

ΗΜΜΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΗΛ 301-ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ι

ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2017-2018

Εργαστηριακή Άσκηση 2

Φοιτητής
ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ
ΑΜ:2015030064

Διδάσκων
Α. ΛΙΑΒΑΣ



Technical
University
of Crete

Περιεχόμενα

| | |
|---|----------|
| A' Μελέτη φασματικού περιεχομένου PAM κυματομορφών | 2 |
| A'.1 Δημιουργία αποκομμένων παλμών SRRC | 2 |
| A'.2 Μετατροπή δυαδικής σειράς σε 2-PAM | 3 |
| A'.3 Υπολογισμός περιοδογράμματος και φασματικής πυκνότητας ισχύος για κωδικοποίηση 2 PAM | 5 |
| A'.4 Υπολογισμός περιοδογράμματος και φασματικής πυκνότητας ισχύος για κωδικοποίηση 4 PAM | 7 |
| A'.5 Υπολογισμός περιοδογράμματος και φασματικής πυκνότητας ισχύος για διπλάσια περίοδο συμβόλου | 9 |
| A'.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων | 11 |
| A'.6.1 Αν θέλατε να στείλετε δεδομένα όσο το δυνατό ταχύτερα έχοντας διαθέσιμο το ίδιο εύρος φάσματος, θα επιλέγατε 2-PAM ή 4-PAM, και γιατί? | 11 |
| A'.6.2 Αν το διαθέσιμο εύρος φάσματος είναι πολύ ακριβό, θα επιλέγατε περίοδο συμβόλου T ή $T'=2T$, και γιατί | 11 |

Α' Μελέτη φασματικού περιεχομένου PAM κυματομορφών

Α'.1 Δημιουργία αποκομμένων παλμών SRRC

Αρχικά δημιουργήσαμε διαφορετικούς παλμούς SRRC με διαφορετικούς συνδυασμούς παραμέτρων διαφοροποιώντας το roll-off factor και το A ανάλογα με την περίπτωση. Σε αυτό το σημείο ζητήθηκε μόνο μια ϕ με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αλλά σε επόμενα ερωτήματα είναι απαραίτητη η χρήση άλλων ϕ οπότε τις δημιουργούμε εξ αρχής και τις υλοποιούνται σε όλα τα ερωτήματα

```
%A.1
T = 10^-3;
over = 10;
Ts = T/over;
A = 3;
a = 0.5;
N = 2048;%choose a large N as requested

[phi,t] = srrc_pulse(T, Ts, A, a);
[phib,tb] = srrc_pulse(T, Ts, A, 0.8);
[phic,tc] = srrc_pulse(T, Ts, 8, a);
[phid,td] = srrc_pulse(T, Ts, 8, 0.8);

PHI_f = fftshift(fft(phi,N)*Ts); %Fourier for phi function
PHIB_f = fftshift(fft(phib,N)*Ts); %Fourier for phi function
PHIC_f = fftshift(fft(phic,N)*Ts); %Fourier for phi function
PHID_f = fftshift(fft(phid,N)*Ts); %Fourier for phi function

Fs = 1/Ts; %Ts is the sampling period so Fs is the sampling frequency

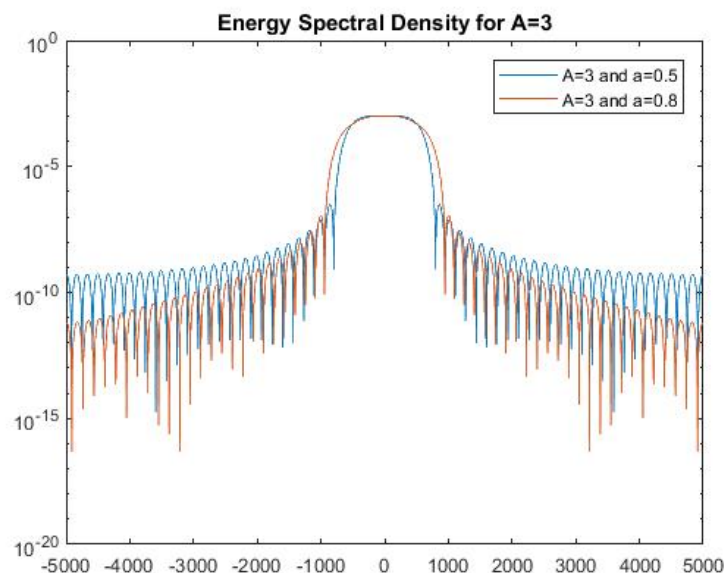
%Frequency vector
F = -Fs/2:Fs/N:Fs/2-Fs/N;

spectrum_f = abs(PHI_f).^2;
spectrumb_f = abs(PHIB_f).^2;
spectrumc_f = abs(PHIC_f).^2;
spectrumd_f = abs(PHID_f).^2;
```

