίστορ και τα θερμοζεύγη (Agilent, 2000).



Σχήμα 4.15 Μετατροπή θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική τάση.

4.3.2.3 Λογαριθμικοί Ανιχνευτές ισχύος

Οι λογαριθμικοί ενισχυτές δίνουν στη έξοδο τους μια τάση ανάλογη με το σήμα εισόδου εκφρασμένη όμως σε ντεσιμπέλ (dB). Για σήματα μέχρι και 8 GHz οι ανιχνευτές αυτού του

τύπου υπερέχουν από του ανιχνευτές διόδου. Η θερμοκρασιακή σταθερότητα, το μεγαλύτερο δυναμικό εύρος και μεγαλύτερη ευαισθησία εισόδου είναι μερικά χαρακτηριστικά που ενισχύουν την χρήση των λογαριθμικών ενισχυτών. Οι ανιχνευτές με λογαριθμικούς ενισχυτές όπως και οι ανιχνευτές με διόδους, δεν υπολογίζουν την *RMS* τιμή του σήματος με αποτέλεσμα η έξοδος του ανιχνευτή εξαρτάται από τον παράγοντα κορυφής του σήματος εισόδου. Έτσι όταν ο παράγοντας κορυφής του σήματος εισόδου είναι άγνωστος ή αλλάζει όπως και στην περίπτωση των ανιχνευτών διόδου η μέτρηση μπορεί να οδηγήσει σε λάθος αποτελέσματα.

4.3.2.4 Μονολιθικοί ανιχνευτές ισχύος ενεργού τιμής – True RMS detector

Οι ανιχνευτές *True RMS* υπολογίζουν την πραγματική τιμή *RMS* μιας κυματομορφής εφαρμόζοντας την εξίσωση (4.5). Οι *True RMS* ανιχνευτές ισχύος μπορούν να μετρήσουν ανεξάρτητα από τον τύπο του σήματος ή του παράγοντα κορυφής. Έτσι ένα ημιτονικό, τετραγωνικό ή οποιασδήποτε μορφής σήμα με την ίδια *RMS* τιμή εισόδου θα έχει την ίδια τιμή τάσης στην έξοδο παρέχοντας έτσι την δυνατότητα μέτρησης ανεξάρτητα από το είδος του σήματος εισόδου. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ σημαντική όταν ο λόγος από κορυφή σε κορυφή (peak-to-peak) προς την μέση τιμή ενός σήματος μεταβάλλεται. Κατασκευάζονται σε μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος και η κυματομορφή τάσης εξόδου σε σχέση με το εισερχόμενο σήμα ακολουθεί σχέση αναλογίας (Kitchin & Counts, 1986). Σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιήθηκε ο AD8361 της εταιρίας Analog.

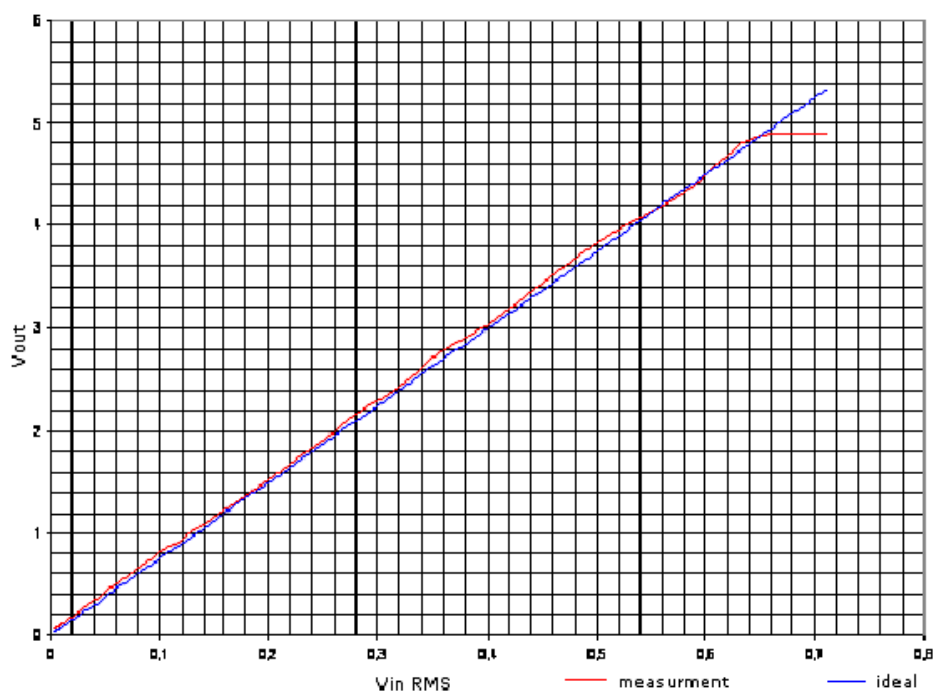
4.3.3 Υλοποίηση

Για την μέτρηση των στασίμων κυμάτων στις γραμμές μεταφοράς υπάρχουν πολλές προτάσεις υλοποίησης. Όλες οι προτάσεις βασίζονται στην σύζευξη μέσω κατευθυντικών συζευκτών των οδεύοντων και των ανακλώμενων κυμάτων και στην μαθηματική τους επεξεργασία για την εύρεση του συντελεστή ανάκλασης (Rachakonda & Hawkins, 2007). Για την εξαγωγή του συντελεστού ανάκλασης είναι δυνατή η χρήση δύο ανιχνευτών διόδων ή δύο λογαριθμικών ανιχνευτών ισχύος ή η χρήση ενός διπλού λογαριθμικού ανιχνευτή (Nash, 2005). Για την υλοποίηση του κυκλώματος μέτρησης στασίμων κυμάτων, επιλέχθηκαν οι κατευθυντικοί συζεύκτες BDCN-7-25 (Mini-Circuits) και ο TRUE RMS ανιχνευτής ισχύος

AD8361 (Analog Devices, 2004) της εταιρίας Analog Devices. Για τον προγραμματισμό του AD8361 χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής της ATMEL Attiny2313 (Atmel, 2006). Στο Σχήμα 4.16 εμφανίζεται η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος που κατασκευάστηκε για την μετατροπή της συζευγμένης ισχύος από τους κατευθυντικούς συζεύκτες σε ψηφιακό σήμα και στο Σχήμα 4.17 απεικονίζεται η γραφική παράσταση της συμπεριφοράς του True RMS AD8361 σε σχέση με το σήμα εισόδου στην είσοδό του όπου φαίνεται η ταύτιση της πειραματικής με την θεωρητική καμπύλη.

