Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή ΗΜΜΥ
Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι

Παράδοση 1ης εργασίας

Ημερομηνία Παράδοσης: 25 Απριλίου 2024

Μονάδες 130/1000

Ομάδα 25

	Φοιτητής 1	Φοιτητής 2
Επώνυμο	Σιώτος	Αγγελόπουλος
Όνομα	Μόδεστος	Γιώργος
Α.Μ.	2016030030	2016030083

Ώρες που απαιτήθηκαν για την υλοποίηση της άσκησης ≈ 20

Περιεχόμενα

Θ Υπολογισμός συνάρτησης αυτοομοιότητας απλών συναρτήσεων

Θ.1 Συνάρτηση φ(t)

$$\text{Έχουμε:} \qquad \phi(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T}}, & \text{αν } |t| \leq \frac{T}{2} \\ 0, & \text{διαφορετικά.} \end{cases}$$

Η συνάρτηση αυτοομοιότητας της φ προκύπτει από τον τύπο:

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t)\phi(t+\tau)\, dt$$

Για την φ έχουμε ότι είναι εντός του διαστήματος $[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}]$ ενώ για την φ(t+τ) εντός του

$$\left[-\frac{T}{2} - \tau, \frac{T}{2} - \tau\right]$$

Για $\frac{T}{2} - \tau < -\frac{T}{2} \Leftrightarrow \tau > T$

Δεν υπαρχει επικάλυψη μεταξύ των συναρτήσεων, $\mathrm{R}_{\phi\phi}(\tau) = 0$

Για $-\frac{T}{2} \leq -\tau - \frac{T}{2} \Leftrightarrow \tau \leq -T$

Δεν υπαρχει επικάλυψη μεταξύ των συναρτήσεων, $\mathrm{R}_{\phi\phi}(\tau) = 0$

Για $-\frac{T}{2} < \frac{T}{2} - \tau \leq \frac{T}{2} \Leftrightarrow 0 \leq \tau < T$

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \frac{1}{T}\, dt = \left(\frac{\frac{T}{2} - \tau}{T}\right) - \left(\frac{-\frac{T}{2}}{T}\right) = 1 - \frac{\tau}{T}$$

Για $\quad -\frac{T}{2} < -\frac{T}{2} - \tau \leq \frac{T}{2} \Leftrightarrow -T \leq \tau < 0$

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\frac{T}{2}-\tau}^{\frac{T}{2}} \frac{1}{T}\, dt = \left(\frac{\frac{T}{2}}{T}\right) - \left(\frac{-\frac{T}{2}-\tau}{T}\right) = 1 + \frac{\tau}{T}$$

Οπότε τελικά:

$$R_{\phi\phi}(\tau) = 1 - \frac{|\tau|}{T}, \tau \in [-T, T]$$

και αντικαθιστώντας:

$$R_{\phi\phi}(t) = \begin{cases} 1 - \frac{|t|}{T}, & \text{αν } |t| \leq T \\ 0, & \text{αλλού.} \end{cases}$$

Θ.2 Συνάρτηση φ(t - 2)

Εφαρμόζουμε αλλαγή μεταβλητής.
Έστω t' = t - 2 οπότε και dt' = dt

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t-2)\phi(t-2+\tau)\, dt \to R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t')\phi(t'+\tau)\, dt'$$

$$\phi(t') \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right] \quad \text{και} \quad \phi(t'+\tau) \in \left[-\frac{T}{2} - \tau, \frac{T}{2} - \tau\right]$$

Έτσι συμπεραίνουμε ότι η συνάρτηση αυτοομοιότητας της $\phi(t-2)$ είναι ίδια με αυτή της $\phi(t)$.

Θ.3 Νέα συνάρτηση φ(t)

$$\text{Έχουμε:} \qquad \phi(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T}}, & \text{αν } 0 \le t < \frac{T}{2}, \\ -\frac{1}{\sqrt{T}}, & \text{αν } \frac{T}{2} \le t \le T, \\ 0, & \text{διαφορετικά.} \end{cases}$$

Η συνάρτηση αυτοομοιότητας της φ προκύπτει από τον τύπο:

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t)\phi(t+\tau)\, dt$$

Για την φ έχουμε ότι είναι εντός του διαστήματος $[0, T]$ ενώ για την φ(t+τ) εντός του

$$[0 - \tau, T - \tau]$$

Για $\quad T - \tau < 0 \Leftrightarrow \tau > T$

Δεν υπαρχει επικάλυψη μεταξύ των συναρτήσεων, $\mathrm{R}_{\phi\phi}(\tau) = 0$

Για $\quad T \le -\tau \Leftrightarrow \tau \le -T$

Δεν υπαρχει επικάλυψη μεταξύ των συναρτήσεων, $\mathrm{R}_{\phi\phi}(\tau) = 0$

Για $\quad 0 < T - \tau \le \frac{T}{2} \Leftrightarrow \frac{T}{2} \le \tau < T$

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{0}^{T-\tau} \phi(t)\phi(t+\tau)\, dt = \int_{0}^{T-\tau} \left(-\frac{1}{T}\right) dt = -\,\frac{T-\tau}{T} = -1 + \frac{\tau}{T}$$

Για $\quad \frac{T}{2} < T - \tau \leq T \Leftrightarrow 0 \leq \tau < \frac{T}{2}$

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{\frac{T}{2}}^{T} \phi(t)\phi(t+\tau)\,dt = \int_{0}^{\frac{T}{2}-\tau} \frac{1}{T}\,dt + \int_{\frac{T}{2}-\tau}^{\frac{T}{2}} \left(-\frac{1}{T}\right)dt + \int_{\frac{T}{2}}^{T-\tau} \frac{1}{T}\,dt =$$
$$= \left(\frac{1}{2} - \frac{\tau}{T}\right) - \left(1 - \frac{1}{2} - \frac{\tau}{T}\right) + \left(1 - \frac{\tau}{T} - \frac{1}{2}\right) = 1 - \frac{3\tau}{T}$$

Για $\quad 0 < -\tau \leq \frac{T}{2} \Leftrightarrow -\frac{T}{2} \leq \tau < 0$

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\tau}^{T} \phi(t)\phi(t+\tau)\,dt = \int_{-\tau}^{\frac{T}{2}} \frac{1}{T}\,dt + \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}-\tau} \left(-\frac{1}{T}\right)dt + \int_{\frac{T}{2}-\tau}^{T} \frac{1}{T}\,dt =$$
$$= \left(\frac{2\tau}{T}\right) - \left(-\frac{\tau}{T} - \frac{\tau}{T}\right) + \left(\frac{T}{T} - \frac{2\tau}{T}\right) = 1 + \frac{3\tau}{T}$$

