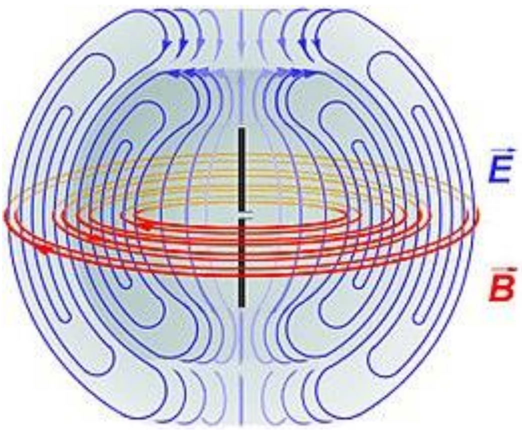


ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ 1

ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

(Διάγραμμα Smith-Προγραμματιστικά Εργαλεία)

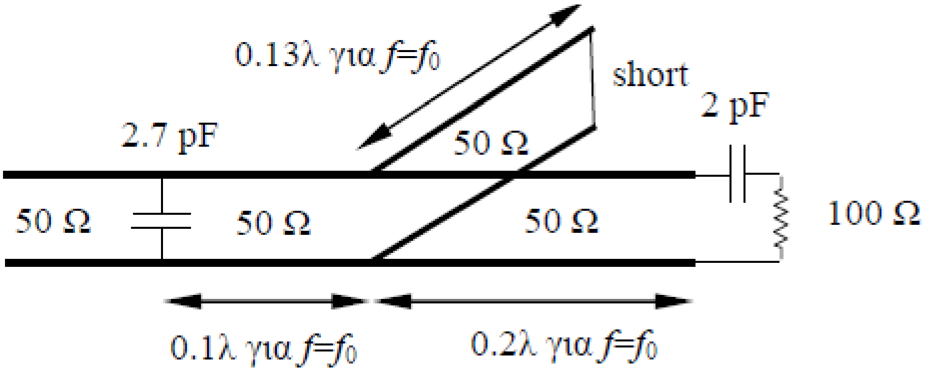
Κωνσταντίνος Βλαχάκος

ΑΕΜ:10403

Άσκηση 1.1

Για την επίλυση του συγκεκριμένου κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Smith. Για την οπτικοποίηση και την παρουσίαση της λύσης επιλέχθηκε το δωρεάν λογισμικό *Smith Chart Calculator 3.1*.

<u>Το κύκλωμα:</u>



Ζητείται το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης στη συχνότητα $f_0 = 1GHz$. Παρατηρώ τον πυκνωτή στο φορτίο και υπολογίζω την κανονικοποιημένη z_L ως εξής:

$$z_L = \frac{R_L}{Z_0} + j\frac{X_L}{Z_0} = \frac{100}{50} - j\frac{1}{2\pi fCZ_0} = 2 - j\frac{1}{2\bullet\pi\bullet10^9\bullet2\bullet10^{-12}\bullet50} = 2 - j1.59$$

<u>Τα βήματα που ακολουθώ είναι τα εξής:</u>

Βρίσκω το σημείο στο διάγραμμα Smith

Στη συνέχεια κινούμαι κατά 0.2λ προς την πηγή (Wavelength towards Generator, WTG)

Βρίσκω τον παράλληλο κλαδωτή οπότε γυρνάω σε αγωγιμότητα. Επιπλέον μιας και ο κλαδωτής είναι βραχυκυκλωμένος βρίσκω το σημείο $z = 0$ και κινούμαι 0.13λ προς την πηγή. Στο σημείο που βρίσκομαι παίρνω το αντιδιαμετρικό του για να έχω την αγωγιμότητα.

Προσθέτω τις αγωγιμότητες και τοποθετώ το σημείο στο Smith.

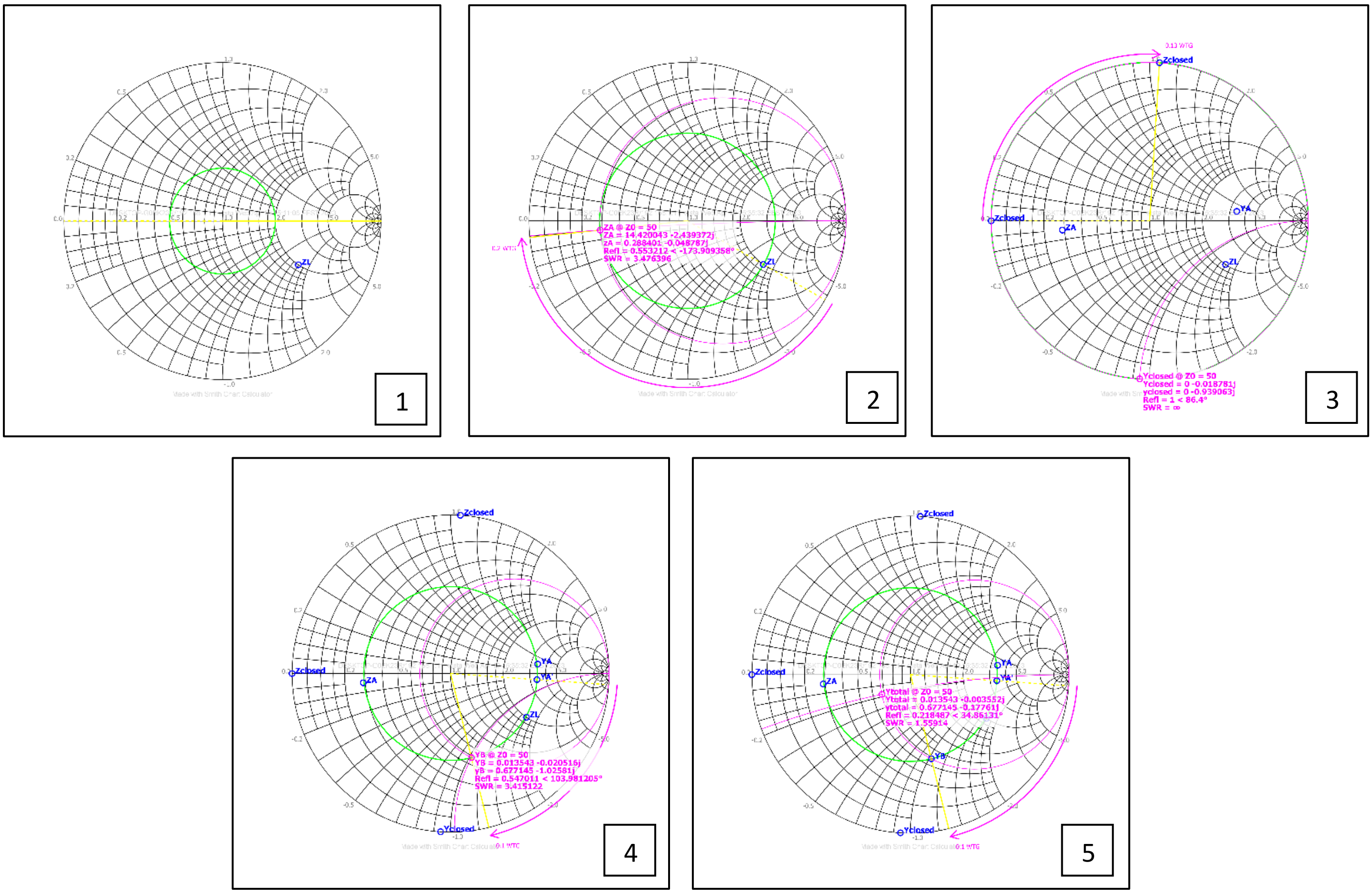
$$y_{A'} = y_A + y_{closed} = (3.37093 + 0.570245j) + (0 - 0.939063) = 3.37093 - 0.368818j$$

Κινούμαι κατά 0.1λ προς την πηγή.

Προσθέτω την κανονικοποιημένη επιδεκτικότητα του πυκνωτή και τοποθετώ το τελικό σημείο πάνω στο Smith:

$$jb_c = \frac{1}{jx_c} = j2\pi fCZ_0 = j2\pi10^9\bullet2.7\bullet10^{-12}\bullet50 = 0.848230$$

Με τον χάρακα μετράω τον συντελεστή ανάκλασης: $\frac{1}{|\Gamma|} = \frac{w_{\max}}{w_{in}}$ (όπου τα w είναι τα σημεία του χάρακα από το κέντρο του διαγράμματος μέχρι το σημείο Ytotal και από το κέντρο μέχρι τον κύκλο του βραχυκυκλώματος, ανάλογα ποσά). Από το λογισμικό βρίσκω **|Γ|=0.2184**

