

ΗΜΜΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΗΛ 301-ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ι

ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2017-2018

Εργαστηριακή Άσκηση 1

Φοιτητής
ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ
ΑΜ:2015030064

Διδάσκων
Α. ΛΙΑΒΑΣ



Technical
University
of Crete

Περιεχόμενα

A' Μοντελοποίηση αποκομμένων παλμών SRRC	2
A'.1 Κατασκευή παλμών SRRC για διαφορετικό Roll off	2
A'.2 Φασματική πυκνότητα ισχύος παλμών	3
A'.3 Εύρος φάσματος παλμών	5
B' Ορθοκανονικότητα παλμών	7
B'.1 Δημιουργία καθυστερημένων παλμών και υπολογισμός γινομένου και ολοκληρώματος .	7
Γ' Σύστημα διαμόρφωσης 2-PAM	9
Γ'.1 Δημιουργία N-bits δυαδικών συμβόλων	9
Γ'.2 Υλοποίηση 2-PAM	9

Α' Μοντελοποίηση αποκομμένων παλμών SRRC

Α'.1 Κατασκευή παλμών SRRC για διαφορετικό Roll off

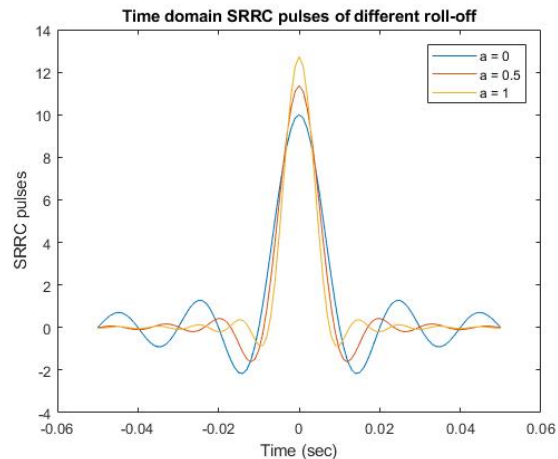
Ξεκινώντας δημιουργήθηκαν οι ζητούμενοι παλμοί SRRC από έτοιμη συνάρτηση που δόθηκε στην εκφώνηση χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους $T=1$, $T_s = \frac{1}{over}$, $over=10$, $A=5$ ενώ ο συντελεστής roll off έπαιρνε διαφορετικές τιμές ($\alpha = 0, 0.5, 1$). Έπειτα δημιουργήσαμε σε κοινό plot τους διαφορετικούς παλμούς για να πραγματοποιήσουμε τις απαραίτητες συγκρίσεις. Παρακάτω παρατίθεται ο σχετικός κώδικας του ερωτήματος και η γραφική που προέκυψε.

```
%Part A
%A.1
T = 10.^-2;
over = 10;
Ts = T/over;
A = 5;

%roll-off a for a = 0 0.5 1
[phiA,tA] = srro_pulse(T, Ts, A, 0);
[phiB,tB] = srro_pulse(T, Ts, A, 0.5);
[phiC,tC] = srro_pulse(T, Ts, A, 1);

figure(1);
%property DisplayName can be used to show described labels
plot(tA, phiA, 'DisplayName', 'a = 0');
hold on; %used for multiple plots and not delete the old ones
plot(tB, phiB, 'DisplayName', 'a = 0.5');
plot(tC, phiC, 'DisplayName', 'a = 1');
legend('show'); %visibility of legend
```

Σχήμα 1: Κώδικας μέρους Α.1



Σχήμα 2: Κοινό plot παλμών

Μετά την απεικόνιση των παλμών μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το α παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική μορφή των γραφικών με το μέγιστο πλάτος των παλμών να αυξάνεται με την τιμή του α (το μέγιστο πλάτος συναντάται όταν $\alpha = 1$). Επιπροσθέτως, η ταλάντωση που πραγματοποιούν τα σήματα είναι φθίνουσα σε κάθε περίπτωση ενώ όσο μεγαλύτερη η τιμή του α τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσβεση των καμπυλών.

