Μικροκύματα

Ενότητα 3: Χάρτης Smith

Σταύρος Κουλουρίδης

Πολυτεχνική

Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Κατανόηση της εξαγωγής του χάρτη Smith
- Επίλυση απλών προβλημάτων τερματισμένων γραμμών μεταφοράς με χρήση του χάρτη Smith

Περιεχόμενα ενότητας

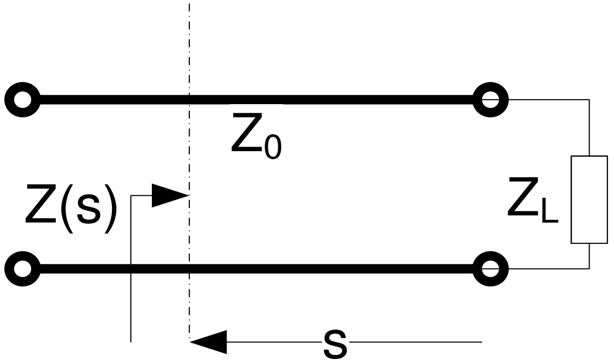
- Παρουσίαση του χάρτη Smith
- Απλά παραδείγματα χρήσης του

Χρησιμότητα χάρτη Smith

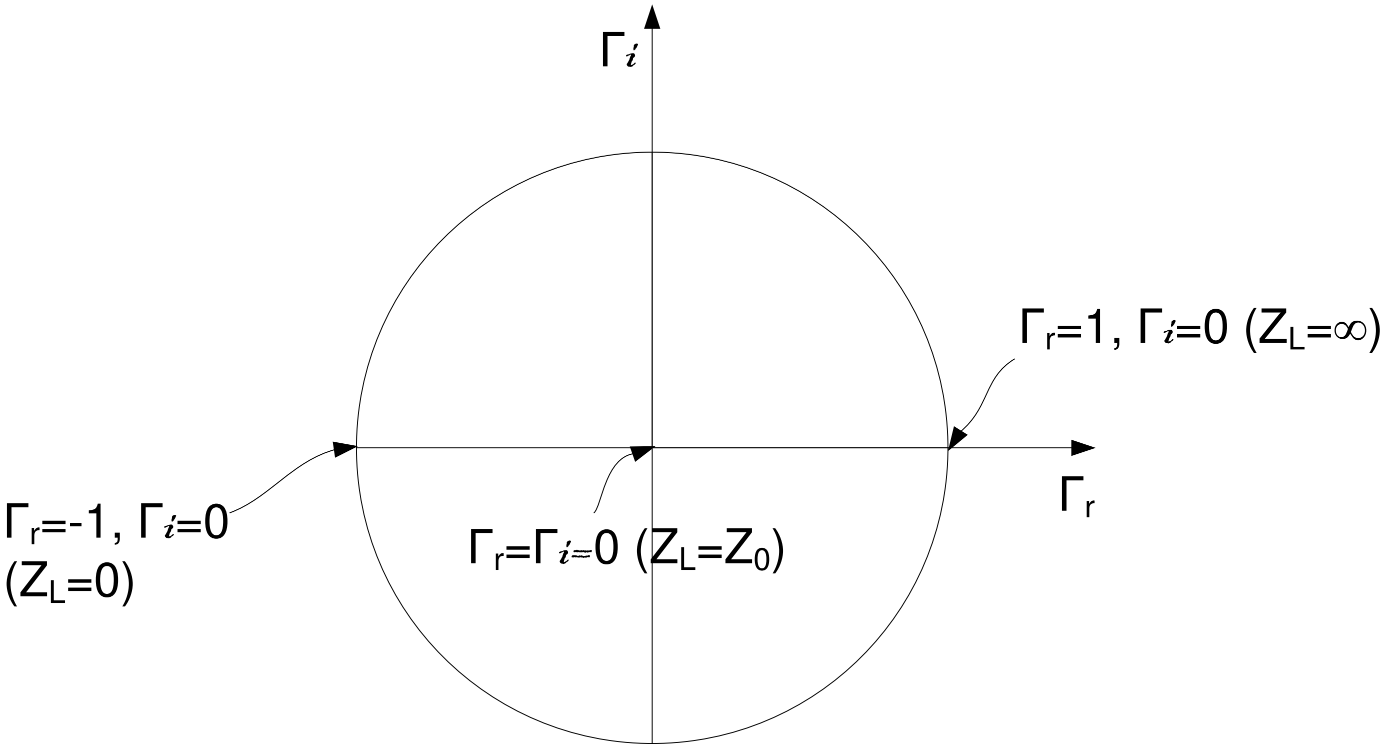
- Είναι γραφικό εργαλείο ανάλυσης γραμμών μεταφοράς με σκοπό τον υπολογισμό του συντελεστή ανάκλασης σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής, της αντίστασης εισόδου και του λόγου στάσιμου κύματος (SWR)
- Διευκολύνει τις πράξεις μεταξύ μιγαδικών
- Παρέχει καλύτερη εποπτεία των μικροκυματικών κυκλωμάτων
- Βοηθάει στην ευκολότερη σχεδίαση κυκλωμάτων προσαρμογής
- Αποτελεί απεικόνιση μεταξύ της αντίστασης και του συντελεστή ανάκλασης

