

ELEKTROMOS MOTOROK VIZSGÁLATÁRA FEJLESZTETT MÉRŐRENDSZER HITELESÍTÉSE, KALIBRÁLÁSRA

VALIDATION AND CALIBRATION OF A MEASUREMENT SYSTEM FOR TESTING ELECTRIC MOTORS

Szántó Attila,¹ Garai Henrik András,² Ádámkó Éva,³ Sziki Gusztáv Áron⁴

¹ Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, szanto.attila@eng.unideb.hu

² Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, henrik.andras.garai@gmail.com

³ Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, adamko.eva@eng.unideb.hu

⁴ Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, szikig@eng.unideb.hu

Abstract

The authors have been dealing with the modelling and simulation of electric vehicles and motors for many years. Knowing their electromagnetic and dynamic characteristics is essential for the simulation of electric motors. These data have to be determined experimentally because the manufacturers usually do not provide them. In the last two years, we have designed and realised a measurement system for testing electric motors at the Faculty of Engineering of the University of Debrecen. In this publication, we present the validation and calibration of the individual components of the above system, the applied methods and procedures, and the obtained results.

Keywords: *measurement system, electric motor, validation, motor test bench, sensors.*

Összefoglalás

A szerzők már évek óta foglalkoznak elektromos járművek és motorok modellezésével és szimulációjával. Az elektromos motorok szimulációjához fontos ismerni a motor különböző elektromágneses és dinamikai jellemzőit. Ezek többségét a gyártók általában nem adják meg, így azokat kísérleti úton kell meghatározni. Az elmúlt két évben a Debreceni Egyetem Műszaki Karán egy saját fejlesztésű mérőrendszert valósítottunk meg. Jelen publikációban a fenti mérőrendszer egyes elemeinek a hitelesítését, kalibrálását, valamint az ehhez alkalmazott módszereket és a vizsgálatok során kapott eredményeket mutatjuk be.

Kulcsszavak: *mérőrendszer, elektromos motor, hitelesítés, motortesztpad, szenzorok.*

1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán már évek óta foglalkozunk elektromos járművek és motorok szimulációjával [1, 2]. Az elektromos motorok szimulációjához fontos ismerni a motor elektromágneses és dinamikai jellemzőit. Ezek többségét a gyártók általában nem adják meg, így kísérleti úton kell meghatározni őket. Erről a kutatási tevékenységünkről korábban több közleményünk is megjelent [3, 4]. Az elmúlt három év során egy saját fejlesztésű mérőrendszert hoztunk létre (1. ábra), amelynek részletes leírása az [5] közle-



1. ábra. A saját fejlesztésű mérőrendszer [5]

ményben olvasható. Jelen publikációban a fenti mérőrendszer egyes elemeinek a hitelesítését, kalibrálását, valamint az azokhoz alkalmazott módszereket és a vizsgálatok során kapott eredményeket mutatjuk be.

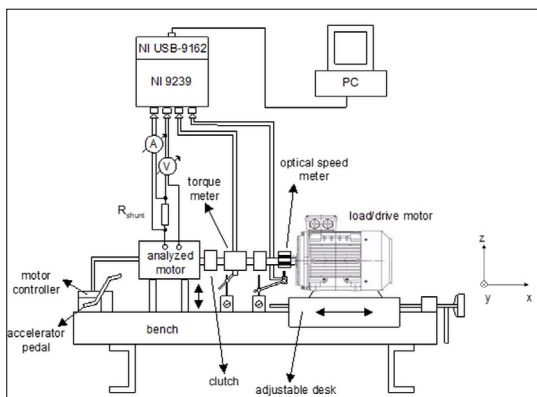
A vizsgálatok során először az optikai elven működő fordulatszámmerőt (2. ábra) hitelesítettük. Ehhez a mérőrendszer részét képező 2,2 kW teljesítményű, háromfázisú aszinkron motor fordulatszámát mértük, miközben azt meghajtómotorként üzemeltettük. Itt meg kell jegyezni, hogy a motor üzemelhet meghajtómotorként, ha egy frekvenciaváltó alkalmazásával háromfázisú váltóárammal, vagy terhelőmotorként, ha szabályozott egyenárammal tápláljuk. A hitelesítéshez egyrészt magát a mérőrendszerbe épített frekvenciaváltót, másrészt egy mágneses indukciós elven alapuló saját készítésű eszközt, harmadrészt egy kézi, optikai elven működő fordulatszámmerőt használtunk.

