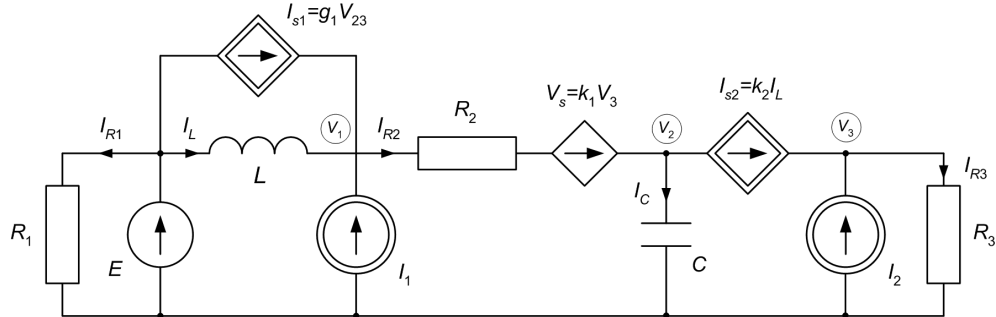


L2 - STAN USTALONY W OBWODACH ELEKTRYCZNYCH

1. Obwód jednofazowy RLC –prądy, napięcia, moce, bilanse, wykresy wektorowe Opis obwodu macierzą węzłową i oczkową

Przykład:



Rys. 1 Struktura obwodu jednofazowego

Opis węzłowy

$$\begin{bmatrix} Y_L + G_2 & -g_1 - G_2 & g_1 + k_1 G_2 \\ -G_2 - k_2 Y_L & G_2 + Y_C & -k_1 G_2 \\ k_2 Y_L & 0 & G_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_L E + I_1 \\ -k_2 Y_L E \\ I_2 + k_2 Y_L E \end{bmatrix}$$

Program analizy

```
% Analiza obwodu jednofazowego w stanie ustalonym
% Dane parametry elementów
format compact
R1=10; R2=10; R3=20; C=1e-3; L=0.05; g1=0.2; k1=2; k2=1;
omega=314;
modE=40; argE=pi/4;
modI1=5; argI1=pi/2;
modI2=8; argI2=-pi/2;
% Wartości symboliczne elementów
G1=1/R1; G2=1/R2; G3=1/R3; YC=j*omega*C; YL=1/(j*omega*L);
I1=modI1*exp(j*argI1); I2=modI2*exp(j*argI2); E=modE*exp(j*argE);
% Macierz admitancyjna Y
Y=[ YL+G2      -g1-G2      g1+k1*G2
    -G2-k2*YL  G2+YC      -k1*G2
    k2*YL      0          G3];
% Wektor wymuszenia
J=[YL*E+I1
   -k2*YL*E
   I2+k2*YL*E];
% Rozwiązanie równania węzłowego
V=Y\J;
% Prądy gałęziowe
IR1=G1*E;
IR2=G2*(V(1)-V(2)+k1*V(3));
IR3=G3*V(3);
IC=YC*V(2);
IL=YL*(E-V(1));
Is1=g1*(V(2)-V(3));
Is2=k2*IL;
IVs=-IR2;
IE=-IR1-IL-Is1;
% Napięcia na elementach
Vs=k1*V(3);
UR1=E;
UR2=R2*IR2;
UR3=R3*IR3;
UC=V(2);
UL=E-V(1);
UIS1=E-V(1);
UIS2=V(2)-V(3);
```

```

UI1=-V(1);
UI2=-V(3);

% Moce elementów źródłowych
SE=E*conj(IE);
SI1=UI1*conj(I1);
SI2=UI2*conj(I2);
% Moce pozostałych elementów
SR1=UR1*conj(IR1);
SR2=UR2*conj(IR2);
SR3=UR3*conj(IR3);
SC=UC*conj(IC);
SL=UL*conj(IL);
SIs1=UIS1*conj(Is1);
SIs2=UIS2*conj(Is2);
SVs=Vs*conj(IVs);

% Bilans prądów węzłowych
Bil_w1=IL+Is1+I1-IR2;
Bil_w2=IR2-IC-Is2;
Bil_w3=Is2+I2-IR3;

% Bilans napięć oczkowych
Bil_o1=E-UL-UR2+Vs-UC;
Bil_o2=UC-UIS2-UR3;

% Bilans mocy
Bil_moc=SE+SI1+SI2+SR1+SR2+SR3+SL+SC+SIs1+SIs2+SVs;

% Wykresy wektorowe prądów w węzłach
Iw1=[IL Is1 I1 -IR2];
Iw2=[IR2 -IC -Is2];
Iw3=[Is2 I2 -IR3];
subplot(2,2,1); compass(Iw1); title('Prądy węzła 1')
subplot(2,2,2); compass(Iw2); title('Prądy węzła 2')

% Wykresy wektorowe napięć oczkowych
Uo1=[E -UL -UR2 Vs -UC];
Uo2=[UC -UIS2 -UR3];
subplot(2,2,3); compass(Uo1); title('Napięcia oczka 1')
subplot(2,2,4); compass(Uo2); title('Napięcia oczka 2')