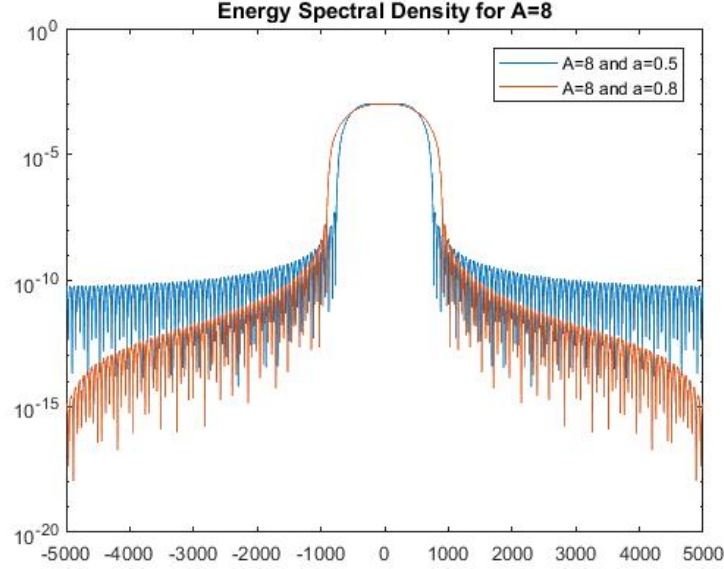
Σχήμα 1: Κώδικας μέρους Α.1

Στη συνέχεια, με την χρήση των συναρτήσεων fftshift, fft υπολογίστηκαν οι μετασχηματισμοί Fourier των παλμών και σχεδιάστηκε η φασματική πυκνότητα ενέργειας σε κλίμακα semilog (ημιλογαριθμική).

Η διαγραμματική αναπαράσταση της φασματικής πυκνότητας για διαφορετικές περιπτώσεις ακολουθεί



Σχήμα 2: Φασματική πυκνότητα ενέργειας σε για A=3



Σχήμα 3: Φασματική πυκνότητα ενέργειας σε για A=6

Α'.2 Μετατροπή δυαδικής σειράς σε 2-PAM

Το συγκεκριμένο ερώτημα βασίστηκε κατά πολύ στην προηγούμενη άσκηση. Αρχικά δημιουργήσαμε ανεξάρτητα και ισοπίθανα bits χρησιμοποιώντας την συνάρτηση bits to 2PAM από την προηγούμενη άσκηση για να απεικονίσουμε τα bits σε σύμβολα X_n . Τέλος, έπρεπε βάσει της εξίσωσης

