

Villanymotorok dinamikai jellemzőinek mérése

SZÍKI GUSZTÁV ÁRON, SZÁNTÓ ATTILA, SARVAJ CZ KORNÉL

University of Debrecen, szikig@eng.unideb.hu
University of Debrecen, szanto.attila93@gmail.com
University of Debrecen, sarvajcz@eng.unideb.hu

Korábbi publikációinkban [1, 2] ismertettük a MATLAB környezetben kifejlesztett járműdinamikai szimulációs programunkat, annak felhasználását villamos hajtású járművek műszaki paramétereinek optimalizálására, valamint részletesen bemutattuk a program részét képező soros gerjesztésű egyenáramú motor modelljét és szimulációját. Emellett ismertettük a kísérleti eljárást, amellyel a szimulációs program bemenő paramétereinek közül, a motor elektromágneses jellemzői meghatározhatók. A jelen publikációban a motor dinamikai jellemzőinek (forgórész tehetetlenségi nyomatéka, csapágy és kefe ellenállási nyomatékok) kísérleti meghatározásával foglalkozunk. A fenti elektromágneses és dinamikai jellemzők ismeretében elvégezhető a motor szimulációja, és a szimulációs eredmények összehasonlíthatók tesztmérések eredményeivel.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a Debreceni Egyetem Műszaki Karán jelentős erőfeszítéseket tettünk a tehetséggondozás területén [3,4,5,6]. A fenti tevékenység keretében Karunkon – oktatói irányítással – számos hallgatói csapat tevékenykedett, eredményesen szerepelve alternatív hajtású járművek számára rendezett versenyeknek (Shell Eco-marathon, Pneumobil verseny, MVM Energia Futam).

Az tartósan eredményes versenyzéshez – hasonlóan egyéb műszaki és tudományos területekhez [7,8,9,10] – fontos a folyamatos fejlesztés, felhasználva a dinamikai modellezés és szimuláció korszerű matematikai és számítástechnikai eszközeit. Ennek a fejlesztésnek részeként MATLAB környezetben kifejlesztettünk egy járműdinamikai szimulációs programot, amely alkalmas egy soros gerjesztésű egyenáramú motorral meghajtott jármű menetdinamikai függvényeinek (pl. gyorsulás-, sebesség- és út-időfüggvény) kiszámítására a jármű műszaki adataiból [11,12,13]. A fenti szimulációs programot felhasználva, egy szintén MATLAB alatt írt optimalizációs program segítségével, meghatározhatjuk azon optimális műszaki adatokat, amelyekkel a különböző versenyeken a legkedvezőbb menetdinamikai tulajdonságok érhetők el.

A járműdinamikai szimuláció kiemelten fontos része a soros gerjesztésű DC motor modellezése [1], és a modell alapján egy szimulációs program létrehozása. A program alkalmazásával, a motor alapvető elektromágneses és dinamikai jellemzőiből, kiszámítható annak fordulatszám, nyomatéka és a rajta átfolyó áram erőssége az idő függvényében.

Az elektromágneses és dinamikai jellemzők (az állórész és forgórész tekercseinek elektromos ellenállása és dinamikus öninduktivitása, a két tekercs kölcsönös dinamikus induktivitása, kefefeszültség, csapágy és kefe ellenállási nyomaték, forgórész tehetetlenségi nyomatéka) meghatározása esetünkben mérésel történik. Jelen közleményben a forgórész tehetetlenségi nyomatékának, valamint a csapágy és kefe ellenállási nyomatéknak a meghatározására kidolgozott kísérleti eljárást ismertetjük.

