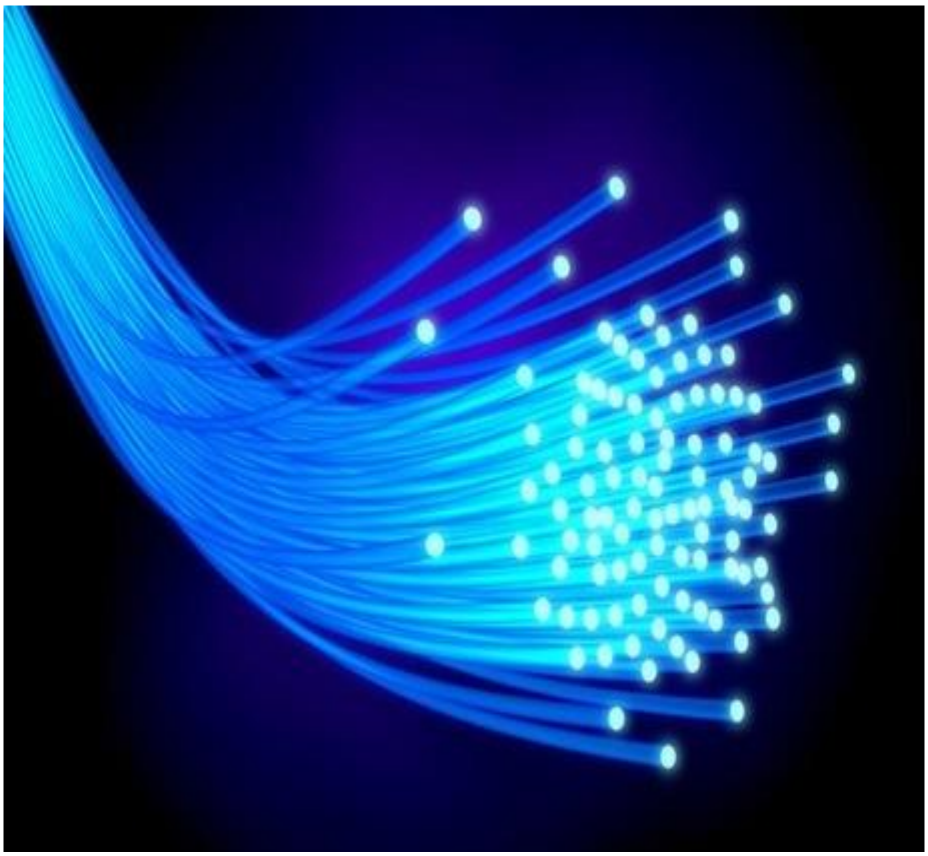
Οπτικές Επικοινωνίες

<u>Προαιρετικά Θέματα 3ου κεφαλαίου</u>

Οπτικοί Κυματοδηγοί ΙΙ: Απόσβεση και Διασπορά



Διδάσκων : Εμμανουήλ Κριεζής

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: Ηλίας Χρυσοβέργης

Α.Ε.Μ. Φοιτητή: 8009

Email Φοιτητή: iliachry@ece.auth.gr

3.1

Για την επίλυση της άσκησης αρχικά δίνονται οι απαραίτητες παράμετροι του προβλήματος και στην συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης διάθλασης της οπτικής ίνας με χρήση της σχέσης του Sellmeier.

Ο κώδικας σε Matlab δίνεται στην συνέχεια:

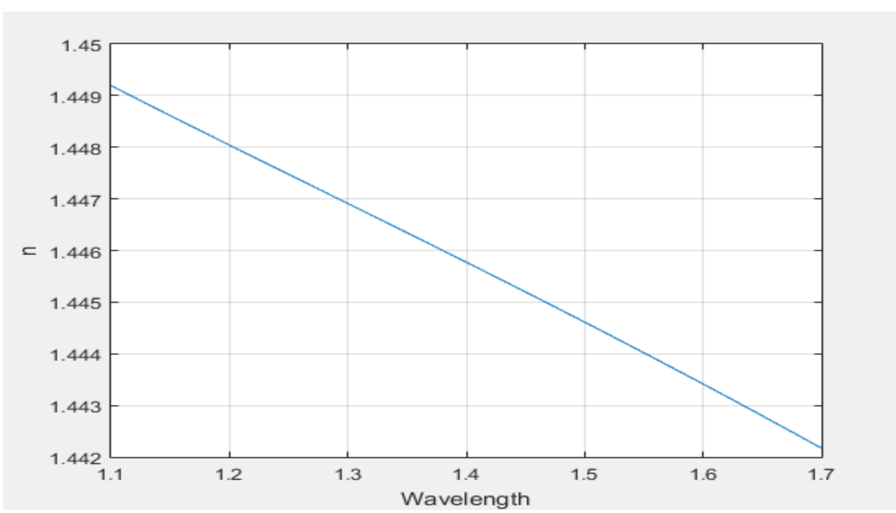
```
%Parameters

diameter = 9 ;
relativeDifference = 0.002;
wavelength = 1.1:0.001:1.7;
c = 3 * 10^8 ;

%Refractive Index

a = [0.6961663, 0.4079426, 0.8974994];
b = [0.004629148, 0.01351206, 97.93406];
nSquared = zeros(0,length(wavelength));
n = zeros(0,length(wavelength));
for i = 1:length(wavelength)
    nSquared(i) = 1;
    for j = 1:3
        nSquared(i) = nSquared(i) + (a(j)*(wavelength(i))^2) / ((wavelength(i))^2 - b(j));
    end
    n(i) = (nSquared(i))^(1/2);
end
figure;
plot(wavelength,n);
grid on;
xlabel('Wavelength')
ylabel('n')
```

Το διάγραμμα του δείκτη διάθλασης συναρτήσει του μήκους κύματος σε μm δίνεται στην συνέχεια:



(α) Στο πρώτο ερώτημα ζητήθηκε ο υπολογισμός, η γραφική παράσταση και το σημείο μηδενισμού του Dm.

