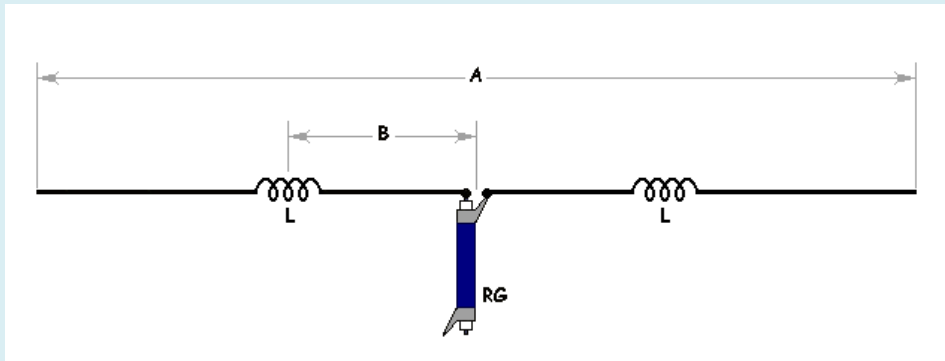


# Σμίκρυνση Μήκους Διπόλου με την προσθήκη Επαγωγικών Φορτίων



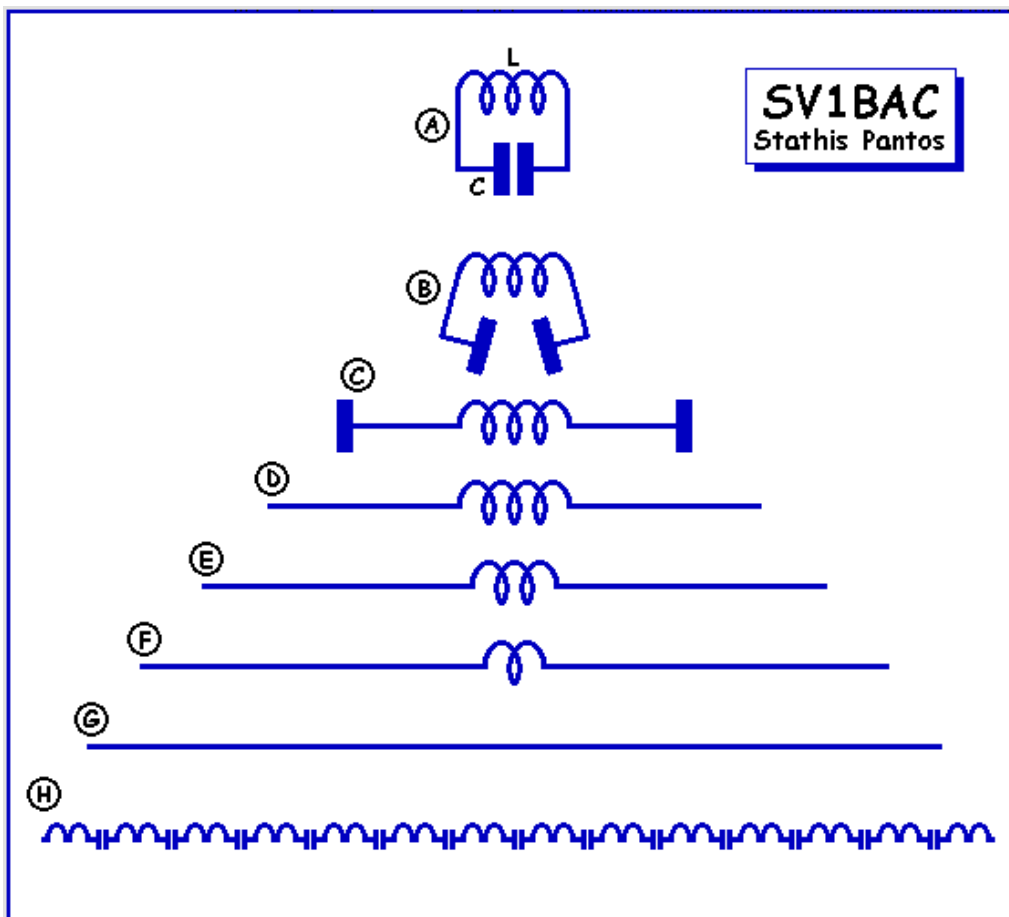
Στάθης Πάντος  
SV1BAC ex SV0CV, i8JKE

E-mail: [stathispantos@yahoo.com](mailto:stathispantos@yahoo.com)  
[sv1bac@gmail.com](mailto:sv1bac@gmail.com)

