



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ηλεκτρονικά Ισχύος

4^η Εργασία

Λογισμικό

MATLAB

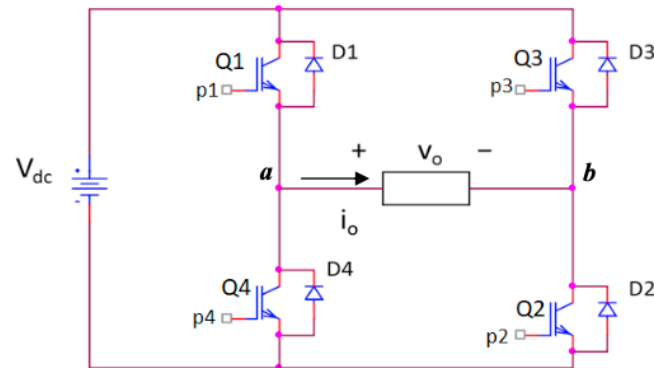
Θωμάς Χατζής 2018030134

Χρήστος Παυλόπουλος 2018030139

Μάριος Σαλίνας 2018030049

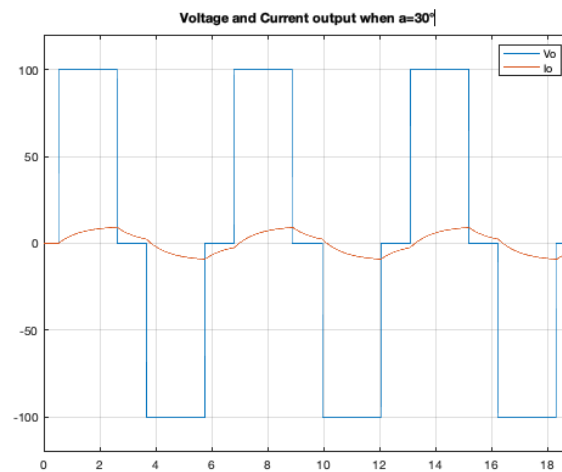
Ερώτημα 1

Παρακάτω απεικονίζεται ο μονοφασικός αντιστροφείας γέφυρας τετραγωνικού παλμού και οι κυματομορφές προσομοίωσης του για διαφορετικές γωνίες έναυσης. Ο μετατροπέας αυτός τροφοδοτεί ένα RL φορτίο με ρυθμιζόμενη εναλλασσόμενη τάση τετραγωνικών παλμών:

