

AC INDUCTION MACHINE MODELS

Tomáš KŘÍŽEK, Bachelor Degree Programme (3)
Dept. of Control and Instrumentation, FEEC, BUT
E-mail: xkrize04@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Dr. Petr Blaha

ABSTRACT

This paper presents three AC induction machine models with mutual conversion equations between each other. It gives their realization in Matlab as m-functions. These functions simplify the testing of different identification methods which give the parameters of AC induction motor in different machine models.

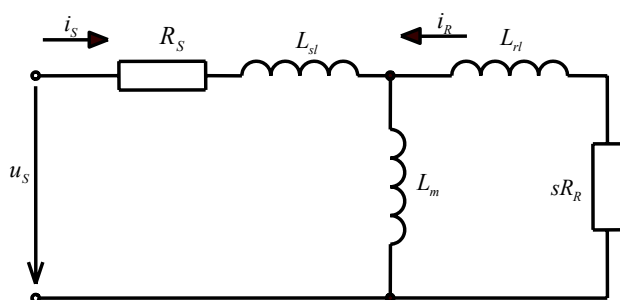
1 ÚVOD

Použití asynchronního motoru (dále jen AM) s kotvou nakrátko v regulačních pohonech založených na vektorovém řízení vyžaduje znalost jeho statických a dynamických vlastností, které jsou dány zvoleným modelem a jeho parametry. V literatuře se vyskytuje několik druhů modelů popisující chování jedné fáze AM. Nejčastěji je to T-model, Γ -model a Γ^{-1} -model.

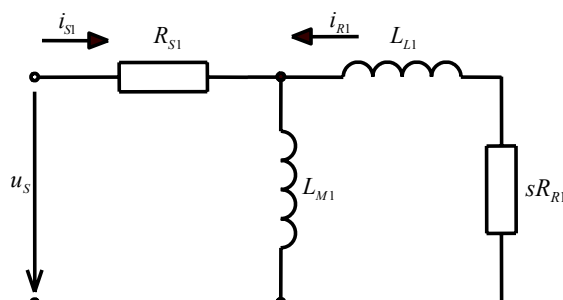
Po úvodu následuje kapitola popisující náhradní modely AM a rovnice které v nich platí. Je zde provedeno odvození vztahů mezi modely. Třetí kapitola stručně popisuje realizaci konverzních funkcí v programu Matlab. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky.

2 MODELY ASYCHRONNÍHO MOTORU

T-model obsahuje dvě rozptylové indukčnosti, a to statorovou indukčnost L_{sl} a rotorovou indukčnost L_{rl} (obr. 1). Jeden parametr je však u tohoto modelu přebytečný, a proto se může přepočítat na modely s jednou rozptylovou indukčností L_{L1} (L_{L2}) které se označují jako Γ -model (viz obr. 2) a Γ^{-1} -model (viz obr. 3).

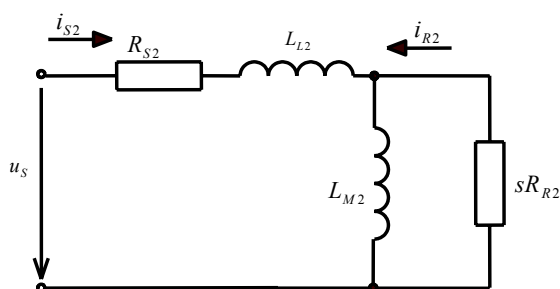


Obr. 1: T – model



Obr. 2: Γ – model

V obrázcích 1 až 3 se vyskytují následující veličiny a konstanty: u_s je satorové napětí, i_s (i_{S1} , i_{S2}) je satorový proud, i_r (i_{R1} , i_{R2}) je rotorový proud, R_s (R_{S1} , R_{S2}) je satorový odpor, R_r (R_{R1} , R_{R2}) je rotorový odpor, L_m (L_{M1} , L_{M2}) je vzájemná indukčnost a s je skluz motoru.



