

Ložiskový motor

V. Fišer *

F. Němec **

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
tydlitele@gmail.com *, farbydos@gmail.com **

Abstrakt

Ložiskový motor je zajímavá mechanická konfigurace, která vykazuje při průchodu vysokého proudu jasný točivý pohyb a která se značně liší od konvenčních elektromotorů. Naše práce se zabývá zkoumáním vlastností a odhalováním principů tohoto zařízení. Hlavní přínos naší práce spočívá v experimentální části, kde je popsána stavba funkčního modelu takového zařízení a popis jeho pozorovaného chování, anobrž pozorování pomocí termokamery.

Úvod, motivace, inspirace

Inspirace přišla ze zadání turnaje mladých fyziků. Ve dvacátém sedmém ročníku byla zadána úloha:

„11. Ball bearing motor A device called a “Ball Bearing Motor” uses electrical energy to create rotational motion. On what parameters do the motor efficiency and the velocity of the rotation depend? (Take care when working with high currents!).“.

Tím jsme se dozvěděli o popisované konfiguraci, která vykazuje pozoruhodné vlastnosti. Během řešení soutěže jsme bohužel neodkryli pravou podstatu jevu, který jsme však dozajista pozorovali. Rozhodli jsme se tedy tento jev v rámci fyzikálního semináře dále zkoumat.

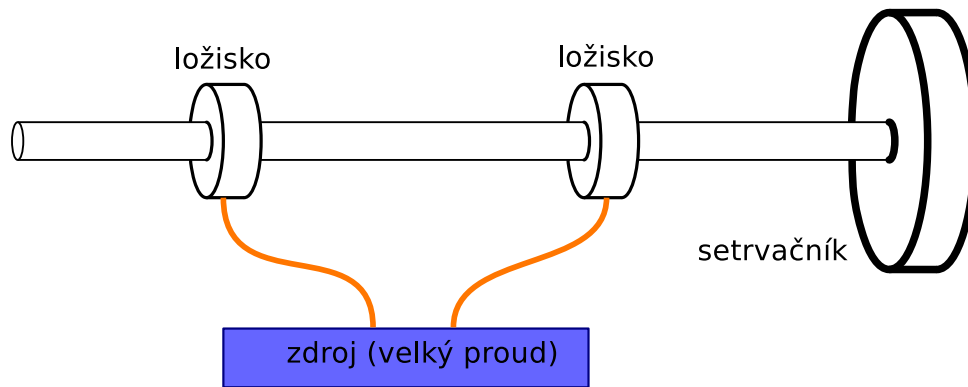
1 Ložiskový motor

Po rešerši jsme dospěli k závěru, že zařízení nazývané v zadání „ball bearing motor“ se skládá ze dvou ložisk, elektricky vodivé osy a setrvačnicku. Velký elektrický proud (kolem 30 A) (střídavý nebo stejnosměrný) se přivádí na ložiska a teče osou. Pro uvedení do chodu je třeba udělit prvotní impulz.

2 Teorie

Tento jev se již mnoho zkušených fyziků pokoušelo vysvětlit. Naneštěstí se leckterá vysvětlení různá (např. články [1, 2] a [3, 4]).

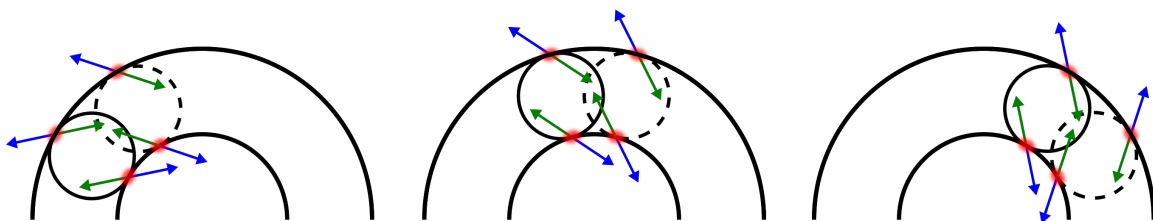
V člancích [1, 2] byl jev vysvětlen jako projev nerovnoměrného zahřívání kuliček a pláště ložiska, a tedy působení tepelné roztažnosti kuliček v pevném pouzdře. Jiné články [3, 4] vysvětlují otáčení jako projev magnetismu.



Obrázek 1: Schématicky vyobrazený ložiskový motor

2.1 Tepelná teorie

Vysvětlení je v tomto případě velmi prosté – v bodech, kde se dotýká kulička pláště se zahřívá nejvíce. Jelikož se (stejně jako část pláště v kontaktu s kuličkou) roztáhne, začnou na sebe působit silou. Při drobném vychýlení z takto vytvořeného klidového, avšak labilního stavu se kulička dále pootočí a proces zahřívání se opakuje.