Μιγαδική απεικόνιση συντελεστή ανάκλασης (1)

- Ο συντελεστής ανάκλασης σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής είναι $\Gamma(s) = \frac{Z(s)-Z_0}{Z(s)+Z_0}$
- Για παθητικά κυκλώματα: $|\Gamma| \leq 1$
- Γενικά το Γ είναι μιγαδικός αριθμός που μπορεί να γραφτεί στη μορφή $\Gamma_s = |\Gamma|e^{j\theta} = \Gamma_r + j\Gamma_i$
- Οποιαδήποτε τιμή του συντελεστή ανάκλασης Γ θα βρίσκεται στο μιγαδικό επίπεδο εντός του μοναδιαίου κύκλου



Μιγαδική απεικόνιση συντελεστή ανάκλασης (2)



Μιγαδική απεικόνιση μεταξύ συντελεστή ανάκλασης και φορτίου(1)

- $$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{\frac{Z_L}{Z_0} - 1}{\frac{Z_L}{Z_0} + 1} = \frac{\zeta_L - 1}{\zeta_L + 1}, \quad \zeta_L = \frac{Z_L}{Z_0} : \text{κανονικοποιημένη αντίσταση}$$

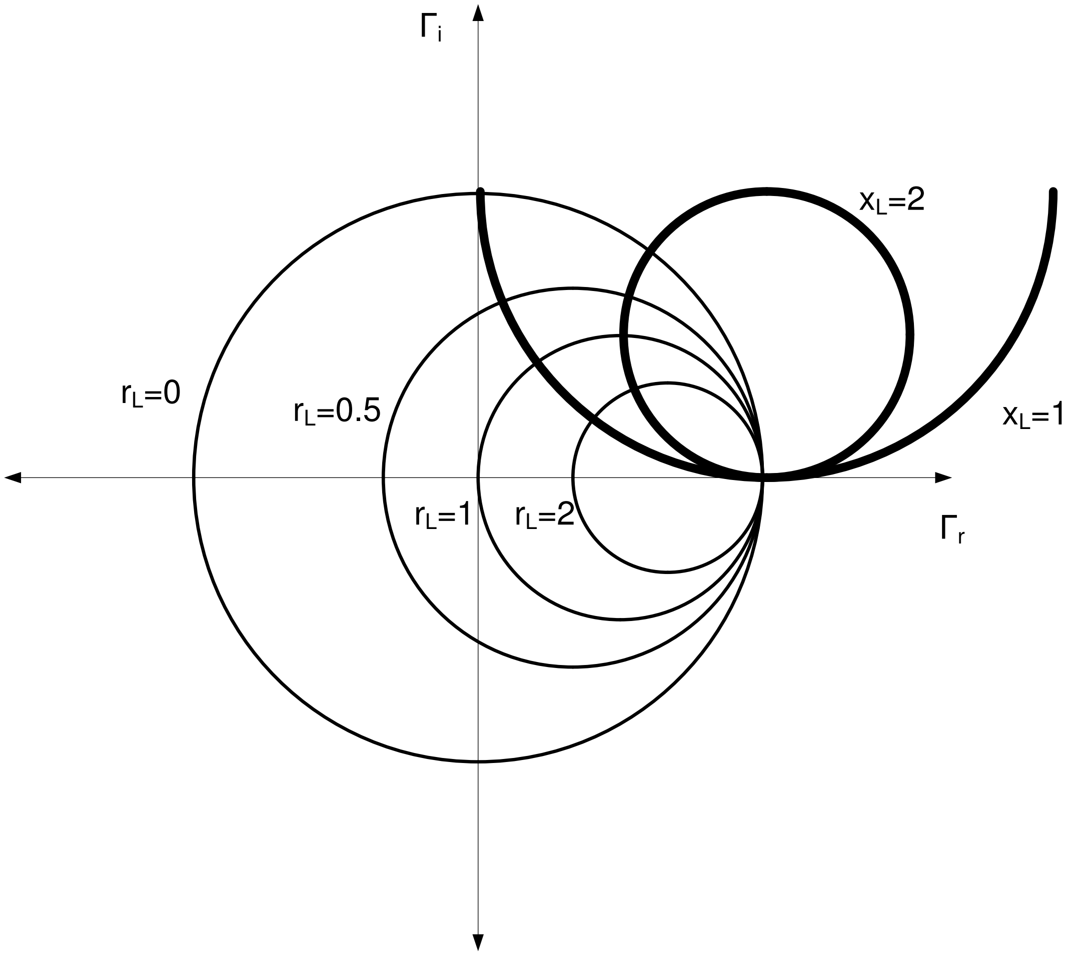
$$\zeta_L = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} = r_L + jx_L = \frac{(1 + \Gamma_r) + j\Gamma_i}{(1 - \Gamma_r) - j\Gamma_i}$$

