

Elektronikus kommutációjú motorok kisteljesítményű villamos járművekben

DR. NAGY LÓRÁNT BMF Kandó Kálmán Villamosmérnöki Főiskola Kar Automatika Intézet
KNERCZER GYULA BMF Kandó Kálmán Villamosmérnöki Főiskola Kar Automatika Intézet

Kivonat – Jó hatásfokuk, megbízhatóságuk (kis karbantartás-igényük) miatt az akkumulátorról táplált kefenélküli, állandómágnessel gerjesztett forgórészű motorral kialakított villamos hajtások jól használhatók kis teljesítményű villamos járművekben. A cikk a fejlesztéseink eredményeit és gyakorlati tapasztalatainkat ismerteti. A leggazdaságosabb megoldásnak a “trapéz mezejű, négyszögáramos” motort találtuk. Az egyre olcsóbbá váló, gyors DSP-k (Digitális jelfeldolgozó processzor) új lehetőségeket kínálnak a hajtások digitális irányítására.

I. Bevezetés

Az elmúlt 10...15 évben számos elektronikus kommutációjú motorral mozgatott villamos jármű (robogó, kerekesszék mozgássérülteknek, golf autó, bi- és triciklik) hajtásrendszerét fejlesztettük ki a Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Automatika Intézetében.



1. ábra
Az “ELGO” fantázianevelű villamos robogó

A legkorábbi hajtásunkat az *1. ábrán* látható, “ELGO” fantázianevelű háromkerekű robogóba építettük be. A két 12 V-os akkumulátorról táplált EC (Electronically Commutated) motor fogazottsíj áttételen keresztül hajtja a kormányval elfordítható első kereket. A jármű előre- és hátramenetben is üzemelhet, de az irányváltás csak akkor lehetséges, ha a robogó áll, vagy a sebesség egy adott érték alá csökken. A mechanikus fékeken kívül visszatápláló villamos fékezés is segíti a megállást. A robogó mindhárom kereke rúgózott. Összehajtogatott állapotban az EV (Electric Vehicle) egy gépkocsi csomagtartójában is elfér.

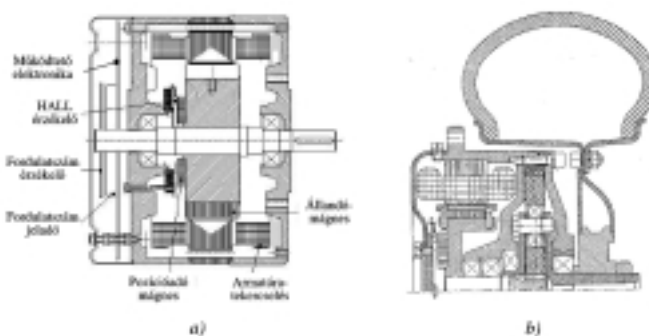
A robogó maximális sebességét fogazottsíj áttétellel, illetve a meghajtomotor tekercselési adataival tudjuk beállítani. Természetesen lehetőség van a sebesség maximális értékének villamos

korlátozására is. Az EV-eket 6...25 km/h közötti sebességekkel próbáltuk ki, a mozgássérültek részére készülő változat sebessége – a kerekesszékekre vonatkozó előírások figyelembevételével – 6 km/h-ra korlátozott. A kormányon található, több változatban elkészült mikroszámítógépes egység méri és kijelzi az akkumulátor töltöttségi állapotát, a sebességet, az üzembe helyezés- valamint az akkumulátor két töltése között megtett utat. A közlekedést segítik az elülső-, a fék-, valamint irányjelző lámpák. Szükség esetén hangjelzéssel figyelmeztethet a jármű kezelője.