$$X(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n * \phi(t - nT)$$

να μετατοπιστούν κατάλληλα οι συναρτήσεις ϕ που είχαμε δημιουργήσει στο Α.1 ερώτημα για να δημιουργηθεί το τελικό ζητούμενο σήμα.

```
%A.2
%create demanded bits
N_bits = 100;
%Create n bits series
b = (sign(randn(N_bits,1))+1)/2;

X = bits_to_2PAM(b); % the demanded decoding

T_plot = 0:Ts:N_bits-Ts;%Time will cover from 0 until time of N symbol
X_delta = 1/Ts * upsample(X,over);

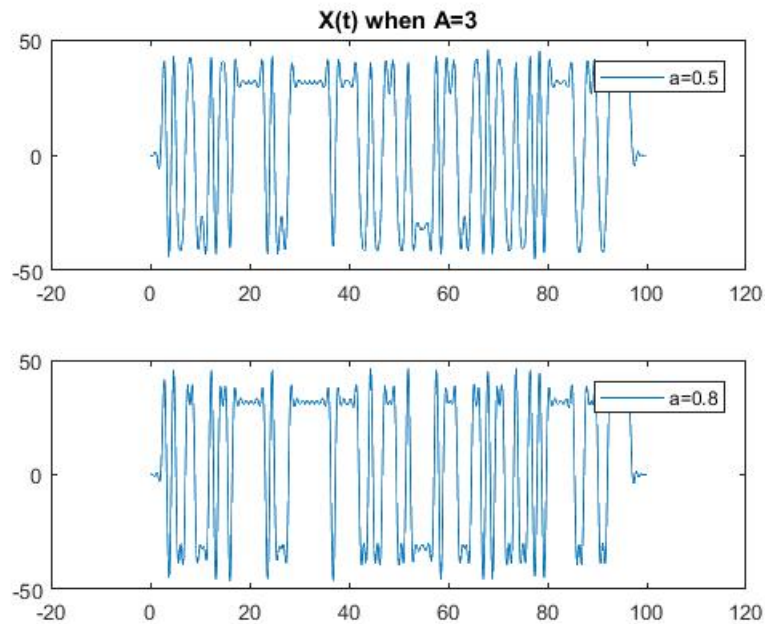
X_delta_conv = conv(X_delta, phi)*Ts;
X_delta_convb = conv(X_delta, phib)*Ts;
X_delta_convc = conv(X_delta, phic)*Ts;
X_delta_convd = conv(X_delta, phid)*Ts;

t_conv = linspace(T_plot(1)+t(1), T_plot(end)+t(end),length(X_delta_conv));%generates length(X_delta_conv) p
t_convb = linspace(T_plot(1)+tb(1), T_plot(end)+tb(end),length(X_delta_convb));
t_convc = linspace(T_plot(1)+tc(1), T_plot(end)+tc(end),length(X_delta_convc));
t_convd = linspace(T_plot(1)+td(1), T_plot(end)+td(end),length(X_delta_convd));

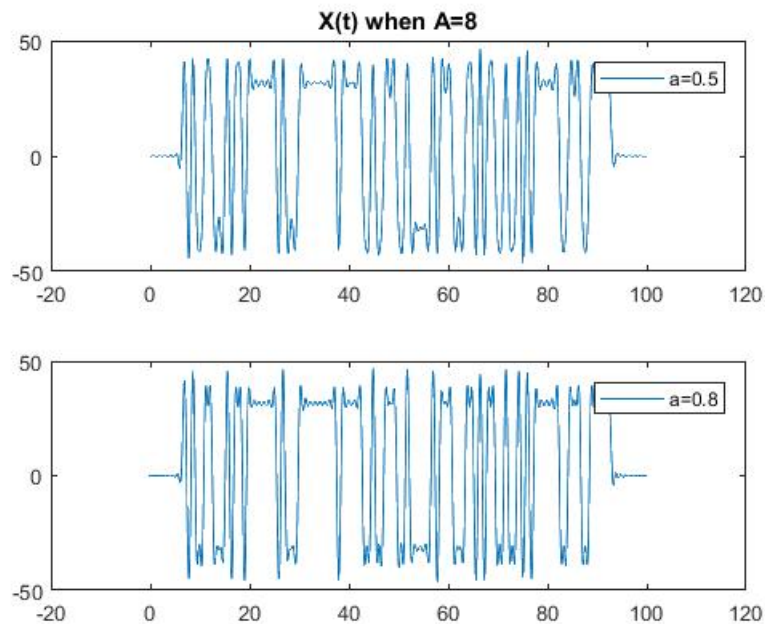
Sx = (var(X_delta_conv)/T).*spectrum_f;
Sxb = (var(X_delta_convb)/T).*spectrumb_f;
Sxc = (var(X_delta_convc)/T).*spectrumc_f;
Sxd = (var(X_delta_convd)/T).*spectrumd_f;
```

Σχήμα 4: Κώδικας μέρους Α.2

Οι διάφορες Sx που υπάρχουν στον κώδικα χρειάζονται στην συνέχεια της άσκησης.



Σχήμα 5: Κυματομορφές μέρους A.2 όταν $A=3$



Σχήμα 6: Κυματομορφές μέρους A.2 όταν $A=8$

Παρατηρώντας σε σχέση με την αρχική κυματομορφή ο παράγοντας roll-off επηρεάζει αναλογικά το πόσο απότομα μειώνεται η τιμή των λοβών ενώ δεν υπάρχει εύκολα αντιληπτή διαφορά για την διαφοροποίηση του A .

Α'.3 Υπολογισμός περιοδογράμματος και φασματικής πυκνότητας ισχύος για κωδικοποίηση 2 PAM

Η κατανομή ισχύος στο πεδίο της συχνότητας απεικονίζεται μέσω του περιοδογράμματος. Σε αυτό το σημείο ζητήθηκαν διαφορετικές υλοποιήσεις του περιοδογράμματος για γίνει κατανοητή η μορφή του.

