



Πολυτεχνείο
Κρήτης

Σχολή Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών & Μηχανικών
Υπολογιστών

Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι

2^η Εργαστηριακή Άσκηση

Τρίμας Χρήστος	2016030054
Μιχαήλ Αλέξανδρος	2014030077

Σκοπός εργαστηριακής άσκησης:

Στη 2^η εργαστηριακή άσκηση του μαθήματος Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι, μελετήθηκε το φασματικό περιεχόμενο PAM κυματομορφών (2-PAM, 4-PAM) βασικής ζώνης, ενώ επιπλέον έγινε θεωρητική ανάλυση μιας στοχαστικής διαδικασίας και επιβεβαιώθηκε πειραματικά με την χρήση του MatLab.

Υλοποίηση ερωτημάτων:

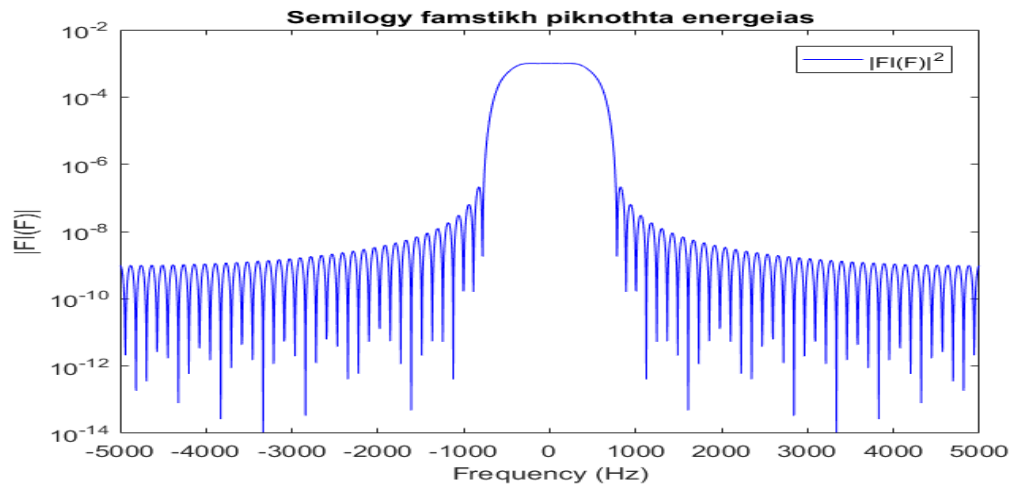
A1:

Αρχικά, με την βοήθεια της έτοιμης συνάρτησης matlab που δόθηκε από τον διδάσκοντα, υλοποιήθηκαν παλμοί τύπου srrc, $fi(t)$ σε κοινή απεικόνιση με παραμέτρους $T = 10^{-3}$ sec, $over = 10$, $A = 4$ και $\alpha = 0.5$. Επιπλέον ο χρόνος T_s , ορίζεται ως: $T_s = T/over$.

Ο παλμός $fi(t)$ με $\alpha = 0.5$, υπολογίζεται από την σχέση:

$$fi(t) = \frac{4\alpha}{\pi\sqrt{T}} \frac{\cos\left((1+\alpha)\pi\frac{\tau}{T}\right) + \frac{\sin\left((1-\alpha)\pi\frac{\tau}{T}\right)}{4\alpha\frac{\tau}{T}}}{1 - \left(\frac{4\alpha\tau}{T}\right)^2}, 0 < \alpha \leq 1$$

Με χρήση των fft και fftshift συναρτήσεων του matlab, υπολογίστηκε ο μετασχηματισμός Φουριέ του σήματος $fi(t)$, $FI(F)$ και σχεδιάστηκε με $N = 2048$ ισαπέχοντα σημεία στον άξονα της συχνότητας f στο διάστημα $[-F_s/2, F_s/2]$. Το N επιλέχτηκε αρκετά μεγάλο, ως οδηγία της εκφώνησης, καθώς για μικρή τιμή θα προκύπταν παραμορφώσεις στις φασματικές πυκνότητες ισχύος. Τον τρόπο λειτουργίας των συναρτήσεων fftshift και fft τον αναλύσαμε στην άσκηση 1. Παρακάτω παρουσιάζεται η φασματική πυκνότητα ισχύος του MF συμπιεσμένη λογαριθμικά.



```
%a.1

T = 10^(-3);
over = 10;
Ts = T / over;
A = 4;
a = 0.5;
Fs = 1/Ts;
Nf = 2048; %from the exercise

%SRRC from lab 1
[phi, t] = srrc_pulse(T, Ts, A, a);

%Fourier Transformation
y=abs(fftshift(fft(phi,Nf)*Ts)); %fftshift centralizes the transformation in zero

f = -Fs/2:Fs/Nf:Fs/2-Fs/Nf; %frequency like lab 1

%Ipologismos famsitkhs piknothtas
figure;
semilogy(f,y.^2,'b');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('|F(f)|');
title('Semilogy famstikh piknothta energias');
legend('|F(f)|^2');
```

A2:

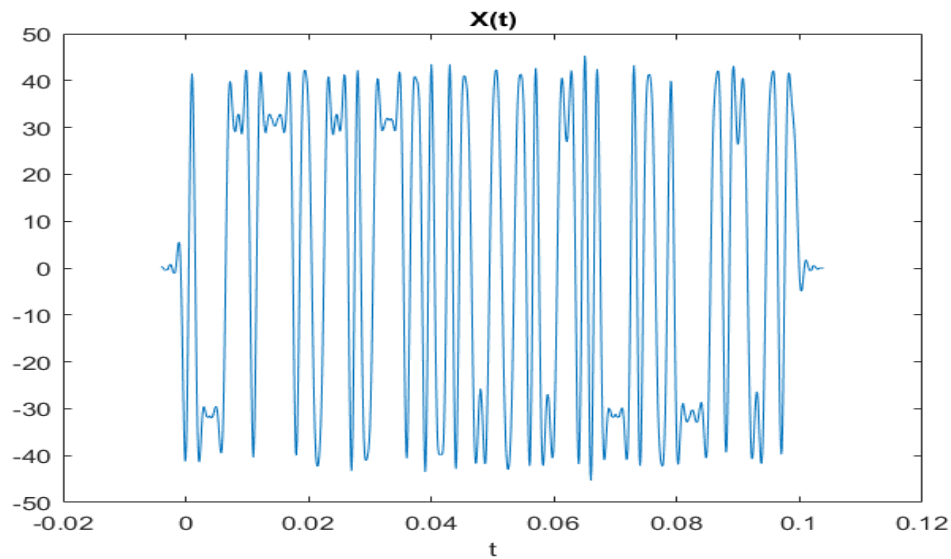
Στο ερώτημα α.2, δημιουργήθηκε μια ακολουθία $N=100$ ανεξάρτητων και ισοπίθανων bits $\{b_0, \dots, b_{N-1}\}$. Στη συνέχεια, έγινε απεικόνιση των bits σε symbols, για $n=0, \dots, N-1$ μέσω της απεικόνισης:

$0 \rightarrow +1$

$1 \rightarrow -1$

Δηλαδή, έχουμε μια διαμόρφωση 2-PAM, όπως και στην εργαστηριακή άσκηση 1. Για την υλοποίηση του ερωτήματος έγινε χρήση της συνάρτησης που κατασκευάστηκε τότε.

