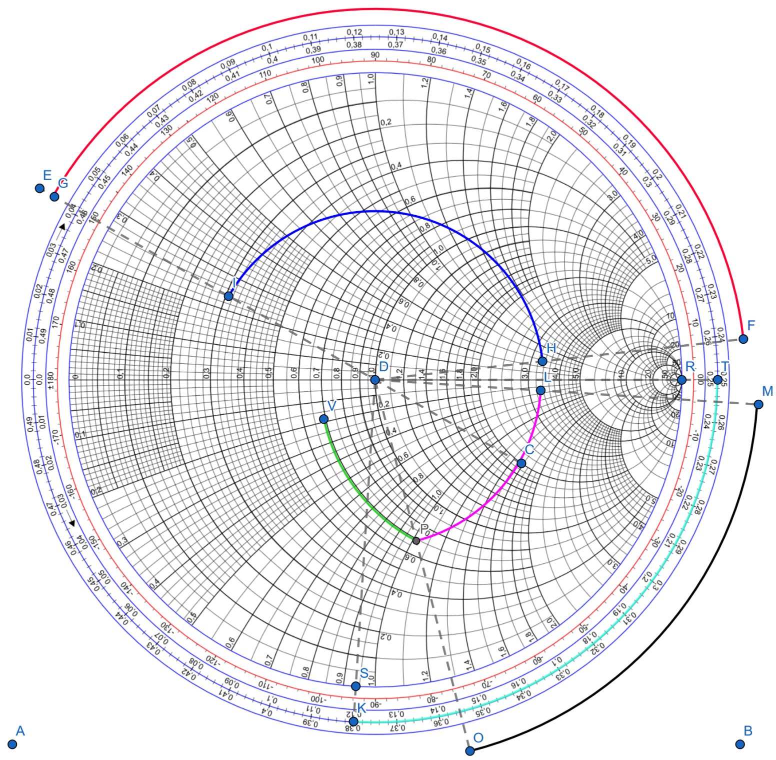
Σειρά Ασκήσεων 1/2 – Γραμμές Μεταφοράς

1.1. Ανάλυση κυκλώματος γραμμής μεταφοράς - Διάγραμμα Smith

(α)



Έστω C_1 πυκνωτής στην είσοδο και C_2 στην έξοδο. Έχουμε για τον C_1:

$$B_1 = \omega_0 C_1 = 2\pi f_0 C_1 = 2\pi \cdot 10^9 \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-12} \approx 0{,}017\,\mathrm{S}$$

Κανονικοποιώντας:

$$b_1 = B_1 \cdot 50 = 0{,}017 \cdot 50 = 0{,}85$$

Για τον C_2:

$$X_2 = \frac{1}{\omega_0 C_2} = \frac{1}{2\pi f_0 C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-12}} \approx 79{,}58\,\Omega$$

Άρα για το Z_L ισχύει (εφόσον η αντίσταση των 100Ω είναι συνδεδεμένη σε σειρά με τον πυκνωτή):

$$Z_L = 100 - j\,79{,}58\,\Omega$$

Κανονικοποιώντας:

$$z_L = \frac{100 - j\,79{,}58}{50} = 2 - j\,1{,}5916$$

Ξεκινάμε από το φορτίο z_L, το οποίο αντιστοιχεί στο σημείο C, και πηγαίνουμε προς την είσοδο.

Παίρνουμε το αντιδιαμετρικό του ως προς το κέντρο D για να μεταφερθούμε σε αγωγιμότητες αντί αντιστάσεις, και έτσι είμαστε στο σημείο I.

Η γραμμή μεταφοράς μήκους 0,2λ μας μετακινεί ωρολογιακά κατά 0,2 στην κλίμακα μηκών κύματος, μένοντας στον μπλε κύκλο σταθερού |Γ| (δεν απεικονίζεται ολόκληρος, για να μην μπλεχτεί με τον ροζ, ο οποίος επίσης δεν απεικονίζεται ολόκληρος για τον ίδιο λόγο). Είμαστε πλέον στο σημείο H, που αντιστοιχεί σε $z_A \approx 3{,}3 + j0{,}6$.

Υπολογίζουμε την επίδραση της γραμμής μεταφοράς μήκους 0,13λ. Ξεκινώντας από άπειρη αγωγιμότητα (βραχυκύκλωμα) στο σημείο R, μετακινούμαστε ωρολογιακά κατά 0,13 στην κλίμακα μηκών κύματος και καταλήγουμε στο σημείο S. Αυτό αντιστοιχεί περίπου σε -j0,9375, το οποίο προσθέτουμε στο z_A.

Έτσι καταλήγουμε περίπου σε $z = 3{,}3 - j0{,}3375$, το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο σημείο L.

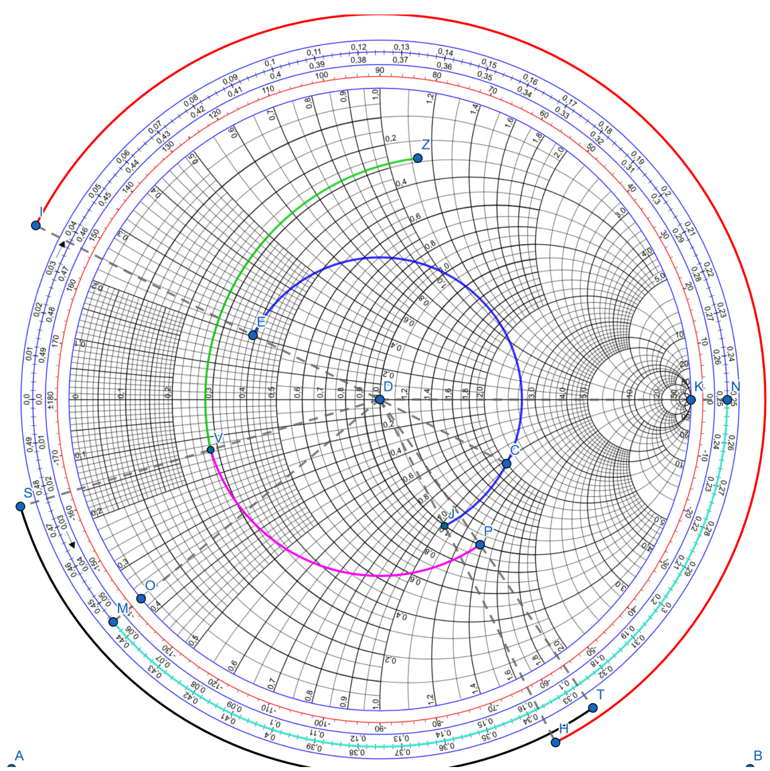
Μετακινούμαστε ωρολογιακά πάνω στον ροζ κύκλο σταθερού |Γ| κατά 0,1 στην κλίμακα μηκών κύματος, λόγω της γραμμής μεταφοράς μήκους 0,1λ. Είμαστε τώρα στο σημείο P.

Ο παράλληλα συνδεδεμένος πυκνωτής προσδίδει επιδεκτικότητα 0,85 και μας πάει στο σημείο V (κινούμαστε πάνω στον πράσινο κύκλο σταθερής αγωγιμότητας).

Μετρώντας με τον χάρακα, υπολογίζουμε τον λόγο των μηκών DV / DR και έτσι το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο βγαίνει περίπου ίσο με:

$$|\Gamma_{in}| = \frac{DV}{DR} \approx \frac{1{,}7}{7{,}9} \approx 0{,}2152$$

(β)



Στη συχνότητα f_0’ = 1,5 GHz, το μήκος κύματος από λ = υ_p / f_0 γίνεται λ’ = υ_p / f_0’. Συνεπώς εφόσον υ_p = const (ανεξάρτητη της συχνότητας), το οποίο ισχύει για γραμμές (κύματα) TEM και σχεδόν-TEM, θα είναι:

$$\frac{\lambda'}{\lambda}=\frac{\frac{\upsilon_p}{f_0'}}{\frac{\upsilon_p}{f_0}}=\frac{\frac{1}{f_0'}}{\frac{1}{f_0}}=\frac{f_0}{f_0'}\Rightarrow \lambda f_0=\lambda' f_0' \Leftrightarrow \lambda=\frac{\lambda' f_0'}{f_0}=\frac{1{,}5\lambda'}{1}=1{,}5\lambda'$$

Το φυσικό μήκος των γραμμών είναι το ίδιο, άρα τα μήκη γραμμών είναι:

$$0{,}1\lambda=0{,}1\cdot 1{,}5\lambda'=0{,}15\lambda'$$
$$0{,}13\lambda=0{,}13\cdot 1{,}5\lambda'=0{,}195\lambda'$$
$$0{,}2\lambda=0{,}2\cdot 1{,}5\lambda'=0{,}3\lambda'$$

Πλέον έχουμε για τον C_1:

$$B_1'=\omega_0' C_1=2\pi f_0' C_1=2\pi\cdot 1{,}5\cdot 10^9\cdot 2{,}7\cdot 10^{-12}\approx 0{,}0255\,\mathrm{S}$$

Κανονικοποιώντας:

$$b_1'=B_1'\cdot 50=0{,}0255\cdot 50=1{,}275$$

Για τον C_2:

$$X_2'=\frac{1}{\omega_0' C_2}=\frac{1}{2\pi f_0' C_2}=\frac{1}{2\pi\cdot 1{,}5\cdot 10^9\cdot 2\cdot 10^{-12}}\approx 53{,}053\Omega$$

Άρα για το Z_L’ ισχύει:

$$Z_L'=100-j\,53{,}053\,\Omega$$

Κανονικοποιώντας:

$$z_L'=\frac{100-j53{,}053}{50}=2-j1{,}061$$

Ομοίως με πριν:
Ξεκινάμε από το φορτίο z_L’, το οποίο αντιστοιχεί στο σημείο C, και πηγαίνουμε προς την είσοδο.

Παίρνουμε το αντιδιαμετρικό του ως προς το κέντρο D για να μεταφερθούμε σε αγωγιμότητες αντί αντιστάσεις, και έτσι είμαστε στο σημείο E.

