

**Το Antenna Tuner και  
το Coupler δεν είναι  
Κυκλώματα Συντονισμού  
αλλά Προσαρμογής**



**Στάθης Πάντος**

**SV1BAC ex i8JKE,SV0CV**

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

## Εισαγωγή

Κανένα **Antenna Tuner** και **Coupler** δεν κάνουν συντονισμό, είναι τελείως λανθασμένη η αντίληψη που υπάρχει σε πολλούς ότι αυτοί οι παρελκόμενοι μηχανισμοί πομποδεκτών (**RTX**) είναι κυκλώματα συντονισμού. Η λανθασμένη επικράτηση αυτής της αντίληψης υφίσταται ίσως από μερικούς, διότι παρατηρούνται στο εσωτερικό αυτών των συσκευών συνδεδεμένες μεταξύ τους επαγωγές και χωρητικότητες και θεωρούν ότι με αυτά ο χειριστής του ασυρμάτου εκτελεί συντονισμούς με προσωπική ή αυτοματοποιημένη παρέμβαση.

Πρόκειται για κυκλώματα αντιστάθμισης των μιγαδικών αντιστάσεων που εμφανίζονται στην κεραία όταν αυτή δεν συντονίζεται στη συχνότητα εκπομπής και όχι κυκλώματα συντονισμού μεταξύ κεραίας και πομποδέκτη. Δεν συντονίζουμε με το **Antenna Tuner (ATU)**, προσαρμόζουμε. Το ίδιο συμβαίνει και με το **Κάπλερ (Coupler)**, ταυτόσημη συσκευή σε λειτουργία με το (ATU), που προηγείται σε μηδενική απόσταση από την κεραία και ρυθμίζει αυτόματα την προσαρμογή του RTX με την κεραία.

Με τον τρόπο αυτό **αντισταθμίζουμε** την αντίδραση της κεραίας επαγωγική ή χωρητική και κατά συνέπεια εξαλείφουμε και τα στάσιμα κύματα που οδηγούνται από την γραμμή τροφοδοσίας προς την είσοδο του πομποδέκτη και πολλές φορές ίσως με καταστροφικές συνέπειες για τα κυκλώματα του σταδίου εξόδου.

Ο τρόπος που άρχισε η τοποθέτηση στο εν λόγω θέμα θα έπρεπε να ήταν ο επίλογος, έγινε όμως έτσι για να δοθεί περισσότερη έμφαση, οπότε θα πρέπει να συνεχίσουμε με την αιτιολόγηση των όσων τονίστηκαν εμφατικά για να διαλευκανθούν οι έννοιες και οι όροι που στοιχειοθετούν αυτό το πρόβλημα και ίσως δεν είναι κατανοητό από όλους.

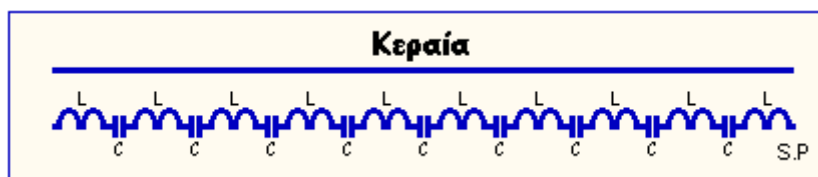
## Σύνθετη Αντίσταση Κεραίας

Ερχόμαστε να σταθούμε στις βασικές έννοιες που άπτονται του θέματος που εξετάζουμε και με μια προσέγγιση σε αυτές να μπορέσουμε να αντιληφθούμε το

τι συμβαίνει σε ένα κεραιϊκό σύστημα που τροφοδοτείται με RF και αρχίζουμε από τη **Σύνθετη Αντίσταση της Κεραίας (Z)** που εμφανίζεται και με την επωνυμία **Εμπέδηση (\*)**. Ας δούμε λοιπόν τι είναι οι σύνθετες αντιστάσεις όπως και αυτή της κεραίας και τη σημασία τους στο χώρο των πομπών ασύρματης επικοινωνίας.

Τις σύνθετες αντιστάσεις τις λέμε και μιγαδικές. Ότι είναι μιγαδικό, εξ' ορισμού, αποτελείται από δύο μέλη, το ένα είναι πραγματικό και το άλλο φανταστικό, στον συγκεκριμένο χώρο λέμε πως:

*Μιγαδικές αντιστάσεις υπάρχουν στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος που φέρουν στοιχεία R, L και C όπου το V (τάση) και I (ρεύμα) δεν είναι συμφασικά, εμφανίζεται δηλαδή μεταξύ τους κάποια διαφορά φάσης. Οι μιγαδικές αντιστάσεις όπως προαναφέρθηκε αποτελούνται από δύο μέλη ένα πραγματικό και ένα φανταστικό. Το πραγματικό μέλος είναι η ωμική αντίσταση R και το φανταστικό, η αντίδραση X, επαγωγική  $X_L$  ή χωρητική  $X_C$ , με επικρατέστερη τη μία από τις δύο ή και μόνο τη μία.*



**Σχήμα 1**

Ίσως αναρωτηθεί κάποιος εκφράζοντας την απορία: Μια συρμάτινη κεραία που βρήκε τις επαγωγές και τις χωρητικότητες; Οι κεραίες από τη φύση τους είναι κυκλώματα που παρουσιάζουν ισοκατανομή επαγωγής και χωρητικότητας συνδεδεμένες εν σειρά, αν και μη ορατά τα στοιχεία αυτά υφίστανται, βλέπε (Σχ.1).