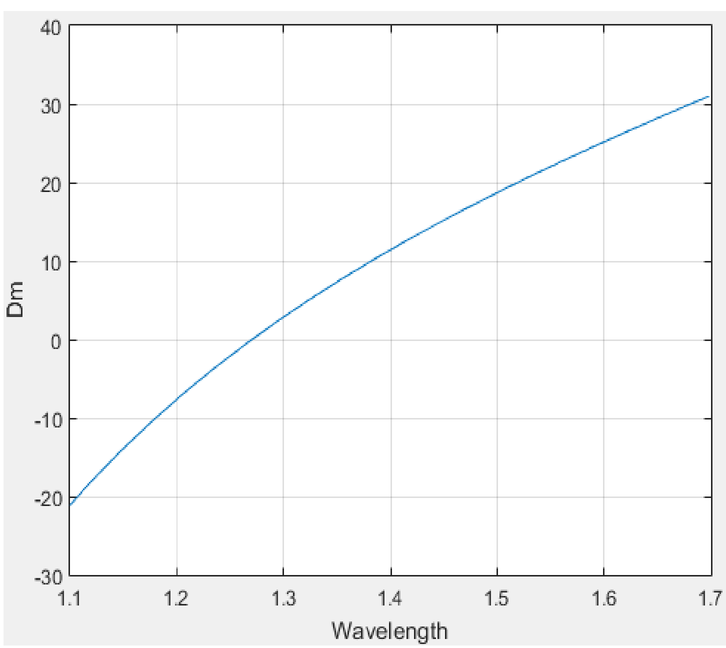
Ο κώδικας σε matlab δίνεται στην συνέχεια:

```
dn_l = diff(n,1)./diff(wavelength,1);
dn_l_2 = diff(dn_l,1)./diff(wavelength(1:(length(wavelength)-1)),1);
Dm = -(wavelength(1:(length(wavelength)-2))/c).*dn_l_2*10^12;

figure;
plot(wavelength(1:(length(wavelength)-2)),Dm);
grid on;
xlabel('Wavelength')
ylabel('Dm')

flag = 1;
for i=1:length(wavelength)
    if (flag == 1 && i>1);
        if sign(Dm(i)) ~= sign(Dm(i-1))
            flag = 0;
            zero_point_Dm = wavelength(i);
        end
    end
end
```

Η γραφική παράσταση του Dm συναρτήσει του μήκους κύματος σε μm δίνεται στην συνέχεια:



Το σημείο μηδενισμού εμφανίζεται στα **1.271 μm**.

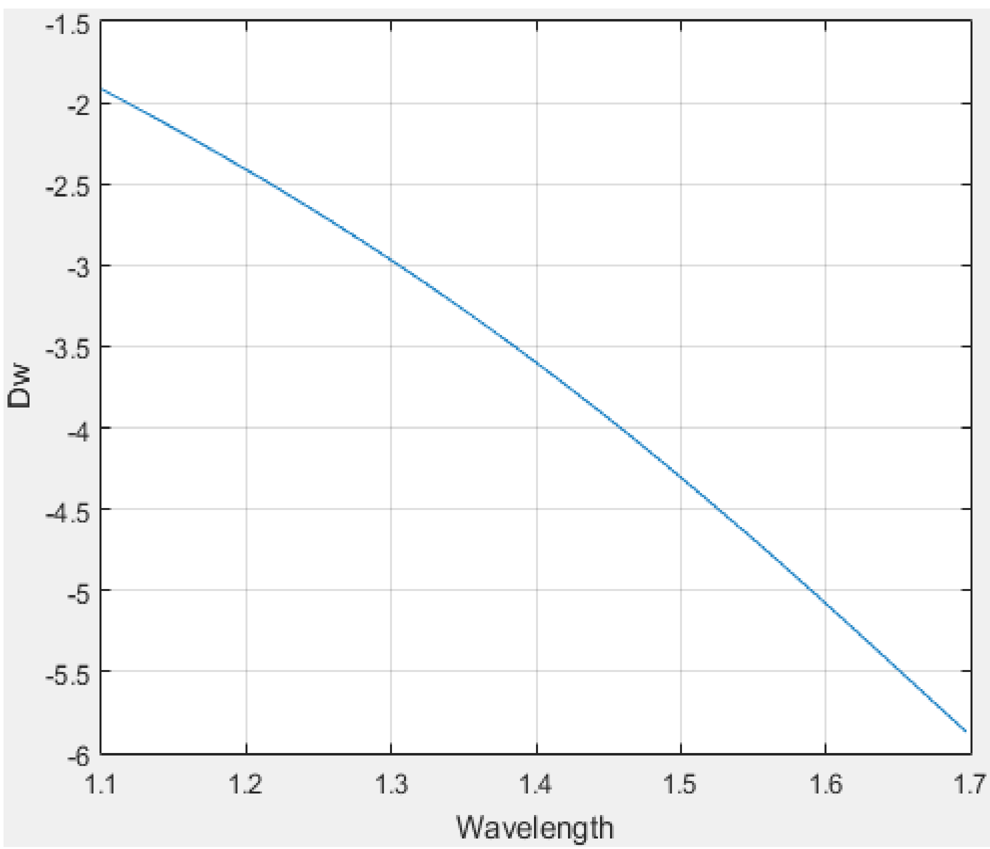
(β) Στο δεύτερο ερώτημα ζητήθηκε ο υπολογισμός και η γραφική παράσταση του Dw, αγνοώντας την διασπορά υλικού.

Ο κώδικας σε matlab δίνεται στην συνέχεια:

```
V=(pi*diameter*n*sqrt(2*relativeDifference))./wavelength;
[V, b] = V_b(V(1), V(600), 600);
dVb_V=diff(V.*b,1)./diff(V,1);
dVb_V_2 = diff(dVb_V,1)./diff(V(1:(length(V)-1)),1);
dw=-(relativeDifference*n(1:598)./(wavelength(1:598)*c)).*V(1:598).*dVb_V_2*10^12;

figure;
plot(wavelength(1:598),dw)
grid on;
xlabel('Wavelength')
ylabel('Dw')
```

Η γραφική παράσταση του Dw συναρτήσει του μήκους κύματος σε μm δίνεται στην συνέχεια:



(γ) Στο τρίτο ερώτημα ζητήθηκε ο υπολογισμός, η γραφική παράσταση και το σημείο μηδενισμού του Dt που προκύπτει μετά από άθροιση της διασποράς υλικού και της διασποράς κυματοδηγού.

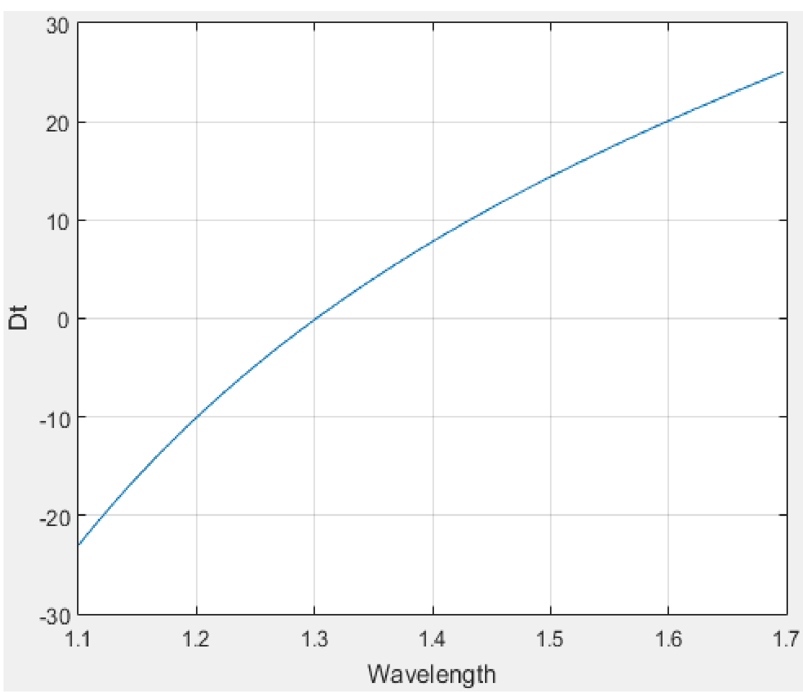
Ο κώδικας σε matlab δίνεται στην συνέχεια:

```
Dt = dw+Dm(1:598);

figure;
plot(wavelength(1:598),Dt)
grid on;
xlabel('Wavelength')
ylabel('Dt')

flag = 1;
for i=1:length(wavelength)
    if (flag == 1 && i>1);
        if sign(Dt(i)) ~= sign(Dt(i-1))
            flag = 0;
            zero_point_Dt1 = wavelength(i);
        end
    end
end
```