Α'.2 Φασματική πυκνότητα ισχύος παλμών

Στο συγκεκριμένο ερώτημα υπολογίσαμε τους μετασχηματισμούς Fourier των προηγούμενων παλμών με την χρήση των συναρτήσεων της Matlab `fft-fftshift` στον κατάλληλο άξονα συχνοτήτων που δίνεται και πάλι από την εκφώνηση $[-F_s/2, F_s/2)$. Αξίζει να σημειωθεί ότι για λόγους κανονικοποίησης πραγματοποιήθηκε πολλαπλασιασμός με T_s σε κάθε μετασχηματισμό Fourier ενώ το N που επιλέχτηκε για τα δείγματα στο πεδίο της συχνότητας ήταν δύναμη του 2 για την αποτελεσματικότερη εκτέλεση του αλγόριθμου της Matlab. Στα σχήματα 4 και 5 που ακολουθούν παρουσιάζεται η φασματική πυκνότητα ενέργειας των παλμών σε κανονική κλίμακα (χρήση `plot`) και σε ημιλογαριθμική (χρήση `semilogy`) αντίστοιχα ενώ στο κώδικα του σχήματος παρακάτω έχει παραλειφθεί η εμφάνιση του `semilogy` αφού το μόνο πράγμα που διαφοροποιείται σε σχέση με την `plot` είναι το όνομα της συνάρτησης που χρησιμοποιείται με τα ίδια πεδία.

```
%A.2
Fs = 1/Ts; %Ts is the sampling period so Fs is the sampling frequency
N = 4096; %length of signal(it is more effective when power of 2)

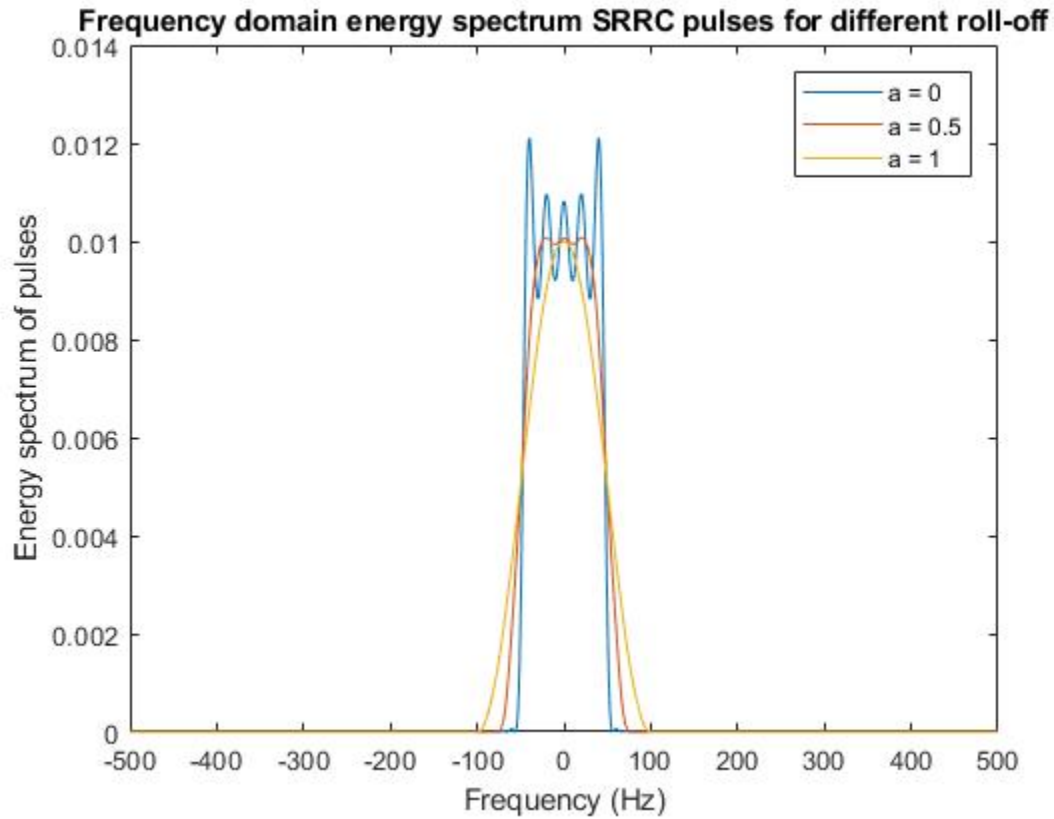
PHIA_f = fftshift(fft(phiA,N)*Ts); %Fourier for each function
PHIB_f = fftshift(fft(phiB,N)*Ts); %fftshift rearranges a Fourier transform X by shifting the zero-freq
PHIC_f = fftshift(fft(phiC,N)*Ts);

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

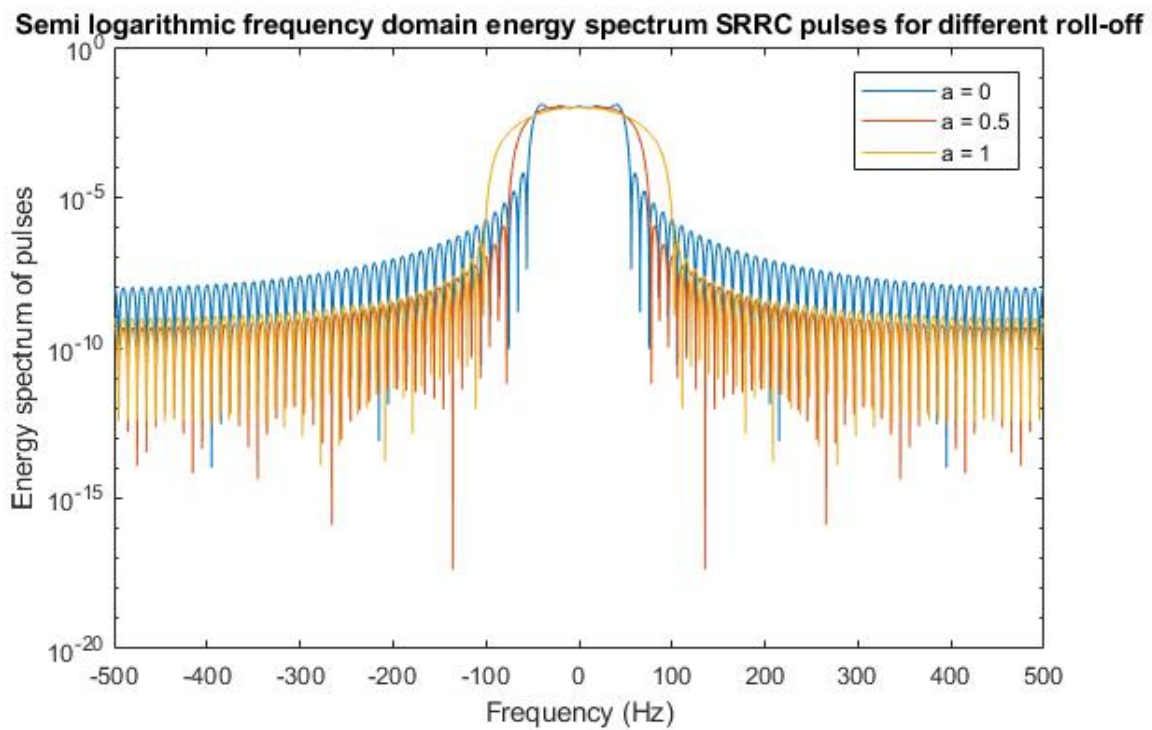
spectrum_A_f = abs(PHIA_f).^2;
spectrum_B_f = abs(PHIB_f).^2;
spectrum_C_f = abs(PHIC_f).^2;

%design using plot
figure(2);
plot(F, spectrum_A_f, 'DisplayName', 'a = 0');
hold on;
plot(F, spectrum_B_f, 'DisplayName', 'a = 0.5');
plot(F, spectrum_C_f, 'DisplayName', 'a = 1');
legend('show');
```