```

2. Obwód trójfazowy

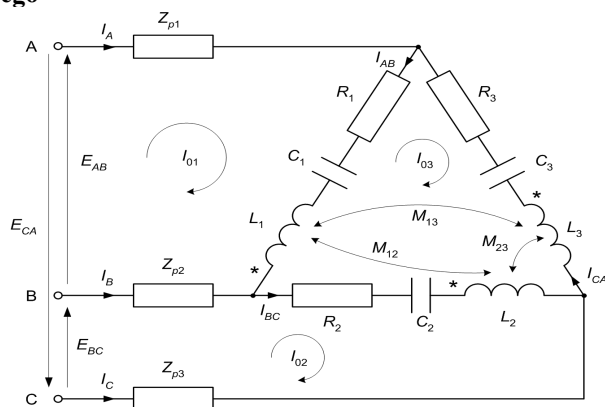
Wykresy wirujące napięć

```

omega=2*pi*50;
for k=1:20
t=k*.001;
ea=230*sqrt(2)*exp(j*omega*t);
eb=230*sqrt(2)*exp(j*(omega*t - 2*pi/3));
ec=230*sqrt(2)*exp(j*(omega*t + 2*pi/3));
e=[ea, eb, ec]'; axis([-300,300,-300,300])
compass(e)
pause(0.2)
end

```

Przykład obwodu 3-fazowego



Rys. 5.3 Schemat obwodu trójfazowego

Opis obwodu równaniami Kirchhoffa:

$$\begin{aligned}E_{AB} &= Z_{p1}I_A + (R_1 + Z_{C1} + Z_{L1})I_{AB} - Z_{M12}I_{BC} + Z_{M13}I_{CA} - Z_{p2}I_B \\E_{BC} &= Z_{p2}I_B + (R_2 + Z_{C2} + Z_{L2})I_{BC} - Z_{M12}I_{AB} - Z_{M23}I_{CA} - Z_{p3}I_C \\0 &= (R_1 + Z_{C1} + Z_{L1})I_{AB} - Z_{M12}I_{BC} + Z_{M13}I_{CA} + (R_2 + Z_{C2} + Z_{L2})I_{BC} \\&\quad - Z_{M12}I_{AB} - Z_{M23}I_{CA} + (R_3 + Z_{C3} + Z_{L3})I_{CA} - Z_{M23}I_{BC} + Z_{M13}I_{AB}\end{aligned}$$

W obwodzie obowiązują:

$$I_{AB} = I_{o1} - I_{o3}, \quad I_{BC} = I_{o2} - I_{o3}, \quad I_{CA} = -I_{o3}, \quad I_A = I_{o1}, \quad I_B = I_{o2} - I_{o1}, \quad I_C = -I_{o2}$$

