

Üresjáratú áramfelvétel vizsgálata BLDC motorral hajtott akkumulátoros sövényvágó hajtásláncában

Investigation of the No-Load Current Consumption of a BLDC Motor Driven Hedge Trimmer Drive System

SIKTÁR Bálint¹, DR. KAKUK József², DR. HEGEDŰS György³

¹PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, 3515 Miskolc-Egyetemváros, balint.siktar@student.uni-miskolc.hu

²Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros jozsef.kakuk@uni-miskolc.hu

³Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros, gyorgy.hegedus@uni-miskolc.hu

Abstract

Brushless DC motors (BLDC) are increasingly used in the drive systems of modern battery-powered garden machines, which are suitable for driving portable devices due to their high efficiency and favorable dynamic properties. In such systems, the energy consumption of the drive chain is particularly important, since it affects the battery operating time. The aim of this research is to investigate a battery-powered hedge trimmer with a BLDC motor across different mechanical drive systems. During the measurements, the time function of the motor current consumption was recorded with different drive chain structures. During the tests, four configurations were analyzed: the motor alone, the motor with a gear transmission, the motor with a gear and eccentric discs, and the entire drive chain with the cutting mechanism. Based on the measured results, the effect of individual mechanical elements on the motor's load and energy demand can be determined. The results show that the mechanical components of a drive chain significantly affect motor current consumption, especially during the starting phase. The tests contribute to improving the energy efficiency of similar drive systems and optimizing the mechanical design.

Keywords: BLDC motor, battery drive, hedge trimmer drivetrain, current consumption measurement, energy efficiency

Kivonat

A korszerű akkumulátoros kerti gépek hajtásrendszereiben egyre gyakrabban alkalmaznak kefémentes egyenáramú motorokat (BLDC), amelyek nagy hatásfokuk és kedvező dinamikai tulajdonságaik miatt alkalmasak hordozható eszközök meghajtására. Az ilyen rendszerek esetében különösen fontos a hajtáslánc energiafelhasználásának vizsgálata, mivel az közvetlenül befolyásolja az akkumulátoros üzemidőt. A jelen kutatás célja egy BLDC motorral hajtott akkumulátoros sövényvágó hajtásrendszerének vizsgálata különböző mechanikai konfigurációk esetén. A mérések során a motor áramfelvételének időfüggvénye került rögzítésre a hajtáslánc különböző felépítése mellett. A vizsgálatok során négy konfiguráció került elemzésre: a motor önmagában, a motor fogaskerék áttétellel, a motor fogaskerékkel és excentertárcsákkal, valamint a teljes hajtáslánc a vágómechanizmussal. A mért eredmények alapján meghatározható az egyes mechanikai elemek hatása a motor terhelésére és energiaigényére. Az eredmények azt mutatják, hogy a hajtáslánc mechanikai elemei jelentős mértékben befolyásolják a motor áramfelvételét, különösen az indítási szakaszban. A vizsgálatok hozzájárulhatnak a hasonló hajtásrendszerek energiahatékonyságának javításához és a mechanikai konstrukció optimalizálásához.

Kulcsszavak: BLDC motor, akkumulátoros hajtás, sövényvágó hajtáslánc, áramfelvétel mérés, energiahatékonyság

1. BEVEZETÉS

A korszerű akkumulátoros kéziszerszámok és kerti gépek hajtásrendszereiben egyre gyakrabban alkalmaznak kefémentes egyenáramú motorokat (BLDC). Ezek a motorok a hagyományos kefé motorokhoz képest magasabb hatásfokot, hosszabb élettartamot és kedvezőbb dinamikai tulajdonságokat biztosítanak, ezért