2. A forgórész tehetetlenségi nyomatékának meghatározása

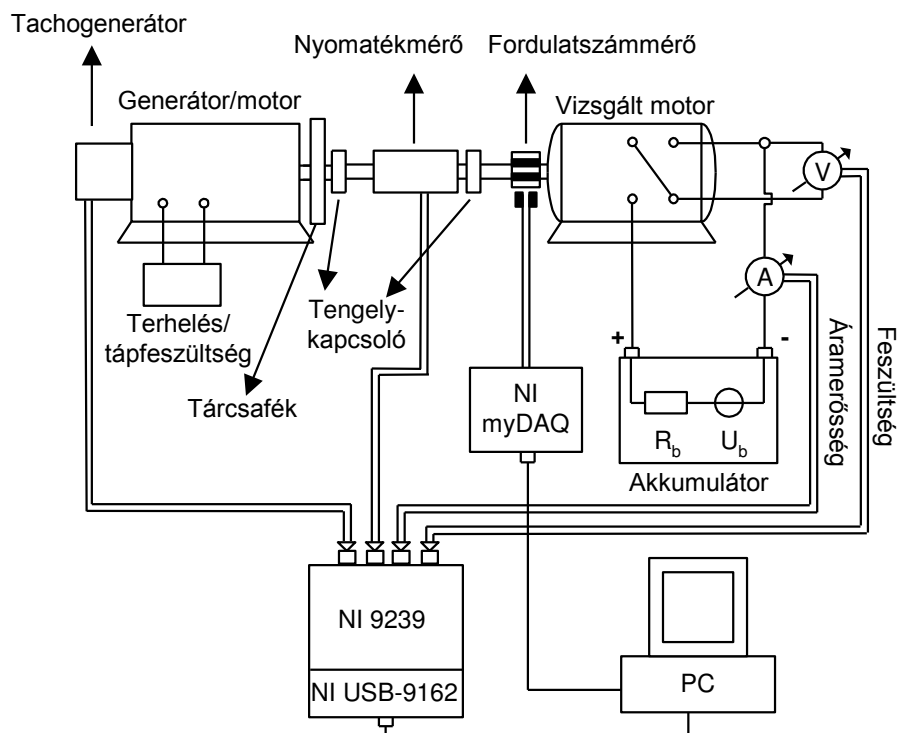
A tehetetlenségi nyomaték meghatározása lengetéssel

A tehetetlenségi nyomaték meghatározására az irodalomban több kísérleti módszer ismert. Vannak lengetési elven alapuló eljárások, amelyeknél egy fizikai vagy torziós inga lengésidejének mérésére vezetjük vissza a tehetetlenségi nyomaték meghatározását. Fizikai ingát úgy hozhatunk létre, hogy a motor forgórészéhez excentrikusan egy ismert tömegű, pontszerű súlyt rögzítünk, majd a rendszert lengésbe hozzuk. A forgórész lenghet a saját csapágya körül elfordulva, vagy a motorból kiszerveve, egy ideális élen gördülve [14]. Az ideális élen történő gördülés alkalmazásával a csapágy ellenállási nyomaték zavaró hatása kiküszöbölhető, így pontosabb mérési eredményekhez jutunk. Tehát a pontosabb mérések elvégzéséhez ki kell szerelnünk a forgórészt a motorból. A torziós ingánál a forgórészt torziós szálra függesztjük, és lengésbe hozzuk. Mindkét esetben (fizikai és torziós inga) a lengésidőből, valamint egyéb, a mérőrendszert jellemző adatokból határozzuk meg a tehetetlenségi nyomatékot. Hangsúlyozni kell, hogy mindkét módszer esetén – a mérések megfelelő pontosságú elvégzéséhez – a forgórészt ki kell szerelni a motorból.

Egy másik eljárás a kifutási kísérleten alapuló mérés. A módszer előnye, hogy a forgórészt nem kell kiszervezni a motorból, továbbá ugyanazon mérési elrendezéssel a csapágy és kefe ellenállási nyomatékok szintén kimérhetők. A módszer hátránya, hogy elvégzése összetett mérőrendszert igényel.

A tehetetlenségi nyomaték meghatározása kifutási kísérlettel

A méréseket elvégezhetjük az alábbi mérőrendszer alkalmazásával:



1. ábra. Mérőrendszer a kifutási kísérlethez

A mérések elvégzéséhez elvileg két különböző eljárást is alkalmazhatunk („A” és „B” verzió).

