

Villamos motorok matematikai optimalizációja Matlab és FEM segítségével

Optimization of electric motors with Matlab and FEM

ISTENES György¹, kutatómérnök, Dr. HORVÁTH Zoltán², PhD, egyetemi tanár

^{1,2} Széchenyi István Egyetem, cím: 9026 Győr, Egyetem tér 1., tel.: +36 (96) 503-400,
email: sze@sze.hu, honlap: <https://uni.sze.hu/kezdolap>

Kivonat

Ebben cikkben egy villamos járműmotorok fejlesztését célzó, számítógépes szimulációkon alapuló optimalizációs rendszer és ennek validálása és alkalmazása lesz bemutatva. A motorok vizsgálatához a motormodellek és szimulációk az ANSYS Maxwell és MATLAB környezetben lettek felépítve. A MATLAB többcélú genetikus optimalizáló algoritmusának segítségével lett elvégezve az optimalizáció, amit egy könnyen kezelhető MATLAB input-output felülettel kezelhetünk.

Abstract

In this paper we developed an electrical engine optimization system, based on computer simulations. I will present the application and validation of this system. The models and simulations was created in ANSYS Maxwell and MATLAB. The optimization was performed with the multiobjective genetic optimization algorithm by MATLAB, which we can handle with an easy to use input-output interface inside MATLAB.

1. BEVEZETÉS

Világszerte egyre elterjedtebbek a villamos hajtásrendszerek járművekben való alkalmazása. [3.] Olyan esetekben, ahol a jármű üzemeltetését jól le lehet írni jellemző menetciklusának néhány munkapontjával (pl. kizárólag városban használt személyautó, elektromos roller stb.), felmerülhet igényként a meghajtómotornak az ismert specifikus felhasználási igények alapján való megtervezése. Ebben jelent nagy segítséget a munkapont alapú villamosmotor-optimalizáció. [1.], [4.], [5.]

A cikkben villamos motorok munkapont alapú optimalizációjára alkalmas szoftverkeretrendszert mutatunk be. A keretrendszer alkalmas állandómágneses szinkronmotorok menetciklusból nyomaték-fordulatszám-idősúlyozás munkapontokhoz tartozó veszteségenergia és tömeg együttes minimalizálására. A kényszerek a geometriából és a motor villamos paramétereiből adódó feltételek. A tervezési változók a motor tizenegy geometriai paraméterből állnak. Ezek a tervezési változók és a munkapontok az optimalizációs keretrendszer bemenetei, amik alapján elvégzi az optimalizációs célok, azaz célfüggvények értékeinek kiszámítását.

Az energiaveszteség és néhány kényszer kiértékeléséhez szükség van végeselemes modell alapú szimulációkra ANSYS Maxwellben. Ebben a cikkben bemutatásra kerül az optimalizációs keretrendszer felépítése és működése, az optimalizációs algoritmus és a célfüggvények kiértékeléséhez szükséges végeselemes és analitikus modellek.

Az optimalizációs keretrendszer MATLAB környezetben lett elkészítve. Az alkalmazott optimalizációs algoritmus a MATLAB többcélú genetikus optimalizáló algoritmus.

A cikkben bemutatjuk a szoftverkeretrendszer alkalmazását a SZEnergy motor optimalizálására.

2. AZ OPTIMALIZÁCIÓ CÉLJA

A matematikai optimalizációt olyan problémák megoldásakor alkalmazzuk, amikor egy- vagy többváltozós térben kell megtalálni azt az optimális paraméterkombinációt, ahol a célfüggvény vagy célfüggvények értéke minimális.

MATLAB környezetben fel lett építve egy állandómágneses szinkronmotorok többcélú optimalizációjára alkalmas szoftver-keretrendszer. A keretrendszer alkalmas a hozzá kapcsolt ANSYS Maxwell végelem modellel a motorok energetikai, tömeg és egyéb szempontok alapján optimális motormodell létrehozására. Az alkalmazott optimalizációs algoritmus a Matlab beépített moga, azaz többcélú genetikus optimalizáló algoritmus volt. A célkitűzés a SZEnergy csapat részére egy a versenyautókat hajtó villanymotor megtervezése és többcélú optimalizációja.

2.1 Többcélú optimalizáció

Amennyiben nem csak egy célfüggvényt kell optimalizálni, nem minden esetben lehet megállapítani, hogy egy egyed egyértelműen jobb egy másiknál. A kiértékelt egyedek két részre oszthatók, a domináltakra, és a nem domináltakra. Egy több célfüggvényből álló problémánál egy adott egyednél csak akkor lehet egyértelműen jobb egy másik egyed, ha a másik egyed nem dominálja ezt, tehát az összes célfüggvény-értéke jobban megközelíti az optimumot. A nem dominált egyedek halmaza alkotja az optimalizáció eredményét, azaz a pareto frontot. [2.]

2.2 A célfüggvények

A célfüggvények a motor tömege, villamos veszteségei és nyomatéklüktetése voltak az előre meghatározott munkapontokban nyomaték-fordulatszám-idősúlyozás munkapontokban.

