

Antenna tuners: Πόσο οφελούν;

Σε πείσμα όσων πιστεύουν ότι δεν πρέπει να ασχολούμαστε με «ιδανικά κυκλώματα» αφού δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν, η γνώμη μου είναι πως είναι καλό να ξεκινήσουμε με μια «ιδανική γραμμή μεταφοράς» γιατί τα συμπεράσματα που θα καταλήξουμε θα μας οδηγήσουν να καταλάβουμε τι συμβαίνει σε μια «πραγματική γραμμή μεταφοράς».

Μια ιδανική γραμμή μεταφοράς μπορεί να έχει στάσιμα, αλλά δε μπορεί να έχει απώλειες. Αυτό σημαίνει πως όση ισχύς μπαίνει στο ένα άκρο, τόση βγαίνει από το άλλο.

Έστω λοιπόν ότι ο πομπός συνδέεται με το tuner με μια ιδανική γραμμή μεταφοράς ενώ το tuner συνδέεται με την κεραία με μια άλλη ιδανική γραμμή μεταφοράς. Έστω 100 W η έξοδος του πομπού.

Ο πομπός βλέπει στην έξοδο του φορτίο 50 Ω, άρα τα 100 W μέσω της γραμμής φθάνουν στην είσοδο του tuner και κει δεν υπάρχει καμία ανάκλαση. Άρα τα 100 W μπαίνουν στο tuner.

Αν και το tuner είναι ιδανικό, τα 100 W θα βγουν στην έξοδο του και θα κατευθυνθούν προς την κεραία. Επειδή όμως η κεραία δεν είναι 50 Ω (αλλιώς δεν θα χρειαζόταν tuner) ένα μέρος του σήματος θα ανακλαστεί όταν φθάσει στην κεραία. Αυτό επιστρέφοντας θα ανακλαστεί εκ νέου από την έξοδο του tuner προς την κεραία για άλλη μια φορά. Όπως φαντάζεστε θα συμβούν πολλαπλές ανακλάσεις αλλά το τελικό αποτέλεσμα θα είναι:

α) Ένα οδεύον κύμα από το tuner προς την κεραία.

β) Ένα επιστρέφον κύμα προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Επειδή όμως το οδεύον κύμα είναι αποτέλεσμα πολλαπλών ανακλάσεων, δε θα έχει την ισχύ του αρχικού οδεύοντος αλλά μεγαλύτερη. Αν για παράδειγμα το επιστρέφον κύμα είναι 33 W, το οδεύον θα είναι 133 W ώστε η διαφορά τους να είναι 100 W, όσο η ισχύς του πομπού. Ο καταναλωτής που θα είναι στην άκρη του καλωδίου (η κεραία ή κάποιο dummy load) θα απορροφά τη διαφορά της οδεύουσας από την επιστρέφουσα ισχύ, δηλ. τα 100 W στη συγκεκριμένη περίπτωση **έστω κι αν δεν έχει αντίσταση 50 Ω** και, αν είναι κεραία, θα τα εκπέμπει. Τι θα είχε συμβεί όμως αν δεν είχαμε βάλει το tuner;

Επειδή η κεραία δεν είναι 50 Ω, το αρχικό σήμα των 100 W που θα έστελνε ο πομπός προς την κεραία θα ανακλώταν εν μέρει απ' την κεραία. Αν το VSWR είναι 3:1, όπως στην παραπάνω περίπτωση, θα είχαμε επιστρέφον 25 W. Επομένως η κεραία θα έπαιρνε και θα εξέπεμπε 75 W. Στην ιδανική περίπτωση που η αντίσταση εξόδου του πομπού είναι 50 Ω, ο συντελεστής ανάκλασης του επιστρέφοντος κύματος στον κονέκτορα του πομπού είναι 0, άρα το επιστρέφον κύμα **δεν** θα ανακλώταν εκ νέου προς την κεραία (δηλ. θα υπήρχε προσαρμογή όσον αφορά το ανακλώμενο κύμα). Άρα ο πομπός θα έδινε συνολικά 75 W. Δηλαδή στην περίπτωση «ιδανική γραμμή και ιδανικό tuner» το tuner σώζει (Watt, όχι ζωές).