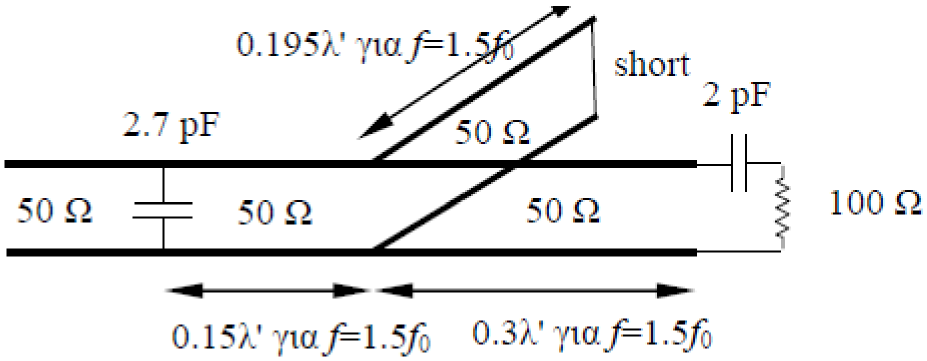


Στο δεύτερο σκέλος της άσκησης η συχνότητα $f_0' = 1.5 f_0 = 1.5GHz$ επηρεάζει τις αντιδράσεις των πυκνωτών καθώς και τα μήκη κύματος. Συνεπώς αν και δεν αλλάζουν τα φυσικά μήκη των γραμμών μεταφοράς αλλάζουν οι αναλογίες:

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= \frac{2\pi}{\beta} \\ \beta &= \frac{\omega}{v_p} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi v_p}{\omega} \Rightarrow \lambda = \frac{v_p}{f}, v_p = const.$$

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= \frac{v_p}{f} \\ \lambda' &= \frac{v_p}{f'} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{f'}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{f'}{f}\lambda'.$$

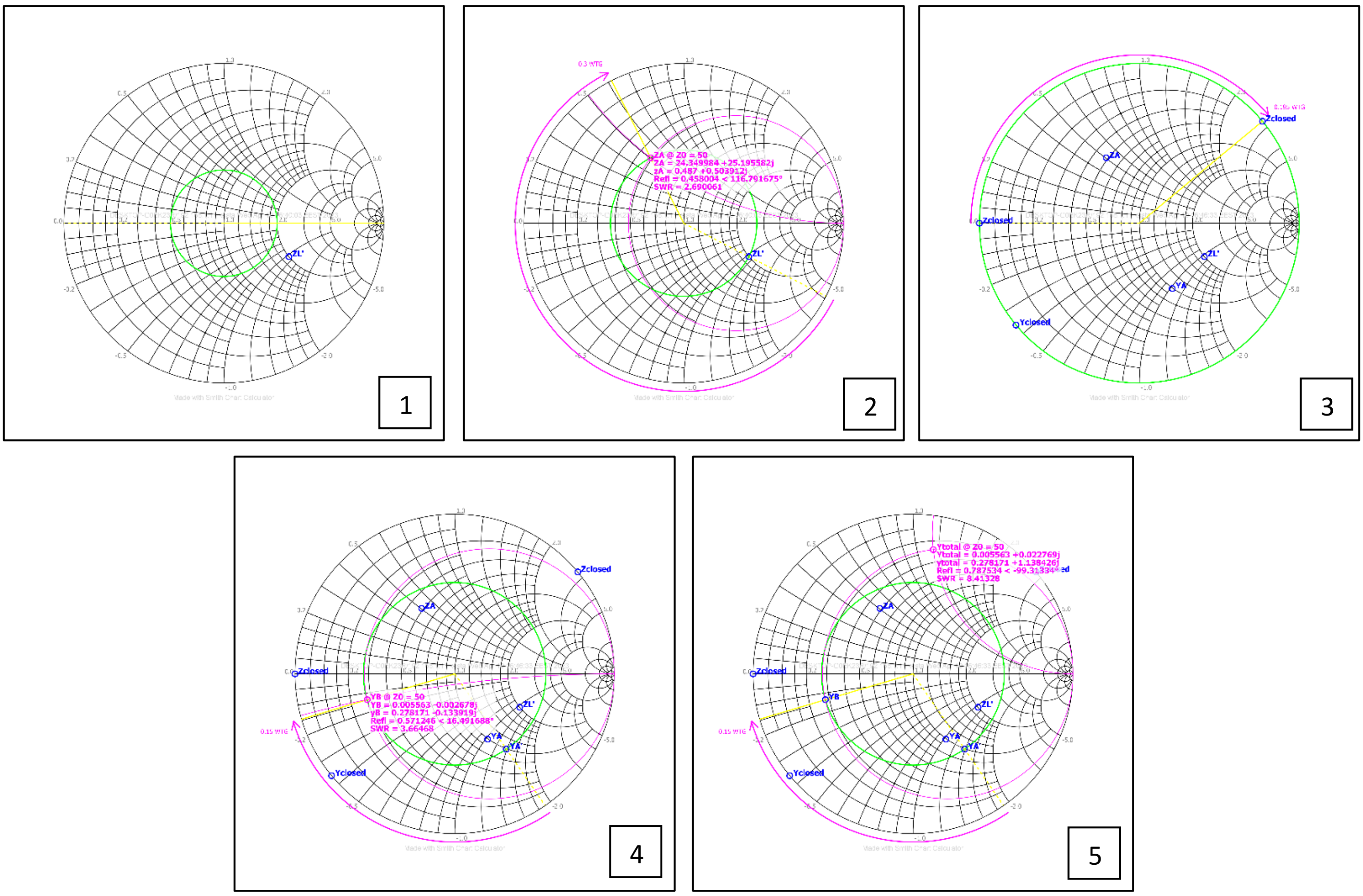
Με την παραδοχή αυτή το κύκλωμα γίνεται:



Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία με το διάγραμμα Smith:

$$z_L' = \frac{R_L}{Z_0} + j\frac{X_L'}{Z_0} = \frac{100}{50} - j\frac{1}{2\pi f' C Z_0} = 2 - j\frac{1}{2\bullet\pi\bullet1.5\bullet10^{9}\bullet2\bullet10^{-12}\bullet50} = 2 - j1.06$$

$$jb_c' = \frac{1}{jx_c'} = j2\pi f' C Z_0 = j2\pi\bullet1.5\bullet10^{9}\bullet2.7\bullet10^{-12}\bullet50 = j1.272345$$

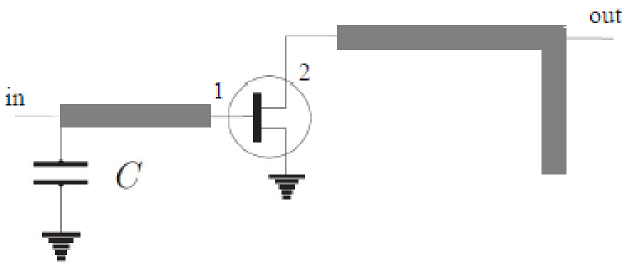


Τελικά από το λογισμικό το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης που βρίσκω είναι: **|Γ|=0.7875**

Άσκηση 1.2

Στον συγκεκριμένο ενισχυτή θέλω να πετύχω το μέγιστο δυνατό κέρδος επομένως θα εφαρμόσω τη συνθήκη της συζυγούς προσαρμογής στο κύκλωμα εισόδου και στο κύκλωμα εξόδου. Για τη λύση της άσκησης χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Smith. Για την οπτικοποίηση και την παρουσίαση της λύσης επιλέχθηκε το δωρεάν λογισμικό *Smith Chart Calculator 3.1*.

<u>Ο ενισχυτής:</u>



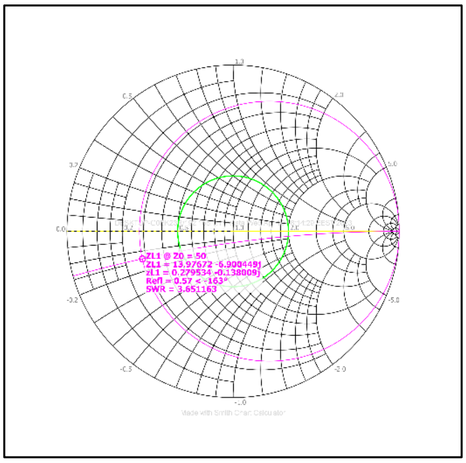
<u>Για το κύκλωμα εισόδου:</u>

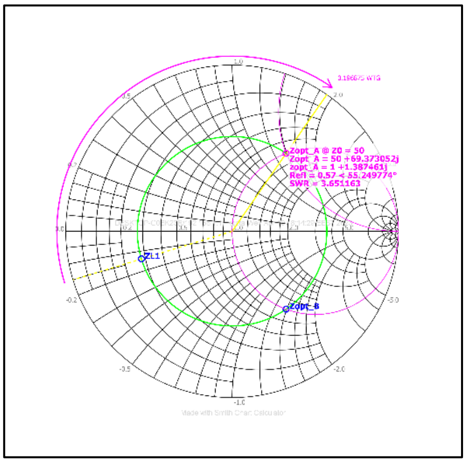
Θέλω να πετύχω $z_{in} = z_{g1}* = 1$ αφού τροφοδοτείται από κεραία μέσω γραμμής μεταφοράς 50Ω, άρα η κανονικοποιημένη αντίσταση θα είναι $z_{g1} = \dfrac{Z_{g1}}{Z_0} = 1$. Βρίσκω στο διάγραμμα Smith τον συντελεστή ανάκλασης $S_{11} = 0.57\angle -163^{\circ}$. Βρίσκω $z_{L1} = 0.2795 - j0.1380$.

