

KEE / MS

Modelování elektrických sítí

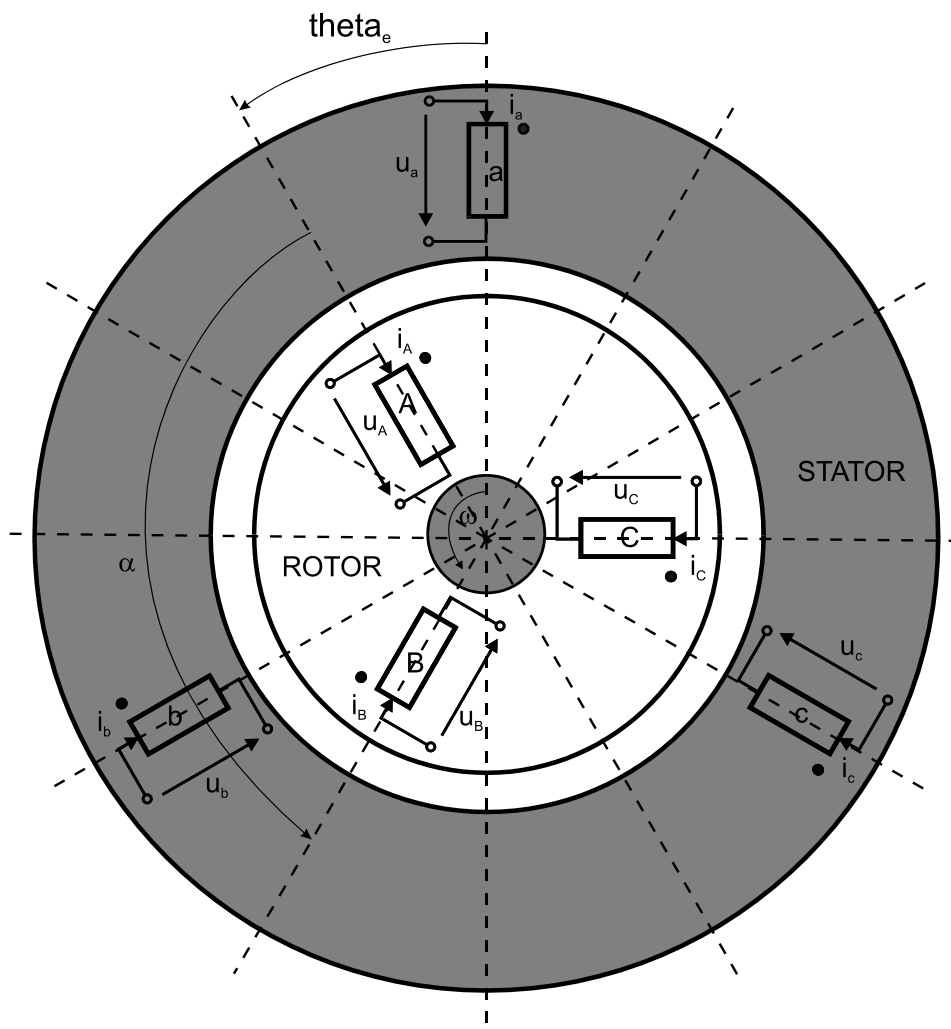
Přednáška 6 – Modelování
asynchronního stroje

Předpoklady modelu:

- Jednotlivá vinutí lze pokládat za cívky se soustředěnými parametry nezávislými na kmitočtu.
- Zanedbání vlivu magnetického sycení
- Vinutí jsou rovnoměrně rozložena po obvodu stroje
- Vinutí stroje jsou rozložena sinusově (předpoklad sinusového prostorového rozložení magnetického napětí ve vzduchové mezeře a zanedbání vlivu vyšších prostorových harmonických)
- Stroj je magneticky symetrický

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Statorové i rotorové vinutí jsou zapojena do hvězdy s nevyvedeným středem, vše je souměrné.



$$u_k = R_k i_k + d\Psi_k / dt$$

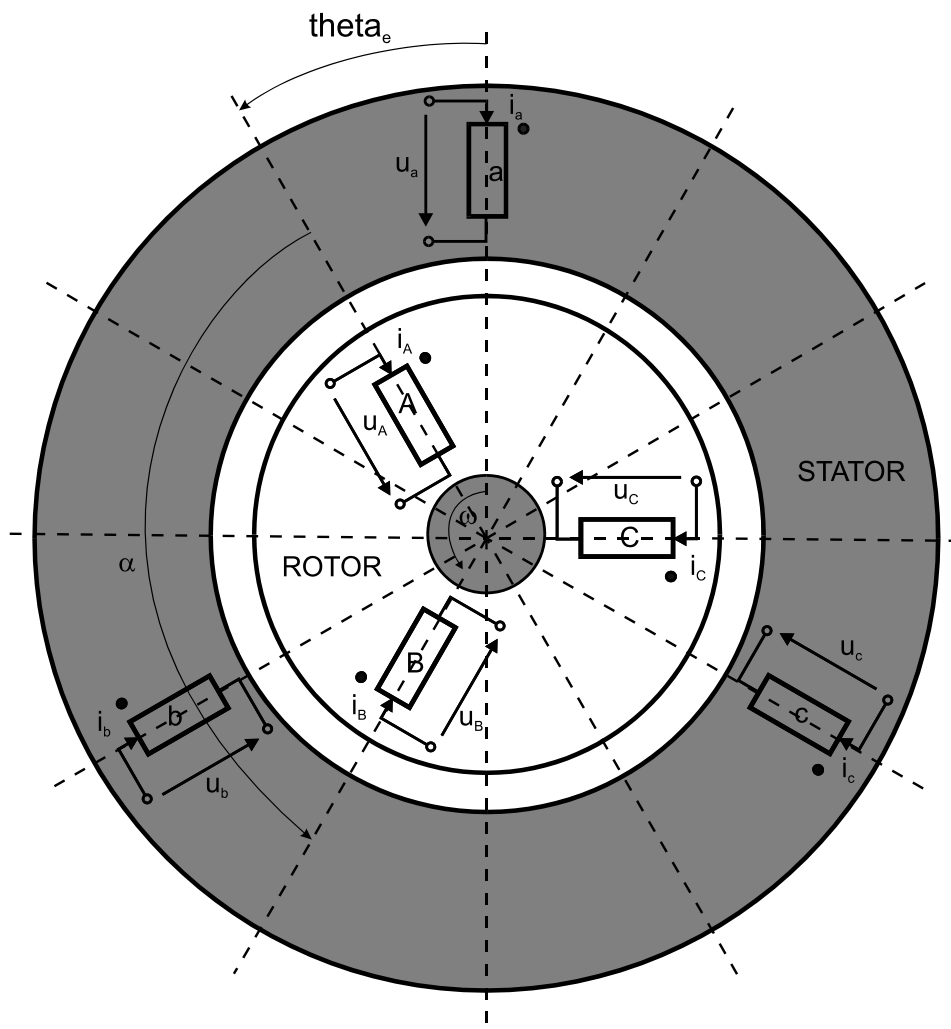
($k = a, b, c, A, B, C$)

$$R_a = R_b = R_c = R_S$$

$$R_A = R_B = R_C = R_R$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Statorové i rotorové vinutí jsou zapojena do hvězdy s nevyvedeným středem, vše je souměrné.



$$u_a = R_s i_a + d\Psi_a / dt$$

$$u_b = R_s i_b + d\Psi_b / dt$$

$$u_c = R_s i_c + d\Psi_c / dt$$

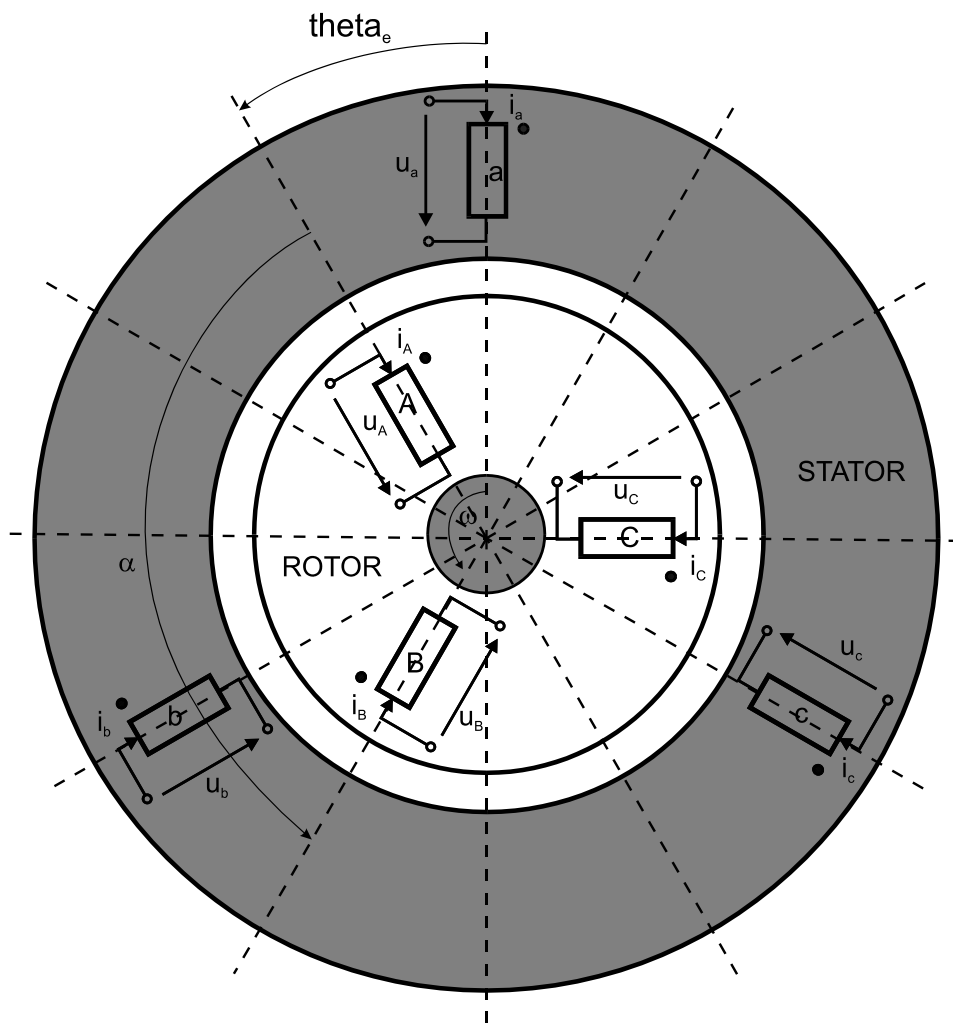
$$u_A = R_r i_A + d\Psi_A / dt$$

$$u_B = R_r i_B + d\Psi_B / dt$$

$$u_C = R_r i_C + d\Psi_C / dt$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Statorové i rotorové vinutí jsou zapojena do hvězdy s nevyvedeným středem, vše je souměrné.



$$u_A = u_B = u_C = 0$$

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

$$i_a + i_b + i_c = 0$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Stator

$$\Psi_a = L_{aa}\dot{i}_a + L_{ab}\dot{i}_b + L_{ac}\dot{i}_c + L_{aA}\dot{i}_A + L_{aB}\dot{i}_B + L_{aC}\dot{i}_C$$

$$\Psi_b = L_{ba}\dot{i}_a + L_{bb}\dot{i}_b + L_{bc}\dot{i}_c + L_{bA}\dot{i}_A + L_{bB}\dot{i}_B + L_{bC}\dot{i}_C$$

$$\Psi_c = L_{ca}\dot{i}_a + L_{cb}\dot{i}_b + L_{cc}\dot{i}_c + L_{cA}\dot{i}_A + L_{cB}\dot{i}_B + L_{cC}\dot{i}_C$$

Rotor

$$\Psi_A = L_{Aa}\dot{i}_a + L_{Ab}\dot{i}_b + L_{Ac}\dot{i}_c + L_{AA}\dot{i}_A + L_{AB}\dot{i}_B + L_{AC}\dot{i}_C$$

$$\Psi_B = L_{Ba}\dot{i}_a + L_{Bb}\dot{i}_b + L_{Bc}\dot{i}_c + L_{BA}\dot{i}_A + L_{BB}\dot{i}_B + L_{BC}\dot{i}_C$$

$$\Psi_C = L_{Ca}\dot{i}_a + L_{Cb}\dot{i}_b + L_{Cc}\dot{i}_c + L_{CA}\dot{i}_A + L_{CB}\dot{i}_B + L_{CC}\dot{i}_C$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

vlastní indukčnost statoru: $L_{aa} = L_{bb} = L_{cc} = L_s$

vlastní indukčnost rotoru: $L_{AA} = L_{BB} = L_{CC} = L_r$

vzájemné indukčnosti statoru: $L_{ab} = L_{ac} = L_{bc} = M_s$

vzájemné indukčnosti rotoru: $L_{AB} = L_{AC} = L_{BC} = M_r$

vzájemné indukčnosti mezi vinutími statoru a rotoru:

$$L_{aA} = L_{Aa} = L_{bB} = L_{Bb} = L_{cC} = L_{Cc} = M \cos(\vartheta)$$

$$L_{aB} = L_{Ba} = L_{bC} = L_{Cb} = L_{cA} = L_{Ac} = M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$L_{aC} = L_{Ca} = L_{bA} = L_{Ab} = L_{cB} = L_{Bc} = M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rovnice spřažených magnetických toků:

$$\Psi_a = L_S i_a - M_S i_b - M_S i_c + M \cos(\vartheta) i_A + M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_B + M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_C$$

$$\Psi_b = -M_S i_a + L_S i_b - M_S i_c + M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_A + M \cos(\vartheta) i_B + M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_C$$

$$\Psi_c = -M_S i_a - M_S i_b + L_S i_c + M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_A + M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_B + M \cos(\vartheta) i_C$$

$$\Psi_A = M \cos(\vartheta) i_a + M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_b + M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_c + L_r i_A - M_r i_B - M_r i_C$$

$$\Psi_B = M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_a + M \cos(\vartheta) i_b + M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_c - M_r i_A + L_r i_B - M_r i_C$$

$$\Psi_C = M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_a + M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_b + M \cos(\vartheta) i_c - M_r i_A - M_r i_B + L_r i_C$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Vnitřní mechanický moment jedné dvojice proudových smyček:

$$m_{jk} = i_j i_k \frac{dM_{ij}}{d\vartheta} = i_j i_k \frac{d[M_{ij\max} \cos(\vartheta)]}{d\vartheta}$$