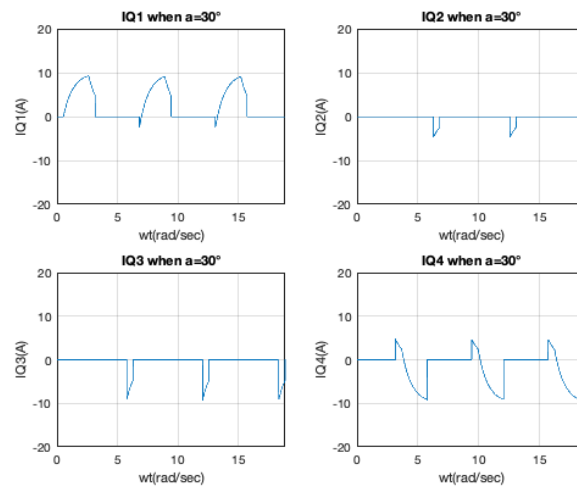


1.1 $\alpha = 30^\circ$

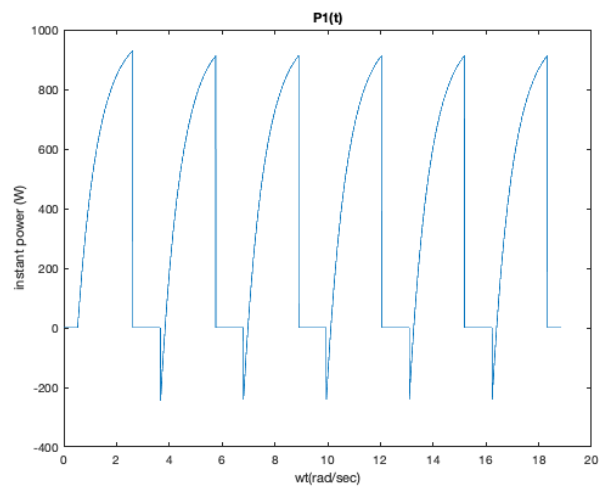
Τάση και Ρεύμα εξόδου



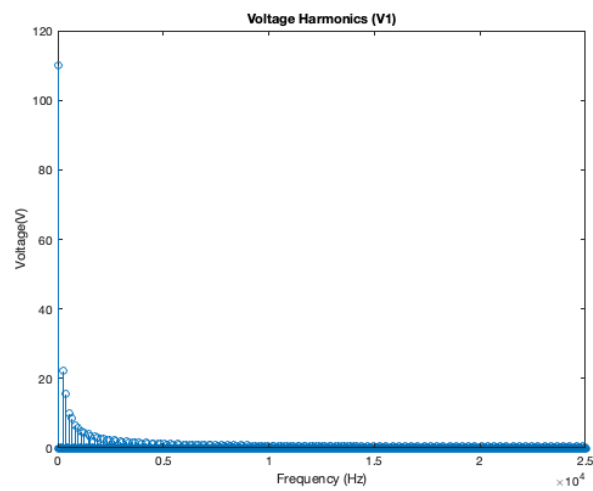
Ρεύμα διακοπών



Ισχύς εξόδου

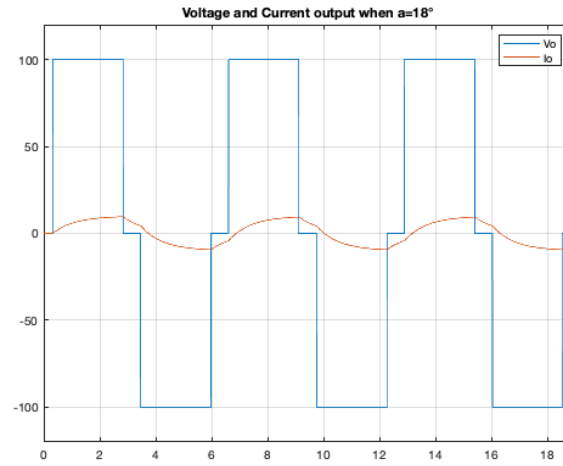


Αρμονικές τάσης εξόδου

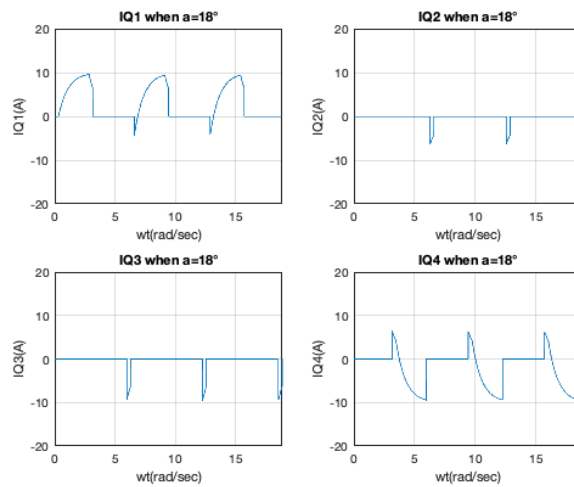


1.2 $\alpha = 18^\circ$

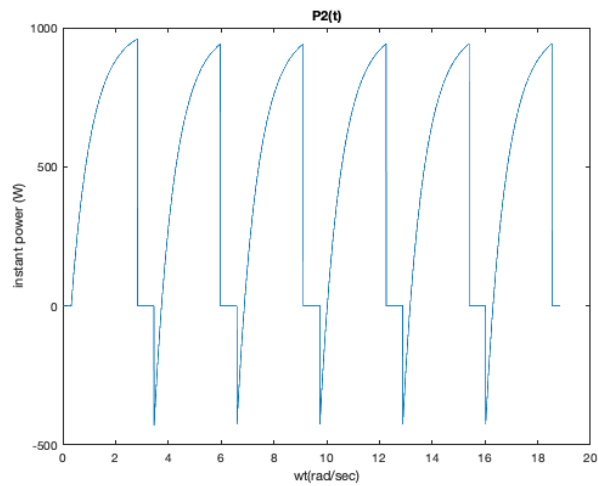
Τάση και Ρεύμα εξόδου



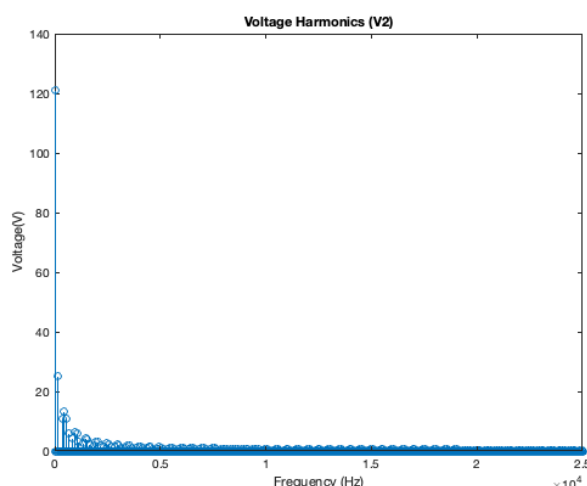
Ρεύμα διακοπτών



Ισχύς εξόδου



Αρμονικές τάσης εξόδου

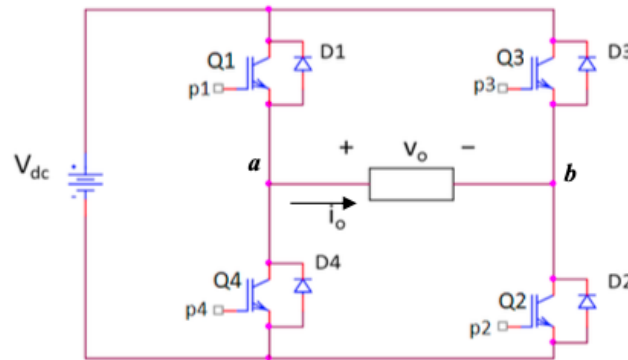


1.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

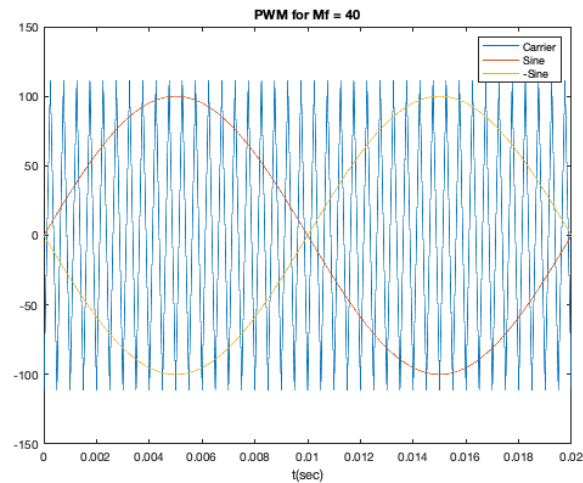
Στο ερώτημα αυτό μοντελοποιήθηκε και προσομοιώθηκε μια διάταξη μονοφασικού αντιστροφέα γέφυρας τετραγωνικού παλμού. Παρατηρείται ότι όσο μικρότερη είναι η γωνία έναυσης τόσο μεγαλύτερη είναι η ενεργός ισχύς εξόδου, αφού η διάρκεια ταλάντωσης είναι μεγαλύτερη. Ακόμα, έχοντας ως γνώμονα την θεωρία είναι γνωστό ότι σε κάθε μια από τις 2 περιπτώσεις γωνιών έναυσης οι διόδους μαζί με τους διακόπτες άγουν αντιδιαμετρικά. Δηλαδή όταν άγει ο διακόπτης Q1 ή Q2 δεν άγει ο Q4 ή Q3 αντιστοίχως. Το ίδιο ισχύει και για τις διόδους, δηλαδή, όταν άγει η διάδος D1 ή D2 δεν άγει ο D4 ή D3 αντίστοιχα. Τέλος, όσο πιο μικρή είναι η γωνία έναυσης α , τόσο μεγαλύτερο είναι και το πλάτος των αρμονικών. Αυτό επιβεβαιώνεται και με τις παραπάνω κυματομορφές, καθώς όταν $\alpha = 18^\circ$ το πλάτος των αρμονικών είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με $\alpha = 30^\circ$.

Ερώτημα 2

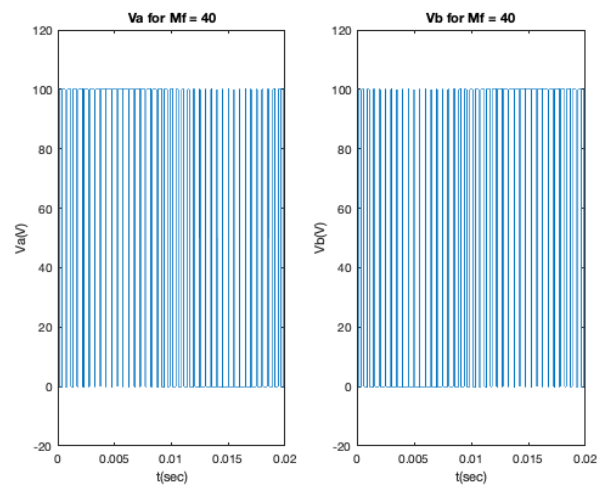
Ο μονοφασικός αντιστροφέας γέφυρας τροφοδοτεί ένα RL φορτίο με ρυθμιζόμενη εναλλασσόμενη τάση με την χρήση της τεχνικής της διαμόρφωσης του εύρους των παλμών ελέγχου των ηλεκτρονικών διακοπών. Παρακάτω δίνεται το κύκλωμα και απεικονίζονται οι κυματομορφές του κυκλώματος για διαφορετικά mf.



