

Hřídelové napětí a ložiskové proudy

Jiří Pospíšilík

Katedra elektrických strojů a přístrojů, FEI, VŠB – Technická Univerzita Ostrava
17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba
jiri.pospisilik@vsb.cz

Abstrakt. Ložiskové proudy a hřídelové napětí jsou nežádoucími projevy nesymetrií magnetických a elektrických veličin elektrických strojů pracujících v běžných provozních stavech. Jejich existence negativně ovlivňuje ložiska a vznikající poškození vede k jejich havárii. Problematikou tohoto fenoménu je zcela nahodilá existence, závislá na mnoha ovlivňujících činitelích, nesnadnost detekce vhodnou bezdemontážní metodou a názorovou nejednotností na vlastní proces degradace a poškození ložisek. Existují metody pro snížení rizika poškození, ale malá informovanost především montážních a servisních firem znemožňuje intenzivní rozšíření.

Klíčová slova: ložiskové proudy, hřídelové napětí, diagnostika, ansys, elektrický kontakt

1 Úvod

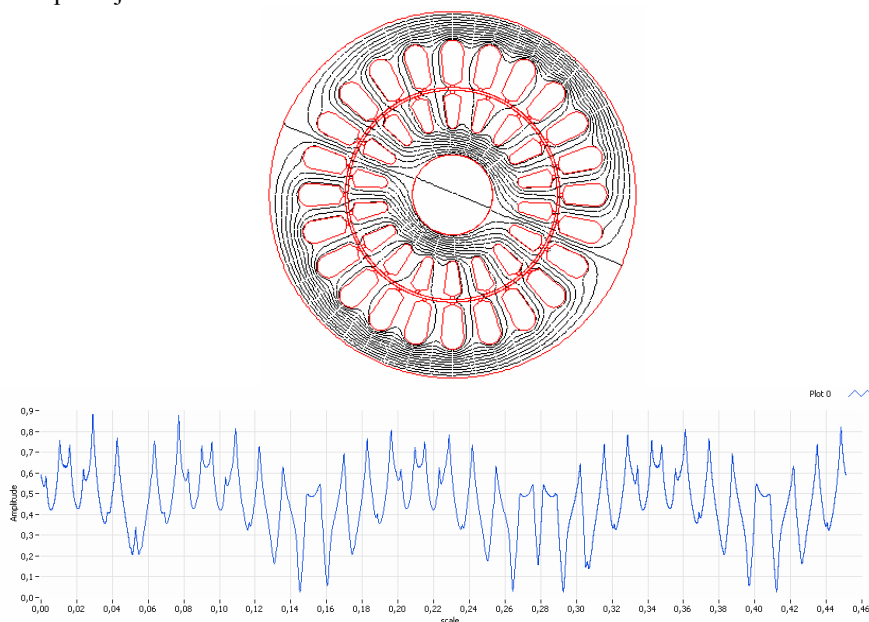
Ložiskové proudy a hřídelové napětí vznikají v elektrickém motoru díky nesymetrii magnetických nebo elektrických veličin. Jejich účinky nikdy nelze dopředu odhadnout a jejich intenzita dokáže přivést stroj k havárii během několika hodin provozu. V náročných technologických procesech tak mohou vzniknout značné hospodářské škody. Řešení problematiky ložiskových proudů a hřídelových napětí lze rozdělit do jednotlivých částí, vzájemně mezi sebou provázaných:

- a. vznik a existence ložiskových proudů a hřídelových napětí,
- b. rozbor nahodilosti, existence, lidský faktor,
- c. podpůrné a omezující faktory existence a trvání,
- d. opotřebení ložisek, tribologie, elektrochemické a tepelné procesy,
- e. způsob detekce, měření a diagnostika,
- f. problematika omezení konstrukčními úpravami,
- g. metodika prevence a informovanost.

Jednotlivé části nelze jednoduše shrnout, neboť se jedná o řešení multidisciplinárního problému a je nutné uvažovat nad všemi závislostmi nejen z technického a ekonomického pohledu, ale i z pohledu morálního a odborného vzdělání osob spojených s montáží a údržbou těchto strojů. Mezi nejdůležitější obory analýzy a řešení problému patří elektromagnetismus, strukturální vlastnosti kovů a maziv, termika, tribologie, konstrukce a technologie výroby strojů, měření a diagnostika elektrických strojů atd.