A tömeg a motor geometriai paramétereiből és a felhasznált anyagok sűrűségéből lettek becsülve.

A veszteségek számításánál minden fordulatszám-nyomaték munkaponton keletkezett egy veszteségteljesítmény, ezek lettek besorozva a munkapontokhoz tartozó idősúlyozással, és ezek összegéből jött létre a veszteségenergia.

A nyomatéklüktetés számításánál a legnagyobb értéket adó munkapont eredménye adta meg a célfüggvény eredményét. Itt a szabadonfutó (azaz 0 Nm nyomatékigényű) munkapontok nem lettek figyelembe véve.

2.3 A tervezési változók

A 13 tervezési változó mind geometriai változók voltak: a légrés mérete, a mágnesek szélessége, a mágnesek vastagsága, a motor hossza, a motor külső átmérője, a hornyok mélysége, a hornyok belső és külső szélessége, a motor belső átmérője, a horony fogak vastagsága és a köztük lévő rés szélessége, a menetszám és a tekercseléshez használt huzal átmérője.

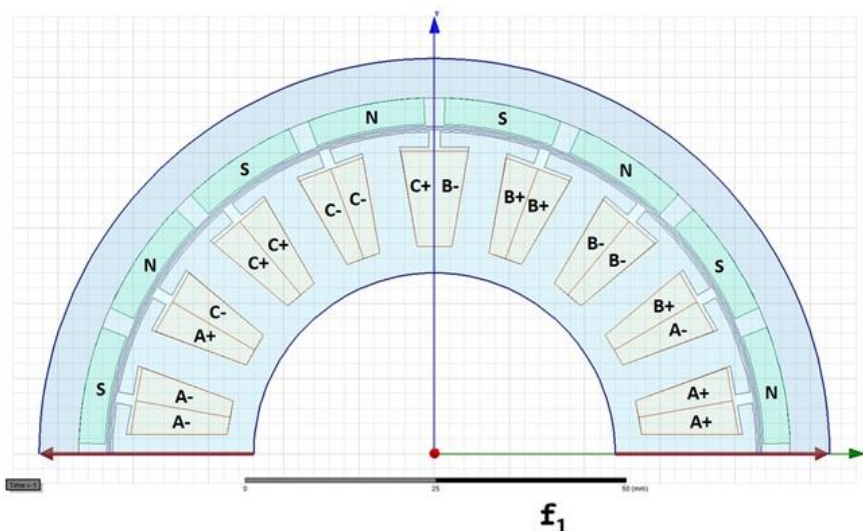
2.4 A kényszerek

Az optimalizáció során geometriai kényszerek lettek meghatározva. Ezek azt biztosították, hogy a motor különböző részeinek geometriái ne penetráljanak egymással, és mindenhol legyen egy minimális falvastagság, ami szükséges a gyárthatósági és mechanikai szempontok kielégítéséhez.

3. MOTOR MODELL

A végelem-modell ANSYS Maxwell környezetben lett felépítve. A modell egy 18 horonyszámú és 16 pólusszámú külső forgórészes állandómágneses szinkronmotor. A motor 2 dimenziós geometriája egy Descartes-féle koordináta-rendszer xy síkján van értelmezve. A motor forgástengelye a z tengely. Mivel a motor 180 fokos szeletei forgásszimmetrikusak, ezért elég a motor felét modellezni. A tekercselésen szinuszos áramgerjesztés van megadva terhelésként, ennek az állítható paraméterei az amplitúdó, a frekvencia és a kezdeti fázis. Ezeket a paramétereket a munkapontok határozzák meg.

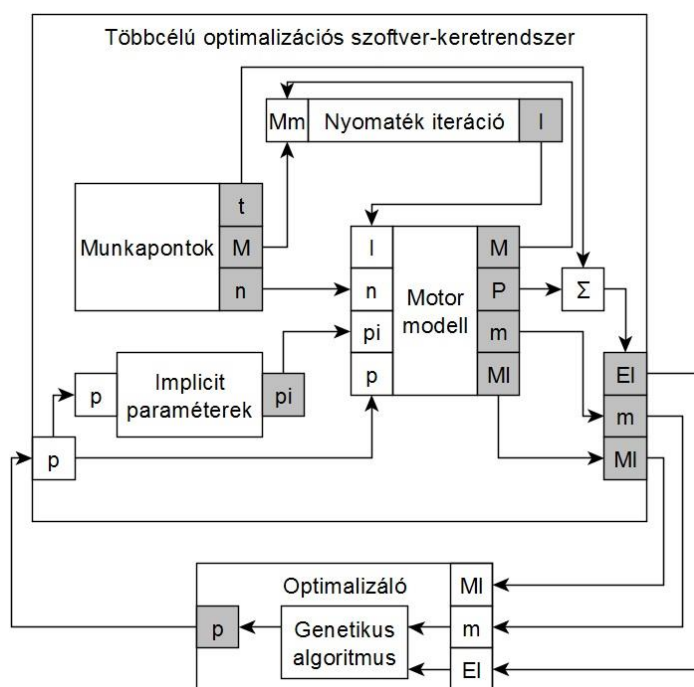
Az 1. ábrán az S és N jelölések a déli és északi mágneses pólusokat jelölik. A tekercselésen az A, B és C a fázisokat, az utána lévő + vagy – jel pedig a gerjesztőáram irányultságát. A + jelnél az irányultság +z irányú, a – jelnél pedig –z. A motor geometriáját a következő ábra mutatja be (1. ábra):



