

30/10/2019

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ι

ΑΣΚΗΣΗ 1

Περάκης Εμμανουήλ (ΑΜ: 2017030099)
Γεωργακάς Ιωάννης-Ιάσων (ΑΜ: 2017030021)

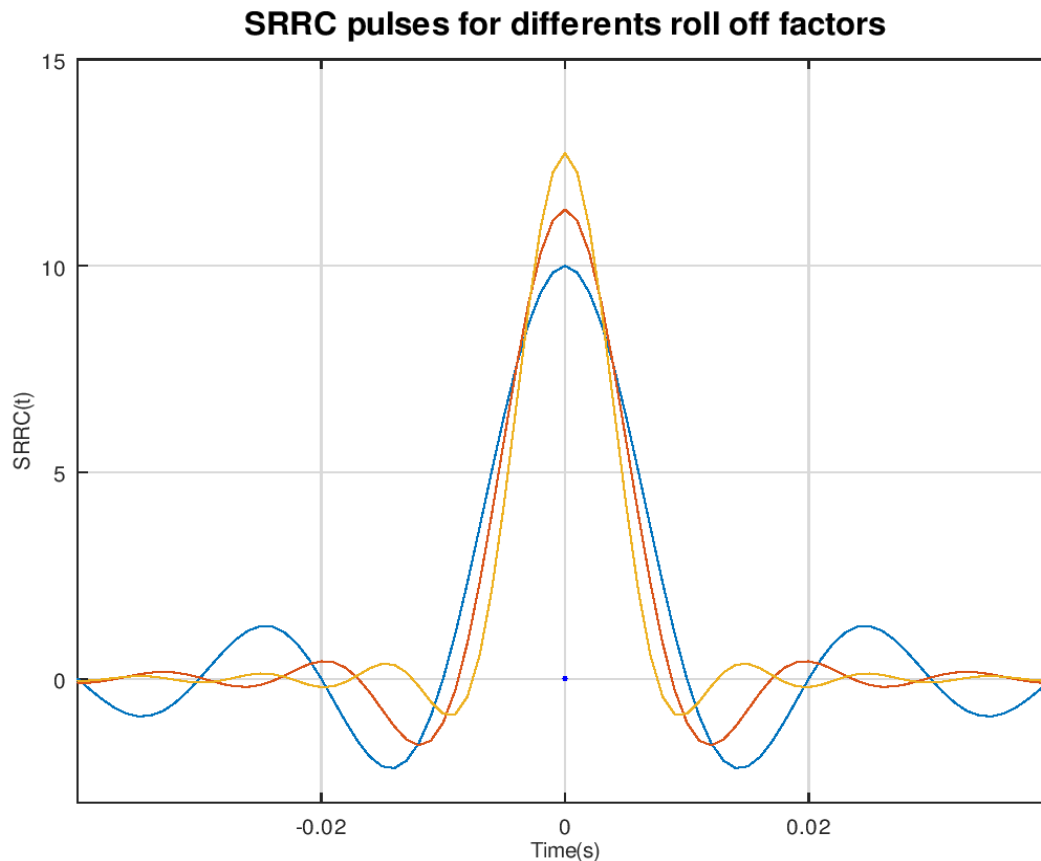
ΕΡΩΤΗΜΑ Α

A.1

Στο πρώτο ερώτημα, χρησιμοποιήθηκε η έτοιμη συνάρτηση `srcc_pulse` που μας παραχωρήθηκε από τις σημειώσεις του μαθήματος για να δημιουργηθούν οι παλμοί Square Root Raised Cosine (SRRC) με παραμέτρους :

- Περίοδος συμβόλου: $T = 10^{-2}$ s
- Περίοδος δειγματοληψίας: $T_s = \frac{T}{\text{over}}$ με $\text{over} = 10$
- $A=4$ όπου A η μισή διάρκεια των παλμών σε περιόδους συμβόλων
- Συντελεστή roll-off $\alpha=0, 0.5, 1$ (Καθ' όλη τη διάρκεια του ερωτήματος Α ακολουθείται ο συγκεκριμένος χρωματικός κώδικας, $\alpha=0$, $\alpha=0.5$, $\alpha=1$)

Οι παλμοί SRRC που παράχθηκαν σε κοινό διάγραμμα για τις διαφορετικές τιμές του συντελεστή roll-off factor εμφανίζονται στο ακόλουθο Σχήμα 1.1. Το κομμάτι του κώδικα που αναπαρήγαγε αυτούς τους παλμούς και το διάγραμμα παρατίθεται στο παρακάτω Παράρτημα 1.1.



Σχήμα 1.1: Παλμοί SRRC για διαφορετικά α

```

%-----First part of the project A-----%
T = 0.01;
over = 10;
Ts = T/over;
A = 4;

%----Part A1----%
%Create the srrc pulses for different roll off factors
%---for roll-off a = 0---%
a1 = 0;
[phi1,t1] = srrc_pulse(T, Ts, A, a1);
plot(t1,phi1);
hold on;
%---for roll-off a = 0.5---%
a2 = 0.5;
[phi2,t2] = srrc_pulse(T, Ts, A, a2);
plot(t2,phi2);
hold on;
%---for roll-off a = 1---%
a3 = 1;
[phi3,t3] = srrc_pulse(T, Ts, A, a3);
grid on;
plot(t3,phi3);
xlabel('Time(s)', 'FontSize', 10);
ylabel('SRRC(t)', 'FontSize', 10);
title('SRRC pulses for different roll off factors', 'FontSize', 15);
axis([-0.04 0.04 -3 15]);

```

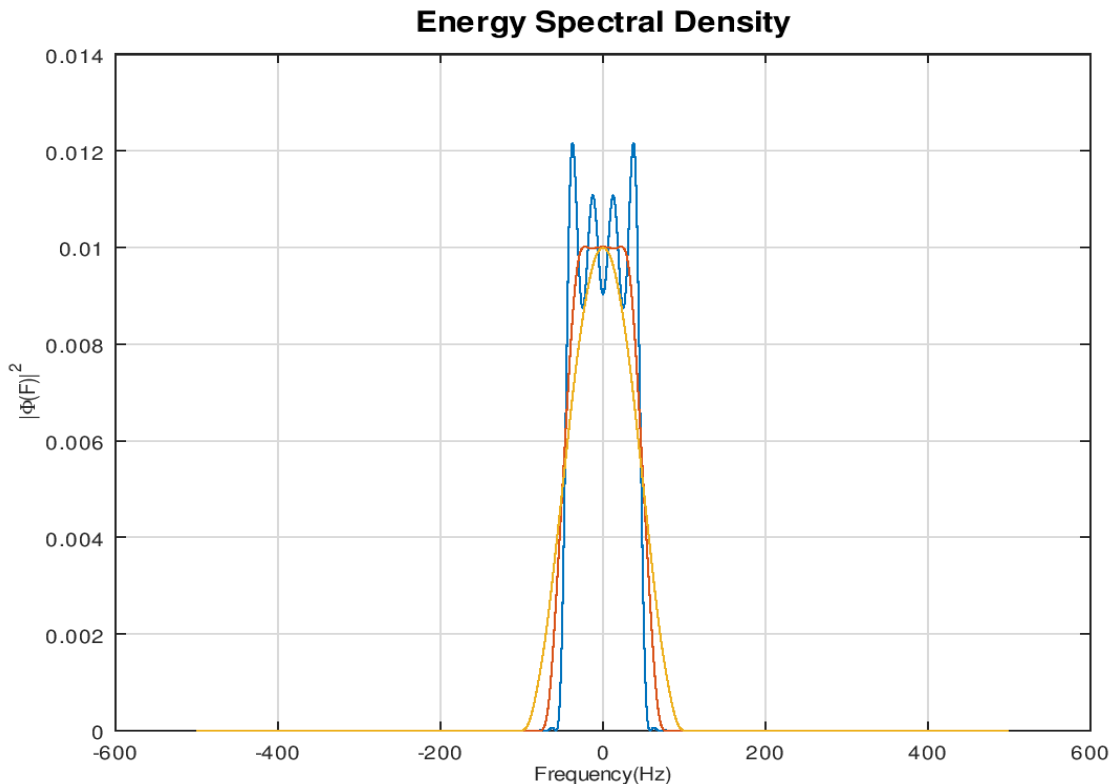
Παράρτημα Κώδικα 1.1: Δημιουργία SRRC παλμών

Στο Σχήμα 1.1 με την αύξηση της απόλυτης τιμής του χρόνου παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής roll-off α τόσο αυξάνεται και ο ρυθμός “μείωσης” του πλάτους των παλμών.

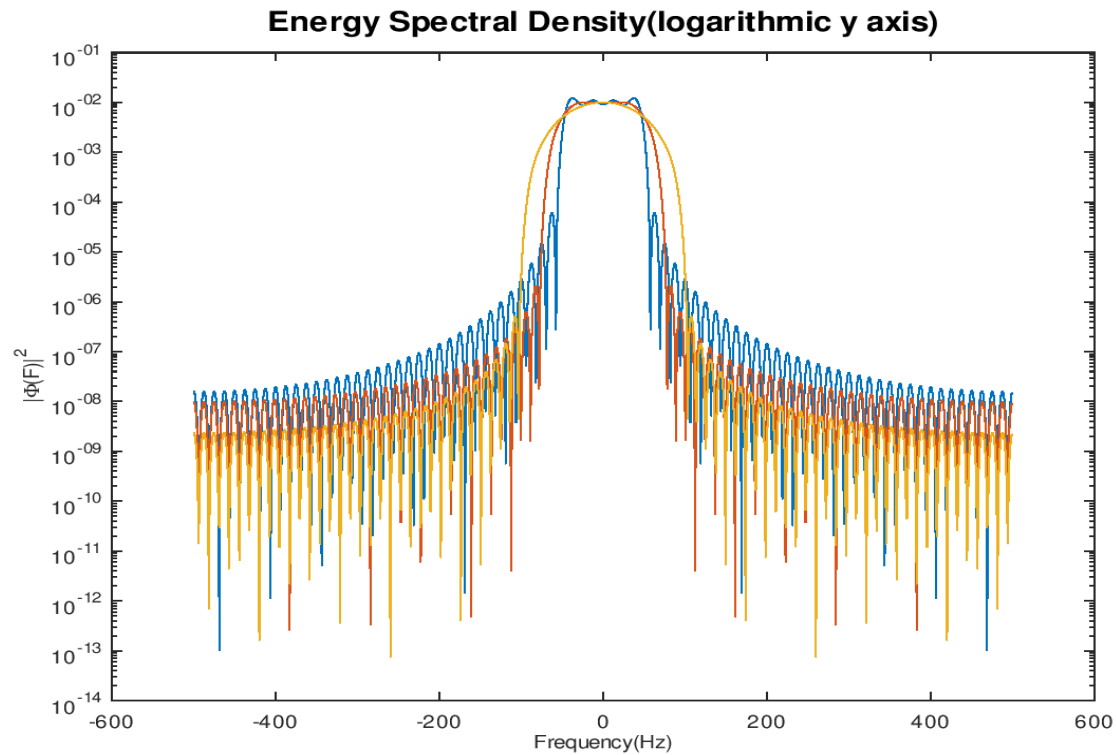
A.2

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις της MATLAB , fft και fftshift, υπολογίστηκε ο μετασχηματισμός Fourier $\Phi(F)$ των παλμών SRRC του προηγούμενου ερωτήματος σε N_f ισαπέχοντα σημεία στο διάστημα συχνοτήτων $F \in [-\frac{Fs}{2}, \frac{Fs}{2}]$.

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς υπολογίζεται και σχεδιάζεται σε κοινό διάγραμμα η Φασματική Πυκνότητα Ενέργειας $|\Phi(F)|^2$ του κάθε παλμού . Ύστερα, με τη χρήση της συνάρτησης της semilogy σχεδιάζονται οι ίδιες γραφικές παραστάσεις με τη μόνη διαφορά να βρίσκεται στον πιο λεπτομερή άξονα y, λόγω της λογαριθμικής κλίμακας. Αυτό μας επιτρέπει να διακρίνουμε με περισσότερη ακρίβεια το φάσμα του κάθε παλμού. Η προαναφερθείσα ακρίβεια δεν μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της plot. Στα Σχήματα 1.2, 1.3 παρατίθενται αντίστοιχα τα παραπάνω διαγράμματα καθώς και ο κώδικας για την υλοποίησή τους στο Παράρτημα Κώδικα 1.2.