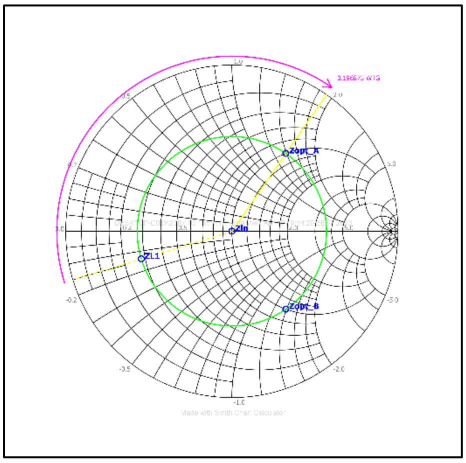
Ο πυκνωτής θα μπει στην είσοδο καθώς αν μπει στο φορτίο θα προσθέσει αρνητική αντίδραση και δε θα είναι δυνατή η προσαρμογή με απλή γραμμή μεταφοράς. Στον κύκλο σταθερού |Γ| βρίσκω τα σημεία τομής με τον κύκλο $r = 1$ και κινούμαι προς την πηγή μέχρι να πέσω πάνω σε αυτό το σημείο. Το μήκος που διένυσα είναι το μήκος της γραμμής μεταφοράς: $l_1 = 0.1968\lambda$

Στη συνέχεια από το σημείο με $r = 1$ βρίσκω την αντίδραση που πρέπει να αφαιρέσει ο πυκνωτής για να πέσω πάνω στο κέντρο του διαγράμματος και να πετύχω την προσαρμογή:

$$-j1.3874 = -jx_c \Rightarrow 1.3874 = \frac{1}{2\pi fCZ_0} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi \bullet 2.5 \bullet 10^9 \bullet 1.3874 \bullet 50} \Rightarrow C = 0.9177\, pF$$







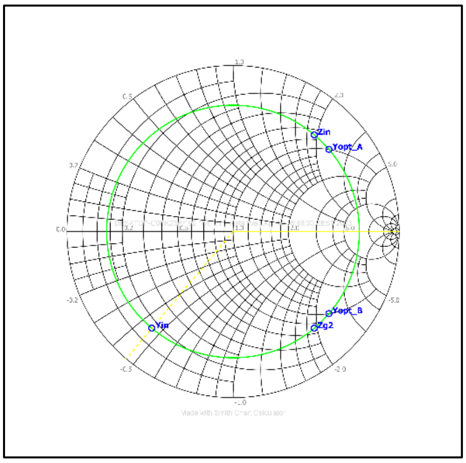
Για το κύκλωμα εξόδου:

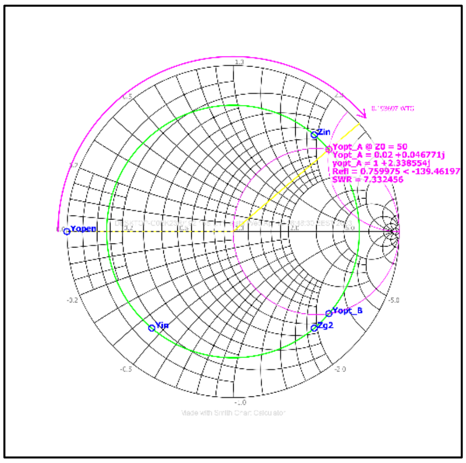
Βρίσκω στο διάγραμμα Smith τον συντελεστή ανάκλασης $S_{22} = 0.76\angle -50^{\circ}$ και σημειώνω το σημείο $z_{g2} = 0.70344 - j1.938827$.

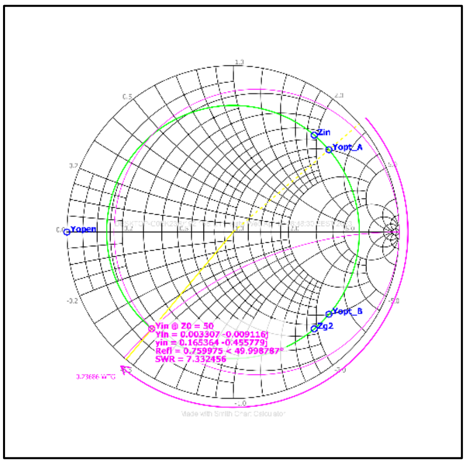
Θέλω να πετύχω: $z_{in2} = z_{g2}{}^{*} = 0.70344 + j1.938827$. Εφ' όσον έχω κλαδωτή σε παράλληλη σύνδεση, βρίσκω και την αγωγιμότητα y_{in2}. Ξεκινάω από το σημείο $z_{out} = \dfrac{Z}{Z_0} = 1$ καθώς ο ενισχυτής τροφοδοτεί φορτίο 50Ω. Ο κλαδωτής αναγκαστικά θα μπει στην έξοδο ώστε να απομακρύνει το κύκλωμα από το σημείο 1.

Από το z_{g2} χαράσσω τον κύκλο σταθερού |Γ| και βρίσκω τα σημεία τομής με τον κύκλο $y = 1$. Ξεκινώντας από το ανοιχτό κύκλωμα μετακινούμαι προς την πηγή η γωνία να γίνει ίδια με το σημείο y_{opt_A}. Το μήκος αυτό είναι το κατάλληλο μήκος του κλαδωτή που θα προσθέσει την επιδεκτικότητα που χρειάζεται. Συνεπώς: $l_s = 0.1936\lambda$

Στη συνέχεια από το σημείο y_{opt_A} μετακινούμαι προς την πηγή μέχρι να πέσω στο y_{in2}. Το μήκος αυτό είναι: $l_2 = 0.2368\lambda$

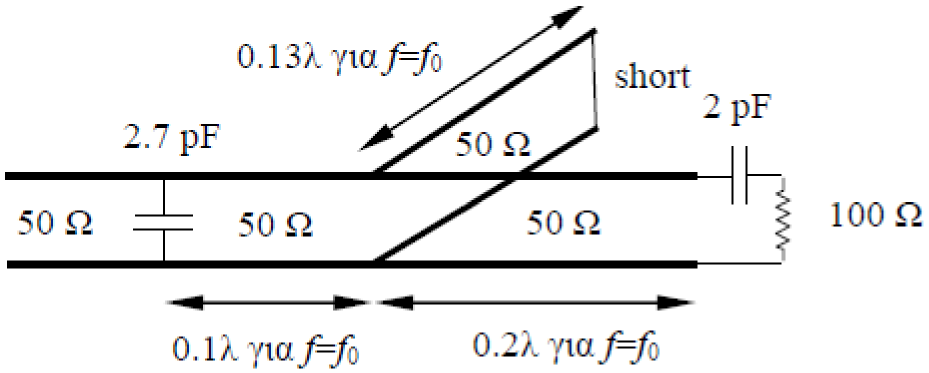






Άσκηση 1.3

Για την επίλυση της άσκησης αυτής και των παρακάτω χρησιμοποιήθηκε το MATLAB (R2021a).



Για το κύκλωμα 1.1 γράφτηκε ο ακόλουθος κώδικας με την εξής λογική:

Από την σχέση $Z_{in} = Z_0 \dfrac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)}$ εκφράζω το βl συναρτήσει της συχνότητας.

Έχω:

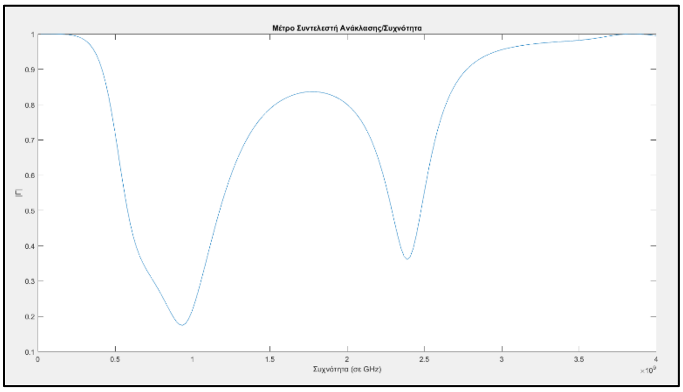
$$\left.\begin{array}{l} v_p = \dfrac{\omega}{\beta} \Rightarrow \beta l = \dfrac{\omega l}{v_p} \\ \lambda = \dfrac{2\pi}{\beta} = \dfrac{2\pi v_p}{\omega} = \dfrac{v_p}{f} \\ l = a\lambda = a\dfrac{v_p}{f_0} \end{array}\right\} \Rightarrow \beta l = \frac{2\pi f a v_p}{v_p f_0} = \frac{2\pi f}{f_0} a$$

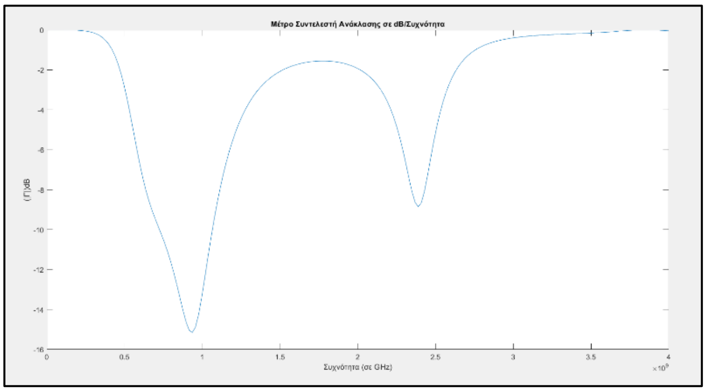
Με την παραδοχή ότι το α δίνεται για δεδομένη συχνότητα f_0. Συνεπώς μπορώ να εκφράσω τα μήκη των γραμμών μεταφορών στη συχνότητα f_0 και μέσω της παραπάνω σχέσης μπορώ να υπολογίσω την αντίσταση εισόδου και σε άλλες συχνότητες. Εκφράζω επίσης τις χωρητικότητες μέσω της σχέσης $Z_C = -j\dfrac{1}{2\pi f C}$