Έπειτα, υλοποιήθηκε το σήμα: $X(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \varphi(t - nT)$ με ανάλογο τρόπο με την άσκηση 1.



%a.2

```

N = 100;

%creation of the bits, independent and with the same probability
b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;

%Use of the function that was created in the 1st exercise to make the
%mapping
X = bits_to_2PAM(b);

%like the C section of lab1
X_delta = 1/Ts*upsample(X, over);

%time
t1 = 0:Ts:((N+N*(over-1))-1)*Ts;

%Convolution of X_delta fi(t)
x = conv(X_delta, phi)*Ts;

%time of convolution
tc = t(1)+t1(1) :Ts: t(end) + t1(end);

figure;
plot(tc,x);
xlabel('t');
title('X(t)');

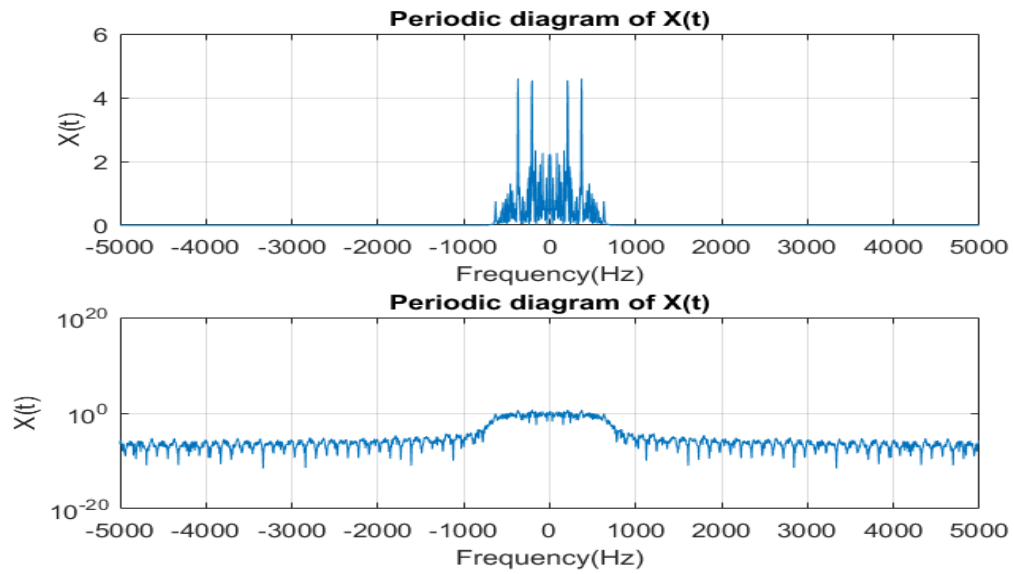
```

A.3

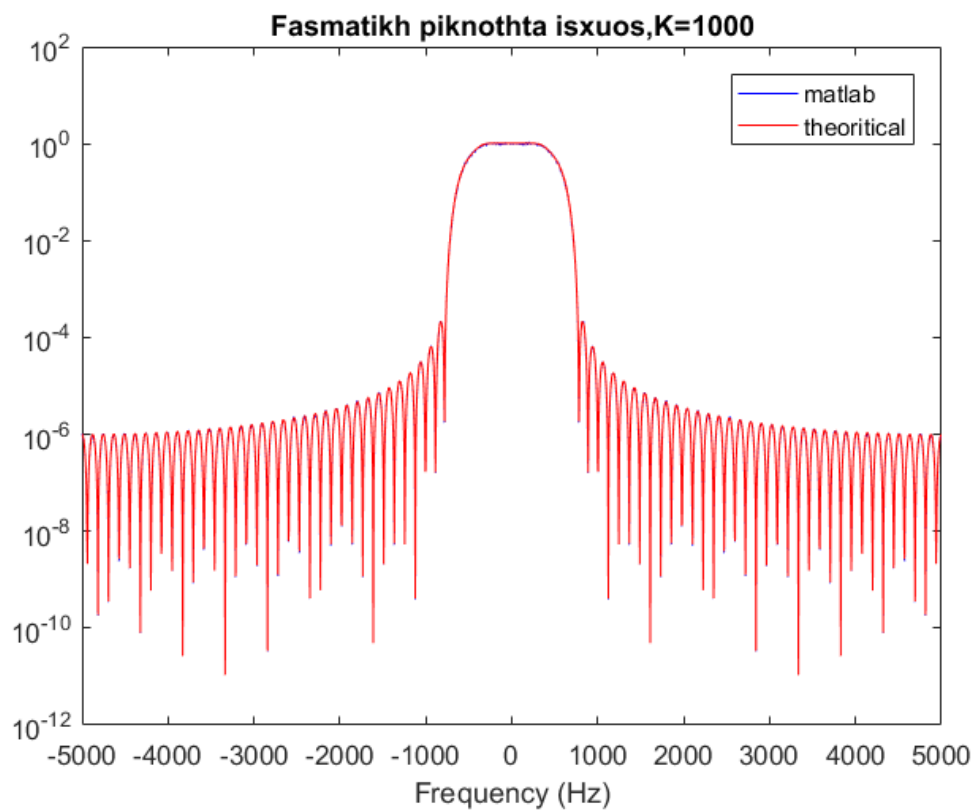
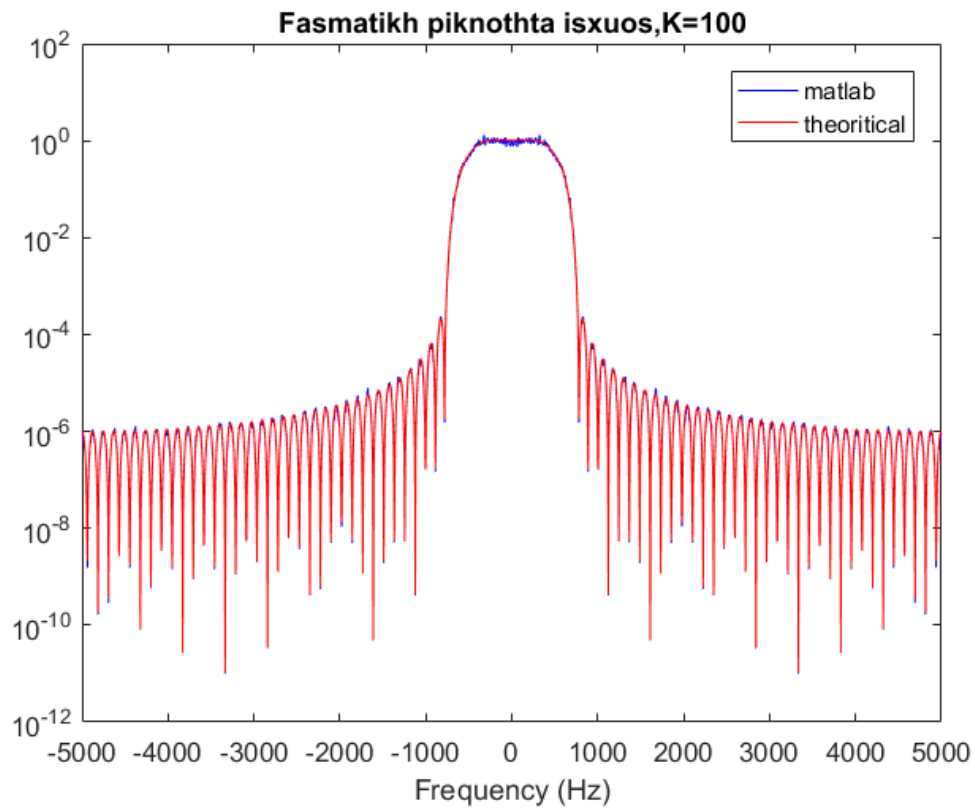
Με χρήση των εντολών matlab, fft και fftshift, υπολογίστηκε το περιοδόγραμμα μιας πιθανής υλοποίησης της $X(t)$:

$$P_x(F) = \frac{|F\{X(t)\}|^2}{T_{total}}$$

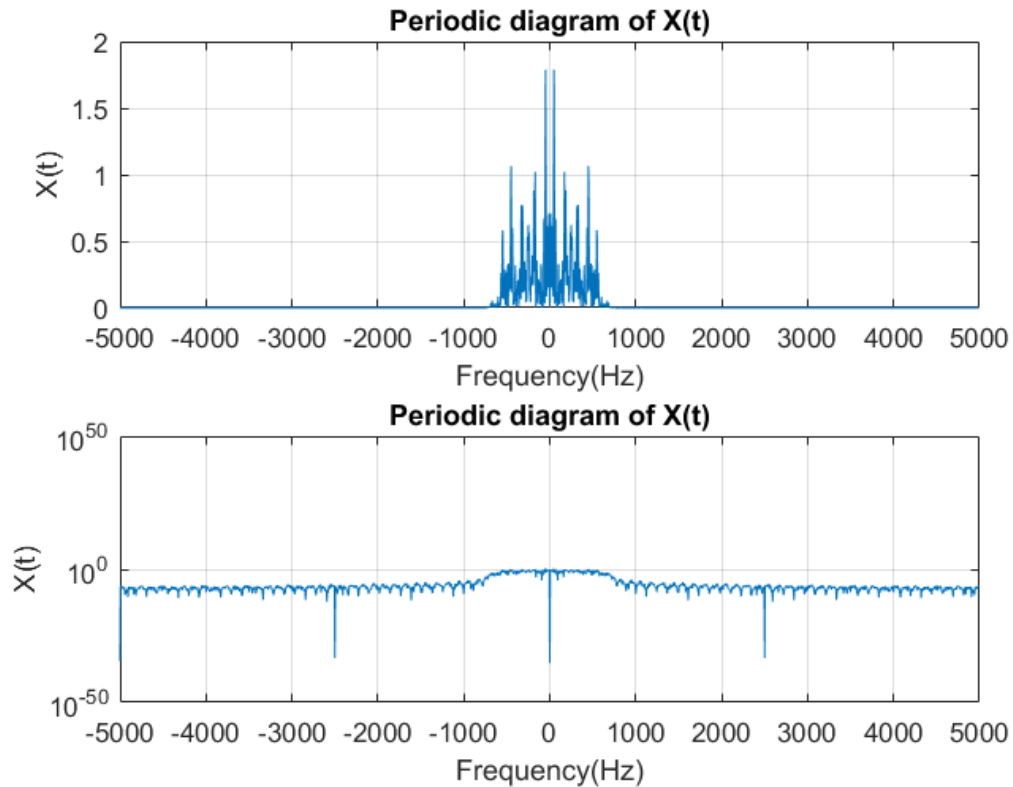
Με T_{total} , την συνολική χρονική διάρκεια της $X(t)$. Η απεικόνιση έγινε με την χρήση τόσο της plot, όσο και της συνάρτησης semilogy.



Έπειτα, υπολογίζοντας τις αριθμητικές μέσες τιμές πάνω σε K υλοποιήσεις περιοδογραμμάτων, εκτιμήθηκε η φασματική πυκνότητα ισχύος. Ενδεικτικά, χρησιμοποιήθηκαν τιμές K=100 και K=1000.



Σε κοινό semilogy, σχεδιάστηκε η θεωρητική ΦΠΙ, αλλά και η πειραματική που υπολόγισε το matlab.



Παρατηρείται, ότι για $K=1000$ η διαφορά μεταξύ πειραματικής και θεωρητικής τιμής δεν είναι με το μάτι αισθητή. Το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, καθώς για περισσότερα δείγματα έχουμε αρκετά μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

```
%a.3
Px=(abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tc)*Ts);

figure;
subplot(2,1,1);
plot(f,Px)
grid on;
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');

subplot(2,1,2);
semilogy(f,Px) %logarithmic
grid on;
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');

K = 1000;
Pxx = zeros(K,Nf);
```

```

for i = 1:K
    b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2; %creation of the bits like before
    %2 pam modulation
    X = bits_to_2PAM(b);
    X_delta = 1/Ts*upsample(X, over); %like before
    %time
    tx = 0:Ts:((N+N*(over-1))-1)*Ts;
    %convolution
    x = conv(X_delta,phi)*Ts;

    Pxx(i,:)=(abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tx)*Ts);
end;

matlab_Px = sum(Pxx) ./ K;
theoritical_Px = (var(X)^2/T).*(y.^2); %theoritical

figure;
semilogy(f,matlab_Px,'b')
hold on;
semilogy(f,theoritical_Px,'r')
xlabel('Frequency (Hz)');
title('Fasmatikh piknothta isxuou,K=1000');
legend('matlab','theoritical');

```

A.4

Με χρήση της απεικόνισης:

00 → +3

01 → +1

11 → -1

10 → -3

Κατασκευάστηκε η ακολουθία 4-PAM, για $n=0,\dots,N/2-1$.