## Πως θα μειώσουμε το φυσικό μήκος ενός διπόλου με την προσθήκη επαγωγικών φορτίων

### Θεωρητική Προσέγγιση ενός Αγωγού Κεραία

Ένας αγωγός θεωρείται κεραία. Θεωρητικά αυτός αποτελείται από μια επαγωγή και μια χωρητικότητα. Προέρχεται από ένα κύκλωμα L-C σε παράλληλη σύνδεση οι οπλισμοί του πυκνωτή άνοιξαν,



Σχήμα 1.

απομακρύνθηκαν, αναπτύχθηκαν και έγιναν ευθύγραμμοι, ταυτόχρονα και η επαγωγή από την ελικοειδή της μορφή άνοιξε και έγινε ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα.1A,B,C,D,E,F,G). Συνολικά το όλο κύκλωμα μετατράπηκε σε ένα

συντονισμένο κύκλωμα L-C εν σειρά, με ισοκατανομή επαγωγής (L) και χωρητικότητας (C) σε όλα τα σημεία του αγωγού, Σχήμα 1Η.

Η ιδιοσυχνότητα ενός αγωγού συμπίπτει με την θεμελιώδη συχνότητα που η διέλευσή της μέσα από αυτόν τον αγωγό τον οδηγεί σε εξαναγκασμένη ταλάντωση μέγιστου πλάτους. Η ιδιοσυχνότητα του είναι συνάρτηση του φυσικού του μεγέθους. Η μεταβολή της σε ένα αγωγό επέρχεται με την μεταβολή του μήκους του και όχι μόνο.

Η σύνδεση εν σειρά μιας επαγωγής ή μιας χωρητικότητας μεταβάλλει την ιδιοσυχνότητα του αγωγού, αυξάνοντας ή μειώνοντας το ηλεκτρικό του μήκος. Αν κριθεί αναγκαίο να μεταβάλουμε την ιδιοσυχνότητα του χωρίς την προσθαφαίρεση τμήματος αγωγού θα παρέμβουμε με τον τρόπο που αναφέρθηκε.

Όταν θέλουμε να μεταβάλουμε την ιδιοσυχνότητα ενός αγωγού, το μήκος του δηλαδή στο οποίο μια ορισμένη συχνότητα τον οδηγεί σε μέγιστη εξαναγκασμένη ταλάντωση, αντί να του αυξομειώσουμε το μήκος μπορούμε να συνδέσουμε κατ' επιλογήν εν σειρά μία χωρητικότητα ή μία επαγωγή, επιτυγχάνοντας έτσι επιμήκυνση ή σμίκρυνση του ηλεκτρικού του μήκους. Επάνω σε αυτή την αρχή στηρίζεται και η λειτουργία των κεραιών που φέρουν επαγωγικά ή χωρητικά φορτία.

## Το Δίπολο και η προσθήκη επαγωγικών φορτίων

Το μήκος ενός διπόλου είναι συνάρτηση της συχνότητας στην οποία έχει υπολογιστεί να λειτουργεί και είναι ίσο με:

$$\lambda/2 = k \cdot 150/f(\text{MHz})$$

Όπου,  $\lambda$  = μήκος κύματος (μέτρα),  $f$  = συχνότητα ραδιοκύματος (MHz) και το  $k$  = συντελεστής διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Είναι καθαρός αριθμός. Για συρμάτινες κεραιές η τιμή του  $k$  είναι περίπου 0,96 είναι συνάρτηση του μήκους και της διαμέτρου του αγωγού της κεραιάς, στο κενό παίρνει την τιμή της μονάδας (1). Επομένως ο τελικός τύπος που δίνει το μήκος του διπόλου είναι ίσος με:

$$\text{Το Μήκος Διπόλου (μέτρα)} = 144/f(\text{MHz})$$

Πολλές φορές συμβαίνει, ο χώρος που θα φιλοξενήσει τις κεραιές μας, κήπος, τράτασα κ.λπ. να μην μπορεί να δεχτεί το μέγεθος ενός διπόλου  $\lambda/2$ . Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να συμβιβαστούμε εάν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε

δίπολο και να μειώσουμε το φυσικό του μέγεθος ανάλογα με τις διαστάσεις που έχουμε στη διάθεσή μας. Ανάλογη διαδικασία και για τις κατευθυνόμενες κεραίες όταν δεν διαθέτουμε το χώρο, ειδικά για αυτές των 40 και 80m .