Celkový moment:

$$m_{\text{int}} = [-i_a i_A M_m \sin(\vartheta) - i_b i_B M_m \sin(\vartheta) - i_c i_C M_m \sin(\vartheta) - \\ - i_a i_B M_m \sin\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) - i_b i_C M_m \sin\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) - i_c i_A M_m \sin\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) - \\ - i_a i_C M_m \sin\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) - i_b i_A M_m \sin\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) - i_c i_B M_m \sin\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right)]$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Vnitřní mechanický moment jedné dvojice proudových smyček:

$$m_{jk} = i_j i_k \frac{dM_{ij}}{d\mathcal{G}} = i_j i_k \frac{d[M_{ij\max} \cos(\mathcal{G}_{mech})]}{d\mathcal{G}}$$

Přechod $\mathcal{G} \rightarrow \mathcal{G}_{mech}$

Celkový moment:

$$\begin{aligned} m_{\text{int}} = & -p_p M_m \cdot \\ & \cdot [(i_a i_A + i_b i_B + i_c i_C) \sin(\mathcal{G}_{mech}) + \\ & + (i_a i_B + i_b i_C + i_c i_A) \sin\left(\mathcal{G}_{mech} + \frac{2\pi}{3}\right) + \\ & + (i_a i_C + i_b i_A + i_c i_B) \sin\left(\mathcal{G}_{mech} - \frac{2\pi}{3}\right)] \end{aligned}$$

Pohybová rovnice (motorický režim):

$$\Delta m = m_{\text{int}} - m_{mech} = J \frac{d\omega}{dt}$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Příklad výpočtu:

Následující ukázky výpočtu jsou provedeny pro asynchronní stroj o parametrech:

$$P_n = 1.6 \text{ MW}$$

$$I_n = 185 \text{ A}$$

$$U_n = 6 \text{ kV}$$

$$\text{Otáčky } n_n = 1470 \text{ ot/min} \rightarrow s_n = (1500 - 1470) / 1500 * 100 = 2\%$$

Zapojení Y

Tento stroj pracuje jako hlavní oběhové čerpadlo v jaderných elektrárnách Dukovany, Jaslovské Bohunice atd.

Počítán byl rozběh stroje do 70% jmenovitého mechanického zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze.

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

```
: Asynchronni motor ve fazovych souradnicich-ROZBEH MOTORU Z NULOVE  
: RYCHLOSTI,S KONSTANTNI MECHANICKOU ZATEZI NA HRIDELI
```

```
:
```

```
* system;
```

```
sysvar Ia,Ib,Ic,Iaa,Ibb,Icc,omm,Mi,PSa,PSaa,PSb,PSbb,PSc,PScc;
```

```
:konstanty
```

```
Pi23=2Pi/3;
```

```
:parametry motoru
```

```
fs=50;
```

```
U =3464;
```

```
Pp=2;
```

```
Jmot=110;
```

```
:odpory a indukcnosti satorovych a rotorovych fazi
```

```
Rs=0.945; Ls=0.172; Ms=0.0852;
```

```
Rr=0.378; Lr=0.171; Mr=0.0847;
```

```
M =0.168;
```

```
:symetricka trojfazova soustava harmonickych napajecich napeti
```

```
oms=2Pi*fs;
```

```
the=oms*time;
```

```
Um=SQRT(2)*U;
```

```
Uas=Um*sin(the);
```

```
Ubs=Um*sin(the-Pi23);
```

```
Ucs=Um*sin(the+Pi23);
```

```
Ra=10e3*(TIME>6);
```

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

:mechanická rychlost motoru

$$bi\ omm=1/Jmot*(Mi-(2.66e-2*omm*omm));$$

$$Pp2=Pp/2;$$

$$bi\ them=Pp2*omm;$$

$$s=(oms-omm)/oms;$$

:rovnice sprazenych magnetickych toku

:stator

$$0=-PSa+Ls*la-Ms*lb-Ms*lc+M*cos(them)*laa+M*cos(them+Pi23)*lbb+M*cos(them-Pi23)*lcc;$$

$$0=-PSb-Ms*la+Ls*lb-Ms*lc+M*cos(them-Pi23)*laa+M*cos(them)*lbb+M*cos(them+Pi23)*lcc;$$

$$0=-PSc-Ms*la-Ms*lb+Ls*lc+M*cos(them+Pi23)*laa+M*cos(them-Pi23)*lbb+M*cos(them)*lcc;$$

:rotor

$$0=-PSaa+M*cos(them)*la+M*cos(them-Pi23)*lb+M*cos(them+Pi23)*lc+Lr*laa-Mr*lbb-Mr*lcc;$$

$$0=-PSbb+M*cos(them+Pi23)*la+M*cos(them)*lb+M*cos(them-Pi23)*lc-Mr*laa+Lr*lbb-Mr*lcc;$$

$$0=-PSc+M*cos(them-Pi23)*la+M*cos(them+Pi23)*lb+M*cos(them)*lc-Mr*laa-Mr*lbb+Lr*lcc;$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

:napetove rovnice

:stator

$$0 = -U_a + (R_s + R_a) \cdot I_a + v_d \cdot P_{S_a};$$

$$0 = -U_b + R_s \cdot I_b + v_d \cdot P_{S_b};$$

$$0 = -U_c + R_s \cdot I_c + v_d \cdot P_{S_c};$$

:rotor

$$0 = R_r \cdot I_{a_a} + v_d \cdot P_{S_{a_a}};$$

$$0 = R_r \cdot I_{b_b} + v_d \cdot P_{S_{b_b}};$$

$$0 = R_r \cdot I_{c_c} + v_d \cdot P_{S_{c_c}};$$

:pomocne funkce

$$\text{sint1} = \sin(\text{them});$$

$$\text{sint2} = \sin(\text{them} + \text{Pi}23);$$

$$\text{sint3} = \sin(\text{them} - \text{Pi}23);$$

:vnitřní moment motoru

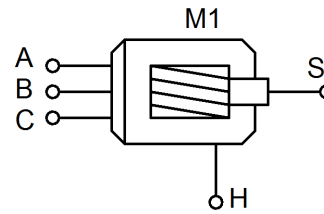
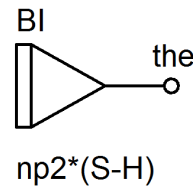
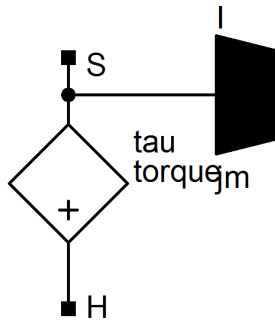
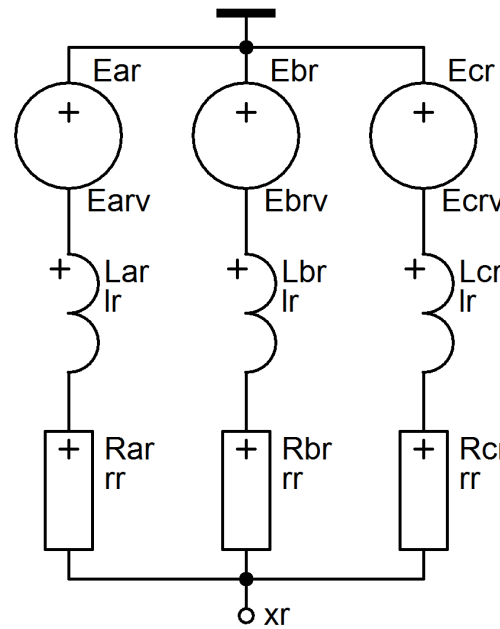
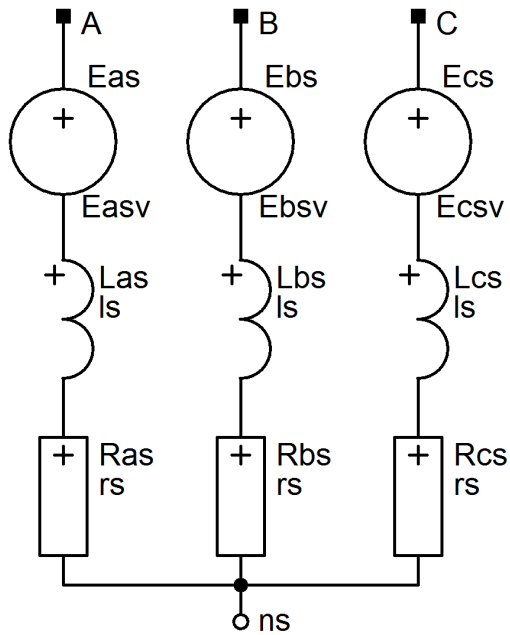
$$0 = -M_i - M \cdot ((I_a \cdot I_{a_a} + I_b \cdot I_{b_b} + I_c \cdot I_{c_c}) \cdot \text{sint1} + (I_a \cdot I_{b_b} + I_b \cdot I_{c_c} + I_c \cdot I_{a_a}) \cdot \text{sint2} + (I_a \cdot I_{c_c} + I_b \cdot I_{a_a} + I_c \cdot I_{b_b}) \cdot \text{sint3});$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Alternativní realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

Interface

- A [V] first stator terminal
- B [V] second stator terminal
- C [V] third stator terminal
- S [rad/s] machine shaft
- H [rad/s] machine housing



Submodel Properties

Induction motor

OK Cancel Help

Name: M1 Type: indmot.mod

Parameters:

Parameters from a catalog:

Parameter	Value	Description
np	2	[-] number of pole-pairs
rs	4.37	[ohm] stator winding resistance
ls	0.315	[H] stator winding inductance
ms	-0.156	[H] stator winding mutual inductance
rr	2.95	[ohm] rotor winding resistance
lr	0.318	[H] rotor winding inductance
mr	-0.158	[H] rotor winding mutual inductance
msr	0.306	[H] stator-rotor mutual inductance

10¹⁵ 10¹² 10⁹ 10⁶ 10³ 10⁰ 10⁻³ 10⁻⁶ 10⁻⁹ 10⁻¹² | π Expression...

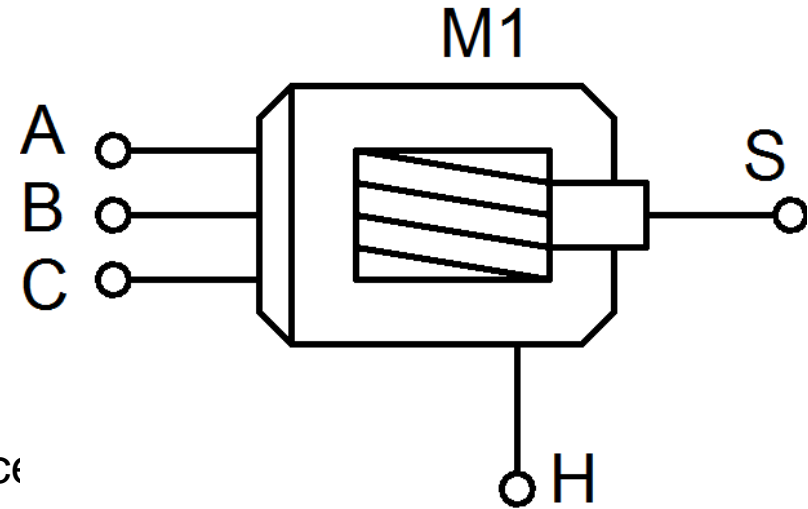
Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Alternativní realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

:: Induction motor

INDMOT A, :: [V] first stator terminal
B, :: [V] second stator terminal
C, :: [V] third stator terminal
S, :: [rad/s] machine shaft
H/ :: [rad/s] machine housing

np = 2, :: [-] number of pole-pairs
rs = 4.37, :: [ohm] stator winding resistance
ls = 0.315, :: [H] stator winding inductance
ms = -0.156, :: [H] stator winding mutual inductance
rr = 2.95, :: [ohm] rotor winding resistance
lr = 0.318, :: [H] rotor winding inductance
mr = -0.158, :: [H] rotor winding mutual inductance
msr = 0.306, :: [H] stator-rotor mutual inductance
jm = 1.5m; :: [kg*m**2] rotor moment of inertia



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Alternativní realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