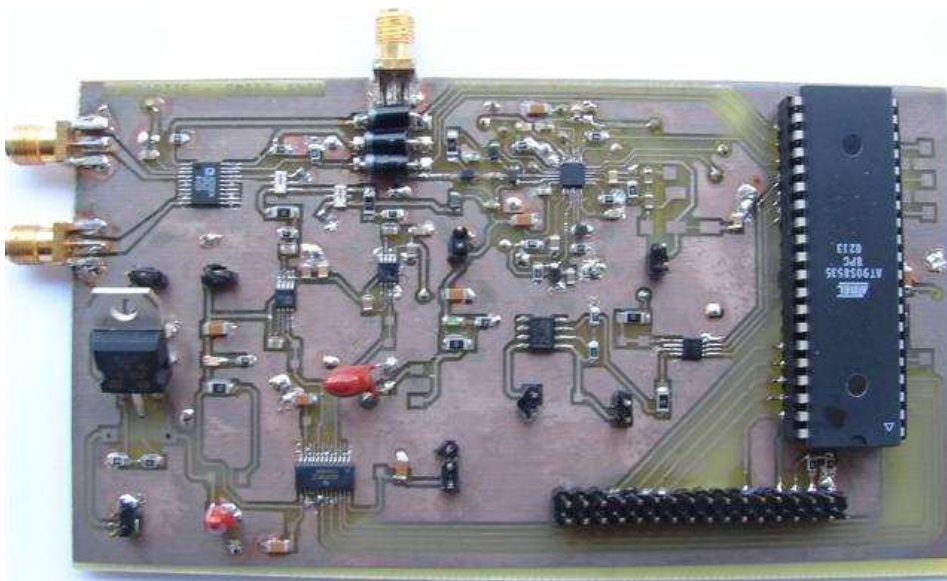


Σχήμα 4.16 Η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος με τον ανιχνευτή ισχύος TRUE RMS AD8361.



Σχήμα 4.17 Η έξοδος του AD8361 σε σχέση με την είσοδο. Με μπλε η ιδανική και με κόκκινο η πειραματική καμπύλη.

Στη συνέχεια υλοποιήθηκε η τελική πλακέτα του συστήματος αυτόματης προσαρμογής, με την χρήση της φωτολιθογραφικής μεθόδου στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Η τελική πλακέτα φαίνεται σε φωτογραφία στο Σχήμα 5.1 και περιλαμβάνει τα επιμέρους συστήματα που κατασκευάστηκαν σε ξεχωριστές πλακέτες. Η κεραία συνδέεται στον κάτω αριστερά σύνδεσμο τύπου SMA ενώ ο δέκτης συνδέεται στον πάνω αριστερά. Το σήμα που παράγει η γεννήτρια συχνοτήτων μπορεί να ελεγχθεί μέσω του SMA συνδέσμου που υπάρχει στο πάνω μέρος της πλακέτας. Ο μικροελεγκτής ATMEGA8535 (Atmel, Data Sheet, 2006) αναλαμβάνει τον ρόλο του συντονισμού των αποφάσεων και αποτελεί την καρδιά του συστήματος. Αρχικά απομονώνει την κεραία από τον δέκτη δίνοντας εντολή στον πολυπλέκτη 4:1 ADG904BRU-500RL7 (Analog, Data Sheet, 2007) να δημιουργήσει τη σύνδεση με την κεραία. Στη συνέχεια δίνει εντολή στην γεννήτρια συχνοτήτων που αποτελείται από το VCO ADF4360-7 (Analog, Data sheet, 2004) να παράγει ένα αναλογικό φάσμα συχνοτήτων. Η έξοδος τη γεννήτριας συνδέεται με την κεραία μέσω δύο διπλών κατευθυντικών συζευκτών BDCN-7-25+ (Mini-Circuits, Datasheet). Το συζευγμένο σήμα από τους δύο συζεύκτες ανιχνεύεται από δύο ανιχνευτές ισχύος AD8361 (Analog, Datasheet, 2004) και ψηφιοποιείται στον Αναλογικό σε Ψηφιακό Μετατροπέα ADS8361 (Burr-Brown, 2002) ώστε να μπορεί να εισαχθεί ως δεδομένα στον μικροελεγκτή. Εκτελείται ο αλγόριθμος υπολογισμού του λόγου στασίμων κυμάτων και αναλόγως την περίπτωση δίνει εντολή στον Ψηφιακό σε Αναλογικό Μετατροπέα DAC-AD5301 (Analog, Data Sheet - AD5301, 2007) να αυξήσει ή να ελαττώσει την τάση εξόδου της. Η τάση εξόδου από τον Ψηφιακό Αναλογικό Μετατροπέα ενισχύεται μέσω ενός κυκλώματος τελεστικού ενισχυτή TL072 (Texas, 2005). Το σύστημα αυτόματου συντονισμού είναι προς δημοσίευση.



Σχήμα 4.18 Φωτογραφία ολοκληρωμένου συστήματος αυτόματης προσαρμογής συχνότητας συντονισμού.

4.4 Συμπεράσματα

Για τον έλεγχο του συντονισμού της κεραίας PIFA υλοποιήθηκε ένα σύστημα ελέγχου με τη χρήση μικροελεγκτή. Η λειτουργία του συστήματος βασίστηκε στην ανά τακτά διαστήματα μέτρηση της συμπεριφοράς της κεραίας και η κατ' εντολή αλλαγή της συχνότητας συντονισμού της στην αρχική συχνότητα συντονισμού που έχει επιλεγεί, σε περιπτώσεις που για οποιοδήποτε εξωτερικό παράγοντα έχει μετακινηθεί από αυτήν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

5.1 Γενικά Συμπεράσματα

Η διατριβή αυτή είχε ως στόχο τη μελέτη και κατασκευή ενός αυτόματου συστήματος λήψης φέροντος. Μελετήθηκαν για το σκοπό αυτό κεραίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και επιλέχθηκε η κεραία PIFA. Μεταξύ άλλων είχε το πλεονέκτημα του στενού εύρους ζώνης, του μικρού μεγέθους της και της δυνατότητάς της να ενσωματωθεί σε κινητές συσκευές. Για τον επαναπροσδιορισμό της συχνότητας συντονισμού της κεραίας, όταν αυτή αλλάξει λόγω της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων, προτάθηκε η χρήση διόδων varactor για αδιαβάθμητη αλλαγή στο φάσμα σε αντίθεση με τη χρήση των ON-OFF τεχνολογιών PIN δίοδοι, RF MEMS διακόπτες που επιτρέπουν διακριτή αλλαγή. Παρατηρήθηκε η απρόσκοπτη λειτουργία της, με τη χρήση της διόδου varactor, στην επιθυμητή συχνότητα λειτουργίας ακόμα και με μείωση των διαστάσεών της. Αυτό της δίνει την δυνατότητα ενσωμάτωσής της σε μικρές κινητές συσκευές.

