

PRESSURE PULSATIONS' DIAGNOSTIC BY THE CURRENT SIGNATURE ANALYSIS OF INDUCTION MACHINE

Martin Kroupa

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkroup07@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Čestmír Ondrůšek

E-mail:ondrusek@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper is focused on monitoring and evaluation of pressure pulsations in the hydraulic system, which includes a hydrodynamic pump. The entire system is driven by an induction machine. The goal of this paper is to accurately determine pressure pulsations by measurement of electrical variables of an induction machine.

Keywords: Pressure pulsation, diagnostics, induction machine, modulation, current signature

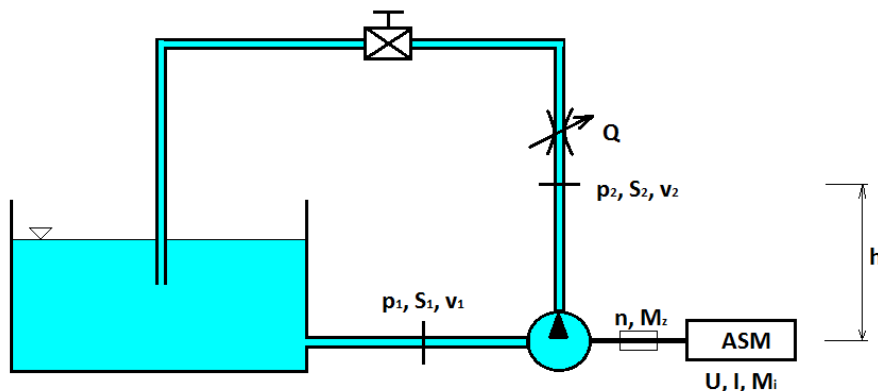
1. ÚVOD

Od 80. let minulého století je velice rozšířeným a diskutovaným tématem problematika zabývající se diagnostikou elektromechanických objektů. Hydraulický systém (dále jen HS), jehož součástí je hydrodynamické čerpadlo (dále jen HČ), není výjimkou. Proto i zde je třeba mít pod kontrolou jevy charakteristické tlakovými a průtokovými pulzacemi, které zde za provozu například při náhlé změně průtoku média uzavíráním klapek škrťacích ventilů vznikají a mohou v průběhu času způsobit degradaci celého systému.

Bohužel, senzory pro snímání tlaku jsou mnohdy nákladné a v některých aplikacích je lze jen problematicky použít. Příkladem mohou být chladicí okruhy v jaderných elektrárnách přímo vystavené radiaci. Úkolem je tedy nalézt způsob, jak monitorovat tlakové pulzace z povzdálí. Jelikož ve většině HS s neustálým průtokem vody je přítomno HČ poháněné motorem, nabízí se funkční diagnostiku tlakových pulzací (dále jen TP) provést z elektrických veličin generovaných motorem, konkrétně ze statorových proudů, které mohou být pohodlně snímány dál od předmětu zájmu pomocí Rogowského cívek umístěných okolo napájecích kabelů motoru. [2]

2. DIAGNOSTIKOVANÝ HYDRAULICKÝ SYSTÉM

Na Obr. 1 je schématicky zachycen jednoduchý HS skládající se z nádrže s vodou, HČ poháněného asynchronním motorem (dále jen ASM), potrubím pro sání a výtlač a škrťacího ventilu.



Obrázek 1: HS s asynchronním motorem.

2.1. MATEMATICKÝ MODEL ZKOUMANÉHO SYSTÉMU – HS + ASM

Aby bylo možné pochopit, jak je možné sledovat TP v HS pomocí statorových proudů poháněcího ASM, je nutné nejdříve celou problematiku matematicky popsat a stanovit tak provázanost veličin HS: tlaků – p_1, p_2 [Pa], rychlostí – v_1, v_2 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], popřípadě průtoku – Q [m^3] s mechanickými a elektrickými veličinami motoru jako jsou: mechanická úhlová rychlost – ω_{mech} [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$], vnitřní elektromagnetický moment – M_i [Nm], napětí – \bar{U}_s, \bar{U}_R [V], proudy – \bar{I}_s, \bar{I}_R [A], spřažené magnetické toky – $\bar{\psi}_s, \bar{\psi}_R$ [Wb]. A nakonec zjistit, jakým způsobem se změna jedné veličiny projeví na kvantitě druhé.