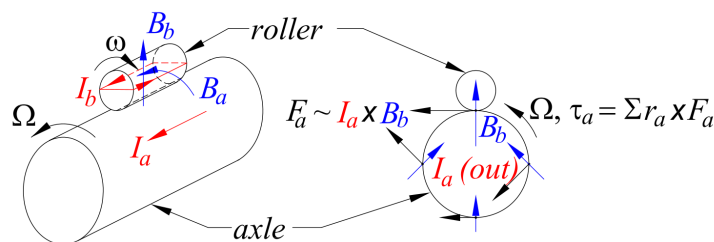


Obrázek 2: Ilustrace teorie tepelné roztažnosti

Tato teorie je velmi jednoduchá na kvalitativní vysvětlení (ale dost obtížná na kvantitativní vysvětlení). Tato teorie také dobře odpovídá chování motoru: točí se na střídavý proud i na stejnosměrný proud (nezávisle na polaritě), k uvedení do chodu je potřeba jej pošouchnout.

2.2 Elektromagnetická teorie

Magnetismus zapříčiňuje otáčení různých motorů (od synchronních, přes komutátorové až po třeba homopolární). Vysvětlením jevu v našem zařízení jako projevu magnetismu (který se tedy pochopitelně vybaví) se zabývají mnohé články. Uspokojivé vysvětlení poskytuje článek [3]. Jev je tam popsán vztahy odvozenými z Maxwellových rovnic (kterým jsme upřímně příliš nerozuměli). Zjednodušené vysvětlení poskytuje článek [4]. Pro ilustraci přikládáme obrázek 3 převzatý z práce [4] znázorňující vysvětlení pomocí magnetického pole vytvářeného pohybujícím se vodičem - válečkem. Válečky se v magnetické teorii používají kvůli zjednodušení často (válečky lze nahradit nekonečně dlouhými válečky a tím je možné vyhnout se řešení jevů, které se odehrávají na koncích).



Obrázek 3: Znázornění magnetické teorie podle Kirk T. McDonald, převzato z [4]

2.3 To, co různí zvem, pod jiným jménem sladce vonělo by zrovna tak. [5]

Zajímavý pohled přináší článek [6]. Ten popisuje předpověď účinnosti na základě magnetické i tepelné teorie. Z měřených výsledků je následně usouzeno, že oba jevy nastávají.

3 Konstrukce

Pro experimenty bylo nezbytné postavit vlastní funkční model. Pro stavbu jsme zvolili dřevěnou desku jako základ. Po naší předchozí špatné zkušenosti s železem, přes které tečou velké proudy, jsme se rozhodli zhotovit držáky ložisk (a zároveň přívodní vodiče) z měděného pásku 5. Jako zdroj jsme používali střídavou svářečku (proud cca 40 - 120 A (odhadem $\pm 40\%$)) Jako setrvačnick jsme používali dřevotřískové kolečko o poloměru cca 5 cm. Zároveň jsme jej nerovnoměrně obarvili, abychom byli schopni jednoduše zjišťovat rychlost otáčení

4 Experimenty

4.0.1 základní vlastnosti

Ku našemu podivu motor téměř na první zapojení vykazoval známky funkčnosti. Ověřili jsme základní vlastnosti:

- Sám se nerozběhne, potřebuje výchozí impulz
- otáčí se na obě strany
- funguje na střídavý proud (stejnoseměrný jsme vyzkoušet nemohli, neboť jsme neměli k dispozici dostatečně silný zdroj)
- začíná fungovat při proudu cca 30 A
- rychlost otáčení je kladně úměrná proudu, nejvyšší naměřená byla cca 40 ot./s
- při proudech nad 110 A začíná v ložisku hořet olej a motor smrdí

Poté jsme se rozhodli experimentálně ověřit tepelnou teorii. Jako hlavní experiment jsme se rozhodli provést pozorování pomocí termokamery.

4.1 postupy, pomůcky

Aby bylo možné vidět jednotlivé kuličky ložiska, museli jsme u ložisk odstranit boční kryty i klíčky. V ten moment se ložisko stalo velmi náchylné na poškození a mechanicky

velmi málo pevné. Zároveň jsme tím i podstatně zhoršili rovnoměrnost přítlaku a dotyku jednotlivých kuliček. To je hlavní důvod, proč na obrázcích z termokamery nejsou vždy jednotlivé kuličky stejně horké.