Η γραμμή μεταφοράς μήκους 0,3λ’ μας μετακινεί ωρολογιακά κατά 0,3 στην κλίμακα μηκών κύματος, μένοντας στον μπλε κύκλο σταθερού |Γ| (δεν απεικονίζεται ολόκληρος). Είμαστε πλέον στο σημείο J, που αντιστοιχεί σε z_A’ ≈ 1 – j1,025.

Υπολογίζουμε την επίδραση της γραμμής μεταφοράς μήκους 0,195λ’. Ξεκινώντας από άπειρη αγωγιμότητα (βραχυκύκλωμα) στο σημείο K, μετακινούμαστε ωρολογιακά κατά 0,195 στην κλίμακα μηκών κύματος και καταλήγουμε στο σημείο O. Αυτό αντιστοιχεί περίπου σε -j0,36, το οποίο προσθέτουμε στο z_A’.

Έτσι καταλήγουμε περίπου σε z’ = 1 – j1,385, το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο σημείο P.

Μετακινούμαστε ωρολογιακά πάνω στον ροζ κύκλο σταθερού |Γ| (δεν απεικονίζεται ολόκληρος) κατά 0,15 στην κλίμακα μηκών κύματος, λόγω της γραμμής μεταφοράς μήκους 0,15λ’. Είμαστε τώρα στο σημείο V.

Ο παράλληλα συνδεδεμένος πυκνωτής προσδίδει επιδεκτικότητα 1,275 και μας πάει στο σημείο Z (κινούμαστε πάνω στον πράσινο κύκλο σταθερής αγωγιμότητας).

Μετρώντας με τον χάρακα, υπολογίζουμε τον λόγο των μηκών DZ / DK και έτσι το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο βγαίνει περίπου ίσο με:

$$|\Gamma_{\mathrm{in}}'| = \frac{DZ}{DK} \approx \frac{6.61}{8.42} \approx 0{,}785$$

1.2. Μικροκυματικός ενισχυτής (συζυγής προσαρμογή) – Διάγραμμα Smith

Ζητάμε το μέγιστο δυνατό κέρδος, οπότε χρειαζόμαστε συζυγής προσαρμογή. Δηλαδή θέλουμε και στο κύκλωμα της εισόδου και στο κύκλωμα της εξόδου να ισχύει $Z_{in} = Z_g^*$.

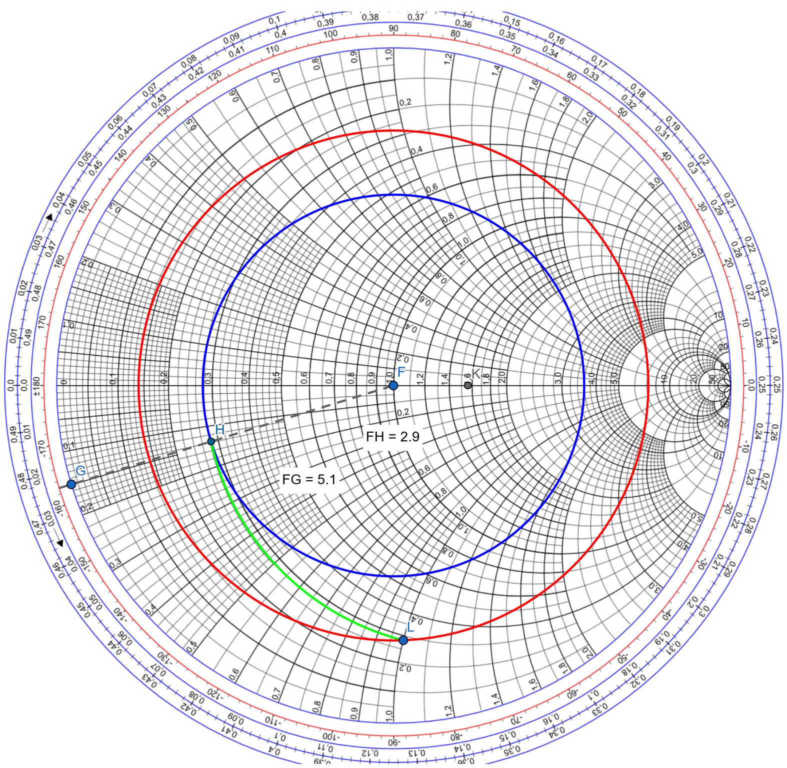
Για το κύκλωμα της εισόδου έχουμε:

$$Z_g = Z_{\text{πηγής}} = 50\,\Omega \Rightarrow Z_g{*} = 50\,\Omega \Rightarrow Z_{in} = 50\,\Omega \Rightarrow z_{in} = \frac{Z_{in}}{Z_0} = \frac{50}{50} = 1 \Rightarrow y_{in} = \frac{1}{z_{in}} = \frac{1}{1} = 1$$

Με τη βοήθεια του διαγράμματος Smith, αντιστοιχίζουμε το S_{11} σε κανονικοποιημένη αντίσταση $z_{11} \approx 0{,}28 - j0{,}14$ (σημείο H). Ξεκινάμε από τον ακροδέκτη 1 του τρανζίστορ (σημείο H) και προσπαθούμε να φτάσουμε στην είσοδο (σημείο F).

Περίπτωση 1

Πυκνωτής συνδεδεμένος στον ακροδέκτη 1 του τρανζίστορ, σε σειρά



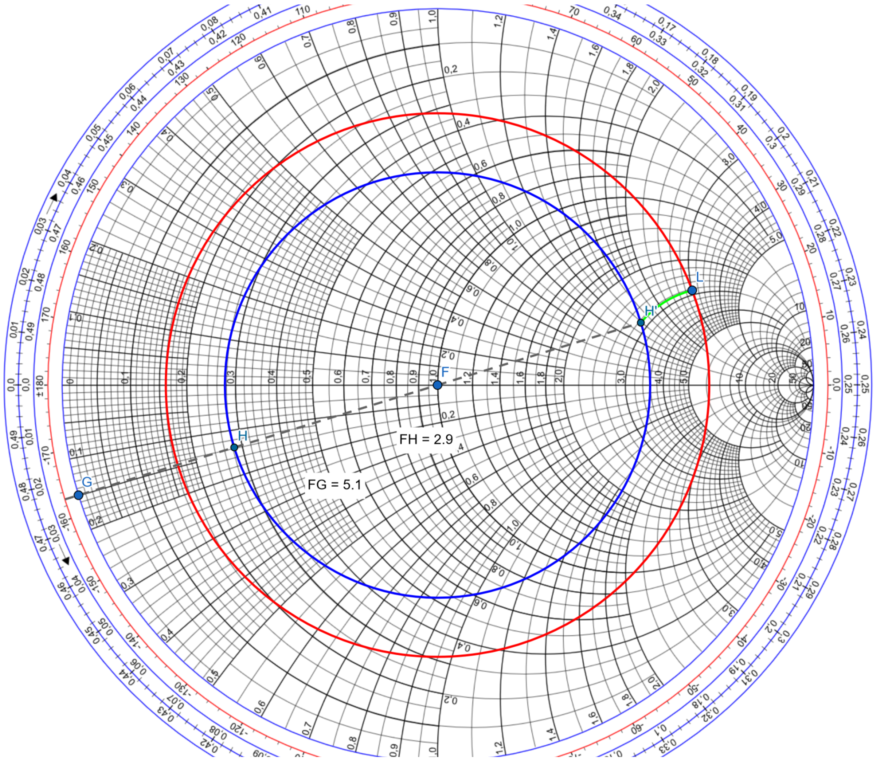
Συναντάμε πρώτα τον πυκνωτή σε σειρά και έτσι από το σημείο H, προσθέτοντας κάποια αρνητική αντίδραση, φτάνουμε σε κάποιο σημείο L το οποίο αναγκαστικά έχει μεγαλύτερο |Γ| από αυτό που ξεκινήσαμε.

Έτσι, η απλή γραμμή μεταφοράς που ακολουθεί (η οποία μπορεί μόνο να μας μετατοπίσει πάνω σε κύκλο σταθερού |Γ|) δεν μπορεί να μας οδηγήσει στο σημείο F όπου $z_{in} = 1$ ($|\Gamma_{in}| = 0$).

Άρα αυτή η περίπτωση απορρίπτεται.

Περίπτωση 2

Πυκνωτής συνδεδεμένος στον ακροδέκτη 1 του τρανζίστορ, παράλληλα



Αρχικά παίρνουμε το αντιδιαμετρικό του H ως προς το κέντρο F για να μεταφερθούμε σε διάγραμμα αγωγιμοτήτων, και έτσι βρισκόμαστε στο σημείο H’.

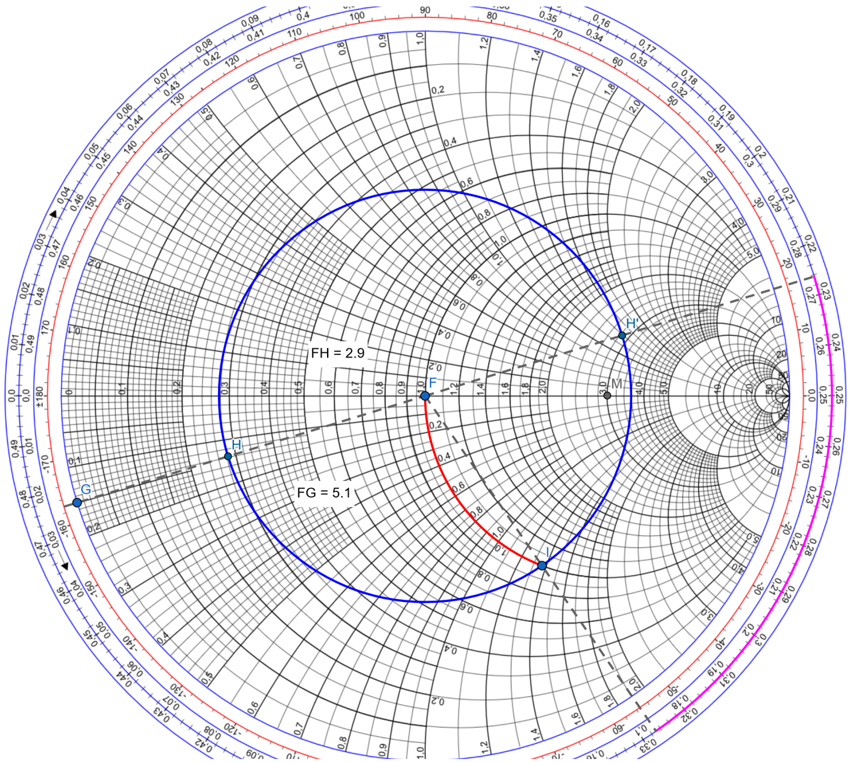
Συναντάμε πρώτα τον πυκνωτή παράλληλα και έτσι από το σημείο H’, προσθέτοντας κάποια θετική επιδεκτικότητα, φτάνουμε σε κάποιο σημείο L το οποίο αναγκαστικά έχει μεγαλύτερο |Γ| από αυτό που ξεκινήσαμε.

