

EQUIVALENT MAGNETIC CIRCUIT OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

Marek Kubenka

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkuben01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Rostislav Huzlík

E-mail: huzlik@feec.vutbr.cz

Abstract: This work deals with equivalent magnetic circuit of permanent magnet synchronous motor. There is information about simple magnetic circuits and about Hopkins law. Result of this work is table in which results from programs FEMM and Matlab Simulink are compared.

Keywords: magnetic circuit, permanent magnet synchronous motor

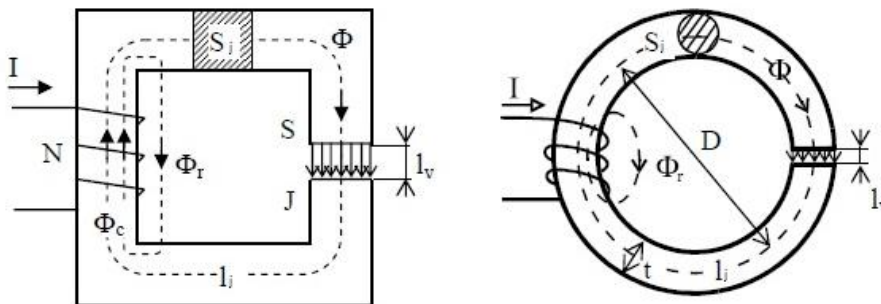
1. ÚVOD

Pomocí magnetických obvodů je možné soustředit magnetické pole do určitého pracovního prostoru. Takto usměrněné magnetické pole lze technicky využít. Např. elektromotory využívají silového působení magnetického pole působícího na vodiče protékané proudem. Dochází tak k přeměně elektrické energie v mechanickou. Oproti tomu u generátorů dochází k indukování napětí ve vodičích, které se v magnetickém poli pohybují. Nepřeberné množství dalších přístrojů využívá ke své činnosti magnetického pole, jedná se např. o stykače, jističe, reproduktory atd.

Pracovní prostor, ve kterém magnetické pole působí, bývá vhodně tvarován, aby bylo dosaženo co možná nejlepšího účinku. Magnetický obvod je tvořen vodiči, kterými protéká elektrický proud (cívka o N závitů), magneticky vodivými drahami (pólové nástavce) a pracovním prostorem (vzduchová mezera). Ukazatelem dobré magnetické vodivosti daného materiálu je jeho vysoká magnetická permeabilita. Magneticky dobře vodivé materiály se označují jako feromagnetické.

2. MAGNETICKÉ OBVODY

Na obrázku 1 jsou příklady jednoduchých magnetických obvodů, pomocí kterých lze odvodit některé zákonitosti.



Obrázek 1: Jednoduché magnetické obvody [1]

Magnetomotorické napětí F_m těchto obvodů, které vytvořil elektrický proud protékající N závitů cívky, musí být rovno součtu úbytků magnetických napětí, které zapříčinil magnetický tok ϕ .

$$F_m = U_{mj} + U_{mv} = H_j l_j + H_v l_v = \frac{B_j}{\mu_j} l_l + \frac{B_v}{\mu_v} l_v \quad (1)$$

Konečný vztah pro magnetomotorické napětí vypadá takto:

$$F_m = R_m \Phi \quad (2)$$

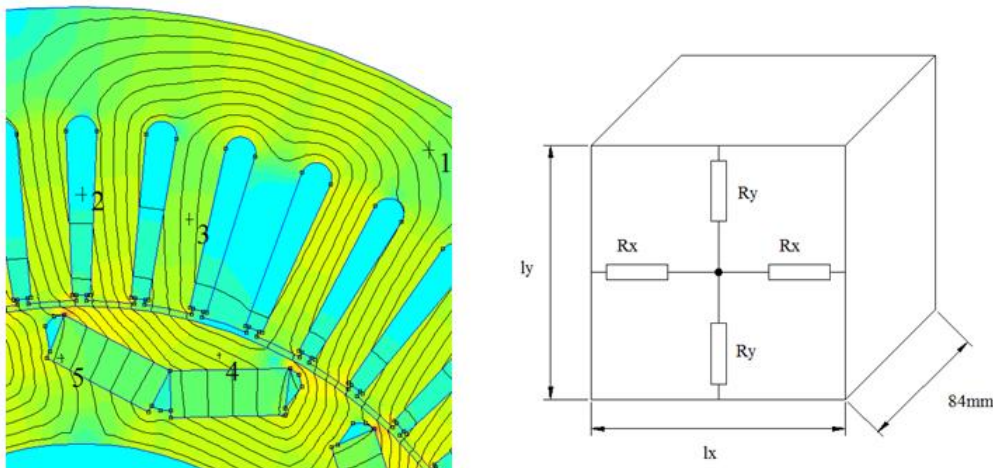
3. NÁHRADNÍ MAGNETICKÝ EKVIVALENTNÍ OBVOD

Náhradní magnetický ekvivalentní obvod byl vytvořen pro jeden pól motoru. Tato část motoru byla rozdělena na několik desítek segmentů a pro každý tento segment byl řešen jeho magnetický odpor v příčném a podélném směru. Příklad výpočtu magnetických odporů pro drážku z obrázku 3 je uveden v rovnicích (3) a (4). V případě vinutí a permanentních magnetů je model doplněn o napěťové zdroje.