Καθότι οι κεραίες τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενα υψίσυχνα ρεύματα, οι αντιστάσεις τους είναι σύνθετες (μιγαδικές), αποτελούνται δηλαδή από μία καθαρά ωμική αντίσταση R και μια αντίδραση X που την ονομάζουμε **άεργη αντίσταση** (διότι δεν παράγει έργο) και είναι άθροισμα μιας επαγωγικής ( $X_L$ ) με θετικό πρόσημο (+) και μιας χωρητικής ( $X_C$ ) με αρνητικό (-) πρόσημο. Η μονάδα μέτρησης και των δύο είναι το  $\Omega$  ( $\Omega\mu$ ), το δε πρόσημο (-) για την ( $X_C$ ) έχει παρθεί με αυθαίρετη επιλογή της επιστημονικής κοινότητας.

$$Z = R + jX \quad \rightarrow \quad Z = R + j ( X_L + X_C ) \quad (1)$$

$Z$ =σύνθετη αντίσταση κεραίας,  $R$ =ωμική αντίσταση κεραίας,  $X$ =αντίδραση κεραίας,  $X_L$ =επαγωγική αντίσταση,  $X_C$ =χωρητική αντίσταση.

## Η Αντίδραση της Κεραίας

Αυτά τα δύο μεγέθη  $X_L$  και  $X_C$  της εξίσωσης (1) η ονομασία τους, πέρα από επαγωγική και χωρητική αντίσταση, ονομάζονται και αντιδράσεις, επαγωγική και χωρητική.

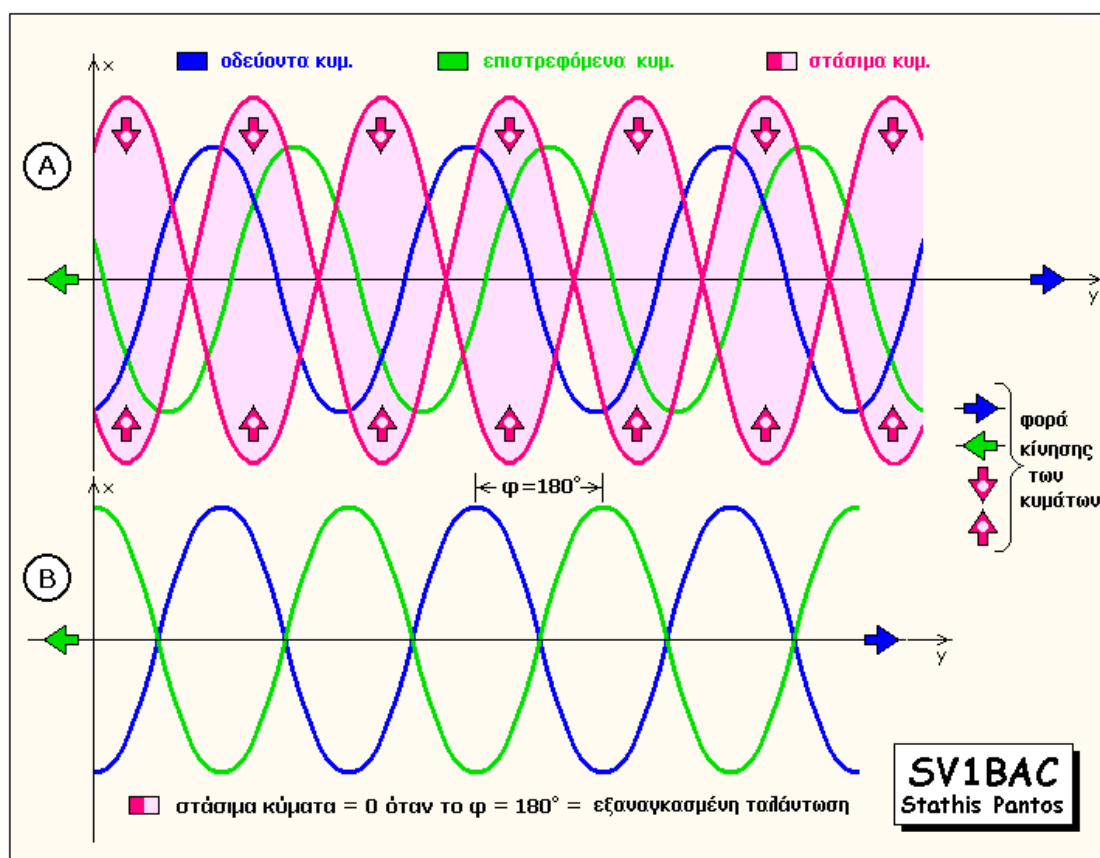
Λαμβάνοντας υπόψη πως κάθε πομποδέκτης δεν εκπέμπει σε μία σταθερή συχνότητα αλλά σε ένα σύνολο συχνοτήτων, οποιαδήποτε κεραία συντονισμού και να πάρουμε αυτή αντηχεί σε κάποια συχνότητα, παρουσιάζει δηλαδή τη δική της ξεχωριστή ιδιοσυχνότητα, αυτό σημαίνει ότι είναι κατασκευασμένη (κομμένη) για μία και μοναδική συχνότητα, οπότε η αντήχησή της ο συντονισμός της δεν μπορεί να υπάρξει για οποιαδήποτε άλλη συχνότητα πέραν αυτής της μιας για την οποία υπολογίστηκε και κατασκευάστηκε, συνήθως αυτή η συχνότητα είναι το κέντρο της μπάντας (της ζώνης) στην οποία λειτουργεί.

Σε κάθε συχνότητα αντιστοιχεί ένα και μόνο καθορισμένο μήκος κεραίας, το οποίο εμείς δεν είναι εύκολο να το αλλάζουμε συνεχώς καθώς αλλάζουμε την συχνότητα εκπομπής, οπότε διατηρώντας αμετάβλητο το μήκος της κεραίας, πέραν της ωμικής αντίστασης που παρουσιάζει όταν αντηχεί, θα εμφανίζει και μια αντίδραση επαγωγική ή χωρητική με την αλλαγή συχνότητας εκπομπής και ενώ το μήκος της παραμένει το ίδιο.