Σχήμα 3: Κώδικας μέρους Α.1



Σχήμα 4: Φασματική πυκνότητα ενέργειας σε plot



Σχήμα 5: Φασματική πυκνότητα ενέργειας σε semilogy

Α'.3 Εύρος φάσματος παλμών

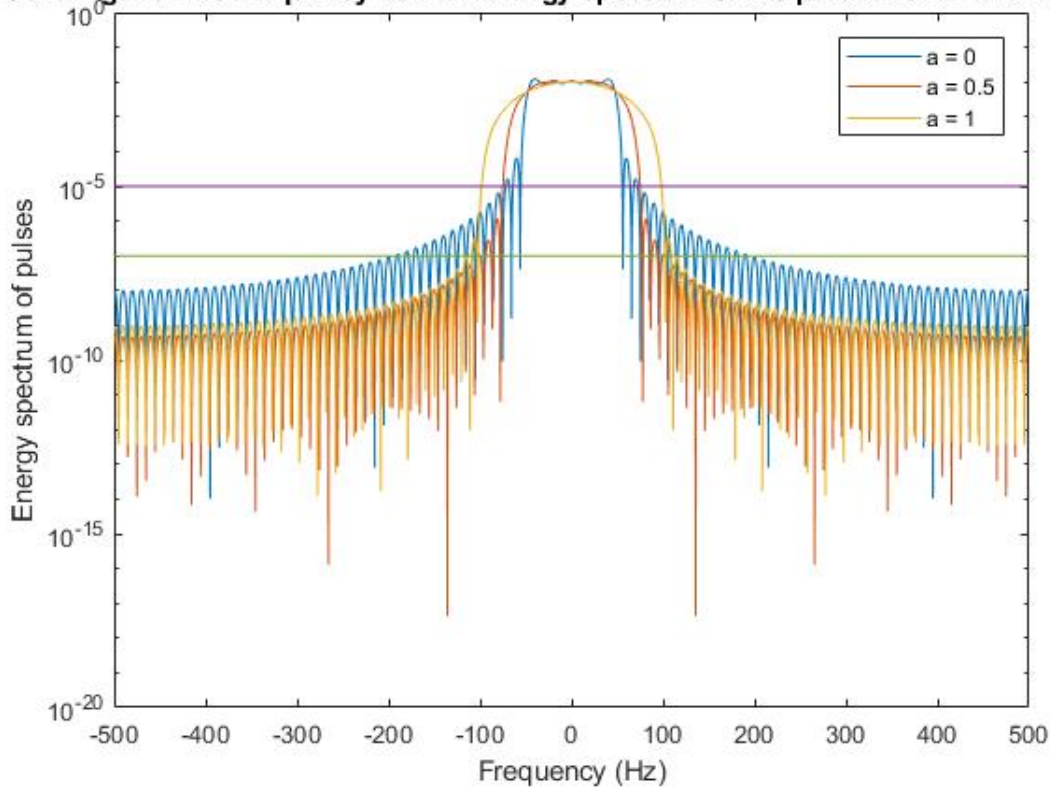
Το θεωρητικό εύρος φάσματος των άπειρης διάρκειας παλμών είναι $BW = \frac{1+a}{2T}$. Πραγματοποιώντας αντικατάσταση του τύπου με τα δεδομένα που προέκυψαν από την εκφώνηση προκύπτει ότι