Každý hydraulický systém skládající se obecně z energeticky pasivní části (potrubí) a energeticky aktivní části (hydraulický stroj) při svém chodu zaujímá určitou měrnou energii – Y [$\text{J}\cdot\text{m}^{-1}$], kterou pro HS z Obr. 1 nacházející se v ustáleném stavu lze vyjádřit jako:

$$Y = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} - \frac{v_1^2}{2} - \frac{p_1}{\rho} + g \cdot h + \sum e_z \quad (1)$$

Členy (gh) a $\sum e_z$ symbolizují energii proudící tekutiny potřebnou k překonání převýšení a ztrát.

Z teorie obecného stroje lze matematický model 3-fázového ASM vyjádřit v rotujícím souřadném systému, který se otáčí libovolnou úhlovou rychlostí – ω_k , podle následujících rovnic [1]:

$$\bar{U}_s = R_s \cdot \bar{I}_s + \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \bar{\psi}_s \quad (2)$$

$$\bar{U}_R = R_R \cdot \bar{I}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} + j \cdot (\omega_k - p_p \cdot \omega_{mech}) \cdot \bar{\psi}_R \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_s = L_s \cdot \bar{I}_s + L_m \cdot \bar{I}_R \quad ; \quad \bar{\psi}_R = L_R \cdot \bar{I}_R + L_m \cdot \bar{I}_s \quad (4);(5)$$

$$M_i = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_R} \cdot p_p \cdot \text{Im} [\bar{\psi}_R^* \cdot \bar{I}_s] \quad (6)$$

$$J \cdot \frac{d\omega_{mech}}{dt} = M_i - M_z; \quad \text{kde } M_z = \frac{\rho \cdot Y \cdot Q}{\omega_{mech} \cdot \eta} \quad (7);(8)$$

kde R_s [Ω], L_s [H] je odpor a indukčnost statorového vinutí, R_R [Ω], L_R [H] – odpor a indukčnost rotorového vinutí, L_m [H] – vzájemná indukčnost, J – moment setrvačnosti, p_p – počet pólových dvojic, M_z [Nm] – zátěžný moment, ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] – hustota kapaliny a η [-] – účinnost HS.

2.1. VAZBY DIAGNOSTIKOVANÉHO SYSTÉMU

Z uvedených vztahů je patrné, že jednotlivé veličiny jsou na sobě více či méně závislé. Pokud se tedy v HS objeví TP, ani průtok, ani rychlost proudící tekutiny už nebudou konstantní. To se promítne do měrné energie HČ, která tak získá časovou závislost. Výkon čerpadla pak bude v odpovídajícím poměru vůči pulzacím kolísat a bude tak klást na hřídel ASM zvlněný zátěžný moment.

Při hlubším zkoumání vnitřních elektromechanických a elektromagnetických vazeb ASM bylo zjištěno, že proměnný zátěžný moment rozkmitá rotor ASM za chodu okolo střední hodnoty otáček odpovídající ustálenému chodu celého systému. Na okamžitém natočení rotoru je ale závislé magnetomotorické napětí vybuzené rotorem, a tak kmitání rotoru za chodu zapříčiní fázovou modulaci (FM) magnetomotorického napětí, která se nakonec objeví až ve statorových proudech ASM jako spojitě amplitudovo fázová modulace, v angličtině též známá jako – Joint amplitude phase modulation (JAMP).

