



Περιοδική λογαριθμική κεραία με δίπολα



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΑ	ΣΕΛΙΔΕΣ
INTRODUCTION	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.2 Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ	4
1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΕΡΑΙΩΝ	14
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
2.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΕΡΑΙΑΣ	16
2.3 ΠΟΛΩΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ	17
2.4 ΘΕΩΡΗΜΑ ΑΜΟΙΒΑΙΟΤΗΤΑΣ	20
2.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	21
2.6 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ, ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	22
2.7 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ, ΑΠΟΔΟΣΗ, ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΕΡΑΙΑΣ	23
2.8 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	26
2.9 ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ - ΑΠΟΛΑΒΗ	30
2.9.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΛΑΒΗΣ	31
2.10 ΕΝΕΡΓΟ ΥΨΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΕΡΑΙΑΣ	32
2.11 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ	34
2.12 ΤΟ ΙΣΟΤΡΟΠΟ	36
2.13 ΠΕΡΙΛΗΨΗ	38
2.13.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	38
2.13.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ	39
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	39
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	40
3.3 ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ	43
3.3.1 ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ	43
3.3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΜΕΣΩ LPCAD	51
3.4 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΜΕ ΔΙΠΟΛΑ	58
3.5 ΑΛΛΟΙ ΤΥΠΟΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ	81
4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	81
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	90
5.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	90
5.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από τον καιρό του Hertz και του Marconi ως και σήμερα οι κεραιές συνεχώς κατακτούν την σημερινή κοινωνία και αποτελούν ένα διαχρονικό σημείο αναφοράς των εφαρμογών της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας. Μου δόθηκε λοιπόν η ευκαιρία να επιμεληθώ και να εμβαθύνω στην τεχνολογία αυτή, διαμέσου της κατασκευής μιας *Περιοδικής Λογαριθμικής Κεραίας με Δίπολα*. Κατά την παρακάτω ερευνητική μου προσπάθεια θα σας παρουσιάσω στο 1^ο κεφάλαιο την ιστορική αναδρομή περί κεραιών, στο 2^ο κεφάλαιο τις βασικές θεωρίες και έννοιες, στο 3^ο κεφάλαιο την θεωρία των Περιοδικών Λογαριθμικών κεραιών, στο 4^ο κεφάλαιο τον υπολογισμό της κεραίας στην συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας και στο 5^ο κεφάλαιο τις μετρήσεις που έλαβα και τις παρατηρήσεις στις οποίες κατέληξα μέσα από αυτή την προσπάθεια.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης μου. Αρχικά θα ήθελα ν' αναφερθώ στο Τμήμα Ηλεκτρονικής Ηρακλείου Παράρτημα Χανίων για την υλικοτεχνική υποδομή που μου παρείχε προκειμένου να γίνουν οι μετρήσεις. Θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μαυρεδάκη Μιχάλη για την ανάθεση του θέματος αυτής της εργασίας, για την καθοδήγηση του και τις πολύτιμες συμβουλές του. Ευχαριστώ ιδιαίτερω τον συνάδελφο κ. Χελιώτη Κωνσταντίνο για την βοήθεια και τις συμβουλές του πάνω σε τεχνικά θέματα. Επίσης τον ευχαριστώ για την συμπαράσταση, την κατανόηση και την ενθάρρυνση του κατά την διάρκεια της εργασίας. Θεωρώ επίσης ανάγκη μου να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην κ.α. Πυλωνίτη Άννα, την κ.α. Κοκοσάρη Κλαίρη και την κ.α. Δάβαρη Βάσω για τις πολύτιμες υπηρεσίες τους και την συμπαράσταση που μου παρείχαν. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόθερμα την οικογένεια μου για την ηθική και υλική συμπαράσταση που μου παρείχε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

INTRODUCTION



From the time of Hertz and Marconi up to today the antennas continuously conquer the current society and constitute a diachronic point of report of applications of Electromagnetic Theory. It is everywhere: in the houses and the working places, above in the cars and the planes - while the boats, the artificial satellites and the space ships are full of antennas. Even if the antennas appear they have an enormous, almost inexperienced variety, all function according to the same basic beginnings of electromagnetism. To me was given therefore the occasion to take care of and to deepen in this technology, through the manufacture of *Log Periodic Dipole Array*. At my following inquiring effort to you I will present in the 1st chapter the historical retrospection of antennas, in the 2nd chapter the basic theories and significances, in the 3rd chapter the theory of Log Periodic Dipole Array, in the 4th chapter the calculation of the antenna in the particular frequency of operation and in the 5th chapter the measurements that I received also the observations to which I led through this effort.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τον καιρό τον Hertz και του Marconi, οι κεραίες έχουν όλο και μεγαλύτερη σημασία για την κοινωνία μας, ενώ στις μέρες μας είναι απολύτως απαραίτητες. Είναι παντού: στα σπίτια και τους χώρους εργασίας, πάνω στα αυτοκίνητα και τα αεροσκάφη- ενώ τα πλοία, οι τεχνητοί δορυφόροι και τα διαστημικά σκάφη είναι γεμάτα από κεραίες. Τις έχουμε πάνω μας ακόμα και σαν πεζοί.

Παρόλο που οι κεραίες φαίνονται να έχουν μια τεράστια, σχεδόν άπειρη ποικιλία, όλες λειτουργούν σύμφωνα με τις ίδιες βασικές αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού. Σε μερικές περιπτώσεις θα είναι αρκετή η διαισθητική προσέγγιση κατανόησης, ενώ αλλού θα χρειαστεί απόλυτη ακρίβεια.

Στα επόμενα κεφάλαια αναπτύσσουμε το θέμα, προσδιορίζουμε βασικούς ορισμούς περί κεραιών με περισσότερη λεπτομέρεια και εξηγούμε πως κατασκευάσαμε την κεραία.



1.2. Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

Εξακόσια χρόνια προ Χριστού, ένας Έλληνας μαθηματικός, αστρονόμος και φιλόσοφος, ο *Θαλής ο Μιλήσιος*, παρατήρησε ότι όταν το κεχριμπάρι τριφτεί με μετάξι παράγει σπινθηρισμό και έχει μια φαινομενικά μαγική ικανότητα να έλκει κομματάκια χνούδι και άχυρο.

Η Ελληνική λέξη για το κεχριμπάρι είναι ήλεκτρον, και από αυτή προέρχονται οι λέξεις ηλεκτρισμός, ηλεκτρόνιο και ηλεκτρονικά. Ο Θαλής παρατήρησε επίσης την ελκτική δύναμη μεταξύ κομματιών ενός φυσικού μαγνητικού πετρώματος, του μαγνητίτη, που εξορυσσόταν από ένα μέρος που λεγόταν Μαγνησία- από το τοπωνύμιο αυτό προέρχονται οι λέξεις μαγνήτης και μαγνητισμός. Ο Θαλής ήταν πρωτοπόρος στον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό, αλλά όπως και άλλοι σύγχρονοί του είχε μάλλον φιλοσοφικό παρά πρακτικό ενδιαφέρον. Πέρασαν 22 αιώνες, πριν αυτά τα φαινόμενα διερευνηθούν με σοβαρό επιστημονικό τρόπο.

Έμελλε στον Άγγλο *William Gilbert* περί το 1600, να διεξάγει τα πρώτα συστηματικά πειράματα ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων και να τα περιγράψει στο βιβλίο του *De Magnete*. Ο Gilbert εφεύρε το ηλεκτροσκόπιο για την μέτρηση ηλεκτροστατικών αποτελεσμάτων. Ήταν επίσης ο πρώτος που αναγνώρισε ότι η Γη είναι ένας τεράστιος μαγνήτης, παρέχοντας έτσι νέα στοιχεία για την κατανόηση των αρχών λειτουργίας της μαγνητικής πυξίδας. Σε πειράματα με τον ηλεκτρισμό που έλαβαν χώρα περί το 1750 και οδήγησαν στην εφεύρεση του αλεξικέραυνου, ο *Benjamin Franklin*, ο Αμερικανός επιστήμονας και πολιτικός, διατύπωσε τον νόμο της διατήρησης του φορτίου και καθόρισε ότι υπάρχουν θετικά και αρνητικά φορτία. Αργότερα, ο Γάλλος *Charles Augustine De Coulomb* μέτρησε τις ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις με ένα λεπτεπίλεπτο ζυγό στρέψης που εφεύρε. Κατά την ίδια περίοδο ο Γερμανός μαθηματικός και αστρονόμος *Karl Friedrich Gauss* διατύπωσε το περίφημο θεώρημά του της αποκλίσεως, το οποίο συσχετίζει έναν όγκο και την επιφάνειά του.

Μέχρι το 1800 ο Ιταλός *Alessandro Volta* είχε εφεύρει το βολταϊκό τόξο, και, συνδέοντας μερικά σε σειρά, την ηλεκτρική μπαταρία. Με τις μπαταρίες μπορούσε να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα, και το 1819 ο Δανός καθηγητής Φυσικής *Hans Christian Oersted* βρήκε ότι ένα ρευματοφόρο σύρμα προκαλούσε την απόκλιση μιας μαγνητικής πυξίδας σε κοντινή απόσταση, ανακαλύπτοντας έτσι ότι ο ηλεκτρισμός μπορούσε να παράγει μαγνητισμό. Πριν από τον Oersted, ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός εθεωρούντο σαν εντελώς ανεξάρτητα φαινόμενα.

Το επόμενο έτος, ο Γάλλος φυσικός *Andre Marie Ampere* επέκτεινε τις παρατηρήσεις του Oersted. Εφεύρε το σωληνοειδές πηνίο για την παραγωγή μαγνητικών πεδίων και θεώρησε σωστά ότι τα άτομα ενός μαγνήτη μαγνητίζονται από πολύ μικρά ηλεκτρικά ρεύματα που κυκλοφορούν μέσα τους. Περίπου αυτή την εποχή ο Γερμανός *Georg Simon Ohm* εξέδωσε τον περίφημο Νόμο του που συσχετίζει το ρεύμα, την διαφορά δυναμικού και την



ηλεκτρική αντίσταση. Αρχικά αντιμετωπίστηκε με περιφρονητικό τρόπο, και πέρασε μια δεκαετία πριν οι επιστήμονες αρχίσουν να αναγνωρίζουν την ορθότητα και την σπουδαιότητά του.

Τότε, το 1831, ο *Michael Faraday* στο Λονδίνο έδειξε ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο μπορούσε να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Ενώ ο *Oersted* βρήκε ότι ο ηλεκτρισμός μπορούσε να παράγει μαγνητισμό, ο *Faraday* ανακάλυψε ότι ο μαγνητισμός μπορούσε να παράγει ηλεκτρισμό. Περίπου την ίδια εποχή, στο Albany της Νέας Υόρκης, ο *Joseph Henry* παρατήρησε ανεξάρτητα το ίδιο φαινόμενο. Ο *Henry* εφεύρε ακόμα τον ηλεκτρικό τηλέγραφο και τον ηλεκτρομηχανικό διακόπτη.

Οι εκτενείς πειραματικές έρευνες του *Faraday* οδήγησαν τον *James Clerk Maxwell*, Άγγλο καθηγητή του Πανεπιστημίου του Cambridge, να διατυπώσει με σοβαρό και κομψό τρόπο την αλληλεξάρτηση ηλεκτρισμού και μαγνητισμού. Στην κλασική του διατριβή το 1873, εξέδωσε την πρώτη ενοποιημένη θεωρία του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού και ίδρυσε την επιστήμη του ηλεκτρομαγνητισμού. Θεμελίωσε αξιωματικά ότι το φως ήταν ηλεκτρομαγνητικής φύσης και ότι ήταν πιθανή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε άλλα μήκη κύματος.

Ο *Maxwell* ενοποίησε τον ηλεκτρομαγνητισμό με τον ίδιο τρόπο που ο *Newton*, δυο αιώνες νωρίτερα, είχε ενοποιήσει τη μηχανική με: τον περίφημο Νόμο του της Παγκοσμίου Έλξης, που κυβερνά την κίνηση όλων των σωμάτων, επίγειων και ουράνιων.

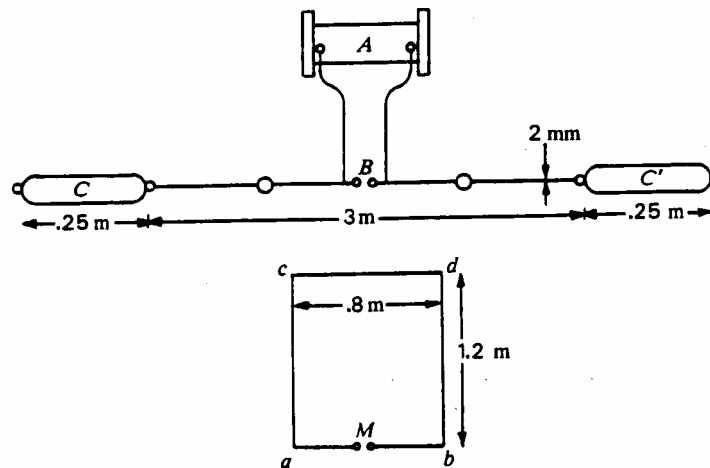
Οι εξισώσεις του *Maxwell* είναι τεράστιας σημασίας, και μαζί με τις βοηθητικές σχέσεις τους σχηματίζουν το βασικό δόγμα του μοντέρνου Ηλεκτρομαγνητισμού. Την εποχή του *Maxwell*, όμως, πολλοί επιστήμονες τις αντιμετώπισαν με σκεπτικισμό. Πέρασε πάνω από μια δεκαετία πριν οι Θεωρίες του δικαιωθούν από τον *Heinrich Hertz*.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1880 η Ακαδημία Επιστημών του Βερολίνου είχε προσφέρει ένα βραβείο για την έρευνα της σχέσης μεταξύ των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων και της πολώσεως διηλεκτρικού. Ο *Heinrich Hertz* συλλογίστηκε αν το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί με ταλαντώσεις χρησιμοποιώντας λαγήνους του *Leyden* ή ανοικτά επαγωγικά πηνία. Παρότι δεν ασχολήθηκε με το πρόβλημα, το ενδιαφέρον του για τις ταλαντώσεις κεντρίστηκε, και το 1886, σαν καθηγητής του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καρλσρούης κατασκεύασε συσκευές που τώρα θα τις περιγράφαμε σαν ένα ολοκληρωμένο σύστημα ασυρμάτου με κεραία εκπομπής ένα δίπολο χωρητικά "φορτωμένο" στα άκρα και μια τετραγωνική βρογχοκεραία σαν δέκτη. Όταν παράγονταν σπινθηρισμοί κατά μήκος ενός διακένου στο κέντρο του διαύλου, παραγόταν σπινθηρισμός σε ένα διάκενο στην βρογχοκεραία που βρισκόταν σε κοντινή απόσταση. Μέσα στα επόμενα δύο χρόνια, ο *Hertz* επέκτεινε τα πειράματά του και περιέγραψε την ανάκλαση, τη διάθλαση και την πόλωση, δείχνοντας ότι αν εξαιρεθεί το πολύ μεγαλύτερο μήκος κύματος τα ραδιοκύματα ήταν ένα με το φως. Ο *Hertz* ανέτρεψε την κριτική εναντίον του *Maxwell*.

Τα αρχικά πειράματα του *Hertz* διεξήχθησαν σε μήκος κύματος περίπου 8 μέτρα, ενώ η μεταγενέστερη εργασία του ήταν σε μικρότερα μήκη κύματος,



περίπου 30 εκατοστά. Το Σχ. 1-1 δείχνει το πρωταρχικό σύστημα του Hertz στα 8 μέτρα.



Σχ. 1-1: Το πλήρες ραδιοσύστημα του Heinrich Hertz στα 1886, με το δίπολο εκπομπής χωρητικά φορτωμένο στα άκρα (CC'), και τη συντονισμένη βρογχοκεραία λήψεως (abcd), για μήκος κύματος $\lambda \approx 8m$. Με την ενεργοποίηση τον πηγίου επαγωγής (A), ο σπινθηρισμός στο διάκενο B προκαλούσε την εμφάνιση σπινθηρισμού στο διάκενο M στην βρογχοκεραία λήψεως. (Από το βιβλίο *ElectricWaves* του Heinrich Hertz, έκδοση Macmillan, 1893. Επανασχεδίαση με προσθήκη των διαστάσεων)

Παρότι ο Hertz ήταν ο πατέρας του ασυρμάτου, η εφεύρεσή του παρέμεινε στα εργαστήρια μέχρι που ο εικοσάχρονος *Guglielmo Marconi* διάβασε τυχαία ένα περιοδικό που περιέγραφε τα πειράματα του Hertz κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών του διακοπών στις Άλπεις. Ο νεαρός Guglielmo αναρωτήθηκε αν αυτά τα Ερτζιανά κύματα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή μηνυμάτων. Αυτό του έγινε έμμονη ιδέα και αφήνοντας τις διακοπές του επέστρεψε βιαστικά στο σπίτι του για να πειραματιστεί.

Στα ευρύχωρα δωμάτια του πάνω ορόφου της έπαυλης Marconi στην Bologna, ο Marconi επανέλαβε τα πειράματα του Hertz. Η πρώτη του επιτυχία αργά μια νύχτα τον ενθουσίασε τόσο, ώστε δεν μπορούσε να περιμένει ως το πρωί για να ανακοινώσει τα νέα, έτσι ξύπνησε τη μητέρα του και της έδειξε το σύστημα ασυρμάτου.

Γρήγορα προσέθεσε συντονισμό, μεγάλη κεραία και συστήματα γείωσης για μεγαλύτερα μήκη κύματος και μπόρεσε να αποστείλει σήματα σε μεγάλες αποστάσεις. Στα μέσα του Δεκεμβρίου του 1901 εξέπληξε τον Κόσμο ανακοινώνοντας ότι είχε λάβει ραδιοσήματα, που είχαν σταλεί διασχίζοντας τον Ατλαντικό από το σταθμό που είχε φτιάξει στο Poldhu, στην Κορνουάλη της Αγγλίας, ως το St.John's, στο Newfoundland

Το επιστημονικό κατεστημένο δεν πίστεψε τον ισχυρισμό του, διότι κατά την άποψη τους τα ραδιοκύματα θα έπρεπε να ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή όπως το φως και δεν θα μπορούσαν να καμφθούν ακολουθώντας την



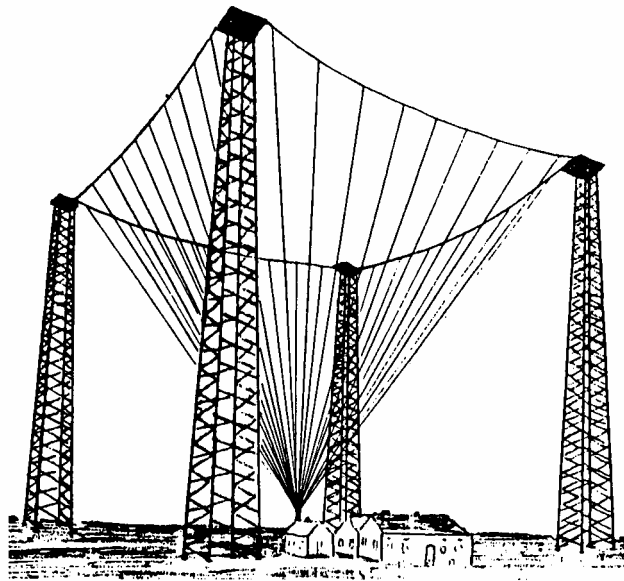
καμπυλότητα της Γης από την Αγγλία στο Newfoundland. Η Τηλεγραφική Εταιρεία όμως τον πίστεψε και επειδή είχε το μονοπώλιο της διατλαντικής επικοινωνίας του έστειλε μια δικαστική απόφαση να σταματήσει τις εργασίες του και να απέχει από περαιτέρω ενέργειες. Οι μετοχές της Τηλεγραφικής Εταιρείας είχαν παρουσιάσει κάθετη πτώση μετά την ανακοίνωση του Marconi και απείλησε να τον μηνύσει για οποιαδήποτε απώλεια κερδών αν επέμενε. Αυτός όμως δεν πτοήθηκε, και ξέσπασε μια δικαστική μάχη που διήρκεσε για 27 χρόνια, ώσπου τελικά οι εταιρείες συγχωνεύθηκαν.

Ένα μήνα μετά από την ανακοίνωση του Marconi, το Αμερικανικό Ινστιτούτο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών παρέθεσε δεξίωση στο Waldort-Astoria της Νέας Υόρκης για να εορτάσει το γεγονός. Ο *Charles Protius Steinmetz*, Πρόεδρος του Ινστιτούτου, όπως και ο *Alexander Graham Bell*, ήταν εκεί. Πολλοί όμως εξέχοντες επιστήμονες μποϊκοτάρισαν την εκδήλωση. Οι θεωρίες τους είχαν δεχθεί επίθεση και δεν ήθελαν καμία περαιτέρω ανάμειξη.

Λίγο μετά την εκδήλωση ο Marconi παρέθεσε αδιάσειστες αποδείξεις ότι τα ραδιοκύματα μπορούσαν να καμφθούν γύρω από τη Γη. Κατέγραψε σήματα Morse που είχαν εκπεμφθεί από την Αγγλία, με αυτόματα καταγραφικά μηχανήματα εν πλω επί του ατμόπλοιου Philadelphia που βρισκόταν στην άλλη μεριά του Ατλαντικού, ταξιδεύοντας από το Χερβούργο στη Νέα Υόρκη. Ο καπετάνιος του πλοίου, ο πρώτος αξιωματικός και πολλοί επιβάτες ήταν μάρτυρες του γεγονότος.

Ένα χρόνο αργότερα, το 1903, ο Marconi ξεκίνησε τακτική διατλαντική υπηρεσία μηνυμάτων μεταξύ του Poldhu στην Αγγλία και σταθμών που κατασκεύασε κοντά στο Glace Bay, στη Νόνα Scotia και στο South Wellfleet στο Cape Cod.

Στα 1901 ο σταθμός στο Poldhu είχε μια κεραία σχήματος βεντάλιας, που υποστηριζόταν από δυο ξύλινους ιστούς ύψους 60 μέτρων, ενώ σαν κεραία λήψεως για τα πρώτα υπερατλαντικά σήματα στο St. John's είχε υψώσει ένα σύρμα μήκους 200 μέτρων με ένα χαρταετό, δουλεύοντάς το μαζί με μια συστοιχία συρμάτων πάνω στο έδαφος. Μια μεταγενέστερη κεραία στο Poldhu, τυπική και για άλλους σταθμούς του Marconi, αποτελείτο από ένα κωνικό συρμάτινο κλωβό. Τέσσερις μεγάλοι αυτοστηριζόμενοι ιστοί, ύψους 70 μέτρων υποστήριζαν τον κλωβό. (Σχ. 1-2) Με ισχύ τροφοδοσίας 50 kW τα σύρματα των κεραιών έτριζαν και απαύγαζαν τη νύχτα λόγω εκκένωσης corona, κάνοντας τους κατοίκους της περιοχής να πιστεύουν ότι τέτοια πυροτεχνήματα στον ουρανό θα άλλαζαν σίγουρα τον καιρό.



Σχ. 1-2: Η τετραγωνο-κωνική κεραία του Marconi στο Poldhu, στην Αγγλία το 1905. Οι ξύλινοι πύργοι ύψους 70 μέτρων υποστηρίζουν ένα δίκτυο συρμάτων που συγκλίνουν σε ένα σημείο ακριβώς επάνω από κτίρια εκπομπής και λήψης ανάμεσα στους πύργους

Σπάνια μια εφεύρεση αιχμαλώτισε τη φαντασία του κοινού, όσο ο ασύρματος του Marconi στην αρχή του αιώνα. Αφού η αξία του ασυρμάτου στη θάλασσα δραματοποιήθηκε με τα ναυάγια των ατμόπλοιων Republic και Titanic, ο Marconi απόλαυσε απaráμιλλου διεθνούς δέους και θαυμασμού. Πριν από τον ασύρματο, ένα πλοίο εν πλω ήταν εντελώς απομονωμένο. Η συμφορά θα μπορούσε να χτυπήσει οποιαδήποτε στιγμή χωρίς κανείς στα γύρω πλοία ή στην ξηρά να το αντιληφθεί. Ο Marconi τα άλλαξε όλα αυτά. Ο Marconi έγινε ο Μάγος του Ασυρμάτου.

Παρότι ο Hertz είχε χρησιμοποιήσει μήκος κύματος 30 εκατοστών και άλλοι όπως ο Jagadis Chandra Bose ακόμα μικρότερα, με χοάνες και κυματοδηγούς, η απόσταση στην οποία αυτά τα μήκη κύματος μπορούσαν να ανιχνευθούν περιοριζόταν από την τεχνολογία της περιόδου εκείνης, ώστε αυτά τα μήκη κύματος δεν χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς μέχρι πολύ αργότερα. Η ραδιοεπικοινωνία αναπτύχθηκε με χρήση μεγάλων μηκών κύματος, και αυτά προτιμούσαν για μεγάλες αποστάσεις. Ένας δημοφιλής εμπειρικός κανόνας εκείνη της εποχής ήταν ότι η ακτίνα που μπορούσε να καλυφθεί με επαρκή ισχύ ήταν ίση με 500 φορές το μήκος κύματος. Έτσι, για μια ακτίνα 5000 χιλιομέτρων χρειαζόταν μήκος κύματος 10000 μέτρων.

Στα τυπικά μήκη κύματος από 2000 ως 20000 μέτρα το ύψος των κεραιών δεν αντιπροσώπευε παρά μόνο ένα μικρό κλάσμα ενός μήκους κύματος και η αντίσταση ακτινοβολίας τους πλησίαζε μόλις το 1 Ohm ή και λιγότερο. Οι απώλειες σε θερμότητα και λόγω του φαινομένου corona υποβίβαζαν την αποδοτικότητα των κεραιών, αλλά με ισχύ τροφοδοσίας πολλών kW υπήρχε σημαντική ακτινοβολία. Παρόλο που πολλές αυθεντίες προτιμούσαν τα πολύ μεγάλα μήκη κύματος, ο Marconi ίσως είχε εκτιμήσει



την σημασία της αντίστασης ακτινοβολίας και βρισκόταν στην εμπροσθοφυλακή αυτών που υποστήριζαν τα μικρότερα μήκη κύματος, όπως τα 600 μέτρα. Σε αυτό το μήκος κύματος μια κεραία θα μπορούσε να έχει εκατονταπλάσια αντίσταση ακτινοβολίας από αυτή σε μήκος κύματος 6000 μέτρα.

Στα 1912 το Ινστιτούτο Ασυρμάτου και ο Σύλλογος των Μηχανικών Ασυρμάτου συγχωνεύθηκαν στο Ινστιτούτο των Μηχανικών Ασυρμάτου. Είναι ενδιαφέρον, ότι στο πρώτο τεύχος των Πρακτικών του Ινστιτούτου, που εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 1913, το πρώτο άρθρο αφορούσε τις κεραίες και ειδικότερα την αντίσταση ακτινοβολίας. Κάποιο άλλο άρθρο των Πρακτικών σημείωνε την μικρή ηλικία των χειριστών ασυρμάτου. Οι περισσότεροι ήταν μικρότεροι από είκοσι χρονών, και ουσιαστικά κανείς πάνω από 25. Ο ασύρματος ήταν σίγουρα επάγγελμα για νέους.

Η εποχή πριν τον Α Παγκόσμιο Πόλεμο ήταν αυτή των μακρών κυμάτων, του σπινθηριστή, του τόξου εκκένωσης και των στρεφόμενων μεταλλακτών για εκπομπή, ενώ στη λήψη μεσουρανούσαν οι φωρατές coherer, οι σωλήνες του Fleming και οι λυχνίες audion του De Forest. Μετά από τον πόλεμο κατασκευάστηκαν σωλήνες κενού για εκπομπή και τα συνεχή κύματα αντικατέστησαν τα φθίνοντα των σπινθηριστών. Οι ραδιοφωνικές εκπομπές άρχισαν σε μήκη κύματος από 200 ως 600 μέτρα.

Τα μήκη κύματος κάτω από 200 μέτρα είχαν θεωρηθεί μικρής αξίας και αποδόθηκαν στους ραδιοερασιτέχνες. Στα 1921 η Αμερικανική Ένωση Ραδιοερασιτεχνών (*Amateur Radio Relay League, ARRL*) έστειλε τον *Paul Godley* στην Ευρώπη για να προσπαθήσει να λάβει ένα ραδιοερασιτεχνικό σταθμό από το Greenwich του Connecticut, που λειτουργούσε σε μήκος κύματος 200 μέτρων. Ο Ταγματάρχης *Edwin H. Armstrong*, εφευρέτης του υπερετερόδυνου δέκτη και αργότερα της διαμόρφωσης κατά συχνότητα (FM), κατασκεύασε τον πομπό με τη βοήθεια αρκετών άλλων ερασιτεχνών. Ο Godley έστησε το σταθμό του κοντά στο Firth of Clyde στη Σκωτία. Είχε δυο δέκτες, ένας εκ των οποίων υπερετερόδυνος 10 λυχνιών, και μια κεραία τύπου Beverage. Στις 12 Δεκεμβρίου 1921, μόνο 20 ημέρες πριν την επέτειο της λήψης μακρών υπερατλαντικών σημάτων από το Marconi, ο Godley έλαβε σήματα από τον σταθμό στο Connecticut και κατόπιν από περισσότερους από 30 άλλους Αμερικανούς ερασιτέχνες. Ήταν μια πρωτοποριακή προσπάθεια, και στα χρόνια που ακολούθησαν τα μήκη κύματος μικρότερα από 200 μέτρα άρχισαν να χρησιμοποιούνται για τηλεπικοινωνίες.

Τα ατμοσφαιρικά παράσιτα ήταν η πληγή των μακρών κυμάτων, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Στα βραχέα κύματα υπήρχε μικρότερο πρόβλημα, αρκετό όμως ώστε το 1930 τα Bell Laboratories προσέλαβαν τον *Karl G. Jansky* να ερευνήσει μήπως προέρχονταν από συγκεκριμένες κύριες διευθύνσεις. Έτσι θα μπορούσαν να σχεδιαστούν κεραίες για ραδιοτηλεφωνική σύνδεση με την Ευρώπη, που θα είχαν μειωμένη απόκριση σε αυτές τις κατευθύνσεις.

Ο Jansky κατασκεύασε μια περιστρεφόμενη κεραία τύπου Bruce curtain 8 στοιχείων με ένα ανακλαστήρα, για λειτουργία σε μήκος κύματος 14 μέτρα. Αν και συνέλεξε τις επιθυμητές πληροφορίες πάνω στα ατμοσφαιρικά παράσιτα από καταιγίδες, παρατήρησε ότι σε απόλυτη απουσία τέτοιων



στατικών παρασίτων υπήρχε πάντοτε ένας πολύ ασθενής θόρυβος σαν φύσημα, που ολοκλήρωνε μια περιστροφή του ορίζοντα σε 24 ώρες.

Μετά από πολλούς μήνες παρατηρήσεων, ο Jansky συμπέρανε ότι ερχόταν πέρα από τη Γη και πέρα από τον Ήλιο. Ήταν κοσμικό στατικό παράσιτο προερχόμενο από το Γαλαξία μας με το μέγιστο της έντασης του στο κέντρο του Γαλαξία. Το τυχερό εύρημα του Jansky περί εξωγήινων ραδιοκυμάτων άνοιξε ένα καινούριο παράθυρο στο Σύμπαν. Ο Jansky έγινε ο Πατέρας της Ραδιοαστρονομίας.

Ο Jansky αναγνώρισε ότι αυτός ο κοσμικός θόρυβος από το Γαλαξία μας έθετε ένα όριο στην ευαισθησία λήψης που μπορούσε να επιτευχθεί με ένα σύστημα λήψης βραχέων. Για μήκος κύματος 14 μέτρα αυτός ο ουράνιος θόρυβος έχει ισοδύναμη θερμοκρασία 20000 βαθμούς Κέλβιν. Σε μήκη κύματος της τάξης των εκατοστών ο θόρυβος είναι μικρότερος, αλλά ποτέ κάτω από 3 Κέλβιν. Αυτός είναι ο απομένων θόρυβος από την προαιώνια μπάλα φωτιάς που δημιούργησε το Σύμπαν, και μετρήθηκε τέσσερις δεκαετίες αργότερα από τους ραδιοαστρονόμους *Arno Penzias* και *Robert Wilson* των Bell Telephone Laboratories από μια τοποθεσία όχι πολύ μακριά από αυτή που χρησιμοποίησε ο Jansky.