II. Járműhajtás megoldások

A járművek hajtására kifejlesztett motorok felépítése nagyon változatos: beépített-, vagy palástra ragasztott mágnes; radiális-, vagy axiális fluxussal kialakított vasmagos, ill. vasmag nélküli armatúratekercseléses megoldás. A *2a ábra* az EV-ket mozgató motorok fogazottsíj hajtásra alkalmas változatát mutatja. A *2b ábrán* kerekégyba szerelhető hajtóműves motor látható. Az elektronikus kommutációjú motorok alkalmazásában megfigyelhető tendencia a nagy fordulatszámú motorok beépítése a motor és a jármű tömegének csökkentése érdekében. Ezekben az esetekben a motorral egybeépített, bolygókeres hajtómű csökkenti a fordulatszámot, ill. növeli a nyomatékot a kívánt mértékre. Megoldásainknál a beépített hajtómű áttétele 1:3-tól 1:1-ig terjed. Kis teljesítményű alkalmazásoknál, ahol általában kis sebesség a kívánatos, nagyobb pólusszámok (8, 10, 12), míg nagyobb teljesítményeknél a kisebb pólusszámok (4, 6, 8) használata előnyös. A pólusszámok helyes megválasztása alapvető a veszteségek csökkentése érdekében. Nagyobb teljesítményeknél, ill. az előre/hátramenet nyomatékának befolyásolására hatásos lehet a terheléstől-, ill. a forgásiránytól függő “szögvezérlés” is.

A különböző teljesítményű motorokat működtető hajtáselektro-



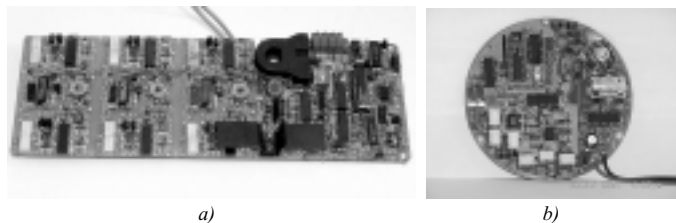
2. ábra
Az EV-k hajtására alkalmas elektronikus kommutációjú motorok
a) “ELGO” motor egybeépített elektronikával;
b) kerekesszék hajtására alkalmazott agymotor

nikák esetén alkalmazott névleges tápfeszültségek: 12, 24, 36, 72 V, a maximális kimeneti áramok 30...600 A tartományba esnek. Az elektronikák jellemzői: az összes MOSFET-meghajtó áramkör szigetelt a vezérlő elektronikától, a rövidzárlat-védelem a vezetési feszültség figyelésén alapul. A forgórész pozícióérzékelők Hall szenzorok, a pozíció 60 -os tartományokra bontását (dekódolását) GAL áramkörrel oldottuk meg. A maximális áram határolása egy impulzus-szélesség modulációs (ISZM) cikluson belül történik, a váltás automatikus a motor/fék üzem között. A

hatótávolság (két akkumulátor-töltés között megtett távolság) növelése érdekében a fékezési energia jelentős részét visszatápláljuk az akkumulátorba.

A vezérlés ilyen kivitele lehetővé teszi, hogy minimális áramköri átalakítással és a GAL IC átprogramozásával ugyanaz a vezérlő-, ill. teljesítmény elektronika használható egyenáramú (DC), elektronikus kommutációjú (EC) és kapcsolt reluktancia forgórészű motorok (SRM) vezérlésére is. A 3. ábra különböző típusú vezérlő- és teljesítményelektronika egységeket mutat.

A 3a ábrán látható vezérlés kapcsolóüzemű tápegysége az akkumulátor 20...25 V között változó tápfeszültségéből 15 V szabályozott feszültséget állít elő. Erről a tápfeszültségről üzemeltetjük a három hídág egymástól, valamint a vezérlő elektronikától elszigetelt MOSFET-meghajtó egységeit. A leválasztást nagysebességű és nagy zavarvédetségű optocsatolók biztosítják. Az ábrán jól megkülönböztethetők a meghajtók szigetelt tápfeszültséget biztosító, 120 kHz frekvencián üzemelő toroid transzformátorok. A tényleges vezérlő egység az ábra jobboldali harmadán helyezkedik el. Ennek részei: az áramérzékelő a motor-, ill. féküzemi áramkorlátot beállító potencióméterekkel; a vezérlő potencióméter jelét feldolgozó ISZM modulátor; a pozícióérzékelő Hall szenzorok jelformáló áramköre; D/A átalakító a fordulatszámmal arányos analóg jel előállítására; a forgásirányváltást engedélyező logika; a hibatároló logika; valamint az egység lelkét adó, a főtranszisztorokat vezérlő GAL IC a pozíciódekódolóval és hibakiértékelővel.