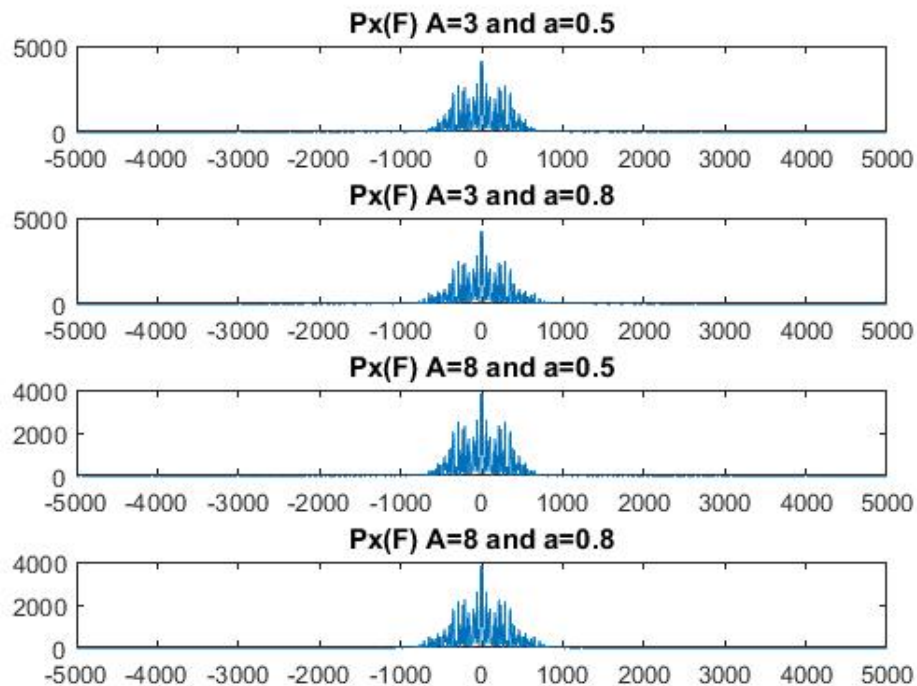
```
%A.3.a
T_total = length(t_conv)*T;
T_totalb = length(t_convb)*T;
T_totalc = length(t_convc)*T;
T_totald = length(t_convd)*T;

PXF = ((abs(fftshift(fft(X_delta_conv,N))).^2)*Ts)./T_total;
PXFb = ((abs(fftshift(fft(X_delta_convb,N))).^2)*Ts)./T_totalb;
PXFc = ((abs(fftshift(fft(X_delta_convc,N))).^2)*Ts)./T_totalc;
PXFd = ((abs(fftshift(fft(X_delta_convd,N))).^2)*Ts)./T_totald;
%PXF = FX./T_total;

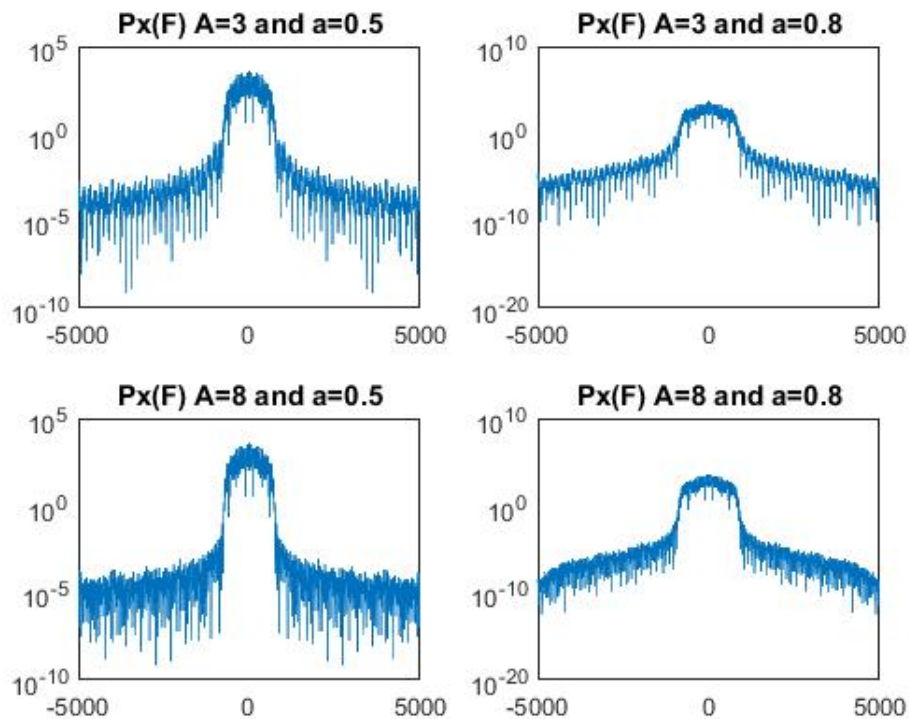
figure;
```

Σχήμα 7: Ενδεικτικός κώδικας μέρους Α.3

Ακολουθούν οι κυματομορφές για τις διαφορετικές υλοποιήσεις αρχικά με χρήση της συνάρτησης plot από την matlab και έπειτα με την χρήση της semilogy



Σχήμα 8: Κυματομορφές μέρους Α.3 με χρήση plot



Σχήμα 9: Κυματομορφές μέρους A.3 με χρήση semilogy

Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει το A τόσο αυξάνεται ο ρυθμός δειγματοληψίας.