széles körben használják őket elektromos járművekben, ventilátorokban, ipari hajtásokban és hordozható eszközökben. A BLDC motorok működésének alapvető jellemzője, hogy a rotoron elhelyezett állandó mágnesek hozzák létre a gerjesztő mágneses teret, míg a tekercselés az állórészben található. Ennek következtében a hagyományos mechanikus kommutátor helyett elektronikus kommutátor alkalmazása szükséges, amely a rotor helyzetének megfelelően kapcsolja a állórész tekercseit [1]. A BLDC motorok széles körben elterjedtek különböző villamos hajtásokban, mivel nagy hatásfokkal, gyors dinamikai válasszal és alacsony karbantartási igényvel rendelkeznek. Ezek a tulajdonságok különösen fontosak olyan alkalmazásokban, ahol széles fordulatszám- és nyomatéktartomány szükséges, például elektromos járművek vagy ipari hajtások esetében [2]. A korszerű villamos hajtások fejlesztése során kiemelt szerepet kap a motorok pontos modellezése és paramétereinek meghatározása, mivel ezek alapvetők a rendszer teljesítményének és energiahatékonyságának optimalizálásában. A megfelelő motorparaméterek meghatározása különösen fontos az elektromos járművek hajtásrendszereinek tervezésekor, ahol a nyomaték- és teljesítményigények szorosan kapcsolódnak a jármű dinamikai követelményeihez [3]. A BLDC motorok vezérlésének és hatásfokának javítása szintén aktív kutatási terület. A szakirodalomban számos módszert javasoltak az energiahatékonyság növelésére, például szenzor nélküli vezérlési stratégiák, valamint különböző áramalakok alkalmazását. Egyes kutatások szerint a szinuszos áramvezérlés alkalmazása csökkentheti a veszteségeket és javíthatja a motor hatásfokát bizonyos működési tartományokban [4]. A BLDC motorok működésének vizsgálatában fontos szerepet játszanak a különböző mérőrendszerek és kísérleti berendezések, amelyek lehetővé teszik a motor dinamikus és állandósult állapotú jellemzőinek meghatározását. Az ilyen kísérleti rendszerek segítségével vizsgálható például a nyomaték, a fordulatszám és az áramfelvétel alakulása különböző terhelési körülmények között [5]. A BLDC motorok vezérlésének optimalizálása és az energiafelhasználás csökkentése fontos kutatási terület. A szakirodalomban számos módszer található a motor működésének javítására, például fejlett áram- és sebességszabályozási algoritmusok, illetve robusztus vezérlési módszerek alkalmazása [6].

A hordozható elektromos szerszámok és kerti gépek esetében különösen fontos a hajtásrendszer energiahatékonysága, mivel az üzemidőt közvetlenül befolyásolja az energiafelhasználás mértéke. Ezért a hajtáslánc különböző elemeinek mechanikai és villamos veszteségeinek vizsgálata kulcsfontosságú a rendszer optimalizálása szempontjából. A jelen munka célja egy akkumulátoros sövényvágó hajtásrendszerének vizsgálata BLDC motor alkalmazása mellett. A kutatás során a hajtáslánc különböző konfigurációi kerültek vizsgálatra az üresjáratú áramfelvétel mérésével. A mérések célja annak meghatározása volt, hogy a hajtásrendszer egyes elemei milyen mértékben befolyásolják a motor áramfelvételét és a rendszer energiaigényét.

2. A VIZSGÁLT HAJTÁSRENDSZER

A vizsgálatok során egy akkumulátoros sövényvágó hajtásrendszere került elemzésre, amit egy BLDC motorral szereltek. A motor forgómozgását egy fogaskerék-áttétel továbbítja a mechanikus hajtáslánc felé, amely excentertárcsák segítségével alakítja át a forgómozgást alternáló mozgássá. Ez a mozgás működteti a vágómechanizmust. A hajtáslánc különböző elemeinek hatását a motor áramfelvételére több konfigurációban vizsgáltuk. A mérések során a rendszer fokozatosan került felépítésre, így lehetővé vált az egyes mechanikai elemek hatásának külön-külön történő vizsgálata. Az akkumulátor 36 [V] tápfeszültséget biztosít a BLDC motornak, így a működtetéshez szükséges P [W] villamos teljesítmény a

$$P = U \cdot I \quad (1)$$

összefüggéssel számítható, ahol U [V] a tápfeszültség értéke, I [A] pedig a felvett áram. A sövényvágó vezérlése a feszültséget közel állandó értéken tartja, azonban ez az akkumulátor merülésével idővel csökken. A vizsgált konfigurációk a következők voltak: kizárólag a BLDC motor, BLDC motor fogaskerék áttétellel, BLDC motor fogaskerékkel és excentertárcsákkal, teljes hajtáslánc a vágómechanizmussal. Az ilyen típusú hajtások esetében különösen fontos a rendszer energiahatékonysága, mivel az akkumulátoros működés miatt az energiafelhasználás közvetlenül befolyásolja az üzemidőt. A BLDC motorok nagy hatásfokuk miatt gyakran alkalmazott megoldások hordozható eszközökben és elektromos szerszámokban.

