

Optimalizace konstrukce synchronního generátoru s permanentními magnety

Bc. Pavel Řezníček, Ing. Leoš Beran, Ph.D.

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a optimalizací synchronního generátoru s feritovými magnety. Návrh je tvořen analytickým výpočtem a jeho ověřením ve FEMM. Následuje rozbor parametrů ovlivňujících celkovou účinnost generátoru. Pro vybrané parametry je provedena citlivostní analýza a nový analytický návrh optimalizovaného generátoru.

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. Vhodnou cestou 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 výslednou účinnost generátoru ovlivňují. Ověření vlivu zvolených parametrů v citlivostní analýze a jejich užití pro návrh optimalizovaného generátoru.

Experiment a metody

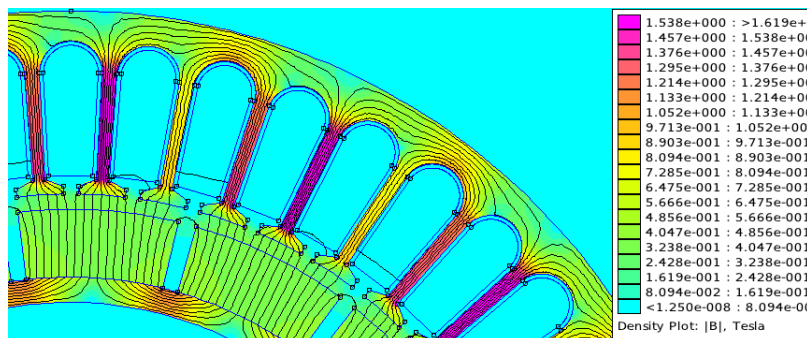
Byl proveden přepočítaný analytický návrh a ověřen ve FEMM viz Obr.1. Feritový materiál byl zvolen na trhu nejsilnější dostupný MF40: $B_r = 0,459$ T a $H_c = 350$ kA/m. Přepočítaný musel zohlednit podmínky přinášející použití slabších materiálů magnetů, jimiž se v práci [1] autoři nezabývají. Jedná 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 koercitivní 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 šířka magnetů, poměr hloubky ku průměru rotoru, proudová hustota vinutí a nakonec statorové plechy s

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

Rozšířený Abstrakt

menší hysterézní ztrátou. Vliv na celkovou účinnost generátoru vyšetřuje citlivostní analýza pro každý parametr v určitém rozsahu. Jejich vliv je shrnut v tabulce 1.



Obr. 1: Rozložení magnetické indukce v obvodu

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. 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.

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	h_{PM}	0,0045	0,0073	0,0085	0,0089	[m]

Závěr

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

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