Σπάω το κύκλωμα σε μικρά μέρη τα οποία αποτελούνται μόνο από φορτίο και γραμμή μεταφοράς. Ξεκινώντας από το φορτίο φτιάχνω την πρώτη αντίσταση εισόδου χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις και θεωρώντας την αντίσταση αυτή ως νέο φορτίο στο εναπομείνον κύκλωμα κινούμαι προς την πηγή προσθέτωντας άλλοτε παράλληλα και άλλοτε σε σειρά το κύκλωμα με το νέο στοιχείο φτάνοντας στην αρχή (ελπίζω να γίνει πιο κατανοητό από τον κώδικα). Έπειτα υπολογίζω τον συντελεστή ανάκλασης μέσω της σχέσης: $\Gamma_L = \dfrac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$ και λαμβάνω το μέτρο του. Η μετατροπή σε dB γίνεται μέσω της σχέσης: $(|\Gamma|)_{dB} = 20\log(|\Gamma|)$. Τέλος, καθώς το MATLAB επιτρέπει και εκτελεί γρήγορα τις πράξεις πινάκων, τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται ως διανύσματα για όλο το εύρος συχνοτήτων μέσω του τελεστή «.» που μπαίνει πριν από τις πράξεις. Επιπρόσθετα, για να είναι πιο ευανάγνωστος ο κώδικας χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις `zin(z0,zl,l,f,f0)` και `parallila(z1,z2)`. Ο πηγαίος κώδικας δίνεται παρακάτω και τα αποτελέσματα του είναι τα εξής:

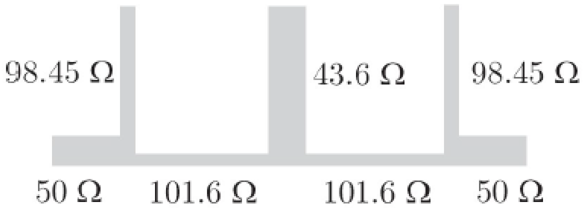
```
N=201;                      %ορισμός τιμών συχνοτήτων
f0=10^9;                    %ορισμός συχνότητας αναφοράς για τα μήκη
f=0:(4*f0/N):(4*f0);        %ορισμός διανύσματος συχνοτήτων
zfreqfortio=100+1./(j*2*pi*2*10^(-12).*f);  %διάνυσμα χωρητικότητας φορτίου με τη συχνότητα
zfreqpyknwtis=1./(j*2*pi*2.7*10^(-12).*f);  %διάνυσμα χωρητικότητας πυκνωτή στην είσοδο με τη συχνότητα
zin1=zin(50,zfreqfortio,0.2,f,f0);  %υπολογισμός αντίστασης εισόδου από το φορτίο μέχρι την είσοδο
zin2=zin(50,0,0.13,f,f0);
zina=parallila(zin1,zin2);
zinb=zin(50,zina,0.1,f,f0);
zintotal=parallila(zinb,zfreqpyknwtis);
reflgamma=(zintotal-50)./(zintotal+50); %υπολογισμός συντελεστή ανάκλασης ως μιγαδικός
abgamma=abs(reflgamma); %μέτρο συντελεστή ανάκλασης
loggamma=20*log10(abgamma); %μέτρο σε dB
figure(1);
plot(f,abgamma);
ans11=interp1(f,abgamma,10^9);%εύρεση μέτρου συντελεστή ανάκλασης για το ερώτημα 1.1α
ans11b=interp1(f,abgamma,1.5*10^9);%εύρεση μέτρου συντελεστή ανάκλασης για το ερώτημα 1.1b
figure(2);
plot(f,loggamma);

function zin= zin(z0,zl,l,f,f0)
    if zl==Inf
        zin=-j*z0.*cot((2*pi*l/f0).*f)
    else
        zin=z0.*(zl+j*z0.*tan((2*pi*l/f0).*f))./(z0+j*zl.*tan((2*pi*l/f0).*f));
    end
end

function parallila=parallila(z1,z2)
    y1=1./z1;
    y2=1./z2;
    ypar=y1+y2;
    parallila=1./ypar;
end
```

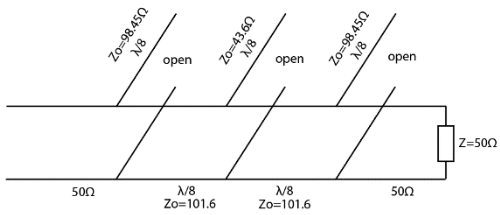
Ο παραπάνω κώδικας δίνει στο workspace τις τιμές ans11 και ans11b που είναι η γραμμική παρεμβολή για τις δεδομένες συχνότητες (μιας και στις 201 τιμές δε πέφτει πάνω στο 1GHz και στο 1.5GHz). Οι τιμές αυτές είναι: **ans11=0.2192** και **ans11b=0.7875** σχεδόν ακριβώς στις τιμές που είχαμε υπολογίσει με το διάγραμμα Smith. Επιπλέον εμφανίζει τα διαγράμματα του συντελεστή ανάκλασης σε καθαρό αριθμό και σε dB:





Για το 2ο μέρος της άσκησης χρησιμοποιείται ο ίδιος τρόπος σκέψης που αναλύθηκε πιο πάνω. Αρχικά για την κάτοψη της μικροταινίας ζωγραφίζω το κυκλωματικό ανάλογο μέσω του μοντέλου της γραμμής μεταφοράς:



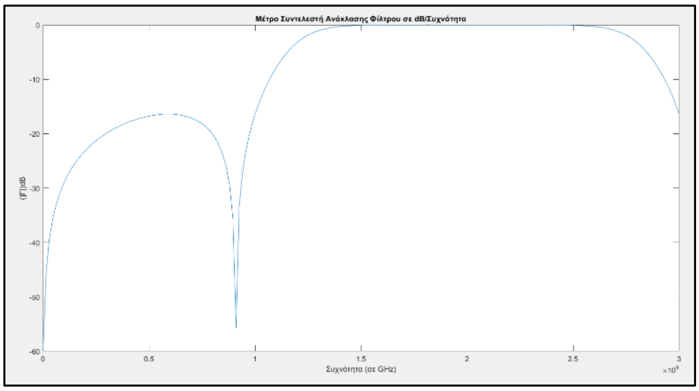


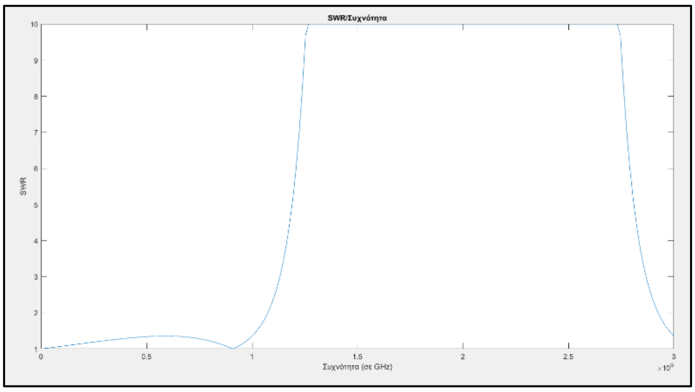
Τα τμήματα γραμμής από το προσαρμοσμένο φορτίο και από την είσοδο δε μας αφορούν καθώς αφορούν την προσαρμογή του φίλτρου σε ένα πιο μεγάλο κύκλωμα. Ο κώδικας που επιλύει το παραπάνω κύκλωμα στο εύρος συχνοτήτων που ζητείται είναι ο εξής:

```
N=201;           %ορισμός τιμών συχνοτήτων
f0=10^9;         %ορισμός συχνότητας αναφοράς για τα μήκη
f = 0:(3*f0/N):(3*f0);  %ορισμός διανύσματος συχνοτήτων
zload=50;   %επίλυση κυκλώματος
z1=zin(98.45,inf,1/8,f,f0);
z1r=parallila(z1,zload);
z2=zin(101.6,z1r,1/8,f,f0);
z3=zin(43.6,inf,1/8,f,f0);
za=parallila(z2,z3);
z4=zin(101.6,za,1/8,f,f0);
z5=zin(98.45,inf,1/8,f,f0);
zb=parallila(z4,z5);
reflgamma=(zb-50)./(zb+50); %υπολογισμός συντελεστή ανάκλασης
abgamma=abs(reflgamma);
loggamma=20*log10(abgamma);
swr=(1+abgamma)./(1-abgamma);   %υπολογισμός SWR
for k=1:201 %εφαρμογή περιορισμού για το SWR
    if swr(k)>10;
        swr(k)=10;
    end
end
figure(2)
plot(f,swr)
for k=1:201 %εφαρμογή περιορισμού για τον συντελεστή ανάκλασης
    if loggamma(k)<-60;
        loggamma(k)=-60;
    end
end
figure(1)
plot(f,loggamma)
loggamma1=loggamma(66:101); %υπολογισμός συχνοτήτων αποκοπής (|Γ|)db>
-10dB
loggamma2=loggamma(169:202);
f1=f(66:101);
f2=f(169:202);
flow=interp1(loggamma1,f1,-10);
fhigh=interp1(loggamma2,f2,-10);

function zin= zin(z0,zl,l,f,f0)
    if zl==Inf
        zin=-j*z0.*cot((2*pi*l/f0).*f)
    else
```

```
zin=z0.*(zl+j*z0.*tan((2*pi*l/f0).*f))./(z0+j*zl.*tan((2*pi*l/f0).*f)
);
    end
end

function parallila=parallila(z1,z2)
    y1=1./z1;
    y2=1./z2;
    ypar=y1+y2;
    parallila=1./ypar;
end
```

Ο παραπάνω κώδικας απεικονίζει το διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης σε dB στο εύρος συχνοτήτων από 0-3GHz καθώς και το SWR σε αυτές τις συχνότητες με τους περιορισμούς που δώσαμε για να είναι ευανάγνωστα τα διαγράμματα.





