

# MATHEMATICAL MODEL OF STEPPING MOTOR

Jan NOVOTNÝ, Master Degree Programme (5)  
Dept. of Power Electrical And Electronic Engineering, FEEC, BUT  
E-mail: xnovot40@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Dr. Josef Koláčný

## ABSTRACT

This paper describes modeling of the stepping motor with permanent magnets in MATLAB Simulink. The results show the real plots of stepping.

## 1 ÚVOD

Pro správnou činnost pohonu s krokovým motorem je nutné zabezpečit, vzhledem k absenci polohové zpětné vazby, aby během jeho činnosti nedocházelo ke ztrátě kroku. Tento nežádoucí jev lze omezit pomocí matematické analýzy soustavy, která vyžaduje vytvoření matematického modelu krokového motoru.

## 2 MATEMATICKÝ MODEL

Krokový motor je po transformaci rovnic do d,q os popisován soustavou rovnic:

$$u_d = 2qR_c i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \Psi_q Z_r \frac{d\Theta_m}{dt} \quad (1)$$

$$u_q = 2qR_c i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \Psi_d Z_r \frac{d\Theta_m}{dt} \quad (2)$$

$$J \frac{d^2\Theta_m}{dt^2} + M_Z = Z_r \cdot (i_q \cdot \Psi_d - i_d \cdot \Psi_q) \quad (3)$$

Po úpravě a následné Laplaceově transformaci obdržíme následující rovnice:

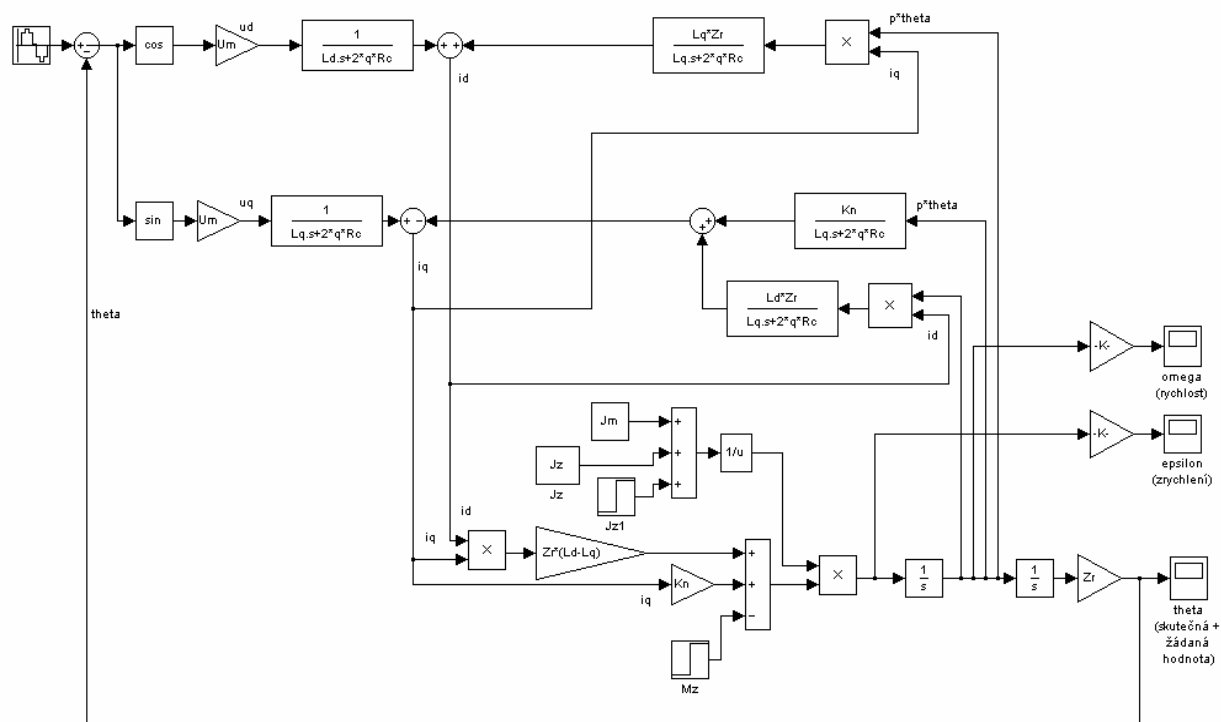
$$i_d = \frac{u_d}{2qR_c + pL_d} + \frac{L_q \cdot i_q \cdot Z_r \cdot p \cdot \Theta_m}{2qR_c + pL_d} - \frac{p \cdot K_N}{Z_r(2qR_c + pL_d)} \quad (4)$$

$$i_q = \frac{u_q}{2qR_c + pL_q} + \frac{L_d \cdot i_d \cdot Z_r \cdot p \cdot \Theta_m}{2qR_c + pL_q} - \frac{p \cdot K_N \cdot \Theta_m}{2qR_c + pL_q} \quad (5)$$

$$\Theta_m = \frac{1}{Jp^2} [Z_r(L_d - L_q) \cdot i_d \cdot i_q + K_N \cdot i_q - M_Z(p)] \quad (6)$$