Πίνακας 1: Πίνακας θεωρητικού εύρους φάσματος

α	BW
0	50
0.5	75
1	100

Γνωρίζουμε όμως, ότι στην πράξη οι αποκομμένοι παλμοί έχουν θεωρητικό άπειρο εύρος φάσματος και οφείλουμε να ορίσουμε πιο πρακτικά το εύρος φάσματος. Για αυτό τον λόγο σχεδιάζουμε μια οριζόντια γραμμή με τιμή $c = \frac{T}{10^3}$ θεωρώντας ότι οι τιμές που βρίσκονται κάτω από αυτή την γραμμή πρακτικά μηδέν.

Semi logarithmic frequency domain energy spectrum SRRC pulses for different roll-off



Σχήμα 6: Εύρος φάσματος

Από το σχήμα 6 και με την χρήση του zoom μπορούμε να υπολογίσουμε τα εξής

Πίνακας 2: Πίνακας εύρους φάσματος όταν $c = \frac{T}{10^3}$

α	BW
0	71
0.5	76
1	99

Αναφορικά με την απόδοση των παλμών θα ισχύει ότι αποδοτικότερος είναι ο παλμός με το μικρότερο δυνατό εύρος φάσματος. Επομένως σε αυτή την περίπτωση ο πιο αποδοτικός παλμός είναι για $\alpha=0$. Αν θεωρήσουμε αντιθέτως ότι η οριζόντια γραμμή έχει τιμή $c = \frac{T}{10^5}$ και πάλι από το σχήμα 6 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι

Πίνακας 3: Πίνακας εύρους φάσματος όταν $c = \frac{T}{10^5}$

α	BW
0	175
0.5	100
1	110

Σε αυτή την περίπτωση ο πιο αποδοτικός παλμός είναι για $\alpha=0.5$ και επομένως παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποιος παλμός που να είναι σίγουρα βέλτιστος ως προς το εύρος καθώς επηρεάζεται από την γραμμή που θα ορίσουμε ως μηδέν.

```
C = T/(10.^3);
C1 = T/(10.^5);

figure(4);
semilogy(F, spectrum_A_f, 'DisplayName', 'a = 0');
hold on;
semilogy(F, spectrum_B_f, 'DisplayName', 'a = 0.5');
semilogy(F, spectrum_C_f, 'DisplayName', 'a = 1');

semilogy(F, C*ones(length(F)), 'HandleVisibility', 'off');
semilogy(F, C1*ones(length(F)), 'HandleVisibility', 'off');
title('Semi logarithmic frequency domain energy spectrum SRRC pulses for different roll-off');
```

Σχήμα 7: Κώδικας μέρους A.3

Β' Ορθοκανονικότητα παλμών

Β.1 Δημιουργία καθυστερημένων παλμών και υπολογισμός γινομένου και ολοκληρώματος

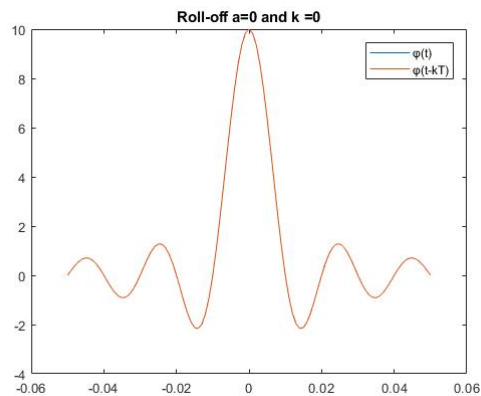
Ακολουθώντας τις οδηγίες της εκφώνησης σχεδιάστηκαν αρχικά σε κοινό plot οι παλμοί $f(t)$ και $f(t - kT)$ για όλες τις περιπτώσεις. Επειδή αρχικά ζητήθηκε απλή απεικόνιση των παλμών χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας των προηγούμενων ερωτημάτων και έγινε μια απλή μετατόπιση στον χρόνο δεξιά κατά kT όπως φαίνεται και παρακάτω

```
for k=0:1
    % just design phi(t-kT) for k=0,1 and a=0,0.5,1
    figure
    plot(tA,phiA,'DisplayName','φ(t)');
    hold on;
    plot(tA+k*T,phiA, 'DisplayName','φ(t-kT)');% we compute tA+k*T because we want to shift the signal to the right
    title(['Roll-off a=0 and k =' num2str(k)]);
    hold off;
    legend('show');

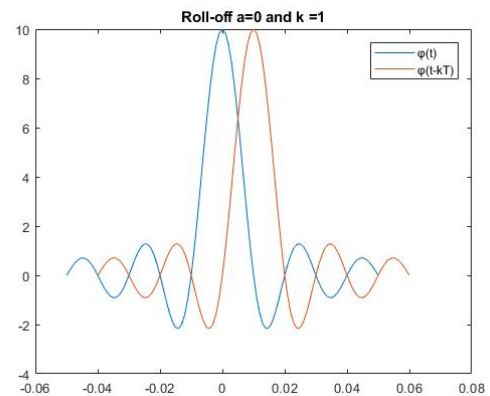
    figure
    plot(tB,phiB, 'DisplayName','φ(t)');
    hold on;
    plot(tB+k*T,phiB, 'DisplayName','φ(t-kT)');
    title(['Roll-off a=0.5 and k =' num2str(k)]);
    hold off;
    legend('show');
```

