

ΤΑ ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ

Γράφει ο Ντίνος Νομικός SV1GK

Στα προηγούμενα αναφέραμε ότι, το σύστημα πομποδέκτης-γραμμή μεταφοράς-κεραία, λειτουργεί άριστα εφόσον η σύνθετη αντίσταση της εξόδου του πομποδέκτη μας είναι ίδια με τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής μεταφοράς και αυτή ίδια με τη σύνθετη αντίσταση της κεραίας μας.

Αν όμως η γραμμή μεταφοράς έχει διαφορετική αντίσταση, έστω και κατ'ελάχιστον από την κεραία, τότε ένα μέρος της ισχύος που κινείται στη γραμμή μεταφοράς, όταν φτάσει στην κεραία ανακλάται και επιστρέφει πίσω προς τον πομποδέκτη, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία στασιμών κυμάτων.

Για να δούμε λοιπόν λίγο πιο αναλυτικά τι συμβαίνει μέσα στη γραμμή μεταφοράς.

Έστω ότι η γραμμή μεταφοράς μας έχει σύνθετη αντίσταση $Z_{γρ}$ και η κεραία μας στο σημείο τροφοδοσίας της έχει καθαρή ωμική αντίσταση $Z_{κερ}$.

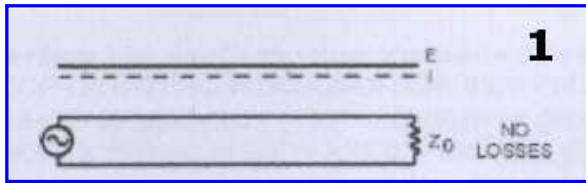
Ορίζουμε σαν λόγο στασιμών κυμάτων - **SWR** (**S**tanding-**W**ave **R**atio) το κλάσμα που έχει αριθμητή την μεγαλύτερη αντίσταση από αυτές τις δύο και παρονομαστή την μικρότερη, δηλαδή, αν $Z_{γρ} > Z_{κερ}$ τότε $SWR = \frac{Z_{γρ}}{Z_{κερ}}$

Ενώ αν :

$Z_{γρ} < Z_{κερ}$ τότε $SWR = \frac{Z_{κερ}}{Z_{γρ}}$ Δημιουργείται λοιπόν ένα κλάσμα που ο αριθμητής

του θα είναι πάντοτε μεγαλύτερος από το παρονομαστή του , πράγμα που σημαίνει ότι το αποτέλεσμα θα είναι ένας καθαρός αριθμός μεγαλύτερος του 1.

Ειδικά στην περίπτωση που $Z_{γρ} = Z_{κερ}$, τότε το παραπάνω κλάσμα θα ισούται με τη μονάδα, δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι όταν έχουμε άριστη προσαρμογή τα στάσιμα θα έχουν λόγο **1:1**. Σε αυτή την περίπτωση όλη η ισχύς μεταφέρεται μέσω της γραμμής μεταφοράς στην κεραία.

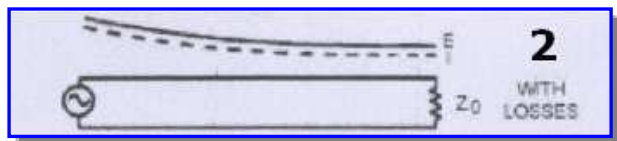


μεταφοράς είχε μηδενικές απώλειες (Σχήμα 1).

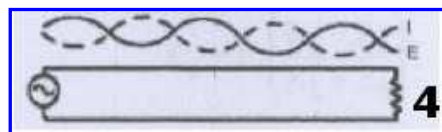
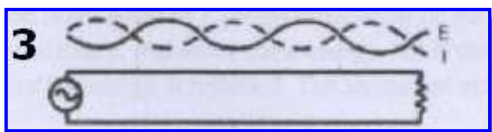
Αν μάλιστα είχαμε ένα RF βολτόμετρο ή αμπερόμετρο και μετρούσαμε την τάση και την ένταση κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς θα παρατηρούσαμε ότι σε κάθε σημείο της θα είχαμε την ίδια τάση και την ίδια ένταση, εφόσον βέβαια η γραμμή

Αν όμως η γραμμή μεταφοράς είχε απώλειες τότε τόσο η τάση όσο και η ένταση θα μειώνονταν ανάλογα με το μήκος της γραμμής μεταφοράς (Σχήμα 2).