: Stator:

$$L_{as} A\text{-}ns = l_s; \quad R_{as} - L_{as} = r_s;$$

$$L_{bs} B\text{-}ns = l_s; \quad R_{bs} - L_{bs} = r_s;$$

$$L_{cs} C\text{-}ns = l_s; \quad R_{cs} - L_{cs} = r_s;$$

$$M_{asbs} L_{as}\text{-}L_{bs} = m_s; \quad M_{bscs} L_{bs}\text{-}L_{cs} = m_s;$$

$$M_{ascs} L_{as}\text{-}L_{cs} = m_s;$$

: Rotor:

$$L_{ar} 0\text{-}xr = l_r; \quad R_{ar} - L_{ar} = r_r;$$

$$L_{br} 0\text{-}xr = l_r; \quad R_{br} - L_{br} = r_r;$$

$$L_{cr} 0\text{-}xr = l_r; \quad R_{cr} - L_{cr} = r_r;$$

$$M_{arbr} L_{ar}\text{-}L_{br} = m_r; \quad M_{brcr} L_{br}\text{-}L_{cr} = m_r;$$

$$M_{arcr} L_{ar}\text{-}L_{cr} = m_r;$$

: Stator vs. rotor:

$$n_{p2} = n_p/2; \quad \pi_{23} = 2\pi/3;$$

$$\theta = \arccos(n_{p2}/n_p);$$

$$m_0 = m_{sr} \cos(\theta); \quad m_p = m_{sr} \cos(\theta + \pi/3);$$

$$m_m = m_{sr} \cos(\theta - \pi/3);$$

$$M_{asar} L_{as}\text{-}L_{ar} = m_0; \quad M_{asbr} L_{as}\text{-}L_{br} = m_p; \quad M_{ascr} L_{as}\text{-}L_{cr} = m_m;$$

$$M_{bsar} L_{bs}\text{-}L_{ar} = m_m; \quad M_{bsbr} L_{bs}\text{-}L_{br} = m_0; \quad M_{bscr} L_{bs}\text{-}L_{cr} = m_p;$$

$$M_{csar} L_{cs}\text{-}L_{ar} = m_p; \quad M_{csbr} L_{cs}\text{-}L_{br} = m_m; \quad M_{cscr} L_{cs}\text{-}L_{cr} = m_0;$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Alternativní realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

: Stator velocity voltages:

$$dm0 = - (S-H)*msr*\sin(the);$$

$$dmp = - (S-H)*msr*\sin(the + pi23);$$

$$dmm = - (S-H)*msr*\sin(the - pi23);$$

$$Easv = dm0*i.Lar + dmp*i.Lbr + dmm*i.Lcr;$$

$$Ebsv = dmm*i.Lar + dm0*i.Lbr + dmp*i.Lcr;$$

$$Ecsv = dmp*i.Lar + dmm*i.Lbr + dm0*i.Lcr;$$

$$Eas - Las = Easv; Ebs - Lbs = Ebsv; Ecs - Lcs = Ecsv;$$

: Rotor velocity voltages:

$$Earv = dm0*i.Las + dmm*i.Lbs + dmp*i.Lcs;$$

$$Ebrv = dmp*i.Las + dm0*i.Lbs + dmm*i.Lcs;$$

$$Ecrv = dmm*i.Las + dmp*i.Lbs + dm0*i.Lcs;$$

$$Ear - Lar = Earv; Ebr - Lbr = Ebrv; Ecr - Lcr = Ecrv;$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Alternativní realizace v modelovacím nástroji DYNAST:

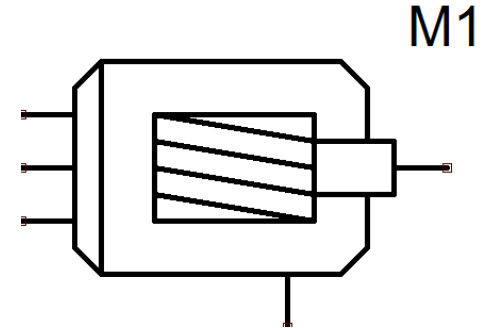
: Mechanical part:

$\sin 0 = \sin(\text{the}); \sin m = \sin(\text{the} - \pi/3);$

$\sin p = \sin(\text{the} + \pi/3);$

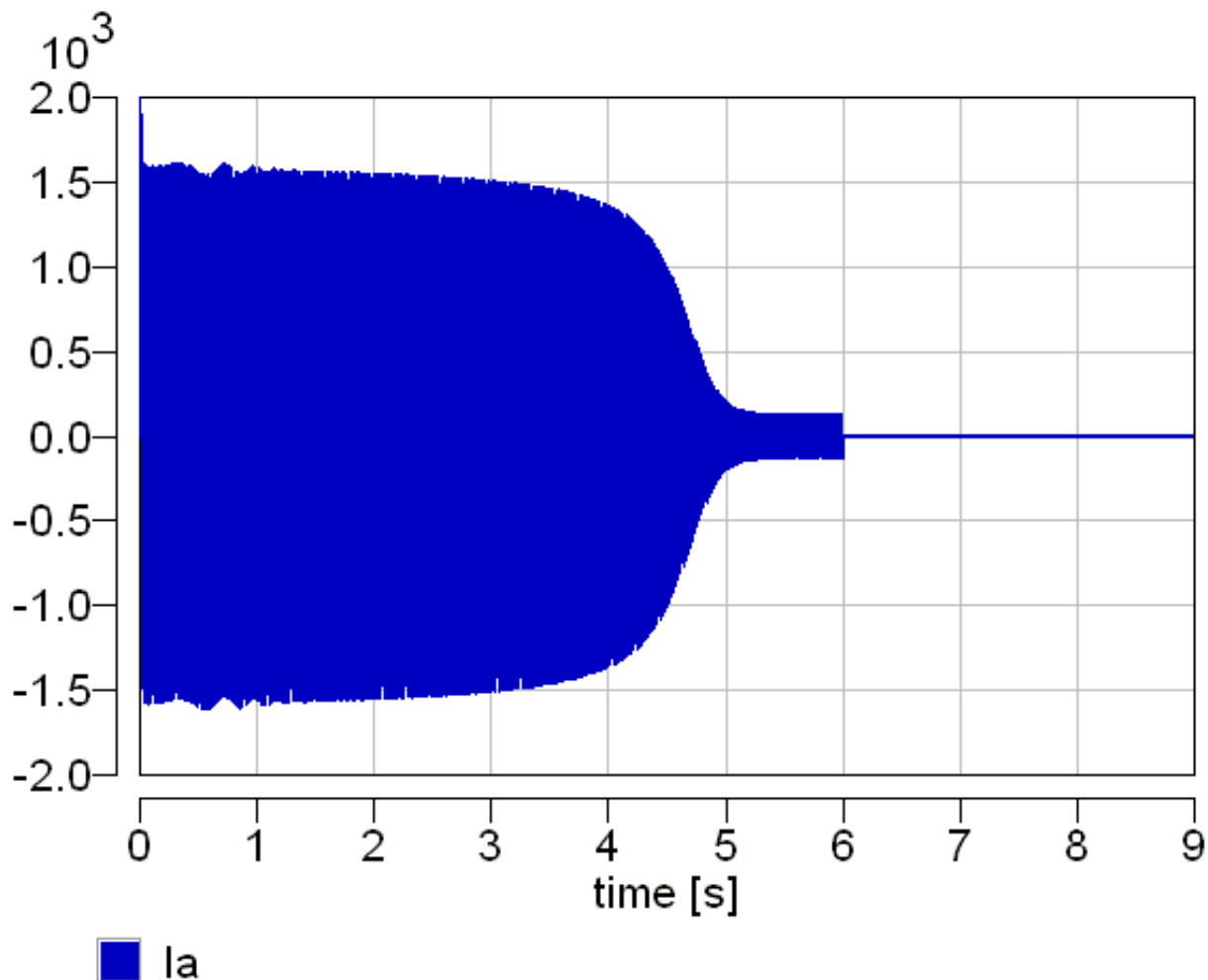
$\text{torque} = - n p^2 m s r^* \quad : \text{source of torque}$
 $((i.Las*i.Lar + i.Lbs*i.Lbr + i.Lcs*i.Lcr)*\sin 0$
 $+ (i.Las*i.Lbr + i.Lbs*i.Lcr + i.Lcs*i.Lar)*\sin p$
 $+ (i.Las*i.Lcr + i.Lbs*i.Lar + i.Lcs*i.Lbr)*\sin m);$
 $\tau > J \text{ H-S} = \text{torque};$

$I > C S = j m; \quad : \text{rotor inertia}$



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

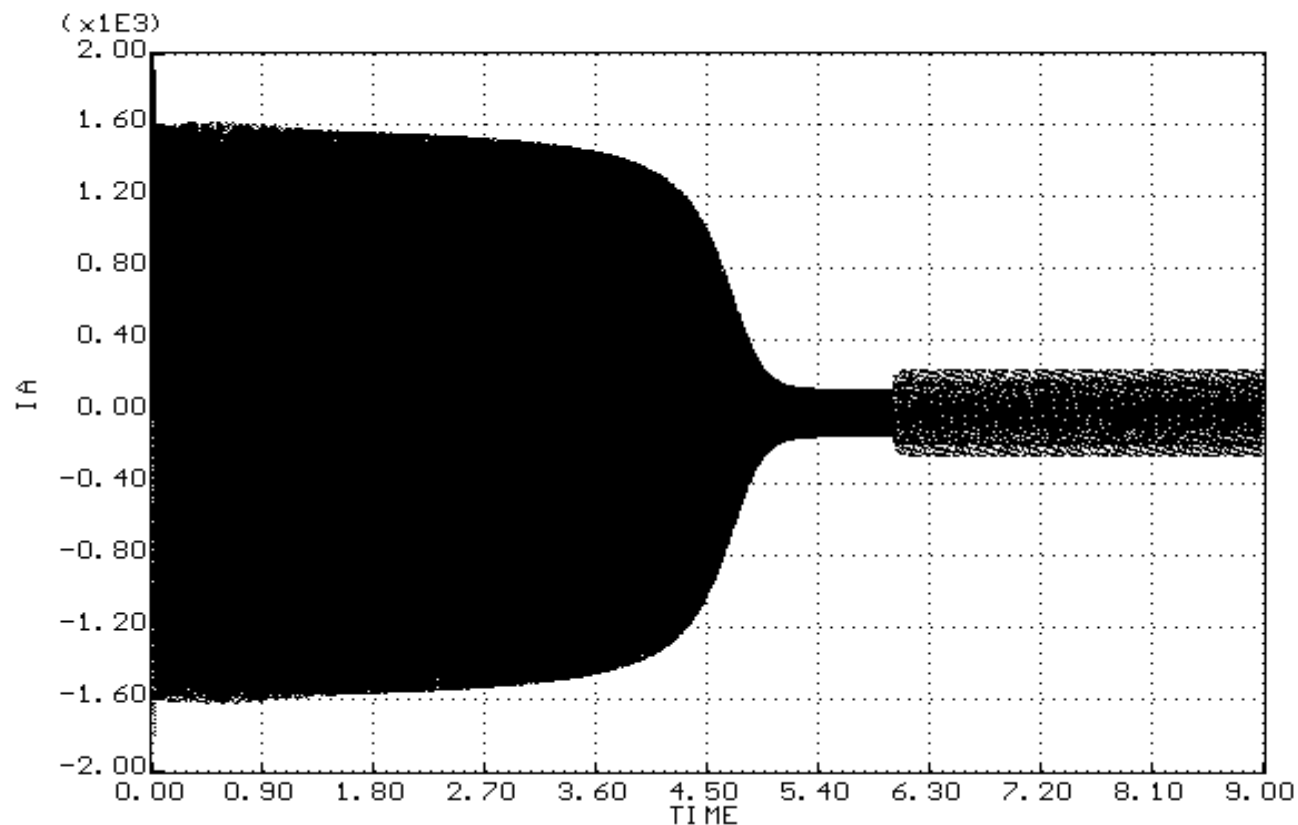
Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze.



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze.