Η γραφική παράσταση του Dt συναρτήσει του μήκους κύματος σε μm δίνεται στην συνέχεια:



Το σημείο μηδενισμού εμφανίζεται στα **1.302 μm**.

(δ) Στο τέταρτο ερώτημα ζητήθηκε ο υπολογισμός, η γραφική παράσταση και το σημείο μηδενισμού του Dt που προκύπτει με απευθείας εφαρμογή της σχέσης ορισμού και χωρίς την διάκριση στους μηχανισμούς της διασποράς υλικού και της διασποράς κυματοδηγού.

Ο κώδικας σε matlab δίνεται στην συνέχεια:

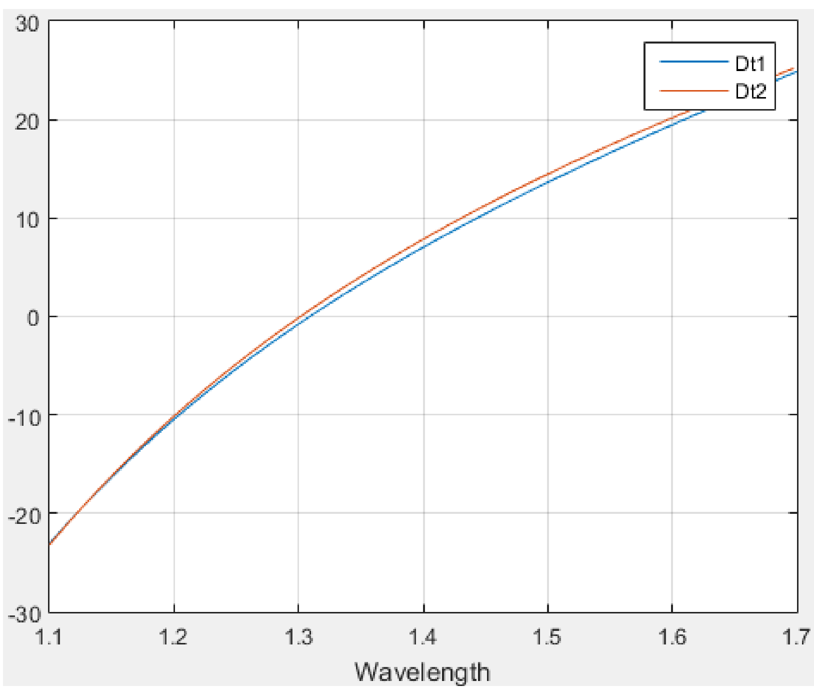
```
omega = 2*pi*c./wavelength;
beta = 2*pi./wavelength(1:600).*n(1:600).*sqrt(1-2*relativeDifference*(1-b));
db_omega_1 = diff(beta)./diff(omega(1:600));
db_omega_2 = diff(db_omega_1)./diff(omega(1:(length(omega)-1)));

Dt2 = -omega(1:(length(omega)-2))./wavelength(1:(length(wavelength)-2)).*db_omega_2*10^12;

plot(wavelength(1:598),Dt2);
legend('Dt1','Dt2');

flag = 1;
for i=1:length(wavelength)
    if (flag == 1 && i>1);
        if sign(Dt2(i)) ~= sign(Dt2(i-1))
            flag = 0;
            zero_point_Dt2 = wavelength(i);
        end
    end
end
```

Η γραφική παράσταση του Dt και με τους δύο υπολογισμούς, συναρτήσει του μήκους κύματος σε μm δίνεται στην συνέχεια:



Το σημείο μηδενισμού εμφανίζεται στα **1.309 μm**.

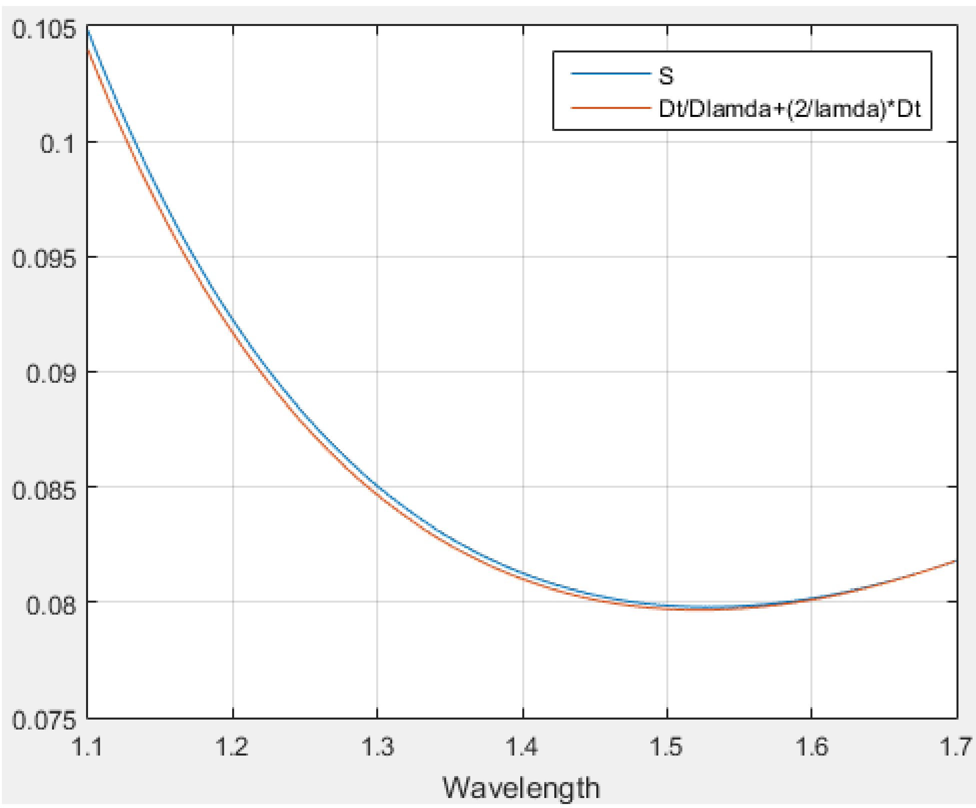
(ε) Στο πέμπτο ερώτημα ζητήθηκε ο υπολογισμός και η γραφική παράσταση του S, μετά από απευθείας εφαρμογή της σχέσης ορισμού και με χρήση της σχέσης του S με το Dt .