Για πολλά χρόνια, ή μέχρι μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, μόνο ένα πρόσωπο, ο *Grote Reber*, ασχολήθηκε σοβαρά με την ανακάλυψη του Jansky. Ο Reber κατασκεύασε μια κεραία παραβολικού ανακλαστήρα διαμέτρου 9 μέτρων, που λειτουργούσε σε μήκος κύματος περίπου 2 μέτρα, το πρωτότυπο του μοντέρνου παραβολικού κατόπτρου ("πιάτου"). Με αυτή έκανε τους πρώτους ραδιοχάρτες του ουρανού. Ο Reber αναγνώρισε επίσης ότι το σύστημά του αποτελούσε ένα ραδιόμετρο, δηλαδή μια συσκευή μετρήσεως θερμοκρασίας στην οποία η απόκριση του δέκτη του συσχετιζόταν με την θερμοκρασία μακρινών περιοχών του Διαστήματος, που ερχόταν σε σύζευξη με την κεραία του μέσω της αντίστασης ακτινοβολίας της.

Με την έλευση του radar κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου τα μήκη κύματος της τάξης του εκατοστού, που είχαν εγκαταλειφθεί από τις αρχές του αιώνα, βγήκαν πάλι στην επιφάνεια και ολόκληρο το ραδιοφωνικό φάσμα άνοιξε σε ευρεία χρήση. Εκατοντάδες γεωστατικοί τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι που λειτουργούν σε μήκη κύματος της τάξης των εκατοστών περιζώνουν τη γη, σαν να ήταν στερεωμένοι σε πύργους ύψους 36.000 χιλιομέτρων. Τα ανιχνευτικά μας σκάφη εξερευνούν το Ηλιακό σύστημα ως τον Ουρανό και ακόμα πιο πέρα, υπακούουν στις εντολές μας και στέλνουν πίσω εικόνες και πληροφορίες σε μήκη κύματος της τάξης των εκατοστών, παρόλο που χρειάζεται περισσότερη από μια ώρα για να καλυφθεί η απόσταση από τα ραδιοκύματα. Τα ραδιοτηλεσκόπιά μας, λειτουργώντας σε μήκη κύματος από χιλιοστά ως χιλιόμετρα λαμβάνουν σήματα από αντικείμενα τόσο μακρινά, που τα ραδιοκύματα ταξίδευαν περισσότερα από 10 δισεκατομμύρια χρόνια για να μας φτάσουν.

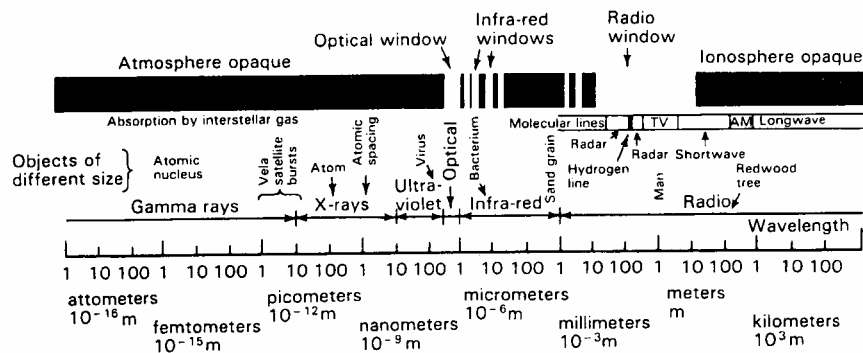
Με τις δραστηριότητες της Ανθρωπότητας να εκτείνονται στο διάστημα, η ανάγκη για κεραίες θα αυξηθεί σε ανήκουστο βαθμό. Οι κεραίες θα παρέχουν τους ζωτικούς δεσμούς προς και από οτιδήποτε εκεί έξω. Το μέλλον των κεραιών φτάνει στα άστρα.



1.3. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Η συνεχής κυματική ενέργεια που ακτινοβολείται από τις κεραιές ταλαντώνεται σε ραδιοφωνικές συχνότητες. Τα προκύπτοντα ραδιοκύματα ποικίλουν σε μήκος κύματος, από χιλιάδες μέτρα στο άκρο των μακρών κυμάτων μέχρι κλάσματα του ενός χιλιοστού στο άκρο των βραχέων κυμάτων. Η σχέση των ραδιοκυμάτων με ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα παρουσιάζεται στο Σχ. 1-3. Τα βραχέα κύματα και τα μακρά υπέρυθρα κύματα επικαλύπτονται σε μια "ζώνη λυκόφωτος", που μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει και στα δυο. Το μήκος κύματος λ σχετίζεται με την συχνότητα f και την ταχύτητα u του κύματος με τη σχέση:

$$\lambda = \frac{u}{f} \quad (1)$$



Σχ. 1-3: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με το μήκος κύματος σε λογαριθμική κλίμακα, από τις βραχύτερες ακτίνες γάμμα έως τα μακρότερα ραδιοκύματα. Η ατμοσφαιρική και η ιονοσφαιρική αδιαφάνεια δείχνονται στην κορυφή, με εμφανή τα 'παράθυρα' για τα ορατά μήκη κύματος και τα ραδιοκύματα

Με αυτόν τον τρόπο το μήκος κύματος εξαρτάται από την ταχύτητα u , η οποία εξαρτάται από το μέσον. Με αυτή την έννοια, η συχνότητα είναι πιο θεμελιώδης ποσότητα, αφού είναι ανεξάρτητη του μέσου. Όταν το μέσο είναι ο ελεύθερος χώρος (κενό), τότε

$$u = c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \quad (2)$$

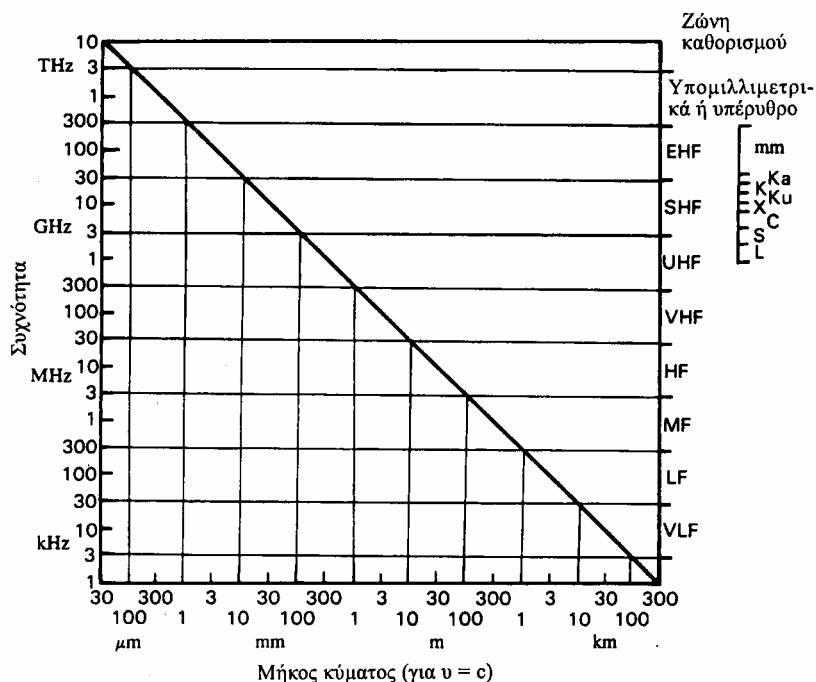
Το Σχ. 1-4 δείχνει τη σχέση του μήκους κύματος προς τη συχνότητα για $u = c$ (στο κενό). Πολλές από τις χρήσεις του φάσματος δείχνονται στο Σχ. 1-4, ενώ ένας πιο πλήρης κατάλογος των χρήσεων των διαφόρων συχνοτήτων φαίνεται στον Πίνακα 1-1.



Πίνακα 1-1: Ονομασίες ζωνών ραδιοσυχνοτήτων

Συχνότητα	Μήκος κύματος	Ονομασία ζώνης
30-300Hz	10-1Mm	ELF (extremely low frequency)
300-3000 Hz	1Mm-100km	
3-30 KHz	100-10km	VLF (very low frequency)
30-300 KHz	10-1km	LF (low frequency)
300-3000 KHz	1km-100m	MF (medium frequency)
3-30 MHz	100-10m	HF (high frequency)
30-300 MHz	10-1m	VHF (very high frequency)
300-3000M Hz	1m-10cm	UHF (ultra high frequency)
3-30 GHz	10-1cm	SHF (super high frequency)
30-300 GHz	1cm-1mm	EHF (extremely high frequency)
300-3000 GHz	1mm-10μm	

Συχνότητα	Μήκος κύματος	Radar κατά IEEE
1-2 GHz	30-15cm	L
2-4 GHz	15-7.5cm	S
4-8 GHz	7.5-3.75cm	C
8-12 GHz	3.75-2.50cm	X
12-18 GHz	2.50-1.67cm	Ku
18-27 GHz	1.67-1.11cm	K
27-40 GHz	1.11cm-7.5mm	Ka
40-300 GHz	7.5-1.0mm	mm



Σχ. 1-4: Μήκος κύματος σε συνάρτηση με την συχνότητα για $u = c$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΕΡΑΙΩΝ

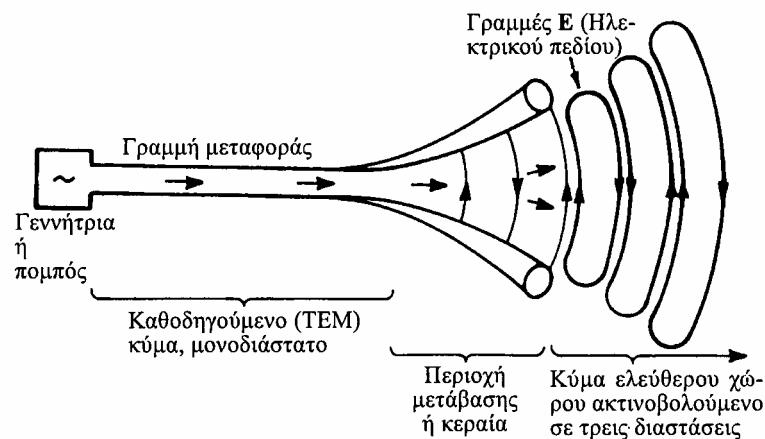
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κεραία είναι η διάταξη που ακτινοβολεί ή που δέχεται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η κεραία όπως και ο οφθαλμός είναι ένας μετατροπέας που μετατρέπει ηλεκτρομαγνητικά φωτόνια σε ρεύματα κυκλώματος, αντίθετα όμως με τον οφθαλμό, η κεραία μπορεί να μετατρέψει ενέργεια από ένα κύκλωμα σε ακτινοβολούμενα φωτόνια στο χώρο. Πιο απλά η κεραία μετατρέπει φωτόνια σε ρεύμα και αντίστροφα. Δεν υπάρχει καμία ουσιαστική διαφορά μεταξύ κεραίας εκπομπής και κεραίας λήψης (θεωρία της αμοιβαιότητας).



Η κεραία μπορεί να θεωρηθεί ως η διάταξη ή ο μετατροπέας μεταξύ της ακτινοβολούμενης ενέργειας στο ελεύθερο χώρο και της ελεγχόμενης ενέργειας μέσα στο σύστημα και αντίστροφα.

Οι βασικές παράμετροι που αφορούν μια κεραία είναι οι εξής: *προσαρμογή κεραίας, πόλωση κεραίας, κατανομή ρεύματος, ισχύ ακτινοβολίας, αντίσταση ακτινοβολίας, αντίσταση απωλειών, απόδοση, αντίσταση εισόδου, διάγραμμα ακτινοβολίας, κατευθυντικότητα, απολαβή (ή κέρδος), ενεργό ύψος και επιφάνεια.*



Σχ. 2-1: Η κεραία είναι περιοχή μετάβασης

Μια *ραδιοκεραία* μπορεί να ορισθεί σαν η δομή που σχετίζεται με την περιοχή μετάβασης μεταξύ ενός καθοδηγούμενου κύματος και ενός κύματος στο ελεύθερο διάστημα, ή και το αντίστροφο.

Σε σύνδεση με αυτό τον ορισμό είναι ίσως χρήσιμο να θεωρήσουμε το τι ακριβώς εννοείται με τους όρους γραμμή μεταφοράς και συντονισμένο κύκλωμα.

Μια *γραμμή μεταφοράς* είναι μια επινόηση για την μετάδοση ή οδήγηση ενέργειας ραδιοσυχνότητας από ένα σημείο σε κάποιο άλλο.

Ενώ οι γραμμές μεταφοράς (ή κυματοηγοί) συνήθως κατασκευάζονται για να ελαχιστοποιήσουν τη ακτινοβολία, οι κεραίες σχεδιάζονται για να ακτινοβολούν ή να δέχονται ενέργεια όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται.

Συνήθως είναι επιθυμητό να μεταδώσουμε ενέργεια με τις κατά το δυνατό ελάχιστες απώλειες σε ακτινοβολία και θερμότητα. Αυτό σημαίνει ότι ενώ η ενέργεια μεταφέρεται από το ένα σημείο στο άλλο περιορίζεται στη γραμμή μεταφοράς ή δεσμεύεται στενά κοντά σε αυτή. Έτσι, το κύμα που μεταδίδεται



κατά μήκος της γραμμής είναι μονοδιάστατο, με την έννοια ότι δεν απλώνεται στο χώρο αλλά ακολουθεί τη γραμμή. Από αυτή τη γενική άποψη ο όρος γραμμή μεταφοράς (ή σύστημα μεταφοράς) μπορεί να επεκταθεί και να συμπεριλάβει όχι μόνο τις ομοαξονικές και δισύρματες (ανοιχτές) γραμμές μεταφοράς, αλλά και τους κοίλους σωλήνες, ή κυματοδηγούς.

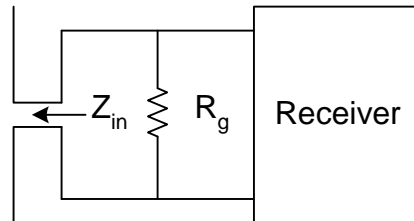
Μια γεννήτρια συνδεδεμένη με μία γραμμή μεταφοράς άπειρου μήκους και μηδενικών απωλειών, παράγει ένα ομοιόμορφο οδεύον κύμα κατά μήκος της γραμμής. Αν η γραμμή είναι βραχυκυκλωμένη, το εξερχόμενο οδεύον κύμα ανακλάται, παράγοντας ένα στάσιμο κύμα επί της γραμμής, λόγω της επίδρασης μεταξύ των εξερχόμενων (ή ορθής φοράς) κυμάτων και των ανακλώμενων κυμάτων. Άρα ένα στάσιμο κύμα σχετίζεται με τοπικές συγκεντρώσεις ενέργειας. Αν το ανακλώμενο κύμα είναι ίσου πλάτους με το εξερχόμενο, έχουμε ένα αμιγές στάσιμο κύμα. Οι συγκεντρώσεις ενέργειας σε ένα τέτοιο κύμα ταλαντώνονται από πλήρως ηλεκτρικές σε πλήρως μαγνητικές και αντίστροφα, δύο φορές ανά κύκλο. Όπου υπάρχει μόνο ένας εξωτερικός αγωγός, όπως σε ένα βραχυκυκλωμένο τμήμα ενός κυματοδηγού, η συσκευή καλείται κοιλότητα συντονισμού

Έτσι, οι κεραίες ακτινοβολούν (ή λαμβάνουν) ενέργεια, οι γραμμές μεταφοράς καθοδηγούν ενέργεια, ενώ τα συντονισμένα κυκλώματα αποθηκεύουν ενέργεια.



ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΕΡΑΙΑΣ

Για μέγιστη μεταφορά ισχύος από την κεραία στο δέκτη η σύνθετη αντίσταση της κεραίας πρέπει να προσαρμοστεί στη αντίσταση εισόδου του δέκτη. Στο Σχ. 2-2 έχουμε κεραία με σύνθετη αντίσταση Z_{in} που καταλήγει σε δέκτη με αντίσταση R_g .



Σχ. 2-2: Προσαρμογή κεραίας με δέκτη

Αν V είναι η τάση στη κεραία τότε το ρεύμα i είναι :

$$i = \frac{V}{Z_{in} + R_g} \quad (1)$$

Η ισχύς που μεταφέρεται στο δέκτη είναι :

$$P_r = i^2 R_g = \frac{V^2 R_g}{(Z_{in} + R_g)^2} \quad (2)$$

Για μέγιστο έχουμε $\frac{dP_r}{dR_g} = 0$

$$\frac{(Z_{in} + R_g)^2 - 2R_g(Z_{in} + R_g)}{(Z_{in} + R_g)^4} = 0 \quad \text{τότε} \quad Z_{in} + R_g = 2R_g$$

Έπεται ότι για μέγιστη μεταφορά ισχύος $Z_{in} = R_g$ (3)

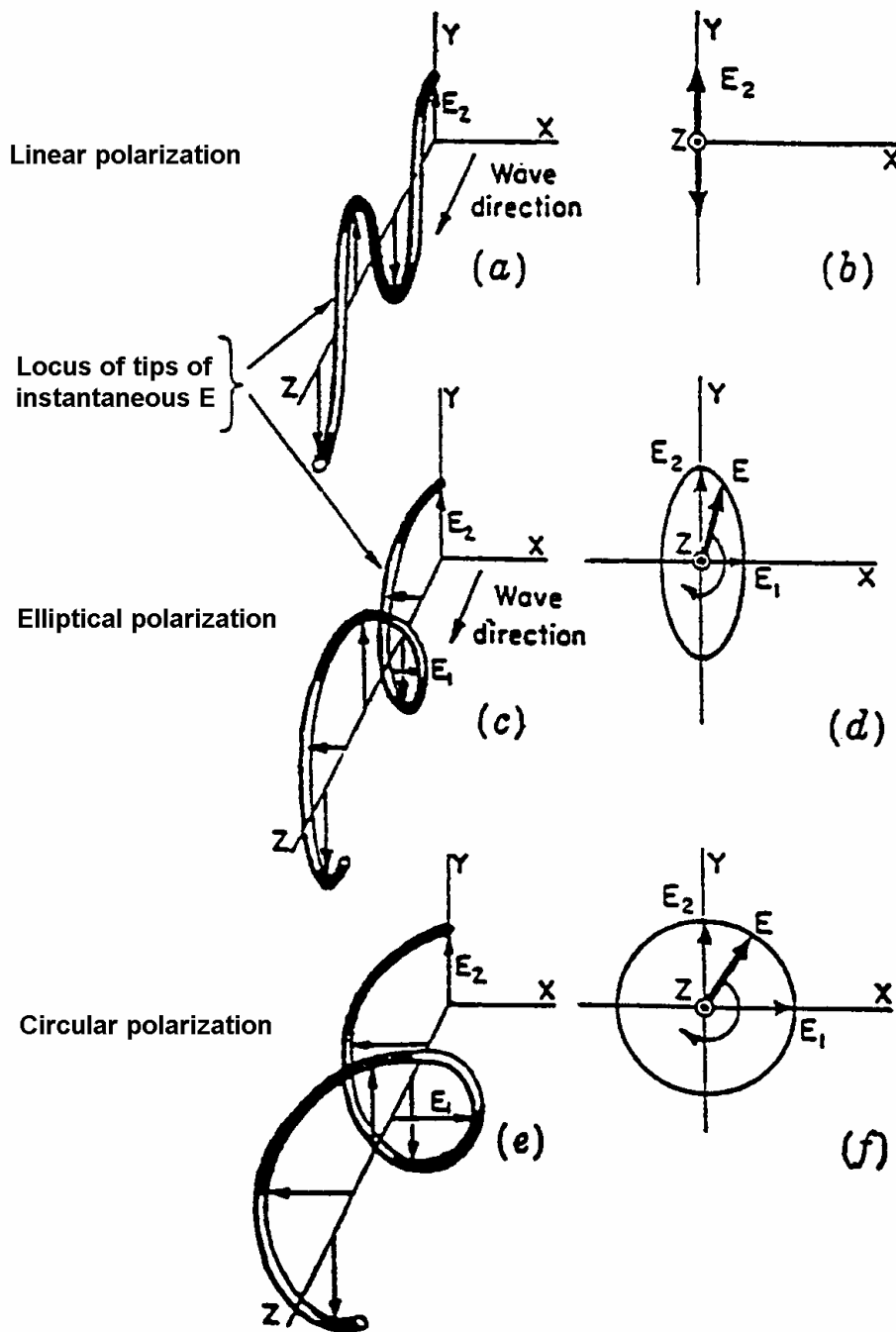
Και η μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς $P_{r(\max)} = \frac{V^2 R_g}{4R_g^2} = \frac{V^2}{4R_g}$ (4)

Για μέγιστη μεταφορά ισχύος πρέπει να υπάρχει προσαρμογή (*matching*) η αντίσταση εισόδου της κεραίας να ισούται με την αντίσταση του δέκτη.



2.3. ΠΟΛΩΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ

Η πόλωση μιας κεραίας καθορίζεται από τη διεύθυνση της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου με αναφορά το επίπεδο του εδάφους. Αν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος βρίσκονται πάντοτε σε σταθερά επίπεδα τότε το κύμα είναι επίπεδο ή επίπεδα πολωμένο. Ειδική περίπτωση του επίπεδου κύματος είναι το γραμμικά πολωμένο κύμα, όπου τα διανύσματα των πεδίων βρίσκονται μόνιμα σε ευθεία γραμμή. Παράδειγμα γραμμικά πολωμένου κύματος είναι το κύμα που παράγει ένα γραμμικό δίπολο. Στο Σχ. 2-3(α) φαίνεται το ηλεκτρικό πεδίο ενός γραμμικά πολωμένου κύματος. Το πλάτος και η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου E , φαίνονται σαν συνάρτηση της απόστασης για μια στιγμή του χρόνου. Στο Σχ. 2-3(β) είναι το κύμα όπως το βλέπει ένας παρατηρητής που κοιτάζει προς την διεύθυνση διάδοσης Z . Το ηλεκτρικό πεδίο E μεταβάλλεται κατά πλάτος μεταξύ θετικού και αρνητικού E_2 και η διεύθυνση του E περιορίζεται στο άξονα Y . Στο Σχ. 2-3(γ) έχουμε ένα ελλειπτικά πολωμένο κύμα να ταξιδεύει κατά τη διεύθυνση Z . Όπως φαίνεται από το θετικό άξονα του Z το άκρο του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου διαγράφει ελλειπτική τροχιά με μεγάλο και μικρό ημιάξονα της έλλειψης E_2 και E_1 αντίστοιχα όπως δείχνει το Σχ. 2-3(δ). Η ειδική περίπτωση του γραμμικά πολωμένου κύματος συμβαίνει όταν $E_1 = 0$ όπως το Σχ. 2-3(α) και (β). Όταν $E_1 = E_2$ τότε η έλλειψη γίνεται κύκλος και έχουμε ακόμα μια ειδική περίπτωση της ελλειπτικής πόλωσης τη κυκλική πόλωση. Η μεταβολή του E για κυκλικά πολωμένο κύμα φαίνεται στο Σχ. 2-3(ε) και (στ). Ένα ελλειπτικά πολωμένο κύμα μπορεί να είναι δεξιόστροφο ή αριστερόστροφο. Αν ο παρατηρητής κοιτάζει προς τη διεύθυνση διάδοσης και το πεδίο περιστρέφεται με τη φορά των δεικτών του ρολογιού τότε το κύμα είναι δεξιόστροφο ελλειπτικά πολωμένο κύμα.



Σχ. 2-3: Γραμμική, ελλειπτική και κυκλική πόλωση

Στην αντίθετη περίπτωση λέγεται αριστερόστροφο ελλειπτικά πολωμένο κύμα. Συνήθως τα χαρακτηριστικά πόλωσης μιας κεραίας είναι σταθερά ή μεταβάλλονται ελάχιστα προς τη κατεύθυνση του κύριου λοβού, αλλά υπάρχει μεταβολή για τους δευτερεύοντες λοβούς. Μια κεραία λήψης θα είναι πιο αποδοτική αν το κύμα που δέχεται έχει τα ίδια χαρακτηριστικά πόλωσης με την κεραία. Όταν η πόλωση του προσπίπτοντος κύματος είναι διαφορετική από τη πόλωση της κεραίας τότε έχουμε απώλεια λόγω πολωτικής μη-προσαρμογής (polarization mismatch).

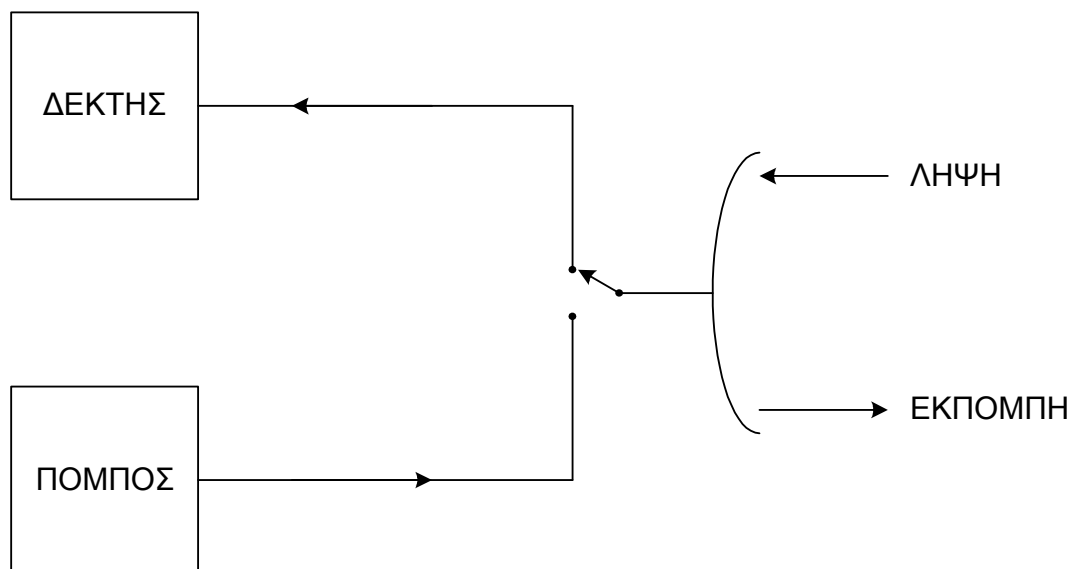


Ορίζουμε πολωτική απόδοση n_p το λόγο της ισχύος που δέχεται μια κεραία προς την ισχύ που μπορούσε να δεχθεί αν το προσπίπτων κύμα είναι πολωτικά προσαρμοσμένο προς την κεραία λήψης.



2.4. ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΑΜΟΙΒΑΙΟΤΗΤΑ

Τα χαρακτηριστικά εκπομπής και λήψης μιας κεραίας είναι τα ίδια, βάση του θεωρήματος της αμοιβαιότητας του LORENTS. Αυτό με λίγα λόγια είναι : *“Εάν μια τάση εφαρμοστεί στα άκρα ενός κυκλώματος A και προκαλέσει ρεύμα να ρέει σε ένα άλλο κύκλωμα B τότε αν εφαρμοστεί η ίδια τάση στα άκρα του κυκλώματος B θα προκαλέσει το ίδιο ρεύμα να στο κύκλωμα A”*. Βάση αυτού του θεωρήματος ένα διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας εκπομπής είναι το ίδιο με το διάγραμμα ακτινοβολίας της ίδιας κεραίας όταν βρίσκεται σε διάταξη λήψης. Επίσης η απολαβή και η αντίσταση μιας κεραίας είναι τα ίδια όταν η κεραία είναι σε διάταξη λήψης ή εκπομπής.



Σχ. 2-4: Μια κεραία μπορεί ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθεί για εκπομπή και λήψη



2.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η μεταβολή ρεύματος κατά μήκος της κεραίας είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό που ενδιαφέρει και ονομάζεται κατανομή ρεύματος. Υπάρχουν δυο τύποι κατανομών :

(α) Στις συντονισμένες κεραίες έχουμε στάσιμα κύματα λόγω της ύπαρξης εκτός από οδεύοντων κυμάτων και ανακλώμενων κυμάτων. Το πλάτος του κύματος δεν παραμένει σταθερό αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος του αγωγού. Η μεταβολή αυτή είναι ημιτονοειδής με την προϋπόθεση πως το οδεύον και το ανακλώμενο έχουν το ίδιο πλάτος. Τότε $I_x = I_m \sin \beta x$ με $\beta = 2\pi/\lambda$.

(β) Στις ασυντόνιστες κεραίες το ανακλώμενο κύμα δεν υπάρχει λόγω τερματισμού της κεραίας στη χαρακτηριστική της αντίσταση (προσαρμογή), η κατανομή ρεύματος προκύπτει από $I_x = I_m e^{-\gamma x}$

όπου $\gamma = \alpha + j\beta$

γ = σταθερά μετάδοσης

α = σταθερά εξασθένησης

β = σταθερά φάσης

Για την ιδανική περίπτωση ($\alpha=0$) και $I_x = I_m e^{j\beta x}$, δηλ. το πλάτος μόνο είναι σταθερό κατά μήκος της γραμμής και μόνο η φάση μεταβάλλεται.



ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ, ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

α) Η ισχύς που ακτινοβολεί η κεραία μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα των ακτινοβολιών όλων των στοιχειωδών τμημάτων που την αποτελούν προς όλες τις κατευθύνσεις. Έτσι η ολική ισχύς που ακτινοβολείτε θα είναι $W_A = \iint P ds$ όπου P το μέτρο του διανύσματος Poynting και ds η στοιχειώδης επιφάνεια της κεραίας.

β) Αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας ονομάζεται η ωμική εκείνη αντίσταση R_A που όταν διαρρέετε από ρεύμα ίσο προς το ρεύμα εισόδου της κεραίας θα απορροφούσε ισχύ ίση προς την ισχύ ακτινοβολίας της κεραίας. Έτσι $R_A = W_A / I^2$ όπου I η ενεργός τιμή του ρεύματος. Αυτό σημαίνει πως η αντίσταση ακτινοβολίας εξαρτάται από το σημείο τροφοδότησης της κεραίας. Συνήθως η τροφοδότηση γίνεται σε σημείο μεγίστου ρεύματος και η αντίσταση ακτινοβολίας τότε συμβολίζεται με R_0 . Η αντίσταση ακτινοβολίας στο σημείο που απέχει απόσταση x από την κοιλία του ρεύματος θα είναι $R_x = R_0 / \cos^2 \beta x$. Η έκφραση αυτή στη περίπτωση που η κατανομή του ρεύματος δεν είναι ημιτονική ως έχει υποθεθεί, δίνει ικανοποιητική προσέγγιση με την προϋπόθεση ότι η κεραία είναι πολύ λεπτή. Για στοιχειώδες δίπολο $L \ll \lambda$

$$R_A = 80\pi^2 (L/\lambda)^2 \text{ αν } L/\lambda = 0.1 \quad R_A = 7.9\Omega$$

$$\text{αν } L/\lambda = 0.01 \quad R_A = 0.8\Omega$$

Βλέπουμε ότι η αντίσταση ακτινοβολίας του στοιχειώδους διπόλου είναι πολύ μικρή.



ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ, ΑΠΟΔΟΣΗ, ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΕΡΑΙΑΣ

α) Η κεραία τροφοδοτείται με ισχύ μέσω γραμμής μεταφοράς. Από αυτή την ισχύ ακτινοβολείται ένα ποσοστό της ενώ το υπόλοιπο αποτελεί απώλειες στη κεραία σε μορφή θερμότητας. Τις απώλειες αυτές αντιπροσωπεύει η αντίσταση απωλειών R_L που ορίζεται ως εξής : *αντίσταση απωλειών της κεραίας είναι η ωμική εκείνη αντίσταση που όταν διαρρέετε από ρεύμα ίσο προς το ρεύμα εισόδου της κεραίας δαπανά ισχύ ίση με την ισχύ απωλειών W_L της κεραίας.*

β) *Απόδοση (efficiency) κεραίας είναι ο λόγος της ακτινοβολούμενης από τη κεραία ισχύος προς την ισχύ εισόδου της κεραίας.*

$$\text{Απόδοση } \boxed{n = W_A / (W_A + W_L) = R_A / (R_A + R_L)} \quad (1)$$

γ) *Αντίσταση εισόδου Z_{in} . Αν V_{in} και I_{in} είναι η τάση και το ρεύμα στη είσοδο της κεραίας τότε $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$. Η τιμή της εξαρτάται από το σημείο τροφοδότησης της κεραίας ενώ το πραγματικό της μέρος θα είναι : $R_{in} = R_A = R_L$. Επίσης εξαρτάται από το έδαφος και τις γειτονικές κεραίες λόγω σύζευξης. Στη περίπτωση που η κεραία θεωρείται μεμονωμένη στο χώρο αυτή η σύνθετη αντίσταση εισόδου ονομάζεται ίδια αντίσταση και συμβολίζεται με Z_{11} . Η φανταστική αντίσταση εισόδου παριστάνει την ισχύ που αποθηκεύεται στη περιοχή του κοντινού πεδίου. Η πραγματική αντίσταση εισόδου : $R_{in} = R_A + R_L$ παριστάνει κατανάλωση. Τη κατανάλωση λόγω θερμικής απώλειας πάνω στη κεραία και τη κατανάλωση λόγω της ενέργειας (χρήσιμης) που ακτινοβολείται από την κεραία. Η θερμική σε σχέση με την ακτινοβολούμενη απώλεια είναι μικρή.*

Η μέση ισχύς που καταναλώνεται στη κεραία είναι :

$$W_{in} = W_A + W_L + 1/2 R_A [I_m]^2 + 1/2 R_L [I_m]^2 \quad (2)$$

$$W_A = \text{ακτινοβολούμενη ισχύς}$$

$$W_L = \text{ισχύς θερμικών απωλειών}$$

$$\text{οπότε } R_A = 2W_A / [I_m]^2 \text{ και } R_L = 2W_L / [I_m]^2 = 2(W_{in} - W_A) / [I_m]^2$$

Από τη προηγούμενη παράγραφο η απόδοση της κεραίας είναι :

$$n = R_A / (R_A + R_L) \times 100\% \quad (3)$$

Για τις περισσότερες κεραίες ο δείκτης απόδοσης n είναι κοντά στο 100%. Το n πέφτει όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κεραίας σε σχέση με το μήκος κύματος.

$$\text{Η ωμική αντίσταση } R_L = L \cdot R_s / 2\pi a$$

$$\text{Όπου } L = \text{μήκος της κεραίας}$$



α = ακτίνα σύρματος

R_s = επιφανειακή αντίσταση και $R_s = \sqrt{\omega\mu/2\sigma}$

όπου σ = ειδική αγωγιμότητα του υλικού

μ = μαγνητική διαπερατότητα = $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

Η επιφανειακή αντίσταση για τις πιο πάνω συχνότητες για χάλκινο σύρμα ($\sigma = 5.7 \times 10^7 \text{ mho/m}$) είναι :

f	$R_s (\Omega)$
0.5 MHz	1.84×10^{-4}
1.0 MHz	2.63×10^{-4}
1.6 MHz	3.33×10^{-4}
0.3 GHz	458.83×10^{-4}

Για σύρμα $\alpha = 4.06 \times 10^{-4} \text{ m}$ (No 20AWG)

f	$R_L (\Omega)$	Απόδοση $n\%$
0.5 MHz	0.0728	2.9
1.0 MHz	0.103	7.9
1.6 MHz	0.165	13
0.3 GHz	18	97.79

Μπορούμε να δούμε ότι η απόδοση αυξάνει με το μήκος της κεραίας σε σχέση με το μήκος κύματος. Όταν το μήκος της κεραίας δεν μπορεί να αυξηθεί για καλή λήψη στα AM χρειάζεται ισχυρό σήμα εκπομπής. Η ωμική απώλεια εκτός από την επίδραση της στην απόδοση, προκαλεί και άλλα ανεπιθύμητα φαινόμενα. Όπως είναι γνωστό κάθε ηλεκτρικό σύστημα είναι πηγή θορύβου. Μεγάλη ωμική απώλεια συνεπάγεται μεγάλο θόρυβο ο οποίος στη περίπτωση μιας μικρής κεραίας λήψης εισέρχεται στο δέκτη. Αυτό αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα στη καλή ποιότητα λήψης από μικρές κεραίας.

Κεραίες με μικρό μήκος, έχουν το φανταστικό μέρος της αντίστασης εισόδου πολύ μεγάλο σε σχέση με το πραγματικό. Ένα βραχύ δίπολο εμφανίζει μεγάλη χωρητική αντίσταση, ενώ μια μικρή βροχοκεραία εμφανίζει μεγάλη επαγωγική αντίσταση.

Η γνώση της αντίστασης εισόδου μιας κεραίας είναι απαραίτητη γιατί καθορίζει την ισχύ που μεταφέρεται από ένα πομπό στην κεραία και την ισχύ που δίνει μια κεραία σ' ένα δέκτη.

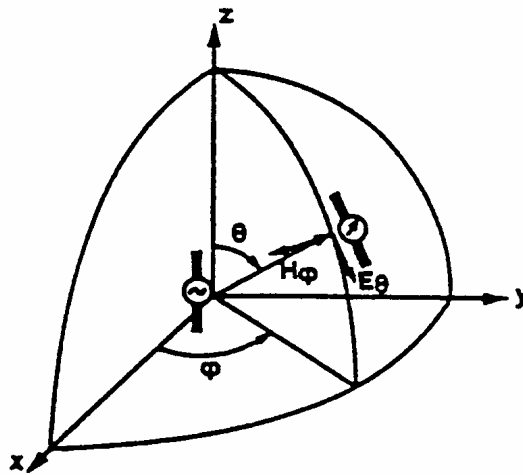


Για να μεγιστοποιηθεί η μεταφερόμενη ισχύς θα πρέπει μεταξύ πομπού και κεραίας ή κεραίας και δέκτη να τοποθετηθεί το κατάλληλο σύστημα προσαρμογής.



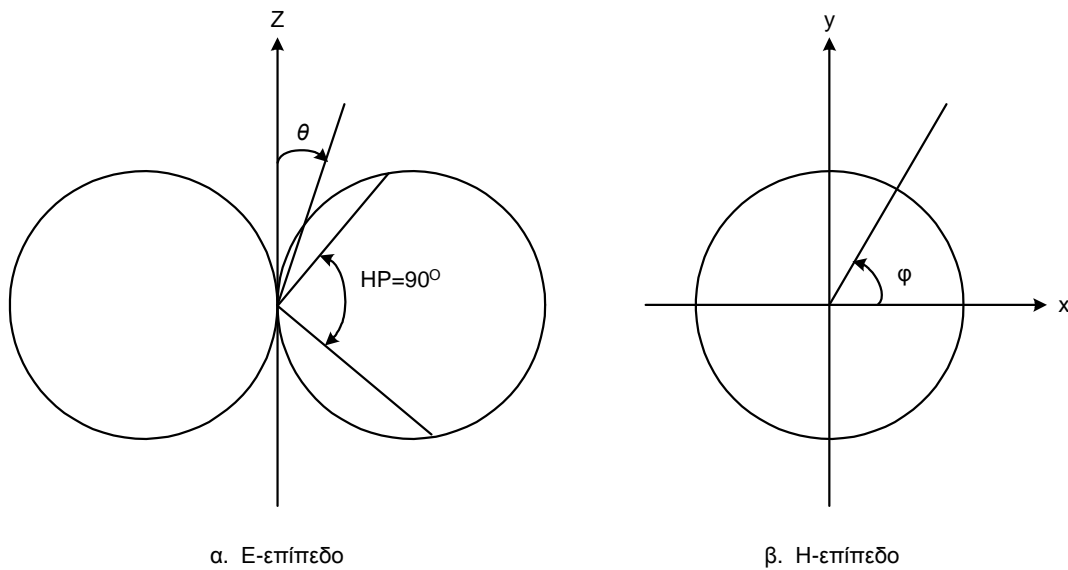
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό μιας κεραίας είναι ο τρόπος που κατανέμει την ισχύ που ακτινοβολεί στο χώρο. Αυτό περιγράφεται με το διάγραμμα ακτινοβολίας. Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι η γραφική παράσταση των ιδιοτήτων ακτινοβολίας (μακρινού πεδίου) μιας κεραίας. Ένα διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να παριστάνει την γωνιακή κατανομή : (α) του μέτρου της έντασης πεδίου ή (β) της πυκνότητας ισχύος ή (γ) της έντασης ακτινοβολίας. Η σχεδίαση πραγματοποιείται με κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή για ορισμένη απόσταση r .



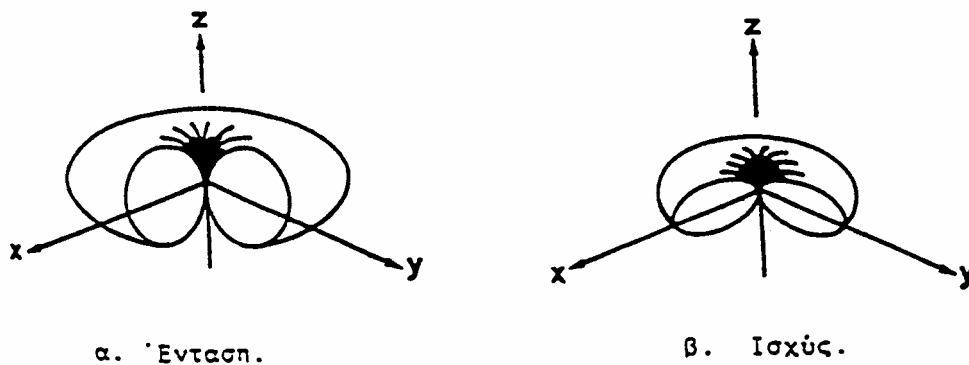
Σχ. 2-5: Διάγραμμα ακτινοβολίας

Έστω βραχύ δίπολο είναι τοποθετημένο στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων του Σχ. 2-5. Διάγραμμα ακτινοβολίας είναι το στερεό που σχηματίζεται από τα άκρα των διανυσμάτων που έχουν αρχή την αρχή των συντεταγμένων, κατευθύνονται σε κάθε κατεύθυνση θ, φ του χώρου και έχουν μέτρο το πηλίκο της λαμβανόμενης ισχύος ή πεδίου σ' ένα σημείο προς τη μέγιστη ακτινοβολούμενη ισχύ ή πεδίο αντίστοιχα. Η τομή αυτού του διαγράμματος σε κάθε επίπεδο που διέρχεται από την αρχή των αξόνων δίνει ένα επίπεδο διάγραμμα ακτινοβολίας. Διάγραμμα που λαμβάνεται σ' οποιοδήποτε επίπεδο που διέρχεται από την αρχή του άξονα Z ονομάζεται διάγραμμα ακτινοβολίας E-επιπέδου γιατί περιλαμβάνει σ' αυτό το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου. Ένα διάγραμμα που λαμβάνεται σε επίπεδο κάθετο προς τον άξονα Z (xy επίπεδο) ονομάζεται διάγραμμα ακτινοβολίας H-επιπέδου, γιατί περιλαμβάνει σ' αυτό το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας E και H-επιπέδου φαίνονται στα Σχ. 2-6 (α) και (β).



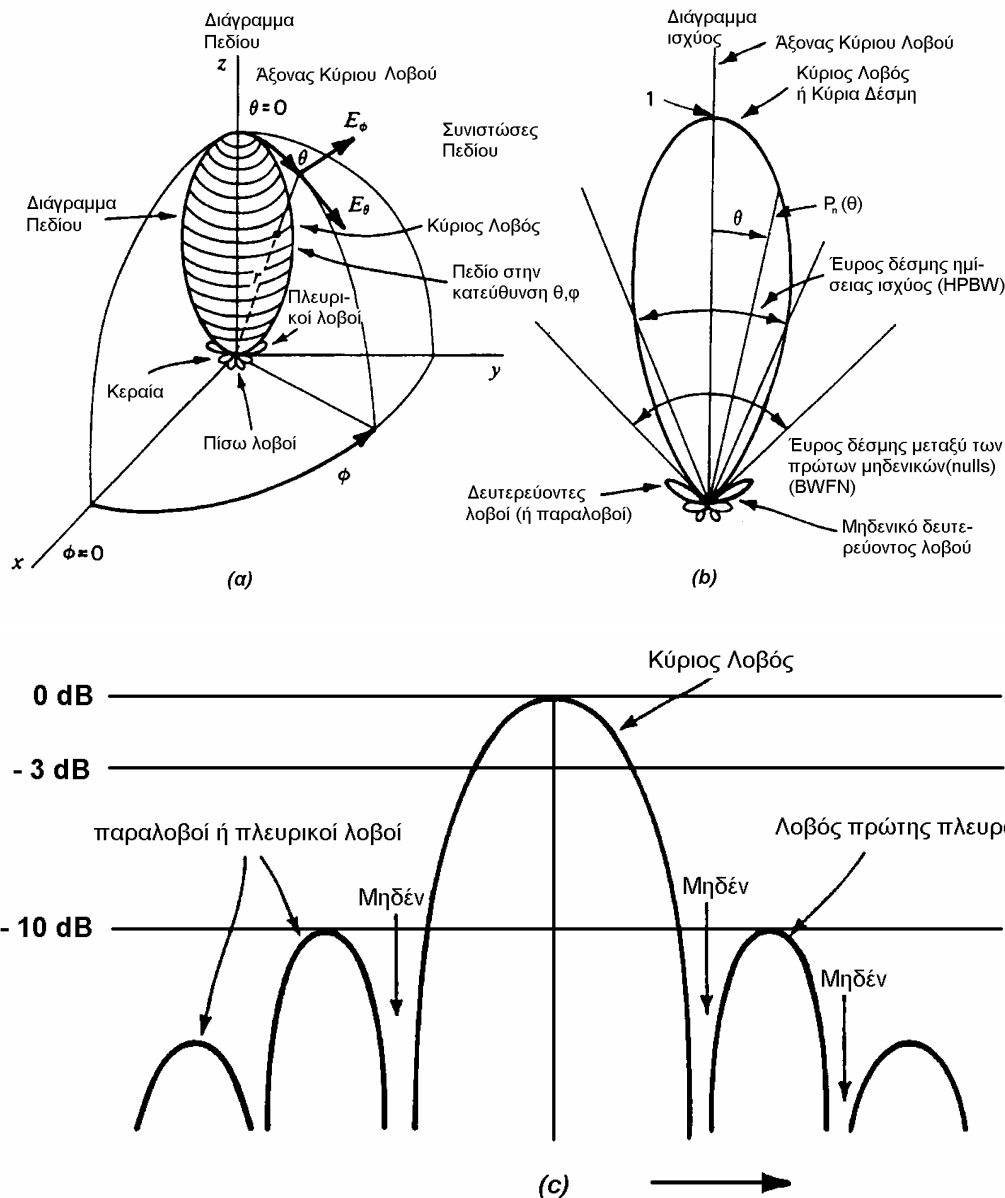
Σχ. 2-6: Διάγραμμα ακτινοβολίας διπόλου Hertz

Στο Σχ. 2-7 φαίνεται το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας της έντασης πεδίου του διπόλου Hertz. Το διάγραμμα ακτινοβολίας της ισχύος μπορεί να ληφθεί από το τετράγωνο της έντασης του πεδίου και έχει τη μορφή του Σχ. 2-7 (β).



Σχ. 2-7: Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

Το Σχ. 2-8 δείχνει ένα διάγραμμα πεδίου όπου το r είναι ανάλογο με την ένταση πεδίου σε μια συγκεκριμένη απόσταση από την κεραία στην κατεύθυνση θ, ϕ . Το διάγραμμα έχει το μέγιστο του κύριου λοβού του στην κατεύθυνση του z ($\theta=0$) με δευτερεύοντες λοβούς (πλάι και πίσω) σε άλλες διευθύνσεις. Μεταξύ των λοβών υπάρχουν περιοχές μηδενικής ή ελάχιστης ακτινοβολίας (nulls).



Σχ. 2-8: (a) Διάγραμμα πεδίου κεραίας με σύστημα συντεταγμένων. (b) Διάγραμμα ισχύος κεραίας σε πολικές συντεταγμένες (γραμμική κλίμακα). (c) Διάγραμμα εκπομπής κεραίας σε ορθογώνιες συντεταγμένες και λογαριθμική κλίμακα decibel. Τα διαγράμματα (b) και (c) είναι ίδια.

Για να καθορίσουμε πλήρως το διάγραμμα ακτινοβολίας σε σχέση με την ένταση πεδίου και την πόλωση, χρειάζονται τρία διαγράμματα:

1. Η συνιστώσα θ του ηλεκτρικού πεδίου σαν συνάρτηση των γωνιών θ και ϕ , ή $E_\theta(\theta, \phi)$ ($V m^{-1}$)

2. Η συνιστώσα ϕ του ηλεκτρικού πεδίου σαν συνάρτηση των γωνιών θ και ϕ , ή $E_\phi(\theta, \phi)$ ($V m^{-1}$)



3. Οι φάσεις αυτών των πεδίων σαν συνάρτηση των γωνιών ϑ και φ , ή $\delta_{\vartheta}(\vartheta, \varphi)$ και $\delta_{\varphi}(\vartheta, \varphi)$ (rad ή deg)

Διαιρώντας μια συνιστώσα ενός πεδίου με την μέγιστη τιμή της, παίρνουμε ένα κανονικοποιημένο διάγραμμα πεδίου, που είναι ένας αριθμός χωρίς διαστάσεις με μέγιστη τιμή τη μονάδα. Έτσι, το κανονικοποιημένο διάγραμμα πεδίου για τη συνιστώσα ϑ του ηλεκτρικού πεδίου δίνεται από τη σχέση

$$E_{\vartheta}(\vartheta, \varphi)_n = \frac{E_{\vartheta}(\vartheta, \varphi)}{E_{\vartheta}(\vartheta, \varphi)_{\max}} \quad (1)$$

Σε αποστάσεις που είναι μεγάλες σε σύγκριση με το μέγεθος της κεραίας και με το μήκος κύματος, η μορφή του διαγράμματος πεδίου είναι ανεξάρτητη από την απόσταση. Συνήθως, τα διαγράμματα που μας ενδιαφέρουν είναι για αυτό το μακρινό πεδίο.

Τα διαγράμματα ακτινοβολίας μπορούν επίσης να εκφραστούν σε μονάδες ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας [ή με το διάνυσμα Poynting, $S(\vartheta, \varphi)$], σε μια ορισμένη απόσταση από την κεραία. Κανονικοποιώντας την ισχύ αυτή σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της παίρνουμε ένα κανονικοποιημένο διάγραμμα ισχύος σαν συνάρτηση γωνίας, που είναι ένας αριθμός χωρίς διαστάσεις με μέγιστη τιμή τη μονάδα. Έτσι, το κανονικοποιημένο διάγραμμα ισχύος δίνεται από τη σχέση

$$P_n(\vartheta, \varphi) = \frac{S(\vartheta, \varphi)}{S(\vartheta, \varphi)_{\max}} \quad (2)$$

όπου $S(\vartheta, \varphi) = \text{διάνυσμα Poynting} = [E_{\vartheta}^2(\vartheta, \varphi) + E_{\varphi}^2(\vartheta, \varphi)]/Z_0$, Wm^{-2}

$S(\vartheta, \varphi)_{\max}$ = μέγιστη τιμή του $S(\vartheta, \varphi)$, Wm^{-2}

Z_0 = χαρακτηριστική αντίσταση του (κενού) χώρου = 376.7 Ω

Οποιοδήποτε από αυτά τα διαγράμματα πεδίου ή ισχύος μπορούν να παρασταθούν σε τρισδιάστατες σφαιρικές συντεταγμένες, όπως το διάγραμμα πεδίου στο Σχ. 2-8α, ή με επίπεδες τομές διαμέσου του άξονα του κύριου λοβού. Δυο τέτοιες τομές σε ορθές γωνίες, που καλούνται πρωτεύοντα επίπεδα διαγράμματα (όπως στα επίπεδα xz και yz στο Σχ. 2-8α)



ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΑΠΟΛΑΒΗ

Η κεραία δεν ακτινοβολεί ομοιόμορφα σ' όλες τις κατευθύνσεις αλλά συνήθως η ακτινοβολούμενη ισχύς συγκεντρώνεται σε λίγες στερεές γωνίες που έχουν κοινή κορυφή την κεραία. Αυτές οι γωνίες ονομάζονται λοβοί. Ένα μέτρο της συγκέντρωσης της ακτινοβολίας δίνει η κατευθυντικότητα (directivity) της κεραίας που ορίζεται ως:

$$\text{κατευθυντικότητα } d = \frac{\text{μέγιστη πυκνότητα ισχύος}}{\text{μέση πυκνότητα ισχύος}} \quad (1)$$

Ένας χρήσιμος δείκτης κατευθυντικότητας είναι η γωνία μισής ισχύος. Είναι η γωνία στο διάγραμμα ακτινοβολίας μεταξύ των σημείων που η ακτινοβολούμενη ισχύς πέφτει στο μισό της μέγιστης. Σχέση μεταξύ απολαβής και κατευθυντικότητας. Η απολαβή της κεραίας (με αναφορά το ισότροπο) εξαρτάται από την κατευθυντικότητα και την απόδοση. Αν η απόδοση δεν είναι 100%, η απολαβή είναι μικρότερη της κατευθυντικότητας. Τότε η απολαβή :

$$G = n.d \quad (2)$$

όπου n = συντελεστής απόδοσης της κεραίας ($0 \leq n \leq 1$).

Η απόδοση έχει να κάνει με τις ωμικές απώλειες της κεραίας. Στην περίπτωση εκπομπής αυτές οι απώλειες περιλαμβάνουν την ισχύ που τροφοδοτείται στη κεραία η οποία όμως δεν ακτινοβολείται αλλά θερμαίνει το σώμα της κεραίας.

Μερικές φορές η απολαβή της κεραίας δίνεται σαν η απολαβή σε σχέση με μια κεραία αναφοράς και ορίζεται ως εξής :

$$\text{Απολαβή } G = \frac{\text{Μέγιστη ένταση ακτινοβολίας της κεραίας}}{\text{Μέγιστη ένταση ακτινοβολίας της κεραίας αναφοράς}} \quad (3)$$

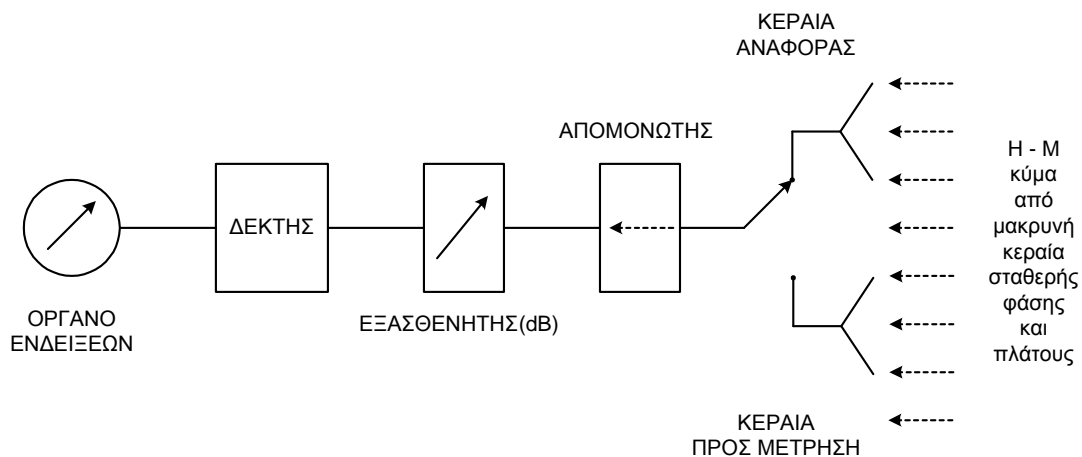
όταν και οι δύο κεραίες τροφοδοτούνται με την ίδια ισχύ.



ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΛΑΒΗΣ

Με βάση τον πιο πάνω ορισμό η μέτρηση της απολαβής μιας κεραίας μπορεί να γίνει με τη μέθοδο σύγκρισης της κεραίας της οποίας θα μετρηθεί η απολαβή με μια standard κεραία αναφοράς.

Χρησιμοποιείται η διάταξη του Σχ. 2-9.



Σχ. 2-9 : Μέτρηση απολαβής κεραίας

Ακολουθείται η πιο κάτω διαδικασία :

1. Με την κεραία αναφοράς συνδεδεμένη στο σύστημα παίρνουμε μια ένδειξη στο όργανο ενδείξεων με τον εξασθενητή στα 0dB.

2. Με την κεραία προς μέτρηση συνδεδεμένη στο σύστημα ρυθμίζουμε τον εξασθενητή ώστε να πάρουμε την ίδια ένδειξη στο όργανο.

Τότε η ένδειξη προς μέτρηση σε dB στον εξασθενητή = απολαβή της κεραίας σε σχέση με την κεραία αναφοράς.



ΕΝΕΡΓΟ ΎΨΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΕΡΑΙΑΣ

Το ενεργό ύψος h είναι μια παράμετρος που σχετίζεται με την διατομή της κεραίας. Πολλαπλασιάζοντας το ενεργό ύψος με το προσπίπτον πεδίο E (Volt/m) της ίδιας πόλωσης μας δίνει την επαγόμενη τάση. Οπότε,

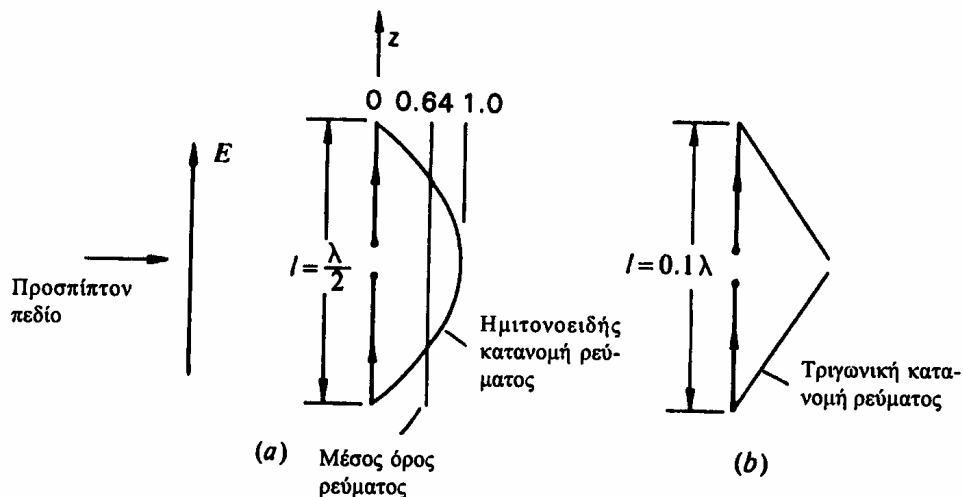
$$V = hE$$

Επομένως, το ενεργό ύψος μπορεί να ορισθεί ως ο λόγος της επαγόμενης τάσης προς το προσπίπτον κύμα ή

$$\boxed{h = V/E} \quad (m) \quad (1)$$

Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι ένα κάθετο δίπολο μήκους $l = \lambda/2$ βρίσκεται μέσα σ' ένα πεδίο E όπως στο Σχ. 2-10. Αν η κατανομή ρεύματος του διπόλου ήταν ομοιόμορφη τότε το ενεργό ύψος του θα ήταν l . Η πραγματική κατανομή ρεύματος όμως είναι περίπου ημιτονοειδής με μέση τιμή $2/\pi = 0.64$ (της μέγιστης) οπότε το ενεργό ύψος $h = 0.64l$. Υποτίθεται ότι η κεραία είναι προσανατολισμένη για μέγιστη ανταπόκριση.

Αν το ίδιο δίπολο χρησιμοποιηθεί σε πιο μεγάλο μήκος κύματος και το μήκος του είναι μόλις 0.1λ τότε η κατανομή ρεύματος είναι περίπου τριγωνική κατανομή όπως το Σχ. 2-10(β). Η μέση τιμή του ρεύματος είναι $1/2$ της μέγιστης οπότε το ενεργό ύψος είναι $0,5l$.



Σχ. 2-10 : (α) Δίπολο μήκους $l = \lambda/2$ με ημιτονοειδή κατανομή ρεύματος
(β) Δίπολο μήκους $l = 0.1\lambda$ με τριγωνική κατανομή

Οπότε άλλος ένας τρόπος να οριστεί το ενεργό ύψος είναι να υποθέσουμε τη περίπτωση εκπομπής. Τότε το ενεργό ύψος είναι ίσο με το



φυσικό ύψος (ή μήκος l) επί της μέσης τιμής του ρεύματος (κανονικοποιημένης).

$$h_e = 1/I_o \int_0^h p I_{(z)} dZ = I_{av}/I_o h_p \quad (m) \quad (2)$$

όπου

$$h_e = \text{ενεργό ύψος, } m$$

$$h_p = \text{φυσικό ύψος, } m$$

$$I_{av} = \text{μέση τιμή του ρεύματος, } A$$

$$I_o = \text{μέγιστη τιμή ρεύματος, } A$$

Είναι φανερό ότι το ενεργό ύψος είναι μια χρήσιμη παράμετρος για τους τύπους των κεραιών που υψώνονται σε πύργους. Επίσης έχει εφαρμογές σε μικρές κεραιές. Η παράμετρος ενεργός επιφάνεια έχει πιο γενική εφαρμογή σε όλους τους τύπους κεραιών. Οι δύο έχουν μια απλή σχέση μεταξύ τους όπως θα δούμε.

Για κεραία με αντίσταση ακτινοβολίας R_A προσαρμοσμένη στο φορτίο της, η ισχύς P που διοχετεύεται στο φορτίο είναι

$$P = \frac{1}{4} \frac{V^2}{R_A} = \frac{h^2 E^2}{4R_A} \quad (W) \quad (3)$$

Σε σχέση με την ενεργό επιφάνεια η ίδια ισχύς δίνεται από

$$P = A_e S = A_e E^2 / Z_o \quad (W) \quad (4)$$

όπου

$$Z_o = \text{αντίσταση ελεύθερου χώρου } (= 377\Omega)$$

$$S = \text{πυκνότητα ισχύος}$$

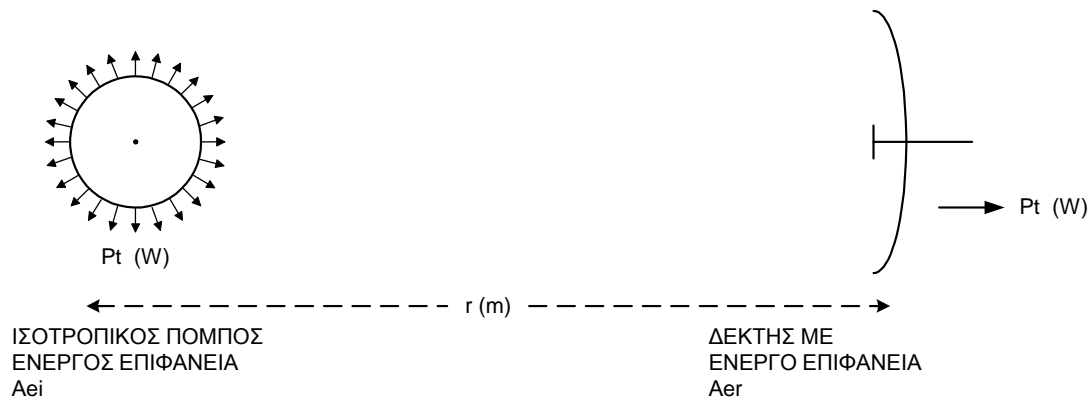
Εξισώνοντας τις 3 και 4 παίρνουμε

$$h_e = 2\sqrt{(R_A A_e / Z_o)} \quad (m) \quad \text{και} \quad A_e = h_e^2 Z_o / 4R_A \quad (m^2) \quad (5)$$

Οπότε το ενεργό ύψος και η ενεργός επιφάνεια συνδέονται μέσω της αντίστασης ακτινοβολίας και της αντίστασης ελεύθερου χώρου.



ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ



Σχ. 2-11 : Τηλεπικοινωνιακή σύνδεση

Εδώ θα γίνει χρήση της παραμέτρου που αναφέρθηκε πιο πάνω της ενεργού επιφάνειας. Η ισχύς που λαμβάνει μια κεραία μπορεί να θεωρηθεί ότι σχετίζεται με μια επιφάνεια που συλλέγει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Όλες οι κεραιές μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν μια τέτοια επιφάνεια την ενεργό επιφάνεια A_e .

$$A_e = \frac{\text{ωφέλιμη ισχύς που απορροφάται από την κεραία}}{\text{πικνότητα ισχύος που φτάνει στην κεραία}} \quad (1)$$

Η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας σε απόσταση r από τον ισότροπικό πομπό είναι

$$P_a = P_t / 4\pi r^2 \quad (W/m^2) \quad \text{και} \quad A_{er} = P_r / P_a = P_r 4\pi r^2 / P_t \quad (2)$$

οπότε $P_r / P_t = A_{er} / 4\pi r^2$ και η ισχύς που συλλέγεται σε απόσταση r είναι

$$P_r = P_t A_{er} / 4\pi r^2 \quad (3)$$

η ενεργός επιφάνεια του ισότροπου μπορεί να αποδειχτεί ότι είναι

$$A_{ei} = \lambda^2 / 4\pi \quad (4)$$

Τώρα αν ο ισότροπικός πομπός αντικατασταθεί με κεραία που έχει ενεργό επιφάνεια A_{et} τότε και η ισχύς που λαμβάνεται στο δέκτη θα αυξηθεί κατά A_{et} / A_{ei} οπότε

$$P_r = \frac{P_t A_{er} A_{et}}{4\pi r^2 A_{ei}} = \frac{P_t A_{er} A_{et}}{r^2 \lambda^2} \quad (5)$$

Επίσης ισχύει γενικά για μια κεραία με απολαβή G σε σχέση με το ισότροπο και ενεργό επιφάνεια A_e ότι



$$A_e = G \cdot A_{ei} \quad (6)$$

$$\text{Τότε } A_{er} = G_r \cdot A_{ei} \text{ και } A_{et} = G_t \cdot A_{ei} \quad (7)$$

Όπου

$G_r = \eta$ απολαβή κεραίας δέκτη

$G_t =$ απολαβή κεραίας πομπού

Αντικαθιστώντας τη 7 στη 6 παίρνουμε

$$P_r = P_t G_r G_t \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (\text{Watt}) \quad \text{ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ FRIIS} \quad (8)$$



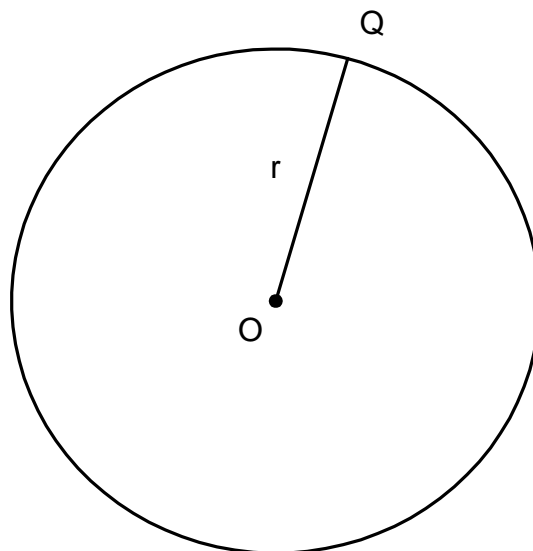
ΤΟ ΙΣΟΤΡΟΠΟ

Η κεραία έχει διπλό ρόλο, να δέχεται ενέργεια από κάποια γραμμή μεταφοράς και να την εκπέμπει στο ελεύθερο χώρο στη επιθυμητή κατεύθυνση. Αυτό το τελευταίο εξαρτάται από την κατευθυντικότητα της κεραίας. Επίσης δέχεται ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία δημιουργούν τάση στη κεραία και ρεύμα στο δέκτη πίσω από την κεραία.