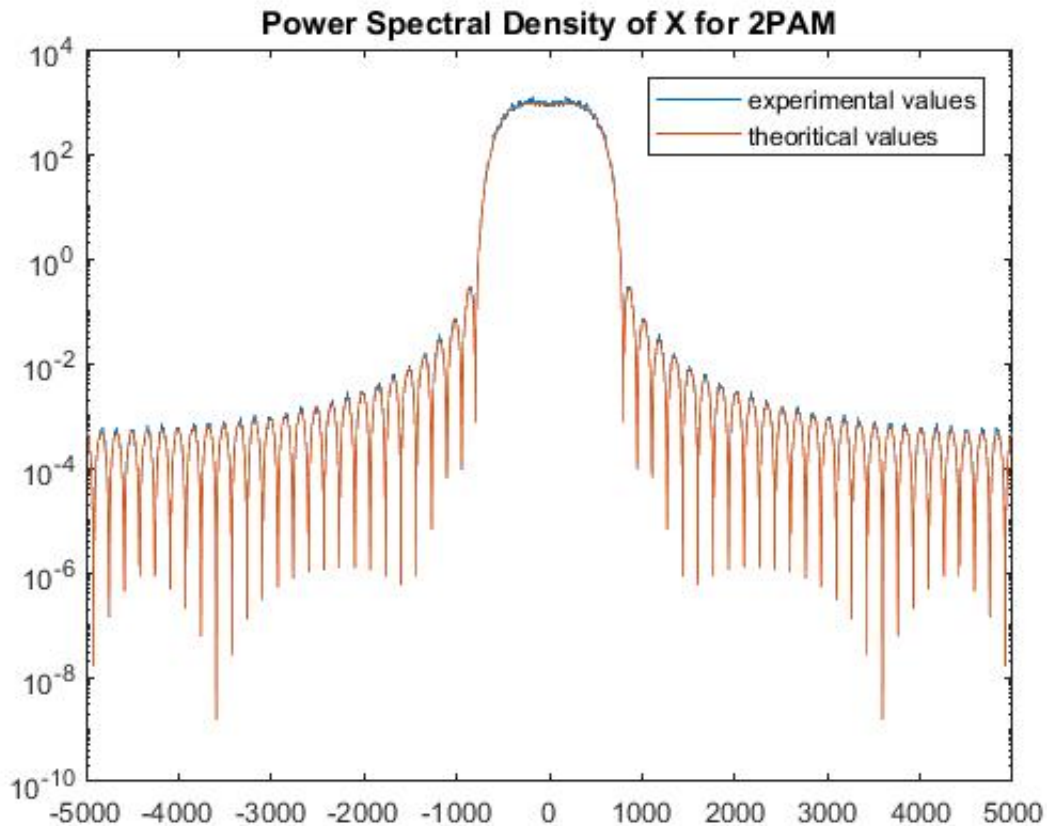
Εν συνεχεία, υπολογίζουμε πειραματικά την φασματική πυκνότητα ισχύος ενώ από το A.2 ερώτημα είχε υπολογιστεί η θεωρητική τιμή της. Σε αυτό το ερώτημα χρησιμοποιήσαμε μια συγκεκριμένη ϕ με τις τιμές που δόθηκαν από την εκφώνηση και όχι κάποια από τις τυχαίες που δημιουργήθηκαν.

```
%A.3.b
reps = 100;
for n = 1:reps
    b = (sign(randn(N_bits,1))+1)/2; %generate different symbols
    X1 = bits_to_2PAM(b); % the demanded decoding
    X_delta = 1/Ts * upsample(X1,over);
    X_delta_conv1 = conv(X_delta, phi)*Ts;
    PFX_keep(n,:) = ((abs(fftshift(fft(X_delta_conv1,N))))).^2)./T_total;
end

PSD_exp = sum(PFX_keep, 1)*Ts./reps;
```

Σχήμα 10: Ενδεικτικός κώδικας μέρους A.3

Η κυματομορφή που ακολουθεί είναι ημιλογαριθμικής κλίμακας με την θεωρητική και την πειραματική προσέγγιση να περιλαμβάνονται.



Σχήμα 11: Φασματική πυκνότητα ισχύος πειραματική και θεωρητική προσέγγιση

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ουσιαστικά η πειραματική προσέγγιση "πατάει" στην θεωρητική με κάποια μικρή κυμάτωση. Όσο αυξάνονται οι επαναλήψεις του πειράματος η μέση τιμή θα προσεγγίζει την ιδανική-θεωρητική προσέγγιση. Σε θεωρητικό επίπεδο επίσης λαμβάνουμε υπόψιν ότι τα σύμβολα είναι άπειρα. Άρα με την αύξηση του N τα αποτελέσματα είναι πιο κοντά στο ιδανικό. Στο πειραματικό σκέλος όμως παρατηρήθηκε ότι μετά από αύξηση των συμβόλων βελτιώθηκε περισσότερο η προσέγγιση σε σχέση με την αύξηση των επαναλήψεων.