Θα πρέπει όμως να γίνει σαφές, πως σε κάθε δίπολο όταν μειώνεται το φυσικό του μέγεθος, μειώνεται η απόδοση του σαν σύστημα ακτινοβολίας και λήψης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, μειώνεται το εύρος μπάντας και η σύνθετη αντίσταση στο σημείο τροφοδοσίας. Πρόκειται λοιπόν για κεραίες συμβιβασμού που πολλές φορές είναι αναγκαίες εάν δεν υπάρχουν άλλες λύσεις και επιλογές. Για μια μείωση 20% του ολικού μήκους του διπόλου δεν υπάρχουν αισθητές αλλαγές στις αποδόσεις του.

Μεταφερόμενοι από το κέντρο του διπόλου προς τα άκρα του, παρατηρούμε πως η σύνθετη αντίσταση μεταβάλλεται από μερικές δεκάδες Ωμ, σε μερικές χιλιάδες. Έχοντας λοιπόν σωστή απεικόνιση της μεταβολής της σύνθετης αντίστασης του διπόλου από το κέντρο προς τα άκρα, θα μπορούσαμε συμμετρικά να αντικαταστήσουμε τμήματα κεραιοσύρματος με πηνία των οποίων η επαγωγική αντίσταση  $X_L$  να είναι ίση με αυτή των τμημάτων που αφαιρούμε. Με αυτή την αντικατάσταση δεν αλλάζει η ιδιοσυχνότητα του διπόλου, αλλάζει το μήκος του, μικραίνει, άλλωστε αυτό είναι και το ζητούμενο.

Το γράφημα του σχήματος 2 προσφέρει ακριβώς αυτό που προαναφέρθηκε. Οι καμπύλες δίνουν το επί της % εναπομείναν μήκος  $A$  του διπόλου μετά τη σμίκρυνση του. Ο οριζόντιος άξονας δίνει την επί της % θέση  $B$  του κέντρου του πηνίου  $L$  στη κάθε πλευρά του διπόλου και ο κατακόρυφος άξονας την επαγωγική αντίσταση  $X_L$  του πηνίου.

### Παράδειγμα:

Για μια μείωση **50%** του φυσικού μήκους του διπόλου το  $A$  παίρνει την τιμή του **50%** με την προϋπόθεση ότι τα πηνία θα βρίσκονται ακριβώς στο μέσον της κάθε πλευράς, στο **50%** δηλαδή, προκύπτει από τα διαγράμματα, πως η επαγωγική αντίσταση  $X_L$  του κάθε πηνίου θα είναι περίπου ίση με **950 Ωμ**.

Τα πράγματα πλέον είναι απλά.

Γνωρίζουμε πως η επαγωγική αντίσταση:

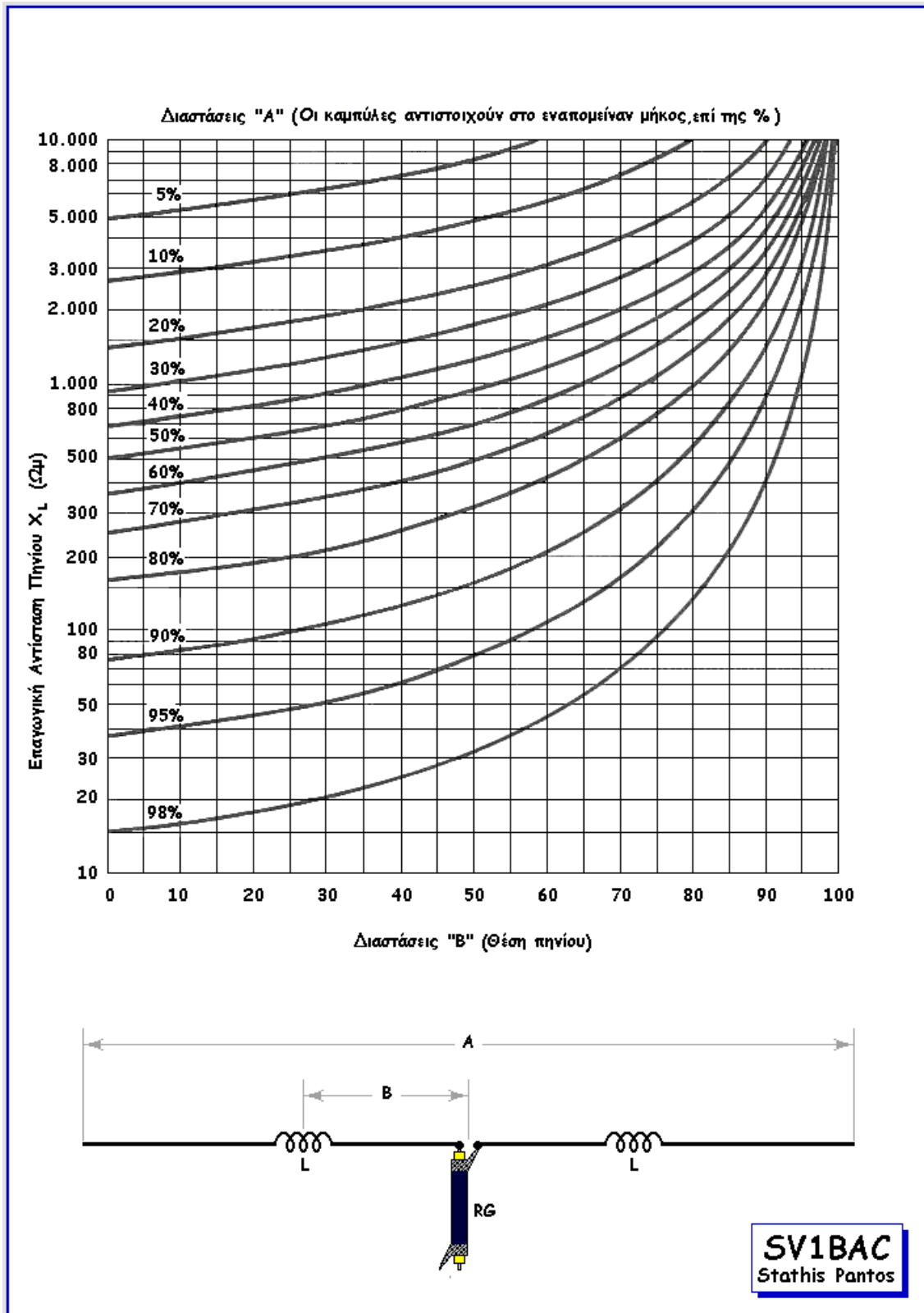
$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad \text{επομένως το} \quad L = X_L / 2 \cdot \pi \cdot f$$

Όπου:

$L$  = η αυτεπαγωγή του πηνίου (Henry)

$X_L$  = η επαγωγική αντίσταση του πηνίου (Ωμ)

$f$  = η συχνότητα (Hz), και το  $\pi=3,14$



*Σχήμα 2.*

Τοποθετώντας λοιπόν τις τιμές των παραμέτρων  $X_L$  και  $f$  σε μονάδες  $\Omega$  και Herz και το  $\pi=3,14$  βρίσκουμε την αυτεπαγωγή του πηνίου  $L$  σε Henry

Στη συνέχεια πηγαίνοντας σε τύπους "**Υπολογισμοί-Κατασκευής Πηνίων**" και προκαθορίζοντας την αυτεπαγωγή του πηνίου και τη διάμετρο καθώς και το πάχος του σύρματος περιέλιξης, επιλύουμε και βρίσκουμε πόσες είναι οι σπείρες του πηνίου. Τα πηνία και στα δύο σκέλη της κεραίας είναι ίδια.

Οι πράξεις μπορούν να γίνουν με χαρτί και μολύβι ή ακόμη καλύτερα με υπολογιστή όταν υπάρχει κάποιο λογισμικό (πρόγραμμα) υπολογισμού και κατασκευής πηνίων. Τέτοιες επιλύσεις υπάρχουν στο πρόγραμμα του αγαπητού συναδέλφου [Κωνσταντίνου Ζάγκαλη SV1BYO](#) καθώς και στο [mini Ring Core Calculator 1.2](#)

Επί πλέον φροντίζουμε να δώσουμε μια **υψηλή τιμή στο Q το συντελεστή ποιότητας του πηνίου**, με αραιές σπείρες και λόγο μήκους προς διάμετρο πηνίου όχι μεγαλύτερο του **2 προς 1 (2:1)**. Μην χρησιμοποιήσετε λεπτό σύρμα και αφήστε μια απόσταση μεταξύ των σπειρών, την ελάχιστη ίση με την διάμετρο του σύρματος, π.χ για μια ισχύ **1KW** η διάμετρος του σύρματος να είναι **5mm**.