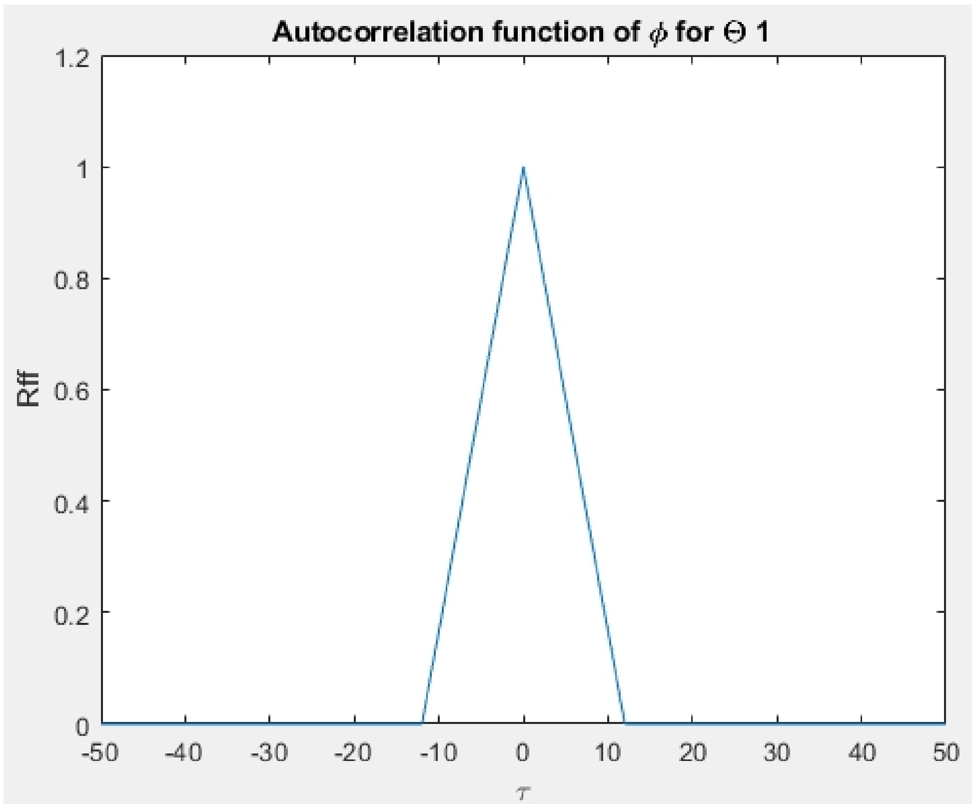
Για $\quad \frac{T}{2} < -\tau \leq T \Leftrightarrow -T \leq \tau < -\frac{T}{2}$

$$R_{\phi\phi}(\tau) = \int_{-\tau}^{T} \phi(t)\phi(t+\tau)\,dt = \int_{-\tau}^{T} -\frac{1}{T}\,dt = -1 - \frac{\tau}{T}$$

Οπότε έχουμε:

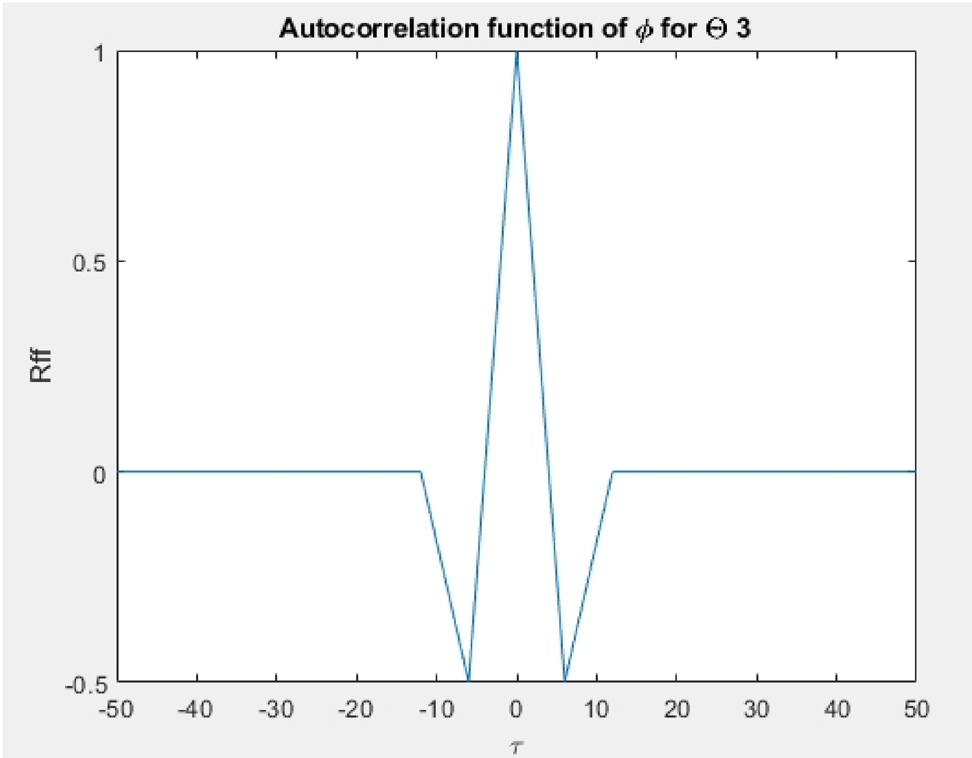
$$R_{\phi\phi}(\tau) = \begin{cases} -1 - \frac{\tau}{T}, & -T \leq \tau < -\frac{T}{2} \\ 1 + \frac{3\tau}{T}, & -\frac{T}{2} \leq \tau < 0 \\ 1 - \frac{3\tau}{T}, & 0 \leq \tau < \frac{T}{2} \\ -1 + \frac{\tau}{T}, & \frac{T}{2} \leq \tau < T \\ 0, & \text{διαφορετικά.} \end{cases}$$

Θ.4 Κώδικας, γραφικές παραστάσεις και συμπεράσματα



Σχήμα 1: Γραφική παράσταση αυτοομοιότητας της $\phi(t)$

Αρχικά επιλέξαμε $T = 12$. Η συνάρτηση αυτοομοιότητας $R_{\phi\phi}$ θα είναι μέγιστη για $\tau = 0$ και θα έχει την τιμή 1. Καθώς το τ αυξάνεται από το μηδέν έως το T η συνάρτηση αυτοομοιότητας θα μειώνεται γραμμικά προς το μηδέν, δηλαδή $R_{\phi\phi}(\tau) = 1$ - $\frac{|\tau|}{T}$ για $|\tau| \leq$ T. Για $|\tau| > T$, η συνάρτηση αυτοομοιότητας θα είναι μηδενική.
Η συνάρτηση αυτοομοιότητας για την μετατοπισμένη συνάρτηση $\phi(t - 2)$ θα έχει την ίδια γενική μορφή με αυτή της $\phi(t)$. Η μόνη διαφορά θα είναι στην οριζόντια μετατόπιση της γραφικής παράστασης κατά 2 μονάδες.
Αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη τιμή της συνάρτησης θα παραμένει 1 στο $\tau = 0$ και η μορφή της θα είναι η ίδια, αλλά θα φαίνεται σαν να έχει μετατοπιστεί η ολόκληρη συνάρτηση κατά 2 μονάδες προς τα δεξιά.



Σχήμα 2: Γραφική παράσταση αυτοομοιότητας της $\phi(t)$

```
clear all;
close all;
% Parameters
T = 12;  % Let T=12
Ts = 0.01;
t = -25:Ts:25;
phi = zeros(1, length(t));
phi(abs(t) <= T/2) = 1/sqrt(T);

% Reverse the time vector and phi for convolution
t_rev = -t(end:-1:1);
phi_rev = phi(end:-1:1);
tconv = t(1) + t_rev(1) : Ts : t(end) + t_rev(end);

% Convolution to find the autocorrelation function
Rff = conv(phi, phi_rev) * Ts;
figure;
plot(tconv, Rff);
```

```
xlabel('\tau');
ylabel('Rff');
title('Autocorrelation function of \phi for \Theta 1');

figure();
Rff = zeros(1, length(tconv));
Rff(-T <= tconv & tconv < -T/2) = -1 - tconv(-T <= tconv &
   tconv < -T/2) / T;
Rff(-T/2 <= tconv & tconv < 0) = 1 + 3 * tconv(-T/2 <= tconv &
    tconv < 0) / T;
Rff(0 <= tconv & tconv < T/2) = 1 - 3 * tconv(0 <= tconv &
   tconv < T/2) / T;
Rff(T/2 <= tconv & tconv < T) = -1 + tconv(T/2 <= tconv &
   tconv < T) / T;
plot(tconv, Rff);
xlabel('\tau');
ylabel('Rff');
title('Autocorrelation function of \phi for \Theta 3');
```

