

Újfajta hibrid hajtások

Írásunkban a hibrid hajtásokat központi témaként kezelő bécsi Motorszimpózium két érdekességét, a kétlépcsős, és az első, tisztán villamos üzemű hibrid jármű erőátvitelét mutatjuk be olvasóinknak.

A gyakorlatban bevált hibrid hajtások hagyományos sebességváltós, nyomatékosztós, és mechanikus sebességváltó nélküli hajtásokra oszthatók.

A sorozatgyártású megoldások közül a Honda, Integrated Motor Assist-nek, azaz integrált motorasszisztensnek nevezett hibrid hajtása képviseli az első csoportot. Ez közelebből olyan belső égésű motornak tekinthető, amelyen villanymotor helyettesíti a lendkereket, és hagyományos sebességváltó differenciálmű alkotja a hajtásláncot.

A Toyota szinergikus hibrid hajtásának köszönhetően, ma a nyomatékosztós változatok mondhatók a legelterjedtebbnek.

Egyfokozatú, nyomatékosztós hibrid hajtás

Az ilyen eszközzel felszerelt hibrid hajtású jármű hajtóenergiáit egyfokozatú bolygómű egyesíti, illetőleg osztja me-

chanikus és villamos energiára. Úgy, hogy a belső égésű motor a generátorként működő első villanymotort hajtja, és annak nyomatékát villamos árammá alakítja. Az első motor által generátorüzemben termelt villamos áram vagy az akkumulátort tölti, vagy a második villanymotort hajtja, amely ugyancsak hajt, vagy az akkumulátor tölti.

A nyomatékosztást az ábra bal oldali része, az energiafajták átalakítását a középső ábrarész szemlélteti. A villamosenergia-átalakítás 70, a mechanikus átalakítás 90%-os hatásfokkal jellemezhető. Az ábra jobb oldali része a villamosenergia-átalakítás mértékét szemlélteti a belső égésű motor és a bolygómű fordulatszámának függvényében, ami a bevezetett energia 2/3-a körüli maximumot mutat. A jobb oldali teljesítmény-visszaesés csak a villamos nyomaték csökkenését, nem pedig a belső égésű motor nyomatékszolgáltat-

tását mutatja. Ezt a hajtáscsoportot erősíti a DaimlerChrysler, a GM és a BMW-csoport, Globális Hibrid Együtműködés keretében kifejlesztett kétlépcsős vagy kétfokozatú hibrid hajtása is, amelyet az április utolsó hetében tartott bécsi Motorteknikai Szimpóziumon ismerhet meg az európai szakmai nyilvánosság. Írásunk további részében ezt mutatjuk be olvasóinknak.

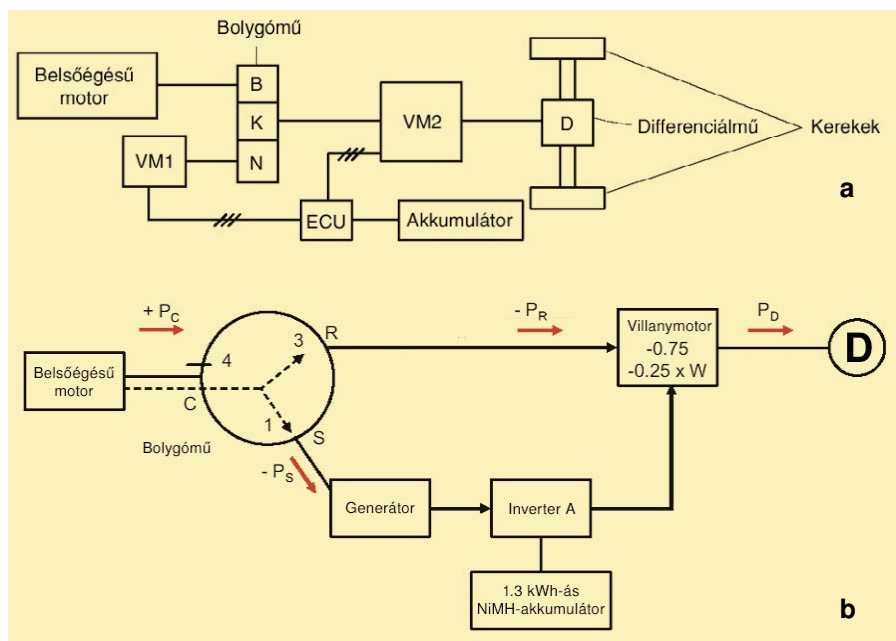
Kétfokozatú, nyomatékosztós hibrid hajtás

