

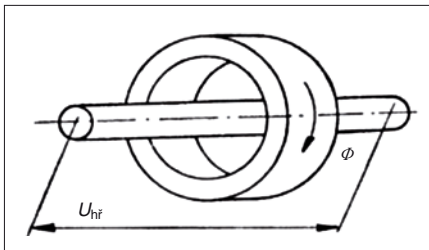
Ještě k problematice ložiskových proudů...

Ing. Zdeněk Trinkewitz, člen redakční rady Elektro

Náš časopis Elektro přinesl v čísle 7/2008 článek „Prostředky pro zamezení znehodnocování ložisek elektrickým proudem“ autorského kolektivu z TU Ostrava. Článek byl redakční radou při pravidelném hodnocení článků za třetí čtvrtletí oceněn jako třetí nejlepší. Protože však neobsahuje celou problematiku tohoto fenoménu, považuji za potřebné jej doplnit.

1. Původ ložiskových proudů

Při provozu elektrických točivých strojů mohou vznikat proudy procházející podél hřídele s ložisky. Tyto proudy mohou svými



Obr. 1. Princip indukce hřídelového napětí

elektroerozivními účinky poškozovat kluzná i valivá ložiska. V podstatě mohou vznikat ložiskové proudy mající různý původ.

1.1 Nesouvislé jho

Při nestejném magnetickém odporu po obvodu jha induktu (statoru střídavých strojů a kotvy stejnosměrných strojů) dochází při konstantním točivém magnetomotorickém napětí k pulzaci celkového magnetického toku ve jhu.

$$\Phi = N \cdot I / R_m \quad (1)$$

kde
 Φ je celkový magnetický tok,
 N počet závitů cívky,
 I proud cívky,
 R_m magnetický odpor,

$$u = d\Phi/dt \quad (2)$$

kde
 u je indukované napětí,
 $d\Phi/dt$ změnamagnetického toku v čase.

Střídavá složka toku indukuje podle obr. 1 v hřídeli střídavé napětí $U_{hř}$. Hřídelové napětí vzniká tehdy, není-li jho induktu souvislé, ale rozdělené na obvodu rovnoměrně rozložený-

mi spárami nebo zeslabené axiálními otvory apod. (např. podle obr. 2 a obr. 3).

Dále musí být splněna podmínka, že zkrácený poměr (3) musí mít v čitateli liché číslo.

$$m/n = t/p \quad (3)$$

Frekvence hřídelového napětí je pak:

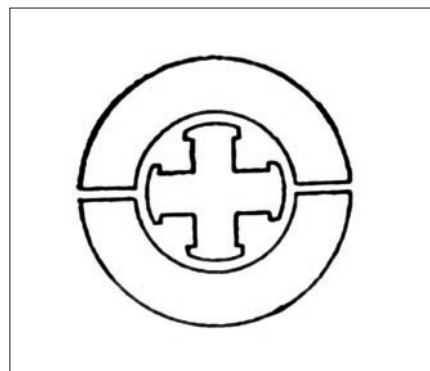
$$f_{hř} = f_1 \cdot m \quad (4)$$

kde
 t je počet spár,
 p počet pólových dvojic,
 d největší společný dělitel t a p
 $(p = d \cdot m; p = d \cdot n).$

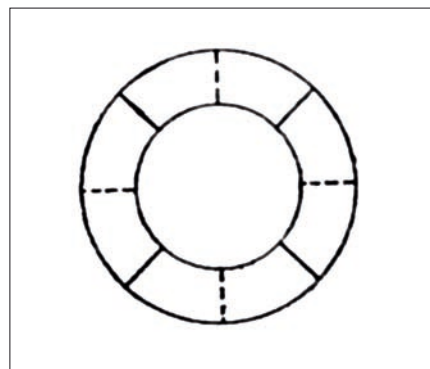
Hřídelové napětí je „tvrdé“. Vnitřní impedance zdroje napětí $U_{hř}$ se zjistí ze zkoušky železa podle odst. 4.2.1. [1].

1.2 Unipolární magnetizace

Je-li hřídel podélně zmagnetována (unipolární buzení), uzavírá se magnetický tok přes ložiska a základovou konstrukci. Orien-



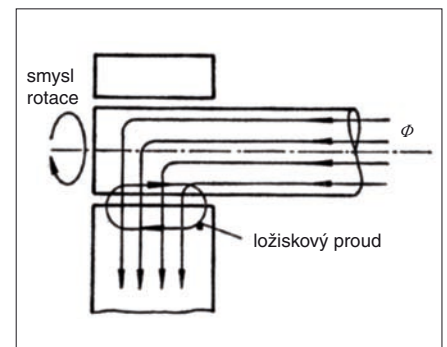
Obr. 2. Spáry v magnetickém obvodu vzniklé dělením jha statoru



Obr. 3. Spáry v magnetickém obvodu vzniklé skládáním ze segmentů

tace toku je v ložiskách radiální. Při otáčení vzniká v hřídeli v místě uložení ložisek napětí orientované axiálně a vyvolává proudy, které se uzavírají přes ložisko podle obr. 4. Ložiskovým proudům tohoto druhu lze zabránit pouze vyloučením unipolární magnetizace.