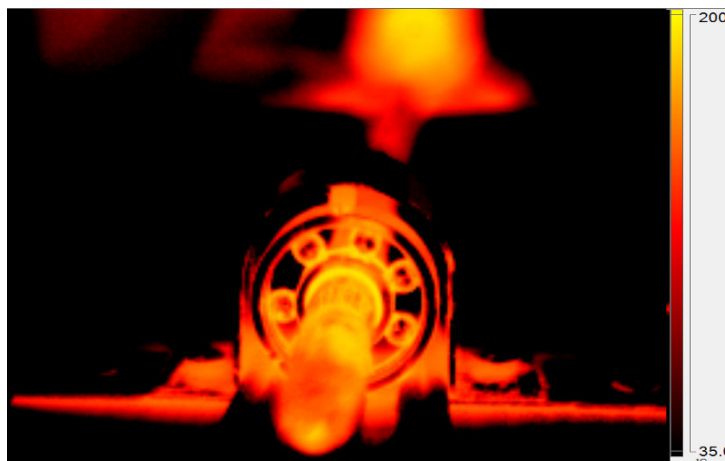
Využili jsme příležitosti prezentace moderních termokamer Fluke na VŠCHT a nechali jsme si natočit a nafotit snímky motoru. Snímky a videa jsme dále zpracovávali v programu Fluke SmartView[®]. Fotografie naší aparatury je na obrázku [4].



Obrázek 4: Naše aparatura

4.2 výsledky

Prezentuji zde snímek z termokamery.



Obrázek 5: Snímek z termokamery

Na obrázku 5 lze vidět, že (v souladu s teorií) se jednotlivé kuličky zahřívají podstatně více na obvodu, než uprostřed. Snímek byl pořízen po zastavení motoru. (Kamera bohužel nebyla dostatečně rychlá, aby zachytila použitelné snímky přímo za běhu motoru).

5 Shrnutí, diskuze

Sestavili jsme funkční model ložiskového motoru. Provedli jsme rešerši předchozích výzkumů na toto téma. Bohužel se různá vysvětlení neshodují. Dokonce jsme viděli, že fyzici, kteří byli porotci na turnaji mladých fyziků, se pohádali.

Přínos naší práce spočívá hlavně v pozorování otevřeného ložiska termokamerou. Výsledky našeho pozorování napovídají, že teorie tepelné roztažnosti není úplně mimo. Jasně vysvětlení tohoto jevu jsme bohužel lidstvu nepřinesli.

Další věci, které by teoreticky mohlo být zajímavé zkoumat, jsou například konstrukce s válečkovými ložisky místo kuličkových. Dále by bylo zajímavé zkoumat konstrukci, kde by byly „osy“ pevné (pro každé ložisko vlastní a na ně by se přiváděl proud) a ložiska by byla spojena za vnější plášť dutou trubkou. Ložiska by v tomto případě byla mimo jiné magneticky odstíněna od magnetického pole přívodních kabelů.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské a jmenovitě Ing. V. Svobodovi CSc. za organizaci fyzikálního semináře a za poskytnutí prostor, cenných rad i experimentálního materiálu. Neméně děkujeme i VŠCHT a firmě Workswell za zapůjčení měřicí techniky, bez které by naše práce nemohla dosáhnout takových kvalit. Dále v neposlední řadě Martinu Šachovi, který s námi spolupracoval na sběru dat.

Reference

- [1] D. Watson, S. Patel, and N. Sedcole, “Ball-bearing motor effect with rolling cylinders,” *Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings -*, vol. 146, pp. 83–87, Mar 1999.
- [2] S. M. M. Harrison, “The ball-bearing electric motor.” <http://www.electricstuff.co.uk/bbmotor.html>.
- [3] H. Gruenberg, “The ball bearing as a motor,” *American Journal of Physics*, vol. 46, no. 12, 1978.
- [4] P. U. Kirk T. McDonald, “Ball-bearing motor,” Online; <http://www.physics.princeton.edu/~mcdonald/examples/motor.pdf>.
- [5] W. Shakespeare, *Romeo a Julie*. Online; http://web2.mlp.cz/koweb/00/03/54/27/71/romeo_a_julie.pdf.
- [6] P. Hatzikonstantinou and P. G. Moyssides, “Explanation of the ball bearing motor and exact solutions of the related maxwell equations,” *Journal of Physics A: Mathematical and General*, vol. 23, no. 14, p. 3183, 1990.
- [7] kol. autorů Wikipedia, “Ball bearing motor — wikipedia, the free encyclopedia,” 2014. Online; https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ball_bearing_motor&oldid=636213769.
- [8] S. Marinov, “The intriguing ball-bearing motor,” *Electronics & wireless world*, vol. 95, pp. 356–357, Apr 1989.