Δουλεύοντας αντίστοιχα με την 2-PAM, υλοποιήθηκε η συνάρτηση bits_to_4PAM.

```

%function bits_to_4PAM
% Project Name: Th1_1
% Engineer: Christos Trimas, Alexandros Michael

function X = bits_to_4PAM(b)

    X = zeros(size(b)); %creation of vector with zeros
    i = 1; %helping variable

    %matching 00 --> +3, 01 --> +1, 11 --> -1, 10 --> -3
    for k = 1:2:size(b)

        if (b(k)==0 && b(k+1)==0)
            X(i) = 3;

        elseif (b(k)==0 && b(k+1)==1)
            X(k) = 1;

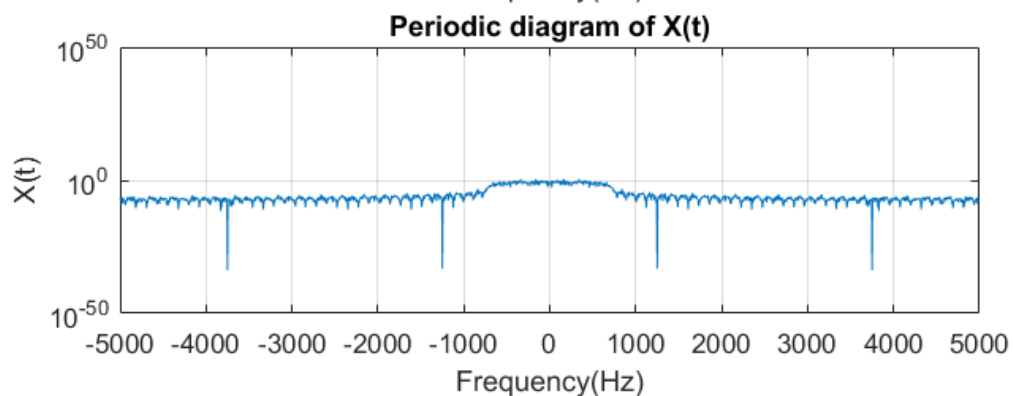
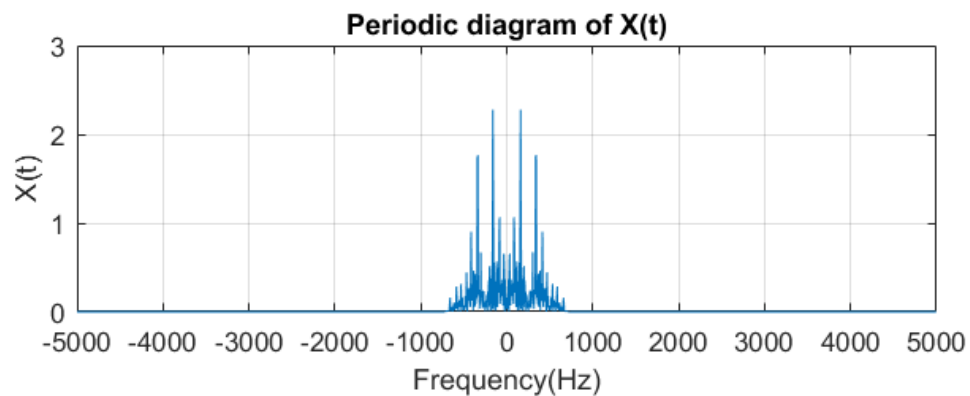
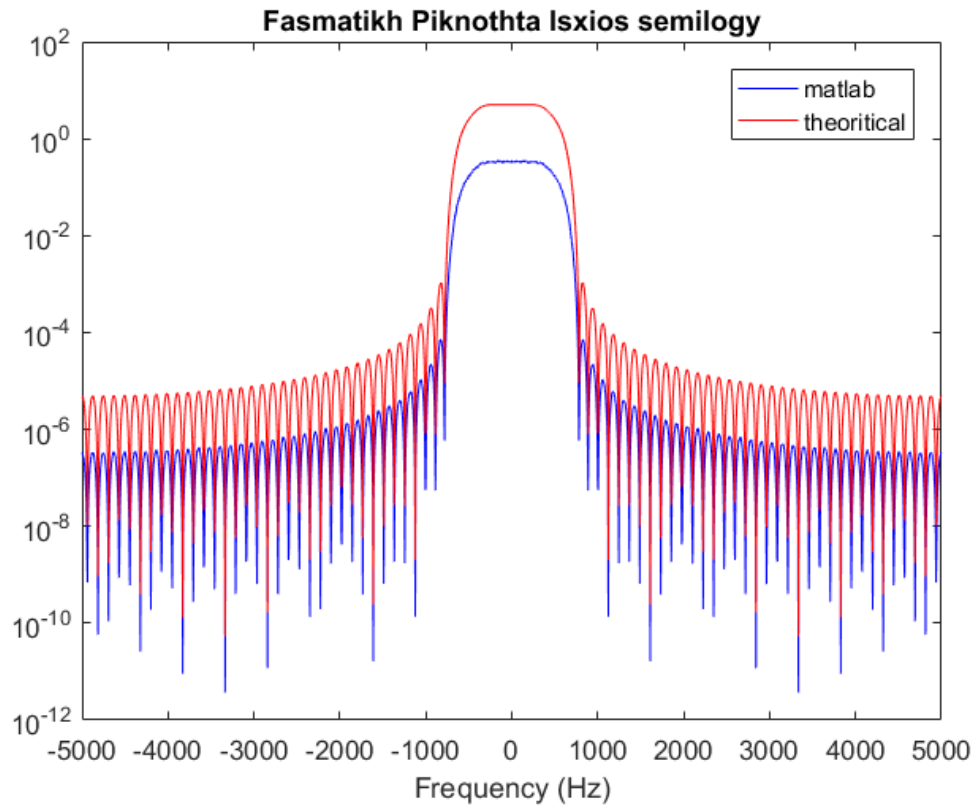
        elseif (b(k)==1 && b(k+1)==1)
            X(k) = -1;

        elseif (b(k)==1 && b(k+1)==0)
            X(k) = -3;

        end;
    end;
end

```

Κατασκευάστηκε στη συνέχεια, το σήμα $X(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \varphi(t - nT)$ με περίοδο ίδια με αυτή του ερωτήματος α.2. Εκτελέστηκαν πάλι τα βήματα του ερωτήματος α.3, δηλαδή εκτιμήθηκε η ΦΠ μέσω των υλοποιήσεων περιοδογραμμάτων των αριθμητικών μέσων τιμών της $X(t)$ και έγινε σχεδιασμός της θεωρητικής και της τιμής που υπολόγισε το matlab.