Αυτό ακριβώς συμβαίνει στις κεραίες μιας ζώνης (μιας μπάντας) ή και στις περιπτώσεις κεραίων πολλαπλών ζωνών.

Ξθάνοντας το σήμα στην κεραία συναντά εάν υπάρχει συντονισμός τη σύνθετη αντίστασή  $Z$  να είναι ίση με μια καθαρά ωμική αντίσταση  $R$ , εάν όμως δεν υπάρχει συντονισμός η σύνθετη αντίσταση  $Z$  είναι ίση με την καθαρά ωμική αντίσταση  $R$  συν επί πλέον μια αντίδραση  $X$ .

Με την εμφάνιση της αντίδρασης (όπως αλλιώς τη λέμε και άερνη αντίσταση) παύει η κεραία να έχει την τιμή των  $50\Omega$  διότι προστίθεται σε αυτή και η άερνη αντίσταση (η αντίδραση) βλέπε εξίσωση (1), επομένως η γραμμή μεταφοράς RG (πχ η RG-213) παύει να έχει την αντίσταση των  $50\Omega$  και γίνεται πλέον εμφανές το πρόβλημα της κακής προσαρμογής μεταξύ πομπού και κεραίας **καθότι αναγκαία συνθήκη για την αέραια μεταφορά της ενέργειας από τον πομπό στην κεραία είναι η ταύτιση των αντιστάσεων πομπού, γραμμής μεταφοράς και κεραίας**. Αποτέλεσμα της κακής προσαρμογής είναι:



**Σχήμα 2**

Η εμφάνιση των στασίμων κυμάτων τα οποία είναι η ενάθροιση (η συμβολή) του οδεύοντος κύματος και του ανακλώμενου βλέπε (Σχ.2Α), αυτού δηλαδή που επιστρέφει με μια διαφορά φάσης διάφορης των  $180^\circ$  μοιρών. Με διαφορά φάσης  $180^\circ$  (Σχ.2Β) η συμβολή του οδεύοντος και του ανακλώμενου κύματος δίνουν συντονισμό, εξαναγκασμένη ταλάντωση στην κεραία και σε αυτή την περίπτωση η ταλάντωση παρουσιάζει το μέγιστο πλάτος. Στη μωβ περιοχή εξελίσσεται η ταλάντωση των στασίμων κυμάτων.

Τα στάσιμα κύματα είναι στατικά στην κίνηση τους συναρτήσει του χρόνου και η ενέργεια που δεσμεύουν είναι αυτή που δεν μπόρεσε να μετατραπεί σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα από την κεραία.

Οι σύγχρονοι πομποδέκτες με ημιαγωγούς είναι ευαίσθητοι στην αύξηση της θερμοκρασίας στο στάδιο εξόδου που μπορεί να προκληθεί από τα στάσιμα κύματα. Όταν υπάρχουν στάσιμα κύματα μειώνουμε με ένα σύστημα προστασίας αυτομάτου ελέγχου την ισχύ που εκπέμπεται συναρτήσει του μεγέθους των στασίμων κυμάτων που εμφανίζονται και αναγνωρίζονται, κατά συνέπεια δεν απελευθερώνεται όλη η ισχύς που δύναται να εκπέμψει ο πομπός για να αποφύγουμε μια ενδεχόμενη βλάβη στο στάδιο εξόδου.

Όταν το πλάτος των στασίμων κυμάτων δεν υπερβαίνει την μέγιστη τάση αντοχής του ομοαξονικού καλωδίου αυτά δεν του δημιουργούν πρόβλημα. Η αύξηση όμως της θερμοκρασίας του καλωδίου λόγω των υψηλών τάσεων μπορεί να επιφέρει τήξη στο πλαστικό διηλεκτρικό που διατηρεί σταθερή απόσταση μεταξύ κεντρικού αγωγού και θωράκισης, με αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτρικών σπινθήρων που αναιρούν τη λειτουργία της γραμμής μεταφοράς (με την δημιουργία βραχυκυκλώματος).

Επί πλέον όταν έχουμε Σ.Κ παρουσιάζεται επιστροφή RF (ραδιοσυχνότητας) που παραμορφώνει τη διαμόρφωση εκπομπής, δημιουργεί TVI και απώλεια ενέργειας που οδεύει στη γη. Αυτή η ενέργεια που χάνεται δεν θα μπορέσει ποτέ να εκπεμφθεί από την κεραία υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και λογίζεται στις απώλειες του κεραϊκού συστήματος.

## Συζυγείς Αντιστάσεις και Αντιστάθμιση

Όλα αυτά που αναφέρθηκαν σηματοδοτούν την ανάγκη ύπαρξης ενός μηχανισμού με τον οποίο θα ελέγξουμε και θα μηδενίσουμε τα στάσιμα κύματα που πηγαίνουν μέσω της γραμμής μεταφοράς στον πομποδέκτη. Η εξάλειψη των στασίμων κυμάτων επιτυγχάνεται μέσω ενός κυκλώματος προσαρμογής μεταξύ πομπού και κεραίας που δημιουργεί μια αντιστάθμιση στην αντίδραση της μιγαδικής συζυγούς αντίστασης της κεραίας.