Για τον επαναπροσδιορισμό της συχνότητας λειτουργίας της κεραίας προτάθηκε και υλοποιήθηκε ένα σύστημα με βασική μονάδα ελέγχου έναν μικροελεγκτή. Το σύστημα αυτό παρεμβάλλεται μεταξύ της κεραίας και του δέκτη και αναλαμβάνει ανά τακτικά χρονικά διαστήματα την επαναφορά της συχνότητας συντονισμού της κεραίας στην επιθυμητή συχνότητα λειτουργίας της. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι η μέτρηση των στασίμων κυμάτων που δημιουργούνται από την κεραία με τη χρήση συζευκτών για την ανάγνωση του οδεύοντος και του επιστρεφόμενου κύματος. Ανάλογα με την τιμή που υπολογίζεται για ένα εύρος συχνοτήτων, ο μικροελεγκτής αποφασίζει για την αλλαγή στην τιμή της ανάστροφης τάσης πόλωσης της διόδου varactor που βρίσκεται στην κεραία PIFA.

5.2 Προτάσεις Βελτίωσης – Μελλοντική Έρευνα

Ένα σύστημα αυτόματης προσαρμογής φέροντος μπορεί άμεσα να χρησιμοποιηθεί σε φορητές συσκευές κινητής τηλεφωνίας. Για να είναι εφικτή η ενσωμάτωση του προτεινόμενου συστήματος απαιτείται η ελαχιστοποίηση του μεγέθους του και η προσαρμογή

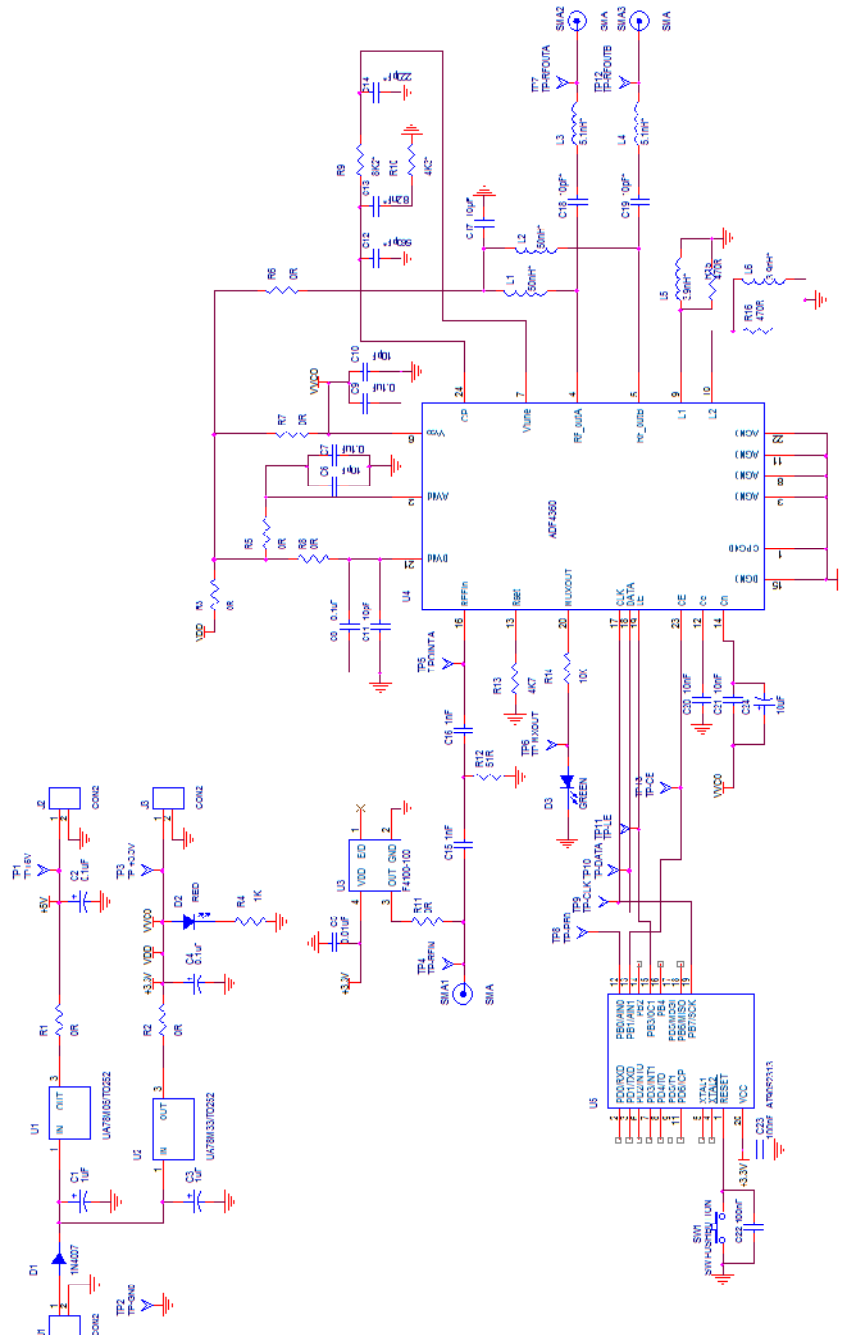
του στο μέγεθος και στις συνθήκες λειτουργίας των κινητών συσκευών. Προτεινόμενες λοιπόν αλλαγές στο αυτόματο σύστημα λήψης φέροντος είναι:

- Σμίκρυνση διαστάσεων κεραιών ώστε να είναι ικανή η τοποθέτησή τους στο εσωτερικό των κινητών συσκευών.
- Υλοποίηση κεραιών λήψης σε περισσότερες από μια ζώνες (π.χ. GSM-900 και GSM-1800).
- Υλοποίηση συστήματος συντονισμού και για τις ζώνες GSM-1800.
- Σμίκρυνση διαστάσεων πλακέτας υλοποίησης του κυκλώματος αυτόματου συντονισμού με την χρήση της τεχνολογίας εκτύπωσης πλακετών σε περισσότερα από δύο επίπεδα σχεδίασης. Τα περισσότερα επίπεδα σχεδίασης θα επιφέρουν δραστική μείωση των διαστάσεων του κυκλώματος αυτόματου συντονισμού. Μια ενδιαφέρουσα έρευνα θα ήταν η υλοποίηση όλου του συστήματος με την τεχνολογία VLSI σε ένα μόνο ηλεκτρονικό εξάρτημα.

Για την απρόβλεπτη λειτουργία απαραίτητη είναι η χρησιμοποίηση της παρεχόμενης τάσης από την μπαταρία των κινητών συσκευών. Θα χρειαστεί λοιπόν μια αλλαγή στην χρήση κάποιον ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με κάποια χαμηλής τάσης (*low voltage*) όση είναι η διαθέσιμη τάση από την μπαταρία των συσκευών.

