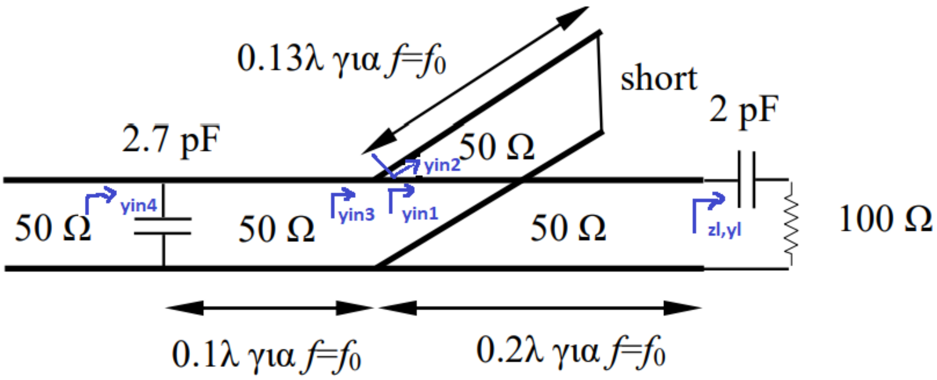
Διατάξεις Υψηλών Συχνοτήτων-Εργασία Σειρά 1

Θεολόγης Γεώργιος

ΑΕΜ:10413

<u>ΑΣΚΗΣΗ 1.1</u>



1.1.α) Για συχνότητα f=1 Ghz.

Πρώτα υπολογίζουμε την σύνθετη αντίσταση του φορτιού:

$$ZC1 = \frac{-j}{\omega * C1} = \frac{-j}{2 * \pi * 10^9 \ * 2 * 10^{-12}} = -j * 79.5774\ \Omega$$

$$ZL = R + ZC1 = 100 - j * 79.5774\ \Omega$$

Κανονικοποιημένη ως προς την χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής Z0=50 Ω είναι:

$$zL = \frac{ZL}{Z0} = \frac{ZL}{50} = 2 - j * 1.59154$$

Για κύκλο σταθερού μέτρου συντελεστή ανάκλασης , άρα και SWR, το αντιδιαμετρικό σημείο του zL είναι η σύνθετη αγωγιμότητα του φορτίου:

$$yL = 0.305 + j * 2.4$$

Από εδώ και πέρα το διάγραμμα Smith αξιοποιείται ως διάγραμμα συνθετών αγωγιμοτήτων. Η γωνία αναφοράς για το yL είναι 0.042*λ και το μήκος αυτού του τμήματος της γραμμής μεταφοράς είναι 0.2*λ από φορτίο έως τον κλαδωτή , άρα με ωρολογιακή περιστροφή κατά 0.2*λ επί του κύκλου σταθερού μέτρου συντελεστή ανάκλασης καταλήγουμε σε γωνία 0.242*λ και σε σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου πριν τον κλαδωτή yin1:

$$yin1 = 3.4 + j * 0.6$$

Ο κλαδωτής έχει μήκος 0.13*λ και είναι βραχυκυκλωμένος , άρα ξεκινώντας από το σημείο άπειρης αγωγιμότητας Κ(0.25*λ), πηγαίνοντας ωρολογιακά επί κύκλου |Γ|=1, καταλήγουμε σε 0.38*λ άρα σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου:

$$yin2 = -j * 0.95$$

Άρα αμέσως μετά τον κλαδωτή η σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου είναι:

$$yin3 = yin1 + yin2 = 3.4 - j * 0.35$$

Το μήκος του τμήματος της γραμμής μεταφοράς που απομένει είναι 0.1*λ. Άρα αφού το yin3 αντιστοιχεί σε γωνία 0.255*λ τότε η σύνθετη αγωγιμότητα πριν τον πυκνωτή στην είσοδο αντιστοιχεί σε γωνία 0.355*λ , αφού κινηθούμε ωρολογιακά επί κύκλου σταθερού SWR, και είναι η yin4:

$$yin4 = 0.7 - j * 1.05$$

Ο παράλληλος πυκνωτής στην είσοδο έχει επιδεκτικότητα:

$$YC2 = j * \omega * C2 = j * 2 * \pi * 2.7 * 10^{-12} * 10^{9} = j * 0.0169646\ S$$

$$yc2 = YC2 * Z0 = j * 0.0169646 * 50 = j * 0.848 = j * 0.85$$

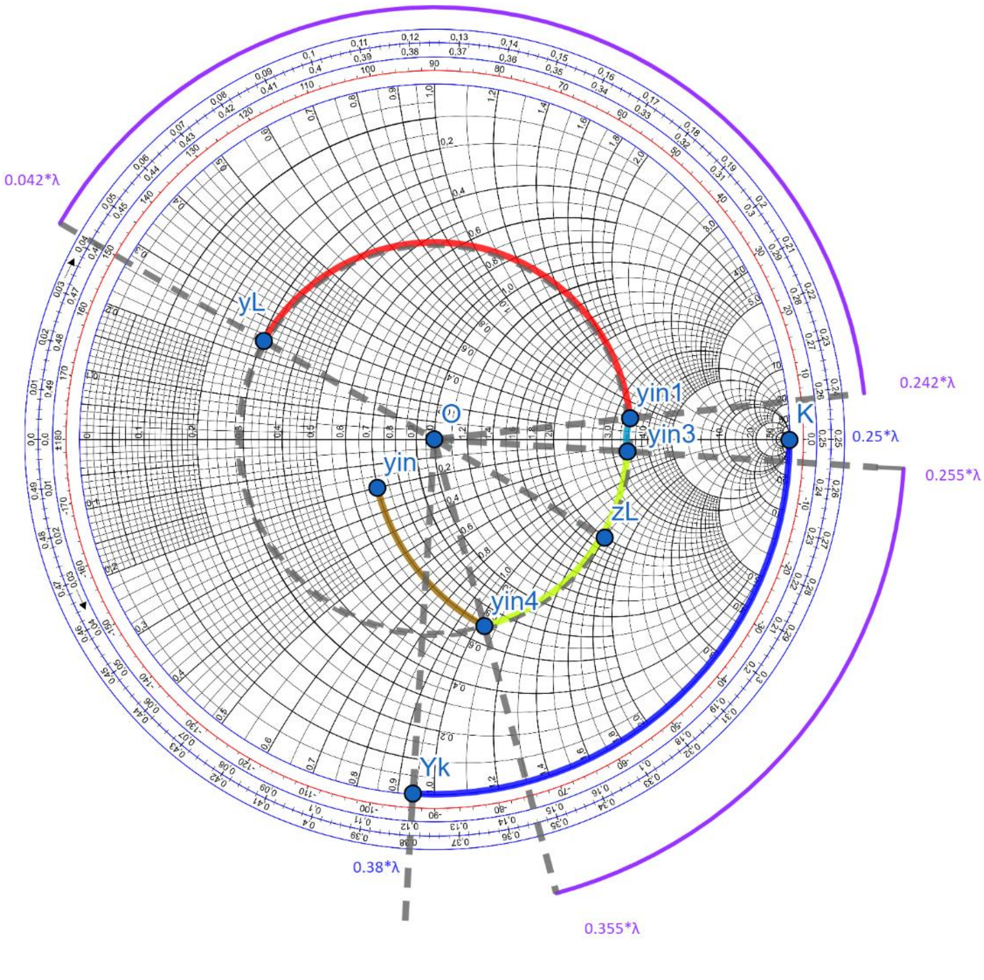
Άρα η σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου είναι ίση με yin=yin4+yc2:

$$yin = 0.7 - j * 0.2$$

Το |Γ| υπολογίζεται εύκολα ως ο λόγος της απόστασης του zin(ισοδύναμα και του yin) από το κέντρο O του διαγράμματος ως προς την ακτίνα του κύκλου |Γ|=1 του διαγράμματος.

Άρα το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης είναι ίσο με |Γ|=0.21 περίπου.

Το διάγραμμα Smith που αξιοποιήθηκε για την επίλυση της άσκησης:



1.1.β)

Για συχνότητα f=1.5 GHz.

Τα μήκη των γραμμών μεταφοράς δεν έχουν αλλάξει παρόλο που αλλάξαμε την συχνότητα. Ωστόσο αυτό που άλλαξε είναι το μήκος κύματος από λ0 σε λ. Γιατί στη γραμμή μεταφοράς διαδίδεται TEM κύμα ισχύει για την φασική ταχύτητα:

$$up = constant => \lambda 0 * f0 = \lambda * f => \lambda 0 = \lambda * \frac{f}{f0} = 1.5 * \lambda$$

Άρα τα μήκη των γραμμών εκφρασμένα ως προς το νέο μήκος κύματος είναι:

$$0.2 * \lambda 0 = 0.2 * 1.5 * \lambda 0 = 0.3 * \lambda$$

$$0.13 * \lambda 0 = 0.13 * 1.5 * \lambda 0 = 0.195 * \lambda$$

$$0.1 * \lambda 0 = 0.1 * 1.5 * \lambda 0 = 0.15 * \lambda$$

Μπορούμε τώρα να αρχίσουμε την ανάλυση του κυκλώματος με την βοήθεια του διαγράμματος Smith.