Καμιά πρακτική κεραία δεν ακτινοβολεί ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις. Τέτοια θεωρητική κεραία είναι το ισότροπο και είναι χρήσιμο να μελετηθεί γιατί μπορεί να το έχουμε σαν κεραία αναφοράς για την μελέτη πρακτικών κεραιών.

Μια άλλη τέτοια θεωρητική κεραία που θα μας απασχολήσει είναι το δίπολο Hertz. Είναι ένας μικρός ευθύγραμμος αγωγός που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα και το μέγεθος και η κατανομή της ακτινοβολίας μπορεί να υπολογιστεί. Πολλές πρακτικές κεραιές μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι φτιαγμένες από σειρά διπόλων Hertz και έτσι οι ιδιότητες τους μπορεί να υπολογιστούν από την γνώση της ακτινοβολίας του διπόλου Hertz.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω μια σημειακή πηγή ή ισότροπο ακτινοβολεί ενέργεια ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις. Έπεται ότι η ακτινοβολία σε όλα τα πεδία είναι κυκλική. Θεωρούμε μια τέτοια πηγή στο σημείο O στο κέντρο της σφαίρας σε ακτίνα r .



Σχ. 12: Το ισότροπο

Για $r = \lambda$ η ακτινοβολία που παίρνουμε είναι κοντινού πεδίου και για $r \gg \lambda$ η ακτινοβολία είναι μακρινού πεδίου. Οι ιδιότητες ακτινοβολίας μιας κεραίας δίνονται πάντοτε σε σχέση το μακρινό πεδίο.



Η επιφάνεια μιας σφαίρας ακτίνας r είναι $4\pi r^2$. Η ισχύς που δέχεται ανά μονάδα επιφανείας P_a σε απόσταση r και ισχύ ακτινοβολίας P είναι :

$$P_a = \frac{P}{4\pi r^2} \text{ w/m}^2 \quad (1)$$

η ισχύς περιγράφεται από το διάνυσμα Poynting $P = E \times H$.

Το μέτρο αυτού του διανύσματος παριστά την ισχύ που δέχεται ανά μονάδα επιφανείας κάθετης προς τη διεύθυνση του κύματος. Από το διάνυσμα Poynting η ισχύς ανά μονάδα επιφανείας ενός κύματος στο χώρο με ηλεκτρικό πεδίο E είναι :

$$P_a = \frac{E^2}{120\pi} \text{ w/m}^2 \quad (2)$$

$$\text{οπότε } \frac{E^2}{120\pi} = \frac{P}{4\pi r^2} \text{ και } E_{rms} = \frac{\sqrt{(30P)}}{r} \text{ V/m} \quad (3)$$

Το ισότροπο μπορεί να θεωρηθεί σαν μια κεραία αναφοράς με απολαβή $G = 1$. Εάν μια άλλη κεραία με απολαβή G χρησιμοποιηθεί τότε το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο Q είναι :

$$E_{rms} = \frac{\sqrt{(30GP)}}{r} \text{ V/m}$$



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κεραία είναι η διάταξη που ακτινοβολεί στο χώρο ή μαζεύει ακτινοβολία από τον ελεύθερο χώρο. Τα χαρακτηριστικά μιας κεραίας σε διάταξη λήψης ή εκπομπής είναι τα ίδια.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Προσαρμογή : για μέγιστη μεταφορά ενέργειας από την κεραία στο δέκτη η σύνθετη αντίσταση της κεραίας πρέπει να είναι ίση με την αντίσταση του δέκτη.

Πόλωση : η πόλωση της κεραίας καθορίζεται από τη κατεύθυνση της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου με αναφορά το επίπεδο του εδάφους.

Διάγραμμα ακτινοβολίας : η πιο σημαντική ιδιότητα της κεραίας είναι το διάγραμμα ακτινοβολίας. Στην περίπτωση της κεραίας εκπομπής αυτό είναι η γραφική παράσταση της γωνιακής κατανομής της ισχύος ή της έντασης πεδίου που ακτινοβολείται στο χώρο από την κεραία σε όλες τις κατευθύνσεις. Το διάγραμμα μπορεί να είναι για το κάθετο επίπεδο (E) ή για το οριζόντιο επίπεδο (H). Τα ίδια διαγράμματα ισχύουν για μια κεραία είτε είναι σε διάταξη λήψης είτε σε διάταξη εκπομπής.

Γωνία μισής ισχύος : είναι η γωνία στο διάγραμμα ακτινοβολίας μεταξύ των σημείων που η ακτινοβολούμενη ισχύς πέφτει στο μισό της μέγιστης.

Κέρδος :

$$\text{κέρδος } G = \frac{\text{ακτινοβολούμενη ισχύς από την κεραία}}{\text{ακτινοβολούμενη ισχύς από κεραία αναφοράς}}$$

όταν τροφοδοτούνται και οι δύο κεραίες με την ίδια ισχύ.

Εναλλακτικός ορισμός $G = nD$ όπου

$$\text{κατευθυντικότητα } D = \frac{\text{μέγιστη πυκνότητα ισχύος}}{\text{μέση πυκνότητα ισχύος}}$$

και

$$\text{απόδοση } n = \frac{\text{ακτινοβολούμενη από την κεραία ισχύς}}{\text{ισχύς εισόδου της κεραίας}}$$



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Όλες οι συνεχώς κλιμακωτές κεραιές ακτινοβολούν σε κυκλική πόλωση. Το σημείο της σταθεράς του εύρους εκπομπής εναλλάσσεται με την συχνότητα. Μπορούμε να φτιάξουμε μία κεραιά γραμμικής πόλωσης shelf-scaling μόνο με τις δομές που αναλογούν σε διαστάσεις για ξεχωριστά διαστήματα συχνοτήτων. Το σχέδιο της χαρακτηριστικής κυμαίνεται μεταξύ συγκεκριμένων διαβαθμίσεων της συχνότητας. Με μικρότερης κλίμακας διαβαθμίσεις η κεραιά είναι πρακτικά εξαρτώμενη από την συχνότητα.

Κάθε περιοδική λογαριθμική δομή έχει μία βασική μονάδα διαβάθμισης. Υπολογίζουμε κάθε διάσταση της κεραιάς σύμφωνα με μία σταθερά

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \tau \quad \text{σταθερά κλίμακας } \tau < 1$$

Η κεραιά θα έχει αναλογία μεγέθους που θα διαβαθμίζεται ακριβώς με την ακολουθία των συχνοτήτων:

$$f_n = \frac{f_o}{\tau^n}$$

Φτιάχνουμε την κεραιά περιοδική μέσα στον λογάριθμο της συχνότητας με κάθε διάσταση διαμορφωμένη σύμφωνα με την σταθερά τ από στοιχείο σε στοιχείο.

Η περιοδική-λογαριθμική κεραιά είναι ένας συνδυασμός γραμμής μεταφοράς και στοιχειοκεραίας. Οι περιοδικές λογαριθμικές κεραιές αναπτύχθηκαν στα τέλη του 1950 από μετατροπές της κωνικής ελικοειδούς αρχής της κεραιάς που καθορίζεται από γωνίες. Θα ξεκινήσουμε από την ιστορική ανάπτυξη και στην συνέχεια θα αναλύσουμε την περιοδική λογαριθμική κεραιά με δίπολα. Τέλος θα συζητήσουμε τα διάφορα είδη περιοδικών λογαριθμικών κεραιών.



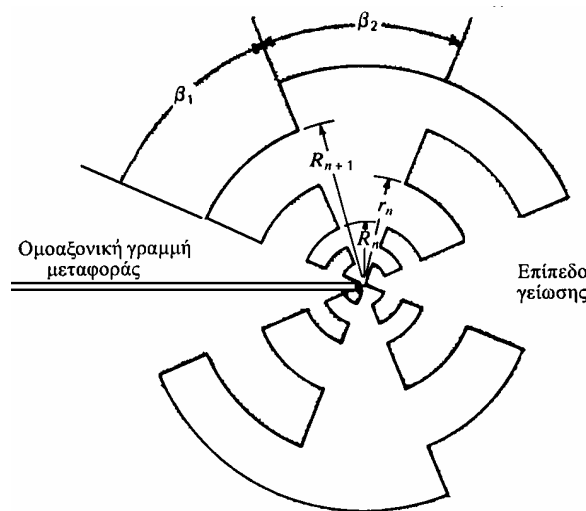
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 ο *Victor H. Rumsey* ανέπτυξε ένα νέο τρόπο αντίληψης των κεραιών και της λειτουργίας τους σαν συνάρτηση της συχνότητας.

Η αρχή του *Rumsey* είναι ότι οι ιδιότητες εμπέδησης και διαγράμματος ακτινοβολίας μιας κεραιάς θα είναι ανεξάρτητες από τη συχνότητα αν το σχήμα της κεραιάς καθορίζεται αποκλειστικά σαν συνάρτηση γωνιών. Έτσι, ένα απείρων διαστάσεων λογαριθμικό σπирάλ θα πρέπει να ικανοποιεί την απαίτηση αυτή.

Ο *John D. Dyson*, στο Πανεπιστήμιο του Illinois, ασχολήθηκε με την κλιμακούμενη έλικα ή κωνικό σπирάλ βασιζόμενος στην αρχή του *Rumsey*.

Ενώ αναπτύσσονταν τα επίπεδα και κωνικά σπирάλ, οι *Raymond H. DuHamel* και *Dwight E. Isbell* επίσης στο Πανεπιστήμιο του Illinois το 1957 δημιούργησαν ένα νέο τύπο κεραιάς ανεξάρτητο από συχνότητα, με μια αυτό-συμπληρωματική οδοντωτή δομή (βλ. Σχ. 3-1).



Σχ. 3-1: Αυτό- συμπληρωματική οδοντωτή περιοδική-λογαριθμική κεραιά των DuHamel και Isbell

Οι R.H. DuHamel και D.E. Isbell δημοσίευσαν τις πρώτες πληροφορίες για τις περιοδικές λογαριθμικές διατάξεις σε επαγγελματική βιβλιογραφία στα τέλη της δεκαετίας του 1950. Το πρώτο άρθρο για τη V περιοδική λογαριθμική κεραιά δημοσιεύτηκε σε ερασιτεχνικό έντυπο QST τον Νοέμβριο του 1959 και γράφηκε από τον *Carl T. Milner* (W1FVY). Από τότε χρησιμοποιείται σε έκταση συνεχώς μεγαλύτερη, γιατί έχει την ικανότητα να εκπέμπει κατευθυντικά πολύ μεγάλες ζώνες συχνοτήτων σε περιοχές που αρχίζουν από τα μεσαία κύματα και φτάνουν στα μικροκύματα. Την διακρίνει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι καταλαμβάνει μικρό χώρο σε σχέση με τις επιδόσεις της.



Πολύ συχνά η περιοδική-λογαριθμική κεραία χρησιμοποιείται για την λήψη προγραμμάτων τηλεοράσεως στην περιοχή U.H.F. (Ultra High Frequency).

Η περιοδική λογαριθμική κεραία είναι μία διάταξη από κατευθυντικά στοιχεία, σχεδιασμένα να λειτουργούν σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων. Το πλεονέκτημα είναι παρουσιάζει *ιδιαίτερα σταθερές χαρακτηριστικές στο εύρος των συχνοτήτων, την ίδια αντίσταση ακτινοβολίας* (και κατά συνέπεια SWR), και *το ίδιο μοντέλο χαρακτηριστικών* (κατά προσέγγιση το ίδιο κέρδος και την ίδια front-to-back αναλογία). Στην λειτουργία μονής συχνότητας δεν είναι όλα τα στοιχεία του συστήματος ενεργά. Το σχέδιο της διάταξης είναι τέτοιο ώστε η ενεργή περιοχή να αλλάζει μεταξύ των στοιχείων με αλλαγές στην συχνότητα λειτουργίας.

Η τροφοδοσία της κεραίας γίνεται από την πλευρά του μικρότερου στοιχείου. Η σχεδίαση αυτή δίνει την ικανότητα στη περιοδική-λογαριθμική κεραία να λειτουργεί με σταθερό διάγραμμα ακτινοβολίας και (περίπου) σταθερή αντίσταση εισόδου σε μία πολύ μεγάλη περιοχή συχνοτήτων.

Η περιοδική-λογαριθμική κεραία ακτινοβολεί προς την κατεύθυνση απ' όπου τροφοδοτείται. Τα μικρά στοιχεία στην είσοδο της κεραίας δεν εμποδίζουν την διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που εκπέμπονται στην κατεύθυνση τους. Φορτίζουν μόνο χωρητικά την γραμμή μεταφοράς, που τροφοδοτεί την κεραία. Στην μέση περίπου της κεραίας υπάρχουν μερικά στοιχεία, που έχουν ύψος h , σχεδόν ίσο με $\lambda/4$. Τα στοιχεία αυτά ακτινοβολούν. Σχηματίζουν μία στοιχειοσειρά, που είναι κατά προσέγγιση γραμμική και ομοιόμορφη. Κάθε στοιχείο της σειράς διεγείρεται με τέτοια διαφορά φάσεως από το προηγούμενο, ώστε η στοιχειοσειρά εκπέμπει αξονικά προς την κατεύθυνση απ' όπου τροφοδοτείται. Τα μεγαλύτερα στοιχεία στο τέλος της κεραίας φορτίζουν την γραμμή τροφοδοσίας επαγωγικά και λειτουργούν σαν ανακλαστήρες και στην γραμμή μεταφοράς και στην κεραία.

Ανάλογα με την συχνότητα που τροφοδοτεί την κεραία, εκπέμπουν άλλοτε τα μικρότερα και άλλοτε τα μεγαλύτερα στοιχεία της. Η διάταξη παραμένει ικανός ακτινοβολητής από την ελάχιστη συχνότητα λειτουργίας της f_{\min} , που είναι :

$$f_{\min} = \frac{c}{2h_{\max}} \quad (1)$$

ως την μέγιστη συχνότητα λειτουργίας της f_{\max} , που είναι :

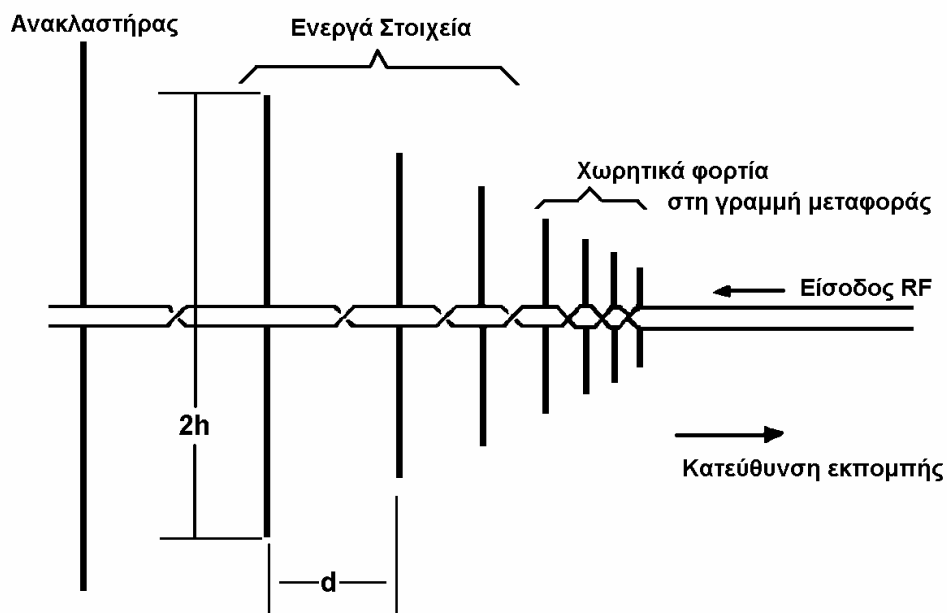
$$f_{\max} = \frac{c}{8h_{\min}} \quad (2)$$

Ο λόγος των συχνοτήτων f_{\max}/f_{\min} μπορεί να ξεπεράσει το 10 ή 15.

Επειδή όμως, σε κάθε συχνότητα ο αριθμός των ενεργών στοιχείων που ακτινοβολεί είναι μικρός, το κατευθυντικό κέρδος μιας περιοδικής λογαριθμικής κεραίας είναι σχετικά μικρό, δηλαδή περιορίζεται στα 6 έως 8 dB, ως προς το δίπολο .



Οι ιδιότητες που περιγράφηκαν στα προηγούμενα δίνουν στην περιοδική-λογαριθμική κεραία μεγάλη υπεροχή απέναντι στους άλλους τύπους κεραιών που εκπέμπουν κατευθυντικά μεγάλες ζώνες συχνοτήτων, όπως οι κεραιές V, οι ρομβικές κ.τ.λ. Τέτοιες κεραιές που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα, μπορούν να εκπέμπουν ζώνες συχνοτήτων στις οποίες ο λόγος f_{\max}/f_{\min} δεν ξεπερνά την τιμή 2. Σήμερα έχουν αντικατασταθεί από κεραιές περιοδική-λογαριθμική.



Σχ. 3-2: Περιοδική-λογαριθμική κεραία



ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Εξαρτώμενη από τις σχεδιαστικές παραμέτρους, η LPDA μπορεί να λειτουργήσει σε ένα εύρος συχνοτήτων, έχοντας αναλογία 2:1 ή μεγαλύτερη. Σε αυτό το εύρος τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της, κέρδος σύνθετη αντίσταση τροφοδοσίας, front-to-back αναλογία και ούτω καθ' εξής παραμένουν περίπου σταθερά. Αυτό δεν ισχύει για άλλους τύπους κεραιών που έχουμε συναντήσει. Με τις κεραιάς Yagi και quad για παράδειγμα, τόσο ο παράγοντας του κέρδους όσο και η αναλογία front-to-back εκφυλίζονται ταχύτατα όσο η συχνότητα λειτουργία απομακρύνεται από την ιδανική συχνότητα σχεδιασμού της διάταξης. Και επειδή αυτές οι κεραιές στηρίζονται σε συντονιστικά στοιχεία, μη συντονισμένες λειτουργίες εισάγουν επαγωγική ή χωρητική αντίσταση η οποία προκαλεί αύξηση του SWR στο σύστημα τροφοδοσίας. Ακόμα και αποπερατωμένες κεραιές όπως η ρομβική παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές στο κέρδος για αναλογία συχνότητας 2:1.

Όπως μπορούμε να δούμε στο Σχ. 3-3, η λογαριθμική περιοδική διάταξη αποτελείται από αρκετά διπολικά στοιχεία τα οποία έχουν διαφορετικά μήκη και διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους.

Το σχέδιο της περιοδικής λογαριθμικής κεραιάς αποτελείται από δύο μέρη. Το επιθυμητό σχέδιο της χαρακτηριστικής καθορίζει το απαιτούμενο αριθμό των στοιχείων στην ενεργή περιοχή και την απόσταση των στοιχείων. Βρίσκουμε τα σημεία αποκοπής από τα ισχύων επίπεδα της κεραιάς για να καθορίσουμε το πλήθος των στοιχείων που απαιτούνται για ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Όπως συμβαίνει και στις κωνικές ελικοειδείς κεραιές, μόνο ένα περιορισμένο εύρος κέρδους είναι εφικτό λόγω του ότι υπάρχει περιορισμός στο μήκος του διαφράγματος.

Ένας κατανομητικός τύπος συστήματος τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για να διεγείρει τα μεμονωμένα στοιχεία. Τα μήκη των στοιχείων και οι μεταξύ τους αποστάσεις, ξεκινώντας από το σημείο τροφοδοσίας της διάταξης, παρουσιάζουν μικρή αύξηση στις διαστάσεις, με το κάθε στοιχείο να είναι μεγαλύτερο από το προηγούμενο της διάταξης. Είναι αυτό το χαρακτηριστικό, στο οποίο στηρίζεται η LPDA, που επιτρέπει να γίνονται αλλαγές στην συχνότητα χωρίς μεγάλη επιρροή στην ηλεκτρική λειτουργία. Με τις αλλαγές στην λειτουργική συχνότητα, υπάρχει μία ομαλή μετάβαση μεταξύ των



στοιχείων της διάταξης που περιλαμβάνει την ενεργή περιοχή. Οι ακόλουθες πληροφορίες προέρχονται από το άρθρο του Peter Rhodes που δημοσιεύτηκε στο QST τον Νοέμβριο του 1973.

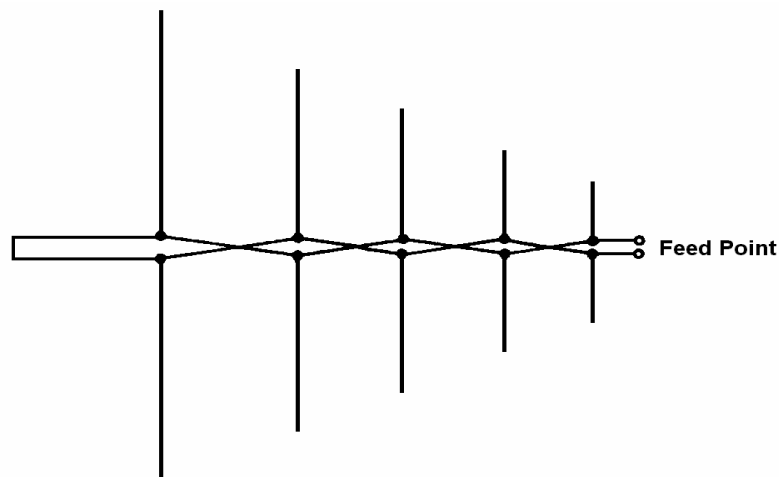
Τα πλεονεκτήματα των περιοδικών λογαριθμικών κεραιών είναι τα εξής :

1. Μπορεί να σχεδιαστεί για οποιοδήποτε μονή μπάντα ή για παρακείμενες μπάντες, HF σε UHF
2. Έχει λογικό κόστος
3. Μικρό βάρος
4. Δυνατότητα εύκολης σχεδίασης
5. Υψηλό κέρδος
6. Καλή front-to-back αναλογία
7. Χαμηλό SWR(συνήθως όχι μεγαλύτερο από 2 μέχρι 1) για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Μία καλά σχεδιασμένη LPDA μπορεί να επιφέρει SWR από 1.3 μέχρι 1 σε αντίθεση με το 1.8 έως 1 πεδίου συχνοτήτων με τυπικό κέρδος 7.0dB υπεράνω μίας ισοτροπικής κεραίας εκπομπής (dBi), υποθέτοντας ότι δεν έχουμε απώλειες. Αυτό ισοδυναμεί με κατά προσέγγιση 4.9dB περισσότερο κέρδος από ένα δίπολο μισού κύματος (dBd)
8. Εκπέμπει κατευθυντικά πολύ μεγάλες ζώνες συχνοτήτων σε περιοχές που αρχίζουν από τα μεσαία κύματα και φτάνουν στα μικροκύματα
9. Λειτουργεί με σταθερό διάγραμμα ακτινοβολίας και (περίπου) σταθερή αντίσταση εισόδου σε μία πολύ μεγάλη περιοχή συχνοτήτων

10. Ο λόγος των συχνοτήτων f_{\max}/f_{\min} μπορεί να ξεπεράσει το 10 ή

15. Επειδή όμως, σε κάθε συχνότητα ο αριθμός των ενεργών στοιχείων που ακτινοβολεί είναι μικρός, το κατευθυντικό κέρδος μιας λογαριθμικής περιοδικής κεραίας είναι σχετικά μικρό, δηλαδή περιορίζεται στα 6 έως 8 dB, ως προς το δίπολο . Οι κεραιές που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα, μπορούν να εκπέμπουν ζώνες συχνοτήτων στις οποίες ο λόγος f_{\max}/f_{\min} δεν ξεπερνά την τιμή 2.

Σήμερα έχουν αντικατασταθεί από κεραιές λογαριθμικές-περιοδικές



Σχ. 3-3: μία διάταξη λογαριθμικού περιοδικού διπόλου. Όλα τα στοιχεία καθοδηγούνται όπως στο σχήμα. Η εμπρόσθια κατεύθυνση της διάταξης όπως έχει σχεδιαστεί εδώ είναι στα δεξιά. Μερικές φορές τα στοιχεία γέρνουν μπροστά και μερικές φορές παρασιτικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για να εμπλουτίσουν το κέρδος και την αναλογία front-to-back

Η LPDA είναι ανεξάρτητη από την συχνότητα ενώ οι ηλεκτρικές της ιδιότητες ποικίλουν περιοδικά με τον λογάριθμο της συχνότητας. Καθώς η συχνότητα f_1 μεταβάλλεται σε μία άλλη συχνότητα f_2 μέσα στην διαπερατή ζώνη συχνοτήτων της κεραίας, η μεταξύ τους σχέση είναι :

$$f_2 = f_1/\tau \quad (1)$$

τ = μία σχεδιαστική παράμετρος, μία σταθερά όπου $\tau < 1.0$. Επίσης

$$f_3 = f_1/\tau^2$$

$$f_4 = f_1/\tau^3$$

.

.

.

$$f_n = f_1/\tau^{n+1}$$

$$n = 1,2,3,\dots n$$

f_1 = lowest frequency

f_n = highest frequency

Η παράμετρος σχεδιασμού τ είναι μία γεωμετρική κοντά στο 1.0 η οποία χρησιμοποιείται για να καθορίσει τα μήκη των στοιχείων, l , και τις μεταξύ τους αποστάσεις, d , όπως φαίνεται στο Σχ. 3-4. Και είναι :



$$\begin{aligned}
 l_2 &= dl_1 \\
 l_3 &= dl_2 \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 l_n &= dl_{n-1}
 \end{aligned} \tag{2}$$

όπου

l_n = το μικρότερο μήκος στοιχείου και

$$\begin{aligned}
 d_{23} &= \pi d_{12} \\
 d_{34} &= \pi d_{23} \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 d_{n-1,n} &= \pi d_{n-2,n-1}
 \end{aligned} \tag{3}$$

όπου

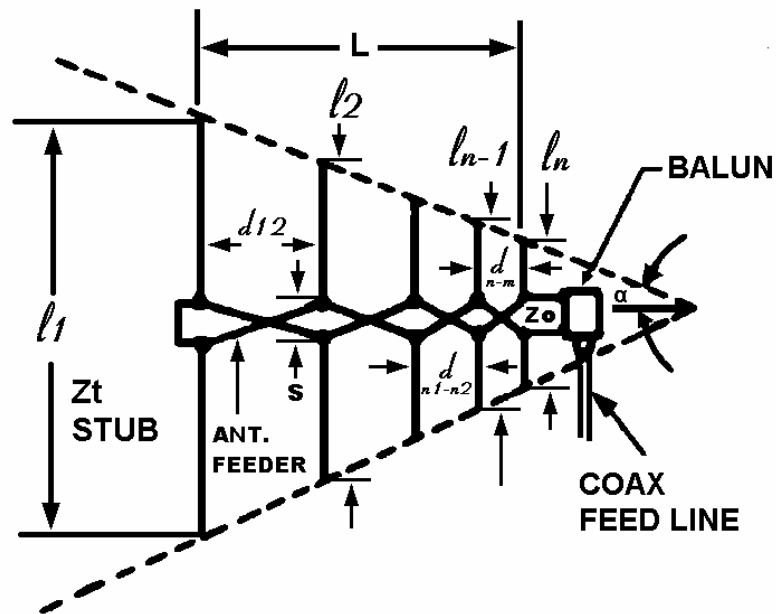
d_{23} = η απόσταση μεταξύ των στοιχείων 2 και 3.

Κάθε στοιχείο οδηγείται με μία φάση 180° μεταβάλλοντας ή εναλλάσσοντας τις συνδέσεις των στοιχείων, όπως φαίνεται στο Σχ. 3-4. Σε μία ενδιάμεση συχνότητα, τα δίπολα κοντά στην είσοδο, είναι σχεδόν εκτός φάσης και κοντά μεταξύ τους, σχεδόν αλληλοεξουδετερώνουν την ακτινοβολία τους. Καθώς η απόσταση d μεταξύ των στοιχείων αυξάνεται, κατά μήκος της διάταξης, φτάνει ένα σημείο όπου η καθυστέρηση φάσης στην γραμμική εκπομπής συνδυασμένη με μία στροφή 180° μας δίνει ένα σύνολο 360° . αυτό φέρνει την περιοχή εκπομπής των δύο διπόλων σε φάση προς την κατεύθυνση της κορυφής. Γι' αυτόν τον λόγο δημιουργείται ένας λοβός από την κορυφή.

Αυτή η σχέση φάσης υπάρχει για μία ομάδα διπόλων γνωστή σαν ενεργή περιοχή. Αν υποθέσουμε ότι μία LPDA έχει σχεδιαστεί για ένα συγκεκριμένο πεδίο συχνότητων, τότε αυτό το σχέδιο πρέπει να περιλαμβάνει την ενεργή περιοχή των διπόλων για την υψηλότερη και χαμηλότερη συχνότητα σχεδιασμού. Έχει ένα εύρος ζώνης το οποίο ονομάζουμε B_{ar} , εύρος ζώνης της ενεργής περιοχής.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μία LPDA 12 στοιχείων. Τα ρεύματα που ρέουν στα στοιχεία είναι ταυτόχρονα πραγματικό και φανταστικό. Το

πραγματικό ρεύμα ρέει τα ωμικά μέρη της σύνθετης αντίστασης ενός συγκεκριμένου διπόλου ενώ το φανταστικό ρέει το ενεργό μέρος. Υποθέτουμε ότι η συχνότητα λειτουργίας είναι τέτοια ώστε το έκτο στοιχείο κοντεύει να συντονιστεί στο μισό μήκος κύματος. Τα φανταστικά μέρη του ρεύματος στα μικρότερα στοιχεία 7 έως 12 είναι χωρητικά, ενώ αυτά στα μεγαλύτερα στοιχεία 1 έως 5 είναι επαγωγική. Τα χωρητικά μέρη των μικρότερων στοιχείων 9 και 10 υπερβαίνουν τα αγώγιμα μέρη. Για τον λόγο αυτό, τα στοιχεία αυτά λαμβάνουν μικρή ποσότητα ενέργειας από τον τροφοδότη και συμπεριφέρονται σαν παρασιτικοί κατευθυντήρες. Τα επαγωγικά μέρη στα μεγαλύτερα στοιχεία 4 και 5 είναι επικρατέστερα και συμπεριφέρονται σαν παρασιτικοί ανακλαστήρες. Τα στοιχεία 6, 7 και 8 λαμβάνουν την μεγαλύτερη ενέργεια από τον τροφοδότη και συμπεριφέρονται σαν κατευθυντικά στοιχεία. Η διαμόρφωση των ρευμάτων στα υπόλοιπα στοιχεία είναι μικρά και μπορούμε να τα αγνοήσουμε σαν πρωτεύοντα συντελεστή στο πεδίο εκπομπής Γι' αυτό έχουμε μία γενικευμένη διάταξη Yagi με επτά στοιχεία που περιλαμβάνουν την ενεργή περιοχή. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η ενεργή περιοχή είναι για ένα συγκεκριμένο πλήθος σχεδιαστικών παραμέτρων ($\tau = 0.93, \sigma = 0.175$). Το πλήθος των στοιχείων που συνθέτουν την ενεργή περιοχή ποικίλοι με τ και σ . Προσθέτονταν περισσότερα στοιχεία και από τις δύο πλευρές της ενεργής περιοχής, δεν μεταβάλλεται σημαντικά το κύκλωμα ή οι ιδιότητες πεδίου της διάταξης.