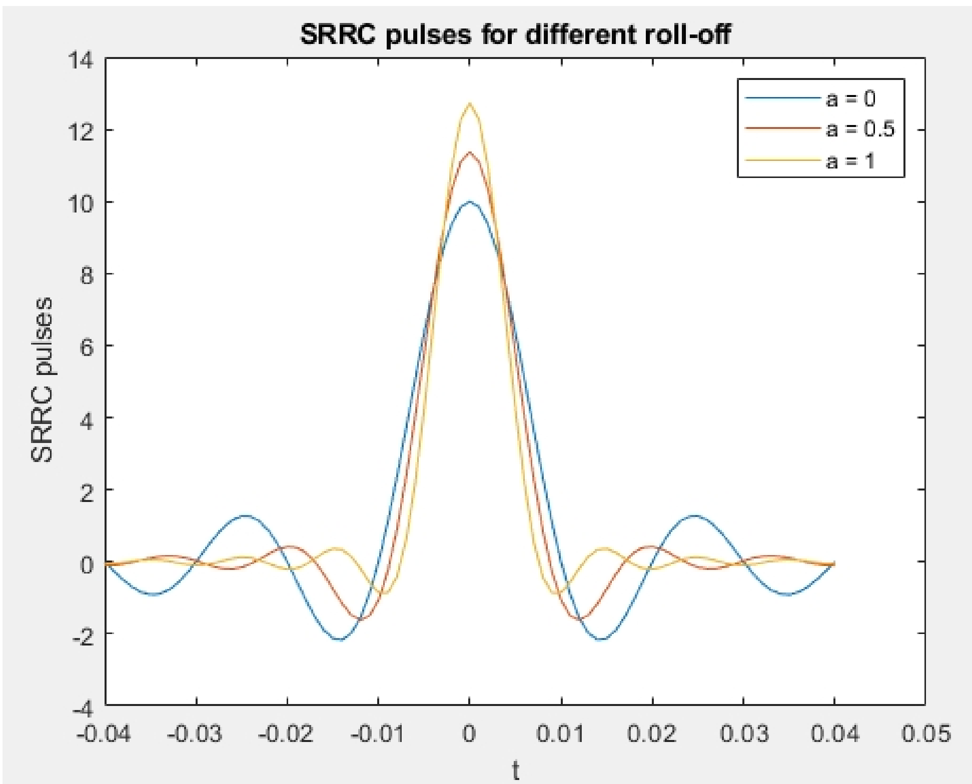
A Αποκομμένοι παλμοί *SRRC*

A.1 Κατασκευή παλμών και *Roll off*

Αρχικά, κάνουμε χρήση της συνάρτησης *srrc_pulse* που μας δόθηκε, για να κατασκευάσουμε τους ζητούμενους παλμούς *SRRC* με τις παραμέτρους της άσκησης και για $\alpha = 0, 0.5, 1$.

```
T=0.01;
a=[0 0.5 1];
over = 10;
Ts = T/over;
A = 4;

[phi1,t1] = srrc_pulse(T, Ts, A, a(1));
[phi2,t2] = srrc_pulse(T, Ts, A, a(2));
[phi3,t3] = srrc_pulse(T, Ts, A, a(3));

figure ();
plot(t1, phi1,'DisplayName','a = 0');
```

```
hold on;
plot(t2, phi2,'DisplayName','a = 0.5');
plot(t3, phi3,'DisplayName','a = 1');
legend('show');
title('SRRC pulses for different roll-off');
xlabel('t');
ylabel('SRRC pulses');
```



Σχήμα 3: Γραφική αναπαράσταση της ϕ για διαφορετικές τιμές του α

Παρατηρώντας τις γραφικές, καταλαβαίνουμε ότι ο συντελεστής α, παίζει μεγάλο ρόλο στα αποτελέσματά μας. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του $Roll\ off$, τόσο μεγαλύτερο πλάτος καμπύλης έχουμε για $t = 0$ και αντίστοιχα, τόσο γρηγορότερη απόσβεση εμφανίζεται.

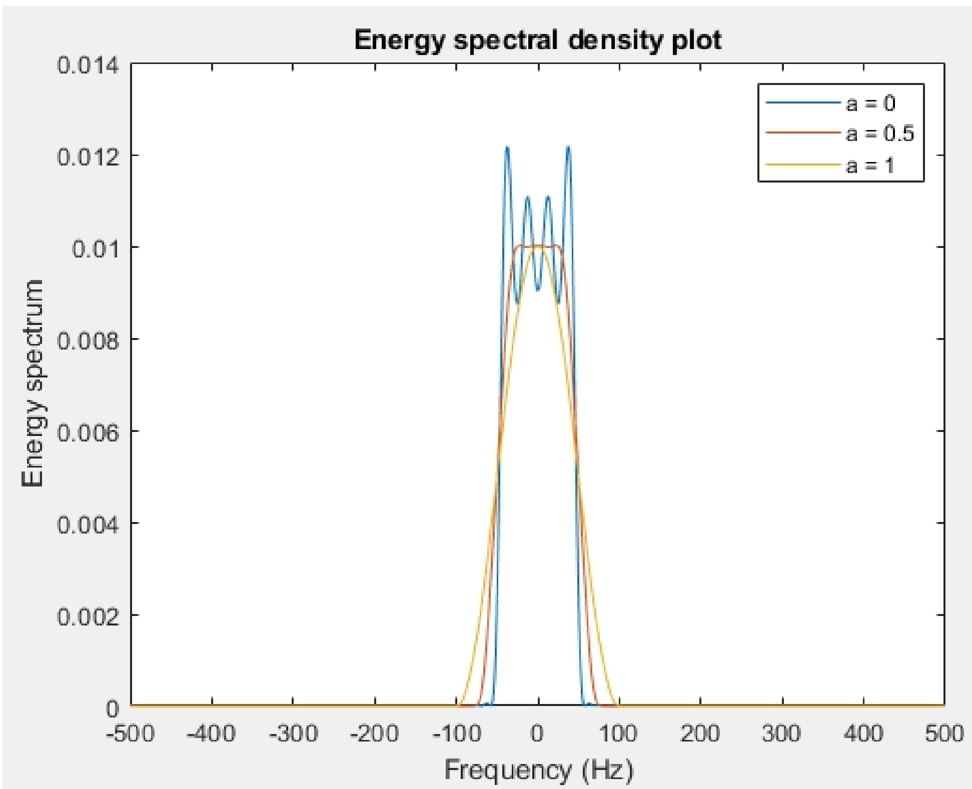
A.2 Φασματική πυκνότητα ενέργειας

Σε πρώτη φάση, υπολογίζουμε τους μετασχιματισμούς $Fourier$ των παλμών που δημιουργήθηκαν στο 1ο μέρος. Αυτό γίνεται εύκολα, με τη χρήση των συναρτήσεων fft και $fftshift$ στον κατάλληλο άξονα συχνοτήτων.