Α'.4 Υπολογισμός περιοδογράμματος και φασματικής πυκνότητας ισχύος για κωδικοποίηση 4 PAM

Στο συγκεκριμένο ερώτημα ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με τα ερωτήματα Α.2 και Α.3. Η διαφορά στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν στην χρήση της συνάρτησης bits to 4 PAM. Ο ρόλος της συνάρτησης αυτής είναι στην μετατροπή ακολουθίας από bits σε +3,+1,-1,-3. Ο υπόλοιπος κώδικας του ερωτήματος είναι ουσιαστικά ίδιος γι'αυτό και παρακάτω απεικονίζεται μόνο η καινούργια συνάρτηση.


```

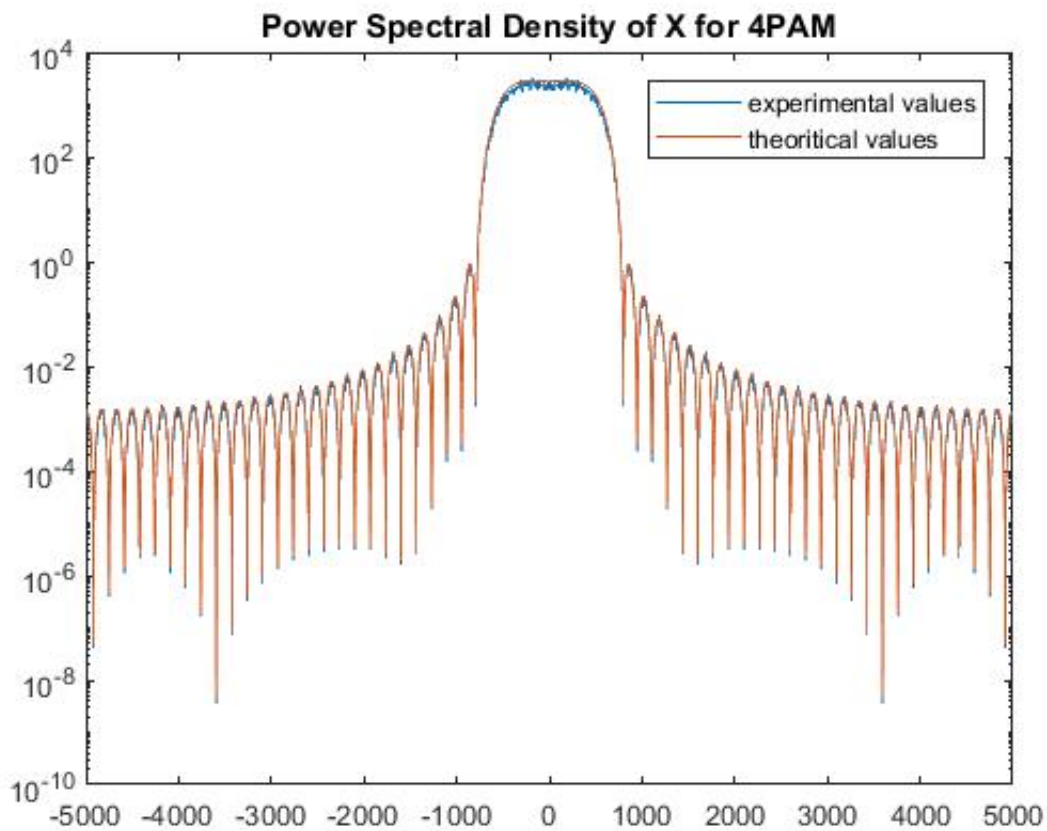
%This function takes a sequence of n bits and transforms it into 4PAM
%signal
function [S] = bits_to_4PAM(b)

%every time we check a pair of numbers
for k=1:2:length(b)
    if b(k)==0 && b(k+1)==0
        S(k) = 3;
    elseif(b(k)==0 && b(k+1)==1)
        S(k)=1;
    elseif(b(k)==1 && b(k+1)==1)
        S(k)=-1;
    elseif(b(k)==1 && b(k+1)==0)
        S(k)=-3;
    else
        disp('Error')
        return
    end
end
end

```

Σχήμα 12: Ενδεικτικός κώδικας bits to 4 PAM

Ακολουθεί όπως το προηγούμενο ερώτημα κυματομορφή ημιλογαριθμικής κλίμακας με την θεωρητική και την πειραματική προσέγγιση να περιλαμβάνονται.