Ο κώδικας σε matlab δίνεται στην συνέχεια:

```
S1=((2*pi*c)./(wavelength.^2)).^2.*db_omega_3.*10^9;
Dt_1=diff(dt,1)./diff(wavelength,1)*10^-3;
S2=Dt_1+(2./wavelength(1:length(wavelength)-1)).*dt(1:length(dt)-1)*10^(-3);

figure;
plot(wavelength,S1)
grid on
hold on
plot(wavelength(1:x-4),S2)
xlabel('Wavelength')
legend('S','Dt/Dlamda+(2/lamda)*Dt')
```

Η γραφική παράσταση του Dt και με τους δύο υπολογισμούς, συναρτήσει του μήκους κύματος σε μm δίνεται στην συνέχεια:



Βλέπουμε ότι όντως η κλίση διασποράς S δεν είναι απλά η κλίση του Dt ως προς λ, αλλά προστίθεται και ακόμη ένας όρος ίσος με το Dt επί έναν συντελεστή.

3.2

Σε αυτή την άσκηση ζητήθηκε η εξέταση της επίδρασης της διασποράς στην χρονική διεύρυνση παλμών τύπου Gaussian, Super-Gaussian και Hyperbolic Secant σε μία τυπική μονόρρυθμη οπτική ίνα.

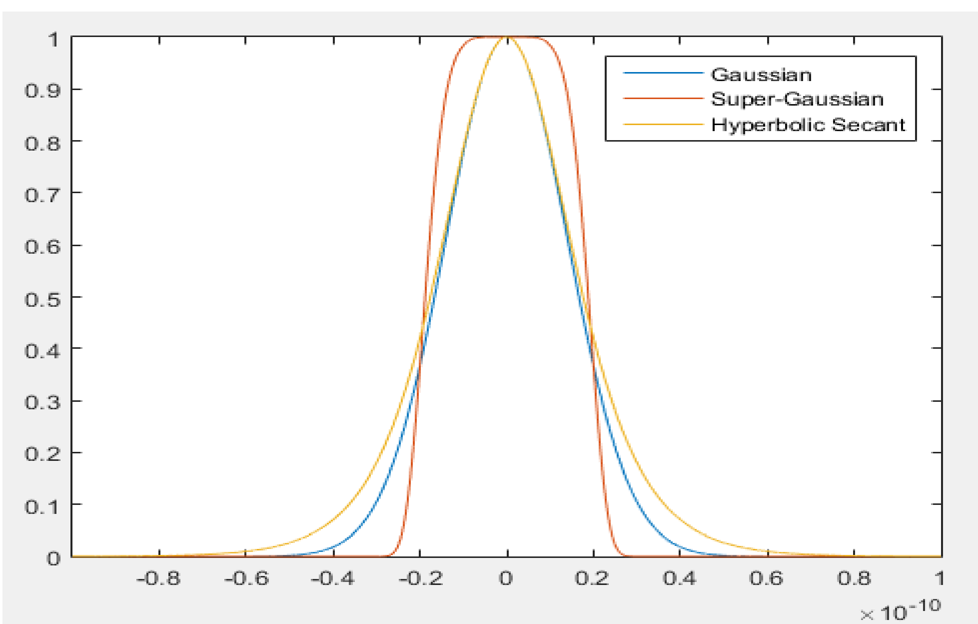
(α)

Για την απεικόνιση της στιγμιαίας ισχύος στην είσοδο για τους τρεις τύπους παλμών σε κοινό διάγραμμα χρησιμοποιήθηκε ο εξής κώδικας:

```
%Parameters
beta2 = -21*10^(-27);
beta3 = 1.3*10^(-40);
T0 = 20*10^(-12);
Num=8*1024;

%Time Domain
t1 = linspace(-5*T0,5*T0,Num);
Gaussian = exp(-t1.^2/(2*T0^2)).^2;
Super_Gaussian = exp(-t1.^6/(2*T0^6)).^2;
Hyper_Secant = sech(t1/T0).^2;
plot(t1,Gaussian)
hold on
plot(t1,Super_Gaussian)
plot(t1,Hyper_Secant)
legend('Gaussian','Super-Gaussian','Hyperbolic Secant')
```

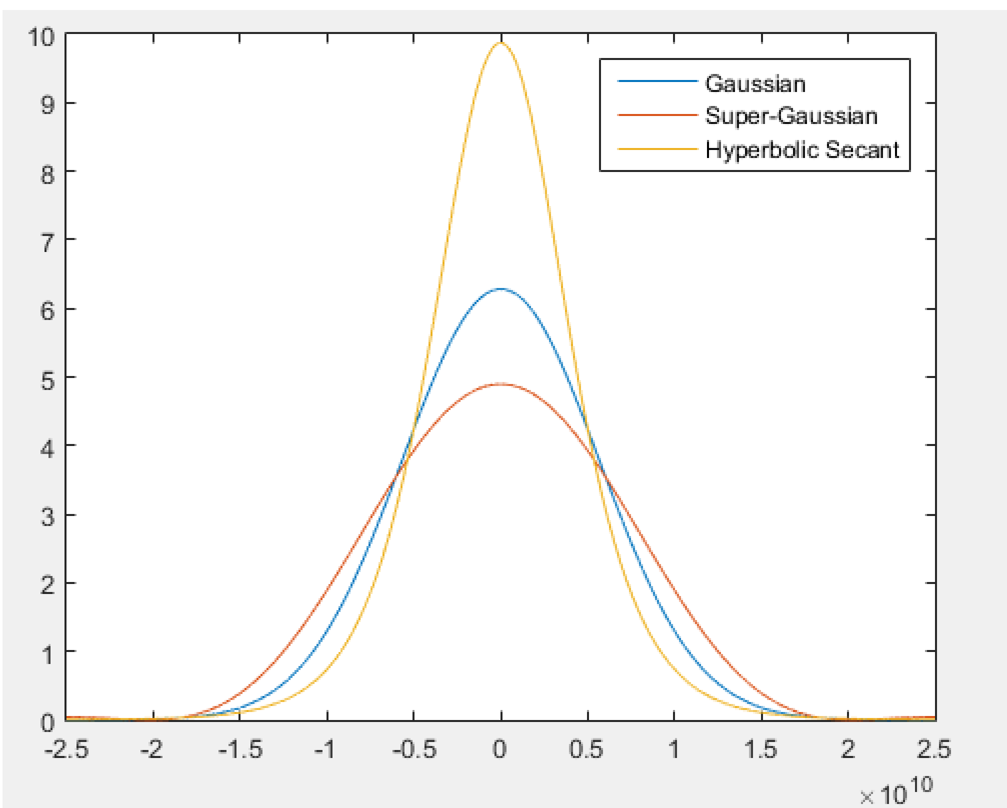
Το κοινό διάγραμμα δίνεται στην συνέχεια:



Για την απεικόνιση του φασματικού πλάτους στην είσοδο για τους τρεις τύπους παλμών σε κοινό διάγραμμα χρησιμοποιήθηκε ο εξής κώδικας:

```
%Frequency Domain
t2 = linspace(-(Num+1)/2*T0,(Num+1)/2*T0,Num+1);
Gaussian2 = exp(-t2.^2/(2*T0^2));
Super_Gaussian2 = exp(-t2.^6/(2*T0^6));
Hyper_Secant2 = sech(t2/T0);
GF = fftshift(fft(Gaussian2));
SGF = fftshift(fft(Super_Gaussian2));
HSF = fftshift(fft(Hyper_Secant2));
GF = (abs(GF.^2));
SGF = (abs(SGF).^2);
HSF = (abs(HSF).^2);
j = linspace(-1/(2*T0),1/(2*T0),Num+1);
figure;
plot(j,GF)
hold on
plot(j,SGF)
plot(j,HSF)
legend('Gaussian','Super-Gaussian','Hyperbolic Secant')
```

Το κοινό διάγραμμα δίνεται στην συνέχεια:



Για το γινόμενο του πλήρες εύρους μεταξύ των σημείων μισής ισχύος στον χρόνο και του πλήρες φασματικού εύρους στα σημεία μισής ισχύος χρησιμοποιήθηκε ο εξής κώδικας (δίνεται ο κώδικας μόνο για τον Gaussian παλμό):

```
%%Dt*Df for Gaussian
j1=Gaussian((Num+2)/2);
j2=GF((Num+2)/2);
Dt=0;
Df=0;
T1=10/(Num);

flag1 = 1;
flag2 = 1;

for t1=(Num+2)/2:length(t1)
    if Gaussian(t1)<j1/2 && flag1 == 1
       flag1 = 0;
       Dt=(2*(t1-Num/2)-1)*T1;
    end
     if GF(t1)<j2/2 && flag2 == 1;
       flag2 = 0;
       Df=(1/Num)*(2*(t1-Num/2)-1);
     end
end
fprintf('Gaussian: Dt*Dw = %2.4f\n',Dt*Df);
```

Τα αποτελέσματα και για τους 3 τύπους παλμών δίνονται στην συνέχεια:

```
Gaussian: Dt*Dw = 0.4420
Super-Gaussian: Dt*Dw = 0.6518
Hyperbolic Secant: Dt*Dw = 0.3154
```

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι ο Super – Gaussian έχει το μέγιστο γινόμενο και ο Hyperbolic Secant τον ελάχιστο.

(β) Για την κατασκευή του γραφήματος που απεικονίζει την εξέλιξη του παλμού καθώς προχωρά η διάδοση, χρησιμοποιήθηκε ο εξής κώδικας (δίνεται ο κώδικας μόνο για τον Gaussian παλμό):

```
T0 = 20*10^(-12);
beta2 = -21*10^(-27);
beta3 = 1.3*10^(-40);
Num = 8193;
Ts = 100*T0/(Num-1);
Ld2=T0^2/abs(beta2);
z = linspace(0,4*Ld2,10);
t = linspace(-50*T0,50*T0, Num);
Gaussian = exp(-t.^2/(2*T0^2));
Super_Gaussian = exp(-t.^6/(2*T0^6));
Hyper_Secant = sech(t/T0);
GF = fftshift(fft(Gaussian));
stigm = zeros(length(z),Num);
Number = (Num+1)/2;
y = zeros(length(z),Num);
for j=1:length(z)
    for k = 0:Number-1
        stigm(j,Number + k) = GF(Number+k)*exp(1i*beta2/2*(pi*k/(Number*Ts)).^2*z(j)...
            +1/6*1i*beta3*z(j)*(pi*(k/(Number*Ts))).^3);
        stigm(j,Number - k) = GF(Number+k)*exp((1i)*(beta2/2)*(pi*k/(Number*Ts)).^2*z(j)...
            -(1/6)*(1i)*(beta3)*z(j)*(pi*(k/(Number*Ts))).^3);
    end
    y(j,:) = z(j)*ones(1,Num);
    proti = ifft(ifftshift(stigm(j,:)));
    plot3(t/T0,y(j,:)/Ld2,abs(proti).^2)
    hold on
end
xlim([-5 5])
grid on
```

Τα γραφήματα για κάθε τύπο παλμού δίνονται στην συνέχεια:

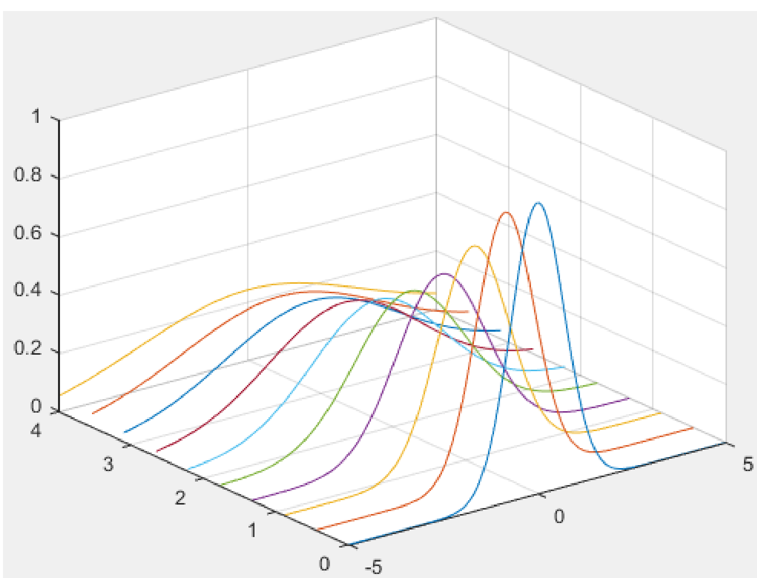


Figure 1:Gaussian

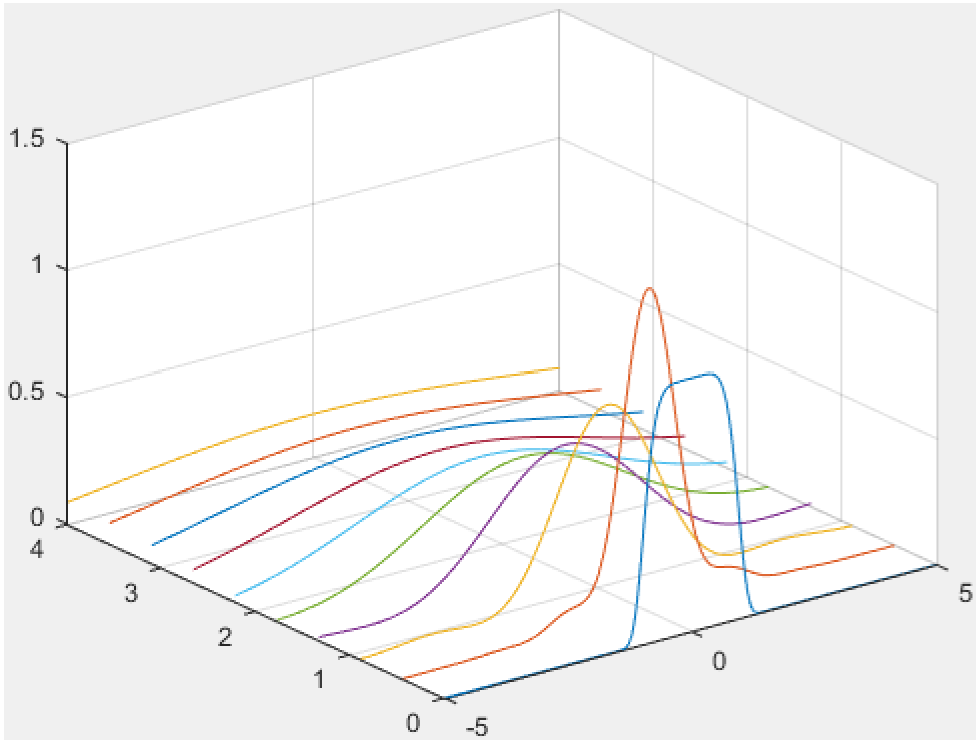


Figure 2:Super-Gaussian

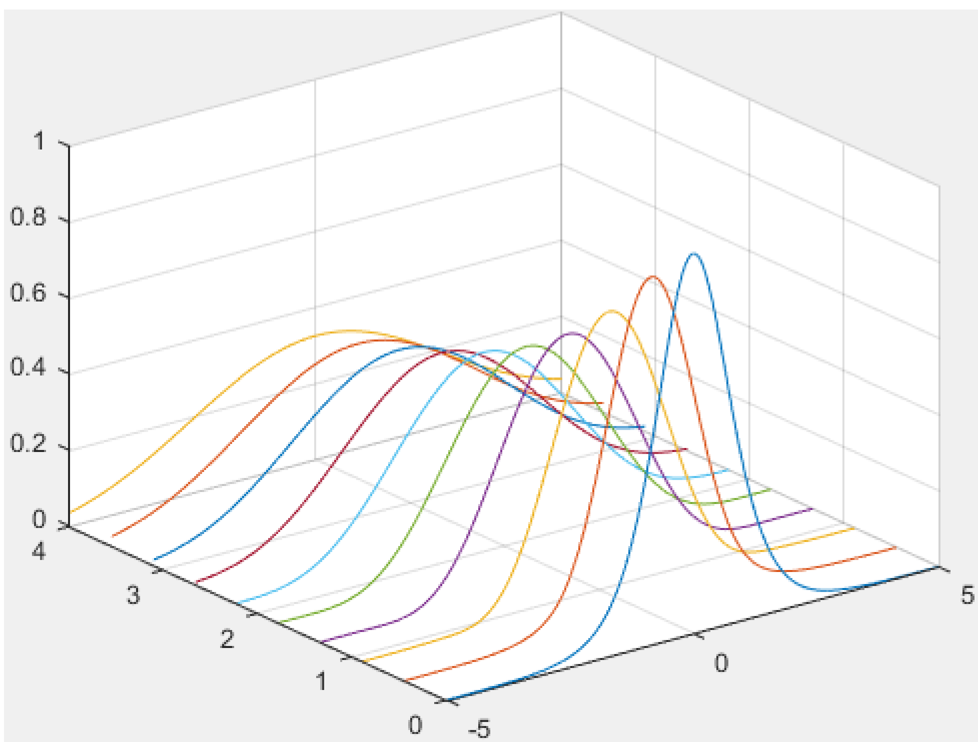
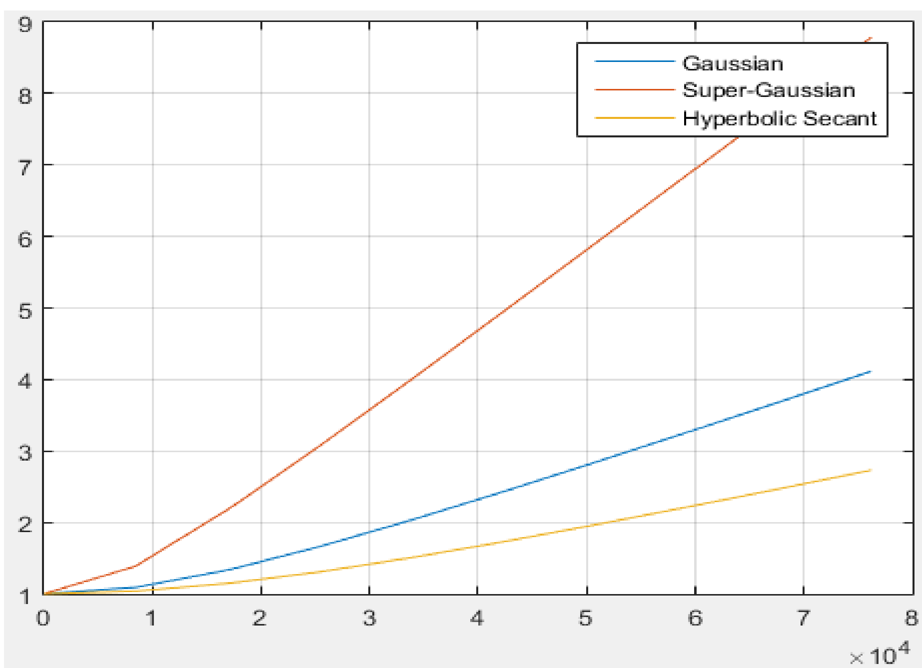