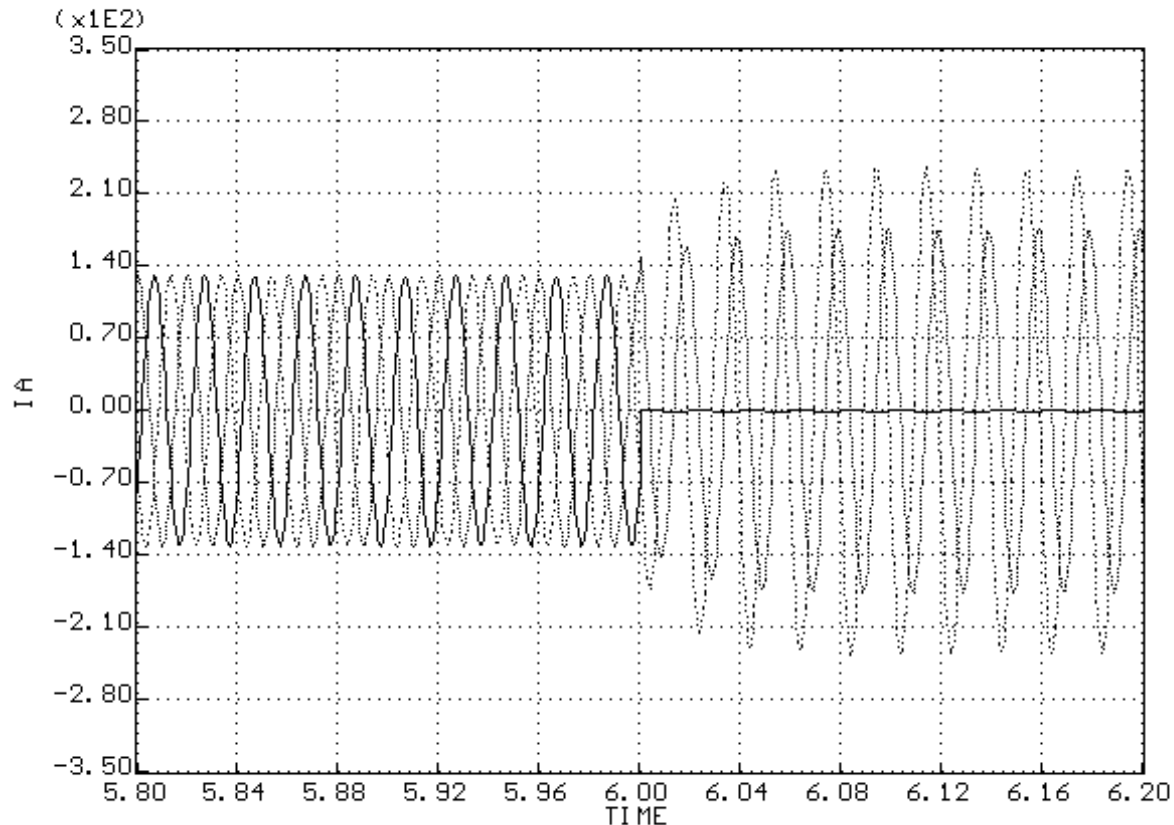
TIME	IA	IB	IC
0.00E+00	-2.00E+03	-2.00E+03	-2.00E+03
9.00E+00	2.00E+03	2.00E+03	2.00E+03



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

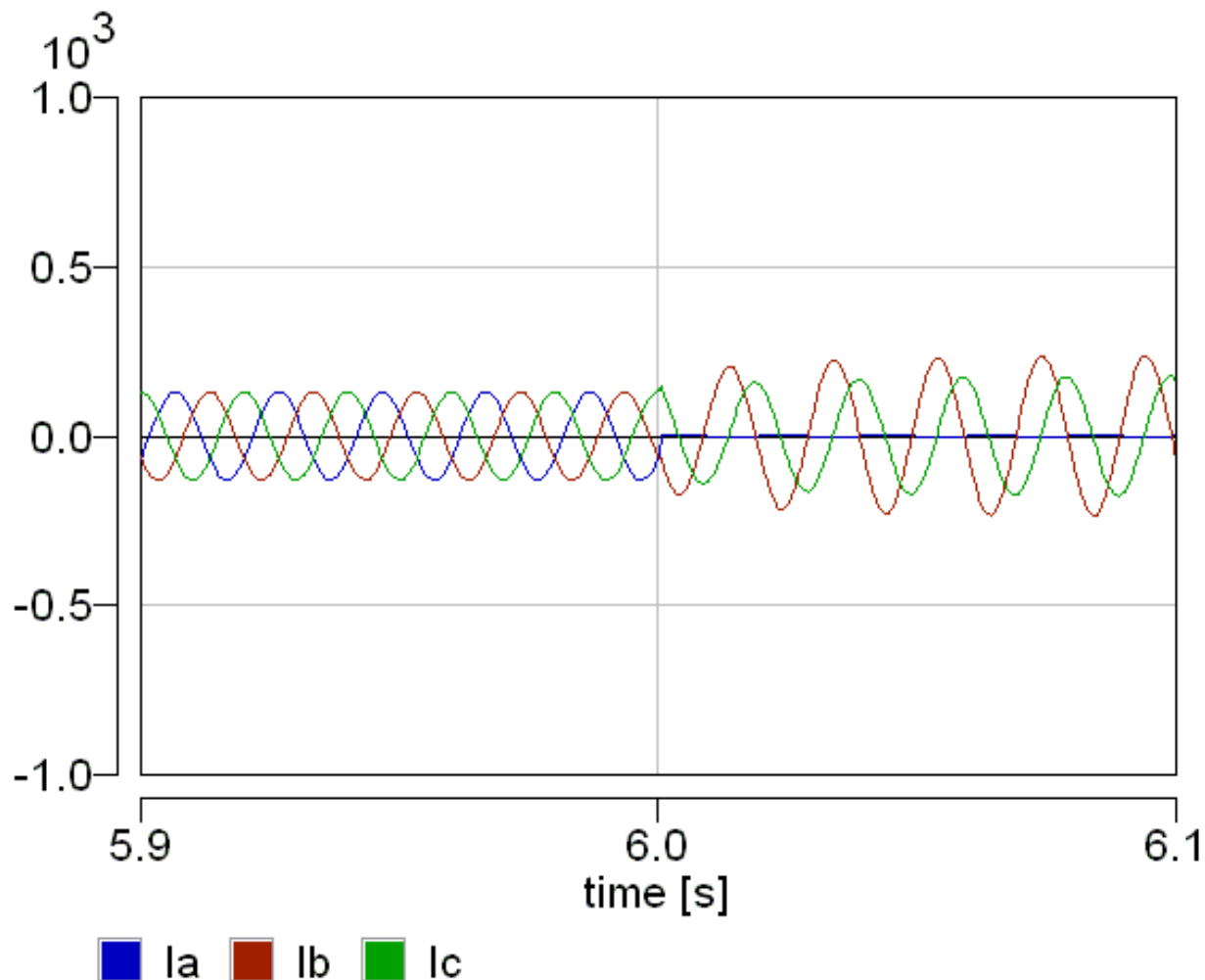
Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze - detail.

TIME	IA	IB	IC
5.80E+00	-3.50E+02	-3.50E+02	-3.50E+02
6.20E+00	3.50E+02	3.50E+02	3.50E+02



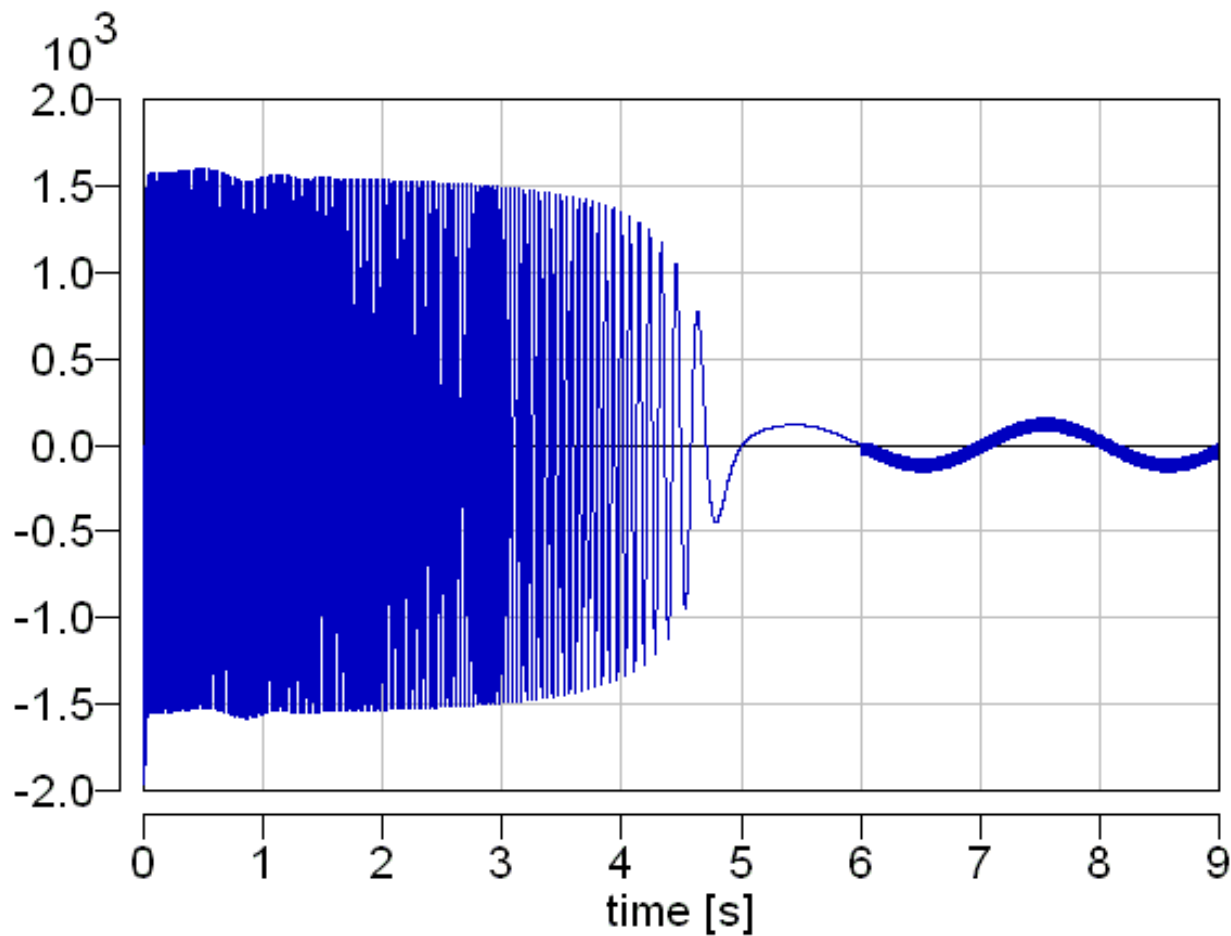
Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze - detail.



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

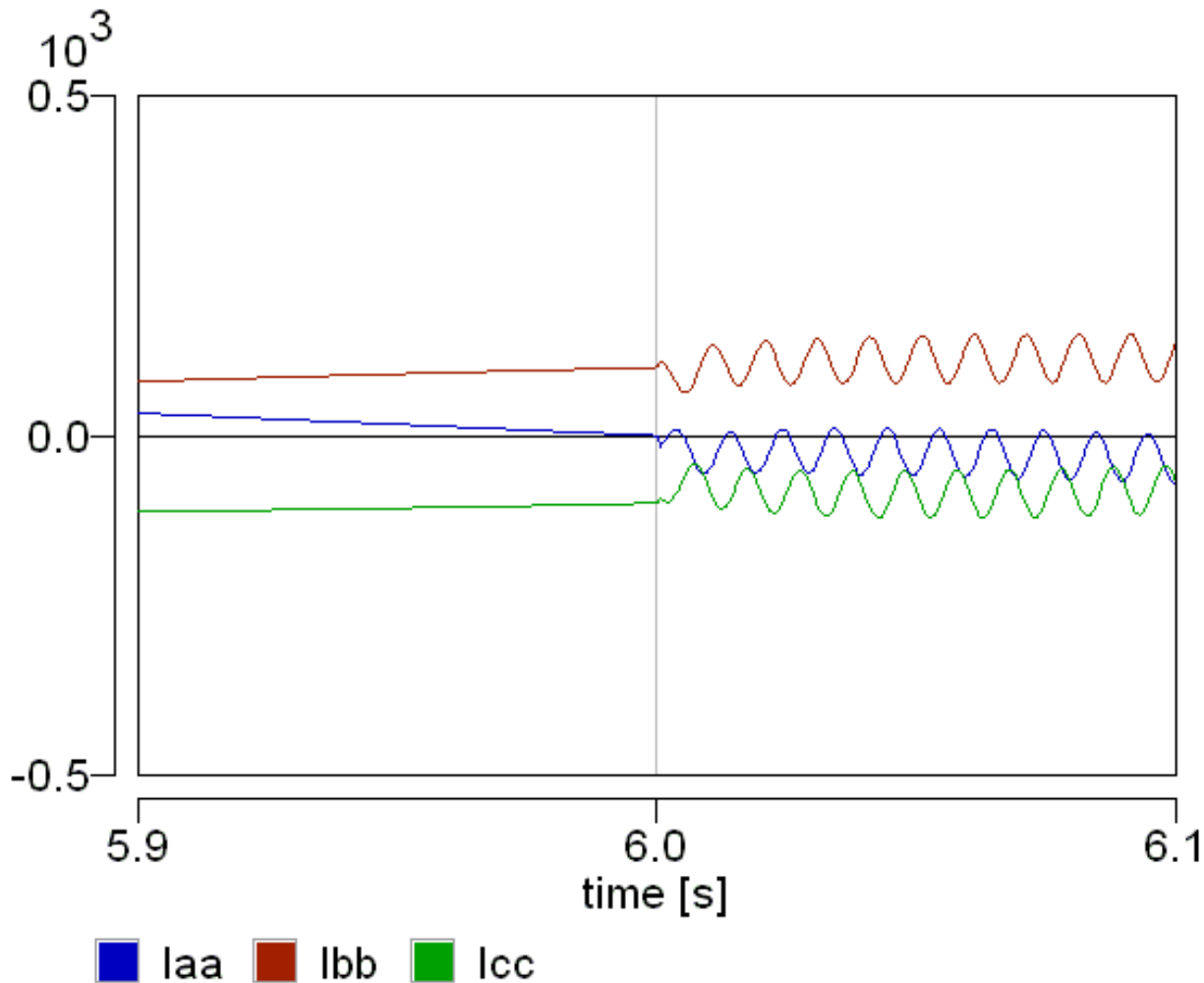
Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze - rotor.