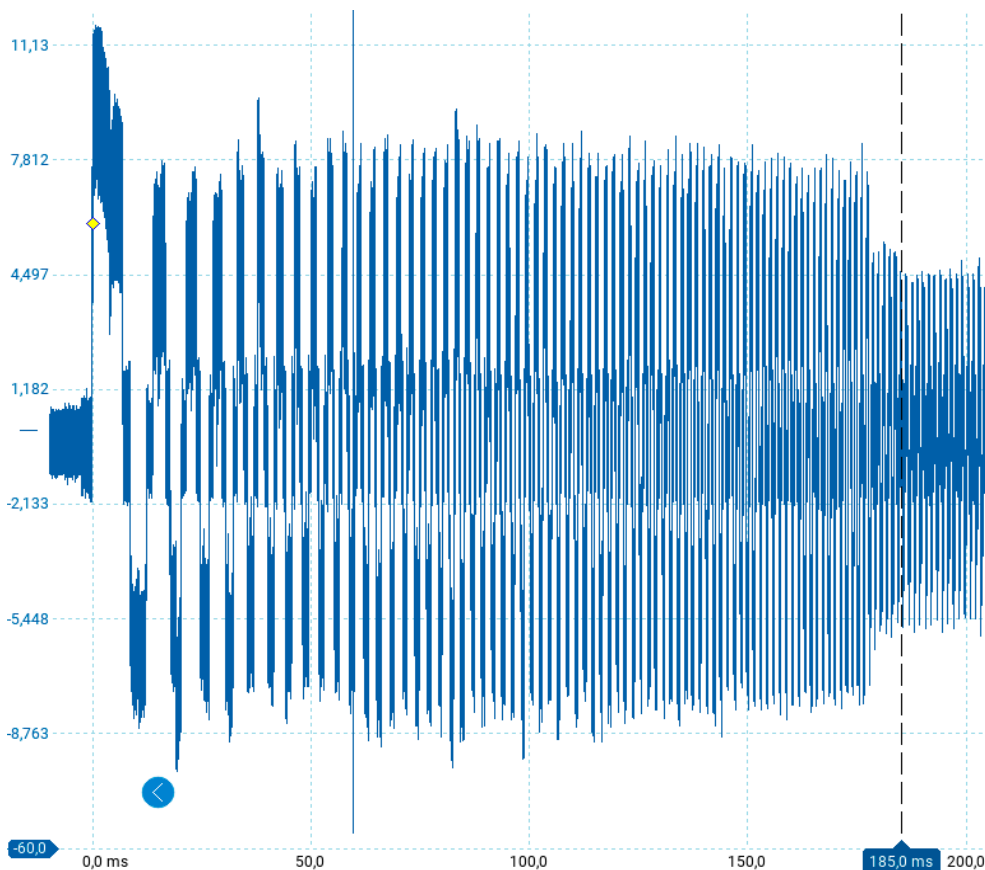
3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mérési eredmények 1. – 4. ábráin csak a motor indulási szakaszainak eredményei kerülnek ábrázolásra, melynek oka, hogy amennyiben a teljes mérés kerülne ábrázolásra, a kapott ábrák túlságosan szélesek lennének, így nehézkessé téve az átlátható megjelenítést. A mérések során a sövényvágó kefenélküli egyenáramú motorjának (*Brushless Direct Current - BLDC*) egyik tekercsén keresztül folyó áram került mérésre a

fázisvezetéken keresztül, amely a hajtáslánc terhelésváltozásainak összehasonlító vizsgálatára alkalmas indikátorként szolgált. A mérés egy PICO gyártmányú TA167 lakatfogóval, a mért adatok feldolgozása egy PICO gyártmányú Picoscope 6824E oszcilloszkóppal történt. Az adatok kiértékelésére a Picoscope 7 T&M szoftverben került sor. A mintavételi frekvencia 20 [kHz] volt.

