

Villamos járműhajtások fejlődése

2021. szeptember 23.

Az elektromos autózás napjaink egyik leggyorsabban fejlődő iparága. A mindehhez elengedhetetlen villamos hajtásokat, azok történelmét, aktualitásait és fejlődését mutatta be nekünk Kiss Kristóf Levente, az Audi Hungária fejlesztőmérnöke az Energetikai Szakkollégium 'GPK 150' emlékfélévének második előadásán.

Az elektromos autó sokkal távolibb múltra tekint vissza, mint azt legtöbben gondolnánk. Jedlik Ányos már 1828-ban megalkotta a villamos autó modelljét. Az ólomsavas akkumulátor feltalálása után nagy sikerek örvendtek az elektromos járművek, köszönhetően előnyös tulajdonságainak, mint a csendes és halk üzem, vagy a beindításhoz nem megkövetelt fizikai munka (kurbilizás). Különösen népszerűek voltak ezen járművek a nők körében. Sikerük egészen a Ford T-modell befutásáig tartott, melynek sorozatgyártása forradalmasította az autóipart, egyszerű és célszerű konstrukciójával és technológiai innovációival. Sajnos ezzel háttérbe szorította az elektromos járműveket, melyek ettől kezdve legfeljebb posta- vagy tejeskocsik szerepét töltötték be a mindennapokban.

Az 1970-es olajválságig kellett várni ahhoz, hogy a világ, alternatív hajtást követve a tekintetét ismét a villamos megoldások felé fordítsa, azonban a társadalom ekkorra már hozzászólt a robbanómotoros járművek által nyújtott hatótávhoz, így az akkumulátortechnika fejlődése elengedhetetlen követelménye volt a villamos autózásnak.

A General Motors például már 1996-ben gyártott elektromos autót, a **GM EV1**-et, IGBT félvezetőkkal, aszinkron gép hajtással, de még ólomsavas akkumulátorokkal. Az EV1-t viszont ekkor még csak lízingelni lehetett.

Az új lítium-ion akkumulátorok megjelenésének és az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírásoknak köszönhetően ma már az elektromos járművek egyre nagyobb szeletét teszik ki az autóiparnak.

Fontos mérföldkőként említendő a 2008-as, a Lotus Elise sportautó alapjaira felépített **Tesla Roadster**, mely egy léghűtéses aszinkron gép és egysebességű váltómű hajtást alkalmazott, a korának akkori csúcsának számító lítium-ion akkumulátorral.

A hajtás konstrukciója alapján megkülönböztetünk három alapvető géptípust. Az állórész, vagyis a **sztátor** felépítése minden esetben megegyezik, míg a forgórész, a **rotor** kialakítása meghatározza, hogy aszinkron vagy szinkron gépről beszélünk-e.

Az aszinkron gép esetében a rotor egy réz- vagy alumíniumkalickás kialakítású alkatrész, ezt a hajtást könnyű szabályozás jellemzi, beavatkozni a feszültség szabályozásával tudunk. Ilyen hajtást alkalmaz az előbb említett Tesla Roadster, vagy az Audi e-tron is.

Szinkron gép esetében a rotorban lehetnek állandó mágnesek, ilyen megoldással kerül forgalomba szinte minden újabb elektromos autó. A mágnesezést továbbá végezhetjük egyenáramú gerjesztés segítségével is, ezzel egy komplexebb konstrukcióhoz jutunk, mellyel egyelőre csak a Renault Zoe típusú gépjárműveiben találkozhatunk.

A villamos hajtások fejlesztése során számos szempontot követnek a gyártók. Ilyen például a rotorhoz és a sztátorhoz alkalmazott anyaghasználat, ugyanis hasznosíthatunk alumíniumot a gyártás során, mely olcsóbb, könnyedén önthető és könnyű, viszont nagyobb fajlagos ellenállással rendelkezik, mint a réz. Ez drágább, nehezebben megmunkálható és nehéz anyag, azonban jobb vezető, így kisebb veszteségekhez vezet üzem során.

A mechanikus konstrukció, mint a fém részek lemezelése, vagy a tekercselés megvalósításának módja is fontos tényező a fejlesztés során. A fémek lemezelésével az örvényáramot kívánjuk csökkenteni az alkatrészben, ezáltal növelni a hatásfokot. Sajnos ennek a műveletnek is van egy határa, ahol már túlságosan is elvékonyodik a fém, és ezzel túl sokat veszít alaktartásából. A folyamat során alkalmazható fogtekercselés, ezzel könnyen kialakítható rövid, kicsi hajtás, amit hibrid alkalmazásokban egyszerűen lehet beépíteni. Ez a megoldás azonban rosszabb mágneses tér jelalakkal jár. Egy másik tekercselési eljárás az elosztott tekercselés, ahol a kész lemeztetet tekercselik behúzással, varrással vagy hajtűtekercseléssel. Az elosztott tekercseléssel jobb hatásfokot lehet elérni, ugyanis a horonyban a tekercselés kitöltési tényezője egyre nagyobb, jobb. Ezeknek a hajtásoknak viszont nagyobb a helyigénye.

Jelentős tényező továbbá a választott kapcsolástechnika is, tekintettel arra, hogy ezen a téren is folyamatos a fejlődés, mint például az új **SiC félvezetők**

megjelenése. Ezek az új kapcsolóeszközök kicsiny veszteséggel képesek nagy frekvencián kapcsolásokat végezni, ez jelentős előrelépés a korábbi MOSFET és IGBT technológiákkal szemben.