Σχ. 3-4: Σχηματικό διάγραμμα λογαριθμικής περιόδου διπολικής διάταξης, με αναγραφόμενες κάποιες σχεδιαστικές παραμέτρους



Μερικοί σχεδιαστικοί παράγοντες είναι :

$$\tau = \frac{l_n}{l_{n-1}} = \frac{d_{n,n-1}}{d_{n-2,n-1}}$$

$$\sigma = \frac{d_{n,n-1}}{2l_{n-1}}$$

όπου

l = μήκος του στοιχείου

d = απόσταση μεταξύ των στοιχείων

τ = σχεδιαστική σταθερά

σ = σταθερά σχετικής απόστασης

S = απόσταση τροφοδότη

Z_o = χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του τροφοδότη της κεραίας.

Η ενεργή περιοχή καθορίζει τις βασικές σχεδιαστικές παραμέτρους για την διάταξη, και ορίζει το εύρος ζώνης για την δομή, B_s . Αυτό σημαίνει ότι για την κάλυψη μίας συχνότητας σχεδίασης εύρους ζώνης B , υπάρχει ένα αλληλένδετο εύρος ζώνης της ενεργής περιοχής όπου :

$$B_s = B \times B_{ar} \quad (4)$$

όπου

$$B = \text{λειτουργικό εύρος} = \frac{f_n}{f_1} \quad (5)$$

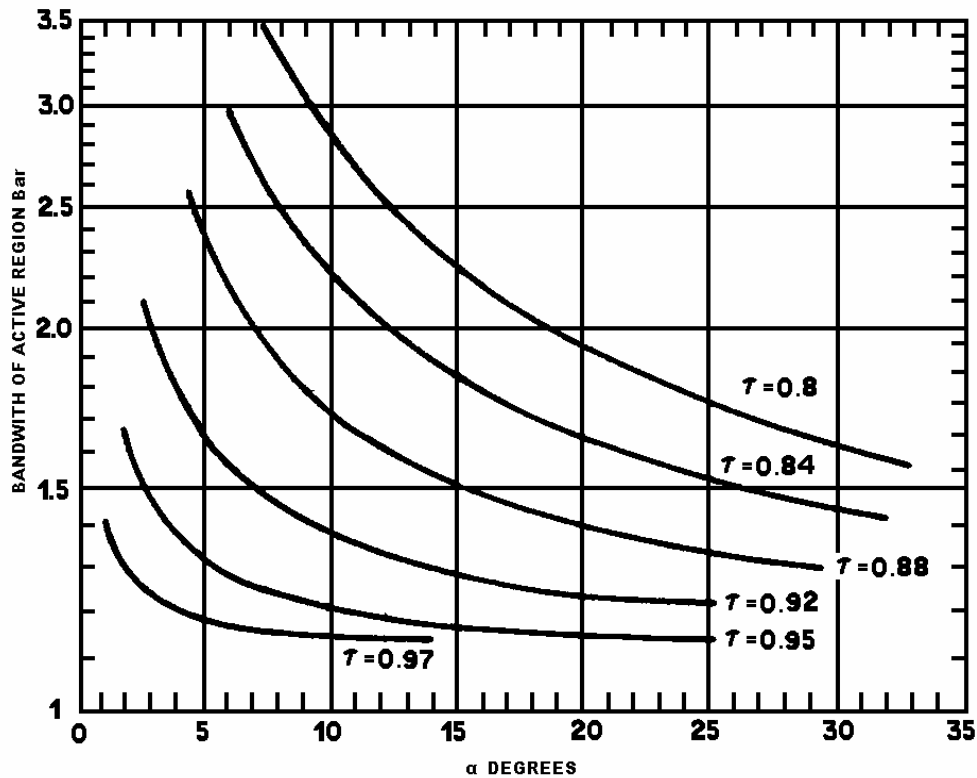
f_1 = η χαμηλότερη συχνότητα, MHz

f_n = η μεγαλύτερη συχνότητα, MHz

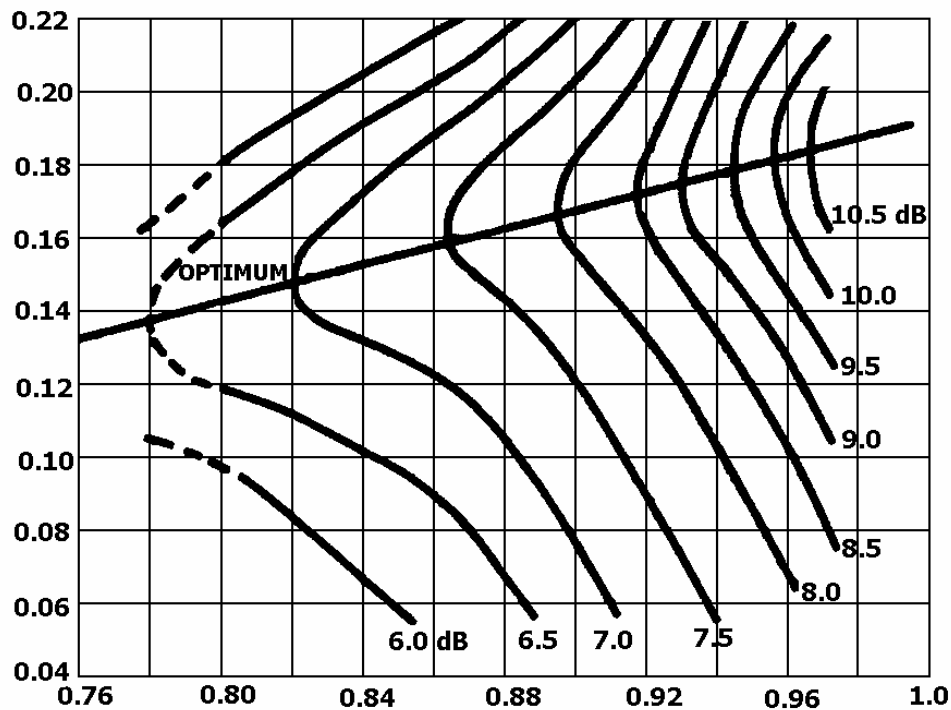
Το B_{ar} ποικίλει ανάλογα τα τ και α όπως φαίνεται στο Σχ. 3-5. Τα στοιχεία που το μήκος τους βρίσκεται έξω από το B_{ar} έχουν σημαντικό ρόλο στην λειτουργία της διάταξης. Το κέρδος μιας LPDA είναι άμεσα συνδεδεμένο με την κατευθυντικότητα της, και καθορίζεται από την σχεδιαστική παράμετρο τ και την σταθερά της σχετικής απόστασης μεταξύ των στοιχείων σ . Το Σχ. 3-6 μας δείχνει την σχέση μεταξύ αυτών των παραμέτρων. Για κάθε τιμή του τ που κυμαίνεται μεταξύ 0.8 και 1.0 ($0.8 \leq \tau \leq 1.0$), υπάρχει μία ιδανική τιμή της σταθεράς σ , την οποία ονομάζουμε σ_{opt} , για την οποία έχουμε μέγιστο



κέρδος. Παρόλα αυτά η αύξηση στο κέρδος που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την σταθερά σ_{opt} και τιμή τ που πλησιάζει την 1.0 (όπως για $\tau = 0.98$), είναι μόνο 3dB, συγκρινόμενη με αυτή όταν έχουμε το ελάχιστο σ ($\sigma_{min} = 0.05$) και $\tau = 0.98$, όπως βλέπουμε στο Σχ. 3-6.



Σχ. 3-5: Γραφική παράσταση που δείχνει την σχέση μεταξύ α , τ και το εύρος ζώνης της ενεργής περιοχής, B_{ar}



Σχ. 3-6: Κατευθυντικότητα LPDA (κέρδος πέραν ιστροπικού, υποθέτοντας μηδενικές απώλειες) σαν συνάρτηση των τ και σ , για αναλογία μήκους διαμέτρου 125 για τα στοιχεία στο σημείο τροφοδοσίας. Για κάθε διπλασιασμό του $l/diam$, η κατευθυντικότητα αυξάνεται κατά 0.2dB για τιμές $l/diam$ που κυμαίνονται από 50 έως 10000. Σχέση μεταξύ κέρδους και διπόλου μπορεί να επιτευχθεί αφαιρώντας 2.14dB από τις αναγραφόμενες τιμές

Μία αύξηση του τ σημαίνει περισσότερα στοιχεία, και ιδανικό σ σημαίνει μακρύτερο ζεύγος. Μία LPDA υψηλού κέρδους (6.8dB) μπορεί να σχεδιαστεί στην HF περιοχή με $\tau = 0.9$ και $\sigma = 0.05$. Η σχέση μεταξύ τ , α και σ είναι :

$$\sigma = (1/4)(1 - \tau) \cot \alpha \quad (6)$$

όπου

$\alpha = 1/2$ της γωνίας κορυφής

τ =σταθερά σχεδίασης

σ =σταθερά σχετικής απόστασης

$$\text{επίσης } \sigma = \frac{d_{n,n-1}}{2l_{n-1}} \quad (7)$$

$$\sigma_{opt} = 0.243\tau - 0.051 \quad (8)$$



ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΜΕΣΩ LPCAD

Η κατασκευή μιας περιοδικής λογαριθμικής κεραίας με δίπολα συχνά έλκει το ερασιτεχνικό ενδιαφέρον. Λόγω της ιδιομορφίας της LPDA (Log-Periodic Dipole Arrays) και του πλήθους των μαθηματικών υπολογισμών που καθορίζουν τα μήκη των διαστημάτων για όλα τα στοιχεία, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα ευρείας χρήσης για τον σχεδιασμό της και ονομάζεται LPCAD.

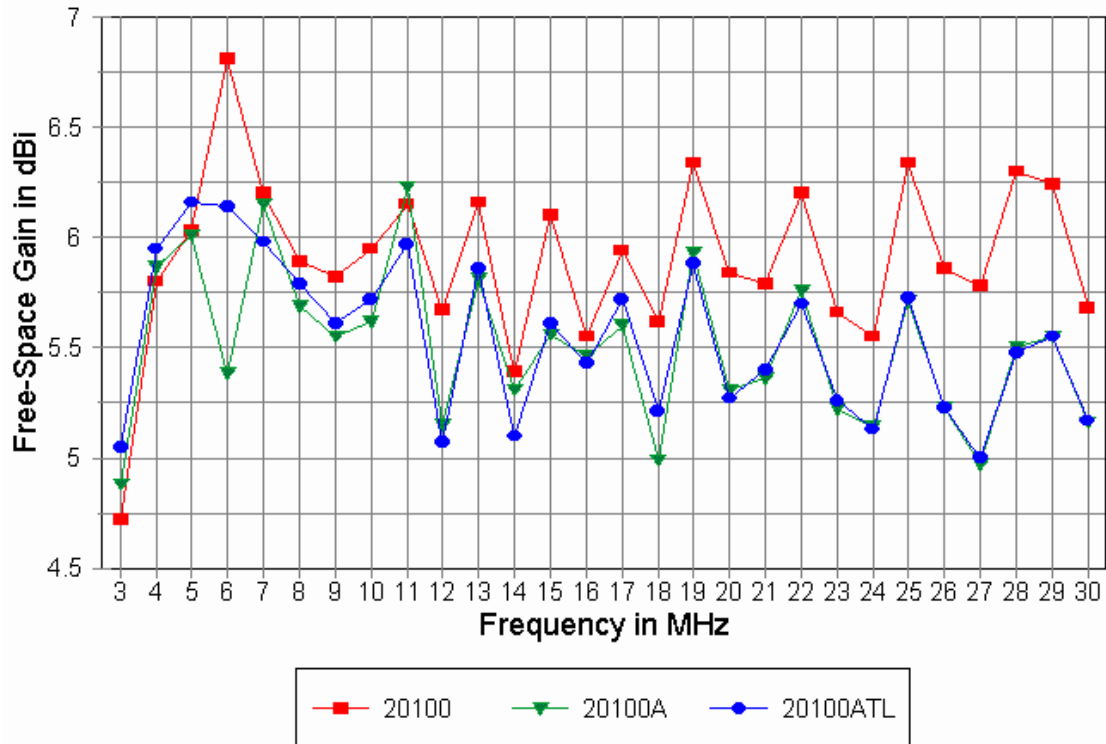
Στην συνέχεια θα παραθέσουμε ένα παράδειγμα κατασκευής μιας κεραίας 20 στοιχείων στα 3-30MHz. Για την καλύτερη απόδοση της κεραίας αρχικά συγκεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στην τμηματοποίηση των στοιχείων. Δηλαδή στο πλήθος των τμημάτων που πρέπει να έχει το κάθε στοιχείο, το οποίο προκύπτει από την συνάρτηση του μήκους του μεγαλύτερου στοιχείου και της υψηλότερης συχνότητας στην οποία θα λειτουργήσει η κεραία. Επιπρόσθετα υπολογίζουμε την διάμετρο των στοιχείων όπου είναι ο μέσος όρος των διαμέτρων όλων των στοιχείων που θα πρέπει να βάζει ο χρήστης σαν είσοδο στους υπολογισμούς. Τέλος θα πρέπει να προσθέσουμε μια ταξινομημένη γραμμή εκπομπής stub στο *τελευταίο στοιχείο* της κεραίας. Το stub έχει συγκεκριμένο μήκος και *βελτιώνει της απόδοση της κεραίας σε χαμηλές συχνότητες ενώ έχει την χαμηλότερη επίδραση στην απόδοση της στις υψηλές συχνότητες.*

Παρακάτω αναφέρουμε το παράδειγμα τριών μοντέλων κεραίων. Το '20100' είναι μη-τροποποιημένη κεραία, στην οποία δεν έχουμε δώσει καμία βαρύτητα στην τμηματοποίηση και την εναλλαγή των διαμέτρων των στοιχείων της. Ενώ το μοντέλο '20100A' είναι τροποποιημένο αλλά χωρίς το stub. Τέλος έχουμε το '20100ATL' το οποίο είναι τροποποιημένο με stub.

Στα σχήματα που ακολουθούν βλέπουμε τα αποτελέσματα του προγράμματος όταν κάνουμε σάρωση της συχνότητας ανά 1MHz. Αν η διατύπωση του αρχικού μοντέλου είναι ικανοποιητική τότε θα πρέπει η καμπύλη να ακολουθήσει την τροχιά των άλλων δύο μοντέλων με εξαίρεση κάποιες επιδράσεις του stub.



20 El., 100' 3-30 MHz LPDA Gain LPCAD Files & Modifications

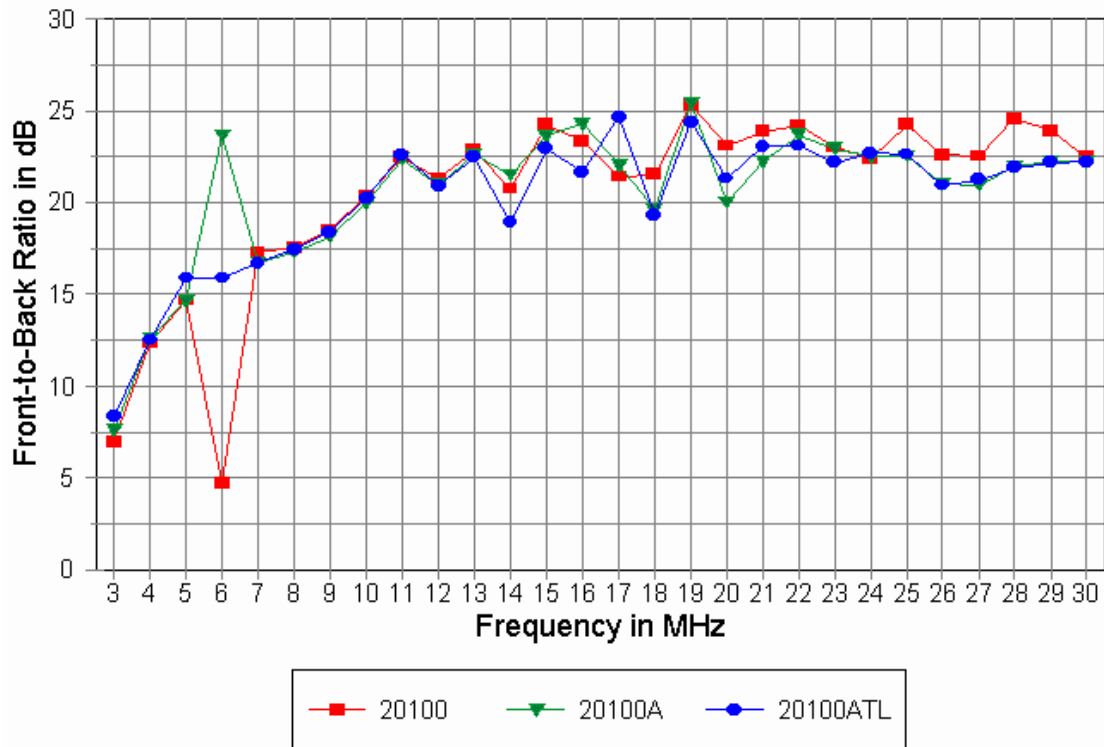


Σχ. 3-7

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την γραφική παράσταση του κέρδους (Gain). Έκτος από την περιοχή των 6MHz στα δύο τροποποιημένα μοντέλα η γραφική παράσταση παρουσιάζει ομοιότητες, με μέγιστη τιμή για το μοντέλο 20100ATL στα 5 MHz ενώ για το μοντέλο 20100 παρατηρούμε μέγιστη τιμή στα 6 MHz (με σταθερά 15 τμήματα ανά στοιχείο). Στα 12MHz παρατηρούμε ότι η γραφική παράσταση του αρχικού μοντέλου 20100 έχει αισιόδοξες τιμές για το κέρδος της κεραίας, γεγονός αναμενόμενο για κεραίες που δεν έχουν χωριστεί σε τμήματα. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές αυτές λαμβάνουν χώρα στην περιοχή της συχνότητας της οποίας πιστεύουμε ότι η διαίρεση (τμηματοποίηση) είναι επαρκής. Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι η επίδραση όλων των στοιχείων της κεραίας παρατηρείται σε όλες τις συχνότητες.



20 EI., 100' 3-30 MHz LPDA F-B LPCAD Files & Modifications

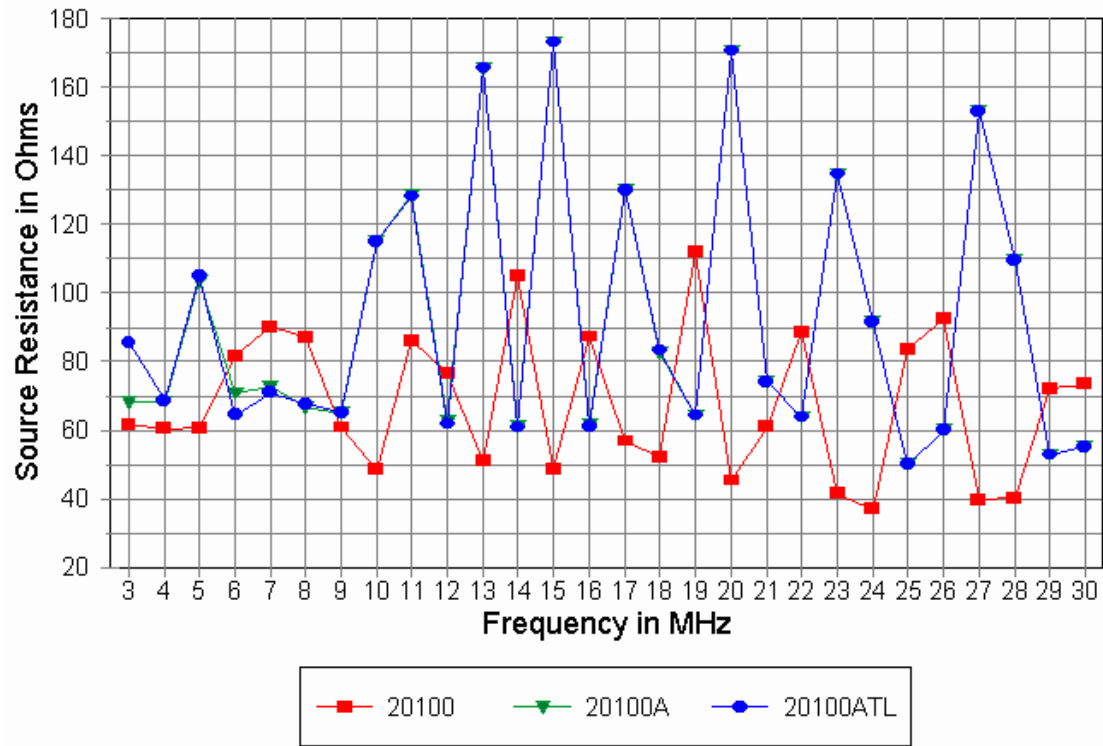


Σχ. 3-8

Στο Σχ. 3-8 βλέπουμε την γραφική παράσταση του λόγου *Front-to-Back*. Εκτός από την περιοχή των 6MHz όπου υπάρχει μια ανωμαλία (πολύ μικρό λόγο *Front-to-Back* με το μεγαλύτερο κέρδος) παρατηρούμε ότι το αρχικό μοντέλο έχει καλύτερη συμπεριφορά στις υψηλές συχνότητες (25 και 28 MHz) από τα άλλα δύο μοντέλα. Αντιθέτως στα 6MHz το μοντέλο χωρίς το stub έχει τον μεγαλύτερο λόγο. Τέλος το μοντέλο με το stub έχει μια αξιοσημείωτα ομαλή καμπύλη.



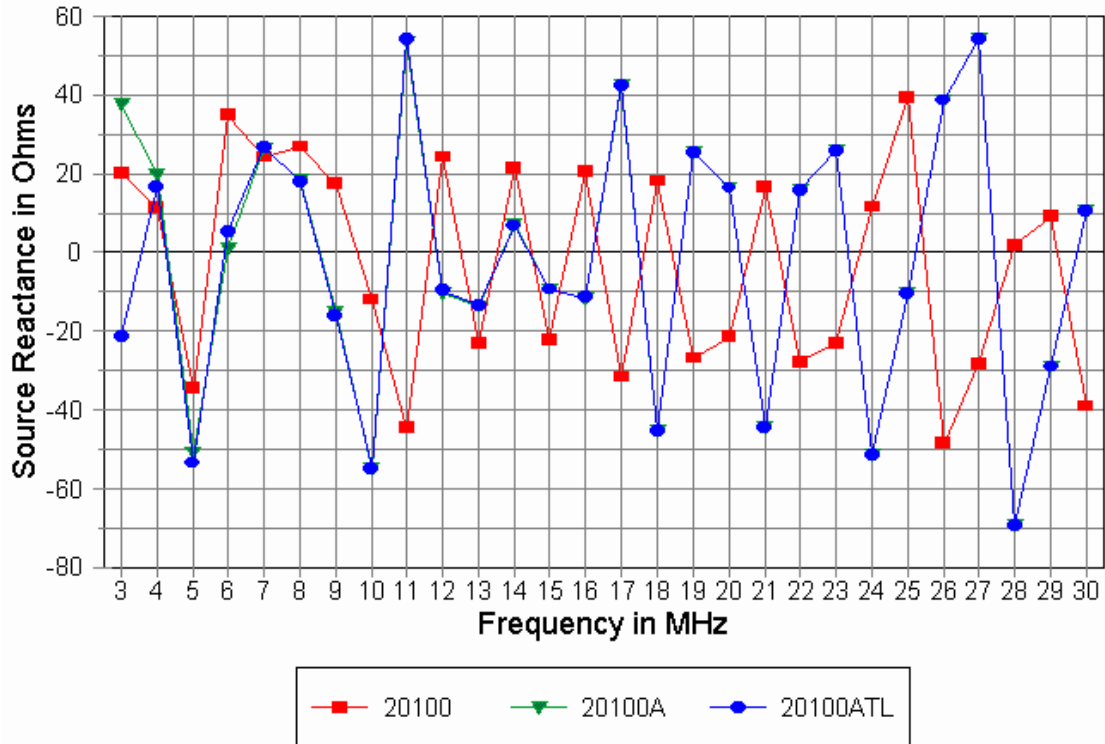
20 El., 100' 3-30 MHz LPDA Resistance LPCAD Files & Modifications



Σχ. 3-9



20 El., 100' 3-30 MHz LPDA Reactance LPCAD Files & Modifications

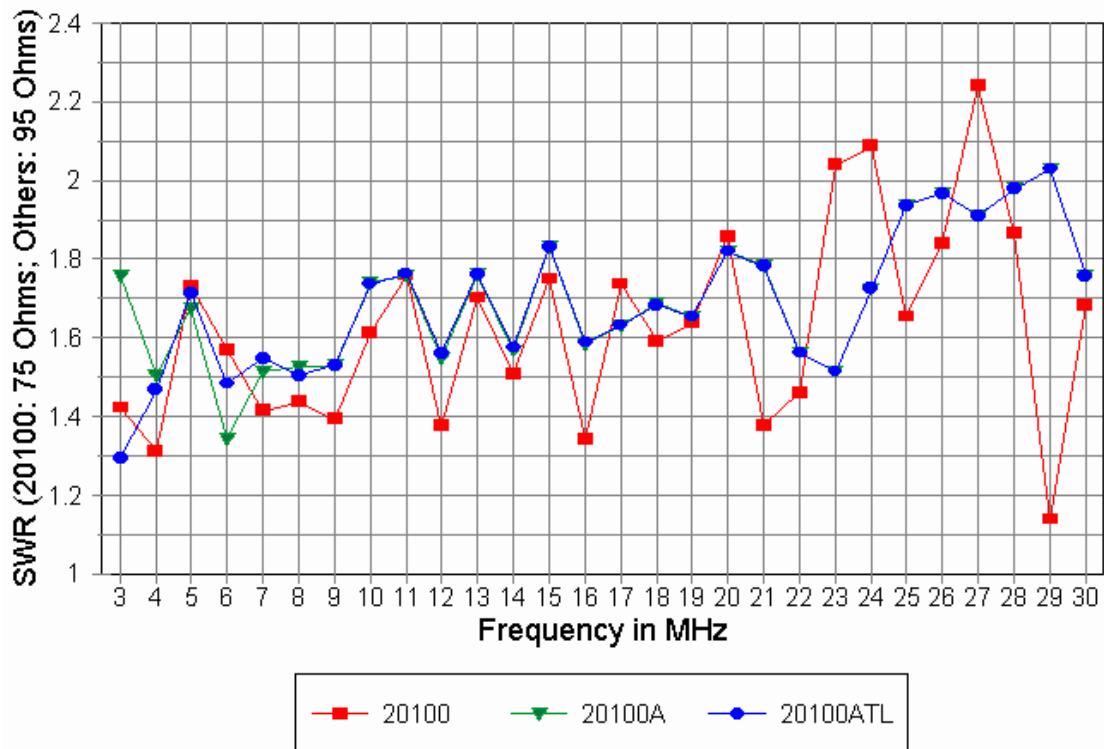


Σχ. 3-10

Όταν αναφερόμαστε στην *ωμική* και *επαγωγική* αντίσταση των στοιχείων της σύνθετης αντίστασης της πηγής (Σχ. 3-9 & Σχ. 3-10 αντίστοιχα), βλέπουμε την διαφορά ανάμεσα στην γραφική παράσταση του αρχικού μοντέλου σε σχέση με των άλλων δύο. Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των δύο μοντέλων που έχουν τμηματοποιηθεί, ταυτίζονται για κάποιες τιμές της συχνότητας. Παρατηρούμε ότι το αρχικό μοντέλο παρουσιάζει ραγδαίες αυξήσεις (peak) και βυθίσεις (dip) με ρυθμό αντίθετο απ' ότι των άλλων δύο μοντέλων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν καταλληλότερα αφού έχουν τιμές που συγκλίνουν μεταξύ τους.



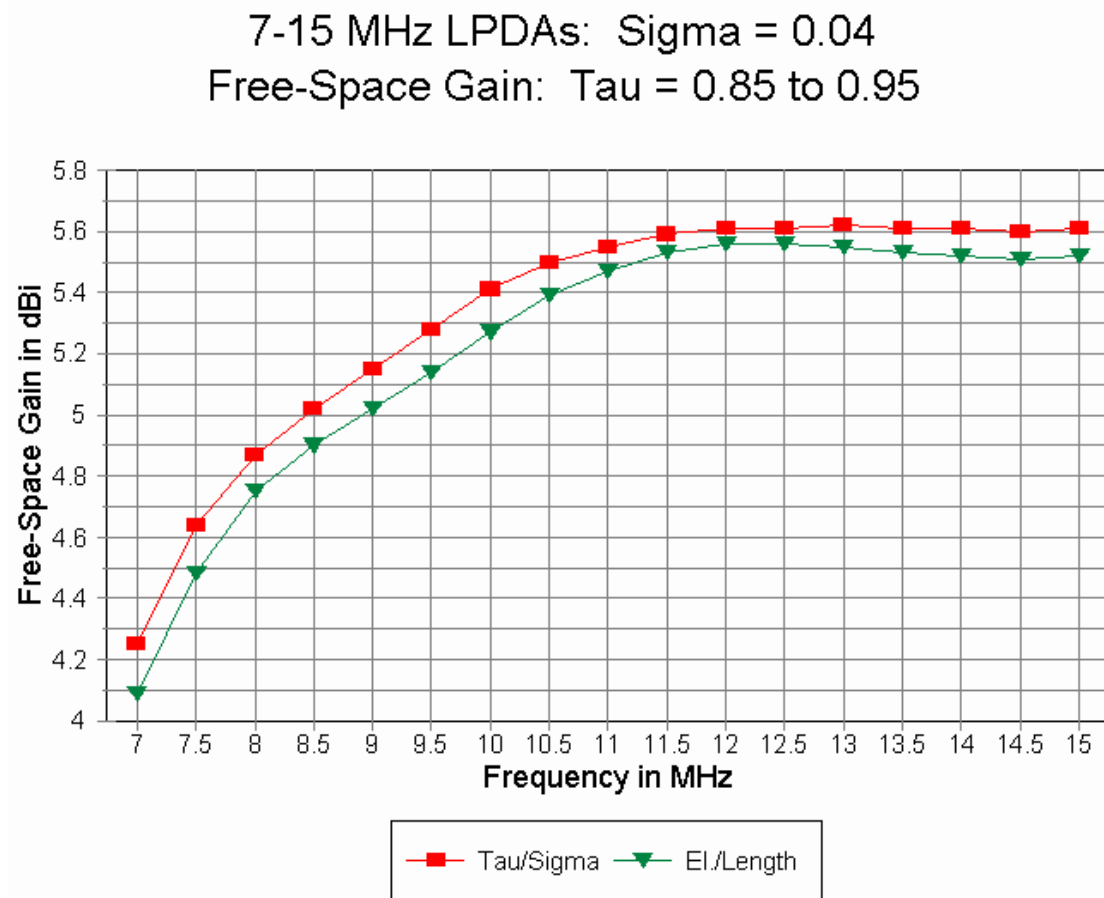
20 EI., 100' 3-30 MHz LPDA VSWR LPCAD Files & Modifications



Σχ. 3-11

Λόγο της μεγάλης διαφοράς που εμφανίζεται μεταξύ της ωμικής και επαγωγικής αντίστασης των στοιχείων κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός του λόγου VSWR (Σχ. 3-11). Το αρχικό μοντέλο του προτύπου των 75Ω υποδεικνύει την πιθανότητα άμεσης τροφοδοσίας με ομοαξονικό καλώδιο. Παρόλα αυτά, και τα δύο μεγαλύτερα μοντέλα έχουν σημείο αναφοράς τα 95Ω, μία τιμή όσο τον δυνατόν πλησιέστερη στον μέσο όρο μεταξύ των ακραίων τιμών της αντίστασης των στοιχείων της πηγής της ειδικής αντίστασης. Παρεμπιπτόντως η πρόβλεψη για την ειδική αντίσταση της πηγής έχει υπολογιστεί στα 103Ω.

Η σημασία της διαφοράς στο VSWR πρότυπο αναφοράς, εναπόκειται στον σχεδιασμό της επαγωγικής αντίστασης η οποία θα πρέπει να ταιριάζει με την απαιτούμενη, για την γραμμή τροφοδοσίας της κεραίας. Η πρόβλεψη για το αρχικό μοντέλο είναι ότι μία αντίσταση των 75Ω θα είναι αρκετή, είναι απίθανο να εκπληρωθεί. Μεγαλύτερη πιθανότητα υπάρχει να χρησιμοποιήσουμε μία επαγωγική αντίσταση ευρείας ζώνης 2:1, ισοδύναμη διάταξης που ενώνει μία κεραία με ένα καλώδιο 50Ω.



