

Optimalizace konstrukce synchronního generátoru s permanentními magnety

Abstrakt

This thesis describes the design and optimization of a synchronous generator with ferrite magnets according to the specified input parameters. Design of machine consists of an analytic calculation of the generator. After analytical calculation is output verified in the simulation program FEMM, followed by an analysis of possible parameters influencing the overall efficiency of the generator. A builds on several appropriate choice of parameters for the sensitivity analysis due to the efficiency of the generator. After it is done sensitivity analysis for selected parameters and optimization of the generator with the verification of the model in FEMM.

Úvod

Práce se zabývá návrhem a optimalizací synchronního generátoru s feritovými magnety dle zadaných vstupních parametrů. Toto téma bylo zvoleno na základě dřívějšího projektu, kde byl ověřován analytický návrh NdFeB generátoru vycházející z bakalářské práce Bc. Jaromíra Šejnohy. Při zpracování semestrálního projektu vznikla myšlenka, jak ověřovaný generátor vylepšit. Vylepšení se mělo týkat účinnosti a snížení ceny generátoru.

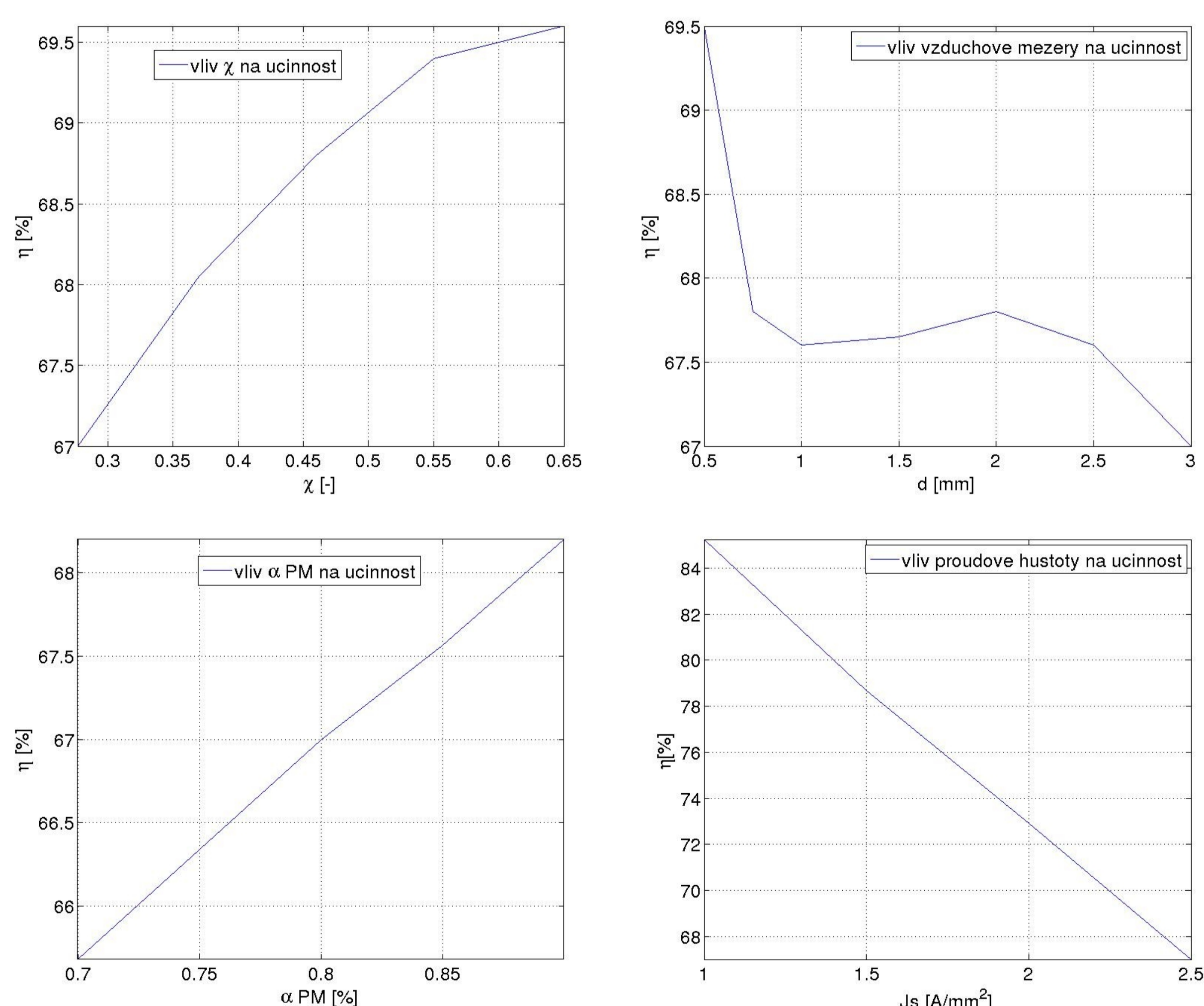
Vhodným směrem ke snížení ceny generátoru je použití levnějších materiálů permanentních magnetů, protože cena NdFeB magnetů během posledních několika let výrazně vzrostla a myšlenka jejich nahrazení levnějším materiálem se stala aktuálním tématem. Jako vhodné pro tento úkol se jeví feritové magnety. Cesta ke zvýšení účinnosti generátoru je směřována k vyhledání vhodných parametrů, které jeho výslednou účinnost ovlivňují. Ověření vlivu zvolených parametrů v citlivostní analýze a jejich užití pro návrh optimalizovaného generátoru.