Έτσι, η απλή γραμμή μεταφοράς που ακολουθεί (η οποία μπορεί μόνο να μας μετατοπίσει πάνω σε κύκλο σταθερού |Γ|) δεν μπορεί να μας οδηγήσει στο σημείο F όπου $z_{in} = 1$ ($|\Gamma_{in}| = 0$).

Άρα και αυτή η περίπτωση απορρίπτεται.

Περίπτωση 3

Πυκνωτής συνδεδεμένος στην είσοδο του κυκλώματος, παράλληλα



Αρχικά παίρνουμε το αντιδιαμετρικό του Η ως προς το κέντρο F για να μεταφερθούμε σε διάγραμμα αγωγιμοτήτων, και έτσι βρισκόμαστε στο σημείο Η’.

Συναντάμε πρώτα την απλή γραμμή μεταφοράς και έτσι από το σημείο Η’, κινούμαστε ωρολογιακά πάνω στον μπλε κύκλο σταθερού |Γ| μέχρι το σημείο τομής του με τον κύκλο αντίστασης r=1 αρνητικής επιδεκτικότητας, ώστε στη συνέχεια ο παράλληλα συνδεδεμένος πυκνωτής (που προσθέτει θετική επιδεκτικότητα) να την εξουδετερώσει και να φτάσουμε στο z_{in} = 1.

Βρισκόμαστε έτσι στο σημείο Ι, από όπου με κατάλληλο πυκνωτή μπορούμε να μεταφερθούμε στο σημείο F όπου z_{in} = 1, κινούμενοι πάνω στον κύκλο r = 1.

Τότε για το μήκος της γραμμής μεταφοράς θα ισχύει:

l1 ≈ 0,327λ – 0,226λ = 0,101λ

Για τον πυκνωτή θα ισχύει:

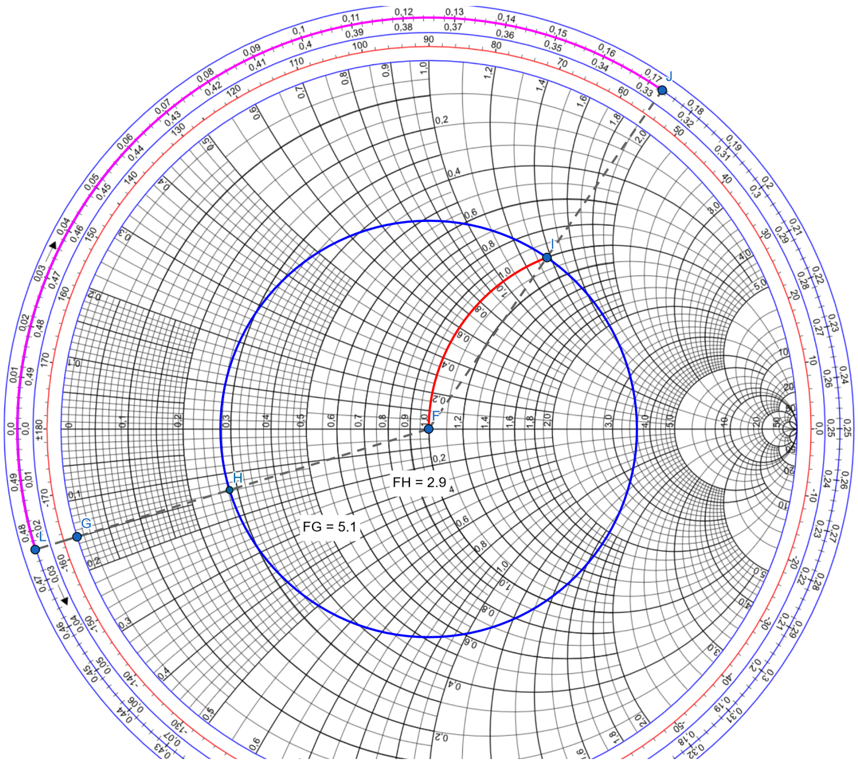
Σημείο Ι: $y=1-j1{,}36 \Rightarrow Y=\frac{1-j1{,}36}{50}=0{,}02-j0{,}0272\,\Omega$

Άρα ο πυκνωτής θα πρέπει να προσθέσει επιδεκτικότητα ίση με j0,0272 Ω, και άρα έχουμε:

$$j\omega C = j\,0{,}0272 \Rightarrow \omega C = 0{,}0272 \Rightarrow C = \frac{0{,}0272}{\omega} = \frac{0{,}0272}{2\pi f} = \frac{0{,}0272}{2\,\pi\cdot 2{,}5\cdot 10^{9}} = \frac{0{,}0272}{5\,\pi\cdot 10^{9}} \approx 1{,}732\cdot 10^{-12}\,\mathrm{F} = 1{,}732\,\mathrm{pF}$$

Περίπτωση 4

Πυκνωτής συνδεδεμένος στην είσοδο του κυκλώματος, σε σειρά



Συναντάμε πρώτα την απλή γραμμή μεταφοράς και έτσι από το σημείο H, κινούμαστε ωρολογιακά πάνω στον μπλε κύκλο σταθερού |Γ| μέχρι το σημείο τομής του με τον κύκλο αντίστασης r=1 θετικής αντίδρασης, ώστε στη συνέχεια ο σε σειρά συνδεδεμένος πυκνωτής (που προσθέτει αρνητική αντίδραση) να την εξουδετερώσει και να φτάσουμε στο $z_{in} = 1$.

Βρισκόμαστε έτσι στο σημείο I, από όπου με κατάλληλο πυκνωτή μπορούμε να μεταφερθούμε στο σημείο F όπου $z_{in} = 1$, κινούμενοι πάνω στον κύκλο r = 1.

Τότε για το μήκος της γραμμής μεταφοράς θα ισχύει:

$l_1 \approx 0{,}5\lambda - 0{,}476\lambda + 0{,}173\lambda = 0{,}197\lambda > 0{,}101\lambda$

Άρα αυτή η περίπτωση οδηγεί σε μεγαλύτερο μήκος γραμμής, συνεπώς εφόσον θέλουμε τα μικρότερα δυνατά μήκη γραμμών, απορρίπτεται.

Τελικά ο πυκνωτής συνδέεται σύμφωνα με την περίπτωση 3: <u>στην είσοδο, παράλληλα.</u>

<u>Ισχύει λοιπόν $l_1 = 0{,}101\lambda$ και C = 1,732 pF.</u>

Για το κύκλωμα της εξόδου έχουμε:

Με τη βοήθεια του διαγράμματος Smith, αντιστοιχίζουμε το S_{22} σε κανονικοποιημένη αντίσταση $z_{22} \approx$ 0,71 – j1,92 (σημείο F).

$$z_g = z_{22} = 0{,}71 - j\,1{,}92 \Rightarrow z_g{}^* = 0{,}71 + j\,1{,}92 \Rightarrow z_{in} = 0{,}71 + j\,1{,}92$$

Βρίσκουμε την z_{in} στο διάγραμμα Smith και έχουμε το σημείο F'. Το αντιδιαμετρικό του σημείο F'' ως προς το κέντρο Ε δίνει την αντίστοιχη αγωγιμότητα yin.

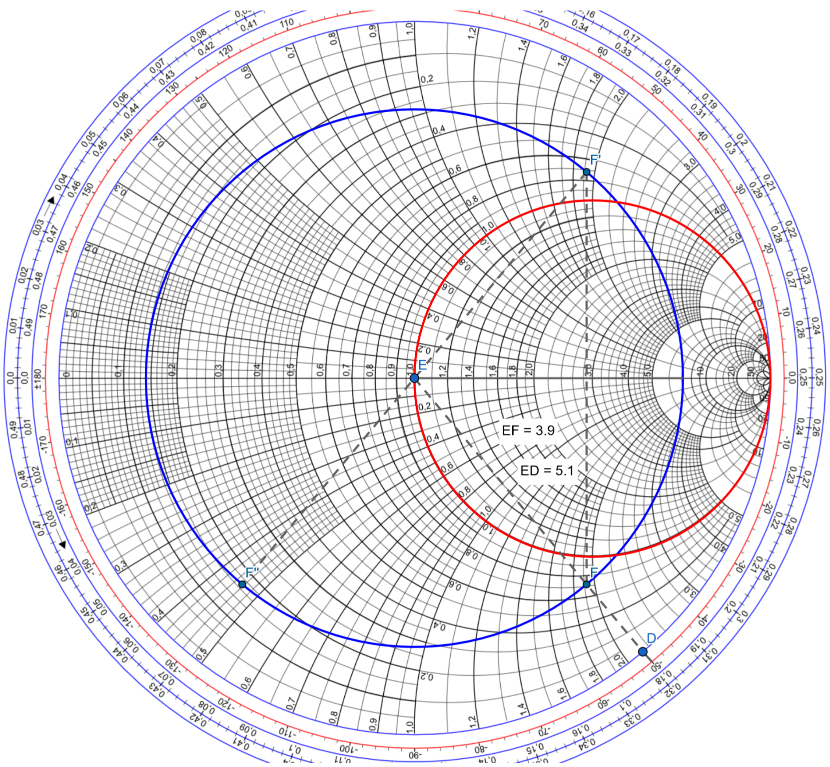
Για την έξοδο ξέρουμε ότι ισχύει:

$$Z_L = 50\Omega \Rightarrow z_L = \frac{50}{50} = 1 \Rightarrow y_L = 1$$

Ξεκινάμε από την έξοδο (σημείο Ε) και προσπαθούμε να φτάσουμε στον ακροδέκτη 2 του τρανζίστορ (σημείο F'', δουλεύοντας με αγωγιμότητες).