Σχήμα 13: Φασματική πυκνότητα ισχύος πειραματική και θεωρητική προσέγγιση

Συγκρίνοντας με τις φασματικές πυκνότητες ισχύος των υλοποιήσεων 4 PAM και 2 PAM βλέπουμε ότι

το εύρος φάσματος είναι το ίδιο το οποίο οφείλεται στην χρήση της ίδιας συνάρτησης με καθορισμένο εύρος φάσματος. Αναφορικά με το πλάτος είναι μεγαλύτερο στην περίπτωση του 4 PAM. Αυτό οφείλεται στην κωδικοποίηση με την 4 PAM να χρειάζεται περισσότερη ισχύ για να στείλει σύμβολα αφού η αναγωγή του πλάτους αντιστοιχεί σε τιμή τάσης V

Α'.5 Υπολογισμός περιοδογράμματος και φασματικής πυκνότητας ισχύος για διπλάσια περίοδο συμβόλου

Το συγκεκριμένο ερώτημα αποτελεί και πάλι επανάληψη των προηγούμενων ερωτημάτων με την διαφορά ότι διαφοροποιούμε την τιμή της T ώστε $T' = 2T$. Αυτό όμως συνεπάγεται στην δημιουργία νέων σημάτων με καινούργιο T και καινούργιων περιοδογραμμάτων. Ακολουθεί ενδεικτικός κώδικας

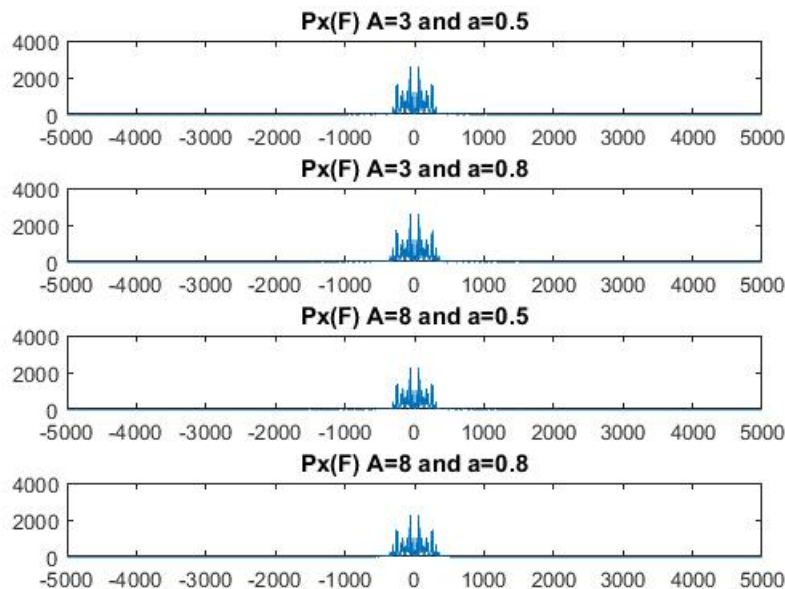
```
%A.5
Tt = 2*T; %as requested
%create new signals for new time
[phi,t] = srrc_pulse(Tt, Ts, A, a);
[phib,tb] = srrc_pulse(Tt, Ts, A, 0.8);
[phic,tc] = srrc_pulse(Tt, Ts, 8, a);
[phid,td] = srrc_pulse(Tt, Ts, 8, 0.8);

PHI_f = fftshift(fft(phi,N)*Ts); %Fourier for phi function
PHIB_f = fftshift(fft(phib,N)*Ts); %Fourier for phi function
PHIC_f = fftshift(fft(phic,N)*Ts); %Fourier for phi function
PHID_f = fftshift(fft(phid,N)*Ts); %Fourier for phi function

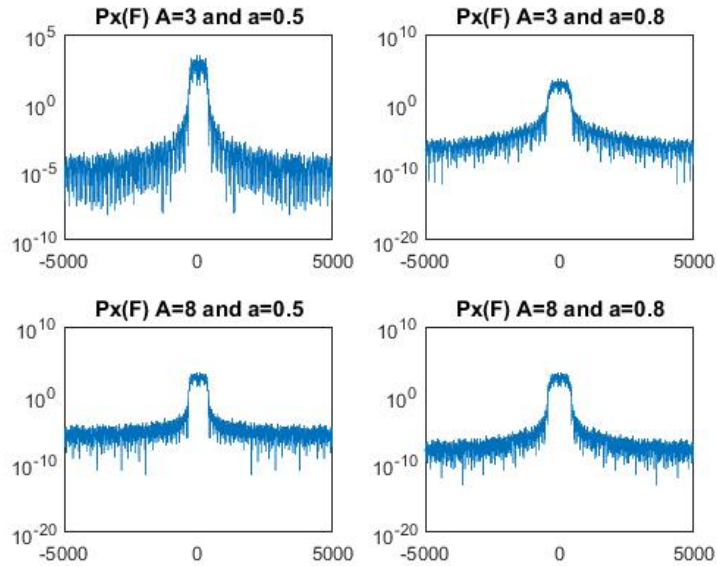
spectrum_f = abs(PHI_f).^2;
spectrumb_f = abs(PHIB_f).^2;
spectrumc_f = abs(PHIC_f).^2;
spectrumd_f = abs(PHID_f).^2;
```

