

MODEL ASINHRONE MAŠINE U SOFTVERSKOM ALATU PYTHON

OPŠTI D-Q MODEL ASNIHRONE MAŠINE U PROSTORU STANJA

Da bi došli do računarskog rešavanja prelaznih pojava asinhrone mašine potrebno je poznavanje jednačina asinhrone mašine u prostoru stanja. Modeli u prostoru stanja su naročito pogodni za predstavljanje multivarijabilnih sistema sa velikim brojem ulaza i izlaza i vrlo su efikasni za numeričke algoritme izračunavanja. Pretpostavljajući da nema zasićenja, usvaja se $L_m=const$. Usvaja se da nema zasićenja ($L_m=const$) i da je rotor sa kratkospojenim namotajima ($u_{dr}=u_{qr}=0$):

$$\begin{aligned}
 \frac{d\psi_{ds}}{dt} &= a_1 \cdot \psi_{ds} + \omega_s \cdot \psi_{qs} + a_2 \cdot \psi_{dr} + u_{ds} \\
 \frac{d\psi_{qs}}{dt} &= -\omega_s \cdot \psi_{ds} + a_1 \cdot \psi_{qs} + a_2 \cdot \psi_{qr} + u_{qs} \\
 \frac{d\psi_{dr}}{dt} &= a_3 \cdot \psi_{ds} + a_4 \cdot \psi_{dr} + (\omega_s - \omega) \cdot \psi_{qr} \\
 \frac{d\psi_{qr}}{dt} &= a_3 \cdot \psi_{qs} - (\omega_s - \omega) \cdot \psi_{dr} + a_4 \cdot \psi_{qr} \\
 \frac{d\omega}{dt} &= a_5 \cdot (\psi_{dr} \cdot \psi_{qs} - \psi_{ds} \cdot \psi_{qr}) + a_6 \cdot M_{opt}
 \end{aligned} \tag{1}$$

def sistemjedinacina(V, t, p):

''''''

Definisanje sistema jednacina 5x5.

Argumenti:

V : vektor promenljivih:

V = [FIds,FIqs,FIdr,FIqr,W]

t : vreme

p : vektor parametara koji konfigurisu u sistemu:

p = [a1,a2,a3,a4,a5,a6,Ws,Uds,Uqs,Mopt]

''''''

FIds,FIqs,FIdr,FIqr,W = V

a1,a2,a3,a4,a5,a6,Ws,Uds,Uqs,Mopt = p

Create f = (FIds',FIqs',FIdr',FIqr',W'):

```

f = [a1*FIds+Ws*FIqs+a2*FIdr+Uds,
-Ws*FIds+a1*FIqs+a2*FIqr+Uqs,
a3*FIds+a4*FIdr+(Ws-W)*FIqr,
a3*FIqs-(Ws-W)*FIdr+a4*FIqr,
a5*(FIdr*FIqs-FIds*FIqr)+a6*Mopt]
return f

```

U sistemu diferencijalnih jedanačina (1), koeficijenti imaju sledeće vrednosti:

$$\begin{aligned}
 D &= L_s L_r - L_m^2 \\
 a_1 &= -\frac{R_s L_r}{D} \\
 a_2 &= \frac{R_s L_m}{D} \\
 a_3 &= \frac{R_r L_m}{D} \\
 a_4 &= -\frac{R_r L_s}{D} \\
 a_5 &= \frac{3 \cdot p^2}{2 \cdot J} \cdot \frac{L_m}{D} \\
 a_6 &= -\frac{p}{J}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Parametri asinhronne masine:

Ls = 0.0045

Lr = 0.0054

Lm = 0.1846

Rs = 0.173

Rr = 0.19

p = 1

J = 44.8

Un=3000

Pn=500

Ws=314

D = Ls*Lr-Lm*Lm

Vrednosti parametara vektora p

a1 = -Rs*Lr/D

a2 = Rs*Lm/D

a3 = Rr*Lm/D

a4 = -Rr*Ls/D

$$a5 = 3 \cdot p \cdot p \cdot L_m / (2 \cdot J \cdot D)$$

$$a6 = -p / J$$

Za izvedeni sistem diferencijalnih jednačina vektor promenljivih stanja je:

$$[\mathbf{X}] = [\psi_{ds} \quad \psi_{qs} \quad \psi_{dr} \quad \psi_{qr} \quad \omega]^T \quad (3)$$