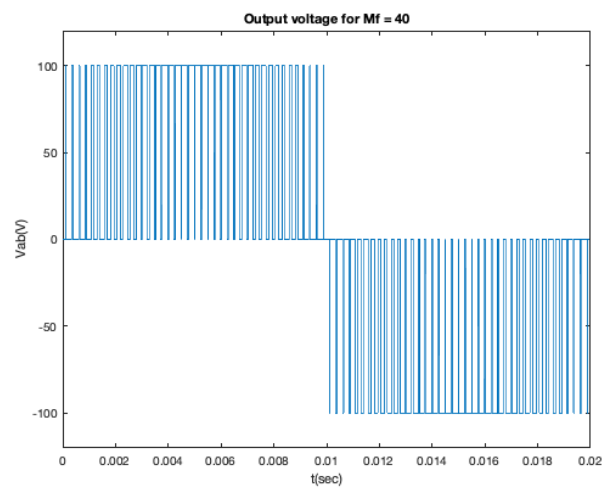
2.1 $m_a = 0.9$ και $m_f = 40$



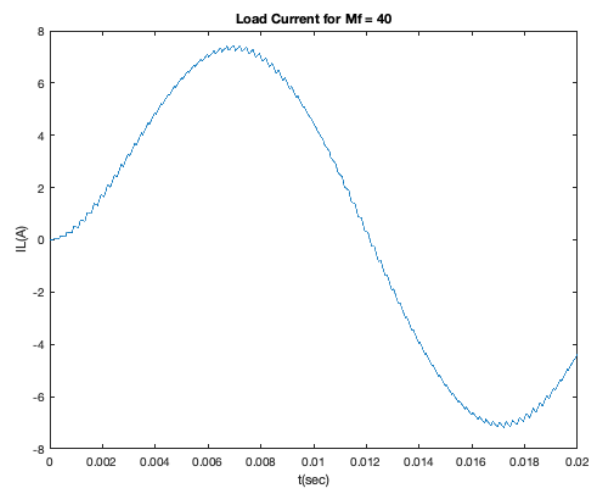
Τάσεις V_a, V_b



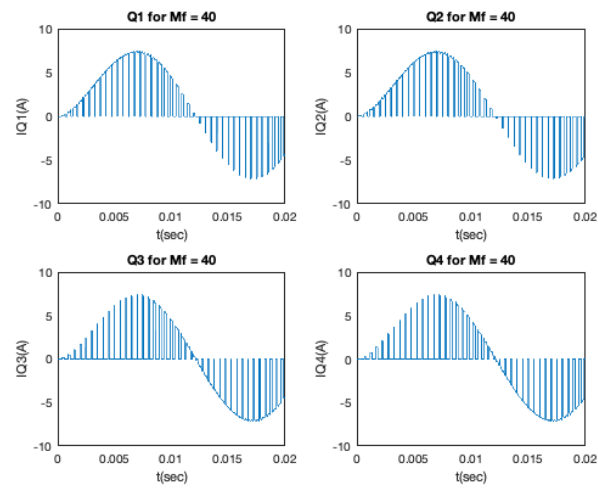
Τάση εξόδου



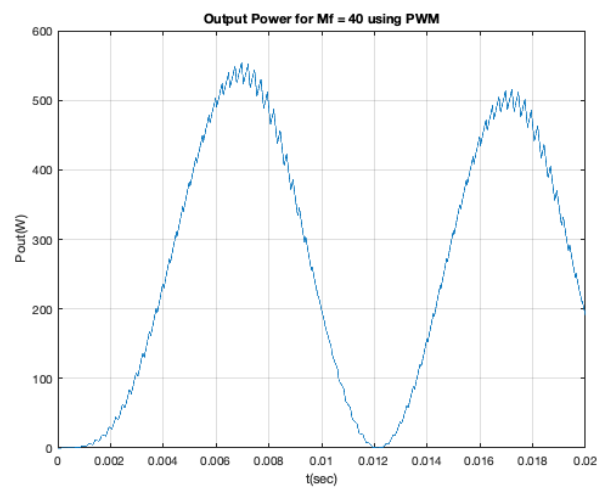
Ρεύμα φορτίου



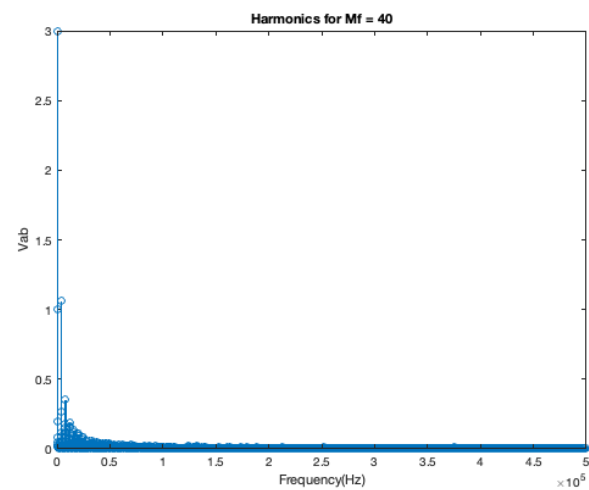
Ρεύμα διακοπών



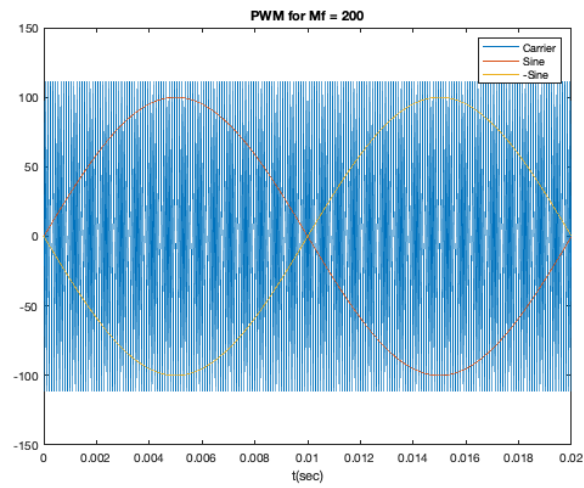
Ισχύς εξόδου



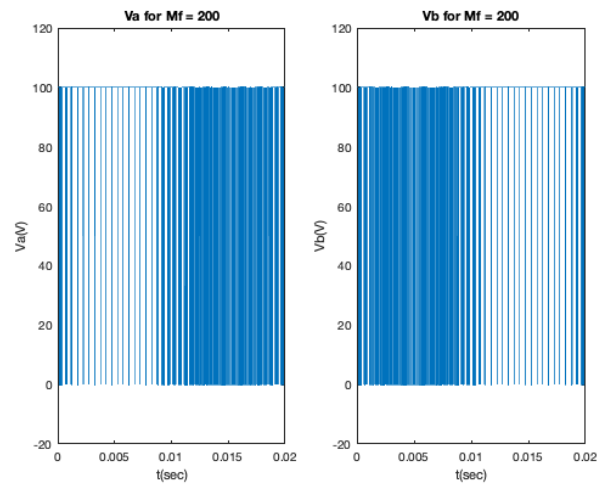
Αρμονικές τάσης εξόδου



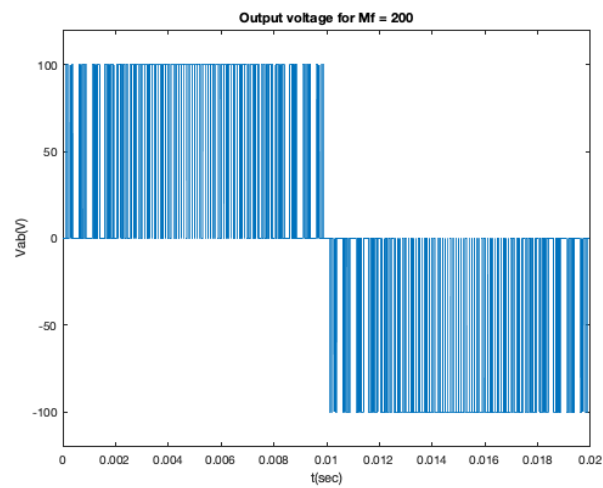
$$2.2 \ m_a = 0.9 \text{ και } m_f = 200$$