Από την θεωρία γνωρίζω ότι οι αποδεκτές τιμές του συντελεστή ανάκλασης στη λογαριθμική κλίμακα δε θα πρέπει να ξεπερνούν τα -10dB. Συνεπώς: $20\log(|\Gamma|) \leq -10dB$.

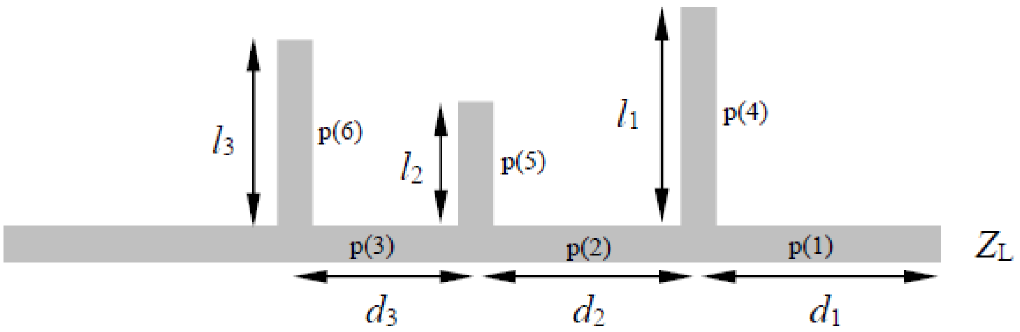
Ο χαρακτηρισμός του φίλτρου εξαρτάται από τη ζώνη συχνοτήτων στην οποία επιθυμώ να το δουλέψω. Συνεπώς αν αυτή η ζώνη ξεπερνά τα 3GHz τότε έχω **φίλτρο απόρριψης ζώνης (band stop filter)**, ενώ <u>για το διάστημα από 0-3GHz</u> συμπεραίνω πως πρόκειται για **χαμηλοπερατό φίλτρο (low pass filter).**

Ο παραπάνω κώδικας εξάγει επιπρόσθετα τις τιμές flow και fhigh που αφορούν τις συχνότητες στις οποίες ο συντελεστής ανάκλασης αρχίζει να ξεπερνά τα -10dB. Έτσι έχω <u>flow=1.0687GHz</u> και <u>fhigh=2.9313GHz</u>, και οι συχνότητες που βρίσκονται σε αυτό το εύρος αποτελούν τη ζώνη αποκοπής του φίλτρου.

Άσκηση 1.4

Για την κατασκευή του κώδικα ονομάζω τις αποστάσεις

$$[d_1 \quad d_2 \quad d_3 \quad l_1 \quad l_2 \quad l_3] \Rightarrow [p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4 \quad p_5 \quad p_6]$$



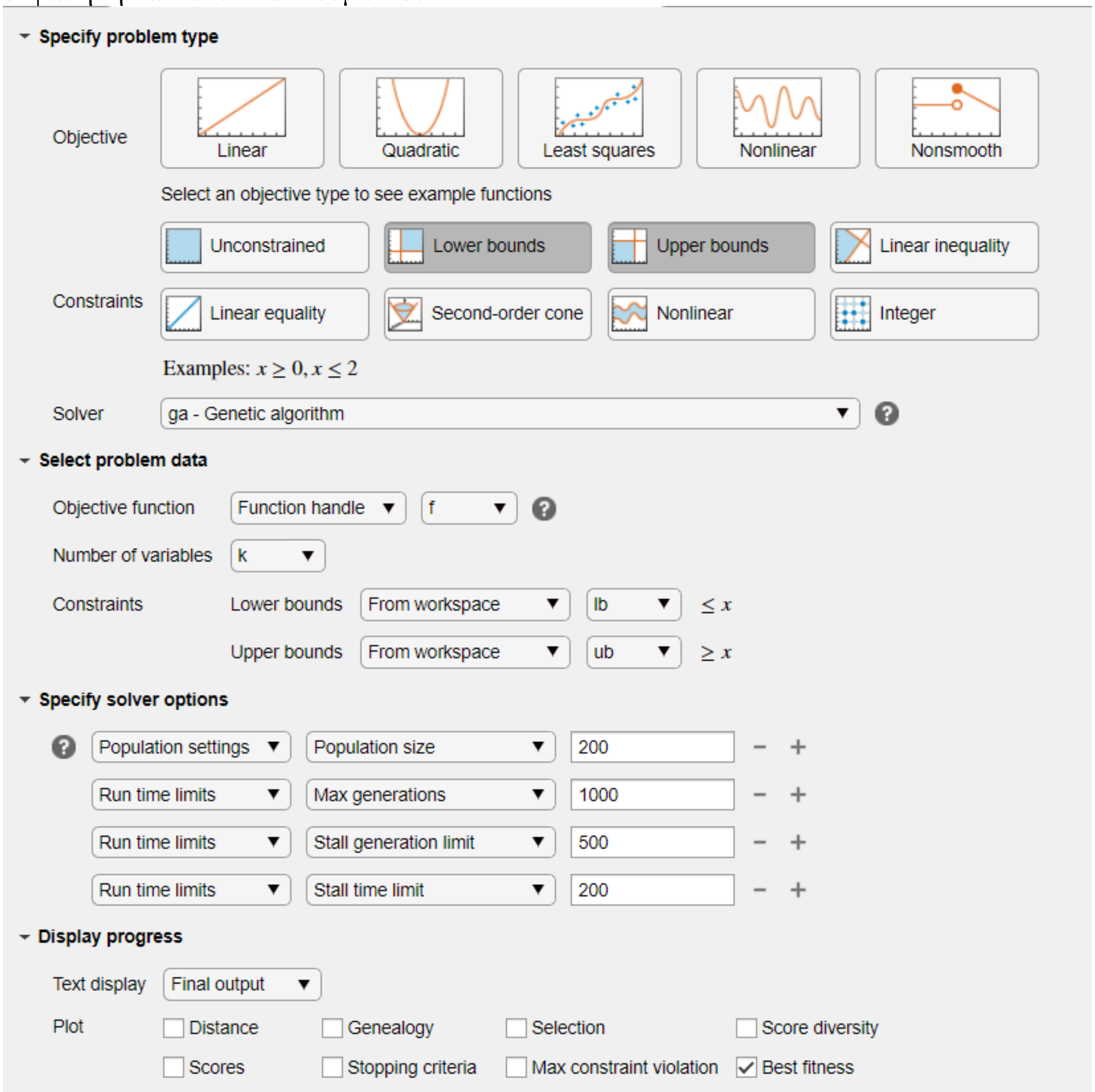
Η συνάρτηση που θα θέσω προς βελτιστοποίηση ακολουθεί την παραπάνω λογική για την επίλυση του κυκλώματος και στο τέλος βρίσκει τον μέσο όρο για όλο το εύρος συχνοτήτων μέσω της εντολής `mean(X);`. Δέχεται σαν όρισμα το διάνυσμα p το οποίο εκφράζει την κατανομή των αποστάσεων που φαίνεται στο σχήμα. Η συνάρτηση:

```
function optgamma=optgamma(p)
z0=50;
normf = (0.5:0.01:1.5);
zload=120-j*80;
z1=zin(z0,zload,p(1),normf);
zo1=zin(z0,inf,p(4),normf);
za=parallila(zo1,z1);
z2=zin(z0,za,p(2),normf);
zo2=zin(z0,inf,p(5),normf);
zb=parallila(zo2,z2);
z3=zin(z0,zb,p(3),normf);
zo3=zin(z0,inf,p(6),normf);
ztot=parallila(zo3,z3);
reflgamma=(ztot-z0)./(ztot+z0);
abgamma=abs(reflgamma);
optgamma=mean(abgamma);

function zin= zin(z0,zl,l,normf)
    if zl==Inf
        zin=-j*z0.*cot(2*pi*l.*normf)
    else

zin=z0.*(zl+j*z0.*tan(2*pi*l.*normf))./(z0+j*zl.*tan(2*pi*l.*n
ormf));
    end
end

    function parallila= parallila(z1,z2)
        y1=1./z1;
        y2=1./z2;
        ypar=y1+y2;
        parallila=1./ypar;
    end
end
```