3.1. A BLDC motor önálló áramfelvétele

A kizárólag a BLDC motort tartalmazó konfiguráció esetén mért áramfelvétel időfüggvénye az 1. ábrán látható. Az ábra a motor indítási szakaszának és az állandósult üzemállapot kialakulásának jellegzetes lefutását szemlélteti.

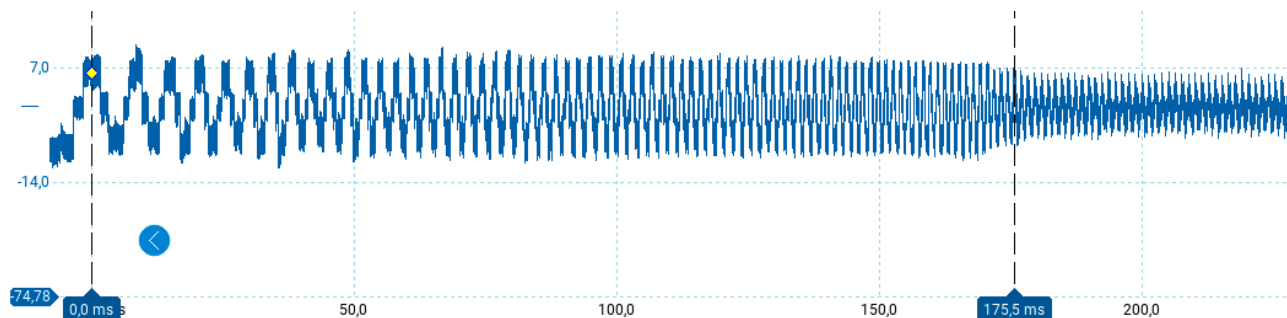


1. ábra. A motorhoz tartozó üresjárati áramfelvétel

Az indítási szakaszban, mely 185 [ms]-ig tart az áramfelvétel átlagos értéke 4,425 [A], állandósult állapotban 1,706 [A]. A mérést az indítási szakaszban egy külső zaj zavarta meg, ez magyarázza a 61,3 [ms]-nál található 33,3 [A] értékű csúcs.

3.2. A fogaskerékkel bővített hajtáslánc áramfelvétele

A fogaskerék-átvétellel kiegészített hajtáslánc esetén mért áramfelvétel időfüggvénye a 2. ábrán látható. Az ábra a motor indítását követő tranziens szakaszt, valamint az állandósult működés kialakulását mutatja.

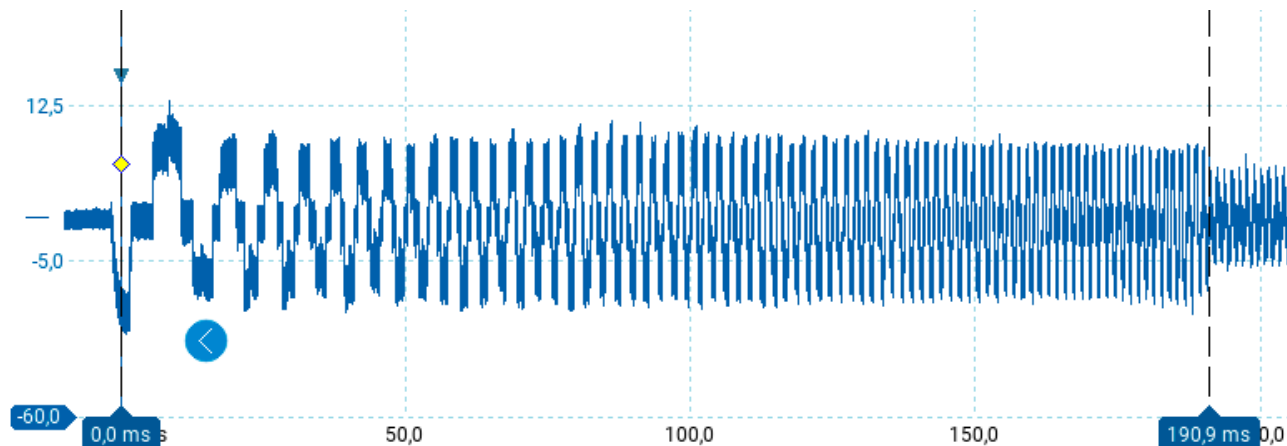


2. ábra. A motorhoz és a fogaskerék együtteséhez tartozó üresjárati áramfelvétel

Az indítási szakaszban, mely 175,5 [ms]-ig tart az áramfelvétel átlagos értéke 4,477 [A], állandósult állapotban 1,755 [A]. Látható, hogy a fogaskerék beszerelésével az áramfelvétel nem nő jelentősen.