Περίπτωση 1

Κλαδωτής στον ακροδέκτη 2 του τρανζίστορ



Συναντάμε πρώτα την απλή γραμμή μεταφοράς, η οποία ανεξάρτητα του μήκους της μπορεί να μας μετατοπίσει μόνο πάνω σε κύκλο σταθερού |Γ|.

Επειδή βρισκόμαστε στο σημείο y_L = 1 ($|\Gamma_L|$ = 0), οποιαδήποτε τέτοια μετατόπιση θα μας άφηνε στο ίδιο σημείο. Επομένως η γραμμή μεταφοράς δεν μας κινεί και μένουμε στο σημείο Ε.

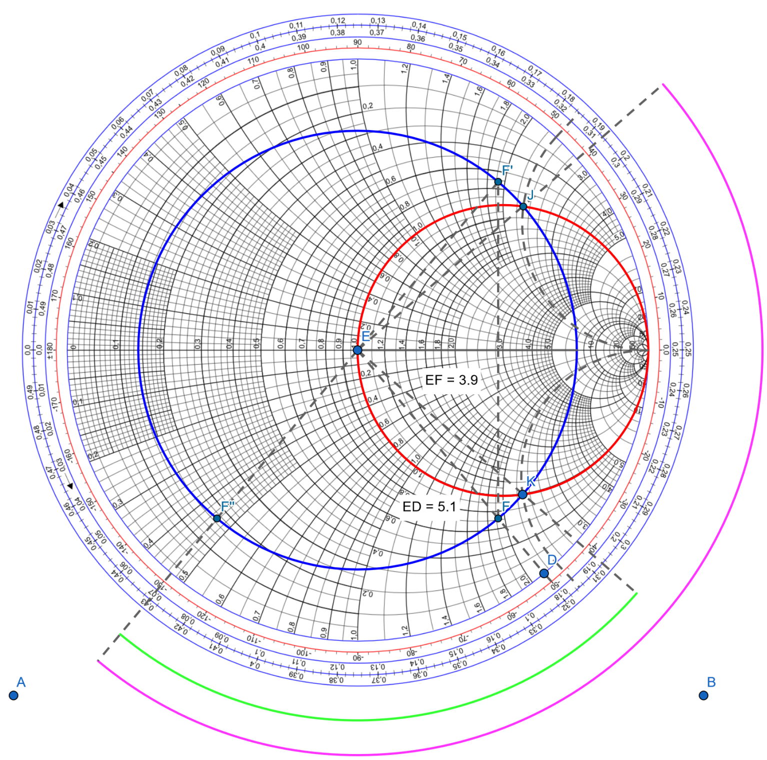
Ο κλαδωτής πρέπει τώρα να μας κινήσει από το σημείο E στο σημείο F’’, προσθέτοντας είτε θετική είτε αρνητική επιδεκτικότητα.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, δεν υπάρχει κατάλληλη τιμή επιδεκτικότητας, αφού ο κόκκινος κύκλος πάνω στον οποίο μπορούμε να μετατοπιστούμε είναι σταθερού y = 1 και δεν περνάει ποτέ από το F’’, για το οποίο ισχύει διαφορετική τιμή.

Άρα αυτή η περίπτωση απορρίπτεται.

Περίπτωση 2

Κλαδωτής στην έξοδο



Συναντάμε πρώτα τον κλαδωτή.

Για να μπορέσει η απλή γραμμή μεταφοράς που βρίσκεται μετά από αυτόν να μας μεταφέρει στο σημείο F’’, θα πρέπει ο κλαδωτής να μας έχει πρώτα μετακινήσει σε κάποιο σημείο που τέμνει τον μπλε κύκλο σταθερού |Γ| (εφόσον η γραμμή θα μπορεί έπειτα να μας κινεί μονάχα επάνω του).

Κινούμενοι σε κύκλο σταθερής αγωγιμότητας y=1, υπάρχουν μόνο 2 σημεία τα οποία τέμνουν τον μπλε κύκλο.

Στην περίπτωση της θετικής επιδεκτικότητας έχουμε:

Σημείο J: $z_J \approx 1 + j2,3$

Άρα ο κλαδωτής έχει επιδεκτικότητα περίπου j2,3, η οποία αντιστοιχεί σε μήκος περίπου 0,185λ.

Η γραμμή μεταφοράς που ακολουθεί μας μεταφέρει στο F’’ με μήκος l_2 ίσο με:

l_2 = 0,43λ – 0,193λ = 0,237λ

Συνολικά:

0,185λ + 0,237λ = 0,422λ

Στην περίπτωση αρνητικής επιδεκτικότητας έχουμε:

Σημείο Κ: $z_K \approx 1 - j2{,}3$

Άρα ο κλαδωτής έχει επιδεκτικότητα περίπου -j2,3, η οποία αντιστοιχεί σε μήκος περίπου 0,315λ.

Η γραμμή μεταφοράς που ακολουθεί μας μεταφέρει στο F’’ με μήκος l_2 ίσο με:

l_2 = 0,43λ – 0,307λ = 0,123λ

Συνολικά:

0,315λ + 0,123λ = 0,438λ > 0,422λ

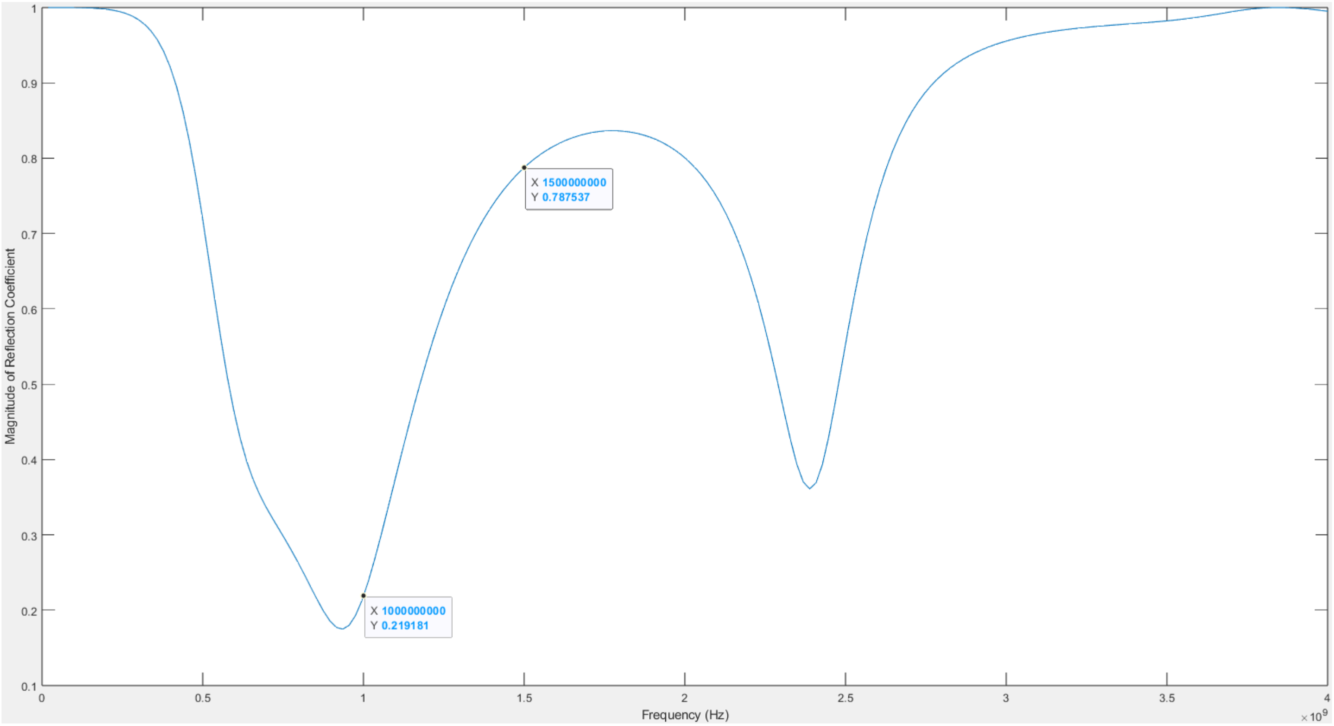
Άρα η επιθυμητή κατάσταση για τον κλαδωτή είναι: τοποθέτηση στην έξοδο με θετική επιδεκτικότητα.

Τότε το συνολικό μήκος γραμμών για το κύκλωμα εξόδου είναι 0,422λ, με $l_{κλαδωτή}$ = 0,185λ και l_2 = 0,237λ.