Program pełnej analizy obwodu

```
% Analiza obwodu trójfazowego w stanie ustalonym
% Dane elementów
format compact
R1=15; R2=10; R3=5;
C1=0.5e-3; C2=0.2e-3; C3=0.4e-3;
L1=0.07; L2=0.04; L3=0.045;
M12=0.04; M23=0.03; M13=0.02;
Zp1=0.5; Zp2=0.5; Zp3=0.5;
omega=314;
Uf=230;

% Wartości symboliczne elementów
EA=Uf; EB=Uf*exp(-j*2*pi/3); EC=Uf*exp(j*2*pi/3);
EAB=EA-EB; EBC=EB-EC;
ZL1=j*omega*L1; ZL2=j*omega*L2; ZL3=j*omega*L3;
ZC1=-j/(omega*C1); ZC2=-j/(omega*C2); ZC3=-j/(omega*C3);
ZM12=j*omega*M12; ZM13=j*omega*M13; ZM23=j*omega*M23;

% Elementy macierzy Z
Z11=Zp1+Zp2+R1+ZL1+ZC1;
Z12=-ZM12-Zp2;
Z13=-R1-ZL1-ZC1+ZM12-ZM13;
Z21=-Zp2-ZM12;
Z22=Zp2+Zp3+R2+ZL2+ZC2;
Z23=-R2-ZL2-ZC2+ZM12+ZM23;
Z31=-R1-ZL1-ZC1+ZM12-ZM13;
Z32=ZM12-R2-ZL2-ZC2+ZM23;
Z33=R1+ZL1+ZC1+R2+ZL2+ZC2+R3+ZL3+ZC3-2*ZM12-2*ZM23+2*ZM13;
Z=[Z11 Z12 Z13; Z21 Z22 Z23; Z31 Z32 Z33];
E=[EAB; EBC; 0];

% Rozwiązanie równania oczkowego
Io=Z\E;

% Prądy gałęziowe
IAB=Io(1)-Io(3);
IBC=Io(2)-Io(3);
ICA=-Io(3);
IA=Io(1);
IB=Io(2)-Io(1);
IC=-Io(2);

% Napięcia na elementach
UZp1=Zp1*IA;
UZp2=Zp2*IB;
UZp3=Zp3*IC;
UR1=R1*IAB;
UC1=ZC1*IAB;
UL1=ZL1*IAB-ZM12*IBC+ZM13*ICA;
UR2=R2*IBC;
UC2=ZC2*IBC;
UL2=ZL2*IBC-ZM12*IAB-ZM23*ICA;
UR3=R3*ICA;
UC3=ZC3*ICA;
UL3=ZL3*ICA-ZM23*IBC+ZM13*IAB;

% Moce elementów źródłowych
SA=EA*conj(IA);
SB=EB*conj(IB);
SC=EC*conj(IC);
% Moce odbiornika
SR1=UR1*conj(IAB);
```

```

SR2=UR2*conj(IBC);
SR3=UR3*conj(ICA);
SC1=UC1*conj(IAB);
SC2=UC2*conj(IBC);
SC3=UC3*conj(ICA);
SL1=UL1*conj(IAB);
SL2=UL2*conj(IBC);
SL3=UL3*conj(ICA);
SZp1=UZp1*conj(IA);
SZp2=UZp2*conj(IB);
SZp3=UZp3*conj(IC);

% Bilans prądów węzłowych
Bil_w1=IA+ICA-IAB
Bil_w2=IB+IAB-IBC
Bil_w3=IC+IBC-ICA
% Bilans napięć oczkowych
Bil_o1=EAB-UZp1-UR1-UC1-UL1+UZp2
Bil_o2=EBC-UZp2-UR2-UC2-UL2+UZp3
Bil_o3=UR1+UC1+UL1+UR2+UC2+UL2+UR3+UC3+UL3

% Bilans mocy
Bil_moc=SR1+SC1+SL1+SR2+SC2+SL2+SR3+SC3+SL3+SZp1+SZp2+SZp3-SA-SB-SC

% Wykresy czasowe napięć fazowych
t=0:0.0001:0.05;
eA=Uf*sqrt(2)*sin(omega*t);
eB=Uf*sqrt(2)*sin(omega*t-2*pi/3);
eC=Uf*sqrt(2)*sin(omega*t+2*pi/3);
subplot(2,1,1);plot(t,eA,'-',t,eB,'--',t,eC,'-.'), grid
xlabel('t'), ylabel('Napięcia fazowe generatora')
legend('faza A','faza B','faza C')
iA=abs(IA)*sqrt(2)*sin(omega*t+angle(IA));
iB=abs(IB)*sqrt(2)*sin(omega*t+angle(IB));
iC=abs(IC)*sqrt(2)*sin(omega*t+angle(IC));
subplot(2,1,2);plot(t,iA,'-',t,iB,'--',t,iC,'-.'), grid
xlabel('t'), ylabel('Prądy fazowe generatora')

