XI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2006. március 24-25.

ÁLLANDÓ MÁGNESES LENGÉSCSILLAPÍTÓ TERVEZÉSI LÉPÉSEI

Zádor István, Falvy Bence, Horváth Dániel, Dr. Vajda István

During the development of both commercial and utility vehicles, the need for extension of built-in electronic functionalities is gaining ground. Such systems are: ABS, ASR, „drive-by-wire” or an ESP system, which are all devoted to increasing the comfort level of the driver as well as providing additional safety. Too much electronics however raise the scale of energy consumption, therefore additional energy supplies have exploited. This document deals with the development of a permanent magnet linear induction motor, applied as a semi-active or active shock-absorber in vehicles. The configuration is able to supply energy to the vehicle’s power grid, as well as to be continuously controlled.

Munka-, teher-, de személygépjárművek fejlesztésénél is egyre fontosabb szerepet játszik az elektronika, amellyel a gyártók bővíteni tudják a megvalósított funkciók palettáját. Ilyenek például az ABS, ASR, „drive by wire”, vagy az ESP rendszerek, amelyek a fokozódó komfortérzetet és a biztonságot hivatottak egyre inkább kielégíteni. A túl sok elektronika a fedélzeten viszont növeli az energiaszükségletet és az energiaellátás kapacitásának növelését. Az előbb említett problémakörökhöz szorosan kapcsolódott már eddig is a járműfelfüggesztés kialakítása. E téren jelenleg az aktív járműfelfüggesztés a legmegfelelőbb, amelynek több fajtája is létezik. Ezek közül a cikk egy állandó mágneses rendszer fejlesztését tárgyalja, amely a fent említett problémákat, kihívásokat egyszerre és igen hatékonyan oldja meg.

1 AZ ÁLLANDÓ MÁGNESES CSŐMOTOR KUTATÁSI LÉPÉSEI

A lineáris szinkron motor (a továbbiakban LSM) működési elve analóg a hagyományos (forgó) motorokéval. A különbség csupán annyi, hogy itt a mozgó és az állórész által létrehozott mágneses mező is lineárisan, egyenes vonalban halad. Esetünkben az állórész 3-fázisú tekercselése lágyvas gyűrűk között egy csőben helyezkedik el, míg a benne lineáris mozgást végző dugattyún helyezkednek el az állandó mágnesek. Ez a rendszer is képes természetesen motoros és generátoros üzemen is működni. [1, 2]

A lengéscsillapítóként működő csőmotor kifejlesztésénél elsődleges szempont volt a lehetőség szerinti maximális csillapító erő elérése. Itt természetesen a hagyományos lengéscsillapítókkal ellentétben a összenyomódás és a széthúzás reakcióerői meg fognak egyezni. A különböző erőket ennél a rendszernél vezérléssel lehet megoldani. A dugattyún (mozgó részen) több pólus helyezkedik el (mágnesek közötti lágyvas), amelyek magas indukció értékéről (akár 1.6 - 2 T) az egymással szembe fordított és összeszorított mágnesek gondoskodnak (1. Ábra). Az általunk használt állandó mágneseknél (NbFeB) a kivehető legnagyobb energiaszorzatot ($B \cdot H$) akkor kapjuk, ha a mágnes 0.6 T körüli indukciót ad le a felületén. [1, 2]

1) Ábra: *Állandó mágneses szinkron csőmotor erővonal képe (1, Cső; 2, Horony; 3, Fog; 4, Állandó mágnes; 5, Lágyvas tárcsa; 6, Forgásszimmetria)*

A cikk ezen fejezetében a csillapítóerő változtatása -főleg generátoros üzemben- lesz bemutatva. Ennél a megoldásnál ugyanis a forgógépekhez hasonlóan nincsen szükség külső energia befektetésére az erő változtatásához, sőt, a rendszer energiát szolgáltat működés közben. Mivel egy adott dugattyú sebességen az indukált feszültség amplitúdója állandó (fluxus változás mértéke állandó), így az áramot csupán az áramkörbe (fázisonként vagy tekercsenként) beiktatott változtatható ellenállással vagy PWM-mel tudjuk szabályozni. Még kézenfekvőbb megoldás, ha a felesleges energiát nem ellenállásokon disszipáljuk, hanem a jármű fedélzetén az akkumulátort töltjük vele. Ebben az esetben a töltés mértékével, mint egy terheléssel változtathatjuk a csillapító erőt. Így nyerhető ki a lengéscsillapítóból a jármű lengési energiája, ami az elektromos vagy hibrid járműveknél igen nagy jelentőséggel bírhat, de ugyanolyan fontos azokban az új generációs járművekben is, amelyekben tetemes mennyiségű elektronika gondoskodik a szélesebb funkcionális palettáról.

A géptervező szoftver hitelesítése miatt elkészült egy prototípus, amely egyszerű elemeket tartalmaz, és csupán referenciaként funkcionál. A cél egy olyan szoftver elkészítése volt, amellyel meg lehet tervezni egy adott átmérőhöz (lengéscsillapító) tartozó, maximális csillapító-erőt adó geometriát. Az optimalizáláshoz a geometriai paramétereket a Maple 9.5 szoftverrel végzett mágneskör-számításból kaptuk. A probléma modelljét a 2. ábra szemlélteti.