1.3. Ανάλυση κυκλωμάτων γραμμών μεταφοράς στο πεδίο της συχνότητας

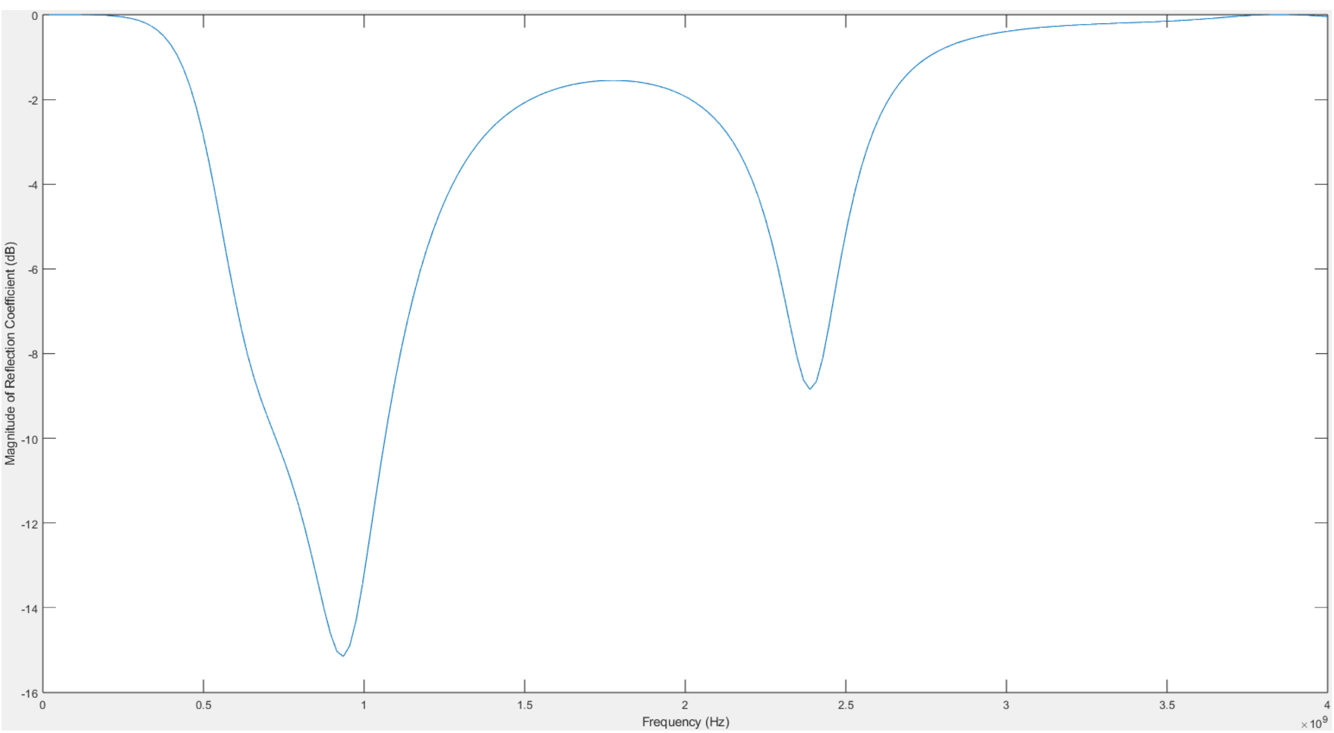
(α) Ο κώδικας αυτού του ερωτήματος παρατίθεται στο αρχείο “code13a.m”.

Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης εισόδου



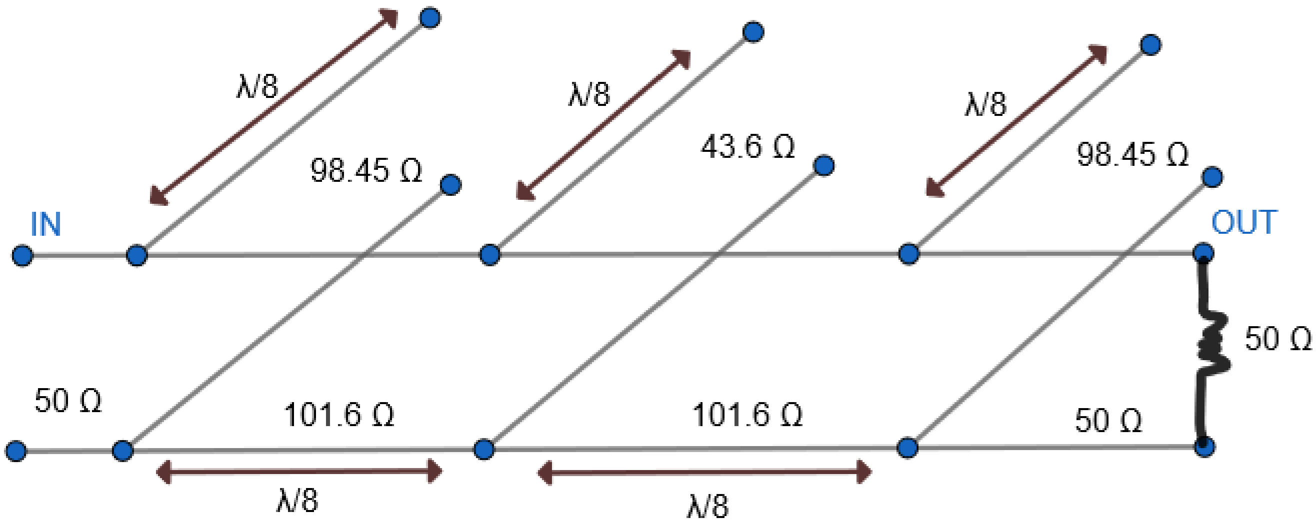
Παρατηρούμε ότι οι υπολογιστικές τιμές που βρίσκουμε μέσω του MATLAB είναι πολύ κοντά σε αυτές που βρήκαμε μέσω του διαγράμματος Smith στην άσκηση 1.1.

Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης εισόδου σε dB

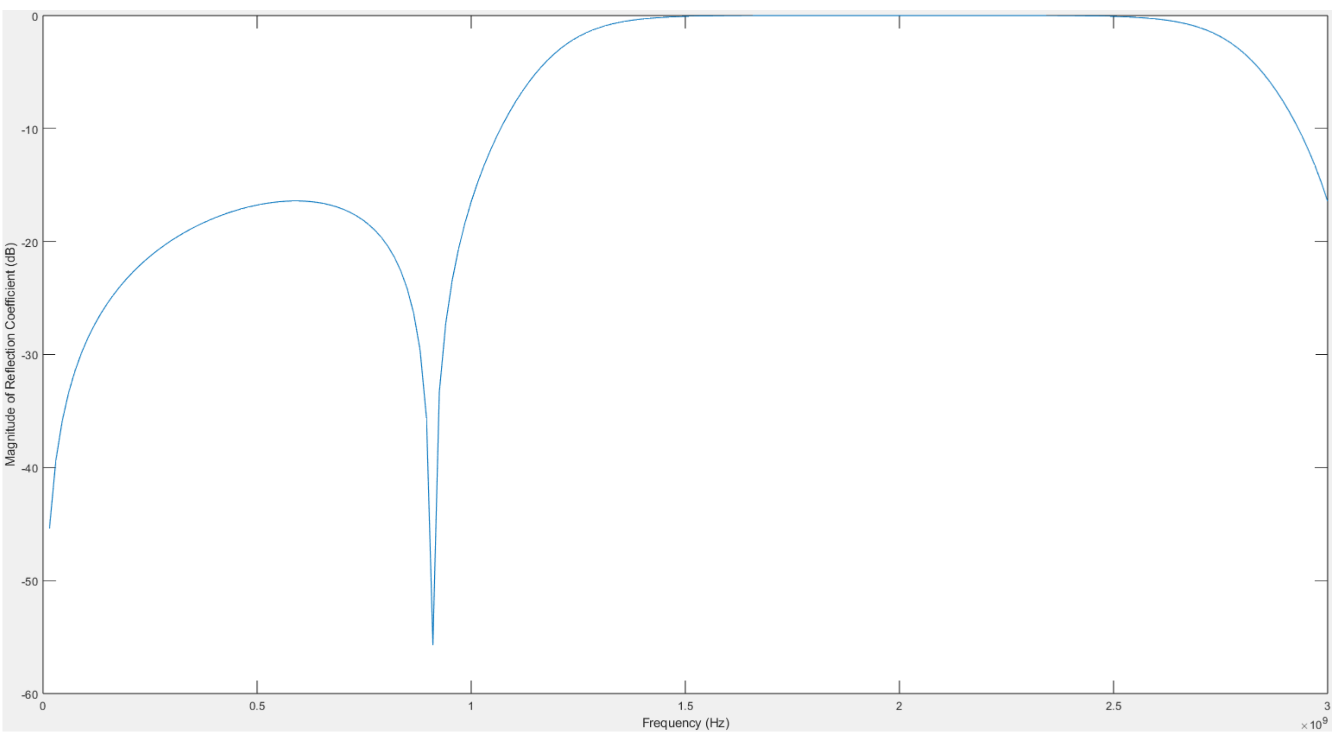


(β) Ο κώδικας αυτού του ερωτήματος παρατίθεται στο αρχείο “code13b.m”.

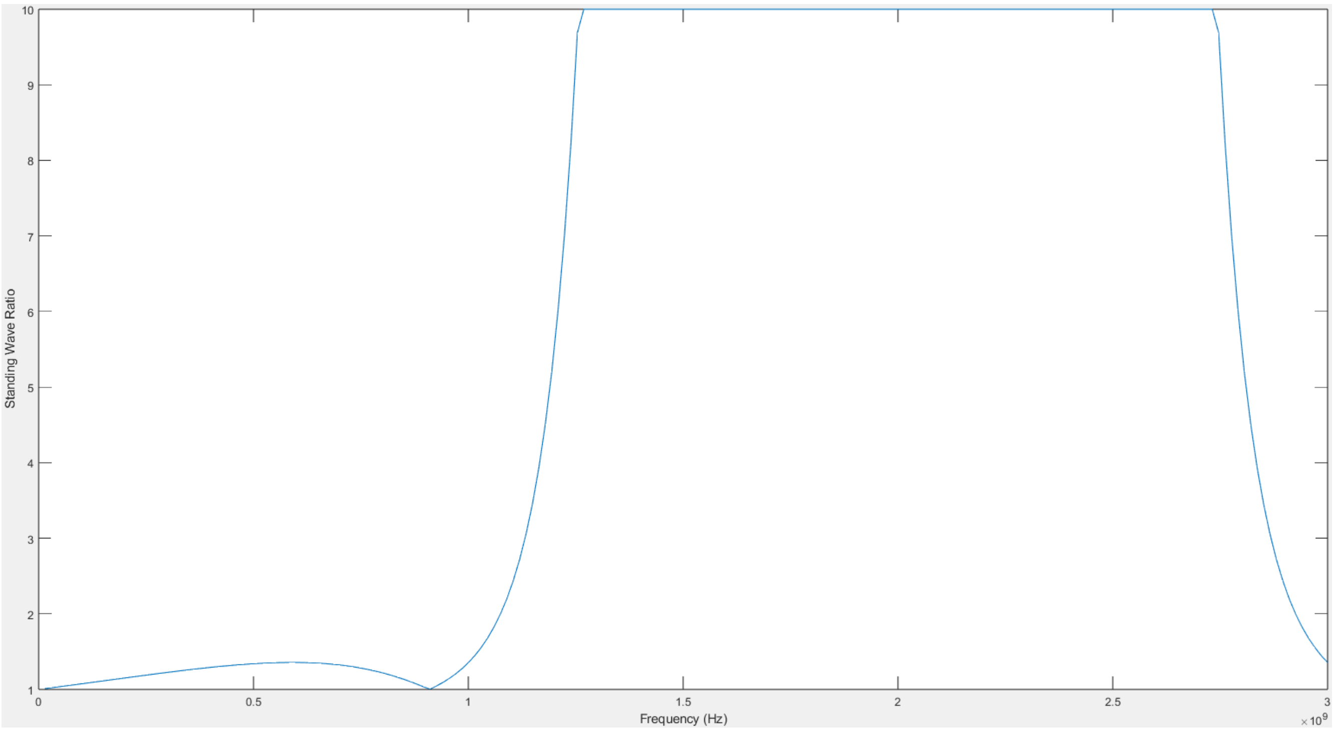
Κυκλωματικό ισοδύναμο γραμμής μεταφοράς του κυκλώματος



Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης εισόδου (dB)



Γράφημα SWR εισόδου



Παρατηρούμε ότι στο εύρος συχνοτήτων 0-3 GHz, έχουμε καλή προσαρμογή (SWR<2) για συχνότητες μικρότερες του ~1,05 GHz. Για συχνότητες μεγαλύτερες από ~1,05 GHz η προσαρμογή χαλάει, εκτός από μια στενή μπάντα συχνοτήτων κοντά στα 3 GHz, η οποία δεν έχει σημαντικό εύρος.

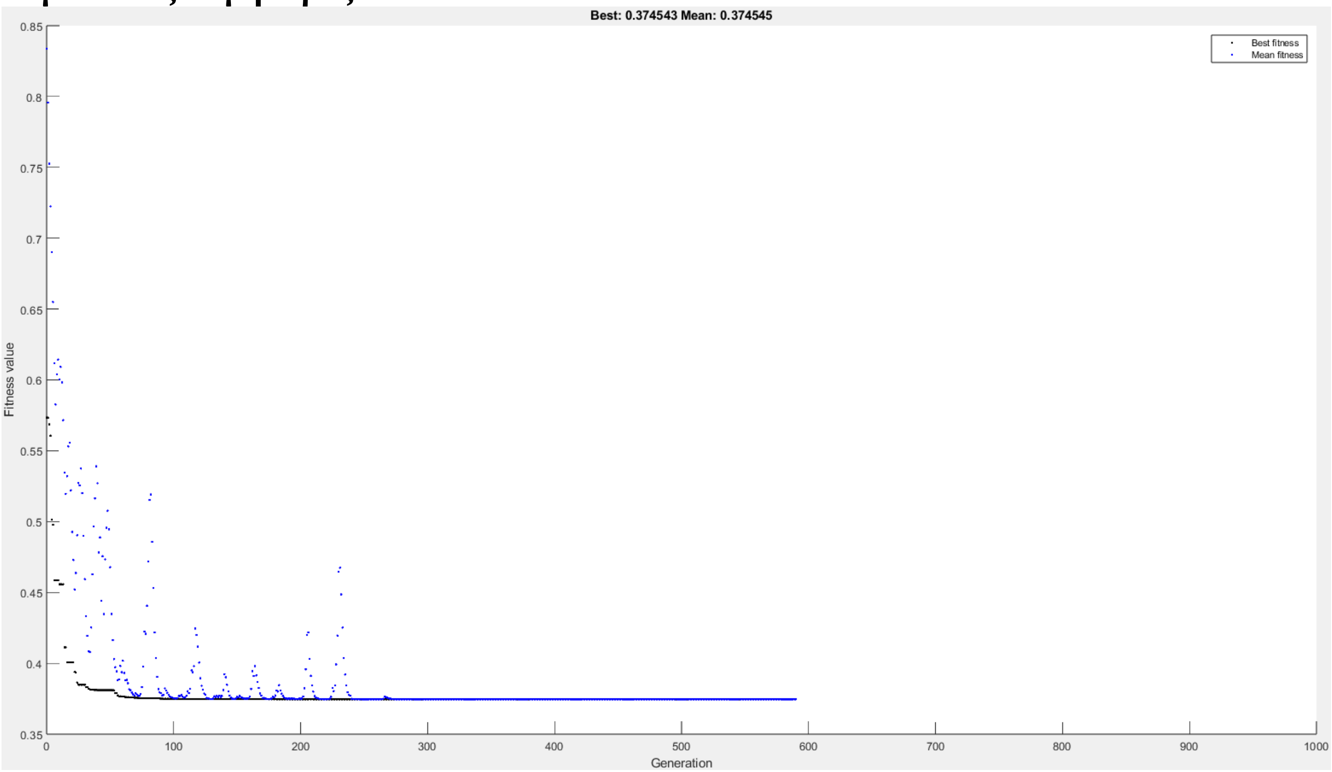
Συνεπώς, στο εύρος 0-3 GHz, το φίλτρο είναι χαμηλοπερατό.

1.4. Πολλαπλός κλαδωτής

(α) Ο κώδικας αυτού του ερωτήματος παρατίθεται στο αρχείο “code14a.m”.

(β) Ο κώδικας αυτού του ερωτήματος παρατίθεται στο αρχείο “optim14b.mlx”.

Ο γενετικός αλγόριθμος δίνει:



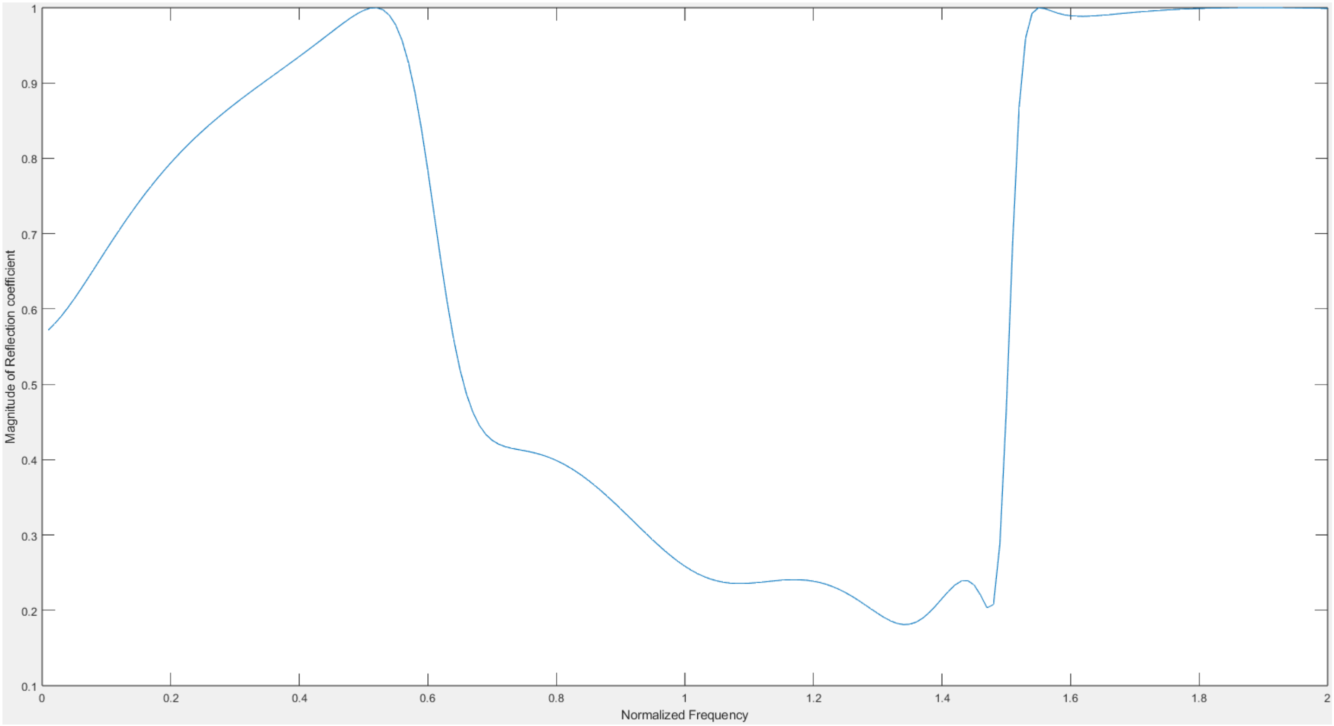
Το διάνυσμα βέλτιστων παραμέτρων που προκύπτει είναι:

p = [0.180473320054714,0.063969451749361,0.122234659740623,0.483172442252668,0.131859623529260,0.073987057043652]