```

3. Sygnały niesinusoidalne

```

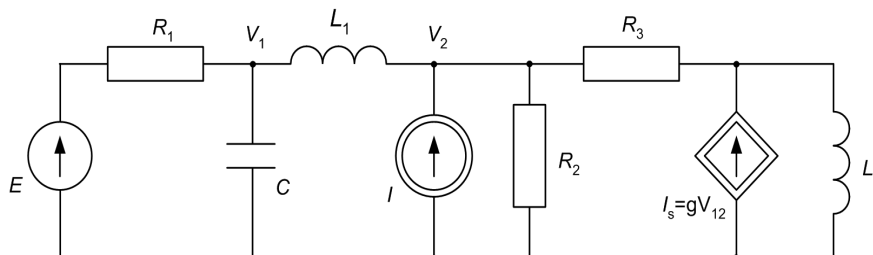
% Superpozycja sygnałów sinusoidalnych tworzących sygnał prostokątny
t=0:0.001:2;
omega=2*pi;
A=1;
x=0.5+2*A/pi*sin(omega*t)+2*A/(3*pi)*sin(3*omega*t)+2*A/(5*pi)*sin(5*omega*t);
y = 0.5*(square(omega*t)+1);
subplot(2,1,1); plot(t,x,'--',t,y,'-');grid % N=4 harmoniczne
x=x+2*A/(7*pi)*sin(7*omega*t)+2*A/(9*pi)*sin(9*omega*t)+2*A/(11*pi)*sin(11*omega*t)...
+2*A/(13*pi)*sin(13*omega*t)+2*A/(15*pi)*sin(15*omega*t)+2*A/(17*pi)*sin(17*omega*t)...
+2*A/(19*pi)*sin(19*omega*t);
subplot(2,1,2); plot(t,x,'--',t,y,'-');grid % N=11 harmonicznych

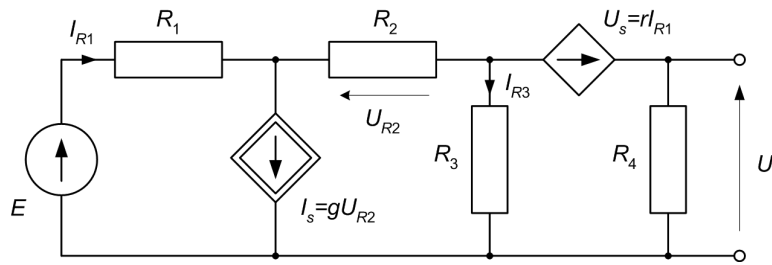
```

4. Zadania i problemy

Zadanie 1

Napisać program analizy obwodu RLC (rys. Z1) w stanie ustalonym metodą potencjałów węzłowych wyznaczający rozpyły prądów, rozkłady napięć gałęziowych oraz bilanse prądów w węzłach, napięć w oczkach i bilans mocy. Narysować wykresy wektorowe prądów w 2 węzłach i napięć w 2 oczkach obwodu.