Όπως πριν υπολογίζουμε την νέα σύνθετη αντίσταση του φορτιού:

$$ZC1 = \frac{-j}{\omega * C1} = \frac{-j}{2 * \pi * 1.5 * 10^{9} \; * 2 * 10^{-12}} = -j * 53.051 \, \Omega$$

$$ZL = R + ZC1 = 100 - j * 53.051 \, \Omega$$

Κανονικοποιημένη ως προς την χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής Z0=50 Ω είναι:

$$zL = \frac{ZL}{Z0} = \frac{ZL}{50} = 2 - j * 1.061$$

Για κύκλο σταθερού μέτρου συντελεστή ανάκλασης , άρα και SWR, το αντιδιαμετρικό σημείο του zL είναι η σύνθετη αγωγιμότητα:

$$yL = 0.39 + j * 2.05$$

Από εδώ και πέρα το διάγραμμα Smith αξιοποιείται ως διάγραμμα συνθετών αγωγιμοτήτων. Η γωνία αναφοράς για το yL είναι 0.038*λ και το μήκος αυτού του τμήματος της γραμμής μεταφοράς είναι 0.3*λ από φορτίο έως τον κλαδωτή , άρα με ωρολογιακή περιστροφή κατά 0.3*λ επί του κύκλου σταθερού μέτρου συντελεστή ανάκλασης καταλήγουμε σε γωνία 0.338*λ και σε σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου πριν τον κλαδωτή yin1:

$$yin1 = 1 - j * 1.02$$

Ο κλαδωτής έχει μήκος 0.195*λ και είναι βραχυκυκλωμένος , άρα ξεκινώντας από το σημείο άπειρης αγωγιμότητας K(0.25*λ), πηγαίνοντας ωρολογιακά επί κύκλου |Γ|=1, καταλήγουμε σε 0.445*λ άρα σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου:

$$yin2 = -j * 0.36$$

Άρα αμέσως μετά τον κλαδωτή η σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου είναι:

$$yin3 = yin2 + yin1 = 1 - j * 1.38$$

Το μήκος του τμήματος της γραμμής μεταφοράς που απομένει είναι 0.15*λ. Άρα αφού το yin3 αντιστοιχεί σε γωνία 0.327*λ τότε η σύνθετη αγωγιμότητα πριν τον πυκνωτή στην είσοδο αντιστοιχεί σε γωνία 0.477*λ , αφού κινηθούμε ωρολογιακά επί κύκλου σταθερού SWR, και είναι η yin4:

Ο παράλληλος πυκνωτής στην είσοδο έχει επιδεκτικότητα:

$$YC2 = j * \omega * C2 = j * 2 * \pi * 2.7 * 10^{-12} * 1.5 * 10^{9} = j * 0.0254469\ S$$

$$yc2 = YC2 * Z0 = j * 0.0254469 * 50 = j * 1.2723$$

Άρα η σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου είναι ίση με yin=yin4+yc2:

$$yin4 = 0.28 - j * 0.13$$

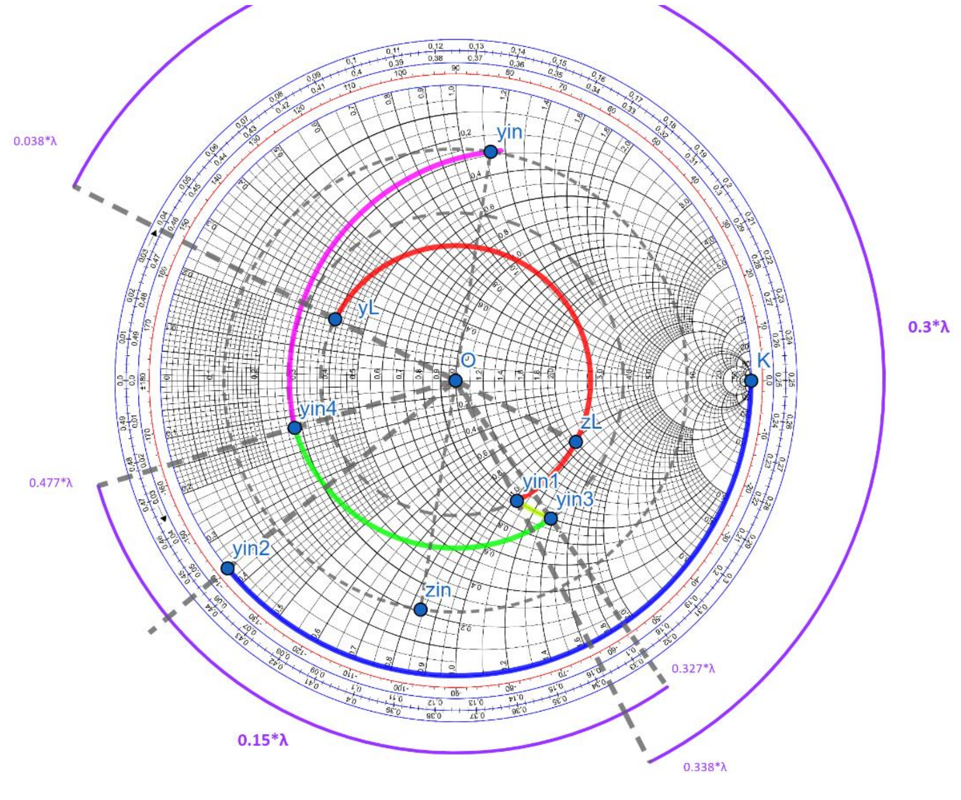
Άρα η σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου (κανονικοποιημένη) είναι ίση με yin=yin4+yc2:

$$yin = 0.28 + j * 1.1423$$

Το zin βρίσκεται εύκολα παίρνοντας το αντιδιαμετρικό σημείο του yin στον κύκλο σταθερού SWR που ανήκει. Το |Γ| υπολογίζεται εύκολα ως ο λόγος της απόστασης του zin(ισοδύναμα και του yin) από το κέντρο O του διαγράμματος ως προς την ακτίνα του κύκλου |Γ|=1 του διαγράμματος.

Άρα το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης είναι ίσο με |Γ|=0.79 περίπου.

Το διάγραμμα Smith που αξιοποιήθηκε για την επίλυση της άσκησης:



<u>*ΑΣΚΗΣΗ 1.2*</u>

Επιθυμητός στόχος της άσκησης είναι να κάνουμε τις κατάλληλες επιλογές στη κατασκευή της διάταξης ώστε να έχουμε την μέγιστη μεταφερόμενη ισχύ. Για να γίνει αυτό πρέπει να υπάρχει συζυγής προσαρμογή τόσο στο κύκλωμα εισόδου όσο και στο κύκλωμα εξόδου.

Κύκλωμα εισόδου

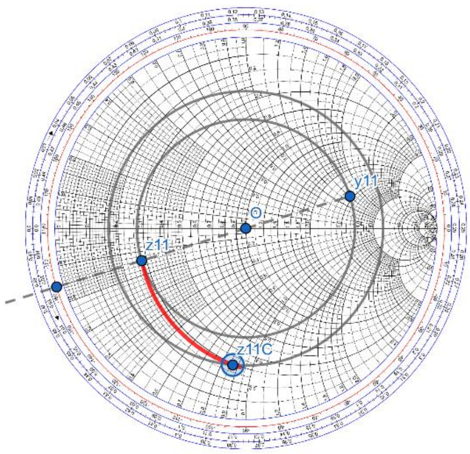
Ξεκινάμε αντιστοιχώντας τον συντελεστή ανάκλασης S11 σε σύνθετη αντίσταση εισόδου Z11. Στο διάγραμμα Smith βρίσκω την γωνία του S11 (arg(S11)=-163) και με το μέτρο |Γ| βρίσκω την θέση του z11 πάνω στο διάγραμμα.

$$z11 = 0.28 - j * 0.14$$

Γνωρίζουμε ότι η εσωτερική αντίσταση της πηγής είναι Zg=50 Ω , κανονικοποιημένη ως προς την γραμμή μεταφοράς είναι $zg = \frac{Zg}{Z0} = \frac{50}{50} = 1$. Για να έχω συζυγής προσαρμογή πρέπει $zin1 = conjugate(zg)$=1. Ισοδύναμα αρκεί και yin1=1 συνεπώς.

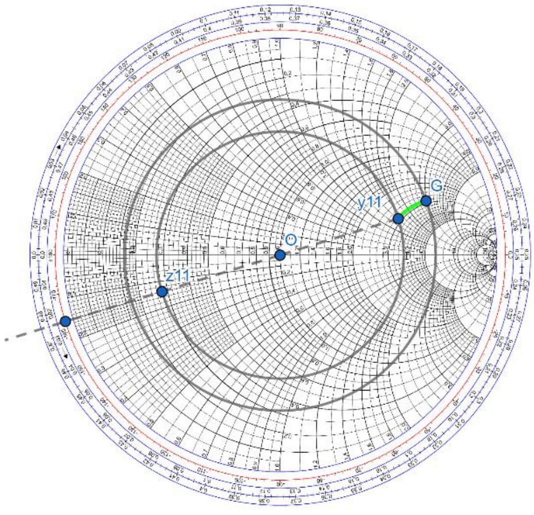
Για να βρω την θέση και την διάταξη του πυκνωτή εξετάζω τις εξής περιπτώσεις:

α) Πυκνωτής σε σειρά στο φορτίο (είσοδος ενισχυτή) :