A mérés menete („A” verzió):

1. Egy külső motor segítségével – forgótengelyes nyomatékmérő és oldható tengelykapcsoló közbeiktatásával – egy adott fordulatszámig (pl. 4000 1/min) felpörgetjük a vizsgált motort. (A motorra ekkor nem adunk feszültséget.)
2. A felpörgetést diszkrét lépésekben (pl. 100 1/min) végezzük el, minden lépésnél leolvassva a nyomatékmérőt, amely által mutatott érték az adott fordulatszámon érvényes csapágy ellenállási nyomaték, vagy, ha a szénkefe rajta van a forgórészen, akkor a csapágy és kefe ellenállási nyomaték összege. A mérés eredményeként megkapjuk valamely említett nyomatékot a fordulatszám függvényében. ($M(n)$)
3. Az $M(n)$ függvényből meghatározzuk az $M(\omega)$ függvényt, ahol ω a motor szögsebessége rad/s egységben.
4. A maximális fordulatszámnál (pl. 4000 1/min) oldjuk a tengelykapcsolót, és hagyjuk a motort magától leállni. A leállás közben – például optikai elven – mérjük a forgórész fordulatszámát az idő függvényében ($n(t)$).
5. A fordulatszám-idő függvényből kiszámoljuk a forgórész szögsebesség-idő függvényét rad/s egységben. ($\omega(t)$)
6. Az $\omega(t)$ függvényt idő szerint deriváljuk, így megkapjuk a forgórész szöggyorsulás-idő függvényét ($\varepsilon(t)$).

7. Összetartozó $\varepsilon(t)$ és $M(\omega(t))$ értékekből – több pontban – kiszámítjuk a tehetetlenségi nyomaték értékét az alábbi összefüggés szerint:

$$J_{rot} = \frac{M(\omega(t))}{\varepsilon(t)}$$

8. Számítjuk a különböző J_{rot} értékek átlagértékét és szórását.

A módszer („A” verzió) hátránya, hogy a tengelykapcsoló azon részének tehetetlenségi nyomatékát, amely a motor tengelyén helyezkedik el „hozzámérjük” a forgórész tehetetlenségi nyomatékához. (Azaz a mért értéket korrigálni kell.)

A mérés menete („B” verzió):

1. Meghatározzuk az $M(\omega)$ függvényt az A verzió szerint. (Ekkor nem szükséges oldható tengelykapcsoló.)
2. A motort leszereljük a nyomatékmérőről, majd feszültséget kapcsolunk rá, és felpörgetjük egy adott fordulatszámig (pl. 4000 1/min). Ezt követően a feszültséget lekapcsoljuk, és hagyjuk a motort leállni. A leállás közben – például optikai elven – mérjük a forgórész fordulatszámát az idő függvényében ($n(t)$).
3. Innen az „A” verzió szerinti 5., 6., 7. és 8. lépéseket alkalmazzuk.

A „B” verzió esetén hátrányt jelent, hogy a mérőrendszert a két mérés között át kell szerelni, továbbá, hogy a motor felmágneseződhet, ami torzíthatja a mérési eredményeket. Előny jelent azonban, hogy a mérések elvégzéséhez nem kell oldható tengelykapcsolót alkalmazni.

Összefoglalás

A jelen közleményben villanymotorok dinamikai jellemzőinek mérésére ismertettünk eljárásokat. A forgórész tehetetlenségi nyomatékának kísérleti meghatározásához többféle, míg a tehetetlenségi, csapágy és kefe ellenállási nyomaték együttes méréséhez egy összetett eljárást, két különböző verzióban. Folyamatban van a korábbi mérőrendszerünk átalakítása, így az alkalmassá válik majd az összetett eljárás elvégzésére. Az átalakítás magában foglalja az optikai elven történő fordulatszám-mérés megvalósítását, új, korszerű nyomatékmérő és oldható tengelykapcsoló beépítését. A fejlesztések után tervezzük a mérések végrehajtását, és az eredmények kiértékelését, továbbá a meghatározott dinamikai jellemzők értékét beépítjük majd a járműdinamikai szimulációs programunkban.