## Συντονισμός του διπόλου

Οι υπολογισμοί για την κατασκευή των πηνίων μπορούν ελαφρώς να διαφοροποιήσουν τα αποτελέσματα που πρέπει να έχουμε, για το λόγο αυτό σε πρώτη φάση δοκιμών δημιουργούμε κάποια σπείρα επί πλέον στα δυο πηνία και των δύο σκελών του διπόλου διότι οι επί πλέον σπείρες μας δίνουν την δυνατότητα να μπορούμε να αφαιρέσουμε μέρος αυτών προκειμένου να επιτύχουμε τον ζητούμενο συντονισμό. Η αφαίρεση μέρους των σπειρών του πηνίου είναι πιο εύκολη διαδικασία από αυτή της προσθήκης

Η επιλογή της **επαγωγικής αντίστασης του πηνίου  $X_L$**  γίνεται σε συνάρτηση του ποσοστού εναπομείναντος μήκους του διπόλου μετά την σμίκρυνση και της θέσης που καταλαμβάνει αυτό στο κάθε σκέλος του διπόλου. Υπολογίζουμε το ένα πηνίο καθότι το άλλο είναι πανομοιότυπο του πρώτου.

Όταν αναφερόμαστε στην αντίσταση ενός πηνίου που διαρρέεται από ένα ρεύμα υψηλής συχνότητας αυτή έχει **τρεις συνιστώσες**, την **επαγωγική αντίσταση  $X_L$**  λόγω αυτεπαγωγής που παρουσιάζει αυτό, την **χωρητική  $X_C$**  λόγω ενδοχωρητικότητας των σπειρών του και την **ωμική  $R$**  που παρουσιάζει κάθε αγωγός συναρτήσεως του μήκους του, της διατομής και της αγωγιμότητά του υλικού από το οποίο προέρχεται. Αυτές οι δυο τελευταίες αντιστάσεις έχουν μία πολύ μικρή τιμή έναντι της επαγωγικής  $X_L$ .

Οι αναφορές στην προηγούμενη παράγραφο έγιναν διότι ο υπολογισμός του

πηνίου γίνεται με την εύρεση της αυτεπαγωγής  $L$  καθώς γνωρίζουμε τις παραμέτρους  $X_L$ ,  $f$  και το  $\pi = 3,14$  που την καθορίζουν. Η εξίσωση είναι:

$$L = X_L / 2\pi f$$

Μια τελική μέτρηση του διπόλου με ένα Αναλυτή Κεραίας (Antenna Analyzer) θα μας δώσει μια καθαρή Ωμική Αντίσταση εισόδου κεραίας και μια Αντίδραση συνισταμένη των επί μέρους αντιδράσεων των πηνίων και της χωρητικής αντίδρασης που προέκυψε από την σμίκρυνση του ηλεκτρικού μήκους της κεραίας με την προσθήκη των πηνίων

Η παρουσία της συνισταμένης αντίδρασης δημιουργεί διαφορά φάσης μεταξύ του ρεύματος ( $I$ ) και της τάσης ( $E$ ) της κεραίας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία στασίμων κυμάτων που μετατρέπουν την ισχύ που χάνεται σε θερμότητα επιβαρύνοντας την γραμμή μεταφοράς και το τελικό στάδιο εξόδου του πομποδέκτη.

Η παγιδευμένη ισχύς σημαίνει απώλεια από την εκπεμπόμενη ισχύ και δημιουργία αρκετών ανεπιθύμητων προβλημάτων. Η παρέμβαση για την επίλυση αυτού του προβλήματος γίνεται με την δημιουργία μιας αντίδρασης ίσης και αντίθετης με την υπάρχουσα της κεραίας και το αλγεβρικό τους άθροισμα ίσο με το μηδέν.

Η προσθήκη μιας κατάλληλα υπολογισμένης επαγωγής, με επαγωγική αντίσταση ίση και αντίθετη με την χωρητική που διαβάσαμε στο όργανο μέτρησης, θα εξουδετερώσει την αντίδραση και το μόνο που μένει πλέον είναι να προσαρμόσουμε την γραμμή τροφοδοσίας στο δίπολο που θα παρουσιάζει πλέον μόνο ωμική αντίσταση.