Vektor ulaznih promenljivih je:

$$[\mathbf{U}] = [u_{ds} \quad u_{qs} \quad 0 \quad 0 \quad M_{opt}]^T \quad (4)$$

Vektor ulaznih promenljivih je $u=[U_{ds} \ U_{qs} \ 0 \ 0 \ M_{opt}]$, $U_{dr}=U_{qr}=0$ - rotor sa kratkospojenim namotajima:

$$U_{ds} = U_n \cdot \sqrt{2}$$

$$U_{qs} = 0$$

$$M_{opt} = 2794 \text{ # nominalni momenat opterećenja}$$

$$\text{\#Izracunavanje nominalnog momenta } M_{nom} = 3 \cdot R_r \cdot (I_n^2) / (2 \cdot 0.012 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 / p);$$

$$\text{\#Izracunavanje prevalnog momenta}$$

$$M_{pr} = p \cdot U^2 / (2 \cdot W_s \cdot (R_s + \sqrt{R_s^2 + W_s^2 \cdot (L_{ls} + L_{lr})^2}));$$

Kao izlazne veličine mogu se posmatrati struje statora i rotora po d i po q osi:

$$i_{ds} = \frac{L_r}{D} \cdot \psi_{ds} - \frac{L_m}{D} \cdot \psi_{dr}$$

$$i_{qs} = \frac{L_r}{D} \cdot \psi_{qs} - \frac{L_m}{D} \cdot \psi_{qr}$$

$$i_{dr} = \frac{L_s}{D} \cdot \psi_{dr} - \frac{L_m}{D} \cdot \psi_{ds}$$

$$i_{qr} = \frac{L_s}{D} \cdot \psi_{qr} - \frac{L_m}{D} \cdot \psi_{qs}$$
(5)

struje

$$I_{ds} = L_r / D \cdot F I_{ds} - L_m / D \cdot F I_{dr}$$

$$I_{qs} = L_r / D \cdot F I_{qs} - L_m / D \cdot F I_{qr}$$

$$I_{dr} = L_s / D \cdot F I_{dr} - L_m / D \cdot F I_{ds}$$

$$I_{qr} = L_s / D \cdot F I_{qr} - L_m / D \cdot F I_{qs}$$

Da bi se rešio izvedeni nelinearni sistem diferencijalnih jednačina potrebno je prethodno definisati početne vrednosti promenljivih stanja, tj. njihove vrednosti u trenutku događanja pomerećaja. Do početnih vrednosti se dolazi rešavanjem stacionarnog stanja mašine pre pomerećaja. Matematički, stacionarno stanje je određeno jednačinom:

$$\frac{dX}{dt} = 0 \quad (6)$$

To znači da je stacionarno stanje asinhronne mašine određeno sistemom nelinearnih algebarskih jednačina:

$$\begin{aligned} 0 &= a_1 \cdot \psi_{ds} + \omega_s \cdot \psi_{qs} + a_2 \cdot \psi_{dr} + u_{ds} \\ 0 &= -\omega_s \cdot \psi_{ds} + a_1 \cdot \psi_{qs} + a_2 \cdot \psi_{qr} + u_{qs} \\ 0 &= a_3 \cdot \psi_{ds} + a_4 \cdot \psi_{dr} + (\omega_s - \omega) \cdot \psi_{qr} \\ 0 &= a_3 \cdot \psi_{qs} - (\omega_s - \omega) \cdot \psi_{dr} + a_4 \cdot \psi_{qr} \\ 0 &= a_5 \cdot (\psi_{dr} \cdot \psi_{qs} - \psi_{ds} \cdot \psi_{qr}) + a_6 \cdot M_{opt} \end{aligned} \quad (7)$$

U programskom kodu radi pojednostavljenja pretpostavljeno je da su sve vrednosti flukseva i kružna brzina jednaki nuli.