Ezek után a továbbfejlesztett mérőrendszerrel – egy soros gerjesztésű, egyenáramú motoron – dinamikus tesztméréseket hajtunk majd végre, és a mérési eredményeket összevetjük a szimulációs eredményekkel. Az összehasonlítás visszajelzést ad a kísérleti eljárásunk pontosságára, valamint a szimulációs programunk megfelelő működésére.

Köszönetnyilvánítás



„Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”

Hivatkozások

- [1] Szíki, G., Sarvajcz, K., Kiss, J., Gál, T., Szántó, A., Gábora, A., Husi, G.: Experimental investigation of a series wound dc motor for modelling purpose in electric vehicles and mechatronics systems. *Measurement* 109, 111-118., 2017.
- [2] Szántó Attila, Dr. Szíki Gusztáv Áron, Hajdu Sándor, Gábora András, Sipos Kristóf Balázs (2018): Járműdinamikai szimuláció és optimalizáció, *Proceedings of the XXIII-RD International Conference of Young Engineers, Kolozsvár (2018)*, 219-222.
- [3] Gábora, A., Szíki, G., Szántó, A., Varga, T., Magyar, A., Balázs, D.: Prototípus elektromos tanulmányautó fejlesztése a Shell Eco-Marathon versenyre = Prototype battery electric car development for Shell Eco-Marathon competition. In: *A XXII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai = Proceedings of the XXII-th International Scientific Conference of Young Engineers / szerk. Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület (EME), Kolozsvár, 167-170, 2017.*
- [4] Juhász, G.: Szakmai versenyek az oktatás szolgálatában = Technical competitions for the education. In: *Proceedings of the 1st international scientific conference on advances in mechanical engineering (ISCAME 2013) : 10-11 October 2013, Debrecen, Hungary / szerk. Mankovits Tamás, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Debrecen, 74-78, 2013.*
- [5] Nagy-Kondor, R. (2011): Technical mathematics in the University of Debrecen. *Annales Mathematicae et informaticae*, 38, 157-167.
- [6] Nagy-Kondor, R. (2005): Special characteristics of engineering students' knowledge of functions: *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, 10, 1-9.
- [7] Krisztián Deák, Tamás Mankovits, Imre Kocsis: Optimal Wavelet Selection for the Size Estimation of Manufacturing Defects of Tapered Roller Bearings with Vibration Measurement using Shannon Entropy Criteria, *Strojnikivestnik - Journal of Mechanical Engineering Vol 63, No 1 (2017)*, pp. 3-14.
- [8] Krisztián Deák, Imre Kocsis: Support Vector Machine with Wavelet Decomposition Method for Fault Diagnosis of Tapered Roller Bearings by Modelling Manufacturing Defects, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 61(4), pp. 276-281, 2017.
- [9] Hajdu, S., Gáspár, P.: Reducing the Mast Vibration of Single-Mast Stacker Cranes by Gain-Scheduled Control. *Int. J. Appl. Math. Comp. Science* 26 (4), 791-802., 2016.

- [10] Hajdu, S., Gáspár, P.: From Modeling to Robust Control Design of Single-Mast Stacker Cranes. *Actapolytechn. Hung* 11 (10), 135-149., 2014.
- [11] Szántó Attila, Dr. Szíki Gusztáv Áron, Hajdu Sándor, Gábora András (2017): Simulation of a series wound DC motor in MATLAB environment, *Proceedings of the XXII International Conference of Young Engineers, Kolozsvár (2017)*, 367-370.
- [12] Szántó Attila, Dr. Szíki Gusztáv Áron, Hajdu Sándor (2016): Dynamic modelling of a race car driven by series wound DC motor, "Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban (2016)" *Conference Proceedings*: p.587-591.
- [13] Szíki Gusztáv Áron, Hajdu Sándor, Szántó Attila (2015): Vehicle Dynamics Modelling of an Electric Driven Race Car, In: Sándor Bodzás, Tamás Mankovits (editors) *Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2015)*, University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 208-217. (ISBN:978-963-473-917-3)
- [14] Dr. Ludvig Győző: *Gépek dinamikája*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1983.