

Diagnostika statické excentricity asynchronního stroje pomocí frekvenčních spekter hluku

Jan Šobra

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

jsobra@kev.zcu.cz

Diagnostics of Static Eccentricity in an Induction Machine using Acoustic Noise Frequency Spectra

Abstract – The paper is focused on the experimental static eccentricity diagnostics using acoustic noise frequency spectra. The presented study presumes induction machine operating under constant load in an environment with steady acoustic noise producing facilities. The frequency spectra analyses are performed in a frequency range up to 1500 Hz allowing validation of the acoustic noise analyses by the vibration measurement.

Keywords – Induction Machine; Acoustic Noise Measurement; Static Eccentricity.

I. ÚVOD

Statickou excentricitu (SE) lze obecně demonstrovat tuhým hřídelem, který je do statoru uložen s určitou osovou výchylkou. Vzduchová mezera mezi státorem a rotorem tedy není stejně veliká po celém obvodu. Stejně tak radiální magnetické síly působící na rotor nejsou v rovnováze a jejich výslednice působí ve směru nejmenší vzduchové mezery. Tento jev se nazývá jednostranný magnetický tah. V případě statické excentricity je pozice nejmenší vzduchové mezery, a tím pádem také směr jednostranného magnetického tahu, časově neměnná. Vlivem statické excentricity může dojít, zejména u delších hřídelů, k jejich průhybu. Jednostranný magnetický tah také způsobuje zvýšené namáhání ložisek, což může z dlouhodobého hlediska vést k dalšímu nárůstu statické excentricity [1, 2].

Jednostranný magnetický tah způsobený statickou excentricitou je charakteristický nárůstem vibrací na dvojnásobku napájecí frekvence ($2L$). Tyto vibrace jsou buzeny radiálními magnetickými silami působícími na zuby statoru a rotoru a také magnetostrickí. Velikost radiálních magnetických sil je odvozena od průběhu magnetické indukce ve vzduchové mezeře a je tedy časově i prostorově proměnná [3]. Vibrace na dvojnásobku napájecí frekvence se tedy do určité míry přirozeně vyskytují také u bezvadných strojů.

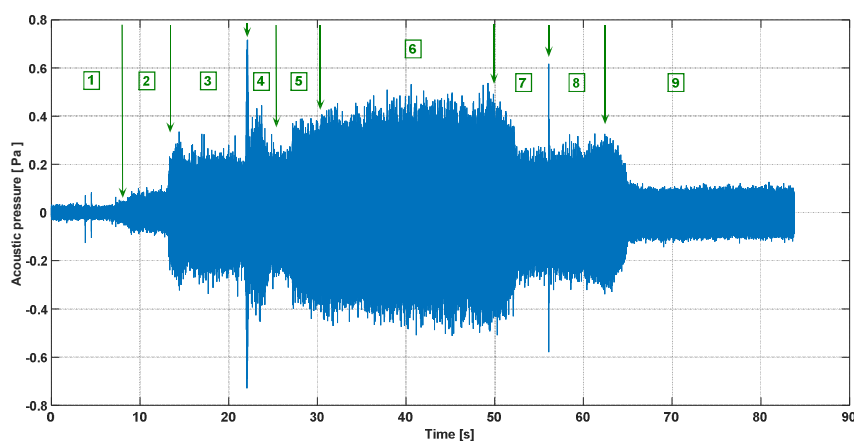
Měření hluku popsané v tomto článku je zaměřené na malé průmyslové pohony pracující s konstantní zátěží v relativně klidném prostředí se stálými zdroji okolního hluku a je ověřeno měřením vibrací pomocí akcelerometrů. Účelem provedených měření je zjistit, zda lze tradiční vibrodiagnostiku elektrických strojů nahradit analýzou provozního hluku. Zařízení pro záznam hluku by pro danou aplikaci mělo být levnější než výbava pro měření vibrací a tím pádem více úměrné pořizovací hodnotě malých strojů.

II. POPIS MĚŘENÍ

Základem měřicího stanoviště jsou dva asynchronní motory o stejném jmenovitém výkonu 11kW spojené pružnou spojkou. Měřený motor je napájen ze sítě prostřednictvím standardního soft startéru. Zatěžovací motor je napájen z frekvenčního měniče, čímž je umožněno proměnné zatěžování měřeného stroje. Energie měniče není vrácena zpět do sítě, ale je mařena ve výkonových rezistorech. Pro přesný záznam hluku je použitý 1/2" kalibrovaný mikrofon pro volné pole o frekvenčním rozsahu 20 Hz - 20 kHz. Mikrofon je umístěn na stativu ve výšce 1 m nad měřicím stanovištěm. Vzorkovací frekvence jednotlivých měřených signálů je 2^{16} Hz [4].