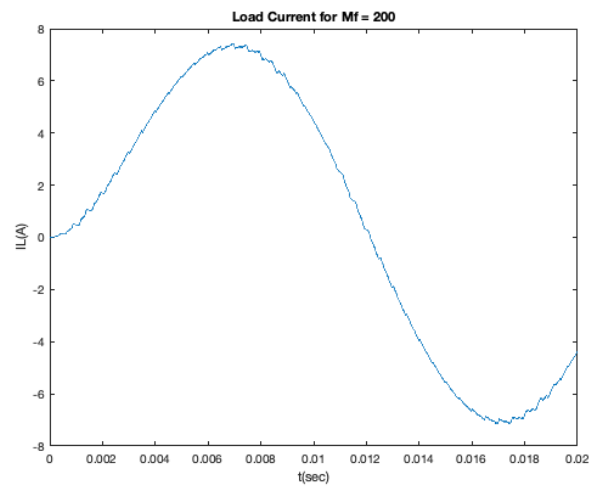
Τάσεις V_a, V_b



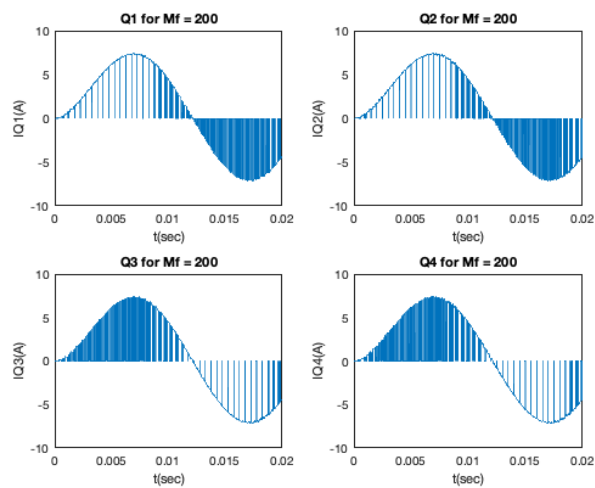
Τάση εξόδου



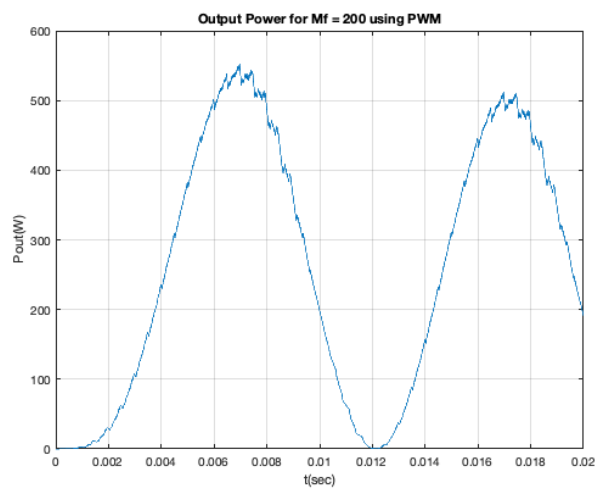
Ρεύμα φορτίου



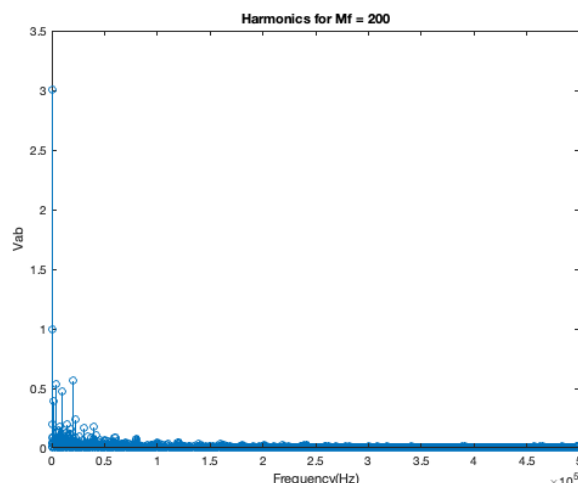
Ρεύμα διακοπών



Ισχύς εξόδου



Αρμονικές τάσης εξόδου

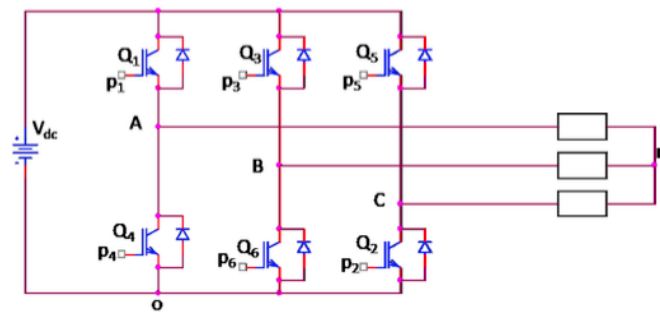


2.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Στο ερώτημα αυτό προσομοιώνεται ο μονοφασικός αντιστροφέας, όπως και στο προηγούμενο ερώτημα με την διαφορά ότι πλέον εφαρμόζεται η τεχνική της PWM. Γίνεται έλεγχος δύο διαφορετικών περιπτώσεων με $m_f=40$ και $m_f=200$ αντίστοιχα. Η τεχνική PWM είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, μιας και μετατοπίζει τις αρμονικές σε μεγάλες συχνότητες, ανάλογα την τιμή m_f . Πιο συγκεκριμένα οι πρώτες αρμονικές τάσης, σύμφωνα με την θεωρία αναμένεται να εμφανιστούν στα $2 \cdot m_f \cdot 50$, δηλαδή στα 4 kHz για την πρώτη περίπτωση, ενώ για την δεύτερη περίπτωση πρόκειται να εμφανιστούν στα $2 \cdot m_f \cdot 50$, δηλαδή στα 20 kHz. Ακόμα παρατηρείται ότι με την αύξηση του m_f το σήμα γίνεται πιο πυκνό, με αποτέλεσμα οι τετραγωνικοί παλμοί των τάσεων V_a και V_b αντίστοιχα να παρουσιάζουν μικρότερη διάρκεια για $m_f = 200$. Τέλος, όσο αφορά το ρεύμα φορτίου φαίνεται ότι για μεγαλύτερο m_f η ποιότητα του είναι καλύτερη, αφού πλησιάζει την ημιτονοειδή μορφή.

Ερώτημα 3

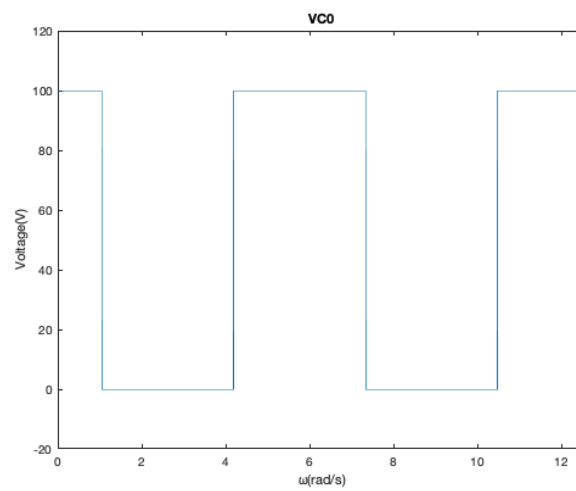
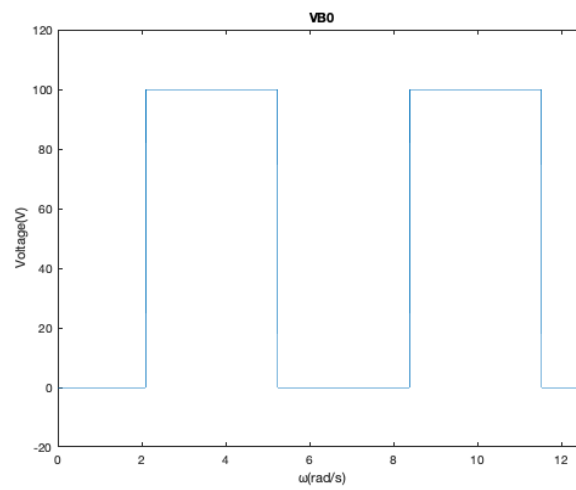
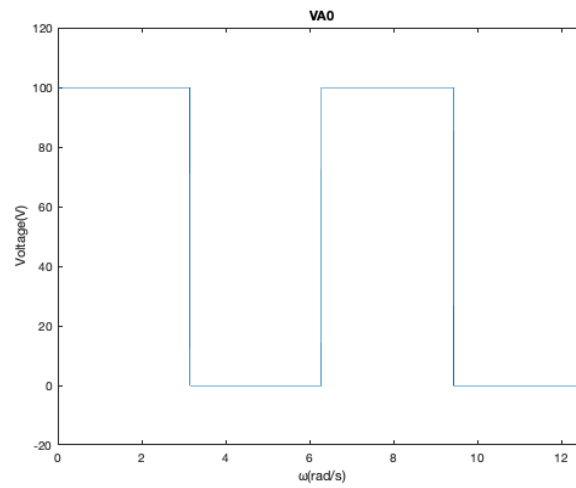
Ο τριφασικός αντιστροφέας έξι παλμών τροφοδοτεί ένα συμμετρικό RL φορτίο σε συνδεσμολογία αστέρα με ρυθμιζόμενη τάση. Παρακάτω δίνεται το κύκλωμά του και παρουσιάζονται οι κυματομορφές των τάσεων (πολικών και φασικών) και των ρευμάτων του κυκλώματος.