Σχήμα 1.2: Φασματική Πυκνότητα Ενέργειας



Σχήμα 1.3: Φασματική Πυκνότητα Ενέργειας σε λογαριθμικό άξονα y

```
%----Part A2----%
figure();
%Calculation of the srsrc pulses' fourier transform
Fs = 1/Ts;
Nf = 1024;
DT = 1/Fs;
F = [-Fs/2:Fs/Nf:Ff/2 - Fs/Nf];%The frequency spectrum
y1 = abs(fftshift(fft(phi1,Nf)*DT)).^2;%Create the energy spectral density for phi1
plot(F,y1);
hold on;
y2 = abs(fftshift(fft(phi2,Nf)*DT)).^2;%Create the energy spectral density for phi2
plot(F,y2);
hold on;
y3 = abs(fftshift(fft(phi3,Nf)*DT)).^2;%Create the energy spectral density for phi3
plot(F,y3);
grid on;
xlabel('Frequency(Hz)', 'FontSize', 10);
ylabel('|Phi(F)|^2', 'FontSize', 10);
title('Energy Spectral Density', 'FontSize', 15);

figure();
semilogy(F,y1);
hold on;
semilogy(F,y2);
hold on;
semilogy(F,y3);
xlabel('Frequency(Hz)', 'FontSize', 10);
ylabel('|Phi(F)|^2', 'FontSize', 10);
title('Energy Spectral Density(logarithmic y axis)', 'FontSize', 15);
```

Παράρτημα Κώδικα 1.2

A.3

i. Σε αυτό το μέρος υπολογίζεται το θεωρητικό εύρος φάσματος των παλμών SRRC άπειρης διάρκειας με βάση τον θεωρητικό τύπο που δίδεται από τη θεωρία: $BW = \frac{1+a}{2T}$

- Για $\alpha=0$: $BW=50 \text{ Hz}$
- Για $\alpha=0.5$: $BW=75 \text{ Hz}$
- Για $\alpha=1$: $BW=100 \text{ Hz}$

Το κομμάτι κώδικα που κάνει αυτούς τους υπολογισμούς είναι το εξής:

```
%----Part A3----%  
BW1 = (1+a1)/(2*T) %spectrum of phi1  
BW2 = (1+a2)/(2*T) %spectrum of phi2  
BW3 = (1+a3)/(2*T) %spectrum of phi3
```

Παράρτημα Κώδικα 1.3

ii.

Στο κοινό semilogy που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο ερώτημα χαράσσεται μία οριζόντια ευθεία στην τιμή c , όπου $c = \frac{T}{10^3} = 10^{-5}$, η οποία τέμνει τις γραφικές παραστάσεις των φασμάτων σε δύο

σημεία τα οποία πρακτικά προσεγγίζουν το θεωρητικό εύρος φάσματος BW του SRRC παλμού. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται επειδή ένα σήμα με περιορισμένη χρονική διάρκεια, όπως είναι τα σήματα στη MATLAB, έχουν άπειρο εύρος φάσματος. Κάθε τιμή μικρότερη του c θεωρείται πρακτικά μηδενική, χάριν απλοποίησης. Για να εξαχθούν τα πειραματικά εύρη φάσματος από το κοινό γράφημα χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο zoom για την ακριβέστερη μέτρηση τους με μεγένθυση του άξονα συχνοτήτων. Τα προσεγγιστικά εύρη φάσματος που προκύπτουν σε αυτή την περίπτωση είναι τα εξής :

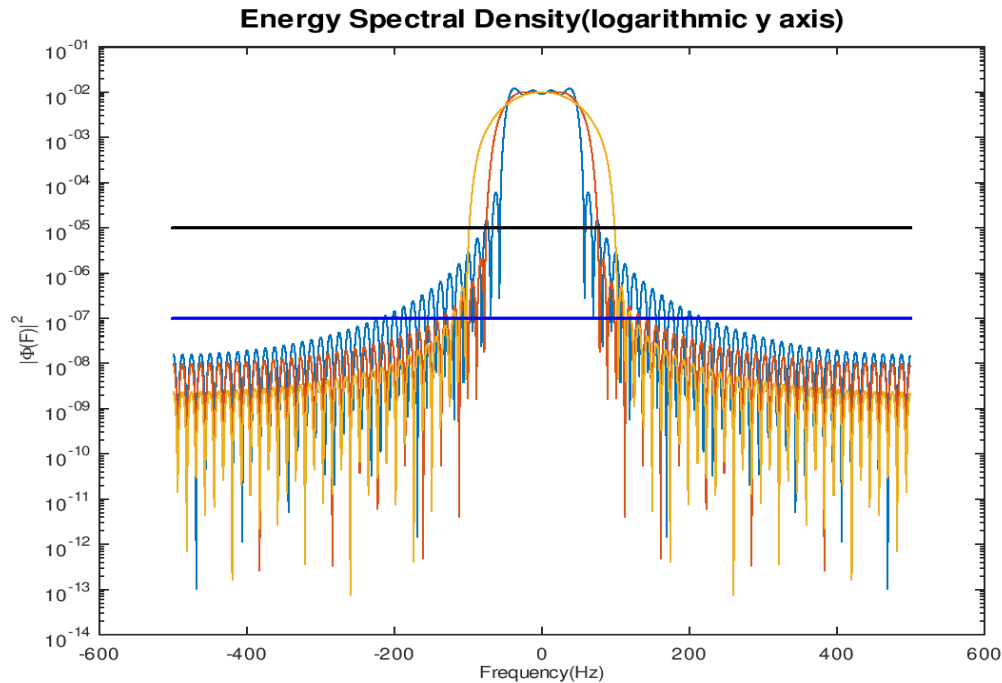
- Για $\alpha=0$: $BW \approx 77.34 \text{ Hz}$
- Για $\alpha=0.5$: $BW \approx 75.44 \text{ Hz}$
- Για $\alpha=1$: $BW \approx 98.62 \text{ Hz}$

Ο πιο αποδοτικός παλμός ως προς το εύρος φάσματος θεωρητικά είναι αυτός με το πιο περιορισμένο φάσμα δηλαδή ο παλμός SRRC με roll-off factor $\alpha=0$. Στη πραγματικότητα όπως φαίνεται τόσο από τα πειραματικά αποτελέσματα όσο και από τις αποκομμένες γραφικές παραστάσεις των φασμάτων αυτό δεν ισχύει, αφού πιο αποδοτικός φαίνεται να είναι ο παλμός με $\alpha=0.5$. Το εύρος φάσματος των παλμών εξαρτάται από το τι ορίζεται σαν “πρακτικά μηδεν”. Αυτό το γεγονός οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν γνωρίζουμε με απόλυτη ακρίβεια ποιός παλμός είναι πιο αποδοτικός ως προς το εύρος φάσματος.

iii. Ομοίως χαράσσεται άλλη μία ευθεία στην τιμή $c = \frac{T}{10^5} = 10^{-7}$ και με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω λαμβάνονται τα εξής προσεγγιστικά εύρη φάσματος :

- Για $\alpha=0$: $BW \approx 214 \text{ Hz}$
- Για $\alpha=0.5$: $BW \approx 132 \text{ Hz}$
- Για $\alpha=1$: $BW \approx 122 \text{ Hz}$

Αν $c = \frac{T}{10^5} = 10^{-7}$ τότε το εύρος φάσματος και των τριών παλμών αυξάνεται. Όσον αφορά την αποδοτικότητα των παλμών καταλήγουμε στα ίδια συμπεράσματα που προαναφέρθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 1.4: Οι δύο ευθείες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του πειραματικού εύρους φάσματος

```
colorstring = 'kb'; %k is for black color line and b for blue color line
c = T/(10^3);
plot(F,c,'LineWidth',2,'color',colorstring(1)); %This line has black color
hold on;

c1 = T/(10^5);
plot(F,c1,'LineWidth',2,'color',colorstring(2)); %This line has blue color
```

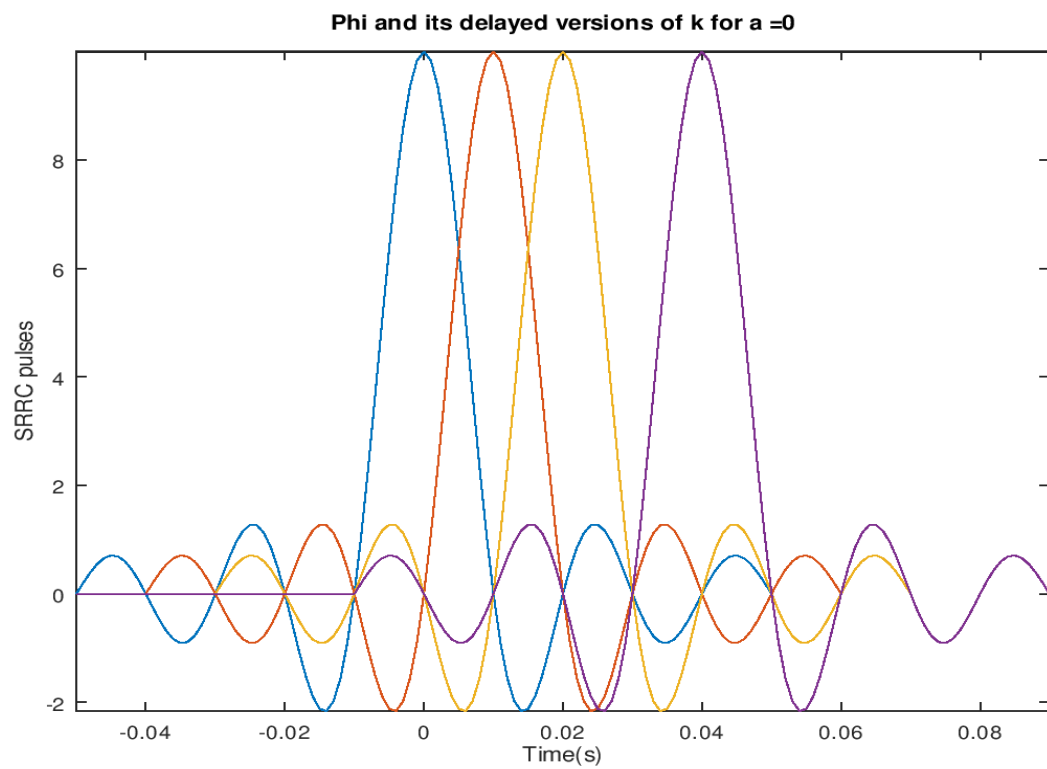
Παράρτημα Κώδικα 1.4

ΕΡΩΤΗΜΑ Β

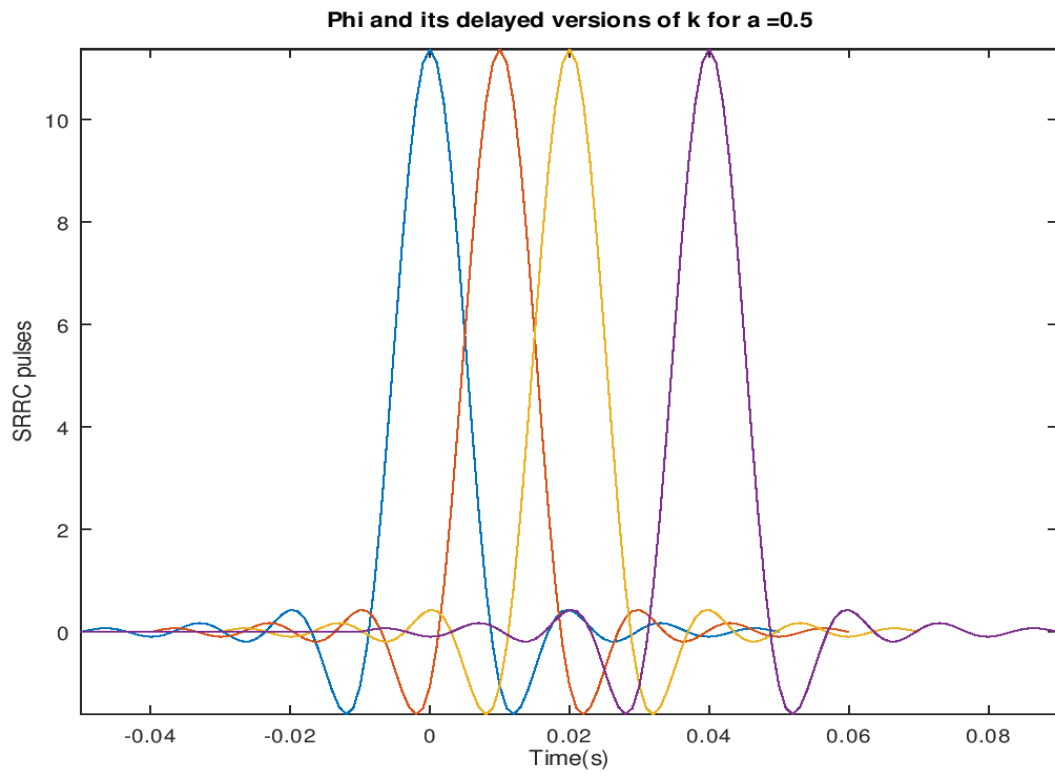
Στο παρόν ερώτημα ζητείται η επιβεβαίωση των ιδιοτήτων ορθοκανονικότητας της $\varphi(t)$ ως προς τις μετατοπίσεις της κατά ακέραια πολλαπλάσια της περιόδου συμβόλου T .