■ i_{aa}

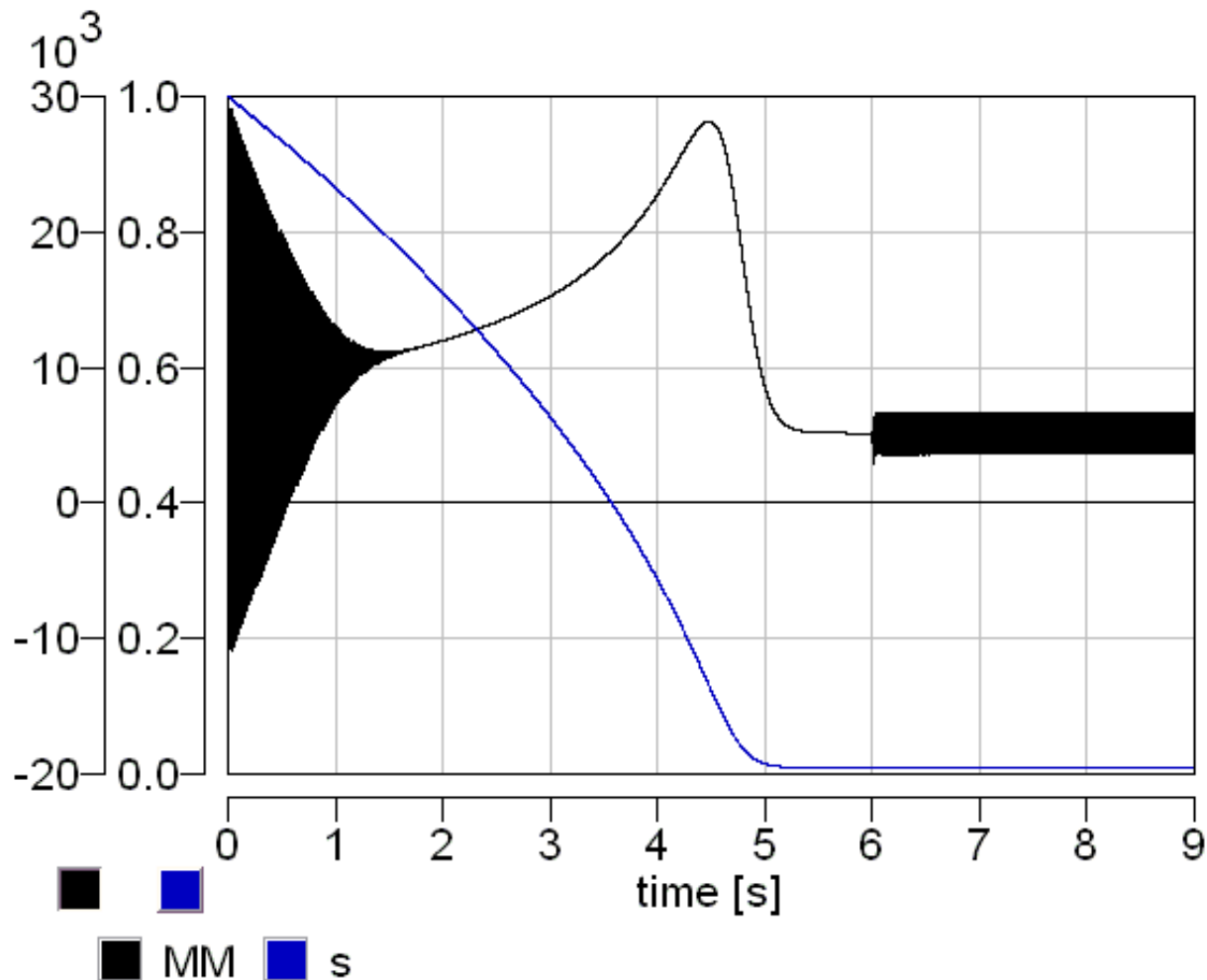
Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze – rotor - detail.



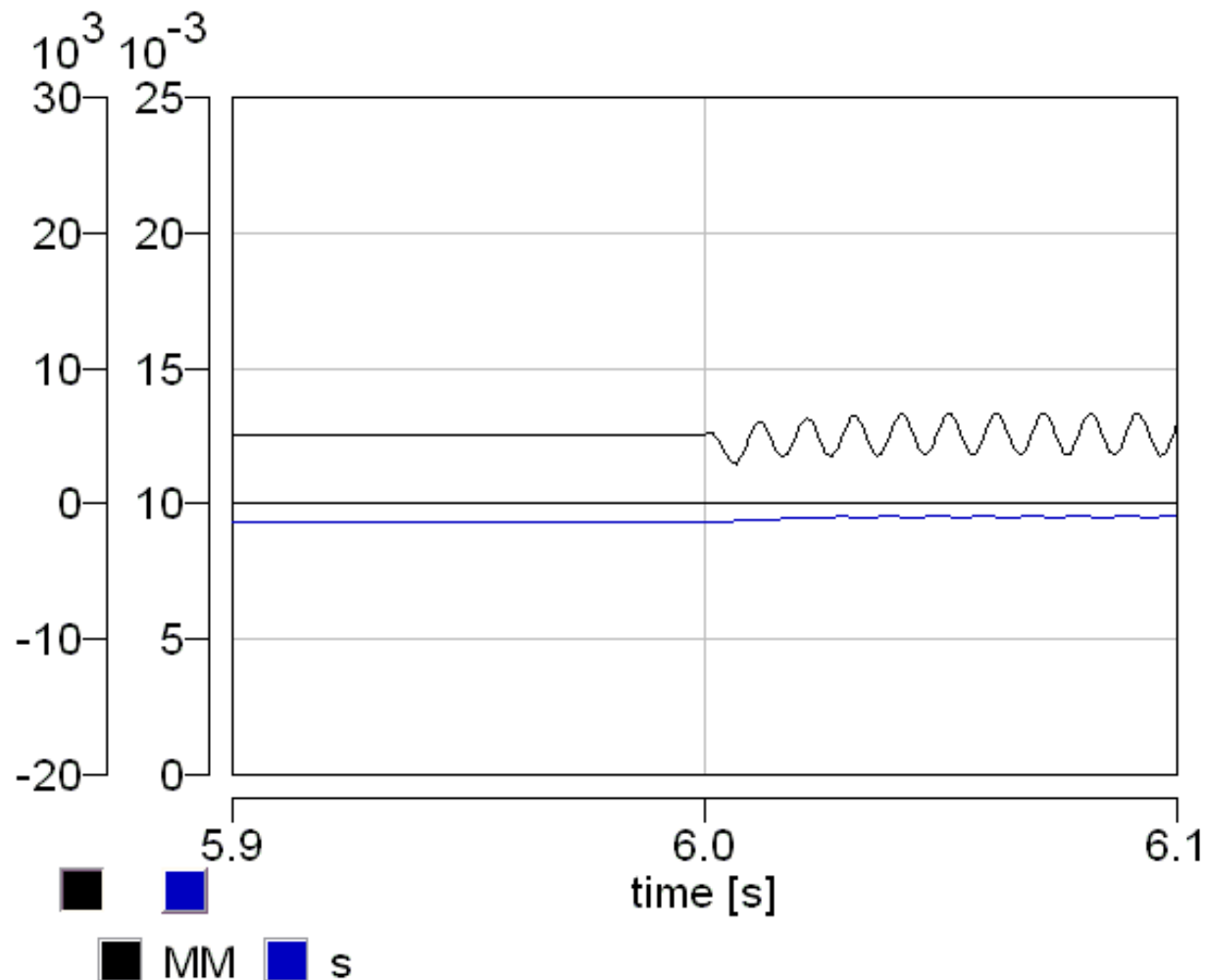
Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze – moment a skluz.



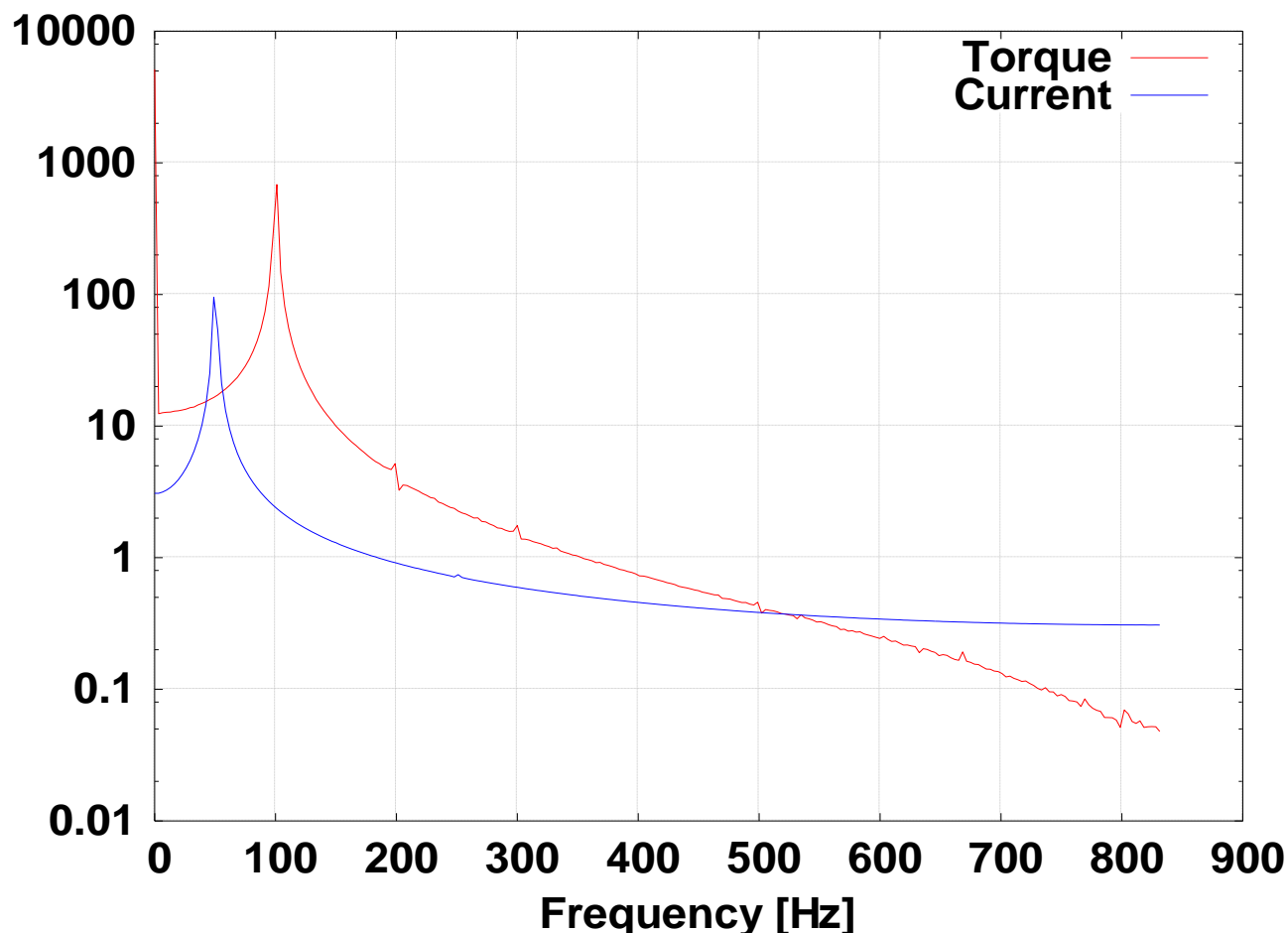
Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze – moment a skluz - detail.



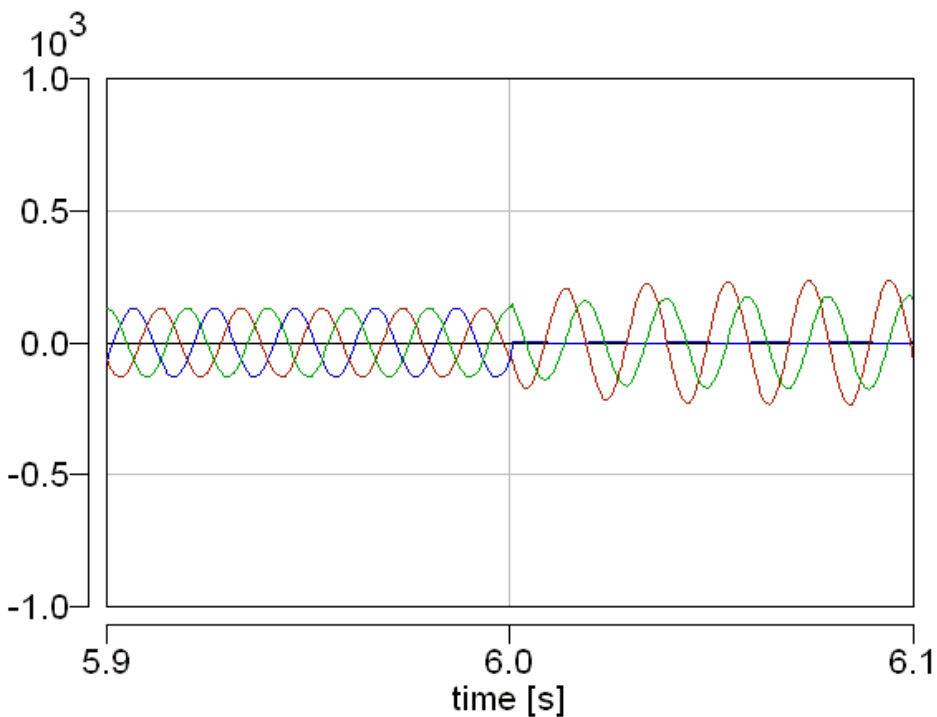
Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následné přerušení jedné statorové fáze – frekvenční rozbor proudu a momentu.