Αν τώρα η αντίσταση της γραμμής μεταφοράς $Z_{γρ}$ είχε διαφορετική τιμή από την αντίσταση της κεραίας $Z_{κερ}$, τότε κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς θα παίρναμε διαφορετικές τιμές τόσο για την τάση όσο και για την ένταση η οποίες θα αυξομειώνονταν

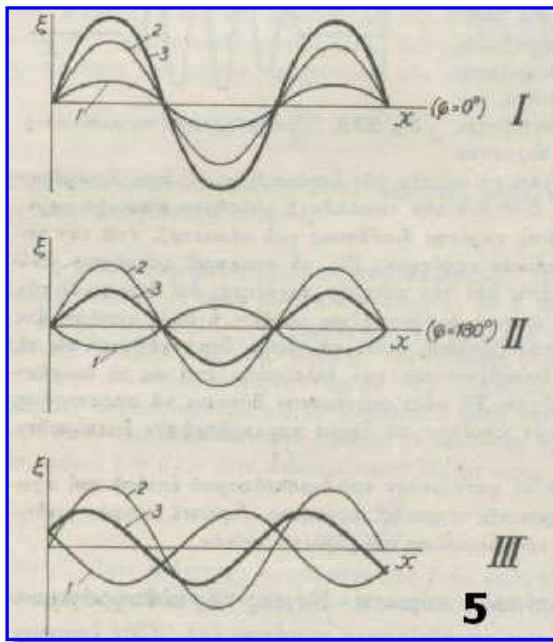


εναλλάξ σχηματίζοντας μία ημιτονοειδή καμπύλη και αν μάλιστα είχαμε $Z_{γρ} > Z_{κερ}$ θα παίρναμε την καμπύλη του (Σχήματος 3) ενώ αν είχαμε $Z_{γρ} < Z_{κερ}$ θα παίρναμε την καμπύλη του (Σχήματος 4).

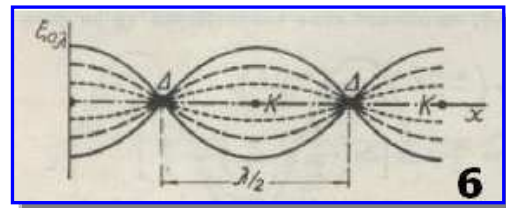


Δυστυχώς όμως η σύνθετη αντίσταση της κεραίας μας είναι συνδυασμός χωρητικής και επαγωγικής αντίστασης (Εμπέδηση Πηνίου-Πυκνωτή) με αποτέλεσμα να είναι πρακτικά αδύνατον τα στάσιμα να γίνουν ακριβώς **1:1**. Πάντα ο λόγος αυτός θα είναι έστω και κατ'ελάχιστον μεγαλύτερος της μονάδας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ



Όταν έχουμε δύο κύματα του ίδιου μήκους κύματος και αντίθετης φοράς τότε αυτά συμβάλλουν και δημιουργούν ένα νέο κύμα του ίδιου μήκους κύματος που το πλάτος του ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των πλάτων των δύο αντιθέτως κινουμένων κυμάτων. Έτσι λοιπόν αν το κύμα 1 και το κύμα 2 συμβάλλουν δημιουργούν το κύμα 3 του (Σχήματος 5), το οποίο δεν είναι τρέχον κύμα αλλά μία ταλάντωση, γι' αυτό και ονομάζεται στάσιμο κύμα (Σχήμα 6).



Αν μάλιστα σε αυτήν την περίπτωση μετρήσουμε την τάση και την ένταση σε κάθε σημείο της γραμμής μεταφοράς, από το πομπό μέχρι την κεραία, θα δούμε ότι αυτή μεταβάλλεται από μία μέγιστη τιμή σε μία ελάχιστη.

Σε κάποια σημεία η μετρηθείσα τάση θα παίρνει τη μεγαλύτερή της τιμή V_{max} και σε κάποια άλλα σημεία, τα οποία εναλλάσσονται με τα πρώτα θα παίρνει τη μικρότερή της τιμή V_{min} .