A hajtások fejlesztése során természetesen korlátok is akadnak bőven, mint a melegedés. A villamos hajtást fontos hűteni, ugyanis alacsony hőmérsékleten csökken az alkatrészek fajlagos ellenállása, így a rézvesztés is kevesebb, ami pedig kisebb hőterhelést eredményez. A hajtás alkalmazási területétől függően számos megoldás létezik, legyen szó levegő-, víz- vagy olajhűtési konstrukciókról. Amennyiben a hajtás nem igényli, akár egy elektromos versenyautón is elégséges lehet léghűtést alkalmazni. Ha azonban az alkalmazás komolyabb módszert igényel, akkor a hajtást a tengely hosszán, a csapágyak és a rotor körül víz-glikollal lehet hűteni. Amennyiben szükséges, akkor szórt olajhűtést is alkalmazhatunk, ami fúvókákon keresztül történhet. Az innováció itt is folyamatos, új megoldásként megjelent a hűtőcsatornás vezető is.

A szabályozástechnikai oldalon fontos feladat a félvezetők vezérlésével egy optimumot elérni, hiszen egyenáramú forrásból (akkumulátorból) hajtunk meg egy alapvetően váltakozó árammal működő berendezést, amely folyamat során több irányban is veszteségekkel kell számolni. Az egyenáramot egy inverter berendezésen keresztül váltakozó árammá kell alakítanunk, ahol a cél a tökéletes szinuszfüggvényalak elérése. Azonban az átalakítás során a különböző kapcsolási frekvenciákon eltérő áramalakot kapunk, illetve változik a kapcsoló félvezetőkön (melegedés során) elvesztett energia. Alacsonyabb frekvenciákon (5kHz) a félvezetőkön kevesebb a veszteség, viszont az áramalak túlságosan hullámos és veszteségeket okoz minden gép-alkatrészben. Magasabb frekvencián az áramalak egyre jobban közelíti a tökéletes szinuszhullámot, de a kapcsolás sűrűségének növekedése emeli a teljesítményelektronikán a veszteségeket.

Szabályozás során a cél, hogy minél **nagyobb nyomatékot** érjünk el a villamos géppel, a **lehető legkisebb felhasznált áram** mellett. A folyamat során a három fázisáram nagyságát tudjuk mérni és szabályozni. Három változóval azonban bonyolultabb dolgozni, ezen probléma kezeléséhez transzformációkra van szükség. Az transzformációk során a három, időben változó jelet elsőként egy álló, kettő dimenziós, koordináta-rendszerben elhelyezkedő, két független változóvá, majd a

koordináta-rendszert a rotor mágneses terével együtt forgóvá alakítva adhatunk egy **konstans alapjelet**. A szabályozási folyamat során kettő komponensre válik az áramjel, melyek rendre i_d "mezőgyengítő komponens" és i_q "nyomatékképző komponens". Ezen komponensek beállításával igyekszünk elérni a kívánt nyomatékot. Egyetlen nyomatékhoz végtelen sok i_d és i_q pár adódik, így itt a cél egy optimum, a lehető **legnagyobb hatásfok**, tehát az adott nyomaték elérése minimális veszteség mellett, vagyis **MTPL** (Maximal Torque per Loss). Ez az MTPL a **vas- és rézvesztések** által megadott görbék közé eső munkapontokat jelenti.

A villamos gép forgása közben feszültséget indukál a sztátorban. Egy adott fordulatszámra azonban ez a feszültség elérné az akkumulátoron keresztül a villamos gépre kapcsolt feszültség értékét, ezáltal kiegyenlítődne azok különbsége és nem folyna áram, tehát megállna a gépünk. Ezt kerülni, változtatjuk az i_d áramkomponenst. Ezt az áramot nem véletlenül nevezzük mezőgyengítő komponensnek, ugyanis a növelése csökkenti az állórészben indukált feszültséget. Így az áram nyomatékképzés helyett mezőgyengítésre elhasznált részéért cserébe képesek vagyunk átlépni az akkumulátor kapocsfeszültsége okozta fordulatszámkorlátot. Minél hamarabb érjük el a mezőgyengítés fordulatszám-tartományát, annál nagyobb energia "veszik el" ennek következtében.

Ahogy bármely más rohamosan növekvő iparterület, úgy a villamos hajtások területén is rengeteg fejlődés várható, legyen szó új mechanikai konstrukciókról, vagy a korábban említett teljesítményelektronikai áttörésekről.

Ilyen mechanikai fejlesztés például a **szinkron reluktancia motor**, amely forgórésze kizárólag vas és levegő. A forgása a vas inductívitásának köszönhető, egy mágnesesen asszimmetrikus gép kialakítása esetén forgásra könnyedén bírható. Teljesítménye, hatásfoka még nem olyan jó mint az állandó mágneses gépé, igazi versenytársa az aszinkron motor. Minden a kialakított geometrián múlik, különböző kialakítások fejlesztésén. Létezik ennek vezetővel kombinált változata is, a **reluktanciahatással erősített állandó mágneses motor**. Ennek esetében a gyártók igényük szerint alakítják a rotor hornyait és mágneselrendezését, ezzel elérve a hajtástól elvárt tulajdonságokat.

A jövőben továbbá várható a félketrec állórész tekercselés elterjedése. A sztátor, az aszinkron gépek kalickás forgórészéhez hasonlóan, hornyokból áll, ezeket egyik végükön egy rövidrezáró gyűrű köti össze, másik végükön pedig félvezető

modulok kapnak helyet, melyekkel minden horony gerjesztését külön kapcsolóelem látja el. Ezzel a konstrukcióval a horonykitöltés nő annak határáig (99%, a fennmaradó térrész csak a szigetelőpapír vastagsága), a tekercsfej rövidül, a menetszám pedig csökken, egy nagyságrendekkel bonyolultabb elektronika árán.

Tafferner József

Az Energetikai Szakkollégium tagja