2 Vznik a existence ložiskových proudů a hřídelových napětí,

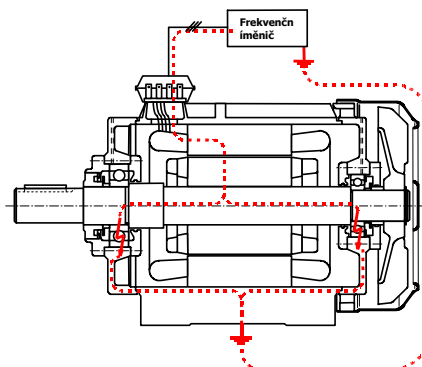
Příčiny existence hřídelového napětí jsou v časové nebo prostorové nesymetrii magnetického toku. Ta může být způsobena jak technologickým postupem výroby samotného stroje, tak nepřesností uložení rotoru ve statoru. Například osové vychýlení rotoru o 10% způsobí kruhové magnetické pole obklopující hřídel rotoru s hodnotou 1,5 mWb. Indukované napětí na hřídeli je při frekvenci 50 Hz rovno hodnotě 0,47V. I tak malé napětí způsobí v obvodu s malou impedancí průchod proudy vysokých hodnot. Vzniklá reakce působí proti indukovanému napětí a proud opět zaniká. Prostorové drážkové harmonické (obr.1) způsobují také vznik menších rozdílů toků, ale indukované napětí je díky jejich vyšší frekvenci větší. Proto jsou také nebezpečnější.



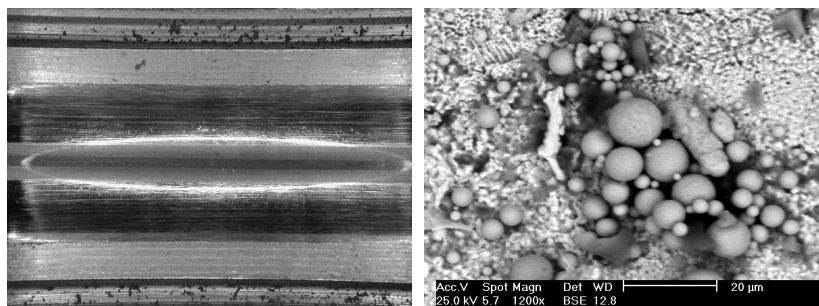
Obr. 1. Model magnetického pole v motoru vytvořený v Ansysu a průběh prostorové nesymetrie magnetické pole ve vzduchové mezeře

Druhou příčinou existence ložiskových proudů je napájení motoru z měničů frekvence. Strmost napěťových pulzů a nenulový součet okamžitých hodnot napětí, způsobují existence proudových strmých nabíjecích a vybíjecích pulzů způsobených kapacitami mezi vinutím a kostrou statoru. Je-li kostra motoru špatně uzemněna nebo špatně propojena s kostrou měniče, pak proud začne procházet cestou s menší impedancí. Tato cesta může vést právě jedním nebo oběma ložisky a tím opět začne docházet k jejich poškození (obr. 2).

Proudové pulzy s určitou energií způsobují v mikroskopickém měřítku na povrchu poškození různých forem. U menších proudů dochází pouze k soustavnému tepelnému přetěžování způsobující strukturální povrchové změny materiálu. U větších proudových pulzů dochází k prudkému natavení a expanzi materiálu do okolí.



Obr. 2. Kapacitní proudy tekoucí přes ložiska motoru



Obr. 3. a 4. Tepelné namáhání a natavení a expanse materiálu v místě styku ložiska, ukázky z pokusů vlivu druhu zatížení ložisek

3 Lidský faktor, pro a proti teorii poruch ložisek, hospodářské hledisko

Ačkoli se ložiskové proudy vyskytují již s počátkem hromadného rozšíření elektrických strojů, teprve v posledních letech se zvýšila intenzita poruch na takovou úroveň, aby stála za pozornost. Otázkou stále zůstává proč tomu tak je, a jaké příčiny vedly k zviditelnění tohoto problému. Existují oprávněné i nepodložené a také mylné názory:

1. Poškození ložisek se zvýšilo s hromadným nástupem měničů. Oprávněnou domněnkou je, že mají na poškození ložiska vliv (viz výše vznik ložiskových proudů).
2. Havaruje-li ložisko s motorem pracujícím bez měniče kmitočtu, a je-li podezření na ložiskové proudy, proč nehavaruji všechny motory stejného typu?
3. Havaruje-li ložisko motoru, dojde ve většině případů k jeho destrukci a není tedy možno zjistit příčinu poruchy. Oč jednodušší je přisoudit příčinu poškození ložiskovým proudům, než přiznáním špatné montáže. Přitom např. paralelní zařízení pracuje spolehlivě.