Το bandwidth της 4-PAM είναι ίδιο με αυτό της 2-PAM, καθώς το εύρος φάσματος εξαρτάται από την περίοδο και μόνο, των συμβόλων η οποία παραμένει σταθερή. Σε ότι έχει να κάνει με το πλάτος, η 4-PAM έχει μεγαλύτερο, το οποίο το περιμέναμε, καθώς η μέση απόσταση των συμβόλων από το μηδέν είναι μεγαλύτερη από αυτή της 2-PAM, και επομένως όπως έχει αναφερθεί στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα 2, απαιτείται περισσότερη ενέργεια, συνεπώς και ισχύς, για την αποστολή των συμβόλων.

```
%a.4

b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2; %like before

X = bits_to_4PAM(b); %use of the created function bits_to_4PAM

%like lab1
X_delta = 1/Ts*upsample(X, over);

tx = 0:Ts:( (N+N*(over-1))-1)*Ts;

%convolution of X_delta
x = conv(X_delta,phi)*Ts;
|
Px = (abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tx)*Ts);

figure;
subplot(2,1,1);
plot(f,Px)
grid on;
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');

subplot(2,1,2);
semilogy(f,Px) %logarithmic
grid on;
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');

Pxxx=zeros(K,Nf);

for i=1:K

    b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;
    X = bits_to_4PAM(b);
    X_delta = 1/Ts*upsample(X, over);
    tx = 0:Ts:( (N+N*(over-1))-1)*Ts;
    x = conv(X_delta,phi)*Ts;
    Pxxx(i,:) = (abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tx)*Ts);

end;
```

```

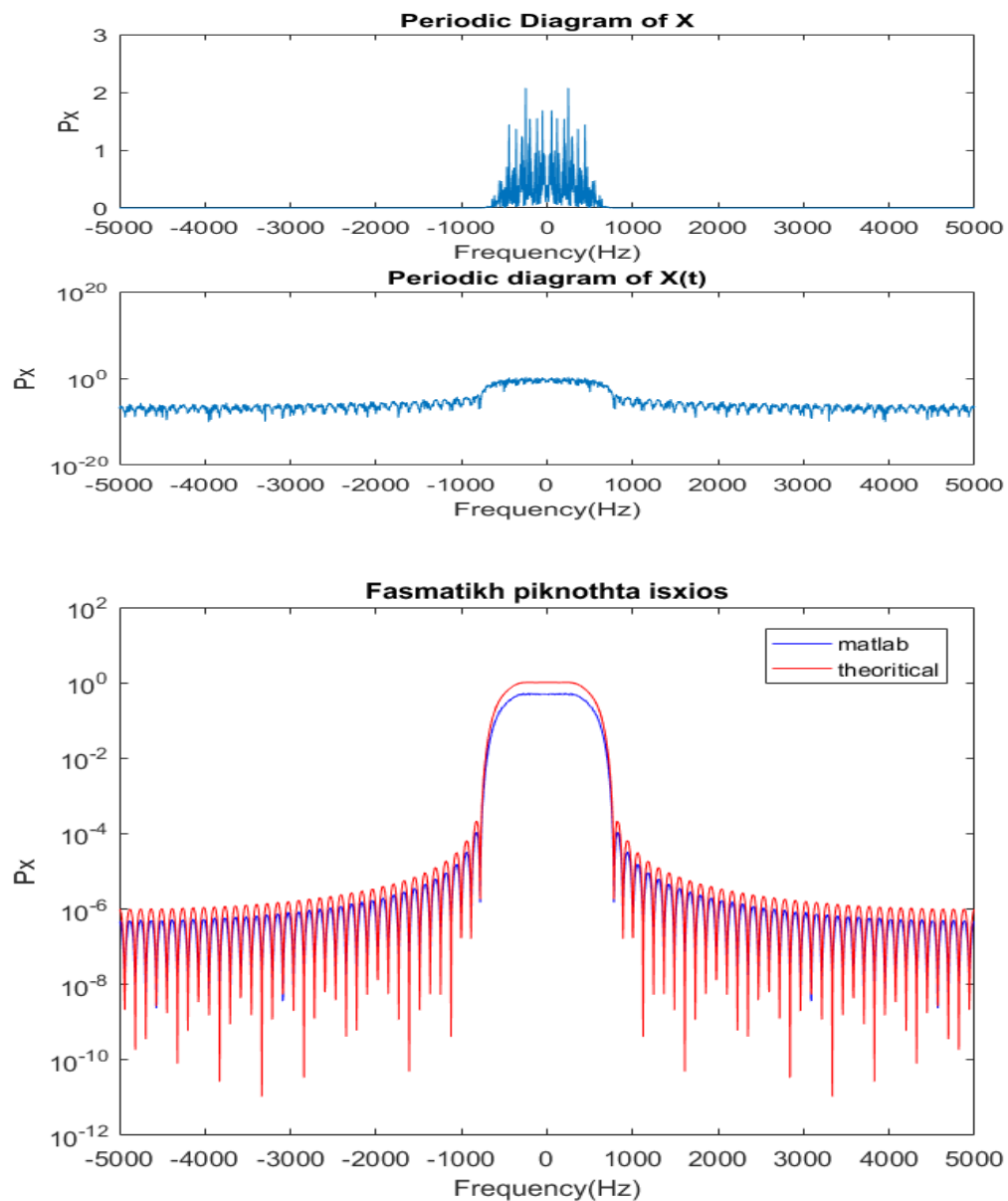
theoretical = (5/T).*(y.^2);
matlab = sum(Pxxx)./K;

figure;
semilogy(f,matlab,'b')
hold on;
semilogy(f,theoretical,'r')
xlabel('Frequency (Hz)');
title('Fasmatikh Piknothta Isxios semilogy');
legend('matlab','theoretical');

```

A.5

Σε αυτή την περίπτωση, αλλάξαμε την περίοδο σε $2T$ και επαναλάβαμε τα βήματα του α.3. Επειδή ακριβώς διπλασιάσαμε την περίοδο, χρειάστηκε να διπλασιάσουμε το over , έτσι ώστε η περίοδος δειγματοληψίας να παραμείνει σταθερή.



Τέλος, έγινε σύγκριση του bandwidth της συγκεκριμένης περίπτωσης και αυτής του ερωτήματος α.3. Με τον διπλασιασμό της περιόδου συμβόλων το bandwidth υποδιπλασιάστηκε, καθώς $B=1/a/T$, δηλαδή η περίοδος και το φάσμα είναι αντιστρόφως ανάλογα ποσά.

```
%a.5
T_new = 2*T;
over_new = 2*over;
Ts_new = T_new / over_new; %same Ts with a.2
Fs_new = 1 / Ts_new;

%new srsrc pulse
[phi,t] = srsrc_pulse(T, Ts, A, a);

z = abs(fftshift(fft(phi,Nf)*Ts_new));

%frequency vector for the whole bandwidth
F = -Fs_new/2 :Fs_new/Nf: Fs_new/2 - Fs/Nf;

b = (sign(randn(N,1)) + 1)/2;
X = bits_to_2PAM(b);
delta_X = 1/Ts*upsample(X,over_new);
tx = 0:Ts_new:((N+N*(over_new-1))-1)*Ts_new;
x = conv(delta_X,phi)*Ts;
Px_new = (abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tx)*Ts);

figure;
subplot(2,1,1);
plot(F,Px_new);
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Px');
title('Periodic Diagram of X');

subplot(2,1,2);
semilogy(F,Px_new);
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Px');
title('Periodic diagram of X(t)');

Px = zeros(K,Nf);
% K=100;
% N=50;
for i = 1:K
    b = (sign(randn (N,1)) + 1)/2;
    X = bits_to_2PAM(b);
    delta_X = 1/Ts_new*upsample(X,over_new);
    tx = 0:Ts_new:((N+N*(over_new-1))-1)*Ts_new;
    x = conv(delta_X,phi)*Ts_new;
    Px(i,:)=(abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts_new)).^2)/(length(tx)*Ts_new);
end;

matlab = sum(Px) ./ K;
theoritical = (var(X)^2 / T) .* (z.^2);

figure;
semilogy(F,matlab,'b');
hold on;
semilogy(F,theoritical,'r');
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Px');
title('Fasmatikh piknothta isxios');
legend('matlab','theoritical');
```

A.6

Η 4-PAM, χρειάζεται τον μισό χρόνο για να στείλει δεδομένα, καθώς για το ίδιο εύρος φάσματος στέλνει 2 bits πληροφορίας σε αντίθεση με την 2-PAM η οποία στέλνει 1 bit/symbol.