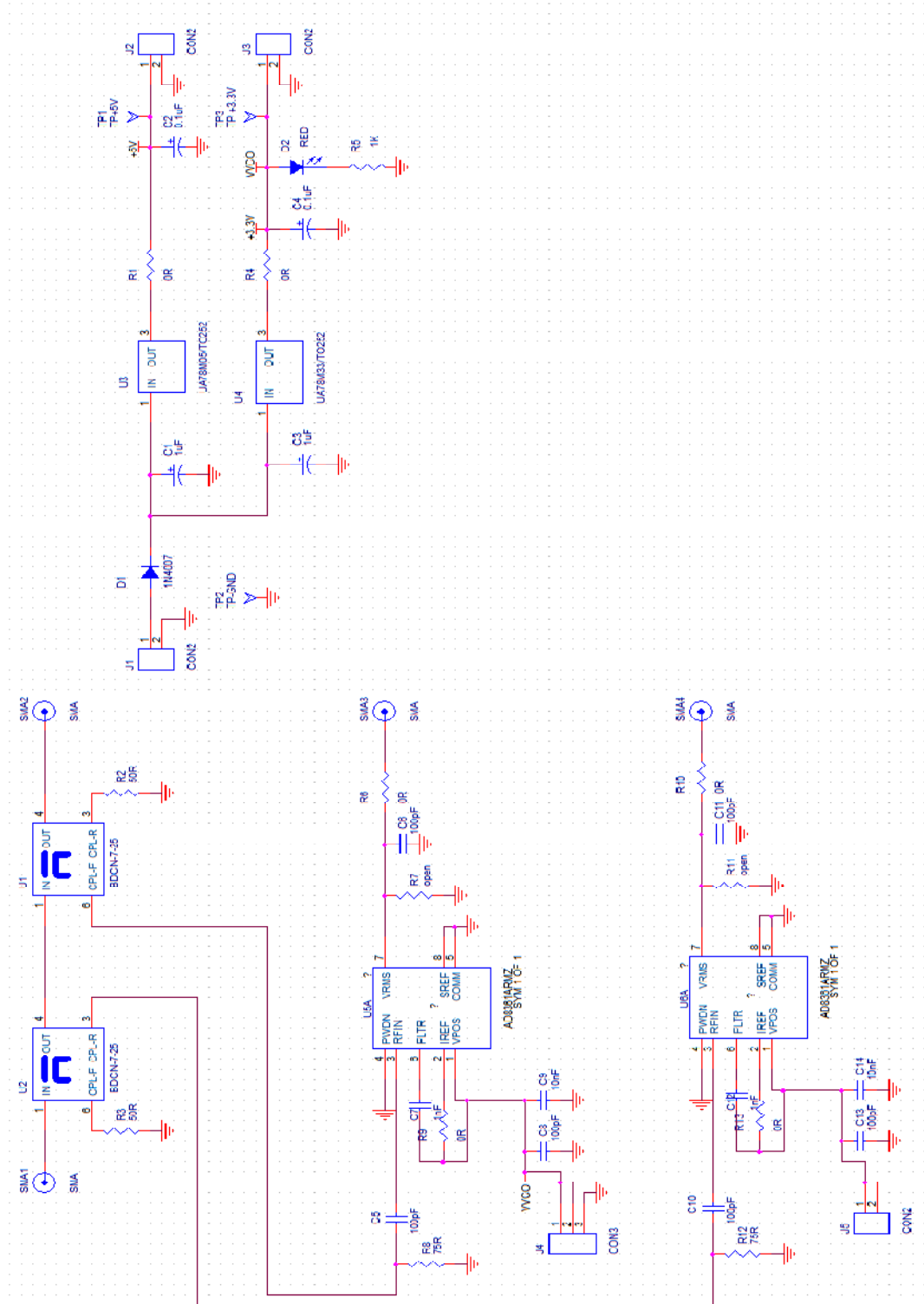
6. ΣΧΗΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ PCB

6.1 Γεννήτρια σημάτων



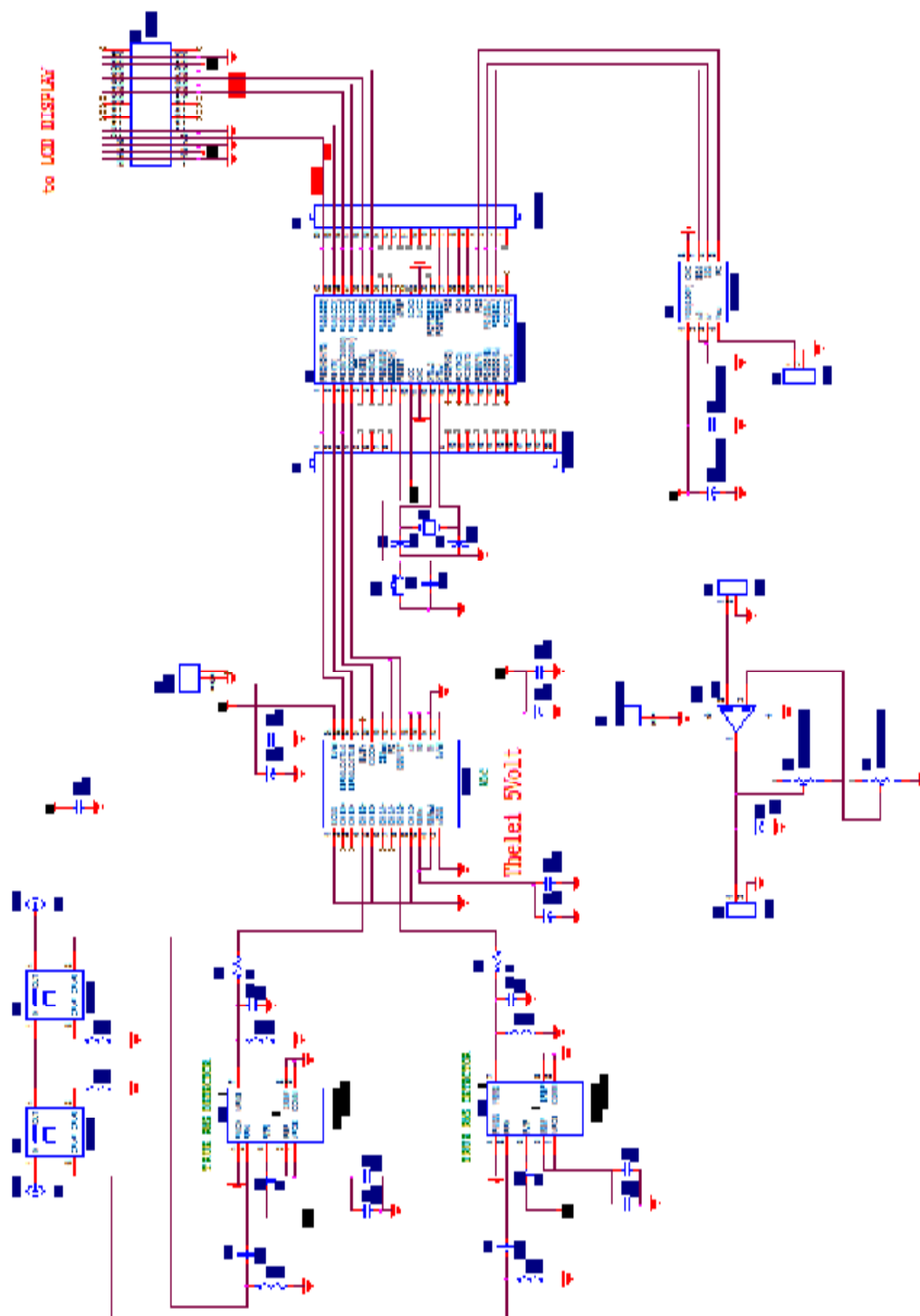
Σχήμα 6.1 Η γεννήτρια σημάτων βασισμένη στο ADF4360.