A kétfokozatú hibrid hajtás kis és nagy sebességű, folyamatosan változó erőátviteli üzemmódú, négy utánakapcsolt, állandó áttételű mechanikus sebességváltóval kiegészített hajtóművet foglal magába. A villamosnyomaték-növelést és regeneratív fékezést lehetővé tevő hajtómű így összesen hatféle hajtáskombináció létrehozására alkalmas.

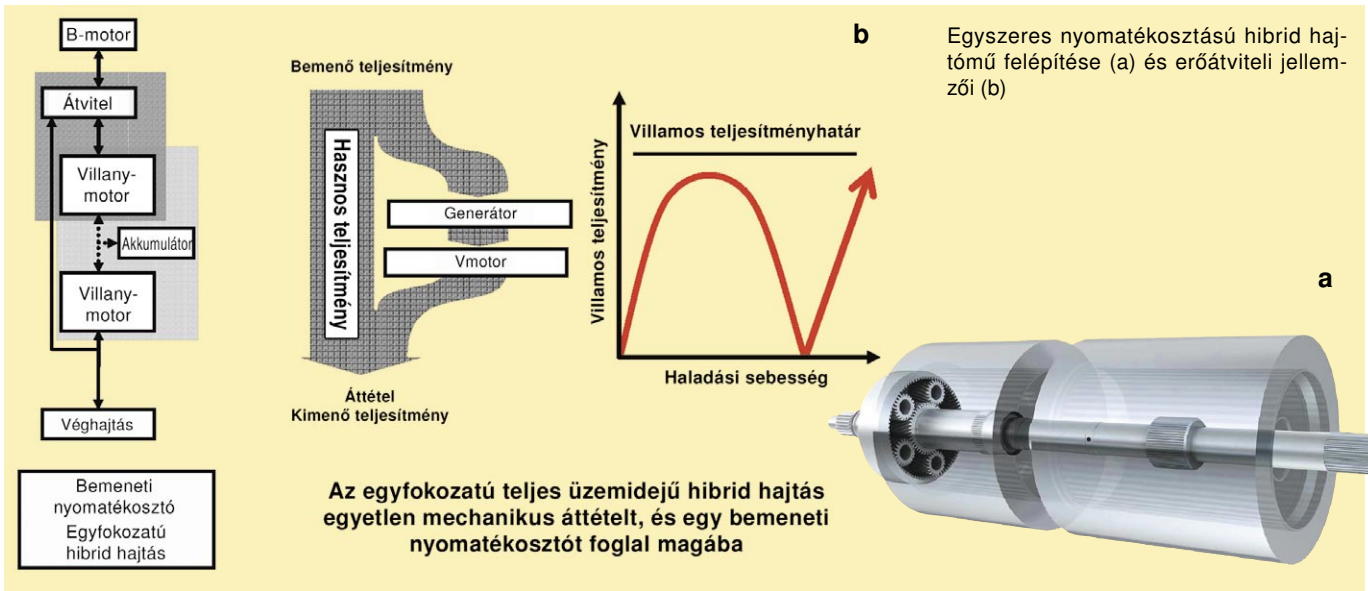
Nyomatékosztó üzemmódban, kis sebességen az egyik villanymotor vagy a belső égésű motor, illetőleg az egyik villanymotor és a belső égésű motor együtt működik (full hibrid hajtás). A villamos hajtás folyamatos működése során a belső égésű motor bármikor újraindítható, a járművet az egyes vagy a kettes fokozatnak megfelelő, állandó áttétel hajtja.