Ο λόγος της μεγαλύτερης τιμής της τάσης προς τη μικρότερη ονομάζεται **VSWR** (**V**oltage **S**tanding-**W**ave **R**atio) και ισχύει: $VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$

Το ίδιο ισχύει και για την ένταση. Αν η μεγαλύτερη τιμή της έντασης κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς είναι I_{max} και η μικρότερη I_{min} τότε ο λόγος τους ονομάζεται **ISWR** (**C**urrent **S**tanding-**W**ave **R**atio) και ισχύει: $ISWR = \frac{I_{max}}{I_{min}}$

Αποδεικνύεται ότι **VSWR**= **ISWR**, δηλαδή:

$$\frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

Παρατήρηση 1^η: Οι παραπάνω τύποι ισχύουν για τις απόλυτες τιμές των μεγεθών, δηλαδή δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πολικότητα.

Παρατήρηση 2^η: Υπάρχει και **PSWR** (**P**ower **S**tanding-**W**ave **R**atio) που ισούται με το τετράγωνο του **VSWR** και για το οποίο ισχύει ότι $PSWR = \frac{P_{max}}{P_{min}}$

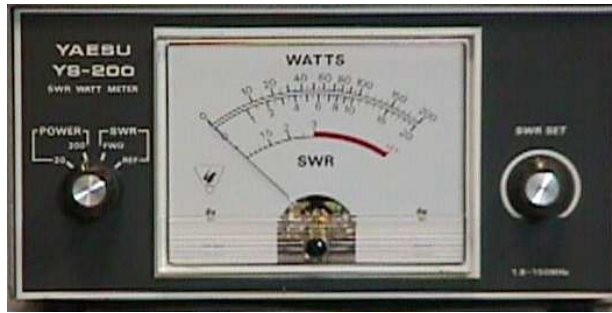
ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Το να γνωρίζουμε τί στάσιμα παρουσιάζει η γραμμή μεταφοράς μας είναι πολύ σημαντικό και απαραίτητο και αυτό γιατί τα στάσιμα μας δείχνουν το βαθμό προσαρμογής της γραμμής μεταφοράς με τη κεραία.

Για τη μέτρηση λοιπόν των στασίμων χρησιμοποιούμε ειδικά όργανα που λέγονται γέφυρες στασίμων κυμάτων ή ανακλασίμετρα (παλαιότερη ονομασία).

Υπάρχουν δύο ειδών τέτοιες συσκευές, αυτές που αποτελούνται μόνο από ένα όργανο που διαβάζει ξεχωριστά την ισχύ που οδηγείται προς την κεραία και με διακόπτη την

ανακλώμενη. Αυτά έχουν και μία δεύτερη κλίμακα βαθμονομημένη σε **SWR**. Μια τέτοια συσκευή φαίνεται στο (Σχήμα 7).

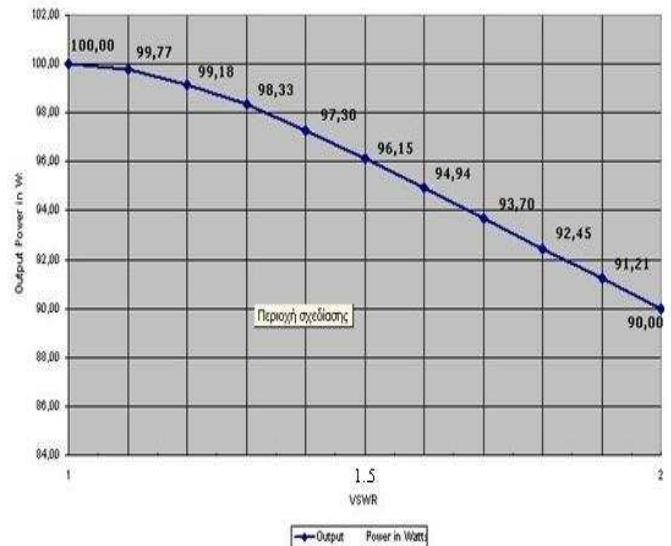


Υπάρχουν όμως και συσκευές που αποτελούνται από διπλά όργανα που μετρούν απευθείας την οδηγούμενη και την ανακλώμενη ισχύ. Στο σημείο μάλιστα που τέμνονται οι βελόνες των δύο οργάνων διαβάζουμε κατευθείαν τα στάσιμα (Σχήμα 8).

Αν είχαμε έναν πομπό 100 Watts εξόδου, τότε από τον (Πίνακα 1 και 2) μπορούμε να δούμε για κάθε τιμή των στασιμών πόσα Watts χάνονται και πόσα φθάνουν στην κεραία μας.