3. ábra

Az "ELGO"-ban alkalmazott elektronikus kommutációjú motorok vezérlő- és teljesítmény elektronikai

- a) A külön egységet alkotó elektronika vezérlőegysége;
b) kompakt (motorral egybeépített) vezérlő- és teljesítményelektronika

A 3b ábrán egy kompakt (a motorral egybeépített), mikroszámítógépes vezérlésű működtető elektronika látható. A szükséges tápfeszültségeket egyetlen nagyfrekvenciás transzformátor állítja elő a 12 vagy 24 V névleges bemeneti feszültségből. A főtranszisztorok vezérléséhez szükséges ISZM jelet az analóg-digitál (A/D) átalakítót is tartalmazó mikroprocesszor állítja elő az analóg-, ill. digitális bemeneti jelekből. A forgórész pozícióérzékelő Hall szenzorok jeleiből a pozíciódekódolást és a főtranszisztorok jeleinek előállítását ebben a változatban is programozható GAL áramkörrel oldottuk meg. A főtranszisztorok be- és kikapcsolására gyári tranzisztor-meghajtót alkalmaztunk, amely a hídág felső tranzisztorjának vezérlését szinteltoló és töltéspumpa segítségével biztosítja. A tranzisztorok áramának érzékelése a szaturációs feszültség figyelésével történik.



4. ábra

Kétmotoros, differenciálmű nélküli golf-autó hajtás fogaskerék áttétellel a hátsó hídra szerelve

- a) az egyik oldali EC motor;
b) a függőleges hűtőlapra szerelt két darab 24 V 80 A-es teljesítményelektronika

A 4. ábra egy golfautó hajtásának részleteit mutatja. A meghajtást biztosító két darab elektronikus kommutációjú motor a hátsó hídon helyezkedik el. A motorok a két kereket egy-egy fogaskerék áttételen keresztül hajtják. A mechanikai rendszerben nincs differenciálmű, a különbségek kiegyenlítését a hajtások lágy kimeneti karakterisztikái biztosítják. A differenciálmű elhagyása jelentős egyszerűsödést és költségmegtakarítást eredményez. Sajnos a két darab egyfokozatú fogaskerék-hajtómű a fogferdítés ellenére meglehetősen zajosnak bizonyult.

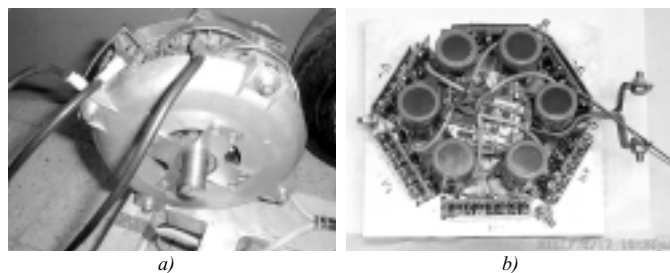


5. ábra

„Bringo” fantázianevű kirándulóautó szerelés közben (alkalmazás a Margit-szigeten)

- a) a váz szerkezet; b) a kétmotoros, differenciálmű nélküli hajtás a meghajtó szíjak nélkül

Az 5a ábrán a „Bringo” fantázianevű kirándulóautó és annak hajtásrendszere (5b ábra) látható. A meghajtómotor itt is elektronikus kommutációjú motor volt, de a foghatás (léptetőmotor hatás) csökkentése érdekében az állandómágnese forgórész pólussarú nélkül készült. Ez a megoldás lényegesen egyenletesebb, lüktetésmentesebb nyomatékot biztosított. A golf autóhoz viszonyítva az áttételből adódó zajt csökkentette a fogaskerék-hajtás helyett szíjhajtás alkalmazása.