Επομένως η επιζητούμενη προσαρμογή που χρειαζόμαστε δεν είναι τίποτε άλλο από την δημιουργία μιας μιγαδικής συζυγούς αντίστασης για την

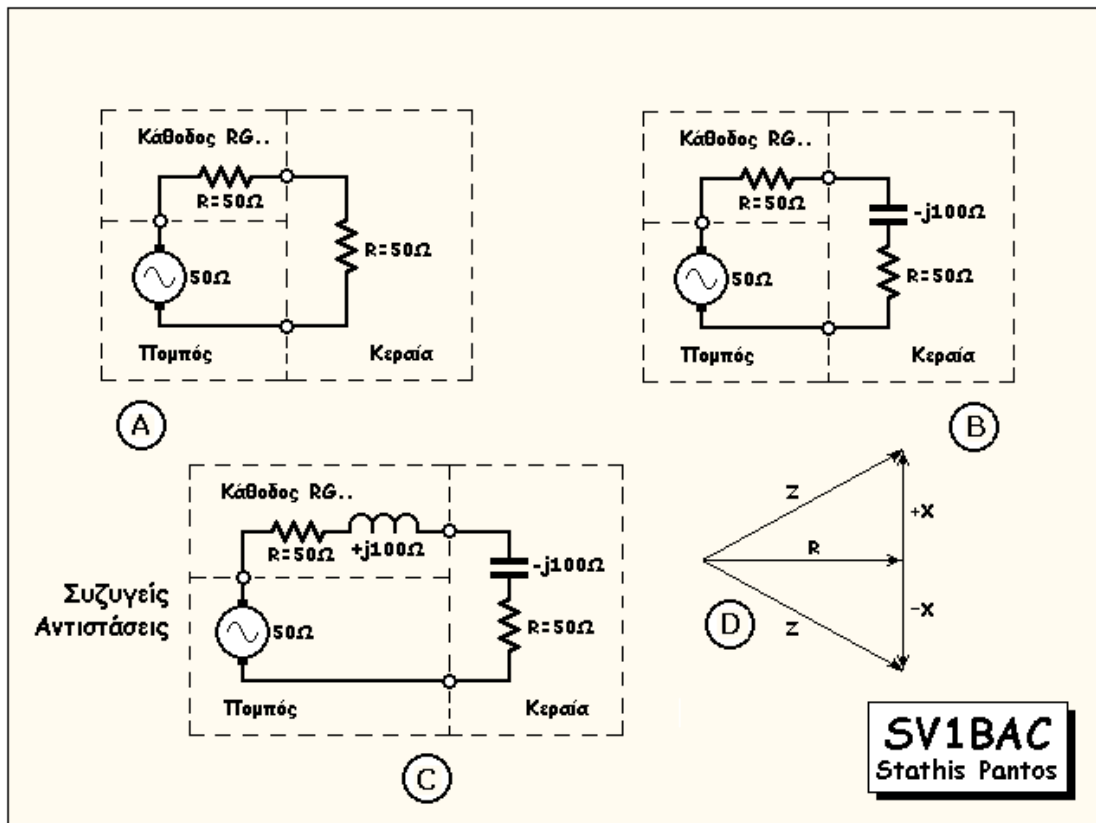
αντιστάθμιση της αντίδρασης που δημιουργεί η κεραία με την έλλειψη συντονισμού, βλέπε (Σχ.3).

( Δυο μιγαδικοί αριθμοί λέγονται Συζυγείς όταν έχουν ίσα, τα πραγματικά τους μέλη και αντίθετα τα φανταστικά, πχ  $50+j100\Omega$  και  $50-j100\Omega$  αποτελούν ένα ζεύγος μιγαδικών συζυγών αριθμών).

## Αντιστάθμιση της Αντίδρασης Κεραίας

Ας εξετάσουμε όμως λεπτομερέστερα μέσα από το (Σχ.3) το πως γίνεται η αντιστάθμιση η εξουδετέρωση της αντίδρασης της κεραίας  $X_L$  ή  $X_C$ .

Η γραμμή τροφοδοσίας πχ ένα ομοαξονικό καλώδιο **RG-213** των **50 Ω** όταν η κεραία παρουσιάζει μόνο ωμική αντίσταση **R** η αντίστασή του δεν αλλάζει παραμένει **50Ω** και έχουμε προσαρμογή μεταξύ πομπού και κεραίας. Όταν στην ωμική αντίσταση της κεραίας **R** προστεθεί μια αντίδραση **jX** η σύνθετη αντίσταση της είναι **Z= R+jX** και σημαίνει πως δεν έχουμε συντονισμό, αντήχηση. Η αντίσταση του ομοαξονικού καλωδίου τροφοδοσίας δεν είναι πια **50Ω** μεταβάλλεται, οπότε δεν υπάρχει προσαρμογή μεταξύ πομπού και κεραίας με αποτέλεσμα την δημιουργία στασίμων κυμάτων και την απώλεια ενέργειας που δεν θα μπορέσει να μετατραπεί σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα.



Σχήμα 3

Η συντριπτική πλειοψηφία των πομποδεκτών έχουν έξοδο 50Ω, εάν η ομοαξονική γραμμή τροφοδοσίας των 50Ω στο σημείο που συνδέεται με την κεραία συναντά ένα καθαρά ωμικό στοιχείο των 50Ω η αντίσταση του πομποδέκτη προσαρμόζεται απόλυτα με αυτή της κεραίας. Διαφορετικά εάν δεν συμβεί αυτό, η γραμμή μεταφοράς δεν παρουσιάζει πλέον την τιμή των 50Ω και έχουμε κακή προσαρμογή μεταξύ πομπού και κεραίας με χάσιμο ενέργειας που δεσμεύεται από τα στάσιμα κύματα. Επομένως για τη σωστή λειτουργία θα χρειαστεί η εξάλειψη των στασίμων κυμάτων. Για την εξάλειψη τους η διορθωτική παρέμβαση γίνεται στο προηγούμενο στάδιο που τροφοδοτεί την κεραία και πρόκειται για τη δημιουργία μιας συζυγούς μιγαδικής αντίστασης για την αντιστάθμιση της μιγαδικής αντίστασης της κεραίας που είναι το γενεσιουργό αίτιο των στασίμων κυμάτων.

Στην εικόνα αυτή (Σχ.3Α) εικονίζεται η μιγαδική αντίσταση μιας κεραίας με πραγματικό μέλος την καθαρά ωμική αντίσταση των 50Ω και με φανταστικό μέλος μια χωρητική αντίδραση  $-X_c = -j100\Omega$ . Για την αντιστάθμιση (την εξουδετέρωση) του φανταστικού μέλους της κεραίας, δημιουργούμε την συζυγή μιγαδική αντίσταση στη γραμμή τροφοδοσίας την  $50 + j100\Omega$  (Σχ.3C).