Σχήμα 8: Ενδεικτικός κώδικας μέρους Β.1.1

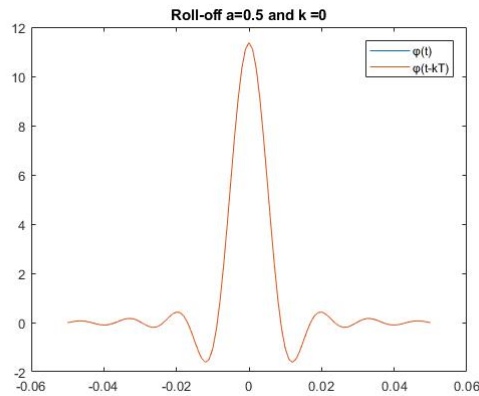
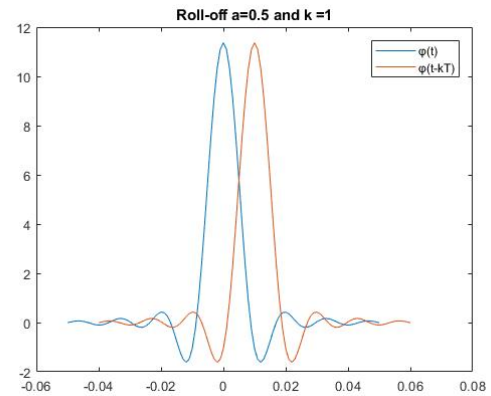
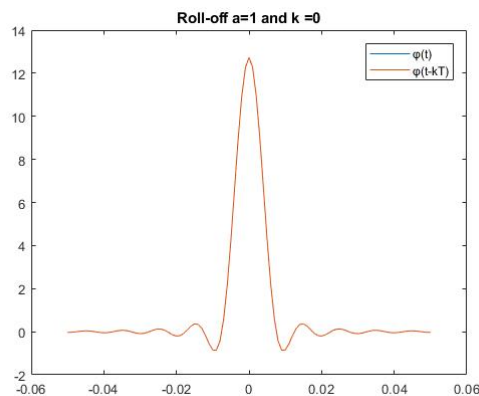
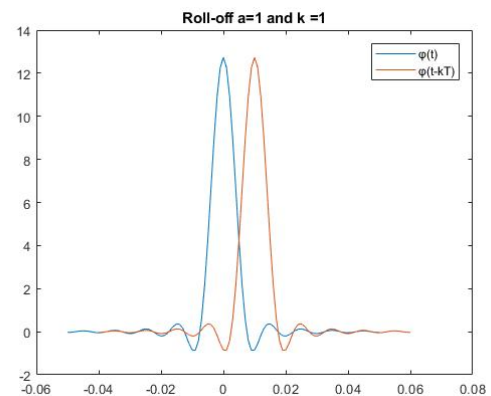
Όλες οι γραφικές του ερωτήματος ακολουθούν στα σχήματα 9-14



Σχήμα 9: Γραφική για $\alpha=0$ και $k=0$



Σχήμα 10: Γραφική για $\alpha=0$ και $k=1$

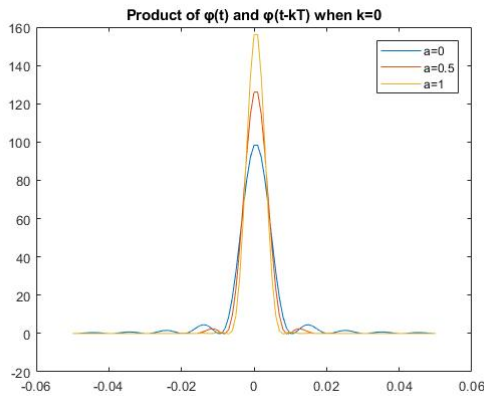
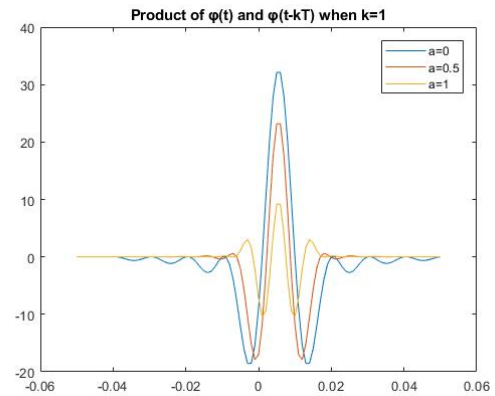
Σχήμα 11: Γραφική για $\alpha=0.5$ και $\kappa=0$ Σχήμα 12: Γραφική για $\alpha=0.5$ και $\kappa=1$ Σχήμα 13: Γραφική για $\alpha=1$ και $\kappa=0$ Σχήμα 14: Γραφική για $\alpha=1$ και $\kappa=1$