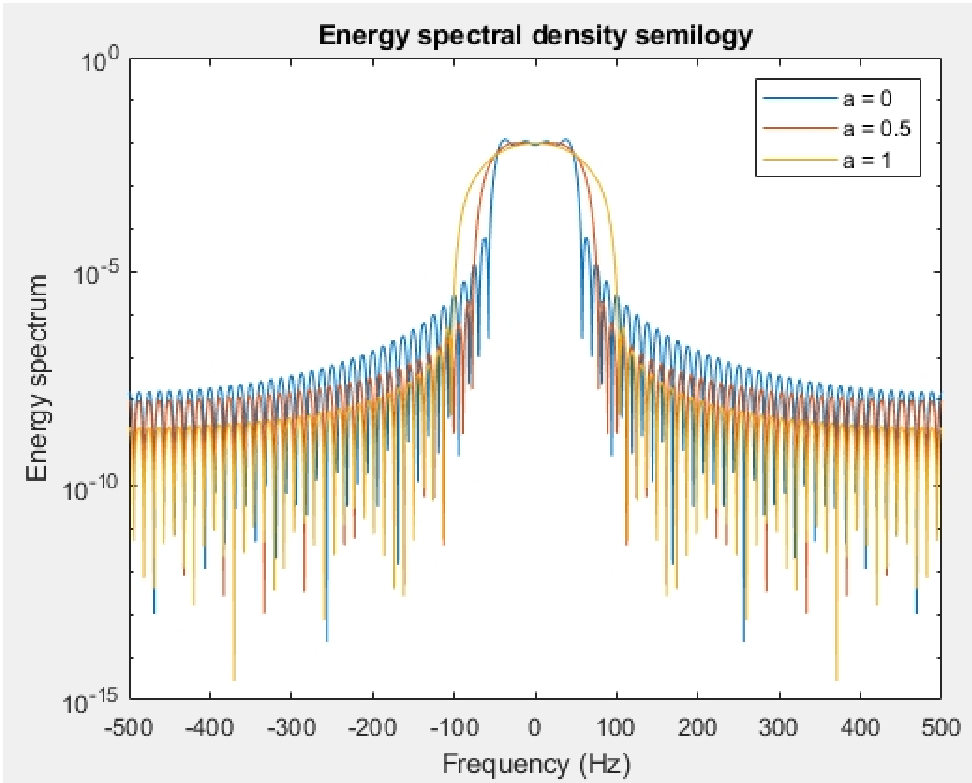
Στις παρακάτω γραφικές αναπαραστάσεις, παρουσιάζεται η φασματική πυκνότητα ενέργειας των παλμών $|\Phi(F)|^2$ με τη χρήση του *plot* (κανονική κλίμακα) και με τη χρήση του *semilogy* (ημιλογαριθμική κλίμακα).

```
Fs = 1/Ts;
N = 2048;
F= -Fs/2:Fs/N:Fs/2-Fs/N;


fourier1 = fftshift(fft(phiA,N)*Ts);
fourier2 = fftshift(fft(phiB,N)*Ts);
fourier3 = fftshift(fft(phiC,N)*Ts);

phasm1 = abs(fourier1).^2;
phasm2 = abs(fourier2).^2;
phasm3 = abs(fourier3).^2;

figure();
plot(F, phasm1,'DisplayName','a = 0');
hold on;
plot(F, phasm2,'DisplayName','a = 0.5');
plot(F, phasm3,'DisplayName','a = 1');
legend('show');

title('Energy spectral density plot');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Energy spectrum');
hold off;

figure(3);
semilogy(F, phasm1,'DisplayName','a = 0');
hold on;
semilogy(F, phasm2,'DisplayName','a = 0.5');
semilogy(F, phasm3,'DisplayName','a = 1');
```

```
legend('show');

title('Energy spectral density semilogy');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Energy spectrum');
```



Σχήμα 4: Φασματική ενέργεια πυκνότητας με *plot*



Σχήμα 5: Φασματική ενέργεια πυκνότητας με *semilogy*

A.3 Εύρος φάσματος παλμών

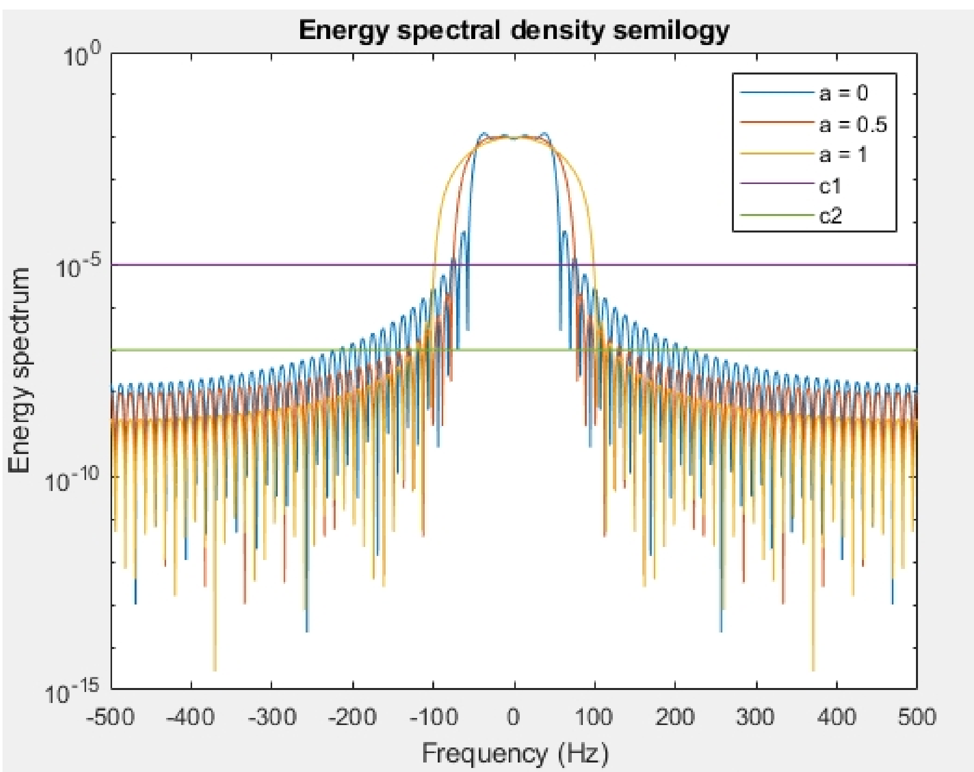
Αρχικά θα υπολογίσουμε το θεωρητικό εύρος φάσματος για κάθε παλμό με τη χρήση του τύπου $BW = \dfrac{1+a}{2T}$.

Για $T = 10^{-2}$ θα έχουμε:

Για $\alpha = 0 : \ BW = 50$
Για $\alpha = 0.5 : \ BW = 75$
Για $\alpha = 1 : \ BW = 100$

Έπειτα, αφού υπολογίσαμε το θεωρητικό εύρος, μας ζητείται μία πιο πρακτική προσέγγιση. Θα σχεδιάσουμε μια οριζόντια γραμμή με τιμή c στο κοινό *semilogy* και θα θεωρίσουμε ότι οι τιμές κάτω από τη γραμμή είναι πρακτικά μηδέν.

```
disp('Theory')
BW1=(1+0)/(2*T)
BW2=(1+0.5)/(2*T)
BW3=(1+1)/(2*T)

c1=T/10^3;
for ki= 1:length(F)-1
c1=[c1 T/10^3];
end
c2=T/10^5;
for ki= 1:length(F)-1
c2=[c2 T/10^5];
end
semilogy(F,c1);
semilogy(F,c2);
legend('a = 0', 'a = 0.5', 'a = 1','c1','c2');
```



Σχήμα 6: Φασματική ενέργεια πυκνότητας με *semilogy* μαζί με $c1, c2$

Χρησιμοποιώντας τη λειτουργία *zoom* στο *Matlab* παίρνουμε προσεγγιστικά:

$c_1 = \frac{T}{10^3}$

Για $\alpha = 0 : BW = 77.5$
Για $\alpha = 0.5 : BW = 75.5$
Για $\alpha = 1 : BW = 98.7$

$c_2 = \frac{T}{10^5}$

Για $\alpha = 0 : BW = 214.2$
Για $\alpha = 0.5 : BW = 132.1$
Για $\alpha = 1 : BW = 121.3$

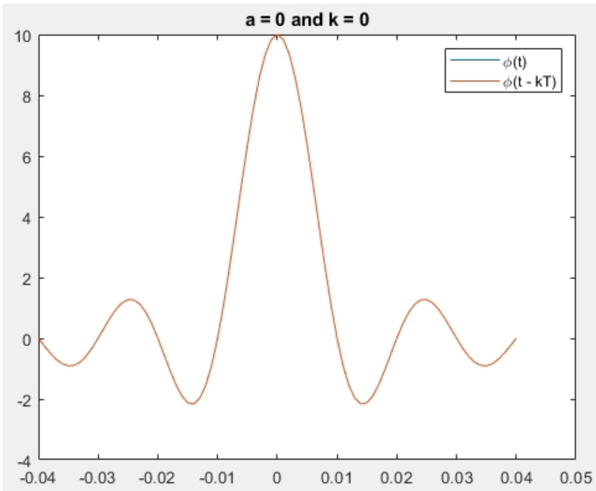
Στην 1η περίπτωση, ο πιο αποδοτικός παλμός είναι αυτός με το συντελεστή $\alpha = 0.5$ αφο-ύ έχει την μικρότερη τιμή BW.
Στη 2η περίπτωση, παρατηρούμε ότι για μεγαλύτερες τιμές του α, έχουμε μικρότερες τιμές BW. Έτσι στην προκειμένη περίπτωση, ο αποδοτικότερος παλμός είναι αυτός με $\alpha = 1$.
Εν τέλει, βλέπουμε ότι στην πράξη, δεν ισχύει πάντα ότι οι παλμοί με το μικρότερο α, θα έχουν και το μικρότερο εύρος φάσματος.

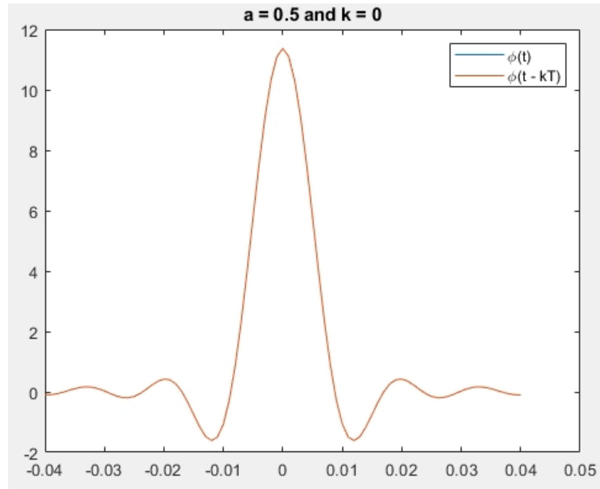
B Ορθοκανονικότητα της ϕ

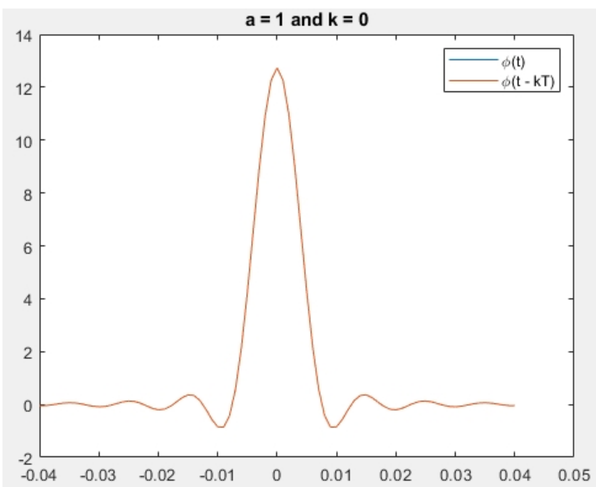
Στο β′ ερώτημα, μας ζητήθηκε με τις υπάρχουσες παραμέτρους να σχεδιάσουμε τους παλμούς $\phi(t)$ και $\phi(t - kT)$ σε κοινό *plot*, όπως επίσης και το γινόμενό τους, για τις γνωστές τιμές του α και για κ = 0,1,2. Έπειτα να υπολογίσουμε τα ολοκληρώματα των γινομένων για κ = 0,1,2,3.
Παρακάτω ακολουθεί ο κώδικας *MATLAB* που υλοποιήσαμε, οι ζητούμενες γραφικές, καθώς και οι τιμές των ζητούμενων ολοκληρωμάτων.

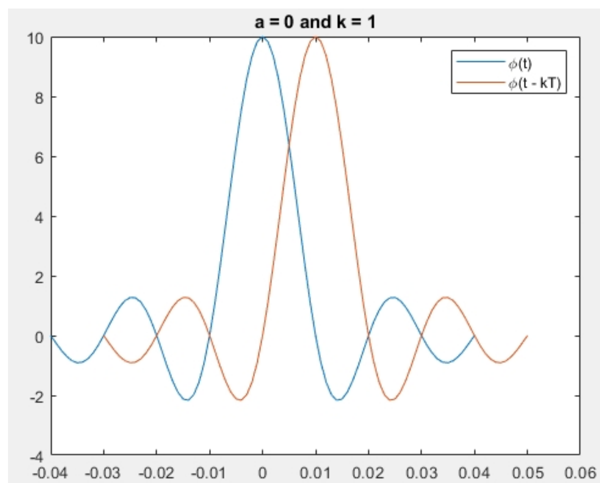
```
for k = 0:1:2
figure;
plot(t1, phi1, 'DisplayName', '\phi(t)');
hold on;
plot(t1 + k*T, phi1, 'DisplayName', '\phi(t - kT)');
title(['a = 0 and k = ' num2str(k)]);
hold off;
legend('show');

figure;
plot(t2, phi2, 'DisplayName', '\phi(t)');
hold on;
plot(t2 + k*T, phi2, 'DisplayName', '\phi(t - kT)');
title(['a = 0.5 and k = ' num2str(k)]);
hold off;
legend('show');

figure;
plot(t3, phi3, 'DisplayName', '\phi(t)');
hold on;
plot(t3 + k*T, phi3, 'DisplayName', '\phi(t - kT)');
title(['a = 1 and k = ' num2str(k)]);
hold off;
legend('show');
end

for k = 0:3
figure;
offset1 = [zeros(1, length(0:Ts:k*T)) phi1(1:end - length(0:Ts
    :k*T))];
```