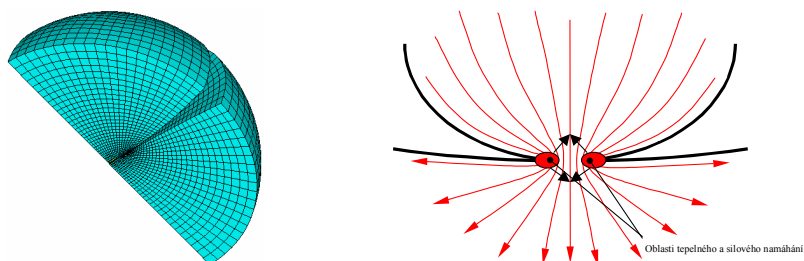
4. S nárůstem výrobních a technologických přesností dochází k tomu, že stejná odchylka při instalaci může v celku mít výraznější vliv, než u strojů dřívějších generací.
5. Servisní a montážní firmy zodpovídají za instalaci a údržbu zařízení. Jestliže se ale prohlásí, že příčina poruchy byla způsobena ložiskovými proudy, přechází hmotná zodpovědnost na samotného výrobce motorů.

Shrneme-li tyto a spoustu dalších faktů můžeme dojít k závěrům, že nekvalitní výroba strojů není hlavní příčinou ložiskových proudů, ale hlavním impulzem pro jejich vznik je určité množství přehlédnutých faktorů při instalaci stroje nebo pochybení.

4 Princip poškození ložiska, tepelný elektromagnetický a strukturální model

Abychom mohli lépe poznat pochody v kontaktním styku ložiska, byl vytvořen model (obr.5.) řešený metodou konečných prvků. Úloha nebyla řešena pro konkrétní hodnoty, ale pouze pro pochopení fyzikálních dějů.

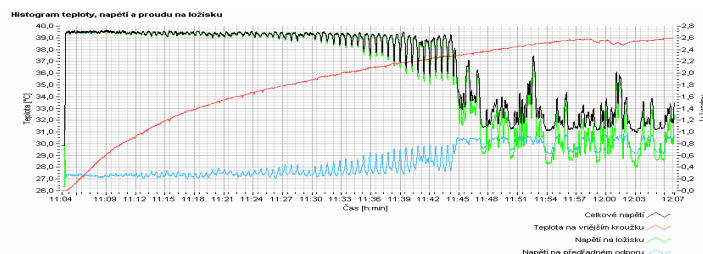
Z prvních výsledků vyplývá, že v místě styku dochází k těmto procesům: Po přiložení potenciálu začne kontaktním stykem procházet proud. Ten začne v místě styku v důsledku zakřivení proudnic vytvářet koncentrované magnetické pole působící proti změně, která jej vyvolala (obr.6). Proud tedy nenarůstá skokově, ale v závislosti na RL parametrech obvodu (u vybíjení kapacity závislost ještě na C).



Obr. 5. a 6. Model ložiska pro elektrickou, tepelnou a strukturální analýzu a tepelné a silové účinky v místě styku.

Protože se proud potřebuje dostat přes kontaktní úžinu, zhušťuje se v okrajových místech styku a zvýšenou koncentrací proudnic můžeme popsat nerovnoměrným rozložením proudové hustoty v kontaktním styku. Koncentrace proudnic způsobuje nárůst Jouleových ztrát a prudké oteplení okrajových částí.

Při malých proudech je oteplení materiálu těles malé, při hodnotě proudu do 2A jej můžeme tolerovat, ale při vyšších proudech se oteplení prudce zvětšuje a už při proudu 5A dosahuje 280°C, což způsobuje degradaci maziva. Na druhou stranu musíme zdůraznit, že při zkoušce izolačního stavu kontaktního styku docházelo již při proudu řádově 100mA k dlouhodobému poklesu elektrické pevnosti maziva (obr.7). Po snížení potenciálu napětí, se začal izolační stav opět obnovovat a po určité době dosáhl původního stavu.