Egy második vizsgálat során meghatároztuk a terhelőmotorként üzemeltetett, háromfázisú aszinkron motoron átfolyó egyenáram erősségének és az általa kifejtett terhelőnyomatéknak a kapcsolatát.

A harmadik vizsgálat során megmértük a mérőrendszerünkben terhelő ellenállásként alkalmazott nagy teljesítményű indító ellenállás teljes elektromos ellenállását.

2. Az optikai fordulatszámmerő hitelesítése

A mérőrendszerben a fordulatszám mérése egy ROS-P, Monarch Instrument-típusú optikai LED szenzorral történik, amely 6V egyenáramról üzemel, és a kimenetén 6V vagy 0V nagyságú feszültségjelet ad ki, attól függően, hogy a fénysu-



2. ábra. A mérőrendszer sematikus rajza [5]

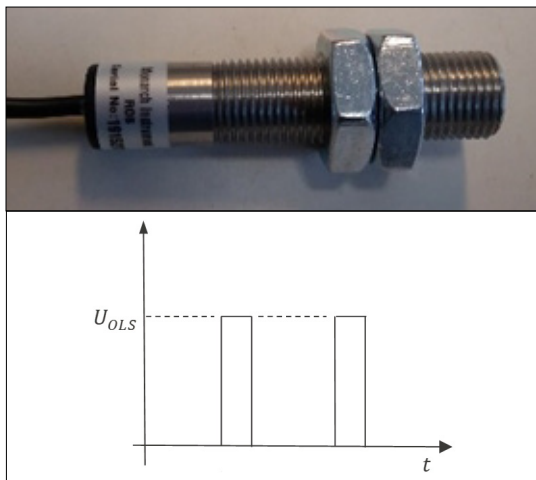
gár visszaverődik-e a forgó felületen (pl. a motor tengelyén) elhelyezett fóliacsíkról a szenzorba vagy sem. A szenzor által maximálisan mérhető fordulatszám 250 000 min⁻¹, de több fényvisszaverő csík használata esetén ez az érték arányosan csökken. Az említett fordulatszámmerő eszköztől készült fotó és annak kimenetifeszültség-jelei a 3. ábrán láthatók. [5]

A kimenetifeszültség-jeleket egy, a kutatócsoportunk által NI LabVIEW-környezetben kifejlesztett program [6] számolja, és egyben kiszámítja a szögsebességet a felragasztott csíkok (N_strip) és egy rövid Δt idő alatt észlelt feszültségjelek (N_signal) számából, a következő összefüggéssel [5]:

$$\omega = \frac{2\pi}{\Delta t} \cdot \frac{N_{\text{signal}}}{N_{\text{strip}}} \quad (1)$$

Az eszköz hitelesítését több független eljárással is elvégeztük:

- A frekvenciaváltón beállított és kijelzett értékkel összehasonlítva.
- Egy saját készítésű, mágneses indukció elvén működő eszköz alkalmazásával: egy állandó mágnest rögzítünk a motor tengelyére, amely elhalad egy tekercs előtt, így abban minden fordulaton feszültséget indukál. A tekercs kivezetéseit az NI 9239 analóg-digitál feszültségmodulba csatlakoztatjuk, amely méri az indukált feszültséget az idő függvényében. Egy adott időtartam alatt keltett feszültségjelek számából meghatározható a fordulatszám, amelyet összehasonlítottunk az optikai eszközzel mért fordulatszámmal.