Ložiskovým proudům podle 1.1 se snažíme zabránit vždy vhodným návrhem stroje, vyloučením nesouměrností nebo volbou jejich vhodného počtu, aby číslo m bylo sudé. Ve většině případů, kdy stroj má pouze jeden



Obr. 4. Ložiskové proudy při zmagnetování hřídele

volný konec, je možné i při existenci hřídelového napětí zabránit ložiskovým proudům izolací ložisek. V principu stačí dokonale izolovat jedno ložisko (včetně olejových potrubí, budičů, měřicích zařízení apod.) na straně, kde není spojka pro připojení pracovního stroje.

V ČKD Elektrotechnika jsme několikrát řešili problém motorů bez ložisek, jejichž rotory byly přímo připojeny na obou stranách na poháněné kompresory, pístové i odstředivé. Na kompresorech nemohla být z různých důvodů ložiska izolována. Buď bylo nutné izolovat přímo přírubové spojení, nebo vznikající hřídelové proudy potlačit.

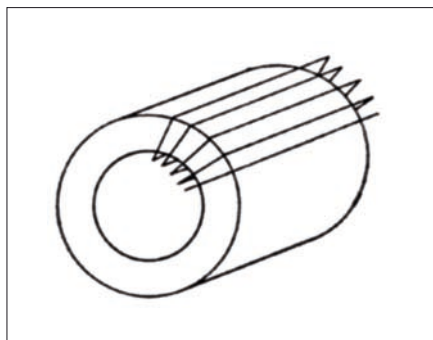
Má-li stroj spojky na obou stranách, je nejvýhodnějším opatřením tlumicí vinutí. Tlumicí vinutí je toroidní vinutí ovinuté okolo jha (obr. 5), které je spojeno nakrátko. Navíc se obvykle do dna drážek pod pracovní vinutí a musí být dostatečně dimenzováno (přiměřeně malý odpor), aby se jeho tlumicí účinek mohl dostatečně projevit. U turbomotoru 25 MW, 3 000 min⁻¹ došlo k utlumení asi o 95 %.

Dalším řešením u pístového boxer-kompresoru bylo snímání hřídelového proudu Rogowskiho potenciometrem a generování negativního protiproudu z polovodičového řízeného zdroje.

2. Kontrola izolace ložiska

2.1 Před montáží

Nejjednodušším způsobem je měření izolačního odporu izolace ložisek před montáží rotoru. Kontrola izolace je možná tímto způsobem i ve smontovaném stavu, je-li izolace dvojitá s vloženou vodivou fólií (obr. 6). Pak lze měřit izolační odpor vložené fólie proti hřídeli i základům.



Obr. 5. Vinití pro tlumení ložiskových proudů

2.2 Na smontovaném stroji

Na smontovaném stroji s jednoduchou izolací ložiska lze kontrolovat izolaci jen za provozu stroje při napětí na jeho svorkách. Princip měření je na obr. 7. Změří se napětí U_1 na hřídeli podle kap. 3. Potom se změří napětí U_2 . Přitom musí být obě ložiska vodivě překlenuta, aby se neprojevily úbytkem napětí způsobený proudem voltmetru na odporu olejového filmu. Napětí U_1 a U_2 mají být stejná. Malé odchylky jsou přípustné, protože přemostění ložisek není vždy dokonalé vlivem otáčení hřídele.

3. Měření hřídelového napětí

Napětí se z otáčejícího hřídele snímá hrotovými kontakty, které se pevně přitisknou na kovově čistou a hladkou část hřídele. Voltmetr musí být na střídavé napětí s citlivostí menší než 3 V. Jeho vnitřní odpor nemusí být velký vzhledem k tvrdosti napětí. Vhodné jsou magneoelektrické přístroje s usměrňovačem. Elektronické přístroje jsou méně vhodné, protože mívají jednu svorku uzemněnou přes napájecí vedení.

Vzhledem k tomu, že není předem známa ani frekvence, ani tvar křivky tohoto napětí, je třeba zaznamenat, jakým přístrojem se měřilo (měřícím střední nebo efektivní hodnotu). Správnější je vykonání harmonické analýzy napětí nebo pořízení oscilogramu.

Hřídelové napětí není konstantní. Je závislé na magnetické indukci i zatížení stroje. Při podrobnějším měření je třeba tyto závislosti změřit. Na obr. 8 je závislost $U_{hr} = f(U_{sv})$ při chodu naprázdno hydroalternátoru 125 MV·A, 13,2 kV, 167 min⁻¹, který byl vyroben v ČKD Elektrotechnika.