Στην συνέχεια του ερωτήματος ζητήθηκε το γινόμενο των παλμών $f(t)$ και $f(t - kT)$. Σε αυτή την περίπτωση έπρεπε στον κώδικα να τοποθετήσουμε μηδενικά στην αρχή της κάθε $f(t)$ μέχρι το kT με βήμα Ts και να αποκόψουμε αντίστοιχα από το τέλος του

```
for k=0:1
    figure
    phiA_kT=[zeros(1,length(0:Ts:k*T)) phiA(1:end-length(0:Ts:k*T))];
    phiA_prod = phiA.*phiA_kT;
    plot(tA,phiA_prod, 'DisplayName','a=0');
    phiA_integ(k+1) = sum(phiA_prod)*Ts;
```

Σχήμα 15: Ενδεικτικός κώδικας μέρους B.1.2

Τέλος, υπολογίσαμε για $\kappa=0$ και $\kappa=1$ το ολοκλήρωμα του γινομένου με τιμές

Σχήμα 16: Γινόμενο όταν $\kappa=0$ Σχήμα 17: Γινόμενο όταν $\kappa=1$

Πίνακας 4: Τιμές ολοκληρώματος γινομένου

Integral	$\kappa=0$	$\kappa=1$
fA	0,9644	-0,0680
fB	0,9813	-0,0667
fC	0,9745	-0,0222

Από την θεωρία αναμέναμε για την ορθοκανονικότητα πρέπει το εμβαδόν να είναι ίσο με 1. Παρατηρείται λοιπόν, ότι για $k = 0$ ικανοποιείται η συγκεκριμένη ιδιότητα με πολύ μικρή απόκλιση με την προσέγγιση να βελτιώνεται όσο αυξάνεται το a

Γ' Σύστημα διαμόρφωσης 2-PAM

Γ'.1 Δημιουργία N-bits δυαδικών συμβόλων

Σε αυτό το ερώτημα απλά πραγματοποιήθηκε η δημιουργία μια σειράς δυαδικών συμβόλων μέσω της εντολής $b = (\text{sign}(\text{rand}(N, 1)) + 1)/2$ που δινόταν από την εκφώνηση. Σκοπός ήταν η δημιουργία μιας κατανομής που να αποτελείται από 0 και 1 για να παράγουμε στην συνέχεια ακολουθία 2-PAM

Γ'.2 Υλοποίηση 2-PAM

Μετά από την δημιουργία του b υλοποιήσαμε την συνάρτηση που ακολουθεί

```

%This function takes a sequence of n bits and transforms it into 2PAM
%signal
function [S] = bits_to_2PAM(b)
%Determine final length of S (Warning otherwise)
S = 1:length(b);

for n=1:length(b)
    if b(n)==0
        S(n) = +1;
    elseif b(n)==1
        S(n) = -1;
    else
        disp('Error: Not a binary was given');
        return;
    end
end
end

```

Σχήμα 18: Κώδικας συνάρτησης C.2.a

Η συνάρτηση παίρνει ως όρισμα την ακολουθία b και παράγει έξοδο ακολουθία συμβόλων με την απεικόνιση 2-PAM στην οποία ισχύει ότι όταν είσοδος 0 η έξοδος είναι +1 ενώ όταν είσοδος 1 η έξοδος είναι -1