Cíl práce

Snížení ceny generátoru volbou levnějšího materiálu magnetu a optimalizace geometrie s účelem zvýšení účinnosti generátoru.

Metodika

Byl proveden přepočítaný analytického návrhu a ověření ve FEMM. Feritový materiál magnetu byl zvolen na trhu nejsilnější dostupný MF40: $B_r = 0,459$ T a $H_c = 350$ kA/m. Přepočítaný musel zohlednit podmínky přinášející použití slabších materiálů magnetů, jimiž se v práci [1] autoři nezabývají. Jedná se například o volbu indukce ve vzduchové mezeře pro feritové magnety, jejíž volba byla ovlivněna prací [2]. Pro porovnání dosahují NdFeB magnety remanentní indukce 0,97 – 1,45 T a feritové magnety 0,1 – 0,48 T. Dále byla provedena kontrola výšky magnetu, zda nemůže dojít k demagnetizaci feritových magnetů pro jejich nižší koerzivní intenzitu H_c ve srovnání s magnety NdFeB. Poté bylo přistoupeno k vyhledání parametrů s vlivem na celkovou účinnost stroje a z nich byly vybrány čtyři pro citlivostní analýzu. Jedná se o: velikost vzduchové mezery, relativní šířky magnetů, poměr hloubky ku průměru rotoru, proudová hustota vinutí a nakonec statorové plechy s menší hysterézni ztrátou. Vliv na celkovou účinnost generátoru vyšetřuje citlivostní analýza pro každý parametr v určitém rozsahu. Jejich vliv je shrnut v tabulce 1. Ukázka analýz vlivu těchto parametrů v grafech viz Obr.1.