$$r_L = \frac{1 - \Gamma_r^{\,2} - \Gamma_i^{\,2}}{(1 - \Gamma_r)^2 + \Gamma_i^{\,2}} \Leftrightarrow \left(\Gamma_r - \frac{r_L}{1 + r_L} \right)^2 + \Gamma_i^{\,2} = \left(\frac{1}{1 + r_L} \right)^2$$

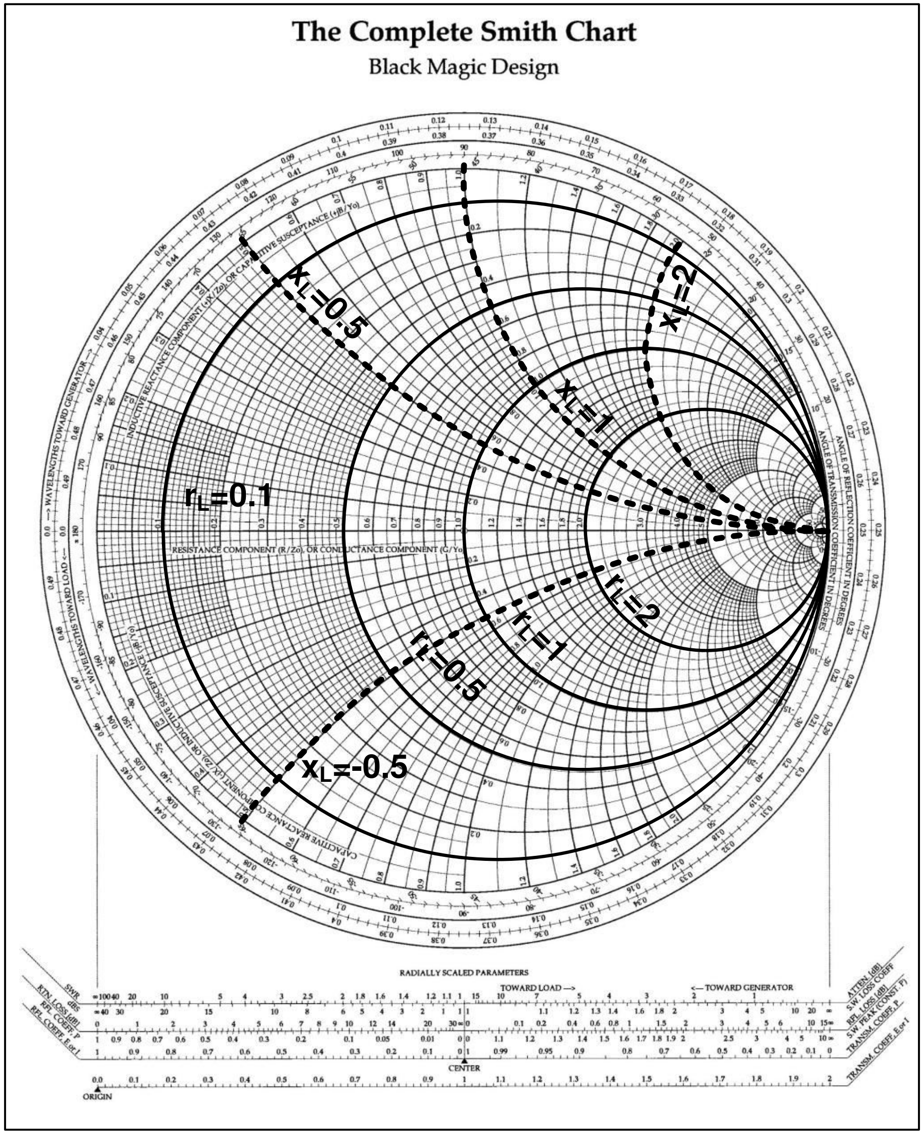
$$x_L = \frac{2\Gamma_i}{(1 - \Gamma_r)^2 + \Gamma_i^{\,2}} \Leftrightarrow (\Gamma_r - 1)^2 + \left(\Gamma_i - \frac{1}{x_L} \right)^2 = \left(\frac{1}{x_L} \right)^2$$

- Οι τελικές εξισώσεις αποτελούν εξισώσεις κύκλων που συνδέουν αντίστοιχα το πραγματικό και φανταστικό μέρος της αντίστασης φορτίου με το συντελεστή ανάκλασης.