Αποτελεί κανόνα πως για να μεταφέρουμε εις το ακέραιο την παραγόμενη ενέργεια από έναν πομπό σε μια κεραία χρειάζεται απόλυτη προσαρμογή μεταξύ τους, δηλαδή πομπός, γραμμή μεταφοράς και κεραία πρέπει να έχουν την ίδια αντίσταση π.χ  $50\Omega$ .

Όπως είπαμε η αντιμετώπιση των στασίμων κυμάτων επιτυγχάνεται με ένα σύστημα προσαρμογής του πομπού με την κεραία με το οποίο εξαλείφουμε την άεργη αντίσταση της κεραίας που είναι το γενεσιουργό αίτιο των στασίμων κυμάτων. Αυτό το σύστημα προσαρμογής είναι το **Antenna Tuner (ATU)** και το **Κάπλερ (Coupler)** των οποίων η λειτουργία είναι ταυτόσημη.

Εάν δεν μειώσουμε εις το έπακρο τα στάσιμα κύματα ( $\Sigma.K$ ), το σύστημα αναγνώρισης ( $\Sigma.K$ ) του πομπού για την προστασία του θα μειώσει δραστικά την εκπεμπόμενη ισχύ.

Με την εμφάνιση της άεργης αντίστασης η γραμμή μεταφοράς παύει να έχει την τιμή  $\pi\chi$  των  $50\Omega$  διότι η σύνθετη αντίσταση της κεραίας  $Z$  άλλαξε με την προσθήκη της  $jX$  και δεν έχουμε πλέον προσαρμογή πομπού και κεραίας. Η αντίδραση  $X_L$  ή  $X_C$  αποτελεί την αιτία δημιουργίας των στασίμων κυμάτων ( $\Sigma.K$ ).

Ο πομπός όταν δεν διαβάζει στάσιμα κύματα ελευθερώνει όλη την ισχύ που διαθέτει, όταν όμως υπάρχουν αυτά δεν θα φύγει όλη από την κεραία υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διότι ένα μέρος της παγιδεύεται από τα  $\Sigma.K$ , τα οποία είναι η ενάθροιση (η συμβολή) του οδεύοντος κύματος και του ανακλώμενου, αυτού δηλαδή που επιστρέφει με μια διαφορά φάσης διάφορη των  $180^\circ$  (μοιρών) βλέπε (Σχ.2)

## Η Βέλτιστη Θέση τοποθέτησης του Antenna Tuner

Η ιδανική θέση για την τοποθέτηση του Antenna Tuner (ATU) είναι το σημείο όπου η κεραία συνδέεται με τη γραμμή τροφοδοσίας. Με αυτόν τον τρόπο, ο πομπός μπορεί να προσαρμόζεται με την κεραία σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων, καλές προσαρμογές και χαμηλά επίπεδα του **SWR**.

Το να βρίσκεται το Antenna Tuner στο σημείο τροφοδοσίας της κεραίας δυστυχώς δεν είναι πάντα εύκολο να γίνει αυτή η τοποθέτηση. Αυτό μπορεί να

βρίσκεται σε κάποια απόσταση από τον πομπό και θα μπορούσε ακόμη και να είναι σε θέση που δεν θα ήταν προσβάσιμη από τον χειριστή ασυρμάτου. Υπό αυτές τις συνθήκες, το Antenna Tuner (ATU) μπορεί να βρίσκεται κοντά στον πομπό, ακόμη και όταν χρησιμοποιείται ομοαξονική γραμμή τροφοδοσίας για τη σύνδεση του ATU με την κεραία.

Είναι λανθασμένη η αντίληψη ότι μια υψηλή αναλογία στασίμων κυμάτων SWR με την χρήση ATU ή Κάπλερ προκαλεί απώλειες ενέργειας. Αυτό δεν ευσταθεί. Όταν υπάρχει υψηλός λόγος στασίμων κυμάτων που προκύπτει από την ανάκλαση ισχύος κατά μήκος της γραμμής τροφοδοσίας σαν αποτέλεσμα έλλειψης προσαρμογής, τα στάσιμα κύματα εισέρχονται στο Antenna Tuner και ανακλώνται πίσω κατά μήκος της γραμμής τροφοδοσίας προς την κεραία και ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας ακτινοβολείται υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Ακόμα και με SWR 2:1, ανακλάται το 11% της ισχύος και το 89% ακτινοβολείται.

### **Το ATU τοποθετημένο κοντά στον πομπό.**

Η γραμμή τροφοδοσίας ανοικτής (συμμετρικής) γραμμής χρησιμοποιείται συχνά για κεραίες όπου υπάρχουν υψηλά επίπεδα στασίμων κυμάτων. Καθώς οι απώλειες στη γραμμή τροφοδοσίας τύπου ανοικτής γραμμής είναι πολύ χαμηλές, αυτές δεν δημιουργούν μεγάλο πρόβλημα.

Αντιθέτως χρησιμοποιώντας ομοαξονικό καλώδιο οι απώλειες είναι υψηλότερες, αλλά εάν χρησιμοποιείται καλώδιο χαμηλών απωλειών δηλαδή καλώδιο υψηλής ποιότητας, τότε οι συνολικές απώλειες είναι αποδεκτές.

Εφόσον το ομοαξονικό καλώδιο μπορεί να λειτουργήσει με την υψηλότερη τάση και τα επίπεδα του ρεύματος που προκαλούνται από το υψηλό SWR, τότε αυτό είναι αρκετά αποδεκτό για τα όρια ασφαλείας του καλωδίου τροφοδοσίας της κεραίας. Το κύριο ζήτημα είναι να αποφευχθεί ο πομπός να βλέπει το υψηλό SWR καθώς αυτό μπορεί να βλάψει την έξοδο οπότε το κύκλωμα προστασίας θα μειώσει την έξοδο ισχύος από τον πομπό.