6.2 Ανιχνευτής στασίμων κύματος μέρος 1ο



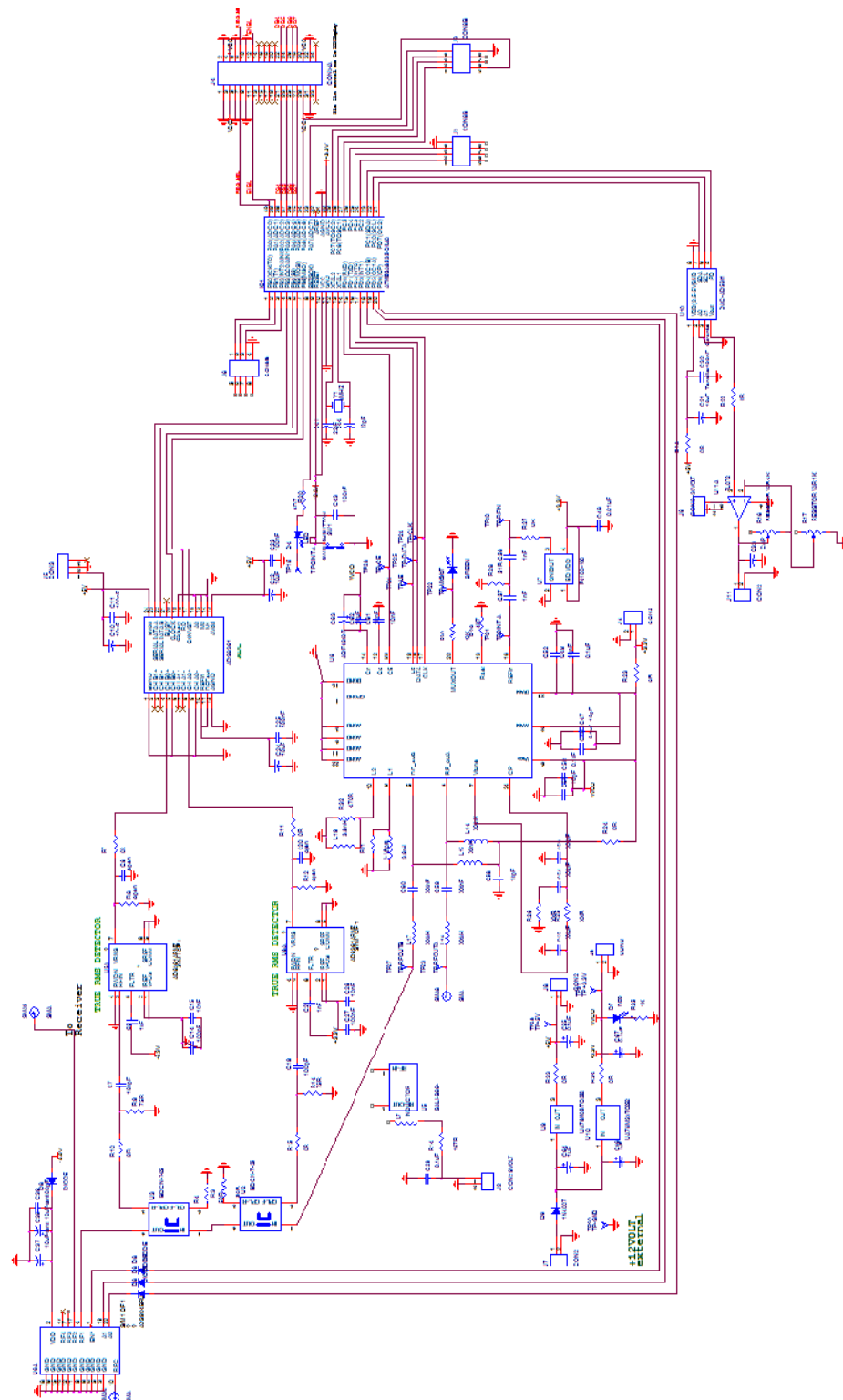
Σχήμα 6.2 Ανιχνευτής στασίμου κύματος

6.3 Μετρητής στασίμων κυμάτων



Σχήμα 6.3 Μετρητής στασίμων κυμάτων

6.4 Ολοκληρωμένο σύστημα



Σχήμα 6.4 Ολοκληρωμένο σύστημα

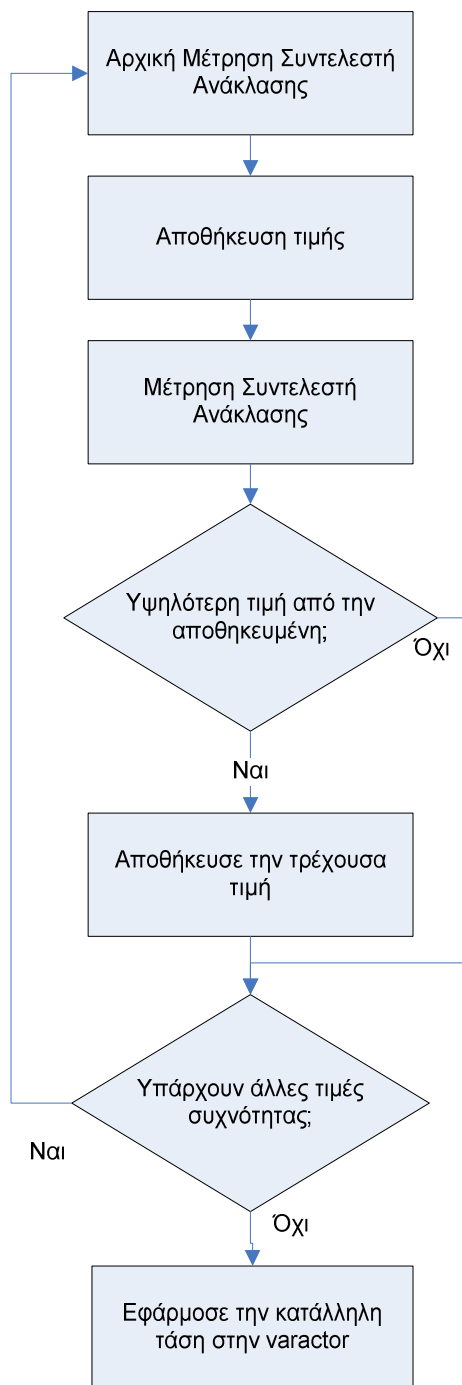
7. ΚΩΔΙΚΑΣ

7.1 Εισαγωγή

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή έγινε σε γλώσσα C++ με τη χρήση του ανοιχτού κώδικα μεταγλωττιστή AVR GCC.