Kompond üzemmódban, nagyobb sebességen és/vagy motorterhelésen a belső égésű motor folyamatosan, megtakarító üzemmódban (például hengerkikapcsolással vagy kései szívószelepszárással), a négy sebességfokozat valamelyikének bekapcsolásával együtt, működik.

Mivel az első és a harmadik fokozatban mindkét villanymotor működik, és a második, illetőleg a negyedik fokozatban csak az egyik villanymotor hajt, az összmódosítást a villanymotor és/vagy a bolygóművek fokozatonként állandó áttétele szorozódik a villamos hajtás(ok) folyamatosan változó áttételével.



A Toyota Prius hibrid hajtásának felépítése (a) és erőátviteli folyamatábrája (b)



Kétfokozatú hibrid hajtás, bemenő és compound nyomatékosztóval

A Global Hybrid Cooperation által kifejlesztett hibrid hajtás az egyfokozatú hajtás compound nyomatékosztóval való egészítését jelenti, ami a második fokozat előtti tengelykapcsoló zárásával, és az első fokozat előtti tengelykapcsoló oldásával hozható létre. Úgy, ahogyan az a b ábra bal oldali, nyomatékosztást szemléltető részletén látható. Az energiafajták átalakítását a középső, a jobb oldali kettős szinusz félhullámból álló ábrarész az első és a második fokozat együttes villamosenergia-átalakítását szemlélteti. Az ábrarészlet közepén látható szinkron

ronkapcsolási pontban a két villany-motor haladási sebesség-csökkenés nélküli egybekapcsolását jelenti.

A kétfokozatú hibrid hajtás egyfokozatúnál kisebb hajtási vesztesége és villany-motorja csökkenti a bonyolultabb felépítmód költségeit.

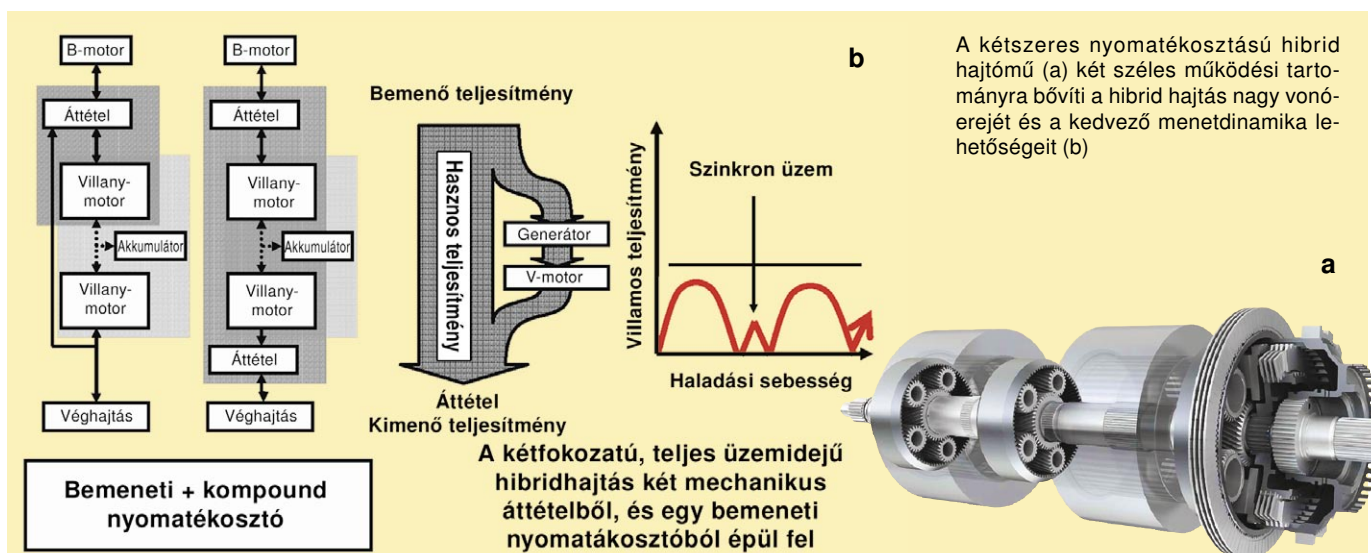
Az eddig bemutatott, automatikus sebességváltós, kétfokozatú, hibrid hajtású járművek két, 60 kilowattos (80 lóerős) egyenáramú villany-motorral, két bolygó-műves sebességváltóval és két szelektív tengelykapcsolóval kerültek forgalomba. Az ezekkel a jellemzőkkel készített hibrid hajtóművek dinamikusabbak, üzemanyag- és helytakarékosabbak a tisztán belső égésű erőforrású hajtóegységeknél.