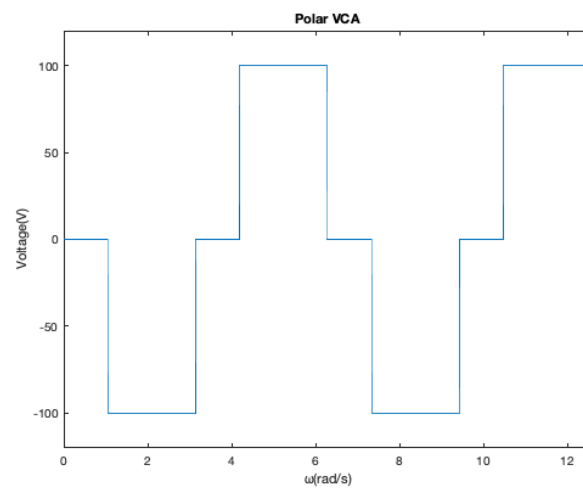
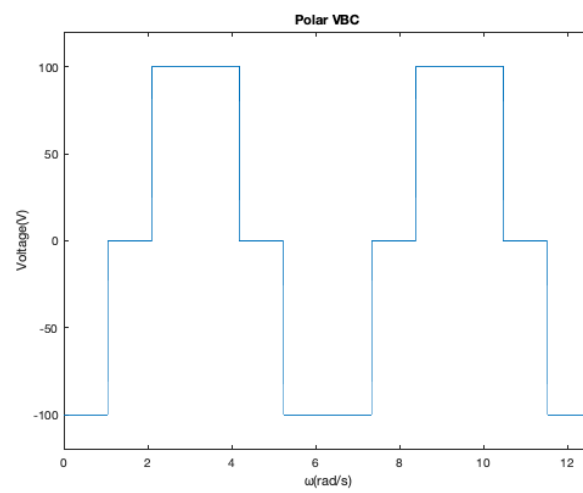
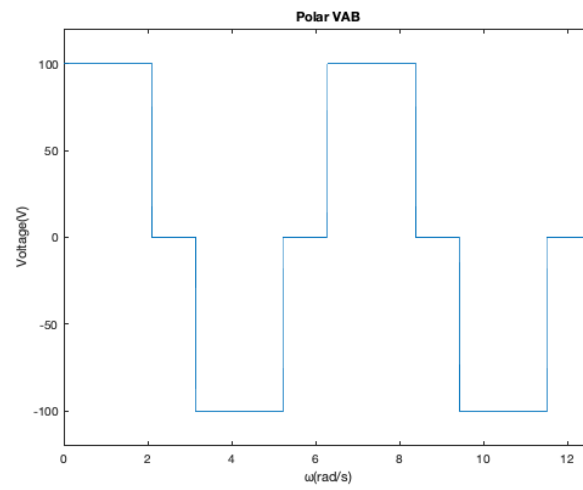
Τριφασικός Αντιστροφέας έξι παλμών

3.1 Κυματομορφές

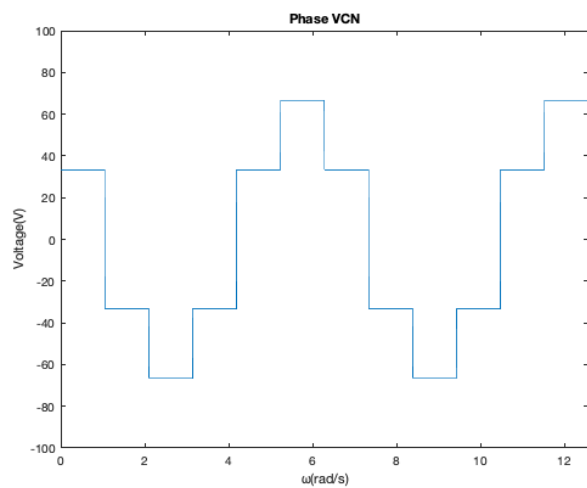
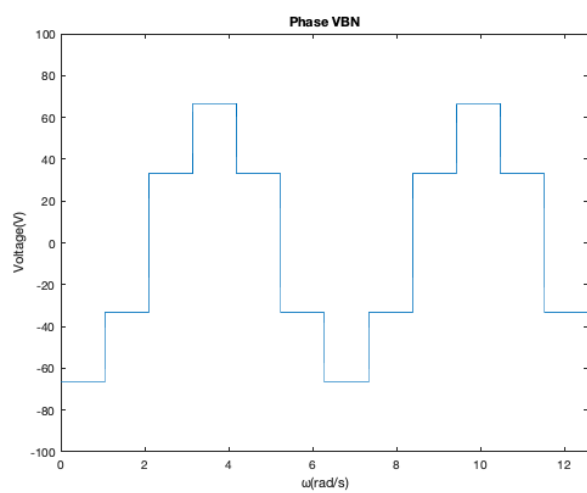
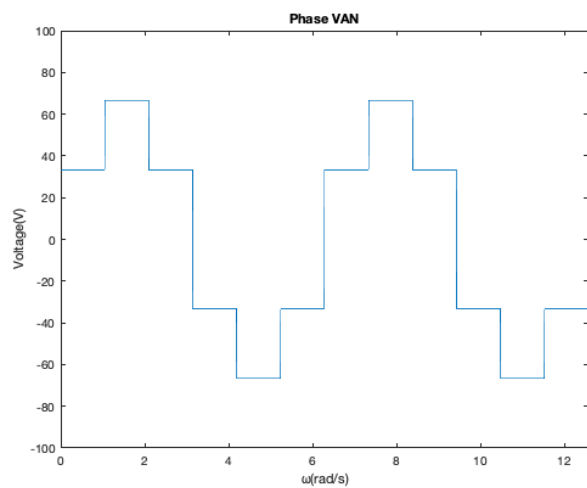
Τάση στα A,B,C



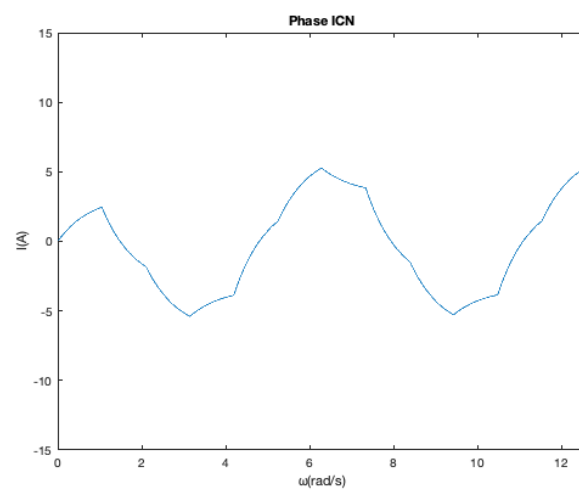
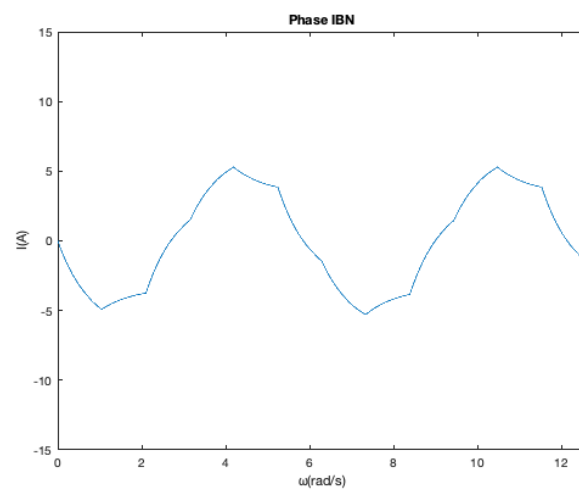
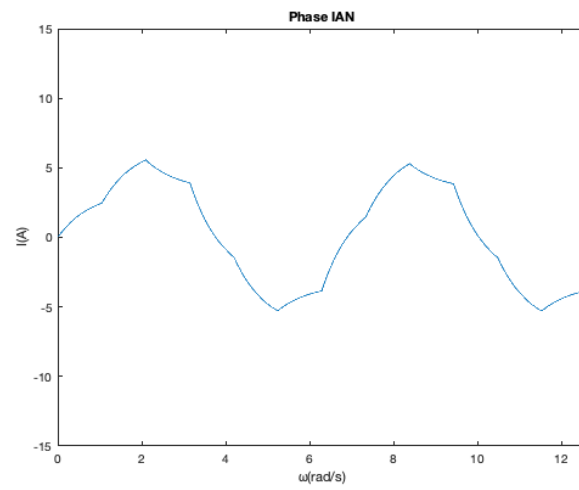
Πολικές τάσεις