B.1

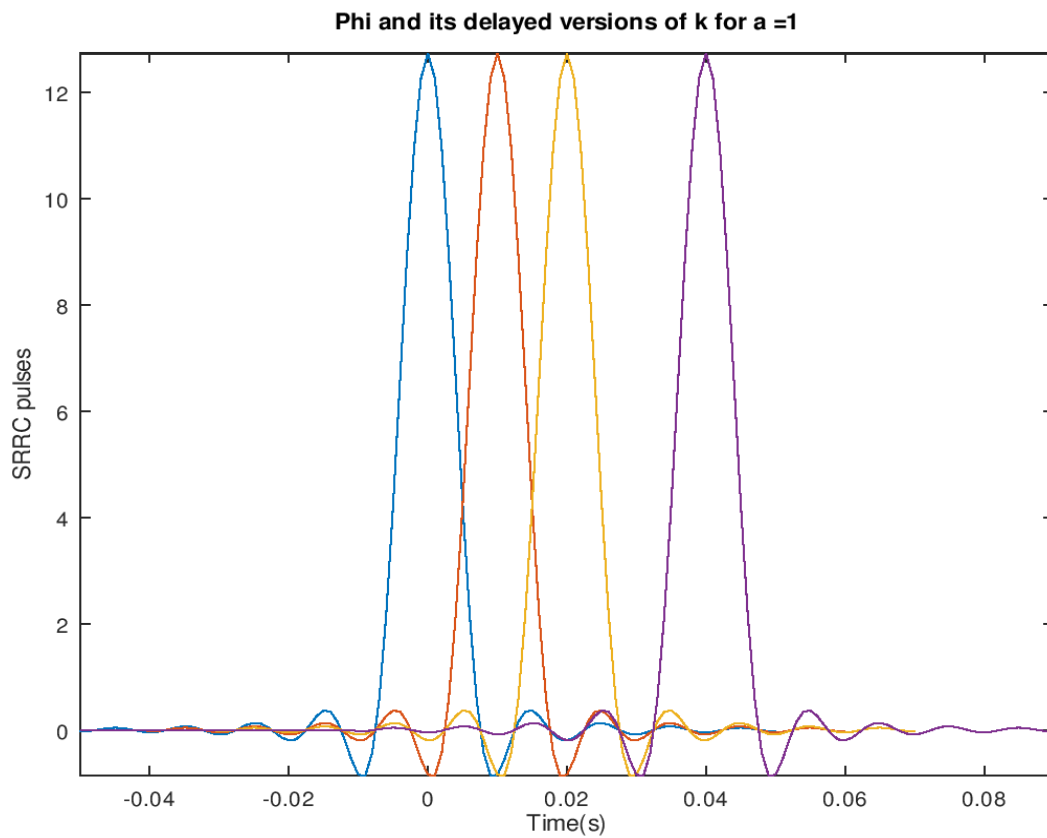
Για $\alpha=0,0.5,1$, $k=0,1,2,4$, $A=5$ και παραμέτρους T , T_s , over, κοινές με το προηγούμενο ερώτημα κατασκευάζουμε τους παλμούς $\varphi(t)$ και $\varphi(t-kT)$ και τους απεικονίζουμε σε κοινό plot, όπως είναι ορατό στα Σχήματα 2.1, 2.2, 2.3.



Σχήμα 2.1: $\varphi(t)$ και $\varphi(t - kT)$ για $\alpha = 0$

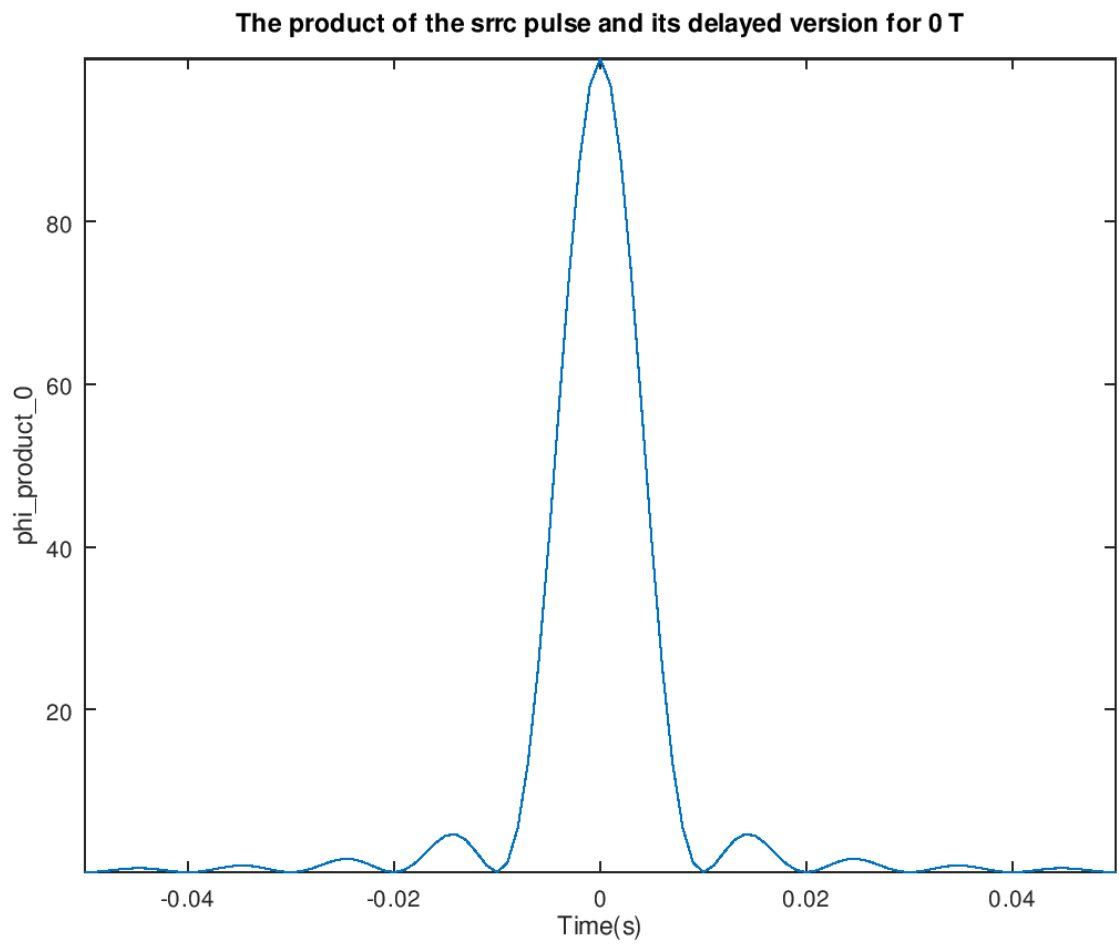


Σχήμα 2.2: $\varphi(t)$ και $\varphi(t - kT)$ για $\alpha = 0.5$

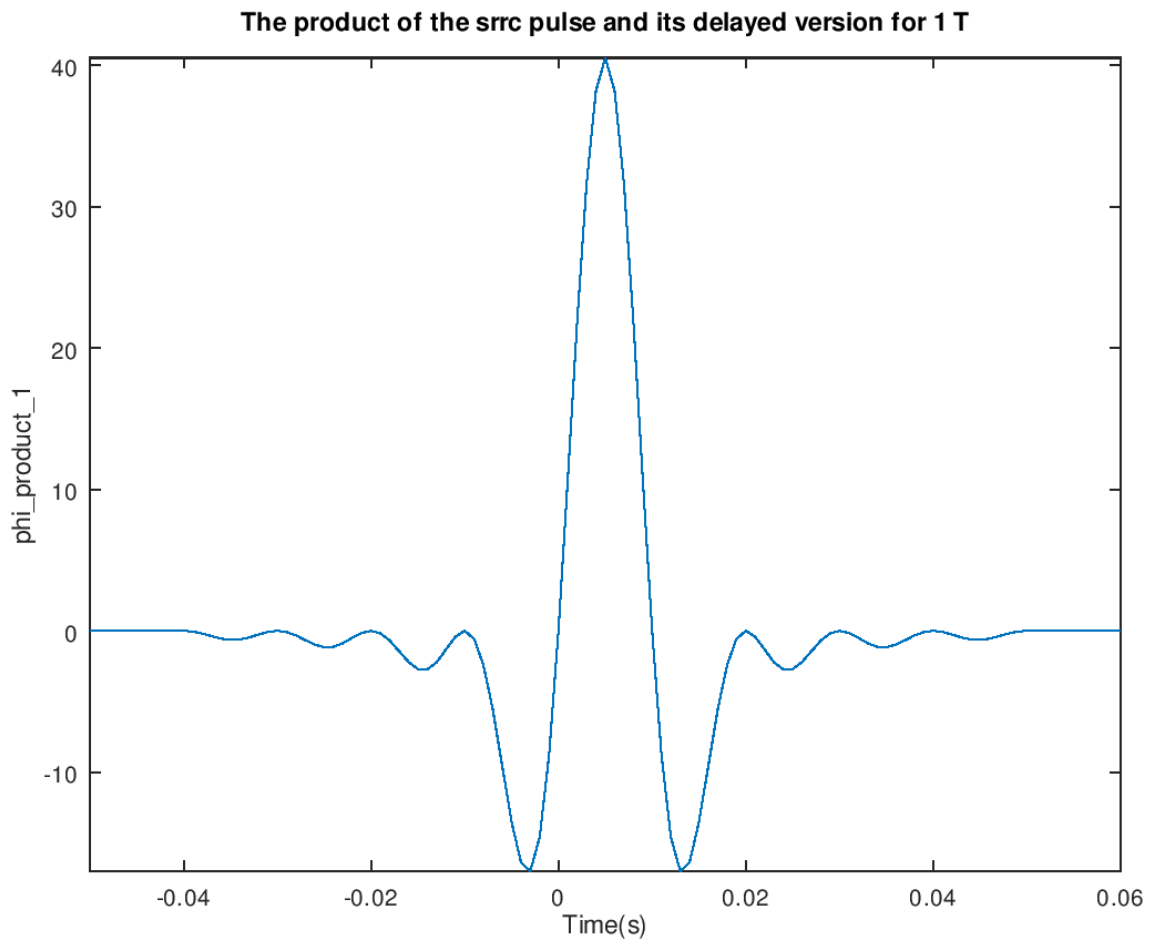


Σχήμα 2.3: $\varphi(t)$ και $\varphi(t - kT)$ για $\alpha = 1$

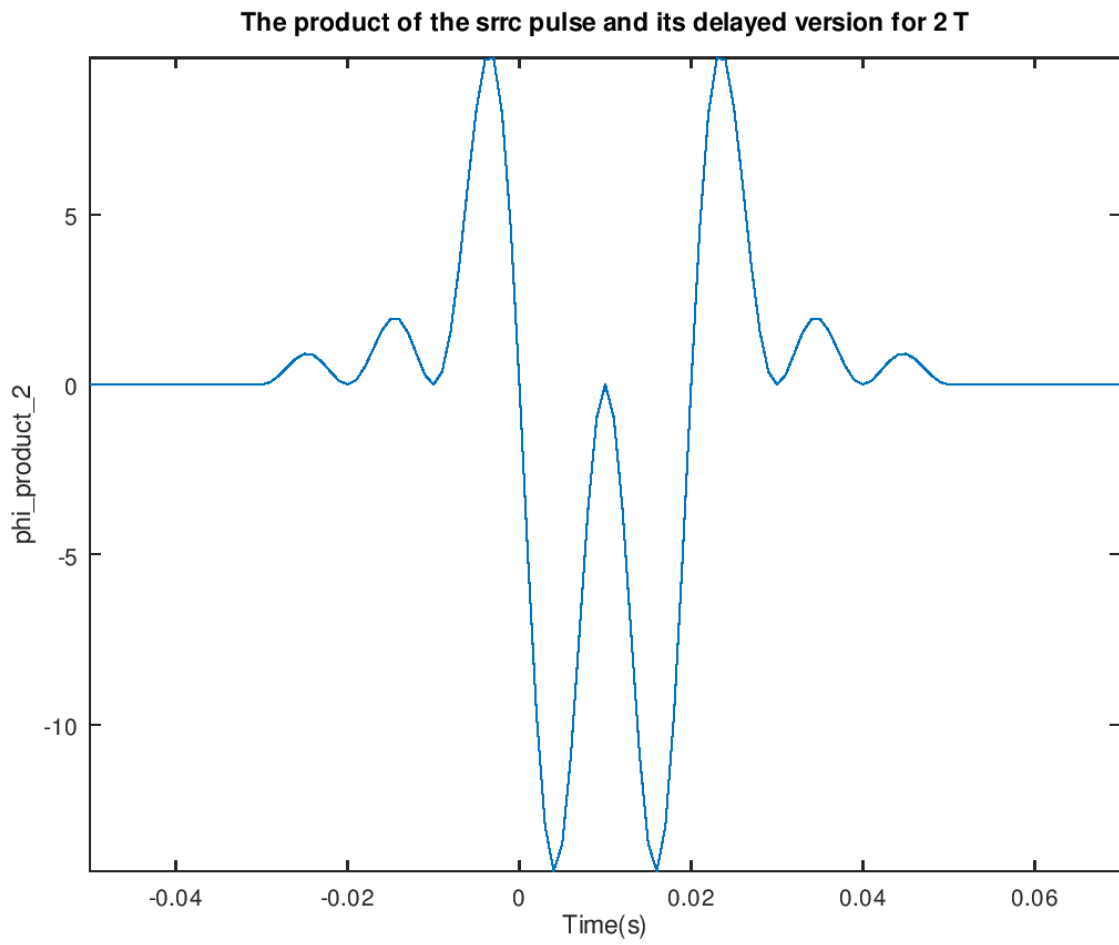
Εν συνεχεία, πολλαπλασιάζουμε τους παλμούς αυτούς σημείο προς σημείο (αφού πρώτα γίνει το απαραίτητο zero padding) και απεικονίζουμε το γινόμενο αυτό σε plot, το οποίο φαίνεται στα Σχήματα 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3, 2.4.4, 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3, 2.5.4, 2.6.1, 2.6.2, 2.6.3, 2.6.4.