Obr. 3: Schéma Γ^{-1} -modelu

Základním krokem vedoucím k získání přepočtených vztahů mezi konstantami modelů je požadavek, aby měla všechna zapojení stejné dynamické odezvy na vstupní signál u_s . Proto předpokládáme, že se shodují satorové proudy $i_{S2} = i_{S1} = i_s$ [2]. Pokud se shodují proudy, pak se také shodují impedance všech tří náhradních zapojení. Pro nulové frekvence se impedance na svorkách rovná ve všech třech případech odporu satoru, proto platí $R_{S2} = R_{S1} = R_s$. Impedance se musí shodovat pro všechny kmitočty. Při odvození přepočtových vztahů se vyjádří přenosy náhradních obvodů. Skluz motoru s je stejný pro všechny modely, takže se při odvození uvažuje $s = 1$. Ze vzájemné rovnosti přenosů plynou přepočtení vztahy mezi jednotlivými konstantami modelů, které jsou přehledně uvedeny v tabulce 1.

Jako příklad bude naznačeno odvození převodu z Γ modelu na Γ^{-1} model. Musí se shodovat přenosy obou zapojení, proto

$$R_{S2} + pL_{L2} + \frac{R_{R2} \cdot pL_{M2}}{R_{R2} + pL_{M2}} = \frac{q}{q} \left(R_{S1} + \frac{pL_{M1}(R_{R1} + pL_{L1})}{pL_{M1} + R_{R1} + pL_{L1}} \right)$$

Koeficient q zajišťuje jednoznačnost řešení. Převedením obou stran rovnice na společného jmenovatele se dostane:

$$\frac{R_{S2}R_{R2} + p(R_{S2}L_{M2} + R_{R2}(L_{M2} + L_{L2})) + p^2L_{M2}L_{L2}}{R_{R2} + pL_{M2}} = \frac{q}{q} \frac{R_{S1}R_{R1} + p(R_{S1}L_{M1} + R_{S1}L_{L1} + R_{R1}L_{M1}) + p^2L_{M1}L_{L1}}{R_{R1} + p(L_{L1} + L_{M1})}$$

Srovnáním koeficientů u jednotlivých mocnin se získají výsledné přepočtení vztahy mezi konstantami.

Vztah mezi veličinami se dá určit na základě porovnání rovnic pro výpočet magnetických toků satoru a rotoru, které platí pro jednotlivé náhradní modely. Aby byl vztah jednoznačný, volí se shoda satorových toků $\Psi_{S2} = \Psi_{S1} = \Psi_s$. Rovnice popisující vztahy mezi satorovými a rotorovými proudy a magnetickými toky satoru a rotoru jsou pro T-model dány: $\Psi_s = i_s(L_{S1} + L_m) + L_m i_r$ a $\Psi_r = i_s L_m + i_r(L_{R1} + L_m)$. Pro Γ -model platí vztahy: $\Psi_{S1} = L_{M1} i_{S1} + L_{M1} i_{R1}$ a $\Psi_{R1} = \Psi_{S1} + L_{L1} i_{R1}$, podobně pro Γ^{-1} -model platí vztahy: $\Psi_{S2} = L_{L2} i_{S2} + L_{M2}(i_{S2} + i_{R2})$ a $\Psi_{R2} = \Psi_{S2} - L_{L2} i_{S2}$. Vzájemným srovnáním výše uvedených vztahů se dají odvodit vztahy mezi proudy rotoru a toky rotoru. V našem případě pro převodu z Γ modelu na Γ^{-1} model platí: $\Psi_{S2} = \Psi_{S1}$, po dosazení dostaneme rovnost: $i_{S2} \left(\frac{L_{L1}L_{M1} + L_{M1}^2}{L_{L1} + L_{M1}} \right) + i_{R2} \frac{L_{M1}^2}{L_{L1} + L_{M1}} = L_{M1}(i_{S1} + i_{R1})$,