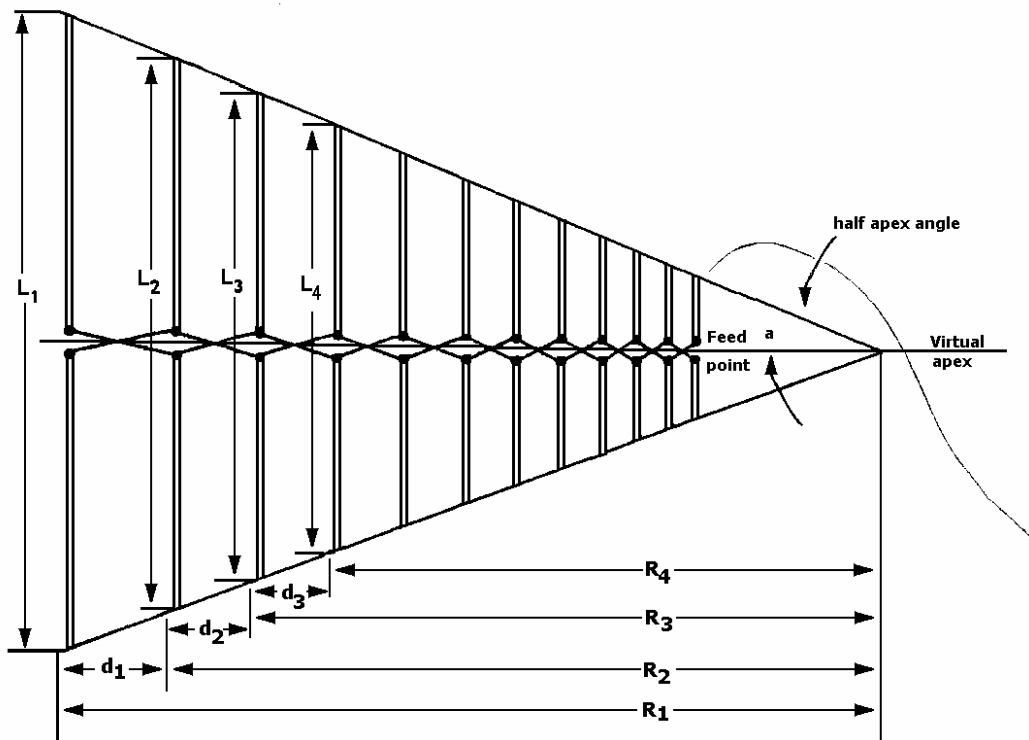
Σχ. 3-12

Τέλος από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι μικραίνοντας την τιμή του τ (για σταθερή τιμή σ) μικραίνουμε και το μήκος κάθε στοιχείου.



ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΜΕ ΔΙΠΟΛΑ

Η κεραία του Σχ. 3-13 πρέπει να τροφοδοτηθεί από σταθερή γραμμή. Οι κεραίες που έχουν σχεδιαστεί για HF συχνότητες χρησιμοποιούν αυτού του είδους την τροφοδοσία. Αν μπορέσουμε να κατεβάσουμε ένα καλώδιο στο κέντρο της κεραίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα απεριόριστο balun. Μπορούμε να εναλλάξουμε την κατεύθυνση των στοιχείων (Σχ. 3-15) στο εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου τροφοδοσίας και ενός dummy για να πετύχουμε crisscross. Μία δισύρματη γραμμή εκπομπής τροφοδοτεί τα στοιχεία. Η ιδιότητα αποκοπής της κεραίας εμποδίζει την ροή του μειωμένου ρεύματος στον τροφοδότη πέρα της ενεργής περιοχής που φτάνει η είσοδος.



Σχ. 3-13: Περιοδική λογαριθμική κεραία

Χρησιμοποιούμε crisscross τροφοδοσία για να αυξήσουμε το εύρος της φάσης στον τροφοδότη στην ενεργή περιοχή. Αν χρησιμοποιήσουμε απ' ευθείας τροφοδότες ανάμεσα στα δίπολα, η καθυστέρηση φάσης θα αντιστοιχούσε στο απαιτούμενο ρεύμα για την ακροπυροδοτική (end-fire) στην κατεύθυνση του τροφοδότη. Αυτό έχει ως συνέπεια την δημιουργία ενός σχεδίου που θα οδηγούσε στην αύξηση της δομής και θα παραβίαζε τις απαιτήσεις αποκοπής. Επιπλέον απαιτείται για κάθε στοιχείο, και όλα τα παρακείμενα στοιχεία να τροφοδοτούνται με φάση 180° που μεταβάλλεται



εναλλακτικά στις ενώσεις των στοιχείων. Σ' αυτό το σημείο ο όρος *τροφοδότης της κεραίας* καθορίζεται ως η γραμμή που ενώνει κάθε γειτονικό στοιχείο. Η *γραμμή τροφοδοσίας* είναι η γραμμή μεταξύ της κεραίας και του εκπομπού.

Η περιοχή πριν από την ενεργή περιοχή είναι μία γραμμή εκπομπής γεμάτη με μικρά υπολείμματα ανοικτών κυκλωμάτων (τα δίπολα). Αυτές είναι ικανές να φορτώσουν την γραμμή και να μειώσουν την χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση. Κάθε δίπολο έχει χωρητικότητα:

$$Z = -jZ_a \cot \frac{kL_i}{2} \quad (1)$$

όπου L_i είναι το συνολικό μήκος διπόλου, k είναι το νούμερο του κύματος ($2\pi/\lambda$), και Z_a είναι η μέση χαρακτηριστική αντίσταση του διπόλου

$$Z_a = 120 \left[\ln \left(\frac{L_i}{2a} \right) - 2.25 \right] \quad (2)$$

Η αντίσταση εισόδου της LPDA, R_o , ποικίλει ανάλογα με την συχνότητα, παρουσιάζοντας μία περιοδική χαρακτηριστική. Το πεδίο τιμών της αντίστασης στο σημείο τροφοδοσίας εξαρτάται πρωταρχικά από το Z_o , την χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του τροφοδότη της κεραίας. Η τιμή της R_o μπορεί μέχρι κάποιο βαθμό να επιλεγθεί, επιλέγοντας το Z_o , δηλαδή επιλέγοντας το μέγεθος του αγωγού και τις αποστάσεις μεταξύ των αγωγών της κεραίας. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την R_o είναι η μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του διπόλου, Z_{av} , και ο μέσος παράγοντας απόστασης, σ' , . Κατά προσέγγιση (περίπου στο 10%) η σχέση είναι ως ακολούθως :

$$R_o = \frac{Z_o}{\sqrt{1 + \frac{Z_o}{4\sigma Z_{av}}}} \quad (3)$$

όπου

R_o = μέση αντίσταση εκπομπής ισοδύναμη της σύνθετης αντίστασης εισόδου της LPDA.

Z_o = Χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση τροφοδότη της κεραίας.

Z_{av} = Μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση διπόλου

$$Z_a = 120 \left[\ln \left(\frac{l_n}{d_n} \right) - 2.25 \right] \quad (4)$$

$l_n/diam_n$ = αναλογία μήκους διαμέτρου του n^{ov} στοιχείου



$$\sigma' = \text{παράγοντας μέσης απόστασης} = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \quad (5)$$

Η περιοχή πριν από την ενεργή περιοχή είναι μία γραμμή εκπομπής γεμάτη με μικρά υπολείμματα ανοικτών κυκλωμάτων (τα δίπολα). Αυτές είναι ικανές να φορτώσουν την γραμμή και να μειώσουν την χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση. Κάθε δίπολο έχει χωρητικότητα:

$$Z = -jZ_{\alpha} \cot \frac{kL_i}{2} \quad (6)$$

όπου L_i είναι το συνολικό μήκος διπόλου, k είναι το νούμερο του κύματος ($2\pi/\lambda$).

Ο παράγοντας μέσης απόστασης, σ' , είναι μία συνάρτηση του τ και του α (εξίσωση 6 κεφάλαιο 3.3.1 και 5). Για σταθερή τιμή Z_o , το R_o μειώνεται, αυξάνοντας τα τ και α .

Αν οι διάμετροι όλων των στοιχείων είναι ίδιες, ο λόγος στοιχείων $l / diam$ θα αυξηθεί κατά μήκος της διάταξης. Σε ιδανικές συνθήκες ο λόγος θα έπρεπε να είναι σταθερός, αλλά πρακτικά η SWR απόδοση, μίας LPDA μονής μπάντας, δεν θα υποβαθμιστεί αισθητά εάν όλα τα στοιχεία έχουν την ίδια διάμετρο. Αλλά για να μειώσουμε τις μεταβολές του SWR για σχέδια πολλαπλών πεδίων, η LPDA πρέπει να κατασκευαστούν, αυξάνοντας σταδιακά τις διαμέτρους των στοιχείων, ξεκινώντας από μπροστά και καταλήγοντας στο πίσω μέρος της διάταξης. Αυτή η προσέγγιση επίσης προσφέρει πλεονεκτήματα στην δομή, για αυτοσυντηρούμενα στοιχεία, καθώς μεγαλύτεροι αγωγοί θα τοποθετηθούν για τα μεγαλύτερα στοιχεία.

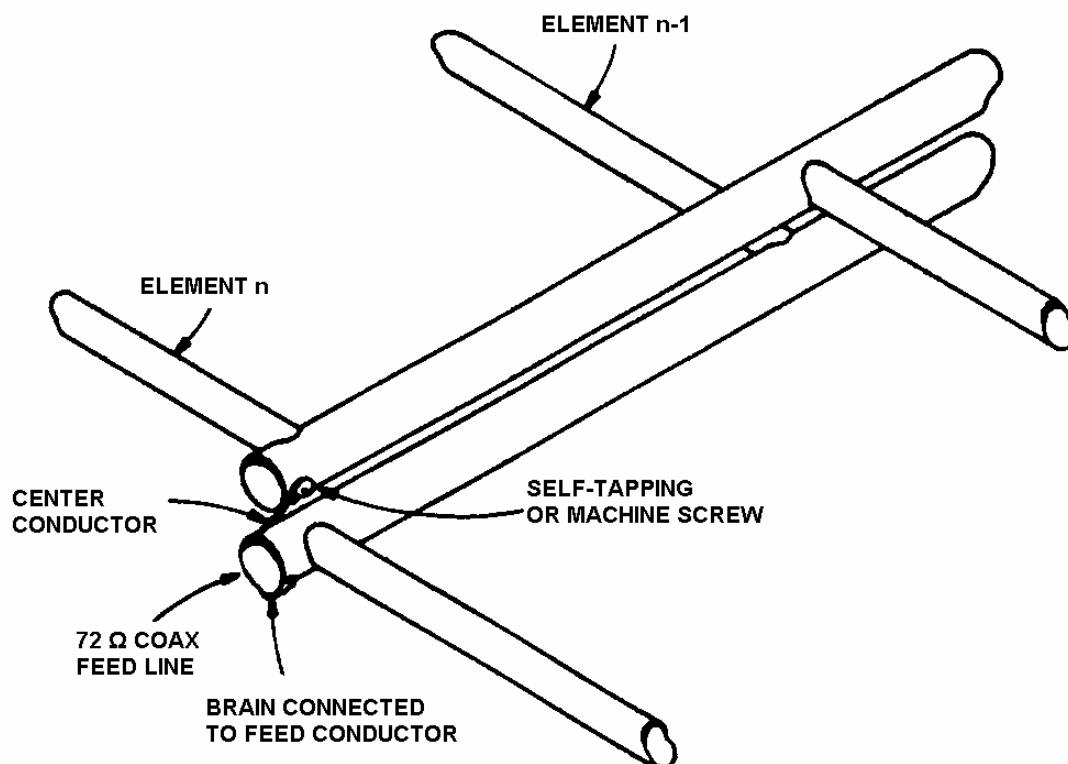
Ο λόγος στατικού κύματος ποικίλει περιοδικά με την συχνότητα. Η μέση τιμή του SWR, σε σχέση με την R_o , έχει ένα ελάχιστο περίπου 1.1:1 για σ_{opt} (εξίσωση 8 κεφάλαιο 3.3.1), και ανεβαίνει σε μία τιμή 1.8:1 για $\sigma = 0.05$. Με άλλα λόγια οι περιοδικές εναλλαγές του SWR (σε σχέση με την συχνότητα) ταλαντεύονται μεταξύ μια ευρείας περιοχής SWR τιμών, για τις μικρότερες τιμές του σ . Αυτό το εύρος του SWR είναι αποδεκτό όταν χρησιμοποιούμε τυποποιημένο καλώδιο 52Ω και 75Ω για την γραμμή τροφοδοσίας. Παρόλα αυτά, ένα 1:1 SWR μπορεί να επιτευχθεί στο άκρο του εκπομπού χρησιμοποιώντας ένα coax-to-coax κύκλωμα transmatch. Ένα κύκλωμα transmatch ενεργοποιεί το φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων του εκπομπού που βλέπει το φορτίο των 52Ω για κάθε συχνότητα μέσα στην διάταξη της ζώνης διέλευσης. Επίσης το κύκλωμα transmatch εξουδετερώνει την πιθανότητα εκπομπής αρμονικών που δημιουργούνται από την φύση της διάταξης που είναι ανεξάρτητη της συχνότητας.

Η R_o πρέπει να επιλεγεί για το προμελετημένο balun και τα χαρακτηριστικά της γραμμής τροφοδοσίας. Για τις HF διατάξεις, μία τιμή των 208Ω της R_o συνήθως λειτουργεί ικανοποιητικά με 4:1 balun και ομοαξονικό 52Ω. Απευθείας τροφοδοσία 52Ω συνήθως δεν είναι εφικτή. (Προσπάθειες



μπορεί να οδηγήσουν σε μικρότερες αποστάσεις αγωγών για τον τροφοδότη της κεραίας, από την διάμετρο του αγωγού κάτι που είναι φυσικά αδύνατο)

Για VHF και UHF σχέδια, ο τροφοδότης της κεραίας μπορεί ταυτόχρονα να λειτουργήσει και ως boom. Με αυτή την τεχνική τα μισά στοιχεία υποστηρίζονται από αγωγούς τροφοδοσίας ή σωλήνες τοποθετημένους σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Αν η R_o είναι 72Ω , απευθείας τροφοδοσία με καλώδιο 72Ω είναι δυνατή. Ένα αποτελεσματικό balun υπάρχει όταν το coax περάσει μέσα από έναν από τους αγωγούς του τροφοδότη, από το πίσω τμήμα της διάταξης μέχρι το σημείο τροφοδοσίας. Το Σχ. 3-14 δείχνει μία τέτοια ταξινόμηση.



Σχ. 3-14: Μία μέθοδος τροφοδοσίας για LPDA σχεδιασμένες για VHF και UHF

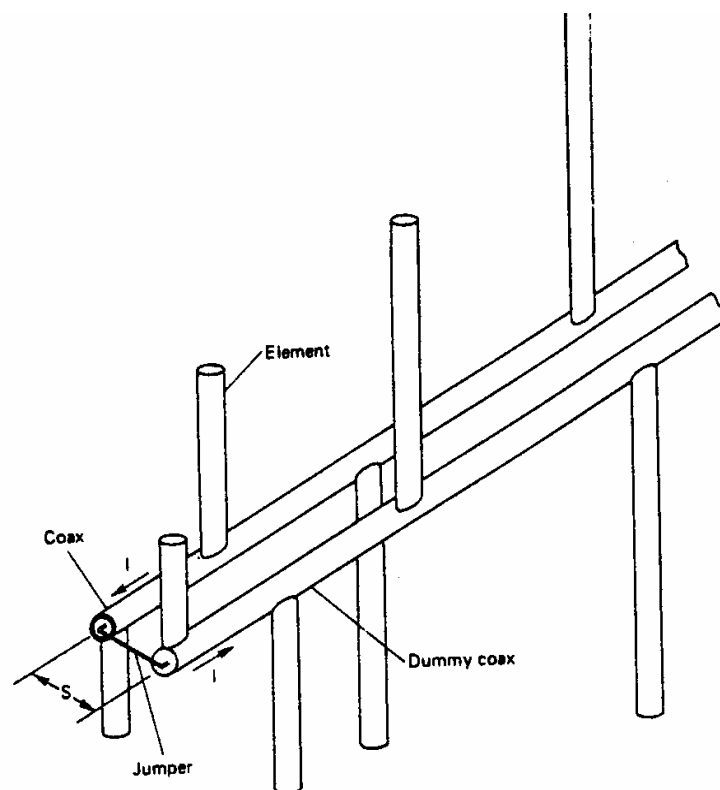
Στην περίπτωση που το σχεδιασμένο εύρος ζώνης είναι μικρό (μονής μπάντας), μία άλλη πιθανή προσέγγιση είναι να σχεδιάσουμε μία διάταξη για $R_o = 100\Omega$ και χρήση $1/4$ κύματος που ταιριάζει με το τμήμα του 75Ω coax μεταξύ του σημείου τροφοδοσίας και της γραμμής τροφοδοσίας των 52Ω . Για κάθε περίπτωση η επιλογή της διαμέτρους των στοιχείων πρέπει να βασίζεται σε μηχανική μελέτη. Τότε η απαιτούμενη απόσταση του τροφοδότη μπορεί να υπολογιστεί.

Ο τερματισμός του τροφοδότη της κεραίας, Z_t , είναι ένα βραχυκύκλωμα σε απόσταση $\lambda_{\max}/8$ ή μικρότερη πίσω από το στοιχείο No. 1, που είναι το



μεγαλύτερο στοιχείο. Στην εργασία του για την LPDA το 1961 ο DrRober L. Carrel αναφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιώντας βραχυκύκλωμα στα άκρα του στοιχείου No. 1. Εάν γίνει κάτι τέτοιο τότε το μικρότερο στοιχείο συμπεριφέρεται σαν παθητικός ανακλαστήρας στις χαμηλές συχνότητες. Μερικές κατασκευές δείχνουν ότι Z_r μπορεί να εξουδετερωθεί χωρίς σημαντικές επιρροές στα αποτελέσματα. Η τερματική σύνθετη αντίσταση του stub τείνει να αυξήσει την front-to-back αναλογία για τις χαμηλές συχνότητες. Αν χρησιμοποιηθεί, το μήκος του μπορεί να προσαρμοστεί για καλύτερα αποτελέσματα, αλλά γενικά δεν πρέπει να ξεπερνάει το $\lambda_{\max}/8$. Για λειτουργία στην HF μπάντα θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα καλώδιο βραχυκύκλωσης 6 ιντσών για Z_r .

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι κάποιος θα μπορούσε να αυξήσει τον λόγο front-to-back στις χαμηλές συχνότητες, απλά μετακινώντας τον παθητικό ανακλαστήρα (στοιχείο No. 1) σε απόσταση 0.15 έως 0.25 λ πίσω από το στοιχείο 2, όπως θα γινότανε στην περίπτωση ενός κανονικού Yagi παρασιτικού ανακλαστήρα. Αυτό φυσικά θα απαιτούσε την επιμήκυνση του boom. Ο λόγος front-to-back αυξάνεται κάπως με την αύξηση της συχνότητας. Αυτό συμβαίνει διότι όλο και περισσότερα από τα κοντά εσωτερικά στοιχεία σχηματίζουν μία ενεργή περιοχή, ενώ τα μακρύτερα στοιχεία γίνονται επιπρόσθετοι ανακλαστήρες.



Σχ. 3-15: Περιοδική λογαριθμική διπολική κεραία με ένα απεριόριστο balun



Για μία ακτίνα διπόλου α . Χρησιμοποιούμε την εξίσωση (2) με σταθερά την αναλογία του μήκος και της διαμέτρου της εξίσωσης (1) για να βρούμε την επιπρόσθετη ενεργή χωρητικότητα ανά μονάδας μήκους σε όλο τον τροφοδότη εξαιτίας των μη μόνιμων διπόλων. Με ελάχιστες επεμβάσεις μπορούμε να μειώσουμε την ενεργή χωρητικότητα σύμφωνα με τις παραμέτρους της περιοδικής λογαριθμικής κεραίας. Η ενεργή σύνθετη αντίσταση τροφοδότη R_o' σχετίζεται με το αφόρτιστο δισύρματη αντίσταση Z_o σύμφωνα με την σχέση :

$$R_o' = \frac{Z_o}{\sqrt{1 + (\sqrt{\tau} Z_o) / (\sigma Z_o)}} \quad (7)$$

Αν ο λόγος μήκος προς διάμετρο του διπόλου παραμένει σταθερός, τότε το R_o' παραμένει σταθερό σε όλο το μήκος της κεραίας. Ακόμα κι αν μεταβληθεί το Z_o ή το Z_a ο τροφοδότης συμπεριφέρεται σαν μετασχηματιστή εξασθετισμένης γραμμής εκπομπής. Μπορούμε να περιμένουμε αποκλίσεις της σύνθετης αντίστασης γύρω από την ονομαστική τιμή της εξίσωσης (7) με μία περίοδο τ .

Τα ρεύματα του τροφοδότη είναι ακτινωτά. Αλλά επειδή είναι πολύ κοντά μεταξύ τους σχεδόν ίσα και αντίθετα, αλληλοεξουδετερώνονται στο πιο μακρινό πεδίο. Τα ρεύματα της τροφοδοσίας και τα Jumbet στον τροφοδότη περιορίζουν την απόκριση της ανάστροφης πόλωσης περίπου στα 20dB που εμφανίζεται με τις αλλαγές της συχνότητας.

Τα jumbet μεταξύ του κέντρου του αγωγού του ομοαξονικού τροφοδότη και της ομοαξονικής γραμμής θα προκαλέσουν την απόκλιση της δέσμης προς την ομοαξονική γραμμή σε υψηλές συχνότητες. Μπορούμε να παρουσιάσουμε τα jumbet σαν μια σειρά από πηνία στην γραμμή μετάδοσης. Οι δυσκολίες κατασκευής στην σύνδεση των jumbet περιορίζουν τα σχέδια υψηλών συχνοτήτων στις περιοδικές λογαριθμικές κεραίες με δίπολα.

Κέντρο Φάσης: Περιμένουμε το κέντρο φάσης της κεραίας να βρίσκεται στην μέση της ενεργής περιοχής. Αν η κεραία είναι φτιαγμένη από πολλά δίπολα μισού μήκους κύματος, όπου το καθένα συντόνιζε σε μία συχνότητα, τότε θα βλέπαμε μία $\lambda/2$ σε μία δεδομένη συχνότητα να είναι το κέντρο φάσης.

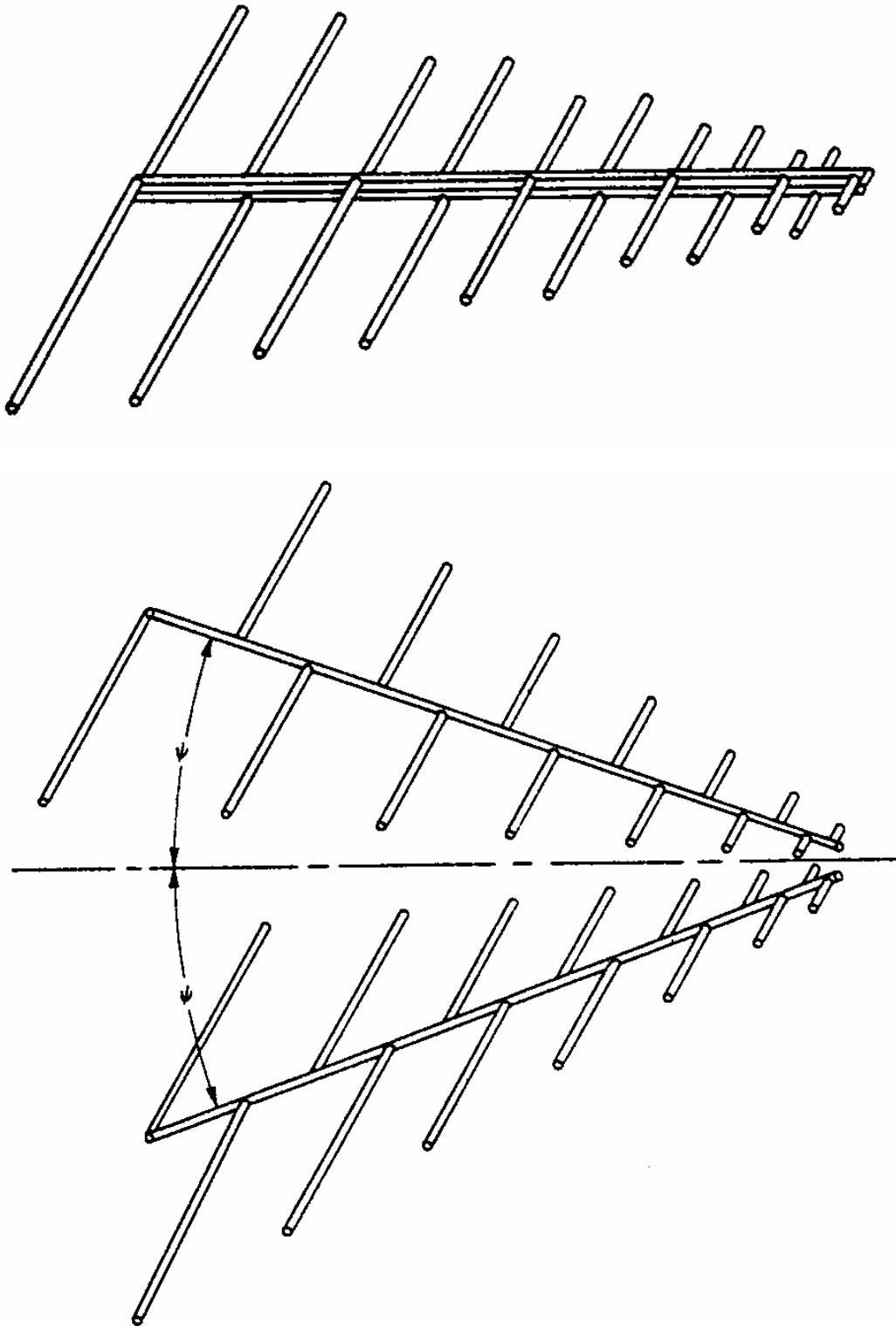
Ο πίνακας 1 αναγράφει κατά προσέγγιση τα E- και H- επιπέδου κέντρα φάσης, θέσεις που μετρήθηκαν από την πραγματική κορυφή σε σχέση με ένα $\lambda/2$ στοιχείο. Μπορεί να μην έχουμε ένα $\lambda/2$ στοιχείο στην συγκεκριμένη συχνότητα, όμως δεδομένου ότι η σειρά των στοιχείων καθορίζονται από την γωνία κορυφής, μπορούμε να την θέση των πιθανών στοιχείων. Ο πίνακας 1 δείχνει το αστιγματικό της κεραίας με το H- επίπεδο, κέντρο της φάσης πίσω από το E- επίπεδο. Το κέντρο της φάσης απέχει από την πραγματική κορυφή και αυξάνει γραμμικά με την συχνότητα.

Γωνία ανύψωσης: Τα διπολικά στοιχεία πρέπει να είναι συνδεδεμένα αλληλοδιαδοχικά στον ομοαξονικό τροφοδότη και στην ομοαξονική γραμμή, αλλά οι γραμμές τροφοδοσίας μπορεί να αποκλίνουν (Σχ. 3-16).



Πίνακας 1. Κέντρο φάσης της περιοδικής λογαριθμικής κεραίας με δίπολα, που μετρήθηκε από την σχέση της πραγματικής κορυφής με την τοποθεσία ενός στοιχείου $\lambda/2$. $R_g = \lambda/(4 \tan \alpha)$

Scaling constant τ	E- plane R_p/R_g	H- plane R_p/R_g	Scaling constant τ	E- plane R_p/R_g	H- plane R_p/R_g
0.80	0.959	0.997	0.90	0.862	0.874
0.82	0.939	0.968	0.92	0.849	0.859
0.84	0.928	0.941	0.96	0.842	0.849
0.86	0.897	0.916	0.96	0.840	0.844
0.88	0.878	0.893			



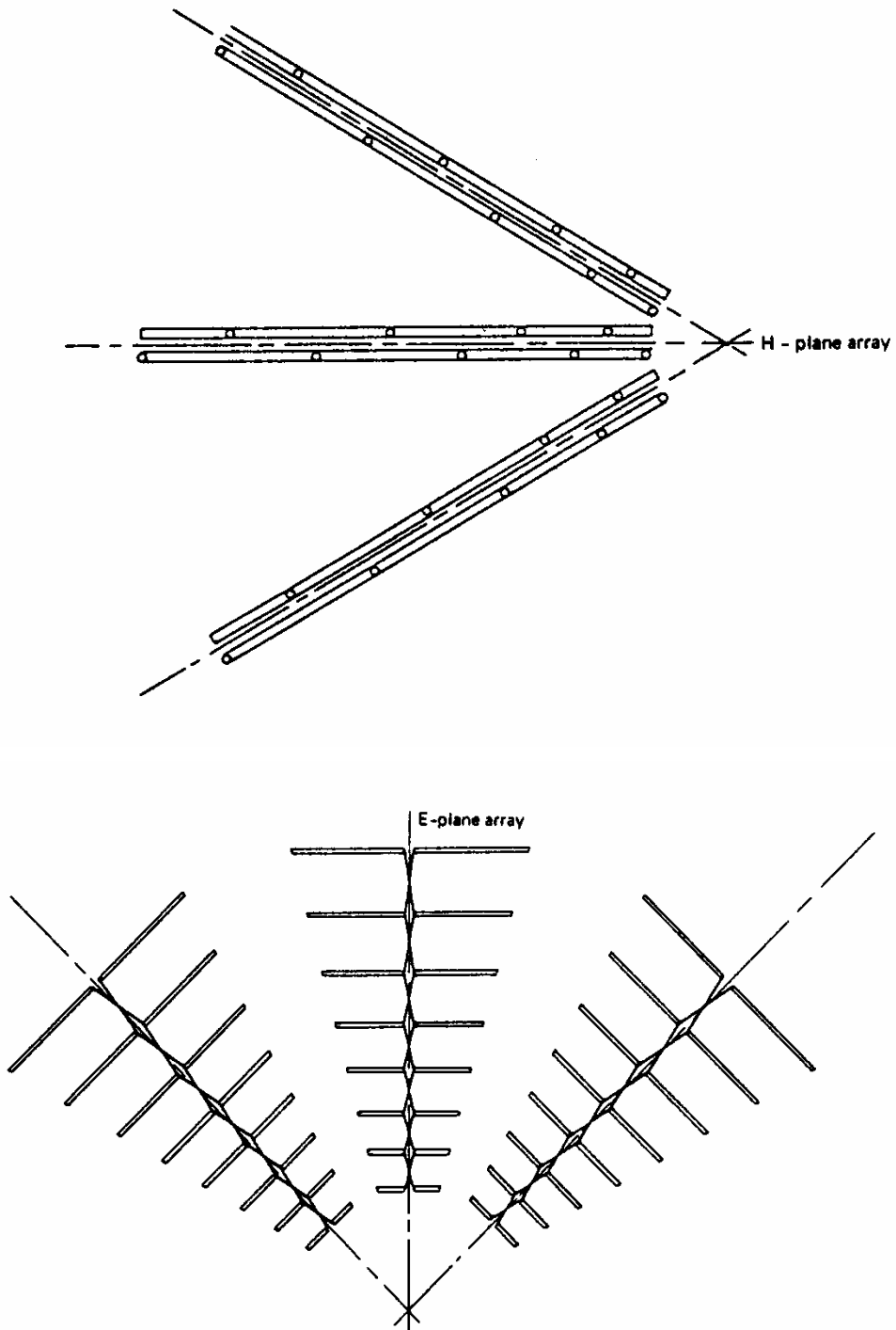
Σχ. 3-16: Περιοδική λογαριθμική κεραία με δίπολα με τροφοδότη που αποκλίνει από την γωνία ανύψωσης



Κατευθύνουμε τις γραμμές τροφοδοσίας στις γωνίες $\pm\psi$ από τον άξονα της κεραίας. Για την κεραία που θέλει να παραμείνει ανεξάρτητη συχνότητας, είναι απαραίτητο για την προέκταση των δύο τροφοδοτών να επικαλύψουν την πραγματική κορυφή.

Απομακρύνοντας τις πλευρές στις γωνίες $\pm\psi$ μειώνει το εύρος του Η-επίπεδου, αφού το μέγεθος του διαφράγματος αυξάνει το επίπεδο αυτό. Η γωνία ανύψωσης μετακινεί το κέντρο φάσης της κεραίας προς την πραγματική κορυφή και μειώνει την μετακίνηση με τις αλλαγές της συχνότητας. Πρέπει να αναλύσουμε την γραμμή τροφοδοσίας σαν μία γραμμή εκπομπής που σταδιακά εξασθενεί. Απομακρύνοντας μεταξύ τους τις πλευρές θα αυξήσει τον πλευρικό λοβό του πρότυπου, ενώ στο όριο των $\psi = 90^\circ$ μπροστινός και ο πίσω λοβός θα είναι ίσοι.