Μιγαδική απεικόνιση μεταξύ συντελεστή ανάκλασης και φορτίου(2)



Πλήρης μορφή χάρτη Smith

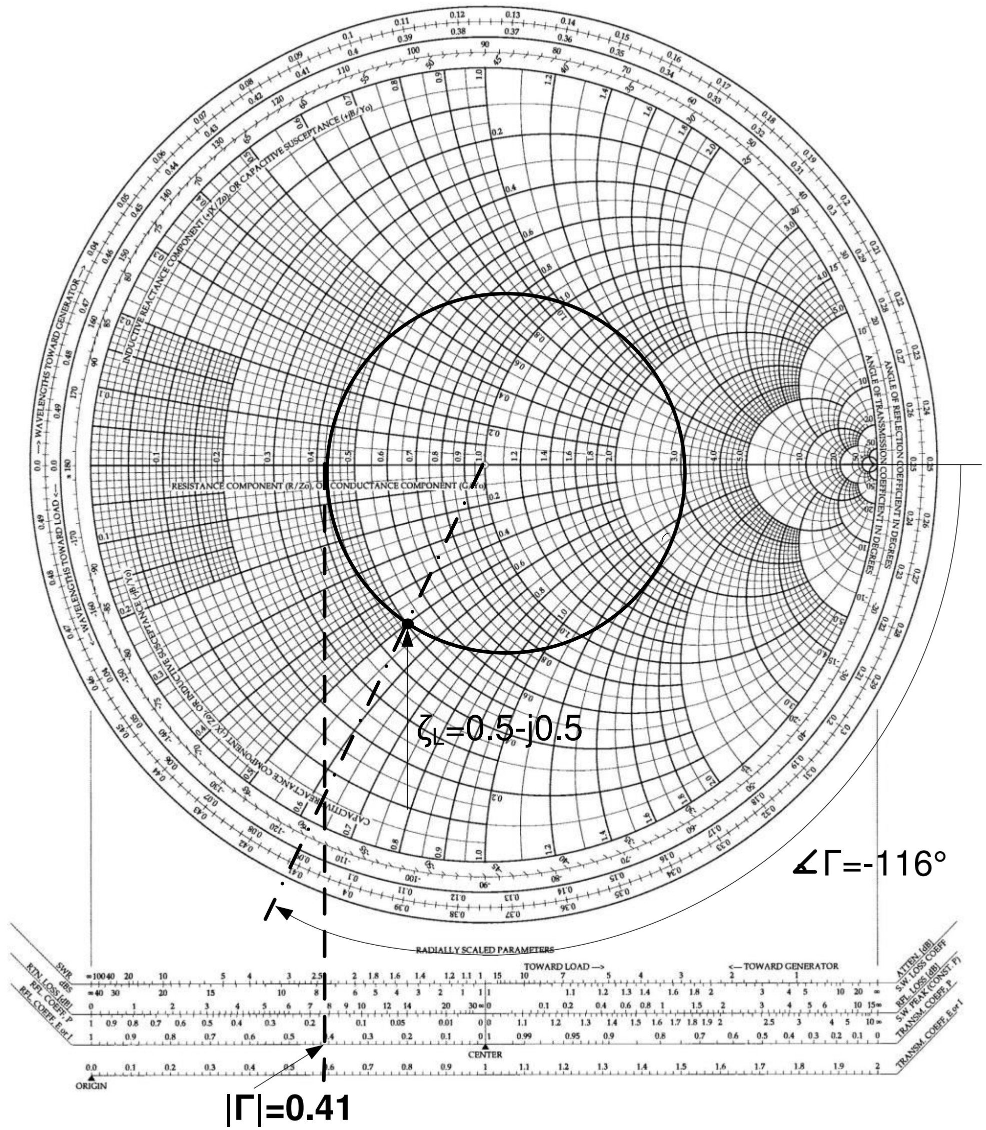


Εύρεση συντελεστή ανάκλασης γνωρίζοντας το φορτίο

- Έστω φορτίο

$$\zeta_L = 0.5 - j0.5$$

- Με τη βοήθεια του χάρτη Smith μπορεί να υπολογιστεί άμεσα το μέτρο και η γωνία του συντελεστή ανάκλασης