Χρησιμοποιώντας το `optimtool` και φτιάχνοντας το workspace με τις εξής εντολές:

```
f=@optgamma
lb=[0 0.05 0.05 0 0 0]
ub=[1 1 1 1 1 1]
k=6
```

Από το γραφικό περιβάλλον του παραδείγματος (.mlx) επιλέγω τις επιλογές που θέτει η εκφώνηση και πατάω το κουμπί του **Run.**



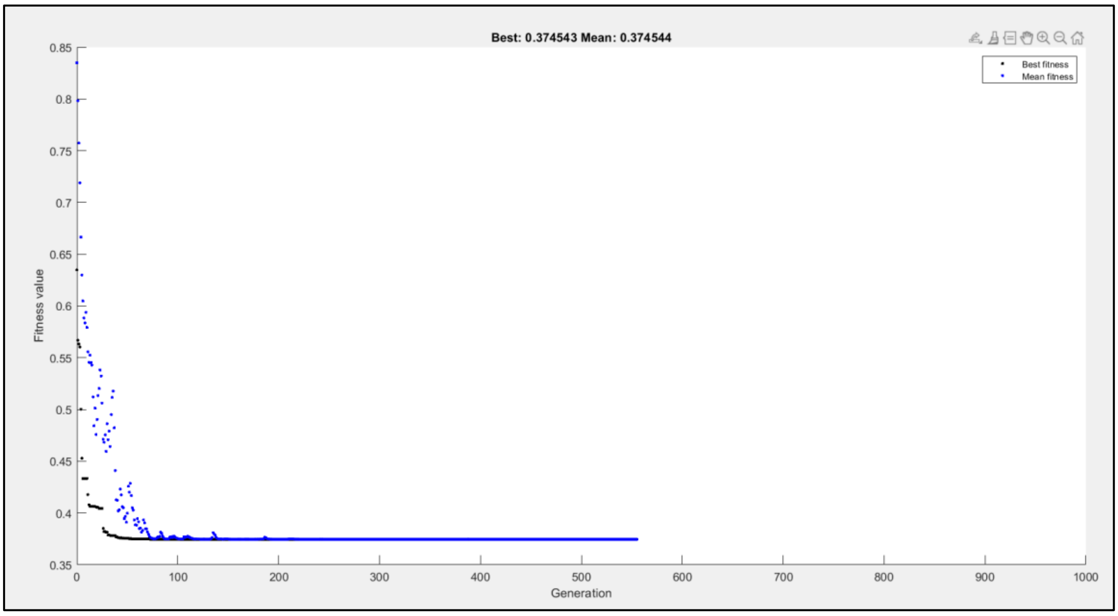
Τρέχοντας τον αλγόριθμο πολλές φορές η καλύτερη τιμή που μπόρεσε να βρει όντας σε ένα πεδίο κοντινό στο 0.4 είναι η εξής:

$$|\overline{\Gamma}| = 0.374543$$

και **το διάνυσμα των λύσεων (από p(1) έως p(6)):**

```
solution =

    0.1805    0.0640    0.1223    0.4832    0.1319    0.0740
```

Το διάγραμμα του Best Fitness:

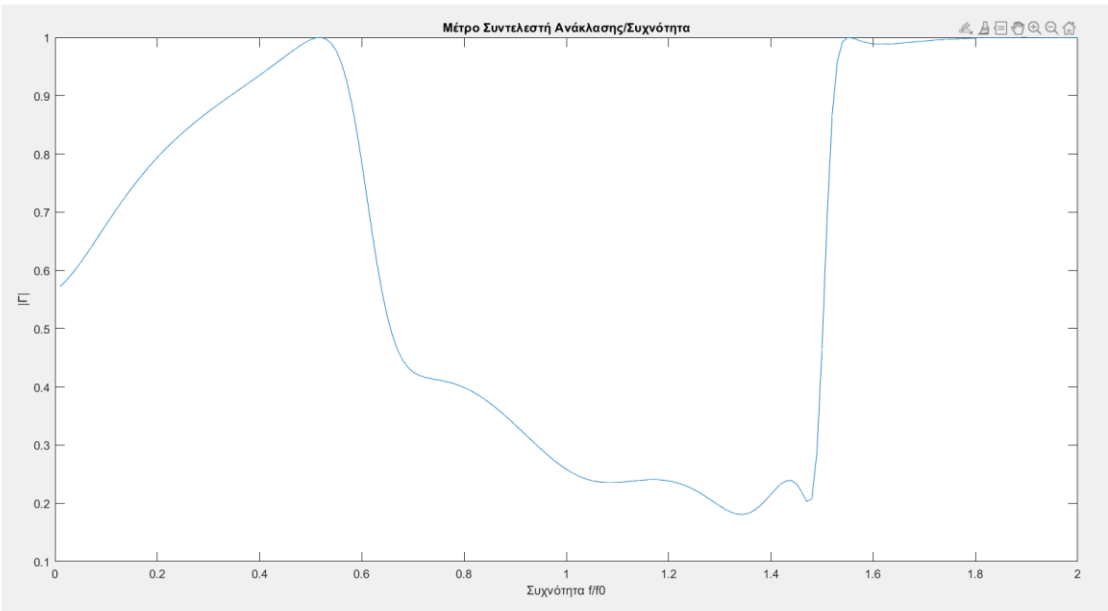


Για την παραπάνω λύση αλλάζω το διάνυσμα συχνοτήτων: `normf = (0.01:0.01:2);` και προσθέτω τις εξής γραμμές πριν τον υπολογισμό του μέσου όρου του συντελεστή ανάκλασης:

```
figure(1)
plot(normf,abgamma);
```

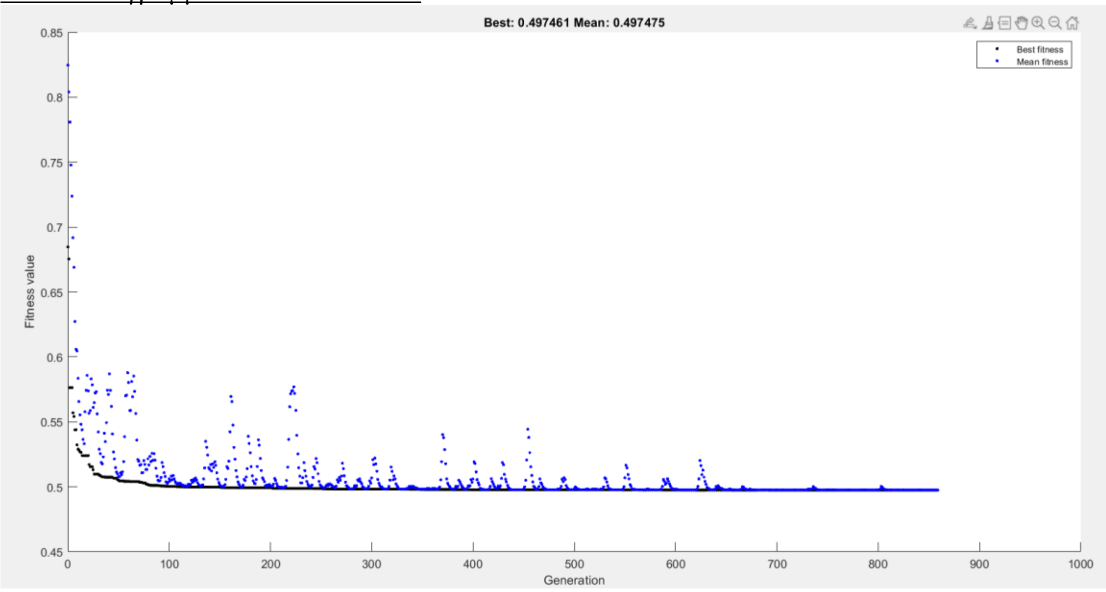
Έπειτα τρέχω την εντολή `optgamma(solution)`

Παρατηρώ ότι για το νέο εύρος συχνοτήτων η μέση τιμή του συντελεστή ανάκλασης είναι $|\Gamma|=0.6351$ και το διάγραμμα του μέτρου στη συχνότητα είναι:



Έτσι τρέχω ξανά τον αλγόριθμο `ga` του `optimtools` αυτή τη φορά για το νέο διάνυσμα συχνοτήτων.