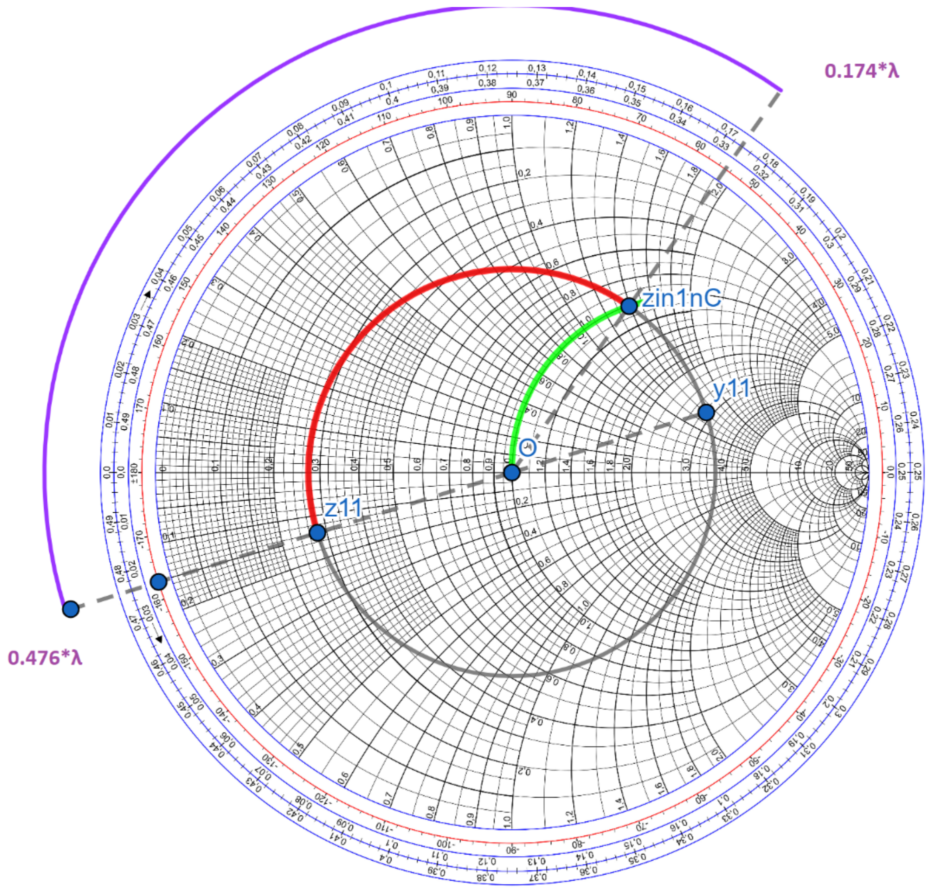
Είναι προφανές από το διάγραμμα Smith ότι προσθέτοντας τον πυκνωτή σε σειρά στον ακροδέκτη 1 δηλαδή προσθέτοντας κάποια αρνητική αντίδραση , το μετρό του συντελεστή ανάκλασης μεγαλώνει και σε καμία περίπτωση δεν μηδενίζεται έτσι ώστε να καταλήξω να έχω το επιθυμητό zin1=1. Άρα αυτή η επιλογή δεν είναι επιθυμητή.

β) Πυκνωτής παράλληλα στο φορτίο (είσοδος ενισχυτή) :



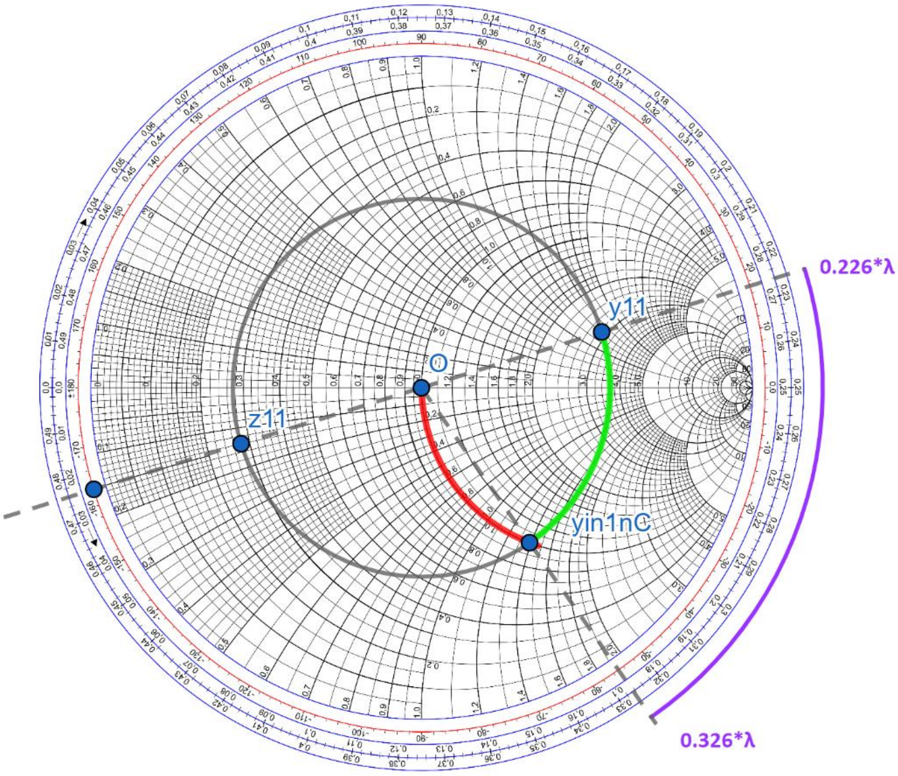
Ομοίως και εδώ η προσθήκη θετικής επιδεκτικότητας με τον παράλληλο πυκνωτή μας οδηγεί σε μεγαλύτερο |Γ| και συνεπώς δεν μπορούμε μετά με την γραμμή μεταφοράς που ακολουθεί να καταλήξουμε στο επιθυμητό yin=1 (|Γ|=0) στην είσοδο

γ) Πυκνωτής σε σειρά στην είσοδο :



*Ο πυκνωτής σε σειρά προσθέτει αρνητική αντίδραση. Άρα από το z11 στον κύκλο σταθερού SWR που ανήκει βρίσκω την τομή του με τον κύκλο r=1 στο σημείο που έχει θετική αντίδραση καθώς και το μήκος της γραμμής για να έχει η γραμμή αυτή την αντίσταση εισόδου. Το μήκος της γραμμής είναι l1=0.174*λ+0.5*λ-0.476*λ=0.198*λ . Ο κατάλληλος πυκνωτής είναι εν σειρά με την zin1nC και μηδενίζει την αντίδραση του έτσι ώστε η συνολική αντίσταση εισόδου να είναι η επιθυμητή για την συζηγή προσαρμογή zin1=1.*

δ)) Πυκνωτής παράλληλα στην είσοδο :



*Ο πυκνωτής σε σειρά προσθέτει θετική επιδεκτικότητα. Άρα από το y11 στον κύκλο σταθερού SWR που ανήκει βρίσκω την τομή του με τον κύκλο r=1 στο σημείο που έχει αρνητική επιδεκτικότητα καθώς και το μήκος της γραμμής για να έχει η γραμμή αυτή την αντίσταση εισόδου. Άρα yin1nc=1-j*1.35 χωρίς των πυκνωτή , και το μήκος της γραμμής είναι l1=0.326*λ-0.226*λ=0.1*λ . Άρα , ο πυκνωτής πρέπει να έχει επιδεκτικότητα yC=1.35*j έτσι ώστε η συνολική αγωγιμότητα εισόδου να είναι η επιθυμητή για την συζηγή προσαρμογή yin1=1.*

Προφανώς 0.198>0.1 άρα αυτό ήταν το σωστό σενάριο.

Για τον πυκνωτή αυτόν ισχύει:

$$yC = 1.35 * j => YC = yC/Z0 = j * 0.027\ S$$

$$YC = j * \omega * C = j * 0.027\ S$$

$$2 * \pi * 2.5 * 10^9 j * C = j * 0.027\ S$$

$$C = 1.72\ pF$$

*Άρα προφανώς για ελάχιστο μήκος γραμμής μεταφοράς έχουμε τον **πυκνωτή** να είναι **παράλληλος στην είσοδο του κυκλώματος** και να έχει χωρητικότητα C:*

C=1.72 pF

Το μήκος της γραμμής μεταφοράς είναι:

l1=0.1*λ

Κύκλωμα εξόδου

Για το κύκλωμα εξόδου, από τον ενισχυτή αντιστοιχούμε τον συντελεστή ανάκλασης S22 στον ακροδέκτη 2 του ενισχυτή στη σύνθετη αντίσταση Z22. Στο διάγραμμα Smith βρίσκω την γωνία του S22 (arg(S11)=-50) και με το μέτρο |Γ|(με λόγο μηκών) βρίσκω την θέση του z22 πάνω στο διάγραμμα.

$$z22 = 0.7 - 1.92 * j$$

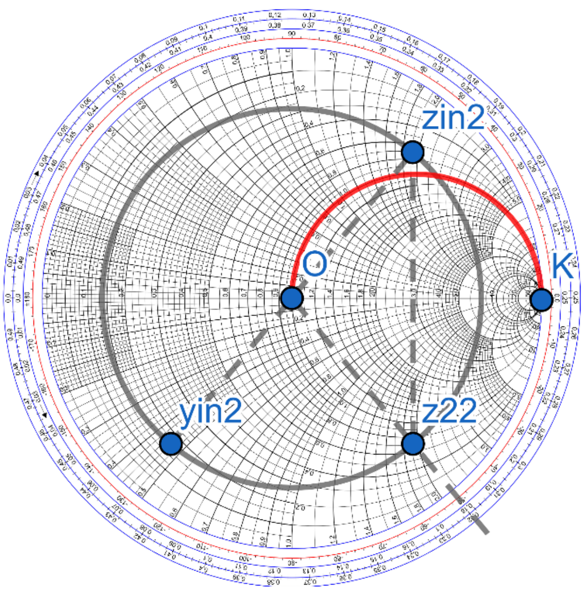
Για να έχω συζυγής προσαρμογή πρέπει $zin2 = conjugate(z22)$*=0.7+1.92*j. Ισοδύναμα αρκεί και yin2=conjugate(y22)=* $1/conjugate(z22)$ *=1 , οπού το y22 αντλήθηκε από το αντιδιαμετρικό σημείο του* $conjugate(z22)$ *στο κύκλο σταθερού SWR .*

Γνωρίζουμε ότι το φορτίο στην έξοδο είναι ZL=50 Ω , κανονικοποιημένη ως προς την γραμμή μεταφοράς είναι $zL = \frac{ZL}{Z0} = \frac{50}{50} = 1.$

Ο ανοιχτοκυκλωμένος κλαδωτής παρουσιάζει στην είσοδο για μήκος lκλαδωτη<λ/4 του θετική επιδεκτικότητα , ενώ για λ/2> lκλαδωτή>λ/4 αρνητική επιδεκτικότητα.