6. ábra

Versenyautó hajtás

- a) axiális fluxusú kefenélküli versenyautó motor; b) a versenyautó motor

A 6. ábrán egy 72V/600 A-es, axiális mezejű állandómágnese motor és a hozzá kapcsolódó teljesítményelektronika látható. A hajtásfejlesztés célja egy a FIA (ez egy villamos hajtású autók számára rendezett verseny) versenyautó mozgatása volt. A fejlesztési célból adódóan a természetes léghűtésű hajtásnál a lehető legnagyobb teljesítmény/tömeg arányt kellett elérni. A fékezési energia jó hatásfokú visszatáplálása szintén elsődleges szempont volt, mert a versenyautónak az előírt pályát (amely tartalmaz sík-, meghatározott szintkülönbségű-, ill. gyorsasági szakaszokat) a verseny előírásainak megfelelően az akkumulátorok utántöltése nélkül kell megtennie. A viszonylag kis akkumulátor feszültségéből és nagy áramból adódóan meg kellett oldanunk a csatlakozási-, és akkumulátor nem ideális nagyfrekvenciás viselkedéséből adódó problémákat.

III. Eredmények

Az 1. táblázat a különböző típusú hajtások 2000 km-es vizsgálati eredményeit mutatja. Amint az a táblázatból látható, az elektronikus kommutációjú (EC és PMSM) motorok 25...35%-al hatékonyabbak, mint a hagyományos egyenáramú motorok. Karbantartás szempontjából további előny a kommutátor-kefe együttes hiánya. Tapasztalataink szerint jelenleg a trapéz indukált feszültségű, négyszögáramos gépek felelnek meg legjobban kis akkumulátoros járművek meghajtására. Mind a vezérlő elektronika,

mind a vezérlési elv olyan egyszerű, hogy a szinuszmezős, szinuszáramos gépek árban (ami ezeknél a járműveknél el-elsődleges szempont) nem versenyezhetnek velük. Jövőben a DSP-k elérhetősége és egyre olcsóbbá válása új vezérlési megoldások alkalmazását teszik lehetővé.

1. táblázat

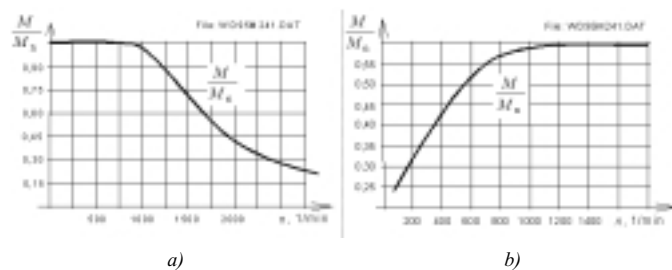
A különböző hajtások teszteredményei

Felhasználás	Motor típus	Akkumulátor feszültség [V]	Akkumulátor kapacitás [Ah]	Hatótávolság [km]
Golf-autó	DC	24	240	70-90
Golf-autó	EC	24	240	110-130
Golf-autó	PMSM	24	240	110-130
Kerekesszék	DC	24	40	25-35
Kerekesszék	EC	24	55	50-70

DC: Hagyományos egyenáramú motor

EC: Elektronikus kommutációjú ("négyzetáramos") motor

PMSM: Állandómágneseű szinkron motor (szinuszos indukált feszültség és áram)



7. ábra

Golf-autó egyik hajtásának nyomaték - fordulatszám karakterisztikái

a) motor üzemben b) visszatápláló féküzemben teljesítményelektronikájá

A gép terhelési méréseit az általunk korábban kifejlesztett mérőrendszerrel [1] végeztük. A 7. ábra az elektronikus kommutációjú hajtás tipikus jelleggörbéit mutatja, amelyeket ezzel a mérőrendszerrel vettünk fel. Az automatikus mérőrendszer jelentősen megkönnyítette a nagyszámú mérés elvégzését.