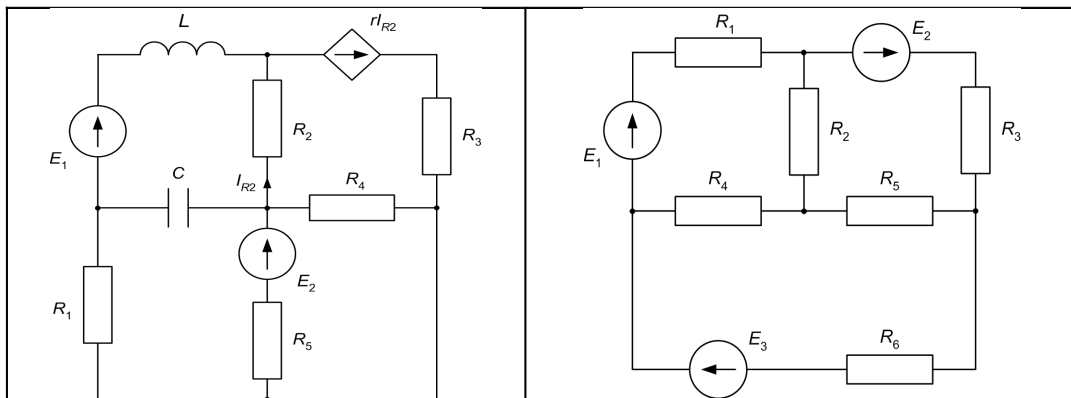




Rys. Z1 Schematy obwodów do zadania 1

Zadanie 2

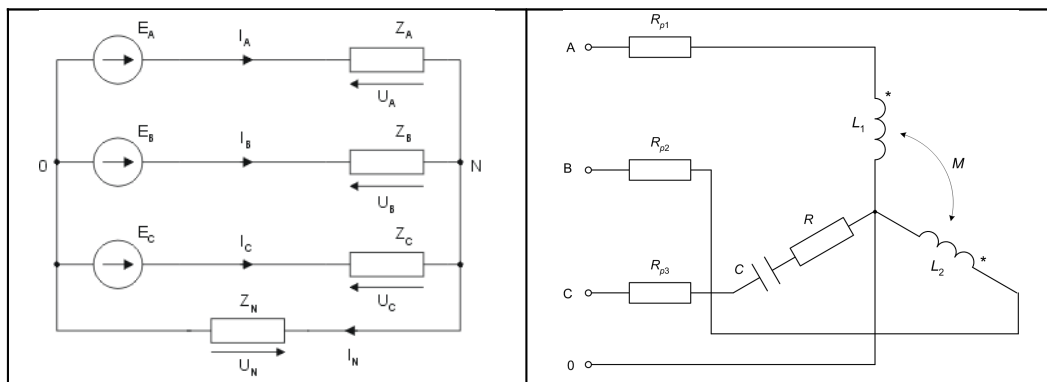
Napisać program analizy obwodu RLC (rys. Z2) w stanie ustalonym metodą oczkową wyznaczający rozpiły prądów, rozkłady napięć gałęziowych oraz bilanse prądów w węzłach, napięć w oczkach i bilans mocy. Narysować wykresy wektorowe prądów w 2 węzłach i napięć w 2 oczkach obwodu.



Rys. Z2 Schematy obwodów do zadania 2

Zadanie 3

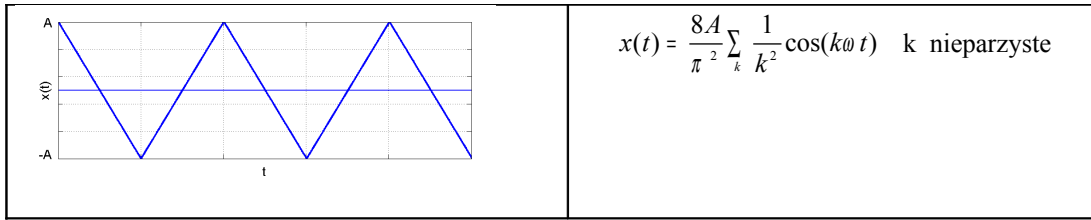
Napisać program analizy obwodu trójfazowego (rys. Z3) w stanie ustalonym wyznaczający rozpiły prądów, rozkłady napięć gałęziowych oraz bilanse prądów w węzłach, napięć w oczkach i bilans mocy. Sporządzić wykresy wektorowe prądów węzle N, napięć odbiornika i generatora.



Rys. Z3 Schemat obwodu elektrycznego do zadania 3

Zadanie 4

Narysować aproksymację przebiegów czasowych typu trójkątnego (rysunek poniżej) dla zmieniającej się liczby składników harmonicznych sumy, poczynając od wartości jeden. Porównać jakość uzyskanego rozwiązania z przebiegiem zadanym



Zadanie 5

Napisać program rozwiązujący obwód równoległy RLC (napięcie na tych elementach) zasilany ze źródła prądu

opisanego wyrażeniem $i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^N I_k \sin(k\omega t)$. Wartości elementów oraz liczba harmonicznych N

zakładane przez użytkownika. Dobrać tak elementy R, L i C aby wystąpił rezonans dla trzeciej harmonicznej.