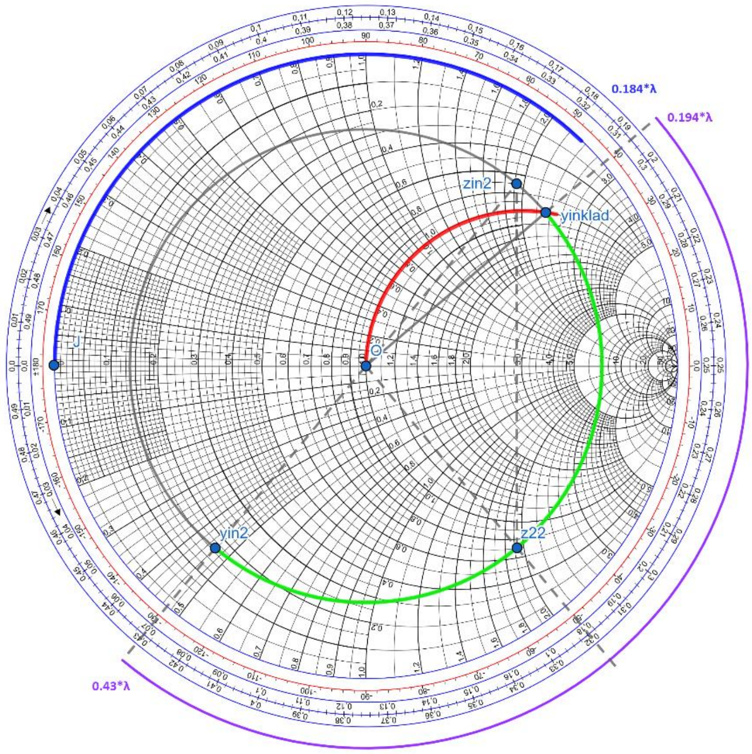
Για να βρω την θέση και του κλαδωτή εξετάζω τις εξής περιπτώσεις:

α)Κλαδωτής στον ακροδέκτη 2 του τρανζίστορ



Προφανώς αυτή η περίπτωση δεν οδηγεί στο επιθυμητό αποτέλεσμα αφού για όλο το μήκος της γραμμής θα έχουμε προσαρμογή λόγω του zL=z0. Άρα η αντίσταση εισόδου πριν τον κλαδωτή θα είναι zin2noc=1 αρά και η αγωγιμότητα θα είναι yin2noc=1. Άρα οποία επιδεκτικότητα και να προσθεθει χαρείς στον κλαδωτή , η συνολική σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου που θα βλέπει ο ακροδέκτης 2 του τρανζίστορ δεν θα είναι η επιθυμητή αφού θα έχει r=1.

β)Κλαδωτής στην έξοδο του κυκλώματος(φορτίο)



Για την μελέτη αυτής της περίπτωσης δουλεύουμε αντίστροφα από ότι συνήθως. Ξεκινάμε από την επιθυμητή σύνθετη αγωγιμότητα yin2 που θέλουμε να βλέπει ο ακροδέκτης 2 του τρανζίστορ. Έπειτα χαράζουμε τον κύκλο σταθερού SWR που περνά από αυτό το yin2 κα βρίσκουμε τα σημεία τομής του με τον κύκλο σταθερού r=1.

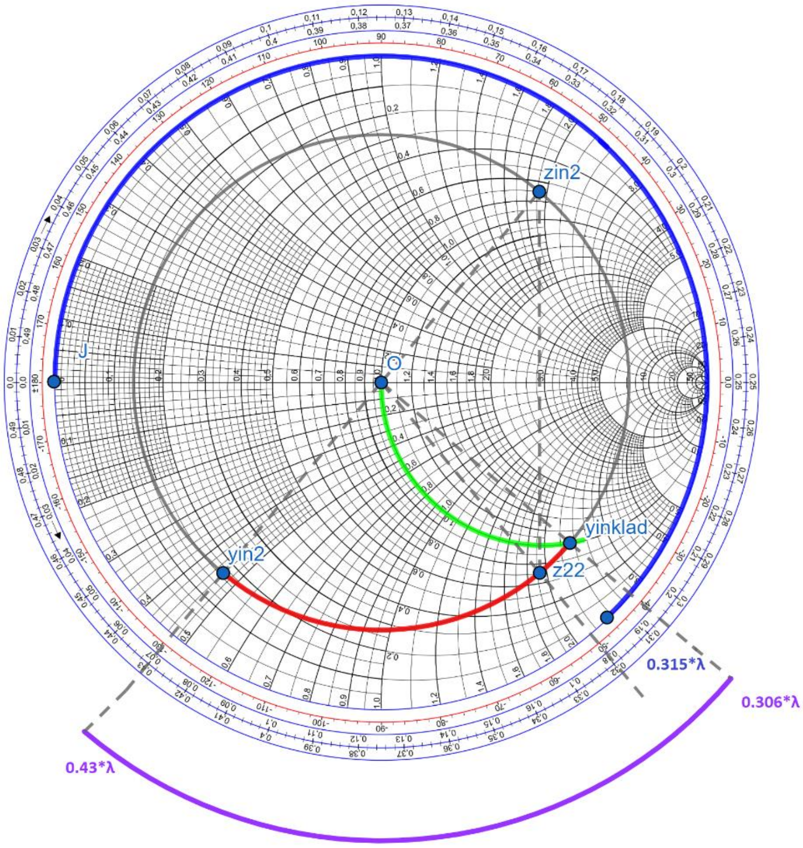
*Για ελάχιστο μήκος κλαδωτή εμφανίζεται στην είσοδο του θετική επιδεκτικότητα . Άρα κρατάμε το σημείο τομής με θετική επιδεκτικότητα. Εύκολα καταλαβαίνουμε ότι ξεκινώντας από το φορτίο yL=1, λόγω του κλαδωτή, έχουμε αμέσως μετά τον κλαδωτή yinklad=1+j*2.38 και με το κατάλληλο μήκος γραμμής καταλήγουμε στο επιθυμητό yin2 στον ακροδέκτη 2.*

*Ο κλαδωτής πρέπει να έχει επιδεκτικότητα yκλαδωτη=j*2.38 και αρα από το διάγραμμα Smith μήκος lκλαδωτη= 0.184*λ.*

*Το μήκος της γραμμής από το διάγραμμα Smith είναι ίσο με l2=0.43*λ -0.194*λ =0.236*λ*

*Άρα συνολικό μήκος γραμμής μεταφοράς για κύκλωμα εισόδου είναι: lout=lκλαδωτης+l2=0.42*λ.*

Άμα επιλέγαμε να δώσουμε παραπάνω μήκος κλαδωτή για να εξοικονομήσουμε μήκος της γραμμής μεταφοράς που συνδέει ακροδέκτη 2 με το φορτίο θα είχαμε:



*Αντίστοιχα με πριν θα είχαμε lκλαδωτη=0.315*λ και l2=0.43*λ-0.306*λ=0.124*λ.*

*lout=0.439*λ.*

Άρα το συνολικό μήκος για όλα τα τμήματα των γραμμών μεταφοράς του κυκλώματος εξόδου είναι μεγαλύτερο από πριν .

*Για αυτό τελικά θέλω ο **κλαδωτής** να συνδεθεί στην **έξοδο** του κυκλώματος και να έχει μήκος **lκλαδωτή=0.184*λ**.*

*Το μήκος της γραμμής από τον ακροδέκτη 2 έως στην έξοδο είναι: **l2=0.236*λ.***

ΑΣΚΗΣΗ 1.3

1.3.α)

Θα γενικεύσουμε τις αλλαγές στις εκφράσεις των φυσικών μηκών των γραμμών μεταφοράς ως προς το μήκος κύματος στην εκάστοτε συχνότητα, επαναλαμβάνοντας την ανάλυση που κάναμε στην άσκηση 1.1.β. Εφόσον στην γραμμή διαδίδονται κύματα ΤΕΜ , η φασική ταχύτητα είναι σταθερή για κάθε συχνότητα. Άρα:

$$up = constant => \lambda 0 * f0 = \lambda * f => \lambda 0 = \lambda * \frac{f}{f0} = 1.5 * \lambda$$

*Θέτοντας ως παράδειγμα την γραμμή μεταφοράς φυσικού μήκους 0.2*λ0 παρατηρούμε:*

$$l\varphi\upsilon\sigma\iota\kappa\acute{o} = 0.2 * \lambda 0 => l\varphi\upsilon\sigma\iota\kappa\acute{o} = 0.2 * \lambda * \frac{f}{f0}$$

*Συνεπώς αφού για κάθε συχνότητα έχουμε β=2π/λ , το γινόμενο β*lφυσικο για κάθε συχνότητα:*

$$\beta * l\varphi\upsilon\sigma\iota\kappa\acute{o} = 0.2 * 2 * \pi * \frac{f}{f0}$$

Ορίζω $l = \frac{l\varphi\upsilon\sigma\iota\kappa\acute{o}}{\lambda}$ *ως κανονικοποιημένο μήκος.*

Με χρήση κώδικα matlab χρησιμοποιήσαμε τρεις συναρτήσεις για να προσομοιωθεί το κύκλωμα της άσκησης 1.1 σε διάφορες συχνότητες.