2) Ábra: A csőmotor mágnes-kör modellje (Tau P: Pólusosztás; R : Anyagok mágneses ellenállása)

A számítás küszöbértékei a fogak telítődése, az állandó mágnesek maximális energiaszorzata és lemágneseződése volt. A másik szoftver a meglévő geometriából számította ki egy adott sebességhez tartozó reakcióerőt. Az utóbbi program véges-elemes szimulációt használt (MatLab 6.5). A mozgó dugattyú által az állórészben indukált feszültség a tekercselésekben azok véges ellenállása miatt áramot indít meg. Az ezen áramok által keltett mágneses tér visszahatásának mértéke, a mágneses mezők közötti erőhatás a Maxwell Stress Tensor módszer segítségével számítható. A prototípuson mért és a számított eredmények 90%-os pontossággal egybevágnak, így a felhasználás-specifikus optimalizálás a szoftver segítségével megkezdődhetett. [3, 4, 5]

2 ERŐNÖVELESI ÉS ALKALMAZÁS SPECIFIKUS MEGOLDÁSOK

Az erő növelése érdekében számos módszert lehet használni, ami a forgó gépeknél bevált és itt is hatékony lehet, de igen sok megoldás van, ami csőmotor specifikus.

- Gyűrű alakú mágnesek alkalmazása: Ez a megoldás teljesen azonos a tárcsa alakú mágnesek koncepciójával, de itt a könnyebb összeszerelhetőség szem előtt tartásával a mágneseket egy paramágneses rúdra fűzzük fel. Ebben az esetben tehát a mágnesek és a köztük lévő lágyvas (ferromágnes) is gyűrű alakú. Ennél a gépnél a dugattyúrúd méretezése nem mágneses, hanem mechanikai paraméterek küszöbértékével történt (folyáshatár).
- Fogtárcsák bemetszése: Mivel a tekercsek a hornyokban foglalnak helyet, ezért a tekercskivezetéseket meg kell külön oldani. Ez igen problematikus, főleg a tekercs első menetének, a gép mozgórészéhez közel eső végének kivezetése. Ez úgy oldható meg, hogy a tárcsába (fog) egy hornyot vágunk. Amennyiben a fog teljesen be van metszve, akkor meggátolható a működés közben benne folyó örvényáramok kialakulásának nagy része (köráram). Így csökkenthető az örvényáramú veszteség, és a fogakban a melegedés mértéke is egyidejűleg.
- A fognyomaték csökkentése miatt optimalizálva lett a fogfej kialakítása, horonyzáró ék sugárirányú mérete és a tört horonyszám különféle megoldásai is.

– Fog indukció: Mivel a lengéscsillapítónk hengeres, ezért a fogak metszetszfűletei sugárirányban kifelé növekednek, tehát bennük az indukció csökken. Ezt kétféleképpen tehetjük hatékonyabbá. A fogvékonyításnál a fogakat sugárirányban kifelé folyamatosan vékonyíthatjuk, úgy, hogy keresztmetszetük ne változzon. Ez azt fogja eredményezni, hogy bennük az indukció konstans értékű lesz, és a hornyokban a tekercseknek nagyobb hely jut. Ez igen fontos szerepet játszik abban, hogy az erőhatás növekedjen. Amennyiben a fogak szerepét betöltő gyűrűket csupán megfelelően kialakított lapokkal helyettesítjük, akkor elegendő csupán a gyűrűk belső átmérőjével megegyező felületű fogakat kialakítani. Evvel jelentős súlycsökkentés érhető el és a gép hűtése is kedvezőbb lesz.

3 ÖSSZEGZÉS

Az optimalizálások azt az eredményt adták, hogy a hagyományos lengéscsillapító paramétereit - a speciális megoldások alkalmazásával és a megvalósíthatóságot is figyelembe véve - egy 60 mm átmérőjű és 0.5 mm légrésű csőmotorral el lehet érni, ami persze még hatékonyabbá tehető megfelelő lágyvas anyag választásával. Ez a mágneses rendszer azonban járműveken alkalmazva képes egyidejűleg a lengési energiát visszatáplálni a jármű villamos hálózatába, és a folyamatos vezérelhetőségnek köszönhetően gondoskodni az utasok komfortérzetének, illetve a menetstabilitásnak a növeléséről. Ezzel a rendszerrel felszerelt jármű sokkal kevésbé terheli az utakat, a szállított árut és a jármű futóművét is.

4 IRODALOMJEGYZÉK

- [1] K. Pawluk–W. Szczepanski: Lineáris Villamos Motorok, Műszaki Könyvkiadó, 1977.
- [2] Károly Simonyi: Elméleti Villamosságtan, Műszaki Könyvkiadó, 2000.
- [3] Yoshihiro Suda, Taichi Shiiba: “Study on Electromagnetic Damper for Automobiles with nonlinear Damping Force Characteristics”, Vehicle System Dynamics Supplement, vol. 41, 2004, pp. 637-646.
- [4] Jiabin Wang, David Howe, Geraint W. Jewell: “A General Framework for the Analysis and Design of Tubular Linear Permanent Magnet Machines”, IEEE Trans. on Magnetics, vol. 35, 1999, pp. 1986-2000.
- [5] Seok-Myeong Jang, Jang-Young Choi: “Analysis and Experimental Verification of Moving-Magnet Linear Actuator With Cylindrical Halbach Array”, IEEE Trans. on Magnetics, vol. 40, 2004, pp. 2068-2070.

Zádor István / Okleveles közlekedésmérnök; Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamos Energetika Tanszék, 1111. Bp. Műegyetem rkp. 3-9.; E-mail: zadoristvan@gmx.de

Falvy Bence / Okleveles Villamosmérnök; Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárművek Tanszék, 1111. Bp. Műegyetem rkp. 3-9.; E-mail: bence.falvy@auto.bme.hu

Horváth Dániel / Okleveles Villamosmérnök; Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamos Energetika Tanszék, 1111. Bp. Műegyetem rkp. 3-9.; E-mail: hdani@supertech.vgt.bme.hu

Dr. Vajda István / Egyetemi Tanár; Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamos Energetika Tanszék, 1111. Bp. Műegyetem rkp. 3-9.; E-mail: vajda@supertech.vgt.bme.hu