Μετασχηματισμός συντελεστή ανάκλασης από το φορτίο στην είσοδο

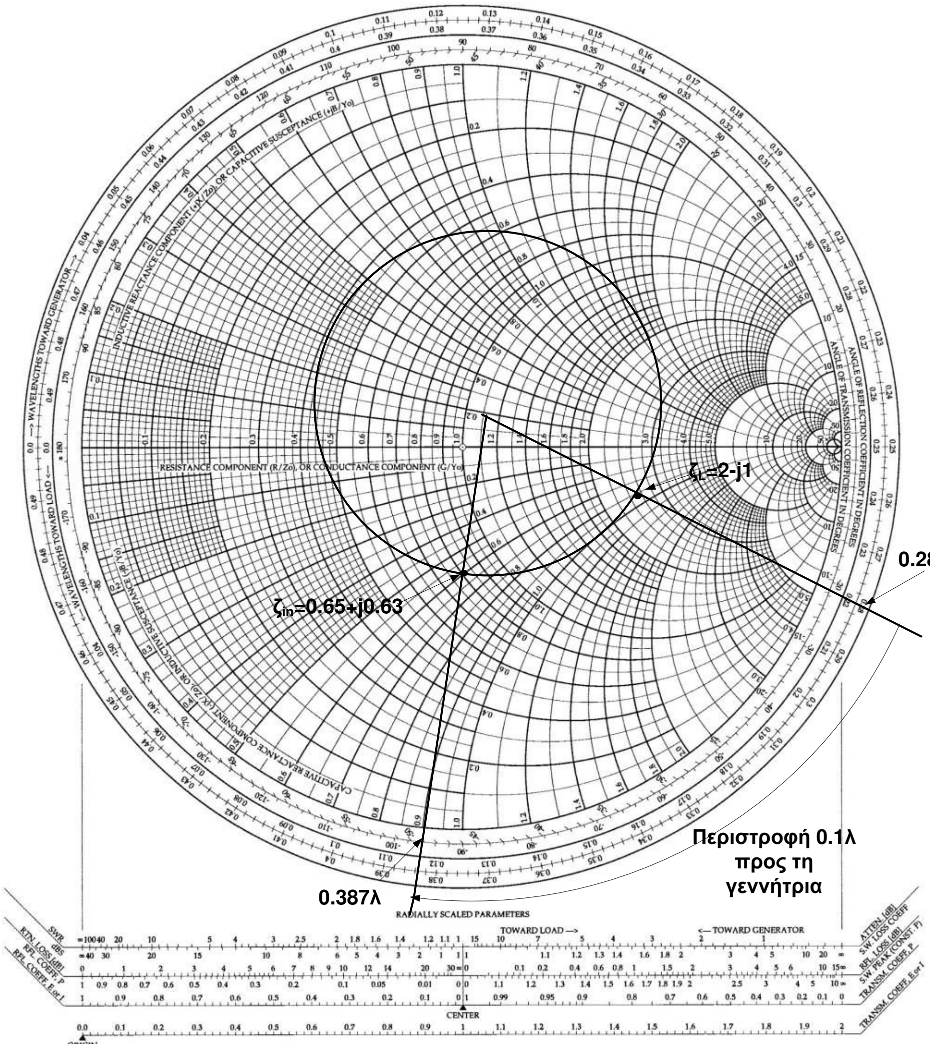
- Σε γραμμή με αμελητέες απώλειες $\Gamma_{in} = \Gamma_L e^{-j2\beta l}$
- Αν από το φορτίο μετακινηθούμε πάνω στον κύκλο σταθερού |Γ| κατά γωνία 2βl στην κλίμακα των γωνιών του συντελεστή ανάκλασης με κατεύθυνση προς τη γεννήτρια, παίρνουμε το συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο.
- Εξαιτίας της περιοδικότητας ανά λ/2 που παρουσιάζει ο συντελεστής ανάκλασης και η αντίσταση, ένας κύκλος στο χάρτη Snith αντιστοιχεί σε μήκος γραμμής λ/2.

Εύρεση αντίστασης εισόδου από την αντίσταση φορτίου-Παράδειγμα

- Γραμμή χαρακτηριστικής αντίστασης 50 Ω και μήκους 0.1λ τερματίζεται σε φορτίο 100-j50Ω. Ποια η αντίσταση εισόδου;

- Κανονικοποιούμε την αντίσταση φορτίου και την τοποθετούμε στο χάρτη Smith
- Γράφουμε τον κύκλο σταθερού |Γ|
- Από το σημείο του φορτίου και κατά μήκος αυτού του κύκλου, περιστρεφόμαστε 0.1λ συμφώνα με τη βαθμονόμηση του χάρτη Smith προς τη γεννήτρια (towards generator).
- Το σημείο τομής του κύκλου σταθερού |Γ| με την ευθεία που ενώνει το κέντρο του χάρτη Smith και το εξωτερικό σημείο του χάρτη που ανταποκρίνεται σε περιστροφή 0.1λ, είναι η αντίσταση εισόδου
- Αποκανονικοποιούμε την αντίσταση εισόδου για να πάρουμε την πραγματική της τιμή (Η διαδικασία φαίνεται στην επόμενη σελίδα)