Η προσαρμογή μπορεί να γίνει με ένα απλό κύκλωμα προσαρμογής κεραιών π.χ με ένα Balun με τον κατάλληλο λόγο Αντίσταση Εξόδου/ Αντίσταση Εισόδου έτσι ώστε να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες που απαιτεί η κεραία για να έχουμε την μέγιστη μεταφορά ισχύος.

## Άλλες επιλογές (Γραμμικά Φορτία και Χωρητικά Καπέλα)

Άλλες επιλογές για να μειώσουμε το μήκος μιας κεραίας χωρίς να αλλάξουμε την ιδιοσυχνότητά της είναι οι Γραμμικές Φορτίσεις (Linear Loaded) και τα Χωρητικά Καπέλα (Capacity Hats).

Τα γραμμικά φορτία είναι τμήματα γραμμών μεταφοράς δύο παράλληλων αγωγών, με μήκος μικρότερο του  $\lambda/4$  δηλαδή του μήκος ενός Stub. Είναι βραχυκυκλωμένα από το ένα άκρο και ανοικτά από το άλλο. Τοποθετούνται σε θέσεις ανάλογες με αυτές των επαγωγικών φορτίων και με τρόπο επιλογής ανάλογο με αυτόν που εξετάσαμε σε προηγούμενες παραγράφους. Να σημειωθεί ότι η σύνθετη αντίσταση ενός Stub μεταβάλλεται από το μηδέν (κλειστό άκρο) έως το άπειρο (ανοικτό άκρο) ακολουθώντας τη μεταβολή της επαπτομένης. *(για επιπλέον πληροφορίες βλέπε: Γραμμικά Φορτία Κεραιών του SV1BAC).*

Τα χωρητικά καπέλα παίρνουν αυτή την ονομασία επειδή τοποθετούνται σε ακραίο σημείο και προεξέχουν όπως τα καπέλα που φοράμε. Αποτελούνται από αγωγή μεταλλικά στοιχεία ακτινικά τοποθετημένα και πολλές φορές αυτά περιβάλλονται από μια αγωγή μεταλλική περιφέρεια με ηλεκτρική επαφή στα άκρα των ακτινικών στοιχείων.

Αυτή η διάταξη που περιγράψαμε προσδίδει σε ένα οριζόντιο ή κατακόρυφο δίπολο όπως και σε ένα απλό κατακόρυφο κάθετο μονόπολο, μια υπολογίσιμη επί πλέον χωρητικότητα που μας επιτρέπει με κατάλληλους υπολογισμούς, που ξεφεύγουν του παρόντος θέματος, να μειώσουμε το μήκος της κεραίας αισθητά χωρίς να αλλάξουμε την ιδιοσυχνότητά της.

## **Επί μέρους πληροφορίες για τον υπολογισμό και την κατασκευή των πηνίων**

Για χαμηλή ισχύ όπως π.χ για τα 100W μπορούμε τα επαγωγικά φορτία (τα πηνία) να τα φτιάξουμε από απλό καλώδιο οικιακών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων καλυμμένο με μόνωση, τυλιγμένα σε σωλήνα PVC (**Σχήμα 3Α**). Στον υπολογισμό του πηνίου θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το πάχος της μόνωσης που μεσολαβεί μεταξύ αγωγού πηνίου και της εξωτερικής διαμέτρου του τυλίγματος του πηνίου διότι αλλάζουν την διάμετρο περιέλιξης και δεν είναι πλέον αυτή που αντιστοιχεί στην εξωτερική διάμετρο του σωλήνα από PVC αλλά συν δύο φορές το πάχος της μόνωσης.