Σχήμα 14: Ενδεικτικός κώδικας ερωτήματος Α.5

Έτσι προκύπτουν οι νέες κυματομορφές των περιοδογραμμάτων σε κλίμακα plot και σε κλίμακα semilog



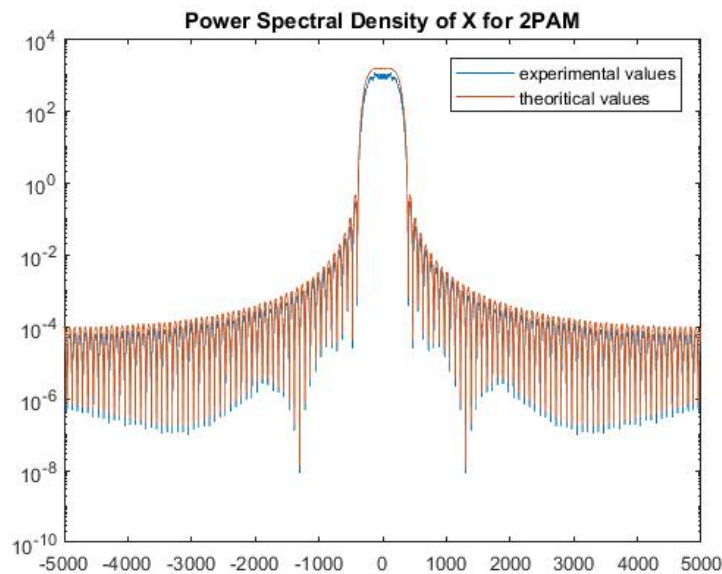
Σχήμα 15: Κυματομορφές μέρους Α.5 με χρήση plot



Σχήμα 16: Κυματομορφές μέρους Α.5 με χρήση semilogy

Συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα του ερωτήματος Α.3 η ισχύς παρατηρείται στο μισό εύρος από αρχικά το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς διπλασιάζοντας την περίοδο συμβόλου, υποδιπλασιάζεται το εύρος φάσματος όπως προκύπτει και από θεωρία $W = (1 + a)/2T$. Αυξημένος παρατηρείται επίσης και ο ρυθμός δειγματοληψίας με την διαφορά να είναι αισθητή παρατηρώντας μόνο τις κυματομορφές των δύο ερωτημάτων.

Ακολουθεί η κυματομορφή της θεωρητικής και πειραματικής προσέγγισης της φασματικής πυκνότητας ισχύος σε ημιλογαριθμική κλίμακα.



Σχήμα 17: Φασματική πυκνότητα ισχύος πειραματική και θεωρητική προσέγγιση με διπλάσιο ρυθμό αποστολής συμβόλου

Α'.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Α'.6.1 Αν θέλατε να στείλετε δεδομένα όσο το δυνατό ταχύτερα έχοντας διαθέσιμο το ίδιο εύρος φάσματος, θα επιλέγατε 2-PAM ή 4-PAM, και γιατί;

Υποθέτοντας, ότι τα σύμβολα έρχονται με τον ίδιο ρυθμό T θα επιλέγαμε την 4-PAM. Η 4-PAM μεταφέρει δυο bits ανά σύμβολο και στο ίδιο bandwidth μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα ταχύτερα. Υπάρχει όμως αύξηση της επεξεργαστικής ισχύς που χρειάζονται πομπός και δέκτης για να επιτευχθεί επικοινωνία. Αν όμως υποθέσουμε ότι η επεξεργασία σήματος είναι αμελητέα ταχύτερα στέλνονται τα μηνύματα με την 4-PAM διαμόρφωση

Α'.6.2 Αν το διαθέσιμο εύρος φάσματος είναι πολύ ακριβό, θα επιλέγατε περίοδο συμβόλου T ή $T'=2T$, και γιατί

Επιλέγουμε $T' = 2T$ αφού όπως είδαμε και από τα προηγούμενα ερωτήματα το bandwidth περιορίζεται(υποδιπλασιάζεται) στην συγκεκριμένη περίπτωση. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια ότι απαιτείται αυξημένη ενέργεια για να γίνει επιτυχής μετάδοση.