Nejprve je provedeno měření na bezvadném stroji a poté na stroji se statickou excentricitou 0,2 mm. Tato hodnota odpovídá 40% velikosti vzduchové mezery. Hluk je zaznamenáván po celou dobu trvání experimentu. Každý záznam obsahuje pevně danou posloupnost několika provozních stavů měřeného stroje a okolních podmínek ovlivňujících hlukové pozadí. To umožňuje analýzu různých provozních stavů měřeného stroje a také hluku od okolních zařízení a prostředí. Jednotlivé provozní stavy trvají dostatečně dlouho na to, aby došlo k ustálení provozního stavu stroje.

Příklad záznamu hluku z měření bezvadného stroje je na Obrázku I. Číselně označené fáze záznamu mají následující význam: 1 - Klidné prostředí ovlivněné pouze nezbytně pracujícími zařízeními (transformátor, atd.); 2 - Zapnutí frekvenčního měniče: Měnič je připraven k provozu a jeho ventilátor je zapnutý; 3 - Rozběh zatěžovacího stroje: Mechanický chod měřeného stroje (není přiveden magnetizační proud); 4 - Soft start měřeného stroje: Napětí postupně zvyšováno na jmenovitou hodnotu, chod naprázdno.; 5 - Nastavení jmenovité zátěže.; 6 - Jmenovitý chod měřeného stroje.; 7 - Chod naprázdno.; 8 - Odpojení měřeného stroje od zdroje napětí.; 9 - Zastavení zatěžovacího stroje.



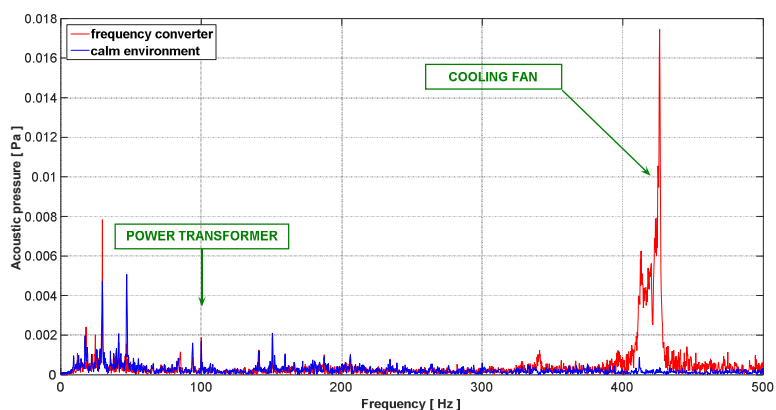
Obrázek I. Záznam hluku z měření bezvadného stroje.

Frekvenční spektra jsou vyhodnocena pomocí rychlé Fourierovy transformace. Spektra vibrací měřeného stroje v bezvadném stavu i se SE při jmenovité zátěži obsahují velmi podobné frekvenční složky. Ve spektru vibrací stroje se SE je patrný nárůst amplitudy zrychlení vibrací na dvojnásobku napájecí frekvence ($2L$) a stejně tak na její třetí ($6L$) a páté ($10L$) harmonické. Ovšem největší amplitudu zrychlení mají vibrace na frekvenci průchodu tyčí rotoru (FQR) 880,2 Hz. Vibrace na této frekvenci jsou významným zdrojem magnetického hluku [5]. Okolo FQR jsou dále zejména u stroje se SE viditelná postranní pásma ve vzdálenosti $+2L$, $4L$, atd. Více informací o vyhodnocení spekter vibrací je uvedeno v [6].

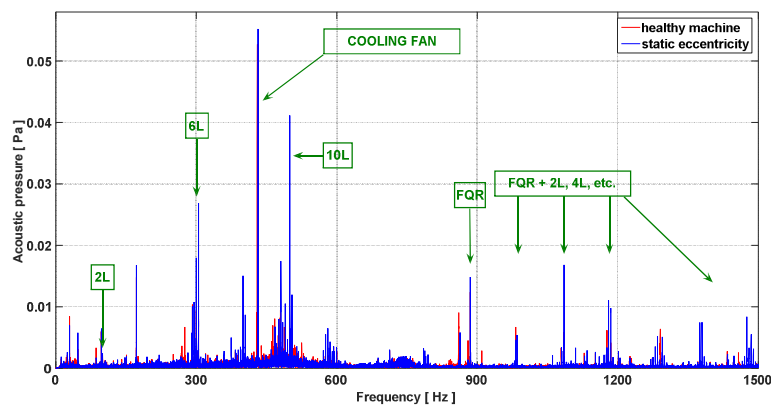
Analýzy frekvenčních spekter hluku jsou náročnější zejména s ohledem na větší množství zdrojů hluku v okolí měřeného stroje. Aby bylo možné rozlišit hluk vydávaný provozem nezbytně činných zařízení a frekvenčním měničem, je nutné provést nejprve samostatné analýzy částí signálu 1 a 2 (viz Obrázek I).