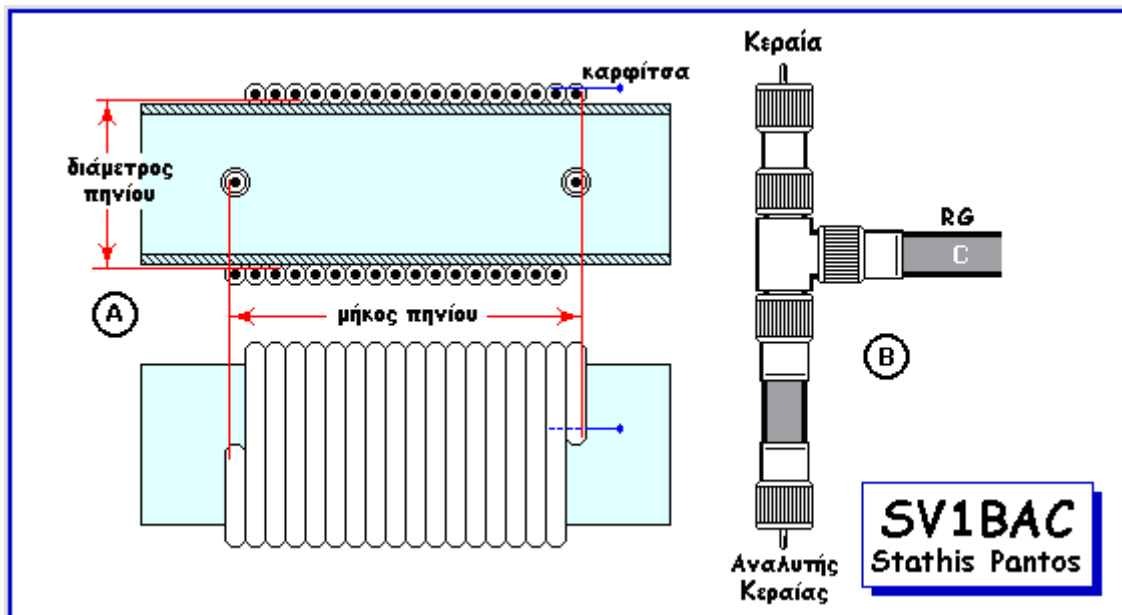
Επίσης να λάβουμε υπόψη και την πλευρική μόνωση που μεσολαβεί στην απόσταση μεταξύ αριστερής και δεξιάς σπείρας όπως επίσης και τη μόνωση που προβάλλει στο πλάι από τον αγωγό της πρώτης και τελευταίας σπείρας προκειμένου να διαστασιολογήσουμε σωστά το ολικό μήκος του πηνίου.

Χρησιμοποιώντας ένα πηνίο φτιαγμένο με τέτοιο καλώδιο μπορούμε εύκολα να βραχυκυκλώνουμε στις δοκιμές από την εξωτερική πλευρά του πηνίου τις ακρινές σπείρες του με μια καρφίτσα πιέζοντας την παράλληλα στην επιφάνεια



της περιέλιξης κάτω από τη μόνωση της επάνω επιφάνειας των σπειρών έτσι ώστε να εφάπτεται στο σύρμα του καλωδίου του πηνίου και να βραχυκυκλώνει τις σπείρες (Σχήμα 3Α).

Αφού διαπιστώσουμε τη σωστή λειτουργία στο σημείο συντονισμού που θέλουμε, ή αφαιρούμε αυτές τις σπείρες που βραχυκυκλώσαμε ή τις συγκολλούμε για να εξασφαλίσουμε μια ανθεκτική καλή ηλεκτρική επαφή ή ακόμη σε μια τελική (οριστική) κατασκευή των πηνίων χρησιμοποιούμε τον αριθμό σπειρών που προέκυψαν στο στάδιο δοκιμών συντονισμού του διπόλου.