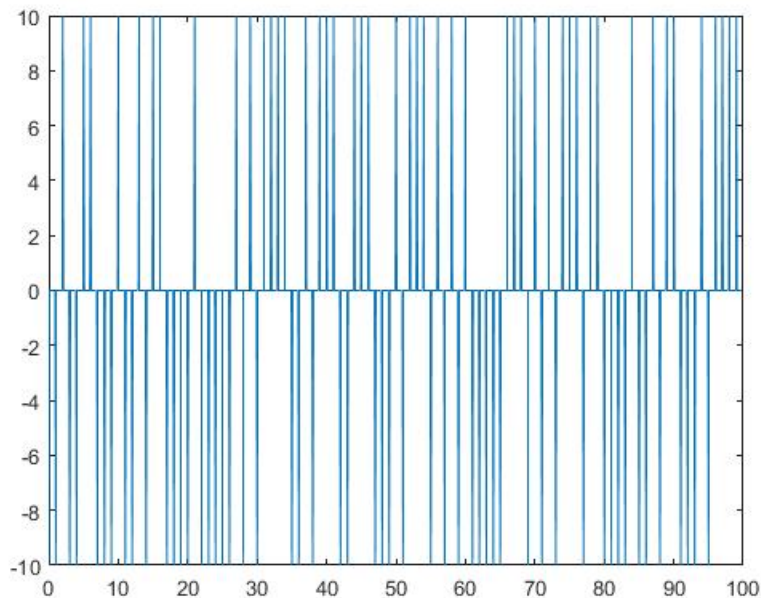
Εν συνεχεία, μας ζητήθηκε η προσομοίωση ενός σήματος $X_d(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k * d(t - kT)$ μέσω της εντολής $X_{\text{delta}} = 1/T_s * \text{upsample}(X, \text{over})$. Η μόνη ουσιαστική παραμετροποίηση που απαιτήθηκε ήταν ο άξονας του χρόνου

```

%C.2.b
T_plot = 0:T_s_C:N_bits-T_s_C;%Time will cover from 0 until time of N symbol
X_delta = 1/T_s_C * upsample(X,over);
figure(9);
plot(T_plot,X_delta);

```

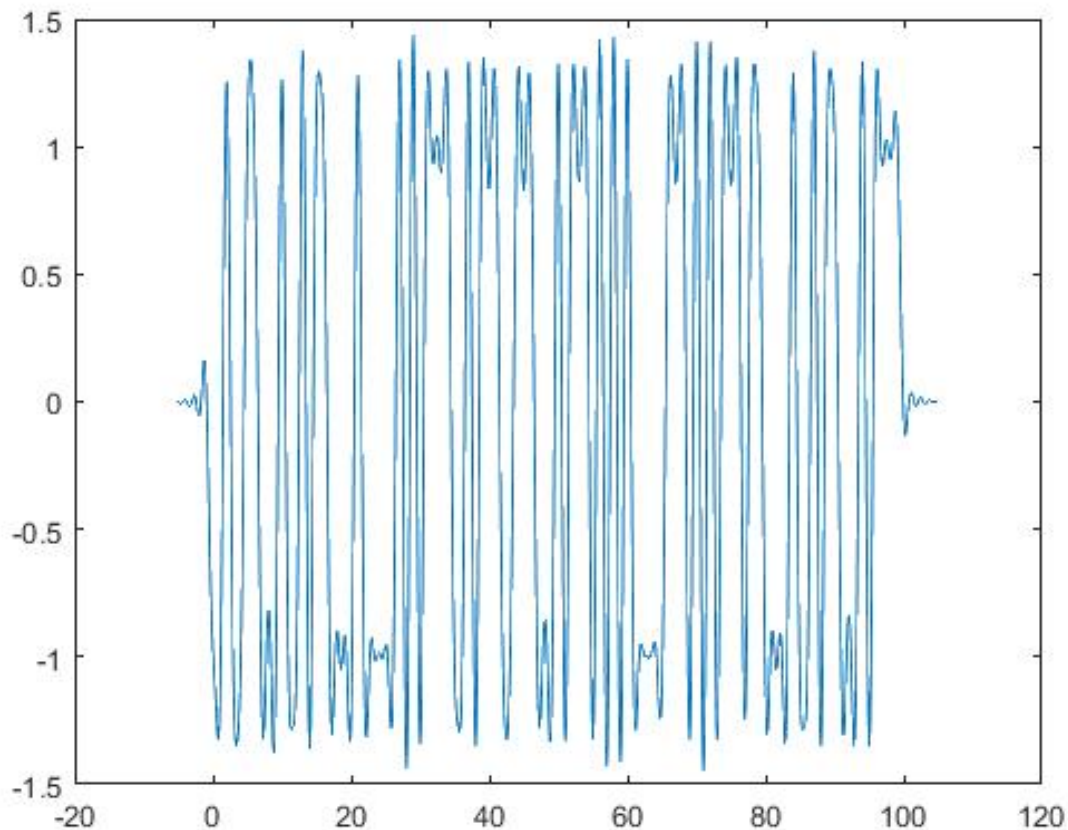
Το συγκεκριμένο σήμα απεικονίζεται στο σχήμα 19

Σχήμα 19: Απεικόνιση σήματος X_d

Ο υπολογισμός της συνέλιξης του σήματος με μια συνάρτηση φ ήταν το επόμενο ζητούμενο της άσκησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η φ έπρεπε να οριστεί ξανά και δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί έτοιμη από τα πρώτα ερωτήματα καθώς άλλαξε η τιμή του T που την επηρεάζει. Ο άξονας του χρόνου κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας την `linspace` παίρνοντας δείγματα όσο το μήκος της συνέλιξης.