Αν το διαθέσιμο εύρος φάσματος είναι ακριβό, σε αυτή την περίπτωση θα διπλασιάζαμε την περίοδο συμβόλου και το φάσμα θα μειωνόταν στο μισό και θα διατηρούσαμε τον χρόνο αποστολής των bits, όπως αποδείχτηκε από το προηγούμενο ερώτημα.

B.1:

Δίνεται η στοχαστική διαδικασία:

$Y(t) = X(t) \cos(2\pi f_0 t + \theta)$, όπου θ τυχαία μεταβλητή με $\theta \sim U([0, 2\pi))$ και $X(t)$ το σήμα της εκφώνησης.

$$E[y(t)] = E[x(t) * \cos(2\pi f_0 t + \theta)] = E[x(t)] * E[\cos(2\pi f_0 t + \theta)]$$

Όμως η μέση τιμή του X , είναι μηδέν, άρα:

$$E[y(t)] = 0.$$

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης της $Y(t)$ υπολογίζεται ως εξής:

$$E[Y(t + \tau) Y(t)] = E[X(t + \tau) \cos(2\pi f_0(t + \tau) + \theta) * X(t) \cos(2\pi f_0 t + \theta)] =$$

$$E[X(t + \tau) X(t) \cos(2\pi f_0(t + \tau) + \theta) \cos(2\pi f_0 t + \theta)] =$$

$$E[X(t + \tau) X(t)] * E[\cos(2\pi f_0(t + \tau) + \theta) \cos(2\pi f_0 t + \theta)]$$

Η τυχαία διαδικασία $X(t)$, έχει συνάρτηση αυτοσυσχέτισης: $E[x(t + \tau)x(t)] = R_{xx}(t + \tau, t)$ και επιπλέον:

$$\begin{aligned} E[\cos(2\pi f_0(t + \tau) + \theta) \cos(2\pi f_0 t + \theta)] &= E\left[\frac{1}{2} \cos(2\pi f_0 t + \theta + 2\pi f_0(t + \tau) + \theta) + \right. \\ &\left. \frac{1}{2} \cos(2\pi f_0 t + \theta - 2\pi f_0(t + \tau) - \theta)\right] = E\left[\frac{1}{2} \cos(4\pi f_0 t + 2\pi f_0 t + 2\theta) + \right. \\ &\left. \frac{1}{2} \cos(2\pi f_0 t)\right] = E\left[\frac{1}{2} \cos(2\pi f_0 t)\right] \end{aligned}$$

$$\text{Άρα τελικά, } E[y(t + \tau)y(t)] = R_{xx}(t + \tau, t) * \left[\frac{1}{2} \cos(2\pi f_0 t)\right]$$

B.2

Γνωρίζουμε ότι η μέση τιμή της Y είναι μηδέν και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης η οποία υπολογίστηκε παραπάνω. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης μάλιστα, είναι περιοδική ως προς το όρισμα t με περίοδο T_0 . Άρα:

$$\begin{aligned} R_{yy}(t + \tau + T, t + T) &= R_{xx}(t + \tau + T, t + T) * \frac{1}{2} \cos(2\pi f_0 t) = R_{xx}(t + \tau, t) * \\ \frac{1}{2} \cos(2\pi f_0 t) &= R_{yy}(t + \tau, t) \end{aligned}$$

Άρα, $Y(t)$ έχει μέση τιμή μηδέν, είναι περιοδική και $R_{yy}(t + \tau, t) = R_{yy}(t + \tau + T, t + T)$, επομένως $Y(t)$ είναι κυκλόστασιμη υπό την ευρεία έννοια στοχαστική διαδικασία.

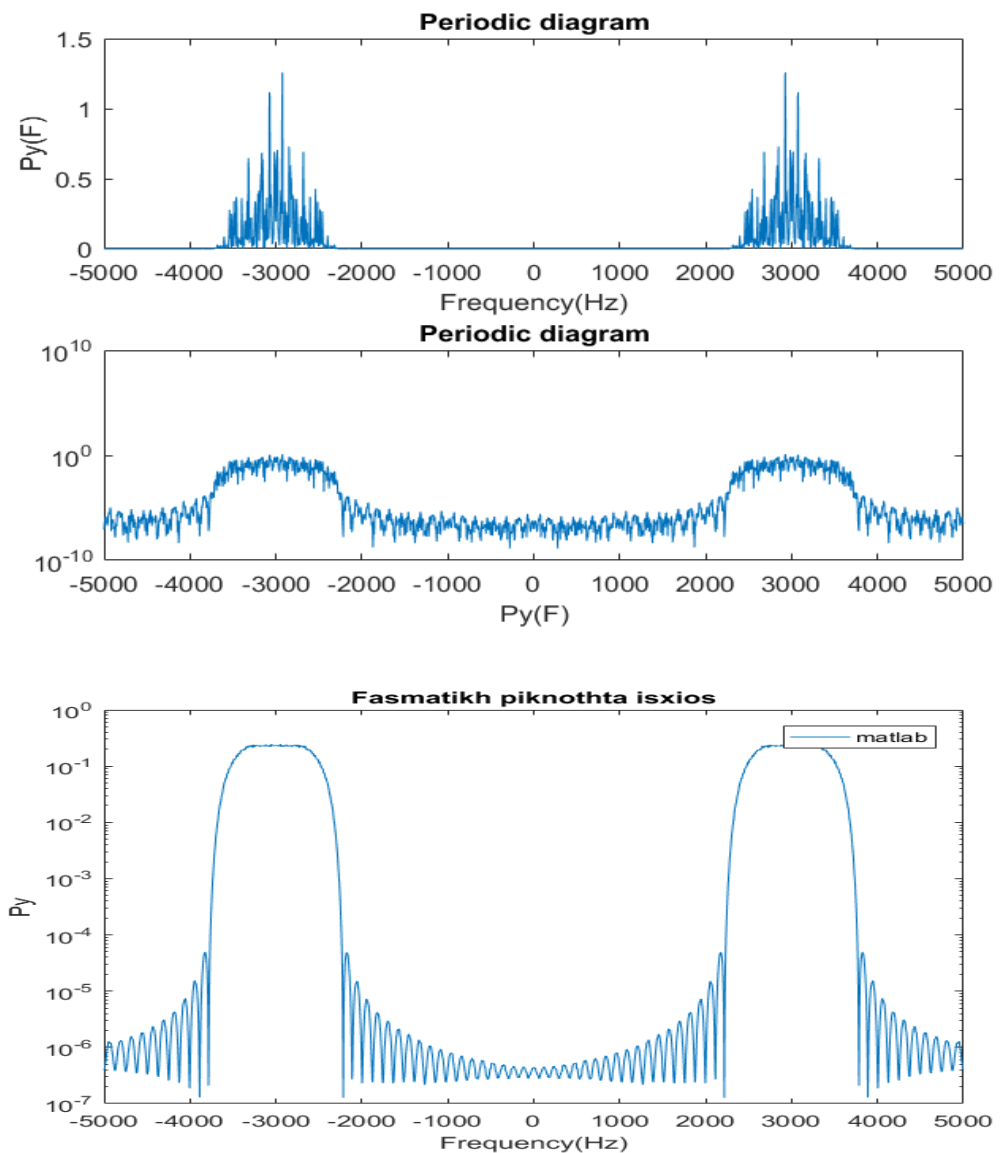
B.3

Η φασματική πυκνότητα ισχύος του $Y(t)$ είναι:

$$S_Y(f) = F[R_Y(\tau)] = F\left[\frac{1}{T} * \left(\int_0^T R_{yy}(t + \tau, t) dt\right)\right] = F\left[\frac{1}{T} * \left(\int_0^T R_{xx}(t + \tau, t) * \frac{1}{2} \cos(2\pi F_0 \tau) dt\right)\right] = F\left[\cos(2\pi F_0 \tau) * \frac{1}{2} R_x(\tau)\right] = \frac{1}{2} \frac{S_x(F-F_0)}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{S_x(F+F_0)}{2}, \text{ όπου } F \text{ μετασχηματισμός Fourier.}$$