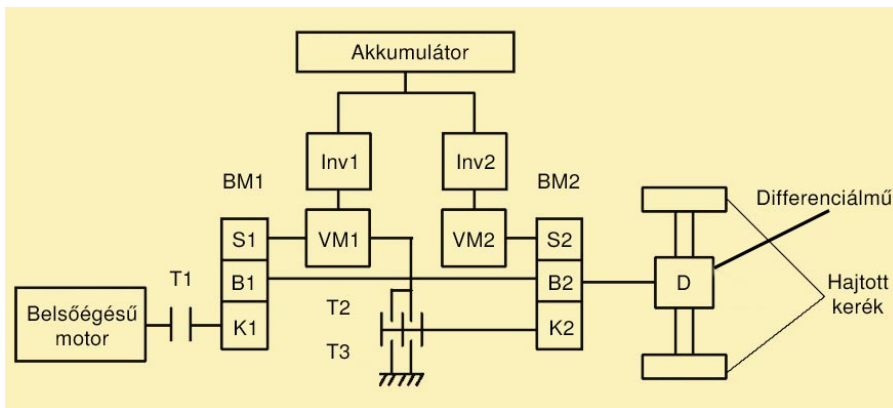
A nyomatékosztó 1. „Input Split” üzemmódját a C1, C3 tengelykapcsolók

zárt, és a C2 tengelykapcsoló oldott állapota jellemzi. A B1 és a B2 bolygó-művek (t1 és a t2) bolygókerék-tartói és napkerekei egybekapcsolódnak. Így a két villany-motor úgy kapcsolódik egybe, hogy a mechanikus teljesítmény-átvitelt a generátorüzemben működő VM1 motor teljesítménykorlátlja szabja meg, miközben a VM2 továbbra is motorüzemben hajt.

Adott haladási sebesség elérésekor, a VM1 motor fordulatszáma zérusra csökken. Ekkor a C2 és a C3 tengelykapcsolók a hajtást „Compound Split” üzemmódra váltják. Úgy, hogy a C2 zárt, a C3 pedig nyitott állapotba kerül. A két bolygó-mű napkerekei pedig összekapcsolódnak.

A nyomatékosztó 2. „Compound Split” üzemmódjában mind a VM1, mind a VM2 villany-motor motorüzemben működik,





A Global Hybrid Cooperation kétszeres nyomatékosztású hibrid hajtóművének erőátviteli folyamata ábrája

amikor is az átvihető teljesítmény jelentősen megnő. Az ennek fenntartásához szükséges villamos energiához a motorok az akkumulátorból jutnak. Bizonyos haladási sebesség elérésekor a VM2 villanymotor fordulatszáma zérusra csökken, majd generátorüzembe megy át. Úgy, hogy eközben a VM1 motor továbbra is motorüzemben marad, megakadályozva az akkumulátor kisülését. Fékezéskor természetesen mindkét motor vezérlése energia-visszanyerő generátorüzemre vált. A nyomatékosztó 1. („Input Split”) üzemmódjában a jármű a VM2 villanymotorral indítható és működtethető.

Tisztán villamos üzemű hibrid hajtás

A hibrid hajtásokat központi témaként kezelő bécsi Motorszimpózium legmeghökkenőbb érdekességét az a Siemens-bejelentés képezte, mely szerint a német konszern még az idén bemutatja első tisztán villamos üzemű hibrid hajtását.