Ας πάμε στις πραγματικές συνθήκες τώρα. Αφού η γραμμή έχει απώλειες, και αφού από τον πομπό μέχρι το tuner δεν υπάρχει επιστρέφον, οι απώλειες σ' αυτό το κομμάτι είναι ακριβώς αυτές που δίνει ο κατασκευαστής του καλωδίου. Στο κομμάτι του καλωδίου από το tuner προς την κεραία όμως θα έχουμε:

α) Τις απώλειες που αντιστοιχούν σε ένα οδεύον των 133 W και

β) Τις απώλειες που αντιστοιχούν σε ένα επιστρέφον των 33 W.

Δηλαδή θα έχουμε ουσιαστικά τις απώλειες που αντιστοιχούν σε ένα κύμα ισχύος 166 W. Βλέπουμε δηλαδή ότι, αν και μεταφέρουμε ισχύ 100 W, οι απώλειες μας είναι όσες θα είχαμε αν μεταφέραμε 166 W σε πλήρη προσαρμογή. Άρα 1,66

φορές όσες δίνει ο κατασκευαστής (προσοχή: δεν είναι τα dB που πολλαπλασιάζονται επί 1,66 αλλά τα Watt που χάνονται στη μεταφορά).

Αυτό δεν είναι πολύ κακό αν έχουμε γραμμή μικρών απωλειών. Τα πράγματα όμως είναι διαφορετικά αν θέλουμε να συντονίσουμε μια κεραία με πάρα πολλά στάσιμα. Φανταστείτε δηλαδή το οδεύον από το tuner προς την κεραία να είναι 500 W και το επιστρέφον 400 W. Οι απώλειες στο καλώδιο θα είναι αυτές που αντιστοιχούν σε 900 W οδεύοντος, δηλ. 9 πλάσιες απ' το κανονικό. Σε τόσο «άγριες» περιπτώσεις σαν αυτή ο δρόμος θα βρεθεί μετά από ένα σωστό υπολογισμό. Πχ $VSWR=7:1$ σημαίνει ότι στα 100 W οδεύουσας ισχύος, τα 56,25 W επιστρέφουν, άρα στην κεραία φτάνουν τα 43,75 W. Αν η κάθοδος έχει 0,5 dB απώλειες, στην κεραία φτάνουν όχι 43,75 αλλά 39 W.

Έστω τώρα ότι έχουμε συνδέσει ένα tuner στην έξοδο του πομπού. Ο λόγος στασίμου κύματος παραμένει 7:1 γιατί έχει να κάνει με τη σχέση της αντίστασης της κεραίας με την χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής. Υποθέτοντας **ιδανική** κάθοδο (δηλ. 0 dB απώλειες) η ισχύς του οδεύοντος θα είναι περίπου 228,57 W(!) και του επιστρέφοντος 128,57 W. Πως προκύπτουν αυτοί οι αριθμοί; Χρειάζεται μια μικρή ανάλυση που όποιος δεν ενδιαφέρεται μπορεί να την προσπεράσει.

$VSWR 7:1$ σημαίνει ότι η οδεύουσα προς την επιστρέφουσα **τάση** (ή ένταση) έχουν λόγο 4/3. Το τετράγωνο του 4/3 ($=16/9$) είναι η οδεύουσα προς την επιστρέφουσα **ισχύ**. Μόνο στην περίπτωση που η οδεύουσα ισχύ είναι 228,57 W και η επιστρέφουσα 128,57 W ο λόγος τους θα είναι 16/9 και η διαφορά τους 100 W (όση η ισχύ του πομπού).

Ας βάλουμε τώρα στον υπολογισμό και την απώλεια του 0,5 dB στο καλώδιο. Σε περιπτώσεις όπως κι αυτή που τα στάσιμα είναι πολλά, ένας υπολογισμός της απώλειας ισχύος που θα βασίζεται στο άθροισμα της οδεύουσας και της επιστρέφουσας ισχύος είναι χονδροειδής. Με ένα ακριβή υπολογισμό καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στην κεραία θα φθάσουν 70,5 W περίπου. Άρα έχουμε κέρδος σε σχέση με την περίπτωση που ο πομπός πήγαινε κατ' ευθείαν στην κεραία, αφού τότε έφταναν μόνο 39 W. (Τα παραπάνω βέβαια ισχύουν αν οι απώλειες μέσα στο tuner είναι μηδενικές, κάτι που προφανώς δεν ισχύει. Οι απώλειες αυτές αυξάνουν όσο αυξάνουν τα στάσιμα).