Εύρεση αντίστασης εισόδου από την αντίσταση φορτίου-Παράδειγμα(2)



Υπολογισμός SWR

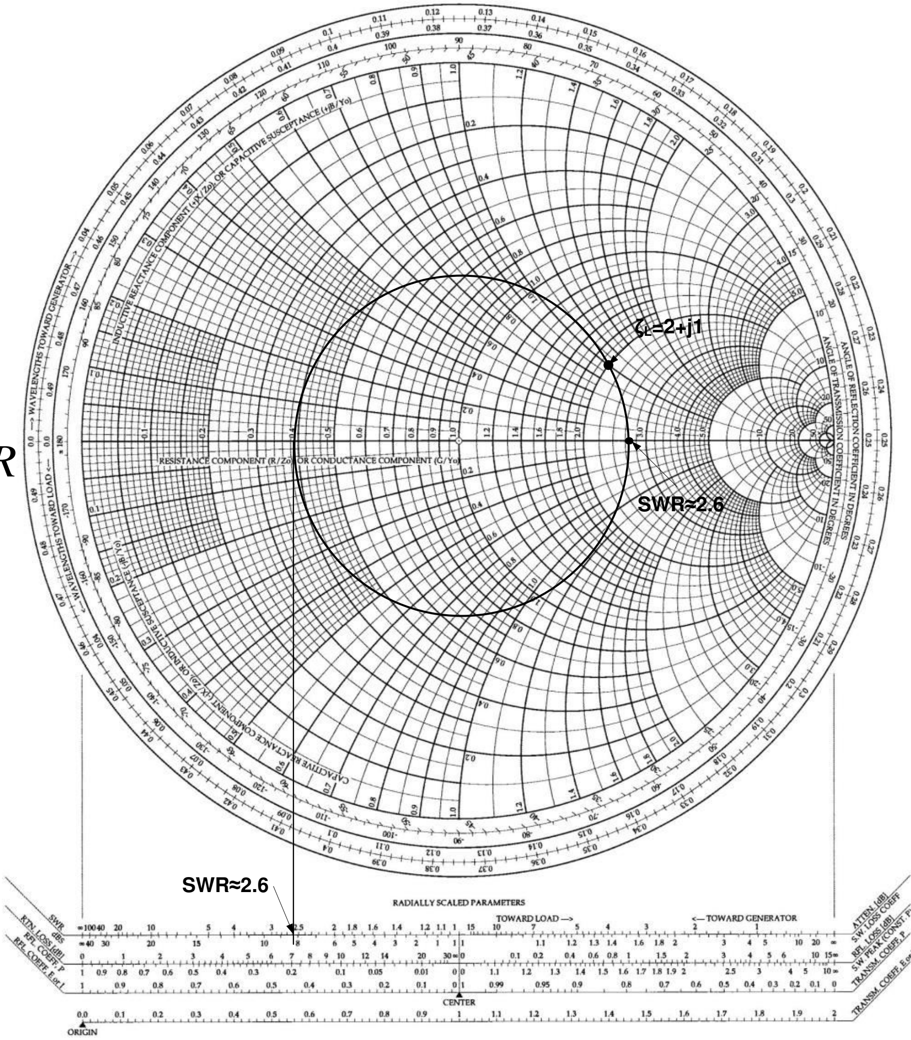
- Έστω κανονικοποιημένο φορτίο

$$\zeta_L = 2 + j1$$

- Στο σημείο τομής του κύκλου σταθερού |Γ| με το θετικό ημιάξονα Γ_r, ισχύει $\zeta = \dfrac{1+\Gamma}{1-\Gamma} = \dfrac{1+|\Gamma|e^{j0}}{1-|\Gamma|e^{j0}} = \dfrac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = SWR$

Άρα η τιμή της κανονικοποιημένης αντίστασης σε εκείνο το σημείο ισούται με το SWR.