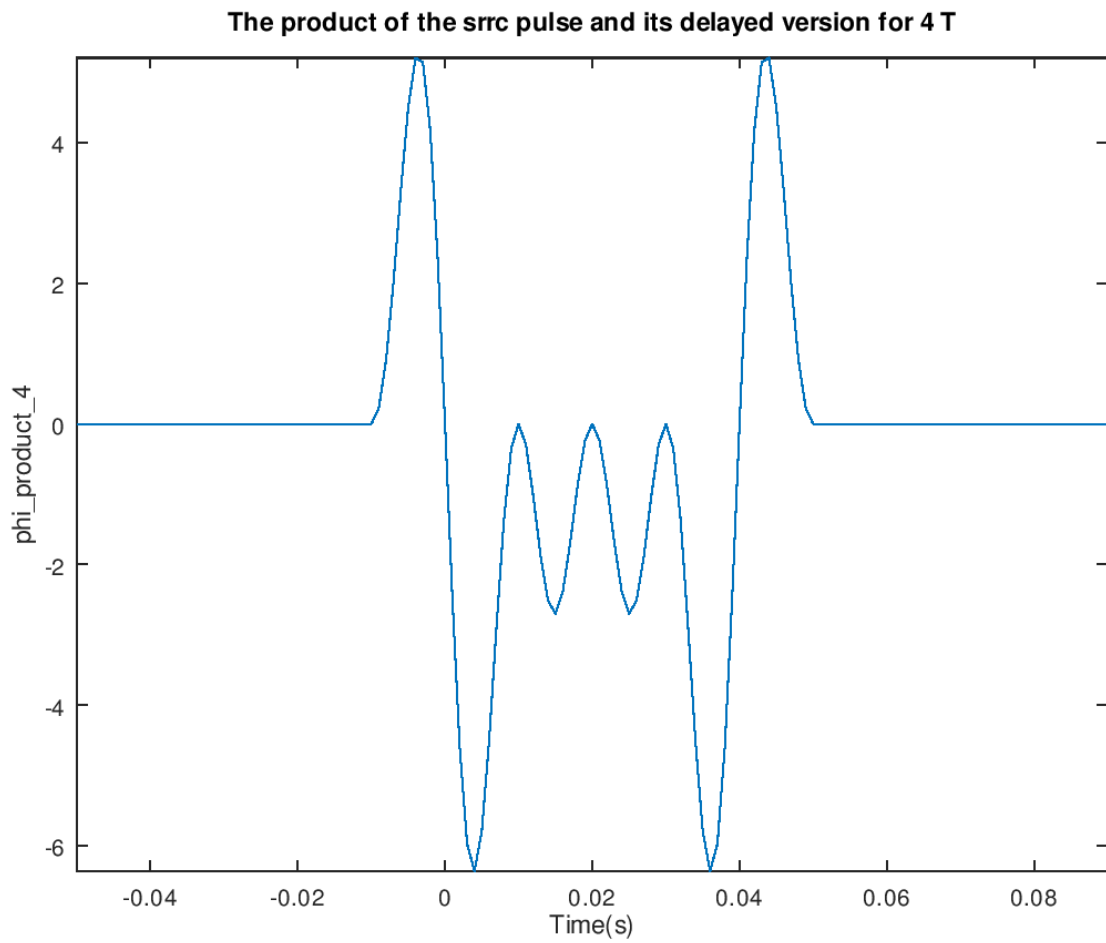
Σχήμα 2.4.1: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 0$, $\alpha = 0$



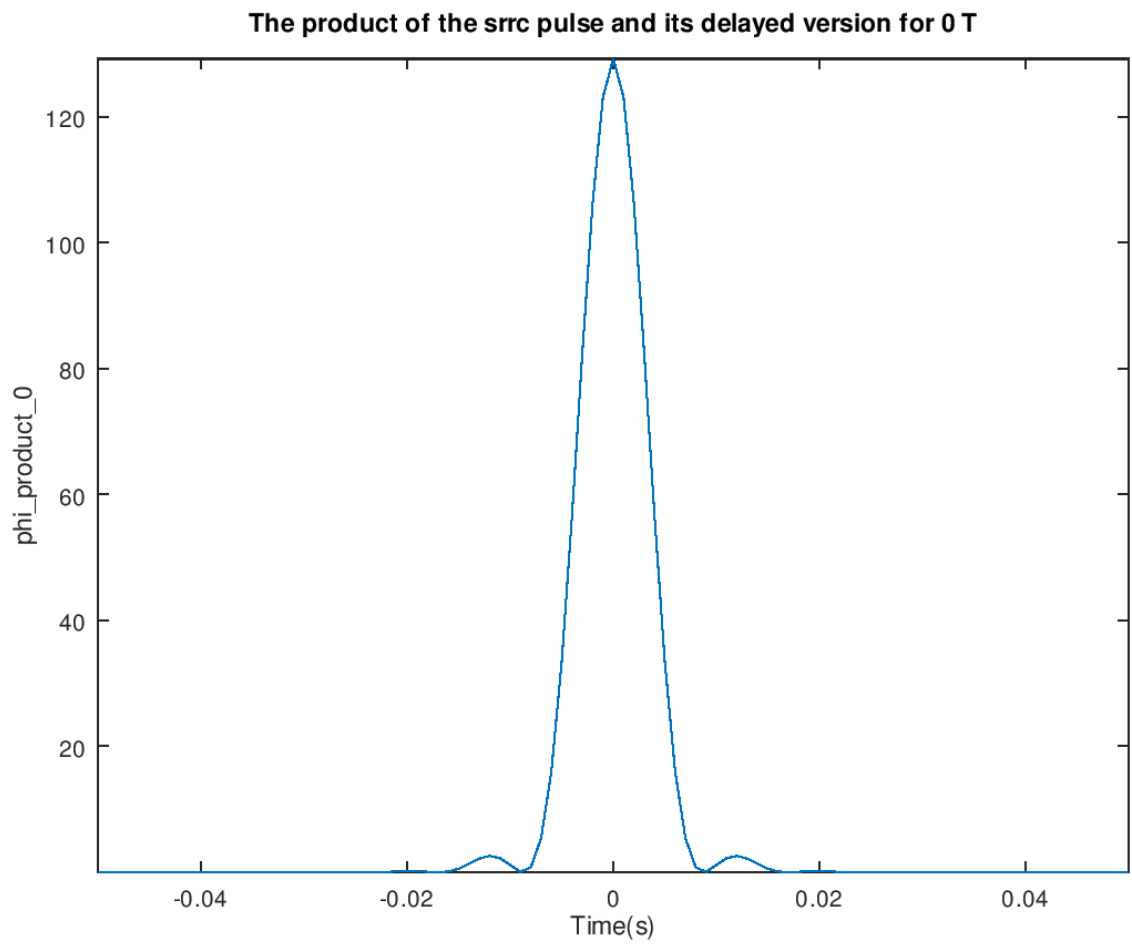
Σχήμα 2.4.2: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 1$, $\alpha = 0$



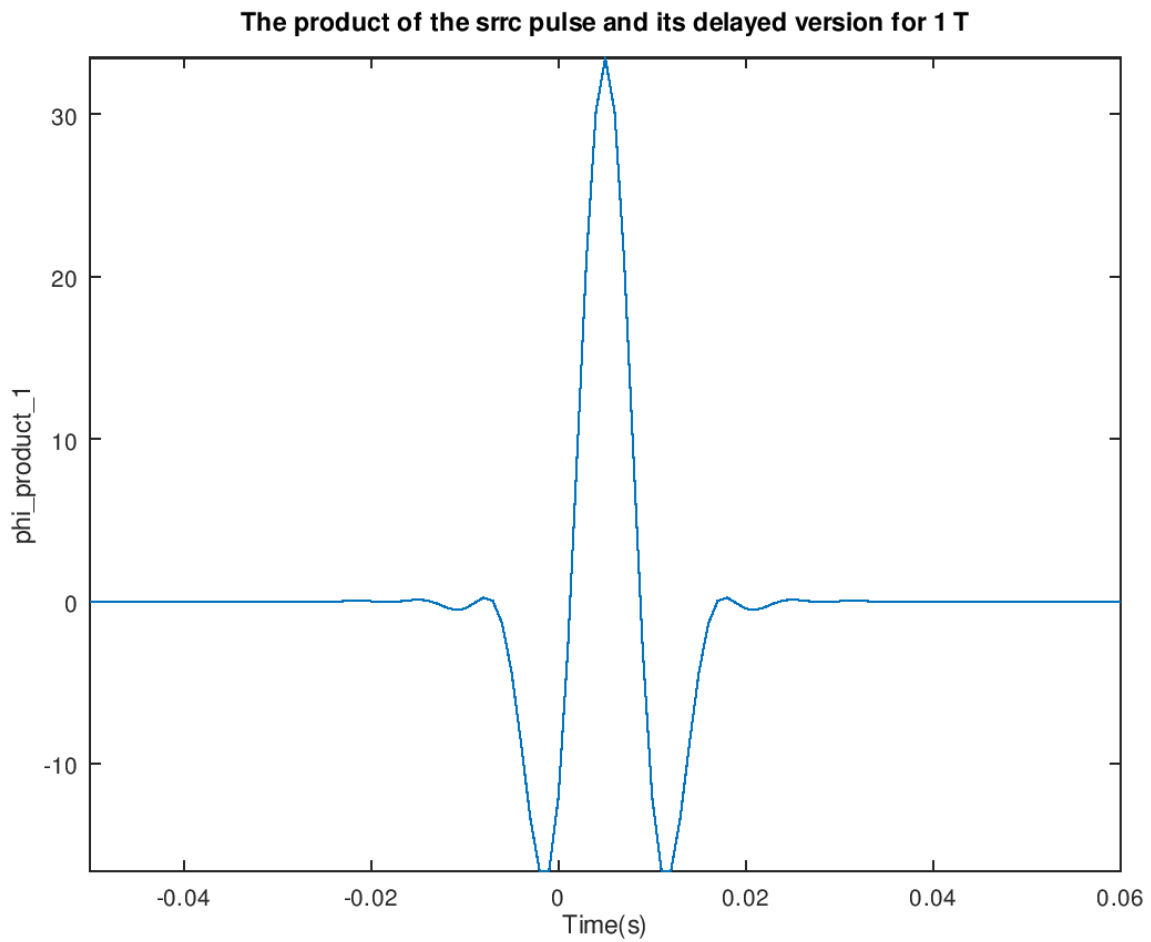
Σχήμα 2.4.3: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 2$, $\alpha = 0$