7.2 Διάγραμμα ροής

Το διάγραμμα ροής απεικονίζεται στο Σχήμα 7.1 και βασίζεται στην μελέτη των (Song, Aberle, & Bakkaloglu, 2012). Αρχικά ο μικροελεγκτής θέτει σε λειτουργία την γεννήτρια συχνοτήτων στην χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας της για την ζώνη GSM-900 (π.χ. 890MHz) και πραγματοποιεί μια μέτρηση του συντελεστή ανάκλασης. Αυτήν την τιμή την αποθηκεύει και πραγματοποιεί μια νέα μέτρηση στην επόμενη συχνότητα λειτουργίας υψηλότερη της αρχικής. Εάν αυτή η τιμή του συντελεστή ανάκλασης είναι μεγαλύτερη από την αποθηκευμένη, αποθηκεύει την νέα τιμή αλλιώς συνεχίζει στο επόμενο στάδιο. Στο επόμενο στάδιο ελέγχει αν βρίσκεται στην υψηλότερη συχνότητα λειτουργίας η γεννήτρια συχνοτήτων (915MHz) και επαναλαμβάνει τα βήματα από το δεύτερο στάδιο ή τελειώνει τις μετρήσεις και στέλνει εντολή στον DAC να δώσει στην varactor την κατάλληλη τάση για να αλλάξει η χωρητικότητά της.



Σχήμα 7.1 Διάγραμμα ροής κώδικα μικροελεγκτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aberle, J., Bakkaloglu, B., Chakrabarti, C., Oh, S., Taylor, G., Song, H., και συν. (2005). Automatically Tunign Antenna for Software-Defined and Cognitive Radio. *Software Defined Radio 2005 Technical Conference & Product Exposition*. California: Software Defined Radio 2005 Technical Conference & Product Exposition.
2. Abutarboush, H. F. (2011). *Fixed and Reconfigurable Multiband Antennas*. London: Brunel University.
3. Agilent, T. (2000). *Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements*. Agilent Technologies.
4. Anagnostou, D. E., Zheng, G., Chryssomallis, M. T., Lyke, J. C., Papapolymerou, J., & Christodoulou, C. (2005). On the Silicon-etched Re-configurable Antenna with RF-MEMS Switches. *IEEE APS/URSI International Symposium* (σσ. 417-4220). Washington, DC: IEEE APS/URSI .
5. Analog, D. (2007). Data Sheet - AD5301. Norwood, MA, USA.
6. Analog, D. (2007). Data Sheet - ADG904/ADG904-R. Norwood, MA, USA.
7. Analog, D. (2004). Data sheet AD4360-7. Norwood, MA, USA.
8. Analog, D. (2004). Datasheet AD8361. Norwood, MA, USA.
9. Antognetti, G. M. (Dec, 1998). *Semiconductor Device Modeling with SPICE*. McGraw-Hill.
10. Atmel. (2006, Okt). Data Sheet, ATmega8535 8-bit AVR Microcontroller.
11. Atmel. (2006). Datasheet ATtiny2313. USA.
12. Aziz, R., Alkanhal, M., & Sheta, A. (2011). Multiband Fractal-Like Antennas. *Progress in Electromagnetics Research B* , σσ. 339-354.
13. Balanis, C. (2005). *Κεραίες - Ανάλυση & Σχεδίαση*. Εκδόσεις ΙΩΝ.
14. Boyle, K., & Ligthart, L. (2006). Radiating and Balanced Mode Analysis of PIFA Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol 54 , 231-237.
15. Burr-Brown. (2002, August). Data Sheet - ADS8361.

16. Chan, K., Chow, K., Fung, L., & Leung, S. (2005, May). SAR of Internal antenna in Mobile-Phone Applications. *Microwave and Optical Technology Letters* , σσ. 286-290.
17. Chattha, H., Huang, Y., Zhu, X., & Lu, Y. (2009). An Empirical Equation for Predicting the Resonant Frequency of Planar Inverted-F Antennas. *Vol. 8*.
18. Chen, Z. N. (2007). *Antennas for Portable Devices*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
19. Chiu, C. Y., Shum, K. M., & Chan, C. H. (2007). A Tunable Via-Patch Loaded PIFA With Size Reduction. *Vol. 55 (no 1)*.
20. Christodoulou, C., Anagnostou, D., & Zachou, V. (2006). Reconfigurable Multifunctional Antennas. *IEEE International Workshop on Antenna Technology Small Antennas and Novel Metamaterials* (σσ. 176-179). New York: IEEE .
21. Company, P. -A. (2010). Penta-Band Stand Alone PWB Antenna.
22. Gorisse, J., Cathelin, A., Kaiser, A., & Kerherve, E. (2008). A 60GHz CMOS RMS Power Detector for Antenna Impedance Mismatch Detection. *Circuits and Systems and TAISA Conference, 2008. NEWCAS-TAISA 2008. 2008 Joint 6th International IEEE Northeast* (σσ. 93-96). Mondreal: IEEE.
23. Guo, Y., Chia, M., & Chen, Z. (2003). Miniature Built-In Quad-Band Antennas for Mobile Handsets. *IEEE Antennas andn Wireless Propagation Letters* , Vol.2.
24. Holland, B., Ramadoss, R., Pandey, S., & Agrawal, P. (2006, March 16). Tunable Coplanar Patch Antenna Using Varactor. *IEEE Electronics Letters* .
25. Huang, Y., & Boyle, K. (2008). *Antennas: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons.
26. Ibnyaich, S., Ghammaz, A., & Hassani, M. (2011). Development of Wideband Planar Inverted-F Antennas for Wireless Application. *Journal of Computer Science* , 1172-1177.
27. Inigo Gutierrez, J. M. (2006). *Design and Characterization of Integrated Varactors for RF Applications*. John Wiley & Sons, Ltd.
28. *IT-Specific Encyclopedia*. (n.d.). Ανάκτηση από <http://whatis.techtarget.com>.