Figure 3:Hyperbolic Secant

(γ) Για την μεταβολή της rms χρονικής έκτασης των παλμών στην θέση z ως προς την rms χρονική έκταση στην είσοδο χρησιμοποιήθηκε ο εξής κώδικας:

```
stigm = zeros(length(z),Num);
Number = (Num+1)/2;
for j=1:length(z)
    for k = 0:Number-1
        stigm(j,Number + k) = GF(Number+k)*exp(1i*beta2/2*(pi*k/(Number*Ts)).^2*z(j)...
            +1/6*1i*beta3*z(j)*(pi*(k/(Number*Ts))).^3);
        stigm(j,Number - k) = GF(Number+k)*exp((1i)*(beta2/2)*(pi*k/(Number*Ts)).^2*z(j)...
            -(1/6)*(1i)*(beta3)*z(j)*(pi*(k/(Number*Ts))).^3);
    end
    proti(j,:) = ifft(ifftshift(stigm(j,:)));
    %t^2
    integral1 = trapz(t,(t.^2).*abs(proti(j,:)).^2);
    integral2 = trapz(t,abs(proti(j,:)).^2);
    t1 = integral1/integral2;
    %t
    integral1 = trapz(t,t.*abs(proti(j,:)).^2);
    integral2 = trapz(t,abs(proti(j,:)).^2);
    t2 = integral1/integral2;
    %variance
    varian(j) = sqrt(t1 - t2^2);
end
plot(z,varian/varian(1));
```

Το κοινό διάγραμμα δίνεται στην συνέχεια:



Αν ξανατρέξουμε τον ίδιο κώδικα με πριν, μηδενίζοντας την παράμετρο β3 προκύπτει ότι η συμμετοχή της είναι αμελητέα στην διεύρυνση των παλμών. Αυτό μπορούμε να το παρατηρήσουμε και από το προηγούμενο ερώτημα.

(δ) Για το συγκεκριμένο ερώτημα τροποποιήθηκε ο κώδικας του ερωτήματος (β), όπου μηδενίστηκε η παράμετρος β2 και χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό μέγιστο μήκος διάδοσης.

Αξίζει να παρατηρηθεί η πολύ σημαντική επίδραση που έχει η παράμετρος διασποράς 3ης τάξης στον Super-Gaussian παλμό σε σχέση με τον Gaussian και τον Hyperbolic Secant. Βλέπουμε τις πολύ ισχυρές κυματώσεις που εμφανίζονται από την αρχή του διαγράμματος στον άξονα z, καθώς και την μεγάλη παραμόρφωση του παλμού στο τέλος του διαγράμματος. Ακόμη, είναι αξιοσημείωτη η σημαντική μείωση του πλάτους που υφίσταται ο παλμός αυτός.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο Hyperbolic Secant εμφανίζει την καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με τους άλλους 2 τύπους παλμών κάτι που θα εξηγήσουμε περισσότερο και στο (στ) ερώτημα.

Τα γραφήματα για κάθε τύπο παλμού δίνονται στην συνέχεια:

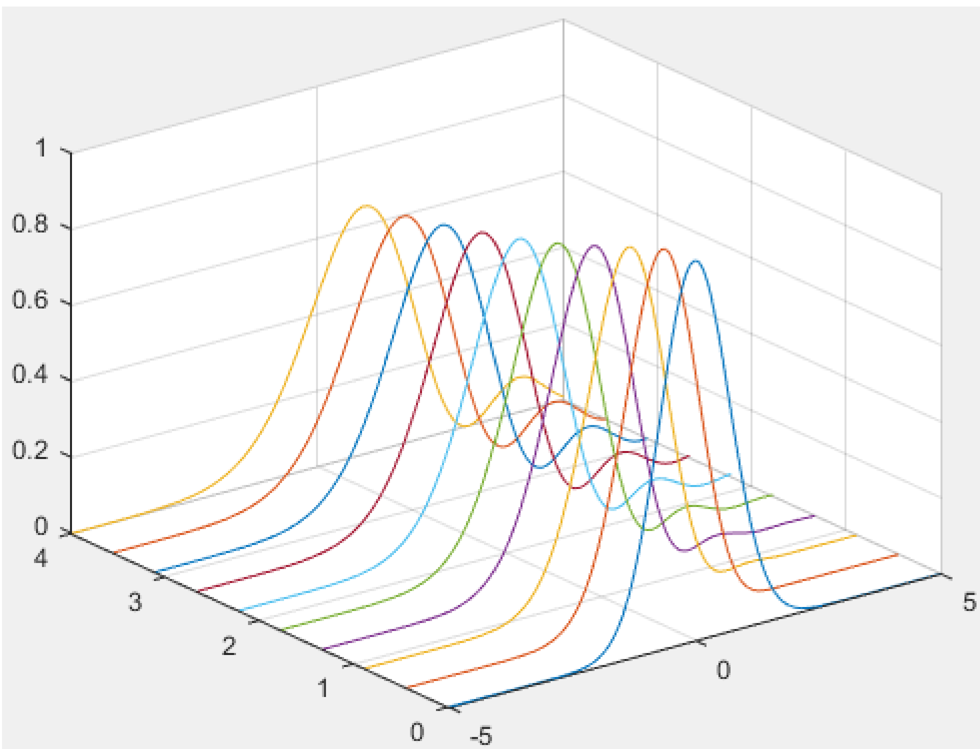


Figure 4:Gaussian

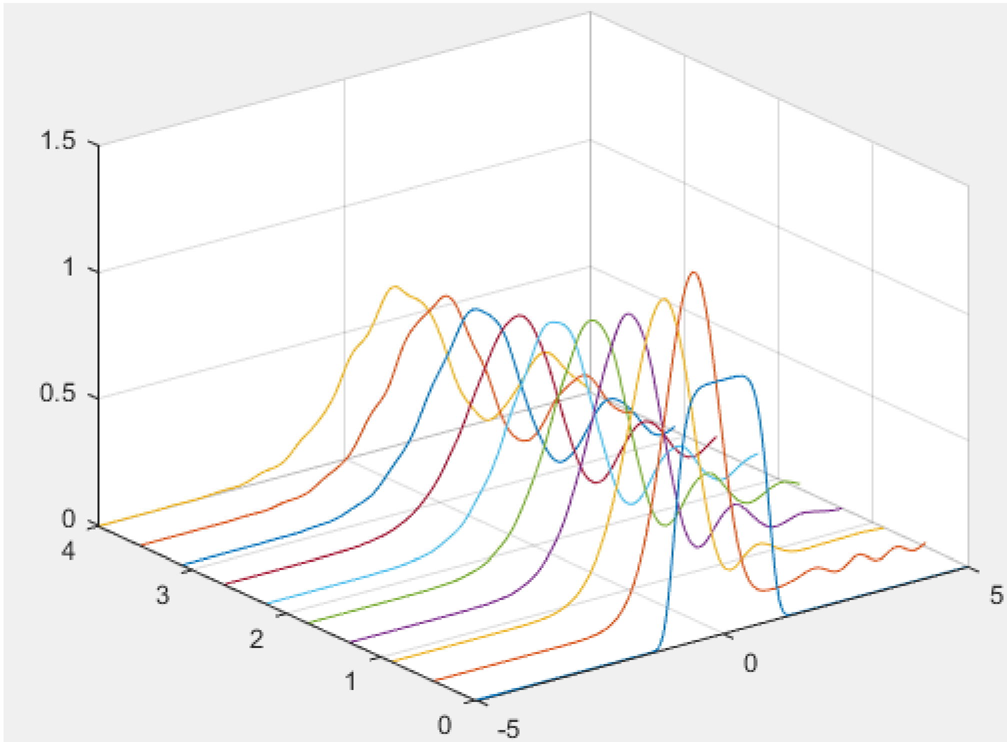


Figure 5:Super-Gaussian

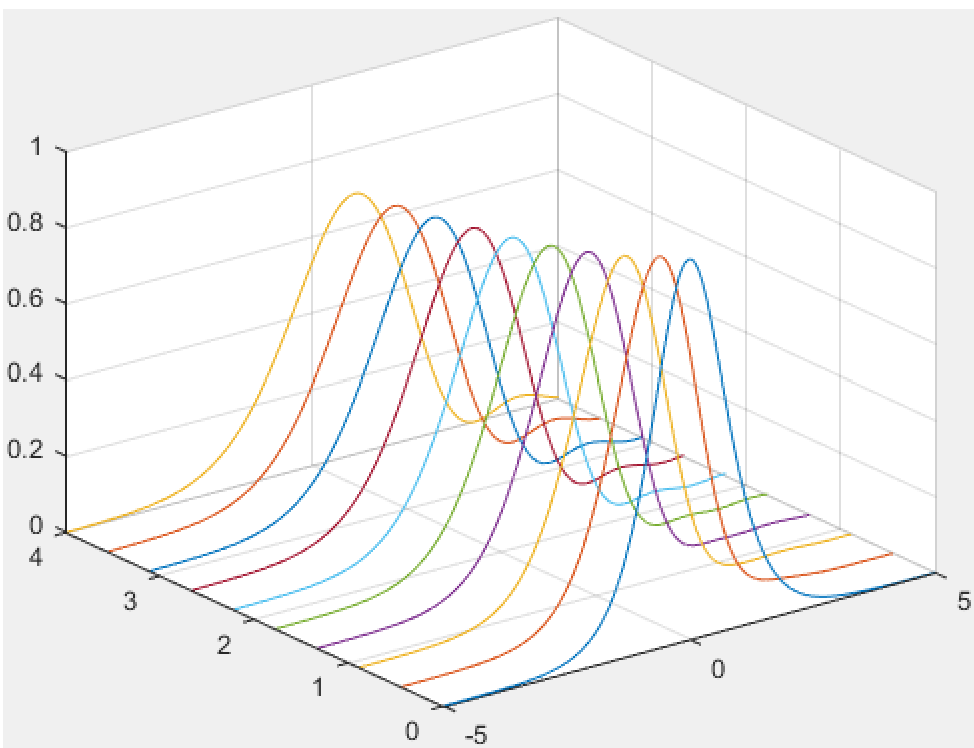
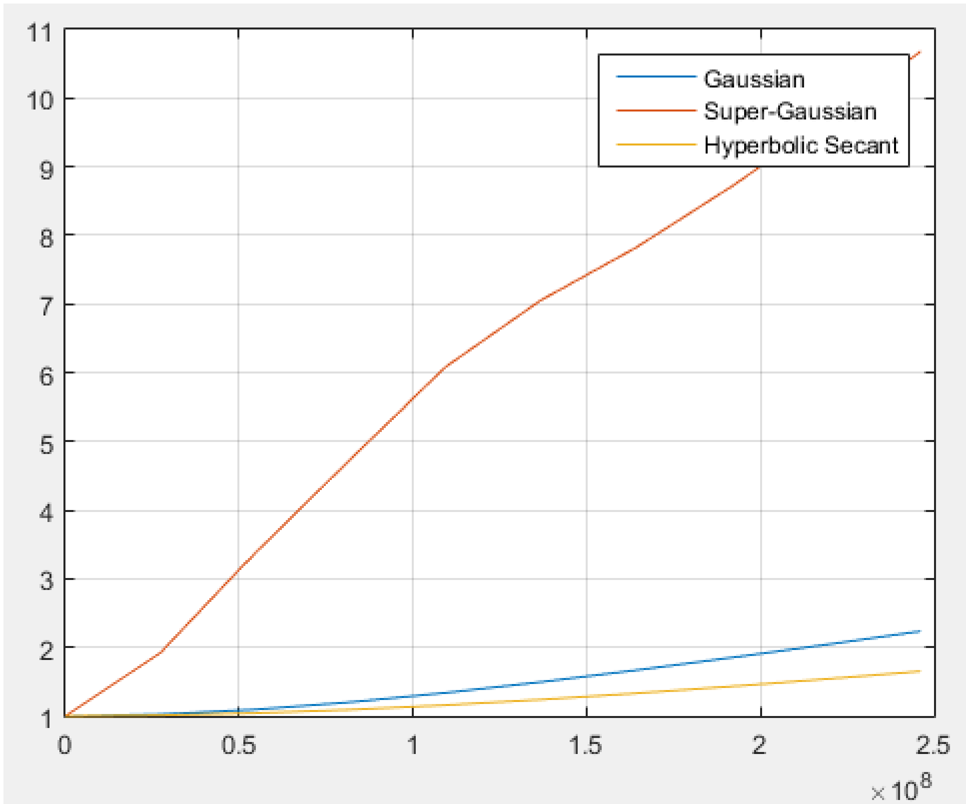


Figure 6:Hyperbolic Secant

(ε) Για το συγκεκριμένο ερώτημα χρησιμοποιήθηκε και τροποποιήθηκε ανάλογα ο κώδικας του ερωτήματος (γ) . Το κοινό διάγραμμα δίνεται στην συνέχεια:



(στ) Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω αποτελέσματα καλύτερη συμπεριφορά στην διασπορά έχει ο Hyperbolic Secant παλμός. Αν παρατηρήσουμε τα κοινά διαγράμματα της μεταβολής της rms χρονικής έκτασης των παλμών μπορούμε να συμπεράνουμε ότι την ελάχιστη μεταβολή την επιτυγχάνουμε με αυτό το είδος παλμού και σε ότι αφορά την παράμετρο διασποράς 2ης τάξης αλλά και την παράμετρο διασποράς 3ης τάξης.

Ακόμη, αντίστοιχα συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε και με τα διαγράμματα εξέλιξης του παλμού στον χώρο όπου ο Hyperbolic Secant εμφανίζει καλύτερη συμπεριφορά δεδομένου ότι έχει μικρότερη διεύρυνση και μείωση του πλάτους του, στην επίδραση της παραμέτρου 2ης τάξης αλλά και μικρότερες κυματώσεις και μείωση πλάτους, στην επίδραση της παραμέτρου 3ης τάξης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο Super-Gaussian παλμός εμφανίζει με διαφορά την χειρότερη συμπεριφορά και για τις δύο περιπτώσεις διασποράς.