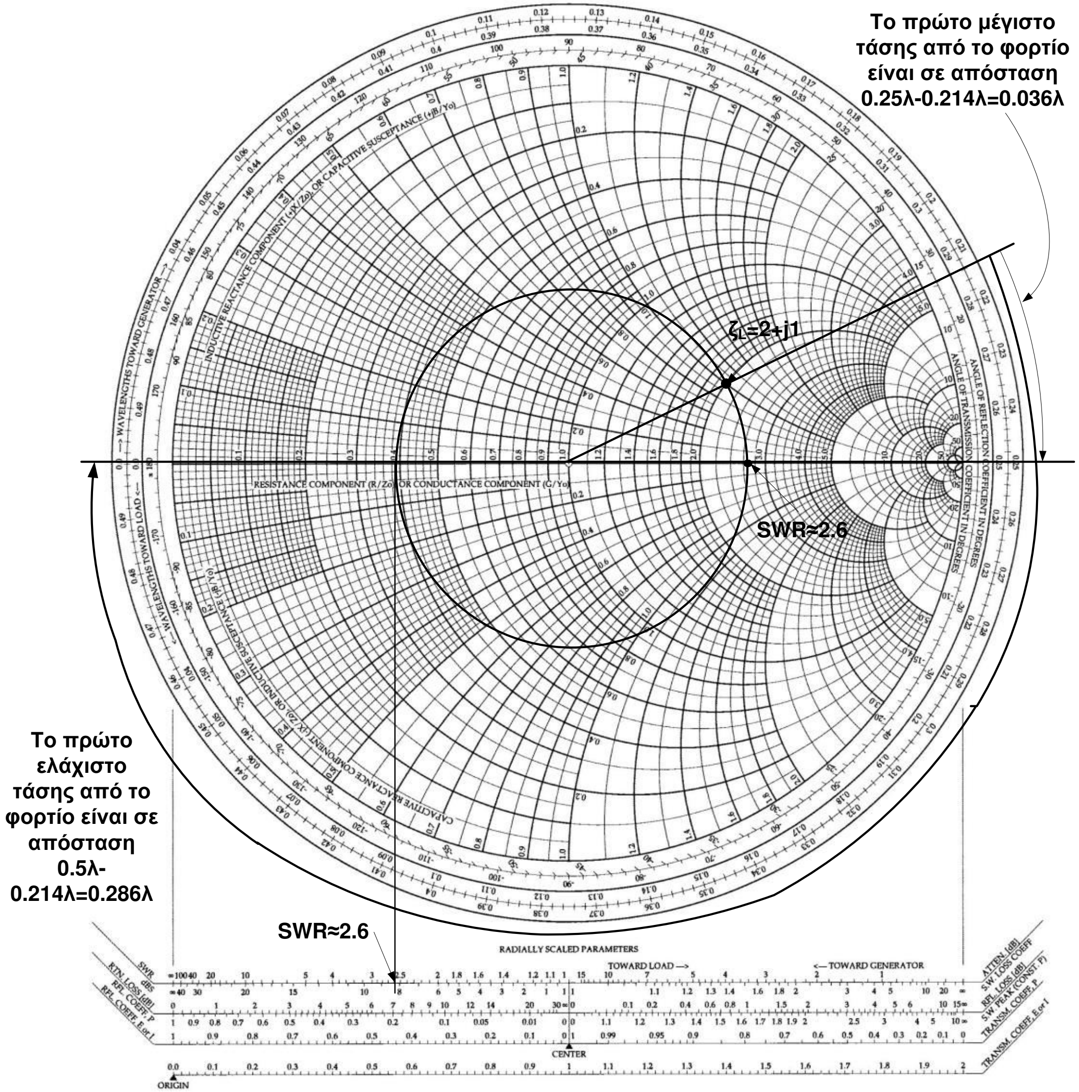
- Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού χρησιμοποιεί τη βαθμονόμηση του χάρτη Smith (βλ. σχήμα)



Υπολογισμός θέσης του μέγιστου ή ελάχιστου της τάσης (1)

- Στο σημείο μεγίστου της τάσης είναι ελάχιστο το ρεύμα, άρα μέγιστη η σύνθετη αντίσταση $Z_{in,max} = \frac{V_{max}}{I_{min}} = \frac{|V^+|(1+|\Gamma|)}{\frac{|V^+|}{Z_0}(1-|\Gamma|)}$.
- Αντίστροφα $Z_{in,min} = \frac{V_{min}}{I_{max}} = \frac{|V^+|(1-|\Gamma|)}{\frac{|V^+|}{Z_0}(1+|\Gamma|)} = \frac{Z_0}{SWR}$.
- Άρα η θέση του πρώτου από το φορτίο μεγίστου και ελάχιστου τάσης βρίσκεται από την απόσταση του φορτίου από τα σημεία τομής του κύκλου με τον πραγματικό άξονα
- Βλέπε επόμενη διαφάνεια