Obr. 7. Měření izolačního stavu mazivové vrstvy v místě styku ložiska.

Při vyšších proudech musíme začít uvažovat, že s rostoucí teplotou dochází ke změně struktury materiálu povrchu, která umožní při současném působení silových impulsů **urychlení poškození pittingem**. Zároveň musíme při těchto hodnotách začít respektovat dříve zanedbané teplotní závislosti parametrů materiálu (budou se měnit parametry elektrického obvodu ovlivňující velikost procházejícího proudu).

Samozřejmě při dalším zvyšování proudu bychom dospěli k natavování povrchu a totální destrukci povrchu ložiska. Tak velké proudy jsou často způsobeny poruchou a nebo neúmyslným zavlčením (svařování), a proto je lze nazvat jako nestandardním nebo havarijním stavem zařízení.

Výrazné zakřivení proudnic také způsobuje silové účinky podobné silovým účinkům rozpínajícího se závitu. Celková síla působící na jednotlivé části může být zanedbatelná, ale jejich koncentrace v malém místě styku může vyvolávat místní deformace materiálu. Uvědomíme-li si, při jakých rozměrech kontaktní úlohu řešíme, pak posun materiálu řádově o $1 \cdot 10^{-8}$ m může znamenat deformaci 0,5% rozměru vzhledem k ploše styku. Materiál může vykazovat poruchu krystalické mřížky a mikrotrhliny na povrchu.

5 Detekce, monitoring, prevence

Měření ložiskových proudů je problematické, protože cesta, kterou proud protéká, není vždy jednoduché definovat a v případě cesty přes kostru motoru je nemožné vložit bez konstrukčních úprav sondu pro měření proudu. Často je také motor umístěn nedostupně a po jeho demontáži změníme podmínky provozu. Problémový proud zaniká a detekce není možná. Zpětná montáž už nemusí nastolit původní podmínky a charakter poruch se může změnit nebo zcela zmizet.

Prevencí proti vzniku ložiskových proudů lze výrazně snížit množství havárií. K hlavním bodům patří:

1. Kvalitní konstrukce a výroba stroje omezující vznik prostorových a časových nesymetrií
2. Kvalitní montáž a ustavení omezí vznik nesymetrií způsobených jednostranným zatížením rotoru.

3. Kvalitní uzemnění a proměření impedanční smyčky zaručí svod kapacitních proudů mimo ložiska.
4. Kvalitní a pravidelný servis a monitoring ložiskových uzlů detekující alespoň teplotu. Výhodné je sledovat dlouhodobé tendence a stanovovat krátkodobé až střednědobé prognózy.

6 Shrnutí

Po získání nových náhledů na problematiku ložiskových proudů (z modelování, experimentálních měření a celkové analýzy) docházím k závěru, že tento stav by neměl takový vliv na poruchovost elektrických strojů, kdyby většina montážních techniků byla dostatečněji informována, jakým způsobem minimalizovat pravděpodobnost výskytu ložiskových proudů. Také kvalitní technologie výroby a ustavení motoru jsou dalšími faktory snižující riziko vzniku ložiskových proudů. A nakonec kvalitní rozbor již vzniklých poruch by dokázal jednoznačně definovat, proč ložisko motoru selhalo, a kterým směrem by se měl ubírat další výzkum.

Reference

Příspěvky na konferencích týkající se tématu disertační práce:

- Diagnostika stykové plochy valivých ložisek jako elektrický kontakt z hlediska tepelných účinků. Diago 2003, Morávka
- Elektrotepelné vlastnosti kontaktního styku, 11. ANSYS Users' Meeting, Znojmo 2003
- Elektroizolační vlastnosti maziva v ložisku, Komel 2003, Ustroň – Poľana 2003, Polsko
- Elektrické, izolační a mechanické vlastnosti ložiska - Karel Chmelík, Jiří Pospíšilík XXVIII. poh. konference – Plzeň 2003

Annotation.

Bearings current and shaft tension are adverse asymmetry effects of magnetic and electric quantities of electrical machines running in common operating condition. Their existence has negative influence to the bearings. The arising damage causes a breakdown. We can see the main problems of this phenomenon in:

- its random existence, many affecting factors dependent
- impossibility of detection by proper "not disassembly" method
- missing an opinion accord of the degradation process and bearings damage.

There are available some methods helping to decrease failure risk, but very low awareness of especially assembling and service companies does not make its extension possible.