3. ábra. Az optikai LED szenzorról készült fotó és annak kimenetifeszültség-jelei [5]

– Optikai elven működő, kézi fordulatszámmerő eszközzel (típus: DT2234C+, mérési tartomány: 2,5-99999 RPM, pontosság: $\pm 0,05\% + 1$ digit).

Az **1. táblázat** a különböző eljárásokkal mért fordulatszámokat tartalmazza:

1. táblázat. A mért fordulatszámok

A frekvencia-váltón beállított értékek:	5 Hz (300 min^{-1})	10 Hz (600 min^{-1})	20 Hz (1200 min^{-1})	30 Hz (1800 min^{-1})	40 Hz (2400 min^{-1})	50 Hz (3000 min^{-1})
Az optikai LED szenzorral mért érték (min^{-1})	291	585	1187	1789	2390	2983
A mágneses indukciós elven mért érték (min^{-1})	291	587	1188	1788	2390	2992
A kézi optikai fordulatszám-mérővel mért érték (min^{-1})	292	587	1187	1789	2390	2991

A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a frekvenciaváltó által beállított fordulatszámértékek általában magasabbak az egyéb eljárások alkalmazásával kapott értékeknél. A frekvenciaváltó értékei 0,01 Hz pontossággal állíthatók. A három másik eljárással mért fordulatszámok egymással jó egyezést mutatnak. Itt meg kell jegyezni, hogy az optikai elven történő mérés csak akkor működik tökéletesen, ha a felületre ragasztott fényvisszaverő csík teljesen elkülönül a felülettől. A túl fényes vagy egyenetlen felület könnyen megzavarja az érzékelőt. Természetesen az általunk végzett méréseknél erre figyeltünk.



4. ábra. A terhelő ellenállás [5]

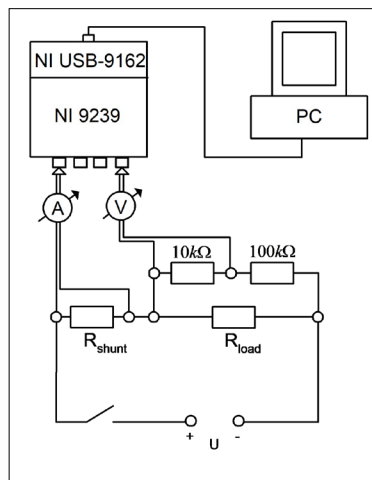
A legnagyobb relatív eltérés 0,5 %-on belüli, így megállapítható, hogy mindhárom eljárás alkalmas a fordulatszám megfelelő pontosságú mérésére. Az optikai fordulatszámmerés előnye, hogy a legkisebb módon sem befolyásolja a vizsgált forgó test mozgását.

3. A terhelő ellenállás értékének meghatározása

A terhelő ellenállás egy nagy teljesítményű, vilamosokban használt indító ellenállás (**4. ábra**). A feltekercselt ellenálláshuzalok 8 db különálló lapra vannak felszerelve, ezek a lapok pedig a mérőrendszer alapjához rögzítve 4 db menetes szár segítségével. Célunk a teljes rendszer elektromos ellenállásának meghatározása volt. Ez a maximálisan alkalmazható terhelő ellenállás értéke, amelyet igény szerint csökkenteni tudunk.

A rendszer teljes ellenállásának mérése (**5. ábra**), mivel relatíve nagy érték, digitális multiméter alkalmazásával kivitelezhető. A rendszer egyes kisebb részellenállásainak mérése esetén az alábbi mérőelrendezés alkalmazása javasolt. Mérjük a részellenálláson eső feszültséget, a rajta átfolyó áramerősséget pedig egy söntellenálláson mért feszültségből határozzuk meg. A mért feszültség és áramerősség hányadosa megadja a keresett elektromos ellenállás értékét.

A mérés alapján a teljes rendszer terhelő ellenállásának értéke 7,2 Ω . A nagy teljesítményű terhelő ellenállás alkalmazásának előnye, hogy nagy áramerősségek mellett is csak elhanyagolható mértékben melegszik.