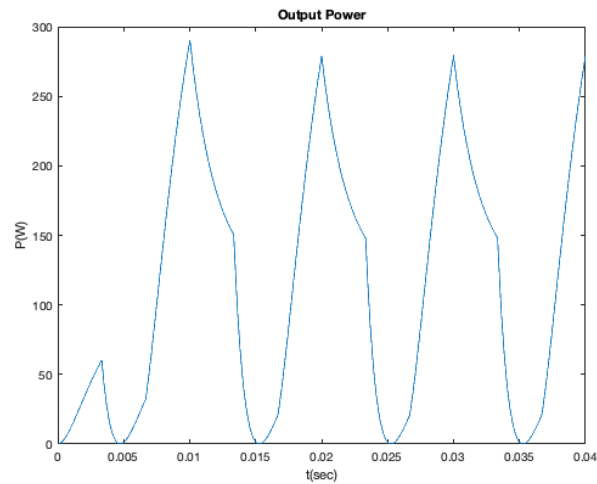
Φασικές τάσεις



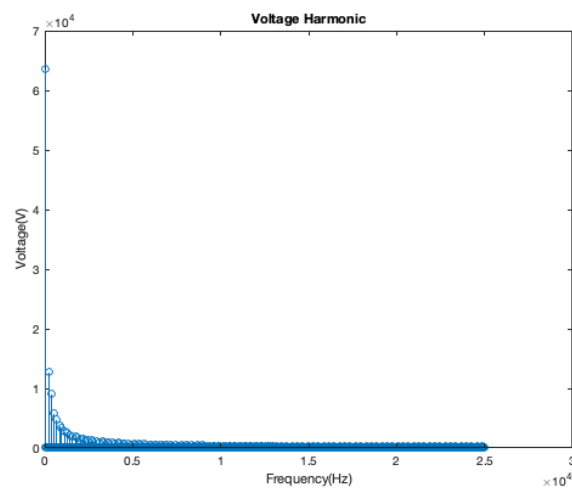
Ρεύματα φάσεων



Ισχύς εξόδου



Αρμονικές τάσης εξόδου



3.2 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Από τις τάσεις φαίνεται πως οι φασικές τάσεις έχουν 6 παλμούς έναντι 2 των πολικών στην διάρκεια μιας περιόδου. Οι διόδοι και οι διακόπτες άγουν σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας ενός τριφασικού αντιστροφέα. Παράλληλα παρατηρείται ότι οι κυματομορφές του ρεύματος προσεγγίζουν την ημιτονοειδής μορφή, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν πολλαπλάσια της 3^{ης} αρμονικής.

Ερώτημα 6

Κώδικας Matlab

Ερώτημα 1

```
clear all;
close all;

%% ----- 1 -----
%%1.A%%

Vdc = 100;
R = 10;
L = 0.025;
f = 50;
a1 = 30*pi/180;
a2 = 18*pi/180;
T = 1/f;
w = 2*pi*f;
dt = 2*(10^(-5));

%Initialization of Currents
IQ1 = zeros(1,3001);
IQ2 = zeros(1,3001);
IQ3 = zeros(1,3001);
IQ4 = zeros(1,3001);

%Systems parameters
A_1 = -R/L;
B_1 = 1/L;
C_1 = 1;
D_1 = 0;

%System
sys_1 = ss(A_1,B_1,C_1,D_1);

%Discrete system
sys_1_dis= c2d(sys_1,dt);

k=1;
%Square pulse construction when a=30 degrees
for wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi
    wt = mod(wt_1,2*pi);
    if(wt <= a1)
        v1(k) = 0;
    elseif (wt <= pi - a1)
        v1(k) = Vdc;
    elseif (wt <= pi + a1)
        v1(k) = 0;
    elseif (wt <= 2*pi -a1)
        v1(k) = -Vdc;
    else
        v(k) = 0;
    end;
    k=k+1;
end;

k=1;
%Square pulse construction when a=18 degrees
for wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi
    wt = mod(wt_1,2*pi);
    if(wt <= a2)
        v2(k) = 0;
```

```

elseif (wt <= pi - a2)
    v2(k) = Vdc;
elseif (wt <= pi + a2)
    v2(k) = 0;
elseif (wt <= 2*pi -a2)
    v2(k) = -Vdc;
else
    v2(k) = 0;
end;
k=k+1;
end;

%Current when a = 30
I_L1(1) = 0;
%Current when a = 18
I_L2(1) = 0;

for k = 1:1:3000
    I_L1(k+1) = sys_1_dis.A*I_L1(k) + sys_1_dis.B*v1(k);
    I_L2(k+1) = sys_1_dis.A*I_L2(k) + sys_1_dis.B*v2(k);
end;

wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi;
figure();
plot(wt_1,v1);
axis([0 6*pi -120 120]);
title('Voltage and Current output when a=30°')
grid on;
hold on;
plot(wt_1,I_L1);
legend('Vo','Io');
hold off;

wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi;
figure();
plot(wt_1,v2);
axis([0 6*pi -120 120]);
title('Voltage and Current output when a=18°')
grid on;
hold on;
plot(wt_1,I_L2);
legend('Vo','Io');
hold off;

k=1;

%===== For a=30 =====%

%%Current calculation
for wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi
    wt = mod(wt_1,2*pi);

    if (wt<=a1)
        IQ2(k) = I_L1(k);
    elseif (wt<=pi)
        IQ1(k) = I_L1(k);
    elseif (wt<=2*pi-a1)
        IQ4(k) = I_L1(k);
    else
        IQ3(k) = I_L1(k);
    end;
end;

```

```

k = k+1;
end;

figure;

wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi;
subplot(2,2,1);
plot(wt_1,IQ1);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ1 when a=30°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ1(A)');
grid on;

subplot(2,2,2);
plot(wt_1,IQ2);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ2 when a=30°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ2(A)');
grid on;

subplot(2,2,3);
plot(wt_1,IQ3);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ3 when a=30°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ3(A)');
grid on;

subplot(2,2,4);
plot(wt_1,IQ4);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ4 when a=30°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ4(A)');
grid on;

%=====
%Initialization of Currents
IQ1 = zeros(1,3001);
IQ2 = zeros(1,3001);
IQ3 = zeros(1,3001);
IQ4 = zeros(1,3001);

%Current when a = 30
I_L1(1) = 0;
%Current when a = 18
I_L2(1) = 0;

k=1;
for k = 1:1:3000
I_L1(k+1) = sys_1_dis.A*I_L1(k) + sys_1_dis.B*v1(k);
I_L2(k+1) = sys_1_dis.A*I_L2(k) + sys_1_dis.B*v2(k);
end;

%===== For a=18 =====
k=1;
%%Current calculation
for wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi
wt = mod(wt_1,2*pi);

if (wt<=a2)

```

```

        IQ2(k) = I_L2(k);
elseif (wt<=pi)
    IQ1(k) = I_L2(k);
elseif (wt<=2*pi-a2)
    IQ4(k) = I_L2(k);
else
    IQ3(k) = I_L2(k);
end;
k = k+1;
end;

figure;

wt_1 = 0:dt*2*pi*f:6*pi;
subplot(2,2,1);
plot(wt_1,IQ1);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ1 when a=18°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ1(A)');
grid on;

subplot(2,2,2);
plot(wt_1,IQ2);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ2 when a=18°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ2(A)');
grid on;

subplot(2,2,3);
plot(wt_1,IQ3);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ3 when a=18°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ3(A)');
grid on;

subplot(2,2,4);
plot(wt_1,IQ4);
axis([0 6*pi -20 20]);
title('IQ4 when a=18°');
xlabel('wt(rad/sec)');
ylabel('IQ4(A)');
grid on;