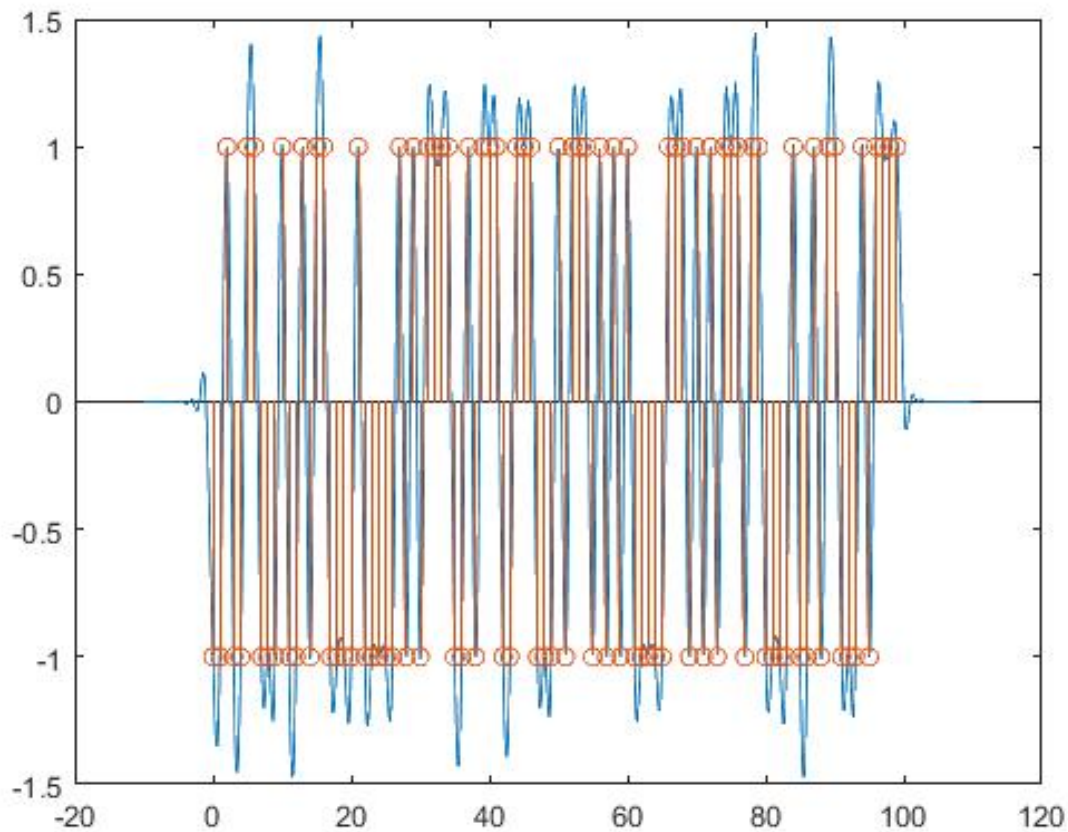
```
figure
[phiB_CC,tB_CC] = srroc_pulse(TC, T_s_C, A, 0.5);
X_delta_conv = conv(X_delta, phiB_CC)*T_s_C;
t_conv = linspace(T_plot(1)+tB_CC(1), T_plot(end)+tB_CC(end),length(X_delta_conv));%generates length(X_delta_conv) points
plot(t_conv,X_delta_conv);
```

Το γραφικό αποτέλεσμα της συνέλιξης ακολουθεί στο σχήμα 20



Σχήμα 20: Συνέλιξη $X(t)$

Τέλος ζητήθηκε η προσομοίωση της συνέλιξης $Z(t)$ όπου είναι ίδια με το προηγούμενο ερώτημα με την διαφορά ότι το σήμα $X(t)$ συνελίσσεται με το $\varphi(-\tau)$ και η σύγκριση των τιμών $Z(kT)$ με Xk με την εντολή `stem([0 : N - 1] * T, X)`. Η γραφική που προκύπτει είναι η εξής



Σχήμα 21: Συνέλιξη $Z(t)$ και η σύγκριση με Xk

Το αποτέλεσμα του σχήματος 21 ήταν αναμενόμενο με την φ να είναι ορθοκανονική όπως αποδείχτηκε από το προηγούμενο ερώτημα και επομένως το αποτέλεσμα της συνέλιξης ήταν ίδιο ενώ με την δειγματοληψία επαληθεύσαμε από το πλάτος ότι η δειγματοληψία είναι σωστή

```
%C.2.d
figure
phiB_C = phiB_CC(end:-1:1);%reverse signal
tB_CCC = -tB_CC(end):T_s_C:-tB_CC(1);
Z = conv(X_delta_conv, phiB_C)*T_s_C;
t_Z= linspace(t_conv(1)+tB_CCC(1), t_conv(end)+tB_CCC(end),length(Z));%generates length(X_delta_conv) points
plot(t_Z,Z);
hold on;
stem([0:N_bits-1]*TC,X);
```

Σχήμα 22: Κώδικας μέρους C.2.d