Αν η κάθοδος έχει 2 dB απώλειες και το $VSWR$ είναι πάλι 7:1, παρόμοιοι υπολογισμοί δίνουν ότι με 100 W ισχύ εκπομπής και το tuner στην έξοδο του πομπού, τα 35,6 W θα φθάσουν στην κεραία. Άρα το όφελος του tuner είναι μικρό σ' αυτή την περίπτωση. Για την ακρίβεια χωρίς tuner, με στάσιμα 7:1 και απώλειες 2 dB, μόνο τα 27,6 από τα 100 W του πομπού θα φτάσουν στην κεραία. Όμως αν από τα 35,6 W που υπολογίσαμε ότι θα φτάσουν με τη βοήθεια του tuner, αφαιρέσουμε αυτά που χάνονται στο ίδιο το tuner, (δε θα χάνονται 8 με 9W;) το κέρδος είναι ανύπαρκτο.

Στην περίπτωση τέλος που η απώλεια είναι 3 dB, θα έχουμε μόνο 25,6 W επί κεραίας. Οπότε... ούτε να το συζητάμε.

Μπορούμε να τη βγάλουμε καθαρή σε κάθε περίπτωση, αν το tuner είναι κοντά στην κεραία, οπότε κατ' ανάγκη θα χρησιμοποιήσουμε μικρό καλώδιο. Τότε δεν έχουμε παρά να υπολογίσουμε τις απώλειες ισχύος στα κυκλώματα του tuner.

Θα ήταν χρήσιμο να δείξουμε πως υπολογίζονται οι απώλειες στη γραμμή που συνδέει το tuner με την κεραία. Στο **Σχήμα 1** δείχνουμε το συνδυασμό tuner – γραμμή μεταφοράς – κεραία. P_o είναι η οδεύουσα ισχύ στην έξοδο του tuner, ενώ P_e η αντίστοιχη επιστρέφουσα. P_{in} η οδεύουσα ισχύ στη σύνδεση με την κεραία, ενώ P_{out} η αντίστοιχη επιστρέφουσα. Προφανώς $P=P_o-P_e$ είναι η μεταδιδόμενη ισχύς από το tuner στο σύστημα γραμμής – κεραίας και $P'=P_{in}-P_{out}$ η ισχύς που μεταδίδεται στην κεραία.

Θα χρησιμοποιήσουμε επίσης τους συντελεστές: α , ο συντελεστής απόσβεσης ($\alpha < 1$) που σχετίζεται με τις απώλειες τόσο του οδεύοντος σήματος όσο και του επιστρέφοντος και β ο συντελεστής ανάκλασης ισχύος που σχετίζεται με το λόγο στασίμου κύματος ($\beta < 1$ με $\beta = 0$ στην προσαρμογή).

Η οδεύουσα ισχύς P_o μειώνεται μέχρι να φτάσει στην κεραία και στην κεραία φθάνει ισχύς $P_{in} = \alpha P_o$. Ένα μέρος αυτής, βP_{in} , ανακλάται. Επομένως η ανακλώμενη ισχύς στο σημείο σύνδεσης της γραμμής με την κεραία είναι: $P_{out} = \beta P_{in} = \beta \alpha P_o$. Η ανακλώμενη ισχύς μειώνεται λόγω των απωλειών μέχρι να φτάσει στο tuner κατά τον συντελεστή α . Επομένως η επιστρέφουσα ισχύς στο tuner είναι $P_e = \alpha P_{out} = \beta \alpha^2 P_o$.

Αντικαθιστώντας το P_e στη σχέση $P = P_o - P_e$ έχουμε για την ισχύ $P = P_o - \beta \alpha^2 P_o$ από την οποία υπολογίζουμε την οδεύουσα ισχύ στην έξοδο του tuner: $P_o = \frac{P}{1 - \beta \alpha^2}$.

Επομένως η ισχύς P_{in} στην είσοδο της κεραίας είναι: $P_{in} = \alpha P_o = \frac{\alpha P}{1 - \beta \alpha^2}$. Η

ανακλώμενη ισχύς P_{out} είναι: $P_{out} = \beta P_{in} = \frac{\beta \alpha P}{1 - \beta \alpha^2}$. Τελικά η μεταδιδόμενη στην

κεραία ισχύς P' είναι: $P' = P_{in} - P_{out} = \alpha P \frac{1 - \beta}{1 - \beta \alpha^2}$

Η παράμετρος α υπολογίζεται εύκολα, δεδομένου ότι η απώλεια σε dB (που δίνεται από τον κατασκευαστή του καλωδίου συνήθως ανά 100 μέτρα μήκος) είναι $-10 \log \alpha$. Όσον αφορά το β , ξέρουμε ότι $\beta = \Gamma^2$ όπου Γ ο συντελεστής ανάκλασης τάσης. Το Γ υπολογίζεται βάσει του λόγου στασίμου κύματος στην κεραία από τη σχέση: $\lambda = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$. Λύνοντας ως προς Γ παίρνουμε: $\Gamma = \frac{\lambda - 1}{\lambda + 1}$ (λ ο λόγος στασίμου κύματος, δηλ. το VSWR).