3.3. Az excentertárcsákkal kiegészített hajtáslánc áramfelvétele

A fogaskerék és az excentertárcsák beépítésével kialakított hajtáslánc esetén mért áramfelvétel időfüggvénye a 3. ábrán látható. Az ábra jól szemlélteti a rendszer indítási viselkedését és az állandósult áramérték kialakulását.

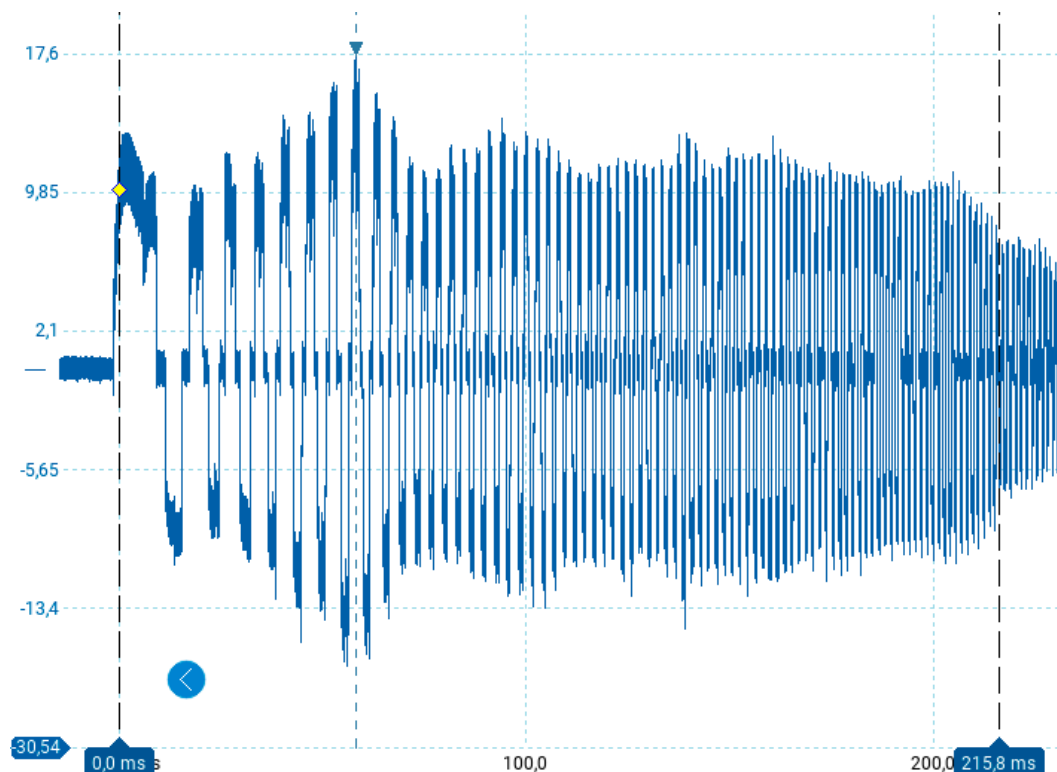


3. ábra. A motorhoz, a fogaskerék és az excentertárcsák együtteséhez tartozó üresjárati áramfelvétel

Az indítási szakaszban, mely 190,9 [ms]-ig tart az áramfelvétel átlagos értéke 5,223 [A], állandósult állapotban 1,76 [A]. Megállapítható, hogy az excenterek beszerelésével az áramfelvétel továbbra sem emelkedik számottevően.

3.4. A teljes hajtásláncot tartalmazó verzió áramfelvétele

A teljes hajtásláncot – beleértve a vágómechanizmust – tartalmazó konfiguráció esetén mért áramfelvétel időfüggvénye a 4. ábrán látható. Az ábra a rendszer indítási szakaszát és az állandósult működés során kialakuló áramértékeket mutatja.