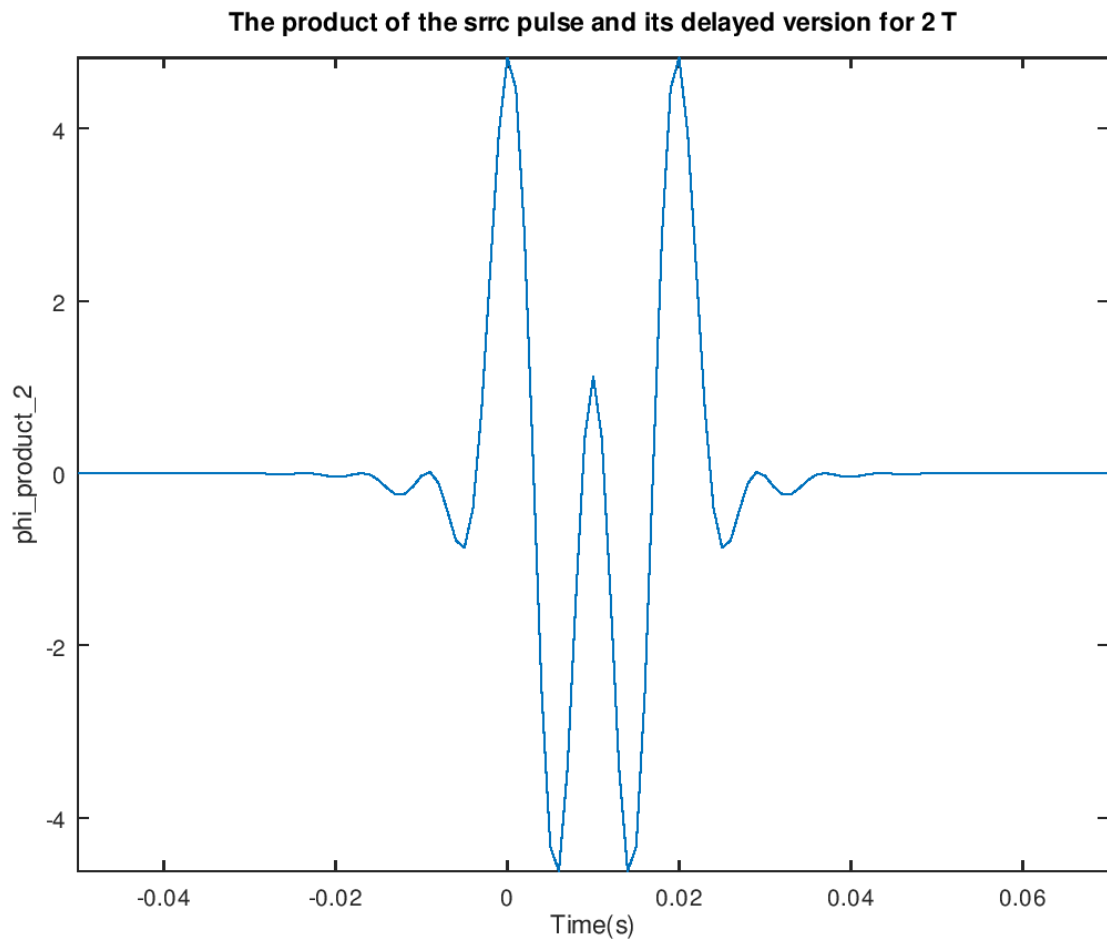
Σχήμα 2.4.4: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 4$, $\alpha = 0$



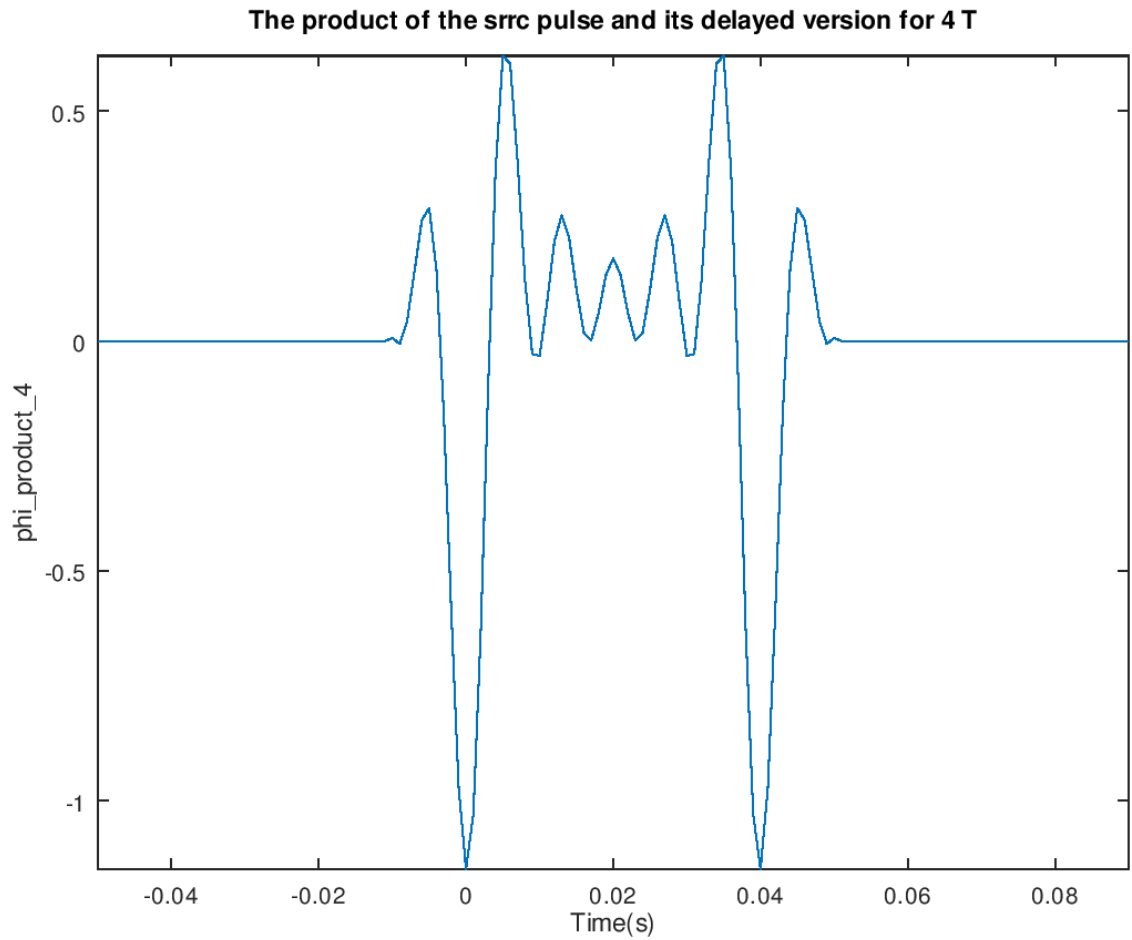
Σχήμα 2.5.1: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 0$, $\alpha = 0.5$



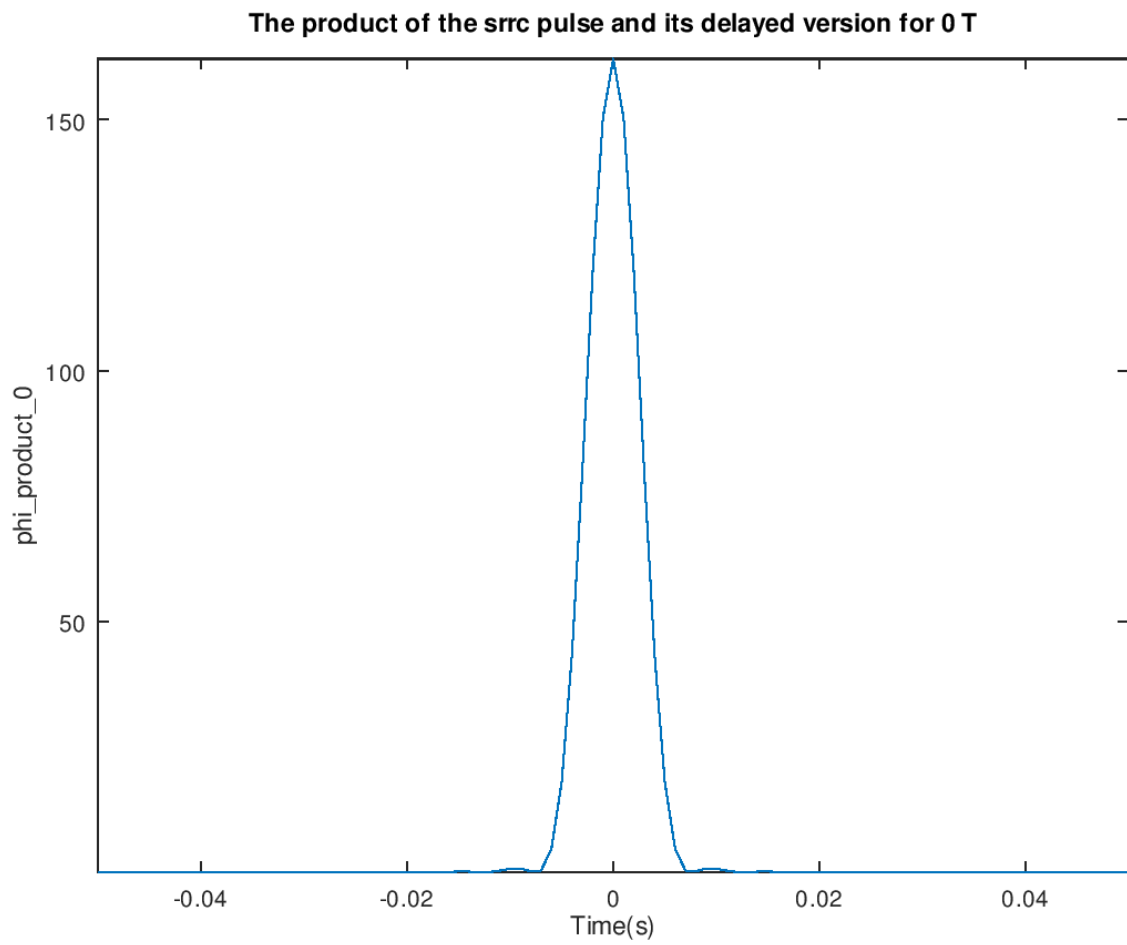
Σχήμα 2.5.2: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 1$, $\alpha = 0.5$



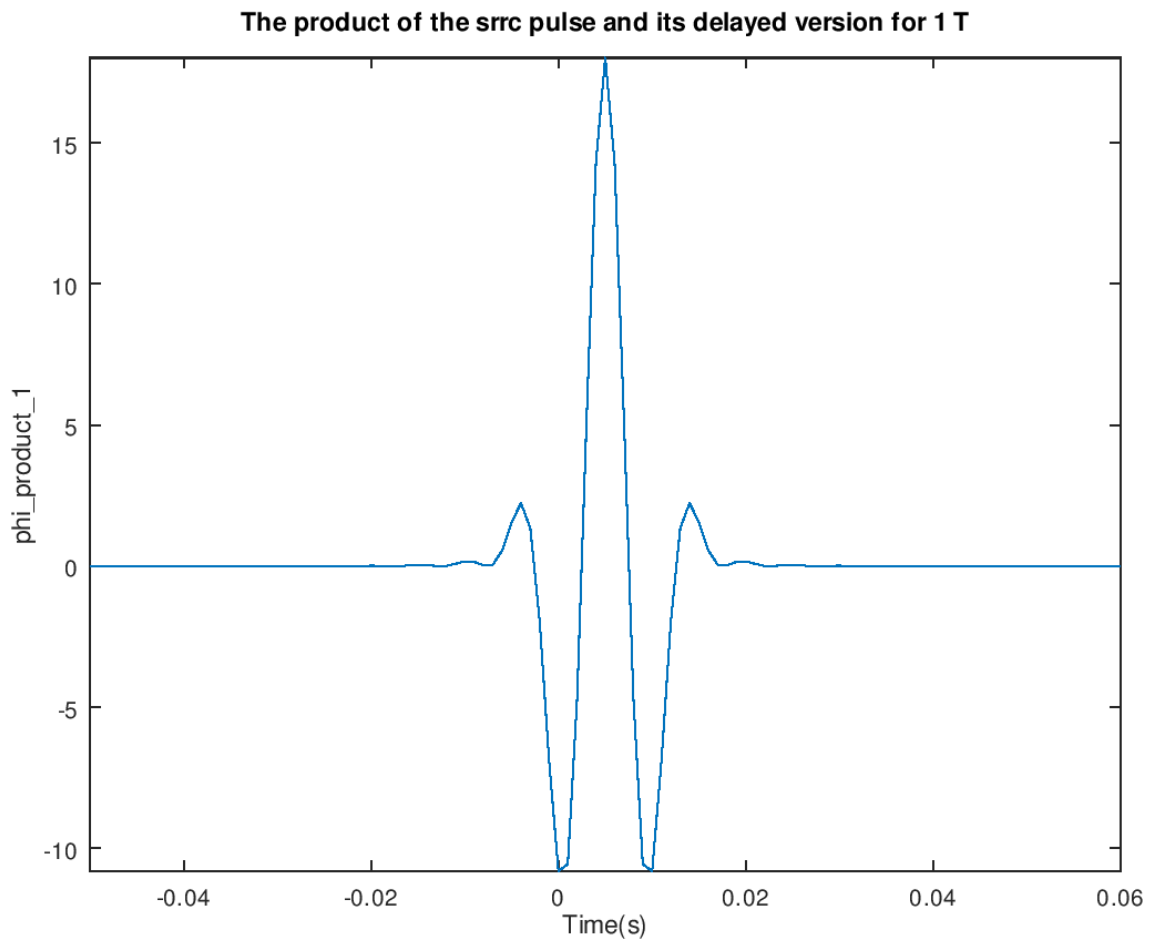
Σχήμα 2.5.3: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 2$, $\alpha = 0.5$