Το νέο διάγραμμα του Best Fitness:

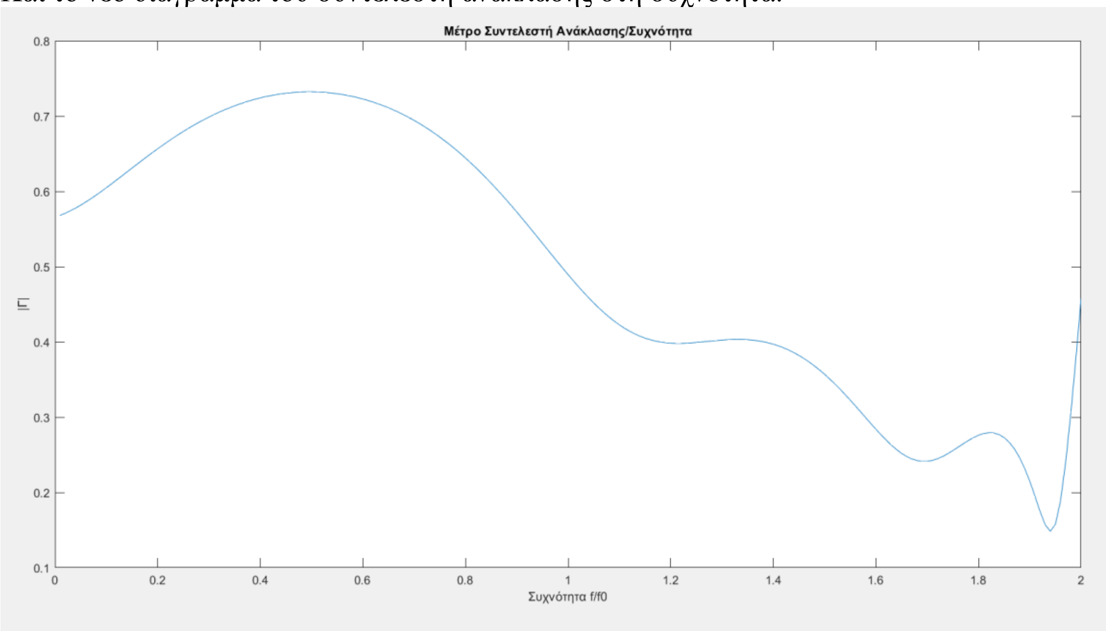


Ο νέος μέσος συντελεστής ανάκλασης: $\overline{|\Gamma|} = 0.497461$

Το νέο διάνυσμα λύσεων:

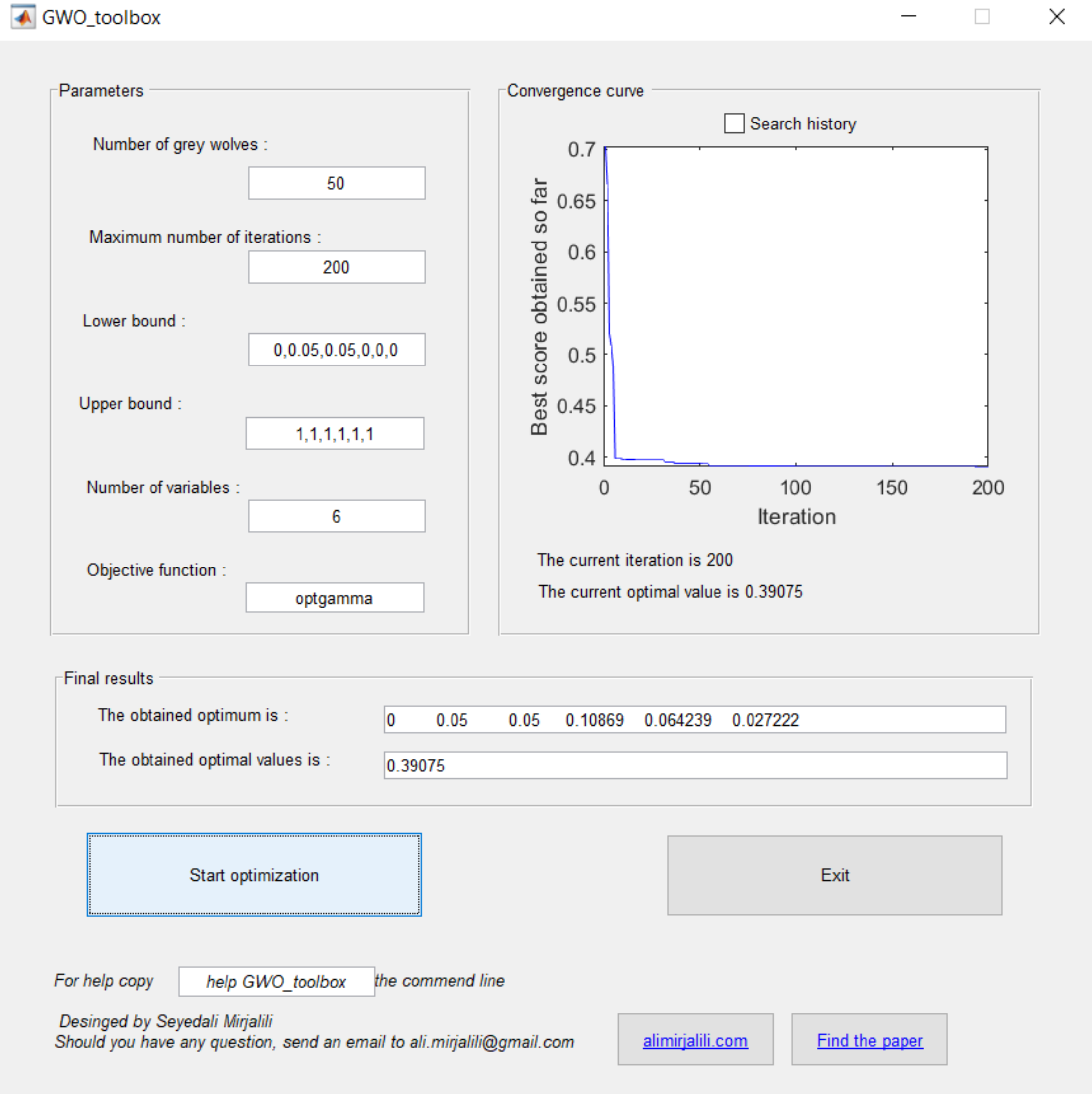
```
solution2 =

    0.1664    0.0780    0.1011    0.0995    0.0964    0.0573
```

Και το νέο διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης στη συχνότητα:



Παρατηρώ ότι ο συντελεστής ανάκλασης βελτιώθηκε, ωστόσο το εύρος για το οποίο θεωρώ τις τιμές ικανοποιητικές είναι ακόμα μικρό. Για τα επόμενα ερωτήματα της άσκησης θα χρησιμοποιήσω τους αλγορίθμους *GreyWolf* και *Jaya* (ευχαριστώ που τα ανεβάσατε στο elearning).

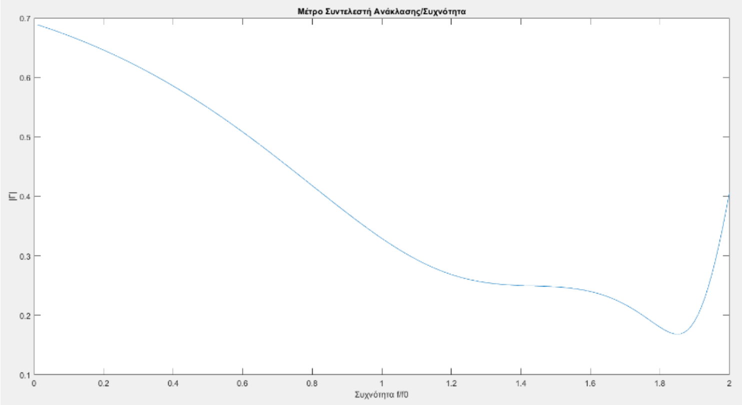
Για φορτίο `zload=10+j*15;` Χρησιμοποιώ τον αλγόριθμο *GreyWolf* και για τις παρακάτω παραμέτρους παίρνω το αντίστοιχο αποτέλεσμα:



Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης είναι : $\overline{|\Gamma|} = 0.497461$ και το διάνυσμα των λύσεων:

```
p =

         0    0.0500    0.0500    0.1087    0.0642    0.0272
```

Παρατηρώ ότι για το μικρό αυτό φορτίο, οι πρώτες τρεις τιμές βρίσκονται πάνω στα χαμηλά όρια που έθεσα πριν τρέξω τον αλγόριθμο. Τέλος το διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης:

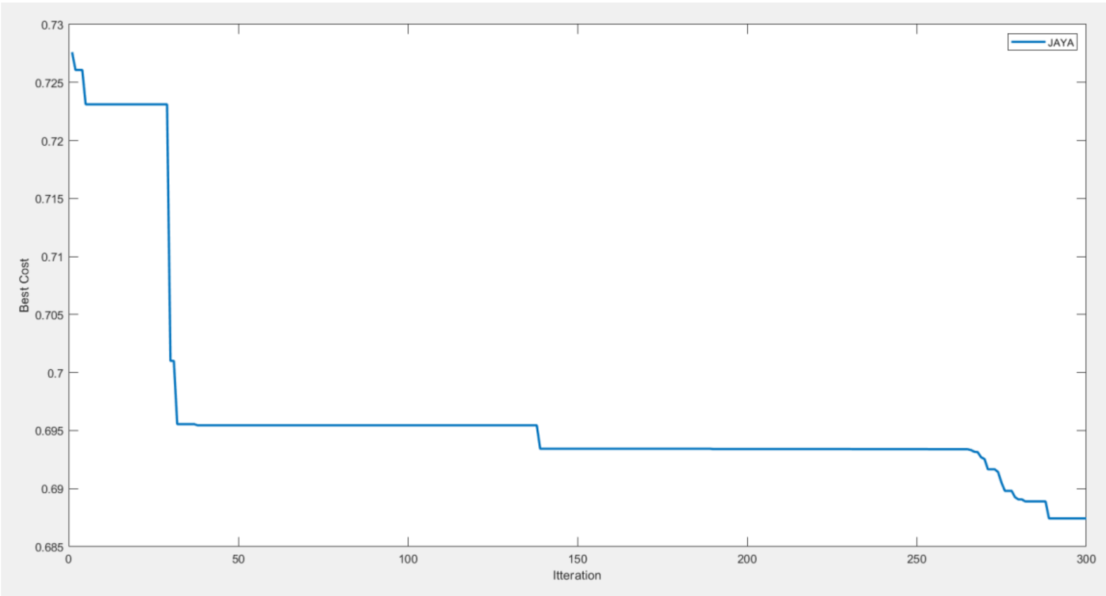


Παρατηρώ ότι είναι καλύτερο σε σχέση με τα προηγούμενα φορτία και τις προηγούμενες μεθόδους, καθώς ένα μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων καλύπτει τις αποδεκτές τιμές.