```

%===== 1.B Fourier Transform =====%

```

NFFT = 3000;
Fs = 50000;
V1 = fft(v1,NFFT)/3000;
I1 = fft(I_L1,NFFT)/3000;
V2 = fft(v2,NFFT)/3000;
I2 = fft(I_L2,NFFT)/3000;
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);

figure;
stem(f,2*abs(V1(1:NFFT/2+1)))
title('Voltage Harmonics (V1)')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Voltage(V)')

figure;

```

```

stem(f,2*abs(V2(1:NFFT/2+1)))
title('Voltage Harmonics (V2)')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Voltage(V)')

%===== Active Power Calculation =====%

p1=0;
p2=0;

%Instant Active Power
k=0;
for k = 1:1:3001
    P1(k)= v1(k)*I_L1(k);
    P2(k)= v2(k)*I_L2(k);
end

figure;
plot(wt_1,P1)
title('P1(t)');
xlabel('wt(rad/sec)')
ylabel('instant power (W)')

figure;
plot(wt_1,P2)
title('P2(t)');
xlabel('wt(rad/sec)')
ylabel('instant power (W)')

%Active Power

for k = 1:1:3001
    p1= P1(k)+ p1;
    p2= P2(k)+ p2;
end

p1 = p1/3001
p2 = p2/3001

%===== RMS values calculation for Power Factor Calculation =====%

%Initialization

k=0;
V1_num=0;
V2_num=0;
I1_num=0;
I2_num=0;

for k= 1:1:3000
    V1_num = ((rms(V1(k))^2))+V1_num;
    V2_num = ((rms(V2(k))^2))+V2_num;
    I1_num = ((rms(I1(k))^2))+I1_num;
    I2_num = ((rms(I2(k))^2))+I2_num;
end

V1_rms=sqrt(V1_num);
V2_rms=sqrt(V2_num);
I1_rms=sqrt(I1_num);
I2_rms=sqrt(I2_num);

s1=V1_rms*I1_rms
s2=V2_rms*I2_rms

```

```
%Power Factor
PF_1= p1/s1
PF_2= p2/s2
```

Ερώτημα 2

```
close all;
clear all;
```

```
%% ----- 2 -----
```

```
V = 100;           % Input voltage
R = 10;            % Resistance
L = 0.025;         % Induction
f = 50;            % Frequency
om = 2*pi*f;       % Omega
dt = 10^-6;        % Step
n = 1;             % Number of periods
t = 0:dt:n*1/f;    % Vector for time
ma = 0.9;          % Ma is 0.9
mf1 = 40;          % Mf is 40 for 1st case
mf2 = 200;          % Mf is 200 for 2nd case
sine = sin(om*t)*V; % Reference signal
amp = 1/2;         % Triangle wave's width
Vm_c = V/ma;       % Carrier Vm
```

%Initialization

```
Va = zeros(size(t));
Vb = zeros(size(t));
Vab = zeros(size(t));
IQ1 = zeros(size(t));
IQ2 = zeros(size(t));
IQ3 = zeros(size(t));
IQ4 = zeros(size(t));
IL = zeros(size(t));
```

% System's parameters

```
A1 = -R/L;
B1 = 1/L;
C1 = 1;
D1 = 0;
```

% State space model

```
sys1 = ss(A1,B1,C1,D1);
```

% Discrete system

```
sys1_dis = c2d(sys1, dt);
dis1 = sys1_dis.A;
dis2 = sys1_dis.B;
dis3 = sys1_dis.C;
dis4 = sys1_dis.D;
```

%Calculations for Mf = 40

```
f_carrier = f*mf1; %Carrier signal
triangle = ((sawtooth(2*pi*f_carrier*t, amp)))*Vm_c;
k = 1;
for i = t
    if(sine(k) > triangle(k))
        Va(k) = V;
        IQ1(k) = IL(k);
    elseif(sine(k) < triangle(k))
```

```

        IQ4(k) = IL(k);
    end

    if(-sine(k) > triangle(k))
        Vb(k) = V;
        IQ3(k) = IL(k);
    elseif(-sine(k) < triangle(k))
        IQ2(k) = IL(k);
    end

    Vab(k) = Va(k) - Vb(k);
    IL(k+1) = dis1*IL(k) + dis2*Vab(k);

    k=k+1;
end

figure;
plot(t,triangle);
hold on;
plot(t,sine);
plot(t,-sine);
legend('Carrier','Sine','-Sine');
title('PWM for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
hold off;

figure;
subplot(1,2,1);
plot(t,Va);
title('Va for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
ylabel('Va(V)');
axis([0 0.02 -20 120]);

subplot(1,2,2);
plot(t,Vb);
title('Vb for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
ylabel('Vb(V)');
axis([0 0.02 -20 120]);

figure;
plot(t,Vab);
title('Output voltage for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
ylabel('Vab(V)');
axis([0 0.02 -120 120]);

figure;
plot(t,IL(1:end-1));
title('Load Current for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
ylabel('IL(A)');

figure;
subplot(2,2,1);
plot(t,IQ1);
title('Q1 for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
ylabel('IQ1(A)');

subplot(2,2,2);
plot(t,IQ2);
title('Q2 for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');

```



```

ylabel('IQ2(A)');

subplot(2,2,3);
plot(t,IQ3);
title('Q3 for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
ylabel('IQ3(A)');

subplot(2,2,4);
plot(t,IQ4);
title('Q4 for Mf = 40');
xlabel('t(sec)');
ylabel('IQ4(A)');

% Calculation of output power
Pout = (IL(1:end-1).^2)*R;
figure()
plot(t,Pout)
title('Output Power for Mf = 40 using PWM');
grid on;
xlabel('t(sec)');
ylabel('Pout(W)');

NFFT = 10000;
p1ph = (Vab.*IL(1:end-1));
P1ph = mean(p1ph((n-1)*1000+1:end));
Vab_rms = sqrt(sum(Vab(1:NFFT).^2)/(NFFT/2));
Iab_rms = sqrt(sum(IL(1:NFFT).^2)/(NFFT/2));
S = Vab_rms * Iab_rms;
Pf = P1ph/S;
fprintf('Power Factor for Mf = 40 is ');
disp(Pf);

% Fourier transformation
F = (1/dt)/2*linspace(0,1,(NFFT/2)+1);
Vab_F = fft(Vab,NFFT);
figure();
stem(F,(abs(Vab_F(1:(NFFT/2)+1)/Vab_F(2))));
title('Harmonics for Mf = 40');
xlabel('Frequency(Hz)')
ylabel('Vab')

% Calculations for Mf = 200
f_carrier = f*mf2; %Carrier signal
triangle = ((sawtooth(2*pi*f_carrier*t, amp)))*Vm_c;
k = 1;
for i = t
    if(sine(k) > triangle(k))
        Va(k) = V;
        IQ1(k) = IL(k);
    elseif(sine(k) < triangle(k))
        IQ4(k) = IL(k);
    end

    if(-sine(k) > triangle(k))
        Vb(k) = V;
        IQ3(k) = IL(k);
    elseif(-sine(k) < triangle(k))
        IQ2(k) = IL(k);
    end

    Vab(k) = Va(k) - Vb(k);
    IL(k+1) = dis1*IL(k) + dis2*Vab(k);

```

```

        k=k+1;
    end

    figure;
    plot(t,triangle);
    hold on;
    plot(t,sine);
    plot(t,-sine);
    legend('Carrier','Sine','-Sine');
    title('PWM for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    hold off;

    figure;
    subplot(1,2,1);
    plot(t,Va);
    title('Va for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('Va(V)');
    axis([0 0.02 -20 120]);

    subplot(1,2,2);
    plot(t,Vb);
    title('Vb for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('Vb(V)');
    axis([0 0.02 -20 120]);

    figure;
    plot(t,Vab);
    title('Output voltage for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('Vab(V)');
    axis([0 0.02 -120 120]);

    figure;
    plot(t,IL(1:end-1));
    title('Load Current for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('IL(A)');

    figure;
    subplot(2,2,1);
    plot(t,IQ1);
    title('Q1 for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('IQ1(A)');

    subplot(2,2,2);
    plot(t,IQ2);
    title('Q2 for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('IQ2(A)');

    subplot(2,2,3);
    plot(t,IQ3);
    title('Q3 for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('IQ3(A)');

    subplot(2,2,4);
    plot(t,IQ4);
    title('Q4 for Mf = 200');
    xlabel('t(sec)');
    ylabel('IQ4(A)');