Διάταξη της περιοδικής λογαριθμικής διπολικής κεραίας: Μπορούμε να φτιάξουμε μία διάταξη ευρείας ζώνης με την περιοδική λογαριθμική κεραία. Όπως στην γωνία ανύψωσης μίας μονής κεραίας, έχουμε μία εξαρτώμενη από την συχνότητα διάταξη μόνο εφόσον οι πραγματικές κορυφές όλων των στοιχείων της διατάξεις συμπίπτουν. Τα στοιχεία πρέπει επίσης να έχουν τα ίδια τ και σ . Στο Σχ. 3-17 βλέπουμε τα Ε- και Η- επίπεδα της διάταξης.



Σχ. 3-17: Διατάξεις της Περιοδικής λογαριθμικής κεραίας



Η σχετική φάση μεταξύ των στοιχείων μπορεί να αλλάξει λόγω της εξάρτησης με την συχνότητα. Όταν μία κεραία γυρίσει, η φάση του ευρύ πεδίου αλλάζει κατά 180° . Στην διάταξη των δύο στοιχείων αυτό θα προκαλέσει έναν μηδενισμό στον άξονα μεταξύ τους, η επίδραση της τοποθέτησης μίας οριζόντια πολωμένη κεραία πάνω από το επίπεδο της γης. Δεδομένης μιας συγκεκριμένης κεραίας, αν πολλαπλασιάσουμε κάθε στοιχείο με την κλιμακωτή σταθερά τότε η φάση στο ευρύ πεδίο αλλάζει κατά 180° . Πολλαπλασιάζοντας κάθε στοιχείο με το τ είναι ισοδύναμο με το να γυρίσουμε την κεραία (κάπου μεταξύ του εύρους συχνοτήτων). Προσθέτοντας στοιχεία στο τέλος του τροφοδότη δεν αλλάζει η θέση του κέντρου φάσης. Μπορούμε να αλλάξουμε την φάση αυθαίρετα πολλαπλασιάζοντας τις διαστάσεις της κεραίας με

$$\tau^{\gamma/180^\circ} \quad (8)$$

όπου γ είναι η μεταβολή της φάσης. Αλλάζοντας την φάση σύμφωνα με την σχέση (8) έχει έννοια μόνο σε μία διάταξη.

Μπορούμε να φτιάξουμε μία περιστροφική πολωμένη κεραία εξαρτώμενη από την συχνότητα από δύο περιοδικές λογαριθμικές κεραίες. Τοποθετούμε τις κεραίες σε σωστές γωνίες με μία από τις δύο σε κλίμακα $\tau^{1/2}$. Όταν έχει τροφοδοτηθεί η φάση, το ζευγάρι συνδυάζει 90° έξω από την φάση και ακτινοβολεί σε κυκλική πόλωση.

Όταν έχουμε διάταξη περιοδικής λογαριθμικής κεραίας, ίσως να δημιουργηθούν απώλειες απολαβής μικρού εύρους. Αυτές οι απώλειες τυγχάνουν σε ακολουθία της συχνότητας με την κλιμακωτή σταθερά τ της κεραίας. Οι κεραίες που παρατάσσονται είτε στο E είτε στο H επίπεδο παρουσιάζουν αυτές τις απώλειες όπως οι κεραίες που έχουν παραταχθεί ορθογωνίως. Αν αλλάξουμε την κλιμακωτή σταθερά μεταξύ των κεραιών στην διάταξη, κάθε απώλεια θα διαμορφώνεται σύμφωνα με την δικής σταθερά. Μονές κεραίες συχνά παρουσιάζουν απώλειες στην απολαβή όμως σπάνια συμβαίνει σε ακολουθία συχνότητας.

Το φαινόμενο τονίζει την σημασία των μετρήσεως του κέρδους στην σάρωση. Η θέση των συχνοτήτων που παρουσιάζονται οι απώλειες παραμένουν κατά κάποιο τρόπο απρόβλεπτες εκτός από την ακολουθία τους. Μεμονωμένες μεθόδους μοντέλων κεραιών, μπορούν να προβλέψουν αυτές τις απώλειες, αλλά ένα μεγάλο πλήθος συνθηκών πρέπει να συνδράμουν για τον προσδιορισμό της θέσης. Ασύμμετρα ρεύματα στις γραμμές τροφοδοσίας επιδρούν με τα στοιχεία παράγοντας cross-polarization, ακτινοβολώντας εκτός εμβέλειας (off-boresight), με αποτέλεσμα την μείωση του κέρδους. Αυτά τα ανεπιθύμητα ρεύματα στον τροφοδότη δημιουργούνται είτε από ασυμμετρία στην κεραία είτε από αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κεραιών.

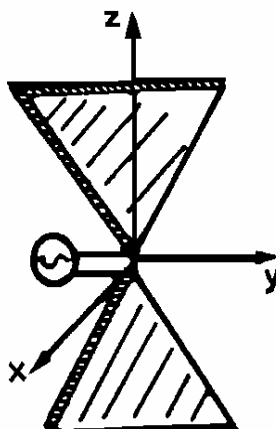


ΑΛΛΟΙ ΤΥΠΟΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία περιοδικών λογαριθμικών κεραιών, όπως οι ζικ-ζακ (zig-zag), δισδιάστατη (planar), τραπεζοειδή (trapezoidal), με πτερύγια (slot), τύπου V και με δίπολα. Ο τύπος που ελκύει τους ερασιτέχνες είναι η διάταξη της περιοδικής λογαριθμικής κεραιάς με δίπολα, εν συντομία LPDA.

Έχουν κατασκευαστεί πολλά διαφορετικά είδη περιοδικών λογαριθμικών κεραιών. Εάν μπορέσουμε να βρούμε μία δομή που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις στην διαβάθμιση της κεραιάς και να έχει την επιθυμητή πολικότητα, θα έχουμε μία νέα μη εξαρτώμενη από την συχνότητα κεραιά.

Οι σπειροειδείς κεραιές που αναφέρθηκαν σε άλλη παράγραφο παρουσιάζουν μεγάλο εύρος ζώνης και απλότητα κατασκευής. Παρ' όλα αυτά η κατασκευή θα μπορούσε ν' απλοποιηθεί ακόμη περισσότερο με τη χρήση κεραιών που να έχουν ευθύγραμμες και κυκλικές ακμές. Ας δούμε πρώτα μια τέτοια κεραιά γνωστή σαν κεραιά παπιγιόν (Σχ. 3-18)



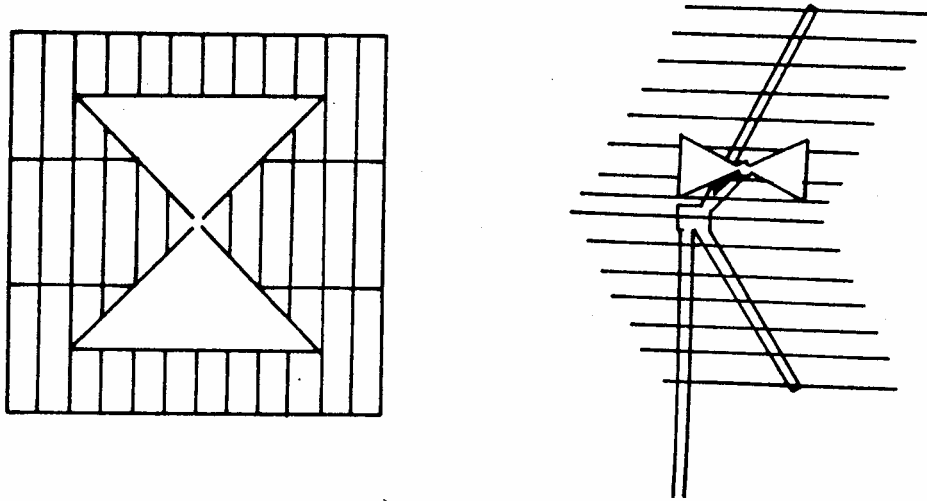
Σχ. 3-18: Κεραιά παπιγιόν

Αυτή η κεραιά είναι επίπεδη με δυο τριγωνικά αγωγή στελέχη. Έχει διάγραμμα ακτινοβολίας μετωπικό, με δύο μέγιστα κάθετα προς το επίπεδο της. Η πόλωσή της είναι ευθύγραμμη και γι' αυτό χρησιμοποιείται σαν κεραιά λήψης στα UHF κανάλια της τηλεόρασης. Για τη μείωση του ενός απ' τους δύο κύριους λοβούς χρησιμοποιείται μαζί με το επίπεδο ανακλαστήρα, που βρίσκεται στο πίσω μέρος της κεραιάς. Στο Σχ. 3-19 φαίνονται μερικές κεραιές όπως χρησιμοποιούνται στην πράξη.

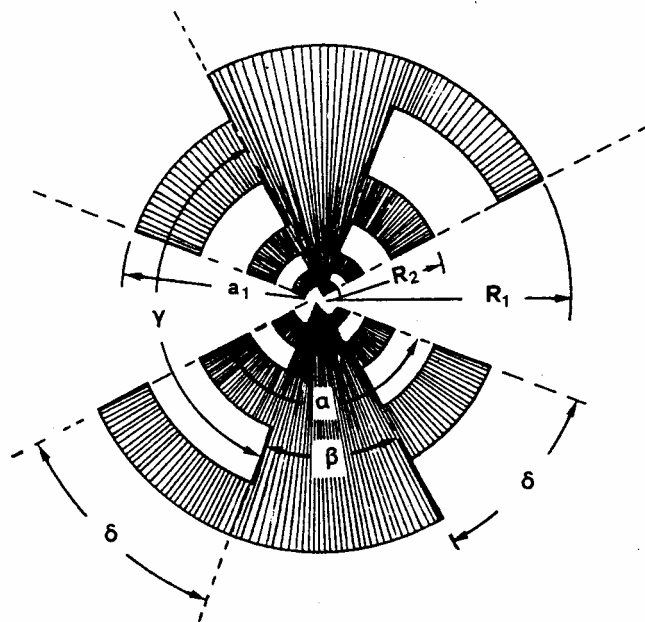
Στα δύο στελέχη του παπιγιόν το ρεύμα τερματίζεται απότομα με αποτέλεσμα την εμφάνιση στάσιμου και την μείωση του εύρους ζώνης. Όπως θα δούμε αμέσως μετά, αν αλλάξουμε λίγο το σχήμα της κεραιάς παπιγιόν, όπως φαίνεται στο Σχ. 3-20, τότε μπορούμε να πετύχουμε μείωση του στάσιμου και φυσικά αύξηση του εύρους ζώνης. Η περιοδική τοποθέτηση



οδοντώσεων στην κεραία (Σχ. 3-20) την καθιστά κεραία *ευρείας ζώνης* που ανήκει πλέον στην οικογένεια των λογαριθμικών κεραιών.



Σχ. 3-19: Ανακλαστήρες με κεραίες πατιγιόν για την περιοχή UHF



Σχ. 3-20: Περιοδική λογαριθμική κεραία με οδοντώσεις

Μια *περιοδική λογαριθμική κεραία* έχει αντίσταση εισόδου και χαρακτηριστικά ακτινοβολίας που επαναλαμβάνεται περιοδικά συναρτήσει του λογάριθμου της συχνότητας λειτουργίας. Συνήθως η κεραία χρησιμοποιείται μέσα σε μια περιοχή συχνοτήτων όπου πρακτικά είναι ανεξάρτητη της συχνότητας.



Με την πραγματοποίηση μιας μεγάλης σειράς πειραμάτων βρέθηκε μια ποικιλία περιοδικών λογαριθμικών κεραιών. Η *περιοδική λογαριθμική κεραία με οδοντώσεις* (Σχ. 3-20) είναι μια απ' τις ενδιαφέρουσες μορφές. Αυτά ακτινοβολούσανε ισοδύναμα και στις δύο πλευρές με την πολικότητα να περιστρέφεται παράλληλα προς το οδοντωτά στοιχεία σε αντίθεση με τα συνηθισμένα δίπολα όπου το σχέδιο της πολικότητας ακολουθούσε την κατεύθυνση της τάσης τροφοδοσίας. Ο Isbell κατάφερε να δημιουργήσει ένα μοτίβο χωρίς κατευθυντικότητα, απλά διπλώνοντας τα πλευρά στην γωνία ανύψωσης. Το ασυνήθιστο σχήμα τους εξηγείται με την εξέταση της σπειροειδούς κεραιάς.

Το μήκος μιας ακτίνας που βρίσκεται στη θέση $\phi + 2n\pi$ είναι :

$$r_n = r_0 e^{\alpha(\phi + 2n\pi)} \quad (1)$$

Ο λόγος της (n+1) θέσης προς τη n-οστή θέση είναι :

$$\frac{r_{n+1}}{r_n} = e^{2\alpha\pi} = \varepsilon \quad (2)$$

Βλέπουμε ότι ο ε είναι σταθερός. Αυτό σημαίνει ότι η απόσταση των ακμών είναι σταθερή. Για την κατασκευή του Σχ. 3-20, οι αποστάσεις των ακμών είναι πάλι σταθερές και δίνονται απ' το λόγο :

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} < 1 \quad (3)$$

ενώ το εύρος των σχισμών δίνεται σαν :

$$\sigma = \frac{a_n}{R_n} \quad (4)$$

Οι σχέσεις (3) και (4) ισχύουν για κάθε n. Η παράμετρος τ δίνει την περίοδο της κατασκευής και φυσικά την περιοδικότητα συμπεριφοράς της κεραιάς. Αν f_{n+1} και f_n είναι δύο συχνότητες που δίνουν την ίδια συμπεριφορά στην κεραία, τότε :

$$\frac{f_n}{f_{n+1}} = \tau \quad (5)$$

και

$$\log f_{n+1} = \log f_n + \log\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad (6)$$

Η έκφραση (6) δίνει μια περιοδική επαναληψιμότητα κατά το $\log\left(\frac{1}{\tau}\right)$ και γι' αυτό η κεραία ονομάζεται λογαριθμική περιοδική. Απ' το Σχ. 3-20 μπορούμε να δούμε ότι :

$$\gamma + \beta = 180^\circ \text{ και } \beta + 2\delta = \alpha \quad (7)$$



Για να είναι η κεραία αυτό-συμπληρωματική θα πρέπει :
 $\alpha = \gamma$ και $\beta = \delta$ (8)

οπότε :

$\alpha = 135^\circ$ και $\beta = 45^\circ$ (9)

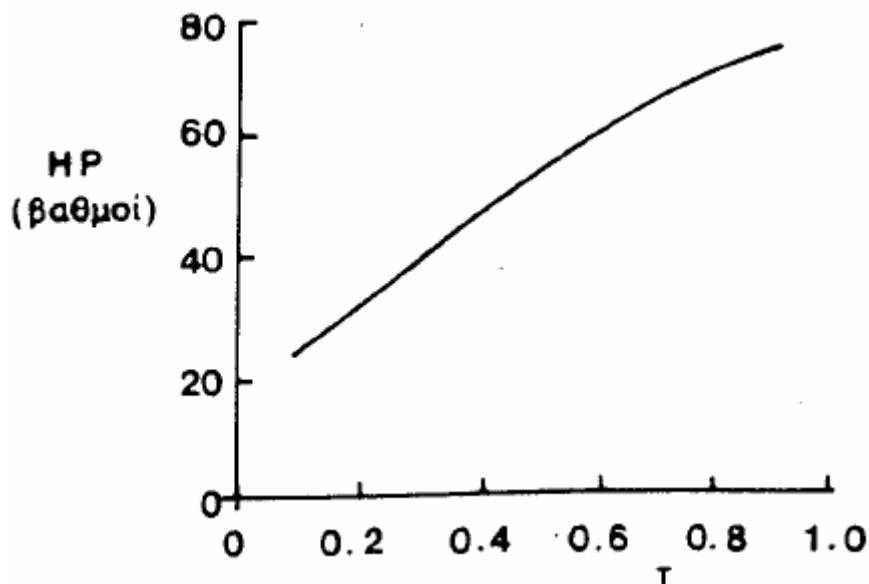
Αν το πλάτος των διάκενων και των οδοντώσεων είναι ίσα, τότε :

$$\frac{\alpha_n}{R} = \frac{R_{n+1}}{\alpha_n} \quad (10)$$

Με την βοήθεια των εξισώσεων (3) και (4) παίρνουμε :

$$\sigma = \sqrt{\tau} \quad (11)$$

Οι ιδιότητες των περιοδικών λογαριθμικών κεραιών με οδοντώσεις εξαρτώνται απ' την τιμή του τ . Έχει βρεθεί πειραματικά ότι το άνοιγμα μισής ισχύος αυξάνει συναρτήσει του τ (Σχ. 3-21).



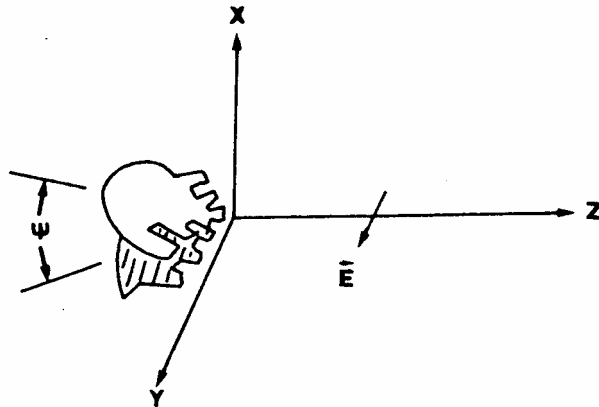
Σχ. 3-21: Άνοιγμα μισής ισχύος μιας περιοδικής λογαριθμικής επίπεδης κεραιάς με οδοντώσεις για $\sigma = \sqrt{\tau}$

Το διάγραμμα ακτινοβολίας εμφανίζει δύο κύριους λοβούς κατά μήκος του άξονα του κάθετου στο επίπεδο της κεραιάς. Η πόλωση είναι γραμμική και παράλληλη προς τις ακμές των οδοντώσεων. Είναι δε κάθετη προς την πόλωση της ίδιας κεραιάς χωρίς οδοντώσεις ($\delta = 0$).



Μία άλλη μορφή κεραίας που χρησιμοποιείται είναι η *περιοδική λογαριθμική κεραία με οδοντώσεις τύπου σφήνας*. Η κεραία αυτή φαίνεται στο Σχ. 3-22.

Παρουσιάζεται διάγραμμα ακτινοβολίας μ' ένα κύριο λοβό κατά μήκος του άξονα +z.



Σχ. 3-22: Περιοδική λογαριθμική κεραία σφήνας

Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι ανεξάρτητο της συχνότητας για γωνίες σφήνας $30^\circ < \psi < 60^\circ$. Η πόλωση είναι γραμμική και παράλληλη προς τον άξονα y, όπως φαίνεται στο Σχ. 3-22.

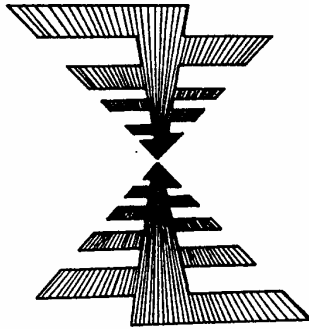
Υπάρχει επιπλέον πεδίο κατά τη διεύθυνση του άξονα x, το οποίο όμως είναι 18db κάτω από την τιμή του αντίστοιχου κατά τον άξονα y. Η αντίσταση εισόδου μεταβάλλεται με την γωνία ψ και είναι :

$$Z_{in} = 165 \text{ ohms} \quad \text{για} \quad \psi = 180^\circ$$

$$Z_{in} = 70 \text{ ohms} \quad \text{για} \quad \psi = 30^\circ$$

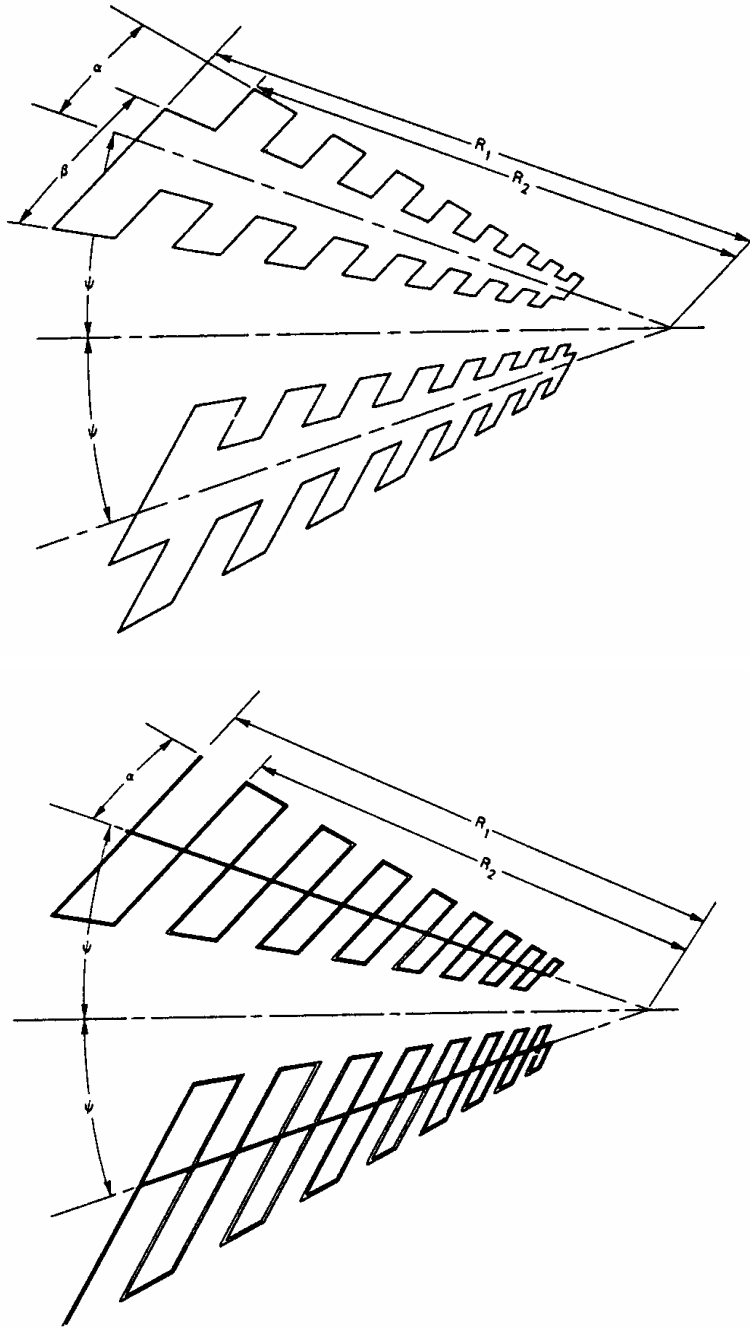
Για απλότητα στην κατασκευή θα ήταν επιθυμητό οι ακμές των οδοντώσεων να είναι ευθύγραμμες. Μια τέτοια κεραία μπορεί να γίνει με την τοποθέτηση οδοντώσεων σε σχήμα τραπεζίου. Στο Σχ. 3-23 φαίνεται *μία περιοδική λογαριθμική τραπεζοειδή κεραία*.

Τραπεζοειδείς κεραίες υπάρχουν και σε μορφή σφήνας. Τα χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια με τ' αντίστοιχα των κεραίων με οδοντώσεις, μόνο που η αντίσταση εισόδου είναι πιο βελτιωμένη και παρουσιάζει ένα παίξιμο 1.6 : 1 μέσα στο εύρος της ζώνης συχνοτήτων.



Σχ. 3-23: Περιοδική λογαριθμική τραπεζοειδής κεραία με οδοντώσεις

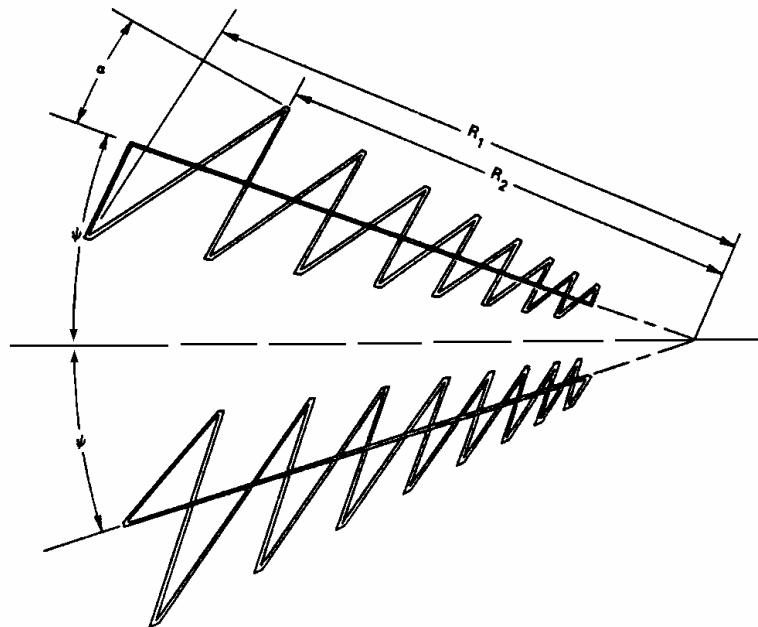
Οι DuHamel και Ore ίσιωσαν τα οδοντωτά στοιχεία σε τραπεζοειδή μορφή δημιουργώντας την κεραία με τραπεζοειδή δόντια (Σχ. 3-23). Εμείς απλά απομακρύνουμε τις πλευρές κατά γωνία 2ψ και προβάλαμε την πραγματική κορυφή. Αυτή είναι μία καλή κεραία υψηλών συχνοτήτων διότι μπορεί να αυτοσυντηρηθεί. Το Σχ. 3-24 δείχνει τα δόντια με πλάτος ίσο με τις αποστάσεις. Μπορούμε να μειώσουμε το πλάτος των δοντιών αλλά συνεχίζουμε να μετράμε τις αποστάσεις R_n στην βάση των δοντιών. Όσο συνεχίζουμε να μειώνουμε το πλάτος των δοντιών η κεραία μετατρέπεται σε περιοδική λογαριθμική διπολική κεραία.



Σχ. 3-24: Οδοντωτή τραπεζοειδής περιοδική λογαριθμική κεραία



Αφαιρώντας υλικό από τα δόντια για να σχηματίσουμε ένα λεπτό περίγραμμα επηρεάζουμε ελάχιστα το μοτίβο απόκρισης. Το σχήμα το δοντιών δεν παίζει ουσιαστικό ρόλο όσο η αναλογία των διαστάσεων τους. Και η τριγωνική κεραία με δόντια από καλώδιο λειτουργεί εξίσου καλά (Σχ. 3-25). Το σχήμα των δοντιών μειώνει κάποια από τα κατασκευαστικά προβλήματα των τραπεζοειδών δοντιών ειδικά στις χαμηλές συχνότητες. Επειδή τα πλατιά δόντια έχουν μεγαλύτερη σύζευξη από τα δίπολα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μικρότερη σταθερά κλίμακας τ και να πετύχουμε καλύτερα σχέδια. Κεραίες έχουν κατασκευαστεί με $\tau = 0.63$ και τα περιοδικά λογαριθμικά δίπολα έχουν ένα κατώτερο όριο περίπου 0.80 για μία καλή απόκριση. Ο πίνακας 2 αναγράφει τις παραμέτρους για μία πετυχημένη κεραία με τραπεζοειδή δόντια (περίγραμμα καλωδίου) σε σχέση με τις παραμέτρους των περιοδικών λογαριθμικών διπλόλων.



Σχ. 3-25: Περιοδική λογαριθμική κεραία με τριγωνικά δόντια από καλώδιο

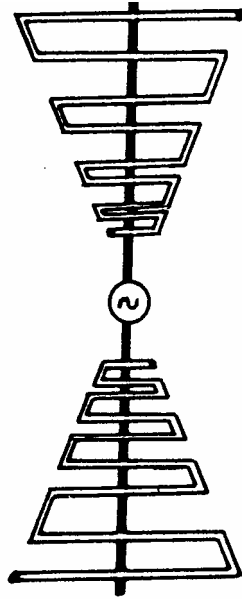


Πίνακας 2. Σχέδια για Περιοδική λογαριθμική κεραία με τραπεζοειδή δόντια από περίγραμμα καλωδίου

Σταθερά κλίμακας τ	Γωνία ανύψωσης ψ	Γωνία μισής κορυφής α	Επίπεδο Ε εύρους εκπομπής	Επίπεδο Η εύρους εκπομπής	Κατεθυντικότητα dB	Πλευρικός λοβός dB
0.63	15	30	85	153	5.0	12
0.63	15	37.5	74	155	5.6	12.4
0.71	15	30	70	118	7.0	17.7
0.71	15	37.5	66	126	7.0	17.0
0.63	22.5	30	86	112	6.3	8.6
0.63	22.5	37.5	72	125	6.6	11.4
0.71	22.5	30	71	95	7.9	14.0
0.71	22.5	37.5	67	106	7.6	14.9
0.77	22.5	30	67	85	8.6	15.8
0.84	22.5	22.5	66	66	9.8	12.3
0.84	22.5	30	64	79	9.1	15.8
0.63	30	30	87	87	7.4	7.0
0.63	30	37.5	73	103	7.4	8.6
0.71	30	30	71	77	8.8	9.9
0.71	30	37.5	68	93	8.1	12.8

Αυξάνοντας την γωνία ανυψώσεως μειώνουμε το εύρος εκπομπής στο επίπεδο Η και αυξάνουμε τους πλευρικούς λοβούς. Το εύρος εκπομπής επιπέδου Ε μειώνετε όσο αυξάνουμε την μισή γωνία κορυφής, αλλά ο τύπος του μοτίβου του διπόλου στο επίπεδο Ε είναι επικρατέστερος παράγοντας. Στην δεδομένη ακτίνα σταθεράς κλίμακας, η κατεθυντικότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται αυτή η σταθερά.

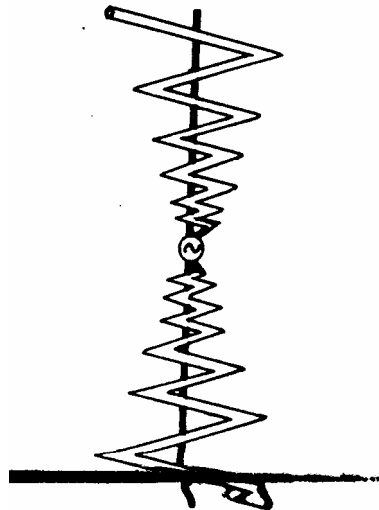
Οι κεραίες που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα αποτελούνται από μεταλλικές επιφάνειες. Για συχνότητες υψηλές οι κατασκευές είναι μικρές, ενώ αντίθετα για χαμηλές συχνότητες είναι μεγάλες με αποτέλεσμα να είναι πρακτικά ανεφάρμοστες. Αυτό μας αναγκάζει να αντικαταστήσουμε τις μεταλλικές κατασκευές από σύρμα, το οποίο θ' ακολουθεί τη διαδρομή των ακμών μιας μεταλλικής λογαριθμικής περιοδικής κεραίας. Στο Σχ. 3-26 βλέπουμε μια περιοδική λογαριθμική τραπεζοειδή κεραία σύρματος.



Σχ. 3-26: Περιοδική λογαριθμική τραπεζοειδή κεραία σύρματος

Αυτή μπορεί να είναι και σε μορφή σφήνας όπου παρουσιάζει αξιόλογες ιδιότητες. Μετρήσεις για γωνία $\psi = 40^\circ$ δίνουν άνοιγμα μισής ισχύος $HP = 66^\circ$, αντίσταση εισόδου 110 ohms και εύρος ζώνης 10 : 1.

Άλλη απλούστερη μορφή είναι η κεραία ζικ-ζακ που φαίνεται στο Σχ. 3-27.



Σχ. 3-27: Περιοδική λογαριθμική ζικ-ζακ κεραία σύρματος



Βέβαια η τελική φάση μετασχηματισμού μιας περιοδικής λογαριθμικής κεραίας είναι η κατασκευή της με παράλληλα συρμάτινα στελέχη. Στο Σχ. 3-28 φαίνεται μια *περιοδική λογαριθμική κεραία διπόλων*, όπου το μήκος των διπόλων αυξάνει καθώς απομακρυνόμαστε απ' το σημείο τροφοδοσίας. Τα δίπολα τροφοδοτούνται ώστε να παρουσιάζουν το προηγούμενο απ' το επόμενο διαφορά φάσης π .