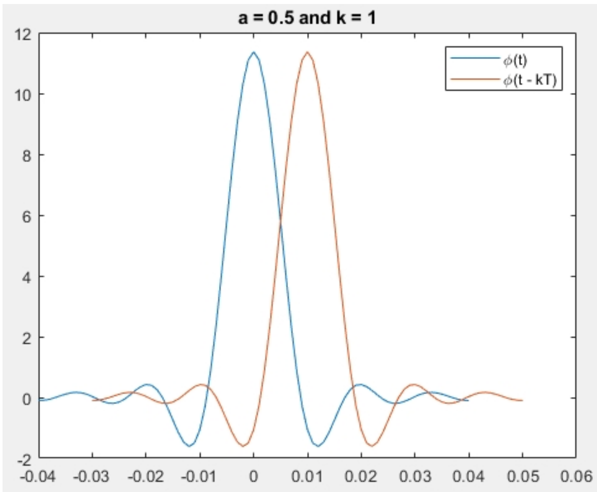
```
result1 = phi1 .* offset1;
plot(t1, result1, 'DisplayName', 'a = 0');
integrated1(k + 1) = sum(result1) * Ts;

%figure;
offset2 = [zeros(1, length(0:Ts:k*T)) phi2(1:end - length(0:Ts
    :k*T))];
result2 = phi2 .* offset2;
hold on;
plot(t2, result2, 'DisplayName', 'a = 0.5');
integrated2(k + 1) = sum(result2) * Ts;

%figure;
offset3 = [zeros(1, length(0:Ts:k*T)) phi3(1:end - length(0:Ts
    :k*T))];
result3 = phi3 .* offset3;
plot(t3, result3, 'DisplayName', 'a = 1');
title(['Product of \phi(t) and \phi(t - kT) for k = ' num2str(
    k)]);
legend('show');
hold off;
integrated3(k + 1) = sum(result3) * Ts;
end

disp('Integration for a = 0: '); disp(integrated1)
disp('Integration for a = 0.5: '); disp(integrated2)
disp('Integration for a = 1: '); disp(integrated3)
```

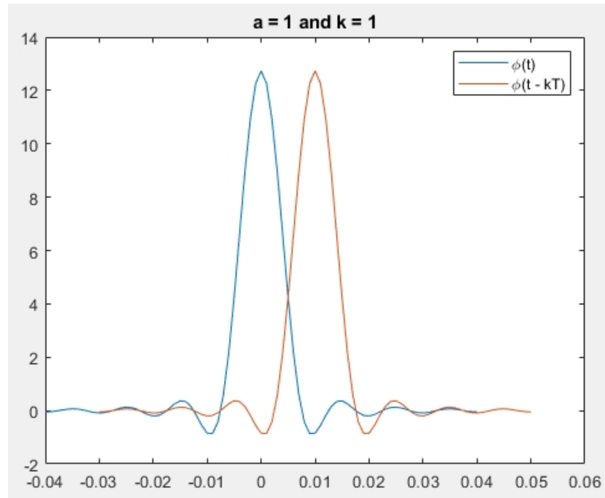

a = 0 and k = 0
ϕ(t)
ϕ(t - kT)

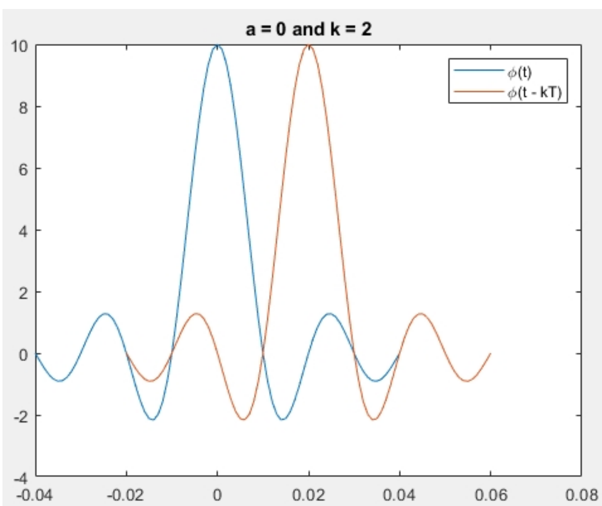

a = 0.5 and k = 0
ϕ(t)
ϕ(t - kT)

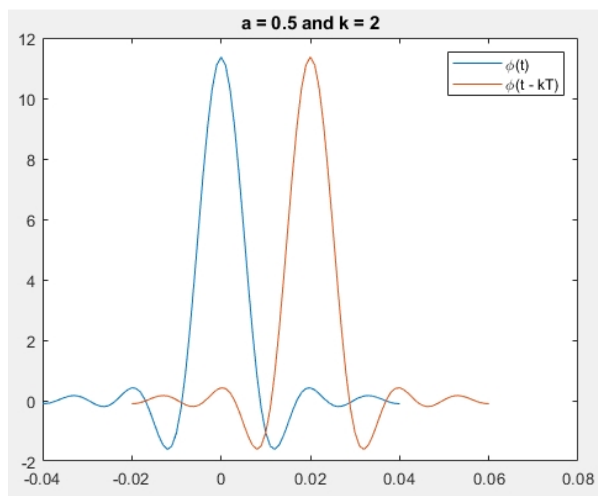

a = 1 and k = 0
ϕ(t)
ϕ(t - kT)

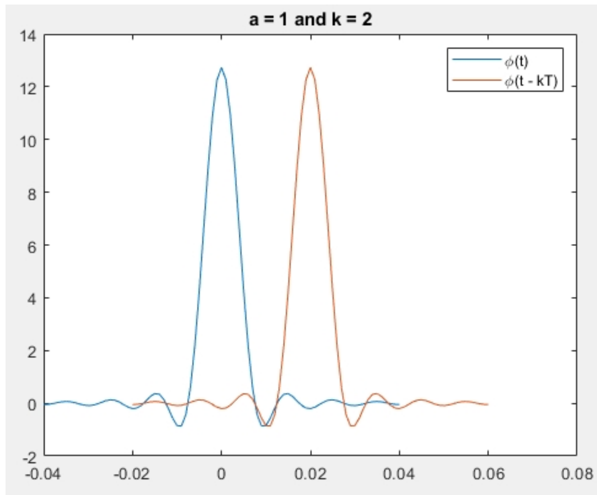

a = 0 and k = 1
ϕ(t)
ϕ(t - kT)

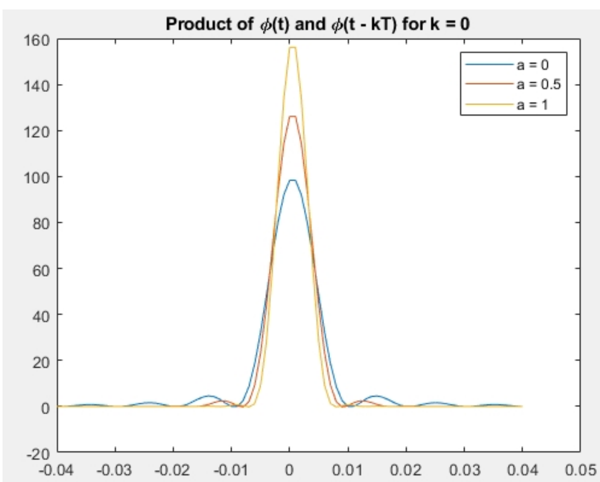

a = 0.5 and k = 1
ϕ(t)
ϕ(t - kT)

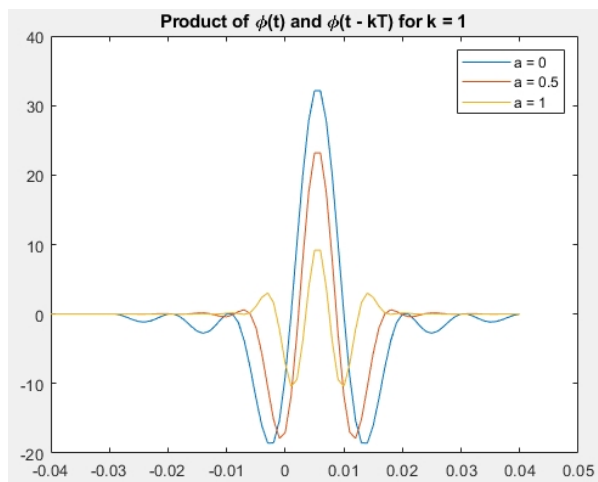

a = 1 and k = 1
ϕ(t)
ϕ(t - kT)