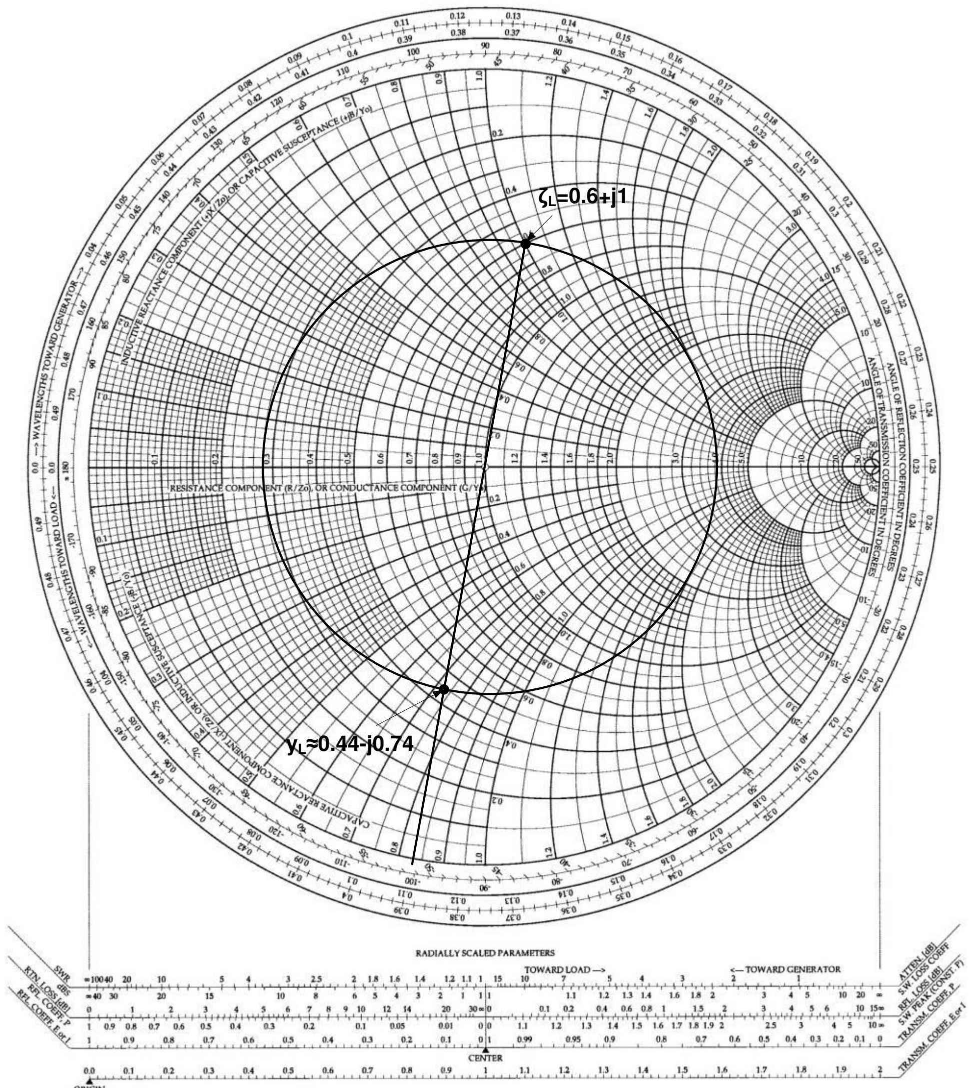
Υπολογισμός θέσης του μέγιστου ή ελάχιστου της τάσης (2)



Μετατροπή σύνθετης αντίστασης σε σύνθετη αγωγιμότητα(1)

- $Z = R + jX$
- $Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R+jX} = \frac{R-jX}{R^2+X^2} = G + jB$
- Κανονικοποιημένη σύνθετη αγωγιμότητα $y = \frac{Y}{Y_0} = g + jb,$ $y_L = \frac{1}{\zeta_L} = \frac{1-\Gamma_L}{1+\Gamma_L}$
- Σε απόσταση λ/4 από το φορτίο $Z_{in} = \frac{1+\Gamma e^{-j\pi}}{1-\Gamma e^{-j\pi}} = \frac{1-\Gamma}{1+\Gamma} = Y_{in}$
- Συνεπώς στο χάρτη Smith κάθε σύνθετη αγωγιμότητα είναι το αντιδιαμετρικό σημείο της αντίστοιχης αντίστασης κατά μήκος του κύκλου σταθερού |Γ|. (βλέπε επόμενη διαφάνεια)

Μετατροπή σύνθετης αντίστασης σε σύνθετη αγωγιμότητα (2)



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Σταύρος Κουλουρίδης. «Μικροκύματα. Χάρτης Smith». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: https://eclass.upatras.gr/courses/EE791.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα χρήσης έργων τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση της παρακάτω εικόνας
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Smith_chart_bmd.gif
η οποία διατίθεται χωρίς κάποιο περιορισμό πνευματικών δικαιωμάτων.