z které pomocí jednoduchých matematických úprav dostaneme $i_{R2} = \frac{L_{M1} + L_{L1}}{L_{M1}} i_{R1} \Rightarrow i_{R2} = q i_{R1}$. Vztah pro přepočet toku rotoru odvodíme z rovnice $\Psi_{R2} = L_{M2}(i_{R2} + i_{S2})$, do které dosadíme vypočítané hodnoty L_{M2} , i_{R2} , i_{S2} a dostaneme $\Psi_{R2} = \frac{L_{M1}^2 + L_{L1}}{L_{M1}} \left(\frac{L_{M1} + L_{L1}}{L_{M1}} i_{R1} + i_{S1} \right) = \dots = \frac{L_{M1}}{L_{M1} + L_{L1}} \Psi_{R1}$

Parametr	T na Γ - model	Γ na Γ^{-1} -model
vzájemná indukčnost	$L_{M1} = \frac{L_m}{k}$	$L_{M2} = \frac{L_{M1}}{q}$
rozptylová indukčnost	$L_{L1} = \frac{L_{sl}}{k} + \frac{L_{rl}}{k^2}$	$L_{L2} = \frac{L_{L1}}{q}$
rotorový odpor	$R_{R1} = \frac{R_R}{k^2}$	$R_{R2} = \frac{R_{R1}}{q^2}$
rotorový tok	$\Psi_{R1} = \Psi_R / k$	$\Psi_{R2} = \Psi_{R1} / q$
rotorový proud	$i_{R1} = k i_R$	$i_{R2} = q i_{R1}$
Přepočtové konstanty	$k = \frac{L_m}{L_m + L_{sl}} ; (k = \sqrt{\frac{L_{M1}}{L_{M1} + L_{L1}}, L_{sl} = L_{rl}})^*$	$q = \frac{L_{M1} + L_{L1}}{L_{M1}} ; (q = \frac{L_{M2} + L_{L2}}{L_{M2}})^*$

Tab. 1: Přepočtní vztahy mezi modely AM

3 REALIZACE PŘEPOČETNÍCH FUNKCÍ

Přepočtní vzorce uvedené v tab. 1 byly naprogramovány v programu Matlab jako funkce. Jejich použití je jednoduché a umožňuje libovolnou konverzi mezi modely. Následují hlavičky naprogramovaných funkcí

```
function [Rs1,Rr1,Ll1,Lm1] = t2gam(Rs,Rr,Lsl,Lrl,Lm)
function [Rs2,Rr2,Ll2,Lm2] = gam2invgam(Rs1,Rr1,Ll1,Lm1)
function [Rs1,Rr1,Ll1,Lm1] = invgam2gam(Rs2,Rr2,Ll2,Lm2)
function [Rs,Rr,Lsl,Lrl,Lm] = gam2t(Rs1,Rr1,Ll1,Lm1)
```

Jako příklad uveďme přepočet z T-modelu na inverzní gama model

```
>> [Rs2,Rr2,Ll2,Lm2] = gam2invgam(t2gam(0.899,0.85,0.0072,0.0061,0,112));
```

Příklad předpokládá, že jsou jednotlivé konverzní funkce na Matlabovské cestě.

4 ZÁVĚR

Článek popisuje tři ekvivalentní modely asynchronního motoru, které se objevují v literatuře. Jsou zde popsány přepočtní vzorce, kterými jde převést mezi libovolnými dvěma modely a které jsou naprogramovány v programu Matlab. Přínos článku a vytvořených převodních funkcí spočívá ve snadné kontrole identifikačních algoritmů, které zjišťují parametry asynchronního motoru pro různé typy modelů.

LITERATURA

- [1] Peterson, B.: Induction Machine Speed Estimation – Observations on Observers, Department of Industrial Electrical Engineering and Automation (IEA), Lund Institute of Technology, Sweden 1996
- [2] Peterson, B.: Oscillations in Inverter Fed Induction Motor Drive, Department of Industrial Electrical Engineering and Automation (IEA), Lund Institute of Technology, Sweden 1991

* tato konstanta se užívá při zpětném přepočtu