B.4

Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας, επαληθεύτηκαν τα θεωρητικά αποτελέσματα, με τα πειραματικά του matlab. Συγκεκριμένα, η συχνότητα διαμόρφωσης υπολογίστηκε από τον τύπο: $\frac{1}{2T} < f_0 < \frac{F_s}{2} - \frac{1}{2T}$, και τελικά παίρνει τιμές στο διάστημα (500,4500). Επιλέχτηκε τυχαία τιμή ίση με 3000 και έγινε διαμόρφωση 2-PAM. Με παρόμοια διαδικασία με τα προηγούμενα ερωτήματα, η ΦΠΙ του διαμορφωμένου 2-PAM σήματος, εκτιμήθηκε με την χρήση του matlab μέσω των περιοδογραμμάτων.



Η παραπάνω ΦΠΙ, υπολογίστηκε με την χρήση των αριθμητικών μέσων τιμών των υλοποιήσεων των περιοδογραμμάτων και $K=1000$.

```
T = 0.001;
over = 10;
Ts = T/over;
Fs = 1/Ts;
A = 4;
a = 0.5;
Nf = 2048;
N = 100;
f0 = 3000; %frequency

%srcrc pulse)
[phi, t] = srsrc_pulse(T, Ts, A, a);

%fourier transformtion
y=abs(fftshift(fft(phi,Nf)*Ts));

%frequency for the bandwidth
F = -Fs/2:Fs/Nf:Fs/2-Fs/Nf;

%creation of the bits
b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;

%2-PAM modulation
X=bits_to_2PAM(b);
delta_X = 1/Ts*upsample(X, over);

%time of the conv
t1 = 0:Ts:(N+N*(over-1)-1)*Ts;

%convolution
x = conv(delta_X,phi)*Ts;
tx = t(1)+t1(1) :Ts: t(end) + t1(end);
%Theta uniform in [0,2pi)
theta = 2*pi*rand(1);

%random signal Y(t)
Yt = x.*(cos(2*pi*f0.*transpose(tx) + theta));

Py = (abs(fftshift(fft(Yt,Nf)*Ts)).^2)/(length(Yt)*Ts); %pasmatikh piknothta isxios

figure;
subplot(2,1,1);
plot(F,Py);
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Py(F)');
title('Periodic diagram');

subplot(2,1,2);
semilogy(F,Py);
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Py(F)');
title('Periodic diagram');

K=1000;
Py_new = zeros(K,Nf);
for i=1:K
    b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;
    X = bits_to_2PAM(b);
    delta_X = 1/Ts*upsample(X, over);
    tx = t(1)+t1(1) :Ts: t(end) + t1(end);
    x = conv(delta_X,phi)*Ts;
    theta = 2*pi*rand(1);
    yt = x.*(cos(2*pi*f0.*transpose(tx)+theta));
    Py_new(i,:) = (abs(fftshift(fft(yt,Nf)*Ts)).^2)/(length(yt)*Ts);
end;

%fasmatikh piknothta isxios
matlab=sum(Py_new)./K;

figure;
semilogy(F,matlab)
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Py');
title('Fasmatikh piknothta isxios');
legend('matlab');
```

Κώδικας:

```
clc;
close all;
clear all;

%a.1

T = 10^(-3);
over = 10;
Ts = T / over;
A = 4;
a = 0.5;
Fs = 1/Ts;
Nf = 2048; %from the exercise

%SRRC from lab 1
[phi, t] = srrc_pulse(T, Ts, A, a);

%Fourier Transformation
y=abs(fftshift(fft(phi,Nf)*Ts)); %fftshift centralizes the transformation
in zero

f = -Fs/2:Fs/Nf:Fs/2-Fs/Nf; %frequency like lab 1

%Ipologismos famsitkhs piknothtas
figure;
semilogy(f,y.^2,'b');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('|FI(F)|');
title('Semilogy famstikh piknothta energeias');
legend('|FI(F)|^2');

%a.2

N = 100;

%creation of the bits, independent and with the same probability
b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;

%Use of the function that was created in the 1st exercise to make the
%mapping
X = bits_to_2PAM(b);

%like the C section of lab1
X_delta = 1/Ts*upsample(X, over);

%time
t1 = 0:Ts:((N+N*(over-1))-1)*Ts;

%Convolution of X_delta fi(t)
x = conv(X_delta,phi)*Ts;

%time of convolution
tc = t(1)+t1(1) :Ts: t(end) + t1(end);

figure;
plot(tc,x);
xlabel('t');
title('X(t)');

%a.3
Px=(abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tc)*Ts);

figure;
subplot(2,1,1);
plot(f,Px)
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');
```

```

subplot(2,1,2);
semilogy(f,Px) %logarithmimeno
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');

K = 1000;
Pxx = zeros(K,Nf);

for i = 1:K
    b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2; %creation of the bits like before
    %2 pam modulation
    X = bits_to_2PAM(b);
    X_delta = 1/Ts*upsample(X, over); %like before
    %time
    tx = 0:Ts:(N+N*(over-1)-1)*Ts;
    %convolution
    x = conv(X_delta,phi)*Ts;

    Pxx(i,:)=(abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tx)*Ts);
end;

matlab_Px = sum(Pxx) ./ K;
theoretical_Px = (var(X)^2/T).*(y.^2); %theoretical

figure;
semilogy(f,matlab_Px,'b')
hold on;
semilogy(f,theoretical_Px,'r')
xlabel('Frequency (Hz)');
title('Fasmatikh piknothta isxuos,K=1000');
legend('matlab','theoretical');

%a.4

b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2; %like before

X = bits_to_4PAM(b); %use of the created function bits_to_4PAM

%like lab1
X_delta = 1/Ts*upsample(X, over);

tx = 0:Ts:(N+N*(over-1)-1)*Ts;

%convolution of X_delta
x = conv(X_delta,phi)*Ts;

Px =(abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tx)*Ts);

figure;
subplot(2,1,1);
plot(f,Px)
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');

subplot(2,1,2);
semilogy(f,Px) %logarithmimeno
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('X(t)');
title('Periodic diagram of X(t)');

Pxxx=zeros(K,Nf);

for i=1:K

    b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;
    X = bits_to_4PAM(b);
    X_delta = 1/Ts*upsample(X, over);