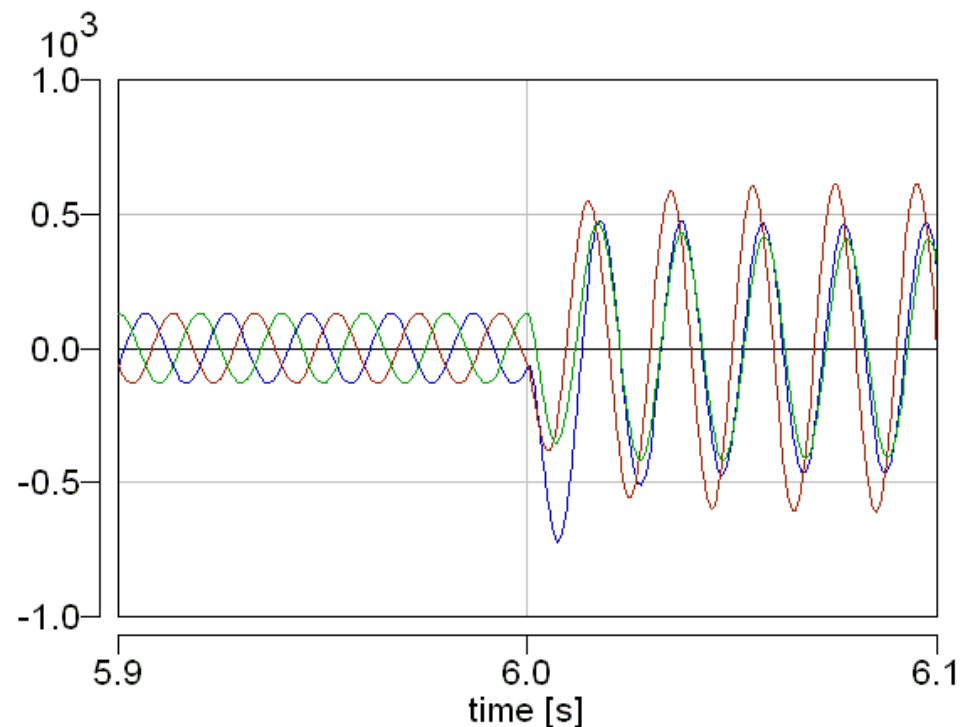


Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následně pokles napětí jedné z napájecích fází na 70% U_n – detail porovnání s úplným vyřazením fáze.



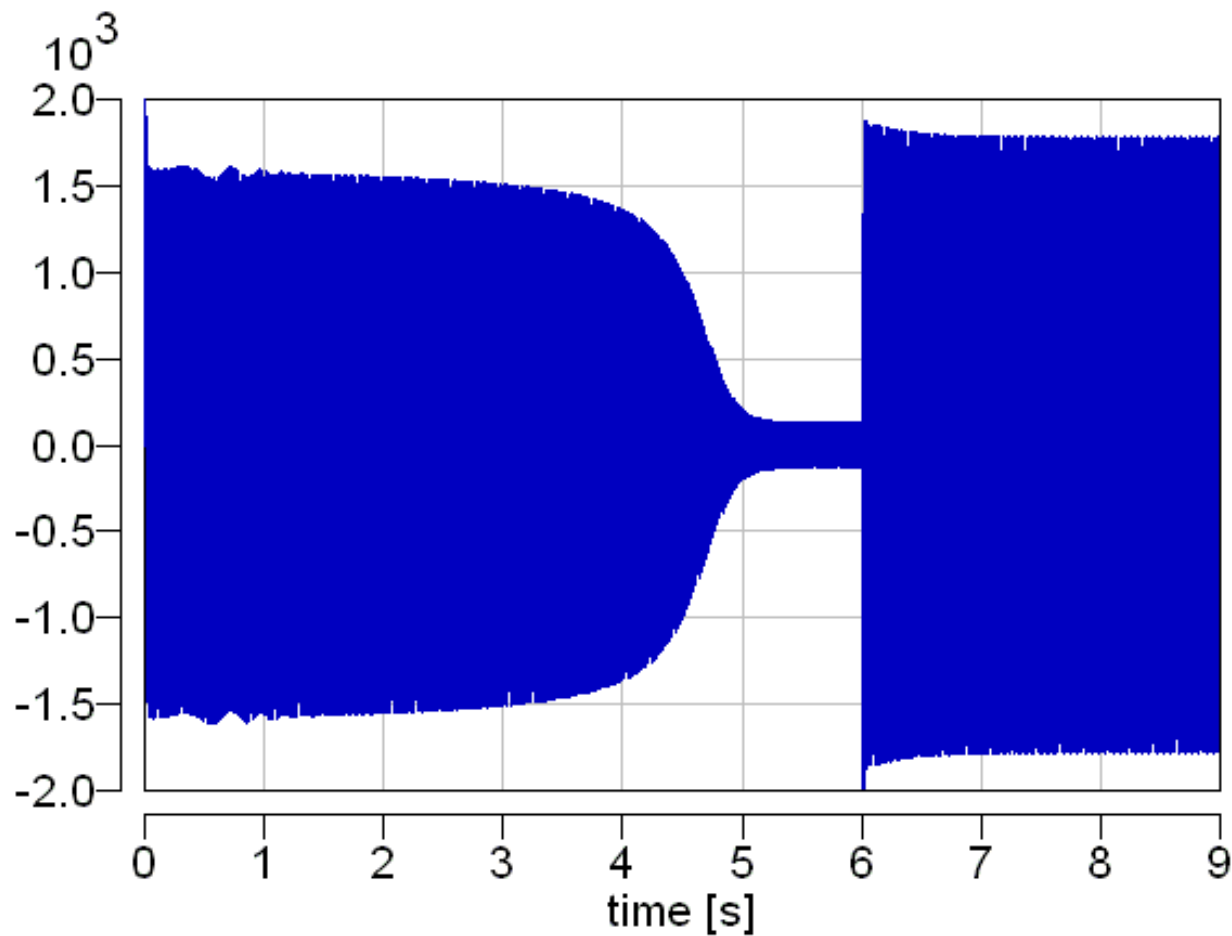
Úplná ztráta napájení jedné fáze



Pokles napájecího napětí na 70%

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

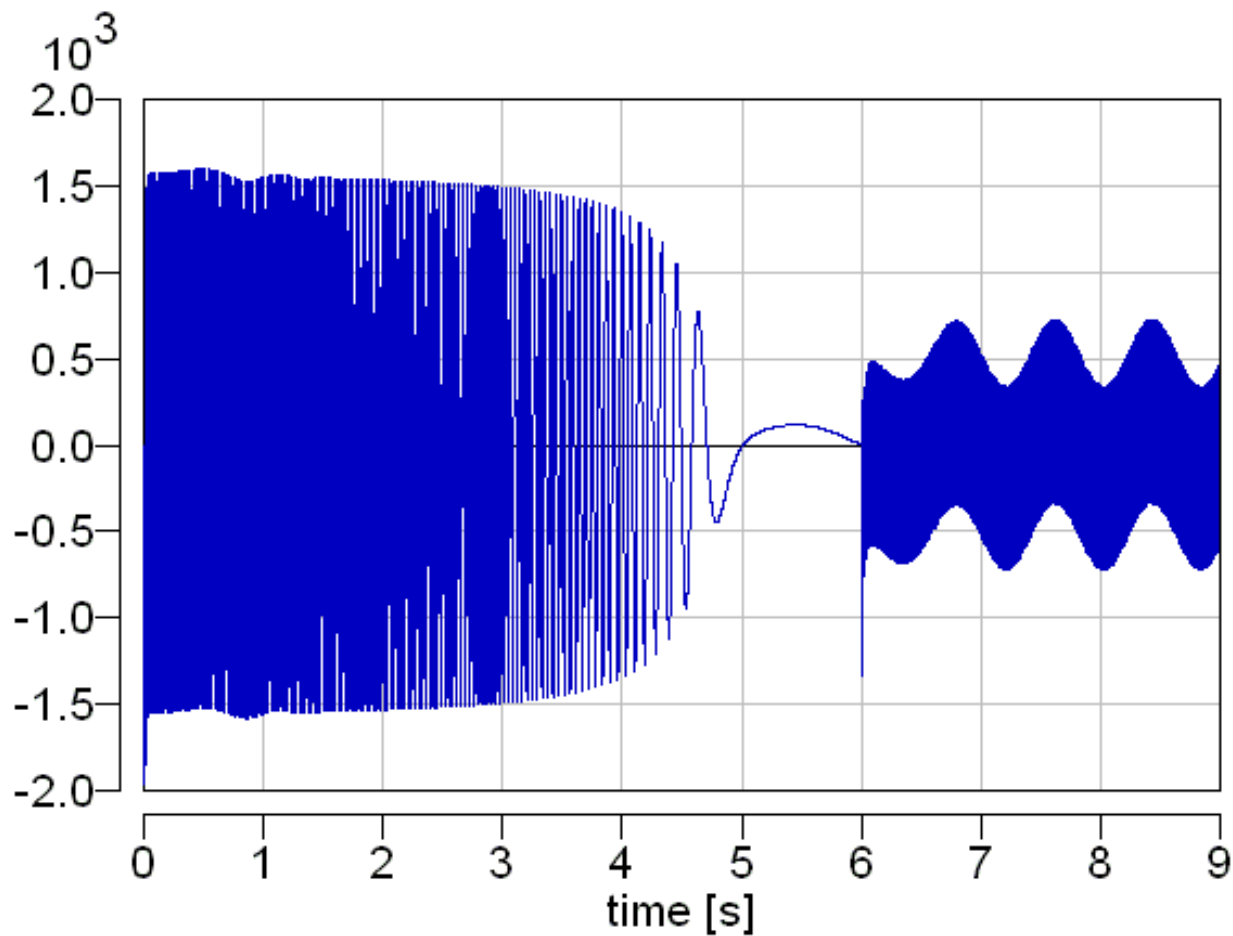
Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následně zkrat na svorkách jedné fáze.



■ I_a

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

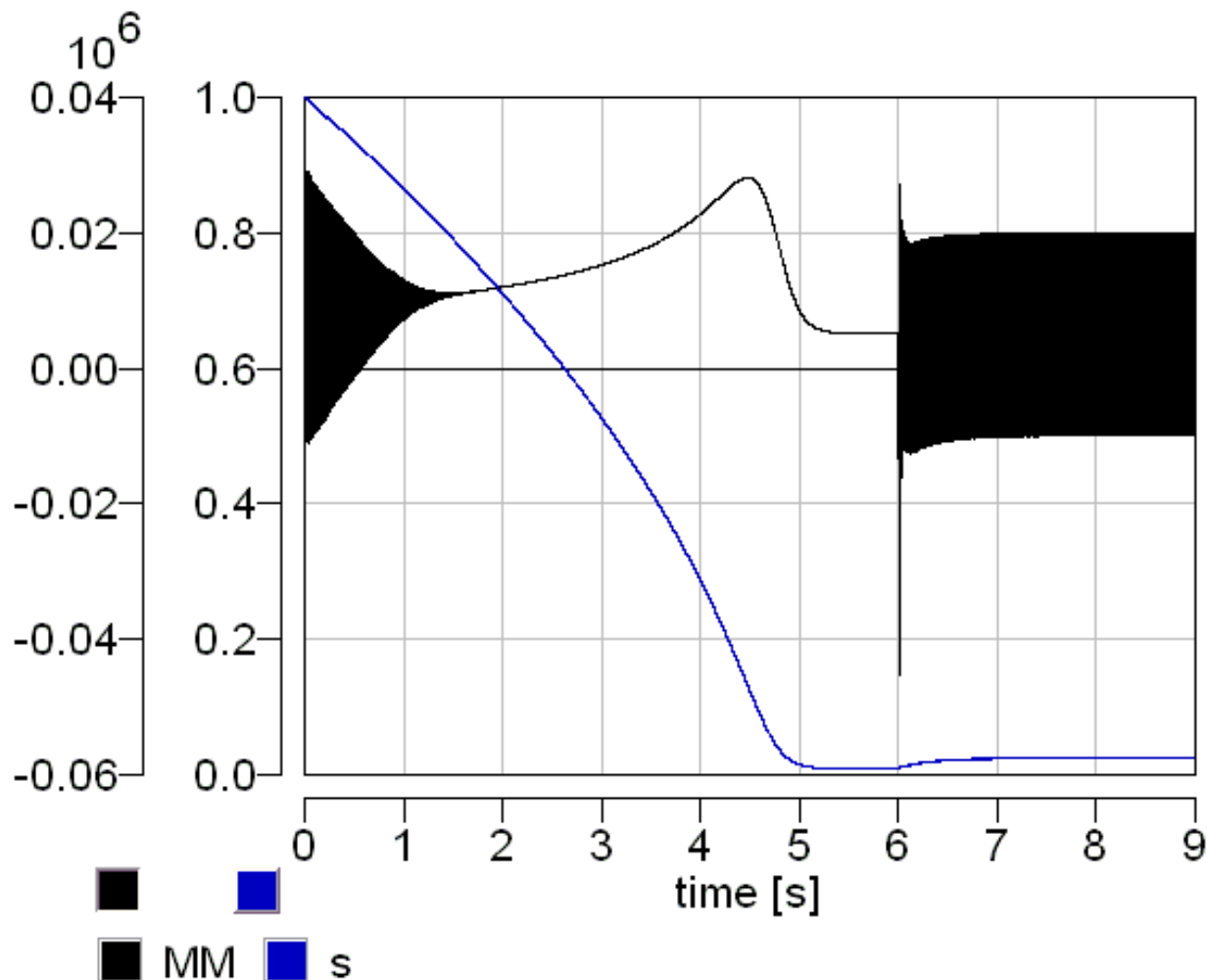
Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následně zkrat na svorkách jedné fáze - rotor.