Az Electric Variable Transmission-nek (EVT-nek) nevezett újfajta hajtás két, egymásba ágyazott, vékony falú, koncentrikus villamos gépből áll. Egymásba ágyazással olyan hajtóeszköz hozható létre, amelynek használata a benne zajló villamos kölcsönhatások eredményeként, a hagyományos sebességváltókénál kedvezőbb hatásfoka miatt, üzemanyag-takarékos, és széles tartományú áttétel helyettesítésére ad lehetőséget, nagyfokú szerkezeti egyszerűséggel. Az EVT szekunder tengelyén lévő rotor a primer forgórész és az állórész között forog. Amikor a rotor mágneses reluktanciája kicsi, az EVT két különálló villanymotorként működik.

Az EVT-hajtás működése a következő. A belső égésű motor belső villanymotorral

végzett beindítása után a fordulatszám-szabályozó a belső égésű motor fordulatszámát a hagyományos rendszerekéhez hasonlóan megemeli, és megemelt értéken tartja. A belső villanymotor a belső égésű motort meghatározott nyomatékkal terheli. A belső villanymotor állórészén fellépő reakciónyomaték a külső villanymotor forgórészén keresztül a differenciálművet hajtja. A belső motor által kifejtett nyomaték hozzáadódik a külső motoréhoz. A belső égésű motor fölös teljesítménye a generátorüzemben működő belső motoron át az akkumulátort tölti.

A belső égésű motorét a külső motoréval kiegészítő nyomaték bőségesen elegendő a jármű indításához. A jármű mozgásnak indulása után, a nyomatékosztó a hajtóenergiát a belső égésű motor által kifejtett mechanikus, és a generátorüzemben működő VM1-es motor által kifejtett villamos részre osztja. A belső motor árama a csúszógyűrűn keresztül a rotorra, azon keresztül a külső motorba jut. Megfelelő töltöttség esetén ez az akkumulátor energiájával is kiegészülhet. A két villanymotor energiája egymástól függetlenül szabályozható, ezért a mechanikus sebességváltó nélküli villamos hajtás összehatásfoka meghaladja a soros hibrid hajtásokét.

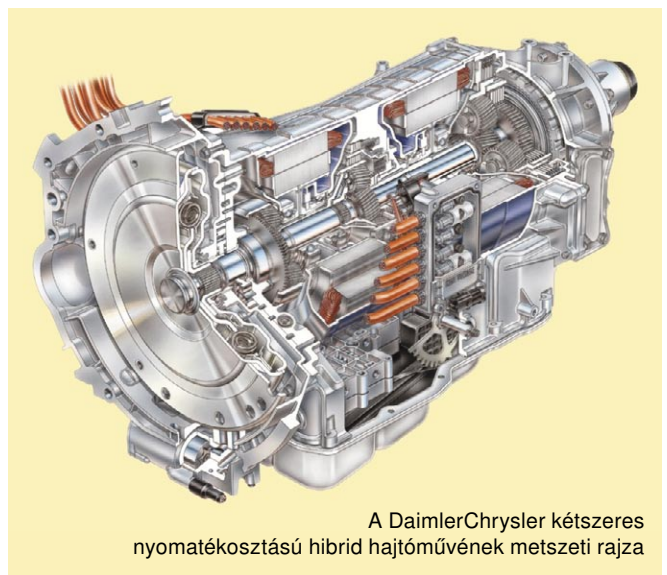
Az EVT-rotor vasmagja jóval kisebb a külső gépénél. A rotorház mágneses telítődése miatt a

belső és a külső gép között mágneses kölcsönhatás alakul ki. Ekkor kettő helyett egyetlen olyan elektromágneses eszköz jön létre, amelyben szinkrongépszerű, közvetlen interakció alakul ki a (csúszógyűrű-armatúrás) forgórész és az állórész között, amelynek jellegzetes mozzanatait a *b–e ábrák* szemléltetik.