Pocetni uslovi

$FId_s=0$

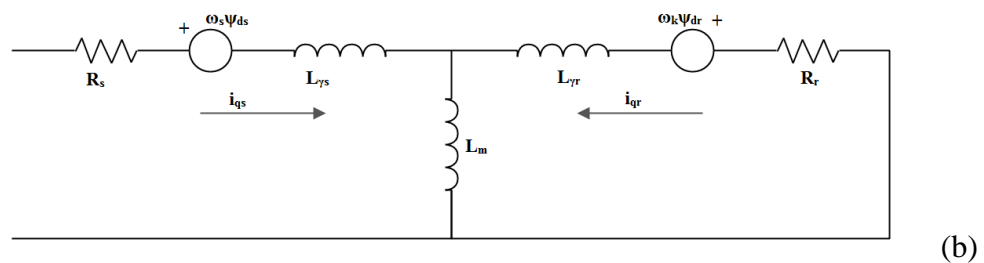
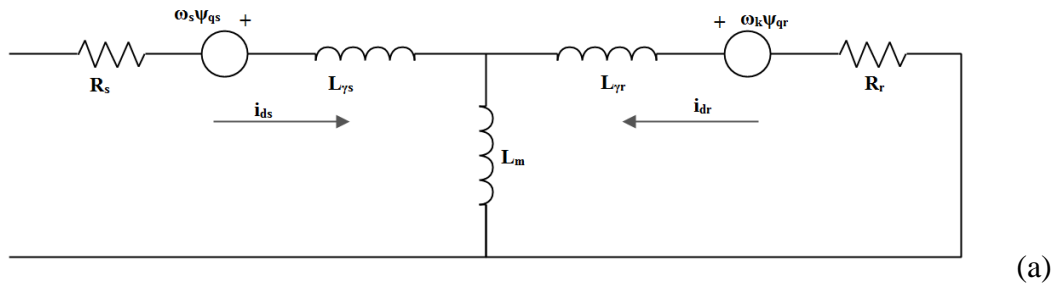
$FIq_s=0$

$FId_r=0$

$FIq_r=0$

$W=0$

Zamenska šema asinhronne mašine po d i q osi je prikazana na slici 1.



Slika 1 Zamenska šema asinhronne mašine (a) po d osi (b) po q osi

Tabela I Podaci za dva tipa asinhronog motora

Parametri motora	AM 1	AM 2
Nazivna aktivna snaga [kW]	500	7,5
Nazivni međufazni napon [V]	3000	380
Učenstanost [Hz]	50	50
Broj pari polova	1	6
Moment inercije rotora [kgm ²]	44,8	0,4
Otpornost statorskog namotaja [Ω]	0,173	0,282
Otpornost rotorskog namota svedena na statorsku stranu [Ω]	0,19	0,151
Induktivnost rasipanja statorskog namotaja [H]	0,0045	0,0016
Induktivnost rasipanja rotorskog namotaja [H]	0,0054	0,00085
Induktivnost magnećenja [H]	0,1846	0,0473
Moment opterećenja asinhronog motora [Nm] (M_{nom})	2794	57,4696