■ i_{aa}

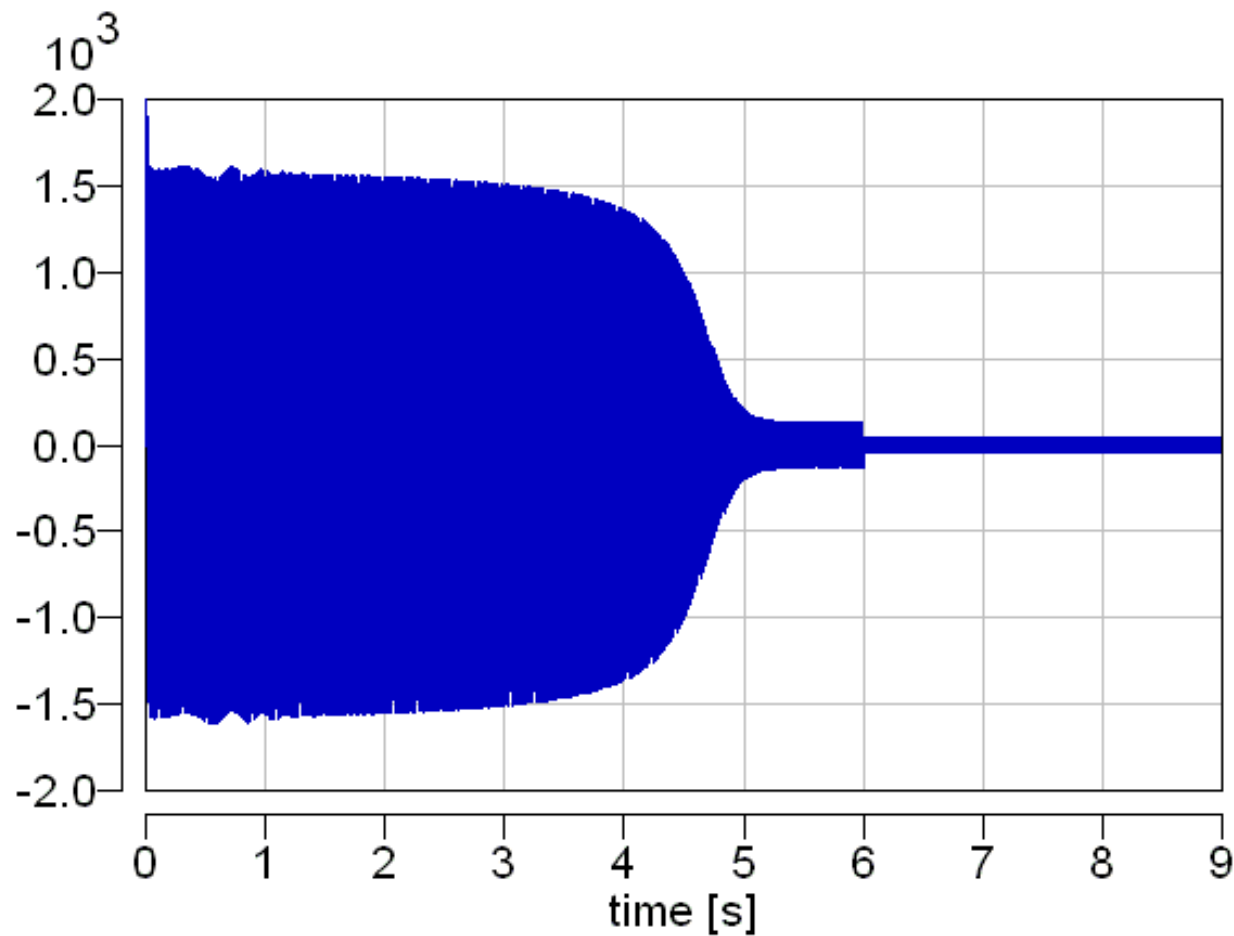
Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následně zkrat na svorkách jedné fáze – moment a skluz.



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

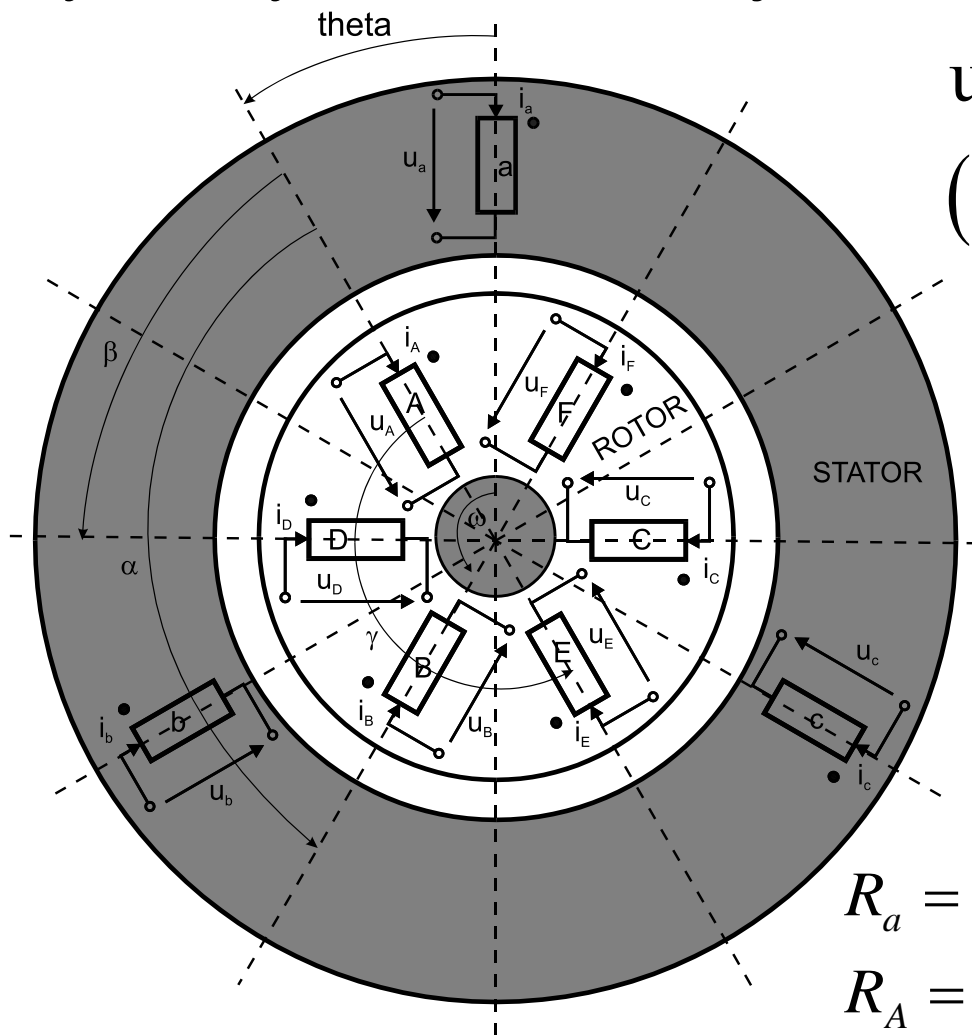
Rozběh stroje do 70% jmenovitého zatížení a následně nárůst činného odporu jedné fáze na pětinasobek.



■ I_a

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy, rotor je respektován šesti vinutími

Statorové i rotorové vinutí jsou zapojena do hvězdy s nevyvedeným středem, vše je souměrné.



$$u_k = R_k i_k + d\Psi_k / dt$$

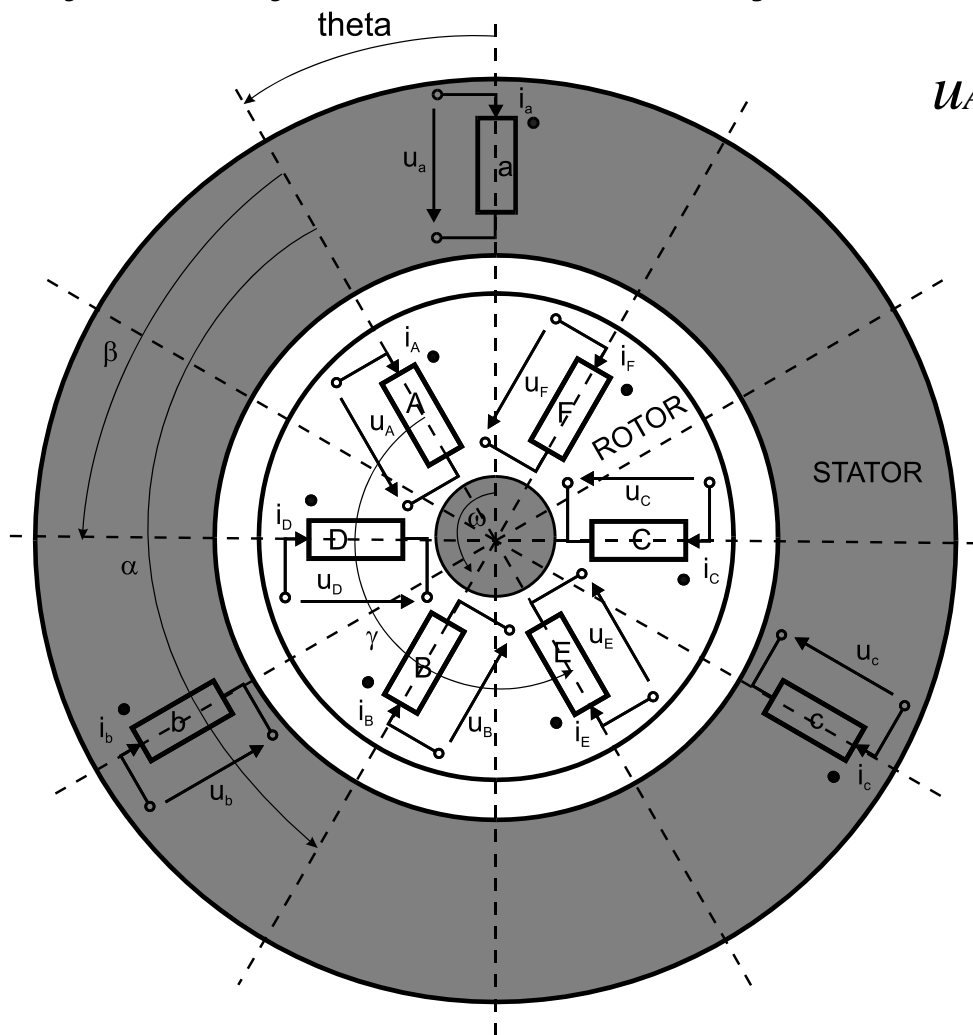
$$(k = a, b, c, A, B, C, D, E, F)$$

$$R_a = R_b = R_c = R_S$$

$$R_A = R_B = R_C = R_D = R_E = R_F = R_R$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy, rotor je respektován šesti vinutími

Statorové i rotorové vinutí jsou zapojena do hvězdy s nevyvedeným středem, vše je souměrné.



$$u_A = u_B = u_C = u_D = u_E = u_F = 0$$

$$i_A + i_B + i_C + i_D + i_E + i_F = 0$$

$$i_a + i_b + i_c = 0$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy, rotor je respektován šesti vinutími

Stator

$$\Psi_a = L_{aa}\dot{i}_a + L_{ab}\dot{i}_b + L_{ac}\dot{i}_c + L_{aA}\dot{i}_A + L_{aB}\dot{i}_B + L_{aC}\dot{i}_C + L_{aD}\dot{i}_D + L_{aE}\dot{i}_E + L_{aF}\dot{i}_F$$

$$\Psi_b = L_{ba}\dot{i}_a + L_{bb}\dot{i}_b + L_{bc}\dot{i}_c + L_{bA}\dot{i}_A + L_{bB}\dot{i}_B + L_{bC}\dot{i}_C + L_{bD}\dot{i}_D + L_{bE}\dot{i}_E + L_{bF}\dot{i}_F$$

$$\Psi_c = L_{ca}\dot{i}_a + L_{cb}\dot{i}_b + L_{cc}\dot{i}_c + L_{cA}\dot{i}_A + L_{cB}\dot{i}_B + L_{cC}\dot{i}_C + L_{cD}\dot{i}_D + L_{cE}\dot{i}_E + L_{cF}\dot{i}_F$$