VSWR	Loss in %	Loss in dB	Reflected Power in Watts	Output Power in Watts
1:1	0,000	0,000	0,00	100,00
1,1:1	0,227	0,010	0,23	99,77
1,2:1	0,826	0,036	0,82	99,18
1,3:1	1,701	0,075	1,67	98,33
1,4:1	2,778	0,122	2,70	97,30
1,5:1	4,000	0,177	3,85	96,15
1,6:1	5,325	0,238	5,06	94,94
1,7:1	6,722	0,302	6,30	93,70
1,8:1	8,163	0,370	7,55	92,45
1,9:1	9,631	0,440	8,79	91,21
2:1	11,110	0,512	10,00	90,00
2,2:1	14,060	0,658	12,33	87,67
2,4:1	16,960	0,807	14,50	85,50
2,6:1	19,750	0,956	16,49	83,51
2,8:1	22,440	1,103	18,33	81,67
3:1	25,000	1,249	20,00	80,00
3,5:1	30,880	1,603	23,58	76,42
4:1	36,000	1,938	26,47	73,53
5:1	44,440	2,553	30,77	69,23
6:1	51,020	3,100	33,78	66,22
7:1	56,250	3,590	36,00	64,00
8:1	60,490	4,033	37,69	62,31
9:1	64,000	4,437	39,02	60,98
10:1	66,940	4,807	40,10	59,90



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΑΣΙΜΩΝ

Αν P_F είναι η οδηγούμενη ισχύς σε μία γραμμή μεταφοράς και P_R η ανακλώμενη ισχύς, τότε ο τύπος που μας δίνει τα στάσιμα θα είναι:

$$SWR = \frac{\sqrt{P_F} + \sqrt{P_R}}{\sqrt{P_F} - \sqrt{P_R}}$$

Επίσης αν Z_L είναι η σύνθετη αντίσταση της κεραίας και Z_0 η αντίσταση της γραμμής μεταφοράς τότε τα στάσιμα θα δίνονται από τον τύπο:

$$SWR = \frac{1 + \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right|}{1 - \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right|}$$

Ας δούμε μερικά παραδείγματα υπολογισμού στασίμων που χρησιμοποιούν τους παραπάνω τύπους.

Παράδειγμα 1°

Σε μία γραμμή μεταφοράς οδηγούνται καθαρά 81 Watts προς την κεραία και έχουμε 9 Watts ανακλώμενη ισχύ, τότε τα στάσιμα που θα παρουσιάζονται στη γραμμή μεταφοράς θα είναι:

$$SWR = \frac{\sqrt{P_F} + \sqrt{P_R}}{\sqrt{P_F} - \sqrt{P_R}} = \frac{\sqrt{81} + \sqrt{9}}{\sqrt{81} - \sqrt{9}} = \frac{9+3}{9-3} = \frac{12}{6} = 2$$

Παράδειγμα 2°

Μια κεραία έχει σύνθετη αντίσταση 100 Ωμ και εμείς τη τροφοδοτούμε με ένα καλώδιο που έχει χαρακτηριστική αντίσταση 300 Ωμ. Τα στάσιμα τα οποία θα δημιουργηθούν θα είναι:

$$SWR = \frac{1 + \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right|}{1 - \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right|} = \frac{1 + \left| \frac{100 - 300}{100 + 300} \right|}{1 - \left| \frac{100 - 300}{100 + 300} \right|} = \frac{1 + \left| \frac{-200}{400} \right|}{1 - \left| \frac{-200}{400} \right|} = \frac{1 + |-0.5|}{1 - |-0.5|} = \frac{1 + 0.5}{1 - 0.5} = \frac{1.5}{0.5} = 3.0$$

ΑΛΗΘΕΙΕΣ ΚΑΙ ΠΛΑΝΕΣ ΠΑΝΩ ΣΤΑ ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ

Από όσα αναφέραμε στα προηγούμενα, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι τα στάσιμα δεν μας δείχνουν τίποτε άλλο, παρά μόνο πόσο καλά είναι προσαρμοσμένη η γραμμή μεταφοράς με τη κεραία μας.

Προσέξτε, τα στάσιμα ποτέ δε μας δείχνουν πόσο καλά εκπέμπει η κεραία μας και εδώ είναι που συναντάμε πολλές παρανοήσεις.