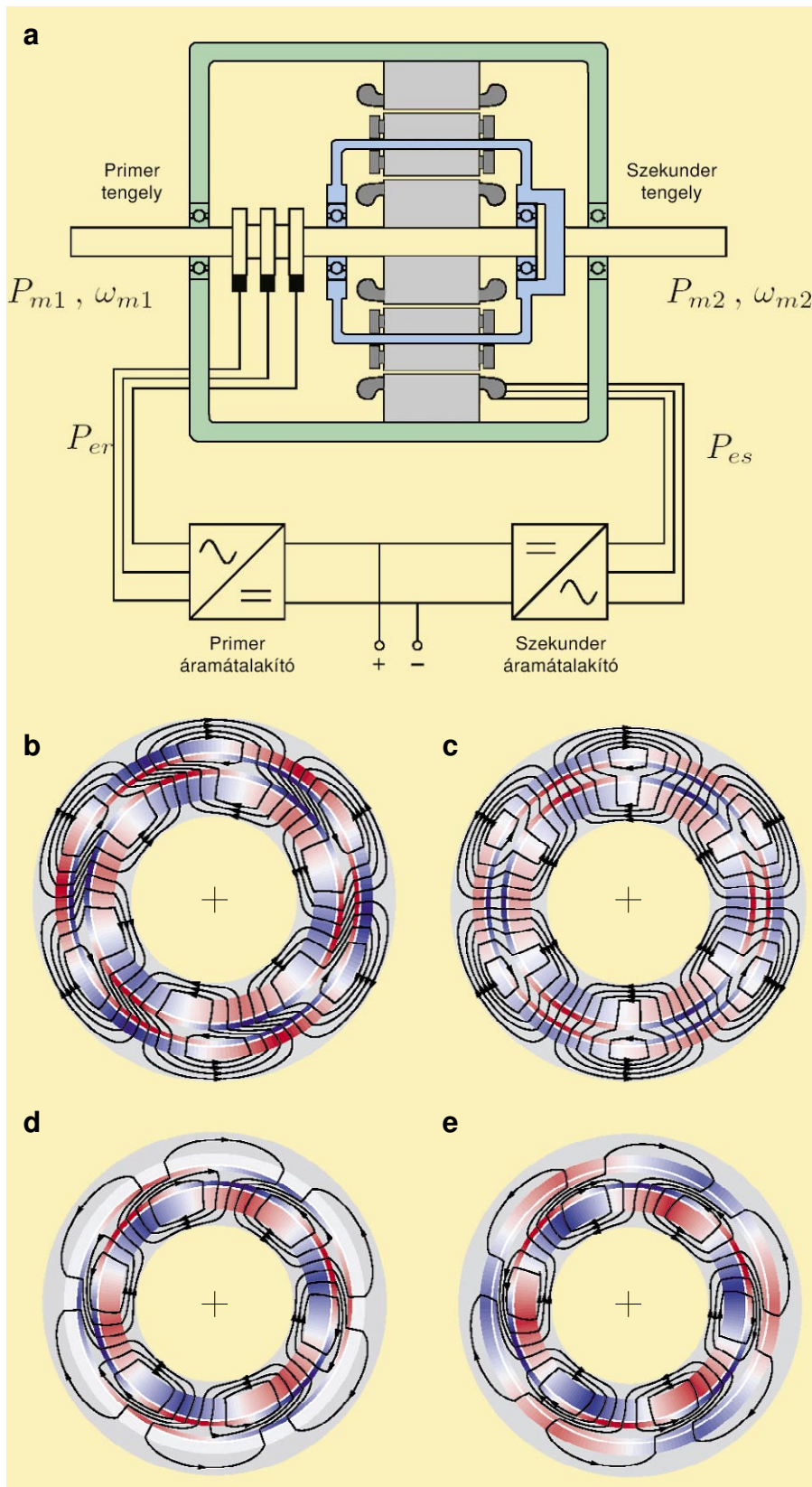
A *b* ábra a szekunder tengely kis fordulatszámú állapotát jeleníti meg, 600 Nm be-, és 1800 Nm kimenő nyomatékkal. A kis fordulatszám miatt a villamosenergia-átalakulás mértéke kicsi. A hajtóteljesítmény nagyobb részét az áramátalakítón keresztül, a forgórészből az állórészbe folyik. A négy tekercsben folyó áram- és fluxussűrűség, továbbá a forgórészben kialakuló ($T_{m1}-T_{m2}$ különbséggel arányos) réz- és vasvesztés viszonylag nagy. Az állórész vasvesztése viszont a kis fordulatszám miatt kicsi.