```



```

    tx = 0:Ts:( (N+N*(over-1))-1)*Ts;
    x = conv(X_delta,phi)*Ts;
    Pxxx(i,:) = (abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts)).^2)/(length(tx)*Ts);
end;

theoretical = (5/T).*(y.^2);
matlab = sum(Pxxx)./K;

figure;
semilogy(f,matlab,'b')
hold on;
semilogy(f,theoretical,'r')
xlabel('Frequency (Hz)');
title('Fasmatikh Piknothta Isxios semilogy');
legend('matlab','theoretical');

%a.5
T_new = 2*T;
over_new = 2*over;
Ts_new = T_new / over_new; %same Ts with a.2
Fs_new = 1 / Ts_new;

%new srcc pulse
[phi,t] = srcc_pulse(T, Ts, A, a);

z = abs(fftshift(fft(phi,Nf)*Ts_new));

%frequency vector for the whole bandwidth
F = -Fs_new/2 :Fs_new/Nf: Fs_new/2 - Fs/Nf;

b = (sign(randn(N,1)) + 1)/2;
X = bits_to_2PAM(b);
delta_X = 1/Ts_new*upsample(X,over_new);
tx = 0:Ts_new:( (N+N*(over_new-1))-1)*Ts_new;
x = conv(delta_X,phi)*Ts_new;
Px_new = (abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts_new)).^2)/(length(tx)*Ts_new);

figure;
subplot(2,1,1);
plot(F,Px_new);
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Px');
title('Periodic Diagram of X');

subplot(2,1,2);
semilogy(F,Px_new);
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Px');
title('Periodic diagram of X(t)');

Px = zeros(K,Nf);
% K=100;
% N=50;
for i = 1:K
    b = (sign(randn (N,1)) + 1)/2;
    X = bits_to_2PAM(b);
    delta_X = 1/Ts_new*upsample(X,over_new);
    tx = 0:Ts_new:( (N+N*(over_new-1))-1)*Ts_new;
    x = conv(delta_X,phi)*Ts_new;
    Px(i,:)=(abs(fftshift(fft(x,Nf)*Ts_new)).^2)/(length(tx)*Ts_new);
end;

matlab = sum(Px) ./ K;
theoretical = (var(X)^2 / T) .* (z.^2);

figure;
semilogy(F,matlab,'b');
hold on;
semilogy(F,theoretical,'r');

```

```

xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Px');
title('Fasmatikh piknothta isxios');
legend('matlab','theoritical');

clc;
close all;
clear all;

T = 0.001;
over = 10;
Ts = T/over;
Fs = 1/Ts;
A = 4;
a = 0.5;
Nf = 2048;
N = 100;
f0 = 3000; %frequency

%srsrc pulse)
[phi, t] = srsrc_pulse(T, Ts, A, a);

%fourier transforamtion
y=abs(fftshift(fft(phi,Nf)*Ts));

%frequency for the bandwidth
F = -Fs/2:Fs/Nf:Fs/2-Fs/Nf;

%creation of the bits
b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;

%2-PAM modulation
X=bits_to_2PAM(b);
delta_X = 1/Ts*upsample(X, over);

%time of the conv
t1 = 0:Ts:((N+N*(over-1))-1)*Ts;

%convolution
x = conv(delta_X,phi)*Ts;
tx = t(1)+t1(1):Ts: t(end) + t1(end);
%Theta uniform in [0,2pi)
theta = 2*pi*rand(1);

%random signal Y(t)
Yt = x.*(cos(2*pi*f0.*transpose(tx) + theta));

Py = (abs(fftshift(fft(Yt,Nf)*Ts)).^2)/(length(Yt)*Ts); %pasmatikh piknothta isxios

figure;
subplot(2,1,1);
plot(F,Py);
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Py(F)');
title('Periodic diagram');

subplot(2,1,2);
semilogy(F,Py);
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Py(F)');
title('Periodic diagram');

K=1000;
Py_new = zeros(K,Nf);
for i=1:K
    b = (sign(randn(N, 1)) + 1)/2;
    X = bits_to_2PAM(b);
    delta_X = 1/Ts*upsample(X, over);

```

```

tx = t(1)+t1(1) :Ts: t(end) + t1(end);
x = conv(delta_X,phi)*Ts;
theta = 2*pi*rand(1);
yt = x.*(cos(2*pi*f0.*transpose(tx)+theta));
Py_new(i,:) = (abs(fftshift(fft(yt,Nf)*Ts)).^2)/(length(yt)*Ts);
end;

%fasmatikh piknothta isxios
matlab=sum(Py_new)./K;

figure;
semilogy(F,matlab)
xlabel('Frequency(Hz)');
ylabel('Py');
title('Fasmatikh piknothta isxios');
legend('matlab');

%function bits_to_4PAM
% Project Name: Th1_1
% Engineer: Christos Trimas, Alexandros Michael

function X = bits_to_4PAM(b)

X = zeros(size(b)); %creation of vector with zeros
i = 1; %helping variable

%matching 00 --> +3, 01 --> +1, 11 --> -1, 10 --> -3
for k = 1:2:size(b)

    if(b(k)==0 && b(k+1)==0)
        X(i) = 3;

    elseif(b(k)==0 && b(k+1)==1)
        X(k) = 1;

    elseif(b(k)==1 && b(k+1)==1)
        X(k) = -1;

    elseif(b(k)==1 && b(k+1)==0)
        X(k) = -3;

    end;
end;
end
function [phi, t] = srrc_pulse(T, Ts, A, a)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% phi = srrc_pulse(T, Ts, A, a)
%
% OUTPUT
%
%     phi: truncated SRRC pulse, with parameter T,
%
%           roll-off factor a, and duration 2*A*T
%
%     t:   time axis of the truncated pulse
%
% INPUT
%
%     T:   Nyquist parameter or symbol period (positive real number)
%
%     Ts:  sampling period (Ts=T/over)
%
%           where over is a positive INTEGER called oversampling factor
%
%     A:   half duration of the pulse in symbol periods (positive INTEGER)
%
%     a:   roll-off factor (real number between 0 and 1)
%
%
```

```

%
%
%   A. P. Liavas, Nov. 2011
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
t = [-A*T:Ts:A*T] + 10^(-8); % in order to avoid division by zero problems
at t=0.

if (a>0 && a<=1)
    num = cos((1+a)*pi*t/T) + sin((1-a)*pi*t/T) ./ (4*a*t/T);
    denom = 1-(4*a*t./T).^2;
    phi = 4*a/(pi*sqrt(T)) * num ./ denom;
elseif (a==0)
    phi = 1/(sqrt(T)) * sin(pi*t/T)./(pi*t/T);
else
    phi = zeros(length(t),1);
    disp('Illegal value of roll-off factor')
    return
end
%function bits_to_2PAM
% Project Name: Th1_1
% Engineer: Christos Trimas, Alexandros Michael

function X = bits_to_2PAM(b)

%creating vector of zeros
X=zeros(size(b));

%matching 0 --> +1, 1 --> -1
for k = 1:size(b)
    if (b(k)==0)
        X(k) = 1;

        elseif(b(k)==1)
            X(k) = -1;
        end;
    end;
end
end

```