U strojů napájených nebo buzených z usměrňovačů se někdy objeví na hřídeli a izolaci ložisek napětí s jinými než uvedenými vlastnostmi. Napětí bývá velmi „měkké“ a je jiným způsobem rozděleno podél hřídele. Jeho původ je ve střídavé složce usměrňovaného napětí, které se objevuje na kapacitě izolace ložisek. Toto napětí neohrožuje ložiska, ale může být nebezpečné pro obsluhu. Odstraňuje se vhodným uzemněním hřídele, které nenaruší izolaci proti ložiskovým proudům (na vhodném místě u spojky nebo přes odpor definované velikosti).

Jiný druh napětí na hřídeli je statický náboj na rotoru u soustrojí s parní turbínou. Hodnota napětí je dána přeskokovou vzdáleností v ucpávkách turbíny nebo stíracích plechů ložisek. Při dobré kvalitě mazacího oleje dosahuje toto napětí několika set voltů (rotor „tluče“). Statický náboj se svádí kartáčem přiloženým na hřídel a umístěným u spojky soustrojí.

4. Zkoušky tlumicího vinití (podle obr. 5)

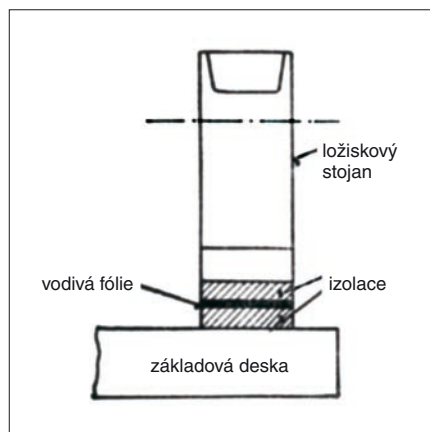
Kontroluje se správné fungování tlumicího vinití. Nejprve se měří činný odpor vinití a jeho izolační odpor proti železu stroje. Při chodu stroje naprázdno se nejprve měří napětí na rozpojeném tlumicím vinití současně s měřením hřídelového napětí. Musí platit:

$$U_{tl} = N_{tl} \cdot U_{hr} \quad (5)$$

kde N_{tl} je počet závitů tlumicího vinití.

Potom se tlumicí vinití spojí nakrátko přes ampérmetr a hřídelové napětí se měří znovu. Hřídelové napětí má být nižší než dovolená hodnota 300 mV. Současně se měří proud v tlumicím vinití, zda nepřekračuje dovolenou hodnotu z hlediska dimenzování tlumicího vinití.

Zkouška přiloženým napětím se vykonává zkušební napětím podle ČSN 35 0000 (Elektrické stroje točivé. Všeobecné požadavky) a podle velikosti napětí U_{tl} . Napětí tlumicího vinití bývá do 50 V. Zkušební střídavé

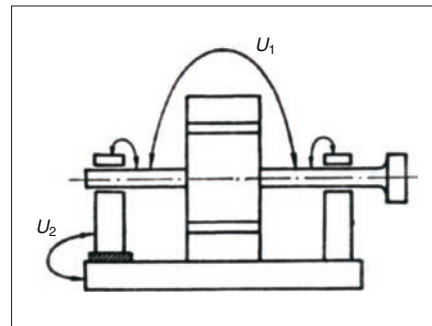


Obr. 6. Dvojitá izolace ložiska

napětí je 0,5 kV + 2U. Při zkoušce pracovního vinití přiloženým napětím musí být tlumicí vinití uzemněno.

5. Měření hřídelových proudů

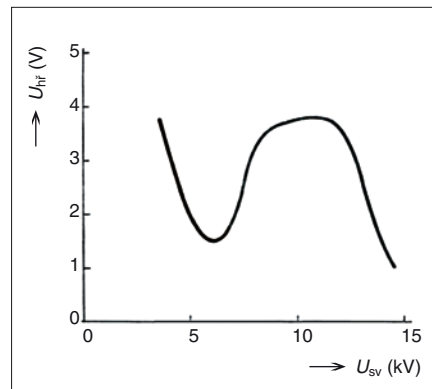
Nebylo-li možné konstrukčními prostředky zabránit vzniku hřídelových proudů, je třeba velikost hřídelových proudů měřit a posoudit jejich nebezpečnost.



Obr. 7. Kontrola izolace ložisek za provozu stroje

5.1 Měření hřídelovým transformátorem

Toto měření není snadné. Aby hřídelový transformátor působil jako dokonalý transformátor proudu, musí mít velmi malý magnetizační proud. To znamená, že jeho jho nesmí mít vzduchové mezery a jeho průřez musí být



Obr. 8. Závislost hřídelového napětí na svorkovém napětí při chodu naprázdno alternátoru 125 MV·A, 13,2 kV, 167 min⁻¹

dostatečný. Splnění těchto podmínek u velkých strojů s průměry hřídelí kolem 500 mm vede k transformátorům o hmotnosti několika set kilogramů.

5.2 Měření Rogowskiho potenciometrem

Toto měření je proveditelné s podstatně menšími potížemi a náklady. Vykonává se podle odst. 2.1.6. [1].

Literatura:

[1] TRINKEWITZ, Z.: *Průmyslové zkoušky velkých elektrických strojů točivých*. SNTL, Praha, 1981.