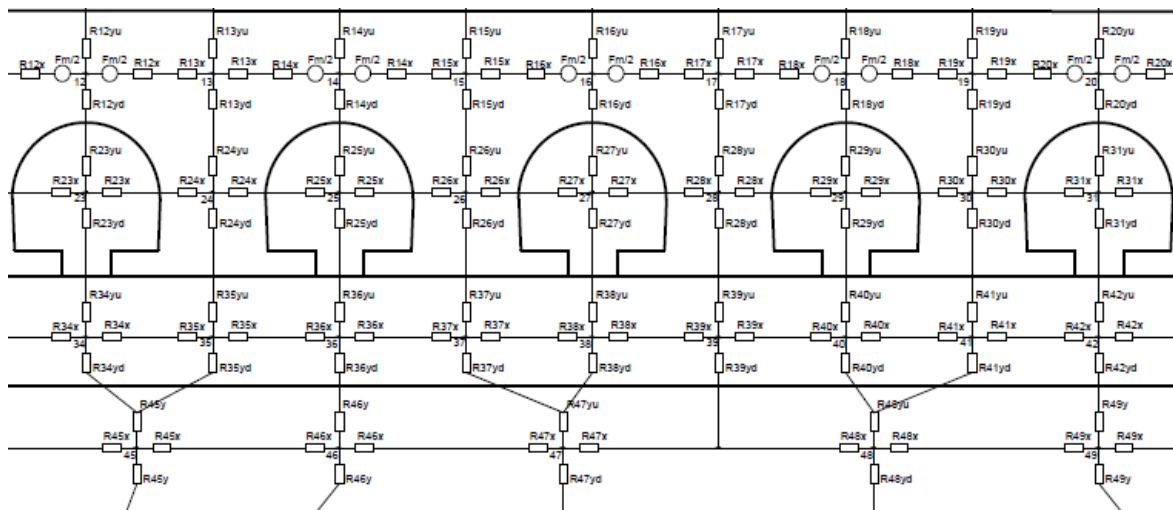
V programu Matlab Simulink byl dále náhradní magnetický ekvivalentní obvod namodelován s již známými hodnotami jednotlivých magnetických odporů. Samotný program pak spočítal velikost magnetického toku v jednotlivých větvích modelu. Díky známým velikostem jednotlivých ploch nebyl problém dopočítat velikosti magnetické indukce v jednotlivých segmentech a následně porovnat s výsledky získanými pomocí programu FEMM.

$$R_{23x} = \frac{l_x / 2}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot l_y \cdot 84 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,25 \cdot 10^{-3}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot 33,55 \cdot 84 \cdot 10^{-6}} = 633,6 kH^{-1} \quad (3)$$

$$R_{23yu} = \frac{l_y / 2}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot l_x \cdot 84 \cdot 10^{-3}} = \frac{16,775 \cdot 10^{-3}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot 5,6 \cdot 84 \cdot 10^{-6}} = 28,3 MH^{-1} \quad (4)$$



Obrázek 2: Rozložení magnetické indukce v programu FEMM a příklad segmentu



Obrázek 3: Část náhradního magnetického ekvivalentního obvodu

Tabulka 1 ukazuje srovnání některých středních hodnot magnetické indukce získaných pomocí FEMMu a Simulinku. Poloha jednotlivých bodů, ve kterých byla ve FEMMu odečítána přesná hodnota magnetické indukce je zachycena na obrázku 2. Jedná se o náhodný výběr pěti bodů. Jako správná je považována hodnota získaná pomocí FEMMu.

Bod	FEMM B[T]	Simulink B[T]	Odchylka Δ [%]
1	1,08	1,045	3,3
2	0,195	0,21	7,7
3	1,192	1,174	1,6
4	1,41	1,282	9,1
5	1,146	1,22	6,5

Tabulka 1: Hodnoty magnetické indukce

Motor, který byl v této práci zkoumán, je součástí hybridního pohonu automobilu Toyota Prius. Jedná se o osmi-pólový synchronní motor s permanentními magnety (NdFeB) na rotoru. Motor má výkon 50kW při otáčkách 1200 – 1540 min^{-1} a moment 400Nm při 250A.

4. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření náhradního magnetického obvodu synchronního motoru s permanentními magnety a pomocí něj získat hodnoty magnetické indukce ve vybraných částech. Dále pak tyto hodnoty porovnat s údaji získanými pomocí programu FEMM. Tyto údaje jsou shrnuty v tabulce 1. Odchylky byly způsobeny pravděpodobně nepřesným vytvořením náhradního magnetického obvodu.

Na obrázku 3 je ukázka části náhradního magnetického ekvivalentního obvodu synchronního motoru. Jedná se pouze o malou část statoru a vzduchové mezery.

LITERATURA

- [1] BRANČÍK, L. *Elektrotechnika 1*, 160s., Brno
- [2] SPORNI, P. *Model synchronního stroje s PM založeného na ekvivalentní reluktanční síti*, Brno: FEKT VUT v Brně, 2010, 53s., diplomová práce