29. James, J. R., & Hall, P. (1989). *Handbook of Microstrip Antennas*. Peter Peregrinus Ltd.
30. Jung, H., Park, H., Hong, S., & Choi, J. (2007, February). A Wideband Internal Antenna with Shorting Strip for Mobile Handset. *Microwave and Optical Technology Letters* , σσ. 424-427.
31. Karmakar, N. C. (2003). Smart Planar Inverted-F Antenna for Broadband Applications. *Microwave and Optical Technology Letters* , Vol. 39 (No. 5).
32. Kim, B., Pan, B., Nikolaou, S., Kim, Y.-S., Papapolymerou, J., & Tentzeris, M. (2008). A Novel Single-Feed Circular Microstrip Antenna With Reconfigurable Polarization Capability. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* , σσ. 630-638.
33. Kingsley, N., Anagnostou, D., Tentzeris, M., & Papapolymerou, J. (2007). RF MEMS Sequentially Reconfigurable Sierpinski Antenna on a Flexible Organic Substrate With Novel DC-Biasing Technique. *Journal of Microelectromechanical Systems* , 1185.
34. Kitchin, C., & Counts, L. (1986). RMS to DC Conversion Application Guide.
35. Komulainen, M., Berg, M., & Jantunen, H. (2008, April). A Frequency Tuning Method for a Planar Inverted-F Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* , σσ. 944-950.
36. Kountouriotis, J., Piazza, D., Mookiah, P., D'Amico, M., & Dandekar, K. (2011). Reconfigurable antennas and configuration selection methods for MIMO ad hoc networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* .
37. Kraus, J. (1998). Κεραίες 2η έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα.
38. Lian, W., Wang, W., Hen, Z., & Ye, S. (2010). Frequency and Pattern Reconfigurable Antenna to Enhance the Performance of Cognitive Radio.
39. Liang, J., & Yang, Y. (2009). Varactor Loaded Tunable Printed PIFA. *Progress in Electromagnetics Research B* .
40. Litwinczuk, N. (2005). Computer-aided Design of Automatic Antenna Matching Devices. *6th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology* (σσ. 166-170). St. Petersburg, Russia: IEEE.

41. Merrimac. (1996, March). <http://www.merrimacind.com/rfmw/appnotes.html>.
Ανάκτηση 2012, από merrimacind.com:
http://www.merrimacind.com/rfmw/07intro_directionalcouplers.pdf
42. Microsemi, C. (1998). The PIN Diode Circuit Designers Handbook. Watertown.
Ανάκτηση June 2012, από http://www.ieee.li/pdf/pin_diode_handbook.pdf
43. Milligan, T. (2005). *Antenna Design*. Wiley Interscience.
44. Mini-Circuits. (n.d.). Datasheet BDCB-7-25+. New York, New York, USA.
45. Mini-Circuits. (n.d.). High Power Bi-Directional Coupler BDCN-7-25. New York, USA.
46. Mishra, K., Garg, D., & Jaju, M. (n.d.). Design of a Compact PIFA for PCS Applications.
47. Nash, E. (2005). Measuring VSWR and Gain in Wireless Systems. *Microwave Journal*.
48. Nashaat, D., Elsadek, H., & Ghali, H. (2005, August). Single Feed Compact 4-Band PIFA for Wireless Communication Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation Vol53*, σ. 2631.
49. Nguyen, V., Bhatti, R., & S.O., P. (2008). A Simple PIFA-Based Tunable Internal Antenna for Personal Communication Handsets. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 7.
50. Nguyen, V., Dao, M., Lim, Y., & Park, S. (2008). A Compact Tunable Internal Antenna for Personal Communication Handsets. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 569- 572.
51. Nikolaou, S., Bairavasubaraanian, R., Lugo, C., Carrasquillo, I., Thompson, D., Ponchak, G., και συν. (2006, February). Pattern and Frequency Reconfigurable Annular Slot Antenna Using PIN Diodes. *IEEE Transactions of Antennas and Propagation*, σσ. 439-447.
52. Nnshnal, D., Elmdek, H., & Ghall, H. (2003). Dual-Band Reduced Size PIFA Antenna with U-Slot for Bluetooth and WLAN Applications. *IEEE*, 962-965.

53. Pan, B., Papapolymerou, J., & Tenetzeris, M. (2008). *MEMS Integrated and Micromechined Antenna Elements, Arrays and Feeding Networks*. Wiley, J.
54. Panayi P., N. A. (2001). Tuning techniques for Planar Inverted-F Antenna. *Vol. 37*.
55. Quevedo-Teruel, O., Rajo-Iglesias, E., Inclán-Sánchez, L., & Vázquez-Roy, J. (2010). Reconfigurable loaded planar inverted F-antenna by making use of varactor diodes. *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*. IEEE.
56. Rachakonda, A., & Hawkins, L. (2007). Log Amps and Directional Couplers enable VSWR detection. *RF Design* , 28-34.
57. Raptis, V., Tatsis, G., Votis, C., Chronopoulos, S., Christofilakis, V., & Kostarakis, P. (2010). Tuning Techniques for Planar Antennas in Wireless Communication. *BPU7. Vol. 1203*, σσ. 1053-1057. Alexandroupolis: American Institute of Physics Conference Series Vol.1203.
58. Raptis, V., Votis, C., Tatsis, G., Christofilakis, V., & Kostarakis, P. (2010). Active Tuning Antennas for Wireless Communication. *BPU7* (σσ. 1058-1062). Alecandroupolis: American Institute of Physics Conference.
59. Rostbakken, O., Hilton, G., & Railton, C. (1995). Adaptive feedback frequency tuning for microstrip patch antennas. *Ninth International Conference on (Conf. Publ. No. 407)* (σσ. 166-170). Antennas and Propagation.
60. Semiconductor, F. (n.d.). Compact Integrated Antennas Application Note, Rev. 1.3.
61. Skyworks. (2012, June 14). Data Sheet SMV123x Series: Hyperabrupt Junction Tuning Varactors.
62. Skyworks Solutions, I. (2008, August). Application Note - Varactor Diodes.
63. Skyworks, S. (2011, October). RF Diode Design Guide. Woburn, Massachusetts , USA.
64. Song, H., Aberle, J., & Bakkaloglu, B. (2012). *Ευρεσιτεχνία Αρ. US 8,095,085 B2*. USA.
65. Song, H., Oh, S., Aberle, J., Bakkalogloy, B., & Chakrabarti, C. (2007). Automatic Antenna Tunign Unit for Software-Defined and Cognitive Radio. *Antennas and Propagation Society International Symposium* (σσ. 85-88). Hawaii: IEEE.