Η CalcZin() συνάρτηση υπολογίζει την αντίσταση εισόδου στην είσοδο μιας γραμμής μεταφοράς ,κανονικοποιημένου μήκους l(οπού το lφυσικο το φυσικό μήκος της γραμμής δια το μήκος κύματος λ στη συγκεκριμένη συχνότητα μας δίνει το l), που τερματίζει σε φορτίο zl, και έχει χαρακτηριστική αντίσταση z0.

```
function zin = CalcZin(zl,l,z0)
if isinf(zl)
    zin=-1i*z0*cot(2*pi*l);

else
    zin=z0*(zl+1i*z0*tan(2*pi*l))/(z0+1i*zl*tan(2*pi*l));

end
```

Η Circ1() συνάρτηση υπολογίζει το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης του κυκλώματος της άσκησης 1.1 για κάποια συχνότητα fn. Από την άσκηση 1.1

```
function G = Circ1(z0,fn)
c1=2e-12;
c2=2.7e-12;
f0=1e9;
zl=100-1i/(2*pi*fn*c1);
l1=0.2*fn/f0;
z1=CalcZin(zl,l1,z0);
l2=0.13*fn/f0;
z2=CalcZin(0,l2,z0);
z3=1/(1/z1+1/z2);
l3=0.1*fn/f0;
```

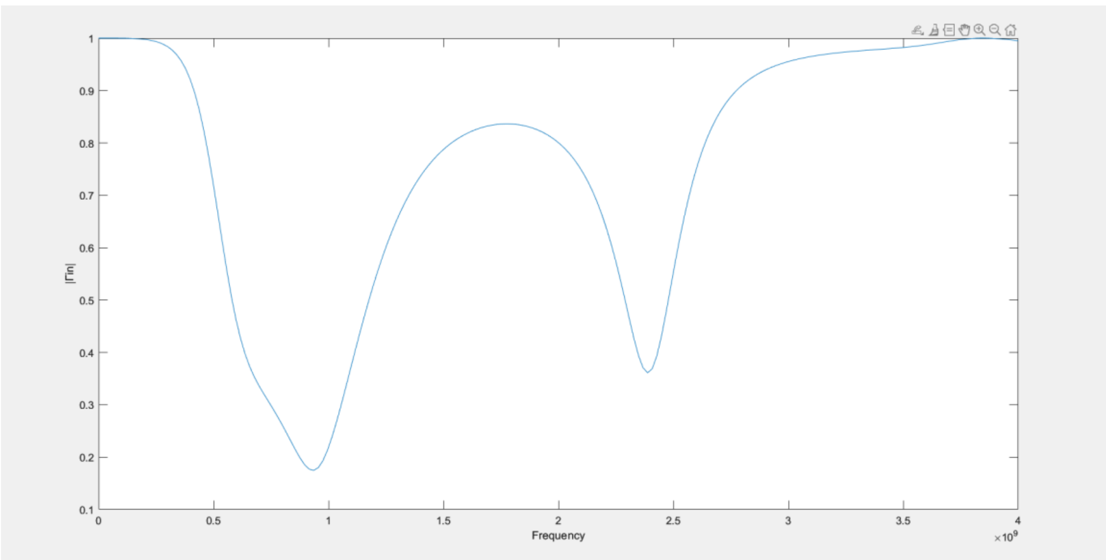
```
z4=CalcZin(z3,l3,z0);
z5=1/(1/z4+1i*2*pi*fn*c2);
G=(z5-z0)/(z5+z0);
G=abs(G);
end
```

Η res1() συνάρτηση κατασκευάζει τα διαγράμματα του μέτρου του συντελεστή ανάκλασης για την επιθυμητή ζώνη συχνοτήτων.

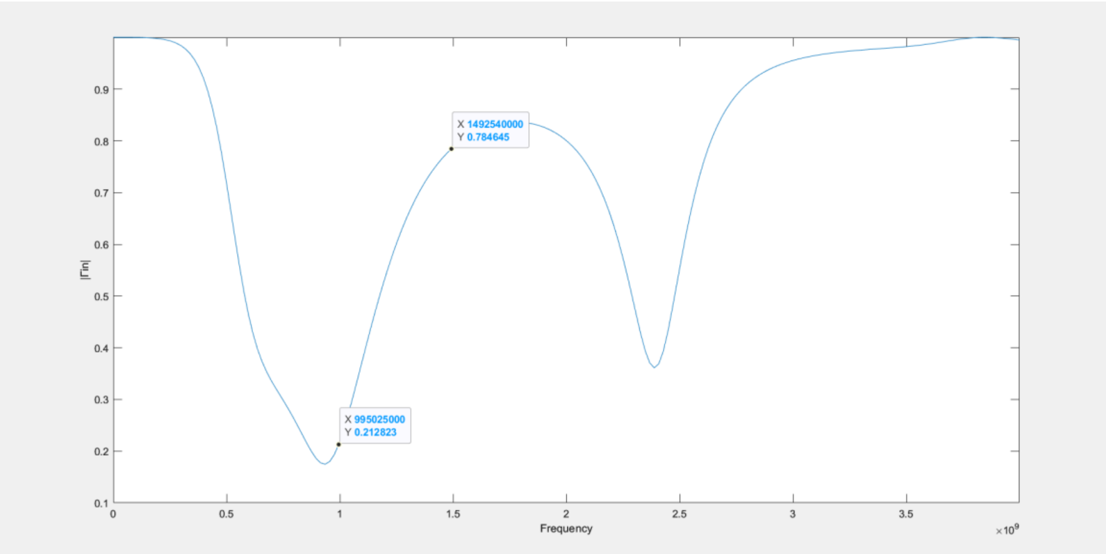
```
function res1()
f0=1e9;
N=201;
f = 0:(4*f0/N):(4*f0);
res = zeros(N,1);
resDB=zeros(N,1);
for i=1:202
    res(i)=Circ1(50,f(i));
    resDB(i)=20*log10(res(i));
    if(resDB(i)<-60)
        resDB(i)=-60;
    end
end

plot(f,res);
xlabel('Frequency');
ylabel('|Γin|') ;

figure;
plot(f,resDB);
xlabel('Frequency');
ylabel('|Γin| (DB)') ;


end
```

Ακολουθούν τα γραφήματα:

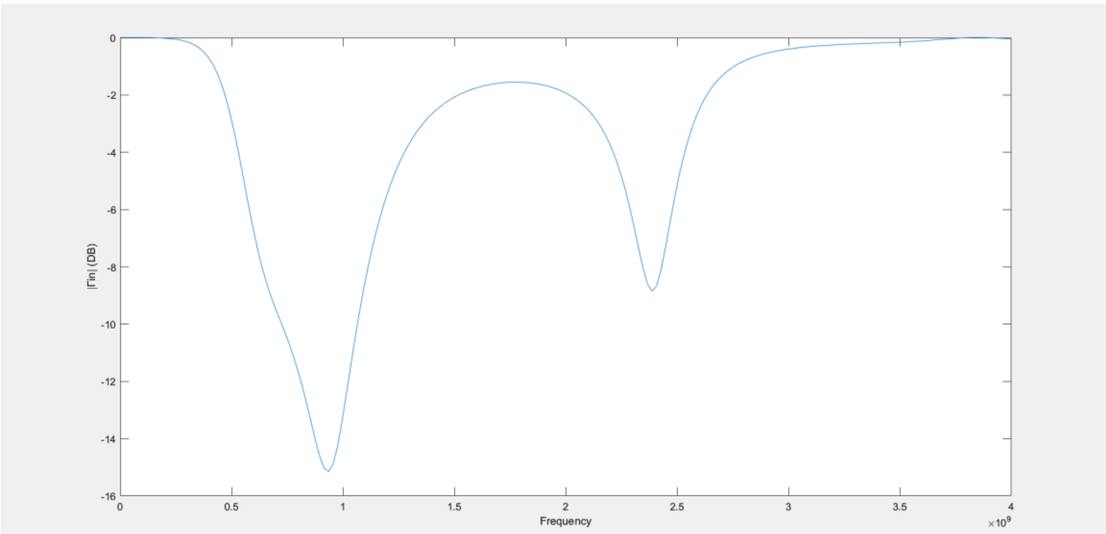
Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης |Γin|



Πράγματι οι τιμές που βγάλαμε στην άσκηση 1.1 για συχνότητα f=1 Ghz=>|Γ|=0.21 (περίπου) και για f=1.5 Ghz ->|Γ|=0.79, είναι πολύ κοντά σε αυτές που υπολογίστηκαν υπολογιστικά από το matlab:

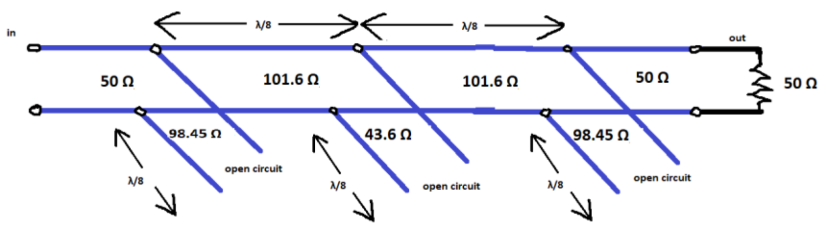


Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης |Γin| σε DB



1.3.β)

Το κυκλωματικό ισοδύναμο της γραμμής μεταφοράς του κυκλώματος είναι:



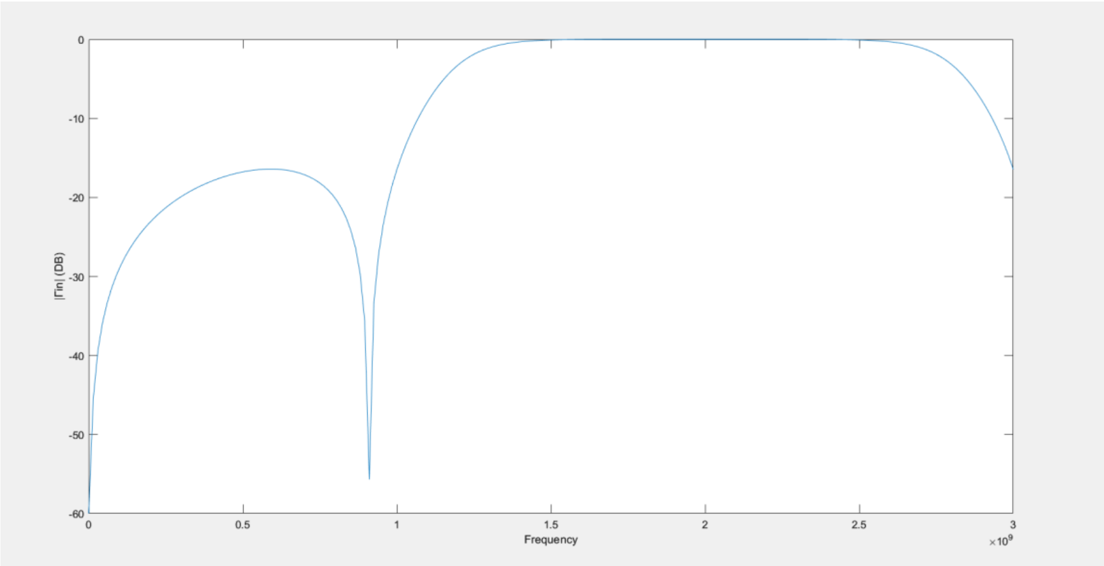
Ο κώδικας για την ανάλυση του κυκλώματος είναι:

```
function G = Circ2(z0,fn)
f0=1e9;
l=0.125*fn/f0;
z1=50;
z2=CalcZin(inf,l,98.45);
z3=1/(1/z1+1/z2);
z4=CalcZin(z3,l,101.6);
z5=CalcZin(inf,l,43.6);
z6=1/(1/z4+1/z5);
z7=CalcZin(z6,l,101.6);
z8=CalcZin(inf,l,98.45);
zin=1/(1/z7+1/z8);
G=(zin-50)/(zin+50);
G=abs(G);
end
```