Ο ελάχιστος μέσος όρος που προκύπτει είναι $|\Gamma_{in}|$ = 0.374543208455594

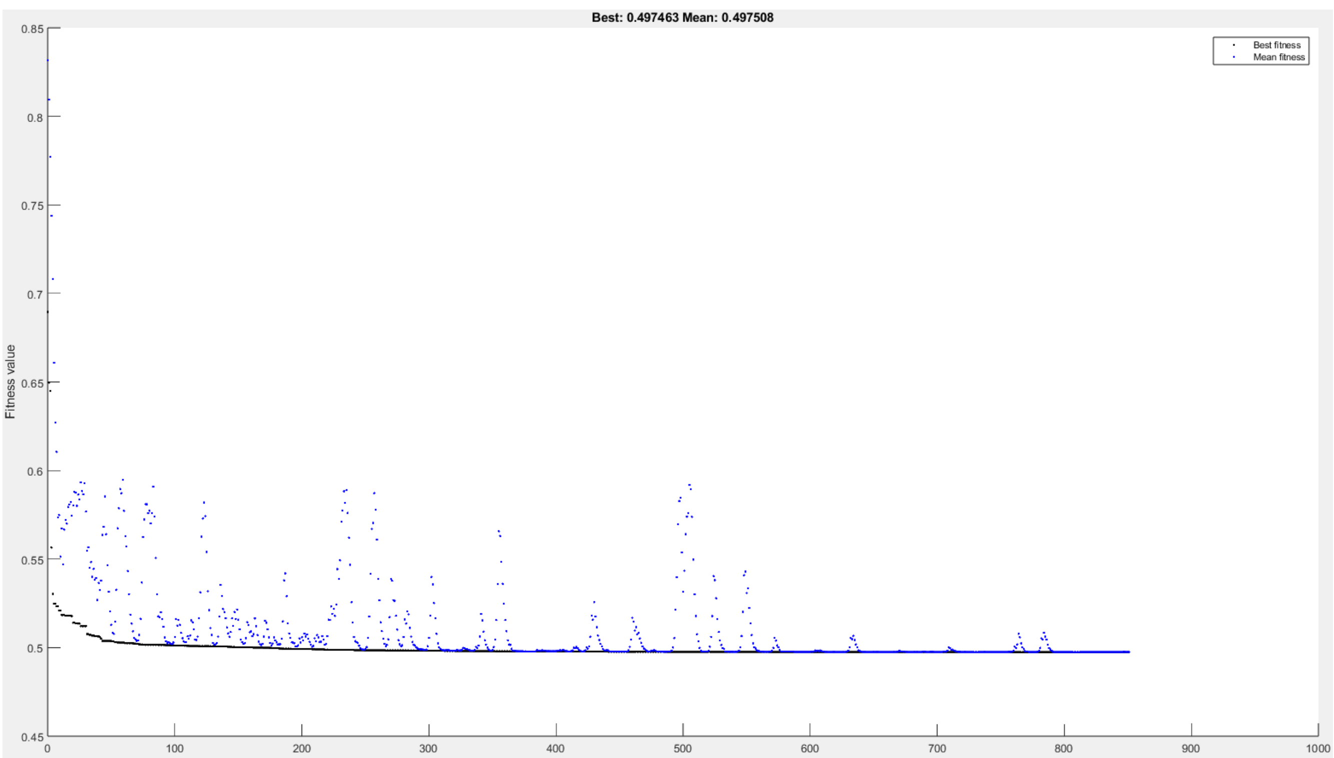
(γ) Ο κώδικας αυτού του ερωτήματος παρατίθεται στο αρχείο “code14c.m”.

Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης εισόδου με βέλτιστο διάνυσμα



(δ) Ο κώδικας αυτού του ερωτήματος παρατίθεται στα αρχεία “code14d.m”, “optim14d.mlx” και “code14dgraph.m”.

Ο γενετικός αλγόριθμος δίνει:

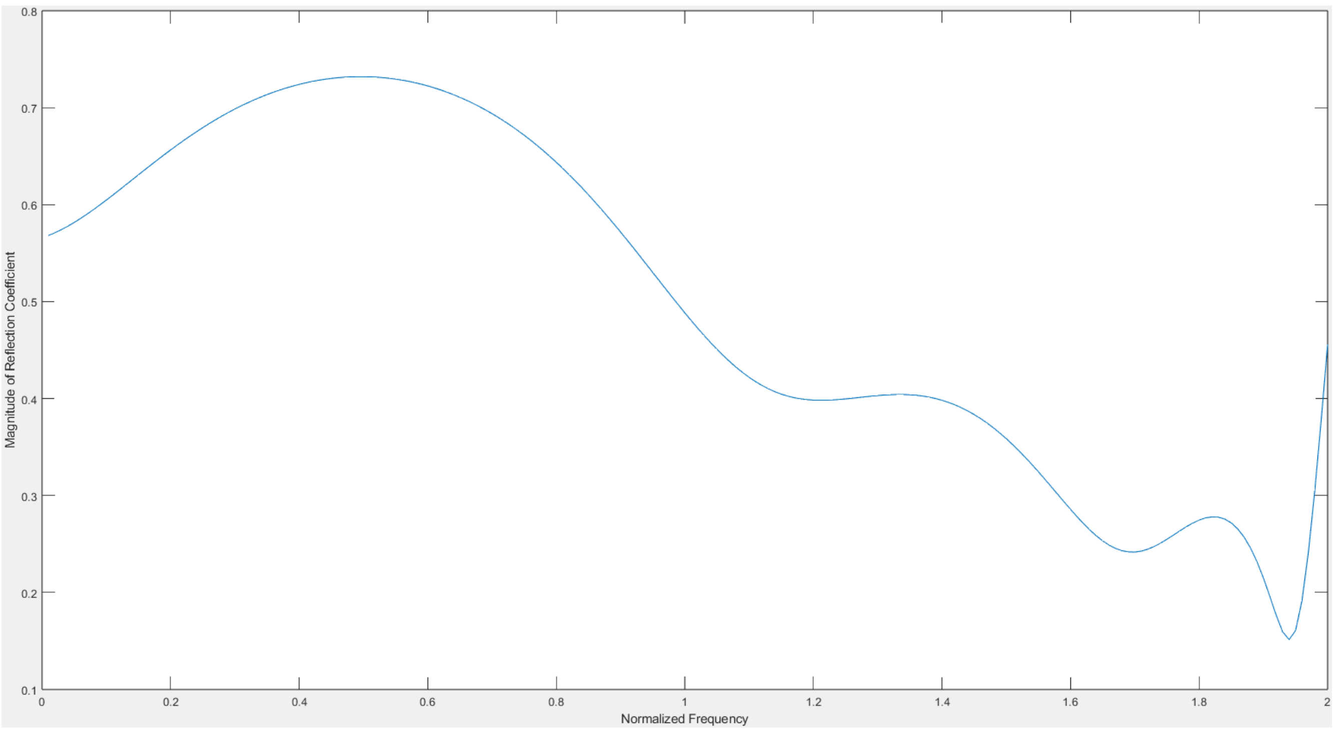


Το διάνυσμα βέλτιστων παραμέτρων που προκύπτει είναι:

p = [0.166576061407803,0.078182664467846,0.101020692010137,0.099445435757259,0.096266427012335,0.057326626959938]

Ο ελάχιστος μέσος όρος που προκύπτει είναι $|\Gamma_{in}|$ = 0.497462594216568

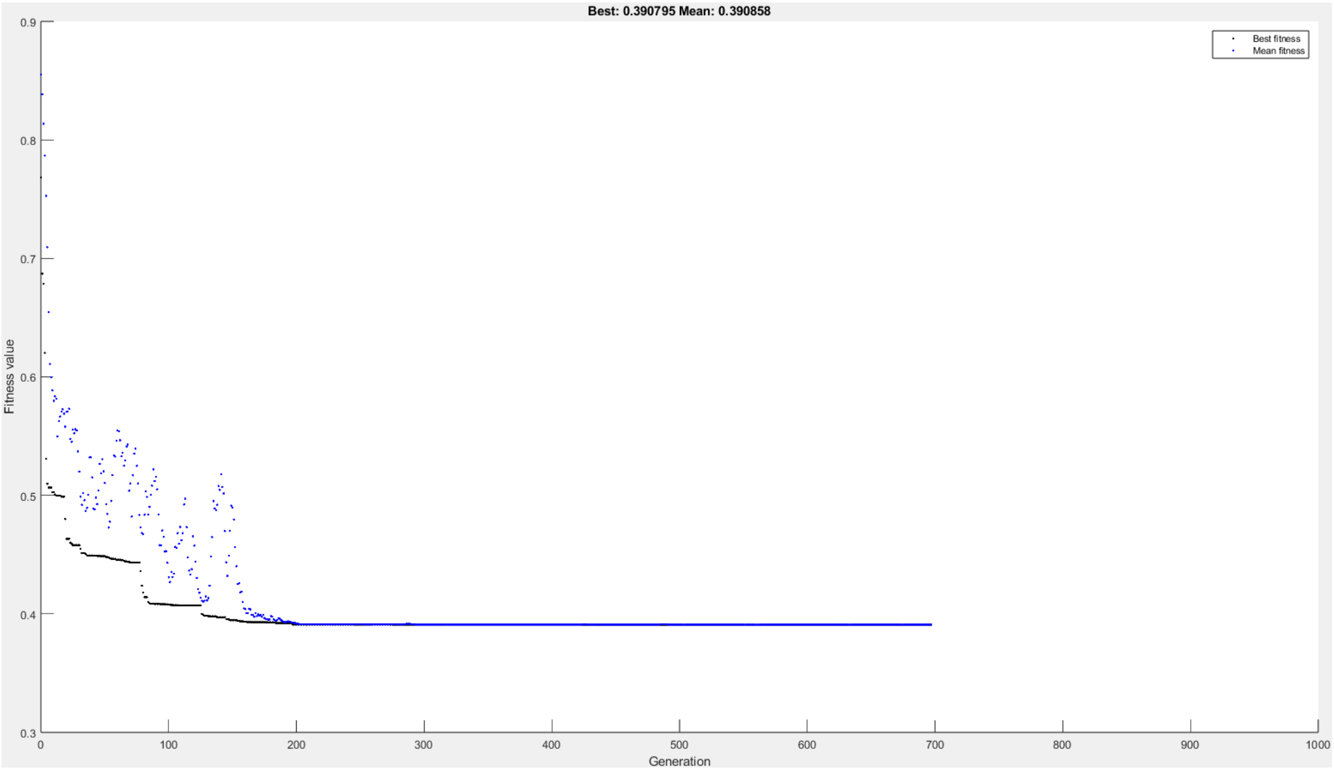
Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης εισόδου



(ε) Ο κώδικας αυτού του ερωτήματος παρατίθεται στο αρχείο “code14e1.m”, “code14e2.m”, “optim14e1.mlx”, “optim14e2.mlx”, “code14e1graph.m” και “code14e2graph.m”.