Összefoglalás

Az elmúlt néhány évben jelentősen megnőtt a mikroprocesszoros irányítás alkalmazásának lehetősége a kisteljesítményű, állandómágneseű gerjesztésű hajtásokban. Ez annak a következménye, hogy a vezérlőegységben alkalmazott gyors μP -kat, valamint a végfokozatban használt nagy teljesítményű, kis csatorna-ellenállású MOSFET félvezetőket minden korábbinál olcsóbban és könnyebben lehet beszerezni. A hajtás célú DSP-k megjelenésének köszönhetően – a valós idejű modellen alapuló irányítási eljárások gyakorlati alkalmazásával – az akkumulátorról táplált kis teljesítményű villamos járművek menet-tulajdonságai tovább javíthatók.

Irodalom:

- [1]. L. Nagy – T. Frank: "Microcomputer controlled measuring and testing equipment for electric machines", *Proceedings of the 7th Power Electronics & Motion Control Conference, Exhibition and Tutorials*, Budapest, 1996 Vol. 2. pp. 532-536.
- [2]. D. Butchers – A. White: "Switching Automotive to a Greener Future" *PCIM Europe ISSUE 9/1999* pp. 29 - 33
- [3]. T. Mező – S. Peresztegi – P. Korondi – L. Nagy: "Novel Brushless Electric Motor Drives in Vehicle Application", *Proceedings of PCIM'2001 International Conference & Exhibition*, Nuremberg 19-21 June 2001
- [4]. L. Nagy, S. Peresztegi, T. Mező, Gy. Knerczner and P. Korondi: "Brushless motor drives in vehicle application" *Proceedings of the 8th Conference on Optimisation of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM'2002)* Brasov, May 16-19, 2002. pp. 395-400
- [5]. Gy. Knerczner, L. Nagy, and P. Korondi, S. Peresztegi and T. Mező: "Battery powered vehicle drives" *Proceedings of EPE-PEMC'2002 Conference* Dubrovnik & Cavtat September 9-11, 2002
- [6]. L. Nagy – S. Peresztegi – T. Mező – Gy. Knerczner – P. Korondi: "Brushless motor drives in vehicle application", University "POLITEHNICA" Timisoara, *Journal of Electrical Engineering* Vol. 2/2002, pp. 72- 78.

- [7]. Dr. Turmezei Péter: Nagyhatásfokú napelemek felépítése és néhány példa katonai alkalmazásukra. *Bolyai Szemle* 2002. 2. szám pp. 185-196
- [8]. Dr. Turmezei Péter: Mechatronikai egységek napelemes energia-ellátásának néhány kérdése. 3. Nemzetközi Mechatronikai Szimpózium. Budapest, 2003. november 21.

Szerzők:



Dr. Nagy Lóránt Kaposzsekcson, 1948-ban született. A BME Villamosmérnöki Kar Erősáramú Szakon 1971-ban szerzett diplomát, majd 1977-ben folyamatirányítási szakmérnöki képzést. Egyetemi doktori értekezésében a forgógépek mikroszámítógépes szögsebesség- és szöggyorsulásmérésével foglalkozott (1985). 1971-től dolgozik a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Automatika Intézetében (2000-től BMF), jelenleg az Intézet műszaki-tudományos igazgatóhelyettese. Szakterülete az automatizálás villamos gépein kívül a villamos gépek számítógéppel segített mérés technikája és a villamos gépekhez kapcsolódó vezérlő-, szabályozó- és teljesítményelektronikák fejlesztése. A MEE tagja.

Elérhetősége: nagy.lorant@kvk.bmf.hu



Knerczner Gyula okleveles villamos üzemmérnök diplomát szerzett 1993-ban a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola villamos gépek és készülékek szakán. Villamosmérnöki diplomát szerzett automatizálási szakterületen 1994-ben. A Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Főiskolai Kar Automatika Intézetében az ipari robotok és CNC gépek vezérlése és programozása tantárgyat oktatja. Szakterülete a mikroszámítógépes hajtás-irányítás, a mikroprocesszor vezérelt mérésadatgyűjtés és a robotirányítás. Jelenleg az aszinkron motoros szervohajtások neurális irányításával foglalkozik.

Szakmai lektor: Dr. Bencze János

VILLÉRT