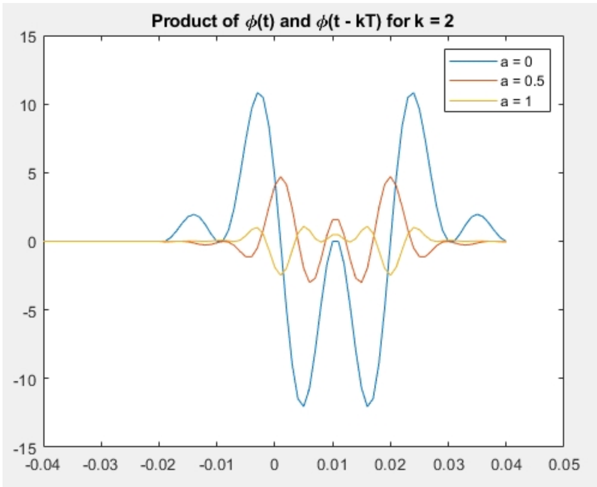

a = 0 and k = 2
ϕ(t)
ϕ(t - kT)

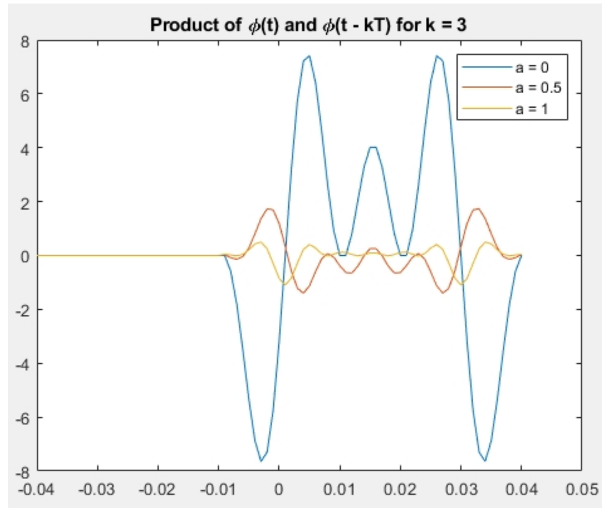

a = 0.5 and k = 2
ϕ(t)
ϕ(t - kT)


a = 1 and k = 2
$\phi(t)$
$\phi(t - kT)$


Product of $\phi(t)$ and $\phi(t - kT)$ for k = 0
a = 0
a = 0.5
a = 1


Product of $\phi(t)$ and $\phi(t - kT)$ for k = 1
a = 0
a = 0.5
a = 1





Ακολουθούν οι τιμές των ολοκληρωμάτων που υπολογίστηκαν:

Ολοκλήρωμα	$\varkappa = 0$	$\varkappa = 1$	$\varkappa = 2$	$\varkappa = 3$
$\alpha = 0$	0.9596	-0.0618	0.0135	0.0126
$\alpha = 0.5$	0.9812	-0.0667	0.0139	0.0006
$\alpha = 1$	0.9744	-0.0222	-0.0028	-0.0010

Από τα αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι για $\varkappa = 0$ τα εμβαδά των παλμών πλησιάζουν πολύ τη μονάδα. Αυτό επαληθεύει τη θεωρία ορθοκανονικότητας που γνωρίζουμε. Αντίθετα για $\varkappa$!=0, παίρνουμε τιμές πολύ κοντά στο 0, όπως αναμενόταν.

C Σύστημα διαμόρφωσης 2-PAM

C .1 Δημιουργία τυχαίας ακολουθίας N bits

Σε αυτό το υποερώτημα μας ζητήθηκε να δημιουργήσουμε μια τυχαία ακολουθία δυαδικών συμβόλων με τη χρήση της εντολής **b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;** που μας δόθηκε από την εκφώνηση. Επιλέξαμε N = 100 και χρησιμοποιήσαμε τις δοσμένες τιμές για τις παραμέτρους.

```
T=0.01;
over=10;
a=0.5;
A=4;
N=100;
Ts=T/over;
b=(sign(randn(N,1))+1)/2;
disp('This is a random N-bits sequence')
```

C .2 Υλοποίηση 2-PAM

C .2.α′ Η συνάρτηση X = bits_to_2PAM(b);

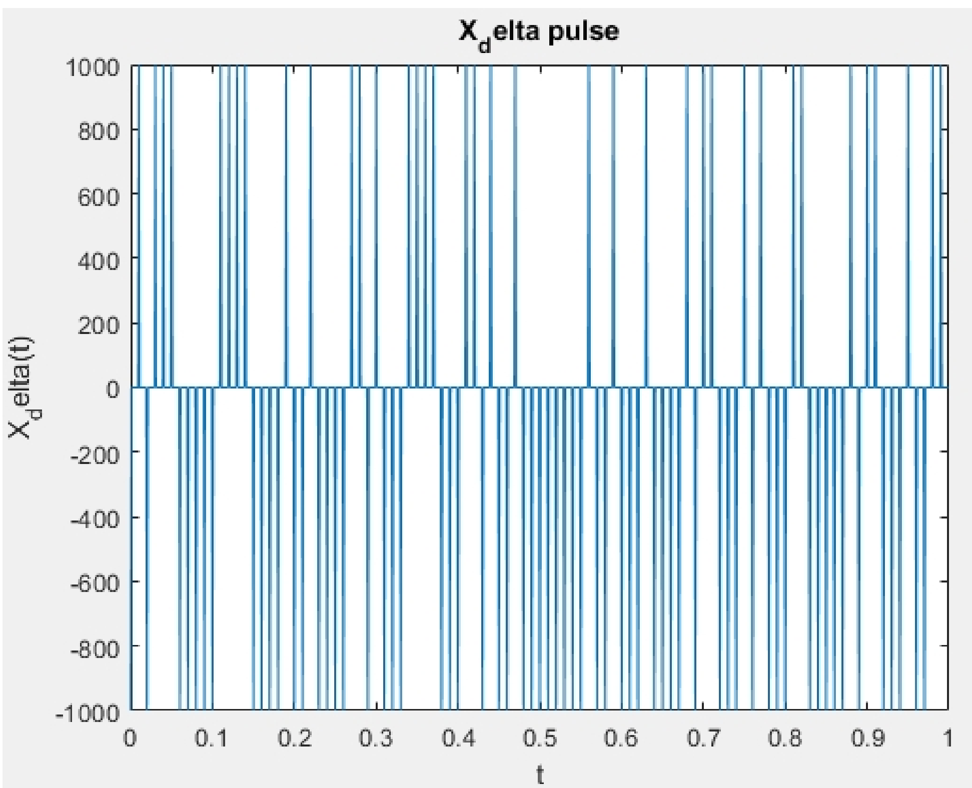
Έπειτα, υλοποιήσαμε τη νέα συνάρτηση, η οποία παίρνει ως όρισμα την ακολουθία b που παράχθηκε. Η συνάρτηση παράγει ως έξοδο, ακολουθία συμβόλων 2-PAM με την εξής κωδικοποίηση: $0 \rightarrow +1$ και $1 \rightarrow -1$.

```
function X = bits_to_2PAM(b)
X = 1:length(b);
for i=1:length(b)
if b(i)==0
X(i) = +1;
elseif b(i)==1
X(i) = -1;
else
disp('Error');
return;
end
end
end
```