Rotor

$$\Psi_A = L_{Aa}\dot{i}_a + L_{Ab}\dot{i}_b + L_{Ac}\dot{i}_c + L_{AA}\dot{i}_A + L_{AB}\dot{i}_B + L_{AC}\dot{i}_C + L_{AD}\dot{i}_D + L_{AE}\dot{i}_E + L_{AF}\dot{i}_F$$

$$\Psi_B = L_{Ba}\dot{i}_a + L_{Bb}\dot{i}_b + L_{Bc}\dot{i}_c + L_{BA}\dot{i}_A + L_{BB}\dot{i}_B + L_{BC}\dot{i}_C + L_{BD}\dot{i}_D + L_{BE}\dot{i}_E + L_{BF}\dot{i}_F$$

$$\Psi_C = L_{Ca}\dot{i}_a + L_{Cb}\dot{i}_b + L_{Cc}\dot{i}_c + L_{CA}\dot{i}_A + L_{CB}\dot{i}_B + L_{CC}\dot{i}_C + L_{CD}\dot{i}_D + L_{CE}\dot{i}_E + L_{CF}\dot{i}_F$$

$$\Psi_D = L_{Da}\dot{i}_a + L_{Db}\dot{i}_b + L_{Dc}\dot{i}_c + L_{DA}\dot{i}_A + L_{DB}\dot{i}_B + L_{DC}\dot{i}_C + L_{DD}\dot{i}_D + L_{DE}\dot{i}_E + L_{DF}\dot{i}_F$$

$$\Psi_E = L_{Ea}\dot{i}_a + L_{Eb}\dot{i}_b + L_{Ec}\dot{i}_c + L_{EA}\dot{i}_A + L_{EB}\dot{i}_B + L_{EC}\dot{i}_C + L_{ED}\dot{i}_D + L_{EE}\dot{i}_E + L_{EF}\dot{i}_F$$

$$\Psi_F = L_{Fa}\dot{i}_a + L_{Fb}\dot{i}_b + L_{Fc}\dot{i}_c + L_{FA}\dot{i}_A + L_{FB}\dot{i}_B + L_{FC}\dot{i}_C + L_{FD}\dot{i}_D + L_{FE}\dot{i}_E + L_{FF}\dot{i}_F$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy, rotor je
respektován šesti vinutími

vlastní indukčnost statoru: $L_{aa} = L_{bb} = L_{cc} = L_s$

vlastní indukčnost rotoru: $L_{AA} = L_{BB} = \dots = L_{FF} = L_r$

vzájemné indukčnosti statoru: $L_{ab} = L_{ac} = L_{bc} = M_s$

vzájemné indukčnosti rotoru:

$$\begin{aligned} L_{AB} &= L_{AC} = L_{BC} = L_{DE} = L_{DF} = L_{EF} = \\ &= -L_{AD} = -L_{AF} = -L_{BD} = -L_{BE} = -L_{CE} = -L_{CF} \\ &= \frac{L_{AE}}{2} = \frac{L_{BF}}{2} = \frac{L_{CD}}{2} = M_r \end{aligned}$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy, rotor je respektován šesti vinutími vzájemné indukčnosti mezi vinutími statoru a rotoru:

$$L_{aA} = L_{Aa} = L_{bB} = L_{Bb} = L_{cC} = L_{Cc} = M \cos(\vartheta)$$

$$L_{aB} = L_{Ba} = L_{bC} = L_{Cb} = L_{cA} = L_{Ac} = M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$L_{aC} = L_{Ca} = L_{bA} = L_{Ab} = L_{cB} = L_{Bc} = M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$L_{aD} = L_{Da} = L_{bE} = L_{Eb} = L_{cF} = L_{Fc} = M \cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$L_{aE} = L_{Ea} = L_{bF} = L_{Fb} = L_{cD} = L_{Dc} = M \cos(\vartheta + \pi)$$

$$L_{aF} = L_{Fa} = L_{bD} = L_{Db} = L_{cE} = L_{Ec} = M \cos\left(\vartheta - \frac{\pi}{3}\right)$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy, rotor je respektován šesti vinutími

Rovnice spřažených magnetických toků:

$$\Psi_a = L_S i_a - M_S i_b - M_S i_c + M \cos(\vartheta) i_A + M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_B + M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_C +$$
$$M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_D + M \cos(\vartheta + \pi) i_E + M \cos\left(\vartheta - \frac{\pi}{3}\right) i_F$$

...

$$\Psi_A = M \cos(\vartheta) i_a + M \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) i_b + M \cos\left(\vartheta + \frac{2\pi}{3}\right) i_c +$$
$$+ L_r i_A - M_r i_B - M_r i_C + M_r i_D - 2M_r i_E + M_r i_F$$

...

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy, rotor je
respektován šesti vinutími

Vnitřní mechanický moment jedné dvojice
proudových smyček:

$$m_{jk} = i_j i_k \frac{dM_{ij}}{d\mathcal{G}} = i_j i_k \frac{d[M_{ij\max} \cos(\mathcal{G}_{mech})]}{d\mathcal{G}}$$

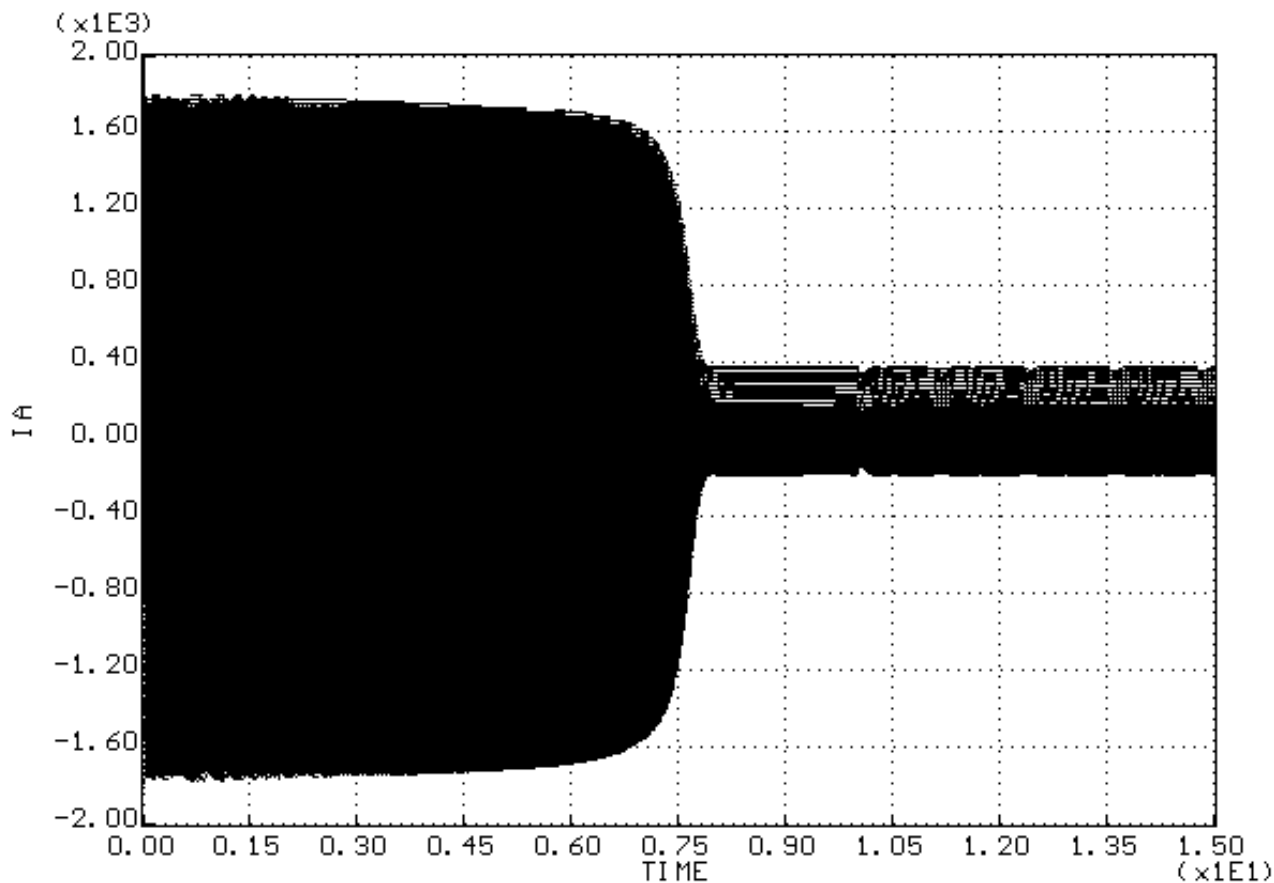
Celkový moment:

$$\begin{aligned} m_{\text{int}} = & -p_p M_m \cdot \\ & \cdot [(i_a i_A + i_b i_B + i_c i_C) \sin(\mathcal{G}_{mech}) + \\ & + (i_a i_B + i_b i_C + i_c i_A) \sin\left(\mathcal{G}_{mech} + \frac{2\pi}{3}\right) + \\ & + (i_a i_C + i_b i_A + i_c i_B) \sin\left(\mathcal{G}_{mech} - \frac{2\pi}{3}\right) + \\ & + (i_a i_D + i_b i_E + i_c i_F) \sin\left(\mathcal{G}_{mech} + \frac{\pi}{3}\right) + \\ & + (i_a i_E + i_b i_F + i_c i_D) \sin(\mathcal{G}_{mech} + \pi) + \\ & + (i_a i_F + i_b i_D + i_c i_E) \sin\left(\mathcal{G}_{mech} - \frac{\pi}{3}\right)] \end{aligned}$$

Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 100% jmenovitého zatížení a následné přerušení 1/6 rotorových tyčí.

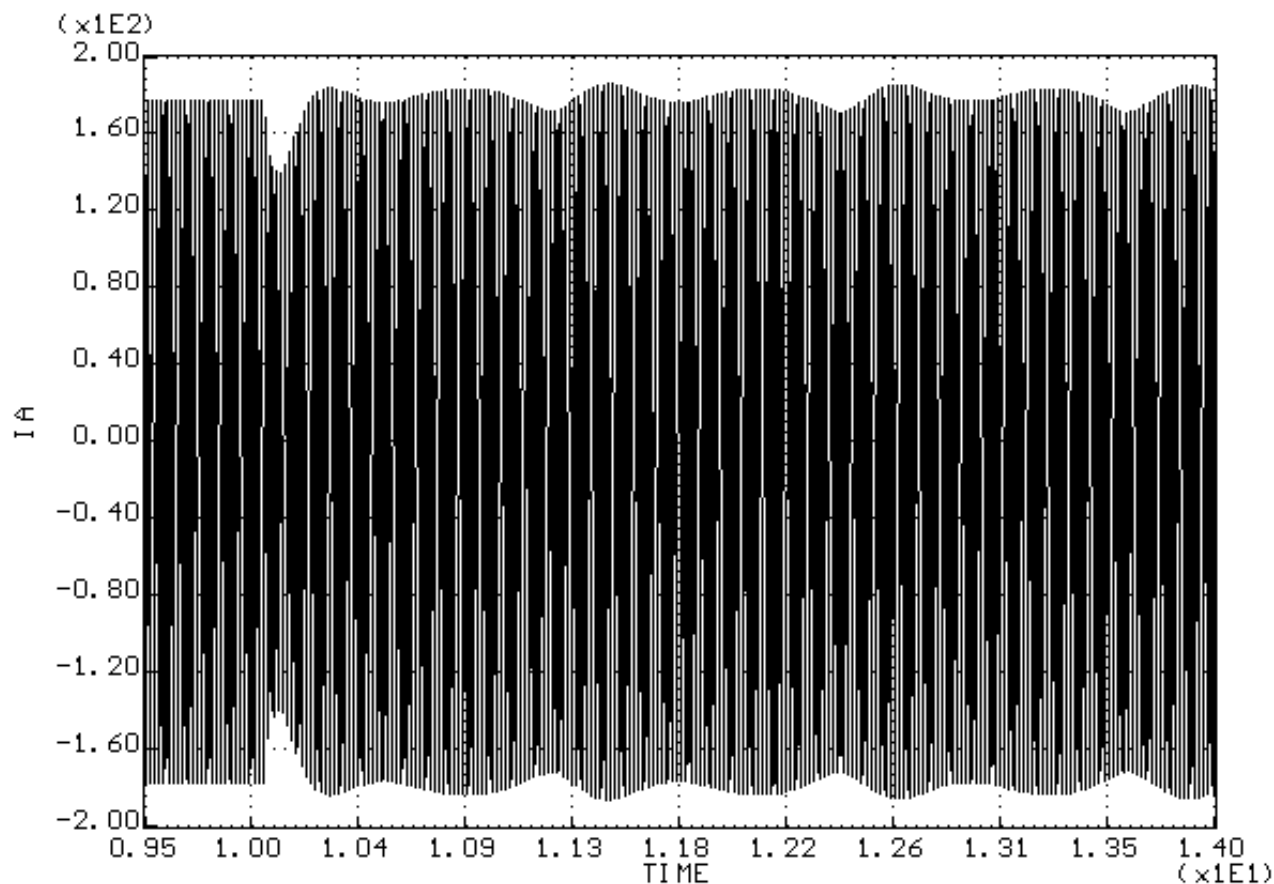
TIME	IA	IB	IC
0.00E+00	-2.00E+03	-2.00E+03	-2.50E+03
1.50E+01	2.00E+03	2.00E+03	2.00E+03



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 100% jmenovitého zatížení a následné přerušení 1/6 rotorových tyčí - detail.

```
TIME      IA  
9.50E+00 -2.00E+02  
1.40E+01  2.00E+02
```



Asynchronní stroj zapojený do hvězdy

Rozběh stroje do 100% jmenovitého zatížení a následné přerušení 1/6 rotorových tyčí - moment a skluz

	TIME	MM	S
	0.00E+00	-1.00E+04	0.00E+00
skluz	1.50E+01	3.00E+04	1.00E+00