Tlakové pulzace, tedy časová změna tlaku v HS, modulují statorový proud ASM, který po zpětném převedení do přirozeného souřadného systému „ a, b, c “, získá tvar:

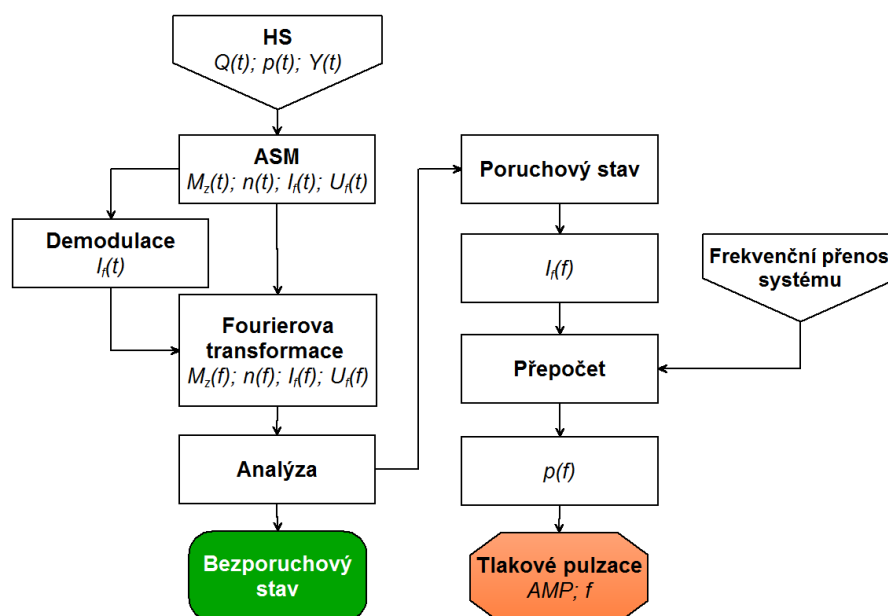
$$i_f(t) = I_{s0} \sin(\omega_s t) - I_r \sin(\omega_s t + \alpha \cos(\omega_p t) - \varphi_r) \quad (9)$$

kde první část rovnice je nemodulovaný magnetizační proud a druhá část vyjadřuje FM rotorový proud modulačním činitelem α . ω_s [rad·s⁻¹] – úhlová frekvence sítě, ω_p [rad·s⁻¹] – úhlová frekvence tlakových pulzací a úhel φ_r [°], vyjadřuje pootočení výsledného mag. pole proti mag. poli rotoru.

3. POSTUP PŘI DIAGNOSTICE TLAKOVÝCH PULZACÍ

Ve výsledku je dán HS s HČ, který je charakterizován tlaky, průtokem a měrnou energií, tomu odpovídá zátěžný moment HČ, který je nucen ASM vyrovnat. Časovým záznamem veličin motoru a jejich převedením pomocí Fourierovy transformace do frekvenční oblasti lze pak odhalit přítomnost vyšších harmonických. Po odfiltrování vyšších harmonických, které jsou pro systém přirozené, lze konstatovat **bezporuchový**, nebo **poruchový** stav HS.

Celý princip diagnostiky s případem poruchového stavu HS, kdy je ze znalosti matematického modelu systému a jeho frekvenčního přenosu zpětně určována velikost a frekvence TP, je zachycen v následujícím vývojovém diagramu.



Obrázek 2: Postup při diagnostice tlakových pulzací v HS

4. ZÁVĚR

Doposud byly provedeny v programu Matlab Simulink simulace ASM pohánějícího HČ, na jehož výtlaku byly uměle vyvolány tlakové pulzace. Byl vytvořen algoritmus pro demodulaci statorových proudů a zjištěny frekvenční charakteristiky systému. Provedené simulace potvrzují možnost diagnostiky a v současné době se připravuje pro porovnání výsledků reálné měření.

REFERENCE

- [1] ONDRŮŠEK, Čestmír. *Dynamika elektromechanických soustav*. vyd. Brno: FAKULTA ELEKTRONIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, 2013, 70 s.
- [2] BLÖDT, Martin. *Condition Monitoring of Mechanical Faults in Variable Speed Induction Motor Drives: Application of Stator Current Time-Frequency Analysis and Parameter Estimation*. 2006. Disertační práce. Institut national polytechnique de Grenoble. Vedoucí práce Jean Faucher.