1. ábra A végelem-modell geometriai felépítése

4. AZ OPTIMALIZÁCIÓS KERETRENDSZER

Az optimalizációs keretrendszer működését a következő ábra mutatja be (2. ábra):

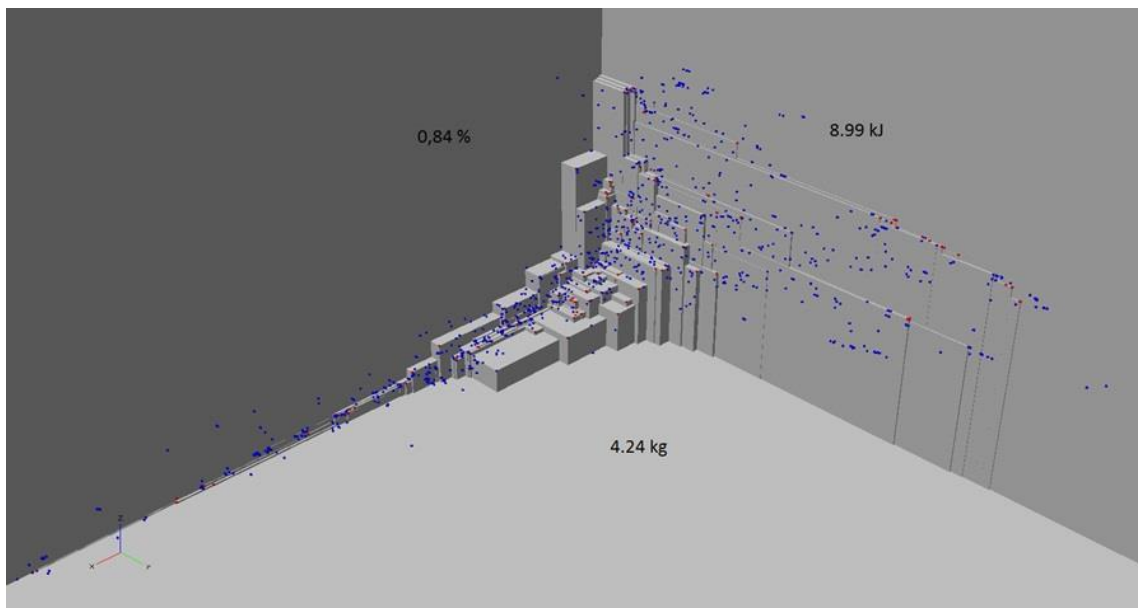


2. ábra Az optimalizációs keretrendszer blokkdiagramja

A belső nyomatékiterációra azért van szükség, mert a munkapontok fordulatszám-nyomaték paraméterekkel vannak megadva, viszont a végelem szoftver bemenete fordulatszám és gerjesztőáram. A nyomatékiteráció tehát egy szükséges előfuttatás, ami megkeresi az adott nyomatékhoz tartozó áramerősséget.

5. AZ ELÉRT EREDMÉNYEK

A többcélú genetikusan optimalizáció 80 darabszámú kezdeti populációval futtatott le 54 generációt, tehát összesen 4400 paraméterkombináció lett megvizsgálva. A három célfüggvény szerinti nem dominált egyedek pedig a következő ábrán láthatóak, ahol a három irányban három célfüggvény eredményei láthatóak (3. ábra):



3. ábra Az optimalizáció eredménye

Az ábrán a kék pontok jelentik a dominált, a pirosak pedig a nem dominált egyedeket. Ezek a piros pontok alkotják a pareto frontot. Ezekből további vizsgálatok alapján lehet kiválasztani a legyártani kívánt motort. Ezeknek a vizsgálatoknak a fő szempontjai a célfüggvények értékeinek maximális határai, a paraméterérzékenységi vizsgálatok eredményei és a gyárthatósági feltételek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bittner, F., Hahn, I.: Kriging-Assisted Multi-Objective Particle Swarm Optimization of Permanent Magnet Synchronous Machine for Hybrid and Electric Cars, IEEE International Electric Machines
- [2] Deb, Kalyanmoy: Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithm, John Wiley & Sons, Chichester, 2001
- [3] EV Sales, <http://ev-sales.blogspot.com/>, 2020. 01. 24.
- [4] Mahmoud M. Elkholy, Mohamed A. Elhameed: Minimization of Starting Energy Loss of Three Phase Induction Motors based on Particle Swarm Optimization and Neuro Fuzzy Network, International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), Electrical Power and Machines Department, 2016, 1038-1048
- [5] S. Das, S.Mondal, S. Saha, C. Sarkar: A GSA Based Torque and Loss Optimisation of and Induction Motor, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2013, 3717-3725