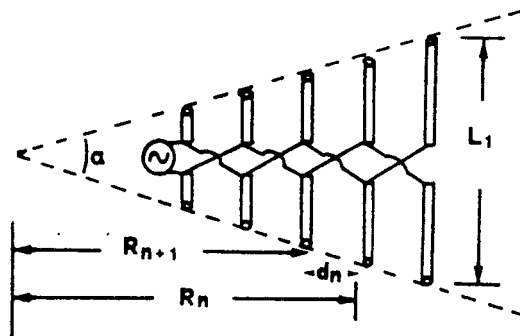
Ένας πρακτικός τρόπος που μπορεί να γίνει η τροφοδοσία φαίνεται στο Σχ. 3-29.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 3-28, ο συντελεστής τ είναι :

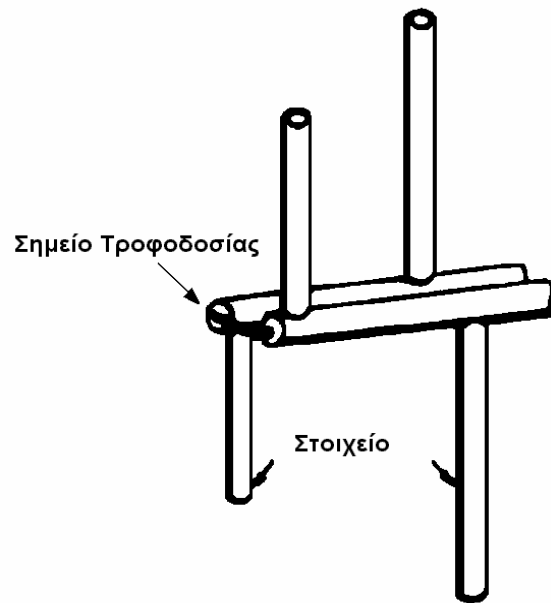
$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} < 1 \quad (12)$$

και η γωνία α είναι :

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{L_n}{2R} = \frac{L_{n+1}}{2R_{n+1}} \quad (13)$$



Σχ. 3-28: Περιοδική λογαριθμική κεραία διπόλων



Σχ. 3-29: Τρόποι σύνδεσης περιοδικής λογαριθμικής κεραίας διπόλων

Την πρώτη περιοδική λογαριθμική κεραία αποτελούσαν οδοντωτά στοιχεία τοποθετημένα στα πλευρά της μισής κεραίας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ

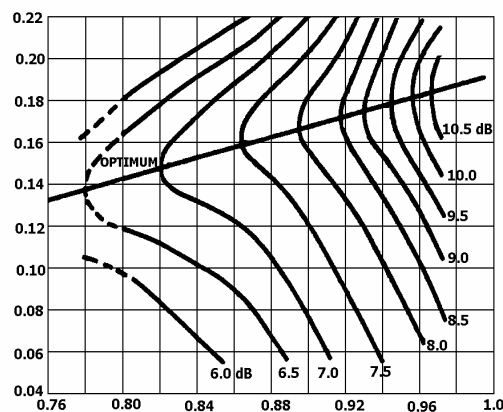
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Τα προηγούμενα παρέχουν πληροφορίες για τις θεμελιώδεις αρχές της λογαριθμικής περιοδικής διπολικής διάταξης. Από αυτή την ανάλυση, έχουμε αποκομίσει μερικές γνώσεις για τις επιπτώσεις των μεταβολών σημαντικών σχεδιαστικών παραμέτρων. Παρόλα αυτά μία βαθύτερη κατανόηση της βασικής θεωρίας της LPDA δεν είναι απαραίτητη για να σχεδιάσουμε μία δικιά μας διάταξη. Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε μία συστηματική βήμα προς βήμα διαδικασία σχεδίασης της LPDA με παραδείγματα σχεδιασμού. Υπάρχουν αναγκαστικά κάποιοι μαθηματικοί υπολογισμοί, αλλά μπορούν να πραγματοποιηθούν με την χρήση υπολογιστή χεριού που να μπορεί να υπολογίζει τετραγωνικές ρίζες και λογαρίθμους. Η διαδικασία που ακολουθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό οποιαδήποτε LPDA για οποιοδήποτε εύρος συχνοτήτων.

1. Αποφασίστε το λειτουργικό εύρος B μεταξύ μία ελάχιστης συχνότητας f_1 και μίας μέγιστης f_n χρησιμοποιώντας την εξίσωση :

$$B = \text{λειτουργικό εύρος} = \frac{f_n}{f_1} \quad (1)$$

2. Διαλέξτε τα τ και σ για το επιθυμητό κέρδος από το παρακάτω σχήμα:



$$0.8 \leq \tau \leq 0.98$$

$$0.05 \leq \sigma \leq \sigma_{opt}$$

η τιμή του σ_{opt} μπορεί να καθοριστεί από το παραπάνω σχήμα ή από την εξίσωση

$$\sigma_{opt} = 0.243\tau - 0.051 \quad (2)$$



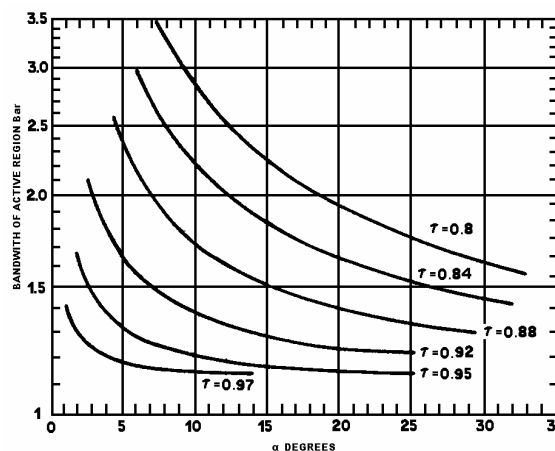
3. Καθορίζουμε την τιμή της συνεφαπτομένης της μισής γωνίας κορυφής α από την σχέση :

$$\cot \alpha = \frac{4\sigma}{1-\tau} \quad (3)$$

Σημείωση : η μισή γωνία κορυφής α πρέπει να καθοριστεί σαν κομμάτι της διαδικασία σχεδίασης, αλλά η τιμή της συνεφαπτομένης χρησιμοποιείται συχνά στα βήματα που ακολουθούν.

4. Καθορίζουμε το εύρος της ενεργής περιοχής B_{ar} είτε από το παρακάτω σχήμα είτε από την σχέση :

$$B_{ar} = 1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot \alpha \quad (4)$$



5. Καθορίζουμε το εύρος της διάταξης B_s από την εξίσωση :

$$B_s = B \times B_{ar} \quad (5)$$

6. Καθορίζουμε το μήκος του boom L , το πλήθος των στοιχείων N , και το μεγαλύτερο μήκος στοιχείου l_1 .

$$L_{ft} = \left[1/4 \left(1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot \alpha \right] \lambda_{\max} \quad (6)$$

$$N = 1 + \frac{\log B_s}{\log \frac{1}{\tau}} = 1 + \frac{\ln B_s}{\ln \frac{1}{\tau}} \quad (7)$$

$$l_{1_{ft}} = \frac{492}{f_1} \quad (8)$$

όπου $\lambda_{\max} =$ το μεγαλύτερο ελεύθερο μήκος κύματος $= \frac{984}{f}$. Συνήθως η

τιμή που υπολογίζουμε για το πλήθος N δεν θα είναι ακέραιος αριθμός στοιχείων. Αν το δεκαδικό ψηφίο είναι περισσότερο από 0.3 τότε στρογγυλοποιούμε στον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο. Με τον τρόπο αυτό



αυξάνουμε την πραγματική τιμή του L από αυτή που υπολογίσαμε με την εξίσωση 6.

Εξετάζουμε τα L , N και l_1 για να καθορίσουμε κατά πόσο τα μεγέθη αυτά είναι αποδεκτά για τις απαιτήσεις μας. Αν η διάταξη είναι πολύ μεγάλη, αυξάνουμε την f_1 ή μειώνουμε τα τ και σ και επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 έως 6. (αυξάνοντας την f_1 μειώνουμε όλες τις διαστάσεις. Μειώνοντας το σ μειώνουμε το πρωταρχικό μήκος του boom. Μειώνοντας το τ θα μειώσουμε και το μήκος του boom αλλά και το πλήθος των στοιχείων).

7. Καθορίζουμε την αντίσταση τερματισμού του stub Z_t . (Σημείωση : Για τις διατάξεις HF βραχυκυκλώνουμε το μεγαλύτερο στοιχείο με ένα jumper 6 inc. Για τις διατάξεις VHF και UHF χρησιμοποιούμε :

$$Z_t = \lambda_{\max} / 8 \quad (9)$$

8. Βρίσκουμε τα μήκη των υπόλοιπων στοιχείων από την εξίσωση :

$$l_n = \tau l_{n-1} \quad (10)$$

9. Καθορίζουμε τις αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων d_{12} από την εξίσωση:

$$d_{12} = \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot \alpha \quad (11)$$

και τις υπόλοιπες αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων από την εξίσωση :

$$d_{n-1,n} = \tau d_{n-2,n-1} \quad (12)$$

10. Επιλέγουμε την R_0 , την επιθυμητή αντίσταση του σημείου τροφοδοσίας, για να δώσουμε το ελάχιστο SWR για την προτεινόμενη ακτινοβολία του balun και την σύνθετη αντίσταση της γραμμής τροφοδοσίας.

11. Υπολογίζουμε την μέση χαρακτηριστική αντίσταση από τον τύπο :

$$Z_{av} = 120 \left[\ln \left(\frac{\ell_n}{d_n} \right) - 2.25 \right] \quad (13)$$

12. Υπολογίζουμε την τιμή του σ' από τον τύπο :

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \quad (14)$$

13. Από τις παραπάνω εξισώσεις καθορίζουμε την απαραίτητη σύνθετη αντίσταση της τροφοδοσίας για την κεραία, Z_0 .

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma'Z_{av}} + R_0 \sqrt{\left(\frac{R_0}{8\sigma'Z_{av}} \right)^2 + 1} \quad (15)$$



14. Μόλις καθορίζουμε την Z_0 , επιλέγουμε έναν συνδυασμό από μεγέθη αγωγών και αποστάσεων για να εξασφαλίσουμε την σύνθετη αντίσταση από την σχέση

$$S = \left(\frac{diam}{2} \right) \times 10^{Z_0/276} \quad (16)$$

όπου

S = απόσταση μεταξύ των κέντρων των αγωγών

$diam$ = εξωτερική διάμετρος του αγωγού (σε ίδια μονάδα με το S)

Z_0 = ενδεικτική χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση για τον τροφοδότη της κεραίας.

Σημείωση : αυτή η εξίσωση προϋποθέτει στρογγυλούς αγωγούς τροφοδοσίας.

Στην περίπτωση που προκύψουν μη πρακτικά αποτελέσματα για τον τροφοδότη της κεραίας, επιλέγουμε διαφορετική διάμετρο αγωγού και επαναλαμβάνουμε το βήμα 16. Σε αρκετές περιπτώσεις ίσως χρειαστεί να επιλέξουμε και διαφορετικό R_0 , και να επαναλάβουμε τα βήματα 15 και 16. Μόλις βρούμε ικανοποιητικά αποτελέσματα, τότε το σχέδιο της LPDA θα έχει ολοκληρωθεί.



4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Γνωρίζουμε ότι το εύρος συχνοτήτων της κεραίας που μελετάμε είναι

$$B_f = 430 \pm 30 \text{ MHz} \quad (1)$$

Οπότε η ελάχιστη συχνότητα είναι :

$$f_1 = 400 \text{ MHz} \quad (2)$$

ενώ η μέγιστη συχνότητα είναι :

$$f_n = 460 \text{ MHz} \quad (3)$$

Άρα από την παρακάτω σχέση μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της σταθεράς τ :

$$f_n = \frac{f_1}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{f_1}{f_n} \Rightarrow \tau = \frac{400 \text{ MHz}}{460 \text{ MHz}} \Rightarrow \tau = 0,8696 \Rightarrow \tau \cong 0,87 \quad (4)$$

Επίσης γνωρίζουμε ότι :

$$B_s = B * B_{cr} \quad (5)$$

όπου B_s : εύρος κατασκευής

B : εύρος λειτουργίας

B_{cr} : εύρος ενεργού περιοχής

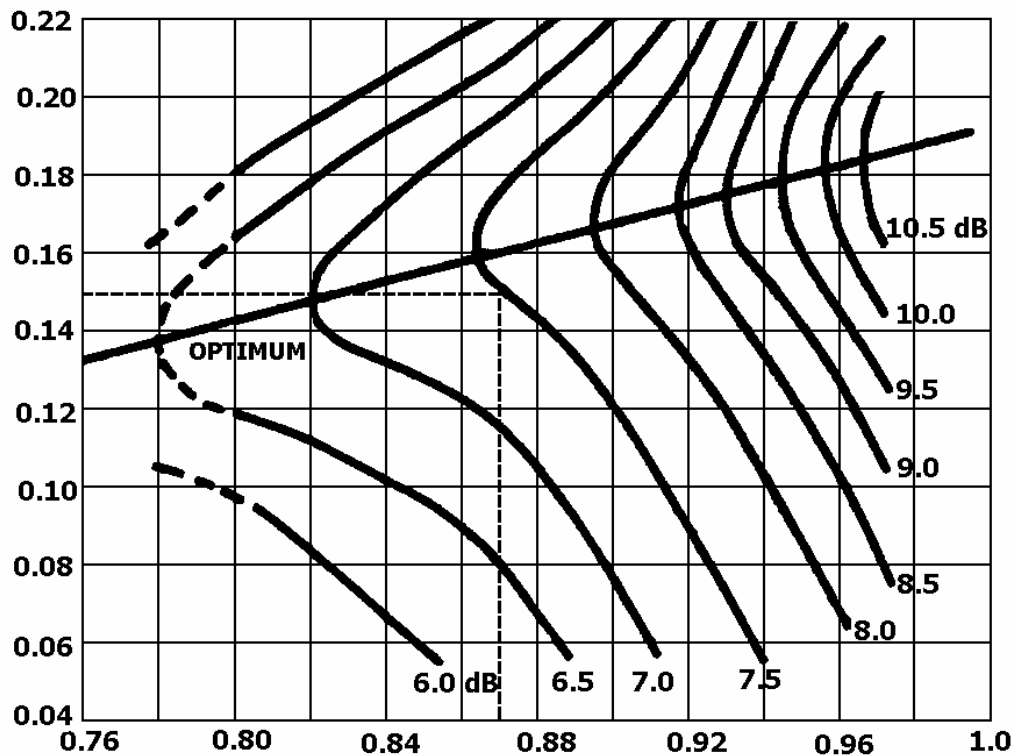
Υπολογίζουμε το B από την σχέση :

$$B = \frac{f_n}{f_1} \Rightarrow B = \frac{460}{400} \Rightarrow B = 1,15 \quad (6)$$

Επιλέγουμε κέρδος $G = 7,5 \text{ dB}$ (7) οπότε από το Σχ. 4-1 υπολογίζουμε τις εξής τιμές :

$$\text{Για } \tau \cong 0,87 \text{ (8) έχουμε } \sigma = 0,15 \quad (7)$$

(Σημείωση : Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι $0,8 \leq \tau \leq 0,98$ και $0,05 \leq \sigma \leq \sigma_{opt}$ όπου $\sigma_{opt} = 0,243\tau - 0,051 \Rightarrow \sigma_{opt} \cong 0,16$ πράγμα που ισχύει και για τις δύο σταθερές.)



Σχ. 4-1

Από τον τύπο :

$$\sigma = \frac{1}{4}(1 - \tau) \cot \alpha \quad (8)$$

έχουμε:

$$\cot \alpha = \frac{4 * \sigma}{(1 - \tau)} \Rightarrow \cot \alpha = \frac{4 * 0,15}{1 - 0,87} \Rightarrow \cot \alpha = \frac{0,6}{0,13} \Rightarrow \cot \alpha = 4,6154$$

$$\boxed{\cot \alpha \cong 4,6154} \quad (9)$$

Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την γωνία α

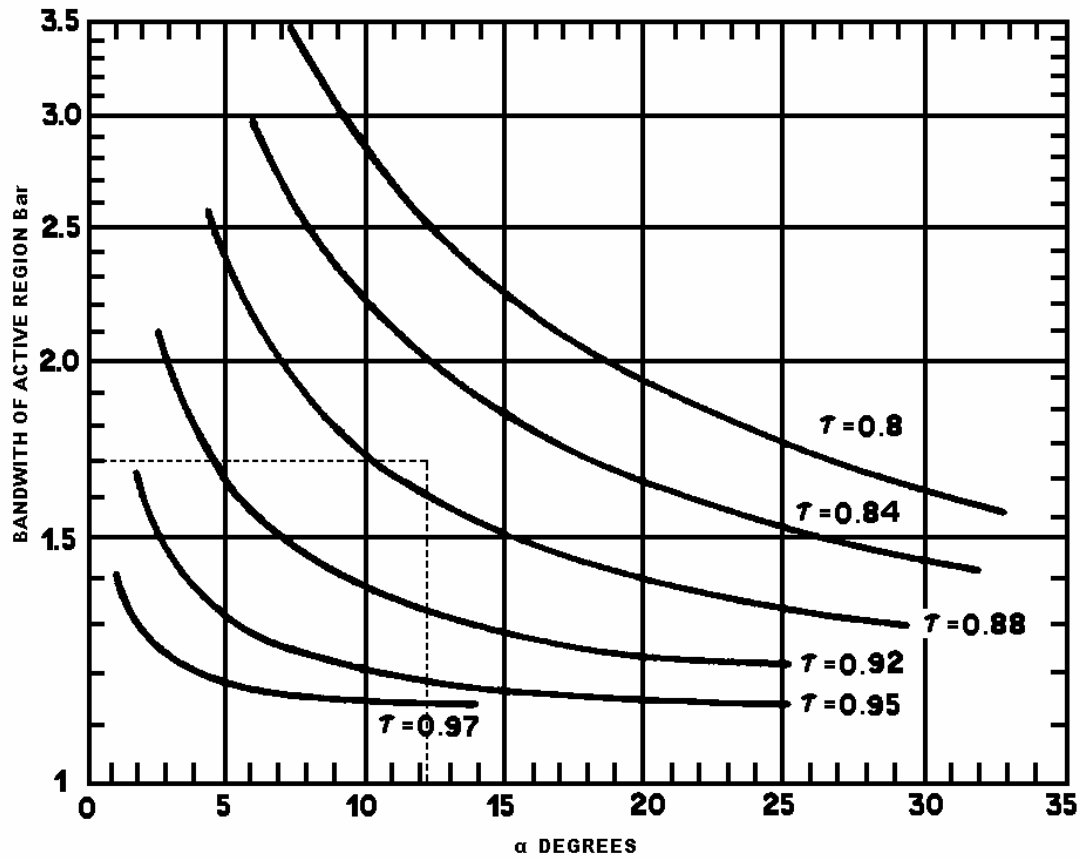
$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{4,6154}\right) \Rightarrow \boxed{\alpha \cong 12,225^\circ} \quad (10)$$

οπότε η γωνία φ είναι η εξής :

$$\varphi = 2\alpha \Rightarrow \boxed{\varphi = 24,45^\circ} \quad (11)$$



Γνωρίζουμε ότι:



Σχ. 4-2

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7 * (1 - \tau)^2 * \cot \alpha \Rightarrow B_{ar} = 1,1 + 0,6 \Rightarrow B_{ar} \cong 1,7 \quad (12)$$

Άρα από σχέση (5) έχουμε :

$$B_{ar} = 1,15 \cdot 1,702608697 \Rightarrow B_s = 1,958000002 \Rightarrow B_s \cong 1,958 \quad (13)$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το μήκος του boom σε feet

$$L = \left[\frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot \alpha \right] \lambda_{\max} = \left[\frac{1}{4} \cdot 0,489274771 \right] \lambda_{\max}$$

$$\text{όπου } \lambda_{\max_{ft}} = \frac{984}{f_1} = 2,46 \quad (14)$$

ΟΠότε

$$L_{ft} = 1,384158 \text{ ft} = 1,4 \text{ ft}$$

$$L_m = 0,4221 \text{ m} \Rightarrow L_m = 42,22 \text{ cm} \quad (15)$$



Επίσης υπολογίζουμε τον αριθμό των στοιχείων N:

$$N = 1 + \frac{\log B_s}{\log \frac{1}{\tau}} = 1 + \frac{\ln B_s}{\ln \frac{1}{\tau}} = 1 + \frac{0,6719}{0,1347} = 1 + 4,809 \Rightarrow \boxed{N = 5,8} \quad (16)$$

Επειδή από τους υπολογισμούς ο αριθμός N δεν είναι καθαρός αριθμός και επειδή ξεπερνάει το 5,3 δεχόμαστε την τιμή:

$$\boxed{N = 6} \quad (17)$$

Το μήκος του μεγαλύτερου στοιχείου που θα είναι και το πρώτο θα είναι το εξής:

$$l_{1ft} = \frac{492}{f_1} = 1,23 ft \Rightarrow \boxed{l_{1ft} = 1,23 ft} \quad (18)$$

Οπότε τα μήκη των δίπολων υπολογίζονται με τον εξής τρόπο:

$$\begin{aligned} l_1 &= 1,23 ft \\ l_2 &= dl_1 = 1,069608 ft \\ l_3 &= dl_2 = 0,93013 ft \\ l_4 &= dl_3 = 0,808842 ft \\ l_5 &= dl_4 = 0,703369 ft \\ l_6 &= dl_5 = 0,611649 ft \end{aligned} \quad (19)$$

Άρα

$$\begin{aligned} l_1 &= 37,515 cm \Rightarrow l_1 = 37,5 cm \\ l_2 &= 32,623 cm \Rightarrow l_2 = 32,6 cm \\ l_3 &= 28,368 cm \Rightarrow l_3 = 28,4 cm \\ l_4 &= 24,669 cm \Rightarrow l_4 = 24,7 cm \\ l_5 &= 21,452 cm \Rightarrow l_5 = 21,5 cm \\ l_6 &= 18,655 cm \Rightarrow l_6 = 18,6 cm \end{aligned} \quad (20)$$

(Σημείωση: Προσθέτουμε σε κάθε δίπολο από 1cm περίπου έτσι ώστε να έχουμε περιθώριο για την κόλληση πάνω στο boom).

Οι αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων θα υπολογισθούν ως εξής:

$$\begin{aligned} d_{12} &= \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot a \Rightarrow d_{12} = 0,3699 ft \Rightarrow d_{12} = 11,252 cm \\ d_{23} &= \tau d_{12} \Rightarrow d_{23} = 0,3207 \Rightarrow d_{23} = 9,784 cm \\ d_{34} &= \tau d_{23} \Rightarrow d_{34} = 0,279 \Rightarrow d_{34} = 8,512 cm \\ d_{45} &= \tau d_{34} \Rightarrow d_{45} = 0,2425 \Rightarrow d_{45} = 7,398 cm \cong 7,4 cm \\ d_{56} &= \tau d_{45} \Rightarrow d_{56} = 0,2109 \Rightarrow d_{56} = 6,434 cm \end{aligned} \quad (21)$$



Υπολογισμός του stub

$$Z_t = \frac{\lambda_{\max}}{8} \Rightarrow Z_t = \frac{984}{8 \cdot 400} \Rightarrow Z_t = 0,3075 \text{ ft} \Rightarrow \boxed{Z_{t_m} = 9,378 \text{ cm}} \quad (22)$$

Τροφοδοτούμε την LPDA με γραμμή 52Ω και 4:1 balun οπότε επιλέγουμε αντίσταση R_o ως:

$$R_o = 4 \cdot 52\Omega \Rightarrow \boxed{R_o = 208\Omega} \quad (23)$$

Επίσης γνωρίζουμε ότι:

$1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm}$ και χρησιμοποιώντας δίπολα με διάμετρο $\frac{1}{4} \text{ in}$ υπολογίζουμε ότι :

$$\frac{l_6}{\text{diam}_6} = 0,611649 \cdot \frac{12}{0,25} = 29,359 \quad (24)$$

Οπότε υπολογίζουμε την μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του δίπολου ως εξής :

$$Z_{av} = 120 \left[\ln \left(\frac{l_6}{\text{diam}_6} \right) - 2,25 \right] = 120(3,3796 - 2,25) \Rightarrow \boxed{Z_{av} = 135,552\Omega} \quad (25)$$

Έτσι από την παραπάνω σχέση υπολογίζουμε την χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της τροφοδοσίας της κεραίας και έχουμε :

$$Z_o = \frac{R_o}{8\sigma'Z_{av}} + R_o \sqrt{\left(\frac{R_o}{8\sigma'Z_{av}} \right)^2 + 1} = 1,192467 + 208\sqrt{2,4219} = 1,192467 + 323,7 \Rightarrow \boxed{Z_o = 324,8967\Omega} \quad (26)$$

Όπου για σ' είναι το

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} = \frac{0,15}{\sqrt{0,8696}} = \frac{0,15}{0,9325} \Rightarrow \boxed{\sigma' = 0,16085} \quad (27)$$

Έτσι υπολογίζουμε και την απόσταση από κέντρο σε κέντρο μεταξύ των αγωγών σύμφωνα με την σχέση :

$$S = \left(\frac{\text{dia}}{2} \right) 10^{\frac{Z_o}{276}} = \left(\frac{0,0808}{2} \right) 10^{\frac{324,8967}{276}} = 0,0404 \cdot 10^{1,177} = 0,60749 \text{ in} \Rightarrow \boxed{S = 2,54 \text{ cm}} \quad (28)$$

Έτσι ολοκληρώθηκε ο υπολογισμός της περιοδικής λογαριθμικής σε συχνότητα λειτουργίας $430 \pm 30 \text{ MHz}$.

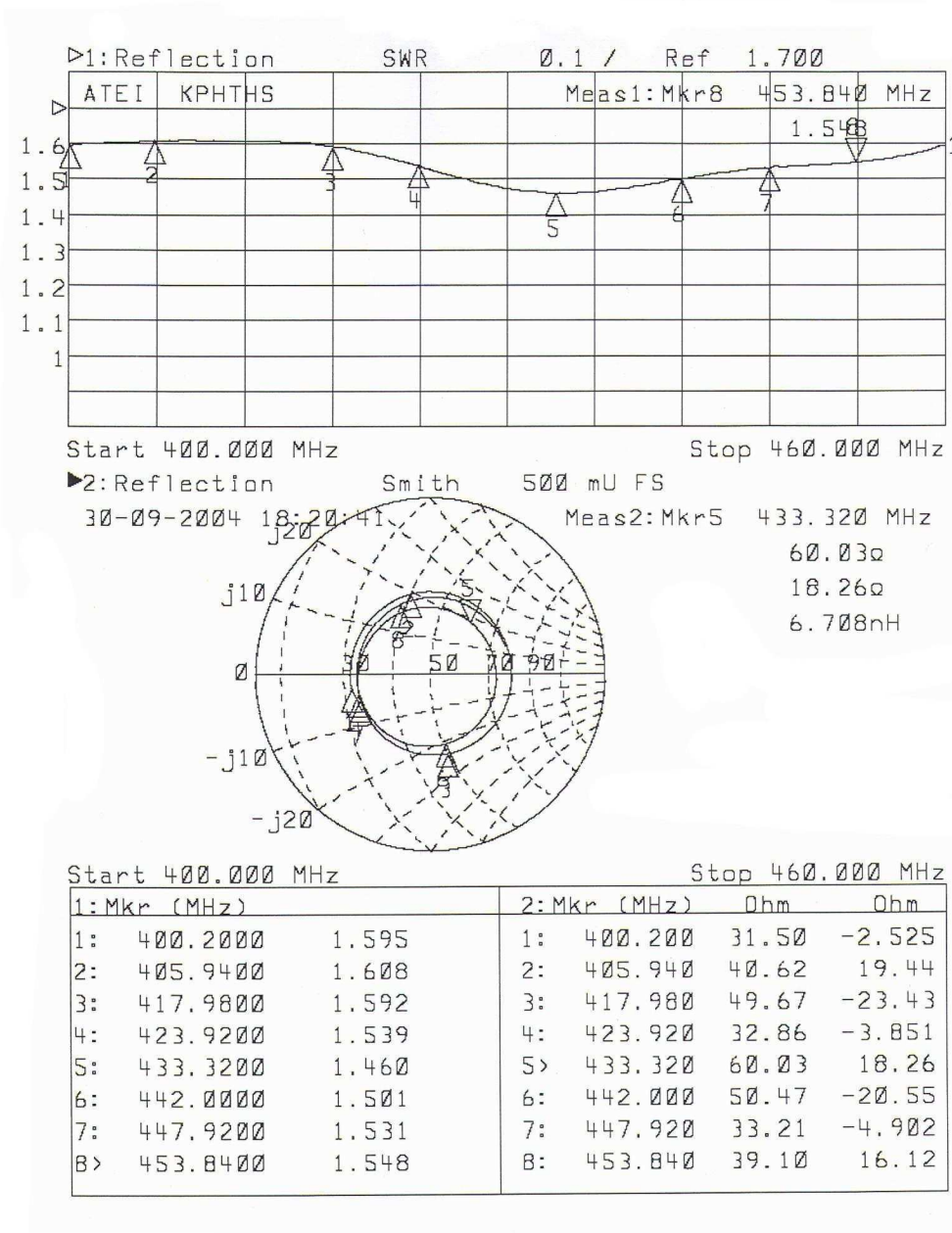
Παρακάτω παρατίθεται το κεφάλαιο με τις μετρήσεις της κεραίας .



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ





4.3. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Μετά την διεξαγωγή των παραπάνω υπολογισμών προχωρήσαμε στην κατασκευή της κεραίας και στην λήψη των παραπάνω αποτελεσμάτων τα οποία σύμφωνα με τις προηγούμενες αναφορές προσέγγισε ικανοποιητικά την επιθυμητή συχνότητα λειτουργίας και το χαμηλό SWR.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει οι περιοδικές λογαριθμικές κεραίες είναι ένας συνδυασμός γραμμής μεταφοράς και στοιχειοκεραίας, έχουν την ικανότητα να εκπέμπουν κατευθυντικά σε πολύ μεγάλες ζώνες συχνοτήτων και σε περιοχές που αρχίζουν από τα μεσαία κύματα και φτάνουν στα μικροκύματα καθώς επίσης καταλαμβάνουν μικρό χώρο σε σχέση με τις επιδόσεις τους.

Η συγκεκριμένη κεραία έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί για οποιοδήποτε μονή μπάντα ή για παρακείμενες μπάντες, HF σε UHF. Χρησιμοποιείται για την λήψη προγραμμάτων τηλεόρασης στην περιοχή UHF καθώς επίσης και για στρατιωτικούς σκοπούς.

Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι το SWR κυμαίνεται σε μια περιοχή μεταξύ 1,608 έως 1,46. Στην συχνότητα λειτουργίας το SWR παίρνει την τιμή 1,46 η οποία δεν ξεπερνά την τιμή 2(γνωρίζουμε ότι το SWR παραμένει χαμηλό συνήθως όχι μεγαλύτερο από 2 μέχρι 1). Το ιδανικότερο SWR που θα έπρεπε να επιφέρει η κεραία θα ήταν από 1,3 έως 1.

Η μικρή απόκλιση οφείλεται σε σφάλματα τα οποία προέρχονται από την κατασκευή(κολλήσεις, μικρή απόκλιση των μηκών των δίπολων και των αποστάσεων από τις αντίστοιχες θεωρητικές, η μη χρησιμοποίηση διαφορετικών διαμέτρων δίπολα και η έλλειψη του απαραίτητου προσαρμογέα). Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας ότι η κεραία δεν μετρήθηκε σε ιδανικό περιβάλλον με αποτέλεσμα να οδηγηθούμε σε πιθανά σφάλματα.

Παρόλο που χρησιμοποιήσαμε stub για να βελτιώσουμε την απόδοση της κεραίας παρατηρούμε ότι η ωμική αντίσταση έχει ραγδαίες αυξήσεις(peak) και βυθίσεις(dip) και ο λόγος SWR θα έπρεπε να ήταν χαμηλότερος. Για τη μείωση του SWR η κεραία πρέπει να κατασκευαστεί με στοιχεία στα οποία η *διάμετρος να αυξάνεται προοδευτικά* καθώς κινούμαστε πάνω στη κεραία από μπρος προς τα πίσω. Αν όλα τα στοιχεία είναι πανομοιότυπα όπως και σε αυτή την περίπτωση, τότε ο λόγος των στοιχείων $l/diam$ θα αυξάνεται κατά μήκος της παράταξης. Θεωρητικά ο λόγος $l/diam$ θα πρέπει να παραμένει σταθερός έτσι ώστε η κεραία να έχει καλύτερη απόδοση.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία

- 1 Γ. Μαργκάς: 'Κεραίες', 1999
- 2 C. Balanis: 'Antenna Theory, Analysis and Design', 1982
- 3 Caron: 'American Radio Relay League', 1989
- 4 ARRL: 'The ARRL Antenna Book', 1999

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

- 1 www.cebik.com/lpd.html
- 2 <http://www.cebik.com/lpd/lpd.html>
- 3 <http://users.crosspaths.net/~wallio/LPDA.html>
- 4 http://www.poynting.net/antennas/ew_30400lpda.shtml
- 5 http://www.poynting.net/antennas/ew_30400lpdadetail_2.shtml
- 6 http://www.poynting.net/antennas/ew_30400lpdadetail_4.shtml