Στην σχέση που δίνει την ισχύ στην κεραία P' συναρτήσει των παραμέτρων P , α και β , η ισχύς P είναι η ισχύς στην έξοδο του tuner. Αυτή δεν την μετράμε με βατόμετρο στην έξοδο του tuner γιατί, όταν έχουμε μεγάλο SWR, η ένδειξη του βατομέτρου αποκλίνει από τη σωστή τιμή. Μπορούμε όμως να τη βρούμε αν μετρήσουμε την ισχύ στην είσοδο του tuner και αφαιρέσουμε την απώλεια ισχύος μέσα στο tuner. Αν αυτή δεν την ξέρουμε επακριβώς, πρέπει να την εκτιμήσουμε.

Ας προσθέσουμε ακόμα ότι το VSWR στην κεραία (δηλ. το λ στις παραπάνω σχέσεις) δεν είναι το ίδιο με το VSWR στην έξοδο του tuner. Η αιτία είναι οι απώλειες στη γραμμή μεταφοράς. Όμως, αν με μια γέφυρα στασίμων μετρήσουμε το VSWR στην έξοδο του tuner, πρέπει να υπολογίσουμε ποιο είναι το VSWR στην κεραία. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί γίνει με τα παρακάτω βήματα:

α) Μετράμε πρώτα το λ στην έξοδο του tuner και από τη σχέση μεταξύ λ και Γ που γράψαμε παραπάνω, υπολογίζουμε το αντίστοιχο Γ .

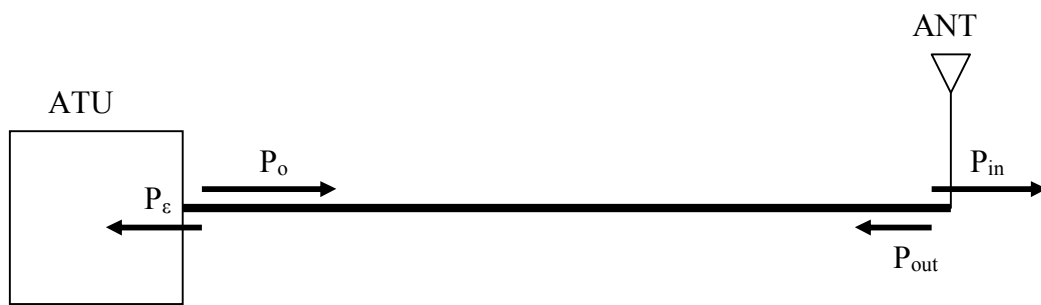
β) Αν ο συντελεστής ανάκλασης τάσης στην κεραία είναι Γ' , αυτός

υπολογίζεται συναρτήσει του Γ από τη σχέση: $\Gamma' = \frac{\Gamma}{\alpha}$.

γ) Δεν χρειάζεται να υπολογίσουμε το SWR στην κεραία γιατί έχουμε ήδη στο χέρι μας το Γ ($=\Gamma'$) που είναι αυτό που χρειαζόμαστε. Υπολογίζουμε το β από τη σχέση $\beta = \Gamma'^2$ και εφαρμόζουμε τον τύπο που δίνει την ισχύ στην κεραία P' συναρτήσει των P , α και β . Αν βέβαια θέλουμε να ξέρουμε και το SWR στην κεραία,

αυτό είναι $\lambda' = \frac{1 + \Gamma'}{1 - \Gamma'}$

Πολλά 73,
SV6 DBK
Νίκος Παναγωτίδης, Ιωάννινα



Σχήμα 1. Σύστημα Antenna tuner, γραμμής μεταφοράς και κεραίας με τις οδεύουσες και ανακλώμενες συνιστώσες της ισχύος αφ' ενός στην έξοδο του tuner (P_o και P_ϵ αντίστοιχα) και αφ' ετέρου στην είσοδο της κεραίας (P_{in} και P_{out} αντίστοιχα).