1^η Περίπτωση: Πολλοί πιστεύουν ότι όταν έχουν στάσιμα **1:1** τότε η κεραία δουλεύει τέλεια. ΛΑΘΟΣ. Όταν έχουμε στάσιμα **1:1** το μόνο που είναι σίγουρο είναι ότι η γραμμή μεταφοράς έχει τέλεια προσαρμογή με την κεραία και τίποτα παραπάνω. Η κεραία μπορεί να μην εκπέμπει καθόλου, όπως και αν συνδέαμε μία Dummy Load ή να έχουμε τεράστιες απώλειες στη γραμμή μεταφοράς και να μη φτάνει σχεδόν καθόλου ισχύς στην κεραία.

2^η Περίπτωση: Πολλοί στενοχωριούνται και οδύρονται όταν έχουν π.χ. στάσιμα 1,3:1 και προσπαθούν με κάθε τρόπο να τα κατεβάσουν στο 1:1 ή το πολύ στο 1,1:1. Δεν υπάρχει μεγαλύτερη ματαιοπονία από αυτό και τούτο διότι αν ρίξετε μία ματιά στους (πίνακες 1 και 2), θα δείτε ότι όταν έχουμε στάσιμα π.χ. 1,3:1 η ισχύς που χάνεται είναι μόνο 1,67 Watts, δηλαδή ελάχιστη και δεν αξίζει τον κόπο να στενοχωριόμαστε και να κοπιάζουμε να κατέβουν πιο κάτω.

Ο καλύτερος τρόπος σε αυτή τη περίπτωση για να κερδίσετε τη χαμένη απώλεια είναι να αποσυνδέσετε τη γέφυρα SWR, οπότε θα αποφύγετε τις απώλειες που δημιουργούνται από τη συνδεσμολογία της.

3^η Περίπτωση: Αρκετοί πιστεύουν ότι αν έχουν στάσιμα 1,5 - 2:1 θα πρέπει να χαμηλώσουν την ισχύ για να είναι πιο ασφαλής ο πομπός τους και να μην καεί. Αυτό είναι εν μέρει αλήθεια και ίσχυε παλαιότερα όταν οι πομποί χρησιμοποιούσαν λυχνίες και το κύκλωμα εξόδου των είχε συνδεσμολογία πι. Σε αυτό το κύκλωμα εξόδου υπήρχαν δύο μεταβλητοί πυκνωτές Plate και Load που έπρεπε να συντονιστούν γρήγορα για να μην καούν οι λυχνίες εξόδου. Τώρα όμως δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας γιατί όλοι σχεδόν οι σύγχρονοι πομποδέκτες είναι εφοδιασμένοι με ένα ειδικό κύκλωμα που όταν τα στάσιμα ξεπεράσουν την τιμή 3:1 αυτόματα προστατεύουν τον πομποδέκτη.

4^η Περίπτωση: Εάν κάποια στιγμή δούμε τα στάσιμα να πέφτουν από μόνα τους αυτό πρέπει να μας ανησυχήσει ιδιαίτερα και όχι να μας χαροποιεί.

Ποτέ μία κεραία δεν βελτιώνει από μόνη της τις προσαρμογές για να χαμηλώνουν τα στάσιμα. Η πιθανότερη αιτία γι' αυτή την περίπτωση είναι ότι έχουμε μεγάλες απώλειες που μπορεί να προέρχονται από σκουριά στις συνδέσεις ή από υγρασία μέσα στο καλώδιο κτλ. Οι απώλειες αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα να μειώνουν την ισχύ και εμείς να βλέπουμε λιγότερα στάσιμα.

Πρέπει λοιπόν η κεραία μας, αν είναι δυνατόν να ελέγχεται συχνά και κυρίως στις συνδέσεις της.

Συνοψίζοντας λοιπόν όλα τα προηγούμενα , συμπεραίνουμε ότι μέσα σε μία γραμμή μεταφοράς δημιουργούνται συγχρόνως δύο είδη απωλειών. Η πρώτη απώλεια προέρχεται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του ίδιου του καλωδίου και η δεύτερη από τα στάσιμα που δημιουργούνται όταν η γραμμή μεταφοράς δεν έχει καλή προσαρμογή με την κεραία μας.

Εμείς , αυτό που πρέπει πάντα να επιδιώκουμε , είναι να κρατάμε αυτές τις απώλειες όσο το δυνατόν πιο χαμηλά ώστε να οδηγείται η κεραία μας με τη μεγαλύτερη δυνατή ισχύ .

Ντίνος – SV1GK