Κατά συνέπεια, είναι αρκετά αποδεκτό να χρησιμοποιείται ένα ATU κοντά στον πομπό και όχι στο σημείο τροφοδοσίας της κεραίας.

Χρειάζεται να τοποθετήσουμε μια γέφυρα στασίμων κυμάτων στη γραμμή μεταφοράς μετά τον πομπό για να παρακολουθούμε το πραγματικό επίπεδο των Στασίμων Κυμάτων που επιστρέφουν προς αυτόν.

Τα **Antenna Tuner** και τα **Coupler** είναι από τα βασικά είδη εξοπλισμού για οποιοδήποτε σύστημα ραδιοεπικοινωνιών **HF**. Οι ίδιες αρχές ισχύουν και για τα **VHF** και για υψηλότερες συχνότητες, οι τύποι όμως των κεραιών και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σημαίνουν ότι αυτοί οι παρελκόμενοι μηχανισμοί πομποδεκτών για την τροφοδοσία των κεραιών δεν απαιτούνται σε αυτές τις κατηγορίες συχνοτήτων.

Για τα **HF**, τα **ATU & Coupler** επιτρέπουν τη μέγιστη ποσότητα ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί στην κεραία, ανεξάρτητα από το εάν χρησιμοποιείται πομπός χαμηλής ή υψηλής ισχύος. Συνεπώς, αυτές οι συσκευές για την τροφοδοσία κεραιάς χρησιμοποιούνται ευρέως για όλες τις μορφές αμφίδρομης ραδιοεπικοινωνίας, καθώς και για μετάδοση, παρακολούθηση και ποικιλία άλλων εφαρμογών στη ζώνη των **HF**.

## Η Εξήγηση της Παράδοξης Λειτουργίας των **ATU** και **Κάπλερ**

Όπως ειπώθηκε σε προηγούμενη παράγραφο παρατηρείται ένα φαινόμενο που μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε παράδοξο αλλά καθ' όλα όμως υπαρκτό, το ότι ένα μεγάλο ποσοστό απολεσθείσης ενέργειας από τα **Σ.Κ** επιστρέφει από το **ATU** ή το **Κάπλερ** στην κεραία και εκπέμπεται σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα, πράγμα που μειώνει τις απώλειες της κεραιάς. Θα εξηγήσουμε ευθύς αμέσως τον λόγο για τον οποίο συμβαίνει αυτό.

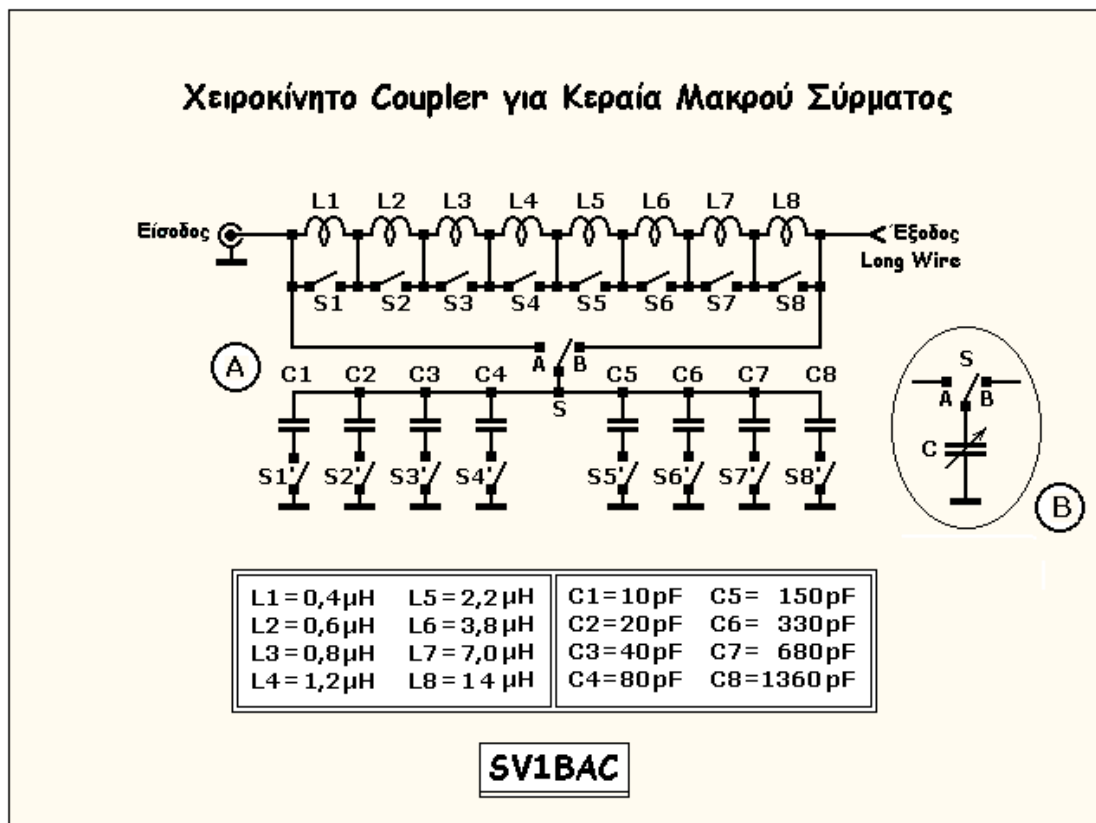
Γνωρίζουμε από τις βασικές γνώσεις του ηλεκτρισμού ότι μπορούμε να τοποθετήσουμε αντιστάσεις εν σειρά και παράλληλα σε ένα κύκλωμα και να τροποποιήσουμε την συνολική του αντίσταση κατά βούληση. Φυσικά, οι αντιστάσεις απορροφούν ενέργεια και την αποδίδουν υπό μορφή θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο, για το λόγο αυτό δεν τις χρησιμοποιούμε σε συστήματα κεραιών διότι θα μας δημιουργήσουν απώλειες ενέργειας.