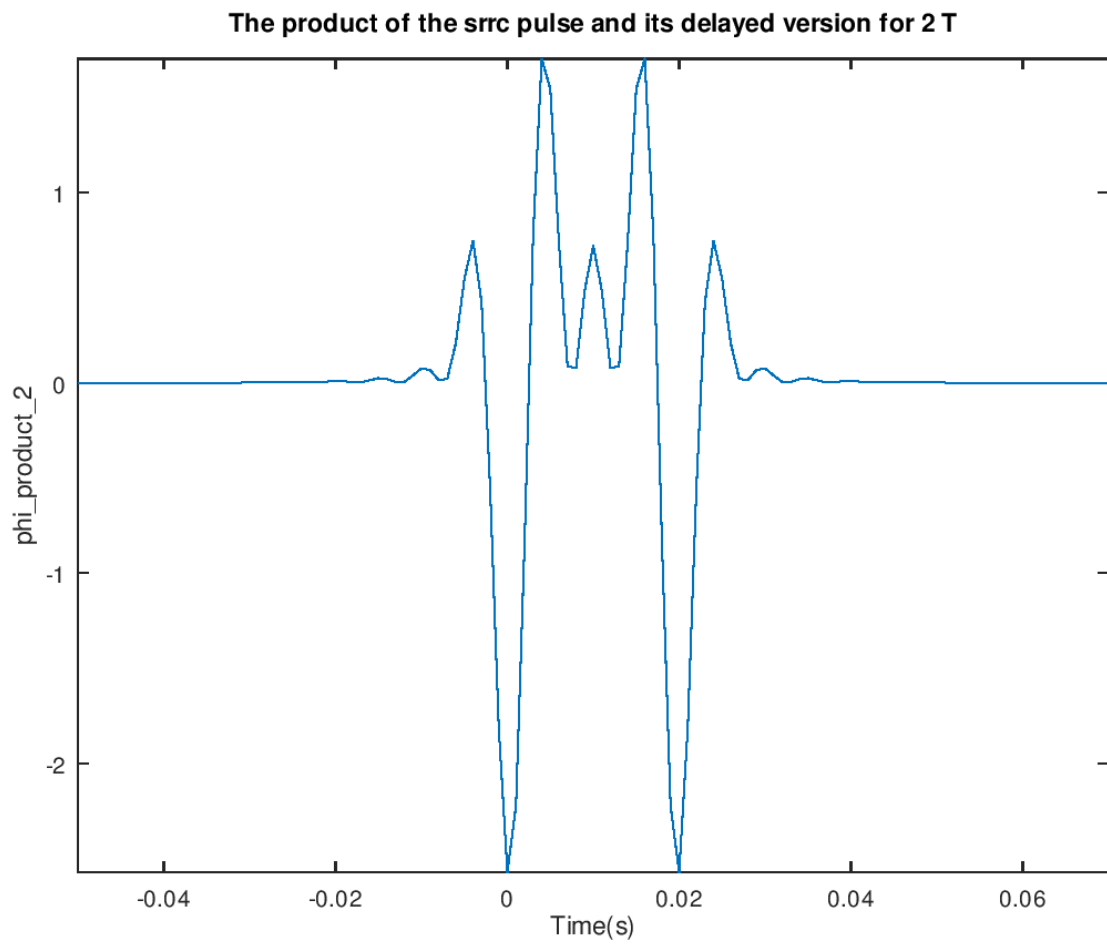
Σχήμα 2.5.4: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 4$, $\alpha = 0$



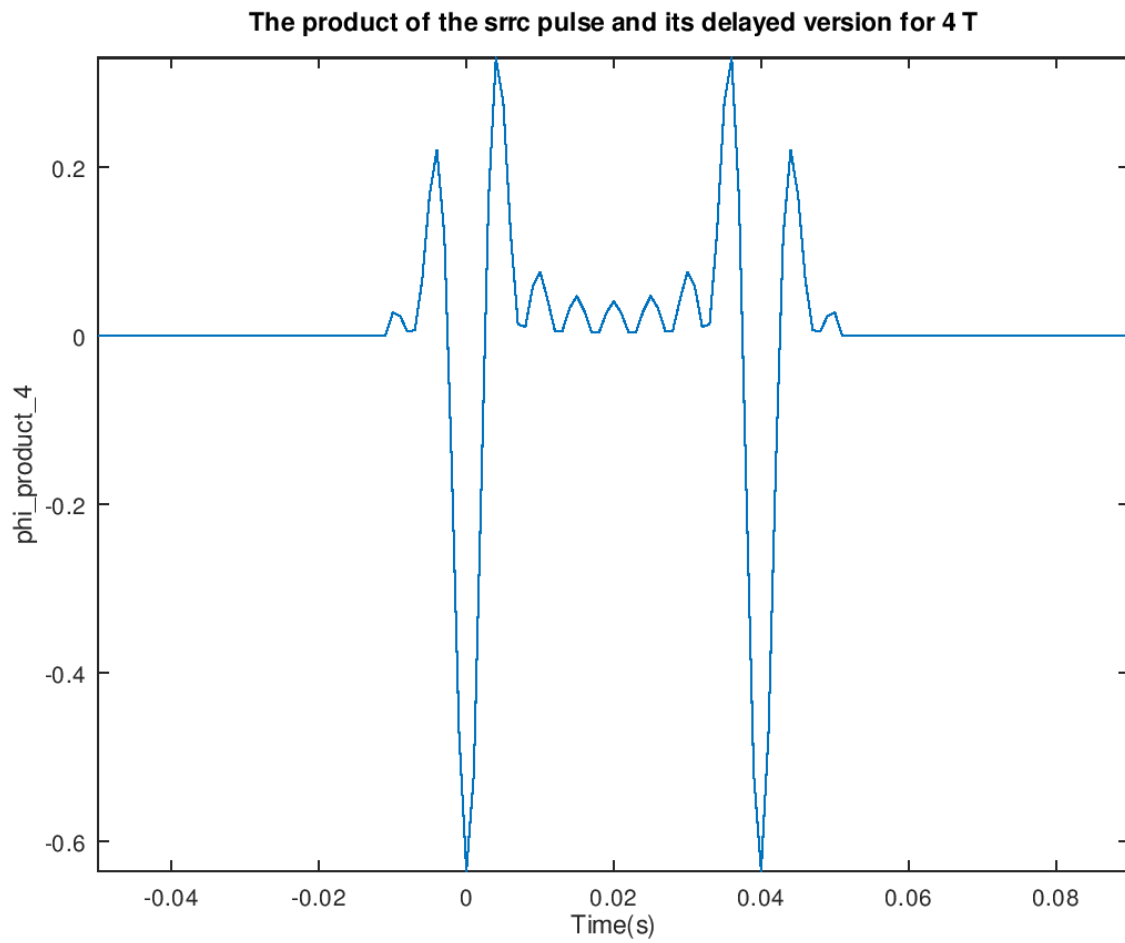
Σχήμα 2.6.1: Το γινόμενο του $\phi(t)$ με το $\phi(t - kT)$ για $k = 0$, $\alpha = 1$



Σχήμα 2.6.2: Το γινόμενο του $\phi(t)$ με το $\phi(t - kT)$ για $k = 1$, $\alpha = 1$



Σχήμα 2.6.3: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 2$, $\alpha = 1$



Σχήμα 2.6.4: Το γινόμενο του $\varphi(t)$ με το $\varphi(t - kT)$ για $k = 4$, $\alpha = 1$

Τέλος, χρειάζεται ο υπολογισμός του ολοκληρώματος $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) \varphi(t-kT) dt$. Αυτός επιτυγχάνεται με προσέγγιση στη MATLAB του ολοκληρώματος από μία σειρά, όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Κώδικα 2.

■ Για $\alpha=0$:

- $k=0 \Rightarrow \text{value of integral}=0.97978$
- $k=2 \Rightarrow \text{value of integral}=-0.025789$
- $k=4 \Rightarrow \text{value of integral}=-0.040221$

■ Για $\alpha=0.5$:

- $k=0 \Rightarrow \text{value of integral}=0.99993$
- $k=2 \Rightarrow \text{value of integral}=0.000158$
- $k=4 \Rightarrow \text{value of integral}=-0.000916$

■ Για $\alpha=1$:

- $k=0 \Rightarrow \text{value of integral}=0.99998$
- $k=2 \Rightarrow \text{value of integral}=-0.000033$
- $k=4 \Rightarrow \text{value of integral}=-0.000139$

```
clear all;
close all;

%-----Second part of the project B-----%
T = 0.01;
over = 10;
Ts = T/over;
DT = Ts;
A = 5;
Fs = 1/Ts;

%----Part B----%
%---for roll-off a = 0---%
a = [0 0.5 1];

for i = 1 : length(a)

[phi,t] = srrc_pulse(T, Ts, A, a(i));
figure();
plot(t,phi);
xlabel('Time(s)');
ylabel('\phi(t)');
title(['The SRRC pulse for a = ',num2str(a(i))]);
axis([-0.05 0.05 -5 15]);
```

```

%%%Part B1-----

figure();
%k = 0
phi_initial_0 = phi;%change ph0 to phi1_delay_0
new_t_0 = t;
plot(new_t_0, phi_initial_0);
hold on;
% k = 1
%figure();
phi_initial_1 = [phi zeros(1,(T/Ts))];
phi_delay_1 = [zeros(1,(T/Ts)) phi];
new_t1 = [t [t(end)+ Ts:DT:t(end)+T]];
plot(new_t1,phi_delay_1);
hold on;
% k = 2
%figure();
phi_initial_2 = [phi zeros(1,2*(T/Ts))];
phi_delay_2 = [zeros(1,2*(T/Ts)) phi];
new_t2 = [t [t(end)+ Ts:DT:t(end)+2*T]];
plot(new_t2,phi_delay_2);
hold on;
% k = 4
%figure();
phi_initial_4 = [phi zeros(1,4*(T/Ts))];
phi_delay_4 = [zeros(1,4*(T/Ts)) phi];
new_t4 = [t [t(end)+ Ts:DT:t(end)+4*T]]; %I do not know if Ts is neseccesary
plot(new_t4,phi_delay_4);
hold on;
axis([new_t4(1) new_t4(end) min(phi) max(phi)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('SRRC pulses');
title(['Phi and its delayed versions of k for a =',num2str(a(i))]);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%mulitplication of the two signals for k = 0
phi_product_0 = (phi_initial_0.*phi_initial_0);%The product of the srcc pulse and its
delayed version for 0 T
figure();
plot(new_t_0,phi_product_0);
axis([new_t_0(1) new_t_0(end) min(phi_product_0) max(phi_product_0)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\product\_0');
title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 0 T');

%mulitplication of the two signals for k =1
phi_product_1 = (phi_initial_1.*phi_delay_1);%The product of the srcc pulse and its delayed
version for 1 T
figure();
plot(new_t1,phi_product_1);
axis([new_t1(1) new_t1(end) min(phi_product_1) max(phi_product_1)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\product\_1');
title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 1 T');

%mulitplication of the two signals for k =2
phi_product_2 = (phi_initial_2.*phi_delay_2);%The product of the srcc pulse and its delayed
version for 2 T
figure();
plot(new_t2,phi_product_2);
axis([new_t2(1) new_t2(end) min(phi_product_2) max(phi_product_2)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\product\_2');

```

```

title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 2 T');

%multitplication of the two signals for k = 4
phi_product_4 = (phi_initial_4.*phi_delay_4);%The product of the srcc pulse and its delayed
version for 4 T
figure();
plot(new_t4,phi_product_4);
axis([new_t4(1) new_t4(end) min(phi_product_4) max(phi_product_4)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\_product\_4');
title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 4 T');

%part B3-----
%Calculate the integer of the product of srcc pulse and its delayed version

phi_sum_of_products_0 = sum(phi_product_0*Ts)

phi_sum_of_products_1 = sum(phi_product_1*Ts)

phi_sum_of_products_2 = sum(phi_product_2*Ts)

phi_sum_of_products_4 = sum(phi_product_4*Ts)

end

```

Παράρτημα Κώδικα 2

ΕΡΩΤΗΜΑ C

Σε αυτό το ερώτημα γίνεται η προσομοίωση ενός PAM (Pulse Amplitude Modulation) συστήματος βασικής ζώνης, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά N bits χρησιμοποιώντας διαμόρφωση 2-PAM.

C.1

Η δημιουργία της ακολουθίας 50 (ή 100) bits επιτυγχάνεται με χρήση της εντολής

$$b = (\text{sign}(\text{randn}(N,1)) + 1)/2;$$

Η συνάρτηση randn παράγει τυποποιημένες κανονικές τυχαίες μεταβλητές ($\mu = 0$, $\sigma = 1$). Οι τιμές του διανύσματος b θα είναι αποκλειστικά 0 ή 1.

C.2

α.

Στο μέρος αυτό υλοποιείται από εμάς η συνάρτηση $X = \text{bits_to_2PAM}(b)$ η οποία λαμβάνει ως είσοδο το διάνυσμα στήλης b, το οποίο αποτελεί μία ακολουθία από N bits, και επιστρέφει ως έξοδο μία ακολουθία από 2-PAM σύμβολα X πάλι σε ένα διάνυσμα στήλης με την εξής αντιστοίχιση:

$$0 \rightarrow +1,$$

$$1 \rightarrow -1$$

```

clear all;
close all;

T = 0.1;
over = 10;
a = 0.5;
A = 5;
N = 50;
Ts = T/over;
DT = Ts;
% part c

%part c1

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

%part c2

X = bits_to_2PAM(b);%The following of 2PAM symbols

function X = bits_to_2PAM(b)

    for k = 1:length(b)

        if (b(k) == 0)
            X(k) = 1;
        elseif
            X(k) = -1;
        endif
    endfor
endfunction

```

Παράρτημα Κώδικα 3.1

β.