Για το φορτίο `zload=200+j*150;` Χρησιμοποιώ τον αλγόριθμο *Jaya*. Ορίζω τις παραμέτρους στα αντίστοιχα πεδία:

```
%% Problem Definition

pop = 100;                  % Population size
var = 6;                    % Number of design variables
maxGen = 300;               % Maximum number of iterations
mini = lb;  % Lower Bound of Variables
maxi = ub;   % Upper Bound of Variables
objective = @optgamma;       % Cost Function
```

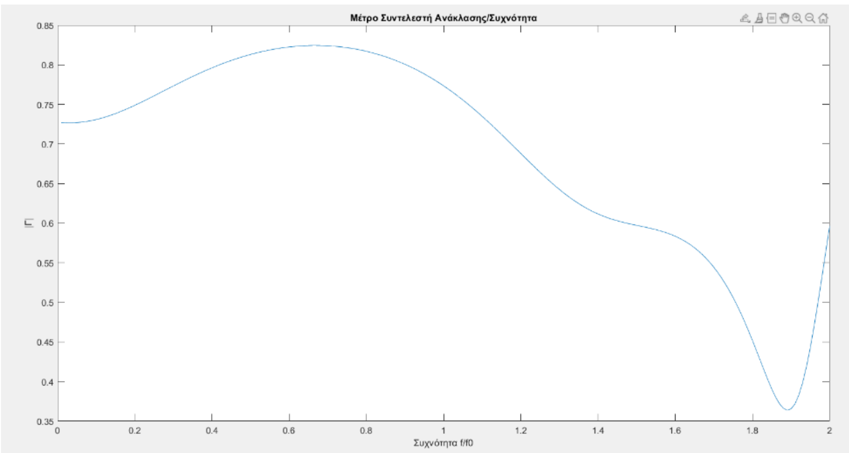
Και παίρνω το αντίστοιχο αποτέλεσμα:



Μέσος συντελεστή ανάκλασης: $\overline{|\Gamma|} = 0.687427$

```
Best =

    0.1988    0.1094    1.0000    0.0903    0.0573         0
```

Παρατηρώ ότι ξανά 2 τιμές βρίσκονται πάνω στα όρια ενώ το διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης είναι αρκετά κακό καθώς ένα πολύ στενό εύρος συχνοτήτων καλύπτει τις αποδεκτές τιμές:



Συμπεράσματα-Σχόλια

Το διάγραμμα Smith αποδεικνύεται αρκετά αξιόπιστο για την σχεδίαση κυκλωμάτων καθώς οι τιμές που παίρνω «με το μάτι» και προσεγγιστικά βρίσκονται πολύ κοντά στις πραγματικές που υπολογίζω. Αποφάσισα τη χρήση του λογισμικού για την παρουσίαση της λύσης, καθώς στο χαρτί τα βήματα μου φαίνονταν σχετικά δυσδιάκριτα.

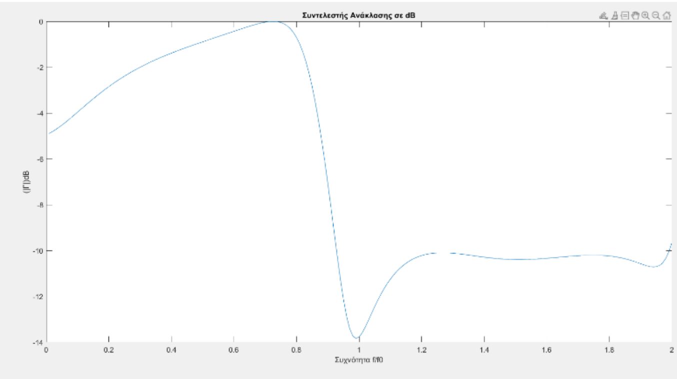
Οι επαγωγικοί αλγόριθμοι υπολογισμού μέσω των σχέσεων αποδεικνύονται επίσης ακριβείς και αξιόπιστοι, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη μελέτη του φαινομένου στη συχνότητα. Ο κώδικας ίσως να μπορούσε να γραφτεί με καλύτερο τρόπο (πιο γρήγορο ή με ονόματα μεταβλητών πιο κατανοητά), ωστόσο τον έγραψα ως μια συνταγή αναλυτικής επίλυσης της άσκησης που τον κατέστησε στον εαυτό μου εύκολα κατανοητό και παραμετροποιήσιμο.

Η παρουσίαση των ερωτημάτων του 1.4 είχαν κυρίως σκοπό την επίδειξη λειτουργίας των αλγορίθμων βιομιμητικής και όχι τόσο την εύρεση του καλύτερου αποτελέσματος (όπως σχολίασα, παρόλο που και ο μέσος όρος σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σχετικά ικανοποιητικός, φαίνεται ότι με αυτές τις τιμές από τα διαγράμματα ότι τα κυκλώματα λειτουργούν σε ένα αρκετά στενό εύρος ζώνης συχνοτήτων). Συνεπώς σίγουρα η παρουσίαση αυτή **χρειάζεται περισσότερη έρευνα** στο να προσδιοριστούν οι κατάλληλες παράμετροι που θα δώσουν το βέλτιστο αποτέλεσμα στους αλγορίθμους (προτεινόμενη λύση-ταχύτητα σύγκλισης), για τη στρατηγική μείωσης του μέσου συντελεστή ανάκλασης σε όλο το φάσμα ή ακόμα και στην εύρεση μιας νέας αντιμετώπισης του προβλήματος.

Για τον λόγο αυτό και ύστερα από ιδέα του *Ιωάννη Λαζαρίδη ΑΕΜ: 10431* προτείνεται η εύρεση μιας διαφορετικής συνάρτησης κόστους η οποία θα μπει στη στοχαστική μέθοδο προς ελαχιστοποίηση. Ενδεικτικά:

```
loggamma=20*log10(abgamma);
lbest=0;
for i=1:length(normf)
    l=0;
    k=0;
    while (loggamma(i+k)<=-10 && i+k<length(normf))
        l=l+1;
        k=k+1;
    end
    if (l>lbest)
        lbest=l;
    end
end
x=2*lbest/200;
optgamma=2-x;
```

Προσθέτοντας τον παραπάνω κώδικα στη συνάρτηση `optgamma(p)` το κριτήριο κόστους αλλάζει και γίνεται από μέσο όρο συντελεστή στο εύρος των συχνοτήτων, στο σχετικό διάστημα συχνοτήτων που ο συντελεστής ανάκλασης δεν είναι καλός (μετράω το διάστημα που είναι καλός και το αφαιρώ από το συνολικό). Με δοκιμές στον αλγόριθμο *GreyWolf* και για φορτίο `zload=120-j*80` λαμβάνω το εξής αποτέλεσμα:



Για την εξής λύση:

```
k =

    0.1457    0.0570    0.0995    0.3448    0.0740    0.0240
```

Παρατηρούνται και εδώ αστοχίες, όπως επίσης και η δυσκολία του να βρει ένα ικανοποιητικό εύρος για μεγάλα φορτία ή να συμπεριλάβει χαμηλές συχνότητες, ωστόσο η συμπεριφορά του φαίνεται πιο σταθερή στο φάσμα έναντι των παραπάνω.

Οφείλω να πω πως αν και δεν είχα πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για το μάθημα, ενθουσιάστηκα με τα δύο τελευταία ερωτήματα και δε μπορούσα να σκεφτώ πόσο εύκολα μπορούμε να μπλέξουμε τον προγραμματισμό σε οποιοδήποτε πρόβλημα και να πάρουμε αξιόπιστες και γρήγορες λύσεις.

Η παρούσα έκδοση της εργασίας προήλθε και ύστερα από χρήσιμες διευκρινίσεις και υποδείξεις του διδάσκοντα μετά τον χρόνο παράδοσής της καθώς και τη συζήτησή της με συμφοιτητές μέσα στο αμφιθέατρο.

Βιβλιογραφία

Γιούλτσης Τ. - Κριεζής Ε. (2017) Μικροκύματα: Θεωρία και Εφαρμογές, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ

Smith Chart Calculator: https://sourceforge.net/projects/gnssmithchart/

Grey Wolf Optimizer ToolBox:
https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47258-grey-wolf-optimizer-toolbox
Jaya Optimization:
https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74004-jaya-a-simple-and-new-optimization-algorithm

Για την εισαγωγή των μαθηματικών εξισώσεων χρησιμοποιήθηκε το *MathType 7*