Από την άλλη γνωρίζουμε επίσης ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πηνία και πυκνωτές για να αλλάξουμε την αντίσταση ενός κυκλώματος που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. **Πρέπει να γνωρίζουμε όμως ότι ιδανικά πηνία και πυκνωτές χωρίς απώλειες δεν υπάρχουν, αυτά όμως έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου.**

Εκμεταλλευόμενοι αυτή ακριβώς την ιδιότητα αποθήκευσης ενέργειας σε πηνία και πυκνωτές, είναι δυνατόν να μετατρέψουμε την σύνθετη αντίσταση ενός

συστήματος κεραίας στα  $50 \Omega$  χωρίς να χάσουμε ενέργεια από την διαδικασία αυτής της μετατροπής. Αυτό ακριβώς συμβαίνει στη λειτουργία ενός **Antenna Tuner** ή **Cupler** που μεσολαβούν μεταξύ πομπού και κεραίας και μπορούμε να ανακτήσουμε μεγάλο μέρος της ενέργειας από αυτή που τα στάσιμα κύματα δέσμευσαν από την κεραία.

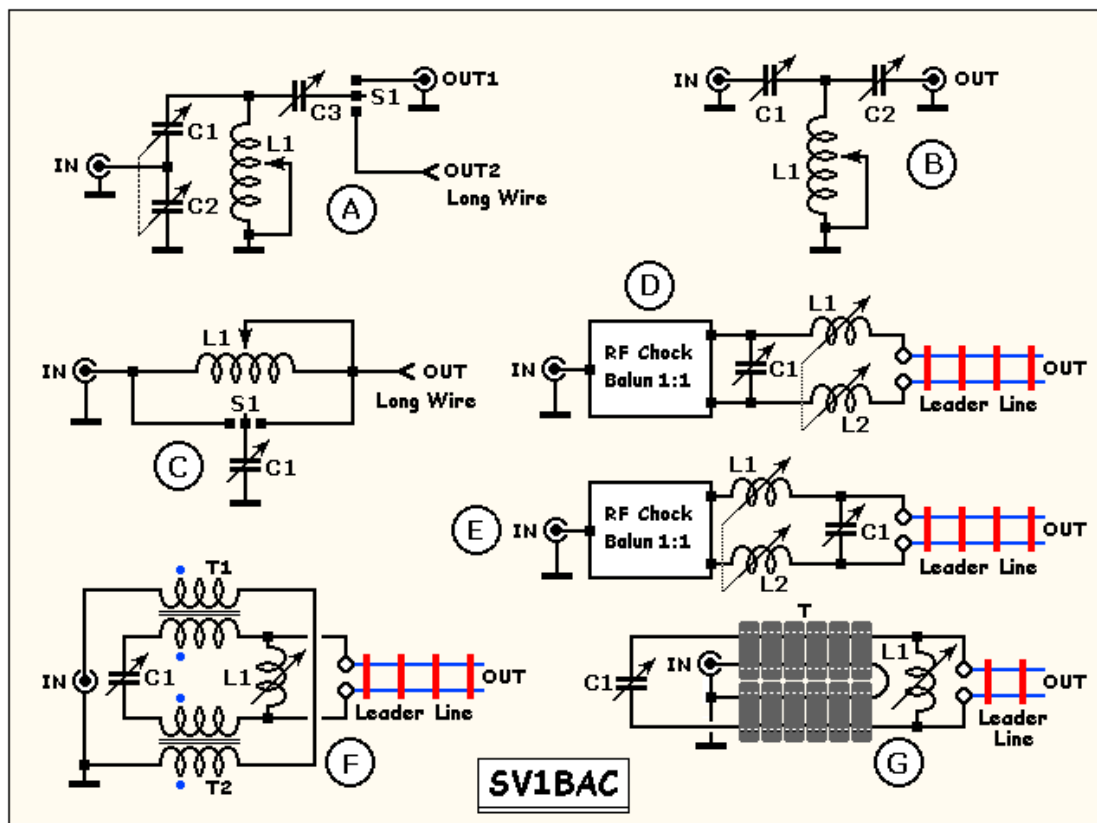
Επομένως έχουμε ένα μεγάλο πλεονέκτημα με την χρήση αυτών των συσκευών, την ανάκτηση ενέργειας μέσα από τα Σ.Κ, ενέργεια που απορρόφησαν από την κεραία με την εμφάνιση της άεργης αντίστασης που δημιουργήθηκε με την απομάκρυνση της συχνότητας εκπομπής από την ιδιοσυχνότητα της κεραίας.



**Σχήμα 4**

Το εικονιζόμενο ηλεκτρικό κύκλωμα (Σχ.4) αποτελεί ένα κλασικό κύκλωμα ενός χειροκίνητου *Antenna Coupler*, όπως βλέπετε πρόκειται για ένα χαμηλοπερατό δίκτυο. Όταν η αντίσταση εισόδου είναι μικρότερη από αυτή της εξόδου ( $R_{εισόδου} < R_{εξόδου}$ ), ο μεταγωγός *S* πρέπει να βρίσκεται στη θέση *A* και όταν η αντίσταση εξόδου είναι μικρότερη από αυτή της εισόδου ( $R_{εξόδου} < R_{εισόδου}$ ) στη θέση *B*. Καθότι οι επαγωγές και χωρητικότητες έχουν

σταθερές τιμές που δεν γίνεται να μεταβληθούν, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν με τους διάφορους συνδυασμούς της σύνδεσης αυτών και σε διαφορετικές συχνότητες, μπορούν να μην εξαλείφουν απόλυτα τα στάσιμα κύματα αλλά τα φέρνουν σε μια πολύ χαμηλή επιτρεπτή στάθμη για ομαλή λειτουργία κατά την εκπομπή. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι η τοποθέτηση ενός μεταβλητού πυκνωτή  $C$  στη θέση των σταθερών πυκνωτών για μια πιο μηχανικά γραμμική μεταβολή της χωρητικότητας και του αποτελέσματος προσαρμογής βλέπε (Σχ.4B). Αν πρόκειται για συσκευή QRP είναι προτιμότερη η κατασκευαστική λύση με τους σταθερούς πυκνωτές.