66. Soras, C., Karaboikis, M., Tsachtsiris, G., & Makios, V. (February 2002). Analysis and Design of an Inverted-F Antenna Printed on PCMCIA Card for the 2.4 GHz ISM Band. *Vol. 44* (No. 1).
67. Srivastava, S., Vishvakarma, B., & Ansari, J. (2003). Tunnel Diode-Loaded Rectangular Microstrip Antenna for Millimeter Range. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* , *Vol. 51* (No. 4).
68. Su, C., Wu, C., K.Wong, S.Yeh, & Tanq, C. (2006, August). Users Hand Effects on EMC internal GSM-DCS Dual Band Mobile Phone Antenna. *Microwave and Optical Technology Letters* , σσ. 1563-1569.
69. Taga, T. (1992). Analysis of Planar Inverted-F Antennas and Antenna Design for Portable Radio Equipment. Στο K. Hirasawa, & M. Haneishi, *Analysis, design, and measurement of small and low-profile antennas*. Boston: Artech House.
70. Taga, T., & Tsunekawa, K. (1987). Performance Aanalysis of a Built-In Planar Inverted F Antenna for 800 MHz Portable Radio Units. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* , 921-929.
71. Tatsis, G., Raptis, V., & Kostarakis, P. (2010). Design and Measurement of Ultra Wideband Antenna. *IJCNS* , 116-118.
72. Texas, I. (2005). Data Sheet - TL072. Dallas, Texas.
73. Volakis, J. (2007). *Antenna Engineering Handbook*. Mc Graw Hill.
74. White, D. (2010). *Ευρεσιτεχνία Αρ.* US 2010/0248649 A1. USA.
75. Wong, K. L. (2003). *Planar Antennas for Wireless Communications*. Wiley.
76. Yang, S., Pan, H. F., El-Ghazaly, S., & Nair, V. (2006). A Novel Reconfigurable Mini-Maze Antenna for Multi-Service Wireless Universal Receiver Using RF MEMS. *International Microwave Symposium Digest* (σσ. 182-185). San Francisco: IEEE MTT-S.
77. Yang, S., Zhang, C., Pan, H., Fathy, A., & Nair, V. (2009, February). Frequency Reconfigurable Antennas for Multiradio Wireless Platforms. *IEEE Microwave Magazine* , σσ. 66-83.

78. Yeu, L., Zhang, Z., Chen, W., Feng, Z., & Iskander, M. (2010). A Switchable Matching Circuit for Compact Wideband Antenna Designs. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* , Vol. 58.
79. Zervos, T., Alexandridis, A., Petrovic, V., Dangakis, K., Kolunzija, B., Djordjevic, A., και συν. (2005). Mobile Phone Antenna Performance and Power Absorption in Terms of Handset Size and Distance from User's Head. *Wireless Personal Communications* .
80. Κουγιουμτζής, Δ. (2010, Απρίλιος). Ανάκτηση June 2012, από Πιθανότητες και Στατιστική για Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς:
<http://users.auth.gr/dkugiu/Teach/ElectricEngineer/>

Σύντομο Βιογραφικό Σημείωμα:

Ο Ράπτης Βασίλειος γεννήθηκε το 1979 στα Ιωάννινα. Απέκτησε το βασικό τίτλο σπουδών στη Φυσική από το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στις Σύγχρονες Ηλεκτρονικές Τεχνολογίες από το ίδιο Πανεπιστήμιο. Στα ερευνητικά του ενδιαφέροντα βρίσκονται οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας, οι έξυπνες κεραίες και ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός.

Δημοσιεύσεις

1. Vasilis Raptis, Giorgos Tatsis, Constantinos Votis, Spyridon K Chronopoulos, Vasilis Christofilakis, Panos Kostarakis (2010.01) ActiveTuning Antennas for Wireless Communication In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by:A Angelopoulos & T Fildisis. pp. 1058-1062
2. Vasilis Raptis, Giorgos Tatsis, Constantinos Votis, Spyridon K Chronopoulos, Vasilis Christofilakis, Panos Kostarakis (2010.01) Tuning Techniques for Planar Antennas in Wireless Communication In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by:A
3. Spyridon K Chronopoulos, Giorgos Tatsis, Vasilis Raptis, Panos Kostarakis (2011.03) Enhanced PAPR in OFDM without Deteriorating BER Performance International Journal of Communications, Network and System Sciences Vol. 4: No. 3. pp. 164-169 Mar. 2011
4. Giorgos Tatsis, Vasilis Raptis, Panos Kostarakis (2010) "Design and Measurements of Ultra-Wideband Antenna" International Journal of Communications, Network and System Sciences, Vol. 3: No. 2. pp. 116-118 Feb 2010
5. Giorgos Tatsis, Constantinos Votis, Vasilis Raptis, Vasilis Christofilakis, Panos Kostarakis (2010) "A/D Restrictions (Errors) in Ultra-Wideband Impulse Radios" International Journal of Communications, Network and System Sciences, Vol. 3: No. 5. pp. 425-429 May 2010
6. Angelopoulos & T Fildisis. pp. 1053-1057
7. Constantinos Votis, Vasilis Christofilakis, Vasilis Raptis, Giorgos Tatsis, Spyridon K Chronopoulos, Panos Kostarakis (2010.01) Effects of Variations on Geometrical Parameters on a 2.4 GHz Printed Dipole Antenna architecture In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by:A Angelopoulos & T Fildisis. pp. 427-432
8. Constantinos Votis, Vasilis Christofilakis, Vasilis Raptis, Giorgos Tatsis, Spyridon K Chronopoulos, Panos Kostarakis (2010.01) Design and analysis of a multiple-output transmitter based on DDS architecture for modern wireless communications In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by:A Angelopoulos & T Fildisis. pp. 421-426
9. Giorgos Tatsis, Constantinos Votis, Vasilis Raptis, Vasilis Christofilakis, Spyridon K Chronopoulos, Panos Kostarakis (2010.01) Design and Implementation of Ultra-Wideband Impulse Radio Transmitter In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by:A Angelopoulos & T Fildisis. pp. 579-584
10. Giorgos Tatsis, Constantinos Votis, Vasilis Raptis, Vasilis Christofilakis, Spyridon K Chronopoulos, Panos Kostarakis (2010.01) Performance of UWB-Impulse Radio Receiver Based on Matched Filter Implementation with Imperfect Channel Estimation In: American

- Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by: A Angelopoulos & T Fildis. pp. 573-578
11. Spyridon K Chronopoulos, Constantinos Votis, Vasilis Raptis, Giorgos Tatsis, Panos Kostarakis (2010.01) In depth analysis of noise effects in orthogonal frequency division multiplexing systems, utilising a large number of subcarriers In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by: A Angelopoulos & T Fildis. pp. 967-972
 12. Vasilis Christofilakis, Constantinos Votis, Giorgos Tatsis, Vasilis Raptis, Panos Kostarakis (2009) "Absorbed Power Minimization in Cellular Users with Circular Antenna Arrays" In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by: Angelos Angelopoulos. pp. 1047-1052
 13. Vasilis Christofilakis, Giorgos Tatsis, Constantinos Votis, Vasilis Raptis, Panos Kostarakis (2009) "A/D's Clipping Restrictions in Software Radios" In: American Institute of Physics Conference Series Vol. 1203 Edited by: Angelos Angelopoulos. pp. 1042-1046