```

```

% Calculation of output power
Pout = (IL(1:end-1).^2)*R;
figure()
plot(t,Pout)
title('Output Power for Mf = 200 using PWM');
grid on;
xlabel('t(sec)');
ylabel('Pout(W)');

NFFT = 10000;
p1ph = (Vab.*IL(1:end-1));
P1ph = mean(p1ph((n-1)*1000+1:end));
Vab_rms = sqrt(sum(Vab(1:NFFT).^2)/(NFFT/2));
Iab_rms = sqrt(sum(IL(1:NFFT).^2)/(NFFT/2));
S = Vab_rms * Iab_rms;
Pf = P1ph/S;
fprintf('Power Factor for Mf = 200 is ');
disp(Pf);

% Fourier transformation
F = (1/dt)/2*linspace(0,1,(NFFT/2)+1);
Vab_F = fft(Vab,NFFT);
figure();
stem(F,(abs(Vab_F(1:(NFFT/2)+1)/Vab_F(2))));
title('Harmonics for Mf = 200');
xlabel('Frequency(Hz)')
ylabel('Vab')

```

```

% Power
% Active power
% Vrms of output
% Irms
% Apparent power
% Power factor
% Displaying Pf

```

Ερώτημα 3

```

clear all;
close all;

% ----- 3 -----

V = 100;           % Input voltage
amp = 1;           % Amplitude
R = 10;            % Resistance
L = 0.025;         % Induction
f = 50;            % Frequency
om = 2*pi*f;       % Omega
dt = 2*(10^-5);    % Step
n = 2;
t = 0:dt:n*(1/f);  % Time vector
om_t = om*t;       % Calculation of w*t
w_t = mod(om*t,2*pi); % on [0,2pi]

% Initialization
p1 = zeros(size(t));
p2 = zeros(size(t));
p3 = zeros(size(t));
p4 = zeros(size(t));
p5 = zeros(size(t));
p6 = zeros(size(t));

% Pulse creation
for k=1:size(t,2)
    if (w_t(k)>=0 && w_t(k)<pi)
        p1(k) = amp;
    end
end

```

```

        p4(k) = 0;
elseif (w_t(k)>=pi && w_t(k)<=2*pi)
    p4(k) = amp;
    p1(k) = 0;
end

if (w_t(k)>=0 && w_t(k)<2*pi/3)
    p3(k) = 0;
    p6(k) = amp;
elseif (w_t(k)>=2*pi/3 && w_t(k)<5*pi/3)
    p3(k) = amp;
    p6(k) = 0;
elseif (w_t(k)>=5*pi/3 && w_t(k)<=2*pi)
    p3(k) = 0;
    p6(k) = amp;
end

if (w_t(k)>=0 && w_t(k)<pi/3)
    p5(k) = amp;
    p2(k) = 0;
elseif (w_t(k)>=pi/3 && w_t(k)<4*pi/3)
    p5(k) = 0;
    p2(k) = amp;
elseif (w_t(k)>=4*pi/3 && w_t(k)<=2*pi)
    p5(k) = amp;
    p2(k) = 0;
end

end

% Initialization
Vao = zeros(size(t));
Vbo = zeros(size(t));
Vco = zeros(size(t));
Vab = zeros(size(t));
Vbc = zeros(size(t));
Vca = zeros(size(t));
Van = zeros(size(t));
Vbn = zeros(size(t));
Vcn = zeros(size(t));

% Voltages calculations
for k=1:size(t,2)

    if (p1(k) == amp)
        Vao(k) = V;
    elseif (p4(k) == amp)
        Vao(k) = 0;
    end

    if (p3(k) == amp)
        Vbo(k) = V;
    elseif (p6(k) == amp)
        Vbo(k) = 0;
    end

    if (p5(k) == amp)
        Vco(k) = V;
    elseif (p2(k) == amp)
        Vco(k) = 0;
    end

end

figure()

```

```

plot(om_t,Vao)
title('VA0')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -20 120])

figure()
plot(om_t,Vbo)
title('VB0')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -20 120])

figure()
plot(om_t,Vco)
title('VC0')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -20 120])

% Polar Voltages
Vab=Vao-Vbo;
Vca=Vco-Vao;
Vbc=Vbo-Vco;

% Phase Voltages
Van=(Vab-Vca)/3;
Vbn=(Vbc-Vab)/3;
Vcn=(Vca-Vbc)/3;

% Polar Voltages
figure()
plot(om_t,Vab)
title('Polar VAB')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -120 120])

figure()
plot(om_t,Vbc)
title('Polar VBC')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -120 120])

figure()
plot(om_t,Vca)
title('Polar VCA')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -120 120])

%Phase Voltages
figure()
plot(om_t,Van)
title('Phase VAN')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -100 100])

figure()
plot(om_t,Vbn)
title('Phase VBN')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -100 100])

```

```

figure()
plot(om_t,Vcn)
title('Phase VCN')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('Voltage(V)');
axis([0 4*pi -100 100])

% Initialization
IAn = zeros(size(t));
IBn = zeros(size(t));
ICn = zeros(size(t));

% State space parametres
A_3 = -R/L;
B_3 = 1/L;
C_3 = 1;
D_3 = 0;

% State space model
sys_3 = ss(A_3,B_3,C_3,D_3);
% Discrete system
sys_3_discrete = c2d(sys_3, dt);
sys3A = sys_3_discrete.A;
sys3B = sys_3_discrete.B;
sys3C = sys_3_discrete.C;
sys3D = sys_3_discrete.D;

%Load's current
for k=1:size(t,2)
    IAn(k+1) = sys3A*IAn(k) + sys3B*Van(k);
    IBn(k+1) = sys3A*IBn(k) + sys3B*Vbn(k);
    ICn(k+1) = sys3A*ICn(k) + sys3B*Vcn(k);
end

figure()
plot(om_t,IAn(1:end-1))
title('Phase IAN')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('I(A)');
axis([0 4*pi -15 15])

figure()
plot(om_t,IBn(1:end-1))
title('Phase IBN')
xlabel('ω(rad/s)')
ylabel('I(A)');
axis([0 4*pi -15 15])

figure()
plot(om_t,ICn(1:end-1))
xlabel('ω(rad/s)')
title('Phase ICN')
ylabel('I(A)');
axis([0 4*pi -15 15])

% Power calculation
PoutA = (IAn(1:end-1).^2)*R;
PoutB = (IBn(1:end-1).^2)*R;
PoutC = (ICn(1:end-1).^2)*R;
figure()
plot(t,PoutC)
title('Output Power');
xlabel('t(sec)');

```

```
ylabel('P(W)');
```

```
NFFT = 2000;
p3ph = (Vcn.*ICn(1:end-1));
P3ph = mean(p3ph((n-1)*1000+1:end));
V3rms = sqrt(sum(Vcn(1:NFFT).^2)/(NFFT/2));
I3rms = sqrt(sum(ICn(1:NFFT).^2)/(NFFT/2));
S3ph = V3rms * I3rms;
Pf3 = P3ph/S3ph;
disp('Power Factor in each phase:');
disp(Pf3);

% Fourier transformation
F = (1/dt)/2*linspace(0,1,(NFFT/2)+1);
VCnF = fft(Vcn,NFFT);
figure();
stem(F,abs(VCnF(1:(NFFT/2)+1)));
title('Voltage Harmonic')
ylabel('Voltage(V)')
xlabel('Frequency(Hz)')
```

% Power
% Active power
% Vrms phase A
% Irms phase A
% Apparent power
% Power factor