Για Z_L = 10 + j15 Ω:

Ο γενετικός αλγόριθμος δίνει:

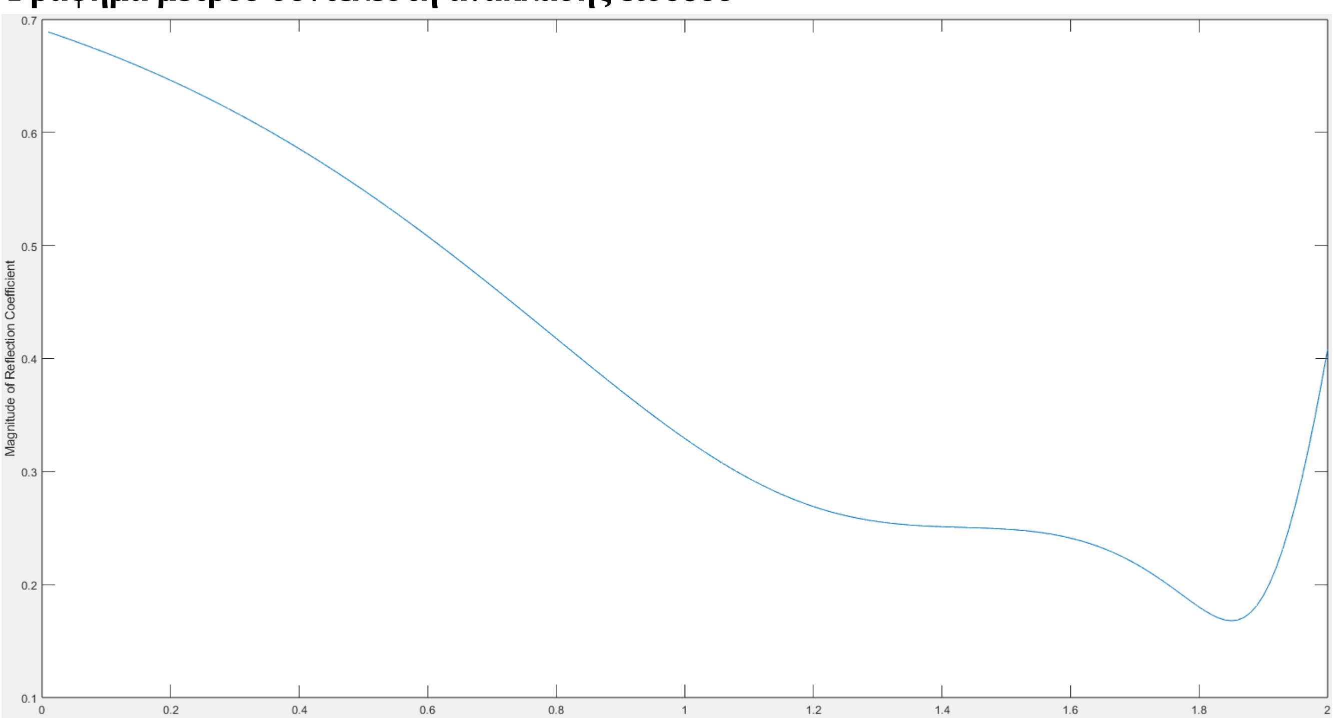


Το διάνυσμα βέλτιστων παραμέτρων που προκύπτει είναι:

p = [7.728746148294440e-06,0.050003289861961,0.050010334249334,0.108717394317495,0.064266758153833,0.027415723578973]

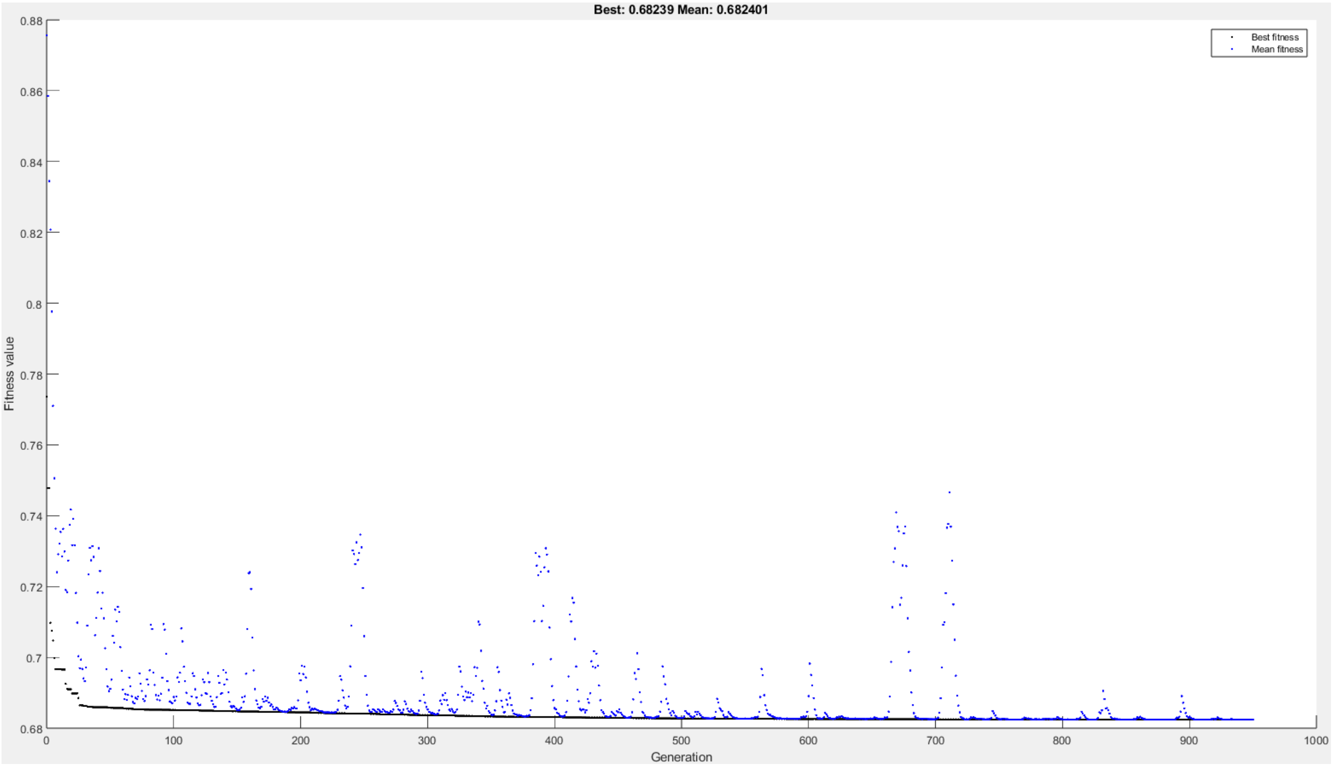
Ο ελάχιστος μέσος όρος που προκύπτει είναι $|\Gamma_{in}|$ = 0.390794573203952

Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης εισόδου



Για Z_L = 200 + j150 Ω:

Ο γενετικός αλγόριθμος δίνει:

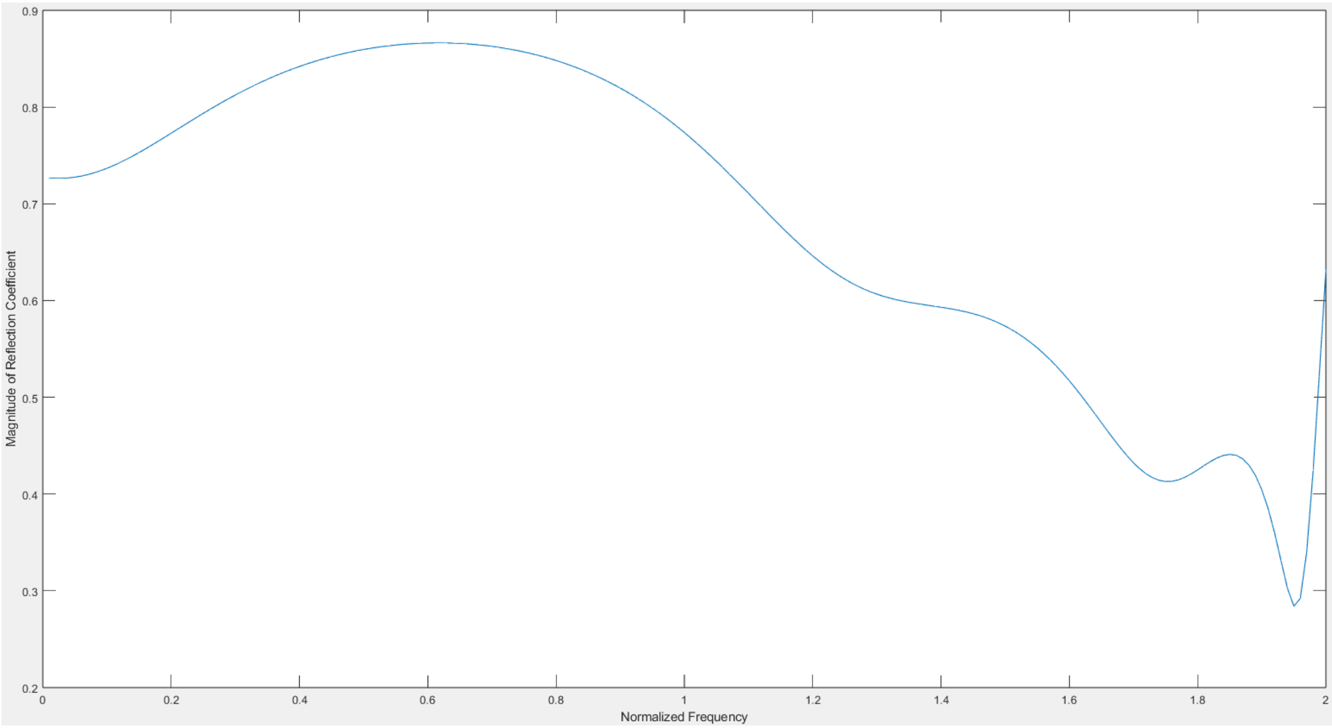


Το διάνυσμα βέλτιστων παραμέτρων που προκύπτει είναι:

p = [0.183584231924254,0.063463109459817,0.089304000158708,0.105771007907240,0.102719046304684,0.063816108761124]

Ο ελάχιστος μέσος όρος που προκύπτει είναι $|\Gamma_{in}|$ = 0.682389683740342

Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης εισόδου



Χούκλης Αθανάσιος

ΑΕΜ: 10396