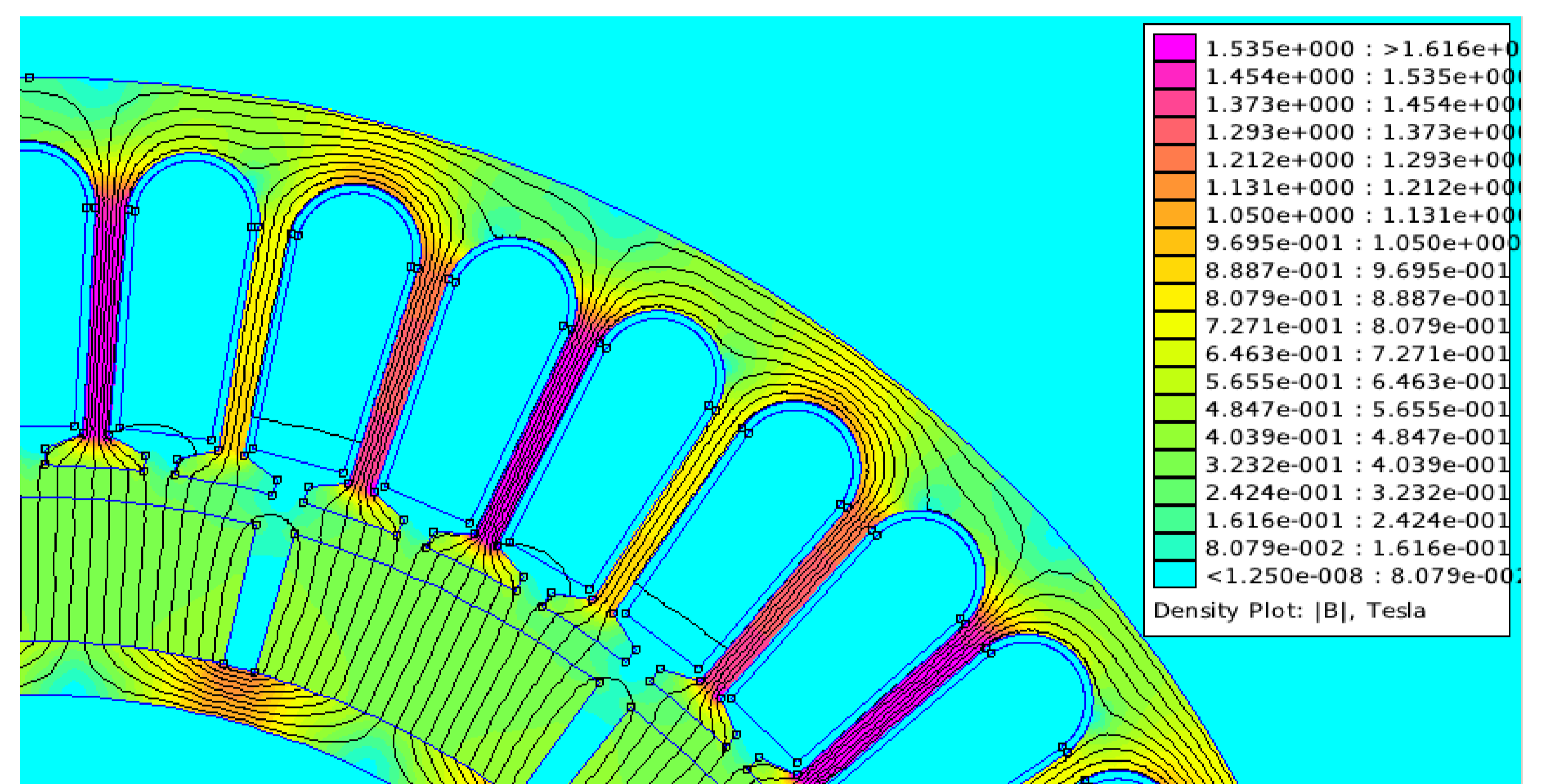
Obr.1: Grafy citlivostních analýz

Tabulka 1: Souhrnná tabulka procentuálního přínosu parametrů

Parametr	Značka a jednotka	Interval	Vliv na η [%]
Proudová hustota	J_s [A/mm ²]	1:2,5	18,25
Relativní šířka magnetu	α_{PM} [-]	0,7:0,9	2,5
Velikost vzduchové mezery	d [mm]	0,5:3	2,5
Poměr χ	χ [-]	0,277:0,65	2,6
Změna plechů	- [-]	-	0,3

Výsledky a diskuze

Užitím výše zmíněných parametrů pro zvýšení účinnosti feritového generátoru v optimalizovaném návrhu, vyjma proudové hustoty, bylo dosaženo podobné účinnosti jako s použitím NdFeB magnetů, a to při stejné proudové hustotě vodiče. Užitím snížené proudové hustoty bylo podle očekávání dosaženo největšího nárůstu účinnosti. Tento návrh byl také ověřen ve FEMM viz Obr.2. Pro přehledné porovnání parametrů generátorů je potřebné označení. Generátor s NdFeB magnety je A, neoptimalizovaný feritový je B, optimalizovaný bez snížené proudové hustoty C a se sníženou proudovou hustotou D. Některé základní parametry pro porovnání jsou uvedeny v tabulce 2.



Obr.2: Rozložení magnetické indukce v obvodu

Tabulka 2: Tabulka vybraných parametrů generátorů

Veličina	Značka	gen. A	gen. B	gen. C	gen. D	Jednotka
Elektrický výkon generátoru	P_{el}	146	134	140	173	[W]
Účinnost generátoru	η_g	73	67	70	86,5	[%]
Vnější průměr statoru	D_{SE}	0,1560	0,1731	0,1332	0,1724	[m]
Délka jádra generátoru	l	0,0275	0,0350	0,0581	0,0743	[m]
Výška permanentních magnetů	α_{PM}	0,0045	0,0073	0,0085	0,0089	[m]

Závěr

Bylo ověřeno, že lze i s použitím feritových magnetů dosáhnout podobných účinností generátoru, pokud dojde k úpravě geometrie magnetického obvodu. Podle očekávání má největší vliv z užitých parametrů proudová hustota. Zbylé parametry mají vliv podstatně menší.

V budoucnu je možné na tuto práci navázat, protože je potřeba dále vyřešit:

- vypočtení reálného provozního oteplení vinutí, ověřit možnost chlazení vodou nebo odvod tepla konstrukcí - vliv na provozní teplotu,
- uložit magnety tangenciálně do rotoru tak, že bude ve vzduchové mezeře dosaženo vyšší indukce než uložení magnetů na povrchu rotoru a tím zmenšení stroje [4],
- vyrobit prototyp na odzkoušení.

Reference

[1] PYRHÖNEN, Juha; JOKINEN, Tapani; HRABOVCOVÁ. Design of Rotating Electrical Machines. Lappeenranta University of Technology: John Wiley & Sons, 2008. ISBN 978-0-470-69516-6.

[2] PETER SEKEÁK — Valéria Hrabovcová — Juha Pyrhonen — Lukáš Kalamen — Pavol Rafajdus — Matúš Onufer. Ferrites and different winding types in permanent magnet synchronous motor. Journal of ELECTRICAL ENGINEERING. 2012, č. 63. ISSN 1335-3632. DOI: 10.2478/v10187-012-0024-8.

[3] VOREL, Pavel. Výkonové elektromechanické systémy v silničních vozidlech. Brno, 2005. Habilitační. Vutbr fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

[4] SEREBRYAKOV, A., N. LEVIN a A. SOKOLOV. Direct-Drive Synchronous Generators with Excitation from Strontium-Ferrite Magnets: Efficiency Improvement. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2012-01-1, vol. 49, issue 4, s. -. DOI: 10.2478/v10047-012-0018-0.

Kontakt

pavel.reznicek@tul.cz