A *c* ábra tisztán radiális, a belső forgórész fluxusmetszést ábrázol, amikor a forgórész és az állórész között nem ébred közvetlen nyomaték. A bemenő nyomaték 400, a kimenő nyomaték 800 Nm. Mivel a villamosenergia-átalakulás mértéke az előbbinél nagyobb, az áramátalakítón kisebb teljesítmény halad át. Ennél fogva a keletkező rézvesztés is jelentősen kisebb az előbbinél, a vasvesztés viszont változatlan.

A *d* ábra a közvetlen hajtásnak az az esete, amikor a hajtónyomaték 800 Nm, és az állórészben nem folyik áram, a külső kalickás motor azonban aktív marad. Ekkor a villamosenergia-átalakulás közvetlen. Az áramátalakítón át nem folyik áram. A keletkező rézvesztés nagy



A DaimlerChrysler kétszeres nyomatékosztású hibrid hajtóművének metszeti rajza



Villamosan változtatható áttételű, EVT-sebességváltó felépítése (a) és működése igen kis fordulatszámú (b), kis fordulatszámú (c), közvetlen (d) és nagy fordulatszámú hajtás (e) esetén

(hiszen az állórészben nem lép fel veszteség), a vasvesztés kicsi, mivel a forgórészben (a csúszógyűrű-armatúra) a frekvenciája is kicsi, ezért az állórészben is kicsi a fluxussűrűség. Így a mágneses tér gyengül, az állórész feszültsége pedig csökken, ami a második áramátalakítóra jutó energia közel 2/3-os korlátozásával jár.

Az *e* ábra a bemenő meghaladó kimenő fordulatszám (over-drive) esete. Ekkor a bemenő nyomaték 800, a kimenő 600 Nm, és a generátorként működő állórész árama folyik át a primer és a szekunder áramátalakítókon. A bemenő energia nagyobbik része közvetlenül átalakul. A keletkező rézvesztés nagyobb a *d* ábrán bemutatottnál, mivel az állórésztekercs túlságosan aktív. Az állórész fluxusa viszonylag alacsony, mivel a szekunder tengely nyomatékához adódó külső légrényomaték is kicsi. Ennek ellenére, a forgórész ($T_{m1}-T_{m2}$ különbséggel arányos) frekvenciája bár nagyobb a *d* ábrához tartozónál, a vasvesztéséhez hasonlóan, mégis csekély marad.

A megszokott erőátvitel jelentős módosításával járó hibrid hajtás főképp az USA piacon állítja fokozott kihívás elé a járműgyártókat. A sebességváltó és a motorvezérlés áramtermeléssel, energiatárolással és áramellátással való együttes működésszabályozását igényli.

A folyamatos üzemű villamos hajtás a belső égésűvel megegyező teljesítménykínáló villanymotor használatát teszi szükségessé, az autópárházban eddig nem használt feszültség- és áramerősségszinten. Az aszinkron hajtás állandó mágnesgerjesztésűekénél nagyobb hatásfokelőnyének kihasználásával, és az autópárházban eddig nem próbált szabályozási pontossággal, tisztán villamos üzemű folyamatos hajtás valamennyi összetevőjét egy kézből kínálva, a sebességváltó nélküli, tisztán villamos hajtás lehetőségét is ideértve.

Mivel a belső égésű motor fejlesztésének még jelentős tartaléka van, ezek folyamatos hibrid hajtással végzett kihasználása ma kedvezőbb lehetőségeket kínál Amerikában, a feltöltésből és kisütésből álló, szakaszos üzemű, tisztán villamos hajtásnál.

Európa számára pedig a részüzemű hibrid hajtás a jövő. Mindaddig, amíg még megfizethetők lesznek a folyékony üzemanyagok.

Petrók János