C .2.β′ Προσομοίωση σήματος

Μας ζητήθηκε να προσομοιώσουμε το σήμα $X_\delta(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \delta(t-kT)$, με τη χρήση της εντολής: $X\_delta = 1/T\_s \cdot upsample(X, over)$;

```
X_delta=1/T_s*upsample(X,over);
t_delta=(0:T_s:N*T-T_s);
figure()
plot(t_delta,X_delta);
title('X_delta pulse')
xlabel('t')
ylabel('X_delta(t)')
```

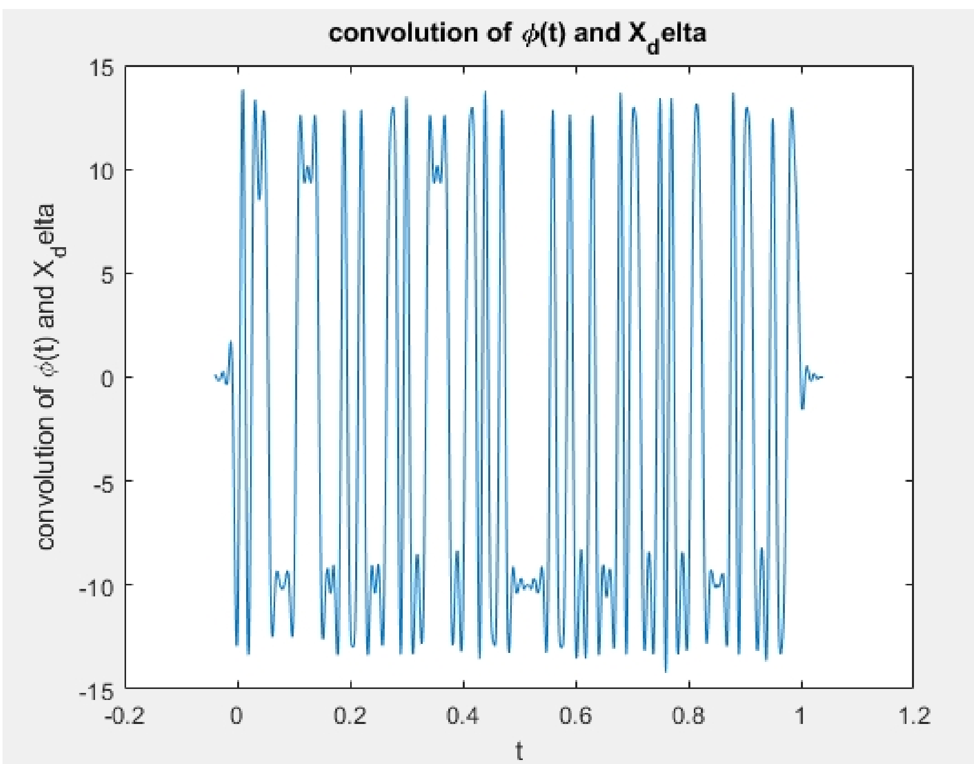


Σχήμα 7: Προσομοίωση του σήματος X_δ

C .2.γ΄ Συνέλιξη του σήματος

Στη συνέχεια μας ζητήθηκε να δημιουργήσουμε αποκομμένο $SRRC$ παλμό $\phi(t)$ και να τον συνελίξουμε με το προηγούμενο σήμα.

```
[phi_apok,t_apok]=srrc_pulse(T,Ts,A,a);
X_t=conv(phi_apok,X_delta)*Ts;
tconv=[t(1)+t_apok(1):Ts:t(end)+t_apok(end)];
figure()
plot(tconv,X_t);
title('convolution of \phi(t) and X_delta')
ylabel('convolution of \phi(t) and X_delta')
xlabel('t')
```

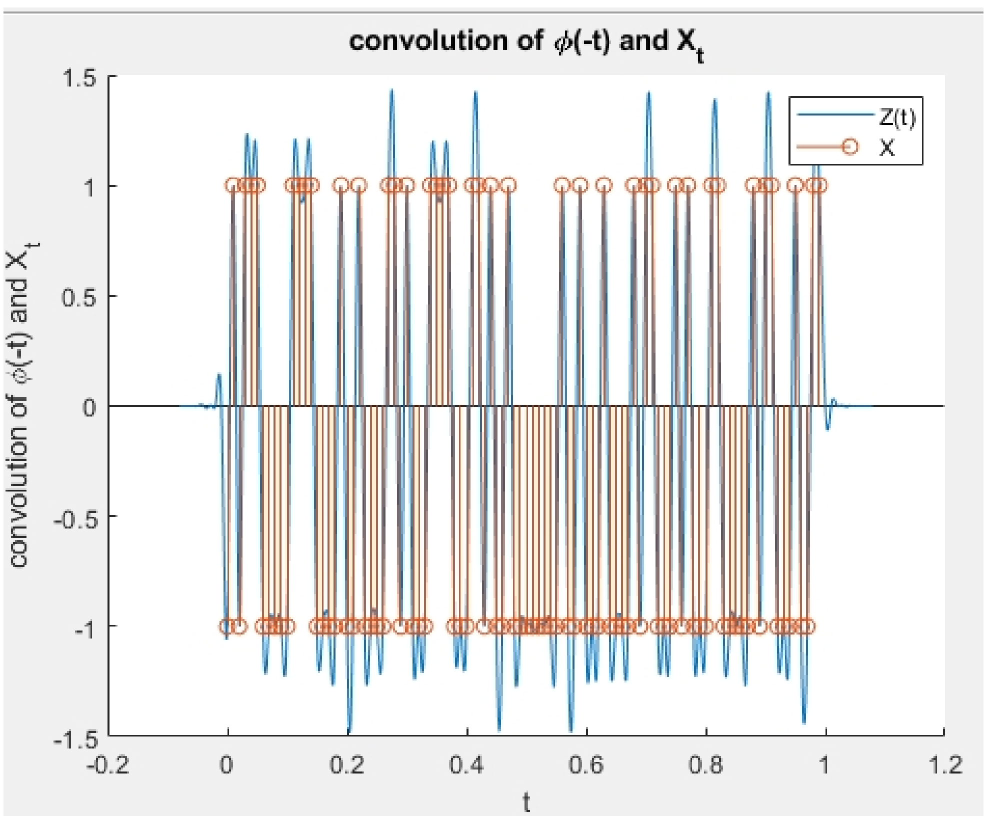


Σχήμα 8: Γραφική παράσταση συνέλιξης της ϕ και X_δ

C .2.δ′ Συνέλιξη $Z(t)$

Τέλος, μας ζητήθηκε να συνελίξουμε το σήμα του προηγούμενου ερωτήματος με τον ανακλασμένο παλμό $\phi(-t)$. Όμως $\phi(-t)$ θα είναι ίσος με τον $\phi(t)$ αφού είναι συμμετρικοί οπότε δεν δημιουργούμε εκ νέου παλμό.

```
Z=conv(phi_apok,X_t)*Ts;
tconv2=[tconv(1)+t_apok(1):Ts:tconv(end)+t_apok(end)];
figure()
hold on
plot(tconv2,Z);
stem([0:N-1]*T,X);
title('convolution of \phi(-t) and X_t')
ylabel('convolution of \phi(-t) and X_t')
xlabel('t')
legend('Z(t)','X')
```



Σχήμα 9: Γραφική παράσταση συνέλιξης της $\phi(-t)$ και X

Συγκρίνοντας τις τιμές των $Z(kT)$ και X_k παρατηρούμε μεγάλη ομοιότητα. Με τη βοήθεια της εντολής $stem$ βλέπουμε πράγματι την αντιστοιχία των αριθμών $Z(kT)$ και X_k.