Σχήμα 5

Στο (Σχ.5) εικονίζονται διάφορα είδη Antenna Tuners (ATU). Για κεραίες που τροφοδοτούνται από ομοαξονική γραμμή για κεραίες μακρού σύρματος (Long Wire, L.W) και για κεραίες που τροφοδοτούνται από Συμμετρική Γραμμή (Leader Line). Στο (Σχ.5A) εικονίζεται ένα συνηθισμένο ATU που ρυθμίζει κεραίες με ομοαξονική γραμμή τροφοδοσίας και μακρού σύρματος. Στο (Σχ.5B) ρυθμίζει κεραίες ομοαξονικής γραμμής τροφοδοσίας. Στο (Σχ.5C) ρυθμίζει κεραίες μακρού σύρματος (L.W). Στο (Σχ.5D) ρυθμίζει

κεραίες συμμετρικής γραμμής τροφοδοσίας (Leader Line) Υψηλής αντίστασης και στο (Σχ.5E) Χαμηλής Αντίστασης. Στο (Σχ.5F) το ATU ονομάζεται S-Tuner το ίδιο και αυτό του (Σχ.5G) που ρυθμίζει κεραίες με τροφοδοσία από συμμετρική γραμμή, κατασκευασμένο από τον Ρώσο ραδιοερασιτέχνη RZ3AE χρησιμοποιώντας για μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας (Υ.Σ) ένα διοπτρικό πυρήνα (σε διάταξη δύο στηλών) φτιαγμένο από τοροειδείς φερριτές υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας.

Στάσιμα Κύματα από την ιστοσελίδα:

[https://en.wikibooks.org/wiki/A-level\\_Physics\\_\(Advancing\\_Physics\)/Standing\\_Waves](https://en.wikibooks.org/wiki/A-level_Physics_(Advancing_Physics)/Standing_Waves)

**(\*) Εμπέδηση ή Σύνθετη Αντίσταση:**

Είναι ένα μέγεθος του ηλεκτρισμού που αναφέρεται σε κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος. Η εμπέδηση επεκτείνει την έννοια της αντίστασης και σε κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος όπου η τάση και η ένταση δεν είναι συμφασικά. Συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα  $Z$  και συχνά αναγράφεται σε μιγαδική αριθμητική μορφή. Η εμπέδηση μπορεί να είναι επαγωγική ή χωρητική και προκύπτει από την εν σειρά σύνδεση μίας ωμικής αντίστασης με ένα πηνίο ή ένα πυκνωτή αντίστοιχα. Ο όρος εμπέδηση επινοήθηκε από τον *Oliver Heaviside* το 1886. Ο πρώτος που χρησιμοποίησε μιγαδική μορφή της εμπέδησης ήταν ο *Arthur Kennelly* το 1893. Σύμφωνα με το γενικευμένο νόμο του *Ohm*, η εμπέδηση ισούται με τον λόγο της τάσης προς την ένταση ηλεκτρικού ρεύματος για μία συγκεκριμένη συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος όταν η τάση και η ένταση δίνονται σε μιγαδική μορφή. Η τιμή της εμπέδησης ενός κυκλώματος ενδέχεται να μεταβάλλεται με την μεταβολή της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει και συχνά παριστάνεται ως μιγαδική συνάρτηση της γωνιακής συχνότητας του ρεύματος ( $\omega$ ). Μονάδα μέτρησης της είναι το  $\Omega$ , όπως και της ωμικής αντίστασης.

Στην Ελλάδα Το 1972 , ο καθηγητής *Καίσαρ Αλεξόπουλος*, καθηγητής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, αλλάζει τον όρο σύνθετη αντίσταση που χρησιμοποιούσαν μέχρι τότε και εισάγει τον όρο εμπέδηση, προσπαθώντας να αποδώσει τον Αγγλικό όρο *impedance* στα Ελληνικά. Από τότε μέχρι σήμερα, η χρήση του όρου εμπέδηση γενικεύτηκε, κυρίως με την βοήθεια των σχολικών βιβλίων. Η αλλαγή όμως αυτή δεν έλυσε το πρόβλημα γιατί δεν επεκτάθηκε και σε άλλες έννοιες, όπως π.χ. η σύνθετη αγωγιμότητα (*admittance*). Η Μόνιμη Ομάδα Τηλεπικοινωνιακής Ορολογίας όμως ασχολήθηκε με το θέμα από το 1994 και επανέφερε τον όρο σύνθετη αντίσταση, που αποδίδει μάλλον ορθότερα την έννοια αυτή. Η σύνθετη αντίσταση λοιπόν αποτελείται από δύο στοιχεία, ένα πραγματικό, που είναι η καθαρά ωμική αντίσταση  $R$  του κυκλώματός και ένα φανταστικό που είναι η αντίδραση  $X$  που παρουσιάζει το κύκλωμα κατά την διέλευση του εναλλασσόμενου ρεύματος μέσα από αυτό.

Εμπέδηση, από την ιστοσελίδα : <https://el.wikipedia.org/wiki/> &  
<http://www.hellenicaworld.com/Science/Physics/gr/ΙλεκτρικιEmpedisi.html>

**Στάθης Πάντος (Stathis Pantos)**

**SV1BAC ex sv0cn, i8jke**

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

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