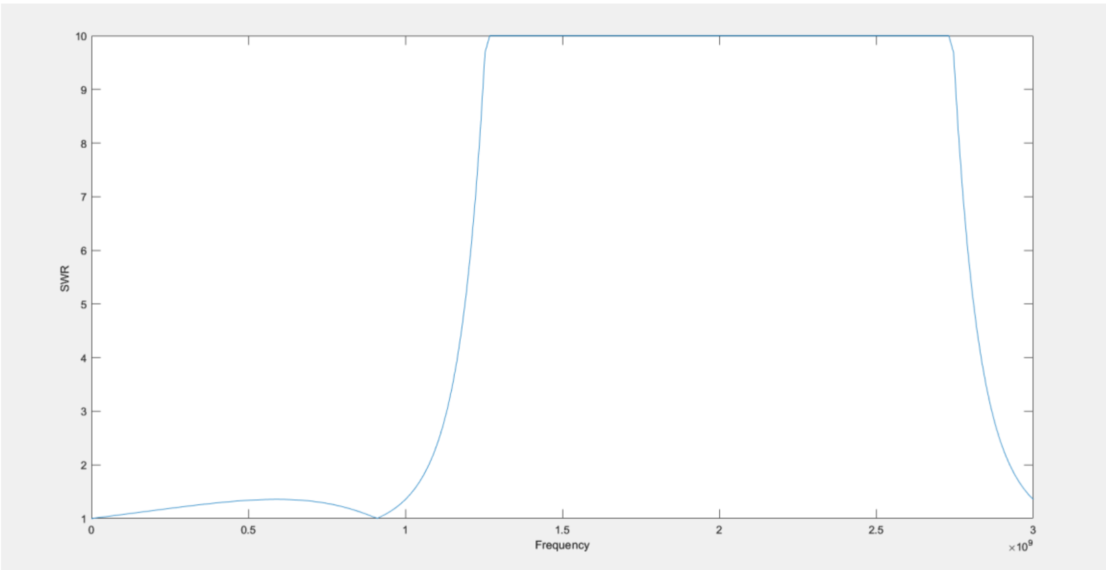
```
function res2()
f0=1e9;
N=201;
f = 0:(3*f0/N):(3*f0);
res = zeros(N,1);
resDB=zeros(N,1);
swr= zeros(N,1);
for i=1:N+1
    res(i)=(Circ2(50,f(i)));
    resDB(i)=20*log10(res(i));
    if(resDB(i)<-60)
        resDB(i)=-60;
    end
end
for i=1:N+1
    swr(i)=(((1+res(i))/(1-res(i))));
    if(swr(i)>10)
        swr(i)=10;
    end

end
plot(f,swr);
xlabel('Frequency');
ylabel('SWR ') ;
figure;
plot(f,resDB);
xlabel('Frequency');
ylabel('|Γin| (DB)') ;
end
```

Ακολουθούν τα γραφήματα:

Γράφημα μέτρου συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο |Γin|σε DB



Γράφημα SWR



Από τα άνω γραφήματα είναι εμφανές ότι το φίλτρο είναι χαμηλοπερατό για αυτό το εύρος συχνοτήτων (0-3 Ghz),καθώς έχουμε το επιθυμητό SWR<2 για καλή προσαρμογή σε όλες της συχνότητες μικρότερες των 1 Ghz, ενώ γύρω στο 1.1 Ghz οι τιμές SWR καθώς και μέτρου συντελεστή ανάκλασης δεν είναι πια αποδεκτές. Ωστόσο αν και παρατηρούμε καλή προσαρμογή για μια στενή μπάντα συχνοτήτων γύρο στο άκρο της ζώνης 3 Ghz, για το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας που ορίσαμε είναι εμφανής η συμπεριφορά του φίλτρου ως χαμηλοπερατό.

Άσκηση 1.4

1.4.α)

Με χρήση κώδικα matlab χρησιμοποιήσαμε τρεις συναρτήσεις για να προσομοιωθεί το κύκλωμα της άσκησης σε διάφορες συχνότητες και για να αποκτήσουμε τα επιθυμητά μεγέθη.

Η CZ() συνάρτηση υπολογίζει την αντίσταση εισόδου στην είσοδο μιας γραμμής μεταφοράς , που τερματίζει σε φορτίο zl, έχει χαρακτηριστική αντίσταση z0, μήκος l που εκφράζεται ως πολλαπλάσιο του λ0 (π.χ λ0=1) που είναι το μήκος κύματος για συχνότητα f0. Ισχυεί:

$$f0 * \lambda 0 = f * \lambda => \lambda = \frac{f0 * \lambda 0}{f}$$

$$\beta * l = \frac{2 * \pi}{\lambda} * l = \frac{2 * \pi}{\lambda 0} * \frac{f}{f0} * l = 2 * \pi * nf * l \ (\gamma\iota\alpha\ \lambda 0 = 1)$$

Η κλήση της γίνεται για κανονικοποιημένη συχνότητα nf.

```
function zin = CZ(zl,l,z0,nf)
if isinf(zl)
    zin=-1i*z0*cot(2*pi*l*nf);

else
    zin=z0*(zl+1i*z0*tan(2*pi*l*nf))/(z0+1i*zl*tan(2*pi*l*nf));

end
```

Η συνάρτηση Circ4a() υπολογίζει το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο του κυκλώματος για κάποια κανονικοποιημένη συχνότητα nf , και έχει ως όρισμα το διάνυσμα των μηκών p.

```
function G = Circ4a(p,z0,nf)
zl=120-1i*80;
z1=CZ(zl,p(1),z0,nf);
z2=CZ(inf,p(4),z0,nf);
z3=1/(1/z1+1/z2);
z4=CZ(z3,p(2),z0,nf);
z5=CZ(inf,p(5),z0,nf);
z6=1/(1/z4+1/z5);
z7=CZ(z6,p(3),z0,nf);
z8=CZ(inf,p(6),z0,nf);
zin=1/(1/z7+1/z8);
G=(zin-z0)/(zin+z0);
G=abs(G);
end
```

Υπολογισμός του μέσου όρου:

```
function meanG=res4a(p)
normf = (0.5:0.01:1.5);
N=length(normf);
res = zeros(N,1);
for i=1:(N)
    res(i)=Circ4a(p,50,normf(i));
end
plot(normf,res);
```

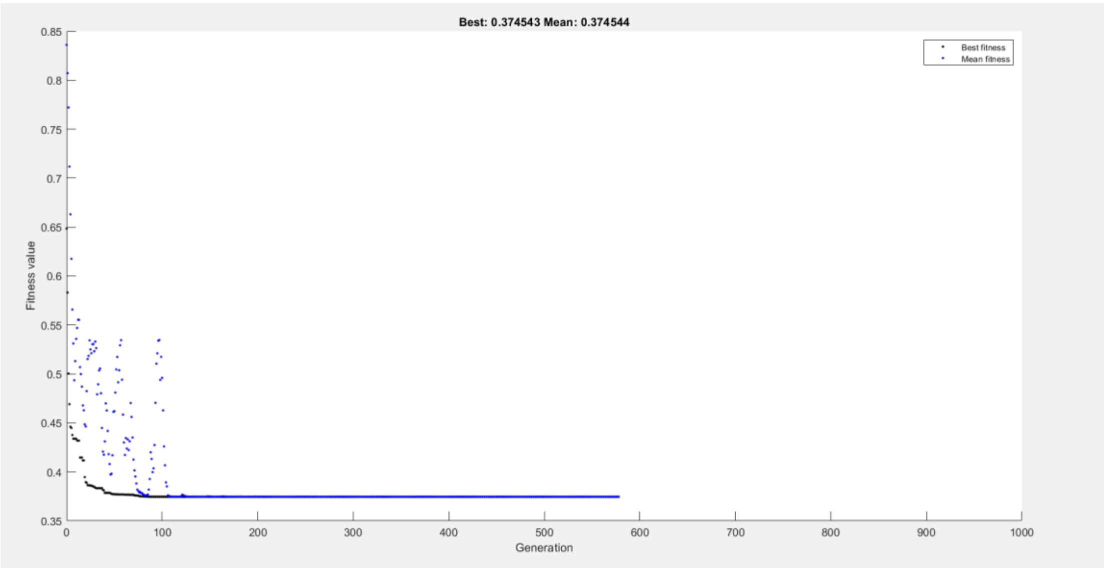
```
xlabel('Normalized Frequency');
ylabel('|Γin| ') ;
meanG=mean(res);
end
```

1.4.β)