Frekvenční spektra obou částí signálu jsou na Obrázku II. Spektrum části signálu 2 obsahuje kromě hluku měniče také hluk vydávaný dalšími zařízeními v okolí. Zobrazený frekvenční rozsah je omezen na 500 Hz, jelikož na vyšších frekvencích se již nevyskytují žádné výraznější složky spektra. Jedinou výjimkou jsou druhá a třetí harmonická aerodynamického hluku ventilátoru měniče. Spektrum klidného prostředí je tvořeno zejména frekvencemi pod 50 Hz. Ovšem je zde jasně patrná také složka kmitající na 100 Hz, což odpovídá dvojnásobku napájecí frekvence měřeného stroje. Zdrojem tohoto hluku o frekvenci 100 Hz je transformátor napájecí laboratoř, ve které je měření prováděno.

Frekvenční spektrum hluku, zahrnující měřený stroj při jmenovitém zatížení, zobrazené na Obrázku III, je ovlivněno zatěžovacím strojem, měničem a dalšími zařízeními nezbytně činnými i v klidném prostředí. Kromě frekvencí popsaných v předchozím odstavci obsahuje rovněž frekvence dané FQR . Pokud jde o složku spektra měřeného stroje na frekvenci $2L$, je poměr amplitud akustického tlaku bezvadný stroj/statická excentricita pouze 1,12 pro základní složku $2L$. Harmonické na frekvenci $6L$ a $10L$ mají vyšší poměr amplitud 1,91 respektive 8,97.



Obrázek II. Porovnání spekter hluku v klidném prostředí a při zapnutém měniči



Obrázek III. Porovnání spekter hluku měřeného stroje při jmenovité zátěži

III. ZÁVĚR

V článku je popsána diagnostika statické excentricity asynchronního stroje na základě analýzy frekvenčního spektra hluku. Prezentované analýzy spekter hluku jsou ověřeny měřeními vibrací na stejném stroji. Měření potvrdilo teoretické předpoklady nárůstu vibrací na dvojnásobku napájecí frekvence a jejích harmonických.

Analýzy hluku také prokázaly nárůst amplitudy akustického tlaku na stejných frekvencích. Ovšem tento nárůst je na základní $2L$ velmi malý a nahrávka je ovlivněna hučením výkonového transformátoru umístěného ve stejné halové laboratoři. Na druhou stranu je zde jasně patrný nárůst amplitud na harmonických $6L$ a zejména $10L$. Experimentální výsledky jsou poměrně slibné, ovšem bylo by vhodné opakovat měření na jiných strojích a také do něj zahrnout některé další možné poruchy.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-038: Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích II.

LITERATURA

- [1] Šobra, J., Byrtus, M., Kindl, V., Hruška, K. Analysis of rotor's eccentricity influence on bearing load of induction machine. In Proceedings of 16th International Conference on Mechatronics : Mechatronika 2014. Brno: Brno University of Technology. Faculty of Mechanical Engineering, 2014. s. 71-78. ISBN: 978-80-214-4817-9
- [2] Šobra, J., Kindl, V., Skala, B. Determination of the Force Caused by Broken Rotor Bar and Static Eccentricity in an Induction Machine. In 10th International Conference ELEKTRO 2014. Rajecké Teplice: University of Žilina. Faculty of electrical engineering, 2014. s. 375-378. ISBN: 978-1-4799-3721-9
- [3] Boldea, I, Nasar, S.A., "The Induction Machine Handbook", CRC Press, Boca Raton, 2002. ISBN: 0-8493-0004-5
- [4] Kindl V, Sika J, Krizek M, Byrtus M, Kavalir T (2017) Methodology for Experimental Measurement of Force Acting on Eccentric Rotor of Electric Machine. Proceedings of the 19th European Conference on Power Electronics and Application (EPE ECCE Europe 2017). Piscataway: IEEE, 2017
- [5] W. R. Finley, M. M. Hodowanec, and W. G. Holter, "An analytical approach to solving motor vibration problems," IEEE Transactions on Industry Applications, vol.36, no.5, 2000, pp.1467-1480.
- [6] Šobra, J., Kavalír, T., Sika, J. Comparison of Vibration and Noise Measurement of Induction Machine under Static Eccentricity. In Mechatronics 2017 Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 644. Cham: Springer, 2018. s. 592-598. ISBN: 978-3-319-65959-6