Python kod

```
def sistemjedinacina(V, t, p):
    """
    Definisanje sistema jednacina 5x5.

    Argumenti:
        V : vektor promenljivih:
            V = [FIds, FIqs, FIdr, FIqr, W]
        t : vreme
        p : vektor parametara koji konfigurisu u sistemu:
            p = [a1, a2, a3, a4, a5, a6, Ws, Uds, Uqs, Mopt]
    """
    FIds, FIqs, FIdr, FIqr, W = V
    a1, a2, a3, a4, a5, a6, Ws, Uds, Uqs, Mopt = p

    # Create f = (FIds', FIqs', FIdr', FIqr', W'):
    f = [a1*FIds+Ws*FIqs+a2*FIdr+Uds,
        -Ws*FIds+a1*FIqs+a2*FIqr+Uqs,
        a3*FIds+a4*FIdr+(Ws-W)*FIqr,
        a3*FIqs-(Ws-W)*FIdr+a4*FIqr,
        a5*(FIdr*FIqs-FIds*FIqr)+a6*Mopt]
    return f
```



```

# Upotrebiti fju ODEINT I ostalih funkcija za resavanje sistema
dif jednacina
from math import sqrt
from AMdiferencijalna import sistemjednacina
import scipy.integrate
import numpy
import matplotlib.pyplot as plt
# Obratiti pažnju da kod pozivanja neke od funkcija prvo ide
naziv biblioteke pa komanda iz te biblioteke na primer
matplotlib.pyplot.plot samo je uvedena skraćunica plt pa onda
pozivanje izgleda plt.plot

# Parametri asinhronne masine:
Ls = 0.0045
Lr = 0.0054
Lm = 0.1846
Rs = 0.173
Rr = 0.19
p = 1
J = 44.8
Un=3000
Pn=500
Ws=314
D = Ls*Lr-Lm*Lm
# Vrednosti parametara vektora p
a1 = -Rs*Lr/D
a2 = Rs*Lm/D
a3 = Rr*Lm/D
a4 = -Rr*Ls/D
a5 = 3*p*p*Lm/(2*J*D)
a6 = -p/J
# Vektor ulaznih promenljivih je u=[Uds Uqs 0 0 Mopt], Udr=Uqr=0
- rotor sa kratkospojenim namotajima:
Uds=Un*sqrt(2)
Uqs=0
Mopt=2794 # nominalni momenat opterećenja
#Izracunavanje nominalnog momenta
Mnom=3*Rr*(In^2)/(2*0.012*2*pi*50/p);
#Izracunavanje prevalnog momenta
Mpr=p*U^2/(2*Ws*(Rs+sqrt(Rs^2+Ws^2*(Lls+Llr)^2)));
# Pocetni uslovi
# Do početnih vrednosti se dolazi rešavanjem stacionarnog stanja
mašine pre poremećaja. To znači da je stacionarno stanje
asinhronne mašine određeno sistemom nelinearnih algebarskih

```

```

jednačina
FIds=0
FIqs=0
FIdr=0
FIqr=0
W= 0

# ODE solver parameters
abserr = 1.0e-8
relerr = 1.0e-6
stoptime = 10.0
numpoints = 10000

# Create the time samples for the output of the ODE solver.
t = [stoptime * float(i) / (numpoints - 1) for i in
range(numpoints)]

p = [a1,a2,a3,a4,a5,a6,Ws,Uds,Uqs,Mopt]
V0 = [FIds,FIqs,FIdr,FIqr,W]

# Call the ODE solver.
resenja = scipy.integrate.odeint(sistemjednacina,V0, t,
args=(p,),atol=abserr, rtol=relerr)

file=open('resenja_AM.dat','w')#ovde se formira txt fajl za upis
podataka, w kao write. U taj fajl se pakuju stringovi koji
predstavljaju rešenja
# Print & save the solution.
for t1, w1 in zip(t, resenja ):
    stri=str(t1)+' '+str(w1[0])+' '+str(w1[1])+' '+str(w1[2])+'
'+str(w1[3])+' '+str(w1[4])+'\n'
    file.write(stri)
file.close()

t, FIds,FIqs,FIdr,FIqr,W= numpy.loadtxt('resenja_AM.dat',
unpack=True)

# struje
Ids=Lr/D*FIds-Lm/D*FIdr
Iqs=Lr/D*FIqs-Lm/D*FIqr
Idr=Ls/D*FIdr-Lm/D*FIds
Iqr=Ls/D*FIqr-Lm/D*FIqs

#M=3/2*p*(FIds*Iqs-FIqs*Ids) # elektromagnetski momenat

#from numpy import loadtxt

```

```
#t, FIds,FIqs,FIdr,FIqr,W= loadtxt('resenja_AM.dat',  
unpack=True)
```

```
lw = 1
```

```
plt.plot(t, Ids, 'b', linewidth=lw, label='$Ids$')  
plt.plot(t, Iqs, 'g', linewidth=lw, label='$Iqs$')  
plt.plot(t, Idr, 'r', linewidth=lw, label='$Idr$' )  
plt.plot(t, Iqr, 'y', linewidth=lw, label='$Iqr$')  
plt.ylabel('Imotora [A]')  
plt.xlabel('t [s]')  
plt.legend()  
plt.show()  
#savefig('two_springs.png', dpi=100)
```

```
#plt.plot(t,Ids)
```

```
#plt.show()
```