5. ábra. Mérőelrendezés az alacsony értékű terhelő ellenállások méréséhez

4. A terhelőmotor által kifejtett forgatónyomaték és a rajta átfolyó áramerősség kapcsolatának meghatározása

Ha az aszinkron motort terhelőmotorként üzemeltetjük, akkor arra egyenáramot kapcsolunk, amelynek erősségét a mérőrendszer vezérlőpultjáról tudjuk szabályozni. Az áramerősség növelésével a motor terhelőnyomatéka arányosan növekszik. Viszont arra figyelni kell, hogy tartósan ne lépje túl az áramerősség értéke a motor névleges áramerősségét, mivel akkor a motor károsodhat. Ez határt szab a maximálisan előállítható terhelőnyomatéknak.

A célunk az volt, hogy meghatározzuk, hogy a különböző áramerősségekhez mekkora terhelőnyomaték tartozik. A vizsgálatok során a terhelőmotort egy forgótengelyes nyomatékmérőn keresztül összekapcsoljuk egy másik motorral, amelyet meghajtottunk (2. ábra). Ezt követően kis lépésekben növeljük a terhelőmotoron átfolyó áram erősségét, és minden egyes áramerősség esetén leolvassuk a forgótengelyes nyomatékmérő által mutatott értéket. Ezáltal meg tudjuk határozni a terhelőmotor nyomaték-áram karakterisztikáját.

Sajnos, a nyomatékmérő meghibásodása miatt a méréseket a későbbiekben tudjuk csak elvégezni.

5. Következtetések

Az ismertetett vizsgálatok során egyrészt két független eljárással hitelesítettük a mérőrendszerünkbe épített optikai elven működő fordulatszámérőt. A különböző eljárásokkal mért fordulatszámok relatív eltérése kisebb volt, mint 0,5%. Így az általunk telepített eszköz megfelelő pontossággal alkalmazható elektromos motorok fordulatszámának mérésére a vizsgált 0–3000 min⁻¹ fordulatszám-tartományban.

A terhelő ellenállásként alkalmazott indító ellenállás teljes elektromos ellenállását is meghatá-

roztuk, valamint eljárást adtunk az egyes részellenállásainak pontos mérésére.

Szintén eljárást adtunk a terhelőmotor áram-terhelőnyomaték karakterisztikájának mérésére, de sajnos, a nyomatékmérő meghibásodása miatt a méréseket csak egy későbbi időpontban fogjuk majd elvégezni.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-3 kódszámú új nemzeti kiválóság programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Szántó A., Hajdu S., Sziki G. Á.: *Dynamic Simulation of a Prototype Race Car Driven by Series Wound DC motor in Matlab-Simulink*. Acta Polytech. Hung. 17/4. (2020) 103–122.
- [2] Sziki G. Á., Szántó A., Mankovits T.: *Dynamic Modelling and Simulation of a Prototype Race Car in MATLAB/Simulink Applying Different Types of Electric Motors*. International Review of Applied Sciences and Engineering, 12/1. (2021) 57–63.
- [3] Sziki G. Á., Sarvajcz K., Kiss J., Gál T., Szántó A., Gábora A., Husi G.: *Experimental Investigation of a Series Wound Dc Motor for Modeling Purpose in Electric Vehicles and Mechatronics Systems*. Measurement, 109. (2017) 111–118.
- [4] Szántó A., Kiss J., Mankovits T., Sziki G. Á.: *Dynamic Test Measurements and Simulation on a Series Wound DC Motor*. Applied Sciences, 11/10. (2021) 4542.
- [5] Sziki G. Á., Szántó A., Kiss J., Juhász G., Ádámkó É.: *Measurement System for the Experimental Study and Testing of Electric Motors at the Faculty of Engineering University of Debrecen*. Applied Sciences, 12/19. (2022) 10095.
- [6] Ádámkó É., Szántó A., Sziki G. Á.: *Software Developments for an Electric Motor Test Bench Developed at the Faculty of Engineering of the University of Debrecen*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1237/1. (2022) 012012.