Για την εύρεση του βέλτιστων μηκών έτσι ώστε να έχουμε τον μικρότερο μέσο όρο |Γin| στο εύρος κανονικοποιημένων συχνοτήτων 0.5-1.5, χρησιμοποιήθηκε ο γενετικός αλγόριθμος της matlab ως εργαλείο βελτιστοποίησης. Ακολουθεί ο κώδικας :

```
ub=[1,1,1,1,1,1];
lb=[0,0.05,0.05,0,0,0];
% Set nondefault solver options
options=optimoptions("ga","PlotFcn",["gaplotbestf"],'PopulationSize',20
0,'Generations',1000,'StallGenLimit', 500,'StallTimeLimit',200);
% Solve
[p,objectiveValue] = ga(@res4a,6,[],[],[],[],lb,ub,[],[],options);
% Clear variables
clearvars options
```

Ο γενετικός αλγόριθμος μας δίνει:



Και το διάνυσμα των βέλτιστων παραμέτρων δίνεται ως :

p=[0.180467263458724,0.063943340600685,0.122215121866427,0.483178756307535,0.131872599462652,0.074006841917813]

ή χωρίς πολλά δεκαδικά p=[0.18,0.0639,0.122,0.483,0.1319,0.074]

Ο ελάχιστος μέσος όρος είναι |Γin|=0.374543

1.4.γ)

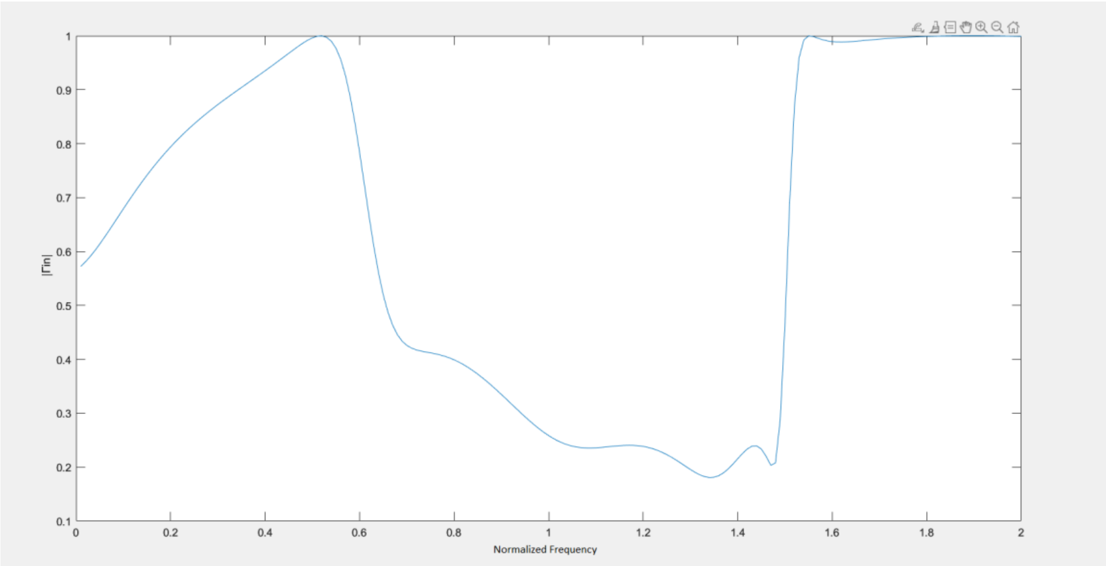
Χρησιμοποιούμε τον ίδιο κώδικα με πριν αλλά κάνοντας κάποιες αλλαγές ως προς το εύρος συχνοτήτων.

```
function meanG=res4c(p)
normf =(0.01:0.01:2);
N=length(normf);
res = zeros(N,1);
for i=1:(N)
    res(i)=Circ4a(p,50,normf(i));
end
plot(normf,res);
xlabel('Normalized Frequency');
ylabel('|Γin| ') ;
meanG=mean(res);
end
```

Γίνεται η κλήση της για όρισμα:

```
p=[0.180467263458724,0.063943340600685,0.122215121866427,0.483178756307535,
0.131872599462652,0.074006841917813];
```

Και το γράφημα του |Γin| είναι:

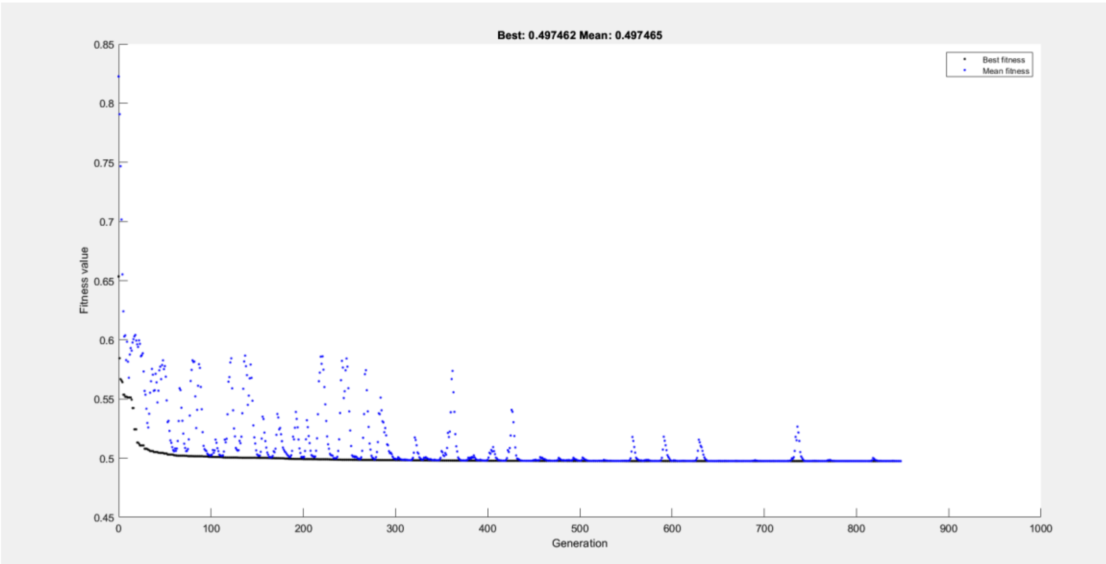


1.4.δ)

Για την βελτιστοποίηση στο εύρος κανονικόποιημενων συχνοτήτων 0.01 έως 2 αξιοποιείται η res4c και ο γενετικός αλγόριθμος:

```
ub=[1,1,1,1,1,1];
lb=[0,0.05,0.05,0,0,0];
options =
optimoptions("ga","PlotFcn",["gaplotbestf"],'PopulationSize',200,'Generations',1000,'StallGenLimit', 500,'StallTimeLimit',200);
% Solve
[p,objectiveValue] = ga(@res4c,6,[],[],[],[],lb,ub,[],[],options);
% Clear variables
clearvars options
```

Έχουμε αποτελέσματα:

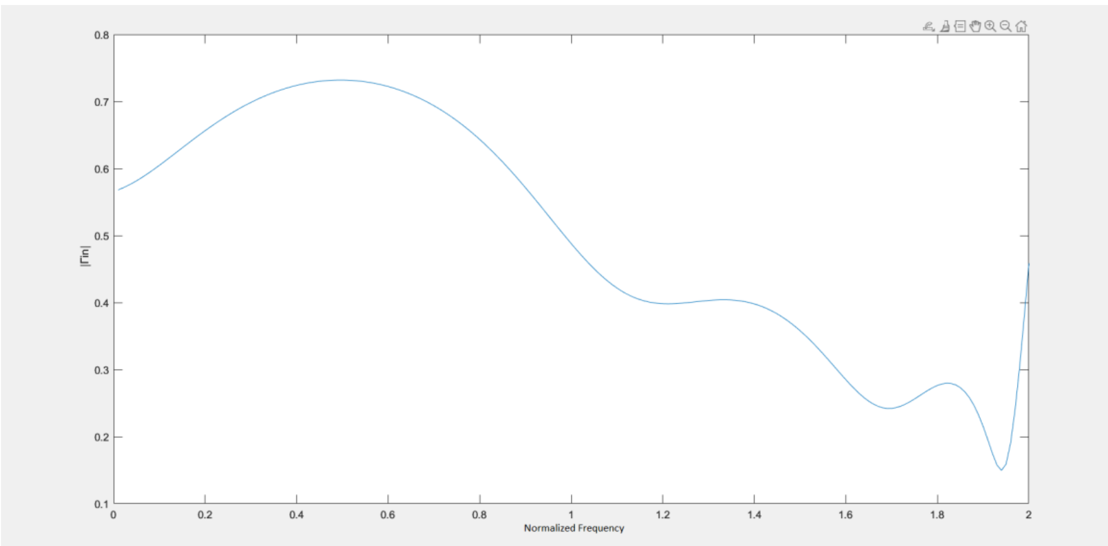


Και το διάνυσμα των βέλτιστων παραμέτρων δίνεται ως : p=[0.166622682900973,0.0781580338369886,0.101092345875469,0.0994557051937 59,0.096334735649912,0.057418507389715];

ή χωρίς πολλά δεκαδικά p=[0.167,0.078,0.1011,0.0994,0.0963,0.0574180]

Ο ελάχιστος μέσος όρος είναι |Γin|=0.497462

Και το ενδεικτικό γράφημα του |Γin| είναι:

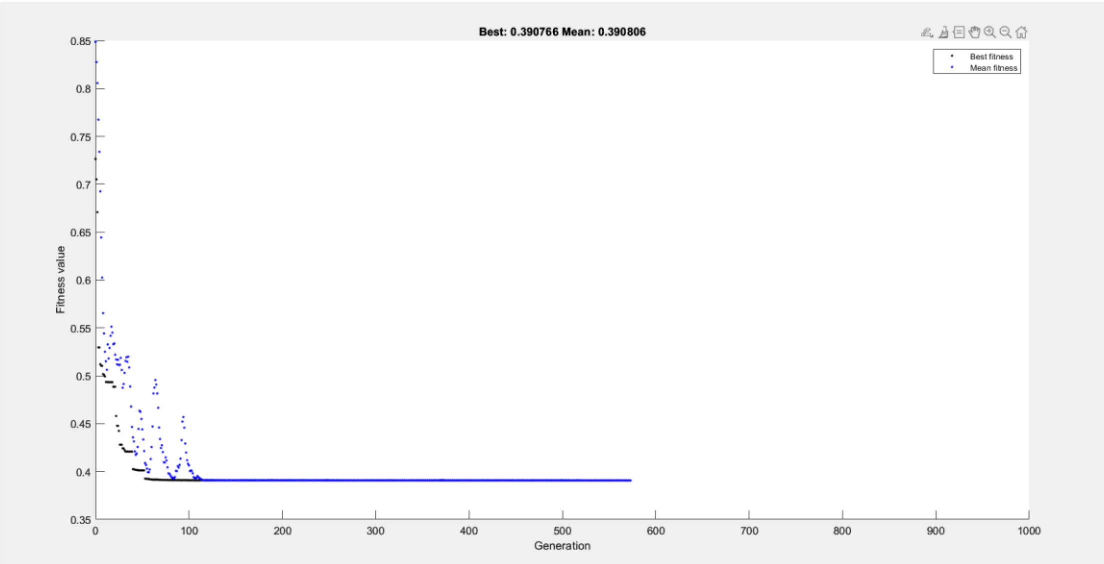


1.4.ε)

Για τον υπολογισμό της συμπεριφοράς του κυκλώματος για άλλα φορτία χρησιμοποιούμε την συνάρτηση res4c όπως πριν απλά στην συνάρτηση CZ αλλάζουμε το zl και φορά στο κατάλληλο φορτίο.

Φορτίο:ZL=10+j*15 Ω

Με την εφαρμογή του ίδιου κώδικα βελτιστοποιήσης έχουμε:



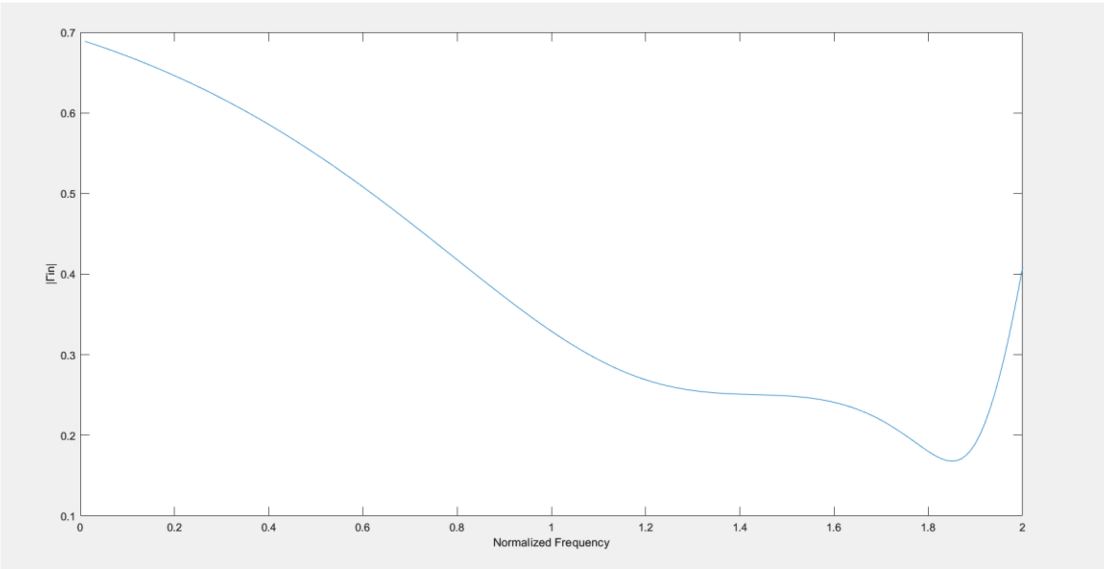
Και το διάνυσμα των βέλτιστων παραμέτρων δίνεται ως : p=[2.395128111842837e-06,0.050000000000000,0.050000171075969,0.108717884087949,0.064276100984002,0.027409630467080]

ή χωρίς πολλά δεκαδικά p=[0,0.05,0.05,0.1087,0.0643,0.0274]

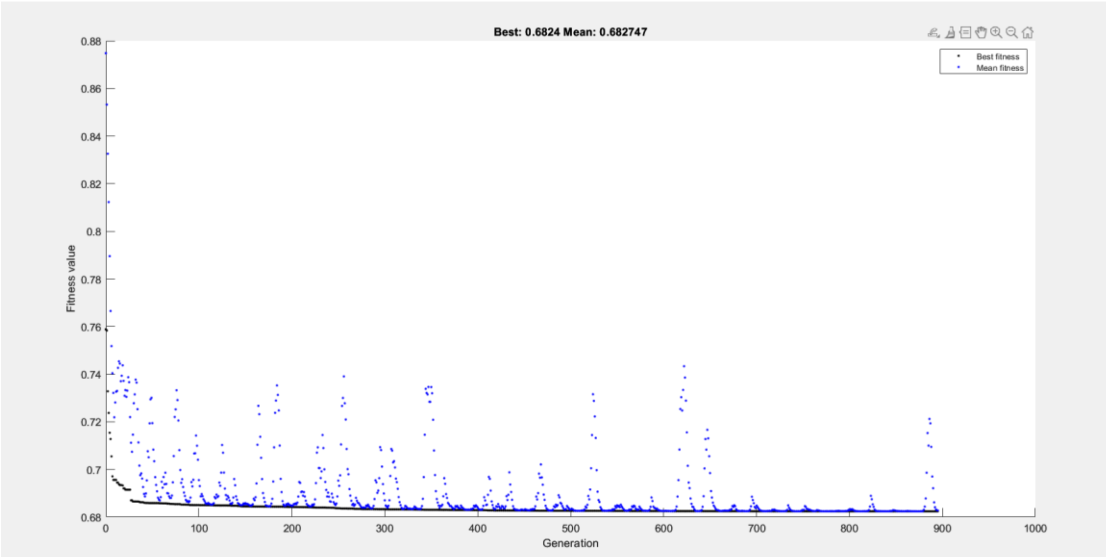
Παρατηρούμε ότι για αυτό το φορτίο η βέλτιστη συμπεριφορά επέρχεται άμα γίνουν τα μήκη των οριζόντιων γραμμών μεταφοράς ίσα με τα ελάχιστα δυνατά.

Ο ελάχιστος μέσος όρος είναι |Γin|=0.390766

Και το ενδεικτικό γράφημα του |Γin| είναι:



Φορτίο:ZL=200+j*150 Ω

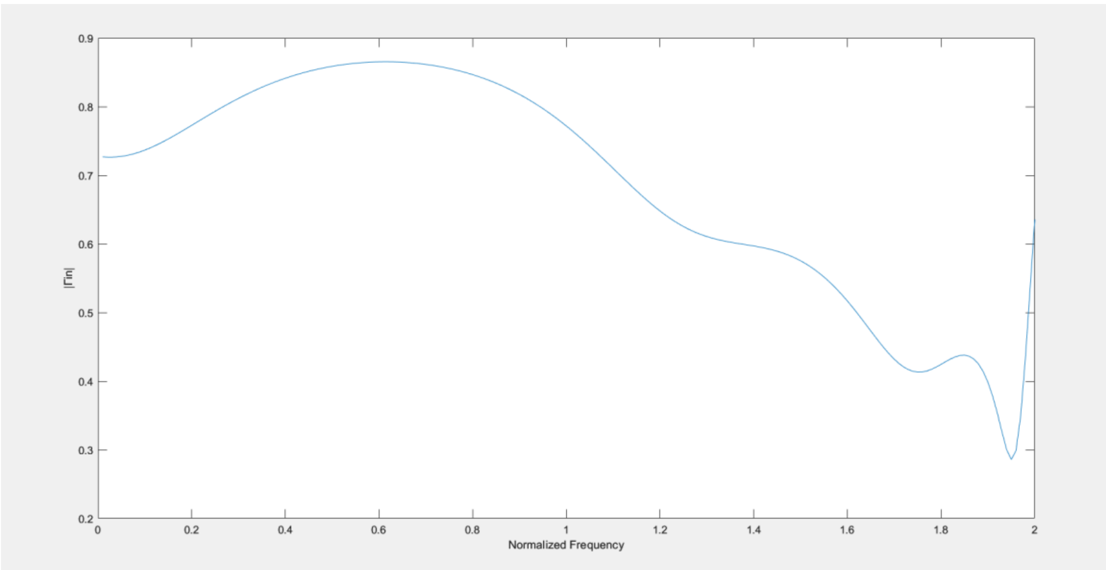


Και το διάνυσμα των βέλτιστων παραμέτρων δίνεται ως : p=[0.183744693465392,0.064389489839554,0.090434984678595,0.105647812045105,0.102204245035452,0.062990256327722]

ή χωρίς πολλά δεκαδικά p=[0.1837,0.064,0.0904,0.1056,0.1022,0.063]

Ο ελάχιστος μέσος όρος είναι |Γin|=0.6824

Και το ενδεικτικό γράφημα του |Γin| είναι:



ΤΕΛΟΣ

Τα διαγράμματα Smith των ασκήσεων 1.1 και 1.2 σχεδιάστηκαν χειρωνακτικά με το λογισμικό geogebra (https://www.geogebra.org/geometry). Οι υπολογισμοί έγιναν σε χαρτί αλλά περάστηκαν σε ηλεκτρονική μορφή για εξάσκηση του φοιτητή καθώς και λόγω της καλύτερης ποιότητας του διαγράμματος σε ηλεκτρονική έναντι φωτογραφίας χαμηλής ευκρίνειας και διάκρισης λεπτομερειών.

Θεολόγης Γεώργιος

ΑΕΜ:10413