4. ábra. A teljes hajtáshoz tartozó üresjárati áramfelvétel

Az indítási szakaszban, mely 215,8 [ms]-ig tart az áramfelvétel átlagos értéke 7,531 [A], állandósult állapotban 3,1 [A]. Látható, hogy a pengében található pálya és az excentertárcsa kapcsolódó felületei között jelentkező súrlódás hatására számottevően emelkedik a tekercsen keresztül folyó áram értéke.

A vizsgált hajtáslánc-konfigurációk üresjáratú áramfelvétele

1. táblázat

Vizsgált konfiguráció	Indítási szakasz időtartama [ms]	Indítási szakasz átlagos áram [A]	Állandósult áram [A]
Csak BLDC motor	185	4,425	1,706
Motor + fogaskerék	175,5	4,477	1,755
Motor + fogaskerék + excentertárcsák	190,9	5,223	1,76
Teljes hajtáslánc (pengével)	215,8	7,531	3,1

Az 1. táblázat eredményei alapján megállapítható, hogy a hajtáslánc egyes elemeinek fokozatos integrálása növeli a motor terhelését, amely az indítási és az állandósult áramértékek növekedésében is megfigyelhető. A fogaskerék-áttétel hatása az áramfelvételre viszonylag kismértékű, ami arra utal, hogy a fogaskerék kapcsolat mechanikai veszteségei korlátozottak. Ezzel szemben az excenter mechanizmus és a vágómechanizmus jelentősebb többletterhelést okoz, amely elsősorban a csúszó érintkezésekből származó súrlódási veszteségeknek és a növekvő tehetetlenségi hatásoknak tulajdonítható.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok során egy akkumulátoros sövényvágó hajtásrendszerének üresjáratú áramfelvétele került elemzésre különböző hajtáslánc-konfigurációk esetén. A mérések alapján megállapítható, hogy a hajtáslánc egyes elemeinek beépítésével a motor áramfelvétele fokozatosan növekszik.

A kizárólag a motort tartalmazó konfiguráció esetén a legkisebb áramfelvétel volt megfigyelhető, míg a teljes hajtáslánc alkalmazása jelentős növekedést eredményezett mind az indítási, mind az állandósult üzemi állapotban. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a fogaskerék áttétel hatása az energiafelhasználásra viszonylag kismértékű, míg az excenter mechanizmus és a vágómechanizmus jelentősebb többletterhelést okoz.

A mérési eredmények alapján a hajtáslánc energiaigényének jelentős része a mechanikai elemekből származó veszteségekre vezethető vissza. A vizsgálatok eredményei hozzájárulhatnak a hasonló hajtásrendszerek energiahatékonyságának javításához és a hajtáslánc optimalizálásához akkumulátoros eszközök esetében.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A C2263193 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] A. Sikora, A. Zielonka, and M. Woźniak, *Minimization of Energy Losses in the BLDC Motor for Improved Control and Power Supply of the System under Static Load*, *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 1058, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22031058>.
- [2] J. Karthikeyan and R. Dhana Sekaran, *Current control of brushless dc motor based on a common dc signal for space operated vehicles*, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 33, no. 10, pp. 1721–1727, Dec. 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.08.014>.
- [3] C. Huang, F. Lei, X. Han, and Z. Zhang, *Determination of modeling parameters for a brushless DC motor that satisfies the power performance of an electric vehicle*, *Measurement and Control*, vol. 52, no. 7–8, pp. 765–774, May 2019, doi: <https://doi.org/10.1177/0020294019842607>.
- [4] J. De Viaene, F. Verbelen, S. Derammelaere, and K. Stockman, *Energy-efficient sensorless load angle control of a BLDC motor using sinusoidal currents*, *IET Electric Power Applications*, vol. 12, no. 9, pp. 1378–1389, Nov. 2018, doi: <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2018.5059>.
- [5] T. Yuan, J. Chang, and Y. Zhang, *Research on the Current Control Strategy of a Brushless DC Motor Utilizing Infinite Mixed Sensitivity Norm*, *Electronics*, vol. 12, no. 21, p. 4525, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12214525>.
- [6] A. Yurtsever, A. Goren, K. Tural, Y. Dag, and H. Uysal, *Experimental Test Setup and Performance Tests of A Brushless Direct Current In-Wheel Motor*, *Measurement: Energy*, p. 100090, Mar. 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.meane.2026.100090>.