$$u_d = U_m \cdot \cos(\gamma - Z_r \cdot \Theta_m) \quad (7)$$

$$u_q = U_m \cdot \sin(\gamma - Z_r \cdot \Theta_m) \quad (8)$$



Obr. 1: Blokové schéma modelu KM v  $d,q$  souřadnicích

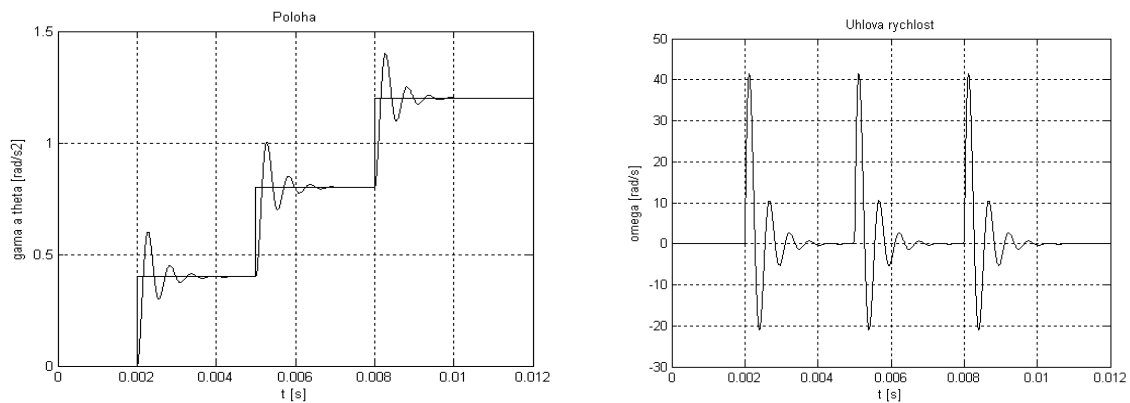
### 3 ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ

Nejjednodušším způsobem řízení KM je spínání buzení pro celé kroky, kdy je vždy napájeno jen vinutí jedné fáze statoru a to jmenovitým proudem kladné nebo záporné polarity. Tento způsob krokování je však zastaralý pro své výrazné přechodné děje, pulzující moment a nestabilitu KM při různých budících frekvencích.

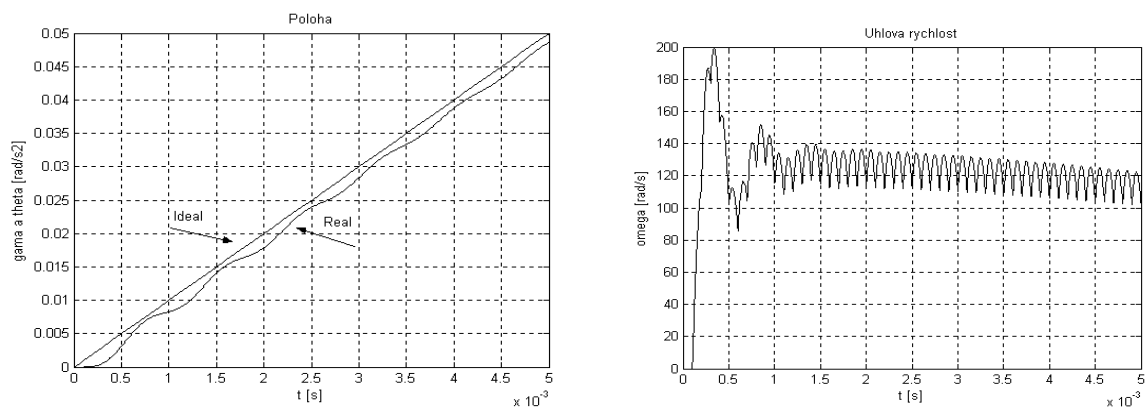
Se zvýšenými nároky na přesnost pohybu se dnes používá systém řízení mikrokrokování (MK), který odstraňuje nežádoucí jevy u řízení po celých krocích.. Nejpoužívanějším typem MK v řídicích jednotkách je postupné zvyšování respektive snižování budícího proudu pro generování rotujícího magnetického pole pomocí PWM, což vede ke snížení obsahu vyšších harmonických, snížení ztrát, snížení hlučnosti a rovnoměrnějšího momentu. Čím více změn za periodu, tím je frekvence krokování větší.

Při simulaci byly použity parametry reálného krokového motoru Berger-Lahr VRDM 397 v laboratoři elektrických pohonů, které byly získány měřením nebo z katalogu výrobce.  $U = 325 \text{ V}$ ;  $I = 1,75 \text{ A}$ ;  $R = 6,75 \text{ V}$ ;  $J = 1,1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ ;  $Z_r = 50$ ;  $q = 20$ ;  $L_d = 0,023$ ;  $L_q = 0,023$ .

## 4 SIMULACE



Obr. 2: Řízení KM pro celé kroky (odezva na jednotkový skok)



Obr. 3: Mikrokrokování při napájení sinusovou funkcí

## ZÁVĚR

Pro své výhodné statické a dynamické vlastnosti jsou krokové motory dnes zpravidla používány jako výkonové prvky ve strukturách elektrických pohonů pro nastavování polohy a rychlosti. Jejich výhodou oproti synchronním motorům je absence zpětné vazby.

Z odsimulovaných grafů je patrné, že při mikrokrokování je změna polohy přesnější a rychlejší s minimálním přechodným dějem.

V další práci se budu zabývat analýzou tohoto matematického modelu z hlediska rezonancí. Tato práce vznikla za podpory výzkumného záměru č. MSM 262200010.

## LITERATURA

- [1] Alper UCAR Permanent Magnet Stepper Motor Modeling, <http://alperucar.f2o.org/>
- [2] Příkryl, H.: Matematický model krokového motoru. Příspěvek na konferenci EPVE '97
- [3] Douglas, W. Jones.: Control of stepping motors, a tutorial [on line]. c1995 , major revision 1998. <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step>