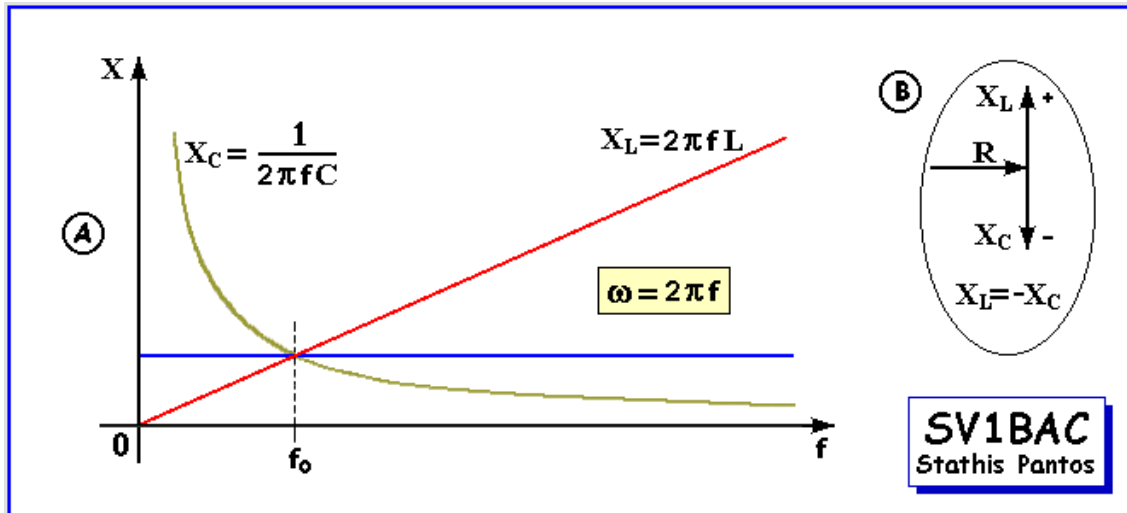


**Σχήμα 3.**

Θα πρέπει ακόμη να τονιστεί πως το όργανο μέτρησης **Αναλυτής Κεραίας (Antenna Analyzer)** δεν καθορίζει το είδος της αντίδρασης, δηλαδή αν αυτή είναι επαγωγική ή χωρητική. Η διαδικασία επίλυσης του διλήμματος είναι απλή και μπορεί να παρουσιαστεί μέσα από δύο μεθόδους την **a** και **b**.

- a. Με έναν Αναλυτή Κεραίας εντοπίζουμε το σημείο συντονισμού με Ωμική Αντίσταση  $R$  και μια Αντίδραση  $X$  που δεν καθορίζεται τι είδους είναι, εάν αυξάνοντας την συχνότητα η ένδειξη  $X$  στο όργανο μέτρησης μειωθεί, έχουμε χωρητική αντίδραση ( $X_C$ ). Εάν μειώνοντας την συχνότητα η ένδειξη της αντίδρασης  $X$  στο όργανο μειωθεί, τότε αυτή είναι επαγωγική ( $X_L$ ), βλέπε (Σχήμα 4Α).
- b. Το είδος της άεργης αντίστασης στην δεύτερη μέθοδο καθορίζεται με την προσθήκη μιας μικρής χωρητικότητας παράλληλα στην είσοδο της

Κεραίας (Σχήμα 3B), εάν αυτή επιφέρει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ένδειξης του οργάνου, η αντίδραση είναι χωρητική, εν αντιθέσει η μείωση της ένδειξης σημαίνει ότι η αντίδραση είναι επαγωγική.



**Σχήμα 4.**

Στο Σχήμα 4A εικονίζεται το γράφημα της Επαγωγικής ( $X_L$ ) και Χωρητικής ( $X_c$ ) Αντίδρασης της κεραίας συναρτήσει της συχνότητας. Το πρόσημο της χωρητικής αντίδρασης ( $X_c$ ) είναι αρνητικό (-). Το γράφημα της  $X_L$  είναι μια ευθεία και η μεταβολή της είναι ανάλογη της συχνότητας. Το γράφημα της  $X_c$  είναι μια ισοσκελής υπερβολή και η μεταβολή της είναι αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας. Στο σημείο τομής τους η αντιδράσεις έχουν την ίδια απόλυτη τιμή, αυτό το σημείο είναι το σημείο συντονισμού της κεραίας με συχνότητα συντονισμού την  $f_0$ . Το άθροισμα των δύο αντιδράσεων μηδενίζεται και απομένει μόνο η Ωμική αντίσταση ( $R$ ) της κεραίας καθότι  $Z=R+j(X_L-X_c)$  (Σχήμα 4B). Το  $X_L=2.\pi.f.L$ , το  $X_c=1/2.\pi.f.C$ . Η κυκλική συχνότητα ( $\omega$ ) είναι ίση με:  $\omega=2.\pi.f$ . Όπου  $Z$  είναι η Σύνθετη Αντίσταση ή Εμπέδηση (Impedance) της Κεραίας.

Η χωρητικότητα θα μπορούσε να είναι ένα μικρό κομμάτι ομοαξονικού καλωδίου RG (Σχήμα 3B), καθότι μεταξύ ψίχας και θώρακα υπάρχει μια χωρητικότητα περίπου 1 pF/cm, αυτή αλλάζει σε κάθε τύπο καλωδίου σε γενικές γραμμές όμως σαν τιμή χωρητικότητας βρίσκεται κάπου εκεί.

**Στάθης Πάντος**  
**SV1BAC ex SV0CV, i8JKE**

E-mail:

[stathispantos@yahoo.com](mailto:stathispantos@yahoo.com)

[sv1bac@gmail.com](mailto:sv1bac@gmail.com)