Η προσομοίωση του σήματος

$$X_{\delta}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \delta(t - kT)$$

γίνεται με τη χρήση της εντολής $X_{\delta} = (1/T_s) * \text{upsample}(X, \text{over})$; όπως φαίνεται στο Παράρτημα Κώδικα 3.2. Ακόμα, η ακολουθία συμβόλων που δημιουργήθηκε φαίνεται στο γράφημα του Σχήματος 3.1.

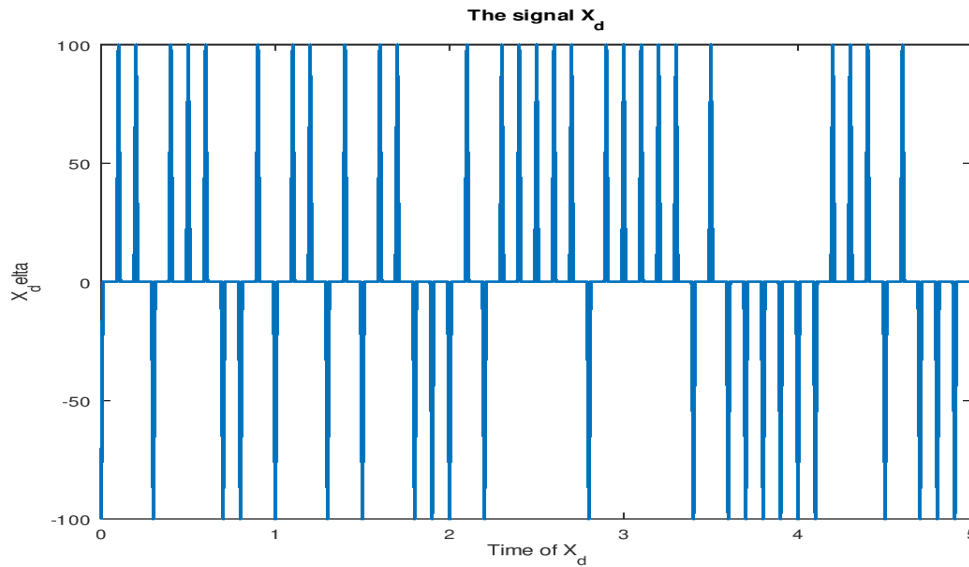
```

%part b of c2
X_delta = (1/Ts)*upsample(X,over);%Upsampling of X
t = [0:Ts:(N*T - Ts)];

plot(t,X_delta,'LineWidth',1.5)
xlabel('Time of X_d');
ylabel('X_delta');
title('The signal X_d');
figure();

```

Παράρτημα Κώδικα 3.2



Σχήμα 3.1: Το σήμα $X_\delta(t)$

γ.

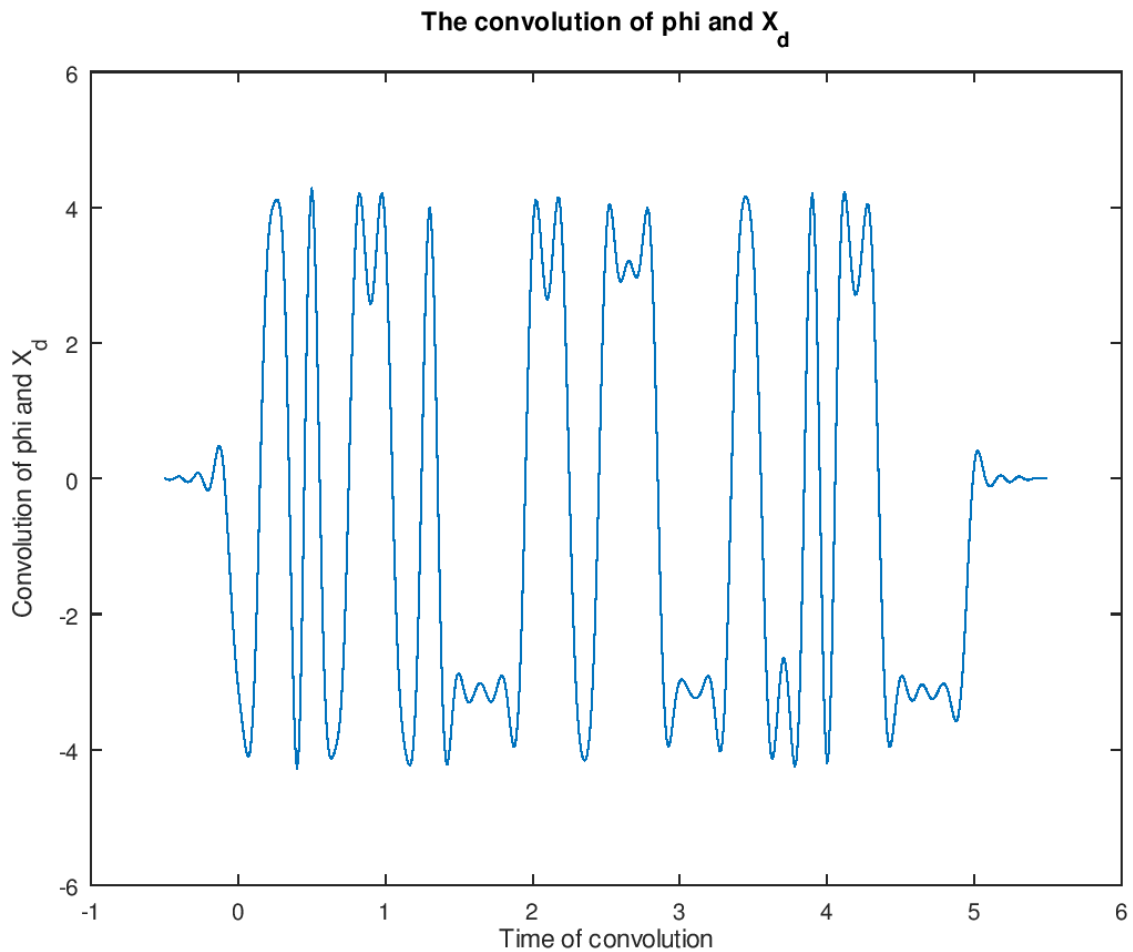
Έπειτα χρησιμοποιώντας την ίδια συνάρτηση `src_pulse`, που αναφέρθηκε στο Ερώτημα Α, αναπαράγεται ξανά ένας αποκομμένος SRRC παλμός $\varphi(t)$ με παραμέτρους :

- Περίοδος συμβόλου: $T = 10^{-1}$ s
- Περίοδος δειγματοληψίας: $T_s = \frac{T}{\text{over}}$ με `over` = 10
- $A = 5$ όπου A η μισή διάρκεια των παλμών σε περιόδους συμβόλων
- Συντελεστή roll-off $\alpha = 0.5$

Ο παλμός αυτός συνελίσσεται με το σήμα $X_\delta(t)$, που υπολογίστηκε στο προηγούμενο ερώτημα, και προκύπτει το σήμα

$$X(t) = X_\delta(t) * \varphi(t)$$

Το διάστημα χρόνου της συνέλιξης μπορεί να αποδειχθεί με βάση τη θεωρία ότι έχει ως άκρα το άθροισμα των άκρων των επιμέρους διαστημάτων.



Σχήμα 3.2: Το σήμα $X(t)$

```
%part c of c2
%Modulation of the signal
[phi,t1] = srsrc_pulse(T, Ts, A, a);

conv_phi_Xd = conv(phi,X_delta)*Ts;%Convolution of X_delta and phi
time_of_conv = [(t1(1)+t(1)):Ts:(t1(end) + t(end))];%Time of convolution of X_delta and phi
plot(time_of_conv,conv_phi_Xd);
xlabel('Time of convolution');
ylabel('Convolution of phi and X_d');
title('The convolution of phi and X_d');
```

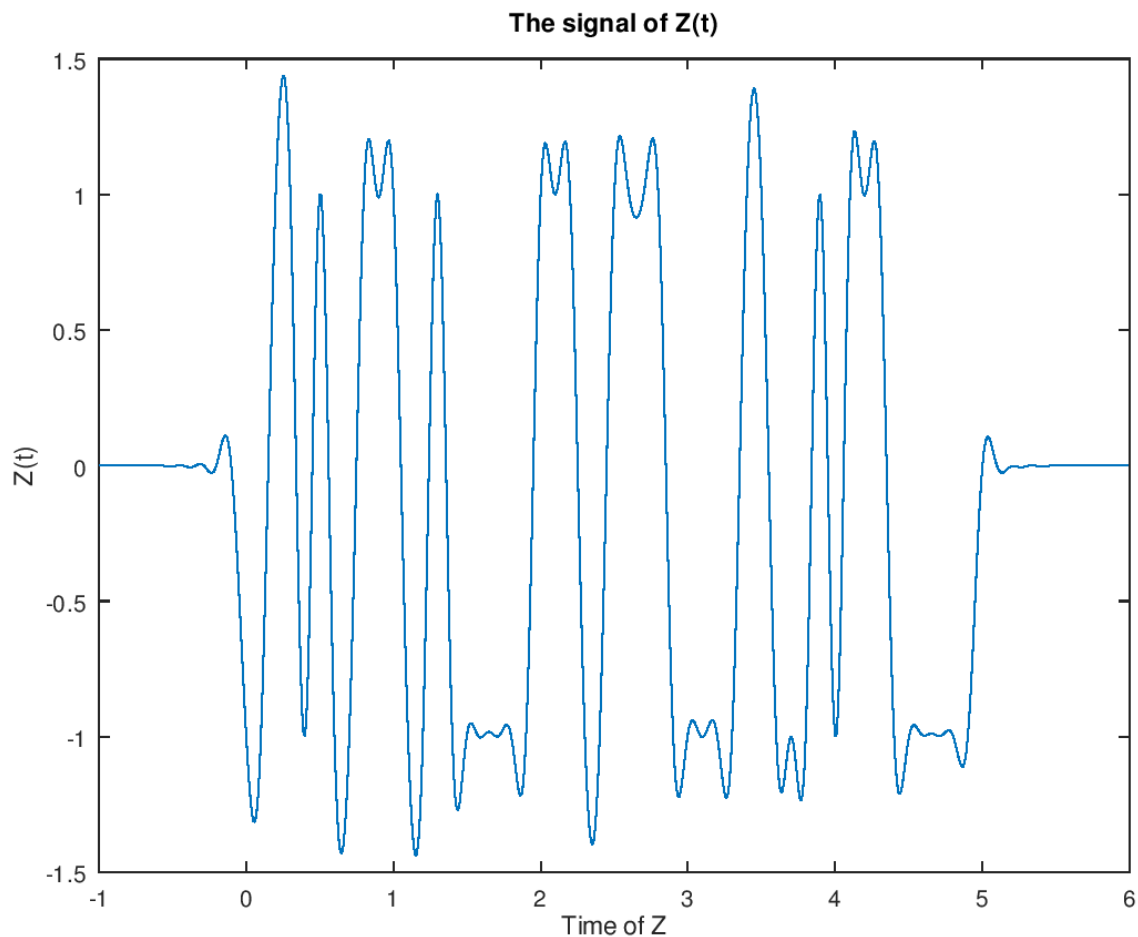
Παράρτημα Κώδικα 3.3

δ.

Στο τελευταίο αυτό ερώτημα, θεωρείται ότι το σήμα διαδίδεται σε ιδανικό κανάλι, χωρίς επιπρόσθετο θόρυβο, έτσι ώστε λαμβάνεται από τον δέκτη αναλλοίωτο το σήμα $X(t)$. Εφόσον, ο δέκτης έχει κρουστική απόκριση $\varphi(-t)$ η συνέλιξη με το σήμα εισόδου δίνει την έξοδο του συστήματος

$$Z(t) = X(t) * \varphi(-t)$$

η οποία και προσομοιώνεται. Στην προσομοίωση εφαρμόστηκε η ιδιότητα $\varphi(t) = \varphi(-t)$ ενός άρτιου σήματος όπως είναι ένας παλμός SRRC. Ο κώδικας όσων αναφέρθηκαν παρατίθεται στο Παράρτημα Κώδικα 3.4 και η γραφική παράσταση του $Z(t)$ στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Το σήμα $Z(t)$

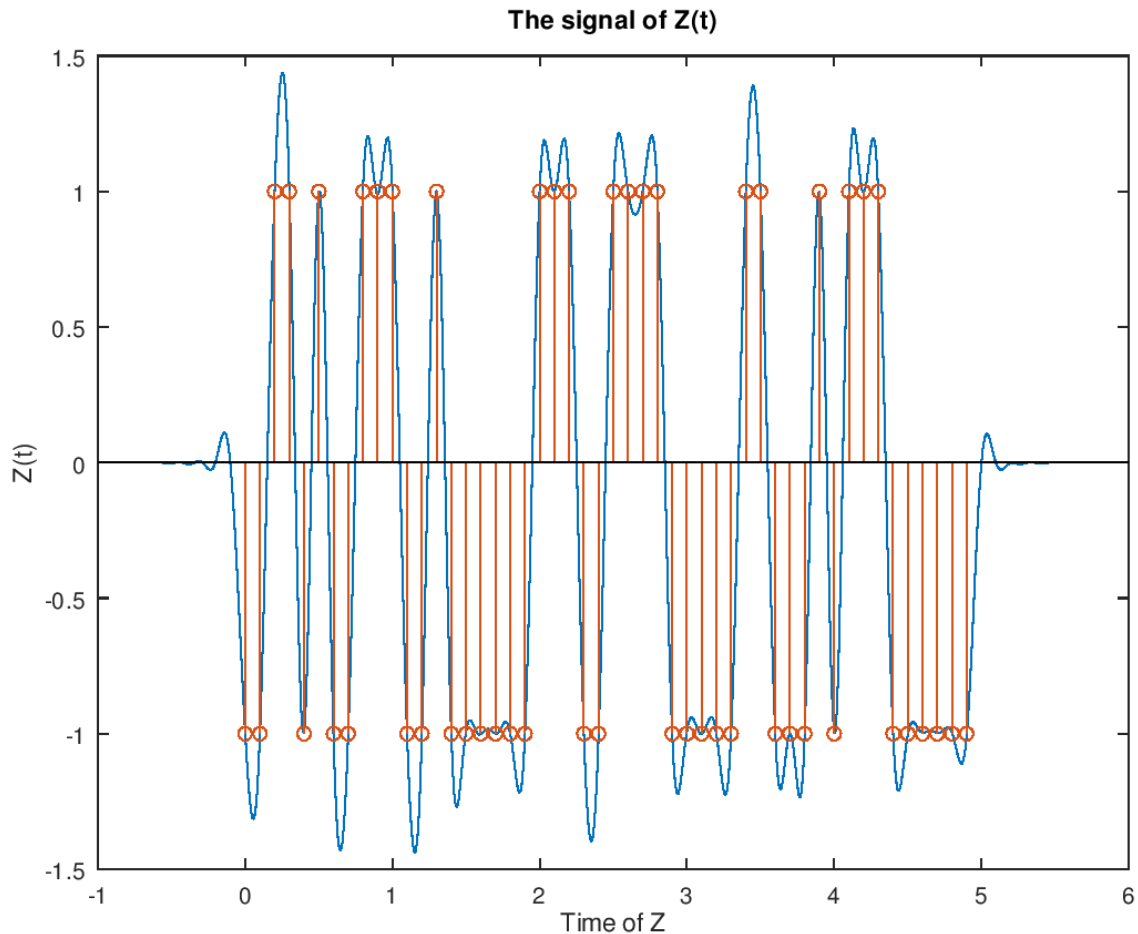
```
%part d of c2
%Demodulation of the signal
inv_phi = phi;%The signal phi is even

Z = conv(phi,conv_phi_Xd)*Ts;%Z(t)
time_of_Z = [t1(1) + time_of_conv(1):Ts:t1(end)+time_of_conv(end)];%Time of Z(t)
plot(time_of_Z,Z)
xlabel('Time of Z');
ylabel('Z(t)');
title('The signal of Z(t)');
```

Παράρτημα Κώδικα 3.4

Ύστερα λαμβάνονται οι τιμές του σήματος εξόδου τις χρονικές στιγμές kT , για $k=0, 1, \dots, N-1$ δηλαδή δειγματοληπτείται το σήμα με περίοδο δειγματοληψίας την περίοδο συμβόλου T . Με σύγκριση των τιμών του $Z(kT)$ με τις τιμές του X_k παρατηρείται σχεδόν απόλυτη ομοιότητα. Αυτό σημαίνει ότι τα σύμβολα που εισήχθησαν σαν είσοδος ανακτήθηκαν και στην έξοδο. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται στην διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση του αρχικού σήματος με τις $\varphi(t)$ και $\varphi(-t)$ αντίστοιχα.

Το παραπάνω θεωρητικό πόρισμα επαληθεύεται και γραφικά στο κοινό plot του $Z(t)$ με τα σύμβολα που μεταδίδονται από τον πομπό. Το συγκεκριμένο γράφημα εμφανίζεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Το κοινό plot των συμβόλων του X με το $Z(t)$

```
plot(time_of_Z,Z)
```



```
hold on;  
stem([0:1:N-1]*T,X)  
xlabel('Time of Z');  
ylabel('Z(t)');  
title('The signal of Z(t)');
```

Παράρτημα Κώδικα 3.5

ΚΩΔΙΚΑΣ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΣ Α

```
clear all;
close all;

%-----First part of the project A-----%
T = 0.01;
over = 10;
Ts = T/over;
A = 4;

%----Part A1----%
%Create the srrc pulses for different roll off factors
%---for roll-off a = 0---%
a1 = 0;
[phi1,t1] = srrc_pulse(T, Ts, A, a1);
plot(t1,phi1);
hold on;
%---for roll-off a = 0.5---%
a2 = 0.5;
[phi2,t2] = srrc_pulse(T, Ts, A, a2);
plot(t2,phi2);
hold on;
%---for roll-off a = 1---%
a3 = 1;
[phi3,t3] = srrc_pulse(T, Ts, A, a3);
grid on;
plot(t3,phi3);
xlabel('Time(s)', 'FontSize', 10);
ylabel('SRRC(t)', 'FontSize', 10);
title('SRRC pulses for differents roll off factors', 'FontSize', 15);
axis([-0.04 0.04 -3 15]);

%----Part A2----%
figure();
%Calculation of the srrc pulses' fourier transform
Fs = 1/Ts;
Nf = 1024;
DT = 1/Fs;
F = [-Fs/2:Ff/Nf:Ff/2 - Ff/Nf];%The frequency spectrum
y1 = abs(fftshift(fft(phi1,Nf)*DT)).^2;%Create the energy spectral density for phi1
plot(F,y1);
hold on;
y2 = abs(fftshift(fft(phi2,Nf)*DT)).^2;%Create the energy spectral density for phi2
plot(F,y2);
hold on;
y3 = abs(fftshift(fft(phi3,Nf)*DT)).^2;%Create the energy spectral density for phi3
plot(F,y3);
grid on;
xlabel('Frequency(Hz)', 'FontSize', 10);
ylabel('|\Phi(F)|^2', 'FontSize', 10);
title('Energy Spectral Density', 'FontSize', 15);

figure();
semilogy(F,y1);
hold on;
semilogy(F,y2);
hold on;
semilogy(F,y3);
xlabel('Frequency(Hz)', 'FontSize', 10);
ylabel('|\Phi(F)|^2', 'FontSize', 10);
title('Energy Spectral Density(logarithmic y axis)', 'FontSize', 15);

%----Part A3----%
```

```

BW1 = (1+a1)/(2*T) %spectrum of phi1
BW2 = (1+a2)/(2*T) %spectrum of phi2
BW3 = (1+a3)/(2*T) %spectrum of phi3

colorstring = 'kb';%k is for black color line and b for blue color line
c = T/(10^3);
plot(F,c,'LineWidth',2,'color',colorstring(1));%This line has black color
hold on;

c1 = T/(10^5);
plot(F,c1,'LineWidth',2,'color',colorstring(2));%This line has blue color

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΣ Β

```

clear all;
close all;

%-----Second part of the project B-----%
T = 0.01;
over = 10;
Ts = T/over;
DT = Ts;
A = 5;
Fs = 1/Ts;

%----Part B----%
%---for roll-off a = 0---%
a = [0 0.5 1];

for i = 1 : length(a)

[phi,t] = srrc_pulse(T, Ts, A, a(i));
figure();
plot(t,phi);
xlabel('Time(s)');
ylabel('\phi(t)');
title(['The SRRC pulse for a = ',num2str(a(i))]);
axis([-0.05 0.05 -5 15]);

%%%Part B1-----

figure();
%k = 0
phi_initial_0 = phi;%change ph0 to phi1_delay_0
new_t_0 = t;
plot(new_t_0, phi_initial_0);
hold on;
% k = 1
%figure();
phi_initial_1 = [phi zeros(1,(T/Ts))];
phi_delay_1 = [zeros(1,(T/Ts)) phi];
new_t1 = [t [t(end)+ Ts:DT:t(end)+T]];
plot(new_t1,phi_delay_1);
hold on;
% k = 2
%figure();
phi_initial_2 = [phi zeros(1,2*(T/Ts))];
phi_delay_2 = [zeros(1,2*(T/Ts)) phi];
new_t2 = [t [t(end)+ Ts:DT:t(end)+2*T]];
plot(new_t2,phi_delay_2);

```

```

hold on;
% k = 4
%figure();
phi_initial_4 = [phi zeros(1,4*(T/Ts))];
phi_delay_4 = [zeros(1,4*(T/Ts)) phi];
new_t4 = [t [t(end)+ Ts:DT:t(end)+4*T]]; %I do not know if Ts is neseccesary
plot(new_t4,phi_delay_4);
hold on;
axis([new_t4(1) new_t4(end) min(phi) max(phi)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('SRRC pulses');
title(['Phi and its delayed versions of k for a =',num2str(a(i))]);
%%%%%%Part B2-----
%mulitplication of the two signals for k = 0
phi_product_0 = (phi_initial_0.*phi_initial_0); %The product of the srcc pulse and its
delayed version for 0 T
figure();
plot(new_t_0,phi_product_0);
axis([new_t_0(1) new_t_0(end) min(phi_product_0) max(phi_product_0)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\_product\_0');
title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 0 T');

%mulitplication of the two signals for k =1
phi_product_1 = (phi_initial_1.*phi_delay_1); %The product of the srcc pulse and its delayed
version for 1 T
figure();
plot(new_t1,phi_product_1);
axis([new_t1(1) new_t1(end) min(phi_product_1) max(phi_product_1)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\_product\_1');
title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 1 T');

%mulitplication of the two signals for k =2
phi_product_2 = (phi_initial_2.*phi_delay_2); %The product of the srcc pulse and its delayed
version for 2 T
figure();
plot(new_t2,phi_product_2);
axis([new_t2(1) new_t2(end) min(phi_product_2) max(phi_product_2)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\_product\_2');
title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 2 T');

%mulitplication of the two signals for k = 4
phi_product_4 = (phi_initial_4.*phi_delay_4); %The product of the srcc pulse and its delayed
version for 4 T
figure();
plot(new_t4,phi_product_4);
axis([new_t4(1) new_t4(end) min(phi_product_4) max(phi_product_4)]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('phi\_product\_4');
title('The product of the srcc pulse and its delayed version for 4 T');

%part B3-----
%Calculate the integer of the product of srcc pulse and its delayed version

phi_sum_of_products_0 = sum(phi_product_0*Ts)

```

```

phi_sum_of_products_1 = sum(phi_product_1*Ts)

phi_sum_of_products_2 = sum(phi_product_2*Ts)

phi_sum_of_products_4 = sum(phi_product_4*Ts)

end

```

ΚΩΔΙΚΑΣ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΣ C

```

clear all;
close all;

T = 0.1;
over = 10;
a = 0.5;
A = 5;
N = 50;
Ts = T/over;
DT = Ts;
% part c

%part c1

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

%part c2

X = bits_to_2PAM(b);%The following of 2PAM symbols

%part b of c2
X_delta = (1/Ts)*upsample(X,over);%Upsampling of X
t = [0:Ts:(N*T - Ts)];

plot(t,X_delta,'LineWidth',1.5)
xlabel('Time of X_d');
ylabel('X_delta');
title('The signal X_d');
figure();

%part c of c2
%Modulation of the signal
[phi,t1] = srrc_pulse(T, Ts, A, a);

conv_phi_Xd = conv(phi,X_delta)*Ts;%Convolution of X_delta and phi
time_of_conv = [(t1(1)+t(1)):Ts:(t1(end) + t(end))];%Time of convolution of X_delta and phi
plot(time_of_conv,conv_phi_Xd);
xlabel('Time of convolution');
ylabel('Convolution of phi and X_d');
title('The convolution of phi and X_d');

figure();

%part d of c2
%Demodulation of the signal
inv_phi = phi;%The signal phi is even

Z = conv(phi,conv_phi_Xd)*Ts;%Z(t)
time_of_Z = [t1(1) + time_of_conv(1):Ts:t1(end)+time_of_conv(end)];%Time of Z(t)
plot(time_of_Z,Z)

```

```

xlabel('Time of Z');
ylabel('Z(t)');
title('The signal of Z(t)');

figure();

plot(time_of_Z,Z)
hold on;
stem([0:1:N-1]*T,X)
xlabel('Time of Z');
ylabel('Z(t)');
title('The signal of Z(t)');

```

KΩΔΙΚΑΣ bits_to_2PAM

```

function X = bits_to_2PAM(b)

    for k = 1:length(b)

        if (b(k) == 0)
            X(k) = 1;
        elseif
            X(k) = -1;
        endif
    endfor
endfunction

```